

# ปัจจัยในกระบวนการผลิตที่มีอิทธิพลต่อความชื้นของอาหารกุ้งกุลาดำ

## Processing factors affecting end-product moisture of Black tiger shrimps' feed

ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ (Patipat Hongsuwan)<sup>1\*</sup>

### บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักของอาหารกุ้งกุลาดำที่ลดลงในกระบวนการผลิต เนื่องจากความชื้นได้หายไปในช่วงการผลิต ในการที่จะลดปัญหาความชื้นที่หายไปในช่วงการผลิต จึงทำการศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นในกระบวนการผลิตอาหารกุ้งกุลาดำ โดยอาศัยวิธีการทางสถิติคือการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม โดยใช้การทดสอบแบบที่ เพื่อกรองปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นอย่างมีนัยสำคัญและการทดลองสองกำลังแฟคทอเรียล เพื่อหาอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยและตำแหน่งที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพล สำหรับอาหารกุ้งกุลาดำ 1 ตัน คือ ปริมาณการเติมน้ำควรเติม 25 กิโลกรัม อุณหภูมิของไอน้ำที่ Conditioner ควรอยู่ที่ 82.5 °C อุณหภูมิของหม้อนึ่งควรอยู่ที่ 95.6 °C และอุณหภูมิของการอบแห้งควรใช้อุณหภูมิ 82 °C และความชื้นที่เหมาะสมคือ 11.58% หลังจากได้ดำเนินการทดลองสามารถเพิ่มค่าความชื้นจาก 10.26% เป็น 11.58% (มาตรฐานเปียก) และค่า C เพิ่มขึ้นจาก 0.76 เป็น 0.97 เมื่อดำเนินการเป็นต้นแล้ว น้ำหนักสุดท้ายของอาหารกุ้งกุลาดำที่ได้ต่อวัตต์ดูดิบ 1 ตัน จะมีน้ำหนักเพิ่มจาก 982.6 กิโลกรัม เป็น 995.8 กิโลกรัม สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตขึ้น 1.34 %

### Abstract

The weight of Black tiger shrimps' feed decreases because moisture is lost during its production. In order to reduce the loss of the moisture during production, this research was conducted to study important factors that affect the moisture in the fodder production process. This research uses statistics, design of experiment and T-test to classify some factors that affect the percentage weight loss significantly and factorial two K-squared test to find interactions between factors and values that cause the best moisture level. The results of the study show that the the most influential factor for 1 ton shrimp fodder is that the quantity of water should be 25 kilograms. The water temperature should be about 82.5 °C. The steam pot temperature should be about 76.6 °C and kiln dry temperature should be at 82 °C, with humidity of 11.58 %. After the

<sup>1</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม, e-mail: patipat@su.ac.th

conducted experiment, the processing could increase the moisture from 10.26% w.b. to 11.58% w.b. and  $C_p$  from 0.76 to 0.97. Based on one ton, the final weight of shrimp fodder moved up from 982.6 kilograms to 995.8 kilograms, an improvement of 1.34%.

**คำสำคัญ:** ความชื้น, อาหารสัตว์, กุ้งกุลาดำ

**Keywords:** moisture, fodder, Black tiger shrimp

## บทนำ

การผลิตอาหารสัตว์ที่ดีและมีคุณภาพตามความต้องการของสัตว์แต่ละชนิดนั้นจำเป็นต้องมีสูตรเฉพาะตามความต้องการของสัตว์ ได้แก่ เพศ อายุ และชนิดของสัตว์ที่แตกต่างกัน สำหรับการผลิตอาหารสัตว์เพื่อขายนั้น ผู้ประกอบการจะต้องขออนุญาตจากกรมปศุสัตว์ โดยต้องขออนุญาตทะเบียนสูตร และขออนุญาตตั้งโรงผลิตอาหารสัตว์เพื่อการผลิตอาหารสัตว์ตามทะเบียนสูตร ซึ่งอยู่ภายใต้กฎหมาย (พ.ร.บ.ควบคุมคุณภาพอาหารสัตว์ พ.ศ.2525) อาหารสัตว์ที่ผลิตจากโรงงานผลิตอาหารสัตว์ และส่งขายไปยังฟาร์มเลี้ยงสัตว์และร้านขายอาหารสัตว์ทั่วไป เจ้าหน้าที่ของกรมปศุสัตว์ตามพระราชบัญญัติ มีหน้าที่ตรวจสอบกระบวนการผลิต และจัดเก็บตัวอย่างอาหารสัตว์ เพื่อตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพตามทะเบียนสูตรที่ผู้ผลิตขอจดทะเบียนไว้กับกรมปศุสัตว์ เพื่อให้ได้อาหารสัตว์ที่มีคุณภาพตามความต้องการของสัตว์ตามหลักวิชาการ รวมทั้งตรวจสอบสารพิษและเชื้อโรคที่อาจเกิดจากการปนเปื้อนในขบวนการผลิตอาหารสัตว์ ซึ่งผู้ประกอบการผลิตอาหารสัตว์จะต้องปรับปรุงและพัฒนาการผลิตให้ถูกต้องตามกฎหมาย

เมื่อพิจารณาถึงการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตอาหารสัตว์นั้น การผลิตอาหารสัตว์โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบไม่วัตถุดิบแต่ละชนิดก่อนแล้วค่อยนำมาผสมกัน (Pre Grinding) และแบบที่ผสมวัตถุดิบทั้งหมดไว้รวมกันก่อนและค่อยไม่รวมกัน (Post Grinding) โดยแบบที่ผสมวัตถุดิบทั้งหมดไว้รวมกันก่อนและค่อยไม่รวมกัน จะได้ตัว

วัตถุดิบหลัง โม่เสร็จมีความละเอียดกว่าแบบแรก จึงเป็นที่นิยมมากกว่า และกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ในแต่ละชนิดหรือในแต่ละโรงงานก็จะมีเหมือนและแตกต่างกันไป โดยส่วนใหญ่แล้วที่เหมือนกันก็จะมีกระบวนการผลิตแบบคร่าวๆ คือ ชั่งวัตถุดิบตามสูตร การผสมหยาบ การโม่ละเอียด การผสมละเอียด การอัดเป็นเม็ด การนึ่ง การอบแห้ง การระบายความร้อน คัดแยกฝุ่น การขบเม็ดอาหาร (เฉพาะอาหารบางชนิด) และการบรรจุ (Mommer and Mommer, 1998) ซึ่งจากการศึกษาและทำการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์พบว่า หลังจากขั้นตอนการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นนั้น เมื่อทำการตรวจสอบด้วยการชั่งน้ำหนักจะพบว่าน้ำหนักของวัตถุดิบที่ได้สูญเสียไปเป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักในขั้นตอนการผสม ซึ่งเมื่อคิดเป็นมูลค่าแล้วพบว่าเป็นการสูญเสียที่ส่งผลกระทบต่อผลประโยชน์ที่ควรได้รับของบริษัทเป็นอย่างมาก โดยความชื้นที่หายไปนี้เป็นความชื้นที่มาจากวัตถุดิบก่อนผสมและในขั้นตอนการผสมละเอียดที่จะมีการผสมน้ำหรือวัตถุดิบที่เป็นของเหลวลงไปด้วย ซึ่งจากปัญหาที่พบในระหว่างการศึกษาและเก็บข้อมูลทำให้สามารถทำการวิจัยเพื่อที่จะควบคุมความชื้นของอาหารที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต โดยมุ่งเน้นไปที่การหาสาเหตุต่างๆ ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความชื้นของอาหารสัตว์ เนื่องจากการที่ความชื้นของอาหารสัตว์ได้สูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิตนั้นส่งผลกระทบต่อความสามารถ (Capacity) ของการผลิต (Moritz et al., 2001) และยังคงส่งผลไปยังต้นทุนที่สูงขึ้นอันเนื่องมาจากอาหารมีน้ำหนักน้อยลง

ดังนั้นถ้าสามารถบ่งบอกถึงปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความชื้นของอาหารสัตว์ ก็จะสามารถควบคุมปัจจัยเหล่านั้นได้ เพื่อหาวิธีการลดการสูญเสียความชื้นที่มาจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพความสม่ำเสมอในการผลิต และผลกำไรที่บริษัทควรจะได้รับ (Moritz et al., 2002)

## วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการควบคุมความชื้นของกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม
2. เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่สามารถลดปริมาณการสูญเสียความชื้นของอาหารสัตว์ที่เกิดจากปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์และเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ สามารถผลิตได้เต็มความสามารถ (Capacity)

## สมมติฐาน

การควบคุมกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ประเภทอาหารกึ่งกลูตาด้วยปัจจัยที่เหมาะสม เช่น ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ใช้ในขั้นตอนของ Wet Mix อุณหภูมิของไอน้ำที่ Conditioner ของเครื่องอัดเม็ด อุณหภูมิของหม้อนึ่ง และ อุณหภูมิของการอบแห้ง เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดการสูญเสียความชื้นที่มาจากปัจจัยต่างๆ สามารถผลิตได้เต็มความสามารถ (Capacity) และยังสามารถส่งผลไปถึงกำไรที่เพิ่มขึ้น

## วิธีการศึกษา

1. **ระบุปัญหา** เนื่องจากอัตราที่ความชื้นของอาหารได้สูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิตนั้นส่งผลกระทบต่อ ความสามารถ (Capacity) ของการผลิต และยังส่งผลไปถึงต้นทุนที่สูงขึ้นอันเนื่องมาจากอาหารกึ่งกลูตามีน้ำหนักน้อยลง เป็นต้น จากการศึกษาแล้วว่าถ้าสามารถบ่งบอกถึงปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ

ความชื้นของอาหารกึ่งกลูตาและสามารถควบคุมปัจจัยเหล่านั้น จะส่งผลให้ลดการสูญเสียอันเนื่องมาจากอาหารกึ่งกลูตามีน้ำหนักน้อยลง จึงได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อความชื้นดังแผนภาพก้างปลา (รูปที่ 1)

2. **ชั้นเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต** ปัจจัยป้อนเข้าที่นำมาวิเคราะห์จากการวิเคราะห์ปัจจัยป้อนเข้าของทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตอาหารกึ่งกลูตา โดยการระดมสมองของผู้จัดการโรงงาน หัวหน้าฝ่ายผลิต หัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม และบุคคลที่เกี่ยวข้อง ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละกระบวนการผ่านแผนภาพก้างปลาสามารถกำหนดปัจจัยป้อนที่มีคุณสมบัติต่อความชื้นคือ

2.1 **การเติมน้ำ (W)** ในขั้นตอนของ Wet Mix ซึ่งในกระบวนการนี้จะทำการผสมน้ำลงไป 20 กิโลกรัม ซึ่งมีผลต่อความชื้นโดยตรง

2.2 **อุณหภูมิของไอน้ำที่ Conditioner** ของเครื่องอัดเม็ด ในขั้นตอนของการอัดเม็ดนั้น จะต้องมีการนำไอน้ำมาคลุกเคล้ากับวัตถุดิบที่ใช้ทำอาหารกึ่งเสียดก่อนเพื่อคุณสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสม โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำได้

2.3 **อุณหภูมิของหม้อนึ่ง (S)** ในขั้นตอนของการนึ่งอาหารกึ่งกลูตามัน การกำหนดอุณหภูมิการนึ่งเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากมีผลต่อความชื้น โดยความชื้นของอาหารจะเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน

2.4 **อุณหภูมิของการอบแห้ง (T)** จะส่งผลกระทบต่อความชื้นโดยตรง คือถ้าใช้อุณหภูมิของการอบสูง ความชื้นก็จะหายไปมาก แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปอาหารก็จะไม่แห้ง และเกิดเชื้อราขึ้น

2.5 **อัตราการป้อน** ของเครื่องอัดเม็ด ซึ่งจะส่งผลต่อความชื้น แต่ไม่ใช่ผลกระทบโดยตรง เนื่องจากไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือการเพิ่มหรือลดความชื้นเข้าไปโดยตรง

2.6 **สภาพอากาศ** มีผลกระทบเช่นเดียวกัน แต่จะไม่นำมาใช้ในการออกแบบการทดลอง เนื่องจากไม่สามารถควบคุมได้

**2.7 ปัจจัยอื่นๆ** เช่น สภาพของเครื่องจักรที่อาจเกิดความชำรุดเสียหาย การทำงานของพนักงานที่อาจเกิดความผิดพลาด ไฟฟ้าดับ หรืออุบัติเหตุต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น เป็นต้น

จากปัจจัยป้อนเข้าทั้งหมดที่มีผลต่อความชื้นสามารถเลือกปัจจัยที่ควบคุมได้ และมีแนวโน้มส่งผลมากที่สุดจำนวน 4 ปัจจัยได้แก่ การเติมน้ำ อุณหภูมิของไอน้ำที่ Conditioner อุณหภูมิของหม้อนึ่ง และอุณหภูมิของการอบแห้ง ตามตารางที่ 1 แสดงช่วงการดำเนินงานในปัจจุบันของปัจจัยป้อนเข้าสำหรับการผลิตอาหารกุ้งกุลาดำ

**3. ขั้นตอนการเลือกตัวแปรผลตอบ** หลังจากที่ได้ทำการคัดเลือกปัจจัยป้อนเข้า ที่คาดว่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น ในขั้นตอนการดำเนินงาน คือ การเลือกตัวแปรผลตอบ โดยที่ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่ทำการศึกษา

### 3.1 ตัวชี้วัดของโครงการ (Project Metric)

จากการพิจารณาความชื้นที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการนั้น จะมีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 10.0-12.0 % (มาตรฐานเปียก) จากการศึกษาพบว่าความชื้นหายไป ในระหว่างกระบวนการผลิตต่างๆ ทำให้ความชื้นน้อยกว่าที่กำหนดและทำให้อาหารกุ้งที่ผลิตได้มีน้ำหนักต่ำกว่าน้ำหนักของวัตถุดิบที่นำมาทำการผลิต ดังนั้นตัวชี้วัดในโครงการนี้คือ การเพิ่มค่าความชื้นของอาหารกุ้งกุลาดำในกระบวนการสุดท้ายให้ได้มากกว่าเดิมและความสามารถในการผลิตอาหารกุ้ง ทำให้ได้น้ำหนักของอาหารกุ้งเพิ่มขึ้น

### 3.2 บทสรุปผลการดำเนินการวิจัยในการเลือกตัวแปรผลตอบ

จากผลการสำรวจกระบวนการผลิตอาหารกุ้งกุลาดำของโรงงานพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นคือความชื้นลดลงซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตที่จะต้องสูงขึ้นเพื่อไปชดเชยความชื้นของอาหารกุ้งที่หายไป จึงได้ทำการวางแผนการทดลองเพื่อการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยควบคุมปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความชื้น เพื่อให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นของอาหารสัตว์มีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง 10.0-12.0 % (มาตรฐานเปียก)

## 4. ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

### 4.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด

ก่อนที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจ ต้องมีการตรวจสอบข้อมูลเหล่านั้น สามารถอธิบายความผันแปรของกระบวนการได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อเป็นการประเมินความถูกต้องและความแม่นยำ โรงงานได้มีการตรวจสอบเครื่องมือวัดอยู่เป็นประจำ ปีละ 3 ครั้ง โดยวิธีการหาความชื้น 2 ลักษณะ แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกัน

### 4.2 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต

การทดลองเพื่อเพิ่มความชื้น จะทำการพิจารณาความผันแปรในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และความผันแปรตลอดช่วงเวลา ความสามารถของกระบวนการผลิตนี้จะใช้ความชื้นเป็นตัวบ่งชี้โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

4.2.1 ทำการสุ่มเลือกวัดค่าความชื้นจากกระบวนการต่างๆ ที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดเฉพาะของการผลิต เครื่องจักรที่มีความพร้อมในการปฏิบัติ และตรงตามที่กำหนดจากห้องทดลอง และพนักงานผลิตที่ปฏิบัติงานประจำเครื่องที่ผ่านการฝึกอบรม

4.2.2 ทำการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุม Xbar-R

4.2.3 ทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการโดยใช้โปรแกรมมินิแทป

### 4.3 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยป้อนเข้าที่มีผลต่อความชื้น

ใช้การทดสอบแบบ T-Test เพราะการทดสอบแบบ T-Test สามารถใช้ได้กับกรณีที่มีการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ละหนึ่งปัจจัย และมีระดับของปัจจัย (Level of factor ) เท่ากับสองระดับเท่านั้น (Chowdhury and Gopal, 2000) และยังมีผลกระทบต่อสายการผลิตที่ผลิตงานปัจจุบันน้อยที่สุดอีกด้วย การทดลองสำหรับปัจจัยที่ 1 กำหนด ให้ปัจจัยตัวอื่นคงที่ตามกระบวนการผลิตปกติดังตารางที่ 2 หลังจากทำการผลิตแล้วจำนวน 1 ตัน ทำการวัดค่าความชื้นมาตรฐานเปียก (%) โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นการเติมน้ำที่กระบวนการผสมเปียกเท่ากับ

20 กก. และกลุ่มที่ 2 เป็นการเติมน้ำที่กระบวนการผสมเปียกเท่ากับ 30 กก. ทำการเลือกรูปทรงของ  $\tau$  โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

4.3.1 ทดสอบความปกติของข้อมูลโดยใช้ Normality Test โดยการแยกทดสอบในแต่ละข้อมูลจากการทดลอง

4.3.2 ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยการทดสอบความแตกต่างกันของค่าความแปรปรวน (Test for Equal Variances) ของข้อมูลจากการทดลอง ทำการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย โดยใช้การทดสอบ T-Test ทำซ้ำขั้นตอนเดิมในปีจจัยที่ 2, 3 และ 4 จนครบ จึงทำการสรุปผลการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนการวิเคราะห์โดยกำหนดระดับแต่ละปัจจัย (Mongomery, 1996)

**4.4 การออกแบบการทดลองเพื่อหาอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย และจุดที่ให้ผลตอบดีที่สุด**

โดยใช้การทดลอง  $2^k$  แฟคทอเรียล (The  $2^k$  Factorial Design) โดยมีขั้นตอนการออกแบบขนาดของการทำการทดลองซ้ำ ในการออกแบบจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดลองครั้งนี้ได้ทำโดยใช้โปรแกรมมินิแทป ซึ่งการคำนวณหาค่าขนาดสิ่งตัวอย่างที่เหมาะสมเป็นดังต่อไปนี้ (ปารเมศ, 2545)

4.4.1 กำหนดความผิดพลาดประเภทที่ 1 ( $\alpha$ ) ซึ่งในทางปฏิบัติค่านี้เป็นค่าที่กำหนดแน่นอนไม่ได้ เพียงแต่ประมาณได้เท่านั้น ซึ่งในการทดลองนี้ผู้วิจัยใช้ค่าอ้างอิงที่ 5% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05

4.4.2 กำหนดขนาดของการทำการทดลองซ้ำ (Replication : n) ซึ่งสามารถทำการทดลองได้จริงโดยพิจารณาจากผลกระทบกับการผลิตและต้นทุนที่ใช้

4.4.3 กำหนดความแตกต่างมากที่สุดของค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ (D) หมายถึงค่าความแตกต่างมากที่สุดของค่าเฉลี่ยทรีตเมนต์ใดๆ 2 ทรีตเมนต์ ทำให้เกิดปฏิเสชนสมมติฐาน ซึ่งในการทดลองครั้งนี้กำหนดให้ค่า D มีค่าเท่า 0.5 ซึ่งได้มาจากความแตกต่างสูงสุดที่ยอมรับให้คลาดเคลื่อนไปจากค่าเฉลี่ยของช่วงมาตรฐาน

4.4.4 ค่าความผันแปรของกระบวนการ ( $\sigma$ ) ซึ่งจากข้อมูลในอดีตซึ่งได้จากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต ซึ่งวิเคราะห์จากเปอร์เซ็นต์ของความชื้น พบว่ามีค่าประมาณ 0.13

ทำการทดลองโดยใช้การทดลอง  $2^k$  แฟคทอเรียล โดยกำหนดค่าปัจจัยต่างๆในการทดลอง ทำโดยวิเคราะห์คุณสมบัติของข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยการตรวจสอบคุณสมบัติ ของข้อมูลว่าเหมาะสมหรือไม่ (Model adequacy) โดยใช้การวิเคราะห์เศษเหลือ (Residual analysis) และวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากการทดลองแบบ  $2^k$  แฟคทอเรียล

## ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของกระบวนการผลิต นำข้อมูลที่ได้ นำมาพล็อตแผนภูมิควบคุมดังรูปที่ 2 พบว่าแผนภูมิควบคุม  $\bar{X}$  ไม่มีจุดที่ออกนอกช่วงการควบคุมแสดงว่ากระบวนการผลิตมีเสถียรภาพและความผันแปรของข้อมูลที่เก็บเป็นความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ ดังนั้นข้อมูลจึงมีคุณภาพเพียงพอที่จะดำเนินการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการต่อไป ทำการวัดความสามารถของกระบวนการของข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาทำการวิเคราะห์จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า  $C_p$  เท่ากับ 0.76 และ  $C_{pk}$  เท่ากับ 0.20 ซึ่งเป็นดัชนีวัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการมีค่าไม่สูงแสดงว่ากระบวนการมีสมรรถนะไม่สูงมากนัก

ผลวิเคราะห์คุณสมบัติของข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยการตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลว่าเหมาะสมหรือไม่ (Model adequacy) โดยใช้การวิเคราะห์เศษเหลือ (Residual analysis) ดังรูปที่ 4

I Chart of Residual แสดงว่าข้อมูลจากการทดลองทุกตัวอยู่ภายใต้พิสัยควบคุมแสดงว่าข้อมูลมีลักษณะสุ่ม (มยุรี, 2545)

Normal Plot of Residual แสดงว่าข้อมูลมีลักษณะการเรียงตัวเป็นเส้นตรง และ จากรูปที่ 5 พบว่า P-Value มีค่า 0.082 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 และ

A-squared ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.654 มีค่าน้อยดังนั้น ข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงน้อย แสดงว่าข้อมูลที่นำมา ทำการวิเคราะห์มีความปกติ (รัชนี, 2548)

ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลอง แบบ  $2^k$  แฟกทอเรียลมีคุณสมบัติเพียงพอ ที่จะนำไป วิเคราะห์ผลการทดลองต่อได้ คือมีคุณสมบัติความสม่ำเสมอ เป็นปกติและความแปรปรวนมีความเสถียร

จากรูปที่ 6 และ 7 เมื่อพิจารณาผลของ อิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่าง 4 ปัจจัยพบว่าค่า P มีค่าเท่ากับ 0.044 ซึ่งมีค่าน้อย แสดงว่าผลของปัจจัย ร่วมระหว่าง 4 ปัจจัยมีผลต่อค่าความชื้น และเมื่อ พิจารณาอิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยพบว่าค่า P มีค่าเท่ากับ 0.244 ซึ่งมีค่ามาก แสดงว่าผลของ ปัจจัยร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยมีผลต่อค่าความชื้นอย่าง ไม่นับนัยสำคัญแต่ไม่สามารถตัดออกได้ เนื่องจาก อิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่าง 3 และ 4 ปัจจัยมีผล ต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้น เมื่อพิจารณาค่า P ของปัจจัยหลักแต่ละตัวพบว่าค่า P ของปัจจัยหลักทุกตัวมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปัจจัยหลักทุกตัวมีผลต่อค่าความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น และปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อค่าความชื้นอย่าง มีนัยสำคัญได้ตามสมการที่ 1

$$\begin{aligned} \text{สมการที่ 1 } \% M &= 11.7110 + 0.3056(W) + 0.1981(C) \\ &- 0.2527(S) - 0.1752 (D) \\ &- 0.1765(W \times C \times S \times D) \end{aligned}$$

สมการที่ 1 นี้เป็นสมการของรูปของตัวแปรรหัส (Coded variables) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความชื้น (Moisture:M) ปริมาณการเติมน้ำ (กิโลกรัม) อุณหภูมิของไอน้ำที่ Conditioner (°C) อุณหภูมิของ หม้อนึ่ง (°C) อุณหภูมิของการอบแห้ง (°C) และ อิทธิพลร่วม 4 ปัจจัย ซึ่งสามารถคำนวณค่าความชื้น ณ ค่าที่กำหนดในปัจจุบันของปัจจัยทั้ง 4 โดยทำการ แปลงตัวแปรรหัส (Coded variables) ให้เป็นตัวแปร ธรรมชาติ (Natural variables) จากการวิเคราะห์รูปที่ 6 และ 7 ซึ่งแสดงผลของอิทธิพลหลักและอิทธิพล

ร่วมของ 4 ปัจจัย พบว่ามีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญ

จากรูปที่ 8 บริเวณที่ทำให้ค่าความชื้นสูงสุด ที่ 12% คือบริเวณที่ระดับของค่าปัจจัยต่างมีค่าต่างๆ ดังนี้

1. ปริมาณการเติมน้ำ อยู่ที่ระดับ 0.0 ของ ตัวแปรเข้ารหัส นั่นคือ เติมน้ำ 25 กิโลกรัม
2. อุณหภูมิของไอน้ำที่ Conditioner อยู่ที่ระดับ 0.0 ของตัวแปรเข้ารหัส นั่นคือ อยู่ที่ 82.5 °C
3. อุณหภูมิของหม้อนึ่ง อยู่ที่ระดับ - 0.2829 ของตัวแปรเข้ารหัส นั่นคือ ลดอุณหภูมิลงอีก 5.4 °C
4. อุณหภูมิของการอบแห้ง อยู่ที่ระดับ - 1.0 ของตัวแปรเข้ารหัส นั่นคือ ใช้อุณหภูมิ 82 °C

จากรูปที่ 9 พบว่าแผนภูมิควบคุม Xbar ไม่มี จุดที่ออกนอกช่วงการควบคุมแสดงว่ากระบวนการ ผลิตมีเสถียรภาพและความผันแปรของข้อมูลที่เก็บก็ เป็นความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ ดังนั้นข้อมูลนี้ จึงมีคุณภาพเพียงพอที่จะไปดำเนินการวิเคราะห์ความ สามารถของกระบวนการต่อไปและจากรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่า Cp เท่ากับ 0.97 และ Cpk เท่ากับ 0.41 ซึ่งเป็นดัชนีวัดความสามารถด้านสมรรถนะของ กระบวนการมีค่าสูง แสดงว่ากระบวนการมี สมรรถนะสูง ซึ่งส่งผลทำให้ความชื้นของอาหาร สัตว์เพิ่มขึ้น 1.32% (มาตรฐานเปียก) และความ สามารถในการผลิตเพิ่มขึ้น 1.34 % ของน้ำหนัก ที่ผลิตได้ก่อนการปรับปรุง

## วิจารณ์ผลการศึกษา

1. จากผลการศึกษาบริเวณที่ทำให้ค่า ความชื้นสูงสุด คือบริเวณที่ระดับของค่าปัจจัยต่างๆ มีค่าดังนี้

- 1.1 ปริมาณการเติมน้ำ อยู่ที่ระดับ 0.0 ของตัวแปรเข้ารหัส นั่นคือ เติมน้ำ 25 กิโลกรัม
- 1.2 อุณหภูมิของไอน้ำที่ Conditioner อยู่ ที่ระดับ 0.0 ของตัวแปรเข้ารหัส นั่นคือ อยู่ที่ 82.5 °C
- 1.3 อุณหภูมิของหม้อนึ่ง อยู่ที่ระดับ -0.2829 ของตัวแปรเข้ารหัส นั่นคือ อยู่ที่ 95.6 °C
- 1.4 อุณหภูมิของการอบแห้ง อยู่ที่ระดับ -1.0 ของตัวแปรเข้ารหัส นั่นคือ ใช้อุณหภูมิ 82 °C

2. จากการทดลองเพื่อยืนยันผล พบว่าระดับของปัจจัยทั้ง 4 ที่ได้จากการทดลองสามารถเพิ่มค่าความชื้นจาก 10.26% เป็น 11.58% และจากผลการทดลองพบว่า เมื่อคำนวณเป็นตันแล้ว น้ำหนักสุดท้ายของอาหารกึ่งที่ได้ต่อวัตถุดิบ 1 ตัน ที่ความชื้น 11.58% จะมีน้ำหนักเท่ากับ 995.8 กิโลกรัม

3. ต้นทุนที่ลดลงจากการปรับปรุงกระบวนการ โดยจากการทดลองสามารถเพิ่มน้ำหนักของอาหารกึ่งได้จากเดิมที่ความชื้นเท่ากับ 10.26% วัตถุดิบที่ใส่ไปจำนวน 1 ตัน เมื่อผลิตเสร็จแล้วจะได้น้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 982.6 กิโลกรัม ดังนั้นน้ำหนักจึงหายไป 17.4 กิโลกรัม แต่หลังจากทำการทดลองแล้วได้ความชื้นเพิ่มขึ้นมาเป็น 11.58% จะมีน้ำหนักสุดท้ายเท่ากับ 995.8 กิโลกรัม น้ำหนักจึงหายไปเพียง 4.2 กิโลกรัม ซึ่งสามารถลดน้ำหนักที่หายไปเนื่องมาจากความชื้นได้อีกถึง 13.2 กิโลกรัมต่อ 1 ตัน เดือนละ 9,240 กิโลกรัม คิดเป็นเงินที่สามารถลดไปได้เท่ากับ 184,800 บาทต่อเดือน

4. จากผลการทดลองการผลิตอาหารกึ่งกลาดำพบว่าปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ปัจจัยหนึ่งเกิดจากความชื้นของอาหารสัตว์ที่สูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งมีผลมาจากปัจจัยของปริมาณน้ำและอุณหภูมิในขณะผลิตของไอน้ำ หม้อนึ่ง และการอบแห้ง ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตอาหารสัตว์เพื่อให้ความชื้นของอาหารสัตว์อยู่ในช่วง 11-12 % (มาตรฐานเปียก) ซึ่งส่งผลถึงความสามารถในการผลิต ผู้ปฏิบัติงานจึงต้องทำการควบคุมระดับของค่าปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสม และสามารถปรับปรุงระดับค่าของปัจจัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ให้มีความสามารถสูงขึ้น โดยอาศัยระดับของปัจจัยที่ได้จากการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตอาหารกึ่งกลาดำเป็นแนวทางในการปรับปรุง

## เอกสารอ้างอิง

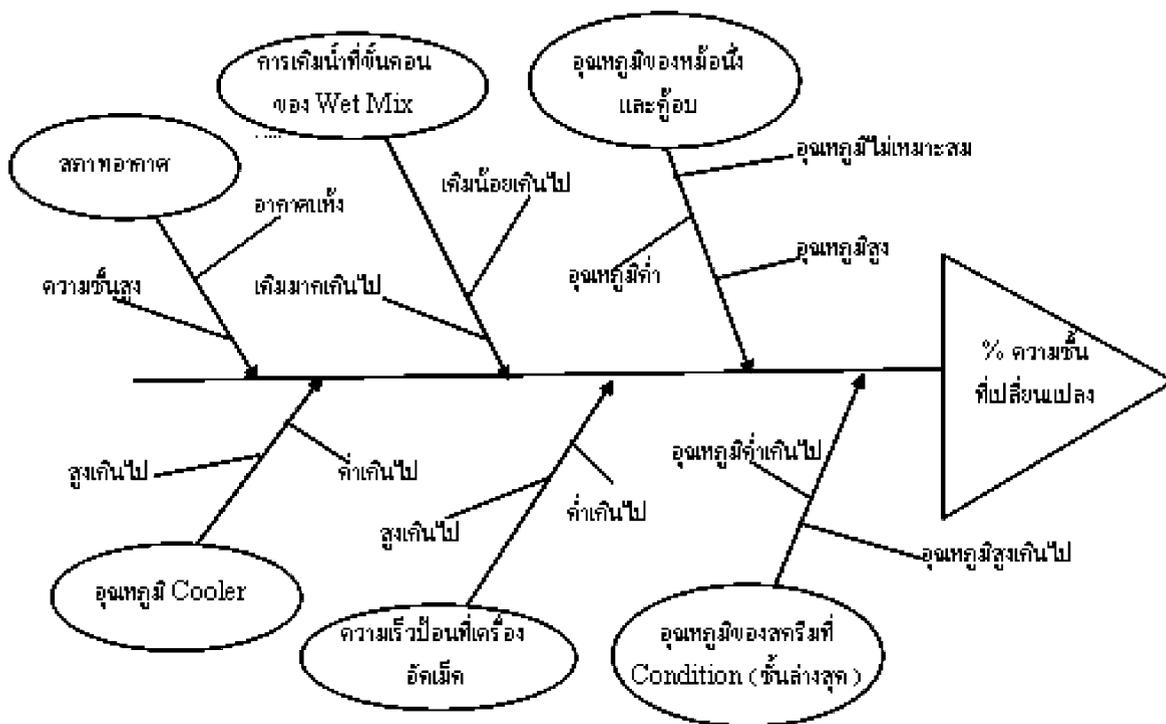
- Mommer, R.P., Jr. and D.J. Mommer. 1998. **A Guide to feed pelleting technology**. Johnstown,CO U.S.A :Uniscope,Inc.,
- Mongomery , D.C .1996. **Introduction To Statistical**. 3rd ed. . New York. Jonh Wilay & Sons.
- ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.
- มยุรี ศรีมีชัย. 2545. เทคนิคการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง.
- รัชณี ดิยพันธ์. 2548. การวิเคราะห์ความแปรปรวน. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Moritz, J. S., R. S. Beyer, K. J. Wilson, K. R.Cramer, L. J. McKinney, and F. J. Fairchild. 2001. Effect of moisture addition at the mixer to a corn-soybean-based diet on broiler performance. **J. Appl. Poult. Res.**10:347-353.
- Moritz, J. S., K. J. Wilson, K. R. Cramer, R. S. Beyer, L. J. McKinney, W. B. Cavalcanti, and X. Mo. 2002. Effect of formulation density, moisture and surfactant on feed manufacturing, pellet quality and broiler performance. **J. Appl. Poult. Res.** 11:155-163.
- Chowdhury, K. K. and E.V. Gopal. 2000. Quality Improvement Through Design of Experiments:A case Study. **Quality Engineering.** 12(3) : 407-416.

ตารางที่ 1. การดำเนินงานในปัจจุบันของปัจจัยป้อนเข้าสำหรับการผลิตอาหารกึ่งกลาดำ

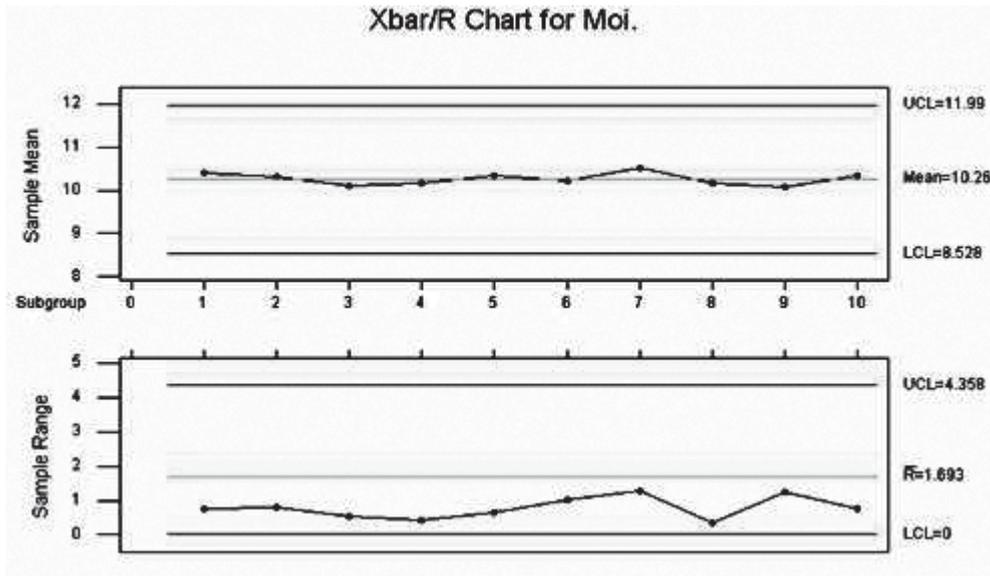
ปัจจัยป้อนเข้า	ช่วงการดำเนินงานในปัจจุบัน
1. การเติมน้ำ	20 - 30 กิโลกรัม
2. อุณหภูมิของไอน้ำที่ Conditioner	65 - 100 °C
3. อุณหภูมิของหม้อนึ่ง	82 - 120 °C
4. อุณหภูมิของการอบแห้ง	82 - 130 °C

ตารางที่ 2. ค่าปัจจัยคงที่ที่ใช้ในการทดลองปัจจัยที่ 1

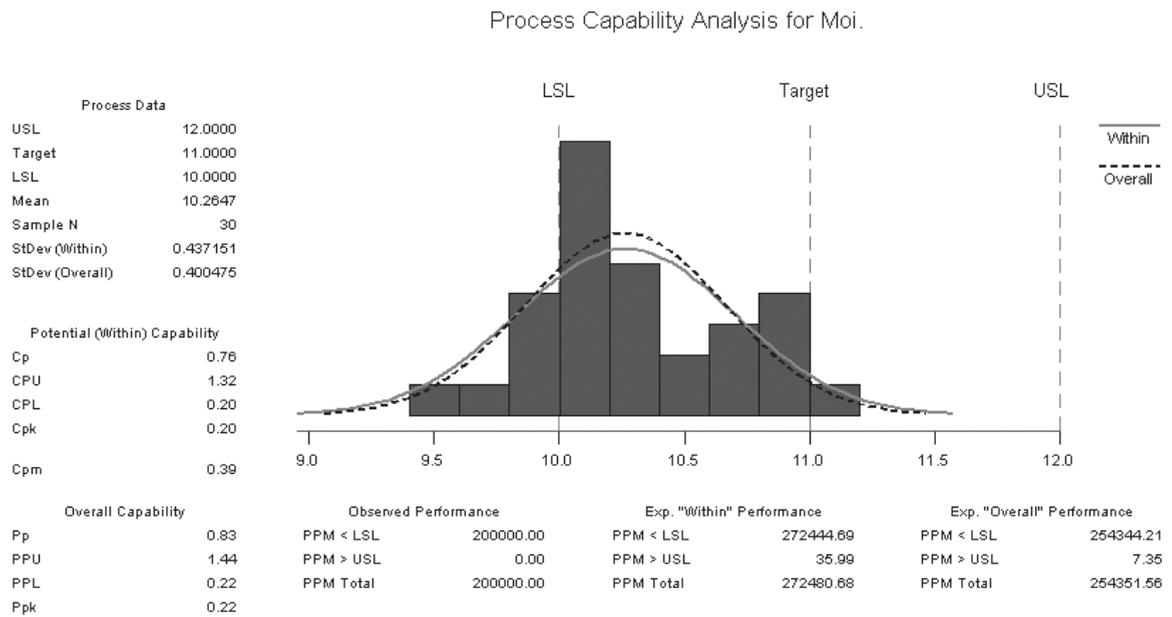
ปัจจัย	ช่วงที่ใช้งานจริงในปัจจุบัน	ค่าที่ตั้งสำหรับการทดลอง
1. อุณหภูมิของไอน้ำที่ Conditioner	65 - 100	82.5
2. อุณหภูมิของหม้อนึ่ง	82 - 120	101
3. อุณหภูมิของการอบแห้ง	82 - 130	106



รูปที่ 1. แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุที่คาดว่าจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไป

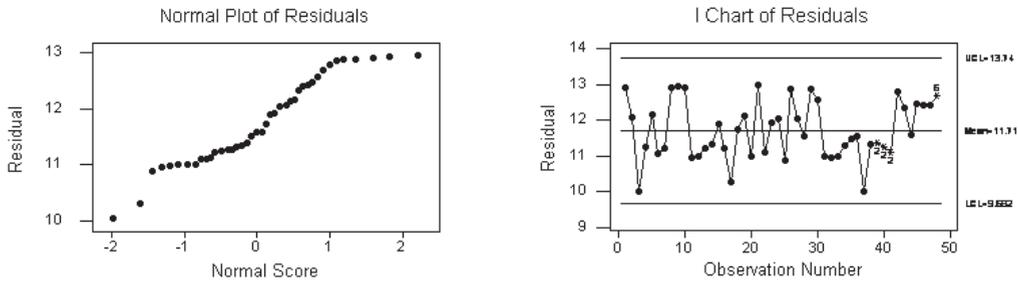


รูปที่ 2. แผนภูมิควบคุมเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ



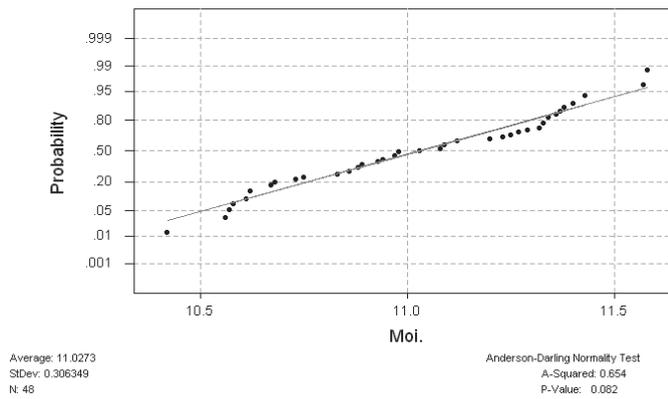
รูปที่ 3. ความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง

**Residual Model**



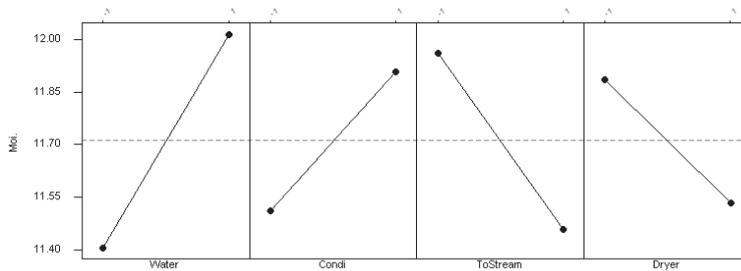
**รูปที่ 4.** Residual plot ของผลการทดลอง 2k แฟกทอเรียล

**Normal Probability Plot**

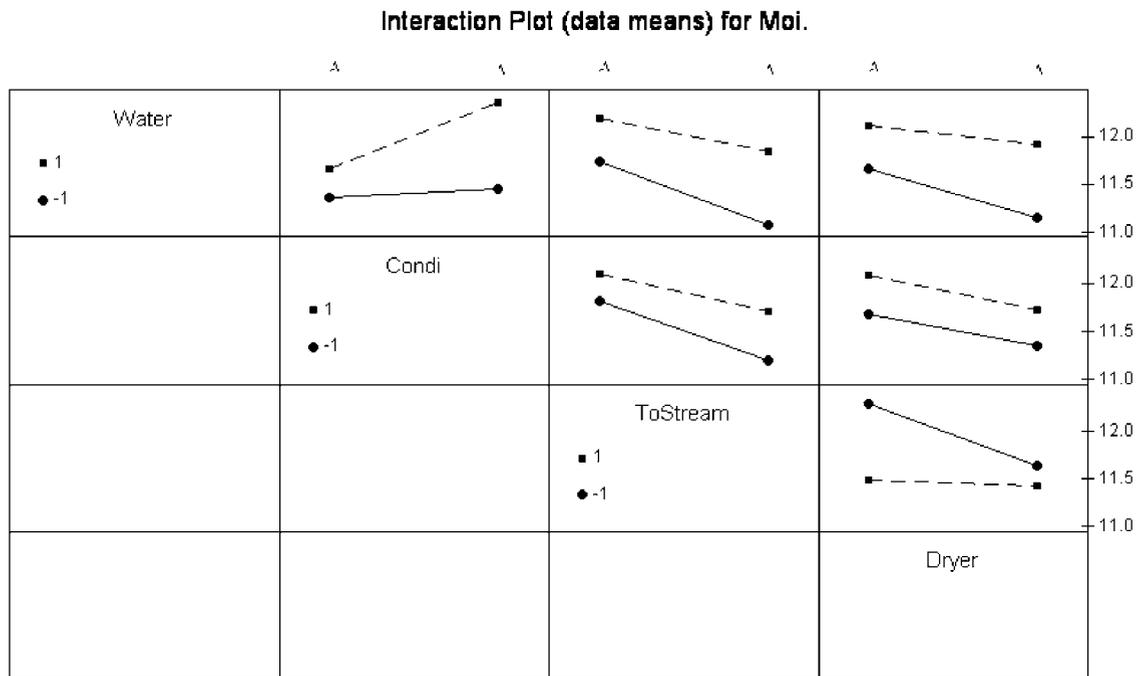


**รูปที่ 5.** ผลการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

**Main Effects Plot (data means) for Moi.**



**รูปที่ 6.** ผลของอิทธิพลหลัก



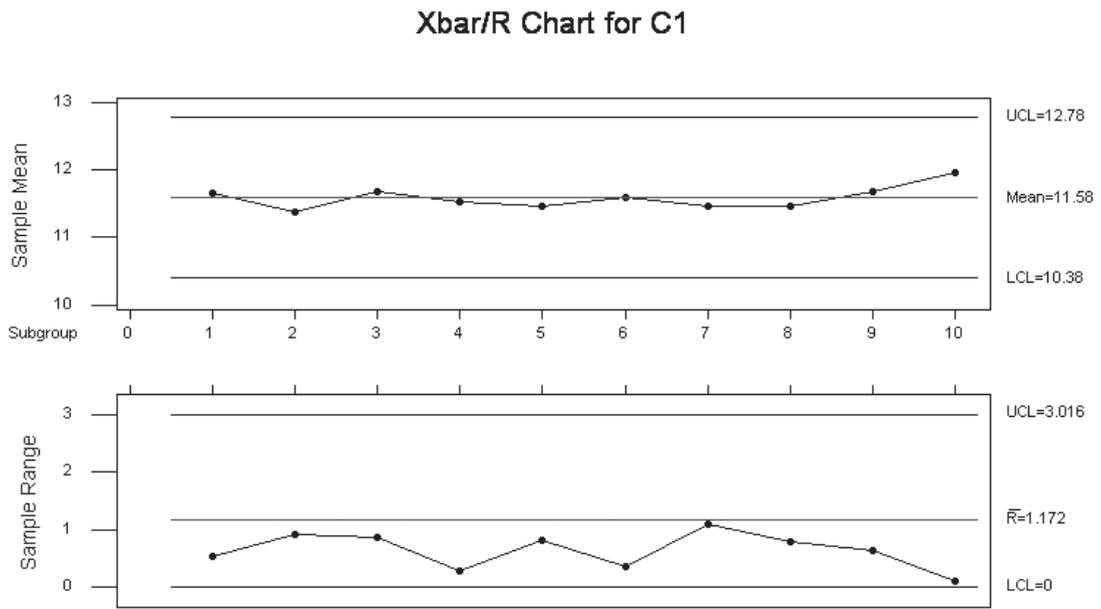
รูปที่ 7. ผลของอิทธิพลร่วมของ 4 ปัจจัย

Optimal		Water	Condi	ToStream	Dryer
D	Hi	1.0	1.0	1.0	1.0
1.0000	Cur	[0.0]	[0.0]	[-0.2829]	[-1.0]
	Lo	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

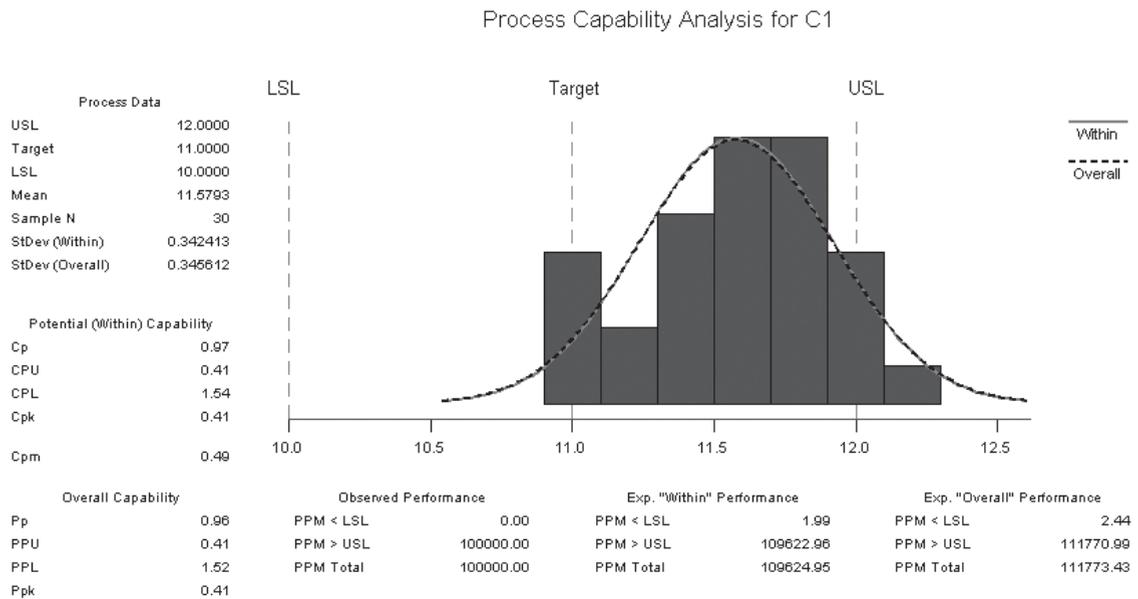
  

<p>Moi. Targ: 12.0 y = 12.0 d = 1.0000</p>				
--	--	--	--	--

รูปที่ 8. แสดงตำแหน่งของทั้ง 4 ปัจจัยที่ทำให้ผลการวัดค่าความชื้นสูงสุด



รูปที่ 9. แผนภูมิควบคุมของข้อมูลที่เก็บเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง



รูปที่ 10. ความสามารถของกระบวนการของข้อมูลเพื่อยืนยันผลการทดลอง