

การตรวจสอบไข่ยางมะตูมแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางความร้อน

Non-destructive detection of medium boiled eggs using
thermal properties



ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร

คณะอุตสาหกรรมอาหาร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

การตรวจสอบไข่ยางมะตูมแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางความร้อน
 Non-destructive detection of medium boiled eggs using thermal
 properties

จัดทำโดย

กรกนก ศรีทอง รหัสนักศึกษา 59080134

ชนัญชิตา บัวทอง รหัสนักศึกษา 59080142

ฤทธิโรจน์ กัลยา รหัสนักศึกษา 59080178

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

.....

...../...../.....

(รศ.ดร. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ)

อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	การตรวจสอบไข่มะตูมแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางความร้อน	
ชื่อนักศึกษา	กรกนก ศรีทอง	รหัสนักศึกษา 59080134
	ชนัญชิตา บัวทอง	รหัสนักศึกษา 59080142
	ฤทธิโรจน์ กัลยา	รหัสนักศึกษา 59080178
หลักสูตร	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร	
พ.ศ.	2563	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. สนธิสุข ธีระชัยชยุติ	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนาย เวลาในการต้มไข่ และการคัดแยกไข่ที่ผ่านกระบวนการความร้อนในการผลิตไข่ต้มชนิดยางมะตูมและไข่ต้มสุกแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางความร้อนโดยใช้ h และ C_p (h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของตัวกลาง, C_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะ) จำนวน 164 ฟอง โดยแบ่งเป็น กลุ่มสร้างสมการ 110 ฟอง กลุ่มทดสอบสมการ 54 ฟอง ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส สร้างสมการโดยวิธี Partial Least Square Regression (PLS Regression) สำหรับผลการทดลอง พบว่าสมการมีความสามารถในการทำนายเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ คือ การใช้สมการของกลุ่ม $(hA)/C_p$ without density (A คือ พื้นที่ผิวตัวกลางที่พิจารณา) เป็นตัวแปรอิสระ โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_p) เท่ากับ 0.806 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 1.418 min และมีความสามารถในการคัดแยกค่าความเป็นไข่มะตูมจากการวัดอุณหภูมิที่ผิวเปลือกไข่ คือ การแปลงค่าด้วยวิธี Smoothing ใช้ $(hA)/C_p$ with density เป็นตัวแปรอิสระ โดยวิธี PLS-DA มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) 85.19 % และ การแปลงค่าด้วยวิธี original

โดยใช้ h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) 85.19 % รายงานผลจากกลุ่มทดสอบสมการดังกล่าว เป็นการวิเคราะห์การปฏิบัติงานของอุตสาหกรรมคัดแยกไข่ต้มเพื่อให้ได้ความถูกต้องแม่นยำ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์อื่นหลังผ่านการให้ความร้อน เพื่อให้ได้คุณภาพ ความสุขหลังผ่านการให้ความร้อน เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ: ไข่ต้มยางมะตูม, การใช้คุณสมบัติทางความร้อน, แบบไม่ทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special problem title	Non-destructive detection of medium boiled eggs using thermal properties	
Student name	Kornkanok Srithong	Student ID 59080134
	Chananchida Buathong	Student ID 59080142
	Rittirok Gunlaya	Student ID 59080178
Program	Bachelor of Science in Food Processing Engineering	
Year	2020	
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Sontisuk Teerachaichayut	

ABSTRACT

The objective of this research was to develop mathematical models to predict the time for boiling eggs and sorting boiled eggs that were heated for producing medium-boiled eggs and hard-boiled eggs by using thermal properties such as heat convection coefficient (h) and specific heat (C_p), non-destructively. Amount of 164 boiled eggs were divided into a calibration set ($N=110$) and a prediction set ($N=54$). A calibration model was developed using partial least square regression (PLSR). The best model from original data could be used for predicting the time for boiling eggs. $(hA)/C_p$ without density that was independent variables obtained the best results. The model gave correlation coefficient (R_p) of 0.806, factor of 2 and root mean square error of prediction (RMSEP) of 1.418 min. The best model that could be used for classifying boiled eggs using PLS-DA with the smoothing pretreatment. $(hA)/C_p$ with density that was independent variables gave the total accuracy of 85.19 % and the original data using $(h)/C_p$ without density that was independent variables gave the total accuracy of 85.19 %. The result showed that the model had the potential for testing boiled eggs in industry with good accuracy. It might be used for quality testing in other products after heating in order to increase the value of products.

Keywords: medium-boiled eggs, thermal properties, nondestructive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปัญหาพิเศษฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไม่ได้ หากไม่ได้คำแนะนำและความช่วยเหลือจาก รศ.ดร.สนธิสุข ธีระชัยชยุติ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งสละเวลาในการให้คำชี้แนะ ตั้งแต่การค้นคว้าหาข้อมูล การวิเคราะห์และการสังเคราะห์ข้อมูล ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยของการจัดทำปัญหาพิเศษฉบับนี้ นอกจากนี้ยังได้รับความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่คอยให้คำปรึกษาและให้กำลังใจในการทำปัญหาพิเศษ และขอบคุณเพื่อนทุกคนที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้



กรรณก ศรีทอง
ชนัญชิตา บัวทอง
ฤทธิโรจน์ กัลยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	6
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ไข่ไก่	7
2.2 ข้อมูลทางกายภาพ	11
2.3 อุปกรณ์	19
2.4 ค่าทางสถิติ	22
2.5 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์	24
2.6 การทดสอบคุณภาพด้วยวิธีการไม่ทำลาย	24
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	28
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี	28
3.2 อุปกรณ์	28
3.3 โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ	28
3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง	33
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับการทดลอง	33
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงปริมาณ	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงคุณภาพ	55
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	67
บรรณานุกรม	69
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก	72
ภาคผนวก ข	74
ภาคผนวก ค	75
ประวัติผู้เขียน	115



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การบริโภคไข่ต่อคนในสหรัฐอเมริกาจากปี 2559 -2556	1
1.2	แสดงการบริโภคไข่ของประเทศในทวีปเอเชียในปี 2560	2
1.3	แสดงเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่สูญเสียไปจากไข่เมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีต่าง ๆ	4
1.4	Percentage of true retention ของวิตามินในไข่ไก่	5
2.1	กรดแอมิโนที่จำเป็น (%) ในไข่ เปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนจากอาหารอื่น ๆ	8
2.2	สมบัติทางความร้อนของส่วนประกอบไข่	18
2.3	แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	22
3.1	วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง (pre-treatment)	31
4.1	การแจกแจงสถิติเชิงพรรณนาของค่า	34
4.2	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่งโดยใช้ $(hA)/C_p$ without density เป็นตัวแปรอิสระ	43
4.3	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า $(hA)/C_p$ without density เป็นตัวแปรอิสระ	44
4.4	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ $(hA)/C_p$ with density เป็นตัวแปรอิสระ	45
4.5	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า $(hA)/C_p$ with density เป็นตัวแปรอิสระ	46
4.6	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.7	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ	48
4.8	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ	49
4.9	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า h/C_p with density เป็นตัวแปรอิสระ	50
4.10	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h without density เป็นตัวแปรอิสระ	51
4.11	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า h without density เป็นตัวแปรอิสระ	52
4.12	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h with density เป็นตัวแปรอิสระ	53
4.13	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า h with density เป็นตัวแปรอิสระ	54
4.14	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ $(hA)/C_p$ without density เป็นตัวแปรอิสระ	55
4.15	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม โดยใช้ค่า $(hA)/C_p$ with density เป็นตัวแปรอิสระ	56
4.16	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ $(hA)/C_p$ with density เป็นตัวแปรอิสระ	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.17	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไข ตัม และ ไขยางมะตุม โดยใช้ค่า $(hA)/C_p$ with density เป็นตัวแปร อิสระ	58
4.18	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไขตัม และ ไขยาง มะตุม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ใน การปรับแต่ง ใช้ h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ	58
4.19	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไข ตัม และ ไขยางมะตุม โดยใช้ค่า h/C_p without density เป็นตัวแปร อิสระ	59
4.20	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไขตัม และ ไขยาง มะตุม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ใน การปรับแต่ง ใช้ h/C_p with density เป็นตัวแปรอิสระ	60
4.21	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไข ตัม และ ไขยางมะตุม โดยใช้ค่า h/C_p with density เป็นตัวแปร อิสระ	61
4.22	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไขตัม และ ไขยาง มะตุม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ใน การปรับแต่ง ใช้ h without density เป็นตัวแปรอิสระ	62
4.23	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไข ตัมและไขยางมะตุม โดยใช้ค่า h without density เป็นตัวแปรอิสระ	63
4.24	แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไขตัมและไขยาง มะตุม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ใน การปรับแต่งใช้ h with density เป็นตัวแปรอิสระ	64
4.25	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไข ตัมและไขยางมะตุม โดยใช้ค่า h with density เป็นตัวแปรอิสระ โดยใช้เทคนิค Smoothing	65
4.26	ผลการวิเคราะห์ PLS Regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไข ตัม และ ไขยางมะตุม โดยใช้ค่า h with density เป็นตัวแปรอิสระ โดยใช้เทคนิค Smoothing + 1 st Derivative	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.2 การพาความร้อนของการไหลในท่อ	14
2.1 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ	19
4.1 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของไ้ไ้ที่ผ่านความร้อน 3 กลุ่ม	35
4.2 เปรียบเทียบค่า $(hA)/C_p$ ของไ้ไ้ที่ผ่านความร้อน 3 กลุ่ม	36
4.3 เปรียบเทียบค่า h/C_p ของไ้ไ้ที่ผ่านความร้อน 3 กลุ่ม	37
4.4 เปรียบเทียบค่าเวลา ของไ้ไ้ที่ผ่านความร้อน 3 กลุ่ม	38
4.5 เปรียบเทียบค่าเวลา ของไ้ไ้ที่ผ่านความร้อน 3 กลุ่ม	39
4.6 เปรียบเทียบค่า $(hA)/C_p$ ของไ้ไ้ 2 ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการต้มต่างกัน	40
4.7 เปรียบเทียบค่า h/C_p ของไ้ไ้ 2 ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการต้มต่างกัน	41
4.8 เปรียบเทียบค่า $h/$ ของไ้ไ้ 2 ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการต้มต่างกัน	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาพิเศษ

ไข่เป็นอาหารที่นิยมบริโภคของคนทั่วไปไม่ว่าจะเป็นเด็กหรือผู้ใหญ่ เนื่องจากสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายประเภทไม่ว่าจะเป็นการต้ม ตุ่น เจียว ทอด หรือผัดกับข้าวหรือก๋วยเตี๋ยว อีกทั้งไข่ยังเป็นอาหารที่มีราคาไม่สูง มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด คนส่วนใหญ่นิยมบริโภคไข่ไก่ เฉลี่ยวันละ 1 ฟองต่อคน ไข่จัดเป็นแหล่งของโปรตีนที่สำคัญซึ่งจัดอยู่ในหมวดของอาหารที่ให้โปรตีนเช่นเดียวกับกลุ่มของเนื้อสัตว์ โดยไข่ไก่ 2 ฟอง มีโปรตีนสูง 12.0-12.8 กรัม ต่อ น้ำหนักสด 100 กรัม ในขณะที่เนื้อไก่ดิบ และปลาสดมีโปรตีน 17-18 กรัมต่อ น้ำหนักสด 100 กรัม นอกจากนี้ไข่ยังเป็นแหล่งของเกลือแร่บางชนิดเช่น ฟอสฟอรัส ซีลีเนียม ไอโอดีน และวิตามินต่าง ๆ เช่น วิตามินบี 2 โฟเลต วิตามินบี 12 รวมถึง กรดไขมันไลโนเลอิก ที่จำเป็นต่อร่างกาย อย่างไรก็ตาม ไข่มีคอเลสเตอรอลสูงซึ่งพบอยู่เฉพาะในไข่แดงเท่านั้น ไข่ 1 ฟอง มีปริมาณคอเลสเตอรอลประมาณ 200-220 มิลลิกรัม ซึ่งเท่ากับ 2 ใน 3 ของปริมาณที่แนะนำให้บริโภคต่อวันของคนไทย (300 มิลลิกรัม) จากผลการสำรวจการบริโภคไข่ต่อคนต่อปีในปี 2560 ค่าเฉลี่ยการบริโภคไข่ต่อคนโดยวัดเป็นกิโลกรัมต่อปี (เป็นน้ำหนักเปลือก) ประเทศไทย มีการบริโภคไข่มากถึง 12.36 กิโลกรัมต่อคนต่อปี โดยประเทศที่มีการบริโภคไข่มากที่สุดคือประเทศจีน 22.72 กิโลกรัมต่อคนต่อปี รองลงมาคือประเทศญี่ปุ่น และ ประเทศเม็กซิโก 19.64 และ 19.31 กิโลกรัมต่อคนต่อปีตามลำดับ (FAO, 2020)

ตารางที่ 1.1 การบริโภคไข่ต่อคนในสหรัฐอเมริกาจากปี 2559 -256

รายการ	2558	2559	2560	2561	2562	2563
ปริมาณการบริโภค (ฟอง/คน/ปี)	256.3	274.7	281.8	284	289.5	289.9

ที่มา: M. Shahbandeh (2020)

ตารางที่ 1.2 แสดงการบริโภคไข่ของ 9 ประเทศในทวีปเอเชียในปี 2560

ประเทศ	ปริมาณการบริโภค (กม./คน/ปี)
จีน	22.72
ญี่ปุ่น	19.64
คูเวต	19.31
มาเลเซีย	18.31
ไต้หวัน	13.96
ไทย	12.36
มัลดีฟส์	11.74
อาร์มีเนีย	11.64
เกาหลีใต้	10.25
อิสราเอล	9.99
อิรัก	9.44
อาเซอร์ไบจาน	8.86
คาซัคสถาน	8.62
โอมาน	8.15
สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์	7.48
ตุรกี	7.43
อิหร่าน	7.38
เติร์กเมนิสถาน	7.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุซเบกิสถาน	6.59
ซาอุดีอาระเบีย	6.56
จอร์เจีย	6.11
อินโดนีเซีย	5.57
เมียนมาร์	5.4
เกาหลีเหนือ	4.6
เวียดนาม	4.39
คีร์กีซสถาน	4.32
ศรีลังกา	4.27
มองโกเลีย	4.07
ฟิลิปปินส์	4.05
ปากีสถาน	3.36
จอร์แดน	3.28
อินเดีย	3.25
บังคลาเทศ	2.85
ทาจิกิสถาน	2.44
เนปาล	1.98
ลาว	1.89
เยเมน	1.56
อาฟกานิสถาน	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัมพูชา	1.32
ติมอร์	0.8

ที่มา: FAO, (2020)

จากผลการสำรวจอัตราการบริโภคไข่ของทวีปเอเชียในปี 2560 ประเทศไทยมีอัตราการบริโภคไข่เป็นอันดับที่ 6 ของทวีปเอเชีย 12.36 กิโลกรัม/คน/ปี โดยประเทศที่มีการบริโภคไข่มากที่สุดในทวีปเอเชีย คือประเทศจีน 22.72 กิโลกรัมต่อคนต่อปี รองลงมาคือประเทศญี่ปุ่น และ ประเทศคูเวต 19.64 และ 19.31 กิโลกรัมต่อคนต่อปีตามลำดับ (FAO, 2020)

การประกอบอาหารประเภทไข่ โดยวิธีต่าง ๆ มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารที่อยู่ในไข่ที่ทำให้สุกด้วยความร้อนในระดับที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ผู้บริโภคได้รับสารอาหารที่แตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในไข่ที่ผ่านการประกอบอาหารโดยการ ต้ม เจียว ทอด และ การตุ๋น

ตารางที่ 1.3 แสดงเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่สูญเสียไปจากไข่เมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยวิธีต่าง ๆ

รูปแบบการให้ความร้อน	โปรตีนที่สูญเสียไป (%)
การต้ม	0
การทอดด้วยความร้อนต่ำ	1.5
Omelette	3.0
Poached	7.5
Scrambled	13.5
ทอดด้วยความร้อนสูง	8.9

ที่มา: กานดา (2561)

ตารางที่ 1.4 Percentage of true retention ของวิตามินในไข่ไก่

รายการ	Vit. A (%)	Thiamin (%)	Riboflavin (%)	Niacin (%)	Folate (%)
ต้ม	69	95	97	94	81
ทอด	62	92	130	298	81
ตุ๋น	51	89	106	414	76

ที่มา: ศิริพร (2558)

จากตารางเห็นได้ว่าการให้ความร้อนโดยการต้มเป็นวิธีที่รักษาระดับโปรตีน และ วิตามินได้ดีที่สุด คือ การต้ม ซึ่งการต้มไข่มีหลายแบบ โดยส่วนใหญ่การใช้ความร้อนในการหุงต้มอาหารจะส่งผลให้ขาดคุณค่าทางอาหาร บางอย่างไปได้ แต่จะมากหรือน้อยเพียงใด ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้ด้วย ปริมาณของความร้อนที่ใช้ในการหุงต้ม โดยความร้อนจะทำให้ผนังเซลล์สลายตัวหรืออ่อนตัวลง ซึ่งจะช่วยให้วิตามินต่าง ๆ สูญเสียออกไปได้ จึงควรใช้ไฟแรงในการหุงต้ม เพื่อทำให้อาหารสุกเร็วและเกิดการสูญเสียที่น้อยที่สุด เวลาที่ใช้ในการปรุงอาหาร โดยพบว่า ยิ่งใช้เวลาในการปรุงอาหารนานเท่าไร ก็ยิ่งทำให้สูญเสียคุณค่าอาหารมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นจึงควรใช้เวลาในการหุงต้มให้น้อยที่สุด เพื่อคงคุณค่าของอาหารไว้ให้มากที่สุดนั่นเอง และยังช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นแรงของอาหารบางชนิดได้อีกด้วย “การสูญเสียคุณค่าของสารอาหาร” (2560)

จะเห็นได้ว่ายิ่งใช้เวลาในการต้มนานก็จะยิ่งสูญเสียโปรตีนมากขึ้น ดังนั้นไข่ต้มยางมะตูมที่มีการใช้เวลาในการต้มน้อยกว่าไข่ต้ม ก็จะมีปริมาณโปรตีน และ วิตามิน ที่สูญเสียไปน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณโปรตีน และ วิตามิน ที่สูญเสียไปขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการต้ม

ไข่ต้มยางมะตูม คือ ไข่ต้มที่มีระดับความสุกประมาณ 70-90% ไข่ขาวฉีกตัวเป็นฟอง ไข่แดงรอบนอกสุกแข็งเป็นสีส้ม ส่วนที่ถัดเข้ามาสุกพอดีเป็นสีส้มเข้ม และตรงกลางเป็นน้ำ ซึ่งแตกต่างกับไข่ต้มสุก ที่มีระดับความสุก 100 % ไข่ขาวฉีกตัวเป็นทรงเหนียวแน่น ไข่แดงสุกเป็นสีส้มอ่อน เนื้อไข่แดงแข็ง

เพื่อให้ได้ไข่ยางมะตูมที่มีความสุกที่ต้องการ จึงต้องมีการตรวจสอบไข่ยางมะตูม ว่าได้ผลลัพธ์ที่ต้องการไหม โดยการตรวจสอบความเป็นยางมะตูมไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ต้องทำการตรวจสอบด้วยวิธีการทำลาย ก็คือการผ่าเพื่อเช็คความเป็นยางมะตูมของไข่ต้ม จึงได้มีการพัฒนาแบบจำลองการตรวจสอบความเป็นยางมะตูมของไข่ต้ม โดยใช้คุณสมบัติทางความร้อนในการตรวจสอบ เพื่อใช้ในการตรวจสอบความเป็นยางมะตูมให้ได้ตามที่ต้องการ และ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มมูลค่าของไข่ไก่สดด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษานี้ประเมินความเป็นไปได้ของการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (non-destructive) เพื่อประเมินคุณสมบัติทางความร้อนของไข่ต้ม และ ไข่ต้มยางมะตูม โดยที่ non-destructive หรือ เทคนิคการวัดคุณภาพแบบไม่ทำลาย คือ การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย หมายถึงกรรมวิธีที่ใช้ค้นหา รอยบกพร่องหรือความผิดปกติใด ๆ ที่มีอยู่ในชิ้นงาน ทั้งที่เป็นอันตรายต่อการใช้งานหรือไม่เป็นอันตรายต่อการใช้งาน โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงานนั้น ซึ่งต่อไปนี้ รอยบกพร่อง หรือความผิดปกติใด ๆ ที่กล่าวถึงนี้จะเรียกโดยรวมว่า ความไม่ต่อเนื่อง (discontinuity) จากความหมายของการตรวจสอบโดยไม่ทำลายนี้ การตรวจสอบโดยใช้สายตา (visual inspection) เป็นการตรวจสอบโดยไม่ทำลายที่สะดวก รวดเร็ว และ ประหยัดที่สุด ดังนั้น หากสามารถตัดสินผลของการตรวจสอบโดยใช้การตรวจสอบโดยใช้สายตาได้แล้ว ก็ไม่จำเป็นที่ต้องใช้การตรวจสอบโดยวิธีอื่นอีกแต่อย่างไรก็ตามความไม่ต่อเนื่องอาจเกิดในตำแหน่งหรือขนาดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจึงได้มีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายวิธีต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อช่วยให้สามารถตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องดังกล่าวนี้ได้ (วชิระ,2549)

ในการศึกษาการตรวจสอบโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไข่ต้ม นี้มีจุดประสงค์เพื่อจำลองการปฏิบัติงานของอุตสาหกรรมคัดแยกไข่ต้มเพื่อให้ได้ความถูกต้องแม่นยำ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์อื่นหลังผ่านการให้ความร้อน เพื่อให้ได้คุณภาพ ความสุขหลังผ่านการให้ความร้อน เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคัดแยกไข่ที่ผ่านกระบวนการความร้อนในการผลิตไข่ต้มชนิดยางมะตูมและไข่ต้มสุกแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางความร้อน

1.2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนาย เวลาในการต้มไข่ที่ผ่านกระบวนการความร้อนในการผลิตไข่ต้มชนิดยางมะตูมและไข่ต้มสุกแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางความร้อน

1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางความร้อนของไข่ต้มยางมะตูม กับ ไข่ต้มสุก

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 สามารถทำนายค่าความเป็นไข่ยางมะตูมจากการวัดอุณหภูมิที่ผิวเปลือกไข่

1.3.2 ประหยัดเวลาในการตรวจสอบความเป็นยางมะตูมของไข่

1.3.3 สามารถตรวจสอบความเป็นยางมะตูมได้โดยไม่ต้องทำลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไชไก่อ

สัตว์ตัวเมียหลายสปีชีส์วางไข่ รวมทั้งนก สัตว์เลื้อยคลาน สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก และปลา และอาจเป็นอาหารที่มนุษย์ชาติรับประทานมานานับศตวรรษ ไชนกและสัตว์เลื้อยคลานประกอบด้วยเปลือกไข่ที่ทำหน้าที่ปกป้องอันตรายต่อไข่, ไข่ขาวและไข่แดง รวมกันอยู่ในเยื่อบาง ๆ หลายชั้น ไข่สัตว์ที่นิยมรับประทานกันมีไก่ เป็ด นกกระทา ปลาและคาเวียร์ แต่มนุษย์นิยมรับประทานไข่ไก่มากที่สุด และทิ้งช่วงห่างไข่สัตว์อื่นอยู่มาก

ไข่แดงและไข่ทั้งฟองมีปริมาณโปรตีนและโคลีนอยู่มากและพบใช้บ่อยในการครัว เนื่องจากโปรตีนที่มีอยู่ กระทรวงการเกษตรสหรัฐอเมริกาจึงจัดประเภทไข่ว่าเป็น เนื้อสัตว์ ในพีระมิดอาหาร อย่งไรก็ดี แม้ไข่จะมีคุณค่าทางโภชนาการ แต่ก็มีแนวโน้มก่อปัญหาสุขภาพบางอย่างเกิดขึ้นจากคุณภาพ การเก็บ และการเกิดการแพ้ในผู้ที่มีอาการแพ้

ไก่และสิ่งมีชีวิตวางไข่อื่น ๆ เก็บเลี้ยงอย่างกว้างขวางทั่วโลก และการผลิตไข่ไก่จำนวนมากเป็นอุตสาหกรรมระดับโลก มีปัญหาในอุปสงค์และความคาดหวังที่แตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค เช่นเดียวกับการถกเถียงกันในปัจจุบันเกี่ยวกับวิธีการผลิตจำนวนมาก โดยสหภาพยุโรปวางแผนห้ามการเลี้ยงแบบแบตเตอรี่ (battery farming) หลัง พ.ศ. 2555 (Juliette et al, 2004)

2.1.2 ความหลากหลาย ไชนกเป็นอาหารธรรมดาทั่วไปและเป็นหนึ่งในส่วนประกอบ มากประโยชน์ที่สุดที่ใช้ในการปรุงอาหาร ไข่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารสมัยใหม่หลายสาขา ไชนกที่ใช้กันมากที่สุดมาจากไก่ เป็ดและห่าน และไข่ที่เล็กกว่า เช่น ไชนกกระทา ไข่บ้างเป็นบางครั้ง เช่นเดียวกับไชนกที่ใหญ่ที่สุด ไชนกกระทาจอกเทศ ไชนกนางนวลถือว่าเป็นอาหารราคาแพงในอังกฤษ เช่นเดียวกับบางประเทศสแกนดิเนเวีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในนอร์เวย์ ในบางประเทศแอฟริกา ไชไก่อต็อก (guineafowl) พบเห็นทั่วไปในตลาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูใบไม้ผลิ ไชไก่อฟ้า (pheasant) และอีกรับประทานได้อย่างดี แต่หาได้ไม่กว้างขวางนัก บางครั้งไข่ได้มาจากชวานา พ่อค้าสัตว์ปีกหรือห้างสรรพสินค้าหรูหรา ไชนกป่าส่วนใหญ่ได้รับการคุ้มครองตามกฎหมายในหลายประเทศ ซึ่งห้ามการเก็บหรือขาย หรืออนุญาตให้กระทำเฉพาะบางช่วงเวลาของปี (Juliette และคณะ, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 คุณค่าทางโภชนาการ ไข่ไก่ให้กรดอะมิโนจำเป็นทุกชนิด ตลอดจนวิตามินและเกลือแร่อีกหลายชนิด รวมทั้งเรตินอล (วิตามินเอ), ไบโอฟลาเวิน (วิตามินบี2), กรดโฟลิก (วิตามินบี9), วิตามินบี6, วิตามินบี12, โคลีน, เหล็ก, แคลเซียม, ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม วิตามินเอ ดี และ อี ทั้งหมดในไข่อยู่ในไข่แดง ไข่เป็นหนึ่งในอาหารไม่กี่ชนิดในธรรมชาติที่มีวิตามินดี ไข่แดงขนาดใหญ่ให้พลังงานประมาณ 60 แคลอรี (250 กิโลจูล) ไข่ขาวให้พลังงานประมาณ 15 แคลอรี (60 กิโลจูล) ไข่แดงขนาดใหญ่มีปริมาณคอเลสเตอรอลที่แนะนำให้รับประทานต่อวันที่ 300 มิลลิกรัมมากกว่าสองในสาม แม้การศึกษาหนึ่งจะชี้ว่าร่างกายมนุษย์ไม่อาจดูดซับคอเลสเตอรอลจากไข่ได้มากนัก ไข่แดงมีน้ำหนักคิดเป็น 33% ของน้ำหนักของเหลวของไข่ ไขมันทั้งหมดอยู่ในไข่แดง น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของโปรตีนเล็กน้อย และสารอาหารอื่นส่วนใหญ่ ไข่แดงยังมีโคลีนทั้งหมด และไข่แดงหนึ่งมีปริมาณเกือบครึ่งหนึ่งของปริมาณที่แนะนำต่อวัน โคลีนเป็นสารอาหารสำคัญต่อพัฒนาการของสมอง และกล่าวกันว่าสำคัญต่อสตรีมีครรภ์และสตรีให้นมบุตรเพื่อประกันพัฒนาการทางสมองของทารก (Juliette et al, 2004)

ตารางที่ 2.1 กรดแอมิโนที่จำเป็น (%) ในไข่ เปรียบเทียบกับแหล่งโปรตีนจากอาหารอื่น ๆ

Amino-acid (%)	Fish	Milk	Beef	Egg
Lysine	8.8	8.1	9.3	6.8
Tryptophan	1.0	1.6	1.1	1.9
Histidine	2.0	2.6	3.8	2.2
Phenylalanine	3.9	5.3	4.5	5.4
Leucine	8.4	10.2	8.2	8.4
Isoleucine	6.0	7.2	5.2	7.1
Threonine	4.6	4.4	4.2	5.5
Methionine-cystine	4.0	4.3	2.9	3.3
Valine	6.0	7.6	5.0	8.1

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา (2559)

2.1.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนไข่

โปรตีนในไข่ขาวและไข่แดง มีสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties of protein) ในอาหารต่างกันคือ โปรตีนในไข่ขาวมีหน้าที่ให้เกิดฟอง ขณะที่โปรตีนในไข่แดงให้สมบัติการเกิดอิมัลชัน

สมบัติเชิงหน้าที่ของในการเกิดโฟม (foaming agent) โปรตีนไข่ขาว มีบทบาทสำคัญในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (bakery) การตีไข่ขาว ทำให้โปรตีนไข่ขาวสูญเสียสภาพธรรมชาติ (protein denaturation) เพราะแรงกล ทำให้โปรตีนคลายตัว และกักอากาศไว้ภายใน มีลักษณะ เป็นโฟม โปร่งฟู ไข่ขาวใส่ได้ปริมาณมากกว่าไข่ขาวชั้น การผสมครีมออฟทาร์ทาร์ (cream of tartar) จะช่วยให้โฟมไข่ที่ขึ้นฟูอยู่ตัวและมีปริมาณมากขึ้น (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

2.1.5 ส่วนประกอบของไข่

2.1.5.1 เปลือกไข่ (shell) มีสีน้ำตาลหรือสีขาวขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์แม่ไก่ สีไข่ไม่มีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของไข่ เช่น ไข่ไก่พันธุ์เล็กฮอร์นมีเปลือกสีขาว ส่วนไข่ไก่พันธุ์โรดไอส์แลนด์มีเปลือกสีน้ำตาล ส่วนประกอบสำคัญของเปลือกไข่ คือ คอลลาเจน (collagen) สานเป็นตัวตาข่าย และมีหินปูน (แคลเซียมคาร์บอเนต) ทำให้เปลือกแข็ง เปลือกไข่จะมีรูขนาดเล็กมาก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เมื่อไข่ออกจากแม่ไก่มาใหม่จะมีเมือกเคลือบที่ผิวของเปลือกไข่ เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศและน้ำผ่านเข้าไปได้ เปลือกไข่ในช่วงแรก จึงมีลักษณะเป็นนวล เมื่อเก็บไว้นาน ๆ เมือกเหล่านี้จะแห้งไป อากาศและความชื้นสามารถแทรกผ่านรูเล็กที่เปลือกไข่ได้ ทำให้ไข่จะเสื่อมคุณภาพ การเปลี่ยนแปลงของไข่ขาว และการเปลี่ยนของกลิ่นรสตลอดเวลา เนื่องจาก การสูญเสียน้ำ การสูญเสียก๊าซ เปลือกไข่มีการป้องกันการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ เมื่อไม่มีเปลือกไข่ จะเกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็ว จึงมักเก็บไข่ทั้งเปลือก การเก็บไข่ไว้ในที่มีอากาศแห้ง ไข่อาจดูดเอากลิ่นสิ่งที่มีกลิ่นที่ถูกรอบ ๆ เข้าไปที่รูของเปลือก (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

2.1.5.2 เยื่อหุ้มไข่ มีอยู่ด้วยกัน 2 ชั้น ชั้นนอกที่ติดเปลือกมีชื่อเรียกว่า shell membrane ชั้นในที่ติดกับไข่ขาวเรียกว่า egg membrane เยื่อชั้นนอกและชั้นในจะชิดกันตลอด แต่แยกกันที่ด้านป้านของไข่ซึ่งมีโพรงอากาศ (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

2.1.5.3 โพรงอากาศ (air cell) เป็นช่องว่างที่อยู่บริเวณด้านป้านของไข่ อยู่ระหว่างเยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อหุ้มชั้นใน เมื่อไข่ออกมาใหม่ๆ อุณหภูมิของไข่ยังสูง จึงไม่มีช่องว่าง ต่อเมื่อเมื่อไข่เย็นลงของเหลวภายในไข่หดตัว ทำให้เกิดเป็นโพรงอากาศขึ้น และถ้าหากมีน้ำระเหยออกไปมาก ก็จะทำให้โพรงอากาศใหญ่ขึ้นด้วย (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

2.1.5.4 ไข่ขาว (egg white) เป็นส่วนประกอบภายในไข่ ที่เป็นส่วนของเหลวชั้นหนืด (firm) ล้อมรอบไข่แดง ไข่ขาวชั้นนอกส่วนใส (thin egg white) เป็นไข่ขาวที่เป็นของเหลวใส (clear) โปร่งแสง (transparent) ล้อมรอบไข่ขาวชั้นนอกส่วนข้น (thick egg white) ส่วนของเหลวที่ชั้นหนืดอีกชั้นหนึ่ง ไข่ขาวมีส่วนประกอบหลักคือ ด้วยน้ำและโปรตีน แอลบูมิน (albumin) มีไขมันน้อยมาก ลักษณะที่เป็นเมือกของไข่ขาวชั้นเกิดจากคาร์โบไฮเดรต โมเลกุลใหญ่ (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

2.1.5.5 เยื่อหุ้มไข่แดง (vitelline membrane) มีประโยชน์คือ ช่วยหุ้มไข่แดงเอาไว้โดยรอบ (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

2.1.5.6 ไข่แดง (yolk) ไข่แดงเป็นส่วนสำรองอาหารไว้ให้ลูกไก่ ซึ่งจะเจริญจากเชื้อที่ผสมแล้ว ไข่แดงเกิดก่อนจากรังไข่ เมื่อเติบโตและสุกแล้วจึงหลุดออกจากรังไข่ ผ่านตามท่อไข่ซึ่งจะสร้างไข่ขาวออกหุ้ม ไข่แดงจะอยู่กลางฟองโดยการยึดของเยื่อ ที่เป็นเกลียวแข็ง อยู่ด้านหัวและท้ายของไข่แดง และยื่นเข้าไปในไข่ขาว (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

2.1.6 ปัญหาสุขภาพ คอเลสเตอรอลและไขมัน แคลอรีเกินครึ่งหนึ่งของไข่มาจากไขมันที่อยู่ในไข่แดง ไข่ไก่ขนาดใหญ่ (50 กรัม) มีไขมันอยู่ประมาณ 5 กรัม ผู้ที่รับประทานอาหารคอเลสเตอรอลต่ำอาจต้องลดการบริโภคไข่ อย่างไรก็ดี มีไขมันในไข่เพียง 27% เท่านั้นที่เป็นไขมันอิ่มตัว ได้แก่ กรดปาล์มิติก สเตียริกและไมริสติก ซึ่งมีแอลดีแอลคอเลสเตอรอล ไข่ขาวส่วนใหญ่เป็นน้ำ (87%) และโปรตีน (13%) ไม่มีคอเลสเตอรอล และมีไขมันน้อยมากถึงไม่มีเลย (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2559)

มีการถกเถียงว่าไข่แดงทำให้เกิดปัญหาสุขภาพหรือไม่ บางวิจัยเสนอว่า คอเลสเตอรอลจากไข่เพิ่มสัดส่วนรวมต่อเอชดีแอลคอเลสเตอรอล ดังนั้นจึงมีผลร้ายต่อภาวะคอเลสเตอรอลของร่างกาย ขณะที่การศึกษาอื่นแสดงว่าการบริโภคไข่ปานกลาง คือ หนึ่งฟองต่อวัน ไม่ปรากฏว่าเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคหัวใจในผู้มีสุขภาพดี การศึกษาในผู้ใหญ่เกือบ 10,000 คนใน พ.ศ. 2550 แสดงให้เห็นว่าไม่มีความเชื่อมโยงระหว่างการบริโภคไข่ปานกลาง (หกฟองต่อสัปดาห์) กับโรคหัวใจและหลอดเลือดหรือโรคหลอดเลือดสมอง ยกเว้นในประชากรผู้ป่วยโรคเบาหวานที่มีความเสี่ยงต่อโรคเส้นเลือดหัวใจตีบ อีกการศึกษาหนึ่งสนับสนุนแนวคิดว่าการบริโภคไข่ปริมาณมากเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือดในผู้ป่วยโรคเบาหวาน

การแพ้ไข่เป็นอาหารที่พบการแพ้บ่อยที่สุดอย่างหนึ่งในทารก หากไม่ได้สัมผัสไข่มาก ๆ ทารกมักหายจากอาการแพ้ไข่ได้เมื่อโตขึ้น ส่วนใหญ่พบเป็นการแพ้ไข่ขาวมากกว่าไข่แดง นอกจากการแพ้แล้ว บางคนอาจมีอาการผื่นปฏิกิริยาเมื่อกินไข่ขาว แต่ไม่ได้เป็นผลจากปฏิกิริยาภูมิแพ้ก็ได้ (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา ,2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ข้อมูลทางกายภาพ

2.2.1 ความหนาแน่น (density) คือ เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่ง คือวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง (เช่น เหล็ก) จะมีปริมาตรน้อยกว่าวัตถุความหนาแน่นต่ำ (เช่น น้ำ) ที่มีมวลเท่ากัน หน่วยเอสไอของความหนาแน่นคือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m³) (สนธิสุข, 2561)

2.2.2 มวล (mass) คือ ปริมาณของสสาร หรือ จำนวนอนุภาคที่บรรจุอยู่ในวัตถุนั้น ๆ อนุภาคที่กล่าวถึงคือ อิเล็กตรอน โปรตอน และนิวตรอน รวมเรียกว่าอะตอม มีความสัมพันธ์กับการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากเกี่ยวข้องกับสมการการเปลี่ยนแปลงความร้อน

2.2.3 พื้นที่ผิว คือ การคำนวณเชิงเรขาคณิตของไซซึ่งรวมถึงการประมาณปริมาณและพื้นที่ผิวมีความสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมสัตว์ปีกและในการศึกษาทางชีววิทยาเนื่องจากสามารถใช้ในการวิจัยเกี่ยวกับประชากรและสัณฐานวิทยานิวเคลียสและการทำนายน้ำหนักลูกไก่ฟักไซลักษณะคุณภาพเปลือกและไข่ (Narushin, 2005)

$$A = 3.155 - 0.0136L + 0.0115B$$

เมื่อกำหนดให้

A = พื้นที่ผิว

L = ความยาวของไซ (มิลลิเมตร)

B = ความกว้างสูงสุดของไซ (มิลลิเมตร)

2.2.4 การพาความร้อน (convection)

การพาความร้อนเป็นการส่งผ่านความร้อน โดยโมเลกุลของตัวกลางที่ได้รับความร้อนเป็นตัวเคลื่อนที่พาไป ถ้าพิจารณาสถานะของสสารทั้ง 3 ชนิด พบว่า โมเลกุลของของแข็งจะเคลื่อนไหวได้ยากกว่าโมเลกุลของของเหลวและแก๊ส ดังนั้นของแข็งจึงไม่มีการพาผ่านความร้อนเกิดขึ้น ส่วนโมเลกุลของของเหลวหรือก๊าซเมื่อได้รับความร้อนทำให้ความหนาแน่นของโมเลกุลบริเวณนั้นน้อยลง โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสูงขึ้นและพาเอาความร้อนเคลื่อนที่ไปด้วย ส่วนโมเลกุลที่ยังไม่ได้รับความร้อนจะเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดการหมุนเวียนของความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.1 การพาความร้อนแบ่งได้เป็น 2 ชนิด

2.2.4.1.1 การพาความร้อนอย่างอิสระ (free convection) เป็นการพาความร้อนที่โมเลกุลของตัวกลางเคลื่อนที่ไป เพราะมีความหนาแน่นต่างกัน

2.2.4.2 การพาความร้อนอย่างไม่อิสระ (force convection) เป็นการพาความร้อนที่โมเลกุลของ ตัวกลางถูกทำให้เคลื่อนที่โดยแรงภายนอก

อัตราการส่งผ่านความร้อนโดยการพาความร้อนนั้นสามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = hA(T_1 - T_2)$$

เมื่อกำหนดให้

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

คือ อัตราการส่งผ่านความร้อนโดยการพาความร้อน มีหน่วยเป็นวัตต์

$$h$$

คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของตัวกลาง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของไหล อัตราเร็ว รูปร่าง และลักษณะการวางตัวของวัตถุ ($W/m^2.K$)

$$T$$

คือ ผลต่างของอุณหภูมิของตัวกลาง 2 จุดที่พิจารณา (K)

$$A$$

คือ พื้นที่ผิวตัวกลางที่พิจารณา (m^2)

สมการนี้บางทีเรียกว่า กฎการเย็นตัวของนิวตัน (newton's law of cooling)

ปรากฏการณ์ของการพาความร้อนได้แก่ กระจกน้ำไหลเวียนในมหาสมุทร ลมบกลม ทะเล การถ่ายเทความร้อนในเครื่องยนต์ การระบายความร้อนของเครื่องจักรในโรงงาน เป็นต้น (ปรียา, 2556)

2.2.4.2 ชั้นผิวสัมผัสกับการพาความร้อน

เมื่อพิจารณาในเชิงจุลภาคเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลกับผิวหน้าของวัตถุจะพบว่าที่จริงแล้วการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นจากการนำความร้อนระหว่างวัตถุกับของไหลที่ผิวสัมผัสนั่นเอง โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจะขึ้นอยู่กับการกระจายของอุณหภูมิของชั้นผิวสัมผัส (กล่าวคือขึ้นอยู่กับความชันของเส้นการแผ่กระจายของอุณหภูมิในตัวกลางที่อยู่ใกล้ๆ กับผิวหน้าของวัตถุ) ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่

ถ่ายเทจึงไม่ขึ้นอยู่กับประเภทของของไหลและรูปร่างของวัตถุเท่านั้น แต่ขึ้นอยู่กับว่าการไหลนั้นราบเรียบ หรือปั่นป่วน และขึ้นอยู่กับว่าการไหลนั้นอยู่ในช่วงเร่งความเร็วหรือมีความเร็วคงที่แล้ว ฯลฯ อีกด้วย ในที่นี้เราจะรวมเอาปัจจัยที่ซับซ้อนเหล่านี้ไว้ในค่าที่เรียกว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h [$W/(m^2K)$]) โดยพลັกซ์ความร้อนที่เกิดจากการพาความร้อนสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$q = h(T_\infty - T_w)$$

T_w คือ อุณหภูมิที่ผิวหน้าวัตถุ T_∞ คืออุณหภูมิของกระแสหลัก ณ จุดที่ห่างเพียงพอจากผิวหน้า มีสมการต่าง ๆ มากมายที่ใช้ในการคำนวณอัตราการพาความร้อน (h) ของวัตถุรูปร่างต่าง ๆ ที่อยู่ในการไหลแบบต่าง ๆ ซึ่งจะได้กล่าวในภายหลัง ตัวอย่างช่วงของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสำหรับการไหลและการถ่ายเทความร้อนแบบต่าง ๆ

เนื่องจากสัมประสิทธิ์การพาความร้อนไม่ได้เป็นสมบัติทางกายภาพของสสารเหมือนกับสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ดังนั้น ค่าของมันบางครั้งจึงขึ้นอยู่กับตำแหน่งบนผิวหน้าของวัตถุสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนผิวหน้า เรียกว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่ (h_x) และค่าเฉลี่ยทั่วผิวหน้าเรียกว่า สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h_m) หากให้พื้นที่ที่มีความร้อนถ่ายเทเท่ากับ A แล้ว ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านในหนึ่งหน่วยเวลา Q จะเท่ากับ

$$Q = h_m(T_\infty - T_w)A$$

กล่าวคือคิดเสมือนว่า

$$(\text{ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทด้วยการพาความร้อน}) = \frac{(\text{ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ})}{(\text{ความต้านทานการพาความร้อน})}$$

ถ้าให้ความต้านทานการพาความร้อนเท่ากับ R_t แล้วจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$Q = \frac{T_\infty - T_w}{R_t}$$

$$R_t = \frac{1}{h_m \cdot A}$$

2.2.4.3 อุณหภูมิเฉลี่ยผสมในการไหลในท่อ กับผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยล็อกการิทึม

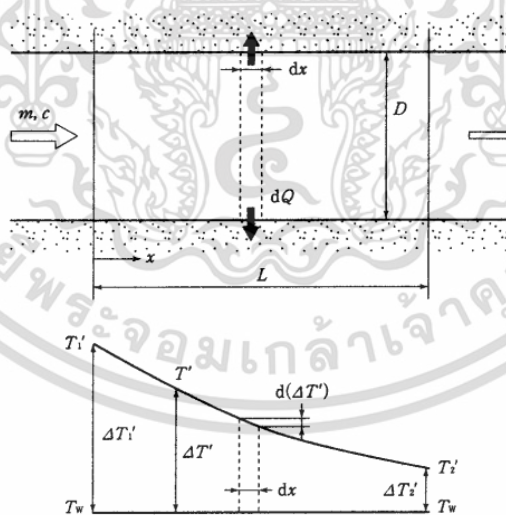
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณการพาความร้อนในกรณีที่มีผิวหน้าของวัตถุที่หุ้มการไหลอยู่ เช่น การไหลในท่อกลมจะต้องใช้ความระมัดระวัง เนื่องจากการไหลในท่อที่ไหลด้วยความเร็วคงที่นั้น ทุกจุดในท่อจะเสมือนเป็นผิวสัมผัส กล่าวคือไม่เพียงแต่อุณหภูมิของของไหล ณ จุดที่ห่างเพียงพอกจากผิวหน้าจะมีค่าไม่เท่ากันเท่านั้น แต่อุณหภูมิของของไหลตามทิศทางการไหลก็ไม่คงที่ด้วย ดังนั้นในกรณีนี้จึงเกิดปัญหาว่าจะใช้ค่าใดเป็นอุณหภูมิของตัวของไหล

รูปที่ 3.2 แสดงของไหลกำลังไหลอยู่ภายในท่อกลมเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน D โดยที่ทางเข้าและทางออกซึ่งมีความยาวตามแนวแกนของท่อเท่ากับ L จะแทนด้วยตัวห้อย 1 และ 2 ในกรณีนี้อุณหภูมิเฉลี่ยผสม T' ซึ่งใช้เป็นอุณหภูมิตัวแทนของของไหล ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวแกนของท่อภายในระหว่างช่วงดังกล่าวนี้จะมีนิยามดังต่อไปนี้

$$T' = \frac{\int Tu \, dS}{\int u \, dS}$$

ในที่นี้ T และ u หมายถึงอุณหภูมิและความเร็วของของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่เล็กๆ dS ณ ตำแหน่งใดๆ บนพื้นที่หน้าตัดตามลำดับ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยผสม จะเป็นอุณหภูมิที่ใช้แสดงในกรณีที่ถือว่าของเหลวที่ไหลผ่านจะผสมกันอย่างสมบูรณ์ในอุดมคติ ณ ทุก ๆ พื้นที่หน้าตัด



รูป 2.1 การพาความร้อนของการไหลในท่อ

ที่มา : สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน (2562)

ที่จุดนี้ถ้าให้อุณหภูมิที่ผนังท่อด้านในระหว่างช่วงระยะทางนี้มีค่าคงที่เท่ากับ T_w และถือว่าสัมประสิทธิ์ความร้อน h_m จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งตามแนวแกนของท่อและถือว่าความแตกต่างของอุณหภูมิ $\Delta T'$ เท่ากับผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยผสม T' กับ T_w เมื่อให้ความร้อนจำเพาะและอัตราไหลโดยมวลของของไหลเท่ากับ c และ m ตามลำดับ และให้การเปลี่ยนแปลง $\Delta T'$ ในบริเวณเล็ก ๆ ภายในระยะทาง dx ตามทิศทางความยาวเท่ากับ $d(\Delta T')$ แล้ว ปริมาณความร้อน dQ ที่พาจากของไหลไปยังผนังท่อภายในช่วงระยะทางเล็ก ๆ นี้จะเท่ากับความร้อนในของไหลที่ลดลงในช่วงระยะทางนี้ดังนั้น

$$dQ = -m c d(\Delta T') = h_m (T' - T_w) \pi D dx = h_m \Delta T' \pi D dx$$

$$-m c d(\Delta T') = h_m (T' - T_w) \pi D dx, \quad \frac{1}{\Delta T'} d(\Delta T') = -\frac{h_m \pi D}{m c} dx$$

$$\ln(\Delta T') = -\frac{h_m \pi D}{m c} x + c$$

ในที่นี้เมื่อ $x = 0$ แล้ว $\Delta T' = \Delta T_1'$ และเมื่อ $x = L$ แล้ว $\Delta T' = \Delta T_2'$ จะได้ว่า

$$\ln(\Delta T_2') = -\frac{h_m \pi D}{m c} L + \ln(\Delta T_1') \quad \text{สมการ (a)}$$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากของไหลไปยังผนังท่อตลอดช่วงระยะทางนี้จึงเท่ากับ

$$Q = mc(\Delta T_1' - \Delta T_2')$$

$$Q = mc(T_1' - T_w) - (T_2' - T_w)$$

$$Q = m c (\Delta T_1' - \Delta T_2') \quad \text{สมการ (b)}$$

ถ้าให้อุณหภูมิที่เป็นตัวแทนของอุณหภูมิของของไหลตลอดช่วงระยะทางนี้เท่ากับ T_m และให้ผลต่างระหว่าง T_m กับอุณหภูมิผนังท่อ T_w เท่ากับ ΔT_m และให้

$$Q = h_m \Delta T_m \pi D L \quad \text{สมการ (c)}$$

แล้วจากสมการ (a), (b) และ (c) จะคำนวณ ΔT_m ได้ดังนี้

$$\Delta T_m = \frac{(\Delta T_1' - \Delta T_2')}{\ln(\Delta T_1') - \ln(\Delta T_2')}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta T_m = \frac{(\Delta T'_1 - \Delta T'_2)}{\ln\left(\frac{\Delta T'_1}{\Delta T'_2}\right)}$$

$$\Delta T_m = \frac{(T'_1 - T_w) - (T'_2 - T_w)}{\ln\left(\frac{T'_1 - T_w}{T'_2 - T_w}\right)}$$

ค่า ΔT_m ที่มีนิยามตามข้างต้น เรียกว่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยล็อกการิทึม ถ้าใช้ ΔT_m นี้แล้ว ปริมาณการพาความร้อนจะเท่ากับ ปริมาณการพาความร้อน = (สัมประสิทธิ์การพาความร้อน) \times (ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยล็อกการิทึม) \times (พื้นที่ผิวด้านในท่อ) (สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, 2562)

2.2.5 การคำนวณปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท

สูตรคำนวณหาปริมาณความร้อน คือ

$$Q = mC_p (\Delta T)$$

$$Q = mC_p (T_1 - T_2) \quad \text{สมการ (a)}$$

ปริมาณความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง เกิดจากการถ่ายเทความร้อนโดยการพาซึ่งหาได้จากสูตรอัตราการถ่ายเทความร้อน

$$Q = hA (\Delta T)$$

เปลี่ยนอัตราถ่ายเทความร้อน เป็น ปริมาณความร้อนโดยการ คูณ ΔT_m

$$Q = hA (\Delta T_m) \Delta T \quad \text{สมการ (b)}$$

ΔT_m คือส่วนต่างของอุณหภูมิไต่กับอากาศที่จุด 1 - 2

จับ สมการ (a) = สมการ (b)

$$Q = h_{av} \cdot A (\Delta T)_{ln} \cdot \Delta t = h_{av} \cdot A \cdot \left[\frac{(T_1 - T_{a1}) - (T_2 - T_{a2})}{\ln\left(\frac{T_1 - T_{a1}}{T_2 - T_{a2}}\right)} \right] \cdot \Delta t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$mC_p(T_1-T_2) = h_{av} \cdot A \cdot \left[\frac{(T_1-T_{a1})-(T_2-T_{a2})}{\ln \frac{(T_1-T_{a1})}{(T_2-T_{a2})}} \right] \cdot \Delta t$$

$$\frac{h_{av} \cdot A}{C_p} = \frac{m(T_1-T_2)}{\left[\frac{(T_1-T_{a1})-(T_2-T_{a2})}{\ln \frac{(T_1-T_{a1})}{(T_2-T_{a2})}} \right] \cdot \Delta t}$$

เมื่อกำหนดให้

Q คือ ปริมาณความร้อน

m คือ มวลของสาร

T คือ อุณหภูมิของไข่ไก่

A คือ พื้นที่ผิวของไข่

2.2.6 การถ่ายเทความร้อนในระหว่างกระบวนการทางความร้อนของไข่

การพาสเจอร์ไรซ์ด้วยความร้อนของไข่เพื่อทำเป็นอาหารถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย แบบจำลองเชิงตัวเลขสามมิติรหัสพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของสมการการถ่ายเทความร้อนโดยใช้การพาความร้อนตามธรรมชาติและกลไกการนำความร้อนโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบจำลองได้รับการยืนยันโดยการเปรียบเทียบผลการทดลองและตัวเลขนั้นสามารถทำนายรูปแบบของอุณหภูมิโซนความร้อนที่ช้าที่สุดและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนในระหว่างการพาสเจอร์ไรซ์ของไข่ที่ไม่สมบูรณ์ ผลการวิจัยพบว่าเซลล์อากาศทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อน การเพิ่มปริมาตรเซลล์อากาศส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงและเพิ่มเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (มากกว่าเดิมถึง 14%) ผลการวิจัยพบว่าผลกระทบต่อการพาสเจอร์ไรซ์ทางความร้อนของความหนาของเปลือกไข่นั้นมีไม่มาก เมื่อเทียบกับผลกระทบปริมาณเซลล์อากาศ (Abbasnezhad et al, 2015)

2.2.7 ความจุความร้อนจำเพาะ

ความจุความร้อนจำเพาะ(ยังสามารถเรียกว่า "ความร้อนจำเพาะ") หมายถึงปริมาณของพลังงานที่จำเป็นในการทำให้หนึ่งหน่วยของมวลของสารเพิ่มขึ้นหนึ่งองศาเซลเซียส ซึ่งหมายถึงความจุของสารโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเก็บความร้อน; ความจุความร้อนของวัสดุมาก จะมีความสามารถในการเก็บความร้อนได้ดี ซึ่งเป็นคุณสมบัติตามธรรมชาติของสารและไม่ได้ขึ้นอยู่กับมวลหรืออุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางความร้อนของอากาศ (การนำความร้อนความหนาแน่นและความร้อนจำเพาะ) เป็นค่าเฉลี่ยมากกว่าช่วงอุณหภูมิ -20 ถึง 20 องศาเซลเซียส (Singh and Heldman, 1993) ค่าการนำความร้อนและความหนาแน่นของเปลือกไข่ได้รวบรวมจาก (Romanoff and Romanoff, 1949) ความร้อนจำเพาะของเปลือกไข่นั้นสันนิษฐานว่าเท่ากับหินปูน (Manceu, 1968) การนำความร้อนของไข่แดงสันนิษฐานว่าคงที่ตลอดทุกช่วงอุณหภูมิ (Singh and Heldman, 1993) ความหนาแน่นของไข่ขาวและไข่แดง (Stadelman, 1995) การนำความร้อนของไข่ขาวสันนิษฐานว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเท่ากับน้ำ (Singh and Heldman, 1993) ความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝงของฟิวชั่นและอุณหภูมิหลอมละลายของไข่ขาวและไข่แดงได้ (Stadelman, 1995) สรุปคุณสมบัติของส่วนประกอบไข่ดูได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางความร้อนของส่วนประกอบไข่

	Thermal conductivity (W/mK)	Density (kg/m ³)	Specific heat (J/kg K)	Latent heat (J/kg)
Air	0.0239 ^a	1.265 ^a	1008.5 ^a	
Shell	0.4560 ^b	2300 ^b	888 ^c	
York	0.3370 ^a	1036 ^d	2093 ^{d, e} 3266 ^{d, f}	188,390 ^d
Albumin	2.17 ^{a, e} 0.59 ^{a, f}	1036 ^d	2093 ^{d, e} 3935 ^{d, f}	295,377 ^d

a ได้มาจาก Singh and Heldman (1993)

b ได้มาจาก Romanoff and Romanoff (1949)

c ได้มาจาก Manceu (1968)

d ได้มาจาก Stadelman (1995)

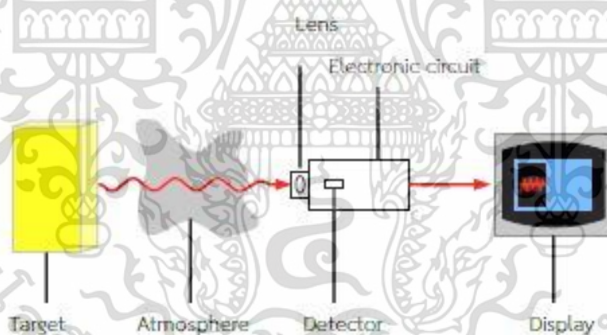
e หมายถึง Frozen

f หมายถึง Unfrozen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อุปกรณ์

2.3.1 เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (infrared thermometer) เป็นเครื่องมือวัด (instrument) ใช้สำหรับการวัดอุณหภูมิ (temperature measurement) ที่ผิวของวัตถุ ซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัสและไม่ทำลายวัตถุ ทำงานโดยอาศัยหลักการแผ่รังสีอินฟราเรด (infrared radiation) ออกจากวัตถุ ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือวัดชนิดนี้ประกอบด้วย เลนส์ (lens) ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรด (infrared detector) หรือเซนเซอร์ชนิดอินฟราเรด (infrared sensor) วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (electronic circuit) และส่วนแสดงผล (display) โดยมีหลักการทำงานดังนี้ ตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรดทำหน้าที่รับรังสีอินฟราเรด (infrared) ที่แผ่ออกจากวัตถุเป้าหมาย (target) ผ่านเลนส์ของเครื่องมือวัด แล้วแปลงรังสีอินฟราเรดเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า โดยรังสีอินฟราเรดที่ตัวตรวจจับรับไปนั้นประกอบด้วยรังสีที่วัตถุเป้าหมายแผ่ออกมารวมกับรังสีที่แผ่จากวัตถุอื่นหรือจากสิ่งแวดล้อมสะท้อนออกจากผิวของวัตถุเป้าหมาย จากนั้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่รับมาจากตัวตรวจจับและนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล โดยเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรดแสดงผลออกมาในรูปของตัวเลข ซึ่งการแปลงรังสีอินฟราเรดที่เซนเซอร์ตรวจจับได้ให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิอาศัยกฎของ Planck (Planck's Law) และ กฎของ Stefan-Boltzmann (Stefan-Boltzmann's Law) (นวภัทรา และ ทวีพล, 2555)



ภาพที่ 2.2 ระบบการวัดอุณหภูมิโดยอาศัยการแผ่รังสีอินฟราเรดของวัตถุ ที่มา : นวภัทรา และ ทวีพล (2555)

ค่าความถูกต้อง (accuracy) ของอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรดขึ้นอยู่กับ

2.3.1.1 ชนิดและลักษณะพื้นผิวของวัตถุเป้าหมายหรือวัตถุที่ต้องการวัดอุณหภูมิ โดยวัตถุต่างชนิดกันหรือมีลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกันจะมี ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี (emissivity, ϵ) และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีของผิววัตถุ (reflection, ρ) ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ระยะห่างระหว่างวัตถุกับเครื่องมือวัด โดยค่าความผิดพลาด (error) ของไฟโรมิเตอร์ชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสีของวัตถุ อาจเกิดจากการเคลื่อนที่ของรังสีผ่านตัวกลาง เช่น อากาศที่มี ไอ ควีน ก๊าซหรือฝุ่นละอองกระจายอยู่ สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ดูดซึมพลังงานบางส่วนจากรังสีก่อนถึงตัวเครื่องมือวัด ทำให้พลังงานที่เซนเซอร์ตรวจจับได้มีค่าลดลง ค่าที่วัดได้จึงคลาดเคลื่อน

2.3.1.3 พื้นที่การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด โดยคิดจากค่าอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของวัตถุกับเครื่องมือวัด (distance, D) และพื้นที่การวัด (spot size, S) หรือ D:S ซึ่งแสดงถึงระยะห่างที่เหมาะสมของการวัด คุณสมบัติข้อนี้เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว (specifications) ของเครื่องมือวัดแต่ละผลิตภัณฑ์ ผู้ใช้งานควรเลือกคุณสมบัติให้เหมาะสมกับลักษณะงาน โดยหากจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิ (measured spot) มีขนาดเล็กมาก หรือมีขนาดเล็กกว่าพื้นที่ของการวัด จะทำให้อุณหภูมิรอบข้างที่ไม่เกี่ยวข้องกับจุดที่ต้องการวัดอุณหภูมิเข้าไปรวมอยู่ในพื้นที่ของการวัดด้วย ซึ่งเมื่อแปลผลพลังงานที่วัดได้ค่าอุณหภูมิที่ได้จึงคลาดเคลื่อนจากค่าที่แท้จริง (นวกัทร่า และ ทวีพล , 2555)

2.3.2 วิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares method: PLS) เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร ในการสร้างตัวแบบความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มของตัวแปรสังเกตได้ (observed variable) โดยอาศัยตัวแปรแฝง (latent variable) ซึ่งเริ่มแรกอัลกอริทึมที่ใช้ใน PLS ที่มีชื่อว่า NIPALS (non-linear iterative partial least squares) ได้รับการพัฒนาโดย Herman Wold ใน ค.ศ.1966 (Russotillo, 2009, pp. 1-4) และใน ค.ศ. 1975 เขาใช้อัลกอริทึมในการจัดการกับปัญหาการสร้างตัวแบบเส้นทาง (Path Modeling) ในทางเศรษฐศาสตร์ ในช่วงปี ค.ศ.1980-1989 Svante Wold บุตรชายของเขาและเพื่อนได้พัฒนา PLS ให้สามารถจัดการกับปัญหาการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ในการสร้างตัวแบบเคมีเมตริกซ์ (chemometrics) และสเปกโตรเมตริก (spectrometric) (Boulesteix and Strimmer, 2006) และเรียกวิธีการนี้ว่า PLS-Regression หรือ PLS-R

PLS เป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับความสนใจจากนักสถิติและนักวิจัยเป็นอย่างมากใน 20 ปีที่ผ่านมา (Boulesteix and Strimmer, 2006) (Mehmood et al, 2012) เนื่องจาก PLS สามารถจัดการกับข้อมูลที่มีจำนวนมิติมากในขณะที่มีขนาดตัวอย่างน้อยได้เป็นอย่างดีตราบใดที่ข้อมูลนี้ยังไม่มีข้อสมมุติเบื้องต้นเกี่ยวกับโครงสร้างของข้อมูลซึ่งทำให้ PLS ได้รับการเรียกว่าเป็น soft modelling (Manne, 1987) คือเป็นวิธีที่ยืดหยุ่นและสามารถแก้ปัญหาได้หลายด้านในการวิเคราะห์ข้อมูล PLS จึงสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ในหลายลักษณะ (นพมาศ อัครจันท์โชติ, 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การถดถอยของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน PLS-R (partial least squares regression) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงสถิติที่มีประสิทธิภาพสามารถรับมือกับข้อมูลที่มีจำนวนมิติมาก (มากกว่าจำนวนตัวอย่าง) ตัวแปรครบถ้วนจำนวนมาก ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเอง (collinearity) และมีค่าสูญหายในชุดข้อมูลนอกจากนี้ยังไม่มีข้อสมมุติเบื้องต้นเกี่ยวกับการแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ดังนั้น PLS-R จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลไมโครอาร์เรย์ (Johansson et al., 2003) (Yeniay and Göktas, 2002) ได้เปรียบเทียบ PLS-R และวิธีการวิเคราะห์การถดถอยอื่นที่เป็นที่นิยมได้แก่ การวิเคราะห์การถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดสามัญ (ordinary least square method) การถดถอยองค์ประกอบหลัก (principal component regression) และการถดถอยแบบบริดจ์ (Ridge Regression) โดยในงานวิจัยได้เสนอในมุมมองของทฤษฎี และได้นำไปประยุกต์กับข้อมูลจริง ซึ่งพบว่า PLS-R ให้ผลลัพธ์ที่ค่อนข้างดีกว่าในแง่ของความสามารถเชิงทำนายของตัวแบบ PLS-R มีความสามารถในการวิเคราะห์การถดถอยในกรณีที่มีตัวแปรตามมากกว่าหนึ่งตัว โดยสร้างเป็นตัวแบบเดียว ซึ่งทำให้เห็นภาพรวมได้ชัดเจนกว่าการแยกวิเคราะห์ทีละตัวแปรตาม แต่ถ้ากลุ่มตัวแปรตามนั้นวัดสิ่งที่ไม่เกี่ยวข้องกันซึ่งทำให้ตัวแปรตามไม่สัมพันธ์กัน การสร้างตัวแบบเดียวโดย PLS-R มีแนวโน้มที่จะได้องค์ประกอบจำนวนมากซึ่งทำให้ยากในการตีความ การสร้างตัวแบบแยกกันในแต่ละตัวแปรตามจะเหมาะสมกว่าเนื่องจากง่ายต่อการตีความ (Wold et al, 2001)

PLS-R ใช้สำหรับการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ แต่สามารถประยุกต์กับงานการจำแนกประเภทข้อมูล ซึ่งตัวแปรตามเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพได้ โดยมีขั้นตอนที่เพิ่มขึ้น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนของการแปลงค่าเมทริกซ์ของตัวแปรตามให้เป็นเมทริกซ์ของตัวแปรตามมีและการทำนายกลุ่มจากผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งจะกล่าวถึงในตอนต่อไป หัวข้อการวิเคราะห์การจำแนกประเภทของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (partial least squares discriminant analysis: PLS-DA) (นพมาศ อัครจันทโชติ, 2557)

2.3.4 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ Multiple linear regression (MLR) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะหรือปัจจัยที่แทนด้วยตัวแปรตั้งแต่สองตัวแปรขึ้นไป เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ ทิศทางความสัมพันธ์ และลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หรือเป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยค่าที่ทราบจากตัวแปรหนึ่งแล้วนำไปพยากรณ์ค่าของอีกตัวแปรหนึ่ง ว่ามีความแปรผันในสัดส่วนเท่าใดหรือระดับใด (ไหมไทย, 2555)

2.4 ค่าทางสถิติ

2.4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation, R) แสดงถึง ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของตัวแปร X และตัวแปร Y ถ้าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกันมาก ผลของค่า R ที่ได้จะเข้าใกล้ 1.00 ในกรณีที่ค่า R เท่ากับ 1.00 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองชุดมีความสอดคล้องกัน อย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ถ้าค่า R เข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลทั้งสองชุดไม่มี ความสัมพันธ์ หรือความสอดคล้องกัน ทั้งนี้ ตัวแปร X และตัวแปร Y อาจมีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกหรือลบก็ได้ (Williams, 2554) สมการที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการอธิบายค่าทำนายที่เกิดจากอิทธิพล ของตัวแปรอิสระ (X) กับค่าแปรตาม (Y) ที่มี ความสัมพันธ์กันมาก การแปลความหมายของค่า R และ R² (ปานมนัส, 2556) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แนวทางการอธิบายความสามารถของสมการเทียบมาตรฐานด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ correlation coefficient (R) หรือค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ coefficient of determination (R²)

R	R ²	ประสิทธิภาพของสมการทำนาย
± 0.5	0.25	ไม่ควรใช้ในการทำนาย
± 0.51-0.70	0.26-0.49	ความสัมพันธ์ไม่ดีพอ
± 0.71-0.80	0.50-0.64	สามารถใช้คัดเลือกเบื้องต้นได้
± 0.81-0.90	0.65-0.81	สามารถใช้ในการคัดเลือกหรือประมาณค่าเบื้องต้น
± 0.91-0.95	0.82-0.90	สามารถใช้ตรวจคุณภาพได้
± 0.96-0.98	0.92-0.96	สามารถใช้งานประกันคุณภาพได้
± 0.99 ขึ้นไป	0.98 ขึ้นไป	สามารถใช้ได้กับทุกงาน

ที่มา: Williams (2007)

2.4.2 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R²) แสดงถึง สัดส่วนความแปรปรวนของตัวแปร X (ค่าจริง) ที่สามารถอธิบาย ความแปรปรวนของตัวแปร Y (ค่าทำนาย) ซึ่งจะมีค่าเป็นบวกเสมอ เช่น ถ้าค่า R² เท่ากับ 1.00 หมายความว่า ความแปรปรวนของตัวแปร X อธิบายความแปรปรวนของตัวแปร Y ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ หรือในกรณีที่ค่า R² เท่ากับ 0.50 หมายความว่า ความแปรปรวนของตัวแปร X อธิบายความแปรปรวนของตัวแปร Y ได้ 50 เปอร์เซ็นต์ และอีก 50 เปอร์เซ็นต์ของ ความแปรปรวนของตัวแปร X ที่เหลือมาจากปัจจัยอื่นๆ เช่น วิธีการเตรียม ตัวอย่าง หรือวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน โดยที่ค่า R² นั้นจะมีค่าเป็นบวกเสมอ (Jerome, 2007; Williams, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการทำนาย (bias) คือ ค่าเฉลี่ยของ ความแตกต่างระหว่างค่าจริง (actual value) และค่าทำนาย (predicted value) เป็นค่าที่ใช้วัดความแม่นยำโดยรวมของแบบจำลองที่สร้างได้ ค่าที่ได้ ควรมีค่าน้อย (Williams, 2554)

2.4.4 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มสร้างแบบ จำลอง (standard error of calibration, SEC) คือ ค่าความเบี่ยงเบน มาตรฐาน (standard deviation, SD) ของความแตกต่างระหว่างค่าจริง และ ค่าทำนายของกลุ่มตัวอย่างสำหรับสร้างแบบจำลองแคลิเบรชัน ค่าที่ได้ ควรมีค่าต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตามค่า SEC ที่มีค่าต่ำที่สุด อาจดีสำหรับ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแคลิเบรชันเท่านั้น อาจไม่ดีสำหรับ ตัวอย่างอื่น (Williams, 2554)

2.4.5 ค่าความผิดพลาดมาตรฐานในการทำนายของกลุ่มทดสอบแบบจำลอง (standard error of prediction, SEP) คือ ค่าความเบี่ยงเบน มาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าทำนายในกลุ่มตัวอย่าง สำหรับทดสอบแบบจำลอง โดยค่า SEP จะเป็นอิสระจากค่า bias ซึ่งต่าง จากค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ย ยกกำลังสองของกลุ่มทดสอบ แบบจำลอง (RMSEP) ที่ มีการนำค่า bias มาใช้ในการคำนวณ ดังนั้น เมื่อ รายงาน ผลโดยใช้ค่า SEP จา เป็นต้องรายงานผลคู่กับ ค่า bias เสมอ ซึ่งรายงานผลโดยใช้ค่า SEP จา เป็นต้องรายงานผล คู่กับ ค่า bias เสมอ ซึ่งค่าที่ควรมีค่าน้อยเช่นเดียวกับค่า bias (Williams, 2554)

2.4.6 ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของกลุ่มสร้างแบบจำลอง (root mean square error of calibration, RMSEC) เป็นการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่า ทำนายของกลุ่มตัวอย่างสำหรับสร้างแบบจำลองแคลิเบรชัน โดย ค่า RMSEC นั้นเป็นค่าที่นำค่า bias มาใช้ คำนวณร่วมด้วย ดังนั้น เมื่อ รายงานผลจึงไม่จำเป็นต้องเป็นการรายงานค่า bias และค่าที่ได้ควรมีค่า น้อย เช่นเดียวกัน (Williams, 2554)

2.4.7 ค่ารากที่สองของความผิดพลาดเฉลี่ยยกกำลังสองของกลุ่ม ทดสอบแบบจำลอง (root mean square error of prediction, RMSEP) เป็นการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างระหว่างค่าจริง และค่าทำนายของกลุ่มตัวอย่างสำหรับทดสอบแบบจำลอง โดยค่า RMSEP นั้นเป็นค่าที่นำค่า bias มาใช้คำนวณ ร่วมด้วย ดังนั้น เมื่อรายงาน ผลจึงไม่จำเป็นต้องเป็นการรายงานค่า bias และค่าที่ได้ควรมีค่าน้อยเช่น เดียวกัน (Williams, 2554)

2.4.8 ค่า RPD หรืออัตราส่วนระหว่างค่า SEP ต่อค่า SD (ratio of standard error of prediction validation to standard deviation, RPD) เป็น ค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของ แบบจำลองที่ได้ซึ่งคำนวณจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วน ระหว่างค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าจริงของข้อมูลกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ ทดสอบแบบจำลองและค่า SEP โดยค่าที่ได้ควรมีค่ามาก (Williams, 2554)

2.5 การปรับแต่งข้อมูลก่อนการวิเคราะห์

ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างได้แก่ ค่าความหนาแน่น อุณหภูมิ มวล เวลาในการต้ม และค่าเนื้อสัมผัส เนื่องจากทุกข้อมูลดังกล่าวต้องนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความร้อนแฝง โดยที่หากปัจจัยต่าง ๆ มีความคลาดเคลื่อนอาจทำให้ค่าความร้อนแฝงของไข่แต่ละฟองมีความผิดพลาดหากนำไปวิเคราะห์ โดยไม่มีการคัดกรองข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์อาจทำให้สมการที่ออกมามีความผิดพลาด

2.6 การทดสอบคุณภาพด้วยวิธีการไม่ทำลาย

เทคนิคการวัดคุณภาพแบบไม่ทำลาย คือ การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย การทดสอบจะใช้หลักการของสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น แสง รังสี ไฟฟ้า แม่เหล็ก อัลตราโซนิก คลื่นเสียง เป็นต้น การทดสอบโดยไม่ทำลายแต่ละวิธีมีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบ ความสามารถในการทดสอบ ความเหมาะสม ความไวในการทดสอบและต้นทุนในการทดสอบแตกต่างกันไป

การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย หมายถึง กรรมวิธีที่ใช้ค้นหา รอยบกพร่องหรือความผิดปกติใด ๆ ที่มีอยู่ในชิ้นงาน ทั้งที่เป็นอันตรายต่อการใช้งานหรือไม่เป็นอันตรายต่อการใช้งาน โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงานนั้น ซึ่งต่อไปนี้ รอยบกพร่อง หรือความผิดปกติใด ๆ ที่กล่าวถึงนี้จะเรียกโดยรวมว่า ความไม่ต่อเนื่อง (discontinuity) จากความหมายของการตรวจสอบโดยไม่ทำลายนี้ การตรวจสอบโดยใช้สายตา (visual inspection) เป็นการตรวจสอบโดยไม่ทำลายที่สะดวก รวดเร็ว และประหยัดที่สุด ดังนั้นหากสามารถตัดสินผลของการตรวจสอบโดยใช้การตรวจสอบโดยใช้สายตาได้แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใช้การตรวจสอบโดยวิธีอื่นอีกแต่อย่างไรก็ตามความไม่ต่อเนื่องอาจเกิดในตำแหน่งหรือขนาดที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจึงได้มีการพัฒนาวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายวิธีต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อช่วยให้สามารถตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องดังกล่าวนี้ได้

(วชิระ, 2549)

2.6.1 การทดสอบคุณภาพด้วยวิธีการไม่ทำลาย การทดสอบคุณภาพด้วยวิธีการไม่ทำลาย (non-destructive evolution)

การทดสอบคุณภาพด้วยการไม่ทำลายเป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบ และวิเคราะห์ความเสียหาย หรือคุณสมบัติภายในวัสดุ ถ้าวัดวัสดุวิศวกรรม และชีววัสดุ ทางวิศวกรรมได้มีการนำเทคนิคนี้ไปใช้อย่างแพร่หลายเช่น ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบหารอยบกพร่องของชิ้นงาน เช่น รอยร้าว รอยกัดกร่อน รอยบกพร่อง จากเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตโดยไม่ทำลายชิ้นงานประยุกต์ใช้ตั้งแต่ ขั้นตอนการผลิตเหล็กระหว่างการก่อสร้าง และการใช้งานอุปกรณ์การผลิตที่ควรได้รับการทดสอบได้แก่ ถัง ท่อ เครื่องจักรในสายการผลิต ส่วนในเชิงเกษตรกรรมได้นำมาประยุกต์ใช้ทั้งการวิเคราะห์คุณสมบัติภายใน และการตรวจความเสียหายของผลผลิตภายใน ซึ่งไม่อาจมองเห็นได้จากภายนอกเพื่อให้สามารถทำนายคุณภาพ หรือความเสียหายของผลผลิตทางการเกษตรได้ล่วงหน้า

2.6.1.1 การทดสอบคุณภาพโดยวิธีการไม่ทำลายในเชิงวิศวกรรม

ในเชิงวิศวกรรมจะใช้หลักการทางฟิสิกส์เพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของชิ้นงานที่ถูกทดสอบโดยการหารอยความไม่ต่อเนื่อง (discontinuity) ในชิ้นงานข้อมูลที่ได้สามารถนำไปประเมินความเหมาะสมในการใช้งานของชิ้นงานการทดสอบจะไม่มีผลต่อการนำชิ้นงานไปใช้งานหรือประโยชน์ของชิ้นงานนั้นหลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้ เช่น รังสี แสง คลื่นเสียงแม่เหล็ก และ ไฟฟ้า เป็นต้น การทดสอบโดยไม่ทำลายในแต่ละ วิธีมีข้อได้เปรียบและข้อเสียเปรียบความสามารถในการทดสอบความเหมาะสมความไวในการทดสอบและต้นทุนในการทดสอบที่แตกต่างกัน

2.6.2 การทดสอบคุณภาพด้วยวิธีการไม่ทำลายในช่วงเกษตรกรรม

ด้านเกษตรกรรมได้มีการนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น มะพร้าว (กัลยาทัศน์ วัฒนบุตร และ อนัญญา หอวัฒนพาณิชย์, 2554) เป็นต้น โดยส่วนมากแล้วจะทำการวัดคุณภาพภายนอก เช่น คุณสมบัติ ต่าง ๆ ภายนอกอาทิ น้ำหนักความหนาแน่นค่าสีขนาดปริมาตรคาบทางไฟฟ้า เป็นต้น เก็บข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อการทำนายคุณภาพภายในเช่น ปริมาณกรดปริมาณน้ำปริมาณของแข็งภายในในรูปแบบของแบบจำลองถ้าใครจะสาดเช่น สมการสหสัมพันธ์หลายตัวแปร multiple liner regression (MLR) หรือ partial least square regression (PLS) อีกรูปแบบหนึ่งคือการตรวจสอบความเสียหายภายในของผลไม้ซึ่งไม่อาจเห็นได้จากตาเปล่าเช่น การตรวจสอบอาการยาแค้นในมังคุดด้วยเทคโนโลยี near infrared spectroscopy (NIR) (สนธิสุข, 2552)

2.6.3 การตรวจสอบไข่มะตูมแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางความร้อน

โดยในงานวิจัยนี้ใช้หลักการของสมบัติทางฟิสิกส์ คุณสมบัติทางความร้อน เป็นหลักการทดสอบแบบไม่ทำลาย

2.6.3.1 การทดสอบคุณภาพด้วยวิธีการไม่ทำลายของความเสียหายทางความร้อนที่เกิดขึ้นเฉพาะในคอมโพสิตคาร์บอนโดยใช้การวัดอุณหภูมิและการแพร่กระจายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกผสมเส้นใยคาร์บอนเสริมแรง (carbon fibre-reinforced plastic : CFRP) สามารถพบได้ทั่วไปในภาคการบินและอวกาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการนำเครื่องยนต์ไปใช้กับเครื่องบิน ด้วยการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นในสภาพแวดล้อมที่รุนแรง มันสำคัญมาก ๆ ที่จะต้องเข้าใจพฤติกรรมและประสิทธิภาพการทำงาน เมื่อสัมผัสกับสภาพการทำงานดังกล่าว บทความนี้นำเสนอวิธีการใหม่ในการทำความเข้าใจกลไกการสลายตัวด้วยความร้อนของคอมโพสิต CFRP ตามการวัดการแพร่กระจายความร้อนผ่านการทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) เมื่อสัมผัสกับความร้อนในพื้นที่ งานวิจัยนี้สำรวจความเหมาะสมของการถ่ายภาพความร้อนแบบพัลส์ ใช้ในการตรวจสอบความเสียหายทางกายภาพที่เกิดจากการสัมผัสกับความร้อน พร้อมกับความสามารถในการระบุการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นของการสัมผัส ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเทอร์โมกราฟีในการตรวจสอบความเสียหายของสีที่เปลี่ยน โดยใช้การวัดการแพร่กระจายที่ได้มาจากการสร้างชุดข้อมูลความร้อนขึ้นใหม่

การศึกษาพบว่ากระบวนการย่อยสลายทางความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุสภาพแวดล้อม และแหล่งความร้อน สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนนั้นเกิดจากเรซินซึ่งอยู่ในอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะของแก้วซึ่งสามารถแบ่งลักษณะความเสียหายออกเป็นสามระดับ

การศึกษานี้ยืนยันว่าไม่ได้มีแค่กระบวนการสลายตัวด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นในลามิเนต CFRP แต่ยังเสนอวิธีการตรวจจับแบบใหม่ซึ่งรวมการใช้ทั้งการวัดสมบัติของวัสดุแบบดั้งเดิม ในกรณีของการวัดการแพร่กระจายความร้อนและวิธีการทางสถิติมาตรฐานสำหรับการประเมินความเสียหาย วิธีการนี้ได้เปิดใช้งานการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเชิงคุณภาพภาพด้วยผลลัพธ์เชิงปริมาณ นอกจากนี้บทความนี้ยังเพิ่มความสามารถในการใช้งานเครื่องตรวจจับความร้อนด้วยพัลส์ซึ่งเพื่อตรวจสอบความเสียหาย ตามลักษณะการแพร่กระจายความร้อนของวัสดุซึ่งจะเป็นการลบการพึ่งพาเทคนิคของคุณสมบัติความเสียหายทางกายภาพ (Zhao et al., 2018)

2.6.3.2 การทดสอบด้วยคลื่นเสียงและการระบายความร้อนเพื่อระบุข้อบกพร่องภายในแบบไม่ทำลายในอายุคาลิปตัส

วิธีการไม่ทำลายที่มีประสิทธิภาพสำหรับการระบุคุณภาพที่ไม่ดีและไม้ที่เป็นตะปุ่มตะป่ำในไม้ยืนต้นที่ช่วยในการขนส่งไม้ที่มีคุณภาพสูงไปยังโรงงานแปรรูปที่เหมาะสมและลดต้นทุนการขนส่งไม้ยูคาลิปตัสในเทนเป็นพืชไม้เมืองหนาวที่สำคัญพอสมควรที่ใช้ในการผลิตกระดาษเป็นหลัก เมื่อไม่นานมานี้ยังได้รับการพิจารณาว่าเป็นแหล่งที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไม้แปรรูปคุณภาพสูงสิ่งสำคัญประการหนึ่งของศักยภาพทางเศรษฐกิจของธุรกิจโรงเลื่อยนี้คือความสามารถในการแยกความแตกต่างระหว่างยูคาลิปตัสที่มีการตัด (คุณภาพสูง) และยูคาลิปตัสที่ไม่มีการตัด (คุณภาพต่ำกว่า) ลำต้นที่มีคุณภาพต่ำมี คือต้นที่เปอร์เซ็นต์มีลักษณะที่ไม่ดีสูง เช่น ร่องรอยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตะปุ่มตะป่ำ หรือ ร่องรอยที่ลดคุณภาพของผลผลิต แต่น่าเสียดายที่มันไม่ได้เป็นไปได้ที่จะใช้สายตาในการแยกความแตกต่างระหว่างยูคาลิปตัสที่มีการตัด (คุณภาพสูง) และยูคาลิปตัสที่ไม่มีการตัด (คุณภาพต่ำกว่า) แม้ว่าโรงงานแปรรูปไม้ใช้เครื่องเอกซเรย์ขนาดใหญ่ในกระบวนการผลิตวิธีการปรับปรุงคุณภาพของไม้เพื่อลดต้นทุนการขนส่งยังคงเป็นความท้าทายที่สำคัญงานวิจัยนี้นำเสนอผลลัพธ์จากการทดสอบด้วยคลื่นเสียงและการระบายความร้อนไปจนถึงการตรวจหาข้อบกพร่องภายในแบบไม่ทำลายในต้นยูคาลิปตัสในแทนอายุ 17 ปีที่ปลูกใน รัฐแทสมาเนีย, ออสเตรเลีย สำหรับการตรวจสอบ 12 ตัวอย่าง (billets) จากส่วนต่าง ๆ ของลำต้นต้นยูคาลิปตัสในแทนได้รับการคัดเลือกและปรับอากาศในระดับของความชื้นในป่า 120% (ปริมาณน้ำ 70%) ตัวอย่างถูกสแกนด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกสองวิธีผ่านการส่งและการสะท้อน ในวิธีการส่งผ่านคลื่นถูกแพร่กระจายในช่วงเวลา 10 ซม. ในทิศทางตามยาวและที่ระยะ 45 องศาของมุมในทิศทางรอบทิศทาง ในวิธีการพัลส์ - อีโคพื้นผิวของบิลเล็ตนั้นจะถูกสแกนเป็นระยะ ๆ ประมาณ 10 ซม. รอบตัวอย่าง ตัวอย่างที่ไม่ได้รับการประมวลผลนั้นถูกตรวจวัดความชื้นโดยใช้กล้องความร้อนเพื่อตรวจสอบผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นอัลตราโซนิก อัลตราโซนิกแสดงให้เห็นความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างยูคาลิปตัสที่มีการตัด และยูคาลิปตัสที่ไม่มีการตัด ตัวอย่างที่ไม่ได้ตัดจะสร้างเอฟเฟกต์ที่มีขนาดใหญ่กว่าบนคลื่นอัลตราโซนิกเมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นที่แพร่กระจายโดยตัวอย่างที่ถูกตัด กล้องถ่ายภาพความร้อนแสดงให้เห็นว่าไม้ที่มีปมเปื่อยนั้นมีความชื้นสูงกว่าไม้เนื้อแข็งยกเว้นเมื่อไม้แห้งด้วยอากาศซึ่งทำให้มีความชื้นต่ำกว่าเล็กน้อยที่ตรวจจับได้ ผลแสดงให้เห็นผลการวิจัยที่พิสูจน์แล้วว่ามันเป็นไปได้ที่จะประเมินโครงสร้างภายในที่ไม่ทำลายในป่าและสามารถประเมินในป่าเทียมในรัฐแทสมาเนีย (Taskhiri et al., 2020)

งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ใช้คุณสมบัติทางความร้อนในการตรวจสอบแบบไม่ทำลายนั้นจะใช้ thermography หรือที่เรียกว่า thermal imaging คือการตรวจจับรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากพื้นผิวแล้วแปลงสัญญาณออกมาเป็นแผนผังความร้อนโดยใช้ระดับความเข้มอ่อนของสีแทนระดับ อุณหภูมิแล้วแสดงออกมาเป็นรูปภาพ ในการตรวจสอบ โดยในปัจจุบันยังไม่มียานวิจัยที่ใช้ คุณสมบัติทางความร้อนในการตรวจสอบทางกายภาพแบบไม่ทำลายในอุตสาหกรรมอาหาร

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบและสารเคมี

3.1.1 ไข่ไก่ เบอร์ 1 จากฟาร์มจังหวัดฉะเชิงเทรา

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เครื่องต้ม Model รุ่น EF-4L No. 04/09/IM268/EF-4L/20

3.2.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง รุ่น BP31005, Sartorius, Germany

3.2.3 เครื่อง Infrared thermometer Model : 830-T1

3.2.4 เครื่อง Indoor Outdoor Thermometer with Hygrometer: TA298

3.3 โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

3.3.1 โปรแกรม Unscrambler

3.3.2 โปรแกรม OriginPro 8

3.4 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.4.1 ตัวอย่างไข่ไก่

ในการทดลองการตรวจสอบไข่อย่างละเอียดแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางความร้อน เพื่อลดตัวแปรที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน เราจึงกำหนดตัวอย่างไข่ไก่ไว้ที่เบอร์ 1 โดยใช้มาตรฐานที่น้ำหนัก 65-69 กรัม ไม่มีความเสียหายทางกายภาพจากภายนอก มีการเก็บไว้ไม่เกิน 1-2 วัน เพื่อให้ได้ไข่ไก่ที่สดใหม่มีมาตรฐาน และรับจากฟาร์มจากจังหวัดฉะเชิงเทราทุกครั้งเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยเมื่อนำมาทำการทดลองจะนำไข่ไก่มาพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2-3 ชั่วโมงก่อนเริ่มปฏิบัติ

3.4.2 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

นำไข่ไก่ที่ได้ไปต้มในเครื่องทอด เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิ ปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้ม และการกระจายความร้อนภายในให้ไข่ไก่ได้รับความร้อนเท่ากันทั้งฟอง ทำให้สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆได้ชัดเจน โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองควบคุมอุณหภูมิน้ำไว้ที่ 90 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาที่ต่างกัน เพื่อรวบรวมข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์

3.4.3 การตรวจสอบคุณภาพไข่ไก่

3.4.3.1 การตรวจสอบวัดอุณหภูมิหลังผ่านการให้ความร้อน โดยนำไข่ไก่มาวางไว้บนถาดสแตนเลส วัดอุณหภูมิที่ผิวของเปลือกไข่ อากาศ และความชื้น ทุก ๆ 30 วินาที จนครบ 5 นาที โดยใช้เครื่องอินฟาเรดเทอร์โมมิเตอร์ วัดห่างจากผิวเปลือกไข่ระยะห่างประมาณ 5 เซนติเมตรทุกลูก และทำการวัดให้ทั่วบริเวณเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ แล้วจึงนำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณการถ่ายเทความร้อน

3.4.3.2 การหาค่าความหนาแน่นของไข่ไก่ทั้งก่อนและหลังผ่านการให้ความร้อนเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไข่ไก่ โดยการชั่งน้ำหนักในอากาศและในน้ำด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

3.4.3.3 การหาค่าพื้นที่ผิวของไข่ไก่ โดยวัดขนาดจากทั้งด้านกว้างและด้านยาว โดยวัดกว้าง 2 จุดห่างกัน 45 องศาแล้วนำมาเฉลี่ย แล้วนำไปเข้าสู่สูตรหาพื้นที่ผิว

$$A = 3.155 - 0.0136L + 0.0115B$$

เมื่อกำหนดให้

A = พื้นที่ผิว

l = ความยาวของไข่ (มิลลิเมตร)

b = ความกว้างสูงสุดของไข่ (มิลลิเมตร)

3.4.4 ทำการคัดเลือกข้อมูลในการวิเคราะห์

3.4.4.1 การหาค่าการถ่ายเทความร้อน ทำให้ทราบถึงพลังงานในการเปลี่ยนแปลงของไข่ โดยจะทำการต้มไข่ที่เวลาต่าง ๆ กัน โดยเริ่มที่ 3 นาทีซึ่งเป็นจุดที่คาดว่าไข่เริ่มสุกเป็นไข่ต้ม จากนั้นวัดอุณหภูมิที่ผิวเปลือกไข่ต้มทุก ๆ 30 วินาทีเป็นเวลา 5 นาที เพื่อนำค่ามาคำนวณหาสมการในการวิเคราะห์

$$Q = mC_p (T_1 - T_2)$$

$$Q = h_{av} \cdot A(\Delta T)_{ln} \cdot \Delta t = h_{av} \cdot A \cdot \left[\frac{(T_1 - T_{a1}) - (T_2 - T_{a2})}{\ln \frac{(T_1 - T_{a1})}{(T_2 - T_{a2})}} \right] \cdot \Delta t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้

Q คือ ปริมาณความร้อนหรือค่าความร้อนแฝงที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะ

m คือ มวลของสาร

T คือ อุณหภูมิของไขไก่

A คือ พื้นที่ผิวของไข

เมื่อทำการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนแต่ละค่าแล้ว นำค่าทั้งหมดไปคัดกรองเพื่อลดความผิดพลาด หรือค่าที่คลาดเคลื่อน (noise) จึงนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาค่าด้วยโปรแกรม Unscrambler, โปรแกรม OriginPro 8 เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.4.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม The Unscrambler

3.4.4.2.1 ใช้โปรแกรม The Unscrambler ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

3.4.4.2.1.1 กำหนดตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยให้ตัวแปรตามคือ เปอร์เซ็นต์ความสุกของไข โดยกำหนดให้ Class0 คือความสุกที่ 100% และ Class1 คือความสุกที่ 50-75% ส่วนตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลความร้อนที่ผ่านการคำนวณ

3.4.4.2.1.2 นำข้อมูลค่าตัวแปรตามมาเรียงกัน โดยเรียงค่าตัวแปรตามทั้งหมดเรียงจากน้อยไปมาก แล้วทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (prediction set) กลุ่มสร้างสมการจะต้องมีจำนวนข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มทดสอบสมการ จะต้อง มีจำนวนข้อมูล 30 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลเท่าๆ กัน

3.4.4.2.1.3 นำข้อมูลทั้งหมดไปเข้าโปรแกรม The Unscrambler

เพื่อตัดข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนมาก ๆ (out liner) ออก หรือตัวอย่างที่มีข้อมูลไม่เป็นแนวโน้มเดียวกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งหมดเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน จนเหลือแต่ข้อมูลที่เหมาะสมในการทำการวิเคราะห์

3.4.4.2.1.4 นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยในกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) มาสร้างสมการในการทำนาย โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) ทำการ pre-treatment เลือกดูผลการวิเคราะห์แบบ Numerical เพื่อนำไปใช้ในการทำนายความถูกต้องของทั้ง Class0 Class1 และความถูกต้องทั้งหมด แสดงดังตาราง 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 วิธีการทางคณิตศาสตร์ช่วยในการปรับแต่ง (pre-treatment)

No.	Pre-processing techniques
1	Smoothing
2	1 st Derivative
3	2 nd Derivative
4	MSC
5	SNV
6	Smoothing ร่วมกับ 1 st Derivative
7	Smoothing ร่วมกับ 2 nd Derivative
8	Smoothing ร่วมกับ MSC
9	Smoothing ร่วมกับ SNV
10	1 st Derivative ร่วมกับ 2 st Derivative
11	1 st Derivative ร่วมกับ MSC
12	1 st Derivative ร่วมกับ SNV
13	2 nd Derivative ร่วมกับ MSC
14	2 nd Derivative ร่วมกับ SNV
15	MSC ร่วมกับ SNV

Savitzky-Golay smoothing (Smoothing) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยการปรับเรียบแบบชวิตซ์กีโกลีย์ Savitzky-Golay first derivative differentiation (1st derivative) และ Savitzky-Golay second derivative differentiation (2nd derivative) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการแปลงค่าด้วยวิธีอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งและสองตามลำดับ

Multiplicative scatter correction (MSC) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ

Standard normal variate transformation (SNV) คือ การปรับแต่งสเปกตรัมด้วยวิธีการปรับความแปรปรวนให้เป็นมาตรฐาน

3.4.4.2.2 ใช้โปรแกรม The Unscrambler ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

3.4.4.2.2.1 กำหนดตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยให้ตัวแปรตาม

คือ เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนของไข่ไก่ ส่วนตัวแปรอิสระ คือ ข้อมูลความร้อนที่ผ่านการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.2.2.2 นำข้อมูลค่าตัวแปรตามมาเรียงกัน โดยเรียงค่าตัวแปรตามทั้งหมดเรียงจากน้อยไปมาก แล้วทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มสำหรับการสร้างสมการ (calibration set) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มสำหรับการทดสอบสมการ (prediction set) กลุ่มสร้างสมการจะต้องมีจำนวนข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มทดสอบสมการ จะต้อง มีจำนวนข้อมูล 30 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละกลุ่มมีการกระจายตัวของข้อมูลเท่าๆ กัน โดยที่ในกลุ่มสร้างสมการจะต้องมีเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนต่ำสุดและมากที่สุดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

3.4.4.2.2.3 นำข้อมูลทั้งหมดไปเข้าโปรแกรม The Unscrambler เพื่อตัดข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนมาก ๆ (out liner) ออก หรือตัวอย่างที่มีข้อมูลไม่เป็นแนวโน้มเดียวกัน เพื่อให้ได้ข้อมูลทั้งหมดเป็นไปในแนวโน้มเดียวกัน จนเหลือแต่ข้อมูลที่เหมาะสมในการทำการวิเคราะห์

3.4.4.2.2.4 นำข้อมูลสเปกตรัมเฉลี่ยในกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) มาสร้างสมการในการทำนาย โดยใช้วิธี partial least squares regression (PLSR) ทำการ pre-treatment เพื่อนำไปใช้ในทำนายความถูกต้องของทั้ง Class0 Class1 และความถูกต้องทั้งหมด แสดงดังตาราง 3.1 จากนั้นพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_c) ให้มีค่าสูงสุด ค่าแฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) ต้องมีค่าน้อย และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ต้องมีค่าต่ำที่สุด

3.4.4.2.2.5 เลือกสมการแล้ว นำไปทำนายตัวอย่างในกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) เพื่อดูความแม่นยำของสมการซึ่งพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_p) และ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอธิบายผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพจะหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและตัวแปรตาม ด้วยการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ โดยการวิเคราะห์ทั้งหมดใช้โปรแกรม Unscrambler และ OriginPro 8

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับการทดลอง

ค่าที่ได้จากการทดลองนั้นมี ความหนาแน่น, ค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัส, เปอร์เซ็นต์ความสุก และ ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท ซึ่งหลังจากการทำการทดลองได้ทำการคัดกรองข้อมูลจาก 237 ข้อมูลเป็น 164 ข้อมูล เพื่อนำไปใช้เพื่อตัดสัญญาณที่รบกวนการวิเคราะห์ผล แล้วจึงแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ ข้อมูลกลุ่ม calibration set และข้อมูลกลุ่ม prediction set ตามที่แสดงในตารางที่ 4.1

จากการทดลองพบว่า คุณสมบัติทางกายภาพกับคุณภาพของไข่ไก่ที่ผ่านการให้ความร้อนมีความสัมพันธ์กัน โดยคุณสมบัติทางกายภาพสามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของไข่ไก่ที่ผ่านการให้ความร้อน ว่าคุณสมบัติ และองค์ประกอบภายในเปลี่ยนแปลงไปเพียงใด โดยคุณสมบัติที่ใช้เพื่อบ่งชี้ถึงคุณภาพหลังผ่านการให้ความร้อนของไข่ไก่ ได้แก่ พื้นที่ผิวเปลือกไข่, ความหนาแน่น และปริมาณความร้อนที่ถ่ายเท โดยเมื่อตรวจสอบจากภายนอกจะไม่สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพของไข่ไก่หลังผ่านการให้ความร้อน ดังนั้นจึงใช้ model มาใช้เพื่อหาความสัมพันธ์ดังกล่าว

ตารางที่ 4.1 การแจกแจงสถิติเชิงพรรณนาของค่า

Variables	Item	ไข่ดิบ	ไข่ยางมะตูม	ไข่สุก
ความหนาแน่น (g/cm ³)	Number of sample	28	82	82
	Range	0.999 – 1.004	0.09 – 1.01	0.91 – 1.45
	Mean	1.001	0.99	1.01
	SD	0.001	0.10	0.05
(hA)/C _p (g/s)	Number of sample	28	82	82
	Range	0.31 – 2.65	0.09 – 2.25	0.910 – 1.79
	Mean	1.74	1.59	1.39
	SD	0.33	0.27	0.18
h/C _p (g/m ² ·s)	Number of sample	28	82	82
	Range	0.31 – 2.65	0.093 – 1.007	0.143 – 1.452
	Mean	1.74	0.296	0.271
	SD	0.33	0.235	0.244
h (J/m ² ·s·°C)	Number of sample	28	82	82
	Range	5.67 – 45.15	17.46 – 38.63	18.29 – 35.23
	Mean	30.13	28.10	24.47
	SD	5.92	3.30	2.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

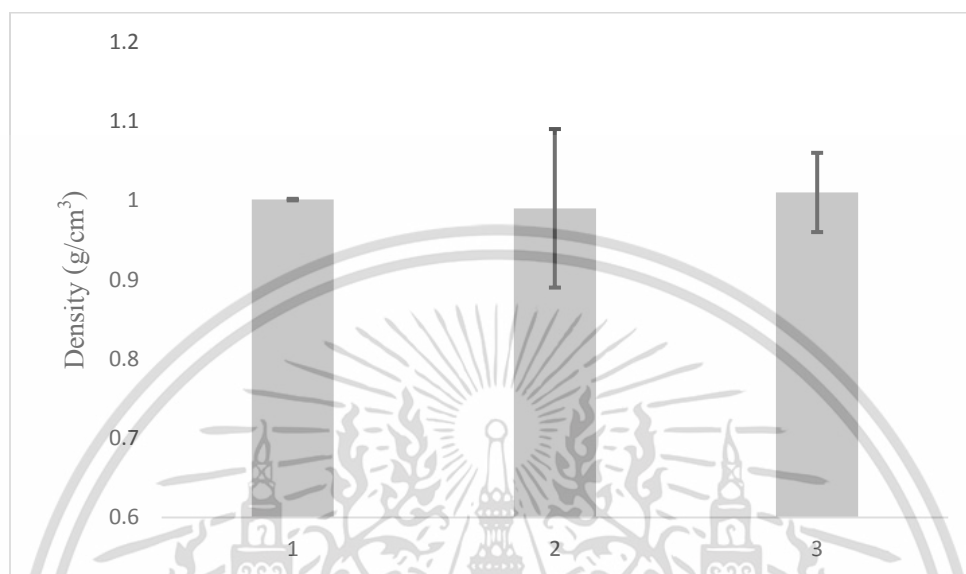
	Number of sample	28	82	82
Time (min)	Range	3.00 – 4.45	4.38 – 6.05	5.55 – 12.00
	Mean	4.05	5.05	8.15
	SD	0.52	0.40	1.92



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ความหนาแน่น (density)

แสดงความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นกับการทดลอง



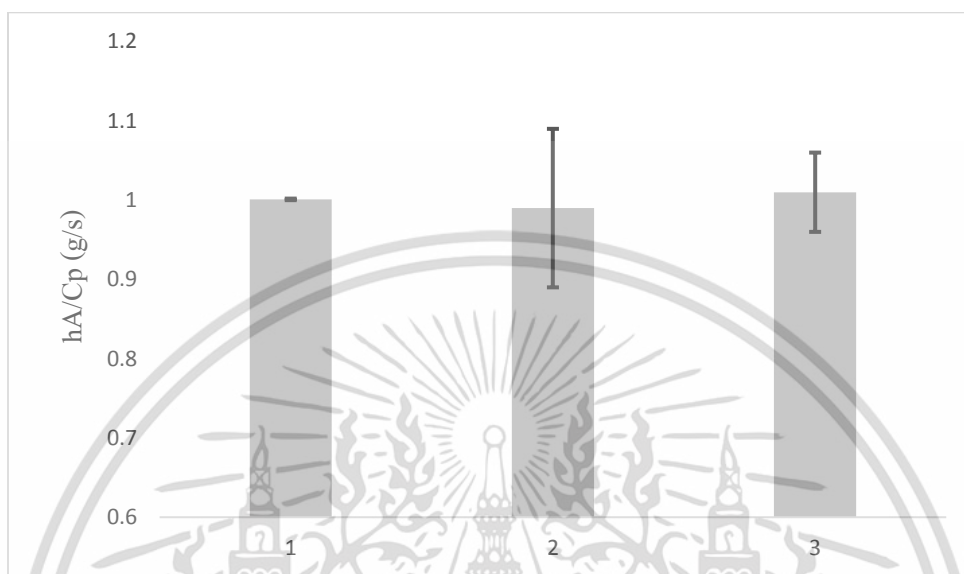
รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของไข่ไก่ที่ผ่านความร้อน 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 แทน กลุ่มไข่ต้มที่ยังไม่เป็นยางมะตูม, กลุ่มที่ 2 แทน กลุ่มไข่ต้มยางมะตูม และกลุ่มที่ 3 กลุ่มไข่ต้มสุก

จากรูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่น จากการคำนวณช่วงเวลาทั้งหมดที่ผ่านการให้ความร้อน(ตั้งแต่นำไข่ขึ้นจากหม้อต้ม จนกระทั่งถึงจุดสุดท้ายของการวัดอุณหภูมิ) จากการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่น ไข่ไก่ที่ผ่านการให้ความร้อนจากกราฟจะเห็นได้ว่าไข่ดิบ ไข่ยางมะตูม และ ไข่ต้มสุก มีค่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.2 $(hA)/C_p$

แสดงความสัมพันธ์ของค่า $(hA)/C_p$ กับการทดลอง



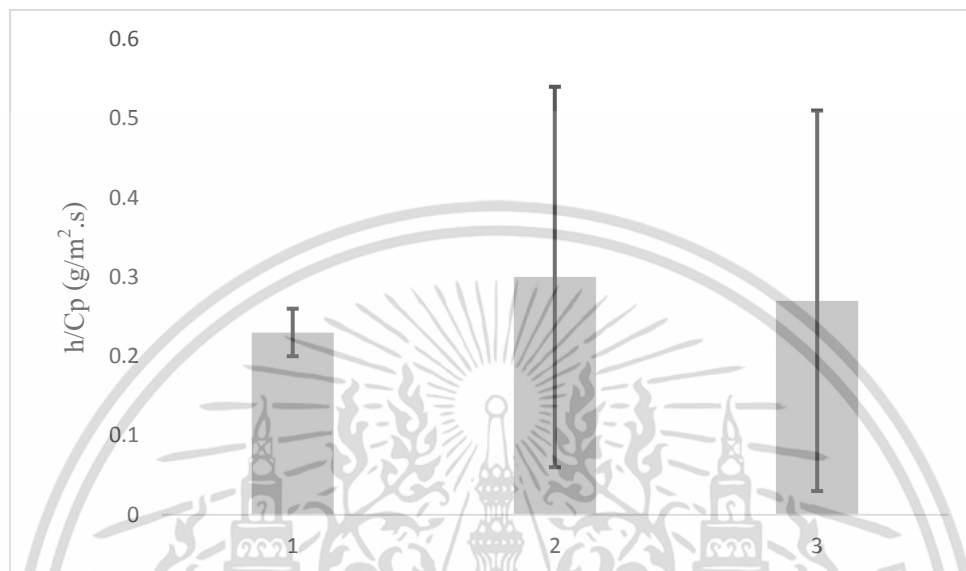
รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า $(hA)/C_p$ ของไขไก่ที่ผ่านความร้อน 3 กลุ่ม

สีแดง คือ กลุ่มไขต้มที่ยังไม่เป็นยางมะตูม สีเขียว คือ กลุ่มไขต้มยางมะตูม สีน้ำเงิน คือ กลุ่มไขต้มสุก

จากรูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่า $(hA)/C_p$ จากการคำนวณช่วงเวลาทั้งหมดที่ผ่านการให้ความร้อน(ตั้งแต่นำไขขึ้นจากหม้อต้ม จนกระทั่งถึงจุดสุดท้ายของการวัดอุณหภูมิ) จากการเปรียบเทียบค่า $(hA)/C_p$ ไขไก่ที่ผ่านการให้ความร้อนจากกราฟจะเห็นได้ว่าไขดิบ ไขยางมะตูม และ ไขต้มสุก มีค่า $(hA)/C_p$ น้อยลงตามลำดับ

4.1.3 h/C_p

แสดงความสัมพันธ์ของค่า h/C_p การทดลอง



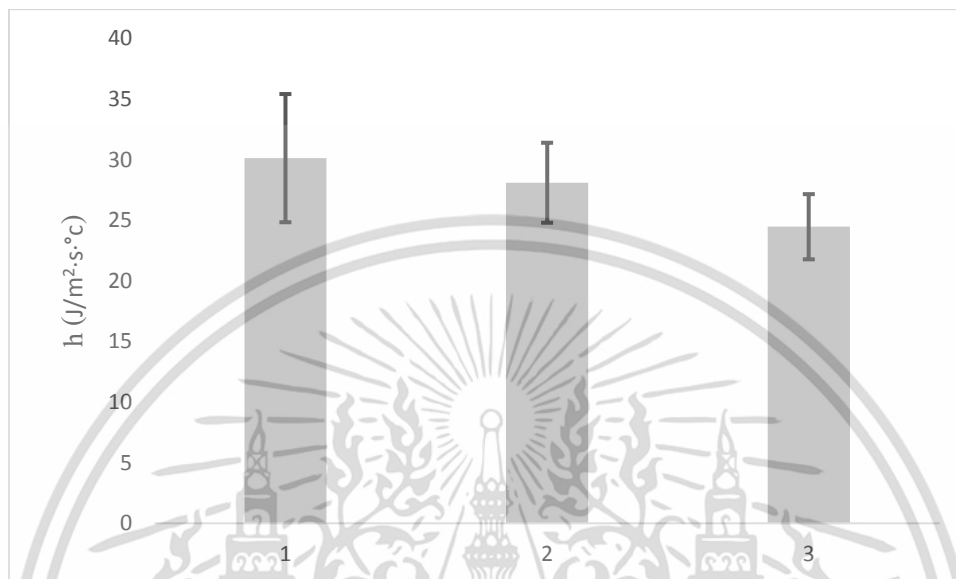
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบค่า h/C_p ของไผ่ที่ผ่านความร้อน 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 แทน กลุ่มไผ่ที่ยังไม่เป็นยางมะตูม, กลุ่มที่ 2 แทน กลุ่มไผ่ที่ยางมะตูม และกลุ่มที่ 3 กลุ่มไผ่ต้มสุก

จากรูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่า h/C_p จากการคำนวณช่วงเวลาทั้งหมดที่ผ่านการให้ความร้อน(ตั้งแต่นำไผ่ขึ้นจากหม้อต้ม จนกระทั่งถึงจุดสุดท้ายของการวัดอุณหภูมิ) จากการเปรียบเทียบค่า h/C_p ไผ่ที่ผ่านการให้ความร้อนจากกราฟจะเห็นได้ว่าไผ่ยางมะตูม มีค่า h/C_p สูงกว่าไผ่ดิบ ไผ่ต้มสุก และ ไผ่ดิบมีค่าน้อยกว่าไผ่ต้มสุก

4.1.4 h

แสดงความสัมพันธ์ของค่า h การทดลอง



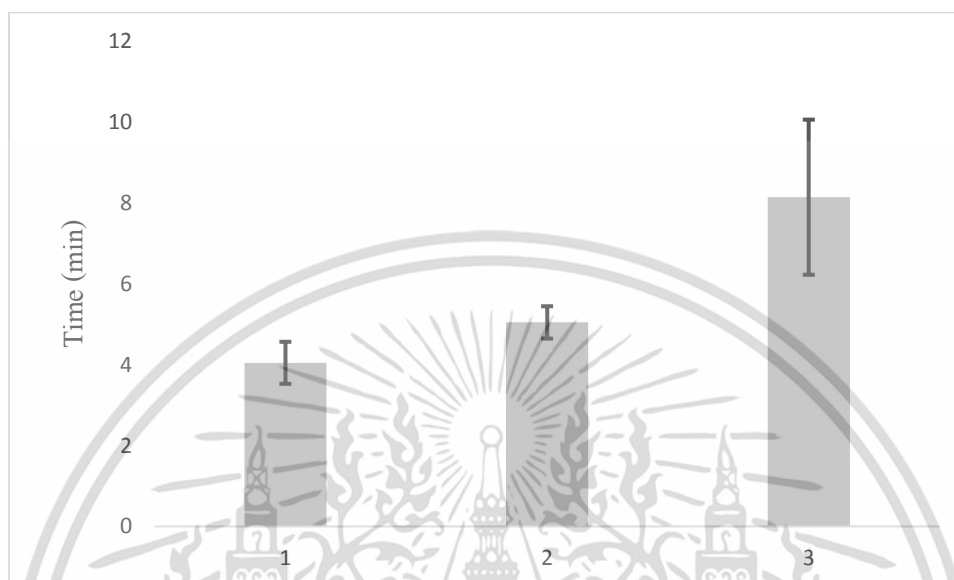
รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าเวลา ของไขไก่ที่ผ่านความร้อน 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 แทน กลุ่มไขต้มที่ยังไม่เป็นยางมะตูม, กลุ่มที่ 2 แทน กลุ่มไขต้มยางมะตูม และกลุ่มที่ 3 กลุ่มไขต้มสุก

จากรูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่า h จากการคำนวณช่วงเวลาทั้งหมดที่ผ่านการให้ความร้อน (ตั้งแต่นำไขขึ้นจากหม้อต้ม จนกระทั่งถึงจุดสุดท้ายของการวัดอุณหภูมิ) จากการเปรียบเทียบค่า h ไขไก่ที่ผ่านการให้ความร้อนจากกราฟจะเห็นได้ว่าไขดิบ ไขยางมะตูม และ ไขต้มสุก มีค่า $(hA)/C_p$ น้อยลงตามลำดับ

4.1.5 เวลา (time)

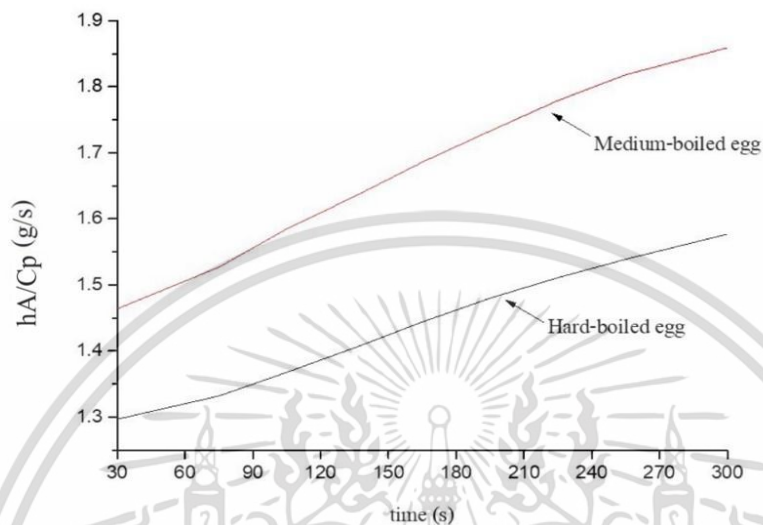
แสดงความสัมพันธ์ของค่า เวลา (time) การทดลอง



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าเวลา ของไขไก่ที่ผ่านความร้อน 3 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 แทน กลุ่มไข่ต้มที่ยังไม่เป็นยางมะตูม, กลุ่มที่ 2 แทน กลุ่มไข่ต้มยางมะตูม และกลุ่มที่ 3 กลุ่มไข่ต้มสุก

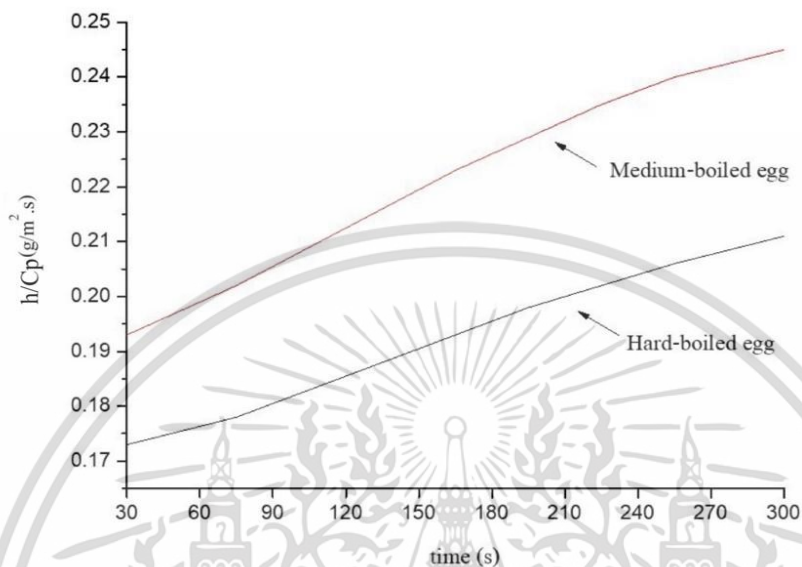
จากรูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบค่าเวลา จากการคำนวณช่วงเวลาทั้งหมดที่ผ่านการให้ความร้อน(ตั้งแต่ไขขึ้นจากหม้อต้ม จนกระทั่งถึงจุดสุดท้ายของการวัดอุณหภูมิ) จากการเปรียบเทียบค่าเวลา ไขไก่ที่ผ่านการให้ความร้อนจากกราฟจะเห็นได้ว่าไข่ต้มสุก ไข่ยางมะตูม และ ไข่ดิบ มีค่าเวลา น้อยลงตามลำดับ โดยไขกลุ่มไข่ต้มที่ยังไม่เป็นยางมะตูมจะใช้เวลาในการให้ความร้อนเฉลี่ยที่ 4.05 นาที ไข่ต้มยางมะตูม 5.05 นาที และไข่ต้มสุก 8.15 นาที

4.1.6 ความสัมพันธ์ของค่า $(hA)/C_p$ และ time

รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่า $(hA)/C_p$ ของไข่ต้ม 2 ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการต้มต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างไข่ต้มออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่ม medium-boiled egg และ กลุ่ม hard-boiled egg และนำมาหาค่าเฉลี่ยผลเปรียบเทียบพบว่า ค่า $(hA)/C_p$ ของ hard-boiled egg มีค่าเริ่มต้นที่ 1.3 g/s ที่เวลา 30 s และ medium-boiled egg มีค่าเริ่มต้นที่ 1.46 g/s ที่เวลา 30 s จากกราฟจะเห็นได้ว่า ค่า $(hA)/C_p$ ของ medium-boiled egg มีค่ามากกว่า hard-boiled egg ทุกช่วงเวลา

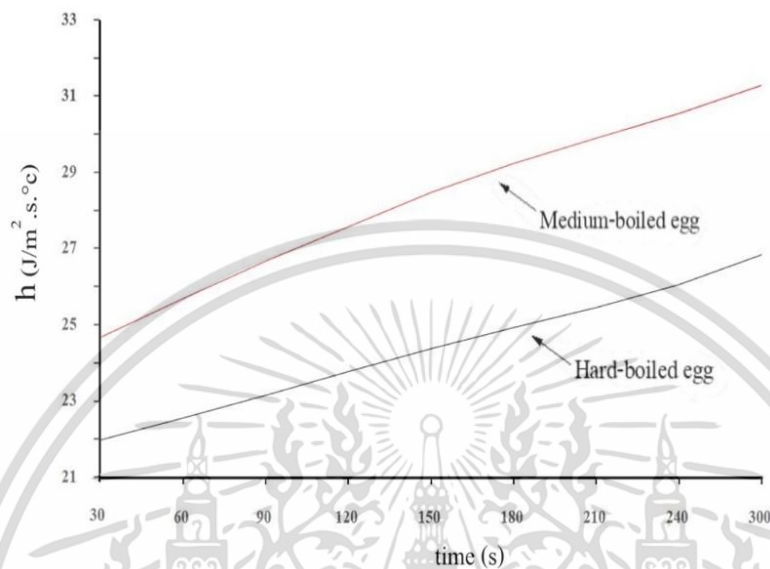
4.1.7 ความสัมพันธ์ของค่า h/C_p และ time



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า h/C_p ของไข่ต้ม 2 ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการต้มต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างไข่ต้มออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่ม medium-boiled egg และ กลุ่ม hard-boiled egg และนำมาหาค่าเฉลี่ยผลเปรียบเทียบพบว่า ค่า h/C_p ของ hard-boiled egg มีค่าเริ่มต้นที่ $0.174 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$ ที่เวลา 30 s และ medium-boiled egg มีค่าเริ่มต้นที่ $0.194 \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$ ที่เวลา 30 s จากกราฟจะเห็นได้ว่า ค่า h/C_p ของ medium-boiled egg มีค่ามากกว่า hard-boiled egg ทุกช่วงเวลา

4.1.8 ความสัมพันธ์ของค่า h และ time



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า h ของไข่ต้ม 2 ตัวอย่างที่ใช้เวลาในการต้มต่างกัน

เมื่อแบ่งกลุ่มตัวอย่างไข่ต้มออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่ม medium-boiled egg และ กลุ่ม hard-boiled egg และนำมาหาค่าเฉลี่ยผลเปรียบเทียบพบว่า ค่า h ของ hard-boiled egg มีค่าเริ่มต้นที่ 28.10 J/m²·s·°C ที่เวลา 30 s และ medium-boiled egg มีค่าเริ่มต้นที่ 24.47 J/m²·s·°C ที่เวลา 30 s จากกราฟจะเห็นได้ว่า ค่า h ของ medium-boiled egg มีค่ามากกว่า hard-boiled egg ทุกช่วงเวลา

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงปริมาณ

วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม โดยแบ่งตัวแปรอิสระออกเป็น 6 ชุดได้แก่ (hA)/C_p without density, (hA)/C_p with density, h/C_p without density, h/C_p with density, h without density และ h with density

4.2.1 (hA)/C_p without density

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่งโดยใช้ (hA)/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	F	R	RMSECV (min)
Original	2	0.806	1.234
Smoothing	2	0.795	1.267
1 st Derivative	1	0.767	1.337
2 nd Derivative	1	0.127	2.086
MSC	1	0.215	2.045
SNV	2	0.318	1.992
Smoothing + 1 st Derivative	3	0.760	1.358
Smoothing + 2 nd Derivative	1	0.186	2.027
Smoothing + MSC	2	0.186	2.051
Smoothing + SNV	2	0.282	2.000
1 st Derivative + 2 nd Derivative	1	0.047	2.103
1 st Derivative + MSC	1	0.104	2.118
1 st Derivative + SNV	1	0.298	2.000
2 nd Derivative + MSC	1	0.205	2.056
2 nd Derivative + SNV	1	0.069	2.123
MSC + SNV	2	0.318	1.992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว จะทำการปรับแต่งค่า (pre-treatment) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 4.2 จากกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ไซ้ต้มจำนวน 164 ตัวอย่างเพื่อใช้ทำนายเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ ต้องพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R) ให้มีค่าสูงสุด ซึ่งต้องเข้าใกล้ 1 ค่าแฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) ต้องมีค่าน้อย และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ต้องมีค่าต่ำที่สุด เพื่อที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการตรวจเวลาที่ใช้ในการต้มไข่

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม โดยใช้ตัวแปรอิสระ (hA)/C_p without density จากตารางที่ 4.2 พบว่าข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R) ที่สูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.806 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.234 min ซึ่งค่า R แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y นั่นก็คือ ปริมาณความร้อน (hA/C_p without density) และ เวลาที่ใช้ในการต้ม ถ้าค่า R มีค่าสูงนั้นหมายถึง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์สูง ซึ่งบ่งบอกว่าแบบจำลองนี้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจสอบ ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า (hA)/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ

Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R _C	RMSEC (min)	N	R _p	RMSEP (min)
process time	Original	2	110	0.823	1.184	54	0.759	1.418

จากตาราง 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการแปลงค่าด้วยวิธี original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม พบว่ากลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ที่มีค่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

coefficients; R_c) เท่ากับ 0.823 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean squared error of calibration; RMSEC) เท่ากับ 1.184 min และสำหรับกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_p) เท่ากับ 0.759 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 1.418 min ซึ่งพบว่าแบบจำลองที่กล่าวมาดีที่สุดในที่นี้สำหรับตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่

4.2.2 (hA)/C_p with density

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ (hA)/C_p with density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	F	R	RMSECV (min)
Original	2	0.805	1.240
Smoothing	2	0.798	1.258
1 st Derivative	3	0.763	1.363
2 nd Derivative	1	0.598	1.683
MSC	3	0.290	2.021
SNV	2	0.279	2.023
Smoothing + 1 st Derivative	4	0.758	1.372
Smoothing + 2 nd Derivative	2	0.652	1.603
Smoothing + MSC	1	0.013	2.130
Smoothing + SNV	1	0.122	2.081
1 st Derivative + 2 nd Derivative	2	0.569	1.738
1 st Derivative + MSC	1	0.251	2.022
1 st Derivative + SNV	1	0.251	2.026
2 nd Derivative + MSC	2	0.166	2.070
2 nd Derivative + SNV	1	0.121	2.081
MSC + SNV	1	0.231	2.038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม โดยใช้ตัวแปรอิสระ (hA)/C_p with density จากตารางที่ 4.4 พบว่าข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R) ที่สูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.805 แพกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.240 min ซึ่งค่า R แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y นั่นก็คือ ปริมาณความร้อน ((hA)/C_p with density) และ เวลาที่ใช้ในการต้ม ถ้าค่า R มีค่าสูงนั้นหมายถึง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์สูง ซึ่งบ่งบอกว่าแบบจำลองนี้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจสอบ ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า (hA)/C_p with density เป็นตัวแปรอิสระ

Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R _c	RMSEC (min)	N	R _p	RMSEP (min)
process time	Original	2	110	0.821	1.191	54	0.708	1.493

จากตาราง 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการแปลงค่าด้วยวิธี original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม พบว่ากลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ที่มีค่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_c) เท่ากับ 0.821 แพกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean squared error of calibration; RMSEC) เท่ากับ 1.191 min และสำหรับกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_p) เท่ากับ 0.708 แพกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 1.493 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 h/C_p without density

คำนวณหาค่า A จากสูตร $A = 3.155 - 0.0136L + 0.0115B$ โดยการแทนค่า B ความกว้างสูงสุดของไข่ และ ค่า L ความยาวของไข่ ของไข่แต่ละฟอง แล้วนำค่า A มาแทนค่าในตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	F	R	RMSECV (min)
Original	2	0.778	1.311
Smoothing	4	0.781	1.302
1 st Derivative	1	0.764	1.345
2 nd Derivative	2	0.171	2.078
MSC	1	0.217	2.044
SNV	2	0.323	1.985
Smoothing + 1 st Derivative	4	0.760	1.357
Smoothing + 2 nd Derivative	1	0.183	2.058
Smoothing + MSC	2	0.176	2.056
Smoothing + SNV	2	0.226	2.037
1 st Derivative + 2 nd Derivative	1	0.076	2.091
1 st Derivative + MSC	1	0.194	2.171
1 st Derivative + SNV	3	0.321	1.991
2 nd Derivative + MSC	1	0.101	2.144
2 nd Derivative + SNV	1	0.064	2.124
MSC + SNV	2	0.308	2.003

จากผลการวิเคราะห์ที่ใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม โดยใช้ตัวแปรอิสระ h/C_p without density จากตารางที่ 4.6 พบว่าข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R) ที่สูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.778

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.311 min ซึ่งค่า R แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y นั่นก็คือ ปริมาณความร้อน (h/C_p without density) และ เวลาที่ใช้ในการต้ม ถ้าค่า R มีค่าสูงนั้นหมายถึง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์สูงซึ่งบ่งบอกว่าแบบจำลองนี้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจสอบ ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ

Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R_c	RMSEC (min)	N	R_p	RMSEP (min)
process time	Original	2	110	0.802	1.246	54	0.717	1.479

จากตาราง 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการแปลงค่าด้วยวิธี original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม พบว่ากลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ที่มีค่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_c) เท่ากับ 0.802 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean squared error of calibration; RMSEC) เท่ากับ 1.246 min และสำหรับกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_p) เท่ากับ 0.717 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 1.479 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 h/C_p with density

คำนวณค่า A จากสูตร $A = 3.155 - 0.0136L + 0.0115B$ โดยการแทนค่า B ความกว้างสูงสุดของไข่ และ ค่า L ความยาวของไข่ ของไข่แต่ละฟอง แล้วนำค่า A มาแทนค่าในตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	F	R	RMSECV (min)
Original	3	0.781	1.303
Smoothing	5	0.776	1.316
1 st Derivative	2	0.759	1.359
2 nd Derivative	1	0.133	2.114
MSC	1	0.025	2.687
SNV	1	0.060	2.027
Smoothing + 1 st Derivative	5	0.759	1.360
Smoothing + 2 nd Derivative	2	0.222	2.078
Smoothing + MSC	1	0.035	2.146
Smoothing + SNV	1	0.017	2.122
1 st Derivative + 2 nd Derivative	1	0.120	2.118
1 st Derivative + MSC	1	0.029	6.320
1 st Derivative + SNV	1	0.051	2.098
2 nd Derivative + MSC	1	0.028	4.532
2 nd Derivative + SNV	1	0.134	2.102
MSC + SNV	1	0.047	2.236

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม โดยใช้ตัวแปรอิสระ h/C_p with density จากตารางที่ 4.8 พบว่าข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R) ที่สูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.781 แพลกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 3 และค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.303 min ซึ่งค่า R แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y นั่นก็คือ ปริมาณความร้อน (h/C_p with density) และ เวลาที่ใช้ในการต้ม ถ้าค่า R มีค่าสูงนั้นหมายถึง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์สูง ซึ่งบ่งบอกว่าแบบจำลองนี้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจสอบ ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า h/C_p with density เป็นตัวแปรอิสระ

Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R_c	RMSEC (min)	N	R_p	RMSEP (min)
process time	Original	3	110	0.803	1.244	54	0.711	1.490

จากตาราง 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการแปลงค่าด้วยวิธี original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม พบว่ากลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ที่มีค่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_c) เท่ากับ 0.803 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 3 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean squared error of calibration; RMSEC) เท่ากับ 1.244 min และสำหรับกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_p) เท่ากับ 0.711 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 3 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 1.490 min

4.2.5 h without density

คำนวณหาค่า A จากสูตร $A = 3.155 - 0.0136L + 0.0115B$ โดยการแทนค่า B ความกว้างสูงสุดของไข่ และ ค่า L ความยาวของไข่ และ ค่า C_p จากค่า C_p ไข่แดง, ไข่ขาว, เปลือกไข่ และอากาศภายในไข่ ของไข่แต่ละฟอง แล้วนำค่ามาแทนค่าในตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h without density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	F	R	RMSECV (min)
Original	2	0.785	1.313
Smoothing	2	0.767	0.358
1 st Derivative	1	0.780	1.326
2 nd Derivative	5	0.341	2.008
MSC	1	0.295	2.035
SNV	2	0.366	1.984
Smoothing + 1 st Derivative	4	0.770	1.358
Smoothing + 2 nd Derivative	2	0.306	2.030
Smoothing + MSC	1	0.139	2.111
Smoothing + SNV	3	0.312	2.051
1 st Derivative + 2 nd Derivative	1	0.106	0.113
1 st Derivative + MSC	1	0.386	2.204
1 st Derivative + SNV	1	0.304	2.029
2 nd Derivative + MSC	1	0.109	2.108
2 nd Derivative + SNV	1	0.052	2.192
MSC + SNV	1	0.315	2.016

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม โดยใช้ตัวแปรอิสระ h without density จากตารางที่ 4.10 พบว่าข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R) ที่สูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.785

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.313 min ซึ่งค่า R แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y นั่นก็คือ ปริมาณความร้อน (h without density) และ เวลาที่ใช้ในการต้ม ถ้าค่า R มีค่าสูงนั้นหมายถึง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์สูง ซึ่งบ่งบอกว่าแบบจำลองนี้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจสอบ ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี Original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า h without density เป็นตัวแปรอิสระ

Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R _c	RMSEC (min)	N	R _p	RMSEP (min)
process time	Original	2	110	0.806	1.253	54	0.728	1.439

จากตาราง 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการแปลงค่าด้วยวิธี original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม พบว่ากลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ที่มีค่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_c) เท่ากับ 0.806 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean squared error of calibration; RMSEC) เท่ากับ 1.253 min และสำหรับกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_p) เท่ากับ 0.728 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 1.439 min

4.2.6 h with density

คำนวณหาค่า A จากสูตร $A = 3.155 - 0.0136L + 0.0115B$ โดยการแทนค่า B ความกว้างสูงสุดของไข่ และ ค่า L ความยาวของไข่ และ ค่า C_p จากค่า C_p ไข่แดง, ไข่ขาว, เปลือกไข่ และอากาศภายในไข่ ของไข่แต่ละฟอง แล้วนำค่ามาแทนค่าในตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h with density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	F	R	RMSECV (min)
Original	2	0.791	1.297
Smoothing	4	0.783	1.319
1 st Derivative	3	0.787	1.311
2 nd Derivative	6	0.732	0.548
MSC	1	0.641	1.626
SNV	2	0.652	1.608
Smoothing + 1 st Derivative	3	0.763	0.583
Smoothing + 2 nd Derivative	4	0.753	1.396
Smoothing + MSC	4	0.649	1.619
Smoothing + SNV	3	0.660	1.600
1 st Derivative + 2 nd Derivative	1	0.648	1.616
1 st Derivative + MSC	1	0.323	2.013
1 st Derivative + SNV	1	0.340	1.995
2 nd Derivative + MSC	1	0.122	2.115
2 nd Derivative + SNV	1	0.100	2.129
MSC + SNV	2	0.657	1.600

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม โดยใช้ตัวแปรอิสระ h with density จากตารางที่ 4.12 พบว่าข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R) ที่สูงสุด มีค่าเท่ากับ 0.791 แพกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean square error of cross-validation; RMSECV) ที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 1.297 min ซึ่งค่า R แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และตัวแปร Y นั่นก็คือ ปริมาณความร้อน (h with density) และ เวลาที่ใช้ในการต้ม ถ้าค่า R มีค่าสูงนั้นหมายถึง 2 ตัวแปรมีความสัมพันธ์สูง ซึ่งบ่งบอกว่าแบบจำลองนี้มีประสิทธิภาพและความแม่นยำในการตรวจสอบ ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง ในการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบเวลาในการต้มไข่ โดยใช้ค่า h with density เป็นตัวแปรอิสระ

Parameters	Pre-treatment	F	Calibration			Prediction		
			N	R_c	RMSEC (min)	N	R_p	RMSEP (min)
process time	Original	2	110	0.806	1.253	54	0.717	1.532

จากตาราง 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการแปลงค่าด้วยวิธี original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม พบว่ากลุ่มสร้างสมการ (calibration set) ที่มีค่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_c) เท่ากับ 0.806 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean squared error of calibration; RMSEC) เท่ากับ 1.253 min และสำหรับกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_p) เท่ากับ 0.717 แฟกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 1.532 min

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงคุณภาพ

วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไขต้มน้ำ และ ไขอย่างละเอียด โดยแบ่งตัวแปรอิสระออกเป็น 6 ชุดได้แก่ (hA)/C_p without density, (hA)/C_p with density, h/C_p without density, h/C_p with density, h without density และ h with density

4.3.1 (hA)/C_p without density

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไขต้มน้ำ และ ไขอย่างละเอียด จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ (hA)/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไขอย่างละเอียด		ไขสุก		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Original	50/55	5/55	48/55	7/55	89.09
Smoothing	49/55	6/55	47/55	8/55	87.27
1 st Derivative	46/55	9/55	45/55	10/55	82.70
2 nd Derivative	28/55	27/55	22/55	33/55	45.45
MSC	30/55	25/55	32/55	23/55	56.36
SNV	31/55	24/55	32/55	23/55	57.27
Smoothing + 1 st Derivative	44/55	11/55	45/55	10/55	80.90
Smoothing + 2 nd Derivative	32/55	23/55	28/55	27/55	54.55
Smoothing + MSC	28/55	27/55	25/55	30/55	48.18
Smoothing + SNV	26/55	29/55	30/55	25/55	50.90
1 st Derivative + 2 nd Derivative	32/55	23/55	26/55	29/55	52.73
1 st Derivative + MSC	8/55	47/55	24/55	31/55	29.09
1 st Derivative + SNV	29/55	26/55	33/55	22/55	56.36
2 nd Derivative + MSC	14/55	41/55	30/55	25/55	40.00
2 nd Derivative + SNV	23/55	32/55	27/55	28/55	45.45
MSC + SNV	28/55	27/55	32/55	23/55	54.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไขต้ม และ ไขยางมะตูม โดยใช้ตัวแปรอิสระ (hA)/C_p without density จากตารางที่ 4.14 พบว่าข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) ที่สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 89.09 % ซึ่งประกอบไปด้วย ความถูกต้องในตัวอย่างไขยางมะตูม 50/55 และ ความถูกต้องในไขต้มสุก 48/55 ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไขต้ม และ ไขยางมะตูม

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไขต้ม และ ไขยางมะตูม โดยใช้ค่า (hA)/C_p with density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไขยางมะตูม		ไขต้มสุก		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Original	23/27	4/27	22/27	5/27	83.33

จากตาราง 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบไขต้ม และ ไขยางมะตูม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการทำ original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบไขต้ม และ ไขยางมะตูมได้ด้วยวิธี PLS regression ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS regression ด้วยโปรแกรม Unscrambler พบว่า กลุ่มสร้างแบบจำลองของไขยางมะตูมสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 23 จาก 27 ตัวอย่าง และ กลุ่มไขต้มสุกสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 22 จาก 27 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) 83.33 %

4.3.2 (hA)/C_p with density

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไขต้มน้ำ และ ไขอย่างมะตูม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ไข (hA)/C_p with density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไขอย่างมะตูม		ไขต้มน้ำ		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Original	50/55	5/55	48/55	7/55	89.09
Smoothing	51/55	4/55	48/55	7/55	90.00
1 st Derivative	45/55	10/55	44/55	11/55	80.91
2 nd Derivative	49/55	6/55	44/55	11/55	84.55
MSC	32/55	23/55	32/55	23/55	58.12
SNV	31/55	24/55	32/55	23/55	57.27
Smoothing + 1 st Derivative	49/55	6/55	48/55	7/55	88.18
Smoothing + 2 nd Derivative	49/55	6/55	42/55	13/55	82.73
Smoothing + MSC	36/55	16/55	30/55	25/55	60.00
Smoothing + SNV	30/55	25/55	38/55	17/55	61.82
1 st Derivative + 2 nd Derivative	47/55	8/55	44/55	11/55	82.73
1 st Derivative + MSC	30/55	25/55	28/55	27/55	52.73
1 st Derivative + SNV	30/55	25/55	31/55	24/55	55.45
2 nd Derivative + MSC	28/55	27/55	28/55	27/55	50.91
2 nd Derivative + SNV	25/55	30/55	26/55	29/55	46.36
MSC + SNV	30/55	25/55	32/55	23/55	56.36

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไขต้มน้ำ และ ไขอย่างมะตูม โดยใช้ตัวแปรอิสระ (hA)/C_p with density จากตารางที่ 4.16 พบว่าข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) ที่สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 89.09 % ซึ่งประกอบไปด้วย ความถูกต้องในตัวอย่างไขอย่างมะตูม 50/55 และ ความถูกต้องในไขต้มน้ำ 48/55 ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไขต้มน้ำ และ ไขอย่างมะตูม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไขต้ม และ ไขยางมะตุม โดยใช้ค่า $(hA)/C_p$ with density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไขยางมะตุม		ไขต้ม		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Smoothing	24/27	3/27	22/27	5/27	85.19

จากตาราง 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบไขต้ม และ ไขยางมะตุม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการทำ original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบไขต้ม และ ไขยางมะตุมได้ด้วยวิธี PLS regression ซึ่งเป็นกรวิเคราะห์เชิงคุณภาพ จากกรวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS regression ด้วยโปรแกรม Unscrambler พบว่า กลุ่มสร้างแบบจำลองของไขยางมะตุมสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 24 จาก 27 ตัวอย่าง และ กลุ่มไขต้มสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 22 จาก 27 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) 85.19 % ซึ่งพบว่าแบบจำลองที่กล่าวมาดีที่สุดสำหรับการตรวจสอบไขต้ม และ ไขยางมะตุม

4.3.3 h/C_p without density

คำนวณหาค่า A จากสูตร $A = 3.155 - 0.0136L + 0.0115B$ โดยการแทนค่า B ความกว้างสูงสุดของไข และ ค่า L ความยาวของไข ของไขแต่ละฟอง แล้วนำค่ามาแทนค่าในตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไขต้ม และ ไขยางมะตุม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไขยางมะตุม		ไขต้ม		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Original	46/55	9/55	46/55	9/55	83.46
Smoothing	46/55	9/55	44/55	11/55	81.83
1 st Derivative	41/55	14/55	45/55	10/55	78.18
2 nd Derivative	30/55	25/55	23/55	32/55	48.18
MSC	29/55	26/55	31/55	24/55	54.55
SNV	29/55	26/55	31/55	24/55	54.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Smoothing + 1 st Derivative	40/55	15/55	43/55	12/55	75.45
Smoothing + 2 nd Derivative	33/55	22/55	28/55	27/55	55.45
Smoothing + MSC	27/55	28/55	28/55	27/55	50.00
Smoothing + SNV	29/55	26/55	35/55	20/55	58.18
1st Derivative + 2 nd Derivative	22/55	33/55	28/55	27/55	45.45
1 st Derivative + MSC	8/55	47/55	27/55	28/55	31.82
1 st Derivative + SNV	27/55	28/55	31/55	24/55	52.73
2 nd Derivative + MSC	11/55	44/55	27/55	28/55	34.55
2 nd Derivative + SNV	22/55	33/55	23/55	32/55	40.91
MSC + SNV	30/55	25/55	30/55	25/55	54.55

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไซ้ ต้ม และ ไซ้ยางมะตูม โดยใช้ตัวแปรอิสระ h/C_p without density จากตารางที่ 4.18 พบว่าข้อมูลแบบ Original ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) ที่สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 83.46 % ซึ่ง ประกอบไปด้วย ความถูกต้องในตัวอย่างไซ้ยางมะตูม 46/55 และ ความถูกต้องในไซ้ต้มสุก 46/55 ดังนั้นจึงเลือก โมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไซ้ ต้ม และ ไซ้ยางมะตูม

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไซ้ ต้ม และ ไซ้ยางมะตูม โดยใช้ ค่า h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไซ้ยางมะตูม		ไซ้ต้มสุก		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Original	23/27	4/27	23/27	4/27	85.19

จากตาราง 4.19 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบไซ้ ต้ม และ ไซ้ยางมะตูม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการทำ original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบไซ้ ต้ม และ ไซ้ยางมะตูมได้ด้วยวิธี PLS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

regression ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS regression ด้วยโปรแกรม Unscrambler พบว่า กลุ่มสร้างแบบจำลองของไผ่ยางมะตูมสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 23 จาก 27 ตัวอย่าง และ กลุ่มไผ่ต้มสุกสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 23 จาก 27 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) 85.19 % ซึ่งพบว่าแบบจำลองที่กล่าวมาดีที่สุดสำหรับการตรวจสอบไผ่ต้ม และ ไผ่ยางมะตูม

4.3.4 h/C_p with density

คำนวณหาค่า A จากสูตร $A = 3.155 - 0.0136L + 0.0115B$ โดยการแทนค่า B ความกว้างสูงสุดของไผ่ และ ค่า L ความยาวของไผ่ ของไผ่แต่ละฟอง แล้วนำค่ามาแทนค่าในตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4.20 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไผ่ต้ม และ ไผ่ยางมะตูม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h/C_p with density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไผ่ยางมะตูม		ไผ่สุก		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Original	45/55	10/55	46/55	9/55	83.64
Smoothing	49/55	6/55	39/55	16/55	80.00
1 st Derivative	40/55	15/55	44/55	11/55	76.36
2 nd Derivative	44/55	11/55	26/55	29/55	63.64
MSC	13/55	42/55	24/55	31/55	33.64
SNV	30/55	25/55	13/55	42/55	39.01
Smoothing + 1 st Derivative	40/55	15/55	43/55	12/55	75.54
Smoothing + 2 nd Derivative	47/55	8/55	26/55	29/55	66.36
Smoothing + MSC	17/55	38/55	17/55	38/55	30.91
Smoothing + SNV	44/55	11/55	22/55	33/55	60.00
1st Derivative + 2 nd Derivative	45/55	10/55	27/55	28/55	65.45
1 st Derivative + MSC	9/55	46/55	25/55	30/55	30.91
1 st Derivative + SNV	21/55	34/55	7/55	48/55	25.41
2 nd Derivative + MSC	6/55	49/55	35/55	20/55	37.27
2 nd Derivative + SNV	23/55	32/55	11/55	44/55	30.91
MSC + SNV	16/55	39/55	15/55	40/55	28.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไขต้ม และ ไขยางมะตุม โดยใช้ตัวแปรอิสระ h/C_p with density จากตารางที่ 4.20 พบว่าข้อมูลแบบ original ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) ที่สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 83.64 % ซึ่งประกอบไปด้วย ความถูกต้องในตัวอย่างไขยางมะตุม 45/55 และ ความถูกต้องในไขต้มสุก 46/55 ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี original มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไขต้ม และ ไขยางมะตุม

ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไขต้ม และ ไขยางมะตุม โดยใช้ค่า h/C_p with density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไขยางมะตุม		ไขต้มสุก		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Original	22/27	5/27	23/27	4/27	83.33

จากตาราง 4.21 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบไขต้ม และ ไขยางมะตุม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการทำ original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบไขต้ม และ ไขยางมะตุมได้ด้วยวิธี PLS regression ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS regression ด้วยโปรแกรม Unscrambler พบว่า กลุ่มสร้างแบบจำลองของไขยางมะตุมสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 22 จาก 27 ตัวอย่าง และ กลุ่มไขต้มสุกสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 23 จาก 27 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) 83.33 %

4.3.5 h without density

คำนวณหาค่า A จากสูตร $A = 3.155 - 0.0136L + 0.0115B$ โดยการแทนค่า B ความกว้างสูงสุดของไข่ และ ค่า L ความยาวของไข่ และ ค่า C_p จากค่า C_p ไข่แดง, ไข่ขาว, เปลือกไข่ และอากาศภายในไข่ ของไข่แต่ละฟอง แล้วนำค่ามาแทนค่าในตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4.22 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h without density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไข่ยางมะตูม		ไข่สุก		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Original	48/55	7/55	47/55	10/55	84.55
Smoothing	48/55	7/55	47/55	8/55	86.36
1 st Derivative	43/55	12/55	45/55	10/55	80
2 nd Derivative	32/55	23/55	33/5	22/55	59.09
MSC	33/55	22/55	38/55	17/55	64.55
SNV	33/55	22/55	39/55	16/55	65.45
Smoothing + 1 st Derivative	43/55	12/55	45/55	10/55	81.82
Smoothing + 2 nd Derivative	36/55	19/55	36/55	19/55	65.45
Smoothing + MSC	34/55	21/55	32/5	23/55	60
Smoothing + SNV	31/55	24/55	33/55	22/55	58.18
1 st Derivative + 2 nd Derivative	18/55	27/55	21/55	34/55	35.45
1 st Derivative + MSC	32/55	23/55	39/55	16/55	64.54
1 st Derivative + SNV	34/55	21/55	42/55	13/55	69.09
2 nd Derivative + MSC	8/55	47/55	42/55	13/55	45.45
2 nd Derivative + SNV	22/55	33/55	28/55	27/55	45.45
MSC + SNV	33/55	22/55	39/55	16/55	65.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไข่ม และ ไข่มขี้ โดยใช้ตัวแปรอิสระ h without density จากตารางที่ 4.22 พบว่าข้อมูลแบบ smoothing ให้ผลดีที่สุด ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) ที่สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 86.36 % ซึ่งประกอบไปด้วย ความถูกต้องในตัวอย่างไข่มขี้ 48/55 และ ความถูกต้องในไข่มขี้ 47/55 ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี smoothing มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไข่ม และ ไข่มขี้

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไข่ม และ ไข่มขี้ โดยใช้ค่า h without density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไข่มขี้		ไข่ม		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Smoothing	20/27	7/27	23/27	4/27	79.63

จากตาราง 4.23 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบไข่ม และ ไข่มขี้ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการทำ original แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบไข่ม และ ไข่มขี้ได้ด้วยวิธี PLS regression ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS regression ด้วยโปรแกรม Unscrambler พบว่า กลุ่มสร้างแบบจำลองของไข่มขี้สามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 20 จาก 27 ตัวอย่าง และ กลุ่มไข่มสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 23 จาก 27 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) 79.63 %

4.3.6 h with density

คำนวณหาค่า A จากสูตร $A = 3.155 - 0.0136L + 0.0115B$ โดยการแทนค่า B ความกว้างสูงสุดของไข่ และ ค่า L ความยาวของไข่ และ ค่า C_p จากค่า C_p ไข่แดง, ไข่ขาว, เปลือกไข่ และอากาศภายในไข่ ของไข่แต่ละฟอง แล้วนำค่ามาแทนค่าในตัวแปรอิสระ

ตารางที่ 4.24 แสดงผลการวิเคราะห์ในการตรวจสอบความเป็นไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม จากกลุ่ม (calibration set) โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการปรับแต่ง ใช้ h with density เป็นตัวแปรอิสระ

Spectral pretreatment	ไข่ยางมะตูม		ไข่สุก		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Original	48/55	6/55	45/55	10/55	85.45
Smoothing	48/55	7/55	47/55	8/55	86.36
1 st Derivative	50/55	5/55	46/55	9/55	87.27
2 nd Derivative	43/55	12/55	43/55	12/55	78.18
MSC	35/55	20/55	41/55	14/55	69.09
SNV	37/55	18/55	40/55	15/55	77.00
Smoothing + 1st Derivative	49/55	6/55	46/55	9/55	86.36
Smoothing + 2 nd Derivative	46/55	9/55	45/55	10/55	82.72
Smoothing + MSC	35/55	20/55	40/55	15/55	68.18
Smoothing + SNV	34/55	21/55	39/55	16/55	66.36
1 st Derivative + 2 nd Derivative	43/55	12/55	38/55	17/55	73.64
1 st Derivative + MSC	35/55	20/55	38/55	17/55	66.36
1 st Derivative + SNV	34/55	21/55	38/55	17/55	65.45
2 nd Derivative + MSC	19/55	36/55	21/55	34/55	36.36
2 nd Derivative + SNV	24/55	31/55	21/55	34/55	40.91
MSC + SNV	35/55	30/55	41/55	14/55	69.01

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler เพื่อสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไข่ต้ม และ ไข่ยางมะตูม โดยใช้ตัวแปรอิสระ h without density จากตารางที่ 4.24 พบว่าข้อมูลแบบ smoothing และ smoothing + 1st Derivative ให้ผลดีที่สุดเท่ากัน ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

accuracy) ที่สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 86.36 smoothing ประกอบไปด้วย ความถูกต้องในตัวอย่างไ้ย่างมะตูม 48/55 และ ความถูกต้องในไ้ย่ต้มสุก 47/55 ในขณะที่ smoothing + 1st derivative ความถูกต้องในตัวอย่างไ้ย่างมะตูม 49/55 และ ความถูกต้องในไ้ย่ต้มสุก 46/55

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไ้ย่ต้ม และ ไ้ย่างมะตูม โดยใช้ค่า h with density เป็นตัวแปรอิสระ โดยใช้เทคนิค smoothing

Spectral pretreatment	ไ้ย่างมะตูม		ไ้ย่ต้มสุก		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Smoothing	20/27	7/27	23/27	4/27	79.63

ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ PLS regression สำหรับการตรวจสอบความเป็นไ้ย่ต้ม และ ไ้ย่างมะตูม โดยใช้ค่า h with density เป็นตัวแปรอิสระ โดยใช้เทคนิค smoothing + 1st derivative

Spectral pretreatment	ไ้ย่างมะตูม		ไ้ย่ต้มสุก		% total accuracy
	Correct	Incorrect	Correct	Incorrect	
Smoothing + 1 st Derivative	21/27	6/27	23/27	4/27	81.43

จากตาราง 4.25 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบไ้ย่ต้ม และ ไ้ย่างมะตูม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการทำ smoothing แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบไ้ย่ต้ม และ ไ้ย่างมะตูมได้ด้วยวิธี PLS regression ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS regression ด้วยโปรแกรม Unscrambler พบว่า กลุ่มสร้างแบบจำลองของไ้ย่างมะตูมสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 20 จาก 27 ตัวอย่าง และ กลุ่มไ้ย่ต้มสุกสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 23 จาก 27 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) 79.63 %

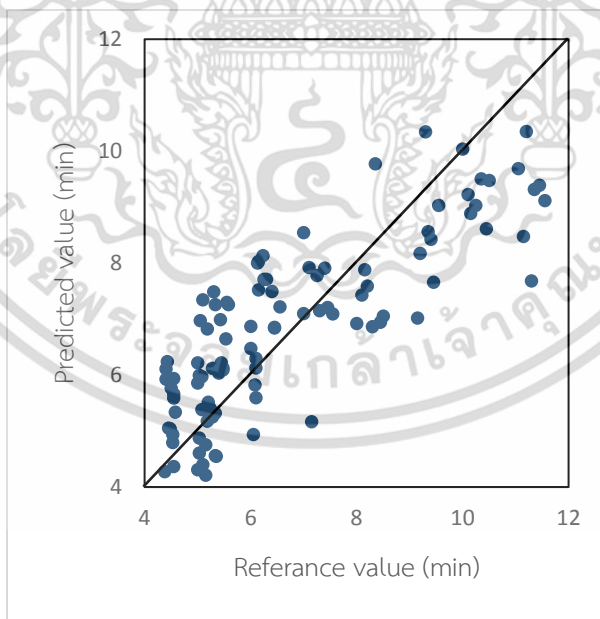
จากตาราง 4.26 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PLS regression ของการตรวจสอบไ้ย่ต้ม และ ไ้ย่างมะตูม ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลในกลุ่มสร้างแบบจำลองและกลุ่มทดสอบแบบจำลอง จะถูกนำมาผ่านกระบวนการการทำ smoothing + 1st derivative แล้วสร้างแบบจำลองการตรวจสอบไ้ย่ต้ม และ ไ้ย่างมะตูมได้ด้วยวิธี PLS regression ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี PLS regression ด้วยโปรแกรม Unscrambler พบว่า กลุ่มสร้างแบบจำลองของไ้ย่างมะตูมสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 21 จาก 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง และ กลุ่มไขต์มสุกสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 23 จาก 27 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) 81.43 % ดังนั้นจึงเลือกโมเดลที่ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี smoothing + 1st derivative มาเป็นโมเดลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองในการตรวจสอบความเป็นไขต์ม และ ไข้อย่างมะตูม

4.6 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยคุณสมบัติทางความร้อน

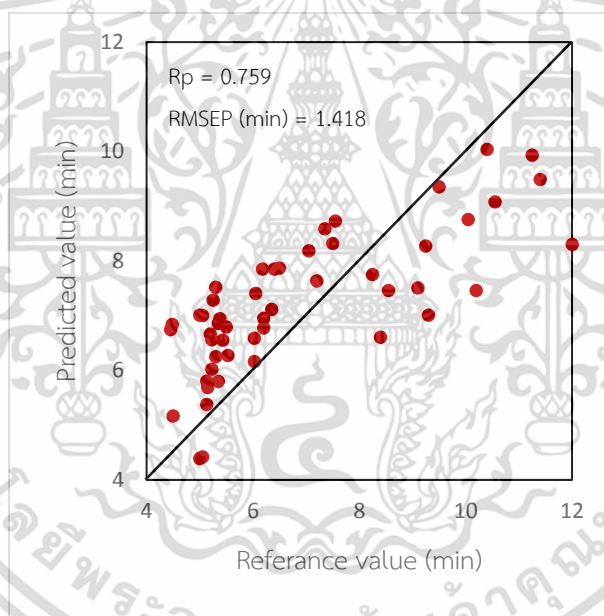
จากรูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยคุณสมบัติทางความร้อน โดยใช้ $(hA)/C_p$ without density เป็นตัวแปรอิสระ กลุ่มสร้างสมการ (calibration set) จำนวน 110 ชิ้น จากแบบจำลองที่ได้ สามารถดูประสิทธิภาพของสมการทำนายได้จาก ค่าจริงที่เข้าใกล้เส้นทแยงมุม (target line) จะบ่งบอกถึงการทำนายกลุ่มตัวอย่างที่แม่นยำมาก จากรูปที่ 4.8 สังเกตได้ว่า ค่าที่ได้จากการทำนายนั้น พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวใกล้เส้นทแยงมุม (target line) เป็นส่วนมาก ข้อมูลกว้าง มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แสดงว่า แบบจำลองที่นำมาทำนายเวลาที่ใช้ในการต้มไข่นั้นแม่นยำสูง ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_c) เท่ากับ 0.823 และ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดสอบประสิทธิภาพ (root mean squared error of calibration; RMSEC) เท่ากับ 1.184 min



รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงจากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายโมเดล PLS Regression จากกลุ่มสร้างแบบจำลอง 110 ชิ้น ของเวลาที่ใช้ในการต้มไข่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ ระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยคุณสมบัติทางความร้อน โดยใช้ $(hA)/C_p$ without density เป็นตัวแปรอิสระ กลุ่มสร้างสมการ (calibration set) จำนวน 110 ชิ้น จากแบบจำลองที่ได้ โดยใช้กลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) จำนวน 54 ชิ้น จากสมการที่ได้ พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวใกล้เคียงเส้นทแยงมุม (target line) เป็นส่วนมาก ข้อมูลกว้าง มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แสดงว่า แบบจำลองที่นำมาทำนายเวลาที่ใช้ในการต้มไข่นั้นแม่นยำสูง ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_p) เท่ากับ 0.759 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 1.418 หมายความว่า สมการดังกล่าวสามารถพยากรณ์ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในเชิงอบแห้งได้ 75.9 % ซึ่งบ่งบอกถึงมีประสิทธิภาพในการทำนายแม่นยำสามารถใช้ทำนายเบื้องต้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับ William and Norris (2001)



รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดได้จริงจากการทดลองกับค่าที่ได้จากการทำนายโมเดล PLS Regression จากกลุ่มทดสอบสมการ 54 ชิ้น ของเวลาที่ใช้ในการต้มไข่

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคัดแยกไข่ที่ผ่านกระบวนการความร้อนในการผลิตไข่ต้มชนิดยางมะตูมและไข่ต้มสุกแบบไม่ทำลายโดยใช้คุณสมบัติทางความร้อน โดยการนำไข่ไก่จำนวน 237 ฟอง ภายหลังจากการให้ความร้อนกับไข่ไก่ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวิเคราะห์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจำแนกออกเป็น 2 แบบจำลองหลักๆ ได้แก่ บ่งบอกข้อมูลเชิงคุณภาพ และ เชิงปริมาณ แบบจำลองถูกสร้างขึ้นโดยการนำคุณสมบัติทางความร้อน และ density (ความหนาแน่น) มาวิเคราะห์ เริ่มต้นจากการใช้ $(hA)/C_p$ without density แล้วจึงนำค่า density มาวิเคราะห์ร่วม ทำการคำนวณหาค่าของตัวแปรแต่ละตัว นำมาแทนค่าในสมการ เพิ่มความหลากหลายให้กับแบบจำลองเพื่อให้ได้แบบจำลองที่ดีที่สุดในการทำนาย

จากการศึกษาคุณสมบัติทางความร้อน การพาความร้อนในการทำนายค่าความเป็นไข่ยางมะตูมจากการวัดอุณหภูมิที่ผิวเปลือกไข่ และ เวลาที่ใช้ในการต้มไข่ เมื่อนำแบบจำลองมาทำนายค่าความเป็นไข่ยางมะตูมจากการวัดอุณหภูมิที่ผิวเปลือกไข่ และ เวลาที่ใช้ในการต้มไข่ ทำการแบ่งกลุ่มสร้างสมการ (calibration set) 110 ชิ้น และกลุ่มทดสอบสมการ (prediction set) 54 ชิ้น โดยการสร้างสมการถดถอยโดยวิธี partial least square regression (PLS Regression) พบว่า

แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดสำหรับการทำนายเวลาที่ใช้ในการต้มไข่ คือ การแปลงค่าจากข้อมูล original โดยใช้ $(hA)/C_p$ without density เป็นตัวแปรอิสระ โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients; R_p) เท่ากับ 0.806 แพลกเตอร์หรือจำนวนองค์ประกอบหลักจากการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (factor) เท่ากับ 2 และค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนาย (root mean square error of prediction; RMSEP) เท่ากับ 1.418 min แบบจำลองดังกล่าวสามารถพยากรณ์เวลาที่ใช้ในการต้มไข่ได้ 75.9 % ซึ่งบ่งบอกถึงมีประสิทธิภาพในการทำนายแม่นยำสามารถใช้ทำนายเบื้องต้นได้

ในขณะที่ แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพและมีความสัมพันธ์กันมากที่สุดสำหรับการทำนายค่าความเป็นไข่ยางมะตูมจากการวัดอุณหภูมิที่ผิวเปลือกไข่ คือ การแปลงค่าด้วยวิธี Smoothing โดยใช้ $(hA)/C_p$ with density เป็นตัวแปรอิสระ โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้น กลุ่มสร้างแบบจำลองของไข่ยางมะตูมสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 24 จาก 27 ตัวอย่าง และ กลุ่มไข่ต้มสุกสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 22 จาก 27 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมด (% total accuracy) 85.19 % และ การแปลงค่าด้วยวิธี original โดยใช้ h/C_p without density เป็นตัวแปรอิสระ กลุ่มสร้างแบบจำลองของไข่ยางมะตูมสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 23 จาก 27 ตัวอย่าง และ กลุ่มไข่ต้มสุกสามารถทำนายค่าได้ถูกต้อง 23 จาก 27 ตัวอย่าง มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องทั้งหมด (% total accuracy) 85.19 % ซึ่งบ่งบอกถึงมีประสิทธิภาพในการทำนายแม่นยำสามารถใช้ในการคัดเลือกหรือประมาณค่าเบื้องต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการทำนายคุณภาพของไข่ไก่หลังผ่านการให้ความร้อนกับวิธีอื่นด้วย อาทิเช่น การใช้คลื่นเสียง หรือการใช้ Near Infrared Spectroscopy (NIRS)

5.2.2 ในการใช้เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (infrared thermometer) จะต้องเว้นระยะห่างจากไข่เท่ากันเสมอเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ

5.2.3 ในการศึกษาเรื่องคุณสมบัติทางความร้อนที่มีผลต่อไข่ไก่ ควรทดสอบกับไข่ของสัตว์ปีกชนิดอื่นที่ใกล้เคียงกันเช่น ไข่เป็ด

5.2.4 ในการศึกษาเรื่องคุณสมบัติทางความร้อนที่มีผลต่อไข่ไก่ ควรใช้อุณหภูมิอื่นในการทดสอบร่วมด้วย

บรรณานุกรม

- ตรีรัตน์ สายวรรณ, ประภาศรี ภูวเสถียร, อังคารศิริ ตีอ่วม และครรชิต จุดประสงค์. 2558. คุณค่าทางโภชนาการของไข่ที่นิยมบริโภค และผลของการประกอบอาหาร. บทความวิจัย. สถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานความร้อน. หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
- http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_4.pdf
3 พฤษภาคม 2563.
- นพมาศ อัครจันทโชติ และกิดาการ สายธนู. 2560. การใช้การถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วนในกรณีการละเมิดข้อสมมุติของตัวแบบการถดถอย. สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ สมุทรปราการ.
- ปานมนัส ศิริสมบุญ. 2556. เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: www.nirsresearch.com. 12 พฤษภาคม 2563.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนวกัษรา หนูนา. 2559. Infrared thermometer / เทอร์โมมิเตอร์ชนิดอินฟราเรด. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com>. 3 พฤษภาคม 2563.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2559. Egg / ไข่. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1146/egg-%E0%B9%84%E0%B8%82%E0%B9%88>. 3 พฤษภาคม 2563.
- วชิระ มีทอง. 2549. การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย (NON-DESTRUCTIVE TESTING). ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://digital.lib.kmutt.ac.th/magazine/issue5/articles/article3.html>. 15 พฤษภาคม 2563.
- สนธิสุข ชีระชัยชยติ. 2558. การคัดแยกพันธุ์และคุณภาพของผลมะนาวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพ การดูกลิ่นแสงย่านใกล้อินฟราเรดความละเอียดสูง (Varieties and qualities classification of lime using near Infrared hyperspectral imaging). งานวิจัย. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2560. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ถ.พหลโยธิน เขตจตุจักร.
- สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2558. โภชนศาสตร์เบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://amprohealth.com/magazine/loss-of-nutrients/>. 7 พฤษภาคม 2563.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Behzad A., Nasser H., Jean. Yves M. and Hamed V.. 2015. Numerical modeling of heat transfer and pasteurizing value during thermal processing of intact egg. Food Science & Nutrition. Behzad Abbasnezhad, Department of Food Science and Technology,

Consumer Goods & FMCG. Food & Nutrition. 2020. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

<https://www.statista.com/statistics/183678/per-capita-consumption-of-eggs-in-the-us-since-2000/>. 7 พฤษภาคม 2563.

Cristina M., Brian E., Kevin M. and Patricia A. 2002. Cooling of Shell Eggs with Cryogenic Carbon Dioxide: a Finite Element Analysis of Heat Transfer. North Carolina State University, Department of Food Science, 129 Schaub Hall, Box 7624, Raleigh, USA. 568–574.

Food Network Solution. 2556. เทคโนโลยีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีสำหรับผลผลิตเกษตรและอาหาร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com>. 15 พฤษภาคม 2563.

Home and Garden Bulletin. Agricultural Marketing Service. "How to Buy Eggs". United States Department of Agriculture (USDA). 264: 1.

Howe, Juliette C., Williams, Juhi R., Holden and Joanne. 2004. USDA Database for the Choline Content of Common Foods. United States Department of Agriculture (USDA). 10.

Narushin V.G.. 2005. Production, modeling, and education. Egg geometry calculation using the measurements of length and breadth. Poultry Consultant Office, 35 Lenin Ave. 145-B, Zaporozhye 69035, Ukraine. 84:482–484

The UN Food and Agriculture Organization (FAO). 2017. Eggs - Food supply quantity.

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-egg-consumption-kilograms-per-year?tab=chart>. 7 พฤษภาคม 2563.

Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan. 4(1): 42–49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ ก.1 เครื่อง Electric Deep Fryers



ภาพที่ ก.2 เครื่อง Infrared Thermometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย(ต่อ)



ภาพที่ ก.3 เครื่อง Indoor Outdoor Thermometer with Hygrometer



ภาพที่ ก.4 เครื่อง Digital Lab Scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการทำงานวิจัย



ภาพที่ ข.1 การเตรียมน้ำต้มไข่

ทำการใส่น้ำให้อยู่ในปริมาณที่เครื่องกำหนด ตั้งอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และหมั่นทำการตรวจด้วยเทอร์โมมิเตอร์เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 88 – 94 องศาเซลเซียสตลอดการทดลอง



ภาพที่ ข.2 พักไข่ที่อุณหภูมิห้อง

นำไข่ที่ผ่านการแช่น้ำเย็นเป็นเวลา 3 นาทีขึ้นมาพักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาทีเพื่อทำการวัดค่าความหนาแน่นและทำการปลอกเพื่อชั่งน้ำหนักของทั้งไข่ขาวและไข่แดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการวัดคุณสมบัติทางความร้อนและกายภาพของไข่ต้ม

ตาราง ค.1 ข้อมูลกายภาพของไข่ต้มทั้งหมด 233 ตัวอย่าง

Sample	Size		Density (g/cm ³)	% Ripeness
	Length(mm)	Breadth(mm)		
1	59.94	44.18	0.9998	25
2	59.65	44.86	1.0027	25
3	61.32	44.32	1.0024	25
4	59.57	44.88	1.0021	25
5	57.61	44.79	1.0008	50
6	59.38	44.17	1.0008	25
7	58.58	45.83	1.0010	25
8	57.2	45.31	1.0015	25
9	58.99	43.88	1.0018	25
10	59.82	44.28	1.0019	75
11	58.86	44.02	1.0011	25
12	59.56	45.51	1.0042	25
13	56.73	45.6	1.0008	25
14	60.3	45.99	1.0022	25
15	57.99	44.87	1.0014	25
16	61.03	44.69	1.0031	25
17	59.36	44.56	1.0023	25
18	58.39	45.08	1.0009	25
19	48.33	45.5	1.0038	25
20	62.53	44.1	1.0015	25
21	58.86	45.16	1.0006	50
22	59.39	45.5	1.0016	50
23	60.22	43.88	1.0018	25
24	57.3	44.45	1.0011	50
25	55.45	44.02	1.0005	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

Sample	Size		Density (g/cm ³)	ระดับความสุก (%)
	Length(mm)	Breadth(mm)		
26	59.32	44.5	1.0013	50
27	59.43	44.59	1.0018	25
28	62.47	44.12	1.0003	50
29	59.99	44.76	1.0003	50
30	59.12	45.02	1.0073	50
31	61.22	43.48	1.0027	50
32	59.43	43.39	1.0034	50
33	58.87	43.34	1.0026	50
34	57.1	42.55	1.0012	50
35	58.73	44.8	1.0012	75
36	60.89	43.9	1.0076	100
37	57.31	43.45	1.0021	75
38	87.92	46.2	1.0016	50
39	60.43	44.32	1.0015	75
40	56.28	43.9	1.0006	100
41	57.45	43.53	1.0013	100
42	60.27	45.11	1.0013	100
43	56.44	44.67	1.0019	100
44	59.59	45.4	1.0011	100
45	60.11	43.41	1.0006	100
46	59.22	42.7	1.0011	100
47	59.57	44.19	1.0006	100
48	56.81	44.17	1.0003	100
49	59.76	44.15	0.9995	100
50	59.62	44.48	1.0009	100
51	57.02	43.52	1.0008	100
52	63.03	43.05	1.0003	100
53	60.85	44.72	1.0003	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

Sample	Size		Density (g/cm ³)	ระดับความสุก (%)
	Length(mm)	Breadth(mm)		
54	55.89	46.12	0.9121	100
55	59.02	44.96	1.0006	100
56	59.07	44.95	1.0002	100
57	60.83	44.6	1.0014	100
58	58.33	44.82	0.9551	100
59	58.26	43.53	1.0026	100
60	57.47	43.53	0.9949	100
61	58.76	44.22	1.0003	100
62	60.36	44.33	1.0000	100
63	60.65	42.45	1.0011	100
64	62.62	43.54	1.0012	100
65	58.86	45.16	1.0000	100
66	58.95	45.23	1.0039	100
67	58.29	47.1	1.0006	100
68	58.98	45.38	1.0007	100
69	58.43	45.2	1.0017	100
70	59.32	44.94	1.0487	100
71	56.43	43.38	1.0025	100
72	58.82	42.79	1.0000	100
73	57.02	44.23	1.0416	100
74	57.55	43.38	1.0012	100
75	58.25	44.62	1.0011	100
76	58.24	42.12	1.0000	100
77	60.04	45.19	1.0017	100
78	56.64	45.54	1.0020	100
79	58.1	44.1	1.0006	100
80	60.81	44.57	1.0020	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

Sample	Size		Density (g/cm ³)	ระดับความสุก (%)
	Length(mm)	Breadth(mm)		
81	59.66	44.56	1.0012	100
82	60.74	43.86	1.0003	100
83	57.23	43.1	1.0026	100
84	60.04	44.91	1.0026	100
85	58.47	44.41	1.0028	100
86	57.45	45.14	1.0017	100
87	58.61	44.14	1.4517	100
88	58.4	45.18	1.0475	100
89	59.79	44.23	1.0019	100
90	59.33	44.38	1.0000	100
91	56.63	43.13	1.0008	100
92	58.32	45.56	1.0001	100
93	59.01	44.5	1.0015	100
94	57.23	43.58	1.0005	100
95	58.51	45.85	0.9981	100
96	56.18	43.87	1.0008	100
97	58.21	44.82	1.0003	100
98	57.37	45.56	1.0006	100
99	59.42	45.92	0.9999	100
100	56.82	44.04	0.9998	100
101	60.09	45.66	0.9999	100
102	56.61	43.67	1.0000	100
103	59.54	44.53	0.9101	100
104	58.99	46.24	1.0000	100
105	57.26	46.09	0.9997	100
106	59.19	44.16	0.9998	100
107	56.72	45.53	0.9997	100
108	57.7	45.26	1.0014	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

Sample	Size		Density (g/cm ³)	ระดับความสุก (%)
	Length(mm)	Breadth(mm)		
109	60.36	45.26	1.0012	100
110	56.61	45.07	0.9998	100
111	56.61	45.51	1.0000	100
112	57.98	45.91	1.0012	100
113	59.53	44.74	0.9997	100
114	58.70	43.94	0.9997	100
115	66.83	43.7	0.9997	100
116	58.44	43.85	1.0002	25
117	59.84	45	1.0000	25
118	56.56	45.32	1.0002	50
119	59.76	45.02	1.0000	50
120	57.25	45.66	1.0000	75
121	60.06	45.23	1.0001	75
122	58.02	46.06	1.0003	75
123	57.73	45.13	0.9997	75
124	59.06	45.51	1.0000	75
125	59.97	44.52	1.0001	75
126	56.02	43.78	1.0003	75
127	59.11	46.01	1.0004	75
128	62.47	43.73	1.0018	75
129	58.71	44.09	1.0006	75
130	56.88	44.92	1.0000	75
131	59.06	43.8	1.0002	75
132	58.85	45.49	1.0000	100
133	59.69	44.48	1.0000	100
134	59.67	44.91	1.0001	100
135	61.41	44.34	1.0001	100
136	56.75	44.89	1.0000	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

Sample	Size		Density (g/cm ³)	ระดับความสุก (%)
	Length(mm)	Breadth(mm)		
137	61.28	43.14	1.0002	100
138	69.77	44.78	1.0003	100
139	59.47	44.88	1.0313	100
140	61.68	66.25	1.0002	100
141	46.15	45.25	1.0003	100
142	47.35	46.71	1.0003	100
143	68.35	45.11	1.0002	100
144	58.33	44.96	1.0003	100
145	58.09	43.97	1.0003	100
146	60.7	44.61	1.0000	25
147	56.80	45.3	1.0003	25
148	59.66	44.73	1.0007	50
149	58.56	43.42	1.0013	50
150	56.74	44.83	1.0005	50
151	58.41	44.46	1.0005	50
152	59.96	44.27	1.0005	100
153	62.08	44	1.0006	50
154	60.68	44.96	1.0011	75
155	57.80	45.51	1.0033	50
156	59.40	44.78	1.0003	75
157	56.80	44.23	1.0006	75
158	64.10	43.46	1.0006	75
159	60.56	44.83	1.0001	75
160	60.28	43.52	1.0016	75
161	56.75	45.28	0.9965	75
162	60.49	43.86	0.9968	75
163	57.53	44.9	0.9988	75
164	62.78	43.92	1.0002	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

Sample	Size		Density (g/cm ³)	ระดับความสุก (%)
	Length(mm)	Breadth(mm)		
165	60.08	45.29	1.0004	50
166	57.20	44.99	1.0002	50
167	57.19	45.64	1.0002	50
168	60.19	44.99	1.0003	50
169	56.70	45.75	1.0027	50
170	57.86	47.30	1.0003	50
171	59.16	44.04	1.0005	50
172	56.45	44.98	1.0002	50
173	60.12	44.52	1.0004	50
174	57.33	46.43	1.0005	50
175	59.04	44.19	1.0002	50
176	59.97	44.09	1.0002	50
177	58.28	45.60	1.0003	50
178	56.97	45.72	0.9150	50
179	57.71	44.95	1.0011	50
180	58.10	44.05	1.0002	50
181	58.65	43.77	1.0008	50
182	59.49	43.78	1.0003	50
183	57.80	44.48	1.0003	75
184	61.07	44.09	1.0008	75
185	59.40	44.32	1.0009	75
186	58.05	45.74	1.0007	75
187	68.81	44.92	1.0003	75
188	58.39	46.42	1.0006	75
189	59.02	44.95	1.0006	75
190	57.77	43.65	1.0000	75
191	56.56	43.78	1.0002	75
192	56.08	45.41	1.0002	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

Sample	Size		Density (g/cm ³)	ระดับความสุก (%)
	Length(mm)	Breadth(mm)		
193	58.61	43.56	1.0003	75
194	59.40	44.51	1.0003	75
195	60.93	43.26	1.0006	75
196	56.62	46.97	1.0004	75
197	57.57	44.14	1.0002	75
198	55.48	46.16	1.0003	75
199	59.74	46.31	1.0001	100
200	57.11	45.80	1.0000	100
201	63.28	45.08	1.0000	100
202	57.33	45.46	1.0003	100
203	59.58	44.27	1.0002	100
204	56.38	45.92	1.0003	100
205	55.81	45.71	1.0003	100
206	58.55	44.78	1.0003	100
207	58.84	44.49	1.0002	25
208	58.93	45.70	1.0006	25
209	57.06	44.60	1.0008	25
210	58.30	44.56	1.0003	50
211	57.83	44.74	1.0011	50
212	56.77	44.99	1.0005	50
213	58.98	44.93	1.0006	50
214	57.49	44.82	1.0002	50
215	56.75	46.24	1.0012	50
216	47.25	44.68	1.0005	50
217	58.40	44.53	1.0008	50
218	57.40	46.11	1.0004	50
219	56.38	44.91	1.0003	50
220	56.61	45.27	1.0008	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 (ต่อ)

Sample	Size		Density (g/cm ³)	ระดับความสุก (%)
	Length(mm)	Breadth(mm)		
221	57.75	45.70	1.0000	50
222	60.14	44.19	1.0009	50
223	58.90	45.26	1.0006	50
224	59.96	43.90	1.0008	50
225	57.54	43.99	1.0000	50
226	59.70	43.90	1.0014	50
227	57.21	45.42	1.0008	50
228	57.30	45.61	1.0014	50
229	57.08	45.71	1.0002	50
230	57.99	45.93	0.0927	50
231	59.11	44.49	1.0006	50
232	59.08	46.05	1.0001	75
233	55.77	45.98	1.0011	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 ข้อมูลค่า c_p ของไข่แต่ละฟอง

Sample	C_p value (J/g °C)				
	Air	Shell	Egg white	Egg yolk	C_p total
1	0.000	7.637	78.676	36.753	123.066
2	0.000	7.672	91.066	30.725	129.464
3	0.000	9.280	82.611	35.874	127.764
4	0.000	6.980	82.129	41.379	130.488
5	0.000	8.596	85.122	37.946	131.664
6	0.000	9.546	81.418	35.434	126.398
7	0.000	13.791	77.441	32.567	123.799
8	0.000	6.740	88.283	36.648	131.671
9	0.000	7.930	88.639	39.348	135.917
10	0.000	6.749	85.541	29.846	122.136
11	0.000	5.958	84.746	31.897	122.601
12	0.000	6.687	88.429	35.037	130.153
13	0.000	8.178	85.436	36.125	129.740
14	0.000	6.216	87.487	38.616	132.319
15	0.000	1.501	84.348	41.127	126.976
16	0.000	6.092	93.955	32.232	132.279
17	0.000	6.926	82.380	38.427	127.734
18	0.000	6.793	80.915	41.504	129.213
19	0.000	5.168	82.129	36.209	123.506
20	0.000	7.077	78.215	36.523	121.816
21	0.000	5.488	76.688	36.732	118.908
22	0.000	5.364	79.911	37.946	123.220
23	0.000	7.406	83.573	40.018	130.998
24	0.000	6.234	79.199	36.732	122.165
25	0.000	6.163	86.713	39.307	132.182
26	0.000	6.216	92.008	34.744	132.968
27	0.000	5.390	81.501	37.486	124.377
28	0.000	6.829	88.513	37.486	132.827

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

Sample	C_p value (J/g °C)				
	Air	Shell	Egg white	Egg yolk	C_p total
29	0.000	6.402	84.139	39.809	130.350
30	0.000	4.760	77.818	33.048	115.626
31	0.000	7.317	83.280	36.669	127.267
32	0.000	5.390	72.627	38.239	116.256
33	0.000	7.663	80.643	32.860	121.167
34	0.000	5.870	72.146	40.311	118.327
35	0.000	6.234	92.762	37.318	136.314
36	0.000	5.736	87.278	37.569	130.584
37	0.000	7.246	82.757	34.241	124.245
38	0.000	6.545	93.515	36.690	136.750
39	0.000	5.772	92.259	37.590	135.622
40	0.000	6.163	79.199	41.755	127.117
41	0.000	6.092	81.334	31.772	119.197
42	0.000	5.674	87.697	42.069	135.440
43	0.000	5.816	88.011	33.090	126.917
44	0.000	6.607	83.908	37.507	128.022
45	0.000	33.238	92.699	32.232	158.169
46	0.000	8.685	86.064	37.569	132.318
47	0.000	6.136	82.799	39.809	128.744
48	0.000	5.976	76.729	32.630	115.335
49	0.000	6.545	87.278	38.030	131.852
50	0.000	7.095	84.662	34.472	126.229
51	0.000	5.958	79.011	33.676	118.646
52	0.000	5.501	100.715	33.321	132.535
53	0.000	6.873	84.473	35.225	126.572
54	0.000	6.633	89.727	35.246	131.606
55	0.000	7.548	85.353	42.425	135.326
56	0.000	6.314	77.546	33.990	117.850

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

Sample	C_p value (J/g °C)				
	Air	Shell	Egg white	Egg yolk	C_p total
57	0.000	6.793	88.827	40.814	136.434
58	0.000	6.589	75.076	34.932	116.597
59	0.000	5.669	87.801	36.041	125.512
60	0.000	7.086	89.162	35.267	131.515
61	0.000	6.962	78.781	41.232	126.975
62	0.000	7.033	87.780	33.530	128.343
63	0.000	6.553	90.292	32.860	129.706
64	0.000	9.413	83.887	38.553	131.853
65	0.000	6.962	80.894	37.695	125.551
66	0.000	6.784	87.780	35.058	129.622
67	0.000	6.909	92.866	32.714	132.489
68	0.000	6.660	86.880	31.960	125.501
69	0.000	6.997	81.585	37.046	125.629
70	0.000	9.422	82.715	30.432	122.569
71	0.000	9.200	84.725	35.686	129.610
72	0.000	7.033	92.218	31.751	131.001
73	0.000	6.083	88.953	41.630	136.665
74	0.000	7.042	93.976	34.535	135.552
75	0.000	6.775	87.676	34.325	128.776
76	0.000	7.086	94.101	32.337	133.524
77	0.000	7.877	86.629	37.507	132.012
78	0.000	7.841	81.313	37.004	126.158
79	0.000	7.921	92.615	34.932	135.468
80	0.000	7.468	83.720	36.586	127.774
81	0.000	7.264	93.432	31.583	132.279
82	0.000	6.731	86.839	36.858	130.427
83	0.000	6.696	86.734	34.681	128.110
84	0.000	7.184	78.467	38.407	124.057

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

Sample	C_p value (J/g °C)				
	Air	Shell	Egg white	Egg yolk	C_p total
85	0.000	6.536	90.585	35.309	132.430
86	0.000	6.953	83.490	38.553	128.996
87	0.000	6.846	83.280	35.790	125.917
88	0.000	6.420	85.499	33.948	125.868
89	0.000	6.820	93.578	35.455	135.853
90	0.000	6.474	85.980	35.476	127.930
91	0.000	6.891	85.457	35.309	127.657
92	0.000	7.450	85.520	30.558	123.528
93	0.000	5.515	103.185	35.790	139.490
94	0.000	7.237	78.425	38.302	123.964
95	0.000	7.877	76.834	39.181	123.892
96	0.000	6.935	85.039	38.134	130.108
97	0.000	7.095	86.839	33.635	127.568
98	0.000	6.349	86.315	38.051	130.715
99	0.000	6.562	85.792	43.137	135.491
100	0.000	7.832	83.218	37.151	128.201
101	0.000	7.681	75.390	39.453	122.524
102	0.000	7.317	89.455	38.093	134.865
103	0.000	8.019	86.587	38.134	132.741
104	0.000	6.811	83.448	34.137	124.396
105	0.000	6.767	87.676	33.132	127.575
106	0.000	6.331	87.906	35.790	130.028
107	0.000	7.113	80.706	38.616	126.435
108	0.000	8.187	81.146	37.841	127.174
109	0.000	7.131	90.334	35.518	132.983
110	0.000	6.616	85.353	34.116	126.084
111	0.000	6.198	89.978	33.488	129.664
112	0.000	7.211	84.160	34.848	126.219

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

Sample	C_p value (J/g °C)				
	Air	Shell	Egg white	Egg yolk	C_p total
113	0.000	8.418	79.681	36.021	124.119
114	0.000	7.592	87.613	37.988	133.193
115	0.000	8.756	81.250	37.674	127.680
116	0.000	6.571	90.125	33.614	130.309
117	0.000	9.768	79.785	42.362	131.915
118	0.000	7.308	86.587	35.372	129.267
119	0.000	6.829	79.953	37.925	124.706
120	0.000	7.948	76.876	36.083	120.907
121	0.000	6.802	84.599	32.086	123.487
122	0.000	6.962	85.227	35.079	127.268
123	0.000	8.516	84.557	34.974	128.047
124	0.000	5.719	93.557	35.393	134.668
125	0.000	7.308	85.499	34.828	127.635
126	0.000	8.844	95.190	32.337	136.371
127	0.000	8.321	87.655	33.258	129.233
128	0.000	5.177	82.967	36.021	124.164
129	0.000	6.527	91.736	26.958	125.221
130	0.000	6.101	87.341	33.948	127.390
131	0.000	6.846	82.611	35.434	124.892
132	0.000	5.532	88.136	32.818	126.487
133	0.000	8.809	87.048	34.137	129.994
134	0.000	7.299	120.766	0.000	128.065
135	0.000	9.022	88.199	33.990	131.211
136	0.000	7.095	89.580	33.509	130.184
137	0.000	7.255	91.715	33.718	132.688
138	0.000	7.415	91.359	23.965	122.739
139	0.000	6.296	91.234	32.755	130.285
140	0.000	7.619	87.194	31.437	126.250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.2 (ต่อ)

Sample	C_p value (J/g °C)				
	Air	Shell	Egg white	Egg yolk	C_p total
141	0.000	6.704	83.113	36.544	126.361
142	0.000	6.438	83.636	36.167	126.241
143	0.000	7.415	83.594	35.246	126.255
144	0.000	6.553	83.846	35.162	125.561
145	0.000	7.797	85.813	36.481	130.091
146	0.000	7.592	82.443	34.367	124.403
147	0.000	8.614	87.739	31.688	128.040
148	0.000	6.216	86.818	31.416	124.450
149	0.000	6.980	83.218	35.623	125.820
150	0.000	8.765	80.057	39.223	128.045
151	0.000	7.086	85.813	32.525	125.424
152	0.000	6.163	80.308	39.600	126.071
153	0.000	9.200	82.967	39.014	131.180
154	0.000	7.468	81.313	38.951	127.732
155	0.000	7.193	84.934	34.890	127.017
156	0.000	6.260	74.260	44.727	125.247
157	0.000	5.905	83.887	34.828	124.620
158	0.000	6.873	81.208	39.453	127.535
159	0.000	7.211	82.904	36.251	126.365
160	0.000	8.010	85.499	34.869	128.378
161	0.000	7.743	84.139	36.021	127.902
162	0.000	8.303	83.594	35.602	127.499
163	0.000	9.981	85.499	35.141	130.622
164	0.000	7.219	85.708	33.530	126.458

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 ข้อมูลค่า A ของไข่แต่ละฟอง

Sample	Size		Surface areas(m ³)
	Length(mm)	Breadth(mm)	
1	57.61	44.79	7.448
2	59.82	44.28	7.551
3	58.86	45.16	7.639
4	59.32	44.5	7.550
5	62.47	44.12	7.753
6	59.12	45.02	7.635
7	61.22	43.48	7.513
8	58.73	44.8	7.555
9	87.92	46.2	10.117
10	57.45	43.53	7.188
11	56.44	44.67	7.314
12	59.76	44.15	7.519
13	59.62	44.48	7.573
14	60.85	44.72	7.733
15	55.89	46.12	7.540
16	59.02	44.96	7.614
17	59.07	44.95	7.617
18	60.83	44.6	7.707
19	58.33	44.82	7.522
20	58.26	43.53	7.261
21	57.47	43.53	7.190
22	58.76	44.22	7.443
23	60.36	44.33	7.610
24	60.65	42.45	7.256
25	62.62	43.54	7.645
26	58.86	45.16	7.639
27	58.29	47.1	7.973
28	58.98	45.38	7.694

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 (ต่อ)

Sample	Size		Surface areas(m ³)
	Length(mm)	Breadth(mm)	
29	58.43	45.2	7.607
30	58.82	42.79	7.166
31	57.02	44.23	7.284
32	57.55	43.38	7.168
33	58.25	44.62	7.475
34	58.24	42.12	6.985
35	60.04	45.19	7.755
36	56.64	45.54	7.502
37	58.1	44.1	7.359
38	60.81	44.57	7.699
39	59.66	44.56	7.593
40	60.74	43.86	7.548
41	57.23	43.1	7.085
42	60.04	44.91	7.698
43	58.47	44.41	7.454
44	57.45	45.14	7.502
45	58.61	44.14	7.413
46	58.4	45.18	7.600
47	59.33	44.38	7.527
48	56.63	43.13	7.036
49	58.32	45.56	7.668
50	59.01	44.5	7.521
51	57.23	43.58	7.178
52	56.18	43.87	7.136
53	58.21	44.82	7.511
54	57.37	45.56	7.577
55	59.42	45.92	7.845
56	56.82	44.04	7.229

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 (ต่อ)

Sample	Size		Surface areas(m ³)
	Length(mm)	Breadth(mm)	
57	60.09	45.66	7.855
58	56.616	43.67	7.138
59	59.54	44.53	7.576
60	58.99	46.24	7.868
61	59.19	44.16	7.470
62	59.72	44.53	7.592
63	57.7	45.23	7.543
64	60.36	45.26	7.798
65	56.61	45.07	7.408
66	56.61	45.51	7.493
67	57.98	45.91	7.705
68	58.7	43.94	7.382
69	66.83	43.7	8.027
70	56.56	45.32	7.451
71	59.76	45.02	7.695
72	57.25	45.66	7.585
73	60.06	45.23	7.765
74	58.02	46.06	7.738
75	57.73	45.13	7.527
76	59.06	45.51	7.728
77	59.11	46.01	7.833
78	62.47	43.73	7.672
79	58.85	45.49	7.704
80	59.69	44.48	7.579
81	59.67	44.91	7.664
82	61.41	44.34	7.705
83	56.75	44.89	7.386
84	61.28	43.14	7.449

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 (ต่อ)

Sample	Size		Surface areas(m ³)
	Length(mm)	Breadth(mm)	
85	69.77	44.78	8.502
86	59.47	44.88	7.640
87	61.45	44.25	7.690
88	46.15	45.25	6.365
89	47.35	46.71	6.742
90	68.35	45.11	8.461
91	58.33	44.96	7.550
92	58.09	43.97	7.332
93	59.66	44.73	7.627
94	58.56	43.42	7.267
95	58.41	44.46	7.458
96	59.96	44.27	7.562
97	62.08	44	7.694
98	60.68	44.96	7.767
99	57.8	45.51	7.608
100	59.4	44.78	7.613
101	56.8	44.23	7.263
102	64.1	43.46	7.753
103	60.56	44.83	7.729
104	60.28	43.52	7.439
105	56.75	45.28	7.462
106	60.49	43.86	7.526
107	57.53	44.9	7.462
108	62.78	43.92	7.738
109	60.08	45.29	7.779
110	57.20	44.99	7.449
111	56.70	45.75	7.549
112	59.16	44.04	7.443

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 (ต่อ)

Sample	Size		Surface areas(m ³)
	Length(mm)	Breadth(mm)	
113	56.45	44.98	7.375
114	60.12	44.52	7.626
115	57.33	46.43	7.744
116	59.97	44.09	7.526
117	58.28	45.60	7.672
118	57.71	44.95	7.489
119	58.10	44.05	7.349
120	58.65	43.77	7.344
121	57.80	44.48	7.405
122	61.07	44.09	7.624
123	59.40	44.32	7.521
124	58.05	45.74	7.678
125	68.81	44.92	8.456
126	58.39	46.42	7.846
127	59.02	44.95	7.612
128	57.77	43.65	7.240
129	56.56	43.78	7.154
130	56.08	45.41	7.422
131	58.61	43.56	7.299
132	59.40	44.51	7.559
133	56.62	46.97	7.779
134	55.48	46.16	7.507
135	59.74	46.31	7.954
136	57.11	45.80	7.598
137	63.28	45.08	8.024
138	59.58	44.27	7.527
139	56.38	45.92	7.550
140	55.81	45.71	7.453

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.3 (ต่อ)

Sample	Size		Surface areas(m ³)
	Length(mm)	Breadth(mm)	
141	58.55	44.78	7.534
142	58.30	44.56	7.468
143	57.83	44.74	7.459
144	56.77	44.99	7.408
145	58.98	44.93	7.604
146	57.49	44.82	7.443
147	56.75	46.24	7.649
148	47.25	44.68	6.389
149	58.40	44.53	7.471
150	57.40	46.11	7.688
151	56.38	44.91	7.355
152	56.61	45.27	7.447
153	57.75	45.70	7.641
154	60.14	44.19	7.562
155	58.90	45.26	7.663
156	59.96	43.90	7.487
157	57.54	43.99	7.286
158	57.21	45.42	7.534
159	57.30	45.61	7.580
160	57.08	45.71	7.578
161	57.99	45.93	7.710
162	59.11	44.49	7.528
163	59.08	46.05	7.838
164	55.77	45.98	7.501

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.4 ข้อมูลค่า hA/C_p ของไข่แต่ละฟอง

Sample	Class	hA/C_p (g/s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
1	1	1.3833	1.4270	1.4798	1.5133	1.5997	1.6614	1.6768	1.7151	1.7628
2	1	1.4921	1.5496	1.5833	1.6639	1.7086	1.7108	1.7638	1.8273	1.8715
3	1	1.4490	1.5331	1.5969	1.6795	1.7004	1.7068	1.7420	1.7738	1.8046
4	1	1.3174	1.3582	1.3888	1.4314	1.4669	1.5096	1.5562	1.5966	1.6390
5	1	1.2833	1.3280	1.3932	1.4440	1.4610	1.5028	1.5647	1.5935	1.6124
6	1	1.3175	1.3629	1.3940	1.4422	1.5085	1.5186	1.6415	1.6989	1.6434
7	1	1.3438	1.4106	1.4605	1.5144	1.5721	1.6189	1.6584	1.6936	1.7392
8	1	1.2808	1.3158	1.3828	1.4683	1.5052	1.5171	1.5641	1.5897	1.6105
9	1	1.2999	1.3404	1.4063	1.4713	1.4947	1.5882	1.7055	1.7137	1.6951
10	0	1.3072	1.4003	1.4549	1.4600	1.5190	1.5864	1.6213	1.6537	1.6624
11	0	1.3301	1.3652	1.4024	1.4184	1.4644	1.5637	1.6813	1.6344	1.6552
12	0	1.3877	1.4268	1.4424	1.4684	1.5106	1.5535	1.5891	1.6106	1.6347
13	0	1.3094	1.3659	1.4156	1.4639	1.4970	1.5263	1.5736	1.6337	1.6685
14	0	1.3886	1.4712	1.5166	1.5394	1.5575	1.5989	1.5895	1.5648	1.6028
15	0	1.3676	1.3819	1.4237	1.4708	1.4940	1.5214	1.5480	1.5700	1.6003
16	0	1.3573	1.3979	1.3831	1.4218	1.4676	1.4890	1.5112	1.5859	1.6826
17	0	1.3339	1.4112	1.4479	1.4446	1.5187	1.6351	1.7315	1.7091	1.7275
18	0	1.4225	1.4680	1.5095	1.5518	1.5500	1.5955	1.6252	1.6563	1.6904
19	0	1.2568	1.2914	1.3369	1.3897	1.4324	1.4708	1.4952	1.5186	1.5446
20	0	1.2758	1.3369	1.4111	1.4490	1.4472	1.4990	1.5616	1.5878	1.6024
21	0	1.1976	1.2632	1.3197	1.3226	1.3670	1.3997	1.3787	1.4370	1.5239
22	0	1.2475	1.2922	1.3375	1.4288	1.4743	1.4619	1.4760	1.4959	1.5373
23	0	1.3828	1.4197	1.4616	1.5045	1.5665	1.5924	1.5943	1.6334	1.6936
24	0	1.2615	1.2920	1.3256	1.3608	1.3608	1.3810	1.4599	1.5191	1.5362
25	0	1.4336	1.4800	1.5089	1.5316	1.5896	1.6343	1.6343	1.6825	1.7565
26	0	1.3040	1.3316	1.3715	1.3729	1.4225	1.5105	1.5642	1.6036	1.6273
27	0	1.2715	1.3018	1.3482	1.3583	1.3734	1.4133	1.4547	1.4906	1.4996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.4 (ต่อ)

Sample	Class	hA/C _p (g/s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
28	0	1.3610	1.3843	1.4259	1.4559	1.4672	1.5143	1.5438	1.6359	1.6923
29	0	1.3882	1.4030	1.4261	1.4675	1.4926	1.5275	1.5696	1.6042	1.6363
30	0	1.2069	1.2616	1.2534	1.2994	1.3884	1.4189	1.4472	1.4939	1.5624
31	0	1.3671	1.4508	1.4875	1.5900	1.6992	1.6491	1.6320	1.6279	1.6093
32	0	1.2382	1.2702	1.3215	1.4519	1.5035	1.4165	1.4394	1.4895	1.5106
33	0	1.1916	1.2058	1.2522	1.3284	1.3624	1.3716	1.3952	1.4365	1.4874
34	0	1.1827	1.1908	1.2176	1.3002	1.2510	1.2208	1.2245	1.3399	1.4893
35	0	1.2938	1.2889	1.3039	1.3604	1.4025	1.4353	1.4632	1.4792	1.5176
36	0	1.2802	1.2495	1.2663	1.2989	1.3767	1.4375	1.4798	1.5455	1.6751
37	0	1.1685	1.2046	1.2439	1.2999	1.3483	1.3586	1.3750	1.3918	1.4769
38	0	1.2582	1.3096	1.3536	1.4019	1.4326	1.4712	1.5081	1.5318	1.5525
39	0	1.2977	1.3282	1.3494	1.3699	1.3924	1.4113	1.4352	1.4616	1.4955
40	0	1.1879	1.2079	1.2322	1.2699	1.3005	1.3232	1.3669	1.4024	1.4194
41	0	1.1812	1.1528	1.1799	1.2165	1.2492	1.2755	1.2974	1.3258	1.3540
42	0	1.3625	1.3819	1.4107	1.4436	1.4687	1.4766	1.5030	1.5509	1.5724
43	0	1.2366	1.2698	1.3129	1.3459	1.3675	1.3868	1.3974	1.4192	1.4464
44	0	1.2691	1.2777	1.3033	1.3365	1.3601	1.4026	1.4410	1.4506	1.4752
45	0	1.3274	1.4024	1.4593	1.4707	1.4839	1.5271	1.5743	1.6089	1.6512
46	0	1.2806	1.2947	1.3183	1.3511	1.3841	1.4050	1.4313	1.4618	1.4851
47	0	1.2320	1.2496	1.2690	1.2865	1.3097	1.3460	1.3771	1.4007	1.4314
48	0	1.1608	1.1868	1.2238	1.2485	1.2674	1.2969	1.3084	1.3128	1.3382
49	0	1.2228	1.2538	1.2946	1.3214	1.3617	1.3925	1.4116	1.4403	1.4785
50	0	1.2262	1.2451	1.2633	1.2821	1.3134	1.3378	1.3589	1.3956	1.4358
51	0	1.2178	1.2555	1.2837	1.3143	1.3361	1.3679	1.3947	1.4143	1.4572
52	0	1.2759	1.2652	1.2892	1.3212	1.3443	1.3638	1.3838	1.4077	1.4424
53	0	1.3740	1.4083	1.4548	1.4898	1.5045	1.6348	1.6790	1.6020	1.6445
54	0	1.4477	1.4106	1.4076	1.4212	1.4835	1.5396	1.6194	1.6568	1.6322

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.4 (ต่อ)

Sample	Class	hA/C _p (g/s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
55	0	1.3130	1.3545	1.3984	1.4334	1.4781	1.5138	1.5409	1.5726	1.6152
56	0	1.1525	1.1865	1.2188	1.2337	1.2609	1.2945	1.3086	1.3215	1.3620
57	0	1.2961	1.3252	1.3620	1.4057	1.4594	1.4929	1.5262	1.6275	1.7135
58	0	1.2261	1.2571	1.3011	1.3526	1.4136	1.4950	1.5156	1.5022	1.5595
59	0	1.3991	1.5221	1.5793	1.5812	1.6301	1.6644	1.6258	1.6653	1.7809
60	0	1.5367	1.5402	1.5764	1.6120	1.6375	1.6657	1.6887	1.7389	1.7870
61	0	1.3091	1.3284	1.3788	1.4201	1.4476	1.4760	1.4968	1.5092	1.5237
62	0	1.1934	1.1911	1.2016	1.2194	1.2366	1.2594	1.2843	1.3188	1.3490
63	0	1.1698	1.1890	1.1978	1.2193	1.2449	1.2693	1.3090	1.3386	1.3525
64	0	1.2993	1.3154	1.3167	1.3320	1.3583	1.4206	1.4877	1.5449	1.6154
65	0	1.3402	1.3502	1.3722	1.4103	1.4374	1.4456	1.4589	1.4863	1.4950
66	0	1.2364	1.2592	1.2864	1.3071	1.3324	1.3617	1.3936	1.4071	1.4163
67	0	1.3208	1.3484	1.3675	1.3957	1.4206	1.4221	1.4419	1.4732	1.5011
68	0	1.2613	1.2575	1.2600	1.2779	1.3220	1.3630	1.3915	1.4132	1.4982
69	0	1.1760	1.2231	1.2325	1.3221	1.3617	1.3416	1.3747	1.4186	1.5376
70	1	1.3018	1.3612	1.4247	1.4718	1.5320	1.5943	1.6267	1.6690	1.7090
71	1	1.2972	1.3574	1.3996	1.4450	1.4880	1.5235	1.5716	1.6209	1.6650
72	1	1.3136	1.3670	1.4302	1.5141	1.5763	1.6444	1.6707	1.6582	1.6833
73	1	1.3726	1.4127	1.4675	1.5201	1.5840	1.6452	1.6944	1.7354	1.7647
74	1	1.3879	1.4424	1.4960	1.5261	1.5594	1.6015	1.6361	1.6681	1.6972
75	1	1.2751	1.3413	1.3807	1.4566	1.5042	1.5183	1.5728	1.5937	1.6054
76	1	1.2393	1.3560	1.5025	1.5559	1.5832	1.6272	1.6880	1.7223	1.7606
77	1	1.2228	1.2907	1.3411	1.3702	1.4124	1.4638	1.5034	1.5312	1.5673
78	1	1.3990	1.4690	1.5320	1.5534	1.5627	1.6225	1.5864	1.6335	1.7892
79	0	1.4225	1.4463	1.4463	1.5073	1.5737	1.5864	1.6221	1.6591	1.6982
80	0	1.3426	1.3287	1.3664	1.4220	1.5115	1.5693	1.5618	1.6130	1.6617
81	0	1.3170	1.3597	1.3939	1.4373	1.4738	1.5002	1.5295	1.5976	1.6525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.4 (ต่อ)

Sample	Class	hA/C _p (g/s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
82	0	1.3331	1.3856	1.4661	1.5256	1.5563	1.5963	1.6463	1.7021	1.7907
83	0	1.2068	1.2710	1.3216	1.3621	1.4176	1.4657	1.4842	1.4928	1.5451
84	0	1.2879	1.3273	1.3815	1.4249	1.4513	1.4944	1.5459	1.6113	1.6733
85	0	1.3366	1.3988	1.4549	1.4816	1.5084	1.5215	1.5555	1.6061	1.6317
86	0	1.4128	1.4490	1.4570	1.4521	1.4920	1.5581	1.6238	1.6545	1.6651
87	0	1.2422	1.2693	1.3173	1.3662	1.4110	1.4475	1.4999	1.5483	1.5966
88	0	1.2137	1.2576	1.2945	1.3363	1.3765	1.4208	1.4512	1.5100	1.5801
89	0	1.3422	1.3649	1.4128	1.4575	1.5279	1.5889	1.5963	1.6266	1.6460
90	0	1.2094	1.2558	1.3133	1.3768	1.4096	1.4328	1.4586	1.4801	1.5076
91	0	1.2434	1.2868	1.3491	1.3603	1.3866	1.5031	1.5519	1.5226	1.5370
92	0	1.2136	1.2506	1.2742	1.3140	1.3702	1.4065	1.4771	1.5559	1.5522
93	1	1.3451	1.4112	1.4657	1.4989	1.5392	1.5891	1.6302	1.6865	1.7511
94	1	1.3340	1.3794	1.4229	1.4626	1.5118	1.5527	1.5940	1.6375	1.6678
95	1	1.4042	1.4842	1.5231	1.5891	1.6417	1.6673	1.7166	1.7907	1.8527
96	0	1.3248	1.3826	1.4648	1.5101	1.5546	1.5999	1.6396	1.6644	1.6988
97	1	1.3769	1.4286	1.4948	1.5334	1.5776	1.6248	1.6832	1.7161	1.7554
98	1	1.3043	1.4355	1.4823	1.5253	1.5899	1.6350	1.6515	1.6854	1.7389
99	1	1.4481	1.5056	1.5486	1.6016	1.6562	1.7171	1.7706	1.8011	1.8228
100	1	1.3621	1.4197	1.4690	1.5221	1.5712	1.5961	1.6259	1.6525	1.6934
101	1	1.3102	1.3631	1.4168	1.4666	1.5236	1.5693	1.5993	1.6305	1.6563
102	1	1.4317	1.4738	1.5251	1.5783	1.6434	1.7183	1.7672	1.7858	1.8072
103	1	1.4695	1.5642	1.5973	1.6456	1.7318	1.8021	1.8214	1.8562	1.9002
104	1	1.3184	1.3540	1.4041	1.4525	1.4781	1.5084	1.5590	1.6451	1.6515
105	1	1.3218	1.3764	1.4104	1.4545	1.5253	1.5647	1.5666	1.6089	1.6641
106	1	1.3226	1.3928	1.4762	1.5069	1.5523	1.6097	1.6157	1.6705	1.7462
107	1	1.3898	1.4386	1.4849	1.5505	1.6327	1.6602	1.6732	1.6887	1.7252
108	1	1.5379	1.5781	1.6755	1.7871	1.8266	1.8444	1.9062	1.9620	1.9591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.4 (ต่อ)

Sample	Class	hA/C _p (g/s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
109	1	1.5289	1.6617	1.7315	1.7182	1.8104	1.8902	1.9305	1.9667	1.9898
110	1	1.4148	1.5096	1.6010	1.6738	1.7707	1.8569	1.8649	1.8649	2.0003
111	1	1.6878	1.7415	1.7797	1.8042	1.8322	1.8961	1.9557	2.0069	2.0808
112	1	1.5455	1.5932	1.6560	1.7175	1.7884	1.8285	1.8183	1.8286	1.8983
113	1	1.4822	1.5544	1.6092	1.6466	1.6747	1.7154	1.8190	1.9252	1.9697
114	1	1.6785	1.7301	1.7773	1.8179	1.8702	1.9016	1.9285	1.9910	2.0888
115	1	1.5493	1.5621	1.5922	1.6477	1.7249	1.7947	1.8472	1.9196	2.0128
116	1	1.7135	1.7454	1.8524	1.9076	1.9189	1.9913	2.0504	2.1028	2.1370
117	1	1.6942	1.7742	1.8501	1.8627	1.9261	1.9901	2.0166	2.0846	2.2469
118	1	1.4800	1.5375	1.5894	1.6229	1.7126	1.7791	1.7815	1.8265	1.8731
119	1	1.4208	1.4622	1.4967	1.5202	1.5676	1.6263	1.6692	1.7008	1.7480
120	1	1.4086	1.4360	1.4785	1.5140	1.5401	1.6379	1.7363	1.7582	1.8040
121	1	1.4435	1.5465	1.5910	1.6279	1.6820	1.7160	1.7253	1.7665	1.8091
122	1	1.3883	1.4426	1.4897	1.5141	1.5371	1.5670	1.6191	1.6436	1.6624
123	1	1.3916	1.4601	1.5457	1.5942	1.6744	1.7538	1.8149	1.8451	1.8373
124	1	1.4228	1.4806	1.5184	1.5375	1.5786	1.6105	1.6478	1.6762	1.7235
125	1	1.3921	1.4283	1.4993	1.5970	1.6367	1.6616	1.6893	1.7204	1.7764
126	1	1.5303	1.6314	1.7019	1.7507	1.8185	1.8494	1.8946	1.9685	2.0135
127	1	1.4853	1.6882	1.7993	1.7793	1.7655	1.7254	1.8494	1.8907	1.8664
128	1	1.3942	1.4870	1.6272	1.6737	1.6192	1.6297	1.6802	1.7336	1.7754
129	1	1.4268	1.4417	1.5107	1.6012	1.6412	1.6542	1.6834	1.7398	1.7569
130	1	1.4458	1.5189	1.5665	1.6496	1.7468	1.7804	1.8338	1.7450	1.6637
131	1	1.3133	1.3816	1.4388	1.4788	1.5156	1.5487	1.5871	1.6382	1.6657
132	1	1.4001	1.4818	1.5198	1.5216	1.5761	1.6116	1.6471	1.7155	1.7849
133	1	1.3885	1.4356	1.5014	1.5598	1.5931	1.6158	1.6435	1.6415	1.6275
134	1	1.3879	1.4400	1.4914	1.5389	1.5706	1.6095	1.6483	1.6824	1.7486
135	0	1.4173	1.4577	1.5052	1.5650	1.6084	1.6390	1.6953	1.7421	1.7620

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.4 (ต่อ)

Sample	Class	hA/C _p (g/s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
136	0	1.4332	1.5140	1.5595	1.5911	1.6258	1.6964	1.7626	1.7696	1.7838
137	0	1.3940	1.4131	1.4343	1.4282	1.4916	1.5872	1.6239	1.6600	1.6937
138	0	1.3148	1.3468	1.3805	1.4175	1.4599	1.5030	1.5395	1.5699	1.5325
139	0	1.3365	1.3715	1.4049	1.4232	1.4563	1.4909	1.5290	1.5691	1.6114
140	0	1.3269	1.3813	1.4312	1.4533	1.4681	1.5051	1.5406	1.5873	1.6106
141	0	1.2908	1.3391	1.3893	1.4309	1.4682	1.4868	1.4954	1.5366	1.5718
142	1	1.6200	1.6705	1.7158	1.7703	1.7978	1.8421	1.9469	2.0010	2.0467
143	1	1.5124	1.5818	1.6489	1.7039	1.7651	1.8469	1.9043	1.9481	2.0451
144	1	1.5406	1.5945	1.6607	1.7232	1.8114	1.8689	1.9082	1.9605	2.0068
145	1	1.7099	1.7368	1.7741	1.8255	1.8719	1.9097	1.9578	2.0144	2.0745
146	1	1.5180	1.5459	1.5964	1.6525	1.7125	1.7526	1.8077	1.8658	1.9080
147	1	1.6105	1.6564	1.6964	1.7361	1.7706	1.8191	1.8777	1.9210	2.0175
148	1	1.5260	1.5913	1.6621	1.7183	1.7612	1.8090	1.8538	1.8955	1.9479
149	1	1.5325	1.5738	1.6551	1.7442	1.7976	1.8439	1.8815	1.9065	1.9236
150	1	1.6019	1.6743	1.7512	1.8254	1.8926	1.9365	1.9679	2.0064	2.0559
151	1	1.5120	1.5602	1.6199	1.6840	1.7297	1.7781	1.8534	1.9114	1.9496
152	1	1.5806	1.6227	1.6735	1.7300	1.7854	1.8499	1.8934	1.9306	1.9874
153	1	1.6804	1.7407	1.7908	1.8196	1.8543	1.8956	1.9701	2.0529	2.0906
154	1	1.5136	1.5588	1.5891	1.6435	1.6965	1.7397	1.7847	1.8095	1.8375
155	1	1.6140	1.7024	1.7593	1.8212	1.8837	1.9401	1.9960	2.0177	2.0558
156	1	1.4682	1.5206	1.5653	1.6211	1.6784	1.7237	1.7715	1.8143	1.8565
157	1	1.5219	1.5867	1.6443	1.6972	1.7463	1.7959	1.8510	1.8953	1.9449
158	1	1.4740	1.5312	1.5870	1.6494	1.7007	1.7277	1.7676	1.8168	1.8582
159	1	1.4403	1.5020	1.5446	1.5844	1.6278	1.6548	1.7095	1.7674	1.8325
160	1	1.5906	1.6446	1.7245	1.7876	1.8350	1.8960	1.9464	1.9895	2.0389
161	1	1.6100	1.6842	1.7281	1.7848	1.8547	1.9059	1.9714	2.0135	2.0321
162	1	1.5110	1.5380	1.5791	1.6227	1.6729	1.7241	1.7543	1.7809	1.8260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.4 (ต่อ)

Sample	Class	hA/C _p (g/s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
163	1	1.5502	1.6376	1.7291	1.7583	1.7983	1.8274	1.8450	1.8889	1.9350
164	1	1.5892	1.6414	1.6908	1.7383	1.7765	1.8345	1.8851	1.9597	2.0298

ตาราง ค.5 ข้อมูลค่า h/C_p ของไข่แต่ละฟอง

Sample	Class	h/C _p (g/m ² ·s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
1	1	0.1857	0.1916	0.1987	0.2032	0.2148	0.2231	0.2251	0.2303	0.2367
2	1	0.1976	0.2052	0.2097	0.2204	0.2263	0.2266	0.2336	0.2420	0.2478
3	1	0.1897	0.2007	0.2090	0.2199	0.2226	0.2234	0.2280	0.2322	0.2362
4	1	0.1745	0.1799	0.1840	0.1896	0.1943	0.2000	0.2061	0.2115	0.2171
5	1	0.1655	0.1713	0.1797	0.1863	0.1885	0.1938	0.2018	0.2055	0.2080
6	1	0.1726	0.1785	0.1826	0.1889	0.1976	0.1989	0.2150	0.2225	0.2152
7	1	0.1789	0.1878	0.1944	0.2016	0.2093	0.2155	0.2207	0.2254	0.2315
8	1	0.1695	0.1742	0.1830	0.1943	0.1992	0.2008	0.2070	0.2104	0.2132
9	1	0.1285	0.1325	0.1390	0.1454	0.1477	0.1570	0.1686	0.1694	0.1676
10	0	0.1819	0.1948	0.2024	0.2031	0.2113	0.2207	0.2256	0.2301	0.2313
11	0	0.1819	0.1866	0.1917	0.1939	0.2002	0.2138	0.2299	0.2235	0.2263
12	0	0.1845	0.1897	0.1918	0.1953	0.2009	0.2066	0.2113	0.2142	0.2174
13	0	0.1729	0.1804	0.1869	0.1933	0.1977	0.2015	0.2078	0.2157	0.2203
14	0	0.1796	0.1902	0.1961	0.1991	0.2014	0.2068	0.2055	0.2024	0.2073
15	0	0.1814	0.1833	0.1888	0.1951	0.1981	0.2018	0.2053	0.2082	0.2122
16	0	0.1783	0.1836	0.1817	0.1867	0.1928	0.1956	0.1985	0.2083	0.2210
17	0	0.1751	0.1853	0.1901	0.1897	0.1994	0.2147	0.2273	0.2244	0.2268
18	0	0.1846	0.1905	0.1959	0.2014	0.2011	0.2070	0.2109	0.2149	0.2193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.5 (ต่อ)

Sample	Class	h/C_p (g/m ² ·s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
19	0	0.1671	0.1717	0.1777	0.1848	0.1904	0.1955	0.1988	0.2019	0.2054
20	0	0.1757	0.1841	0.1943	0.1995	0.1993	0.2064	0.2151	0.2187	0.2207
21	0	0.1666	0.1757	0.1836	0.1840	0.1901	0.1947	0.1918	0.1999	0.2120
22	0	0.1676	0.1736	0.1797	0.1920	0.1981	0.1964	0.1983	0.2010	0.2066
23	0	0.1817	0.1866	0.1921	0.1977	0.2059	0.2093	0.2095	0.2147	0.2226
24	0	0.1739	0.1781	0.1827	0.1875	0.1875	0.1903	0.2012	0.2094	0.2117
25	0	0.1875	0.1936	0.1974	0.2003	0.2079	0.2138	0.2138	0.2201	0.2298
26	0	0.1707	0.1743	0.1795	0.1797	0.1862	0.1977	0.2048	0.2099	0.2130
27	0	0.1595	0.1633	0.1691	0.1704	0.1723	0.1773	0.1825	0.1870	0.1881
28	0	0.1769	0.1799	0.1853	0.1892	0.1907	0.1968	0.2006	0.2126	0.2199
29	0	0.1825	0.1844	0.1875	0.1929	0.1962	0.2008	0.2064	0.2109	0.2151
30	0	0.1684	0.1760	0.1749	0.1813	0.1937	0.1980	0.2020	0.2085	0.2180
31	0	0.1877	0.1992	0.2042	0.2183	0.2333	0.2264	0.2241	0.2235	0.2209
32	0	0.1727	0.1772	0.1844	0.2025	0.2098	0.1976	0.2008	0.2078	0.2107
33	0	0.1594	0.1613	0.1675	0.1777	0.1823	0.1835	0.1867	0.1922	0.1990
34	0	0.1693	0.1705	0.1743	0.1862	0.1791	0.1748	0.1753	0.1918	0.2132
35	0	0.1668	0.1662	0.1681	0.1754	0.1809	0.1851	0.1887	0.1908	0.1957
36	0	0.1707	0.1666	0.1688	0.1731	0.1835	0.1916	0.1973	0.2060	0.2233
37	0	0.1588	0.1637	0.1690	0.1766	0.1832	0.1846	0.1869	0.1891	0.2007
38	0	0.1634	0.1701	0.1758	0.1821	0.1861	0.1911	0.1959	0.1990	0.2017
39	0	0.1709	0.1749	0.1777	0.1804	0.1834	0.1859	0.1890	0.1925	0.1970
40	0	0.1574	0.1600	0.1632	0.1682	0.1723	0.1753	0.1811	0.1858	0.1880
41	0	0.1667	0.1627	0.1665	0.1717	0.1763	0.1800	0.1831	0.1871	0.1911
42	0	0.1770	0.1795	0.1833	0.1875	0.1908	0.1918	0.1953	0.2015	0.2043
43	0	0.1659	0.1704	0.1761	0.1806	0.1835	0.1861	0.1875	0.1904	0.1941
44	0	0.1692	0.1703	0.1737	0.1782	0.1813	0.1870	0.1921	0.1934	0.1966
45	0	0.1791	0.1892	0.1969	0.1984	0.2002	0.2060	0.2124	0.2170	0.2227

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.5 (ต่อ)

Sample	Class	h/C _p (g/m ² ·s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
46	0	0.1685	0.1704	0.1735	0.1778	0.1821	0.1849	0.1883	0.1923	0.1954
47	0	0.1637	0.1660	0.1686	0.1709	0.1740	0.1788	0.1830	0.1861	0.1902
48	0	0.1650	0.1687	0.1739	0.1774	0.1801	0.1843	0.1859	0.1866	0.1902
49	0	0.1595	0.1635	0.1688	0.1723	0.1776	0.1816	0.1841	0.1878	0.1928
50	0	0.1630	0.1655	0.1680	0.1705	0.1746	0.1779	0.1807	0.1856	0.1909
51	0	0.1697	0.1749	0.1788	0.1831	0.1862	0.1906	0.1943	0.1970	0.2030
52	0	0.1788	0.1773	0.1807	0.1851	0.1884	0.1911	0.1939	0.1973	0.2021
53	0	0.1829	0.1875	0.1937	0.1984	0.2003	0.2177	0.2235	0.2133	0.2190
54	0	0.1911	0.1862	0.1858	0.1876	0.1958	0.2032	0.2137	0.2187	0.2154
55	0	0.1674	0.1727	0.1783	0.1827	0.1884	0.1930	0.1964	0.2005	0.2059
56	0	0.1594	0.1641	0.1686	0.1707	0.1744	0.1791	0.1810	0.1828	0.1884
57	0	0.1650	0.1687	0.1734	0.1790	0.1858	0.1901	0.1943	0.2072	0.2181
58	0	0.1718	0.1761	0.1823	0.1895	0.1980	0.2094	0.2123	0.2104	0.2185
59	0	0.1847	0.2009	0.2085	0.2087	0.2152	0.2197	0.2146	0.2198	0.2351
60	0	0.1953	0.1958	0.2003	0.2049	0.2081	0.2117	0.2146	0.2210	0.2271
61	0	0.1753	0.1778	0.1846	0.1901	0.1938	0.1976	0.2004	0.2020	0.2040
62	0	0.1572	0.1569	0.1583	0.1606	0.1629	0.1659	0.1692	0.1737	0.1777
63	0	0.1551	0.1576	0.1588	0.1616	0.1650	0.1683	0.1735	0.1775	0.1793
64	0	0.1666	0.1687	0.1688	0.1708	0.1742	0.1822	0.1908	0.1981	0.2071
65	0	0.1809	0.1823	0.1852	0.1904	0.1940	0.1951	0.1969	0.2006	0.2018
66	0	0.1650	0.1681	0.1717	0.1744	0.1778	0.1817	0.1860	0.1878	0.1890
67	0	0.1714	0.1750	0.1775	0.1812	0.1844	0.1846	0.1872	0.1912	0.1948
68	0	0.1709	0.1704	0.1707	0.1731	0.1791	0.1846	0.1885	0.1914	0.2030
69	0	0.1465	0.1524	0.1535	0.1647	0.1696	0.1671	0.1713	0.1767	0.1915
70	1	0.1747	0.1827	0.1912	0.1975	0.2056	0.2140	0.2183	0.2240	0.2293
71	1	0.1686	0.1764	0.1819	0.1878	0.1934	0.1980	0.2042	0.2107	0.2164
72	1	0.1732	0.1802	0.1886	0.1996	0.2078	0.2168	0.2203	0.2186	0.2219

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.5 (ต่อ)

Sample	Class	h/C _p (g/m ² ·s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
73	1	0.1768	0.1819	0.1890	0.1958	0.2040	0.2119	0.2182	0.2235	0.2273
74	1	0.1794	0.1864	0.1933	0.1972	0.2015	0.2070	0.2114	0.2156	0.2193
75	1	0.1694	0.1782	0.1834	0.1935	0.1999	0.2017	0.2090	0.2117	0.2133
76	1	0.1604	0.1755	0.1944	0.2013	0.2049	0.2106	0.2184	0.2229	0.2278
77	1	0.1561	0.1648	0.1712	0.1749	0.1803	0.1869	0.1919	0.1955	0.2001
78	1	0.1824	0.1915	0.1997	0.2025	0.2037	0.2115	0.2068	0.2129	0.2332
79	0	0.1846	0.1877	0.1877	0.1956	0.2043	0.2059	0.2105	0.2154	0.2204
80	0	0.1771	0.1753	0.1803	0.1876	0.1994	0.2071	0.2061	0.2128	0.2192
81	0	0.1718	0.1774	0.1819	0.1875	0.1923	0.1958	0.1996	0.2085	0.2156
82	0	0.1730	0.1798	0.1903	0.1980	0.2020	0.2072	0.2137	0.2209	0.2324
83	0	0.1634	0.1721	0.1789	0.1844	0.1919	0.1984	0.2009	0.2021	0.2092
84	0	0.1729	0.1782	0.1855	0.1913	0.1948	0.2006	0.2075	0.2163	0.2246
85	0	0.1572	0.1645	0.1711	0.1743	0.1774	0.1790	0.1830	0.1889	0.1919
86	0	0.1849	0.1897	0.1907	0.1901	0.1953	0.2040	0.2125	0.2166	0.2180
87	0	0.1615	0.1651	0.1713	0.1777	0.1835	0.1882	0.1950	0.2013	0.2076
88	0	0.1907	0.1976	0.2034	0.2100	0.2163	0.2232	0.2280	0.2372	0.2483
89	0	0.1991	0.2025	0.2096	0.2162	0.2266	0.2357	0.2368	0.2413	0.2441
90	0	0.1429	0.1484	0.1552	0.1627	0.1666	0.1693	0.1724	0.1749	0.1782
91	0	0.1647	0.1705	0.1787	0.1802	0.1837	0.1991	0.2056	0.2017	0.2036
92	0	0.1655	0.1706	0.1738	0.1792	0.1869	0.1918	0.2015	0.2122	0.2117
93	1	0.1764	0.1850	0.1922	0.1965	0.2018	0.2083	0.2137	0.2211	0.2296
94	1	0.1836	0.1898	0.1958	0.2013	0.2080	0.2137	0.2194	0.2253	0.2295
95	1	0.1883	0.1990	0.2042	0.2131	0.2201	0.2236	0.2302	0.2401	0.2484
96	0	0.1752	0.1828	0.1937	0.1997	0.2056	0.2116	0.2168	0.2201	0.2247
97	1	0.1790	0.1857	0.1943	0.1993	0.2051	0.2112	0.2188	0.2231	0.2282
98	1	0.1679	0.1848	0.1909	0.1964	0.2047	0.2105	0.2126	0.2170	0.2239
99	1	0.1903	0.1979	0.2035	0.2105	0.2177	0.2257	0.2327	0.2367	0.2396

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.5 (ต่อ)

Sample	Class	h/C _p (g/m ² ·s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
100	1	0.1789	0.1865	0.1930	0.1999	0.2064	0.2097	0.2136	0.2171	0.2224
101	1	0.1804	0.1877	0.1951	0.2019	0.2098	0.2161	0.2202	0.2245	0.2280
102	1	0.1847	0.1901	0.1967	0.2036	0.2120	0.2216	0.2279	0.2303	0.2331
103	1	0.1901	0.2024	0.2067	0.2129	0.2241	0.2332	0.2357	0.2402	0.2458
104	1	0.1772	0.1820	0.1887	0.1953	0.1987	0.2028	0.2096	0.2211	0.2220
105	1	0.1771	0.1845	0.1890	0.1949	0.2044	0.2097	0.2099	0.2156	0.2230
106	1	0.1757	0.1851	0.1961	0.2002	0.2063	0.2139	0.2147	0.2220	0.2320
107	1	0.1862	0.1928	0.1990	0.2078	0.2188	0.2225	0.2242	0.2263	0.2312
108	1	0.1987	0.2039	0.2165	0.2310	0.2361	0.2384	0.2464	0.2536	0.2532
109	1	0.1965	0.2136	0.2226	0.2209	0.2327	0.2430	0.2482	0.2528	0.2558
110	1	0.1899	0.2027	0.2149	0.2247	0.2377	0.2493	0.2504	0.2504	0.2685
111	1	0.2236	0.2307	0.2358	0.2390	0.2427	0.2512	0.2591	0.2659	0.2757
112	1	0.2076	0.2140	0.2225	0.2307	0.2403	0.2456	0.2443	0.2457	0.2550
113	1	0.2010	0.2108	0.2182	0.2233	0.2271	0.2326	0.2466	0.2610	0.2671
114	1	0.2201	0.2269	0.2330	0.2384	0.2452	0.2493	0.2529	0.2611	0.2739
115	1	0.2001	0.2017	0.2056	0.2128	0.2227	0.2318	0.2385	0.2479	0.2599
116	1	0.2277	0.2319	0.2461	0.2535	0.2550	0.2646	0.2724	0.2794	0.2839
117	1	0.2208	0.2313	0.2412	0.2428	0.2511	0.2594	0.2629	0.2717	0.2929
118	1	0.1976	0.2053	0.2122	0.2167	0.2287	0.2376	0.2379	0.2439	0.2501
119	1	0.1933	0.1990	0.2037	0.2069	0.2133	0.2213	0.2271	0.2314	0.2379
120	1	0.1918	0.1955	0.2013	0.2062	0.2097	0.2230	0.2364	0.2394	0.2457
121	1	0.1949	0.2088	0.2148	0.2198	0.2271	0.2317	0.2330	0.2385	0.2443
122	1	0.1821	0.1892	0.1954	0.1986	0.2016	0.2055	0.2124	0.2156	0.2181
123	1	0.1850	0.1941	0.2055	0.2120	0.2226	0.2332	0.2413	0.2453	0.2443
124	1	0.1853	0.1928	0.1978	0.2003	0.2056	0.2098	0.2146	0.2183	0.2245
125	1	0.1646	0.1689	0.1773	0.1889	0.1935	0.1965	0.1998	0.2035	0.2101
126	1	0.1950	0.2079	0.2169	0.2231	0.2318	0.2357	0.2415	0.2509	0.2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.5 (ต่อ)

Sample	Class	h/C _p (g/m ² ·s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
127	1	0.1951	0.2218	0.2364	0.2338	0.2319	0.2267	0.2430	0.2484	0.2452
128	1	0.1926	0.2054	0.2247	0.2312	0.2236	0.2251	0.2321	0.2394	0.2452
129	1	0.1994	0.2015	0.2112	0.2238	0.2294	0.2312	0.2353	0.2432	0.2456
130	1	0.1948	0.2046	0.2111	0.2223	0.2353	0.2399	0.2471	0.2351	0.2242
131	1	0.1799	0.1893	0.1971	0.2026	0.2076	0.2122	0.2175	0.2244	0.2282
132	1	0.1852	0.1960	0.2011	0.2013	0.2085	0.2132	0.2179	0.2270	0.2361
133	1	0.1785	0.1845	0.1930	0.2005	0.2048	0.2077	0.2113	0.2110	0.2092
134	1	0.1849	0.1918	0.1987	0.2050	0.2092	0.2144	0.2196	0.2241	0.2329
135	0	0.1782	0.1833	0.1892	0.1967	0.2022	0.2061	0.2131	0.2190	0.2215
136	0	0.1886	0.1992	0.2052	0.2094	0.2140	0.2233	0.2320	0.2329	0.2348
137	0	0.1737	0.1761	0.1787	0.1780	0.1859	0.1978	0.2024	0.2069	0.2111
138	0	0.1747	0.1789	0.1834	0.1883	0.1939	0.1997	0.2045	0.2086	0.2036
139	0	0.1770	0.1816	0.1861	0.1885	0.1929	0.1975	0.2025	0.2078	0.2134
140	0	0.1780	0.1853	0.1920	0.1950	0.1970	0.2019	0.2067	0.2130	0.2161
141	0	0.1713	0.1777	0.1844	0.1899	0.1949	0.1973	0.1985	0.2039	0.2086
142	1	0.2169	0.2237	0.2298	0.2371	0.2407	0.2467	0.2607	0.2680	0.2741
143	1	0.2028	0.2121	0.2211	0.2284	0.2366	0.2476	0.2553	0.2612	0.2742
144	1	0.2080	0.2153	0.2242	0.2326	0.2445	0.2523	0.2576	0.2647	0.2709
145	1	0.2249	0.2284	0.2333	0.2401	0.2462	0.2511	0.2575	0.2649	0.2728
146	1	0.2040	0.2077	0.2145	0.2220	0.2301	0.2355	0.2429	0.2507	0.2563
147	1	0.2105	0.2166	0.2218	0.2270	0.2315	0.2378	0.2455	0.2511	0.2638
148	1	0.2389	0.2491	0.2602	0.2690	0.2757	0.2832	0.2902	0.2967	0.3049
149	1	0.2051	0.2106	0.2215	0.2335	0.2406	0.2468	0.2518	0.2552	0.2575
150	1	0.2084	0.2178	0.2278	0.2374	0.2462	0.2519	0.2560	0.2610	0.2674
151	1	0.2056	0.2121	0.2202	0.2290	0.2352	0.2418	0.2520	0.2599	0.2651
152	1	0.2123	0.2179	0.2247	0.2323	0.2398	0.2484	0.2543	0.2593	0.2669
153	1	0.2199	0.2278	0.2344	0.2381	0.2427	0.2481	0.2578	0.2687	0.2736

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.5 (ต่อ)

Sample	Class	h/C_p (g/m ² ·s)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
154	1	0.2002	0.2061	0.2101	0.2173	0.2244	0.2301	0.2360	0.2393	0.2430
155	1	0.2106	0.2222	0.2296	0.2377	0.2458	0.2532	0.2605	0.2633	0.2683
156	1	0.1961	0.2031	0.2091	0.2165	0.2242	0.2302	0.2366	0.2423	0.2480
157	1	0.2089	0.2178	0.2257	0.2330	0.2397	0.2465	0.2541	0.2601	0.2669
158	1	0.1957	0.2032	0.2107	0.2189	0.2257	0.2293	0.2346	0.2412	0.2466
159	1	0.1900	0.1982	0.2038	0.2090	0.2148	0.2183	0.2255	0.2332	0.2418
160	1	0.2099	0.2170	0.2276	0.2359	0.2422	0.2502	0.2569	0.2625	0.2691
161	1	0.2088	0.2185	0.2241	0.2315	0.2406	0.2472	0.2557	0.2612	0.2636
162	1	0.2007	0.2043	0.2098	0.2155	0.2222	0.2290	0.2330	0.2366	0.2425
163	1	0.1978	0.2089	0.2206	0.2243	0.2294	0.2331	0.2354	0.2410	0.2469
164	1	0.2119	0.2188	0.2254	0.2317	0.2368	0.2445	0.2513	0.2612	0.2706

ตาราง ค.6 ข้อมูลค่า h ของไข่แต่ละฟอง

Sample	Class	h (J/m ² ·s·°C)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
1	1	0.1649	0.1701	0.1764	0.1804	0.1907	0.1981	0.1999	0.2045	0.2102
2	1	0.1755	0.1822	0.1862	0.1957	0.2009	0.2012	0.2074	0.2149	0.2201
3	1	0.1684	0.1782	0.1856	0.1952	0.1977	0.1984	0.2025	0.2062	0.2098
4	1	0.1550	0.1597	0.1634	0.1684	0.1725	0.1776	0.1830	0.1878	0.1928
5	1	0.1470	0.1521	0.1596	0.1654	0.1674	0.1721	0.1792	0.1825	0.1847
6	1	0.1532	0.1585	0.1621	0.1677	0.1754	0.1766	0.1909	0.1976	0.1911
7	1	0.1588	0.1667	0.1726	0.1790	0.1858	0.1914	0.1960	0.2002	0.2056
8	1	0.1505	0.1547	0.1625	0.1726	0.1769	0.1783	0.1838	0.1868	0.1893
9	1	0.1141	0.1177	0.1234	0.1291	0.1312	0.1394	0.1497	0.1504	0.1488
10	0	0.1615	0.1730	0.1797	0.1804	0.1877	0.1960	0.2003	0.2043	0.2054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 (ต่อ)

Sample	Class	h (J/m ² ·s·°C)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
12	0	0.1639	0.1685	0.1703	0.1734	0.1784	0.1835	0.1877	0.1902	0.1930
13	0	0.1535	0.1602	0.1660	0.1717	0.1755	0.1790	0.1845	0.1916	0.1956
14	0	0.1595	0.1689	0.1742	0.1768	0.1789	0.1836	0.1825	0.1797	0.1841
15	0	0.1611	0.1627	0.1677	0.1732	0.1759	0.1792	0.1823	0.1849	0.1885
16	0	0.1583	0.1630	0.1613	0.1658	0.1712	0.1737	0.1763	0.1850	0.1962
17	0	0.1555	0.1645	0.1688	0.1684	0.1771	0.1906	0.2019	0.1993	0.2014
18	0	0.1639	0.1692	0.1739	0.1788	0.1786	0.1838	0.1873	0.1908	0.1948
19	0	0.1484	0.1525	0.1578	0.1641	0.1691	0.1736	0.1765	0.1793	0.1824
20	0	0.1560	0.1635	0.1726	0.1772	0.1770	0.1833	0.1910	0.1942	0.1960
21	0	0.1479	0.1560	0.1630	0.1634	0.1688	0.1729	0.1703	0.1775	0.1882
22	0	0.1488	0.1542	0.1596	0.1705	0.1759	0.1744	0.1761	0.1785	0.1834
23	0	0.1614	0.1657	0.1706	0.1756	0.1828	0.1858	0.1860	0.1906	0.1976
24	0	0.1544	0.1581	0.1622	0.1665	0.1665	0.1690	0.1787	0.1859	0.1880
25	0	0.1665	0.1719	0.1753	0.1779	0.1846	0.1898	0.1898	0.1954	0.2040
26	0	0.1516	0.1548	0.1594	0.1596	0.1654	0.1756	0.1818	0.1864	0.1892
27	0	0.1416	0.1450	0.1502	0.1513	0.1530	0.1574	0.1620	0.1660	0.1670
28	0	0.1571	0.1598	0.1646	0.1680	0.1693	0.1748	0.1782	0.1888	0.1953
29	0	0.1621	0.1638	0.1665	0.1713	0.1742	0.1783	0.1832	0.1873	0.1910
30	0	0.1496	0.1563	0.1553	0.1610	0.1720	0.1758	0.1793	0.1851	0.1936
31	0	0.1667	0.1769	0.1813	0.1938	0.2072	0.2010	0.1990	0.1985	0.1962
32	0	0.1534	0.1574	0.1637	0.1799	0.1863	0.1755	0.1783	0.1845	0.1871
33	0	0.1416	0.1432	0.1488	0.1578	0.1618	0.1629	0.1658	0.1707	0.1767
34	0	0.1504	0.1514	0.1548	0.1653	0.1590	0.1552	0.1557	0.1703	0.1893
35	0	0.1482	0.1476	0.1493	0.1558	0.1606	0.1644	0.1676	0.1694	0.1738
36	0	0.1515	0.1479	0.1499	0.1537	0.1630	0.1702	0.1752	0.1829	0.1983
37	0	0.1410	0.1454	0.1501	0.1569	0.1627	0.1639	0.1659	0.1680	0.1782
38	0	0.1451	0.1511	0.1561	0.1617	0.1652	0.1697	0.1740	0.1767	0.1791

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 (ต่อ)

Sample	Class	h (J/m ² ·s·°C)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
39	0	0.1518	0.1553	0.1578	0.1602	0.1628	0.1651	0.1679	0.1709	0.1749
40	0	0.1397	0.1421	0.1450	0.1494	0.1530	0.1557	0.1608	0.1650	0.1670
41	0	0.1480	0.1445	0.1479	0.1525	0.1566	0.1599	0.1626	0.1662	0.1697
42	0	0.1572	0.1594	0.1627	0.1665	0.1694	0.1703	0.1734	0.1789	0.1814
43	0	0.1473	0.1513	0.1564	0.1603	0.1629	0.1652	0.1665	0.1691	0.1723
44	0	0.1502	0.1512	0.1543	0.1582	0.1610	0.1660	0.1706	0.1717	0.1746
45	0	0.1590	0.1680	0.1748	0.1762	0.1778	0.1829	0.1886	0.1927	0.1978
46	0	0.1496	0.1513	0.1540	0.1579	0.1617	0.1642	0.1672	0.1708	0.1735
47	0	0.1454	0.1474	0.1497	0.1518	0.1545	0.1588	0.1625	0.1653	0.1689
48	0	0.1465	0.1498	0.1545	0.1576	0.1600	0.1637	0.1651	0.1657	0.1689
49	0	0.1416	0.1452	0.1499	0.1530	0.1577	0.1613	0.1635	0.1668	0.1712
50	0	0.1448	0.1470	0.1492	0.1514	0.1551	0.1579	0.1604	0.1648	0.1695
51	0	0.1507	0.1553	0.1588	0.1626	0.1653	0.1692	0.1726	0.1750	0.1803
52	0	0.1588	0.1574	0.1604	0.1644	0.1673	0.1697	0.1722	0.1752	0.1795
53	0	0.1624	0.1665	0.1720	0.1761	0.1779	0.1933	0.1985	0.1894	0.1944
54	0	0.1697	0.1653	0.1650	0.1666	0.1739	0.1804	0.1898	0.1942	0.1913
55	0	0.1486	0.1533	0.1583	0.1623	0.1673	0.1714	0.1744	0.1780	0.1828
56	0	0.1416	0.1458	0.1497	0.1516	0.1549	0.1590	0.1608	0.1623	0.1673
57	0	0.1465	0.1498	0.1540	0.1589	0.1650	0.1688	0.1725	0.1840	0.1937
58	0	0.1525	0.1564	0.1619	0.1683	0.1758	0.1860	0.1885	0.1869	0.1940
59	0	0.1640	0.1784	0.1851	0.1853	0.1911	0.1951	0.1906	0.1952	0.2087
60	0	0.1734	0.1738	0.1779	0.1819	0.1848	0.1880	0.1906	0.1963	0.2017
61	0	0.1556	0.1579	0.1639	0.1688	0.1721	0.1755	0.1779	0.1794	0.1811
62	0	0.1396	0.1393	0.1405	0.1426	0.1446	0.1473	0.1502	0.1543	0.1578
63	0	0.1377	0.1400	0.1410	0.1435	0.1465	0.1494	0.1541	0.1576	0.1592
64	0	0.1480	0.1498	0.1499	0.1517	0.1547	0.1618	0.1694	0.1759	0.1839
65	0	0.1607	0.1619	0.1645	0.1691	0.1723	0.1733	0.1749	0.1782	0.1792

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 (ต่อ)

Sample	Class	h (J/m ² ·s·°C)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
66	0	0.1465	0.1492	0.1524	0.1549	0.1579	0.1614	0.1652	0.1668	0.1678
67	0	0.1522	0.1554	0.1576	0.1609	0.1637	0.1639	0.1662	0.1698	0.1730
68	0	0.1517	0.1513	0.1516	0.1537	0.1590	0.1640	0.1674	0.1700	0.1802
69	0	0.1301	0.1353	0.1363	0.1463	0.1506	0.1484	0.1521	0.1569	0.1701
70	1	0.1551	0.1622	0.1698	0.1754	0.1826	0.1900	0.1939	0.1989	0.2037
71	1	0.1497	0.1566	0.1615	0.1668	0.1717	0.1758	0.1814	0.1871	0.1922
72	1	0.1538	0.1600	0.1674	0.1773	0.1846	0.1925	0.1956	0.1941	0.1971
73	1	0.1570	0.1616	0.1678	0.1738	0.1811	0.1881	0.1938	0.1985	0.2018
74	1	0.1593	0.1655	0.1717	0.1751	0.1789	0.1838	0.1877	0.1914	0.1948
75	1	0.1504	0.1582	0.1629	0.1719	0.1775	0.1791	0.1856	0.1880	0.1894
76	1	0.1424	0.1558	0.1727	0.1788	0.1819	0.1870	0.1940	0.1979	0.2023
77	1	0.1386	0.1463	0.1520	0.1553	0.1601	0.1659	0.1704	0.1736	0.1777
78	1	0.1619	0.1700	0.1773	0.1798	0.1809	0.1878	0.1836	0.1891	0.2071
79	0	0.1640	0.1667	0.1667	0.1737	0.1814	0.1829	0.1870	0.1912	0.1957
80	0	0.1573	0.1557	0.1601	0.1666	0.1771	0.1839	0.1830	0.1890	0.1947
81	0	0.1526	0.1575	0.1615	0.1665	0.1708	0.1738	0.1772	0.1851	0.1915
82	0	0.1536	0.1597	0.1690	0.1758	0.1794	0.1840	0.1897	0.1962	0.2064
83	0	0.1451	0.1528	0.1589	0.1638	0.1704	0.1762	0.1784	0.1795	0.1858
84	0	0.1535	0.1582	0.1647	0.1699	0.1730	0.1782	0.1843	0.1921	0.1995
85	0	0.1396	0.1461	0.1520	0.1548	0.1576	0.1589	0.1625	0.1678	0.1704
86	0	0.1642	0.1684	0.1694	0.1688	0.1734	0.1811	0.1887	0.1923	0.1935
87	0	0.1434	0.1466	0.1521	0.1578	0.1629	0.1671	0.1732	0.1788	0.1844
88	0	0.1693	0.1755	0.1806	0.1864	0.1920	0.1982	0.2025	0.2107	0.2205
89	0	0.1768	0.1798	0.1861	0.1920	0.2013	0.2093	0.2103	0.2142	0.2168
90	0	0.1269	0.1318	0.1378	0.1445	0.1479	0.1504	0.1531	0.1553	0.1582
91	0	0.1462	0.1514	0.1587	0.1600	0.1631	0.1768	0.1825	0.1791	0.1808
92	0	0.1470	0.1515	0.1543	0.1591	0.1659	0.1703	0.1789	0.1884	0.1880

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 (ต่อ)

Sample	Class	h (J/m ² ·s·°C)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
93	1	0.1566	0.1643	0.1707	0.1745	0.1792	0.1850	0.1898	0.1964	0.2039
94	1	0.1630	0.1686	0.1739	0.1787	0.1847	0.1897	0.1948	0.2001	0.2038
95	1	0.1672	0.1767	0.1813	0.1892	0.1955	0.1985	0.2044	0.2132	0.2206
96	0	0.1556	0.1624	0.1720	0.1773	0.1826	0.1879	0.1925	0.1955	0.1995
97	1	0.1589	0.1649	0.1725	0.1770	0.1821	0.1875	0.1943	0.1981	0.2026
98	1	0.1491	0.1641	0.1695	0.1744	0.1818	0.1869	0.1888	0.1927	0.1988
99	1	0.1690	0.1757	0.1807	0.1869	0.1933	0.2004	0.2067	0.2102	0.2128
100	1	0.1589	0.1656	0.1713	0.1775	0.1833	0.1862	0.1896	0.1928	0.1975
101	1	0.1602	0.1666	0.1732	0.1793	0.1863	0.1919	0.1955	0.1993	0.2025
102	1	0.1640	0.1688	0.1747	0.1808	0.1882	0.1968	0.2024	0.2045	0.2070
103	1	0.1688	0.1797	0.1835	0.1891	0.1990	0.2070	0.2093	0.2133	0.2183
104	1	0.1574	0.1616	0.1676	0.1734	0.1764	0.1801	0.1861	0.1964	0.1971
105	1	0.1573	0.1638	0.1678	0.1731	0.1815	0.1862	0.1864	0.1915	0.1980
106	1	0.1561	0.1643	0.1742	0.1778	0.1832	0.1899	0.1906	0.1971	0.2060
107	1	0.1654	0.1712	0.1767	0.1845	0.1943	0.1976	0.1991	0.2009	0.2053
108	1	0.1765	0.1811	0.1923	0.2051	0.2096	0.2117	0.2188	0.2252	0.2248
109	1	0.1745	0.1897	0.1977	0.1961	0.2067	0.2158	0.2204	0.2245	0.2271
110	1	0.1687	0.1800	0.1909	0.1995	0.2111	0.2214	0.2223	0.2223	0.2385
111	1	0.1985	0.2049	0.2094	0.2122	0.2155	0.2231	0.2301	0.2361	0.2448
112	1	0.1844	0.1901	0.1976	0.2049	0.2134	0.2181	0.2169	0.2182	0.2265
113	1	0.1785	0.1872	0.1938	0.1983	0.2016	0.2065	0.2190	0.2318	0.2372
114	1	0.1954	0.2014	0.2069	0.2117	0.2178	0.2214	0.2246	0.2318	0.2432
115	1	0.1777	0.1791	0.1826	0.1889	0.1978	0.2058	0.2118	0.2201	0.2308
116	1	0.2022	0.2059	0.2186	0.2251	0.2264	0.2349	0.2419	0.2481	0.2521
117	1	0.1961	0.2054	0.2141	0.2156	0.2229	0.2304	0.2334	0.2413	0.2601
118	1	0.1755	0.1823	0.1884	0.1924	0.2031	0.2109	0.2112	0.2166	0.2221
119	1	0.1717	0.1767	0.1809	0.1837	0.1894	0.1965	0.2017	0.2055	0.2112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 (ต่อ)

Sample	Class	h (J/m ² ·s·°C)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
120	1	0.1703	0.1736	0.1788	0.1831	0.1862	0.1981	0.2100	0.2126	0.2181
121	1	0.1731	0.1854	0.1908	0.1952	0.2017	0.2058	0.2069	0.2118	0.2169
122	1	0.1617	0.1680	0.1735	0.1764	0.1790	0.1825	0.1886	0.1914	0.1936
123	1	0.1643	0.1724	0.1825	0.1882	0.1977	0.2071	0.2143	0.2178	0.2169
124	1	0.1646	0.1712	0.1756	0.1778	0.1826	0.1863	0.1906	0.1939	0.1993
125	1	0.1462	0.1500	0.1575	0.1677	0.1719	0.1745	0.1774	0.1807	0.1865
126	1	0.1732	0.1846	0.1926	0.1981	0.2058	0.2093	0.2144	0.2228	0.2279
127	1	0.1733	0.1969	0.2099	0.2076	0.2060	0.2013	0.2158	0.2206	0.2177
128	1	0.1710	0.1824	0.1996	0.2053	0.1986	0.1999	0.2061	0.2126	0.2177
129	1	0.1771	0.1789	0.1875	0.1987	0.2037	0.2053	0.2089	0.2159	0.2181
130	1	0.1730	0.1817	0.1874	0.1974	0.2090	0.2130	0.2194	0.2088	0.1990
131	1	0.1598	0.1681	0.1751	0.1799	0.1844	0.1884	0.1931	0.1993	0.2027
132	1	0.1645	0.1741	0.1785	0.1788	0.1852	0.1893	0.1935	0.2015	0.2097
133	1	0.1585	0.1639	0.1714	0.1781	0.1818	0.1844	0.1876	0.1874	0.1858
134	1	0.1642	0.1703	0.1764	0.1820	0.1858	0.1904	0.1950	0.1990	0.2068
135	0	0.1582	0.1627	0.1680	0.1747	0.1796	0.1830	0.1893	0.1945	0.1967
136	0	0.1675	0.1769	0.1823	0.1859	0.1900	0.1983	0.2060	0.2068	0.2085
137	0	0.1543	0.1564	0.1587	0.1581	0.1651	0.1757	0.1797	0.1837	0.1874
138	0	0.1551	0.1589	0.1629	0.1672	0.1722	0.1773	0.1816	0.1852	0.1808
139	0	0.1572	0.1613	0.1652	0.1674	0.1713	0.1753	0.1798	0.1845	0.1895
140	0	0.1581	0.1646	0.1705	0.1731	0.1749	0.1793	0.1835	0.1891	0.1919
141	0	0.1521	0.1578	0.1637	0.1686	0.1730	0.1752	0.1762	0.1811	0.1852
142	1	0.1926	0.1986	0.2040	0.2105	0.2138	0.2190	0.2315	0.2379	0.2434
143	1	0.1800	0.1883	0.1963	0.2028	0.2101	0.2199	0.2267	0.2319	0.2435
144	1	0.1847	0.1911	0.1991	0.2066	0.2171	0.2240	0.2287	0.2350	0.2406
145	1	0.1997	0.2028	0.2072	0.2132	0.2186	0.2230	0.2286	0.2352	0.2422
146	1	0.1811	0.1844	0.1905	0.1972	0.2043	0.2091	0.2157	0.2226	0.2276

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.6 (ต่อ)

Sample	Class	h (J/m ² ·s·°C)								
		30 s	60 s	90 s	120 s	150 s	180 s	210 s	240 s	270 s
147	1	0.1870	0.1923	0.1969	0.2015	0.2055	0.2112	0.2180	0.2230	0.2342
148	1	0.2121	0.2212	0.2310	0.2388	0.2448	0.2514	0.2577	0.2635	0.2707
149	1	0.1822	0.1871	0.1967	0.2073	0.2137	0.2192	0.2236	0.2266	0.2286
150	1	0.1850	0.1934	0.2023	0.2109	0.2186	0.2237	0.2273	0.2318	0.2375
151	1	0.1826	0.1884	0.1956	0.2033	0.2088	0.2147	0.2238	0.2308	0.2354
152	1	0.1885	0.1935	0.1996	0.2063	0.2129	0.2206	0.2258	0.2302	0.2370
153	1	0.1953	0.2023	0.2081	0.2115	0.2155	0.2203	0.2290	0.2386	0.2430
154	1	0.1777	0.1831	0.1866	0.1930	0.1992	0.2043	0.2096	0.2125	0.2158
155	1	0.1870	0.1973	0.2039	0.2110	0.2183	0.2248	0.2313	0.2338	0.2382
156	1	0.1741	0.1804	0.1856	0.1923	0.1991	0.2044	0.2101	0.2152	0.2202
157	1	0.1855	0.1934	0.2004	0.2069	0.2128	0.2189	0.2256	0.2310	0.2371
158	1	0.1737	0.1805	0.1871	0.1944	0.2005	0.2036	0.2083	0.2142	0.2190
159	1	0.1687	0.1760	0.1810	0.1856	0.1907	0.1939	0.2003	0.2071	0.2147
160	1	0.1864	0.1927	0.2021	0.2095	0.2150	0.2222	0.2281	0.2331	0.2389
161	1	0.1854	0.1940	0.1990	0.2056	0.2136	0.2195	0.2271	0.2319	0.2341
162	1	0.1782	0.1814	0.1863	0.1914	0.1973	0.2034	0.2069	0.2101	0.2154
163	1	0.1756	0.1855	0.1959	0.1992	0.2037	0.2070	0.2090	0.2140	0.2192
164	1	0.1881	0.1943	0.2002	0.2058	0.2103	0.2172	0.2232	0.2320	0.2403

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

1. ชื่อ-นามสกุล นางสาวกรนก ศรีทอง (Kornkanok Srithong)
- วัน เดือน ปีเกิด 14 ตุลาคม 2539
- ประวัติการศึกษา - ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 โรงเรียนราชวินิตบางเขน
- ระดับปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมอาหาร
สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- E-mail 59080134@KMITL.AC.TH
2. ชื่อ-นามสกุล นางสาวชนัญชิตา บัวทอง (Chananchida Buathong)
- วัน เดือน ปีเกิด 8 พฤษภาคม 2541
- ประวัติการศึกษา - ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง 3 โรงเรียนตากพิทยาคม
- ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ถึง 6 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
- ระดับปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมอาหาร
สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- E-mail 59080142@KMITL.AC.TH
3. ชื่อ-นามสกุล นายฤทธิโรจน์ กัลยา (Rittiroj Gunlaya)
- วัน เดือน ปีเกิด 3 พฤษภาคม 2541
- ประวัติการศึกษา - ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 โรงเรียนหอวัง
- ระดับปริญญาตรี คณะอุตสาหกรรมอาหาร
สาขาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- E-mail 59080178@KMITL.AC.TH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้