



194317 DESIGN OF ENGINEERING EXPERIMENTS

(การทดลองความสูกของไข)

กลุ่มที่ 7

นายพิสิทธิ์	บุญเฮ้า	553040382-7
นายธนวิษญ์	เลิศุฒิชัยกุล	553040057-8
นายณัฐภัทร	พวงทับทิม	583040510-7
นายเดชา	แสงวงษา	583040517-3
นายตะวัน	ตันตระกุล	583040519-9
นายธนพนธ์	แสงเทียน	583040525-4
นายปณณวัฒน์	เทียบมาก	583040561-0
นายพรหมเมศว์	ทรงทอง	583040577-5
นายพสธร	จันทร์เจริญ	583040579-1

ชื่อโครงการ การทดลองความสุขของไข่

ชื่อคณะผู้จัดทำ	นายพิสิทธิ์	บุญเฮ้า	553040382-7
	นายธนวิชญ์	เลิศวุฒิชัยกุล	553040057-8
	นายณัฐภัทร	พวงทับทิม	583040510-7
	นายเดชา	แสงวงษา	583040517-3
	นายตะวัน	ตันตระกุล	583040519-9
	นายธนพนธ์	แสงเทียน	583040525-4
	นายปณณวัฒน์	เทียบมาก	583040561-0
	นายพรหมเมศวร์	ทรงทอง	583040577-5
	นายพสธร	จันทร์เจริญ	583040579-1

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชาญณรงค์ สายแก้ว

บทคัดย่อ

โครงการทดลองความสูงของไข่ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความสูงในการต้มไข่ โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณา คือ ระดับน้ำ เวลา และอุณหภูมิ เพื่อนำความรู้ในรายวิชาการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมมาใช้และเพื่อหาระดับของปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการต้มไข่ โดย โครงการทดลองความสูงของไข่ ดำเนินงานในวันเสาร์ ที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2561 โดยทำการทดลองตามแผนงานที่กำหนด ซึ่งผลการดำเนินโครงการสำเร็จไปได้ด้วยดี ผลการวิเคราะห์การทดลองด้วยวิธี 2^k แฟคตอเรียล โดยออกแบบเป็น 2^3 แฟคตอเรียล 3 ปัจจัย แสดงให้เห็นว่ามีเพียงปัจจัยเดียวนั้นคืออุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อค่าความสูงของไข่ต้มอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำอุณหภูมิมาเป็นปัจจัยในการทดลองแบบปัจจัยเดียวโดยแบ่งอุณหภูมิออกเป็น 4 ระดับ และทำการทดลอง 4 ซ้ำโดยกำหนดเวลาในการต้ม 12 นาที และระดับน้ำ 0.8 ลิตร เพราะเป็นระดับของปัจจัยที่ทำให้ไข่สุกที่สุด ทางคณะผู้จัดทำได้นำแนวคิดทฤษฎีหลักการและแนวคิดของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม การออกแบบการทดลองเชิงแฟกตอเรียลแบบสองระดับและการออกแบบ 2^k ไปใช้ในการทำงาน ซึ่งทำให้การดำเนินโครงการผ่านไปได้ด้วยดี ทำให้บรรลุผลสำเร็จตามเป้าหมายได้และสำเร็จลุล่วงด้วยดีตรงตามวัตถุประสงค์

กิตติกรรมประกาศ

โครงการทดลองความสุขของไข่ สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณคือ ขอขอบคุณ อาจารย์ ผศ.ดร. ชาญณรงค์ สายแก้ว อาจารย์ผู้สอน วิชาสถิติและการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ เพื่อให้การเขียนสมบูรณ์ที่สุด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ที่อนุญาตให้ทางผู้จัดทำได้ไปดำเนินการตามแผนที่ได้วางไว้ รวมทั้งอนุเคราะห์ แนะนำ และให้คำปรึกษาในการดำเนินการ ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้ กำลังใจและมีส่วนช่วยเหลือให้โครงการฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายที่สุด คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำโครงการครั้งนี้ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

30 เมษายน 2561

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.1 แนวคิดที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 สมมติฐานของโครงการ	1
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 หลักการและแนวคิดของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม	2
2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ	3
2.3 การออกแบบ 2 k	4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	7
3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์	7
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	7
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	9
4.1 ผลการทดลอง 2^3 แฟคตอเรียล	9

4.2. ผลการทดลองปัจจัยเดียว	15
4.3. การเปรียบเทียบพหุคูณ	19
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	22
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ	22
5.2 อภิปรายผล	22
5.3 ข้อเสนอแนะ	22
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตาราง 4.1 ผลการทดลอง 2^3 แฟคตอเรียล	9
ตาราง 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสุขของไข่ต้ม	12
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองปัจจัยเดียว	15
ตารางที่ 4.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนในการทดสอบผลกระทบของอุณหภูมิต่อความสุขของไข่ต้ม	18

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยผลตอบแทนในแต่ละทริทเมนต์คอมบิเนชันของแผนการทดลองแบบ 2^3 แฟคตอเรียลในการทดลองต้มไข่	10
รูปที่ 4.2 ผลวิเคราะห์ความน่าจะเป็นแบบปกติของตัวประมาณของอิทธิพลทั้งหมด	11
รูปที่ 4.3 Pareto Chart ของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	11
การทดสอบความเพียงพอของรูปแบบ (ก)	13
การทดสอบความเพียงพอของรูปแบบ (ข)	13
การทดสอบความเพียงพอของรูปแบบ (ค)	13
การทดลองโดยใช้การตรวจสอบความเพียงพอของตัวแบบ (ก)	16
การทดลองโดยใช้การตรวจสอบความเพียงพอของตัวแบบ (ข)	16
การทดลองโดยใช้การตรวจสอบความเพียงพอของตัวแบบ (ค)	17

บทที่ 1

บทนำ

1.แนวคิดที่มาของโครงการ

เนื่องจากในชีวิตประจำวันมีความจำเป็นที่ต้องประกอบอาหารอยู่บ่อยครั้งและสามารถนำไปประกอบอาชีพได้ โดยมีเมนูที่ง่ายและยากแตกต่างกันออกไป โดยทางกลุ่มของเราได้เลือกเมนูอาหารคือไข่ต้ม ซึ่งในการต้มไข่มีปัจจัยดังนี้ อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณของน้ำ เวลาในการต้ม เป็นต้น เพื่อที่จะให้ได้ไข่ออกมาในความสุขที่ต้องการนั้นจำเป็นจะต้องมีปัจจัยที่เหมาะสม ทางผู้จัดทำจึงนำมาเป็นหัวข้อโครงการ

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

2.1 เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความสุขในการต้มไข่ โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณา คือ ระดับน้ำ เวลา และ อุณหภูมิ

2.2 เพื่อนำความรู้ในรายวิชาการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมมาใช้

2.3 หาระดับของปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการต้มไข่

3.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

3.1 ได้รู้ถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสุขในการต้มไข่

3.2 เพื่อให้สามารถประหยัดทรัพยากรในการต้มไข่โดยให้ได้ระดับความสุขของไข่ที่ต้องการ

4.สมมติฐานของโครงการ

4.1 คาดว่าปัจจัยที่มีผลต่อความสุขของไข่ คือ อุณหภูมิ และเวลา

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและแนวคิดของการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ Montgomery (2005) ซึ่งจะทำให้ผู้วิเคราะห์สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติที่จำเป็น หากต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เราได้อยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับ ความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่ Montgomery (2005) จะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับ ปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติซึ่งศาสตร์ทั้งสองนั้นมีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้ หลักการพื้นฐาน 3 ประการของการออกแบบการทดลองคือ เพลลิเคชัน (Replication) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิง (Blocking) ในที่นี้เรากำหนดว่า เพลลิเคชัน หมายถึง การทดลองซ้ำ เพลลิเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเพลลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ย (ตัวอย่างเช่น) ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเพลลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

แรนดอมไม่เซชันเป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง
 แรนดอมไม่เซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบ
 สุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลหรือความผิดพลาดจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจาย
 แบบอิสระ แรนดอมไม่เซชันจะทำให้สมมุติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไม่เซชันการทดลอง ทำให้เราสามารถลด
 ผลของปัจจัยภายนอก เนื่องจากปัจจัยรบกวนต่างๆที่จะมีผลกับการทดลอง

บล็อกกิง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอีกหนึ่งอาจจะ
 หมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ
 การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง

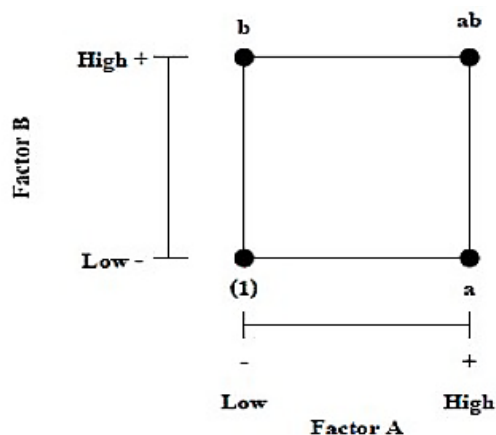
2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย ซึ่งเราต้องการที่จะ
 ศึกษาถึงผลรวมที่มีต่อผลตอบซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น กรณิพิเศษของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่มี
 ความสำคัญมากที่สุดคือ กรณีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจาก
 ข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพได้ เช่น
 เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และใน 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ สูงหรือต่ำ ของปัจจัยหนึ่งๆหรือการ มี
 หรือไม่มีของปัจจัยนั้นๆได้ใน 1 เรฟลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2
 $\times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ ข้อมูลและเราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลการออกแบบ
 2^k มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบ
 เช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่าง
 บริบูรณ์โดยใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ดังนั้นจึงไม่แปลกใจเลยว่าการออกแบบ 2^k จะถูกนำมาใช้

อย่างแพร่หลายเพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้เหลือน้อยลง เนื่องจากแต่ละปัจจัยของการทดลองแบบ 2k ประกอบด้วย 2 ระดับ เราขอสมมติว่าผลตอบที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดช่วงของระดับปัจจัยที่เลือกขึ้นมาทำการทดลองซึ่งสมมติฐานเช่นนี้เป็นสิ่งที่ยอมรับได้สำหรับการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเมื่อเราเพิ่งเริ่มต้นศึกษา

2.3 การออกแบบ 2k

การออกแบบ 2k ชนิดแรกที่จะกล่าวถึง คือ การออกแบบที่ประกอบด้วย 2 ปัจจัย A และ B แต่ละปัจจัย ประกอบด้วย 2 ระดับ การออกแบบชนิดนี้เรียกว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2k ระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่ ต่ำและสูง ตามปกติแล้วเราจะแสดงผลของปัจจัยด้วยตัวอักษรลาตินตัวใหญ่นั้น A จะแทนผลของปัจจัย A B แทนผลของปัจจัย B และ AB แทนอันตรกิริยาของ AB ในการออกแบบ 2k ระดับ ต่ำและสูง จะแทนด้วยเครื่องหมาย + และ - บนแกน A และ B ตามลำดับ



ผลของอันตรกิริยาของ AB คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างผลของ A ที่ B ระดับสูงกับผลของ A ที่ B ระดับต่ำ ซึ่งก็คือ

ในทางกลับกันเราอาจจะหาค่าของ AB ได้จากค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างผลของ B ที่

A ระดับสูงกับผลของ B ที่ A ระดับต่ำ ซึ่งจะให้ผลออกมาเช่นเดียวกับสมการ (2-29)

สมการของผลของ A, B และ AB อาจจะหาได้โดยวิธีอื่นอีก เช่นผลของ A สามารถหา

ได้จากความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบของการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสองบนด้านขามือ

ของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสในรูปที่ 2-3 (เรียกว่า) เนื่องจากมันคือค่าเฉลี่ยของผลตอบของการทดลอง

ร่วมปัจจัยที่ A มีค่าสูง) กับการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสองที่อยู่ทางด้านซ้ายมือ (เรียกว่า) นั่นคือ

ซึ่งผลที่ได้จะมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากสมการ (2-27) ทุกประการ ผลของ B ดังแสดงใน

สมการ (2-28) ก็สามารถหาได้จากผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบของการทดลองร่วมปัจจัยทั้ง

สองบนด้านบนของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (เรียกว่า) กับค่าเฉลี่ยของการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสองที่

อยู่ด้านล่าง (เรียกว่า) นั่นคือ

สุดท้ายผลของอันตรกิริยาของ AB หาได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลองร่วมปัจจัยจาก

ขวาไปซ้ายตามแนวเส้นทแยงมุมของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ab และ (1)) ลบด้วยค่าเฉลี่ยของการทดลอง

ร่วมปัจจัยจากซ้ายไปขวาตามแนวเส้นทแยงมุมของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (a และ b) หรือ

ซึ่งค่าที่ได้มีค่าเดียวกับสมการ (2-29) ทุกประการ

ในการทดลองที่เกี่ยวกับการออกแบบ 2k เราจะต้องตรวจสอบทั้งขนาดและทิศทางของ

ปัจจัยที่มีผลเพื่อที่จะหาว่า ตัวแปรตัวใดน่าจะเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดผลขึ้น และใช้การ

วิเคราะห์ความแปรปรวนมาเป็นตัวยืนยันข้อสรุปนั้น

พิจารณาผลรวมของกำลังสองของ A, B และ AB กำหนดให้ว่าคอนแทรสต์ที่จะใช้ใน

การประมาณผลของ A คือ

เราจะเรียกคอนแทรสต์นี้ว่า ผลทั้งหมด (Total Effect) ของ A จากสมการ (2-28) และ

(2-29) เราพบว่าคอนแทรสต์นี้ยังสามารถใช้ในการประมาณผลของ B และ AB ได้อีกด้วย

ยิ่งกว่านั้นคอนแทรสต์เหล่านี้ยังมีรูปแบบในเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) และผลรวมของกำลังสองของ

คอนแทรสต์ใดๆ จะหาได้จากคอนแทรสต์ยกกำลังสอง หาด้วยผลคูณของจำนวนของข้อมูล

ทั้งหมดที่อยู่ในคอนแทรสต์นั้น กับผลรวมกำลังสองของสัมประสิทธิ์ของคอนแทรสต์ ดังนั้น

ผลรวมของกำลังสองของ A, B และ AB สามารถเขียนได้ดังนี้

และผลรวมทั้งหมดของกำลังสองสามารถหาได้จาก

ปกติแล้ว จะมีระดับชั้นความเสรีเท่ากับ $4 - 1$ และค่าผิดพลาดของผลรวมของกำลังสองซึ่งมีระดับชั้นความเสรีเท่ากับ $4(- 1)$ สามารถคำนวณได้จาก

บทที่ 3

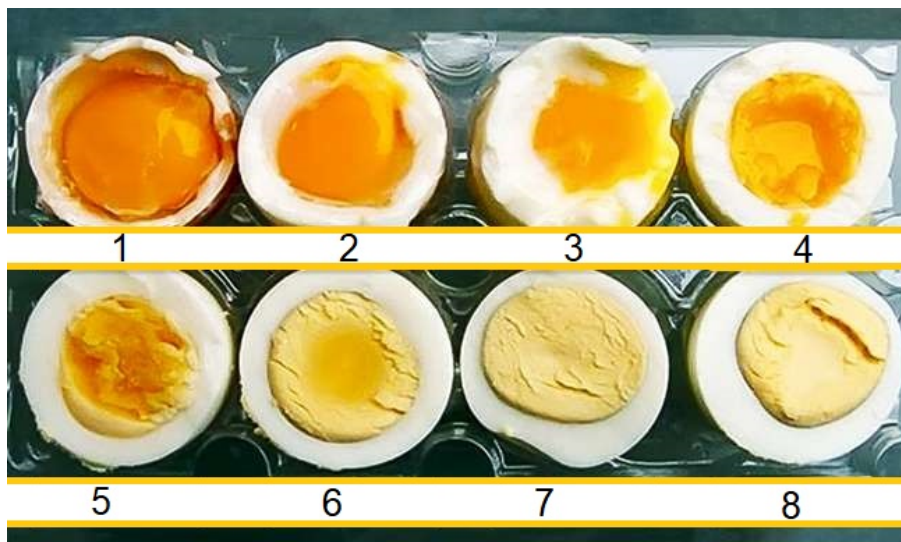
วิธีการดำเนินงาน

1. เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

- 1.1 หม้อหุงข้าว
- 1.2 เตาแก๊ส
- 1.3 แก๊สกระป๋อง
- 1.4 เทอโมมิเตอร์
- 1.5 ไข่
- 1.6 มีด
- 1.7 ช้อนตัก
- 1.8 น้ำเปล่า

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. การกำหนดปัญหา
2. การกำหนดตัวแปร เป็นการรวบรวม/กำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย
 - 2.1 ตัวแปรต้น คือ ปัจจัยที่นำมาพิจารณา ซึ่งแบ่งเป็น 3 ปัจจัย คือ
 - 1.อุณหภูมิ
 - 2.เวลา
 - 3.ระดับน้ำ
 - 2.2 ตัวแปรตาม คือ ผลตอบสนอง กำหนดเป็นความสุกของไข่ ซึ่งแบ่งเป็นตามระดับ ดังนี้



3. การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง งานวิจัยนี้ทำการทดลองต้มไข่ ซึ่งมีทั้งหมดจำนวน 3 ตัวแปร และทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคตอเรียล เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความสุกของไข่

4. การทดลอง

4.1 เตรียมไข่จำนวน 20 ฟองในขั้นต้น

4.2 ต้มไข่โดยควบคุมปัจจัยให้เป็นไปตาม Standard run ดังนี้

Run	A	B	C
1	-	+	-
2	+	+	-
3	-	-	-
4	+	-	-
5	-	+	+
6	+	+	+
7	-	-	+
8	+	-	+

โดย A คือ อุณหภูมิ ซึ่งมีระดับสูง(+)/ต่ำ(-) เป็น 80 องศาเซลเซียส และ 95 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

B คือ เวลา ซึ่งมีระดับสูง(+)/ต่ำ(-) เป็น 9 นาที และ 12 นาที ตามลำดับ

C คือ ระดับน้ำ ซึ่งมีระดับสูง(+)/ต่ำ(-) เป็น 0.4 ลิตร และ 0.8 ลิตร ตามลำดับ

4.3 จัดบันทึกผลการทดลอง

5. วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของระดับปัจจัย ถ้าผลการวิเคราะห์จากวิธีการทดลองแบบ 2^k แฟคตอเรียล ได้ปัจจัยที่มีผลตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปให้ใช้การเพิ่มจุดการทดลองใน 2^k แฟคตอเรียล ถ้าหากมีแค่ 1 ปัจจัย ให้ใช้การออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (One-Way ANOVA)

บทที่ 4

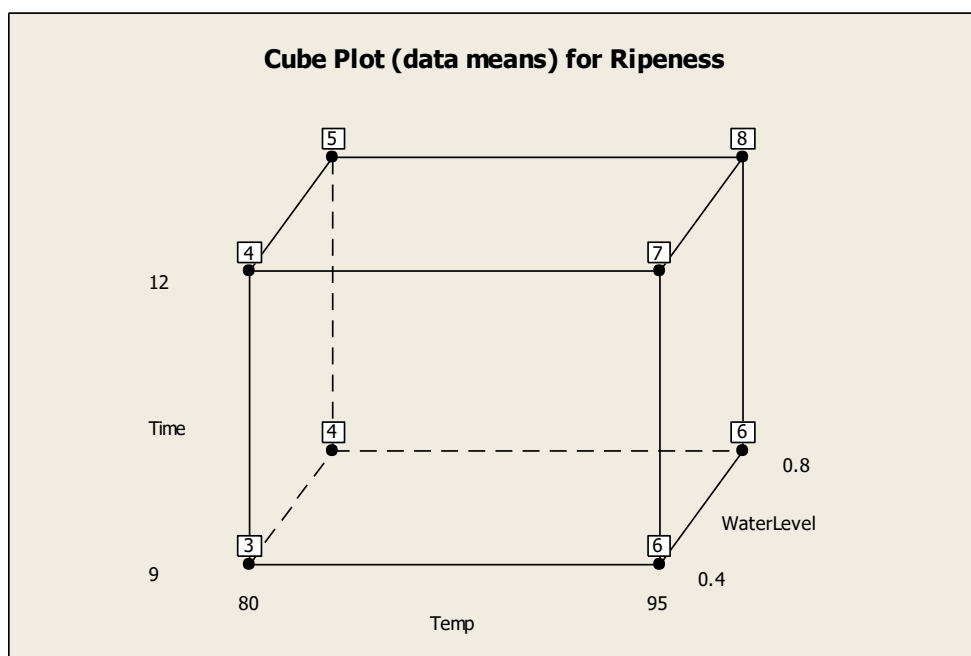
ผลการดำเนินงาน

1.ผลการทดลอง 2^3 แฟคตอเรียล

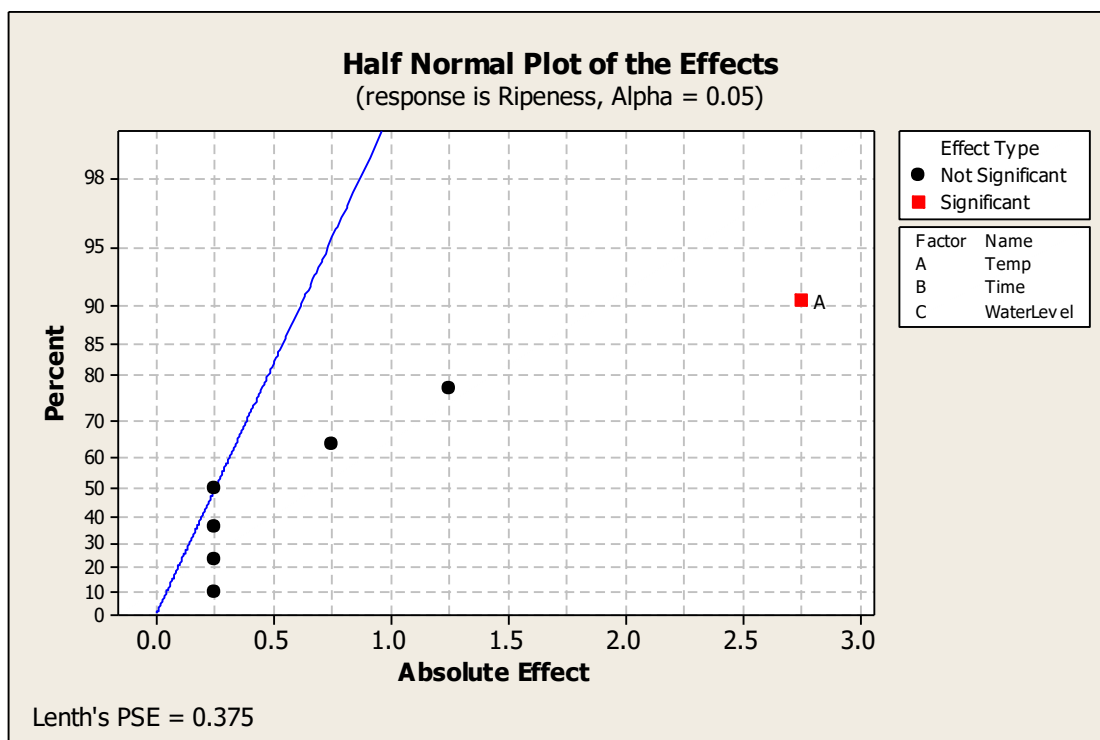
ลำดับ	อุณหภูมิ	เวลา	ระดับน้ำ	ระดับความสูงของไข่
1	80	9	0.4	3
2	95	9	0.4	6
3	80	12	0.4	4
4	95	12	0.4	7
5	80	9	0.8	4
6	95	9	0.8	6
7	80	12	0.8	5
8	95	12	0.8	8

ตาราง 4.1 ผลการทดลอง 2^3 แฟคตอเรียล

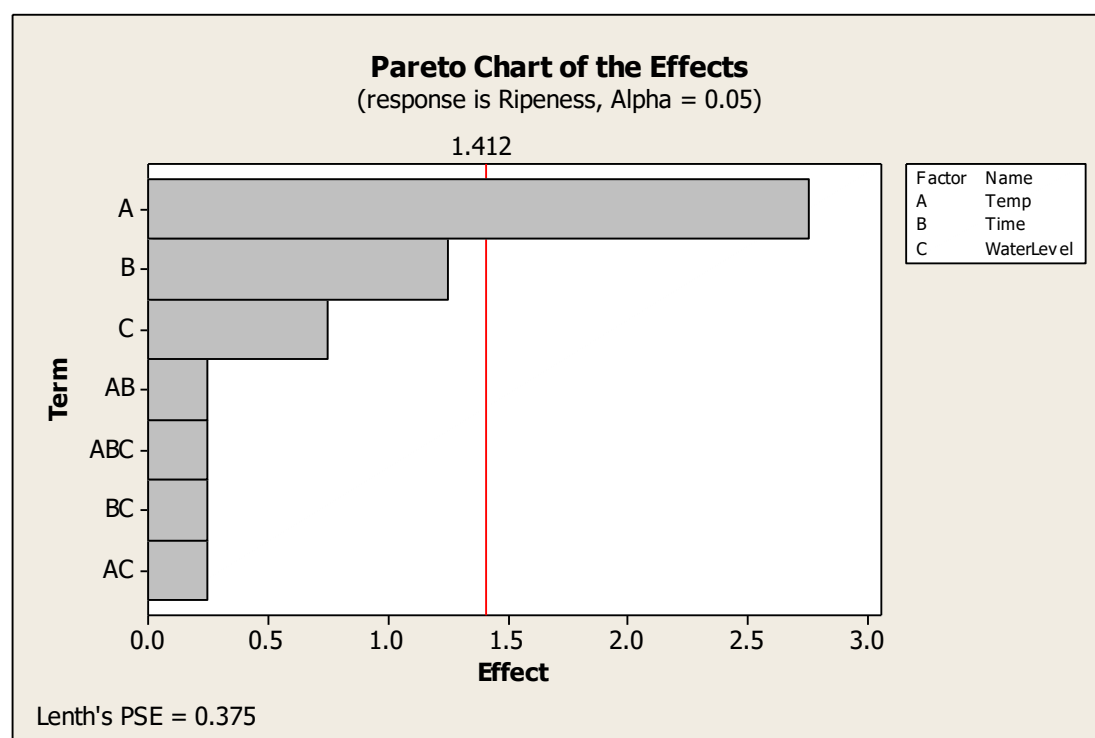
จากข้อมูลในตาราง 4.1 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปทริทเมนต์คอมบินเนชันในแผนการทดลองแบบ 2^3 แฟคตอเรียล ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นการแสดงค่าเฉลี่ยผลตอบสนองไยแต่ละทริทเมนต์คอมบินเนชันของแผนการทดลองแบบ 2^3 แฟคตอเรียลในการทดลองต้มไข่



รูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยผลตอบสนองในแต่ละทรีทเมนต์คอมบิเนชันของแผนการทดลองแบบ 2^3 แฟคตอเรียลในการทดลองต้มไข่



รูปที่ 4.2 ผลวิเคราะห์ความน่าจะเป็นแบบปกติของตัวประมาณของอิทธิพลทั้งหมด



รูปที่ 4.3 Pareto Chart ของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

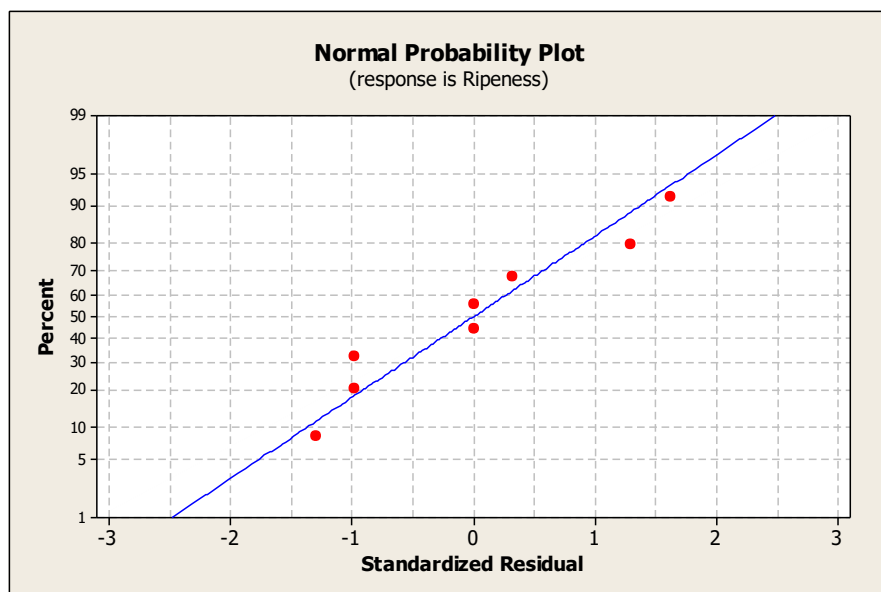
จากรูปที่ 4.2(ตารางความน่าจะเป็นแบบปกติของตัวประมาณของอิทธิพลทั้งหมด) และ 4.3(Pareto Chart) แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ A(อุณหภูมิ) มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อความสุขของไข่ต้ม โดยสังเกตได้จาก A มีแนวโน้มไม่ได้อยู่บนเส้นตรงของแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของตัวประมาณของอิทธิพลใด ๆ การวิเคราะห์ผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ และอิทธิพลอื่น สามารถดูได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสุขของไข่ต้ม

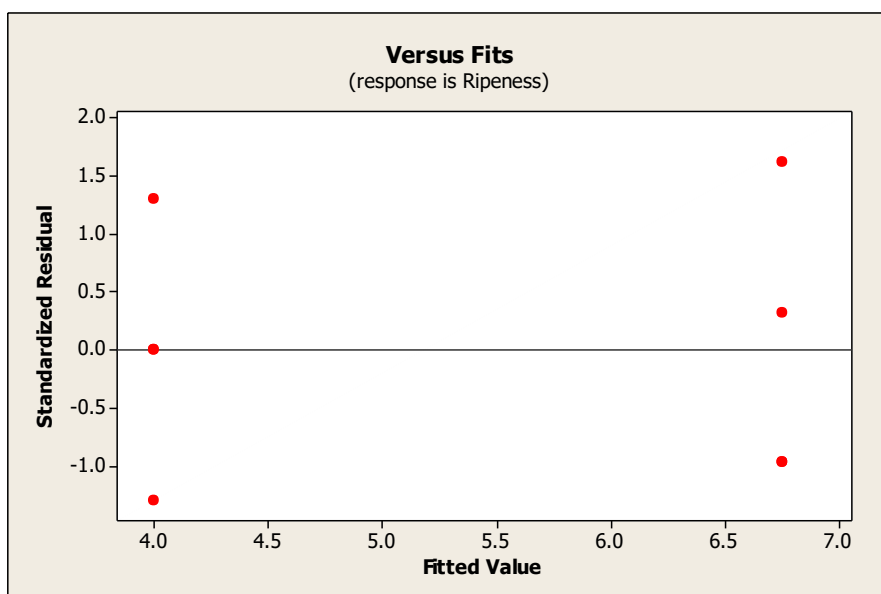
Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F-value	P-value
Main Effects	15.1250	1	15.1250	19.11	0.005
Temp	15.1250	1	15.1250	19.11	0.005
Residual Error	4.7500	6	0.7917		
Pure Error	4.7500	6	0.7917		
Total	19.8750	7			

โดยจากตาราง จะเห็นว่า ปัจจัย A มีผลกระทบต่อความสุขของไข่ต้มอย่างมีนัยสำคัญ($P\text{-value} < 0.05$) ซึ่งเป็นการยืนยันผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติของตัวประมาณของอิทธิพลทั้งหมด

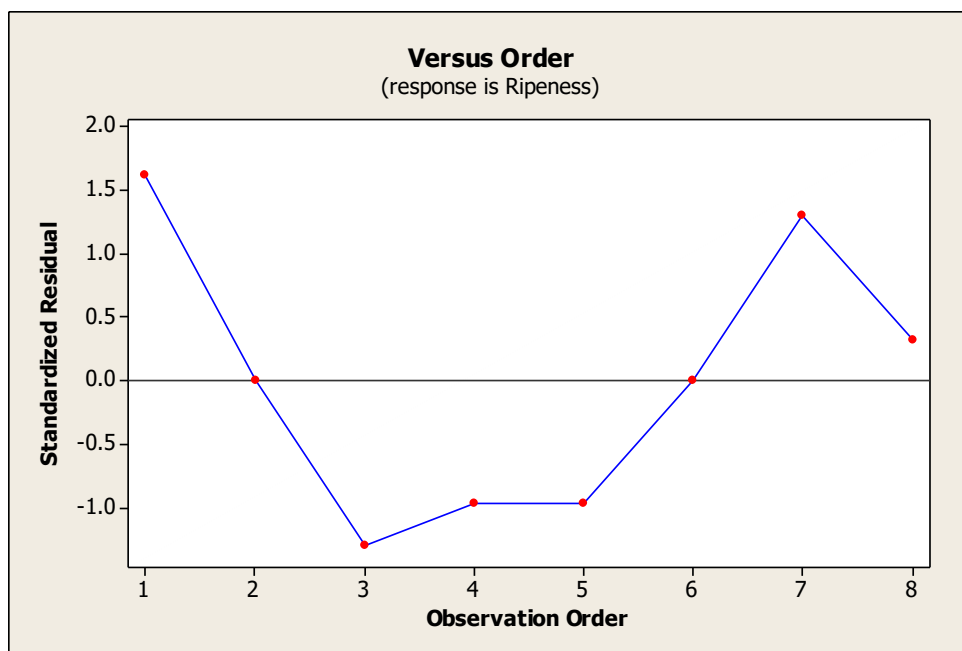
การทดสอบความเพียงพอของรูปแบบ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.3 การทดสอบความเพียงพอของรูปแบบ โดยการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (ก) การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (ข) การทดสอบความแปรปรวนคงที่ (ค) การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

การทดสอบความเพียงพอของรูปแบบทางสถิติของแผนการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองมีความเหมาะสมกับรูปแบบทางสถิติของแผนการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟคตอเรียล

จากการทดลองที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสุขของไข่ต้มอย่างมีนัยสำคัญเพียง 1 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ จึงนำมาทำการทดลองเพิ่มเติมด้วยวิธีการออกแบบการทดลองปัจจัยเดียว

2.ผลการทดลองปัจจัยเดียว

อุณหภูมิ	ข้อมูลการสังเกต			ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	
92	8	7	8	7.67
89	7	6	7	6.67
86	6	6	7	6.33
83	5	5	6	5.33

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองปัจจัยเดียว

การทดลองนี้สามารถใช้ one-way ANOVA เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าความสุขของไข่มุ่ในระดัอุณหภูมิต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถแสดงการวิเคราะห์ได้ดังนี้

ปัจจัย: มีจำนวน 1 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ

ระดับ: มีจำนวน 3 ระดับ คือ 92 องศาเซลเซียส, 89 องศาเซลเซียส, 86 องศาเซลเซียส และ 83 องศาเซลเซียส

ผลตอบสนองคือ: ค่าความสุขของไข่มุ่

จำนวนซ้ำในแต่ละระดับ: 3 ซ้ำ

จากการวิเคราะห์ข้างต้น สามารถใช้ one-way ANOVA เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยค่าความสุขของไข่มุ่ในระดัอุณหภูมิที่ต่างกัน แนวทางในการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้

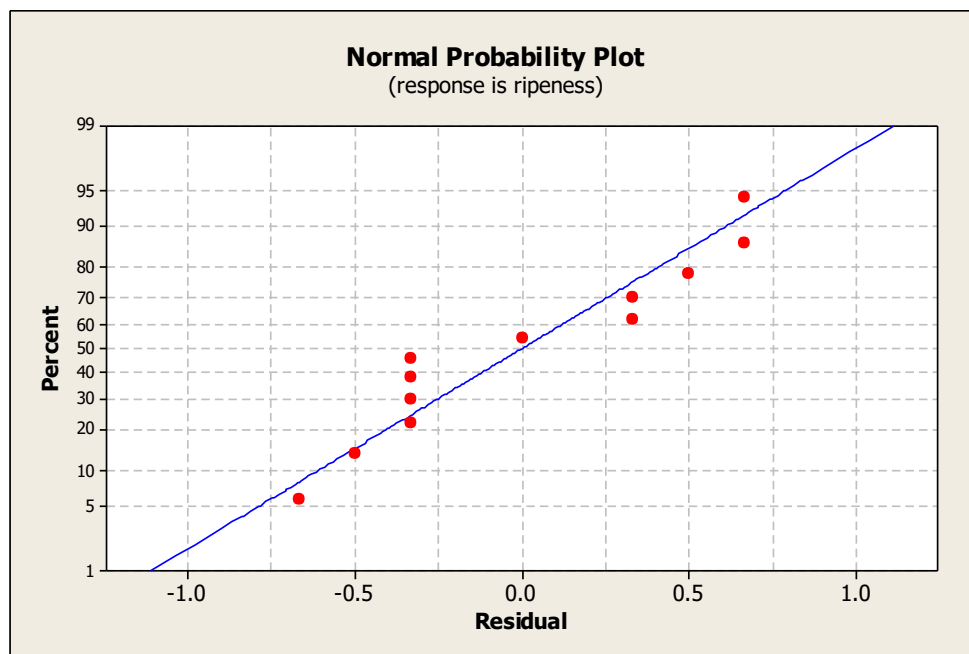
สมมติฐานที่ใช้ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่าง ๆ กัน และค่าเฉลี่ยค่าความสุขของไข่มุ่คือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

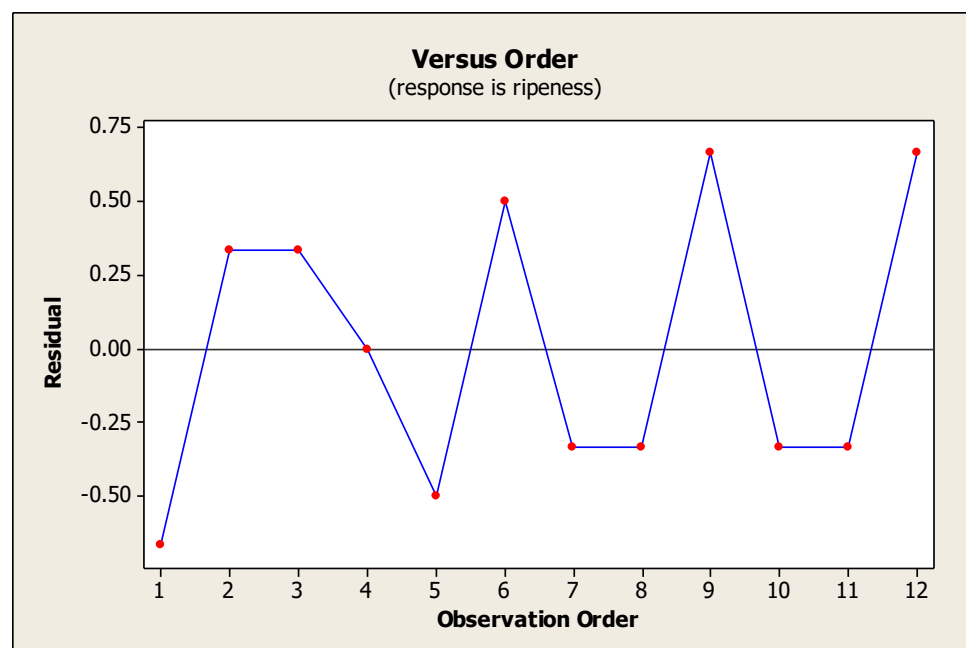
$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j, \text{for at least one pair (i,j)}$$

โดยที่ μ_1, μ_2, μ_3 คือค่าเฉลี่ยค่าความสุขของไข่มุ่ในระดัการต้มที่อุณหภูมิ 92,89,86 และ 83 ตามลำดับ

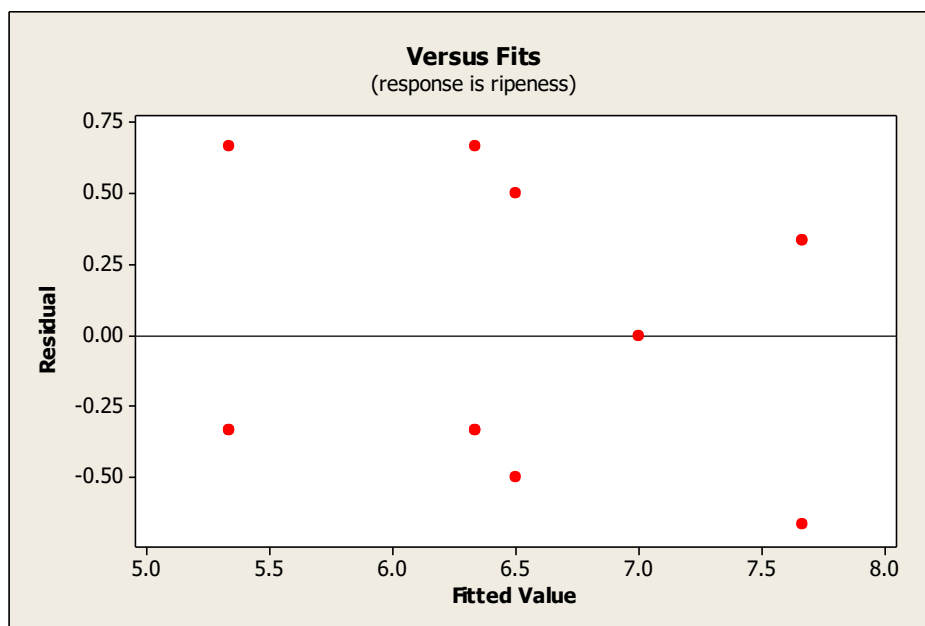
ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยใช้การตรวจสอบความเพียงพอของตัวแบบ (model adequacy checking)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.4 การตรวจสอบความเพียงพอของตัวแบบในการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อความสุขของไข่ต้ม (ก) กราฟการแจกแจงแบบปกติของค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม (ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มและลำดับที่ (ค) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนสุ่มและค่าประมาณของค่าสังเกต

จากรูปที่ 4.4 (ก) แสดงกราฟการแจกแจงแบบปกติของค่าคลาดเคลื่อนสุ่มในการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความสุขของไข่ จากกราฟจะเห็นว่ากราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ รูปที่ 4.4 (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนสุ่มและลำดับที่ จากกราฟ จะเห็นได้ว่าไม่มีสัญญาณใดบ่งบอกให้เห็นถึงความผิดปกติของข้อมูลในเรื่องความเป็นอิสระต่อกัน รูปที่ 4.4 (ค) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลาดเคลื่อนสุ่มและค่าประมาณของค่าสังเกต จากกราฟจะเห็นว่าไม่มีสัญญาณบ่งบอกให้เห็นถึงความผิดปกติของข้อมูลในเรื่องความไม่เท่ากันของความแปรปรวนของค่าสังเกตในแต่ละระดับ จากการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลองด้วยการตรวจสอบความเพียงพอของตัวแบบสรุปได้ว่า ค่าสังเกตที่ได้จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความสุขของไข่ต้มมีความเหมาะสมในการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป โดยที่ไม่มีความจำเป็นต้องแปลงข้อมูล ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มีความแม่นยำ และน่าเชื่อถือ

Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F-value	P-Value
Temperature	8.500	4	2.125	5.95	0.021
Error	2.500	7	0.357		
Total	11.000	11			

ตารางที่ 4.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนในการทดสอบผลกระทบของอุณหภูมิต่อความสุกของไข่ต้ม

ในขณะที่ ค่าวิกฤติที่ระดับนัยสำคัญ = 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน คือ = นั่นคือ

$$F\text{-value}=5.95 > f_{0.05,4,7} = 4.12$$

แสดงให้เห็นว่า ปฏิเสธ H_0 และสรุปว่า อุณหภูมิมีผลกระทบต่อความสุกของไข่ หมายถึง การสรุปผลที่ได้แสดงให้เห็นแต่เพียงว่า อุณหภูมิในระดับต่าง ๆ กัน มีผลกระทบต่อค่าความสุกของไข่ โดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์นี้ บอกแต่เพียงอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลตอบสนอง โดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเท่านั้น แต่ยังไม่สามารถบอกได้ว่าอุณหภูมิในระดับต่าง ๆ กันมีผลกระทบต่อค่าความสุกของไข่อย่างไร เราสามารถใช้การเปรียบเทียบพหุคูณในการตอบคำถามดังกล่าวได้ดังนี้

การเปรียบเทียบพหุคูณ

วิธี Tukey's test

Grouping Information Using Tukey Method

temp	N	Mean	Grouping
92	3	7.6667	A
89	3	6.6667	A B
86	3	6.3333	A B
83	3	5.3333	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of temp

Individual confidence level = 98.74%

temp = 83 subtracted from:

temp	Lower	Center	Upper
86	-0.5100	1.0000	2.5100
89	-0.1767	1.3333	2.8433
92	0.8233	2.3333	3.8433

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 -2.0 0.0 2.0 4.0

temp = 86 subtracted from:

temp	Lower	Center	Upper
89	-1.1767	0.3333	1.8433
92	-0.1767	1.3333	2.8433

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 -2.0 0.0 2.0 4.0

temp = 89 subtracted from:

temp	Lower	Center	Upper
92	-0.5100	1.0000	2.5100

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 -2.0 0.0 2.0 4.0

วิธี Fisher's test หรือ LSD

Grouping Information Using Fisher Method

temp	N	Mean	Grouping
92	3	7.6667	A
89	3	6.6667	A B
86	3	6.3333	B C
83	3	5.3333	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Fisher 95% Individual Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons among Levels of temp

Simultaneous confidence level = 82.43%

temp = 83 subtracted from:

temp	Lower	Center	Upper
86	-0.0871	1.0000	2.0871
89	0.2463	1.3333	2.4204
92	1.2463	2.3333	3.4204

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 -1.5 0.0 1.5 3.0

temp = 86 subtracted from:

temp	Lower	Center	Upper
89	-0.7537	0.3333	1.4204
92	0.2463	1.3333	2.4204

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 -1.5 0.0 1.5 3.0

temp = 89 subtracted from:

temp	Lower	Center	Upper
92	-0.0871	1.0000	2.0871

-----+-----+-----+-----+-----
 (-----*-----)
 -----+-----+-----+-----+-----
 -1.5 0.0 1.5 3.0

จากการเปรียบเทียบพหุคูณโดยวิธี Tukey's test และ LSD ได้ผลการทดสอบดังนี้

Grouping Information Using Tukey Method

temp	N	Mean	Grouping
92	3	7.6667	A
89	3	6.6667	A B
86	3	6.3333	A B
83	3	5.3333	B

Means that do not share a letter are significantly different.

วิธี Tukey's test แสดงผลการทดสอบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 89°C และ 86°C ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

Grouping Information Using Fisher Method

temp	N	Mean	Grouping
92	3	7.6667	A
89	3	6.6667	A B
86	3	6.3333	B C
83	3	5.3333	C

Means that do not share a letter are significantly different.

วิธี LSD แสดงผลการทดสอบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 89°C และ 86°C ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ผลการวิเคราะห์การทดลองด้วยวิธี 2^k แฟคตอเรียล โดยออกแบบเป็น 2^3 แฟคตอเรียล 3 ปัจจัย แสดงให้เห็นว่ามีเพียงปัจจัยเดียวนั้นคืออุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อค่าความสุกของไข่ต้มอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำอุณหภูมิมาเป็นปัจจัยในการทดลองแบบปัจจัยเดียวโดยแบ่งอุณหภูมิออกเป็น 4 ระดับ และทำการทดลอง 4 ซ้ำ โดยกำหนดเวลาในการต้ม 12 นาที และระดับน้ำ 0.8 ลิตร เพราะเป็นระดับของปัจจัยที่ทำให้ไข่สุกที่สุด จากผลการทดลองแบบ 2^3 แฟคตอเรียล ผลจากการทดลองแบบปัจจัยเดียวพบว่าที่อุณหภูมิ 92°C มีค่าเฉลี่ยความสุกของไข่ที่ 7.67 ที่อุณหภูมิ 89°C มีค่าเฉลี่ยความสุกของไข่ที่ 6.67 ที่อุณหภูมิ 86°C มีค่าเฉลี่ยความสุกของไข่ที่ 6.33 ที่อุณหภูมิ 83°C มีค่าเฉลี่ยความสุกของไข่ที่ 5.33 ซึ่งที่อุณหภูมิ 92°C ให้ค่าความสุกของไข่โดยเฉลี่ย ใกล้เคียงกับอุณหภูมิ 95°C ที่สุด ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกระดับของอุณหภูมิเป็น 92°C เพราะคำนึงถึงปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ และผลจากการเปรียบเทียบพหุคูณ พบว่าที่อุณหภูมิ 89°C และ 86°C ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ เช่น การต้มไข่เพื่อจำหน่าย ความสุกของไข่ที่ระดับ 6 นั้นเพียงพอแล้ว เนื่องจากไข่เปลี่ยนเป็นสถานะของแข็งทั้งใบที่ระดับ 6 และเป็นไข่ที่สุกกำลังพอดีไม่ดิบและไม่สุกมากเกินไป ไม่จำเป็นต้องต้มไข่จนถึงระดับ 7 และ 8 เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก เราจึงสามารถนำผลจากการเปรียบเทียบพหุคูณมาพิจารณาเลือกอุณหภูมิ 86°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุดที่ได้จากการทดลองที่ทำให้ไข่สุกที่ระดับ 6 โดยเฉลี่ย

ภาคผนวก



