



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร)

ปริญญา

วิศวกรรมกรรมการอาหาร

วิศวกรรมกรรมการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การทำนายอายุของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ โดยวิธีปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

Shelf Life Prediction of Pasteurized Drinking Yogurt by Centrifugation

นามผู้วิจัย นายฐาณกร กู้เกียรติกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อาจารย์สุกัญญา วิชชุกิจ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศศิธร นาคทอง, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์รังสิณี โสธรวิทย์, Ph.D.)

หัวหน้า

(รองศาสตราจารย์ประภาศรี สิงห์รัตน์, M.Appl.Sc.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน

เดือน

พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การทำนายอายุของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ โดยวิธีปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

Shelf Life Prediction of Pasteurized Drinking Yogurt by Centrifugation

โดย

นายฐากร กู้เกียรติกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมกรรมการอาหาร)

พ.ศ. 2552

ฐาตุร กู้เกียรติกูล 2552: การทำนายอายุของนมเปรี้ยวพร้อมคีมพาสเจอร์ไรส์ โดยวิธีปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการอาหาร) สาขาวิชาวิศวกรรมการอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สุกัญญา วิชชุกิจ, Ph.D. 156 หน้า

งานวิจัยนี้ศึกษาการสร้างสมการทำนายอายุการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมคีมพาสเจอร์ไรส์ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา นมเปรี้ยวทางการค้า แบบพร้อมมันเนย และขาดมันเนย จำนวน 3 ตรา ถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4-7 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 28-35 วัน การวิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพและทางเคมี ทางจุลชีววิทยา กระทำวันที่ 0, 7, 14, 21, 28 และ 35 โดยข้อมูลที่ได้ คือ จำนวนแบคทีเรียโดยรวม ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม และค่าการแยกชั้นจากการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ใช้มี 2 แบบ คือแบบกำหนดมุมเอียงและแบบแกว่งออก โดยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบกำหนดมุมเอียงที่ค่า Relative Centrifugal Force (RCF) เท่ากับ 60 g, 112 g, 201 g และ 314 g และเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออกที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g สมการโครงข่ายประสาทเทียมสร้างจากโปรแกรม MATLAB ใช้การฝึกเรียนรู้จำแบบ Backpropagation และใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ log-sigmoid โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้า ชั้นซ่อน และชั้นตัวแปรออก โดยชั้นตัวแปรเข้า คือค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา ชั้นซ่อน คือค่าที่ได้จากการทดลองสุ่ม และชั้นตัวแปรออก คือค่าวันที่แยกชั้นจริงของนมเปรี้ยว ในการสร้างสมการนี้ได้แบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม โดยการสุ่มชุดข้อมูล 70 เปอร์เซ็นต์ ของชุดข้อมูลทั้งหมดใช้สำหรับฝึกเรียนรู้จำ และ 30 เปอร์เซ็นต์ ของชุดข้อมูลทั้งหมดใช้ทวนสอบความแม่นยำของสมการ

สมการทำนายวันแยกชั้นของนมเปรี้ยวโดยรวม ซึ่งใช้ข้อมูลของนมเปรี้ยวทุกตรามีความแม่นยำน้อยกว่าสมการทำนายแบบเดี่ยว ซึ่งใช้ข้อมูลของนมเปรี้ยวเฉพาะตราและประเภท ในการทดสอบความแม่นยำของสมการทำนาย ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของสมการทำนายโดยรวมที่ได้จากเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบกำหนดมุมเอียงและแบบแกว่งออกเท่ากับ 95.92 และ 88.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเพิ่มความแม่นยำของสมการทำนายอาจทำได้โดยการเลือกตัวแปรเข้าที่เหมาะสม การเพิ่มจำนวนตัวแปรเข้า การเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลในการสร้างสมการ

Thakul Kukiatikul 2009: Shelf Life Prediction of Pasteurized Drinking Yogurt by Centrifugation. Master of Engineering (Food Engineering), Major Field: Food Engineering, Department of Food Engineering. Thesis Advisor: Ms. Sukanya Wichchukit, Ph.D. 156 pages.

The goal of this research was to study the prediction of phase separation in pasteurized drinking yogurt, using an artificial neural network with physical and bio-chemical properties. Three brands of pasteurized drinking yogurts were stored at 4-7°C for 28-35 days. Physical and bio-chemical analyses were conducted at days 0, 7, 14, 21, 28, and 35. The data obtained were: total bacteria count, pH value, total acidity value, and centrifugal separation value. Two types of centrifuges were used: a fixed angle rotor centrifuge and a swing-out rotor centrifuge. The relative centrifugal force (RCF) values used for the fixed angle rotor centrifuge were 60 g, 112 g, 201 g, and 314 g; the RCF values used for the swing-out rotor centrifuge were 77 g, 168 g, and 350 g. An artificial neural network simulation was performed using MATLAB software. The network was feed forward and used a Backpropagation algorithm for the training-learning process and used a sigmoidal transform function for the activation function. The network architecture consisted of input layers, hidden layers, and an output layer. To construct the network, the data were divided into 2 groups. 70% of data set was used for the training and learning process; 30% of the data set was used for the validation process.

The overall prediction models, which used the data of every brand, were less accurate than the single prediction models, which used the data of a specific brand and drinking yogurt type. For the accuracy test, the prediction models for overall drinking yogurts obtained from a fixed angle rotor centrifuge and a swing-out rotor centrifuge gave coefficients of determination (R^2) of 95.92 and 88.67 %, respectively. The accuracy of the models might be increased by choosing appropriate input data and adding more input data in the network structure.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ดร.สุกัญญา วิชชุกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร.ศศิธร นาคทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ. ดร.รังสิณี โสธรวิทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ประภาศรี ลิงหิรัญ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย และ ผศ. ดร.สุภาณี ด้านวิริยะกุล ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าต้องขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย รวมถึงข้อคิดเห็นจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย และผู้ทรงคุณวุฒิ ข้าพเจ้าต้องขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการอาหาร และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการอาหารและภาควิชาสัตวบาลทุกคนที่คอยให้ความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกคนที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนในด้านการศึกษาตลอดมา รวมถึงขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงได้

ฐาณูร กู้เกียรติกุล

ตุลาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	56
อุปกรณ์	56
วิธีการ	58
ผลและวิจารณ์	71
สรุปและข้อเสนอแนะ	113
สรุป	113
ข้อเสนอแนะ	114
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	115
ภาคผนวก	120
ภาคผนวก ก อิทธิพลของตัวแปรเข้าต่อความแม่นยำของสมการทำนาย การแยกชั้นของนมเปรี้ยว	121
ภาคผนวก ข การใช้โปรแกรม MATLAB R2006a ในการสร้างโครงข่าย ประสาทเทียม	124
ภาคผนวก ค คำนวณน้ำหนัก ค่าเอนเอียง และสมการทำนายการแยกชั้น จริงของนมเปรี้ยวจากโครงข่ายประสาทเทียม	139

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบน้ำนมในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดต่างๆ	4
2	องค์ประกอบน้ำนมของวัวพันธุ์โฮลสไตน์และเจอร์ซีย์	5
3	ปริมาณการผลิตนมและองค์ประกอบนมของวัวพันธุ์เจอร์ซีย์จาก North Carolina State University และ University of Tennessee	5
4	ช่วงเวลาการรีดนมและองค์ประกอบของนมที่ได้จากโคพันธุ์เจอร์ซีย์	6
5	องค์ประกอบน้ำนมของโคพันธุ์โฮลสไตน์และเจอร์ซีย์ ที่ได้รับโภชนาการที่แตกต่างกัน	7
6	ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในนม	8
7	ปริมาณของแร่ธาตุในนมสด	11
8	ปริมาณของวิตามินชนิดต่างๆ ของนมสด	12
9	จำนวนจุลินทรีย์โดยประมาณในนม	16
10	การเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์นม	26
11	ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทมนุษย์กับเซลล์ประสาทเทียม	39
12	รูปแบบของฟังก์ชันกระตุ้นชนิดต่างๆ	43
13	องค์ประกอบน้ำนมของตัวอย่างนมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ไขมันในนม	58
14	ส่วนประกอบนมเปรี้ยวและองค์ประกอบน้ำนมของตัวอย่างนมเปรี้ยวที่ใช้ทดลองด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบกำหนดมุมเอียง	60
15	ส่วนประกอบนมเปรี้ยวและองค์ประกอบน้ำนมของตัวอย่างนมเปรี้ยวที่ใช้ทดลองด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบแกว่งออก	62
16	การให้คะแนนการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์	63
17	การเลือกจำนวนที่เหมาะสมโหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม	68
18	สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา B	74
19	รูปแบบของการแยกชั้นของนมเปรี้ยว	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย	77
21	สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย	77
22	ความสูงของระดับชั้นใสในหน่วยเซนติเมตร ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย จากการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	80
23	ความสูงของระดับชั้นใสในหน่วยเซนติเมตร ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย จากการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	80
24	การหาจำนวน โหนดในชั้นช่องที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย	82
25	การหาจำนวน โหนดในชั้นช่องที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย	85
26	การหาจำนวน โหนดในชั้นช่องที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์	88
27	สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม	91
28	สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวรสส้มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย	92
29	สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวรสธรรมชาติ พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย	92
30	สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวรสส้มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม	93
31	การหาจำนวน โหนดในชั้นช่องที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม	97
32	การหาจำนวน โหนดในชั้นช่องที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
33	การหาจำนวน โหนดในชั้นช่อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย	103
34	การหาจำนวน โหนดในชั้นช่อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม	106
35	การหาจำนวน โหนดในชั้นช่อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์	110
ตารางผนวกที่		
ข1	การจัดวางข้อมูลตัวแปรเข้าและข้อมูลตัวแปรออก	125
ข2	ค่าของข้อมูลหลังทำบรรทัดฐานให้ข้อมูล	126
ข3	การหาจำนวน โหนดที่เหมาะสมในชั้นช่อน	132
ข4	ค่าน้ำหนักคะแนนและค่าเอนเอียงที่ได้หลังการฝึกเรียนรู้จำ	137

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างของเคซีน	9
2	โครงสร้างของน้ำตาลแลคโทส	10
3	เครื่องแยกสิ่งสกปรกออกจากนม รุ่น Westfalia MSA-60 Milk Clarifier	14
4	เครื่องแยกครีมออกจากนม รุ่น Westfalia MSA-130 Whey Separators	14
5	หลักการของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง	15
6	ลักษณะโครงสร้างเพคติน	20
7	ลักษณะของ amidated pectin (บริเวณที่ถูกครีซี)	21
8	การแยกของเหลวออกจากของเหลว โดยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	32
9	เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบดิสก์	32
10	เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบวาล์วดีสชาร์จ์	33
11	เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบสกรูอัด	34
12	การทำงานของกรหมุนแบบแกว่งออก	35
13	การทำงานของกรหมุนแบบกำหนดมุมเอียง	36
14	การทำงานของกรหมุนแบบแนวตั้ง	37
15	การเปรียบเทียบโครงข่ายเซลล์ประสาทมนุษย์ (ซ้าย) กับ โครงข่ายเซลล์ประสาทเทียม (ขวา)	39
16	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	41
17	โครงสร้างของการเรียนรู้แบบมีการสอน	45
18	โครงสร้างของการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน	46
19	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ทำนายอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ต โดยวิธี MVS	51
20	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองและค่าของการทำนายอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ต	52
21	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ทำนายคุณภาพทางประสาทสัมผัสของนม UHT	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองและค่าของการทำนายของแบบจำลองที่ 1	54
23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองและค่าของการทำนายของแบบจำลองที่ 2	54
24	การแยกชั้นในช่วงสเกลของบิวไทโรมิเตอร์	60
25	การแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์	61
26	ระดับชั้นใสของนมเปรี้ยว หลังการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	62
27	ลักษณะปรากฏตามลำดับคะแนนหลังปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบแกว่งออก	63
28	การทำเจือจางเป็นลำดับและวิธี pour plate	65
29	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ที่ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบกำหนดมุมเอียง	69
30	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ที่ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบแกว่งออก	70
31	การแทนที่ของ K-casein ด้วยเพคตินในสภาวะความเป็นกรดต่ำ	72
32	ลักษณะปรากฏของการแยกชั้นในนมเปรี้ยว 5 รูปแบบ	75
33	ลักษณะของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์หลังการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	78
34	ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 60 g, 112 g, 201 g และ 314 g ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย ตามอายุการเก็บรักษา	79
35	ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 60 g, 112 g, 201 g และ 314 g ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย ตามอายุการเก็บรักษา	79
36	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย	84
38	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย	86
39	ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย	87
40	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์	89
41	ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์	90
42	ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ตามอายุการเก็บรักษา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม	94
43	ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ตามอายุการเก็บรักษา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบ พร้อมมันเนย	95
44	ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ตามอายุการเก็บรักษา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาด มันเนย	95
45	ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ตามอายุการเก็บรักษา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม	96
46	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม	98
47	ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม	99
48	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย	101

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
49	ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย	102
50	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย	104
51	ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย	105
52	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม	107
53	ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม	108
54	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์	109
55	ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์	111
ภาพผนวกที่		
ข1	หน้าต่างโปรแกรม เมื่อใช้คำสั่ง mftool	127
ข2	หน้าต่างโปรแกรมที่ถูก เมื่อจัดวางข้อมูลตรง	127
ข3	หน้าต่างโปรแกรมที่ผิด เมื่อจัดวางข้อมูลไม่ตรง	128
ข4	หน้าต่างโปรแกรม เมื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน	129
ข5	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกจำลอง โดยการเลือกจำนวน โหนด	129
ข6	หน้าต่างโปรแกรมพร้อมที่จะฝึกเรียนรู้จำข้อมูล	130
ข7	หน้าต่างโปรแกรมหลังป้อนข้อมูล	130
ข8	กราฟการฝึกเรียนรู้จำ ที่ได้หลังจากการป้อนข้อมูล	131

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ข9	กราฟสมการถดถอย ที่ได้หลังจากการป้อนข้อมูล	131
ข10	หน้าต่างโปรแกรม เมื่อใช้คำสั่ง mtool	133
ข11	การสร้างเครือข่าย สำหรับการทำนาย	134
ข12	หน้าต่างโปรแกรมหลังจากสร้างเครือข่าย	135
ข13	หน้าต่างโปรแกรมก่อนการฝึกเรียนรู้จำ	135
ข14	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการฝึกเรียนรู้จำ	136
ข15	กราฟประสิทธิภาพในการเรียนรู้จำ	136
ข16	หน้าต่างโปรแกรมก่อนการทำนายจำนวนวันที่นมจะแยกชั้น	138
ข17	ค่าตัวแปรออกที่ได้จากการทำนายด้วยโปรแกรม	138

การทำนายอายุของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ โดยวิธีปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

Shelf Life Prediction of Pasteurized Drinking Yogurt by Centrifugation

คำนำ

นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนมซึ่งเกิดจากการหมักกับมด้วยจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกรดแลคติก คือ *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ผ่านการเจือจางและปรุงแต่งกลิ่นรส สี หรือวัตถุอื่นที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น น้ำผลไม้ น้ำผึ้ง เป็นต้น และผ่านการทำลายจุลินทรีย์ ด้วยความร้อน โดยกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ โดยมีจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มที่มีชีวิตอยู่จำนวนหนึ่ง การเก็บรักษานมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 10-12 องศาเซลเซียส จะสามารถเก็บได้นานถึง 21 วัน อย่างไรก็ตาม ปัญหาของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์เกิดการแยกชั้นก่อนถึงวันหมดอายุ ก็ยังเกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก โดยปัจจัยภายในที่อาจทำให้นมเปรี้ยวเกิดการแยกชั้นขึ้น เช่น องค์ประกอบของนมที่นำมาผลิต การเสื่อมเสียทางด้านจุลินทรีย์ หรือกระบวนการปั่นผสมสารให้ความคงตัว เป็นต้น ปัจจัยภายนอก เช่น การขนส่งการจัดวาง และการเก็บรักษานมในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น โดยทั่วไปการเสื่อมเสียของนมเปรี้ยวแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การเสื่อมเสียทางด้านจุลินทรีย์ เนื่องจากจำนวนจุลินทรีย์เกินระดับมาตรฐาน และการเสื่อมเสียทางกายภาพ ซึ่งเห็นได้จากการแยกชั้นของนม

การทำนายอายุของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนมทำได้หลายวิธี เช่น วิธีการเร่งอุณหภูมิการเก็บรักษา โดยใช้สมการของ Arrhenius ในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การใช้เครื่องจมูกอิเล็กทรอนิกส์ (*electronic nose*) ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุลินทรีย์ในการทำนายวันหมดอายุของนม ในปัจจุบันมีการประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ร่วมกับสมบัติทางเคมี ทางจุลชีววิทยา และการเปลี่ยนแปลงสีที่ผิวหน้าของโยเกิร์ต เพื่อทำนายวันหมดอายุ โรงงานขนาดเล็กส่วนใหญ่ในประเทศไทยยังมีปัญหาด้านกรรมวิธีการผลิตอาจไม่ดีพอ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการแยกชั้นเร็ว โรงงานบางแห่งมีการทำนายการเสื่อมเสียทางด้านกายภาพของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มหลังปรุงแต่ง ด้วยวิธีการปั่นเหวี่ยงนมเปรี้ยวเลียนแบบวิธีการวิเคราะห์ไขมันในนมแบบเกอร์เบอร์ (Gerber method) โดยการใส่ลมในหลอดเกอร์เบอร์ แล้วปั่นเหวี่ยงที่ 1100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 นาที หากพบว่ามีเกิดการแยกชั้นจะตั้งสมมติฐานว่านม

เปรี้ยวในชุดการผลิตนี้ มีแนวโน้มแยกชั้นจริงในเวลา 1 สัปดาห์ ซึ่งน้อยกว่าอายุการเก็บรักษาโดยเฉลี่ยของนมเปรี้ยวโดยทั่วไป ซึ่งการทำนายด้วยวิธีการดังกล่าวยังไม่มีข้อมูลสนับสนุนทางวิทยาศาสตร์

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีแนวคิดใช้วิธีการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugation) ในการทำนายอายุการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ร่วมกับสมบัติทางเคมี ทางจุลชีววิทยา และจำลองสมการทางคณิตศาสตร์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) เพื่อพัฒนาไปใช้ในการทำนายอายุการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

วัตถุประสงค์

1. จำลองสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณวันหมดอายุของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม
พาสเจอร์ไรส์

การตรวจเอกสาร

1. นม

นม คือ ของเหลวสีขาวสะอาดสดเป็นปกติ ซึ่งได้จากการรีดจากเต้านมของสัตว์ให้นมต่างๆ ที่มีสุขภาพดี เช่น โค กระบือ แพะ แกะ ฯลฯ ในช่วงเวลาอย่างน้อย 3 วัน ภายหลังคลอดลูก หรือ จนกว่าจะปราศจากนมเหลือง (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ, 2548)

1.1. ปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบของน้ำนม (สมจิต และ นภาศรี, 2543)

1.1.1. ชนิดของสัตว์ (species) สัตว์แต่ละชนิดจะมีลักษณะทางสรีรวิทยา โครงสร้างไม่เหมือนกัน เช่น ลา โค แกะ และแพะ เป็นต้น ดังนั้นการผลิตน้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเหล่านี้ จะผลิตนมที่มีปริมาณของโปรตีน ไขมัน และแลคโทส ไม่เท่ากัน เช่น นมโคจะมีปริมาณไขมันสูงกว่านมแกะ และลา องค์ประกอบน้ำนมในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบน้ำนมในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดต่างๆ

	ปริมาณของแข็ง ทั้งหมด (%)	แลคโทส (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)
ลา	13.1	6.5	3.4	2.1
โค	12.7	4.8	3.4	3.7
แกะ	19.3	4.8	5.5	1.4
แพะ	13.2	4.1	2.9	4.5

ที่มา: Morin *et al.* (1995)

1.1.2. พันธุ์ (breed) สัตว์ชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์กรรมกันก็ให้น้ำนมที่มีองค์ประกอบต่างกัน เช่น โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ จัดเป็นโคที่มีขนาดใหญ่ให้นมมาก ให้นมเฉลี่ย 5000-6000 กก. ต่อระยะการให้นม ไขมันและโปรตีนต่ำ โคนมพันธุ์เจอร์ซีย์มีขนาดเล็กกว่าโคนมอื่นๆ ให้นมเฉลี่ย 3000 กก. ต่อระยะการให้นม ไขมันและโปรตีนสูง (วิโรจน์, 2546) องค์ประกอบน้ำนมตามสายพันธุ์โค แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบน้ำหนักของวัวพันธุ์โฮลสไตน์และเจอร์ซีย์

พันธุ์	นมที่ได้ (kg)	ไขมัน (%)	โปรตีน (%)	แลคโทส (%)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)
โฮลสไตน์	36.70	3.33	2.87	4.81	14.37
เจอร์ซีย์	23.60	4.10	3.60	4.86	15.24

ที่มา: White *et al.* (2001)

1.1.3. คุณลักษณะเฉพาะตัวของสัตว์ (individuality) คุณลักษณะ เช่น อายุ น้ำหนักตัว และอาหาร เป็นต้น โคนแต่ละตัวในพันธุ์เดียวกันก็ให้น้ำนมที่มีองค์ประกอบต่างกัน หรือแม้กระทั่งเลี้ยงดูในสถานที่แตกต่างกันก็ให้ปริมาณนมและองค์ประกอบน้ำหนักแตกต่างกัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณการผลิตนมและองค์ประกอบนมของวัวพันธุ์เจอร์ซีย์จาก North Carolina State University และ University of Tennessee

	North Carolina State University	University of Tennessee
นมที่ได้ต่อวัว 1 ตัว (kg)	5177	4729
ไขมัน		
kg	544	591
%	4.70	5.67
โปรตีน		
kg	425	425
%	3.74	4.09

ที่มา: Bitman *et al.* (1995)

1.1.4. ระยะการให้นม (lactation period) น้ำนมที่หลั่งออกมาในระยะ 2-3 วันแรกคือ น้ำมน้ำเหลืองซึ่งมีปริมาณเกลือแร่ โปรตีนและไขมันสูงกว่าปกติ หลังจากนั้นน้ำนมจะค่อยปรับเข้าสู่ช่วงปกติและเหมาะต่อการบริโภคภายในเวลาประมาณ 5 วัน ปริมาณธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนย (MSNF) ของนม ค่อนข้างสูงในระยะแรก แล้วค่อยๆ ลดลงจนถึงเดือนที่ 2-3 จากนั้นค่อยๆ

เพิ่มขึ้นจนถึงเดือนที่ 6 และเพิ่มสูงขึ้นจนปลายระยะการให้นม ปริมาณไขมันก็มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน

1.1.5. ช่วงเวลาการรีดนม (milking interval) นมช่วงเช้ามีปริมาณมากกว่านมช่วงบ่าย เปอร์เซ็นต์ไขมันและจำนวนเซลล์โซมาติกปริมาณน้อยกว่า และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงหยดท้ายๆ เปอร์เซ็นต์โปรตีนใกล้เคียงกัน แสดงดังตารางที่ 4 ดังนั้นจึงต้องรีดน้ำนมโคให้หมดเต้า เนื่องจากการรับชื้อนมจะคิดจากปริมาณไขมัน

ตารางที่ 4 ช่วงเวลาการรีดนมและองค์ประกอบของนมที่ได้จากโคพันธุ์เจอร์ซีย์

	ช่วงเช้า			ช่วงบ่าย		
	ค่าเฉลี่ย	² S.D.	³ Range	ค่าเฉลี่ย	S.D.	Range
¹ ช่วงเวลา (h)	14.18	0.45	13.20-14.77	9.83	0.42	9.19-10.57
นม (kg)	15.33	4.79	3.63-30.39	11.12	3.55	4.31-23.59
ไขมัน (%)	3.34	0.68	0.93-5.77	4.31	0.66	2.47-7.17
โปรตีน (%)	3.30	0.34	2.48-4.39	3.36	0.34	2.61-4.48
จำนวนเซลล์โซมาติก (1000/ml)	251.00	594.00	19.00-8473.00	315.00	682.00	22.00-9772.00

หมายเหตุ ¹ ช่วงเวลาเป็นเวลาที่ยูรีดนมและเป็นช่วงเวลาเฉลี่ยสำหรับวัวทุกตัวในคอก

² S.D. เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

³ ขอบเขตของข้อมูล

ที่มา: Hargrove (1994)

1.1.6. ฤดูกาล ปริมาณของแข็งในนมมีผลมาจากฤดูกาล ในช่วงฤดูร้อนปริมาณของแข็งในนมลดลงมาก แต่แลคโทสมีปริมาณเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณสารอื่นๆ เพิ่มขึ้น ปริมาณแลคโทสจะค่อยๆ ลดลง แต่ปริมาณธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนยค่อนข้างคงที่ตลอดปี

1.1.7. อาหารและโภชนาการ ปัจจุบันนี้มีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำนมและมีผลต่อปริมาณธาตุไนโตรเจนไม่รวมมันเนยเล็กน้อย แต่ไม่มีผลต่อปริมาณไขมัน ผลของปัจจุบันนี้แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบน้ำนมของโคพันธุ์โฮลสไตน์และเจอร์ซีย์ ที่ได้รับโภชนาการที่แตกต่างกัน

	Holstein		Jersey	
	¹ CONFINED	² PASTURE	CONFINED	PASTURE
Milk yield (kg)	36.70	27.50	23.60	24.80
Fat (%)	3.33	3.23	4.10	3.68
Protein (%)	2.87	2.94	3.62	3.43
Other solids (%)	5.74	5.53	5.78	5.75
Solid non fat (%)	8.63	8.47	9.46	9.19
Lactose (%)	4.81	4.61	4.86	4.79
Milk urea nitrogen (mg/dl)	15.44	15.40	16.56	16.80
Somatic cell count (10 ³ cells/ml)	71.00	453.10	132.80	276.00

หมายเหตุ ¹ Treatment group of cows fed a total mixed ration.

² Treatment group of cows with pasture as the forage source and supplemented with 5.5 kg of concentrate per cow per day.

ที่มา: ดัดแปลงจาก White *et al.* (2001)

1.1.8. อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ปกติโคในเมืองหนาวให้น้ำนมปกติในช่วงอากาศอุ่นจาก -1 ถึง 23 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าหรือต่ำกว่านี้จะมีผลทำให้องค์ประกอบของนมและปริมาณผลผลิตเปลี่ยนไป

1.1.9. โรคของแม่โค โรคที่สำคัญโดยเฉพาะโรคที่เกี่ยวกับเต้านมคือ โรคเต้านมอักเสบ (mastitis) น้ำนมที่ได้จะมีปริมาณของไขมัน ปริมาณธาตุไนโตรเจนไม่รวมมันเนย แลคโทส

และเคซีน ลดลง แต่กลอไบร์ดและโปรตีนซีรัมเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของกลอไบร์ดและแลคโทส ใช้เป็นตัวตรวจสอบว่าเต้านมปกติหรือติดโรคได้

1.2. องค์ประกอบของน้ำนม (สมจิต และ นภาศรี, 2543; Walstra, 1990)

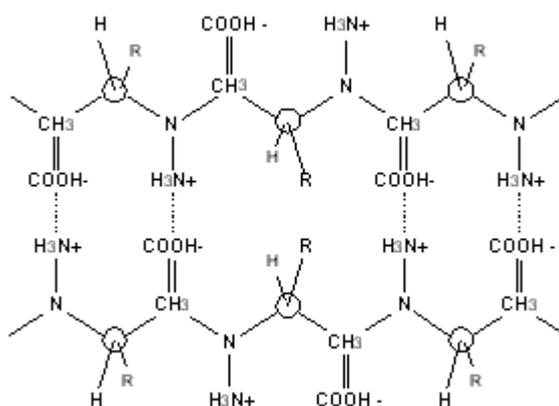
1.2.1. โปรตีน โปรตีนประกอบขึ้นด้วยกรดอะมิโนหลายๆ ชนิดรวมกัน ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย ได้แก่ เวลีน, ลิวซีน, ไอโซลิวซีน, ฟีนีลอลานีน, เมทไอนีน, ทริบโทเฟน, ฮีสติดีน, ไลซีน และทรีโอนีน ซึ่งจะพบได้ในโปรตีนนมเท่านั้น โปรตีนในน้ำนมมี 2 ชนิด คือ เคซีนและโปรตีนเวย์ ชนิดและปริมาณโปรตีนแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณโปรตีนทั้งหมดในนม

	Protein (g/l)	Protein (%)
Total protein	33	100
Total caseins	26	79.5
alpha s1	10	30.6
alpha s2	2.6	8.0
beta	9.3	28.4
kappa	3.3	10.1
Total whey proteins	6.3	19.3
alpha lactalbumin	1.2	3.7
beta lactoglobulin	3.2	9.8
bovine serum albumin	0.4	1.2
immunoglobulins	0.7	2.1
proteose peptone	0.8	2.4

ที่มา: Hui (1993)

1.2.2. เคซีน เคซีนเป็นโปรตีนหลักที่มีมากที่สุดในนม สามารถแยกออกมาได้จากการตกตะกอนนมโดยการเติมกรดจนค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของนมเป็น 4.6-4.7 เคซีนในนมมีปริมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมดและปริมาณนี้แตกต่างกันไปตามพันธุ์ของสัตว์ เคซีนประกอบด้วยโปรตีนย่อยๆ อย่างน้อย 3 ชนิด คือ α -, β - และ κ -casein ซึ่งมักจะรวมตัวกับธาตุแคลเซียมและฟอสฟอรัส เกิดเป็นสารคอลลอยด์ที่ทำให้นมมีลักษณะขุ่นขาว โครงสร้างของเคซีนประกอบด้วย กรดอะมิโน กรดแลคติก หมู่มะทิล และแอมโมเนีย แสดงดังภาพที่ 1 นอกจากการตกตะกอนด้วยกรดแล้วการแยกเคซีน ทำได้โดยการใส่เอนไซม์บางอย่างเช่น เรนินิน โปรตีนที่ออกมาจะมีคุณสมบัติเหมือนเคซีนและเป็นเนยแข็ง ในทางอุตสาหกรรมการผลิต เคซีนผงนั้นใช้วิธีตกตะกอนทางนมด้วยกรดเจือจาง เช่น กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดแลคติก หลังจากล้างกรดออกนํามาปั่นและทำให้แห้ง โดยทั่วไปแล้ว เคซีนผงใช้เป็นอาหาร ทำกาว สารเคลือบกระดาษ พลาสติก หรือเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์



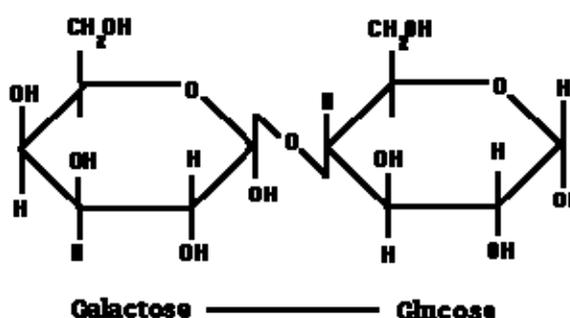
ภาพที่ 1 โครงสร้างของเคซีน

ที่มา: Larquet *et al.* (2005)

1.2.3. โปรตีนเวย์ โปรตีนเวย์มีลักษณะเป็นน้ำเหลวๆ ได้จากการแยกเคซีนออก โปรตีนเวย์ประกอบด้วยโปรตีนที่สำคัญละลายอยู่ ได้แก่ แลคทัลบูมินและแลคโทโกลบูลิน สำหรับ แลคทัลบูมินนั้น มีปริมาณมากรองลงมาจากเคซีน เป็นโปรตีนที่ตกตะกอนได้ง่ายเมื่อถูกความร้อน การแยกโปรตีนนี้ทำได้โดยการตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมซัลเฟต ส่วนแลคโทโกลบูลินนั้นไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในสารละลายเกลือเจือจาง อีกทั้งเป็นโปรตีนที่มีความสามารถในการให้ความต้านทานแก่ร่างกาย เนื่องจากประกอบด้วย อิมมูโนโกลบูลิน

1.2.4. ไขมัน ไขมันนมอยู่ในรูปเม็ดไขมัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.1-15 ไมครอน โดยทั่วไปน้ำมันที่มีปริมาณไขมันสูงประกอบด้วยเม็ดไขมันที่ใหญ่กว่าค่าเฉลี่ย เช่น น้ำมันที่ได้จากวัวพันธุ์เจอร์ซีย์และเกิร์นซีย์ เป็นต้น ไขมันในนมประกอบด้วยกลีเซอรอล ประมาณ 12.5 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมัน 85.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อทั้ง 2 อย่างนี้รวมตัวกันจะเกิดเป็นไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันในนมนี้มีหลายชนิดทั้งกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

1.2.5. น้ำตาล น้ำตาลในนมที่สำคัญ คือ แลคโทส ซึ่งเป็นไดแซ็กคาไรด์ที่เกิดจากกลูโคสและกาแลคโทส มีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2 ปกติปริมาณของน้ำตาลแลคโทสอยู่ระหว่าง 2.4-6.1 เปอร์เซ็นต์ (โดยเฉลี่ย 4.92 เปอร์เซ็นต์) ในทางอุตสาหกรรมมีการผลิตแลคโทสจากเวย์ที่เหลือจากการผลิตเนยแข็งหรือเคซีน จากการตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วต้มเวย์ให้เดือดเป็นของเหลวข้น จึงแยกโปรตีนและแร่ธาตุโดยทิ้งให้ตะกอนออกมาหลังจากที่ทำให้เป็นกรดเล็กน้อย น้ำใสๆ ที่อยู่ข้างบนจะถูกนำไปประเหยจนมีความเข้มข้นของแลคโทส 30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นก็กรองแล้วระเหยน้ำออกจนมีความเข้มข้นเพิ่มเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ แล้วทิ้งให้ตกผลึก จากนั้นทำให้แห้งและปั่นเป็นผง ผงแลคโทสใช้เป็นอาหารและใช้สำหรับทำยา



ภาพที่ 2 โครงสร้างของน้ำตาลแลคโทส

ที่มา: สมจิต และ นภาศรี (2543)

1.2.6. แร่ธาตุ แร่ธาตุในนมอยู่ในรูปของเถ้า ซึ่งก็คือสารที่เหลือหลังจากเผาน้ำมันจนเป็นขี้เถ้าประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ในรูปของคาร์บอนेट ออกไซด์และฟอสเฟต แร่ธาตุที่สำคัญของนมดังแสดงในจากตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ปริมาณของแร่ธาตุในนมสด

แร่ธาตุ	ปริมาณแร่ธาตุ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
โซเดียม	350-900
โพแทสเซียม	1100-1700
คลอไรด์	900-1100
แคลเซียม	1100-1300
แมกนีเซียม	90-140
ฟอสฟอรัส	900-1000
เหล็ก	0.3-0.6
สังกะสี	2.0-6.0
ทองแดง	0.1-0.6
แมงกานีส	0.02-0.05
ฟลูออไรด์	0.03-0.22
เซเรเนียม	0.005-0.067
ไอ โอดีน	0.26
โคบอลต์	0.0005-0.0013
โครเมียม	0.008-0.013
โมลิบดีนัม	0.018-0.120
นิกเกิล	0.00-0.05
ซีลีคอน	0.75-7.00
ดีบุก	0.04-0.50
สารหนู	0.02-0.06

ที่มา: Hui (1993)

1.2.7. น้ำ นมมีน้ำเป็นองค์ประกอบที่มากที่สุด คือ ประมาณ 87 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำเป็นตัวทำละลายสำหรับ น้ำตาล เกลือแร่ เช่นเกลือของโซเดียมและโพแทสเซียมและวิตามินที่ละลายในน้ำ ส่วนไขมัน เคซีนและเกลือแร่บางชนิด เช่น เกลือของแคลเซียม ฟอสเฟตและแมกนีเซียมฟอสเฟต จะทำให้เกิดสารแขวนลอย

1.2.8. วิตามิน วิตามินในนมแบ่งได้ 2 ประเภทคือ วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน ได้แก่ วิตามินเอ ดี อี รวมทั้งแคโรทีนอยด์ และวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ วิตามินบีรวม เช่น ไทอะมีน ไรโบฟลาวิน ไนอะซิน กรดแพนโทเทนิค กรดโฟลิก ไบโอดีน ไพริดอกซิน วิตามินบี12 และวิตามินซี เป็นต้น ปริมาณวิตามินต่างๆ ของนมสดโดยเฉลี่ยแสดงดังตารางที่ 8 ปริมาณของวิตามินชนิดต่างๆ ในนมดิบจะแตกต่างกันตามพันธุ์วัว ฤดูกาล การเก็บนม เวลาและการผลิต

ตารางที่ 8 ปริมาณของวิตามินชนิดต่างๆ ของนมสด

วิตามิน	ปริมาณต่อลิตร
เอ	400 µg. RE ¹
ดี	40 I.U.
อี	1000 µg.
เค	50 µg.
บี1	450 µg.
บี2	1750 µg.
ไนอะซิน	900 µg.
บี6	500 µg.
กรดแพนโทเทนิค	3500 µg.
ไบโอดีน	35 µg.
กรดโฟลิก	55 µg.
บี12	4.5 µg.
ซี	20 mg.

หมายเหตุ ¹RE = Retinol equivalent; 1 RE = 1 µg retinol

ที่มา: Hui (1993)

2. ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว

นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurized fermented milk drink or pasteurized drinking yoghurt) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนมและ/หรือผลิตภัณฑ์นมซึ่งเกิดจากการหมักบ่มด้วยจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกรดแลคติก เช่น *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacterium*, *L. acidophilus* และ/หรือจุลินทรีย์อื่นที่ใช้ในการผลิตนมเปรี้ยว ซึ่งเป็นนมเปรี้ยวที่ผ่านการเจือจางและปรุงแต่งกลิ่นรส สี หรือวัตถุอื่นที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น น้ำผลไม้ น้ำผึ้ง เป็นต้น สำหรับดื่มโดยตรง และผ่านการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อน โดยกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ และมีจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักบ่มที่มีชีวิตคงเหลืออยู่หรือไม่ก็ได้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) การเก็บรักษานมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 10-12 องศาเซลเซียส จะสามารถเก็บได้นานถึง 21 วัน (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2545)

2.1. หลักการและกระบวนการผลิตนมเปรี้ยว

หลักการโดยทั่วไปในกระบวนการผลิตนมเปรี้ยว เริ่มจากนํานมที่ผ่านการแยกครีมและหางนมแล้ว มาผสมกับส่วนผสมที่เตรียมไว้ให้เข้ากัน และให้ความร้อนโดยการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 65 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 30 นาที หรือที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 72 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 16 วินาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า ทั้งนี้จะผ่านกรรมวิธีทำให้เป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่ก็ได้ แล้วเติมหัวเชื้อในอัตราส่วน 1:1 (*Streptococcus thermophilus* : *Lactobacillus bulgaricus*) บ่มในถังหมักควบคุมอุณหภูมิที่ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง นํานมที่บ่มไว้มาไตเตรดหาค่าความเป็นกรดโดยรวม 0.85-0.90 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นลดอุณหภูมิในถังหมักลงจนอยู่ในช่วง 5-22 องศาเซลเซียส บรรจุใส่ภาชนะปิดสนิทเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส จุลินทรีย์จะชะลอการเจริญเติบโต (Vandeweghe *et al.*, 2002) กระบวนการที่สำคัญในการผลิตนมเปรี้ยว มีดังนี้

2.1.1. แคลริฟิเคชัน (clarification) กระบวนการนี้เป็นการขจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งปนเปื้อนในนํานม เพื่อให้ไม่ปรากฏในขณะเก็บรักษา หรือในผลิตภัณฑ์นม โดยนํานมดิบจะผ่านไปทีเครื่องหมุนเหวี่ยง (clarifier) อย่างรวดเร็วเพื่อแยกฝุ่นผง เซลล์จากเต้านมวัว และแบคทีเรียบางกลุ่มออกจากรนํานม (Bylund, 1995) เครื่อง clarifier แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องแยกสิ่งสกปรกออกจากนม รุ่น Westfalia MSA-60 milk clarifier

ที่มา: Martin and Davis (2003)

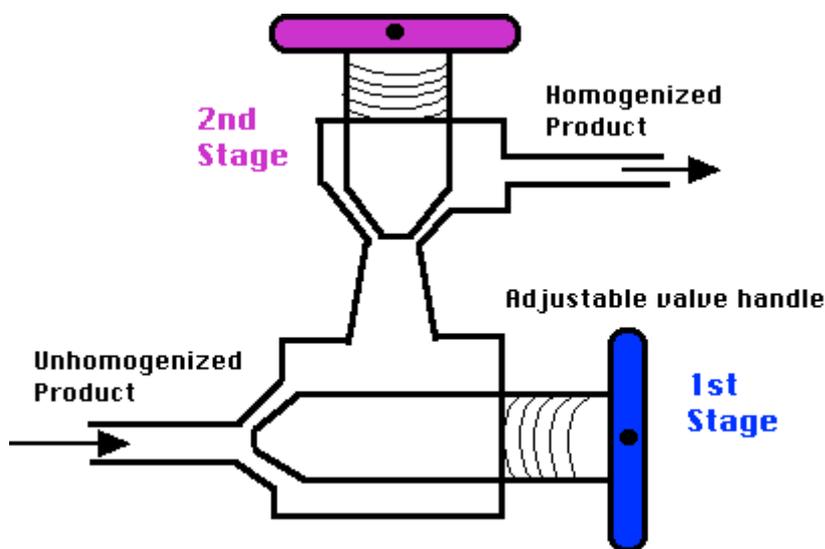
2.1.2. การแยกครีม กระบวนการนี้เป็นการแยกครีมออกจากร้านนมดิบโดยใช้เครื่องแยกครีม (cream separator) ดังภาพที่ 4 เครื่องแยกครีมที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถแยกไขมันออกจากน้ำนมได้เกือบทั้งหมด ไขมันที่ยังคงเหลือ คือ ไขมันในหางนมประมาณ 0.02-0.05 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจาก ขนาดของเม็ดไขมันนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2 ไมครอน จึงแยกออกจากนมได้ยาก เครื่องแยกครีมสามารถปรับเพื่อให้ได้ปริมาณไขมันตามที่ต้องการ เช่น ฮาฟครีม มีไขมัน 10-18 เปอร์เซ็นต์ และวิปปิงครีม มีไขมัน ไม่นต่ำกว่า 36 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (Bylund, 1995)



ภาพที่ 4 เครื่องแยกครีมออกจากนม รุ่น Westfalia MSA-130 whey separators

ที่มา: Martin and Davis (2003)

2.1.3. โฮโมจีไนเซชัน (homogenization) กระบวนการนี้เป็นการทำให้เม็ดไขมันแตกโดยใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ภาพที่ 5 แสดงหลักการทำงานของที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ เมื่ออัดของเหลวผ่านช่องแคบซึ่งสามารถปรับขนาดได้ (300 ไมโครเมตร) ระหว่างวาล์วกับฐาน ความดันจะทำให้ของเหลวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง (8400 เมตรต่อวินาที) จากนั้นของเหลวที่ดันผ่านวาล์วจะมีความเร็วลดลงทันที จะเกิดสภาวะที่เป็นเทอร์บูเลนซ์และทำให้เกิดแรงเฉือนอย่างรุนแรง ฟองอากาศจะยุบตัวลงและของเหลวที่เคลื่อนที่ผ่านไปจะกระทบผิวหน้าแข็งทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กกลง (Bylund, 1995) การกระจายตัวของอิมัลซิไฟเออร์บนผิวไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นมเนื่องจากไขมันอาจกลับมาจับตัวใหม่ได้ ดังนั้นจึงต้องมีวาล์วตัวที่สองซึ่งมีลักษณะคล้ายกับตัวแรกทำหน้าที่ทำลายกลุ่มของอนุภาคที่เกาะรวมตัวกัน นิยมใช้เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูงนี้ สำหรับนมก่อนเข้ากระบวนการพาสเจอร์ไรส์ (วิไล, 2543)



ภาพที่ 5 หลักการของเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ความดันสูง

ที่มา: Douglas (1995)

2.1.4. การปรับมาตรฐาน กระบวนการนี้เป็นการทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณไขมันเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ของแต่ละประเทศ หรือระหว่างประเทศ โดยทั่วไปแล้วไขมันในน้ำนมดิบจะสูงกว่าน้ำนมที่ต้องการผลิต ดังนั้นการปรับมาตรฐานอาจทำโดยผสมน้ำนมกับหางนมหรือผสมหางนมกับครีม เพื่อให้ได้ปริมาณไขมันตามต้องการ (Kessler, 1981)

2.1.5. การให้ความร้อนกับน้ำนม กระบวนการนี้มีขึ้นเพื่อทำลายเอ็นไซม์และจุลินทรีย์ในน้ำนมดิบเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น แบ่งออกเป็น 3 วิธี (วิไล, 2543)

ก. การพาสเจอร์ไรส์ กระบวนการนี้เป็นการให้ความร้อนแก่นม เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ถูกทำลายในนมที่เกิดจากการปนเปื้อนก่อนการผลิต ตารางที่ 9 แสดงจุลินทรีย์โดยประมาณในน้ำนม จุลินทรีย์ที่ตรวจแยกได้จากนม เช่น แลคติกแอซิดแบคทีเรีย โคลิฟอร์มแบคทีเรีย และแบคทีเรียที่ทนความร้อนได้ดี เป็นต้น ระหว่างกระบวนการผลิต แบคทีเรียจะเจริญควบคู่ไปกับหัวเชื้อที่เติมลงไปทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีกลิ่นรสผิดปกติ ประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กระบวนการ คือ การให้ความร้อนแบบช้า (Low Temperature Long Time, LTLT) ใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 63 องศาเซลเซียส และคงที่ไม่น้อยกว่า 30 นาที และการให้ความร้อนแบบเร็ว (High Temperature Short Time, HTST) ใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 72 องศาเซลเซียสและคงที่ไม่น้อยกว่า 16 วินาที หลังจากผ่านความร้อนแล้วต้องทำให้เย็นทันทีที่ 5 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า เนื่องจากมีโรคหลายโรคที่ติดต่อกันได้ผ่านทางน้ำนม ดังนั้นการพาสเจอร์ไรส์ จึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อความปลอดภัยของผู้บริโภค นอกจากนี้การพาสเจอร์ไรส์ยังทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น กระบวนการพาสเจอร์ไรส์นี้ทำให้น้ำนมและผลิตภัณฑ์ที่มีสีและกลิ่นรสดีกว่าการสเตอริไลซ์ น้ำนมดิบที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์จะมีคุณค่าทางอาหารเกือบครบถ้วนเท่ากับน้ำนมดิบ วิตามินบางพวกเท่านั้นที่ถูกทำลาย ดังนั้นจึงมักมีการเติมวิตามินดีให้ครบตามที่กำหนด

ตารางที่ 9 จำนวนจุลินทรีย์โดยประมาณในนม

ตัวอย่าง	จำนวนจุลินทรีย์ (CFU/ml)
นมที่รีดด้วยความระมัดระวังให้ปลอดภัย	500 – 1000
นมที่รีดด้วยเครื่องรีดนม	1000 – 10000
นมจากถังรวมนม	5000 – 20000

ที่มา: สุมาลี (2541)

ข. การสเตอริไลส์ กระบวนการนี้เป็นการให้น้ำนมได้รับความร้อน 140.5 องศาเซลเซียส 15 นาที แล้วเพิ่มความร้อนถึง 149 องศาเซลเซียส 0.5 วินาที และทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วถึง 76.7-80 องศาเซลเซียส ในเครื่องสุญญากาศ จากนั้นบรรจุในภาชนะที่ผ่านการฆ่าเชื้อ

แล้ว วิธีนี้จะทำลายจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด นมชนิดนี้มักนิยมบรรจุกระป๋องปิดสนิทและใช้ความร้อนฆ่าเชื้อ แต่เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูงอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารต่างๆ ในนม เช่น โปรตีน น้ำตาลนม ไขมัน ทำให้นมมีสี กลิ่นและรสชาติต่างไปจากนมนมดิบ เช่น มีสีน้ำตาลมากขึ้น มีรสขมเล็กน้อย หรือมีกลิ่นนมที่ผ่านการต้ม (cooked flavor)

ค. การทำนม ยู เอส ที (ultra high temperature milk or ultra heat treated milk) คือ นมที่ผ่านการฆ่าเชื้อโดยใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 133 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 วินาที แล้วบรรจุในภาชนะและสถานะที่ปลอดเชื้อ ความร้อนที่ใช้สามารถทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ทำให้เน่าเสีย การใช้เวลาในการฆ่าเชื้อที่สั้นช่วยลดการเปลี่ยนสี หรือ กลิ่นรสนมต้มได้ นมชนิดนี้มักบรรจุในกล่องกระดาษลามิเนตแข็งทรงสี่เหลี่ยม สามารถเก็บได้นานประมาณ 5-6 เดือนที่อุณหภูมิห้องถ้ายังไม่เปิดภาชนะ

2.1.6. การหมัก (fermentation) การหมักเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่ก่อให้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์สารโดยปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่สร้างขึ้น โดยเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้ได้เซลล์เพิ่มขึ้นหรือสารเคมีซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ทั้งนี้อาจอยู่ในภาวะที่มีการให้อากาศเต็มที่ หรือมีอากาศเพียงเล็กน้อย หรือปราศจากอากาศก็ได้ จุลินทรีย์ที่นิยมใช้เป็นเชื้อเริ่มต้น (mother culture) ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ได้แก่ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus* เชื้อแบคทีเรียสองตัวนี้เจริญได้ดีในสภาวะของนมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ต ให้กลิ่นรสที่ต้องการ ให้ลักษณะโครงสร้างของลักษณะเนื้อดี และต้านทานต่อ phage และสารปฏิชีวนะในการสร้างกลิ่นรสย่อยสลายน้ำตาลแลคโทสในนมได้ดี ทำให้เวลาที่ใช้ในการตกตะกอนโปรตีนในนมเร็วขึ้นกว่าการใช้เชื้อเพียงตัวใดตัวหนึ่ง การผลิตกรดแลคติกไม่ได้เกิดจากการหมักน้ำตาลแลคโทสโดยตรง แต่เกิดจากแบคทีเรีย *L. bulgaricus* ผลิตเอนไซม์ β -galactosidase เพื่อไฮโดรไลซ์โปรตีนในนมให้ได้กรดอะมิโน เช่น ฮิสติดีน ไกลซีน และ วาลีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนชนิดที่สำคัญต่อการเจริญของเชื้อ *S. thermophilus* และเชื้อ *S. thermophilus* ก็จะสร้างกรดฟอร์มิกทำให้ค่าความเป็นกรดต่างลดลง 4.0-4.5 ซึ่งใกล้เคียงกับค่า isoelectric point ของเคซีนในนม (ค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 4.6-4.7) ทำให้เคซีนซึ่งเป็นโปรตีนในนมสูญเสียสภาพธรรมชาติ และจับตัวตกตะกอนลงมา (Srivastava, 2008)

การผลิตกรดแลคติกของแบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้ จะอยู่ในรูป L-(+)-Lactic acid ซึ่งผลิตโดย *S. thermophilus* และ L-(+)- Lactic acid ที่เกิดขึ้นจะมี 30-50 เปอร์เซ็นต์และส่วนที่เหลือจะเป็น D-(-)-Lactic acid นอกจากนี้แบคทีเรียทั้งสองชนิดยังสร้างสารอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของ

โยเกิร์ตเป็นอย่างมาก ได้แก่ อะซิติกไฮดรอกซี และอะซิโตน นอกจากนี้ยังสร้างสารพวกกรดที่สามารถระเหย (volatile acids) เช่น กรดฟอร์มิก กรดบิวทีริก กรดอะซิติก เป็นต้น อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อประมาณ 40-45 องศาเซลเซียส การบ่มจะมี 2 วิธีคือ บ่มระยะเวลาสั้นและบ่มระยะเวลานาน การบ่มระยะเวลาสั้นเป็นการบ่มที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส นาน 2-8 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเชื้อที่ใช้ด้วย สำหรับอีกวิธีหนึ่งเป็นการบ่มที่ระยะเวลานาน ใช้เวลาประมาณ 16-18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่าจนได้ปริมาณกรดคงที่ (วารวูฒิ และ รุ่งนภา, 2531)

2.2. วัตถุประสงค์สำคัญในการผลิตนมเปรี้ยว (วารวูฒิ และ รุ่งนภา, 2531; อดิศักดิ์, 2540; Tamime, 2006)

วัตถุประสงค์ที่สำคัญในการผลิตนมเปรี้ยวมีดังนี้

2.2.1. น้านมดิบหรือนมพาสเจอร์ไรส์ น้านมจะต้องมีคุณภาพดี ไม่มีกลิ่นผิดปกติควรมีปริมาณไขมันต่ำกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ และมีความเป็นกรดต่ำกว่า 6.6

2.2.2. นมผง โดยทั่วไปน้านมจะมีของแข็งไม่รวมมันเนยประมาณ 9-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อนำมาทำเป็นโยเกิร์ตแล้วจะมีลักษณะและ อาจเกิดการแยกตัวของเวย์ คือส่วนที่เป็นน้ำแยกตัวออกจากส่วนที่เป็นลิ่ม ปัญหานี้แก้โดยการเติมนมผงขาดมันเนย เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของของแข็งไม่รวมมันเนยให้ถึง 14 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปทางการค้านิยมใช้หางนมผงอัตราส่วนที่ผสมนมผงจะอยู่ในช่วง 1-6 เปอร์เซ็นต์ แต่ระดับที่เหมาะสมคือ 3-4 เปอร์เซ็นต์ เพราะการใช้หางนมมากเกินไป จะทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นแข็งหรือผง

2.2.3. น้าตาล การเติมน้าตาลก็เพื่อเพิ่มของแข็งไม่รวมมันเนย น้าตาลที่ใช้เติมลงไปนั้น เช่น ซูโครส ในขณะที่เดียวกันรสหวานของน้าตาลจะช่วยกลบรสเปรี้ยวที่เกิดจากการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใส่เข้าไป ปริมาณน้าตาลที่เหมาะสมในการเติมลงไปประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการนำโยเกิร์ตไปผลิตเป็นนมเปรี้ยวพร้อมดื่มควรใช้อัตราส่วนโยเกิร์ตต่อน้าเชื่อมเข้มข้น 28 องศาบริกซ์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความหวานที่ผู้บริโภคยอมรับ

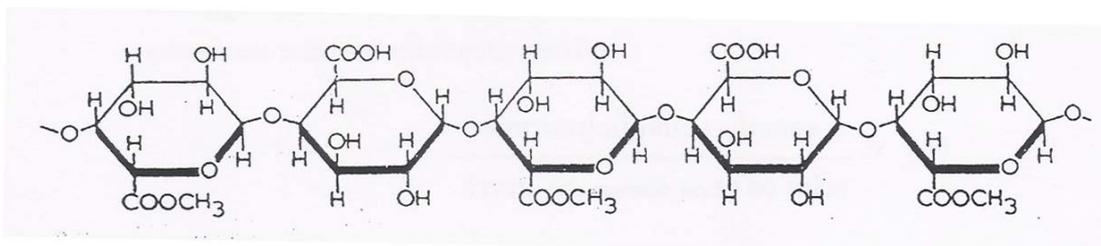
2.2.4. เชื้อจุลินทรีย์ ส่วนใหญ่ใช้เชื้อ *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* ในอัตราส่วนที่เท่ากัน ใช้ปริมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ของนม แบคทีเรียเหล่านี้เจริญได้ดีในส่วนผสมของนมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ต ให้กลิ่น รสที่ต้องการ

2.2.5. สารให้ความคงตัว (stabilizer) สารนี้ช่วยให้นมเปรี้ยวพร้อมดื่มที่ได้มีความหนืดและคงตัว เนื่องจากสารให้ความคงตัวเป็นไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งแขวนลอยในน้ำนมโดยยึดเกาะกับผิวเม็ดส่วนที่เป็นน้ำ การยึดเกาะระหว่างเฟสทำให้เกิดการอุ้มน้ำ สารให้ความคงตัวที่ใช้ ได้แก่ เจลาติน เพคติน และ โซเดียมอัลจีเนท เป็นต้น

เพคตินเป็นสารให้ความคงตัวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมนมเปรี้ยว รายละเอียดของเพคติน มีดังนี้ การใช้เพคตินเริ่มมีขึ้นในปี ค.ศ. 1825 โดยชาวฝรั่งเศส ที่ชื่อ Braconnot ได้ศึกษาขั้นตอนและแยกสารชนิดหนึ่งจากของเหลวสกัดจากพืชและเรียกสารที่ได้นี้ว่า “เพคติน” ซึ่งมาจากภาษากรีกที่แปลว่า แน่นหรือแข็ง นับแต่นั้นมา เพคตินก็ได้รับความสนใจและถูกนำมาใช้ในการในอุตสาหกรรมอาหาร การผลิตเพคตินเชิงการค้าส่วนใหญ่ผลิตมาจากกากแอปเปิล (มีเพคตินประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) และเปลือกของส้มและมะนาว (มีเพคตินประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) ซึ่งล้วนเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำผลไม้ ในพืชเพคตินมีบทบาทสำคัญบริเวณชั้นกลางของผนังเซลล์โดยทำหน้าที่เชื่อมระหว่างเซลล์ต่างๆ ของเซลล์ลูโลส เฮมิเซลล์ลูโลส และไกลโคโปรตีน สารเพคตินที่พบในพืชจะอยู่ในรูปแบบต่างๆ ขึ้นอยู่กับระดับความแก่อ่อนของผลไม้นั้นๆ ได้แก่ โปรโตเพคติน (protopectic) ซึ่งไม่ละลายน้ำและอยู่รวมกับเซลล์ลูลอยด์ของผนังเซลล์ เพคติน ซึ่งประกอบไปด้วยกรดเพคติก (pectinic acid) เป็นส่วนใหญ่สามารถละลายน้ำและเกิดเจลได้ในภาวะที่เหมาะสม กรดเพคติก (pectic acid) ซึ่งโครงสร้างไม่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ และไม่ละลายน้ำ เป็นต้น ในระหว่างการสุกของผลไม้ โปรโตเพคตินจะถูกเปลี่ยนไปเป็นเพคติน โดยกลไกที่ซับซ้อนของเอนไซม์ทำให้โครงสร้างของผลไม้ที่แข็งแรงมีความอ่อนและนิ่มลง นอกจากนี้เพคตินยังสามารถผลิตได้จากชูการ์บีท (sugar beet) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล แต่เพคตินที่ผลิตจากชูการ์บีทจะมีคุณภาพด้อยกว่าเพคตินจากกากแอปเปิลและเปลือกของส้มและมะนาว เนื่องจากการเกิด acetylation และมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังมีสมบัติแรงดึงผิวสูงมาก ทำให้เกิดปัญหาการเกิดฟองในระหว่างการสกัด แต่เพคตินนี้สามารถใช้เพื่อเสริมการเกิดอิมัลชัน ทำให้เกิดเสถียรภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์อาหารประเภท oil-water emulsion เพคตินที่ได้จากจานรองดอกทานตะวัน ซึ่งได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันจากเมล็ดทานตะวัน เพคตินที่ได้จากจานรองดอกทานตะวันก็เกิดปัญหาการปนเปื้อนจากน้ำมันชนิดไม่อิ่มตัวสูงในปริมาณเล็กน้อย น้ำมันจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์และมี

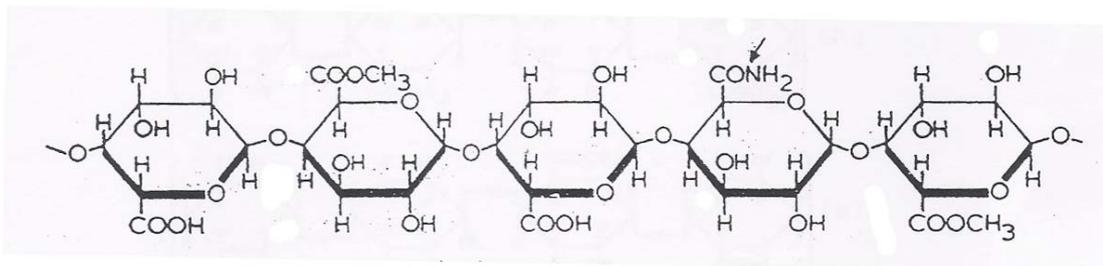
ปัญหาในเรื่อง acetylation เช่นเดียวกับเพคตินจากชูการ์บีท การใช้เพคตินในปัจจุบันถูกนำไปใช้ในการผลิตแยม เยลลี่ ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์อาหารประเภทกรด เนื่องจากเพคตินมีเสถียรภาพดีที่ค่าความเป็นกรดต่างต่ำ

ลักษณะ โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของเพคติน เพคตินเป็น heterogeneous complex polysaccharide ที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วย α , D-galacturonic acid จำนวนมากเชื่อมต่อกันเป็นสายโพลิเมอร์ด้วยพันธะ α - (1,4) ไกลโคซิดิก เป็นสายหลัก และมีสายโซ่แขนงเป็น L-arabinose และ D-galactose ดังแสดงในภาพที่ 6 บางส่วนของหมู่คาร์บอกซิลบนโมเลกุลของ D-galacturonic acid อาจถูกเอสเทอร์ไฟต์ด้วยหมู่เมทิล เช่น เมธานอล อัตราส่วนของหมู่คาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์จะแสดงเป็นค่า degree of esterification (DE) ค่านี้เป็นสมบัติเฉพาะตัวของเพคติน ซึ่งมีผลต่อการละลายและการเกิดเจล ใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดจำแนกเพคตินออกเป็น 2 กลุ่มคือ เพคตินชนิดที่มีหมู่เมธอกซิลมาก มีค่า DE มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และเพคตินที่มีค่า DE น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นเพคตินชนิดที่มีหมู่เมธอกซิลน้อย ส่วนการใช้ต่าง เช่น แอมโมเนียในกระบวนการ de-esterification ก็จะได้ amidated pectin ซึ่งมีความสำคัญเชิงการค้า ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ลักษณะโครงสร้างเพคติน

ที่มา: อติศักดิ์ (2540)



ภาพที่ 7 ลักษณะของ amidated pectin (บริเวณที่ถูกศรชี้)

ที่มา: อคิศักดิ์ (2540)

สมบัติด้านการละลายของเพคติน เพคตินสามารถละลายได้ในน้ำเย็นและน้ำร้อน แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ การละลายเพคตินในน้ำโดยทั่วไปนิยมใช้เครื่องผสมความเร็วสูงช่วยในการละลายของเพคติน โดยค่อยๆ เติมเพคตินลงในน้ำร้อนอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเปิดเครื่องที่ความเร็วสูงเป็นเวลา 5-10 นาที นอกจากการใช้เครื่องผสมแล้วยังสามารถใช้ เพคตินมาผสมกับน้ำตาลที่มีปริมาณเป็น 5 เท่าของเพคตินได้ ซึ่งน้ำตาลมีส่วนทำให้ส่วนผสมแห้งที่ได้กระจายตัวในน้ำได้เป็นอย่างดี โดยไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน หรือเติมเพคตินลงในสารละลายน้ำตาลเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เกิดการกระจายตัวจากนั้นจึงนำมาเจือจางด้วยน้ำร้อนจนมีปริมาณของแข็งทั้งหมดน้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และให้ความร้อนพร้อมกับคนเบาๆ ซึ่งทั้ง 3 วิธีจัดเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม แต่ถ้าในห้องปฏิบัติการอาจนำเพคตินมาทำให้เปียกด้วยตัวทำละลายที่รวมกับน้ำได้ เช่น 2-โพรพานอล ซึ่งทำให้เพคตินละลายน้ำได้ดีขึ้น

สมบัติด้านความหนืดของเพคติน เพคตินจะมีความหนืดมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น ระดับเอสเทอร์ฟิเคชันของเพคติน ความเข้มข้น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่าง และเกลือชนิดต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่มีการใช้เพคตินและน้ำตาล จะได้สารละลายที่มีความหนืด แต่ถ้าผลผลิตที่ได้มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 3.6 ก็จะเป็นเจล ทั้งนี้ระดับของค่าความเป็นกรดต่างที่ใช้ขึ้นกับค่า DE ของเพคตินชนิดนั้นๆ และเกลือที่ใช้ร่วมด้วย เช่น การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ประมาณ 0.6 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ความหนืดของสารละลายเพคตินเพิ่มขึ้นมากและถ้าใช้ 0.8 เปอร์เซ็นต์ ก็จะทำให้เพคตินที่มีค่า DE 40 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความเป็นกรดต่าง 2.9 สามารถเกิดเจลได้ ส่วนความหนืดของสารละลายเพคตินจะมีค่าลดลงที่ค่าความเป็นกรดต่าง 4.4 และที่ค่าความเป็นกรดต่างสูงขึ้น (ประมาณค่าความเป็นกรดต่าง 6) พบว่าเกลือไม่มีบทบาทต่อความหนืดของสารละลายเพคตินที่มีการเติมฟอสเฟตร่วมด้วย ส่วนการใช้เกลือแคลเซียมมีผลต่อการเพิ่มความ

หนืดของสารละลายเพคตินเป็นอย่างมาก โดยความหนืดจะเพิ่มอย่างรวดเร็วเมื่อเพคตินนั้นมีระดับการ เอสเทอร์ฟิเคชันลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเพคตินมีหมู่คาร์บอกซิลอิสระเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเชื่อมประสานกับแคลเซียมไอออนเพิ่มขึ้น สารละลายของเพคตินมีลักษณะ thixotropic solution เป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามการใช้เพคตินในอาหารไม่ได้มีจุดประสงค์หลักเพื่อเพิ่มความหนืดให้แก่ผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียว แต่สามารถใช้เพื่อเพิ่มความรู้สึกด้าน mouth feel ของน้ำตาลในเครื่องดื่มพลังงานต่ำเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีการลดปริมาณน้ำตาลลง

สมบัติการเกิดเจลของเพคติน การเกิดเจลขึ้นอยู่กับชนิดของเพคติน ความเข้มข้นของน้ำตาล ค่าความเป็นกรดต่าง และเกลือแร่ชนิดต่างๆ เพคตินชนิดที่มีหมู่เมธอกซิลมากเมื่อละลายน้ำและทิ้งไว้ให้เย็นจะไม่เกิดเจล แต่ถ้ามีการปรับค่าความเป็นกรดต่างให้อยู่ในช่วง 2.0-3.5 และใช้น้ำตาลที่ความเข้มข้น 60-65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักทั้งหมด ก็จะได้เจลอย่างรวดเร็ว สำหรับการเกิดเจลของเพคตินชนิดที่มีหมู่เมธอกซิลน้อย จำเป็นต้องใช้ divalent ion เช่น Ca^{2+} ช่วย สำหรับการเกิดเจล ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2.0-6.5 และอาจไม่จำเป็นต้องใช้น้ำตาลร่วมด้วยก็ได้ แต่เจลที่ได้มีแนวโน้มในลักษณะที่แข็ง เปราะ และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า เพคตินปกติ การใช้น้ำตาล 10-20 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสของเจลให้ดีขึ้น

สมบัติการเกิดอันตรกิริยาของเพคตินกับ โพลีเมอร์อื่นๆ เนื่องจากเพคตินเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุลบจึงสามารถเกิดอันตรกิริยากับ โพลีเมอร์ต่างๆ ที่มีประจุบวก เช่น การเกิดอันตรกิริยาระหว่างเพคตินและ โปรตีนที่ภาวะต่ำกว่า isoelectric point ส่งผลต่อเสถียรภาพของ acid milk และ soya milk การใช้เพคตินร่วมกับเจลาตินที่ภาวะค่าความเป็นกรดต่างต่ำก็ให้ผลที่ดีในการควบคุม ค่าความเป็นกรดต่างและค่า ionic strength ของระบบการเกิดเจลเพื่อป้องกันกลิ่นรสไม่พึงประสงค์ของอันตรกิริยา เป็นต้น

การใช้เพคตินในเชิงการค้า เพคตินถูกจัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ผ่านการรับรองความปลอดภัยจาก Joint FAO/WHO Committee on Food Additive (JECFA) การใช้เพคตินในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารนิยมใช้เพื่อให้เนื้อสัมผัสแก่อาหาร ทั้งนี้ขึ้นกับวิธีการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยเพคตินถูกใช้ในการผลิตแยมและเยลลี่เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์นมประเภท acidified milk drink เช่น ผลิตภัณฑ์นมผสมน้ำผลไม้ นมเปรี้ยว และนมชนิดอื่นๆ ที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่ำ มีเสถียรภาพที่ดี acidified milk ที่เติมเพคตินเพื่อรักษาเสถียรภาพสามารถผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนได้

เช่น การฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรส์ หรือ UHT-treatment และสามารถใช้ในภาวะที่ค่าความเป็นกรดต่ำ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บที่อุณหภูมิห้องมากกว่า 6 เดือน การที่เพคตินถูกนำมาใช้ใน acidified milk เนื่องจากเคซีนในน้ำนมมักเกิดการรวมตัวเมื่อผ่านการทำความร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดลักษณะที่เรียกว่า “sandy” ซึ่งเป็นลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ต้องการ และยังทำให้เวย์เกิดการแยกตัวเป็นผลมาจากการตกตะกอนของเคซีน

2.2.6. น้ำผลไม้ การเติมน้ำผลไม้ลงไป เป็นการช่วยเพิ่มรสชาติของนมเปรี้ยว ทำให้น่ารับประทานและช่วยจูงใจผู้ซื้อ น้ำผลไม้ที่ใช้อาจเป็นน้ำผลไม้สดซึ่งผ่านการฆ่าเชื้อ ไม่มีสารแปลกปลอม และค่าความเป็นกรดต้องไม่ต่ำกว่า 3.0 เพราะถ้าต่ำกว่านี้จะทำให้น้ำในนมเปรี้ยวแยกตัวออกมาเนื่องจากกรดไปทำให้โปรตีนในน้ำนมตกตะกอน

2.2.7. สีและกลิ่น ใส่เพื่อปรุงแต่งให้น่ารับประทานมากขึ้น โดยเน้นให้เหมือนกับธรรมชาติ โดยอาจใช้สารหรือกลิ่นที่ได้จากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์

3. การเสื่อมสภาพของอาหาร

อาหารโดยธรรมชาติเป็นของเสื่อมสภาพง่าย เนื่องจากอาหารเป็นของผสมของชีวสารต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของสิ่งมีชีวิต เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และวิตามิน นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารเคมีอื่นๆ เช่น เกลือแร่ น้ำ ซึ่งในสภาวะปกติชีวสารจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ รวมทั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพ จนไม่สามารถยอมรับในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ จึงถือว่าหมดอายุการเก็บรักษา (shelf life) (สิทธิวัฒน์, 2549)

3.1. กระบวนการที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหาร (Kilcast and Subramaniam, 2000)

3.1.1. การเสื่อมสภาพทางจุลชีววิทยา การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารเมื่อเริ่มต้นการเก็บรักษา ปริมาณสารอาหารที่จำเป็นในการเจริญของจุลินทรีย์ รวมถึงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่างๆ เช่น ค่าความเป็นกรดต่ำ ระดับออกซิเจนอิสระ และปริมาณของสารกันบูดที่ผสมอยู่ในอาหาร เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การขึ้นหืน การแยกชั้นคุณสมบัติทางประสาทสัมผัส เช่น กลิ่น รสเปลี่ยนไป เป็นต้น

3.1.2. การเสื่อมสภาพทางเคมี โดยทั่วไปปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีหลายชนิดจะเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา เกิดได้หลายแบบ เช่น แบบใช้เอนไซม์ซึ่งมีอยู่ในผักและผลไม้ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (maillard) ปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันไม่อิ่มตัว ถ้ามีปริมาณมากก็จะก่อให้เกิดกลิ่นหืน (Kilcast and Subramaniam, 2000) ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้จะถูกเร่งด้วยอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่สูงขึ้นเป็นไปตามกฎของ Arrhenius ดังนั้นการลดอุณหภูมิจึงเป็นแค่การชะลอให้ปฏิกิริยาเหล่านี้ให้เกิดขึ้นช้าลงเท่านั้น ส่วนปฏิกิริยาแบบใช้เอนไซม์ ไม่ว่าจะเป็นการเกิดสีน้ำตาลโดยเอนไซม์ โพลีฟีนอลออกซิเดส หรือการเกิดกลิ่นหืนโดยเอนไซม์ไลพอกซีจีเนส พบว่าการทำงานของเอนไซม์ต้องอาศัยภาวะปัจจัยภายนอก เช่น ช่วงอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่าง และวอเตอร์แอกทิวิตี้ที่เหมาะสม ปฏิกิริยาเหล่านี้จึงเกิดอย่างรวดเร็ว

3.1.3. การเสื่อมสภาพทางกายภาพ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลของสาร และการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลงของความชื้น ก่อให้เกิดการเน่าหรือการกร่อนของเนื้อสัมผัส การเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ในผลิตภัณฑ์แช่แข็งระหว่างการเก็บรักษา เป็นต้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงการวางตัวของโมเลกุลที่เป็นองค์ประกอบของอาหารยังก่อให้เกิดการคิ่นตัวของแป้งและเจล การเกิด blooming ในผลิตภัณฑ์ซ็อกโกแลตแท่ง การตกตะกอนเคซีนในน้ำนมหลังนมผ่านการให้ความร้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี และยังทำให้โปรตีนเวย์เกิดการแยก ตัว ซึ่งเป็นผลมาจากการตกตะกอนของเคซีนอีกด้วย

3.2. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเสื่อมสภาพและการจัดการควบคุม (สิทธิวัฒน์, 2549; Singh, 2000)

3.2.1. ปัจจัยเนื่องมาจากคุณสมบัติของอาหาร (intrinsic factor) ได้แก่ องค์ประกอบของอาหาร และคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ระดับวอเตอร์แอกทิวิตี้ (a_w) ค่าความเป็นกรดด่าง ปริมาณเอนไซม์ที่ยังมีกิจกรรมอยู่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในอาหาร เป็นต้น ค่า a_w มีผลต่อการเจริญของการเจริญของจุลินทรีย์และและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในอาหารรวมทั้งเกลือของโลหะหนัก เช่น เหล็กและทองแดงก็ส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันมีอัตราการเกิดที่สูงขึ้น นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดด่างยังมีผลต่อความคงตัวของวิตามินต่างๆ ในอาหารอีกด้วย

3.2.2. ปัจจัยเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาหาร (extrinsic factor) ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ ออกซิเจน ความดันบรรยากาศ แสงที่แวดล้อมตัวผลิตภัณฑ์อาหารอยู่ รวมทั้ง แร่กคระแตกต่างๆ เป็นต้น การใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสามารถควบคุมปัจจัยนี้ได้ เช่น การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่บดแสงและป้องกันไม่ให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้ การบรรจุก๊าซพวก ไนโตรเจนและคาร์บอน ไดออกไซด์ ซึ่งจะควบคุมการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ไขมันทำให้เกิดกลิ่นหืนช้าลง

3.2.3. ปัจจัยซ่อนเร้น (implicit factor) ได้แก่ ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ รวมทั้ง สปอร์ของจุลินทรีย์ที่อยู่ในอาหาร ปัจจัยนี้สามารถจัดการได้โดยควบคุมปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้น ก่อนการเก็บรักษาตลอดจนถึงการตอบสนองของจุลินทรีย์เหล่านั้นภายใต้ปัจจัยเนื่องมาจาก คุณสมบัติของอาหาร และปัจจัยเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมภายนอกอาหารของอาหาร รวมทั้ง กระบวนการกำจัดจุลินทรีย์ที่เหมาะสมส่งผลให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาออกไปได้

4. การทดสอบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

การทดสอบอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นั้นต้องกำหนดคุณลักษณะที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาอายุการเก็บรักษา โดยต้องสามารถวัดคุณภาพของคุณลักษณะนั้นได้และต้องกำหนดว่าคุณภาพในระดับใดที่ไม่สามารถยอมรับได้ และเมื่อผลิตภัณฑ์มีระดับคุณภาพลดลงถึงจุดที่กำหนดไว้ให้ถือว่าสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา ขณะเดียวกันอาจกำหนดให้เป็นการเพิ่มขึ้นของระดับคุณลักษณะใดๆ เช่น กรณีที่ใช้ปริมาณจุลินทรีย์หรือคุณภาพทางเคมีเป็นตัวกำหนด อาจใช้ข้อกำหนดในกฎหมายอาหารให้เป็นระดับที่หมดอายุการเก็บรักษา กรณีคุณภาพทางกายภาพและประสาทสัมผัส อาจใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาความพึงพอใจหรือการยอมรับในผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์นม

ผลิตภัณฑ์	กลไกการเสื่อมสภาพ	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
ไอศกรีม	การสูญเสียความชื้น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน	เกิดผลึกน้ำแข็ง เหม็นหืน
นมผง	ดูดความชื้น ปฏิกิริยาออกซิเดชัน	รวมตัวเป็นก้อนแข็ง กลิ่นรสเปลี่ยนแปลง เหม็นหืน
เนย	ปฏิกิริยาออกซิเดชัน	เหม็นหืน
โยเกิร์ต	การหดตัว ปฏิกิริยาออกซิเดชัน	การแยกตัวของซีรัมและ ของเหลว เหม็นหืน

ที่มา: Kilcast and Subramaniam (2000)

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะ โดยการวัดคุณลักษณะ เพื่อติดตามคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่ศึกษาอายุการเก็บรักษา โดยต้องควบคุมปัจจัยภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ในอากาศ และการผ่านเข้าออกของออกซิเจนในบรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมและเหมือนจริง เพื่อให้ได้ค่าของอายุการเก็บรักษาที่แม่นยำ เช่น ผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียง่าย ควรเลือกใช้การวิเคราะห์ ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในอาหาร เพื่อตรวจติดตามคุณภาพ โดยอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ยังไม่ก่อให้เกิดการเน่าเสียหรือเจ็บป่วย และเป็นไปตามข้อกำหนดของ กฎหมายอาหาร ส่วนอาหารประเภทที่ไม่เสื่อมเสียโดยง่ายก็อาจจะมีการเสื่อมสภาพทางเคมีและ กายภาพจนทำให้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคเปลี่ยนแปลงไป ในกรณีสามารถใช้เครื่องมือวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพได้ หรือทำการประเมินติดตามการ เปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งต้องใช้ความพึงพอใจหรือการยอมรับผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคเป็นเครื่องมือตัดสิน นอกจากนี้การใช้เทคนิคการ ทดสอบพรรณนาในเชิงคุณภาพ (qualitative descriptive analysis) ยังสามารถวัดคุณภาพของแต่ละ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสออกมาเป็นค่าตัวเลขได้ (สิทธิวัฒน์, 2549)

4.1. การศึกษาอายุการเก็บรักษาแบบเร่ง (accelerated shelf life testing)

การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการเก็บให้กระบวนการทางเคมีหรือกายภาพเกิดการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็ว และทำนายความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับอายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสียแบบเร่งสามารถทำได้โดยทำให้อุณหภูมิในการเก็บสูงขึ้น โดยใช้โมเดล Arrhenius (Labusa and Schmidl, 1985) ที่กล่าวว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั้นจะแปรผันตามอุณหภูมิ ซึ่งอธิบายได้ดังสมการที่ 1 และคำนวณอายุการเก็บรักษาได้จากสมการที่ 2

$$k = k_0 \exp(-E_a/RT) \quad (1)$$

โดยที่ค่า	k	คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพต่อหน่วยเวลา
	k₀	คือ ค่าคงตัวของสมการ (sec ⁻¹)
	R	คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 J/mol K)
	T	คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)
	E_a	คือ พลังงานที่เปลี่ยนแปลง (kJ/mol)

$$t_s = ([Q]_0 - [Q]_s)/k \quad (2)$$

โดยที่ค่า	t_s	คือ	อายุการเก็บรักษา
	[Q]₀ และ [Q]_s	คือ	ระดับหรือปริมาณของคุณภาพตอนเริ่มต้นและสิ้นสุดตามลำดับ

การหาค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลง จะเริ่มจากการศึกษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่างๆ 3-4 ระดับอุณหภูมิ โดยระดับอุณหภูมินั้นจะกำหนดอุณหภูมิไว้สูงกว่าการเก็บรักษาปกติ ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น การเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์อาหารก็เกิดเร็วขึ้น จึงย่นระยะเวลาในการศึกษาอายุการเก็บรักษาได้ (สิทธิวัฒน์, 2549) โมเดลนี้เหมาะสมกับระบบเคมีง่ายๆ ไม่สามารถใช้ได้กับอาหารที่มีองค์ประกอบเชิงซ้อน เช่น ในขนมปัง เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิ ก็จะลดอัตราของปฏิกิริยาการเสื่อมเสีย อาจจะราขึ้น หรือเห้มนับ

Lertsiri *et al.* (2001) ได้ศึกษาการเกิดสีน้ำตาลในซีอิ้วขาวสองตรา คุณลักษณะที่นำมาพิจารณาอายุการเก็บรักษา คือ ระดับของสีน้ำตาลที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด

และมีแนวโน้มเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ทำการทดลองโดยเก็บรักษาซีอิ๊วขาว ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์มาทำการวิเคราะห์ระดับสีน้ำตาลด้วยเครื่องวัดแสงที่วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 นาโนเมตร พบว่าระดับสีน้ำตาลตอนเริ่มต้นการทดสอบ คือ 11 และ 16 Absorbance Unit (A.U.) ตามลำดับ และกำหนดให้ระดับสีน้ำตาลที่ถือว่าเป็นการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษา คือ 25 A.U. นำค่าที่ได้จากการทดสอบไปแทนในสมการที่ 1 แล้วคำนวณหาอายุการเก็บรักษาด้วยสมการที่ 2 ทำให้ทราบว่าซีอิ๊วขาวตราแรกมีอายุการเก็บรักษาได้ 11 เดือนและตราที่สองมีอายุการเก็บรักษา 10 เดือน แต่เนื่องจากการทดลองนี้ทำการทดลองแค่ 2 เดือน ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าอายุการเก็บรักษาจริง ค่าที่ได้จากการทำนายจึงมีโอกาสคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

4.2. การศึกษาอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีทางชีวเคมี

White (1993) ได้รวบรวมวิธีการทำนายอายุการเก็บรักษาของนมและผลิตภัณฑ์นมที่ใช้ในปัจจุบัน โดยใช้การตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ซึ่งการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีทางตรงและวิธีทางอ้อม

4.2.1. วิธีทางตรง

ก. Petrifilm[®] modified Psychrotrophic Bacteria Count (PmPBC) ทำโดยนำตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบไปบ่มที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง มาเทลงบนจานเพาะเชื้อสำเร็จรูป ซึ่งประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ violet red bile (VRB) เจล ที่ละลายได้ด้วยน้ำเย็นสี่ย้อมเพื่อบ่งชี้ปฏิกิริยาจากเอนไซม์กลูคิวโรนิเดส และสี่ย้อมเพื่อช่วยในการนับจุลินทรีย์ (มณฑลและคณะ, 2548) และบ่มที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 ชั่วโมง วิธีนี้ใช้เวลาในการตรวจสอบประมาณ 48 ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาตามปกติ พบว่าการทำนายด้วยวิธีนี้ให้ค่าที่ถูกต้องในระดับปานกลาง และค่าใช้จ่ายต่อตัวอย่างไม่แพง วิธีนี้จึงสามารถนำไปใช้ได้จริง

ข. Direct Epifluorescent Filter Technique (DEFT) วิธีนี้ถูกพัฒนาโดยประเทศอังกฤษ เพื่อการระบุแบคทีเรียในนมอย่างรวดเร็ว ทำโดยนํานมดิบมาผ่านตัวกรองขนาด 5 ไมครอนและ 2 ไมครอน หลังจากนั้นจุลินทรีย์ที่ต้องการจะจับตัวกับ Acridine orange และนำไปส่องด้วยกล้องที่ใช้แสง fluorescent วิธีนี้เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาแบบปกติ พบว่าวิธีนี้ให้ค่าที่ถูกต้องในระดับปานกลาง

4.2.2. วิธีทางอ้อม

ก. Impedance Microbiology ทำโดยนำตัวอย่างที่ต้องการตรวจ สอบไปบ่มที่ อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง แล้วใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อดูคุณภาพและปริมาณของ จุลินทรีย์ โดยดูจากการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าของจุลินทรีย์ ส่วนใหญ่แล้วจะใช้ตรวจเชื้อ *Salmonella sp.* (Wawerla *et al.*, 1999) วิธีนี้เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาจริง พบว่าวิธีนี้ให้ค่าที่ถูกต้อง ในระดับดี ถึงดีมาก

ข. ATP (adenosine triphosphate) Bioluminescence เป็นการใช้เทคนิค Bioluminescence และการระบุแบบที่เรียกจากพลังงานที่จุลินทรีย์ใช้ (10^5 - 10^6 แบคทีเรียต่อมิลลิลิตร) ทำโดยนำตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบไปบ่มที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง และ ตรวจสอบด้วยเครื่องมือที่วัดพลังงาน ATP เช่น Charm II และ Enliten เป็นต้น การทดสอบด้วยวิธี นี้ใช้เวลาประมาณ 20 ชั่วโมง และเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาจริง พบว่าวิธีนี้ให้ค่าที่ถูกต้องในระดับ ดี ถึงดีมาก

5. การแยกทางกลโดยการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

การเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเป็นกระบวนการทางกายภาพ ที่ทำให้องค์ประกอบของของผสมในน้ำ ถูก แยกด้วยแรงหนีศูนย์กลาง โดยอาศัยการหมุนมวลของของเหลวในถังรูปทรงกระบอกด้วยความเร็วสูง ขนาดของแรงขึ้นอยู่กับริศมีและความเร็วของการหมุนรวมทั้งมวล (ความหนาแน่น) ของวัตถุที่ถูก เหวี่ยงไปรอบๆ แรงหนีศูนย์กลางจะทำให้อนุภาคต่างๆในของเหลวแยกออกมาด้านนอกของขอบถัง ทำ ให้สามารถแยกของผสมออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่มีความเข้มข้นของอนุภาคมาก กับส่วนที่มี ความเข้มข้นของอนุภาคน้อยหรือแทบไม่มีเลยได้ (วิลโล, 2543; Rickwood, 1984)

ในปี 1856 Gabriel Stokes ได้เสนอทฤษฎีแรงต้านที่เกิดจากการเสียดสีหรือการกระทบกัน ของวัตถุ (F) ที่มีรัศมีอนุภาคทรงกลม (r_p) และมีความสัมพันธ์กับความหนืด (η) ไว้ดังสมการที่ 3

$$F = 6\pi\eta r_p \frac{dr}{dt} \quad (3)$$

เมื่อ $\frac{dr}{dt}$ คือ ความเร็วของอนุภาค (m^2/s) แต่เนื่องจากค่าที่ได้จากการคำนวณนี้ยังไม่ใช่ค่าที่แม่นยำ ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงค่าแรงโน้มถ่วง (g) ที่มีผลต่ออนุภาคและผลกระทบของความหนาแน่นของของเหลว (ρ_m) และของอนุภาค (ρ_p) ที่ต่างกัน ดังสมการที่ 4

$$(\rho_p - \rho_m)Vg = 6\pi\eta r_p \frac{dr}{dt} \quad (4)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตร ดังนั้นจึงเขียนสมการให้อยู่ในรูปปริมาตรของอนุภาคได้ ดังสมการที่ 5

$$\frac{4}{3}\pi r_p^3 (\rho_p - \rho_m)g = 6\pi\eta r_p \frac{dr}{dt} \quad (5)$$

แรงในการเคลื่อนที่ของอนุภาคทรงกลมตามแกนการหมุนที่เกิดจากแรงเหวี่ยง อธิบายได้จากสมการที่ 6

$$\text{Centrifugal force(RCF)} = \frac{\omega^2 r}{g} \quad (6)$$

เมื่อ r คือ รัศมีการห่างของอนุภาคจากแกนหมุนและ ω คือ มุมของความเร็วในเทอม radians/sec จากสมการที่ 7 พบว่ามีความสัมพันธ์กับความเร็วของอนุภาค ดังสมการที่ 7

$$\frac{dr}{dt} = \frac{2r_p^2 (\rho_p - \rho_m) \omega^2 r}{9\eta} \quad (7)$$

ในการทำให้ของเหลวใสด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ถ้าของเหลวเคลื่อนที่ในลักษณะของท่อส่งไอน้ำ อัตราการเคลื่อนที่จะกำหนดได้โดยความหนาแน่นของอนุภาคและของเหลว ความหนืดของของเหลว และความเร็วรอบในการหมุนเหวี่ยงดังแสดงในสมการที่ 8

$$Q = \frac{D^2 \omega^2 (\rho_s - \rho) V}{18 \eta \ln(r_2/r_1)} \quad (8)$$

โดยที่	ω ($2\pi N/60$)	=	ความเร็วเชิงมุม
	Q	=	อัตราไหล (m^3/s)
	V	=	ความจุของเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (m^3)
	D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค (m)
	ρ_s	=	ความหนาแน่นของอนุภาค (kg/m^3)
	ρ	=	ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)
	η	=	ความหนืดของของเหลว (Ns/m^2)
	r_2	=	รัศมีของโรเตอร์เครื่องปั่นเหวี่ยง (m)
	r_1	=	รัศมีของของเหลว (m)
	N	=	ความเร็วรอบ (รอบต่อวินาที)

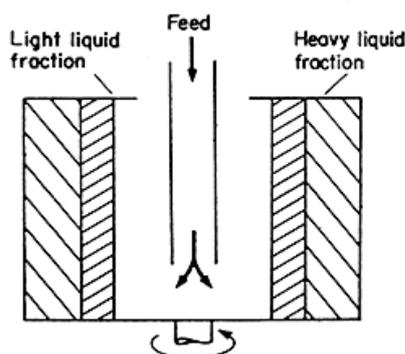
5.1. ชนิดของเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (วิลโล, 2543)

เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบ่งได้เป็น 3 แบบ สำหรับใช้ในการแยกของเหลวที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน การทำของเหลวให้ใสโดยการกำจัดของแข็งที่มีปริมาณเล็กน้อยออกไป และการกำจัดของแข็งหรือน้ำออกไป

5.1.1. เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกของเหลวออกจากของเหลว

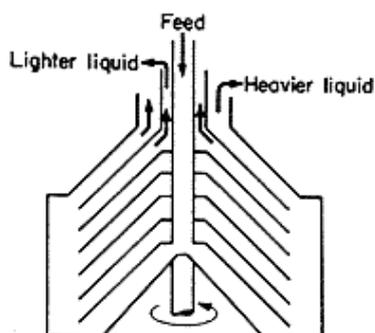
ลักษณะโดยทั่วไป ประกอบด้วยโรเตอร์ซึ่งเป็นภาชนะทรงกระบอกในแนวตั้ง และหมุนอยู่ในโครงนั่งด้วยความเร็วรอบต่างกัน ขึ้นอยู่กับเส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์ ของเหลวที่นำมาแยก ได้แก่ น้ำมันพืช นมดิบ เป็นต้น ของเหลวจะถูกส่งเข้ามาทางด้านล่างของภาชนะและของเหลวจะถูกแยกออกเป็น 2 ชั้นด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยของเหลวที่หนาแน่นกว่าจะอยู่ติดกับผนังของภาชนะ ของเหลวทั้งสองจะไหลแยกออกมาตามทางออกที่ต่างกัน ดังภาพที่ 8 แต่ถ้าชั้นของเหลวหนามาก รูปแบบของการไหลจะไม่เรียบและไม่คงที่ ดังนั้นถ้าชั้นของเหลวบางกว่าก็จะให้การแยกที่ดีกว่า เช่น เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบคิสก์ (disc bowl centrifuge) ในภาพที่ 9 ซึ่งเครื่องจะประกอบด้วยภาชนะรูปทรง กระบอก กรวยโลหะหรือแผ่นจานบางๆ แผ่นจานนี้มีขนาดช่องที่แน่นอน และหมุนด้วยความเร็ว จานนี้จะมีช่องให้ของเหลวไหลออก ของเหลวจะไหลเข้ามา

ทางด้านล่างของจานที่วางซ้อนกันอยู่และของเหลวที่มีความหนาแน่นสูงจะเคลื่อนที่ไปยังผนังของภาชนะตามช่องของแผ่นจาน ส่วนที่หนาแน่นน้อยกว่าจะถูกเหวี่ยงให้อยู่ในชั้นในเข้ามาด้านศูนย์กลางและอยู่บนผิวด้านบน ของเหลวมีการเคลื่อนที่สั้นมากทำให้เกิดการแยกชั้นที่ดีขึ้นของเหลวทั้งสองชนิดจะแยกออกมาอย่างต่อเนื่องตรงทางออกด้านบนของเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยทั่วไปจะใช้เพื่อแยกครีมออกจากนม สารสกัดจากกาแฟ



ภาพที่ 8 การแยกของเหลวออกจากของเหลว โดยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ที่มา: Earle (1983)

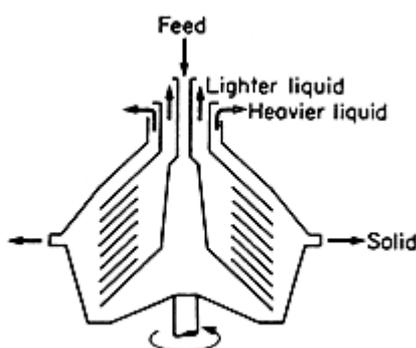


ภาพที่ 9 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบดิสก์

ที่มา: Earle (1983)

5.1.2. เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ใช้ทำให้ของเหลวใส

เครื่องประกอบด้วยภาชนะรูปทรงกระบอก ของเหลวที่จะทำการแยกจะต้องมีความเข้มข้นของของแข็งไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ของเหลวจะถูกส่งเข้าไปในภาชนะและของแข็งจะสะสมกันเป็นเค้กอยู่ที่ผนังของภาชนะและเมื่อมีความหนาที่กำหนดให้ใสนั้นจะต้องใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบหัวฉีดหรือแบบวาล์วดิซซาร์จ ลักษณะจะคล้ายกับเครื่องแบบ disc bowl แต่ภาชนะจะมีรูปร่างแบบกรวย 2 ใบคว่ำเข้าหากัน ดังภาพที่ 10 และทำงานได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับเครื่องแบบหัวฉีดนั้น ของแข็งจะแยกออกมาอย่างต่อเนื่องผ่านช่องเล็กๆ ที่ด้านข้างของภาชนะและถูกเก็บแยกต่างหาก สำหรับเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบวาล์วดิซซาร์จจะมีอยู่ที่วาล์วซึ่งจะเปิดปิดเป็นเวลานับวินาที เพื่อให้ของแข็งที่สะสมอยู่หลุดออกไป ข้อดีของเครื่องแบบวาล์วดิซซาร์จคือจะทำให้มีของเสียจากกระบวนการที่เป็นของเหลวน้อยกว่าและได้ของแข็งที่แห้งกว่า



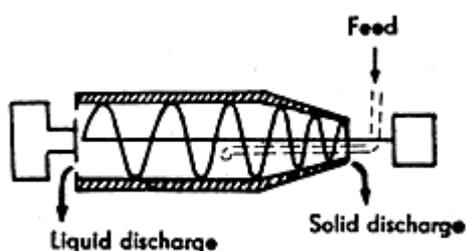
ภาพที่ 10 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบวาล์วดิซซาร์จ

ที่มา: Earle (1983)

5.1.3. เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสำหรับกำจัดตะกอนหรือน้ำ

เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางสำหรับกำจัดตะกอนใช้สำหรับอาหารเหลวที่มีของแข็งปนอยู่ในปริมาณสูง เครื่องนี้มีหลายแบบ เช่น conveyor bowl, screw conveyor, เหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบสายพานตะกร้า หรือสายพานแบบเคลื่อนที่ไปมา สำหรับเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบ conveyor bowl นั้น สามารถแยกของแข็งได้ดีกว่าเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบสกรูอัด ลักษณะการทำงานเมื่อของแข็งและของเหลวถูกแยกออกจากกัน ของแข็งจะถูกส่งไปยังด้านปลายของเครื่องใน

ขณะที่ของเหลวจะเคลื่อนที่ไปยังด้านที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า ของแข็งที่ถูกกำจัดออกจากเครื่องจะมีลักษณะค่อนข้างแห้งหรือมีความชื้นต่ำกว่าการใช้เครื่องแบบอื่นๆ เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบสายพานจะมีรูปลักษณะที่คล้ายคลึงกันแต่ภาชนะจะมีรูเล็กๆ เพื่อแยกส่วนของเหลวออกมา เครื่องนี้อาจใช้สกรูยึดติดกับภาชนะในแนวตั้ง และส่งของเหลวมาทางด้านบน ดังภาพที่ 11

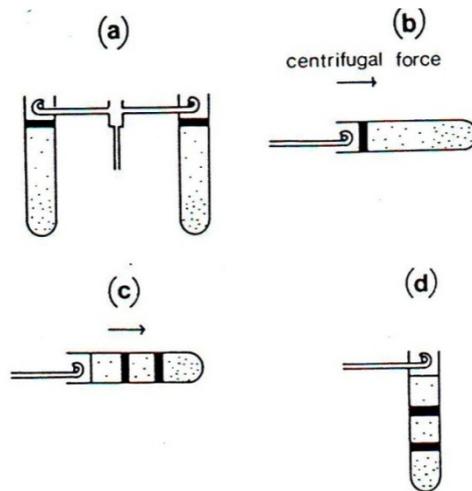


ภาพที่ 11 เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบสกรูอัด

ที่มา: Earle (1983)

5.2. ชนิดการหมุนของเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Rickwood, 1984)

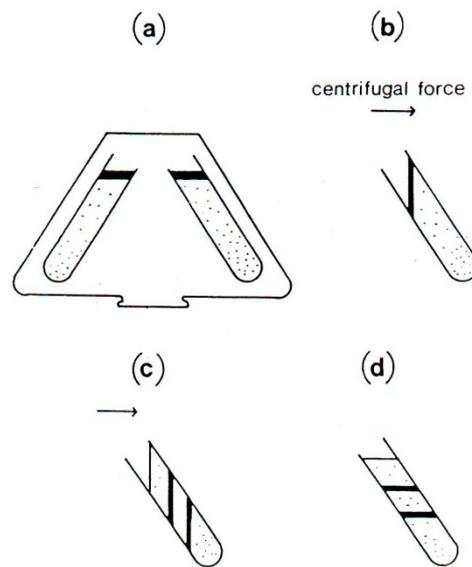
5.2.1. การหมุนแบบแกว่งออก (swing out rotors) การหมุนแบบนี้ ตัวอย่างสารละลายในหลอดจะเคลื่อนที่ตั้งฉากกับแนวแกนหมุน ดังภาพที่ 12 นิยมใช้การปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วแบบช้าและความเร็วสูง



ภาพที่ 12 การทำงานของการหมุนแบบแกว่งออก (a) ลักษณะของตัวอย่างก่อนเริ่มทำงานและตัวอย่างอยู่ชั้นบน (b) เริ่มการเหวี่ยงหลอดตัวอย่างจะถูกเหวี่ยงออกในลักษณะตั้งฉากกับแกนหมุน (c) รูปแบบการแยกของอนุภาคจะแบ่งออกเป็นชั้น (d) หยุดการเหวี่ยง

ที่มา: Rickwood (1984)

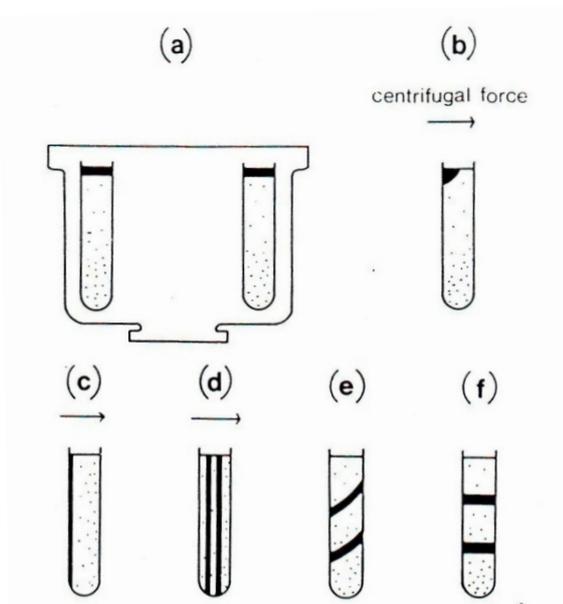
5.2.2. การหมุนแบบกำหนดมุมเอียง (fixed angle rotors) หลอดตัวอย่างจะวางตามแนวเอียงที่มุมในช่วง 14 – 40 องศา ดังภาพที่ 13 เหมาะกับอนุภาคที่มีความแตกต่างกัน การหมุนแบบนี้สามารถใช้ความเร็วสูงมากกว่า 600,000 g ได้



ภาพที่ 13 การทำงานของการหมุนแบบกำหนดมุมเอียง (a) เตรียมหลอดตัวอย่างใส่ลงในโรเตอร์ (b) เริ่มการเหวี่ยงตัวอย่างจะเอียงตามแนวแรง (c) อนุภาคที่ต่างกันจะแยกกัน (d) หยดเหวี่ยงอนุภาคจะแยกตัวโดยสมบูรณ์

ที่มา: Rickwood (1984)

5.2.3. การหมุนตามแนวตั้ง (vertical rotors) นิยมใช้กับเซนตริฟิวจ์ความเร็วสูงและอุลตราเซนตริฟิวจ์ หลอดตัวอย่างจะถูกวางตามแนวตั้ง ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การทำงานของการหมุนแบบแนวตั้ง (a) เตรียมหลอดตัวอย่างใส่ลงในโรเตอร์ ตัวอย่างคือชั้นที่อยู่ด้านบน (b) เริ่มการเหวี่ยงทั้งตัวอย่างและสารละลายเริ่มเคลื่อนที่ตามแรงหมุน (c) ตัวอย่างและสารละลายผสมเข้ากันดี (d) รูปแบบการแยกของอนุภาคจะเป็นแถบ (e) หยุดแรงหมุน (f) อนุภาคแยกออกกัน โคนสมบูรณ์

ที่มา: Rickwood (1984)

6. โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (artificial neural network) คือ โมเดลทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนกชันนิสต์ (connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ที่มีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (pattern recognition) และการอุปमानความรู้ (knowledge deduction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ (Gurney, 1997) จำลองโดยใช้อุปกรณ์พิเศษ หรือ โปรแกรมที่เหมาะสม มีระดับชั้นในการประมวลผลหลายระดับ แต่ละชั้นประกอบด้วยหน่วยประมวลผลพื้นฐานที่เรียกว่า หน่วยประสาท (neuron) หน่วยประสาทแต่ละตัวจะเชื่อมโยงกับประสาทที่อยู่ใกล้เคียงกัน มีค่าน้ำหนัก (weight) ในการเชื่อมโยงที่แตกต่างกัน การเรียนรู้ทำได้โดยการปรับค่าความสำคัญเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ เซลล์ประสาทมนุษย์ มีคุณสมบัติการทำงานเหมือนกับเซลล์ประสาทเทียม โดยทั้งสองมีความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11 การเปรียบเทียบโครงข่ายเซลล์ประสาทมนุษย์กับเซลล์

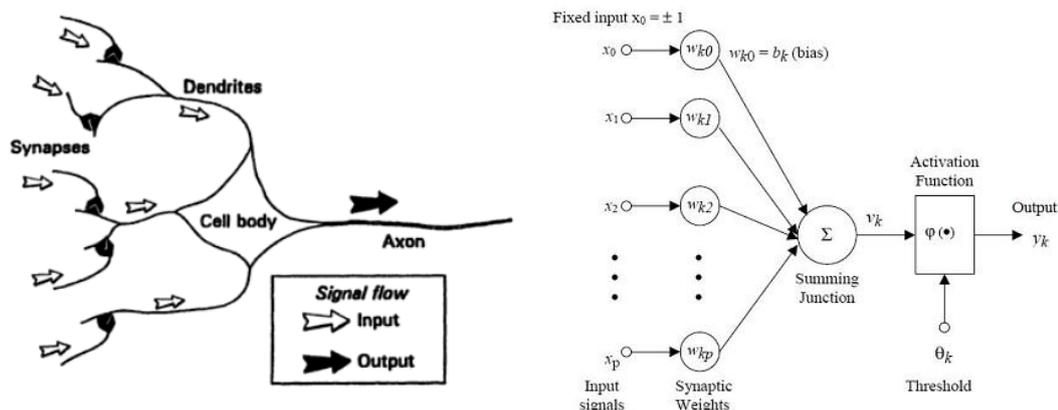
ประสาทเทียมดังภาพที่ 15 คุณสมบัติและกระบวนการทำงานของเซลล์ประสาทมนุษย์ สามารถอธิบายได้ดังนี้ (Fausett, 1994)

- ก. เซลล์ประสาทสามารถรับสัญญาณที่ป้อนเข้า (input) ได้จำนวนมาก
- ข. สัญญาณต่างๆ ถูกปรับ โดยค่าน้ำหนักที่ได้รับจากจุดประสานประสาท (synapses)
- ค. เซลล์ประสาททำการรวมค่าน้ำหนักและสัญญาณที่ป้อนเข้า ส่งผลลัพธ์ไปยังปลายในการส่งกระแสประสาทที่เรียกว่า แอกซอน (axon) ซึ่งเป็นเหมือนผลลัพธ์ที่ได้ (output) ของเซลล์
- ง. ผลลัพธ์จากเซลล์ประสาทหนึ่งเซลล์ สามารถส่งไปที่เซลล์ประสาทหลายเซลล์ได้
- จ. synapse strength มีความสามารถในการเรียนรู้แบบอัตโนมัติ ดังนั้นจึงสามารถปรับได้จากประสบการณ์ในการเรียนรู้
- ฉ. การกระจายความจำของเซลล์ประสาทประกอบด้วย 2 ลักษณะ ได้แก่ long term memory คือ การกระจายค่าน้ำหนักที่อยู่ในจุดประสานประสาท และ short term memory คือ การกระจายสัญญาณที่ถูกส่งมาโดยเซลล์ประสาท
- ช. การส่งสัญญาณของเซลล์ประสาทจากจุดประสานประสาทแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ลักษณะของการกระตุ้น (excitation) เป็นการทำให้สัญญาณส่งผ่านเข้ามามีความถี่สูงขึ้น และลักษณะของการยับยั้ง (inhibitory) เป็นการทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านเข้ามามีความถี่ต่ำลง

ตารางที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ประสาทมนุษย์กับเซลล์ประสาทเทียม

เซลล์ประสาทมนุษย์	เซลล์ประสาทเทียม
dendrite	input node
soma	hidden node
axon	output node
synapse	weight
$\sim 10^{11}$ neurons	~ 100 nodes

ที่มา: Gurney (1997)



ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบโครงข่ายเซลล์ประสาทมนุษย์ (ซ้าย) กับโครงข่ายเซลล์ประสาทเทียม (ขวา)

ที่มา: Gurney (1997)

6.1. โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม (สุคตาทิพย์, 2550; Rao and Srinivas, 2003)

ปัจจุบันข่ายงานประสาทเทียมมีโครงสร้างแตกต่างจากข่ายงานในสมอง แต่ยังเหมือนสมอง คือ การรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อยๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของข่ายงาน เมื่อพิจารณาขนาดแล้วสมองมีขนาดใหญ่กว่าข่ายงานประสาทเทียมอย่างมาก รวมทั้งเซลล์ประสาทยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของข่ายงาน รูปแบบของ

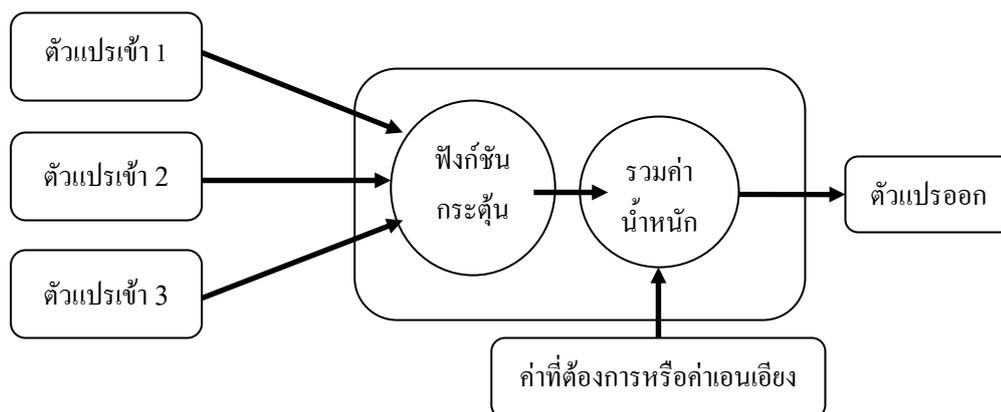
โครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย หน่วยประสาทในแต่ละชั้น และการเชื่อมต่อกันในระหว่างชั้น อธิบายได้ดังนี้

6.1.1. ชั้นตัวแปรเข้า (input layer) ชั้นนี้มีชั้นเดียว จำนวนหน่วยประสาทเท่ากับจำนวนของข้อมูลตัวแปรเข้า การคำนวณในชั้นตัวแปรเข้าเป็นการแปลงค่าของข้อมูลให้มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 เนื่องจากข้อมูลดิบเป็นตัวเลขที่มีค่ามาก และหน่วยของข้อมูลมีรูปแบบไม่เหมือนกัน ดังนั้นต้องทำให้อยู่ในรูปแบบและช่วงของข้อมูลเดียวกัน

6.1.2. ชั้นซ่อน (hidden layer) ชั้นนี้สามารถมีจำนวนหน่วยประสาท (node) หลายๆจำนวนได้ ไม่มีข้อจำกัดที่แน่นอน แต่ถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทมาก จะทำให้ใช้ระยะเวลาในการคำนวณมาก และไม่สามารถทราบผลที่แน่ชัดได้ (overfitting) และถ้ามีจำนวนชั้นและจำนวนหน่วยประสาทน้อยเกินไป จะทำให้ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน ไม่เข้าสู่จุดต่ำสุด (convergent) และผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่ถูกต้อง จึงต้องทำการเปรียบเทียบกันระหว่างโครงข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อนต่างๆ กัน และจำนวนหน่วยประสาทในชั้นซ่อนนั้นๆ มีจำนวนเท่าไรจะทำให้การคำนวณได้ผลดีกว่า

6.1.3. ชั้นตัวแปรออก (output layer) ชั้นนี้มีชั้นเดียวและมีจำนวนหน่วยประสาทเท่ากับจำนวนตัวแปรออกที่ต้องการ

การคำนวณของโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ที่หน่วยประสาทในชั้นซ่อนและชั้นตัวแปรออกเป็นหลัก สำหรับหน่วยประสาทในชั้นตัวแปรเข้าเป็นกระบวนการปรับข้อมูลเท่านั้น โดยตัวแปรเข้าจะมารวมกันที่หน่วยประสาทแล้วผ่านขั้นตอนการเชื่อมต่อ ซึ่งมีค่าน้ำหนักและค่าเอนเอียง (bias) ร่วมด้วยดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

ที่มา: Patterson (1996)

6.2. หลักการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

การทำงานของโครงข่ายงานประสาทเทียม คือ เมื่อมีค่าตัวแปรเข้าป้อนเข้ามายังข่ายงาน นำค่าตัวแปรเข้ามาคูณกับค่าน้ำหนักของแต่ละค่าที่ป้อน ผลที่ได้จากค่าที่ป้อนทุกๆ ค่าของนิวรอนจะนำมารวมกัน แล้วนำมาเทียบกับค่าเริ่มต้น (threshold) ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่าค่าเริ่มต้น นิวรอนจะส่งค่าตัวแปรออกที่ต้องการออกไป ค่าตัวแปรออกถูกส่งไปยังค่าตัวแปรเข้าของนิวรอนอื่นๆ ที่เชื่อมกันในข่ายงาน ถ้าค่าน้อยกว่าค่าเริ่มต้น ค่าตัวแปรออกจะไม่ถูกส่งออกไป (Patterson, 1996)

ปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานของนิวรอนมีดังนี้ (Demuth *et al.*, 2006)

6.2.1. ค่าน้ำหนัก ค่าน้ำหนักเป็นตัวรวบรวมสัญญาณตัวแปรเข้าของนิวรอน ซึ่งค่าน้ำหนักทำหน้าที่เหมือนจุดประสานประสาทในระบบเซลล์ประสาทจริง ตัวแปรเข้าแต่ละตัวจะมีความสัมพันธ์กับค่าน้ำหนัก ซึ่งในบางกรณีที่ตัวแปรเข้าบางตัวมีความสำคัญมากกว่าตัวแปรเข้าตัวอื่น การเลือกใช้ค่าน้ำหนักจึงมีผลต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม

6.2.2. ฟังก์ชันการรวม (summation function) หรือฟังก์ชันมูลฐาน (basis function) ฟังก์ชันนี้ทำหน้าที่รวมสัญญาณของตัวแปรเข้ากับค่าน้ำหนักที่เข้ามา ฟังก์ชันการรวม สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

6.2.3. ฟังก์ชันมูลฐานเชิงเส้น (linear basis function) ฟังก์ชันนี้เป็นฟังก์ชันชนิดไฮเปอร์เพลน (hyperplane) โดยเป็นฟังก์ชันมูลฐานอันดับที่หนึ่ง ผลรวมจากการรวมสัญญาณตัวแปรเข้า แสดงดังสมการที่ 9

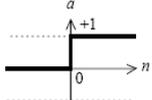
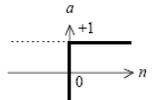
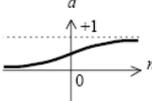
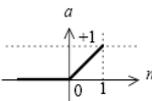
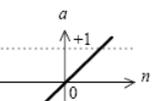
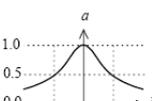
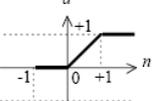
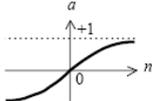
$$u_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j \quad (9)$$

6.2.4. ฟังก์ชันมูลฐานเชิงรัศมี (radial basis function) ฟังก์ชันนี้เป็นฟังก์ชันชนิดไฮเปอร์สเฟียร์ (hypersphere) โดยเป็นฟังก์ชันมูลฐานอันดับที่สอง ผลรวมจากการรวมสัญญาณตัวแปรเข้า แสดงดังสมการที่ 10

$$u_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - w_{ij})^2} \quad (10)$$

6.2.5. ฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) หรือฟังก์ชันการเปลี่ยน (transfer function) ฟังก์ชันกระตุ้นทำหน้าที่ประมวลผลรวมของสัญญาณให้เป็นตัวแปรออกของนิวรอน การเลือกใช้ฟังก์ชันกระตุ้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม รูปแบบของฟังก์ชันกระตุ้นชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 รูปแบบของฟังก์ชันกระตุ้นชนิดต่างๆ

รูปแบบฟังก์ชันกระตุ้น	ลักษณะ
Competitive	 <p>$a = \text{compet}(n)$</p>
Hard limit	 <p>$a = \text{hardlim}(n)$</p>
Symmetric hard limit	 <p>$a = \text{hardlims}(n)$</p>
Log sigmoid	 <p>$a = \text{logsig}(n)$</p>
Positive linear	 <p>$a = \text{poslim}(n)$</p>
Linear	 <p>$a = \text{purelin}(n)$</p>
Radial basis	 <p>$a = \text{radbas}(n)$</p>
Saturating linear	 <p>$a = \text{satlin}(n)$</p>
Hyperbolic tangent sigmoid	 <p>$a = \text{tansig}(n)$</p>

ที่มา: Demuth *et al.* (2006)

จากแบบจำลองในภาพที่ 16 ตัวแปรเข้าของนิวรอนถูกนำมารวมกัน โดยใช้ฟังก์ชันมูลฐาน ก่อนที่ตัวแปรออกที่ออกจากฟังก์ชันมูลฐานและถูกแปลงด้วยฟังก์ชันกระตุ้น แสดงดังสมการที่ 11

$$u_i = \sum w_{ij}x_j + w_{i,n+1} \quad (11)$$

โดยที่ x_j คือ ค่าตัวแปรออกจากนิวรอนในชั้นก่อนหน้านิวรอนในชั้นปัจจุบัน
 w_{ij} คือ ค่าน้ำหนักที่ใช้ในการเชื่อมต่อนิวรอนในชั้นปัจจุบันกับนิวรอนในชั้นถัดไป
 n คือ จำนวนนิวรอนในชั้นปัจจุบัน

ผลรวมของตัวแปรเข้าจากสมการที่ 11 จะถูกแปลงด้วยฟังก์ชันกระตุ้นเป็นตัวแปรออกของนิวรอน แสดงดังสมการที่ 12

$$o_i = \Omega(u_i) \quad (12)$$

โดยที่ o_i คือ ค่าตัวแปรออกของนิวรอน สามารถเป็นค่าตัวแปรเข้าของนิวรอนตัวอื่นในชั้นถัดไป หรือเป็นค่าตัวแปรออกของโครงข่ายประสาทเทียม
 Ω คือ ฟังก์ชันกระตุ้น

6.2.6. การปรับขอบเขตและกำหนดช่วงของข้อมูลที่ใช้ฝึก (scaling and limiting) การปรับขอบเขตของชุดข้อมูลทั้งหมดให้อยู่ในช่วงตั้งแต่ -1 ถึง 1 เพื่อให้ขอบเขตของข้อมูลอยู่ในช่วงการทำงานของฟังก์ชันการเปลี่ยน

6.2.7. ค่าผิดพลาด (error) การฝึกการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม จะใช้ค่าผิดพลาดระหว่างตัวแปรออกของโครงข่ายประสาทเทียมกับข้อมูลเป้าหมาย ไปใช้ในการปรับค่าน้ำหนัก รูปแบบที่ใช้ในการปรับขึ้นอยู่กับแนวทางการฝึกโครงข่ายประสาทเทียมที่เลือกใช้

6.2.8. อัตราการเรียนรู้ (learning rate) อัตราการเรียนรู้ที่มีค่าสูง จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้ง่าย แต่จะทำให้โครงข่ายประสาทเทียมเกิดการแกว่ง กล่าวคือ มีการลดลงของค่าผิดพลาดอย่างรวดเร็วและลดลงมากเกินไป

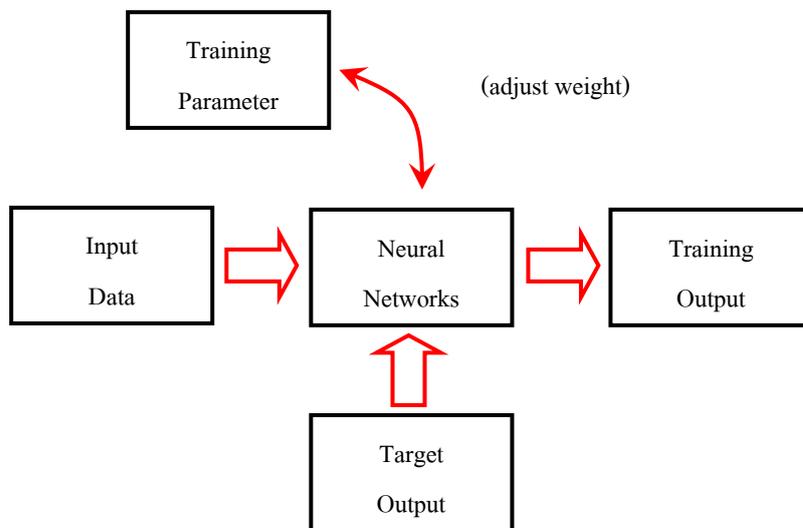
6.3. กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

กระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมมี 2 ลักษณะ (Demuth *et al.*, 2006)

คือ

6.3.1. การเรียนรู้แบบมีการสอน (supervised learning)

การใช้รูปแบบของชุดข้อมูลคู่ตัวแปรเข้า-ตัวแปรออก เพื่อให้โครงข่ายได้เรียนรู้หาความสัมพันธ์ภายในของตัวแปรเข้าต่างๆ เพื่อให้ได้ตัวแปรออกของโครงข่ายใกล้เคียงหรือตรงกับตัวแปรออกที่กำหนด ดังนั้นการเรียนรู้แบบนี้ ถ้าตัวแปรออกที่ได้ไม่ตรงกับค่าตัวแปรออกที่ต้องการ (target output) โครงข่ายจะส่งข้อมูลความคลาดเคลื่อนกลับไปปรับแก้ค่าต่างๆ ที่เชื่อมโยงในโครงข่าย เพื่อให้ได้ตัวแปรออกที่มีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับค่าตัวแปรออกที่ต้องการ ดังภาพที่ 17



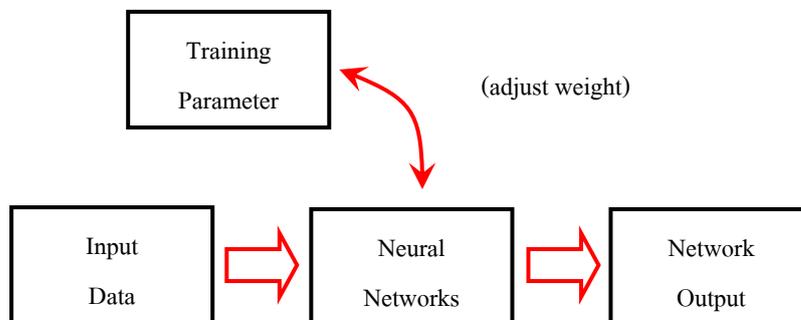
ภาพที่ 17 โครงสร้างของการเรียนรู้แบบมีการสอน

ที่มา: Demuth *et al.* (2006)

6.3.2. การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน (unsupervised learning)

การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด วงจรข่ายจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล จะสร้างค่าน้ำหนักที่เชื่อมโยงกับตัวแปรเข้าให้

มีความเข้มแข็ง เพื่อให้ตอบสนองได้ดีกับค่าตัวแปรออกที่ต้องการ ผลลัพธ์ที่ได้ วงจรข่ายจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้ (เปรียบเทียบกับคน เช่น การที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของมันได้เองโดยไม่มีใครสอน) ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 โครงสร้างของการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน

ที่มา: Demuth *et al.* (2006)

6.4. การประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียม (Patterson, 1996)

6.4.1. การจดจำรายละเอียด (content addressable memories)

โครงข่ายประสาทเทียมบางชนิดสามารถเรียนรู้และจดจำรูปแบบ เมื่อมีการพบรูปแบบเดิมที่เคยเรียนรู้ก็จะมี การเชื่อมโยงกับรูปแบบเดิมที่เคยเรียนรู้ ในการนี้ถึงรูปแบบที่เรียนรู้ ทั้งการพบรูปแบบที่เรียนรู้โดยตรง หรือแบบที่มีการบิดเบือนและแตกต่างออกไป ซึ่งเมื่อพบรูปแบบที่เรียนรู้ ระบบนี้เรียกว่า การเชื่อมโยงอัตโนมัติ แต่ถ้าพบรูปแบบที่แตกต่างออกไป ระบบนี้เรียกว่า การเชื่อมโยงที่ต่างกัน

6.4.2. การควบคุม (control)

โครงข่ายประสาทเทียมถูกนำมาใช้ในการควบคุม เนื่องจากมีประสิทธิภาพ เช่น การควบคุมหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ การขับเคลื่อน โดยระบบโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกฝึกฝนในเรื่องของการขับเคลื่อน โดยฝึกการควบคุมตำแหน่ง ซึ่งโรงงานที่มีการใช้โครงข่าย

ประสาทเทียมจะประหยัดพลังงานไฟฟ้า และโรงงานเคมีมีการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการควบคุมกระบวนการผลิต การใช้วัตถุบีบอัดข้อมูล

6.4.3. การบีบอัดข้อมูลและการทำแผนภาพ (data compression and general mapping)

โครงข่ายบางชนิดถูกฝึกให้เรียนรู้การคำนวณเพื่อใช้ลดรูปแบบของตัวแปรเข้า เช่น ตัวแปรเข้ามี n มิติ แต่เมื่อผ่านโครงข่ายประสาทเทียม ตัวแปรเข้าจะเหลือ m มิติ ($m < n$) ซึ่งเป็นการแปลงให้อยู่ในรูปสัญลักษณ์ของกลุ่มที่เหมือนกัน การบีบอัดข้อมูลมักนำไปใช้ในการรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งนำไปใช้ในกรณีของการประมวลผลภาพ

6.4.4. การวินิจฉัย การวิเคราะห์ (diagnostics)

โครงข่ายประสาทเทียมมีการนำไปใช้ในการวินิจฉัย หรือวิเคราะห์ เช่น ทางยา ทางวิศวกรรม หรือในโรงงาน ใช้ในการแก้ปัญหาการจำแนก ที่ต้องอาศัยการเชื่อมโยงที่ถูกต้อง ระหว่างรูปแบบของตัวแปรเข้า ที่อาจเป็นตัวแทนของโรค หรือพฤติกรรมที่ผิดปกติที่อาจเป็นผลจากความผิดปกติของอุปกรณ์ เครื่องมือ หรือจากการขาดสารอาหาร

6.4.5. การคาดการณ์ พยากรณ์ (forecasting)

การพยากรณ์ถูกนำไปใช้ในหลายสาขา เช่น นักอุตุนิยมวิทยาที่ต้องการการพยากรณ์สภาพอากาศ ธนาคารที่ต้องการคาดการณ์ความน่าเชื่อถือของลูกค้า เพื่อใช้ตัดสินใจในการปล่อยกู้ โดยโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเครื่องมือที่ถูกนำไปใช้แล้วได้ผลสำเร็จ โดยโครงข่ายประสาทเทียมใช้ทำนายการเกิดของเหตุการณ์ว่าเหตุการณ์นั้นจะเกิดหรือไม่ การคาดการณ์เวลาที่ จะเกิดเหตุการณ์ โดยการคาดการณ์นั้นต้องอยู่ในระดับความถูกต้องที่ยอมรับได้ โดยโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกฝึกฝนจากตัวอย่างรูปแบบผลลัพธ์ที่ผ่านมาในอดีต โครงข่ายประสาทเทียมจะทำการเชื่อมโยงเพื่อทำนายผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในอนาคต

6.4.6. การรวบรวมคำสั่งของเครื่องส่งสัญญาณหลายเครื่อง (multisensor data fusion)

โครงข่ายประสาทเทียมสามารถใช้ในการรวบรวมข้อมูลของเครื่องส่งสัญญาณหลายๆ แหล่งได้ โดยนำมาประมวลผลร่วมกัน กระบวนการรวม ได้แก่ การตรวจจับ การเชื่อมโยง การสัมพันธ์ การประมาณ และการรวมข้อมูล

6.5. การประมวลผลแบบย้อนกลับ (backpropagation) (Demuth *et al.*, 2006)

การประมวลผลแบบย้อนกลับเป็นอัลกอริทึมที่ใช้การเรียนรู้แบบมีการสอนของโครงข่ายประสาทเทียมวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ใน multilayer perceptron เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้อาจขึ้นกับความแตกต่างของค่าที่ได้รับที่คำนวณได้กับค่าที่ได้รับที่ต้องการ การประมวลผลแบบย้อนกลับมีขั้นตอนดังนี้

6.5.1. ขั้นแรกของการประมวลผลแบบย้อนกลับต้องสร้างโครงข่าย (creating a network) ซึ่งกำหนดค่าทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ ค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุดของแต่ละปัจจัยในตัวแปรเข้าของแต่ละชั้น ซึ่งหมายถึงจำนวนหน่วยประสาทในแต่ละชั้น ฟังก์ชันการเปลี่ยน และชนิดของฟังก์ชันการฝึกฝน (training function)

6.5.2. ค่าน้ำหนักและค่าเอนเอียงของข้อมูลเบื้องต้น ก่อนการฝึกเรียนรู้จะถูกกำหนดค่าเริ่มต้น (initializing weight) จากการสุ่ม

6.5.3. ตัวแปรเข้าที่ป้อนเข้าไปครั้งแรกเป็นตัวแปรเข้าของชั้นที่ 1 เมื่อผ่านการคำนวณในชั้นที่ 1 ร่วมกับค่าน้ำหนักและค่าเอนเอียงของข้อมูล ก็จะได้ตัวแปรออกของชั้นที่ 1 ซึ่งตัวแปรออกของชั้นที่ 1 เป็นตัวแปรเข้าของชั้นที่ 2 และตัวแปรออกชั้นที่ 2 เป็นตัวแปรเข้าของชั้นถัดไป เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

6.5.4. การปรับค่าน้ำหนักและค่าเอนเอียงของข้อมูล คำนวณจากตัวแปรออกของชั้นสุดท้ายเปรียบเทียบกับตัวแปรออกของข้อมูลจริง ค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรออกที่ได้จะส่งกลับไปเพื่อปรับค่าน้ำหนักและค่าเอนเอียงของข้อมูล

6.5.5. การปรับค่าน้ำหนักและค่าเอนเอียงของข้อมูล โดยค่าน้ำหนักและค่าเอนเอียงของข้อมูลเดิมจะถูกปรับจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ในขั้นที่ผ่านมา

6.5.6. ทำซ้ำขั้นที่ 1-5 ของทุกๆ ตัวอย่างที่ใช้ในการฝึกเรียนรู้จำ

6.6. กระบวนการฝึกฝน (Demuth *et al.*, 2006)

การฝึกฝนค่าน้ำหนักและค่าเอนเอียงของข้อมูลของโครงข่ายจะถูกปรับเพื่อให้ประสิทธิภาพของโครงข่ายสูงที่สุด รูปแบบการวัดค่าประสิทธิภาพของโครงข่ายที่ประมวลผลแบบย้อนกลับ คือ Mean Squared Error (MSE) ซึ่งคือ ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนระหว่างตัวแปรออกจากโครงข่ายกับตัวแปรออกจริงๆ ยกกำลังสอง

6.6.1. การฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent (Traingd)

การฝึกฝนแบบนี้เป็นการฝึกที่ค่าน้ำหนักและค่าเอนเอียงของข้อมูลถูกปรับจากผลต่างของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน

6.6.2. การฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent with Momentum (Traingdm)

การฝึกแบบนี้ถูกพัฒนาให้มีความเร็วในการไปถึงจุดที่เหมาะสมเร็วกว่าการฝึกแบบ Traingd โดยมีการใช้โมเมนตัมเข้ามาช่วยเพิ่มการเรียนรู้แบบย้อนกลับ โดยการเปลี่ยนค่าน้ำหนักให้เท่ากับผลรวมสัดส่วนระหว่างค่าน้ำหนักสุดท้ายที่เปลี่ยนกับค่าน้ำหนักที่ต้องการให้เปลี่ยน ขนาดการเปลี่ยนค่าน้ำหนักขึ้นกับค่าโมเมนตัมที่ตั้งไว้ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

6.6.3. การฝึกฝนแบบ Batch Gradient Descent with Adaptive Learning Rate (Traingda)

ประสิทธิภาพของการคำนวณขึ้นกับอัตราการเรียนรู้ ถ้าอัตราการเรียนรู้สูงการคำนวณจะแกว่งและไม่เสถียร แต่ถ้าอัตราเรียนรู้ต่ำจะใช้เวลาในการคำนวณนานกว่าจะถึงจุดที่เหมาะสม ดังนั้นจึงไม่สามารถบอกได้ว่าควรตั้งอัตราเรียนรู้ไว้ที่เท่าไร แต่ความจริงแล้วอัตราการ

เรียนรู้ที่เหมาะสมควรจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ระหว่างการฝึกฝน การเปลี่ยนแปลงอัตราการเรียนรู้ต้องพยายามรักษามหาภาคการเรียนรู้ที่เป็นไปได้ เพื่อให้การเรียนรู้เสถียร การเปลี่ยนค่าอัตราการเรียนรู้ต้องดูจากสภาพแวดล้อมทั่วไปด้วย ถ้าอัตราเรียนรู้มากแต่ผลการเรียนรู้ค่อนข้างคงที่ อัตราการเรียนรู้ก็จะเพิ่มขึ้นอีก แต่ถ้าเพิ่มอัตราเรียนรู้แล้วค่าความคลาดเคลื่อนลดลง อัตราการเรียนรู้จะลดลงจนกระทั่งค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างคงที่

6.6.4. การฝึกฝนแบบ Resilient Backpropagation (Trainrp)

การฝึกแบบนี้ ฝึกเพื่อกำจัดผลของการลดอนุพันธ์ ซึ่งสัญลักษณ์ของอนุพันธ์จะถึงทิศทางการปรับค่าน้ำหนัก แต่ขนาดของอนุพันธ์ไม่มีผลต่อการปรับขนาดค่าน้ำหนัก

6.6.5. การฝึกฝนแบบ Conjugate Gradient Descent Backpropagation

การฝึกแบบนี้ต่างจากการคำนวณทั่วไป เนื่องจากการคำนวณทั่วไปจะเน้นอัตราการเรียนรู้เท่านั้น แต่การฝึกฝนแบบนี้เน้นขนาดในการขยับแต่ละครั้ง รูปแบบการหาขนาดในการขยับมีหลายแบบ เช่น Fletcher-Reeves Update (Traincgrf), Polak-Ribiere Update (Traincgp), Powell-Beale Restarts (Traincgb) และ Scaled Conjugate Gradient (Trainscg)

6.6.6. การฝึกฝนแบบ Quasi-Newton

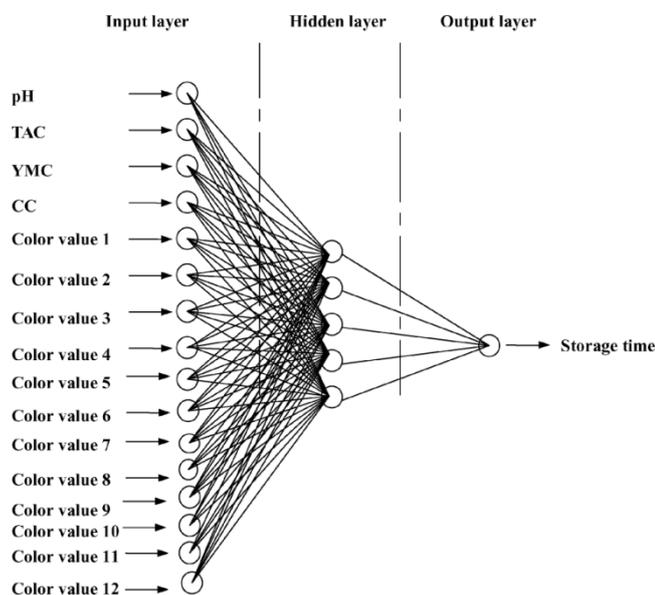
การคำนวณของ Newton เป็นรูปแบบที่แตกต่างจากแบบ Conjugate Gradient Descent เพื่อให้มีความเร็วที่สูงขึ้น แต่การคำนวณจะยากและซับซ้อนขึ้น รูปแบบการคำนวณ เช่น BFGS Algorithm (Trainbgf) และ One Step Descent Algorithm (Trainoss)

6.6.7. การฝึกฝนแบบ Levenberg-Marquardt (Trainlm)

จากวิธีของ Newton ที่เป็นวิธีที่ดี เนื่องจากเป็นวิธีการคำนวณที่จะทำให้โครงข่ายถึงจุดที่เหมาะสมได้เร็วขึ้น แต่มีข้อเสียคือใช้วิธีการคำนวณที่ซับซ้อนมาก ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีใหม่ต่อจากวิธีของ Newton คือวิธีของ Levenberg-Marquardt

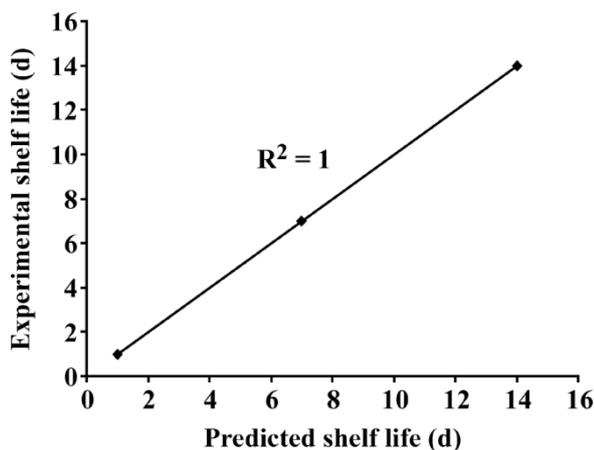
6.7. การประยุกต์โครงข่ายประสาทเทียมในวัสดุอาหาร

Sofu and Ekinici (2007) ได้ศึกษาการทำนายอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา โดยการตรวจนับจุลินทรีย์ วัดค่าความเป็นกรดต่าง วันที่ 1, 7 และ 14 และจำลองการฉายภาพลักษณะปรากฏของสีที่เปลี่ยนแปลงไปบนผิวโยเกิร์ต โดยใช้เครื่อง machine vision system (MVS) และสร้างสมการเพื่อทำนายอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตแบบ set-type ของโยเกิร์ตไขมันเต็มส่วน (whole-fat) และโยเกิร์ตไขมันต่ำ แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบ backpropagation โดยใช้ชั้นเดียวและใช้ฟังก์ชันแบบซิกมอยด์ ค่าตัวแปรเข้าคือ ค่าความเป็นกรดต่าง แบบที่เรียกใช้ อากาศทั้งหมด ยีสต์ รา โคลิฟอร์ม และสีที่ได้จากเครื่องวัด ค่าที่ต้องการทำนาย คือ อายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ต แสดงดังภาพที่ 19 แบบจำลองที่สร้างขึ้นให้ผลที่ได้ระหว่างค่าจากการทดลองและค่าของการทำนายใกล้เคียงกัน (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ = 0.9996) ดังภาพที่ 20 แสดงว่าการพัฒนาแบบจำลองนี้ สามารถวิเคราะห์ข้อมูลแบบไม่เชิงเส้นหลายตัวแปรได้



ภาพที่ 19 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ทำนายอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตโดยวิธี MVS

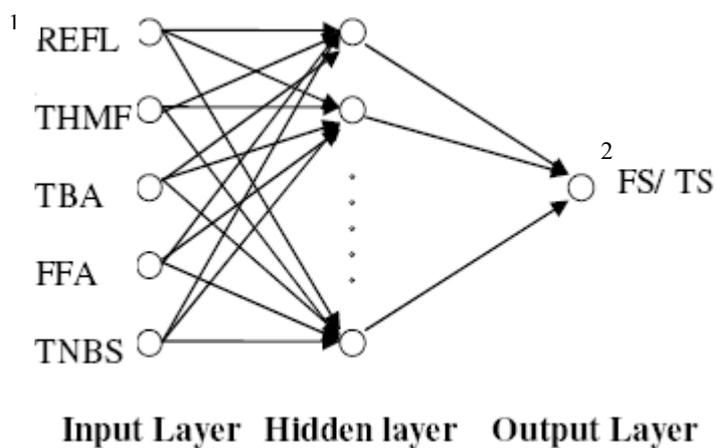
ที่มา: Sofu and Ekinici (2007)



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองและค่าการทำนายอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ต

ที่มา: Sofu and Ekinici (2007)

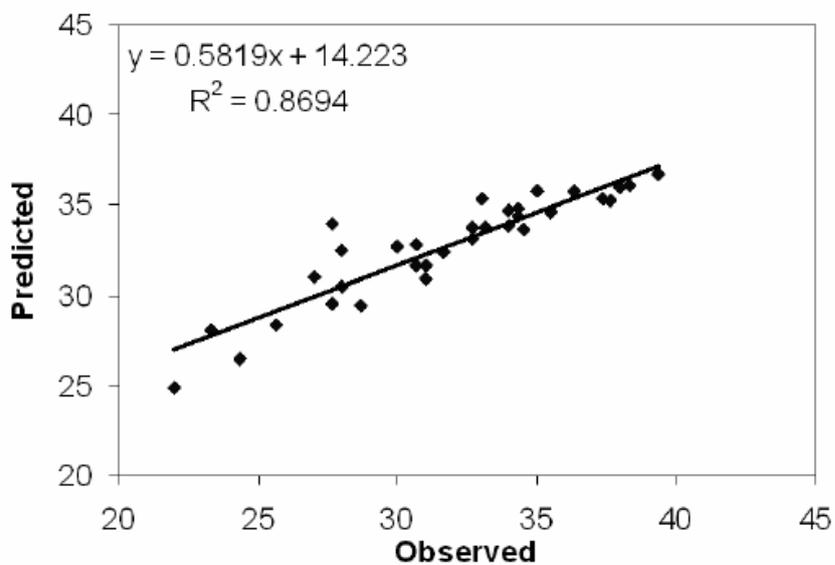
Singh *et al.* (2008) ได้ศึกษาการทำนายคุณภาพทางประสาทสัมผัสของนม UHT โดยใช้การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและโครงสร้างประสาทเทียม ทำการเก็บนม UHT ที่อุณหภูมิ 9, 15, 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ Proteolytic, Lipolytic, Oxidative และปฏิกิริยามลลาร์ด ค่าตัวแปรเข้าคือ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในแต่ละอุณหภูมิ ส่วนค่าตัวแปรออกคือ คะแนนรสชาติและคะแนนทางประสาทสัมผัสโดยรวม แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบหลายชั้น ใช้การฝึกเรียนรู้แบบ backpropagation และใช้อัลกอริทึมแบบ Bayesian ดังภาพที่ 21 พบว่าแบบจำลองทำนายคะแนนรสชาติและคะแนนทางประสาทสัมผัสโดยรวม มีความแม่นยำ 86.94 และ 91.72 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 22 และ 23 ตามลำดับ



ภาพที่ 21 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ทำนายคุณภาพทางประสาทสัมผัสของนม UHT

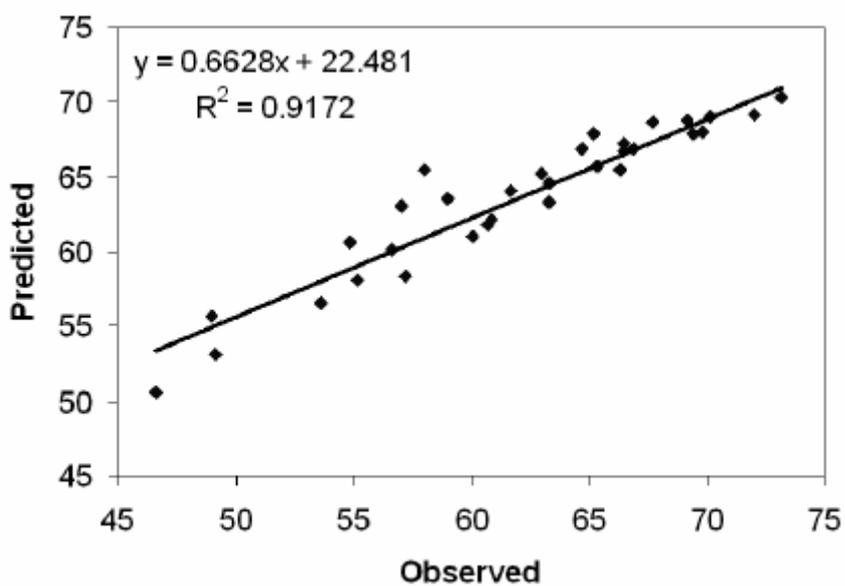
หมายเหตุ ¹ REFL – reflectance value (Colour), THMF – total hydroxymethyl furfural (Browning), TBA – thiobarbituric acid (Oxidation), FFA – free fatty acid (Lipolysis), TNBS – trinitrobenzene sulphonic acid (Proteolysis), ² FS – Flavor Score, TS – Total Sensory Score

ที่มา: Singh *et al.* (2008)



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองและค่าของการทำนายของแบบจำลองที่ 1

ที่มา: Singh *et al.* (2008)



ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากการทดลองและค่าของการทำนายของแบบจำลองที่ 2

ที่มา: Singh *et al.* (2008)

Razmi-Rad *et al.* (2007) ได้ศึกษาการทำนายสมบัติทางวิหทยระแสของโคจนมปิงของชาวอิหร่าน จากส่วนประกอบทางเคมีของแป้งสาลี โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ตัวแปรเข้ามี 4 ตัวแปร คือ ปริมาณโปรตีนทั้งหมด น้ำหนักกลูเตน ค่าการตกตะกอน และ falling number ส่วนตัวแปรออกที่ต้องการมี 6 ตัวแปร คือ การดูดซึมน้ำ เวลาการเกิดโด เวลาคงที่ของโด ระดับความนุ่มของโดหลัง 10 และ 20 นาที และค่า calorimetric แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบหลายชั้น ใช้การฝึกเรียนรู้แบบ backpropagation และใช้ฟังก์ชันแบบซิกมอยด์ แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีชั้นซ่อน 1 ชั้นและมีนิวรอน 17 นิวรอน จากการสร้างแบบจำลองและทวนสอบสมการ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.8251 และ 0.801 ตามลำดับ

Rai *et al.* (2005) ได้ศึกษาการทำนายความหนืดของน้ำผลไม้ที่ผ่านการจัดสิ่งสกปรก โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับผลกระทบของความเข้มข้นและอุณหภูมิ ผลไม้ที่นำมาศึกษา คือ ส้ม, พีช, แอปเปิ้ล, *Malus floribunda* และแบลคเบอร์รี่ จากการตรวจเอกสารของ Rai และคณะพบว่า ความหนืดของน้ำผลไม้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.53-3300 mPa.s น้ำผลไม้มีความเข้มข้น 5-70 องศาบริกซ์ และอุณหภูมิที่วัดค่าความหนืดอยู่ในช่วง 30.7-71.7 องศาเซลเซียส ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้า ชั้นซ่อนและชั้นตัวแปรออก โดยชั้นตัวแปรเข้ามี 2 ตัวแปร คือ ความเข้มข้นของน้ำผลไม้และอุณหภูมิในการวัดค่าความหนืด ชั้นซ่อนมี 2 ชั้นๆ ละ 2 โหนด และชั้นตัวแปรออกมี 1 ตัวแปร คือ ค่าความหนืด ในการศึกษาครั้งนี้มีข้อมูลทั้งหมด 322 ชุด ข้อมูล ข้อมูลถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยการสุ่ม โดยกลุ่มแรกใช้สำหรับฝึกเรียนรู้จามีข้อมูล 270 ชุด ข้อมูลและกลุ่มที่ 2 ใช้สำหรับการทวนสอบสมการมีข้อมูล 52 ชุดข้อมูล แบบจำลองของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบหลายชั้น ใช้การฝึกเรียนรู้แบบ backpropagation และใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบ hyperbolic tangent sigmoid จากการสร้างแบบจำลองและทวนสอบสมการ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.949 และ 0.9648 ตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบและเคมีภัณฑ์

- 1.1. นมสดพาสเจอร์ไรส์ ทางการค้า ตรา A
- 1.2. นมสดพาสเจอร์ไรส์ ทางการค้า ตรา B แบบพร้อมมันเนย
- 1.3. นมดิบ จากฟาร์มโคนม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม
- 1.4. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ทางการค้า ตรา C แบบพร้อมมันเนย รสส้ม
- 1.5. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ทางการค้า ตรา C แบบขาดมันเนย รสธรรมชาติ
- 1.6. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ทางการค้า ตรา D กลิ่นส้ม
- 1.7. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ทางการค้า ตรา E รสส้ม
- 1.8. เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น (Starter Culture) เป็นเชื้อผสมระหว่างแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ

Streptococcus thermophilus กับ *Lactobacillus bulgaricus* (YC-380), Freeze-dried DVS (Chr. Hansen, USA) จากบริษัท อีสต์ เอเชียติก ไทยแลนด์ จำกัด

- 1.9. เพกติน ชนิด CM 203 ของบริษัท บูรพาชีพ จำกัด
- 1.10. น้ำตาล
- 1.11. กรดซิตริกเข้มข้น 0.69 เปอร์เซ็นต์
- 1.12. โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N
- 1.13. ฟีนอล์ฟทาลีน 1 เปอร์เซ็นต์
- 1.14. สารละลายเปปโทน 1 เปอร์เซ็นต์
- 1.15. น้ำดื่ม
- 1.16. น้ำกลั่น

2. เครื่องมือ

- 2.1. เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบแกว่งออก (Funke Gerber Super Vario-N, Germany)
- 2.2. เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบกำหนดมุมเอียง (Centurion 1000 series, U.K.)
- 2.3. เครื่องวิเคราะห์ไขมันในนมอัตโนมัติ (Lactoscan serial 4977, Europe)
- 2.4. เครื่องปั่นผสม (Blender)
- 2.5. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิทัล (Julabo TD300, Germany)
- 2.6. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Sartorius Analytic AC210S, USA.)
- 2.7. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (Consort C830, Belgium)
- 2.8. เครื่องคอมพิวเตอร์ (Intel Pentium M 1.5 GHz, Ram 1.23 GB)
- 2.9. หลอดทดลองแบบฝาเกลียว ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 2.10. หลอดทดลองแบบฝาเกลียว ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 2.11. หลอดวิเคราะห์ไขมัน 10% แบบเกอร์เบอร์ (Butyrometer)
- 2.12. ขวดพลาสติกแบบทนความร้อนสูงขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.13. หลอดทดลอง
- 2.14. Eelenmeyer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.15. หลอดหยด
- 2.16. ตู้อบ
- 2.17. ตู้เย็น
- 2.18. ตะเกียงแอลกอฮอล์
- 2.19. อ่างน้ำร้อน ควบคุมอุณหภูมิ
- 2.20. จานเพาะเชื้อ

วิธีการ

1. การศึกษาลักษณะการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ จากการเตรียมในห้องทดลอง

1.1. การศึกษาการผลิตโยเกิร์ต

ตัวอย่างนมที่ใช้ในการศึกษา คือ นมดิบ นมสดพาสเจอร์ไรส์ ตรา A และนมสดพาสเจอร์ไรส์ ตรา B แบบพร้อมมันเนย โดยนมดิบได้จากโคนม ตอนเช้า ที่ฟาร์มมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และนำมาพาสเจอร์ไรส์ด้วยระบบเปิด ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที โดยองค์ประกอบน้ำหนักของตัวอย่างนมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ไขมันในนม แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 องค์ประกอบน้ำหนักของตัวอย่างนมจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ไขมันในนม

ชนิดของนม	นมดิบ	นมพาสเจอร์ไรส์	นมพร้อมมันเนย
ปริมาณไขมัน (%)	4	3.5	1.91
ปริมาณของแข็งไม่รวมมันเนย (%)	8.2	8.4	8.46
ปริมาณโปรตีน (%)	3	3	2.88
ปริมาณแลคโทส (%)	4.45	4	4.85

วิธีการเตรียมนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.1.1. ขั้นตอนการเตรียมโยเกิร์ต

อุ่นนมให้ได้อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส นำมาผสมกับเชื้อเริ่มต้น 1 เปอร์เซ็นต์ แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิลงทันที เมื่อค่าความเป็นกรดโดยรวมมีค่าประมาณ 1.2 เปอร์เซ็นต์ และนำโยเกิร์ตไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส

1.1.2. ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย

ผสมน้ำตาลทรายกับผงเพคตินให้เข้ากันดี นำไปละลายในน้ำร้อน จากนั้นลดอุณหภูมิ เพื่อเตรียมผสมกับโยเกิร์ต โดยสารละลายมีสัดส่วนน้ำตาลทราย 13 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของปริมาณสารละลายทั้งหมด โดยเตรียมสารละลาย 4 สารละลายที่ปริมาณเพคตินแตกต่างกัน คือ 0, 0.2, 0.3 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และในแต่ละปริมาณเพคติน ทดสอบการละลายในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 3 อุณหภูมิ คือ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส และผสมโยเกิร์ตกับสารละลายที่อุณหภูมิประมาณ 25-35 องศาเซลเซียส

1.1.3. ขั้นตอนการทำนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

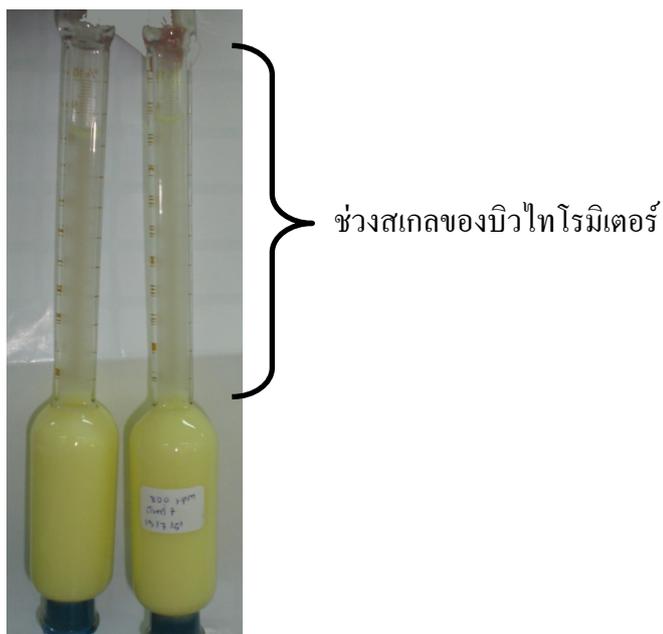
นำโยเกิร์ตที่เตรียมมาผสมกับสารละลายในสัดส่วนการผสมระหว่างโยเกิร์ตกับสารละลายที่ 55:45 และ 60:40 โดยน้ำหนัก นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นผสมเป็นเวลา 5 นาที พาสเจอร์ไรส์ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงเหลือ 5 องศาเซลเซียส แล้วบรรจุลงในภาชนะที่ผ่านการฆ่าเชื้อ

1.2. การศึกษาการปั่นเหวี่ยงนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออกกับการวิเคราะห์ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา

เตรียมนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น นำไปวิเคราะห์ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา จากนั้นนำนมเปรี้ยวไปปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ที่มีค่า relative centrifugal force (RCF) เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g จำนวนดังสมการที่ 13 ใช้เวลาปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 4 นาที โดยในแต่ละค่าใช้ตัวอย่างทดสอบ 4 ตัวอย่าง สังเกตการแยกชั้นในช่วงสเกลของบิวไทโรมิเตอร์ ดังภาพที่ 24 โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 7 วัน เป็นเวลา 28 วัน มีการเติมสีผสมอาหารลงในตัวอย่างนมที่ใช้ทดสอบการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เพื่อให้เห็นการแยกชั้นชัดเจน

$$RCF = 1.12 \times 10^{-6} \times R \times N^2 \quad (13)$$

โดยที่ R เป็นรัศมีจากจุดศูนย์กลางถึงหลอดตัวอย่าง
N เป็นความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (รอบต่อนาที)



ภาพที่ 24 การแยกชั้นในช่วงสเกลของบิวโทโรมิเตอร์

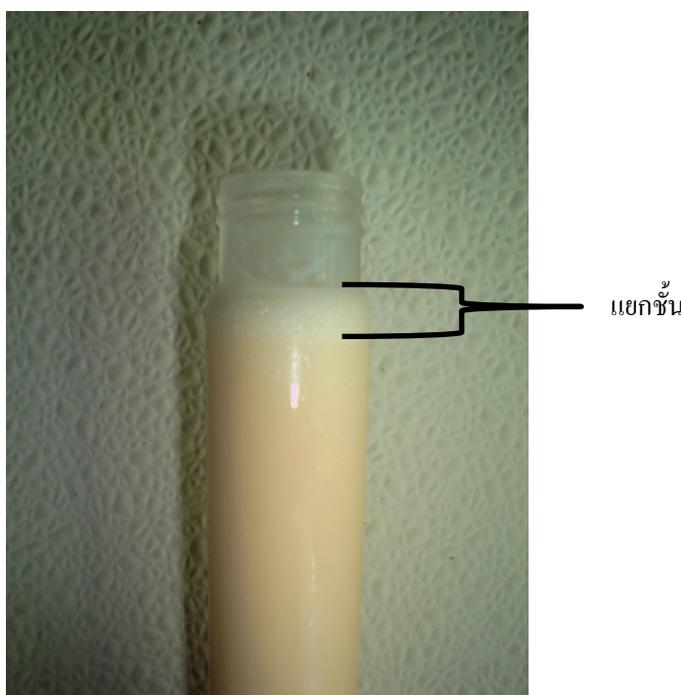
2. ศึกษาการปั่นเหวี่ยงนมเปรี้ยวพร้อมคัมพาสเจอร์ไรส์ ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบกำหนดมุมเอียง

ตัวอย่างนมที่ใช้ในการทดลอง คือ นมเปรี้ยวพร้อมคัมพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย รสส้ม และตรา C แบบขาดมันเนย รสธรรมชาติ โดยส่วนประกอบนมเปรี้ยวและองค์ประกอบน้ำนมแสดงดังตารางที่ 14

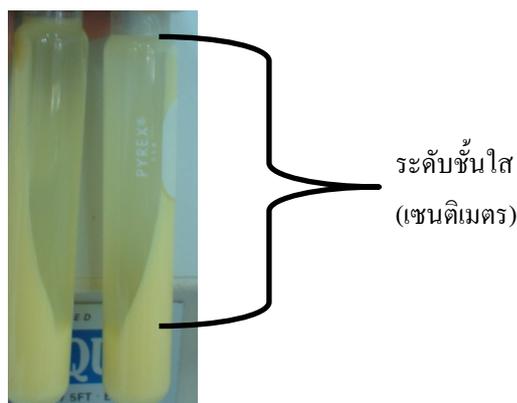
ตารางที่ 14 ส่วนประกอบนมเปรี้ยวและองค์ประกอบน้ำนมของตัวอย่างนมเปรี้ยวที่ใช้ทดลองด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบกำหนดมุมเอียง

	ตรา C แบบพร้อมมันเนย รสส้ม	ตรา C แบบขาดมันเนย รสธรรมชาติ
ส่วนประกอบ	โยเกิร์ต 53 % น้ำตาล 8 % น้ำส้ม 14.5 %	โยเกิร์ตไขมันต่ำ 50 % น้ำตาล 5 %
ปริมาณโปรตีน	1.27 %	1.08 %
ปริมาณไขมัน	0.8 %	0.08 %

ในการทดลองนี้แบ่งนมเปรี้ยวออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใส่หลอดทดลองและปิดฝา เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อสังเกตการแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยว การแยกชั้นที่สังเกตได้เป็นดังภาพที่ 25 นมเปรี้ยวส่วนที่ 2 นำไปวิเคราะห์ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา จากนั้นนำนมเปรี้ยวไปปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ที่ค่า RCF เท่ากับ 60 g, 112 g, 201 g และ 314 g ใช้เวลาปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 4 นาที โดยในแต่ละค่าใช้ตัวอย่างทดสอบ 4 ตัวอย่าง สังเกตการแยกชั้นและวัดระดับความสูงของชั้นใสในหน่วยเซนติเมตร ดังภาพที่ 26 โดยทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 7 วันเป็นเวลา 35 วัน มีการเติมสปีผสมอาหารลงในตัวอย่างนมที่ใช้ทดสอบการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เพื่อให้เห็นการแยกชั้นชัดเจน



ภาพที่ 25 การแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยวพร้อมดีมฟาสเจอร์ไรส์



ภาพที่ 26 ระดับชั้นใสของนมเปรี้ยว หลังการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

3. ศึกษาการปั่นเหวี่ยงนมเปรี้ยวพร้อมคีมีพาสเจอร์ไรส์ ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออก

ตัวอย่างนมที่ใช้ในการทดลอง คือ นมเปรี้ยวพร้อมคีมีพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย รสส้ม, ตรา C แบบขาดมันเนย รสธรรมชาติ, ตรา D กลิ่นส้ม, และตรา E รสส้ม โดยส่วนประกอบนมเปรี้ยวและองค์ประกอบน้ำนมแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ส่วนประกอบนมเปรี้ยวและองค์ประกอบน้ำนมของตัวอย่างนมเปรี้ยวที่ใช้ทดลองด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออก

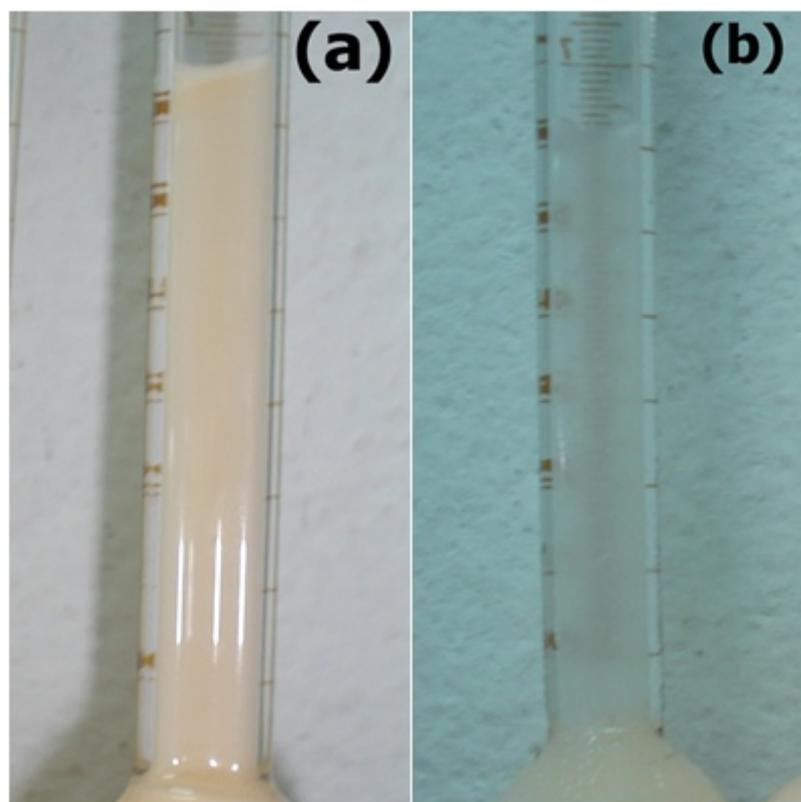
	ตรา C แบบพร้อมมันเนย รสส้ม	ตรา C แบบขาดมันเนย รสธรรมชาติ	ตรา D กลิ่นส้ม	ตรา E รสส้ม
ส่วนประกอบ	โยเกิร์ต 53 % น้ำตาล 8 % น้ำส้ม 14.5 %	โยเกิร์ตไขมันต่ำ 50 % น้ำตาล 5 %	โยเกิร์ต 55 % น้ำตาล 13 %	โยเกิร์ต 53 % น้ำส้ม 25 %
ปริมาณโปรตีน	1.27 %	1.08 %	1.53 %	1.18 %
ปริมาณไขมัน	0.8 %	0.08 %	1.71 %	1.06 %

ในการทดลองนี้แบ่งนมเปรี้ยวออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกใส่หลอดทดลองและปิดฝา เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เพื่อสังเกตการแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยวเช่นเดียวกับการ

ทดลองในข้อ 2 และนมเปรี้ยวส่วนที่ 2 นำไปวิเคราะห์ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา จากนั้นนำนมเปรี้ยวไปปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g เป็นเวลา 4 นาที โดยในแต่ละค่าใช้ตัวอย่างทดสอบ 4 ตัวอย่าง สังเกตการแยกชั้นในช่วงสเกลของบิวไทโรมิเตอร์ และให้คะแนนการแยกชั้น ดังตารางที่ 16 โดยลักษณะปรากฏตามลำดับคะแนน แสดงดังภาพที่ 27 ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 7 วัน เป็นเวลา 35 วัน มีการเติมสีผสมอาหารลงในตัวอย่างนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย รสธรรมชาติ ที่ใช้ทดสอบการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เพื่อให้เห็นการแยกชั้นชัดเจน

ตารางที่ 16 การให้คะแนนการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

คะแนน	ลักษณะปรากฏ
0	เป็นเนื้อเดียว ไม่แยกชั้น
1	แยกชั้น โดยสมบูรณ์



ภาพที่ 27 ลักษณะปรากฏตามลำดับคะแนนหลังปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออก โดย (a) 0 คะแนน (b) 1 คะแนน

4. การวิเคราะห์ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา

การวิเคราะห์ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ทำโดยการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม และจำนวนแบคทีเรียโดยรวม ในการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่างทำโดยใช้เครื่อง pH meter ส่วนการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดโดยรวม และจำนวนแบคทีเรียโดยรวม เป็นไปตามขั้นตอน 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

4.1. การคำนวณหาค่าความเป็นกรดโดยรวมของนม

4.1.1. คุดตัวอย่างนม 9 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดทดลองขนาด 250 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 9 มิลลิลิตร ลงไป เขย่าเบาๆ เพื่อให้ผสมกันดี

4.1.2. คุดฟีนอล์ฟทาลีนจำนวน 0.5 มิลลิลิตร เติมลงไปลงในขวดทดลองและเขย่าให้เข้ากันดี

4.1.3. ทำการไตเตรตกับด่างมาตรฐาน NaOH 0.1 N จนถึงจุดยุติ ซึ่งจะให้สีชมพูแดง คงอยู่เป็นเวลา 30 วินาที จดบันทึกจำนวนต่างที่ใช้ในการไตเตรตในหน่วย มิลลิลิตร

4.1.4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดในนม ในรูปกรดแลคติก (AOAC, 2000) ด้วยสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความเป็นกรด (แลคติก) ในนม} = \frac{\text{จำนวนต่างที่ใช้ในการไตเตรต (มิลลิลิตร)} \times 0.009 \times 100}{\text{ปริมาณของตัวอย่างนม (มิลลิลิตร)}}$$

4.2. การตรวจวิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียโดยรวม โดยวิธี Total plate count

4.2.1. ทำการเจือจางตัวอย่าง 1:10, 1:10², 1:10³, 1:10⁴, 1:10⁵ ด้วย 1% Peptone broth ดังภาพที่ 28 จนได้ระดับการเจือจางที่ต้องการ

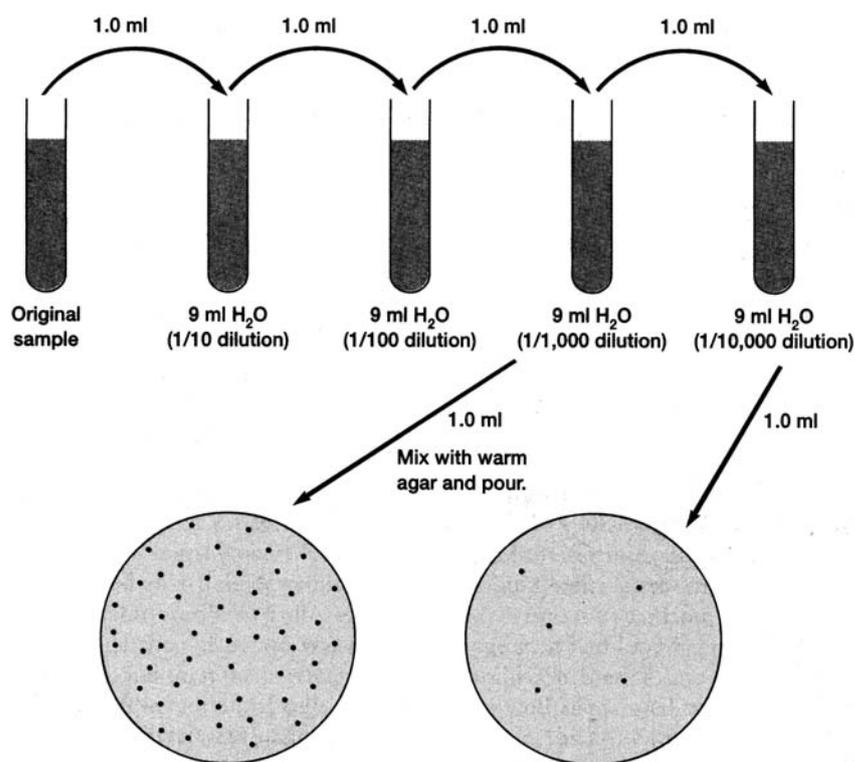
4.2.2. คุดเชื้อที่ระดับการเจือจาง 1:10⁴ และ 1:10⁵ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ทำ 4 จาน

4.2.3. เทอาหาร potato dextrose agar (ผ่านการฆ่าเชื้อและหลอมเหลวอยู่ในอ่างน้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) ลงในงานข้อ 2

4.2.4. ทำการหมวนงานอาหารตามเข็มนาฬิกา 5 รอบ ทวนเข็มนาฬิกา 5 รอบ เคลื่อนงานขึ้นลงตามแนวระนาบ 5 ครั้ง เคลื่อนไปทางซ้ายขวาตามแนวระนาบ 5 ครั้ง เพื่อเป็นการให้เชื้อกระจายตัวให้ทั่วอาหาร

4.2.5. ตั้งทิ้งไว้จนอาหารแข็งตัว ค่ำงานลง บ่ม 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชม.

4.2.6. ให้เลือกงานอาหารที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ประมาณ 30-300 โคโลนี แล้วนับจำนวนจากงานอาหารที่ระดับการเจือจางนั้น หาค่าเฉลี่ยบนจำนวนงานอาหารทั้ง 2 แล้วคำนวณหาจำนวนแบคทีเรียต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง



ภาพที่ 28 การทำเจือจางเป็นลำดับและวิธี pour plate

จำนวนแบคทีเรียต่อมิลลิลิตร = ค่าเฉลี่ยของจำนวนแบคทีเรียบนงานอาหาร 4 งานที่ระดับการเจือจางเดียวกัน \times ส่วนกลับของระดับการเจือจาง มีหน่วยเป็น CFU (colony forming unit) ต่อ มิลลิลิตร

5. การวิเคราะห์การปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโดยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

5.1. การใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบกำหนดมุมเอียง

ขั้นตอนการใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบกำหนดมุมเอียง มีดังนี้

5.1.1. เทตัวอย่างนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

5.1.2. นำหลอดทดลองใส่ลงในเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบกำหนดมุมเอียง (Centurian รุ่น 1000 series)

5.1.3. ตั้งความเร็วในการปั่นเหวี่ยงและเวลา

5.1.4. สังเกตการแยกชั้นและวัดระดับการแยกชั้นเป็นเซนติเมตร

5.2. การใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออก

5.2.1. เทตัวอย่างนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม 22 – 25 มิลลิลิตร ลงในหลอดบิวไทโรมิเตอร์ ขนาด 10 เปอร์เซ็นต์ไขมัน

5.2.2. นำหลอดทดลองใส่ลงในเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบแกว่งออก ตั้งความเร็วในการปั่นเหวี่ยงและเวลา

5.2.3. สังเกตการแยกชั้นในช่วงสเกลของบิวไทโรมิเตอร์

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม จำนวนแบคทีเรียโดยรวมและระดับการแยกชั้นจากการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบกำหนดมุมเอียง ด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล (comparison test) แบบ Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL)

7. การศึกษาการสร้างสมการทำนายการแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

7.1. การสร้างสมการจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ที่ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบกำหนดมุมเอียง

นำค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม จำนวนแบคทีเรียโดยรวม ระดับชั้นใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ค่า RCF เท่ากับ 60 g, 112 g, 201 g และ 314 g และจำนวนวันการแยกชั้นจริง จากการเก็บข้อมูลในช่วงอายุการเก็บรักษาของนมเปรี้ยว วันที่ 0, 7, 14, 21, 28 และ 34 มาใช้สร้างสมการ โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อทำนายการแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยว

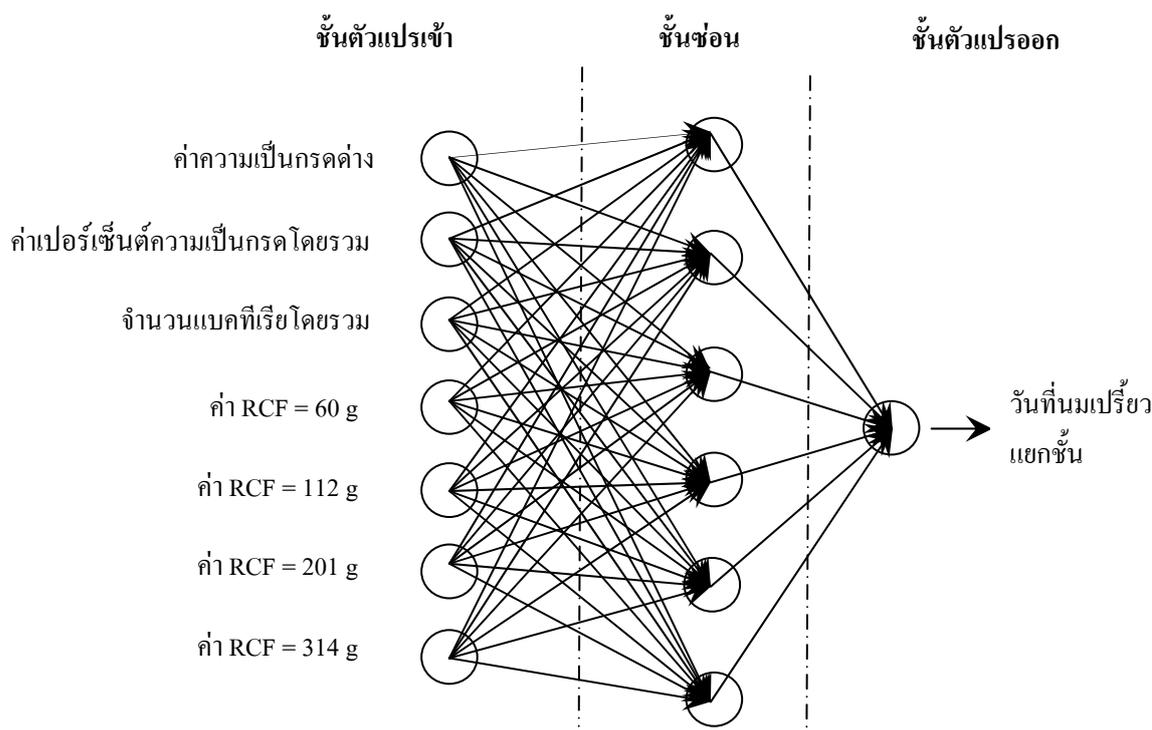
1 ชุดข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลตัวแปรเข้าและข้อมูลตัวแปรออกของนมเปรี้ยว 1 ตัวอย่าง ข้อมูลตัวแปรเข้า ประกอบด้วย ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม จำนวนแบคทีเรียโดยรวม และระดับของชั้นใสที่ค่า RCF เท่ากับ 60 g, 112 g, 201 g และ 314 g ส่วนข้อมูลตัวแปรออก คือ วันที่นมเปรี้ยวแยกชั้นจริง ข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดมี 54 ชุดข้อมูล นำข้อมูลทั้งหมดนี้ไปทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalized) ในช่วง 0 ถึง 1 อิทธิพลของตัวแปรเข้าต่อความแม่นยำของสมการทำนายการแยกชั้นของนมเปรี้ยว แสดงในภาคผนวก ก

สร้างสมการทำนายการแยกชั้นของนมเปรี้ยวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมด้วยโปรแกรม MATLAB R2006a (The MathWorks Inc., MA, USA) ใช้สถาปัตยกรรมแบบ feed forward network และใช้อัลกอริทึมแบบ backpropagation ในการสร้างสมการชุดข้อมูลทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยการสุ่ม 70% ของชุดข้อมูลทั้งหมด (38 ชุดข้อมูล) เพื่อใช้สร้างสมการโครงข่ายประสาทเทียม โดยวิธี Levenberg-Marquardt (TrainLM) รายละเอียดการใช้โปรแกรม MATLAB R2006a อยู่ในภาคผนวก ข ส่วนอีก 30% ของชุดข้อมูลทั้งหมด (16 ชุดข้อมูลที่เหลือ) ใช้เพื่อทดสอบความแม่นยำของสมการ ส่วนประกอบของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้า ชั้นซ่อน และชั้นตัวแปรออก ในการสร้างสมการจำเป็นต้องทราบจำนวนโหนดในชั้นซ่อน ซึ่งสามารถหาได้จากการทดลองสุ่มจำนวนโหนดในชั้นซ่อน โดยทดลองสุ่มตั้งแต่ 1 ถึง 20 โหนด การเลือกจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม ดูได้จากค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (mean square error) และค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ต้องมีค่าน้อยที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต้องใกล้เคียง 1 มากที่สุด (Sivanandam *et al.*, 2006) ในแต่ละจำนวนโหนดทำการสุ่มซ้ำ 3 ครั้ง ดังตัวอย่างในตารางที่

17 จำนวนโหนดในชั้นซุ่มที่เหมาะสม คือ 6 โหนด และลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมมีลักษณะดังภาพที่ 29

ตารางที่ 17 การเลือกจำนวนโหนดในชั้นซุ่มที่เหมาะสม

โหนด	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย				ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	0.1272	0.1044	0.1160	0.1159	0.8655	0.8813	0.8563	0.8677
2	0.0986	0.0977	0.1260	0.1074	0.8947	0.8951	0.8413	0.8770
3	0.1162	0.0907	0.0949	0.1006	0.8533	0.9012	0.8856	0.8800
4	0.0917	0.1316	0.0942	0.1058	0.8983	0.8643	0.8849	0.8825
5	0.0723	0.1240	0.1155	0.1039	0.8462	0.8599	0.8652	0.8571
6	0.0468	0.0742	0.0919	0.0710	0.9111	0.9548	0.9438	0.9366
.
.
.
20	0.0925	0.0867	0.0987	0.0926	0.8984	0.9023	0.8808	0.8938



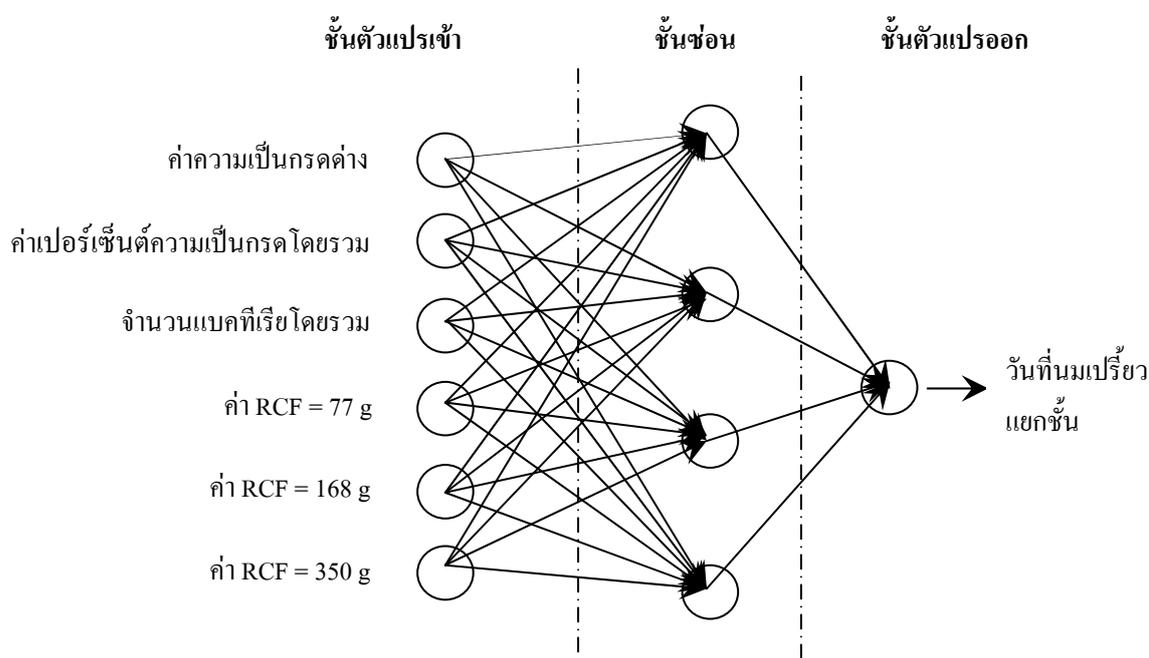
ภาพที่ 29 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ที่ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบกำหนดมุมเอียง

7.2. การสร้างสมการจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ที่ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบแกว่งออก

นำค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม จำนวนแบคทีเรียโดยรวม ระดับชั้นใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g และจำนวนวันการแยกชั้นจริงจากการเก็บข้อมูลในช่วงอายุการเก็บรักษาของนมเปรี้ยว วันที่ 0, 7, 14, 21, 28 และ 35 มาใช้สร้างสมการ โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อทำนายการแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยว

1 ชุดข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลตัวแปรเข้าและข้อมูลตัวแปรออกของนมเปรี้ยว 1 ตัวอย่าง ข้อมูลตัวแปรเข้า ประกอบด้วย ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม จำนวนแบคทีเรียโดยรวม และระดับของชั้นใสที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ส่วนข้อมูลตัวแปรออก คือ วันที่นมเปรี้ยวแยกชั้นจริง ข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดมี 108 ชุดข้อมูล นำข้อมูลทั้งหมดนี้ไปทำให้เป็นบรรทัดฐาน (normalized) ในช่วง 0 ถึง 1 อิทธิพลของตัวแปรเข้าต่อความแม่นยำของสมการทำนายการแยกชั้นของนมเปรี้ยว แสดงในภาคผนวก ก

สร้างสมการทำนายการแยกชั้นของนมเปรี้ยวโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมด้วยโปรแกรม MATLAB R2006a (The MathWorks Inc., MA, USA) ใช้สถาปัตยกรรมแบบ feed forward network และใช้อัลกอริทึมแบบ backpropagation ในการสร้างสมการชุดข้อมูลทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยการสุ่ม 70% ของชุดข้อมูลทั้งหมด (75 ชุดข้อมูล) เพื่อใช้สร้างสมการโครงข่ายประสาทเทียม โดยวิธี Levenberg-Marquardt (TrainLM) รายละเอียดการใช้โปรแกรม MATLAB R2006a อยู่ในภาคผนวก ข ส่วนอีก 30% ของชุดข้อมูลทั้งหมด (33 ชุดข้อมูลที่เหลือ) ใช้เพื่อทดสอบความแม่นยำของสมการ โดยใช้วิธีและเงื่อนไขเหมือนกับการทดลองข้อ 7.1 ลักษณะโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์เป็นดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ที่ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบแกว่งออก

ผลและวิจารณ์

1. การศึกษาการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม จากการเตรียมในห้องทดลอง ด้วยวิธีการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

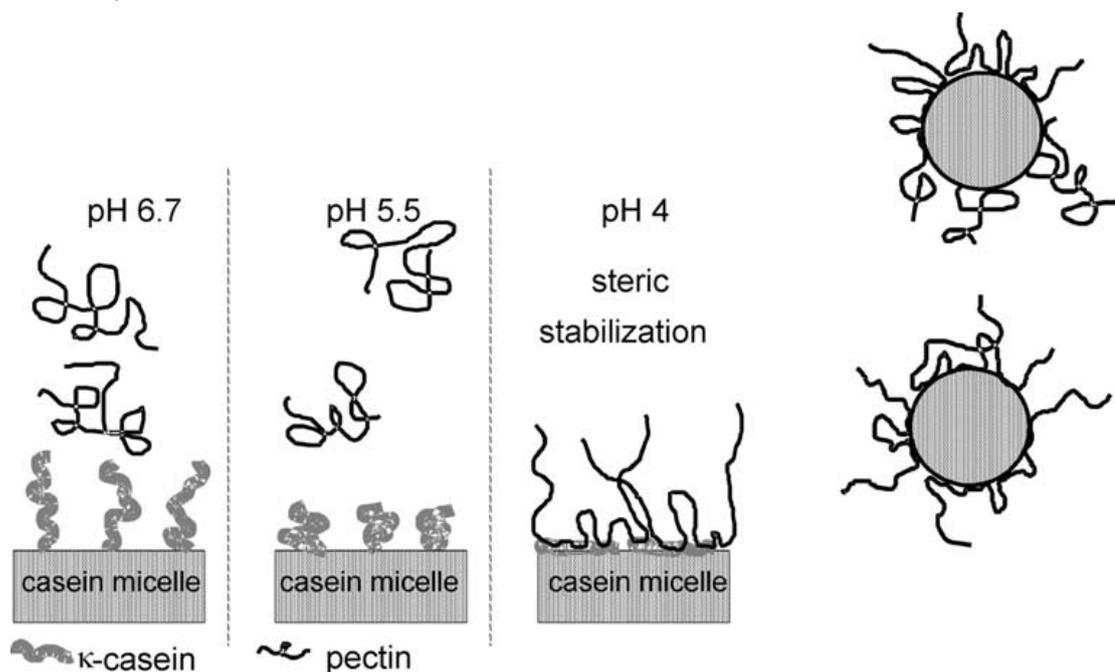
1.1. การศึกษาชนิดของนมที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต

พบว่าโยเกิร์ตที่ทำจากนมดิบและนมสดพาสเจอร์ไรส์ ตรา A จะมีลักษณะเป็นก้อน นิ่มคล้ายเต้าสอย เมื่อนำโยเกิร์ตที่ได้ปั่นผสมกับสารละลายเพคตินและน้ำตาล จะได้นมเปรี้ยวที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสหยาบ โดยวิฤภาคโยเกิร์ตมีอนุภาคขนาดใหญ่ ให้ความรู้สึก mouth feel ไม่เหมือนนมเปรี้ยวทั่วไปในห้องตลาด ส่วนโยเกิร์ตที่ทำจากนมพร่องมันเนย ตรา B จะมีลักษณะเหลว ไม่จับตัวเป็นก้อน เมื่อนำไปปั่นรวมกับสารละลายเพคตินและน้ำตาล จะได้นมเปรี้ยวที่มีเนื้อสัมผัส และ mouth feel ใกล้เคียงกับนมเปรี้ยวในห้องตลาด ในทางเคมี การจับตัวเป็นก้อนของโยเกิร์ต (curd) เป็นการสร้างพันธะ (cross-link) ระหว่างโปรตีนเคซีนและเม็คไซมัน (Kovalenko and Briggs, 2002) โยเกิร์ตที่ทำจากนมดิบ ซึ่งมีปริมาณไขมันสูงและไม่ได้ผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียว เพื่อทำให้เม็คไซมันมีขนาดเล็กลง อาจเป็นไปได้ว่าการจับตัวเป็นก้อนของโยเกิร์ตมีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่าโยเกิร์ตที่ทำจากนมชนิดอื่น ส่งผลให้เมื่อนำไปปั่นทำเป็นนมเปรี้ยวแล้ว นมเปรี้ยวที่ได้มีเนื้อสัมผัสหยาบ โดยปกติแล้วนมเปรี้ยวพร้อมดื่มคือ นมเปรี้ยวที่มีการเจือจางด้วยน้ำ เป็นนมเปรี้ยวที่ทำมาจากนมไขมันต่ำ และสัดส่วนของแข็งต่ำ นมเปรี้ยวนี้จึงมีความหนืดเริ่มต้นต่ำ การปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสทำได้โดยเติมไขมัน ของแข็งที่ไม่รวมมันเนย และสารเติมแต่ง (Tamime, 2006)

1.2. การศึกษาปริมาณเพคติน อุณหภูมิการผสมน้ำตาลทรายกับผงเพคตินที่เหมาะสมในการผลิตนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

จากการศึกษาปริมาณเพคตินที่เหมาะสมในการทำนมเปรี้ยว เมื่อนำโยเกิร์ตที่ทำจากนมพร่องมันเนย ตรา B ปั่นผสมกับสารละลายน้ำตาลและเพคติน แล้วบรรจุขวด วางทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที พบว่านมเปรี้ยวที่มีส่วนผสม เพคติน 0 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เกิดการแยกชั้นขึ้น โดยส่วนผสมที่ 0.2 เปอร์เซ็นต์ เกิดการแยกชั้นช้ากว่า ส่วนนมเปรี้ยวที่มีส่วนผสมเพคติน 0.3 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ เกิดการแยกชั้นหลังจากเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส 1-2 วัน นมเปรี้ยวที่มีส่วนผสมเพคตินที่ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ให้เนื้อสัมผัสดี แต่ที่ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ให้เนื้อสัมผัสหนาแน่นคล้าย

สารละลายเจล ซึ่งเนื้อสัมผัสที่ได้ไม่ใกล้เคียงกับนมเปรี้ยวในท้องตลาด และจากการศึกษาอุณหภูมิในการผสมน้ำตาลทรายกับเพคติน พบว่าเมื่ออุณหภูมิผสมประมาณ 70 องศาเซลเซียส จะได้นมเปรี้ยวที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสแบบเนื้อทราย (sandy) ส่วนที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส น้ำตาลและเพคตินละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันดี เนื่องจากนมเปรี้ยวมีโอกาสในการแยกชั้นสูง เพราะกรดในนมเปรี้ยวมีผลให้โปรตีนตกตะกอนและจับตัวกันเป็นก้อน อีกทั้งเคซีนในน้ำนมมักเกิดการรวมตัวเมื่อผ่านการให้ความร้อน การเติมสารให้ความคงตัว โดยเฉพาะเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลมาก (HM-pectin) จะช่วยลดการตกตะกอนของโปรตีน โดยในสถานะเป็นกรด เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลมากจะจับกับเคซีนไมเซลล์ ดังภาพที่ 31 โดยหลักการ Electrosorption ทำให้ป้องกันการจับตัวเป็นก้อนและตกตะกอนของโปรตีน (Tromp *et al.*, 2004) นอกจากนี้ประสิทธิภาพการทำงานของเพคตินยังขึ้นอยู่กับปริมาณ อุณหภูมิการละลายและการปั่นผสม นมเปรี้ยวที่มีค่าความเป็นกรดต่ำ ควรเติมเพคตินปริมาณ 0.3-0.4 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิการละลายเพคตินที่เหมาะสมอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส และการผสมควรปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Tamime, 2006)



ภาพที่ 31 การแทนที่ของ K-casein ด้วยเพคตินในสถานะความเป็นกรดต่ำ

ที่มา: Tromp *et al.*(2004)

1.3. การศึกษาสัดส่วนการผสมระหว่างโยเกิร์ตกับสารละลาย

เมื่อผสมโยเกิร์ตกับสารละลายน้ำตาลและเพคติน แล้วนำไปบรรจุขวด จากนั้นวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าสัดส่วนผสมระหว่างโยเกิร์ตกับสารละลายที่ 60:40 โดยน้ำหนัก เกิดการแยกชั้น หลังเก็บรักษาไว้ 1 วัน ส่วนที่สัดส่วนผสม 55:45 โดยน้ำหนัก เกิดการแยกชั้นหลังเก็บรักษาไว้ 2 วัน ในทางทฤษฎี สัดส่วนโยเกิร์ตกับสารละลายน้ำตาลและเพคติน ไม่มีการกำหนดที่แน่นอน ในทางปฏิบัติ สัดส่วนการผสมขึ้นอยู่กับปริมาณเพคตินที่ให้ความคงตัวในนมเปรี้ยว และรสชาติ เนื้อสัมผัสที่ตรงกับการยอมรับของผู้บริโภค ในทางอุตสาหกรรมนมเปรี้ยวที่ได้จะผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนการบรรจุ ซึ่งช่วยให้ความคงตัวของนมเปรี้ยวมีเสถียรภาพ (Tamime, 2006)

1.4. การศึกษาการปั่นเหวี่ยงนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออกร่วมกับการวิเคราะห์ทางเคมีและทางจุลชีววิทยา

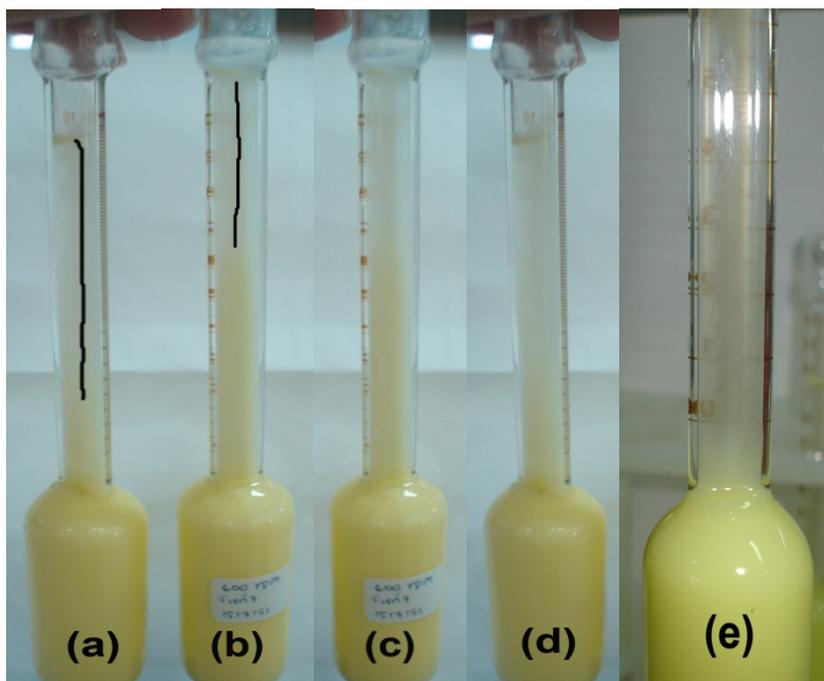
จากผลการทดลองข้างต้น ได้เลือกนมเปรี้ยวที่ทำจากนมพร่องมันเนย ตรา B ใช้สัดส่วนการผสมระหว่างโยเกิร์ตกับสารละลายที่ 55:45 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณเพคติน 0.3 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้อุณหภูมิในการละลายสารละลายที่ 80 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน ค่าความเป็นกรดค้างและค่าความเป็นกรดโดยรวมมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ค่าแบคทีเรียโดยรวมในระยะ การเก็บรักษาหลังจาก 7 วัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นนี้อาจเกิดจากแบคทีเรียชนิดอื่นที่ไม่ใช่แบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติก ซึ่งอาจเกี่ยวข้องเนื่องมาจากการปนเปื้อนในระหว่างขั้นตอนการทำนมเปรี้ยว ดังตารางที่ 18 จากการสังเกตการแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยว พบว่ามีการแยกชั้นเร็ว ในระยะเวลาเพียง 1-2 วัน จากระยะเวลาแยกชั้นจริงประกอบกับค่าแบคทีเรียโดยรวมที่ระยะเวลาหลังจาก 7 วัน แสดงให้เห็นว่านมเปรี้ยวที่ผลิตขึ้นเองมีอายุการเก็บรักษาสั้น ซึ่งสอดคล้องกับนมเปรี้ยวที่ผลิตในครัวเรือน เนื่องจากในขั้นตอนการผสมโยเกิร์ตกับสารละลายใช้เพียงเครื่องปั่นผสม แต่ในระดับอุตสาหกรรมหลังจากผ่านเครื่องปั่นผสมแล้ว ยังผ่านกระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้ง ทำให้อายุการเก็บรักษาของนมเปรี้ยวนานขึ้น

ตารางที่ 18 สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา B

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความเป็นกรดต่าง	ค่าความเป็นกรด โดยรวม (%)	จำนวนแบคทีเรีย โดยรวม (cfu/ml)
0	4.21±0.01 ^a	0.725±0.048	169.25±117.67 ^a
3	4.14±0.01 ^b	0.695±0.015	794.00±365.53 ^a
7	4.28±0.03 ^c	0.703±0.003	44248±11550.93 ^b
14	4.23±0.01 ^a	0.695±0.010	1420.22±408.37 ^a
21	4.25±0.01 ^{ab}	0.700±0.009	38806.00±6183.44 ^b
28	4.21±0.01 ^a	0.655±0.003	67102.27±9551.03 ^c

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ไปปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออก พบว่านมเปรี้ยวเกิดการแยกชั้น ดังภาพที่ 32 และสามารถอธิบายลักษณะปรากฏของการแยกชั้น ดังตารางที่ 19 โดยการแยกชั้นมีความชัดเจนมากขึ้นตั้งแต่รูปแบบ (a) ถึง (e) ตามลำดับ



ภาพที่ 32 ลักษณะปรากฏของการแยกชั้นในนมเปรี้ยว 5 รูปแบบ

หมายเหตุ รั้วใสในภาพ (a) และ (b) ถูกตกแต่งขึ้นด้วยสีดำ เพื่อความชัดเจนในการเห็นภาพ

ตารางที่ 19 รูปแบบของการแยกชั้นของนมเปรี้ยว

รูปแบบ	ลักษณะปรากฏ
(a)	เกิดรั้วใสเฉพาะในแนวแกนหลอด
(b)	เกิดรั้วใสในแนวแกนหลอดด้านบน และมีส่วนแยกชั้นขาวขุ่นด้านล่าง
(c)	แยกชั้น โดยชั้นขุ่นใสอยู่ด้านบน และชั้นขุ่นทึบแสงอยู่ด้านล่าง
(d)	แยกชั้น โดยชั้นขุ่นใสอยู่ด้านบน ขุ่นปานกลางอยู่ตรงกลาง และขุ่นทึบแสงอยู่ด้านล่าง
(e)	ชั้นใสและชั้นขุ่น แยกออกจากกัน โดยชัดเจน

รูปแบบการแยกชั้นทั้ง 5 รูปแบบนี้มีลำดับความชัดเจนของการแยกชั้นจากน้อยไปหามาก และการแยกชั้นยังขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงอีกด้วย ที่ความเร็วรอบต่ำการแยกชั้นเกิดขึ้นน้อยกว่าที่ความเร็วรอบสูง รูปแบบ (a) และ (b) เป็นการแยกชั้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งสังเกตเห็นส่วนของชั้นใสไม่ชัดเจน จะสังเกตเห็นการแยกชั้นรูปแบบนี้ในตัวอย่างนมเปรี้ยวที่มีอายุการ

เก็บรักษา 0-3 วัน ที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g และ 168 g รูปแบบ (c) และ (d) ลักษณะการแยกชั้นเริ่มชัดเจน โดยเริ่มสังเกตเห็นชั้นจุ่นและชั้นใสแยกออกจากกัน จะสังเกตเห็นการแยกชั้นรูปแบบนี้ในตัวอย่างนมเปรี้ยวที่มีอายุการเก็บรักษา 3-21 วัน ที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g และ 168 g ส่วนรูปแบบ (e) เป็นการแยกชั้นระหว่างชั้นใสกับชั้นจุ่นอย่างสมบูรณ์ จะสังเกตเห็นการแยกชั้นรูปแบบนี้ในตัวอย่างนมเปรี้ยวที่มีอายุการเก็บรักษา 21-28 วัน ที่ค่า RCF เท่ากับ 168 g อย่างไรก็ตามการปั่นเหวี่ยงที่ค่า RCF เท่ากับ 350 g มีการแยกชั้นอย่างสมบูรณ์ตลอดการทดลอง โดยไม่ขึ้นอยู่กับอายุการเก็บรักษา

2. ศึกษาการปั่นเหวี่ยงนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางกำหนดมุมเอียง

2.1. การวิเคราะห์ค่าทางเคมีและทางจุลชีววิทยา

จากการศึกษานมเปรี้ยวแบบพร้อมดื่มและแบบขาดมันเนย พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 28 วัน ค่าความเป็นกรดต่างและค่าความเป็นกรดโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เก็บรักษา โดยค่าความเป็นกรดต่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความเป็นกรดโดยรวมและจำนวนแบคทีเรียโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อาจเป็นไปได้ว่าแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกมีการเพิ่มจำนวนขึ้น ดังตารางที่ 20 และตารางที่ 21

ตารางที่ 20 สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบ
พร้อมมันเนย

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความเป็นกรดต่าง	ค่าความเป็นกรด โดยรวม (%)	จำนวนแบคทีเรีย โดยรวม (cfu/ml)
0	3.63±0.01 ^a	0.639±0.018 ^a	64.00±22.71 ^a
7	3.64±0.02 ^a	0.672±0.006 ^b	18.40±3.43 ^a
14	3.67±0.01 ^a	0.688±0.004 ^{bc}	24.00±8.57 ^a
21	3.71±0.01 ^b	0.709±0.005 ^c	100.00±55.32 ^a
28	3.73±0.00 ^b	0.747±0.008 ^d	1702.00±1468.49 ^a
34	3.79±0.02 ^c	0.857±0.007 ^e	20220.00±5200.00 ^b

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ
ความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 21 สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบ
ขาดมันเนย

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความเป็นกรดต่าง	ค่าความเป็นกรด โดยรวม (%)	จำนวนแบคทีเรีย โดยรวม (cfu/ml)
0	3.69±0.01 ^a	0.710±0.017 ^a	26.00±16.00 ^a
7	3.74±0.02 ^b	0.745±0.007 ^b	26.60±10.22 ^a
14	3.74±0.02 ^b	0.768±0.005 ^{bc}	12.80±2.80 ^a
21	3.80±0.00 ^c	0.781±0.009 ^c	75.20±7.05 ^a
28	3.81±0.00 ^c	0.848±0.001 ^d	20054.00±6092.43 ^b
34	3.81±0.01 ^c	0.867±0.012 ^d	14215.00±3985.00 ^b

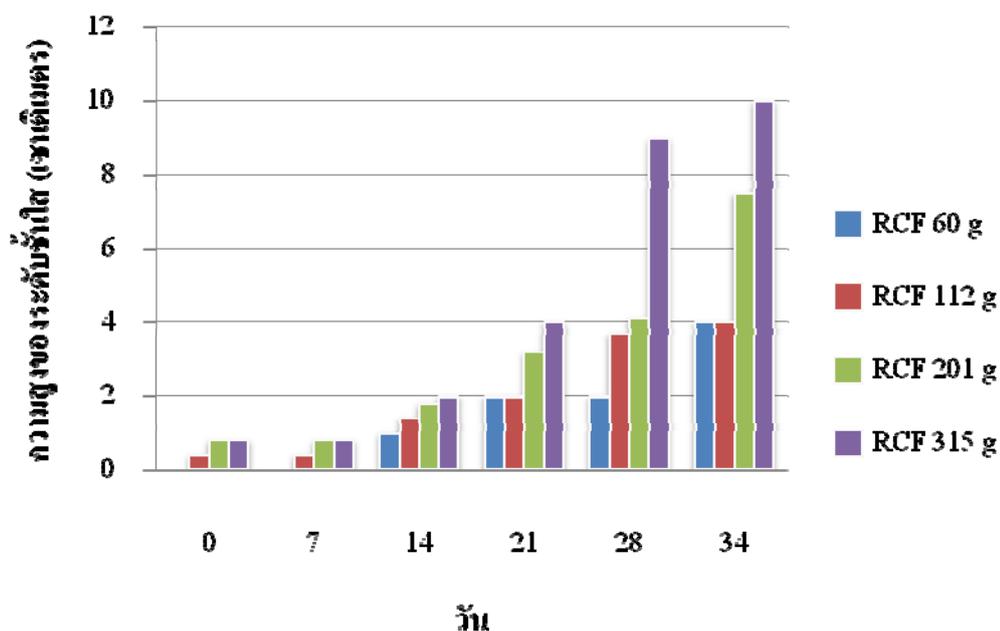
หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ
ความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

2.2. การวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

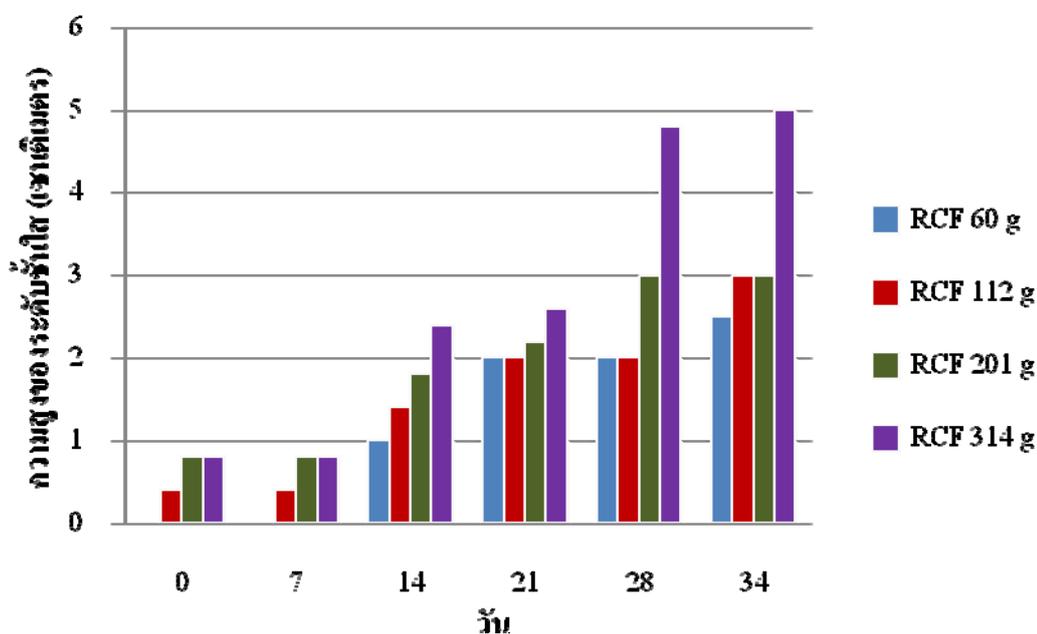
เมื่อนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบกำหนดมุมเอียง ลักษณะการแยกชั้นเป็นดังภาพที่ 33 จะเห็นว่า การแยกชั้นใสและชั้นขุ่นแยกออกจากกันชัดเจน ตะกอนจากการแยกจะมีลักษณะเอียงตามการทำมุมของจานหมุน ส่วนความสูงของระดับชั้นใสที่ความเร็วรอบในการปั่นเหวี่ยงแตกต่างกัน แสดงดังภาพที่ 34 และภาพที่ 35 จะเห็นว่าเมื่ออายุการเก็บรักษาของนมเปรี้ยวเพิ่มขึ้น การแยกชั้นเห็นได้ชัดขึ้น ซึ่งสามารถดูได้จากความสูงของระดับชั้นใสที่เพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของชั้นใสในแต่ละความเร็วรอบของการปั่นเหวี่ยง แสดงดังตารางที่ 22 และตารางที่ 23 เนื่องจากนมเปรี้ยวมีปริมาณความเป็นกรดโดยรวมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การทำงานของเพคตินมีประสิทธิภาพลดลง ในการปั่นเหวี่ยงที่ค่า RCF เท่ากับ 350 g นั้น ไม่สามารถมองเห็นการแยกชั้นของนมเปรี้ยวในช่วงอายุของการเก็บรักษา 0-7 วัน เนื่องจากการทำงานของสารให้ความคงตัวยังมีประสิทธิภาพดี แรงในการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบนี้ จึงไม่สามารถชนะแรงต้านการรวมตัวของนมเปรี้ยวได้



ภาพที่ 33 ลักษณะของนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์หลังการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง



ภาพที่ 34 ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 60 g, 112 g, 201 g และ 314 g ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย ตามอายุการเก็บรักษา



ภาพที่ 35 ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 60 g, 112 g, 201 g และ 314 g ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย ตามอายุการเก็บรักษา

ตารางที่ 22 ความสูงของระดับชั้นไอในหน่วยเซนติเมตร ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย จากการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ความสูงของระดับชั้นไอที่ค่า RCF (g)			
	60	112	201	314
0	0.00±0.00 ^a	0.40±0.245 ^a	0.80±0.490 ^a	0.80±0.490 ^a
7	0.00±0.00 ^a	0.40±0.245 ^a	0.80±0.490 ^a	0.80±0.490 ^a
14	1.00±0.00 ^b	1.40±0.245 ^b	1.80±0.490 ^{ab}	2.00±0.632 ^a
21	2.00±0.00 ^c	2.00±0.000 ^b	3.20±0.583 ^{bc}	4.00±0.000 ^b
28	2.00±0.00 ^c	3.70±0.200 ^c	4.10±0.332 ^c	9.00±0.632 ^c
34	4.00±1.00 ^d	4.00±0.000 ^c	7.50±1.500 ^d	10.00±0.000 ^c

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 %

ตารางที่ 23 ความสูงของระดับชั้นไอในหน่วยเซนติเมตร ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย จากการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ความสูงของระดับชั้นไอที่ค่า RCF (g)			
	60	112	201	314
0	0.00±0.00 ^a	0.40±0.245 ^a	0.80±0.490 ^a	0.80±0.490 ^a
7	0.00±0.00 ^a	0.40±0.245 ^a	0.80±0.490 ^a	0.80±0.490 ^a
14	1.00±0.00 ^b	1.40±0.245 ^b	1.80±0.490 ^{ab}	2.40±0.872 ^a
21	2.00±0.00 ^c	2.00±0.000 ^b	2.20±0.200 ^{ab}	2.60±0.400 ^a
28	2.00±0.00 ^c	2.00±0.000 ^b	3.00±0.274 ^b	4.80±0.200 ^b
34	2.50±0.50 ^d	3.00±0.000 ^c	3.00±0.000 ^b	5.00±1.000 ^b

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 %

2.3. การสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองในข้อ 2 สามารถนำมาสร้างสมการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมได้เป็น 3 สมการ คือ สมการของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย สมการของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย และสมการของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบรวม โดยค่าตัวแปรเข้ามี 7 ค่า คือ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม จำนวนแบคทีเรียโดยรวม และค่า RCF ที่ 60 g, 112 g, 201 g และ 314 g สมการทั้ง 3 สมการใช้ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมเหมือนกัน คือ ใช้สถาปัตยกรรมเครือข่ายแบบ feed forward network การประมวลผลแบบย้อนกลับและฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ สมการทั้ง 3 สมการเป็นดังนี้

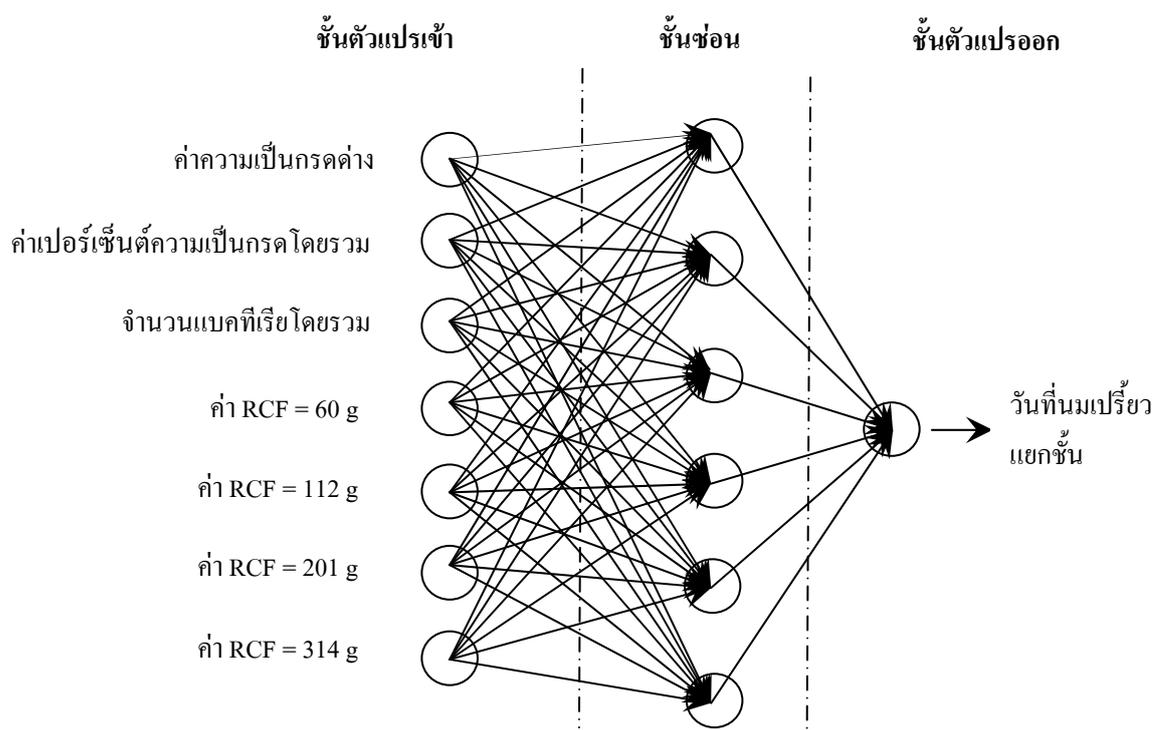
2.3.1. สมการของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย

เมื่อนำข้อมูลตัวแปรเข้าและตัวแปรออกของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย มาหาจำนวน โหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม พบว่าจำนวน โหนดที่เหมาะสมที่สุด คือ 6 โหนด ดังแสดงในตารางที่ 24 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่จำนวน 6 โหนดมีค่าเท่ากับ 0.9844 และ 0.0124 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มากที่สุดและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวกลุ่มนี้จึงประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้าจำนวน 7 โหนด ชั้นซ่อนจำนวน 6 โหนดและชั้นตัวแปรออกจำนวน 1 โหนด ดังภาพที่ 36

ตารางที่ 24 การหาจำนวนโหนดในชั้นช่อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย

จำนวน โหนด	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย				ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	0.7205	0.7150	0.6485	0.6947	0.6321	0.6197	0.7850	0.6789
2	0.0418	0.0118	0.0278	0.0271	0.9642	0.9874	0.9813	0.9776
3	0.0107	1.3239	0.0255	0.4534	0.9857	0.9847	0.9808	0.9837
4	0.0151	0.0133	0.0145	0.0143	0.9816	0.9827	0.9764	0.9802
5	0.0195	0.1524	0.0035	0.0585	0.9775	0.9807	0.9720	0.9767
*6	0.0158	0.0137	0.0076	0.0124	0.9792	0.9845	0.9896	0.9844
7	0.0630	0.0481	0.0478	0.0530	0.9472	0.9548	0.9843	0.9621
8	0.0262	0.0411	0.1532	0.0735	0.9756	0.9325	0.9502	0.9528
9	0.0259	0.4230	0.1633	0.2041	0.9077	0.9295	0.9482	0.9285
10	0.0257	0.4532	0.1734	0.2174	0.9027	0.9265	0.9462	0.9251
11	0.0254	0.4834	0.1836	0.2308	0.8978	0.9235	0.9442	0.9218
12	0.0252	0.5136	0.1937	0.2442	0.8928	0.9205	0.9421	0.9185
13	0.0249	0.5438	0.2039	0.2575	0.8879	0.9174	0.9401	0.9151
14	0.0247	0.5740	0.2140	0.2709	0.8829	0.9144	0.9381	0.9118
15	0.0244	0.6042	0.2241	0.2843	0.8780	0.9114	0.9361	0.9085
16	0.0242	0.6344	0.2343	0.2976	0.8730	0.9084	0.9340	0.9051
17	0.0239	0.6647	0.2444	0.3110	0.8681	0.9054	0.9320	0.9018
18	0.0237	0.6949	0.2545	0.3243	0.8631	0.9023	0.9300	0.8985
19	0.0234	0.7251	0.2647	0.3377	0.8581	0.8993	0.9280	0.8951
20	0.0232	0.7553	0.2748	0.3511	0.8532	0.8963	0.9259	0.8918

หมายเหตุ * จำนวนโหนดในชั้นช่อนที่เหมาะสมที่สุด



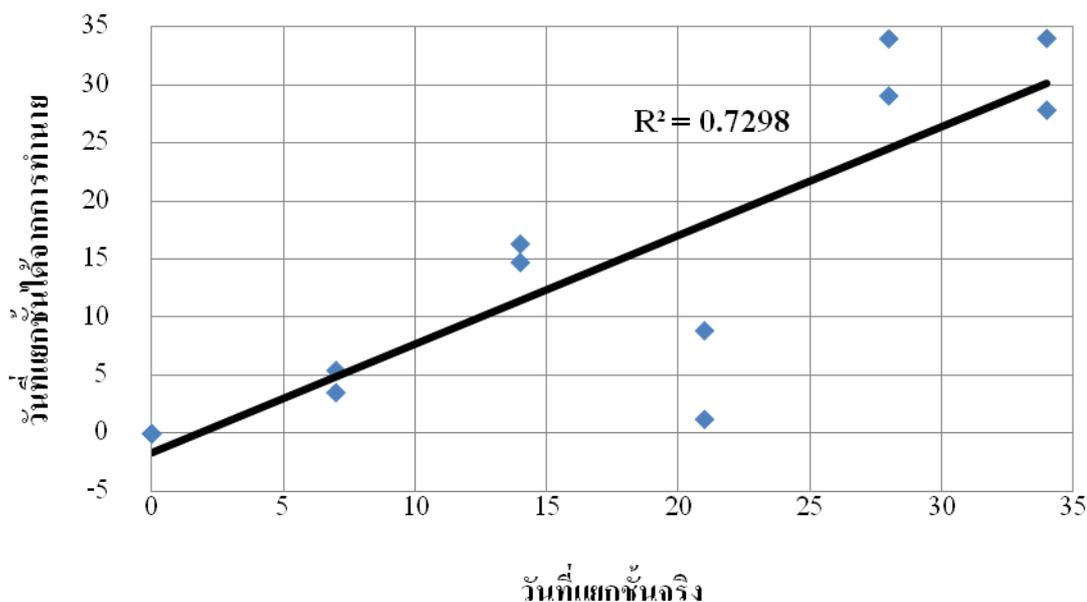
ภาพที่ 36 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย

เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมมาฝึกเรียนรู้จำ จะได้สมการทำนายวันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยวดังสมการที่ 14 ซึ่งค่าน้ำหนัก ค่าเอนเอียง และที่มาของสมการที่ 14 แสดงในภาคผนวก ก

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_7}} \right) \times 34 \quad (14)$$

เมื่อ	Days	คือ	วันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยว (วัน)
	X_7	คือ	ผลรวมของค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก (ภาคผนวก ก)
	34	คือ	ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำข้อมูลตัวแปรออกให้เป็นบรรทัดฐาน

จากการทดสอบความแม่นยำสมการ พบว่าสมการที่ 14 มีความแม่นยำ 72.98 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ของ โครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์
ตรา C แบบพร้อมมันเนย

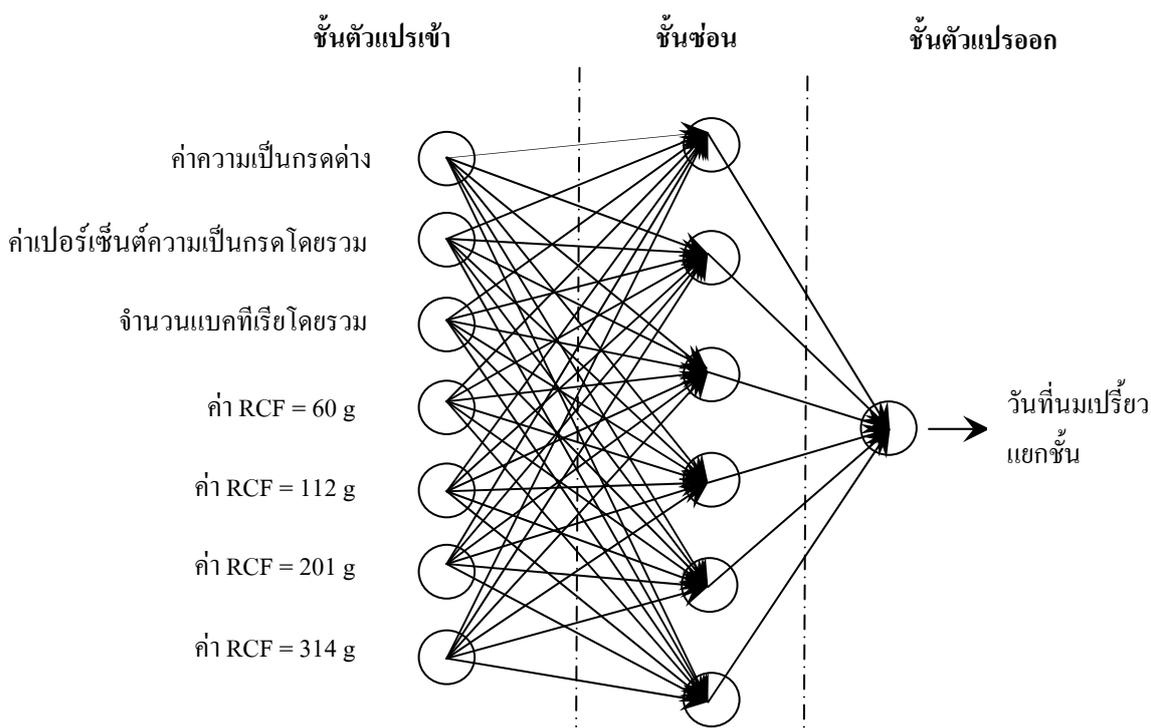
2.3.2. สมการของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย

เมื่อนำข้อมูลตัวแปรเข้าและตัวแปรออกของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย มาหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม พบว่าจำนวนโหนดที่เหมาะสมที่สุด คือ 6 โหนด ดังแสดงในตารางที่ 25 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่จำนวน 6 โหนดมีค่าเท่ากับ 0.9811 และ 0.0394 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มากที่สุดและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวกลุ่มนี้จึงประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้าจำนวน 7 โหนด ชั้นซ่อนจำนวน 6 โหนดและชั้นตัวแปรออกจำนวน 1 โหนด ดังภาพที่ 38

ตารางที่ 25 การหาจำนวนโหนดในชั้นช่อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์
ตรา C แบบขาดมันเนย

จำนวน โหนด	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย				ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	0.0278	0.7894	0.0874	0.3015	0.9758	0.9687	0.9478	0.9641
2	0.1698	0.1579	0.0896	0.1391	0.9478	0.9889	0.9487	0.9618
3	0.1457	0.0245	0.0678	0.0793	0.9471	0.9447	0.8751	0.9223
4	0.0121	0.0745	0.1204	0.0690	0.9881	0.9478	0.9941	0.9767
5	0.0161	0.0478	0.1089	0.0576	0.9825	0.9845	0.9761	0.9810
*6	0.0023	0.0985	0.0174	0.0394	0.9979	0.9617	0.9837	0.9811
7	0.0249	0.0974	0.2039	0.1087	0.8879	0.9147	0.9401	0.9142
8	0.0247	0.2145	0.2140	0.1510	0.9645	0.9745	0.9381	0.9590
9	0.0244	0.0477	0.2241	0.0987	0.8780	0.9784	0.9361	0.9308
10	0.1452	0.1897	0.2343	0.1897	0.8730	0.9084	0.9340	0.9051
11	0.1450	0.1649	0.4795	0.2631	0.8681	0.9054	0.9320	0.9018
12	0.1810	0.0754	0.0944	0.1169	0.8335	0.9108	0.9161	0.8868
13	0.2063	0.1327	0.3243	0.2211	0.8112	0.9023	0.9082	0.8739
14	0.2384	0.1342	0.3530	0.2418	0.9754	0.8939	0.9002	0.9232
15	0.2704	0.1356	0.3816	0.2625	0.7666	0.8854	0.8922	0.8481
16	0.3024	0.1371	0.4103	0.2833	0.8941	0.8769	0.8843	0.8851
17	0.3345	0.1385	0.4389	0.3040	0.7220	0.8684	0.8763	0.8223
18	0.3665	0.1400	0.4676	0.3247	0.8456	0.8599	0.8684	0.8580
19	0.3985	0.1414	0.4963	0.3454	0.9412	0.8515	0.8604	0.8843
20	0.1325	0.1429	0.5249	0.2668	0.6552	0.8430	0.8524	0.7835

หมายเหตุ * จำนวนโหนดที่เหมาะสมที่สุดในชั้นช่อน



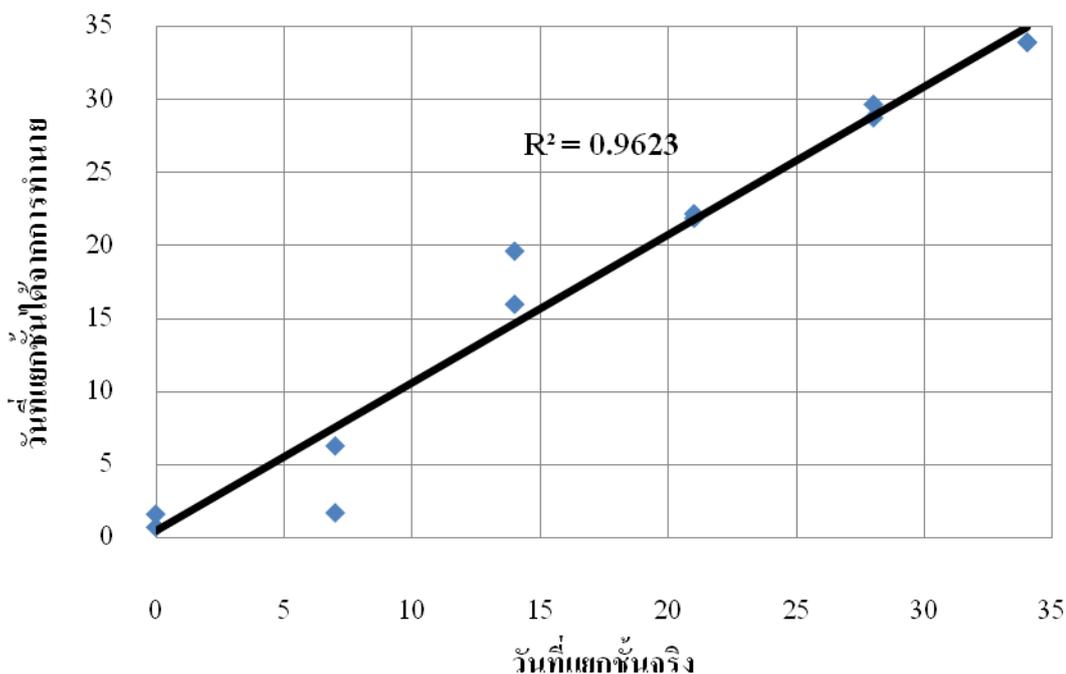
ภาพที่ 38 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย

เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมมาฝึกเรียนรู้จำ จะได้สมการทำนายวันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยวดังสมการที่ 15 ซึ่งค่าน้ำหนัก ค่าเอนเอียง และที่มาของสมการที่ 15 แสดงในภาคผนวก ค

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_7}} \right) \times 34 \quad (15)$$

เมื่อ	Days	คือ	วันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยว (วัน)
	X_7	คือ	ผลรวมของค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก (ภาคผนวก ค)
	34	คือ	ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำข้อมูลตัวแปรออกให้เป็นบรรทัดฐาน

จากการทดสอบความแม่นยำของสมการ พบว่าสมการที่ 15 มีความแม่นยำ 96.23 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย

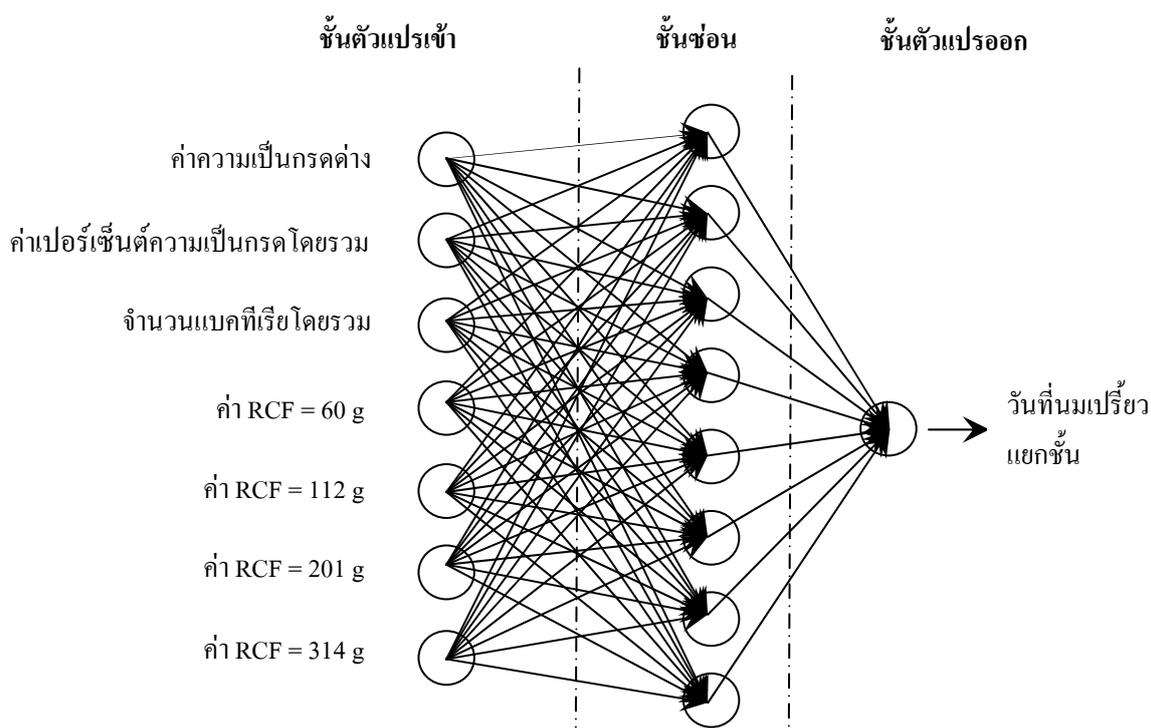
2.3.3. สมการรวมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

เมื่อนำข้อมูลตัวแปรเข้าและตัวแปรออกของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C ทั้ง 2 ชนิดมารวมกัน มาหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม พบว่าจำนวนโหนดที่เหมาะสมที่สุด คือ 8 โหนด ดังแสดงในตารางที่ 26 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่จำนวน 8 โหนดมีค่าเท่ากับ 0.9889 และ 0.0132 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มากที่สุดและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ดังนั้นโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวกลุ่มนี้จึงประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้าจำนวน 7 โหนด ชั้นซ่อนจำนวน 8 โหนดและชั้นตัวแปรออกจำนวน 1 โหนด ดังภาพที่ 40

ตารางที่ 26 การหาจำนวนโหนดในชั้นช่อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

จำนวน โหนด	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย				ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	0.0211	0.0259	0.0244	0.0238	0.9713	0.9656	0.9752	0.9707
2	0.0141	0.0130	0.0124	0.0132	0.9805	0.9847	0.9846	0.9833
3	0.0077	0.0282	0.0245	0.0201	0.9914	0.9698	0.9822	0.9811
4	0.0159	0.0098	0.0154	0.0137	0.9824	0.9880	0.9821	0.9842
5	0.0111	0.0114	0.0144	0.0123	0.9868	0.9864	0.9762	0.9831
6	0.0106	0.0317	0.0452	0.0292	0.9867	0.9678	0.9745	0.9763
7	0.0128	0.0166	0.0141	0.0145	0.9847	0.9700	0.9887	0.9811
*8	0.0101	0.0210	0.0053	0.0121	0.9894	0.9932	0.9842	0.9889
9	0.0205	0.0223	0.0241	0.0223	0.9763	0.9766	0.9745	0.9758
10	0.0872	0.0105	0.0355	0.0444	0.9084	0.9868	0.9568	0.9507
11	0.7205	0.7150	0.6485	0.6947	0.6321	0.6197	0.7850	0.6789
12	0.0418	0.0118	0.0278	0.0271	0.9642	0.9874	0.9813	0.9776
13	0.0107	1.3239	0.0255	0.4534	0.9857	0.9847	0.9896	0.9867
14	0.0151	0.0133	0.0145	0.0143	0.9816	0.9827	0.9764	0.9802
15	0.0395	0.0112	0.1498	0.0668	0.9623	0.9870	0.9854	0.9782
16	0.0262	0.3927	0.1532	0.1907	0.9126	0.9325	0.9502	0.9318
17	0.0259	0.4230	0.1633	0.2041	0.9077	0.9295	0.9482	0.9285
18	0.0257	0.4532	0.1734	0.2174	0.9027	0.9265	0.9462	0.9251
19	0.0254	0.4834	0.1836	0.2308	0.8978	0.9235	0.9442	0.9218
20	0.0252	0.5136	0.1937	0.2442	0.8928	0.9205	0.9421	0.9185

หมายเหตุ * จำนวนโหนดที่เหมาะสมที่สุดในชั้นช่อน



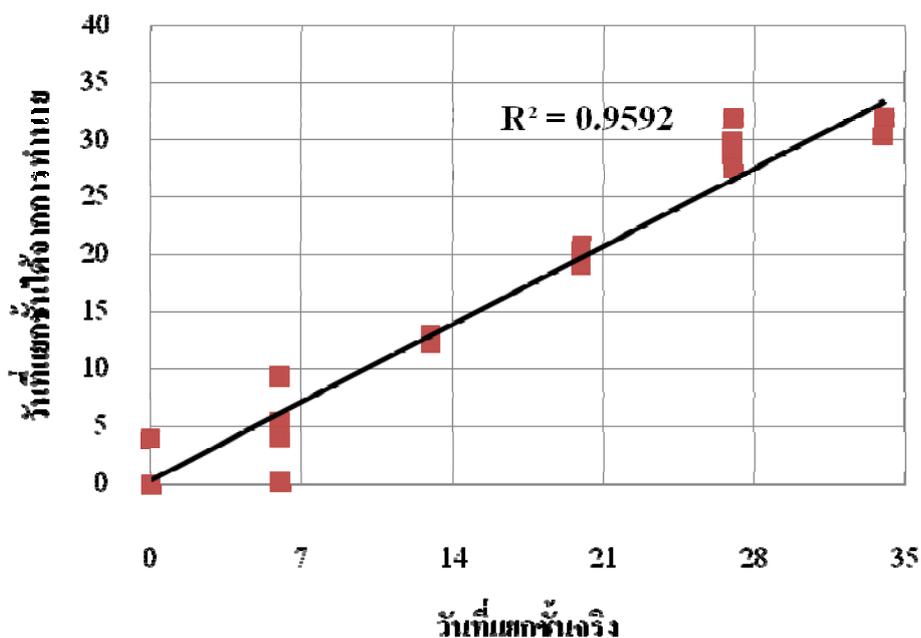
ภาพที่ 40 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมมาฝึกเรียนรู้จำ จะได้สมการทำนายวันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยวดังสมการที่ 16 ซึ่งค่าน้ำหนัก ค่าเอนเอียง และที่มาของสมการที่ 16 แสดงในภาคผนวก ค

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_0}} \right) \times 34 \quad (16)$$

เมื่อ	Days	คือ	วันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยว (วัน)
	X_0	คือ	ผลรวมของค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก (ภาคผนวก ค)
	34	คือ	ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำข้อมูลตัวแปรออกให้เป็นบรรทัดฐาน

จากการทดสอบความแม่นยำของสมการ พบว่าสมการที่ 16 มีความแม่นยำ 95.92 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ของ โครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

จากสมการทำนายทั้ง 3 สมการ พบว่าสมการที่ได้จากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนยให้ความแม่นยำสูงที่สุด ($R^2 = 0.9623$) สมการรวมที่ได้จากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C ให้ความแม่นยำรองลงมา ($R^2 = 0.9592$) และสมการที่ได้จากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย ให้ความแม่นยำต่ำสุด ($R^2 = 0.7298$) การที่สมการนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย ให้ความแม่นยำต่ำสุดอาจเนื่องมาจากตัวแปรเข้าที่ใช้สร้างสมการไม่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เกิดการลดทอนความแม่นยำของสมการรวม ดังนั้นสมการรวมนี้ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำนายวันที่เกิดการแยกชั้นจริงครอบคลุมนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C ทั้ง 2 แบบ การเพิ่มความแม่นยำของสมการทำนายอาจทำได้โดยการเลือกตัวแปรเข้าที่เหมาะสม การเพิ่มจำนวนตัวแปรเข้า การเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลในการสร้างสมการ

3. ศึกษาการปนเปื้อนของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออก

3.1. การวิเคราะห์ค่าทางเคมีและทางจุลชีววิทยา

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย และนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม แสดงดังตารางที่ 27 ถึง ตารางที่ 30 โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางจุลชีววิทยา มีพฤติกรรม เช่นเดียวกับนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C ในหัวข้อ 2.1 คือ เมื่อเวลาผ่านไป ค่าความเป็นกรดต่าง และค่าความเป็นกรดโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาที่เก็บรักษา โดยค่าความเป็นกรดต่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความเป็นกรดโดยรวมและจำนวนแบคทีเรียโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 27 สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความเป็นกรดต่าง	ค่าความเป็นกรด โดยรวม (%)	จำนวนแบคทีเรีย โดยรวม (cfu/ml)
0	3.84±0.01 ^a	0.750±0.008 ^a	138.83±18.93 ^a
7	3.74±0.02 ^b	0.780±0.009 ^b	313.28±29.53 ^a
14	3.74±0.02 ^b	0.790±0.007 ^b	490.85±64.15 ^a
21	3.77±0.01 ^b	0.810±0.007 ^c	1054.63±169.01 ^{ab}
28	3.77±0.01 ^b	0.820±0.004 ^c	4050.42±1315.32 ^{bc}
35	3.76±0.01 ^b	0.836±0.006 ^c	7158.35±2439.32 ^c

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์

ตารางที่ 28 สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวรสส้มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบ
พร้อมมันเนย

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความเป็นกรดต่าง	ค่าความเป็นกรด โดยรวม (%)	จำนวนแบคทีเรีย โดยรวม (cfu/ml)
0	3.62±0.01 ^a	0.623±0.005 ^a	11.50±0.76 ^a
7	3.62±0.01 ^a	0.638±0.005 ^b	15.00±1.49 ^a
14	3.66±0.01 ^b	0.673±0.004 ^c	83.00±12.74 ^b
21	3.68±0.01 ^c	0.686±0.006 ^c	121.00±10.79 ^c
28	3.73±0.01 ^d	0.747±0.004 ^d	165.00±16.00 ^d
35	3.74±0.01 ^d	0.755±0.008 ^d	225.00±27.13 ^e

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ
ความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 29 สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวรสธรรมชาติพาสเจอร์ไรส์ ตรา C
แบบขาดมันเนย

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความเป็นกรดต่าง	ค่าความเป็นกรด โดยรวม (%)	จำนวนแบคทีเรีย โดยรวม (cfu/ml)
0	3.58±0.01 ^a	0.594±0.003 ^a	23.00±9.07 ^a
7	3.60±0.01 ^b	0.610±0.005 ^b	45.50±10.15 ^a
14	3.62±0.01 ^c	0.619±0.005 ^b	267.40±46.10 ^b
21	3.64±0.01 ^d	0.635±0.006 ^c	547.80±40.54 ^c
28	3.64±0.01 ^d	0.668±0.006 ^d	611.30±48.81 ^c
35	3.68±0.01 ^c	0.702±0.007 ^c	1457.30±194.80 ^d

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับ
ความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 30 สมบัติทางเคมีและทางจุลชีววิทยา ของนมเปรี้ยวรสส้มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความเป็นกรดต่าง	ค่าความเป็นกรด โดยรวม (%)	จำนวนแบคทีเรีย โดยรวม (cfu/ml)
0	3.56 ± 0.01^a	0.735 ± 0.005^a	107.00 ± 20.87^a
7	3.58 ± 0.01^b	0.607 ± 0.004^b	286.00 ± 24.72^a
14	3.61 ± 0.01^c	0.630 ± 0.003^c	375.00 ± 45.77^{ab}
21	3.61 ± 0.01^c	0.629 ± 0.004^c	583.00 ± 51.67^b
28	3.64 ± 0.01^d	0.6545 ± 0.006^d	1313.10 ± 281.15^c

หมายเหตุ ^a ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกันในแต่ละคอลัมน์ มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 เปอร์เซนต์

3.2. การวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

เมื่อนำนมเปรี้ยวไปปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออก จะเกิดการแยกชั้น และสามารถกำหนดเป็นคะแนน 0 (ไม่มีการแยกชั้น) กับ 1 (มีการแยกชั้น) ดังภาพที่ 42 ถึง ภาพที่ 45

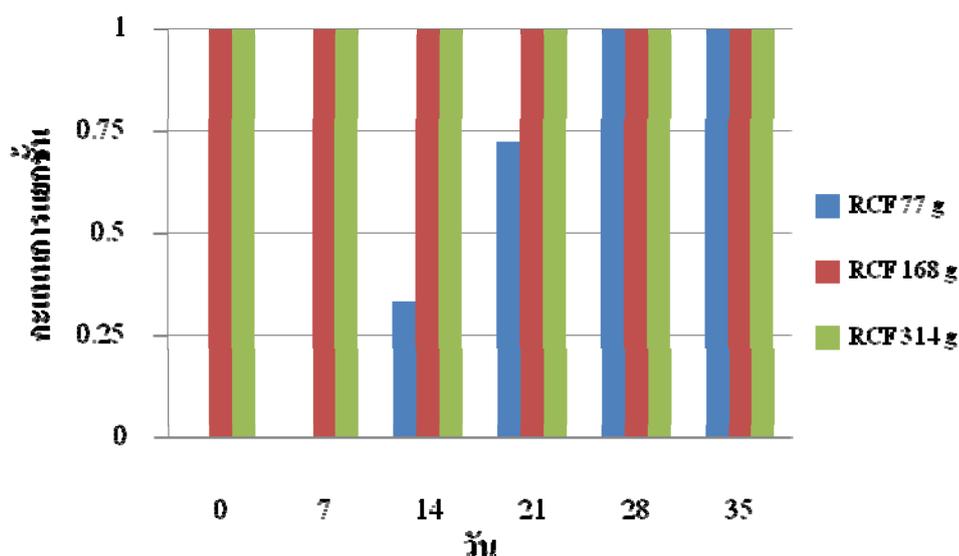
ในกรณีของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม จะเห็นได้ว่าที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะการแยกชั้นในแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ค่า RCF เท่ากับ 168 g และ 350 g มีการแยกชั้นโดยสมบูรณ์ตลอดการทดลอง

ในกรณีของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมดื่มเนย จะเห็นได้ว่า ช่วง 14 วันแรกของการเก็บรักษาไม่มีการแยกชั้นหลังจากการปั่นเหวี่ยง แต่เมื่อเก็บรักษาได้ 21 วัน พบว่าที่ค่า RCF เท่ากับ 350 g นมเปรี้ยวมีการแยกชั้นเกิดขึ้น เมื่อเก็บรักษา 28 วัน ที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g และ 168 g จึงมีการแยกชั้นเกิดขึ้น

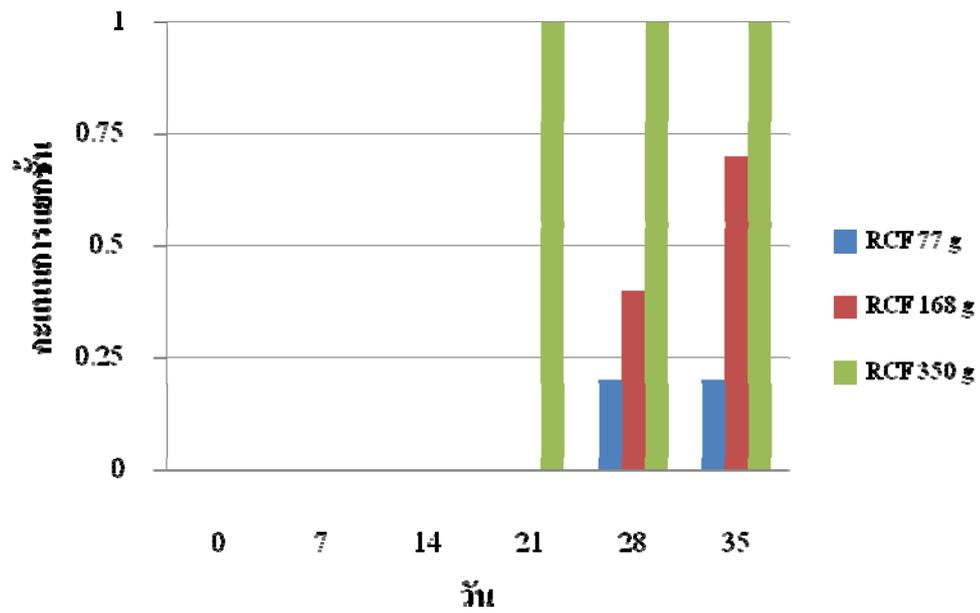
ในกรณีของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย พบว่าวันที่ 14 ของการเก็บรักษาที่ค่า RCF เท่ากับ 350 g มีการแยกชั้นเกิดขึ้น วันที่ 21 ของการเก็บรักษาที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g มีการแยกชั้นเกิดขึ้น

ในการฉีมนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม พบว่าในสัปดาห์แรกนมเปรี้ยวไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการปั่นเหวี่ยง แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นเป็นสัปดาห์ที่ 2, 3 และ 4 ก็พบว่านมเปรี้ยวมีแนวโน้มในการแยกชั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งแตกต่างจากนมเปรี้ยวชนิดอื่น ที่จะพบการแยกชั้นหลังการปั่นเหวี่ยงอย่างชัดเจนเมื่อเก็บได้ 21 วัน โดยวันที่ 14 ของการเก็บรักษาที่ค่า RCF เท่ากับ 168 g และ 350 g มีการแยกชั้นเกิดขึ้น และวันที่ 21 ของการเก็บรักษาที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g มีการแยกชั้นเกิดขึ้น

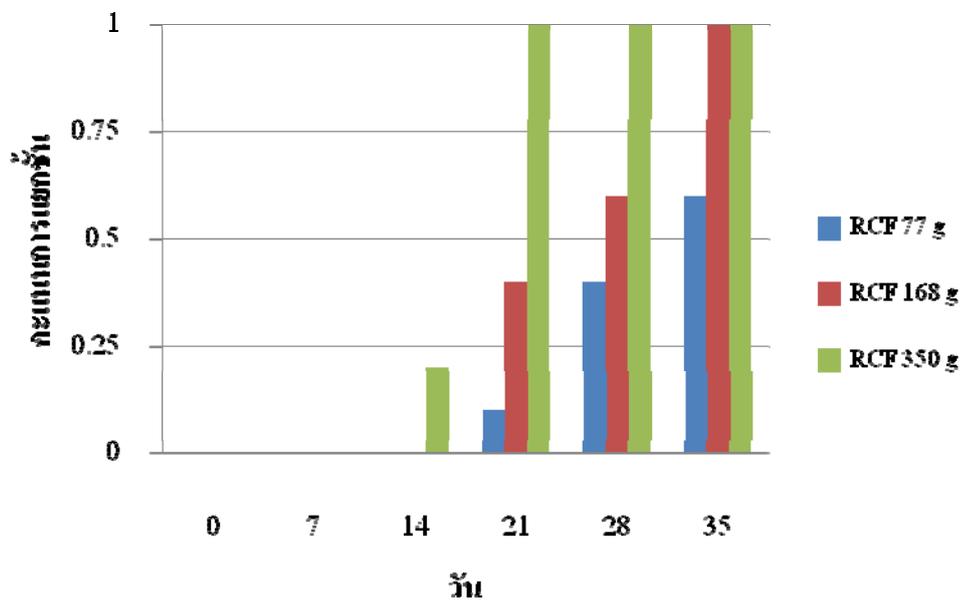
ในการปั่นเหวี่ยงที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g นั้น ไม่สามารถมองเห็นการแยกชั้นของนมเปรี้ยวในช่วงอายุของการเก็บรักษาช่วงต้น เนื่องจากการทำงานของสารให้ความคงตัวยังมีประสิทธิภาพดี แรงในการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบนี้ จึงไม่สามารถชนะแรงต้านการรวมตัวของนมเปรี้ยวได้



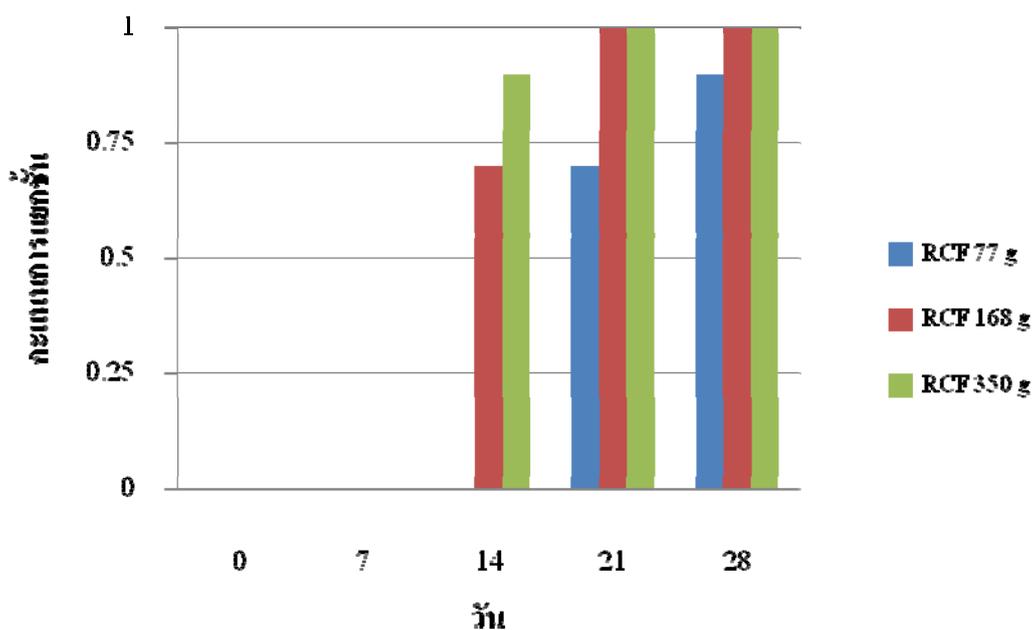
ภาพที่ 42 ค่าเฉลี่ยของคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ตามอายุการเก็บรักษา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม



ภาพที่ 43 ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ตามอายุการเก็บรักษา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย



ภาพที่ 44 ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ตามอายุการเก็บรักษา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย



ภาพที่ 45 ค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนการแยกชั้นที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ตามอายุการเก็บรักษา ของนมเปรี้ยวพาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม

3.3. การสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

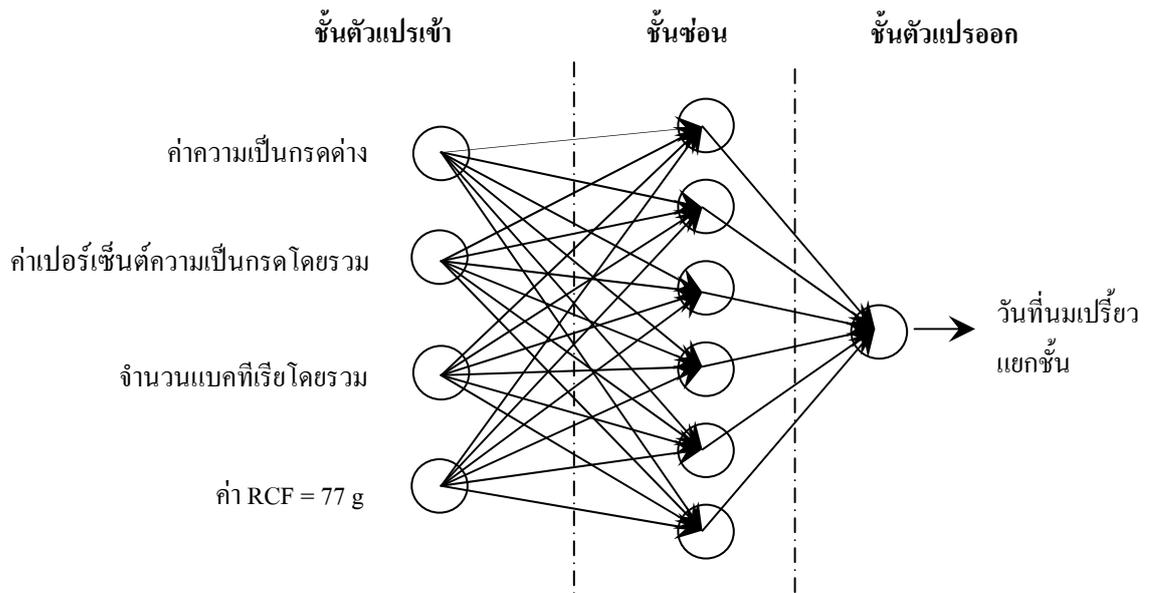
3.3.1. การสร้างสมการจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม

เมื่อนำข้อมูลตัวแปรเข้าและตัวแปรออกของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D มาหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม พบว่าจำนวนโหนดที่เหมาะสมที่สุด คือ 6 โหนด ดังแสดงในตารางที่ 31 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่จำนวน 6 โหนดมีค่าเท่ากับ 0.9452 และ 0.0771 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มากที่สุดและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ดังนั้น โครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวกลุ่มนี้จึงประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้าจำนวน 4 โหนด ชั้นซ่อนจำนวน 6 โหนดและชั้นตัวแปรออกจำนวน 1 โหนด ดังภาพที่ 46

ตารางที่ 31 การหาจำนวนโหนดในชั้นช้อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม

จำนวน โหนด	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย				ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	0.1272	0.1044	0.1160	0.1159	0.8655	0.8813	0.8563	0.8677
2	0.0986	0.0977	0.1260	0.1074	0.8947	0.8951	0.8413	0.8770
3	0.1162	0.0907	0.0949	0.1006	0.8533	0.9012	0.8856	0.8800
4	0.0917	0.1316	0.0942	0.1058	0.8983	0.8643	0.8849	0.8825
5	0.0723	0.1240	0.1155	0.1039	0.8462	0.8599	0.8652	0.8571
*6	0.0651	0.0742	0.0919	0.0771	0.9369	0.9548	0.9438	0.9452
7	0.0983	0.0935	0.0955	0.0958	0.9214	0.9055	0.9463	0.9244
8	0.1020	0.4974	0.0248	0.2081	0.8852	0.7374	0.9999	0.8742
9	1.4356	0.2443	0.1020	0.5940	0.4216	0.8546	0.8864	0.7209
10	0.0986	0.0975	0.0962	0.0974	0.8925	0.8915	0.8742	0.8861
11	0.2571	0.1827	0.1018	0.1805	0.8232	0.8721	0.8850	0.8601
12	0.1096	0.1057	0.1091	0.1081	0.8875	0.8928	0.8825	0.8876
13	0.0704	0.1137	0.1017	0.0952	0.9189	0.8778	0.8928	0.8965
14	0.0986	0.6018	0.1166	0.2723	0.8886	0.6347	0.8685	0.7973
15	0.0928	0.2195	0.1077	0.1400	0.8936	0.8461	0.8758	0.8718
16	0.0862	0.0524	0.0978	0.0788	0.9004	0.9451	0.9005	0.9153
17	0.0965	0.1060	0.1199	0.1075	0.8853	0.8757	0.8664	0.8758
18	0.0908	0.2309	0.3882	0.2366	0.9071	0.8135	0.7892	0.8366
19	0.0957	0.0902	0.0852	0.0904	0.8924	0.8888	0.9080	0.8964
20	0.0925	0.0867	0.0987	0.0926	0.8984	0.9023	0.8808	0.8938

หมายเหตุ * จำนวนโหนดที่เหมาะสมที่สุดในชั้นช้อน



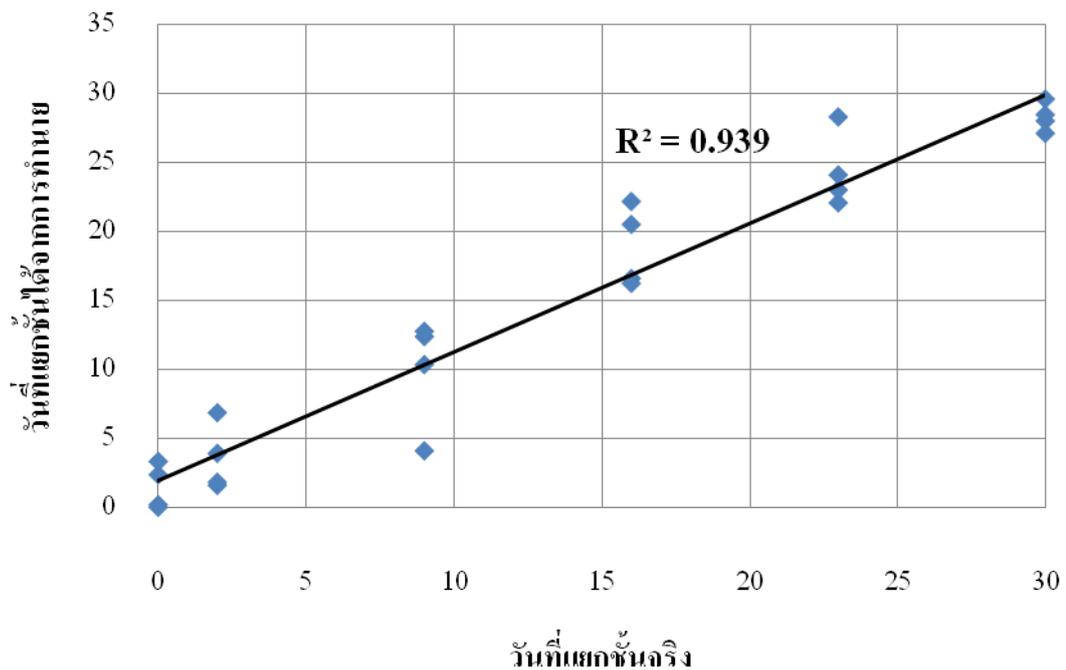
ภาพที่ 46 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม

เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมมาฝึกเรียนรู้จำ จะได้สมการทำนายวันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยวดังสมการที่ 17 ซึ่งค่าน้ำหนัก ค่าเอินเอียง และที่มาของสมการที่ 17 แสดงในภาคผนวก ค

$$Days = \left(\frac{1}{1 + e^{-x_7}} \right) \times 30 \tag{17}$$

- เมื่อ Days คือ วันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยว (วัน)
- X_7 คือ ผลรวมของค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก (ภาคผนวก ค)
- 30 คือ ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำข้อมูลตัวแปรออกให้เป็นบรรทัดฐาน

จากการทดสอบความแม่นยำของสมการ พบว่าสมการที่ 17 มีความแม่นยำ 93.9 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ของ โครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม

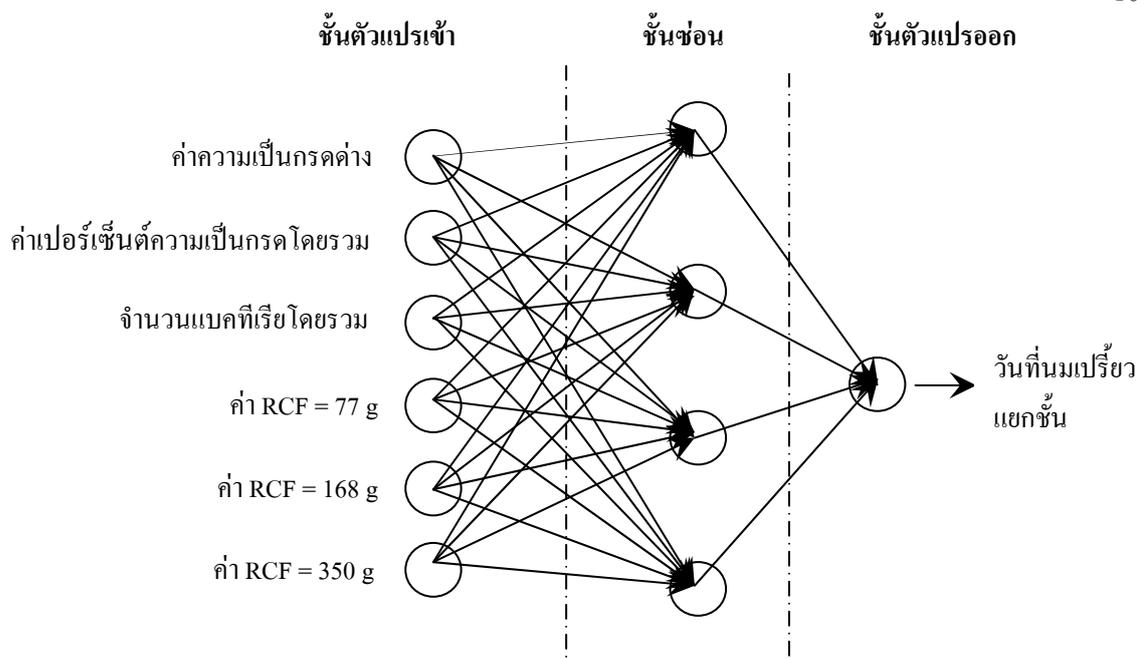
3.3.2. การสร้างสมการจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย

เมื่อนำข้อมูลตัวแปรเข้าและตัวแปรออกของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนยมาหาจำนวน โหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม พบว่าจำนวน โหนดที่เหมาะสมที่สุด คือ 4 โหนด ดังแสดงในตารางที่ 32 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่จำนวน 4 โหนดมีค่าเท่ากับ 0.9854 และ 0.0134 ตามลำดับ ซึ่ง จะเห็นได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มากที่สุดและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ดังนั้น โครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวกลุ่มนี้จึงประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้าจำนวน 6 โหนด ชั้นซ่อนจำนวน 4 โหนดและชั้นตัวแปรออกจำนวน 1 โหนด ดังภาพที่ 48

ตารางที่ 32 การหาจำนวนโหนดในชั้นช้อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์
ตรา C แบบพร้อมมันเนย

จำนวน โหนด	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย				ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	0.0962	0.0734	0.0506	0.0734	0.9197	0.9130	0.9245	0.9191
2	0.0234	0.0244	0.0314	0.0264	0.9749	0.9748	0.9744	0.9747
3	0.0222	0.0247	0.0314	0.0261	0.9785	0.9836	0.9677	0.9766
*4	0.0159	0.0135	0.0107	0.0134	0.9813	0.9856	0.9894	0.9854
5	0.0241	0.0295	0.0377	0.0304	0.9768	0.9766	0.9654	0.9729
6	0.0187	0.0227	0.0267	0.0227	0.9808	0.9736	0.9664	0.9736
7	0.0186	0.0234	0.0267	0.0229	0.9739	0.9557	0.9678	0.9658
8	0.0179	0.0235	0.0263	0.0226	0.9706	0.9774	0.9899	0.9793
9	0.0171	0.0237	0.0260	0.0223	0.9412	0.9444	0.9478	0.9445
10	0.0164	0.0238	0.0257	0.0220	0.9775	0.9744	0.9746	0.9755
11	0.0156	0.0239	0.0254	0.0217	0.9687	0.9647	0.9754	0.9696
12	0.0149	0.0241	0.0251	0.0213	0.9475	0.9784	0.9696	0.9652
13	0.0141	0.0242	0.0248	0.0210	0.9654	0.9632	0.9445	0.9577
14	0.0134	0.0244	0.0245	0.0207	0.9468	0.9510	0.9754	0.9577
15	0.0126	0.0245	0.0242	0.0204	0.9478	0.9150	0.9120	0.9249
16	0.2145	0.0246	0.0239	0.0877	0.9456	0.9347	0.9450	0.9418
17	0.9475	0.4751	0.0236	0.4821	0.9417	0.9453	0.9450	0.9440
18	0.0104	0.1450	0.2475	0.1343	0.9476	0.8465	0.9730	0.9224
19	0.1145	0.0251	0.2784	0.1393	0.9365	0.9754	0.9435	0.9518
20	0.4451	0.4251	0.2146	0.3616	0.9466	0.9345	0.9761	0.9524

หมายเหตุ * จำนวนโหนดที่เหมาะสมที่สุดในชั้นช้อน



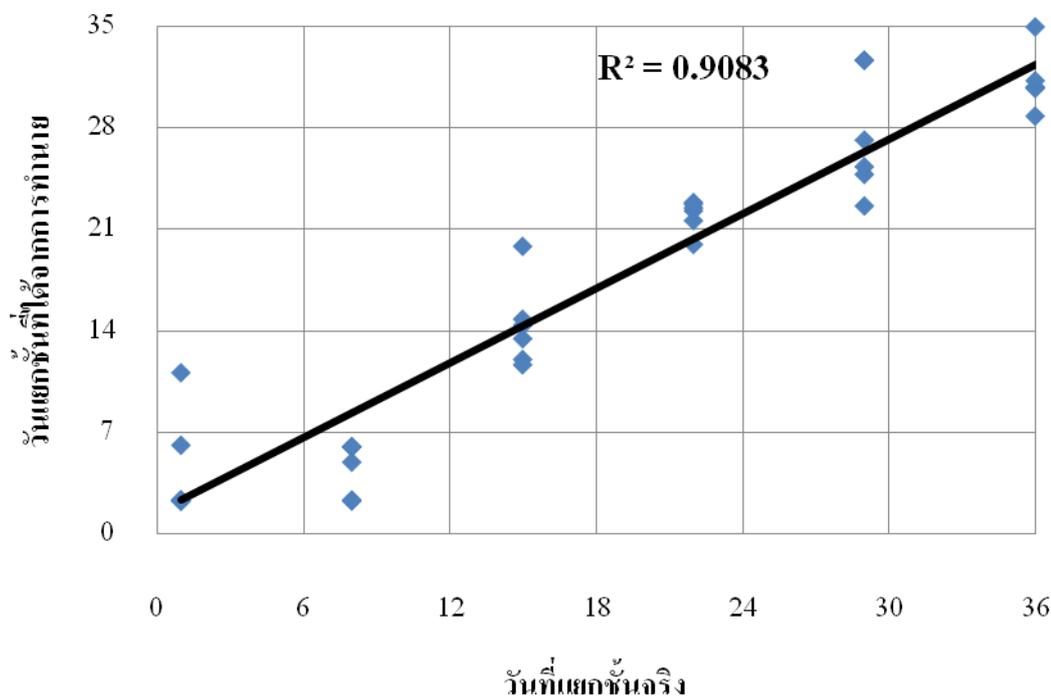
ภาพที่ 48 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย

เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมมาฝึกเรียนรู้จำ จะได้สมการทำนายวันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยวดังสมการที่ 18 ซึ่งค่าน้ำหนัก ค่าเอนเอียง และที่มาของสมการที่ 18 แสดงในภาคผนวก ค

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-x_5}} \right) \times 36 \quad (18)$$

เมื่อ	Days	คือ	วันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยว (วัน)
	X_5	คือ	ผลรวมของค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก (ภาคผนวก ค)
	36	คือ	ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำข้อมูลตัวแปรออกให้เป็นบรรทัดฐาน

จากการทดสอบความแม่นยำของสมการ พบว่าสมการที่ 18 มีความแม่นยำ 90.83 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ของ โครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย

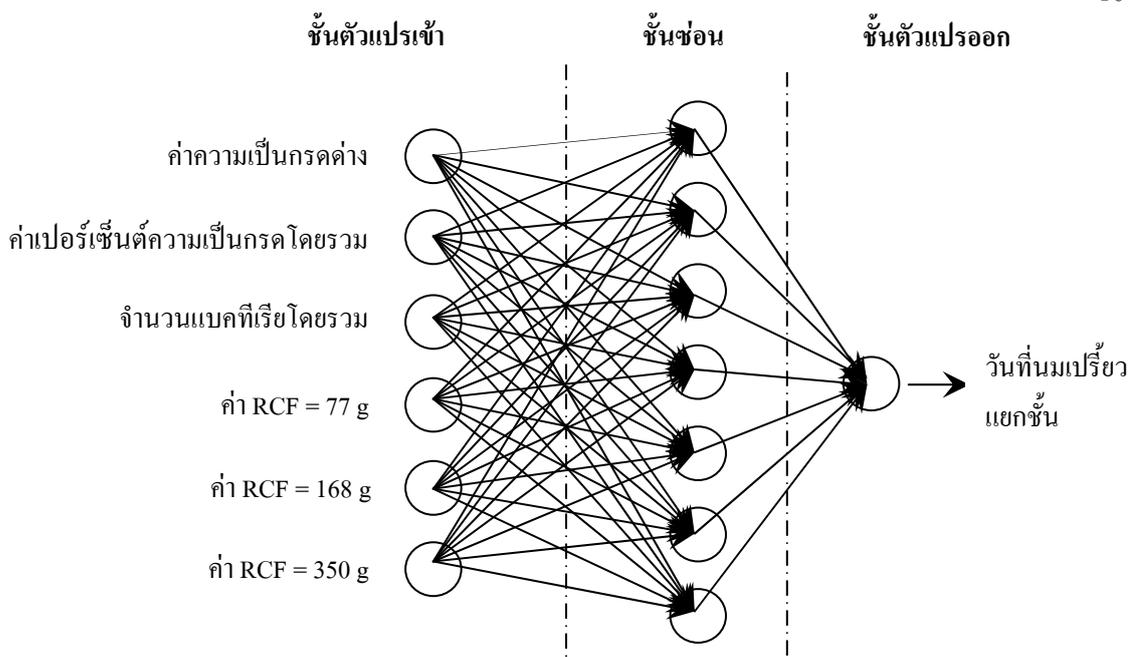
3.3.3. การสร้างสมการจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย

เมื่อนำข้อมูลตัวแปรเข้าและตัวแปรออกของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนยมาหาจำนวน โหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม พบว่าจำนวน โหนดที่เหมาะสมที่สุด คือ 7 โหนด ดังแสดงในตารางที่ 33 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่จำนวน 7 โหนดมีค่าเท่ากับ 0.9833 และ 0.0152 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มากที่สุดและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ดังนั้น โครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวกลุ่มนี้จึงประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้าจำนวน 6 โหนด ชั้นซ่อนจำนวน 7 โหนดและชั้นตัวแปรออกจำนวน 1 โหนด ดังภาพที่ 50

ตารางที่ 33 การหาจำนวนโหนดในชั้นช้อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์
ตรา C แบบขาดมันเนย

จำนวน โหนด	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย				ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	0.0461	0.0056	0.0182	0.0233	0.9475	0.9674	0.9760	0.9636
2	0.0430	0.0103	0.0194	0.0242	0.9785	0.9685	0.9758	0.9743
3	0.0399	0.0150	0.0206	0.0252	0.9896	0.9841	0.9756	0.9831
4	0.0387	0.0124	0.0209	0.0240	0.9862	0.9864	0.9754	0.9827
5	0.0184	0.0210	0.0130	0.0175	0.9794	0.9773	0.9854	0.9807
6	0.0552	0.0579	0.0470	0.0534	0.9532	0.9401	0.9545	0.9493
*7	0.0161	0.0158	0.0136	0.0152	0.9800	0.9843	0.9855	0.9833
8	0.0127	0.0280	0.0406	0.0271	0.9862	0.9713	0.9725	0.9767
9	0.0903	0.1140	0.2104	0.1382	0.9387	0.9288	0.9754	0.9476
10	0.0587	0.0902	0.0390	0.0627	0.9687	0.9647	0.8997	0.9444
11	0.0645	0.1041	0.0430	0.0706	0.9475	0.9784	0.9741	0.9667
12	0.0703	0.1180	0.0470	0.0784	0.9735	0.9632	0.9847	0.9738
13	0.0760	0.1319	0.0510	0.0863	0.9468	0.9510	0.9687	0.9555
14	0.0156	0.0239	0.0254	0.0217	0.9478	0.9150	0.9274	0.9301
15	0.0149	0.0241	0.0251	0.0213	0.9450	0.9352	0.9484	0.9429
16	0.0141	0.0242	0.0248	0.0210	0.9416	0.9307	0.9461	0.9395
17	0.0134	0.0244	0.0245	0.0207	0.9383	0.9262	0.9439	0.9361
18	0.0126	0.0245	0.0242	0.0204	0.9349	0.9217	0.9416	0.9327
19	0.0119	0.0246	0.0239	0.0201	0.9315	0.9172	0.9393	0.9293
20	0.001	0.451	0.3571	0.2697	0.9886	0.7772	0.9476	0.9045

หมายเหตุ * จำนวนโหนดที่เหมาะสมที่สุดในชั้นช้อน



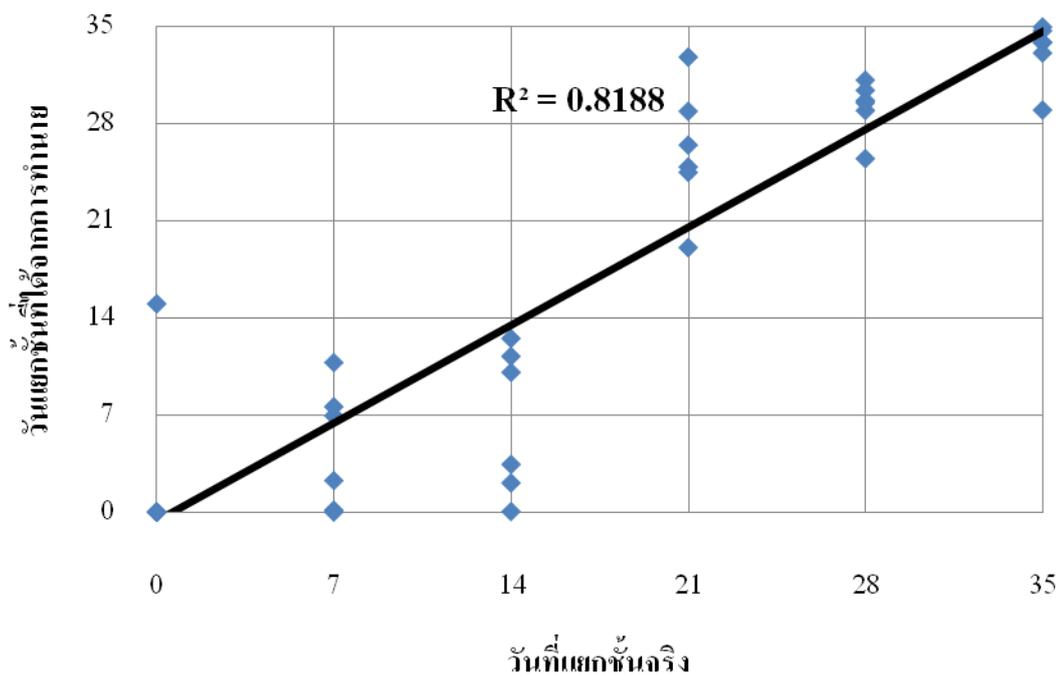
ภาพที่ 50 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย

เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมมาฝึกเรียนรู้จำ จะได้สมการทำนายวันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยวดังสมการที่ 19 ซึ่งค่าน้ำหนัก ค่าเอนเอียง และที่มาของสมการที่ 19 แสดงในภาคผนวก ค

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-x_8}} \right) \times 35 \quad (19)$$

เมื่อ	Days	คือ	วันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยว (วัน)
	X_8	คือ	ผลรวมของค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก (ภาคผนวก ค)
	35	คือ	ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำข้อมูลตัวแปรออกให้เป็นบรรทัดฐาน

จากการทดสอบความแม่นยำของสมการ พบว่าสมการที่ 19 มีความแม่นยำ 81.88 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 51



ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ของ โครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย

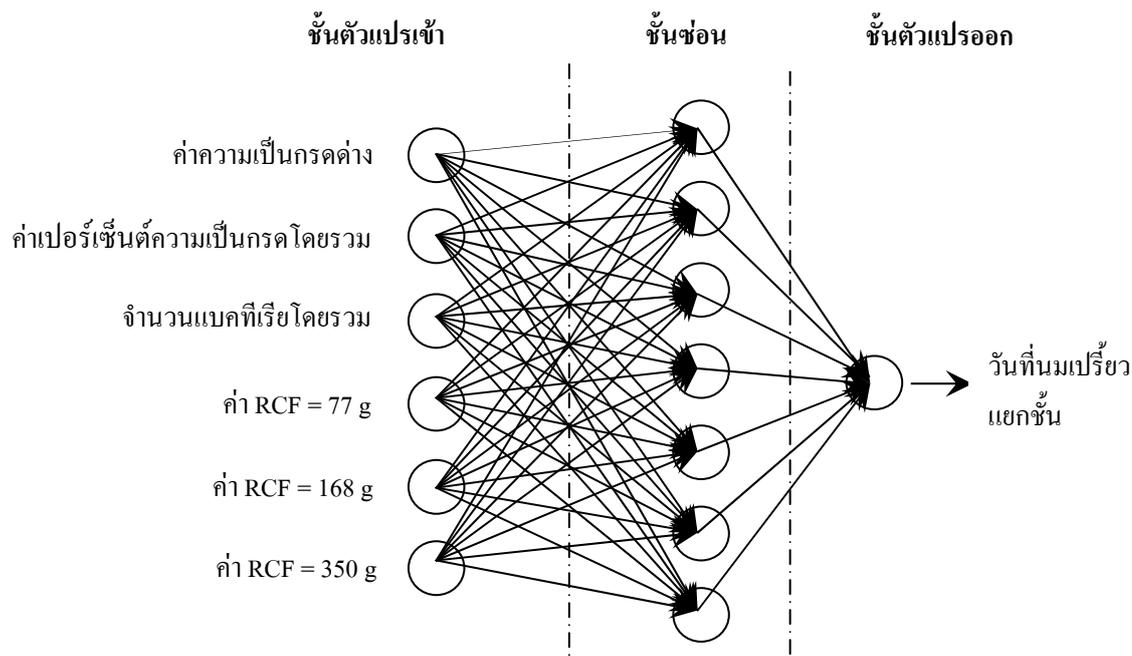
3.3.4. การสร้างสมการจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม

เมื่อนำข้อมูลตัวแปรเข้าและตัวแปรออกของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนยมาหาจำนวน โหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม พบว่าจำนวน โหนดที่เหมาะสมที่สุด คือ 7 โหนด ดังแสดงในตารางที่ 34 ค่าเฉลี่ยของค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่จำนวน 7 โหนดมีค่าเท่ากับ 0.9906 และ 0.0116 ตามลำดับ ซึ่ง จะเห็นได้ว่าเป็นค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มากที่สุดและค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ดังนั้น โครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวกลุ่มนี้จึงประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้าจำนวน 6 โหนด ชั้นซ่อนจำนวน 7 โหนดและชั้นตัวแปรออกจำนวน 1 โหนด ดังภาพที่ 52

ตารางที่ 34 การหาจำนวนโหนดในชั้นช้อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์
ตรา E รสส้ม

จำนวน โหนด	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย				ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	0.0127	0.0280	0.0406	0.0271	0.9468	0.9510	0.9687	0.9555
2	0.0903	0.1140	0.2104	0.1382	0.9478	0.9150	0.9274	0.9301
3	0.0587	0.0902	0.0390	0.0627	0.9450	0.9352	0.9484	0.9429
4	0.0645	0.1041	0.0430	0.0706	0.9416	0.9307	0.9461	0.9395
5	0.0703	0.1180	0.0470	0.0784	0.9383	0.9262	0.9439	0.9361
6	0.0760	0.1319	0.0510	0.0863	0.9349	0.9217	0.9416	0.9327
*7	0.0143	0.0049	0.0155	0.0116	0.9871	0.9954	0.9894	0.9906
8	0.0187	0.0227	0.0267	0.0227	0.9412	0.9444	0.9478	0.9445
9	0.0186	0.0234	0.0267	0.0229	0.9775	0.9744	0.9746	0.9755
10	0.0179	0.0235	0.0263	0.0226	0.9687	0.9647	0.9754	0.9696
11	0.0171	0.0237	0.0260	0.0223	0.9475	0.9784	0.9696	0.9652
12	0.0164	0.0238	0.0257	0.0220	0.9654	0.9632	0.9445	0.9577
13	0.0156	0.0239	0.0254	0.0217	0.9468	0.9510	0.9754	0.9577
14	0.0149	0.0241	0.0251	0.0213	0.9478	0.9150	0.9120	0.9249
15	0.0141	0.0242	0.0248	0.0210	0.9456	0.9347	0.9450	0.9418
16	0.0135	0.0245	0.0245	0.0209	0.9462	0.9307	0.9364	0.9377
17	0.0128	0.0247	0.0243	0.0206	0.9442	0.9256	0.9321	0.9340
18	0.0121	0.0249	0.0240	0.0203	0.9423	0.9206	0.9279	0.9302
19	0.0114	0.0251	0.0237	0.0201	0.9403	0.9156	0.9236	0.9265
20	0.0107	0.0252	0.0234	0.0198	0.9383	0.9106	0.9193	0.9228

หมายเหตุ * จำนวนโหนดที่เหมาะสมที่สุดในชั้นช้อน



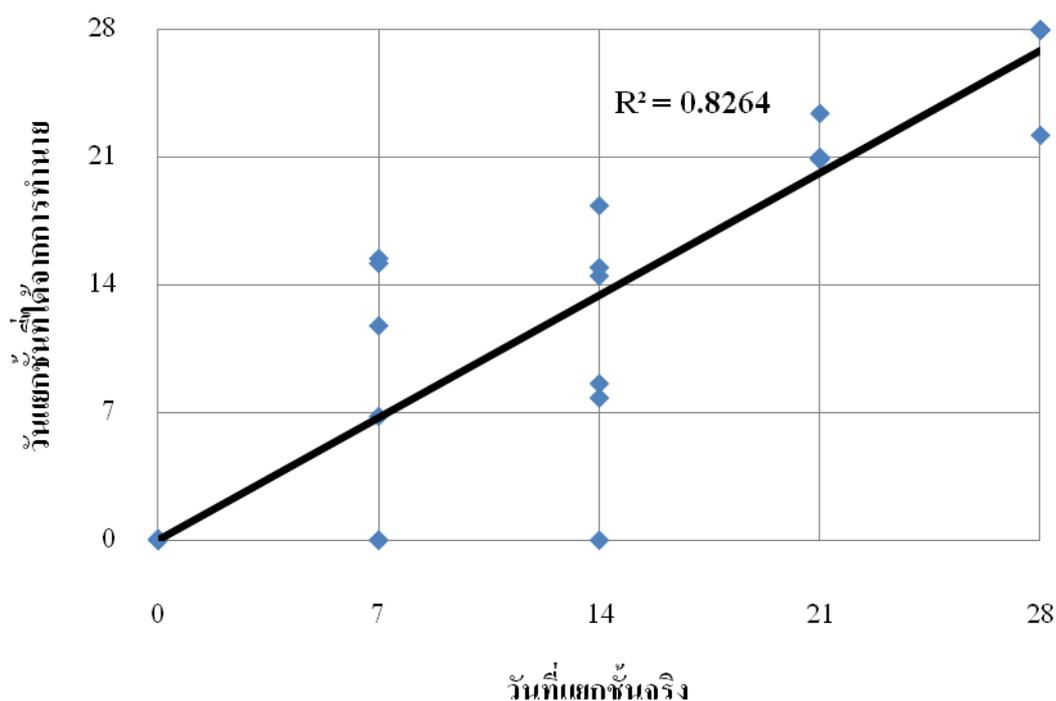
ภาพที่ 52 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม

เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมมาฝึกเรียนรู้จำ จะได้สมการทำนายวันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยวดังสมการที่ 20 ซึ่งค่าน้ำหนัก ค่าเอนเอียง และที่มาของสมการที่ 20 แสดงในภาคผนวก ค

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-x_8}} \right) \times 28 \quad (20)$$

เมื่อ	Days	คือ	วันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยว (วัน)
	X_8	คือ	ผลรวมของค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก (ภาคผนวก ค)
	28	คือ	ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำข้อมูลตัวแปรออกให้เป็นบรรทัดฐาน

จากการทดสอบความแม่นยำของสมการ พบว่าสมการที่ 20 มีความแม่นยำ 82.64 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 53

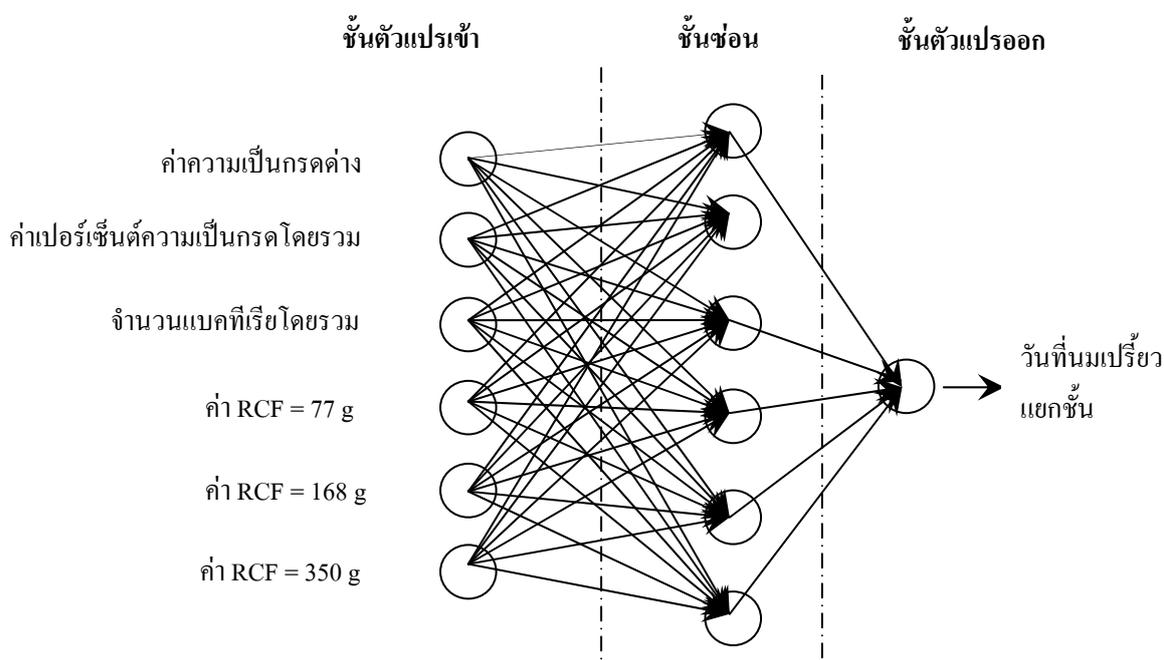


ภาพที่ 53 ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม

3.3.5. การสร้างสมการรวมจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

นำค่าทางเคมี ทางจุลชีววิทยา และค่าจากการปั่นเหวี่ยงที่ได้จากการทดลองในข้อ 3 ทั้งหมด มาสร้างสมการ โดยรวมข้อมูลของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ทั้ง 4 ชนิด คือนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย และแบบขาดมันเนย และนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E พบว่าไม่สามารถสร้างสมการได้ เนื่องจากตัวแปรของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D มีตัวแปรเข้า 4 ตัวแปร คือ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม จำนวนแบคทีเรียโดยรวม และที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g ซึ่งต่างจากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์อีก 3 ชนิดที่มีตัวแปรเข้า 6 ตัวแปร คือ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม จำนวนแบคทีเรียโดยรวม และที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ดังนั้นสมการนี้จึงใช้นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ 3 ตรา คือนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนยและแบบขาดมันเนย และนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E มาสร้างสมการ

สร้างสมการโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ค่าตัวแปรเข้ามี 6 ค่า ได้แก่ ค่าความเป็นกรดต่าง ค่าความเป็นกรดโดยรวม จำนวนแบคทีเรียโดยรวม และที่ค่า RCF เท่ากับ 77 g, 168 g และ 350 g ใช้สถาปัตยกรรมเครือข่าย feed forward network จำนวน โหนดในชั้นซ่อนพบว่า จำนวน 6 โหนดเป็นจำนวนที่เหมาะสมที่สุด เพราะให้ค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.9703 และค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย 0.0238 ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดและน้อยที่สุด ตามลำดับ ดังตารางที่ 35 ลักษณะของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวกลุ่มนี้ประกอบด้วย ชั้นตัวแปรเข้าจำนวน 6 โหนด, ชั้นซ่อนจำนวน 6 โหนดและชั้นตัวแปรออกจำนวน 1 โหนด ดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

ตารางที่ 35 การหาจำนวนโหนดในชั้นช่อนที่เหมาะสมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

จำนวน โหนด	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย				ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	0.0029	0.0828	0.0981	0.0613	0.9770	0.9448	0.9556	0.9591
2	0.0161	0.0791	0.0941	0.0631	0.9717	0.9445	0.9541	0.9568
3	0.0293	0.0753	0.0901	0.0649	0.9665	0.9442	0.9525	0.9544
4	0.0425	0.0716	0.0861	0.0667	0.9612	0.9439	0.9509	0.9520
5	0.0557	0.0678	0.0820	0.0685	0.9560	0.9436	0.9494	0.9497
*6	0.0277	0.0227	0.0211	0.0238	0.9674	0.9704	0.9732	0.9703
7	0.0241	0.0485	0.0388	0.0371	0.9694	0.9386	0.9485	0.9522
8	0.0271	0.0257	0.0319	0.0282	0.9654	0.9672	0.9624	0.9650
9	0.2810	0.2160	0.3154	0.2708	0.8734	0.8906	0.8954	0.8865
10	0.1450	0.0234	0.0267	0.0650	0.8401	0.8841	0.8823	0.8688
11	0.2435	0.0235	0.0263	0.0978	0.9678	0.9745	0.9678	0.9700
12	0.1470	0.0237	0.0260	0.0656	0.9612	0.9713	0.9725	0.9683
13	0.0250	0.0238	0.0257	0.0248	0.9387	0.9288	0.9754	0.9476
14	0.3475	0.0239	0.0254	0.1323	0.9687	0.9647	0.8997	0.9444
15	0.4215	0.0241	0.0251	0.1569	0.9475	0.9784	0.9741	0.9667
16	0.2254	0.0242	0.0248	0.0915	0.9735	0.9632	0.9675	0.9681
17	0.0145	0.2456	0.0347	0.0983	0.9468	0.9510	0.9687	0.9555
18	0.2239	0.1237	0.0242	0.1239	0.9465	0.9536	0.9619	0.9540
19	0.3125	0.1521	0.1214	0.1953	0.9423	0.9512	0.9609	0.9515
20	0.2480	0.1410	0.1114	0.1668	0.8142	0.9489	0.9600	0.9077

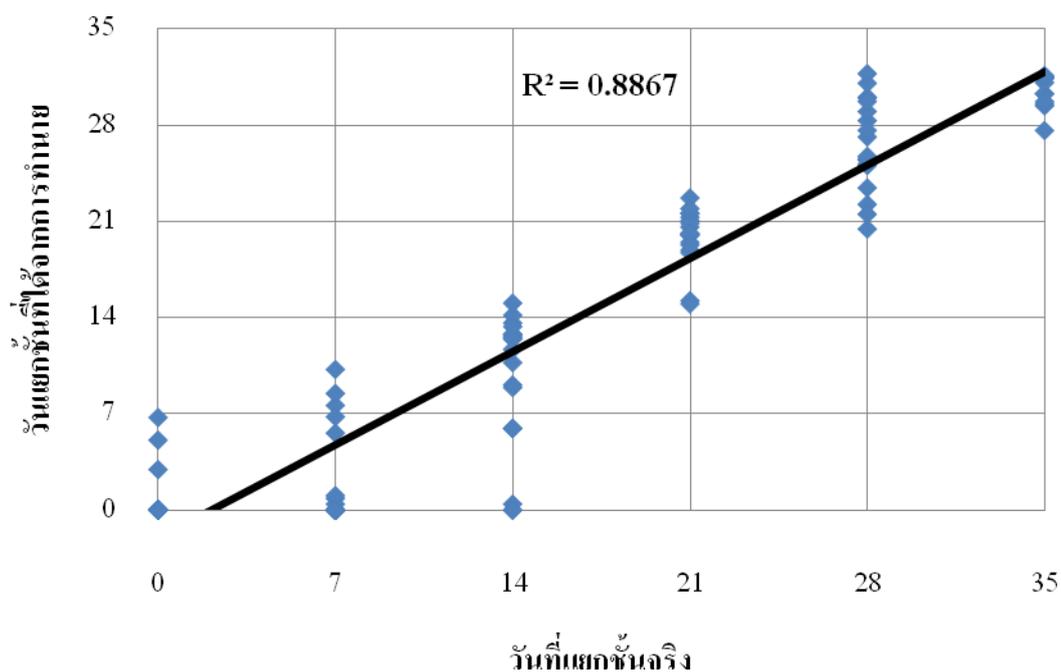
หมายเหตุ * จำนวนโหนดในชั้นช่อนที่เหมาะสมที่สุด

เมื่อนำโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมมาฝึกเรียนรู้จำ จะได้สมการทำนายวันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยวดังสมการที่ 21 ซึ่งค่าน้ำหนัก ค่าเอนเอียง และที่มาของสมการที่ 21 แสดงในภาคผนวก ค

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_7}} \right) \times 35 \quad (21)$$

เมื่อ	Days	คือ	วันที่เกิดการแยกชั้นของนมเปรี้ยว (วัน)
	X_7	คือ	ผลรวมของค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก (ภาคผนวก ค)
	35	คือ	ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำข้อมูลตัวแปรออกให้เป็นบรรทัดฐาน

จากการทดสอบความแม่นยำของสมการ พบว่าสมการที่ 21 มีความแม่นยำ 88.67 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 55



ภาพที่ 55 ความสัมพันธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์

จากสมการทำนายทั้ง 5 สมการ พบว่าสมการที่ได้จากนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา D ให้ความแม่นยำสูงที่สุด ($R^2 = 0.939$) สมการที่ได้จากนมเปรี้ยวพร้อมดื่ม พาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย ให้ความแม่นยำรองลงมา ($R^2 = 0.9083$) สมการรวมที่ได้ จากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ทั้งหมด ให้ความแม่นยำเป็นลำดับที่ 3 ($R^2 = 0.8867$) สมการที่ ได้จากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E ให้ความแม่นยำเป็นลำดับที่ 4 ($R^2 = 0.8264$) และ สมการที่ได้จากนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย ให้ความแม่นยำต่ำสุด ($R^2 = 0.8188$) การที่สมการนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย ให้ความแม่นยำ ต่ำสุดอาจเนื่องมาจากตัวแปรเข้าที่ใช้สร้างสมการไม่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เกิดการลด ทอนความแม่นยำของสมการรวม ดังนั้นสมการรวมนี้ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ทำนายวันที่เกิด การแยกชั้นจริงครอบคลุมนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ การเพิ่มความแม่นยำของสมการทำนาย อาจทำได้โดยการเลือกตัวแปรเข้าที่เหมาะสม การเพิ่มจำนวนตัวแปรเข้า การเพิ่มจำนวนชุดข้อมูล ในการสร้างสมการ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดโดยรวมและจำนวนแบคทีเรียโดยรวมของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น
2. ค่า relative centrifugal force ในการปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมีผลต่อการแยกชั้น เมื่ออายุการเก็บรักษาของนมเปรี้ยวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำงานของสารให้ความคงมีประสิทธิภาพลดลง แรงในการปั่นเหวี่ยงจึงสามารถชนะแรงต้านการรวมตัวของนมเปรี้ยวได้
3. สมการทำนายวันที่เกิดการแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยว แบบสมการเดียวดีกว่าแบบสมการรวม เนื่องจากความเหมาะสมของตัวแปรเข้าของแต่ละผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต ปริมาณสารให้ความคงตัวไม่เหมือนกัน
4. สมการทำนายวันแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยว โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับข้อมูลทางด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ให้ผลในระดับดี และสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการสร้างสมการทำนาย เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมจริง โดยการใช้สภาวะตามกระบวนการผลิตของโรงงานนั้นๆ
5. สมการที่ใช้ฟังก์ชันกระตุ้นแบบซิกมอยด์ สามารถอธิบายในรูปแบบของ

$$Days = \left(\frac{1}{1 + e^{-x_n}} \right) \times C$$

โดย Days คือ วันที่แยกชั้นจากการทำนาย
C คือ ค่าคงที่ที่ใช้ในการทำข้อมูลตัวแปรออกให้เป็นบรรทัดฐาน

ข้อเสนอแนะ

1. การเพิ่มความแม่นยำของสมการทำนายวันแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยว อาจทำโดยเพิ่มจำนวนตัวแปรเข้า เช่น จุลินทรีย์ที่สร้างกรด ยีสต์ รา หรือ โคลิฟอร์ม เป็นต้น เพิ่มจำนวนชุดข้อมูลในการสร้างสมการ หรือศึกษาความสัมพันธ์ด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแยกชั้น
2. การสร้างสมการเพื่อทำนายการแยกชั้นของนมเปรี้ยว พบว่า กลิ่น สีและรส ไม่มีผลต่อการแยกชั้น ดังนั้นควรศึกษาตัวแปรหลักที่เกี่ยวข้องกับการแยกชั้นเพิ่ม หรือเพิ่มวิธีทดลองเพื่อสร้างสมการทำนายให้มีความแม่นยำเพิ่มขึ้น
3. ควรขยายงานวิจัยในผลิตภัณฑ์นมประเภทอื่น นอกเหนือจากแบบพร้อมมันเนยและแบบขาดมันเนย
4. ควรใช้ตัวอย่างในการศึกษาที่มีองค์ประกอบของน้ำนมและกระบวนการผลิตใกล้เคียงกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

มณฑล เลิศคนาวนิชกุล, ปนัดดา พิบูลย์, สุภาภรณ์ คงสวัสดิ์ และ สุภาวดี ศิลปินประสาธน์.

2548. คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์สุขภาพชุมชน จังหวัดนครศรีธรรมราช.

วารสารการส่งเสริมสุขภาพ และอนามัยสิ่งแวดล้อม 28 (4): 58-67.

วิโรจน์ ภัทรจินดา. 2546. โคนม. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วิไล รังสาดทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชัน,
กรุงเทพฯ.

วราวุฒิ ครุสง และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2531. เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม.
โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2545. เรื่องเร่งด่วน. รายงานประจำปี 2545 Annual
Report 2002 Food And Drug Administration. แหล่งที่มา:
<http://www.fda.moph.go.th/depart/divtec1/FdaWeb/rapid45.html>, 8 มี.ค. 2550.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมนมเปรี้ยว.
มอก. 2146 – 2546.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. 2548. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหาร
แห่งชาติน้ำมันดิบ. มอกช. 6003 – 2548.

สิทธิวัฒน์ เลิศศิริ. 2549. การเสื่อมสภาพของอาหารและการทดสอบอายุการเก็บรักษาอาหาร.
Food Focus Thailand. 1 (1): 18-23.

สุดาทิพย์ แซ่ตัน. 2550. การลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนสารพิษอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงดิบ
ด้วยวิธีการคัดเลือกคุณภาพถั่วลิสงและโรงขายนึ่งปราศจากเชื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สุมาลี เหลืองสกุล. 2541. **จุลชีวินวิทยาทางอาหาร**. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, กรุงเทพฯ.
- สมจิต สุรพัฒน์ และ นภาศรี ไวศยะนันท์. 2543. นมและผลิตภัณฑ์นม, น. 213-229. ใน คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, บรรณาธิการ. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อดิศักดิ์ เอกโสภาวรรณ. 2540. **สารเพิ่มความหนืดและสารทำให้เกิดเจลสำหรับอาหาร**. มหาวิทยาลัยหอการค้า, กรุงเทพฯ.
- AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**. 17th ed., Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland.
- Bitman, J., D.L. Wood, R.H. Miller, J.C. Wilk and E.D. Moore. 1995. Comparison of lipid composition of milk from Half-Danish Jersey cows and United States Jersey cows. **J. Dairy Sci.** 78 (3): 655-658.
- Bylund, G. 1995. **Dairy Process Handbook: Tetra Pak Processing System**. Imprint: Tetra pak, Lund, Sweden.
- Demuth, H., M. Beale and M. Hagan. 2006. **Neural Network Toolbox for use with MATLAB user's guide version 5**. The MathWorks, Inc., Natick, MA.
- Douglas, G. 1995. Yogurt. **Dairy Science and Technology, University of Guelph, Canada**. Available Source: <http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/yogurt.html>, Jan 26, 2007
- Earle, R. L. 1983. Centrifugal separation. **Unit Operation in Food Processing**. Available Source: <http://www.nzifst.org.nz/unitoperations/mechseparation4.htm>, April 1, 2007

- Fausett, L. 1994. **Fundamentals of Neural Networks Architectures, Algorithms and Applications**. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Gurney, K. 1997. **An Introduction to Neural Networks**. Crc press, London.
- Hargrove, G.L. 1994. Bias in composite milk samples with unequal milking intervals. **J. Dairy Sci.** 77 (7): 1917-1921.
- Hui, Y.H. 1993. **Dairy Science and Technology Handbook, Principles and Properties**. vol. 1. VCH, New York.
- Kessler, H.G. 1981. **Food Engineering and Dairy Technology**. Verlag A. Kessler, Freising, Germany.
- Kilcast, D. and P. Subramaniam. 2000. **The Stability and Shelf-life of Food**. Woodhead Publishing Limited, New York.
- Kovalenko, I.V. and J.L. Briggs. 2002. Texture characterization of soy-based yogurt by the vane method. **J. Food Texture Studies.** 33 (2): 105-118.
- Labusa, T.P. and M.K. Schmidl. 1985. Accelerated shelf-life testing of foods. **Food Technology**. September. pp. 57-64, 134.
- Larquet, E., M. Panouill, D. Durand, T. Nicolai and N. Boisset. 2005. Aggregation and gelation of micellar casein particles. **J. Colloid and Interface Sci.** 287 (1): 85-93.
- Lertsiri, S., R. Maungma, A. Assavanig and A. Bhumiratana. 2001. Roles of the maillard reaction in browning during moromi process of Thai soy sauce. **J. Food Processing and Preservation.** 25 (2): 149-162.

- Martin, I.D. and G. Davis. 2003. Winger Cheese. **Auctioneers & Appraiser, Harry Davis & Company**. Available Source: www.harrydavis.com/winger.htm, April 1, 2007
- Morin, D.E., L.L. Rowan, W.L. Hurley and W.E. Braselton. 1995. Composition of milk from Llamas in the United States. **J. Dairy Sci.** 78 (8): 1713-1720.
- Patterson, D.W. 1996. **Artificial Neural Networks: Theory and Application**. Prentice Hall, Inc., Singapore.
- Rai P., G.C. Majumdar, S. DasGupta and S. De. 2005. Prediction of the viscosity of clarified fruit juice using artificial neural network: a combined effect of concentration and temperature. **J. Food Engineering.** 68: 527–533.
- Rao Ananda M. and J. Srinivas. 2003. **Neural Networks: Algorithms, Applications, and Programming**. Alpha Science Inter., Pangbourne, United Kingdom.
- Razmi-Rad, E., B. Ghanbarzadeh, S.M. Mousavi, Z. Emam-Djomeh and J. Khazaei. 2007. Prediction of rheological properties of Iranian bread dough from chemical composition of wheat flour by using artificial neural networks. **J. Food Engineering.** 81 (4): 728–734.
- Rickwood, D. 1984. **Centrifugation: a Practical Approach**. 2nd ed. Oxford: IRL Press, Washington DC.
- Singh, R.P. 2000. Scientific Principles of Shelf-life Evaluation, pp. 3. *In* C.M.D. Man and A.A. Jones, eds. **Shelf-life evaluation of foods**. 2nd ed. Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland.
- Singh, R.R.B., A.P. Ruhil, D.K. Jain, A.A. Patel and G.R. Patil. 2008. Prediction of sensory quality of UHT milk – A comparison of kinetic and neural network approaches. **J. Food Engineering.** 92 (2): 146-151.

Sivanandam S N, S. Sumathi and S.N. Deepa. 2006. **Introduction to Neural Networks using Matlab 6.0**. Tata McGraw-Hill Publishing Co.,Ltd., New Delhi.

Sofu A. and F.Y. Ekinici. 2007. Estimation of storage time of yogurt with artificial neural network modeling. **J. Dairy Sci.** 90: 3118–3125.

Srivastava, M.L. 2008. **Fermentation Technology**. Alpha Science International Ltd., Oxford, United Kingdom.

Tamime, A.Y. 2006. Fermented Milks. BlackWell Science Ltd., Oxford, United Kingdom.

Tromp, R.H., Cees G. de Kruijf, Marcel van Eijk and Claus Rolin. 2004. On the mechanism of stabilisation of acidified milk drinks by pectin. **Food Hydrocolloids.** 18 (4): 565–572.

Vandeweghe, P., P. Norquist and E. Flynn. 2002. **Yogurt Production Process**. U.S. Patent 6,399,122.

Walstra, P. 1990. On the stability of casein micelles. **J. Dairy Sci.** 73 (8): 1965-1979.

Wawerla M., A. Stolle, B. Schalch and H. Eisgruber. 1999. Impedance microbiology: applications in food hygiene. **J. Food Prot.** 62 (12): 1488-96.

White, C.H. 1993. Rapid methods for estimation and prediction of shelf-life of milk and dairy products. **J. Dairy Sci.** 76: 3126-3132.

White, S.L., J.A. Bertrand, M.R. Wade, S.P. Washburn, J.T. Green Jr., and T.C. Jenkins. 2001. Comparison of fatty acid content of milk from Jersey and Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. **J. Dairy Sci.** 84 (10): 2295–2301.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

อิทธิพลของตัวแปรเข้าต่อความแม่นยำของสมการทำนายการแยกชั้นของนมเปรี้ยว

1. การศึกษาอิทธิพลเดี่ยว

1.1 เครื่องปั้นเวียงหนีศูนย์ แบบกำหนดมุมเอียง

ปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
ค่าความเป็นกรดต่าง	0.532
ค่าความเป็นกรดโดยรวม	0.765
จำนวนแบคทีเรียโดยรวม	0.779
ค่า RCF เท่ากับ 60 g	0.432
ค่า RCF เท่ากับ 112 g	0.551
ค่า RCF เท่ากับ 201 g	0.512
ค่า RCF เท่ากับ 314 g	0.644

1.2 เครื่องปั้นเวียงหนีศูนย์ แบบแกว่งออก

ปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
ค่าความเป็นกรดต่าง	0.5489
ค่าความเป็นกรดโดยรวม	0.6572
จำนวนแบคทีเรียโดยรวม	0.6779
ค่า RCF เท่ากับ 77 g	0.5140
ค่า RCF เท่ากับ 168 g	0.5360
ค่า RCF เท่ากับ 350 g	0.6231

2. การศึกษาอิทธิพลร่วม

2.1 เครื่องปั้นเหยียงหนีศูนย์ แบบกำหนดมุมเอียง

ปัจจัยที่ตัดออก	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
ค่าความเป็นกรดต่าง	0.94
ค่าความเป็นกรดโดยรวม	ค่าเข้าใกล้ 0
จำนวนแบคทีเรียโดยรวม	ไม่สามารถทำนายได้
ค่า RCF เท่ากับ 60 g	0.7732
ค่า RCF เท่ากับ 112 g	0.7648
ค่า RCF เท่ากับ 201 g	0.6561
ค่า RCF เท่ากับ 314 g	0.6458

2.2 เครื่องปั้นเหยียงหนีศูนย์ แบบแกว่งออก

ปัจจัย	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
ค่าความเป็นกรดต่าง	0.91
ค่าความเป็นกรดโดยรวม	ค่าเข้าใกล้ 0
จำนวนแบคทีเรียโดยรวม	ไม่สามารถทำนายได้
ค่า RCF เท่ากับ 77 g	0.8719
ค่า RCF เท่ากับ 168 g	0.8786
ค่า RCF เท่ากับ 350 g	0.9046

ภาคผนวก ข

การใช้โปรแกรม MATLAB R2006a ในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

1. การใช้โปรแกรม MATLAB R2006a เพื่อสร้างสมการทำนาย

1.1. การจัดวางรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการทำนาย

1.1.1. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาจัดวางในลักษณะแนวนอน แสดงดังตาราง
หมวดที่ ข1

ตารางหมวดที่ ข1 การจัดวางข้อมูลตัวแปรเข้าและข้อมูลตัวแปรออก

วันที่	0		28			
ค่าความเป็นกรดต่าง	3.61	3.61	.	.	3.73	3.73
ค่าความเป็นกรดโดยรวม	0.62	0.615	.	.	0.735	0.74
จำนวนแบคทีเรียโดยรวม	120	90	.	.	10	10
ความเร็ว 1100 รอบต่อนาที	0	0	.	.	2	2
ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที	0	0	.	.	3.5	3
ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที	0	0	.	.	4.5	3
ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที	0	0	.	.	10	10
เป้าหมาย	34	34	.	.	6	6

1.1.2. ทำบรรทัดฐานให้กับข้อมูล โดยนำค่าที่มากที่สุดของแต่ละตัวแปรหารทุกค่า
ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ดังตารางหมวดที่ ข2

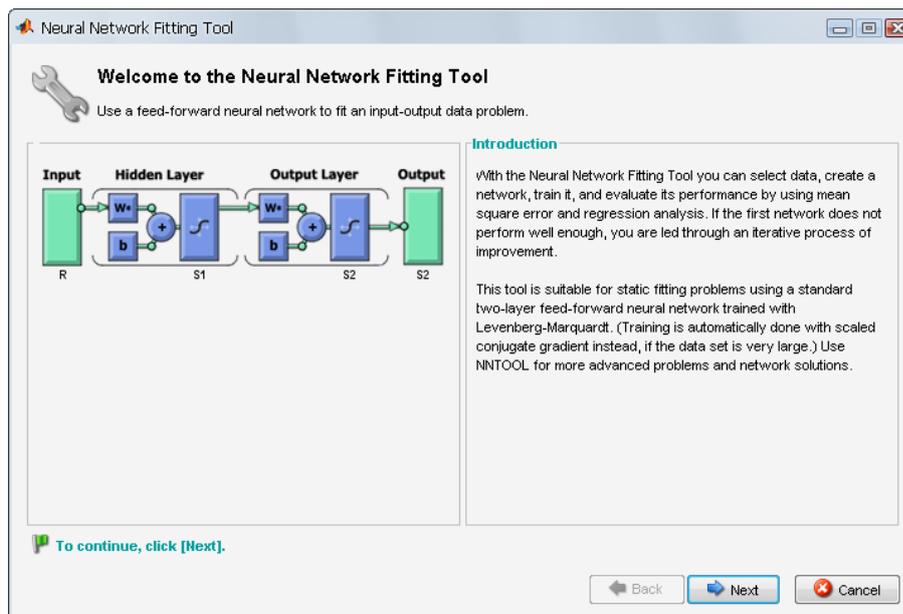
ตารางผนวกที่ ข2 ค่าของข้อมูลหลังทำบรรทัดฐานให้ข้อมูล

วันที่	0		28			
ค่าความเป็นกรดต่าง	0.9450	0.9450	.	.	0.9764	0.9764
ค่าความเป็นกรดโดยรวม	0.7294	0.7235	.	.	0.8647	0.8706
จำนวนแบคทีเรียโดยรวม	0.0040	0.0030	.	.	0.0003	0.0003
ความเร็ว 1100 รอบต่อนาที	0.0000	0.0000	.	.	0.1000	0.1000
ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที	0.0000	0.0000	.	.	0.0875	0.0750
ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที	0.0000	0.0000	.	.	0.0900	0.0600
ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที	0.0000	0.0000	.	.	0.1000	0.1000
Target	1.0000	1.0000	.	.	0.1765	0.1765

1.1.3. นำข้อมูลออกโดยแยกเป็นข้อมูลตัวแปรเข้าที่ต้องการให้โปรแกรมเรียนรู้จำ
ข้อมูลตัวแปรออกและข้อมูลตัวแปรเข้าที่ใช้สำหรับทดสอบสมการ

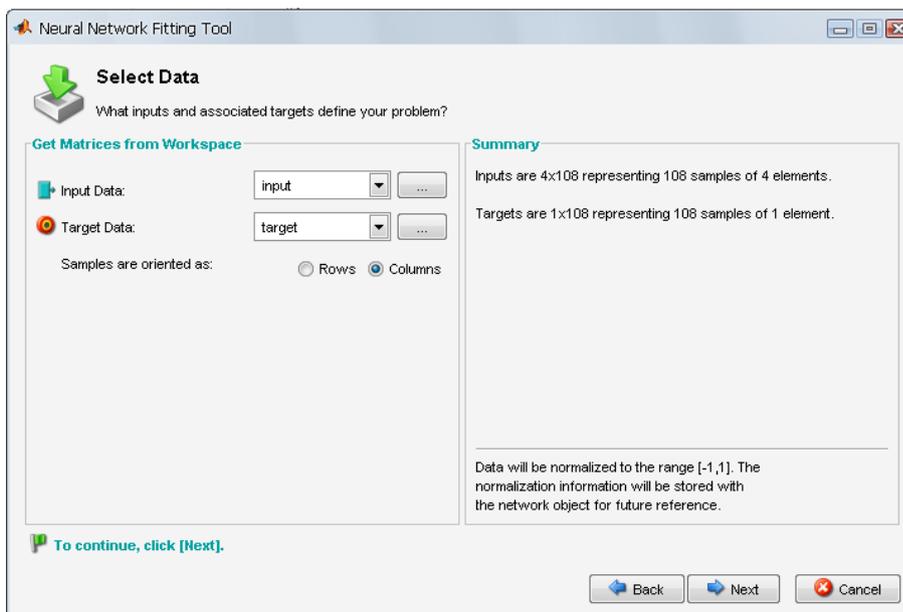
1.2. หารหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม

1.2.1. เปิดโปรแกรม MATLAB และใช้คำสั่ง nftool จะปรากฏหน้าต่าง ดังภาพ
ผนวกที่ ข1

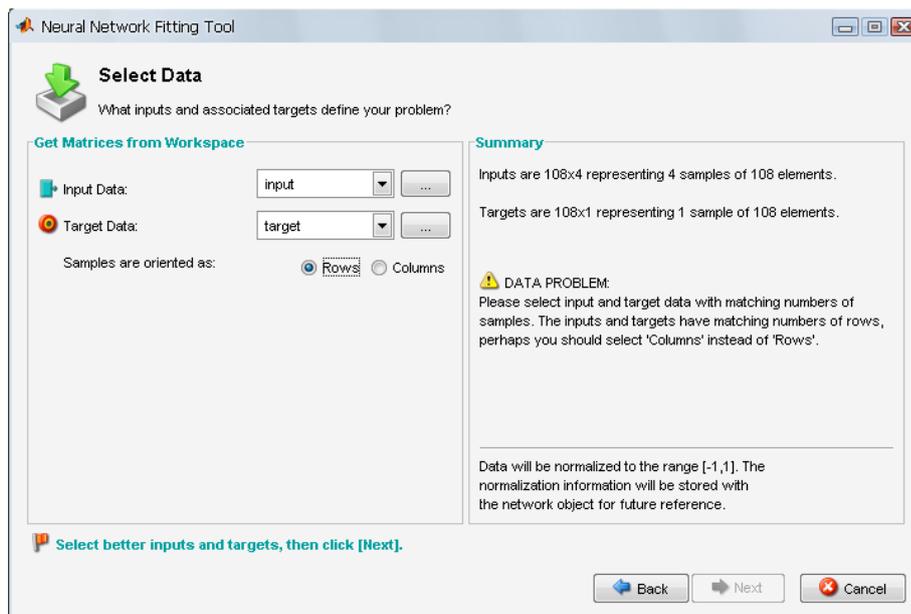


ภาพผนวกที่ ข1 หน้าต่างโปรแกรม เมื่อใช้คำสั่ง nftool

1.2.2. นำข้อมูลตัวแปรเข้าใส่ลงในช่อง Input data และข้อมูลตัวแปรออกที่ต้องการลงในช่อง Target data เลือกรการจัดวางแบบคอลัมน์ เมื่อข้อมูลถูกจัดวางถูกวิธี โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังภาพผนวกที่ ข2 และเมื่อจัดวางข้อมูลผิด โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างดังภาพผนวกที่ ข3

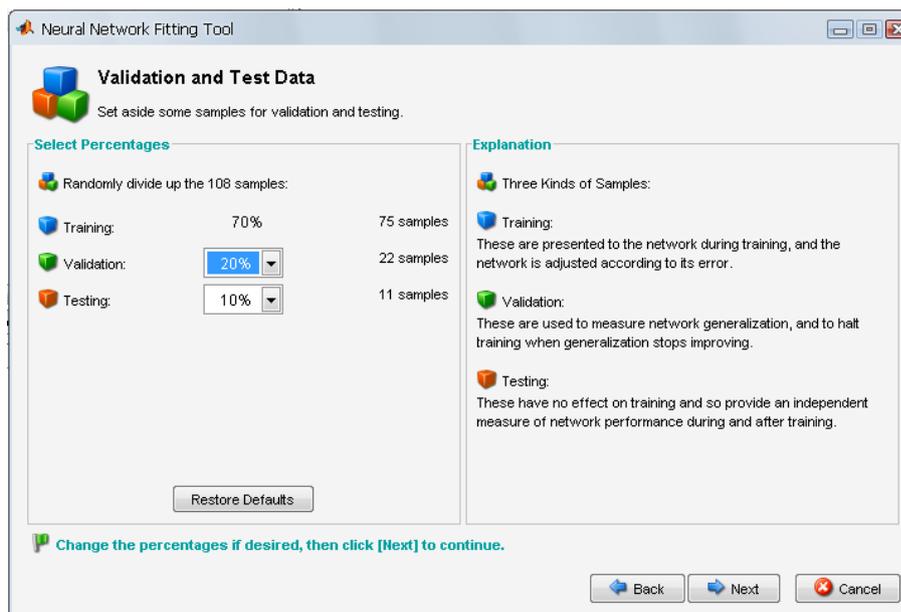


ภาพผนวกที่ ข2 หน้าต่างโปรแกรมที่ถูก เมื่อจัดวางข้อมูลตรง



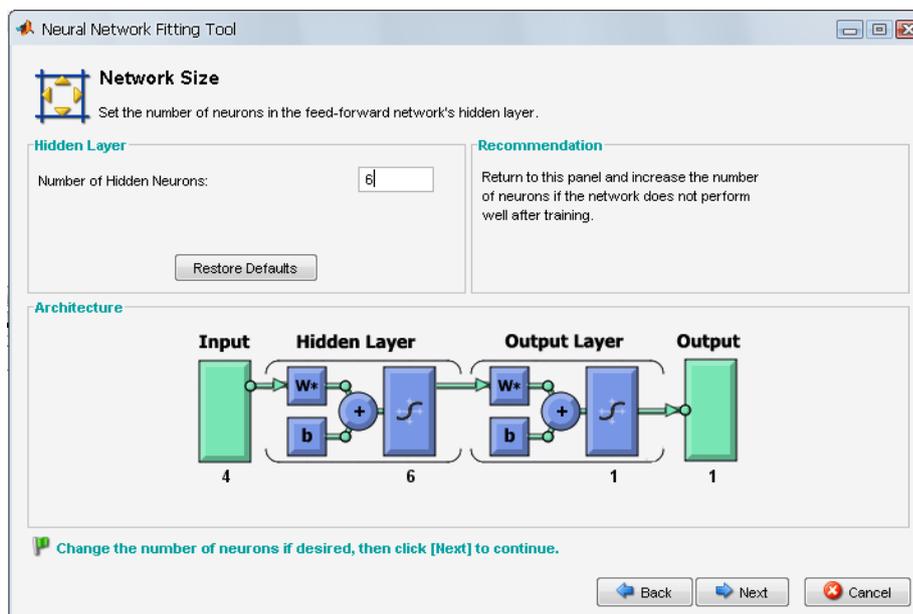
ภาพผนวกที่ ข3 หน้าต่าง โปรแกรมที่ผิด เมื่อจัดวางข้อมูลไม่ตรง

1.2.3. แบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ 70 เปอร์เซ็นต์ของชุดข้อมูลใช้เพื่อให้โปรแกรมฝึกเรียนรู้รูปแบบข้อมูล 20 เปอร์เซ็นต์ของชุดข้อมูลใช้สำหรับทดสอบสมการ และอีก 10 เปอร์เซ็นต์ใช้สำหรับทดสอบความแม่นยำของสมการ ดังภาพผนวกที่ ข4 โดยโปรแกรมจะทำการสุ่มข้อมูลตัวแปรเข้าและแบ่งออกเป็น 3 ส่วนทันที (ขั้นตอนนี้เป็นเพียงการหาจำนวนโหนดที่เหมาะสมเท่านั้น)



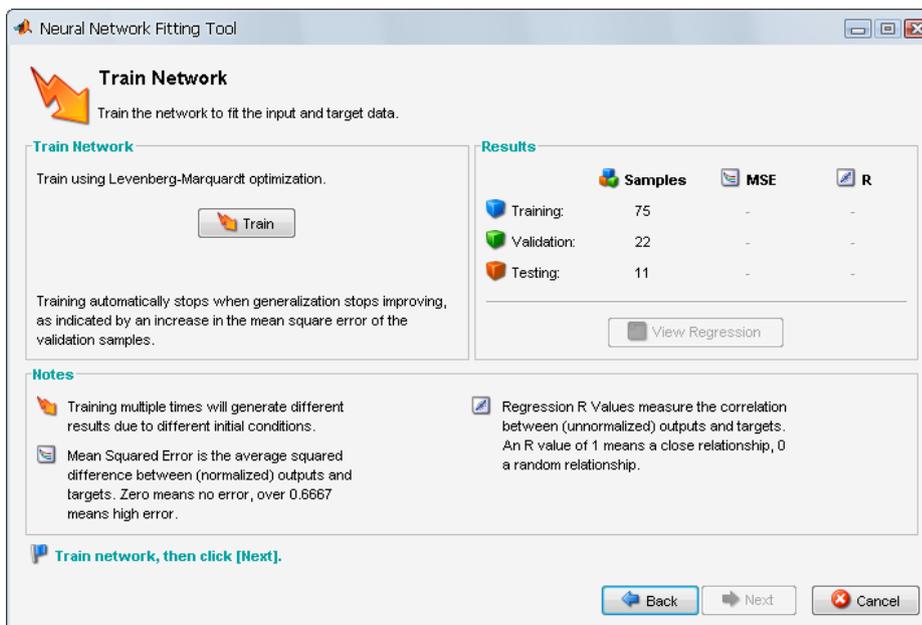
ภาพผนวกที่ ข4 หน้าต่าง โปรแกรม เมื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน

1.2.4. เลือกจำนวน โหนดของชั้นซ่อน โดยเริ่มตั้งแต่ 1 ถึง 20 โหนด โดยโปรแกรม จะจำลองลักษณะของ โครงข่ายประสาทเทียม ดังภาพผนวกที่ ข5

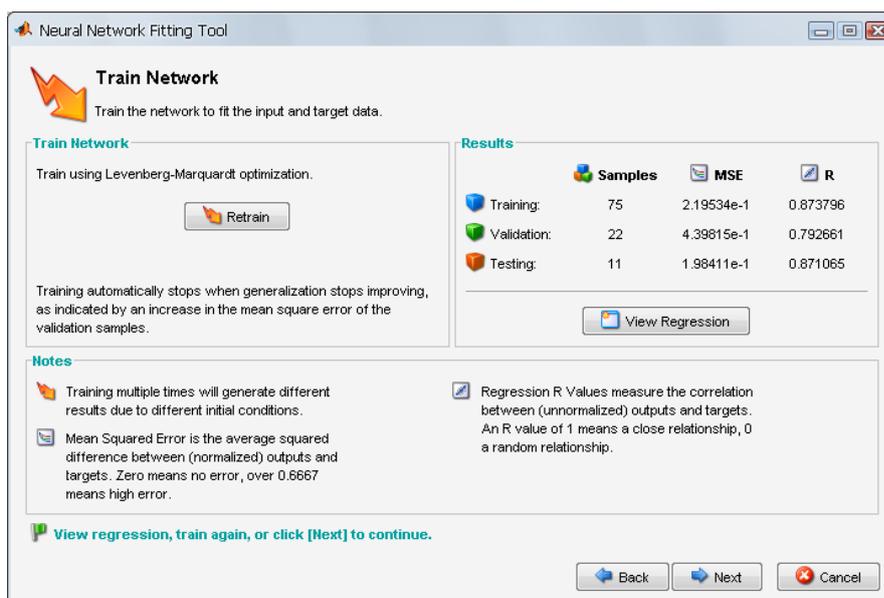


ภาพผนวกที่ ข5 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่ถูกจำลองโดยการเลือกจำนวนโหนด

1.2.5. หลังจากเลือกจำนวนโหนดในชั้นซ่อน โปรแกรมจะพร้อมสำหรับการฝึกเรียนรู้จากข้อมูลดังภาพผนวกที่ ๖ เมื่อกด Train โปรแกรมจะทำงาน หลังจากเรียนรู้จำแล้ว โปรแกรมจะแสดงข้อมูลเป็นค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ดังภาพผนวกที่ ๗ โดยเลือกเอาเฉพาะค่าที่ได้จากการ Training เท่านั้น

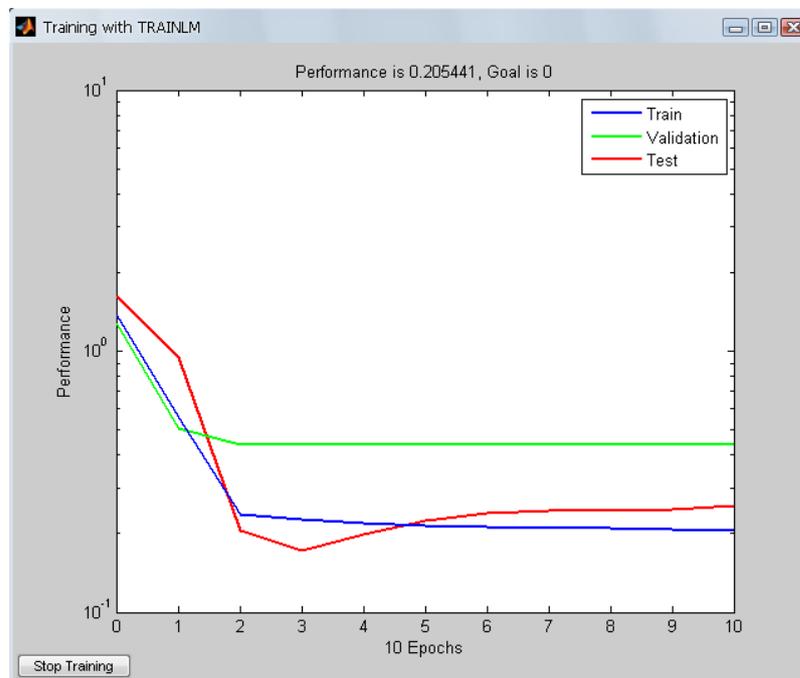


ภาพผนวกที่ ๖ หน้าต่าง โปรแกรมพร้อมที่จะฝึกเรียนรู้จากข้อมูล

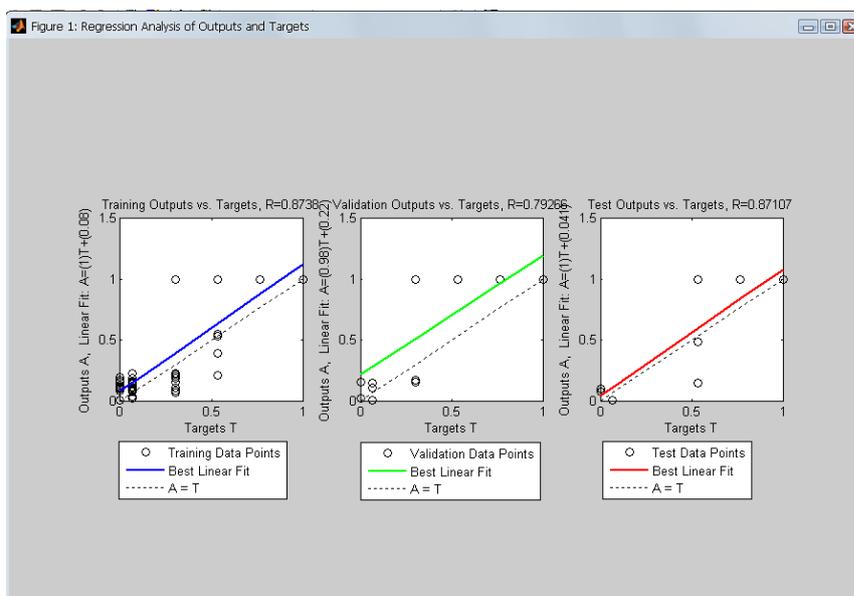


ภาพผนวกที่ ๗ หน้าต่าง โปรแกรมหลังป้อนข้อมูล

นอกจากนี้ โปรแกรมยังแสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟฝึกเรียนรู้จำ ดังภาพผนวกที่ ข8 และกราฟสมการถดถอย ดังภาพผนวกที่ ข9



ภาพผนวกที่ ข8 กราฟการฝึกเรียนรู้จำ ที่ได้หลังจากการป้อนข้อมูล



ภาพผนวกที่ ข9 กราฟสมการถดถอย ที่ได้หลังจากการป้อนข้อมูล

เนื่องจากความไม่เสถียรของข้อมูลในการฝึกเรียนรู้จำ ทำให้ค่าที่ได้ไม่เท่ากัน ทุกครั้งที่โปรแกรมทำงาน แต่ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อความแม่นยำในการเลือกจำนวน โหนดที่เหมาะสม จึงทำซ้ำ 3 ครั้งต่อโหนด 1 โหนด ดังตารางผนวกที่ ข3 จากตารางจำนวนโหนด ในชั้นซ่อนที่เหมาะสม คือ 6 โหนด

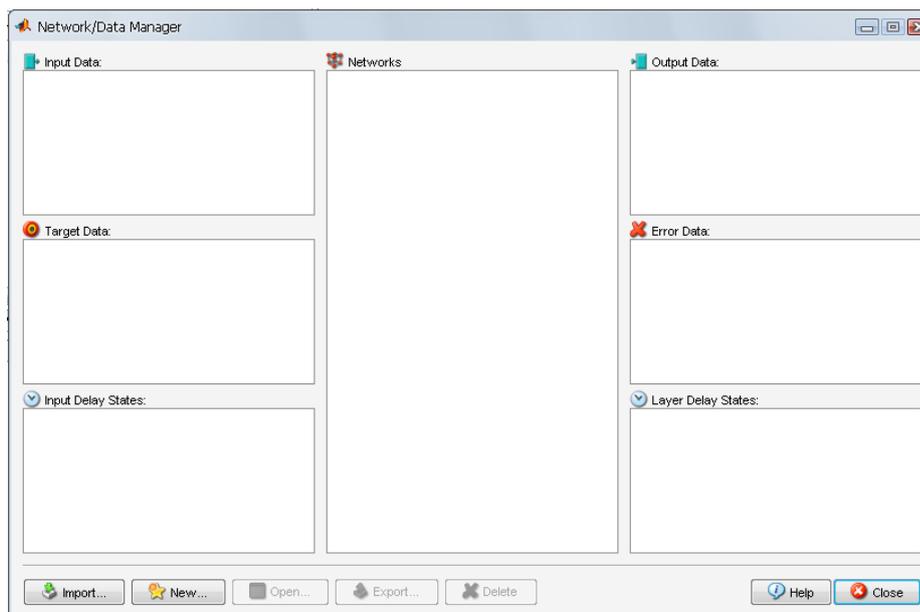
ตารางผนวกที่ ข3 การหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสม

โหนด	ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย				ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ			
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	1	2	3	ค่าเฉลี่ย
1	0.1272	0.1044	0.1160	0.1159	0.8655	0.8813	0.8563	0.8677
2	0.0986	0.0977	0.1260	0.1074	0.8947	0.8951	0.8413	0.8770
3	0.1162	0.0907	0.0949	0.1006	0.8533	0.9012	0.8856	0.8800
4	0.0917	0.1316	0.0942	0.1058	0.8983	0.8643	0.8849	0.8825
5	0.0723	0.1240	0.1155	0.1039	0.8462	0.8599	0.8652	0.8571
6	0.0468	0.0742	0.0919	0.0710	0.9111	0.9548	0.9438	0.9366
.
.
.
.
17	0.0965	0.1060	0.1199	0.1075	0.8853	0.8757	0.8664	0.8758
18	0.0908	0.2309	0.3882	0.2366	0.9071	0.8135	0.7892	0.8366
19	0.0957	0.0902	0.0852	0.0904	0.8924	0.8888	0.9080	0.8964
20	0.0925	0.0867	0.0987	0.0926	0.8984	0.9023	0.8808	0.8938

หมายเหตุ การเปลี่ยนขนาดของชั้นซ่อนควรเริ่มทำใหม่ตั้งแต่ข้อ 3.2.1

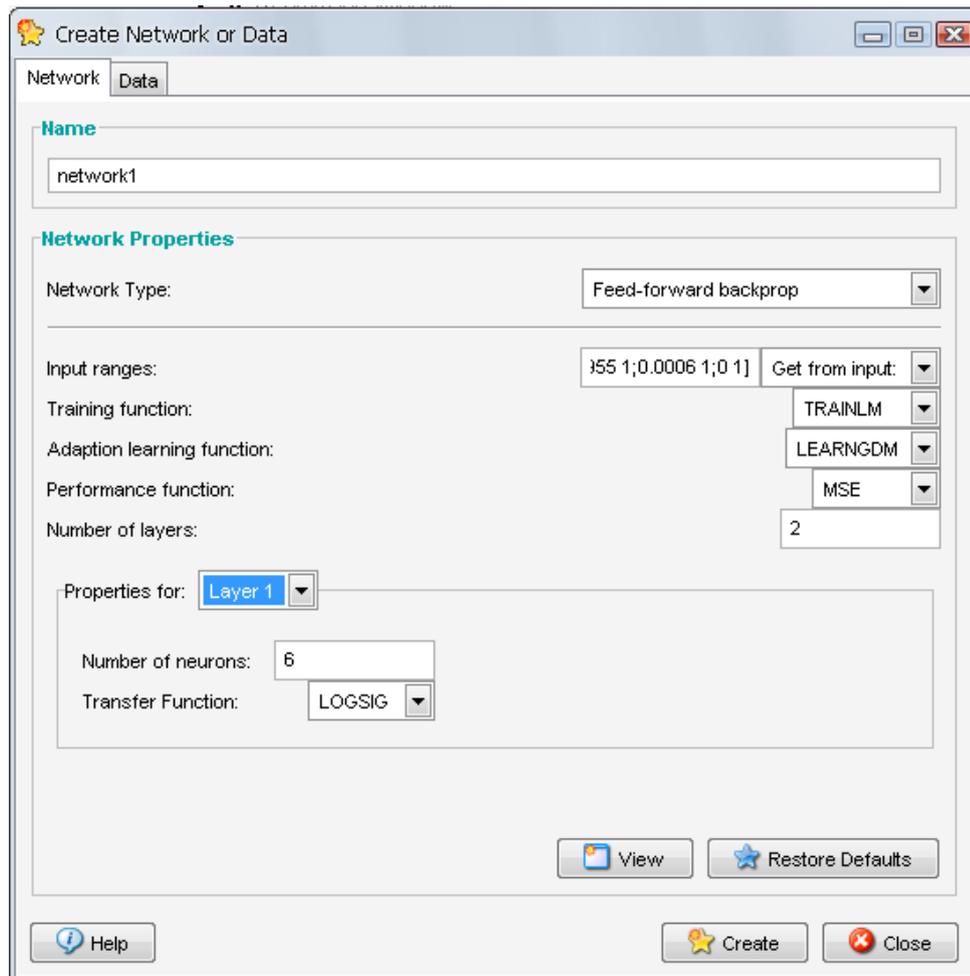
1.3. การสร้างสมการเพื่อทำนาย

1.3.1. ใช้คำสั่ง `mntool` จะปรากฏหน้าต่าง Network/Data Manager ดังภาพผนวกที่ ข10 และกดที่ `import` เพื่อนำข้อมูลตัวแปรเข้าที่ไว้ฝึกเรียนรู้จำ ข้อมูลตัวแปรเข้าสำหรับใช้ทดสอบสมการ ไว้ในช่อง `Input data` และข้อมูลตัวแปรออกที่ต้องการไว้ในช่อง `Target data`



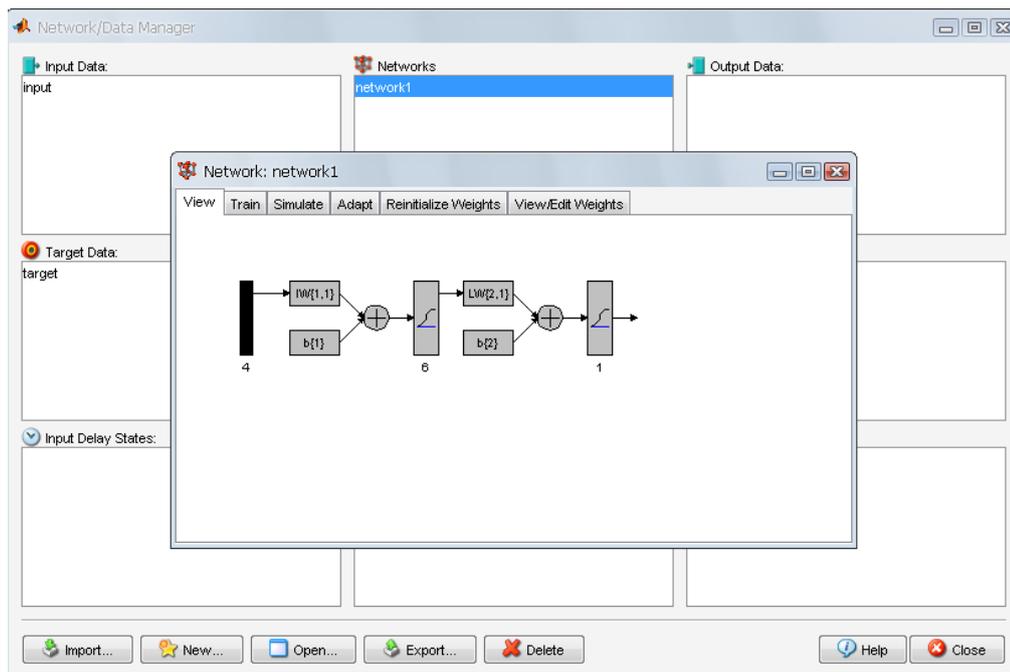
ภาพผนวกที่ ข10 หน้าต่างโปรแกรม เมื่อใช้คำสั่ง nntool

1.3.2. กด New เพื่อสร้างเครือข่ายที่ต้องการ โดยในการทดลองเลือกใช้ข้อมูลตามภาพผนวกที่ ข11 โดยที่คุณสมบัติจะมีให้เลือกจำนวนโหนดในชั้นซ่อน จำนวนโหนดในชั้นตัวแปรออกและฟังก์ชันในการส่งผ่านข้อมูล ในการทดลองเลือกใช้ฟังก์ชันการส่งผ่านแบบ log-sigmoid ทั้ง 2 ชั้น ในชั้นซ่อน (layer 1) ใส่จำนวนโหนดที่เหมาะสมที่ได้เลือกไว้ในข้อ 3.2.5 ส่วนในชั้นตัวแปรออก (layer 2) ค่าที่ต้องการมีค่าเดียว ดังนั้นจำนวนโหนดในชั้นนี้จึงมี 1 โหนด



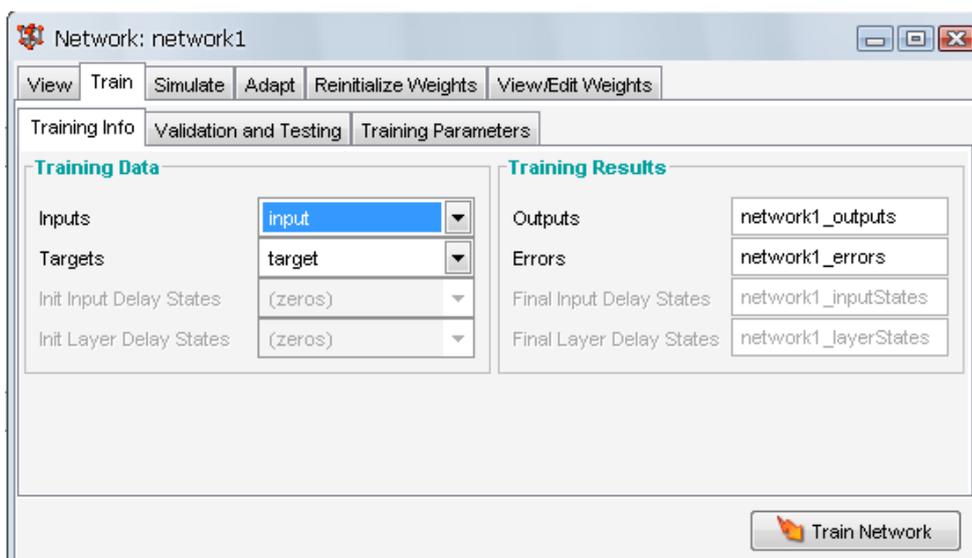
ภาพผนวกที่ ข11 การสร้างเครือข่าย สำหรับการทำนาย

1.3.3. หลังจากกดปุ่มสร้าง จะได้นหน้าต่างเครือข่าย ดังภาพผนวกที่ ข12 ซึ่งจะแสดงจำนวน โหนดในชั้นตัวแปรเข้า ชั้นซ่อน ชั้นตัวแปรออก และฟังก์ชันในการส่งผ่านข้อมูล

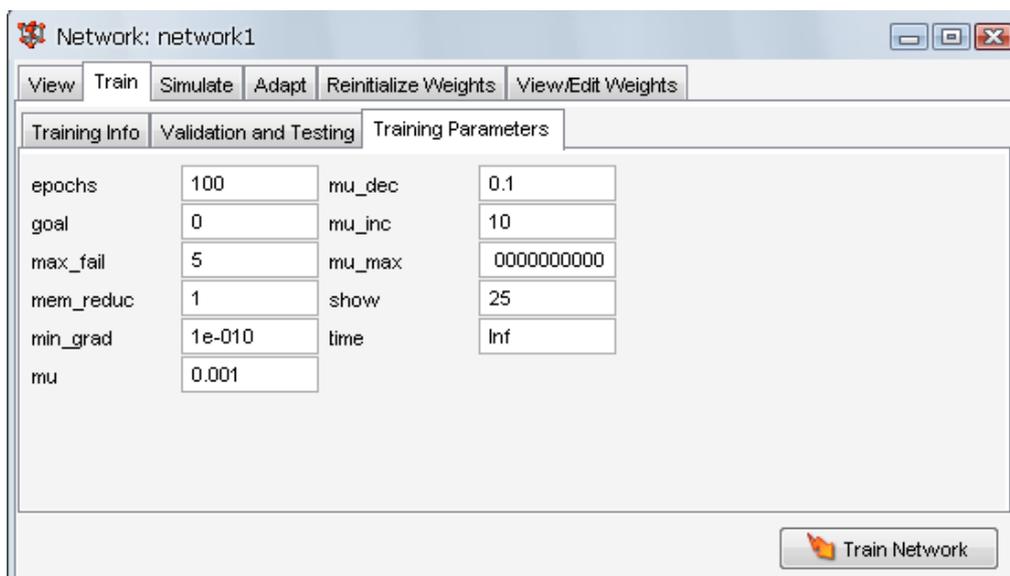


ภาพผนวกที่ ข12 หน้าต่างโปรแกรมหลังจากสร้างเครือข่าย

1.3.4. เมื่อได้เครือข่ายที่จะใช้ทำนาย กดที่แถบ Train เพื่อฝึกเรียนรู้จำ นำเข้าข้อมูลดังภาพผนวกที่ ข13 และกดแถบ Training parameter เพื่อตั้งเงื่อนไขในการฝึกเรียนรู้จำ ในการทดลองนี้เลือกใช้เงื่อนไขแบบ TrainLM แสดงดังภาพผนวกที่ ข14 หลังจากตรวจสอบแล้วกดปุ่ม Train Network

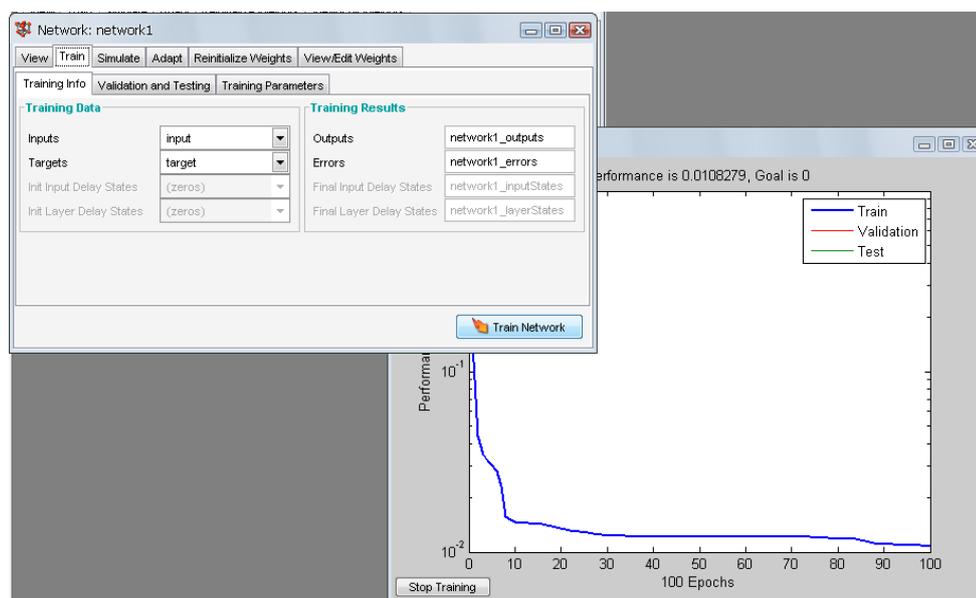


ภาพผนวกที่ ข13 หน้าต่างโปรแกรมก่อนการฝึกเรียนรู้จำ



ภาพผนวกที่ ข14 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการฝึกเรียนรู้จำ

1.3.5. หลังจากการฝึกเรียนรู้จำ โปรแกรมจะแสดงกราฟประสิทธิภาพในการเรียนรู้จำ ดังภาพผนวกที่ ข15 และให้ค่าน้ำหนักและค่าอนเอียงที่ได้จากการฝึกเรียนรู้จำ แสดงดังตารางผนวกที่ ข4 ค่าน้ำหนักและค่าอนเอียงที่ได้ สามารถนำไปสร้างเป็นสมการได้

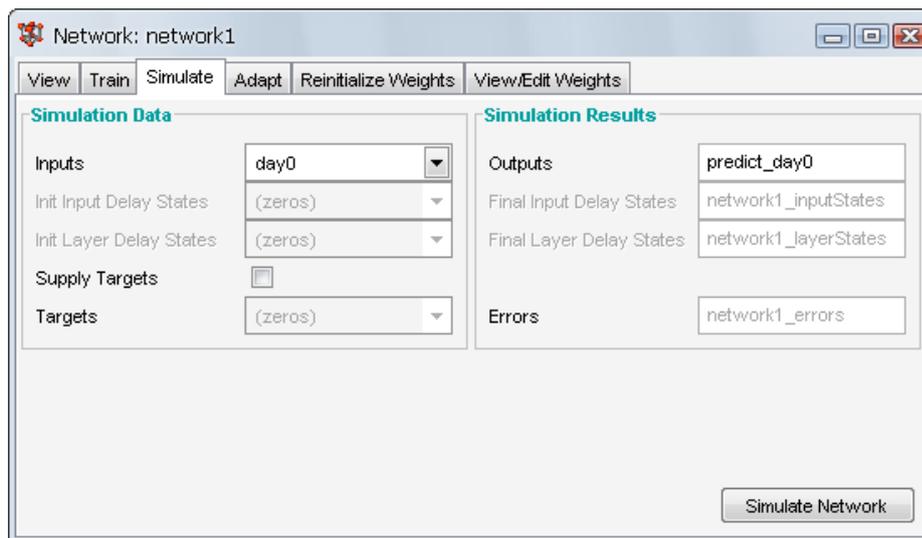


ภาพผนวกที่ ข15 กราฟประสิทธิภาพในการเรียนรู้จำ

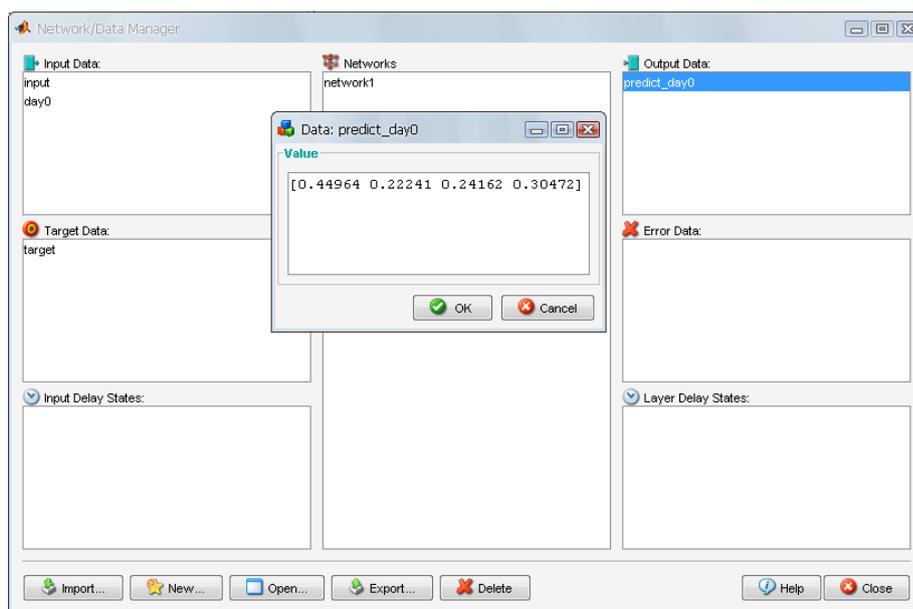
ตารางผนวกที่ ข4 ค่านำหนักและค่าเอนเอียงที่ได้หลังการฝึกเรียนรู้จำ

	ชั้นซ่อน	ชั้นตัวแปรออก
ค่านำหนัก	-0.00012756 -13.8847 -12.5969 -0.96071 0.13607 -0.78746 -0.1854; 4.9505e-005 16.8218 1.3698 1.8104 - 0.75525 0.37893 0.35953; -3.9664e-005 -13.4009 -15.1523 -1.8861 - 0.60572 -0.63855 -0.16109; -7.0193e-005 10.6373 -8.4323 -1.4315 0.33601 -0.84887 0.38904; -8.2626e-005 -11.4568 -0.9184 -1.2731 1.3327 -0.37776 -0.24274; -0.00015229 5.7891 17.3385 -1.3121 - 0.012131 -0.48991 0.23647	0.1119 2.0527 2.1506 -1.3392 0.54267 -1.2322
ค่าเอนเอียง	66.0057; -23.9262; 73.7899; 26.4351; 13.71; -65.6437; -68.4964	1.1194

1.3.6. การทดสอบสมการทำได้โดย กดที่แถบ Simulate ในช่อง Inputs เป็นข้อมูลที่ต้องการให้โปรแกรมทำนายออกมาเป็นจำนวนวันที่นมเปรี้ยวแยกชั้น แสดงดังภาพผนวกที่ ข16 กด Simulate Network โปรแกรมจะทำนายวันแยกชั้น แสดงดังภาพที่ผนวกที่ ข17 โดยนำค่าที่ได้ไปคูณกับจำนวนวันที่แยกชั้นจริง



ภาพผนวกที่ ข16 หน้าต่างโปรแกรมก่อนการทำนายจำนวนวันที่นมจะแยกชั้น



ภาพผนวกที่ ข17 ค่าตัวแปรออกที่ได้จากการทำนายด้วยโปรแกรม

ภาคผนวก ค

ค่าน้ำหนัก ค่าเอนเอียง และสมการทำนายการแยกชั้นจริงของนมเปรี้ยวจากโครงข่ายประสาทเทียม

2. คำนวณค่าและค่าอนเอียงที่ได้จากโปรแกรม MATLAB และสมการทำนายการแยกชั้น

2.1. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ที่ใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง แบบกำหนดมุมเอียง

2.1.1. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย

คำนวณค่าในชั้นซ้อน

[48.966 -8.7268 -1.3318 6.6596 4.8392 -2.0879 -9.5567;
 -18.5341 -3.4111 3.4287 4.9175 -9.1546 -5.1092 -8.9117;
 -55.1698 9.6302 -2.158 4.1716 2.071 -2.3062 0.23683;
 60.7602 -12.3024 -5.7927 -5.3901 3.67 0.31253 0.48804;
 -40.1749 -33.6048 10.8073 -4.1828 0.36306 2.8864 -3.6009;
 1.7724 -53.9657 0.79772 -12.9433 -0.18373 -0.76755 7.8148]

คำนวณค่าในชั้นตัวแปรออก

[-24.5783 15.8866 -12.4788 36.8268 39.1163 -32.1779]

คำนวณค่าอนเอียงในชั้นซ้อน

[-41.2092; 29.5199; 57.2735; -47.6195; 63.9644; 0.8697]

คำนวณค่าอนเอียงในชั้นตัวแปรออก

[-16.4931]

สมการทำนายการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบ
พร้อมมันเนยที่ใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบกำหนดมุมเอียง

กำหนดให้	$X_1 - X_7$	เป็นผลรวมของค่าน้ำหนักกับค่าเอียง
	$Y_1 - Y_6$	เป็น Sigmoid function $= \frac{1}{1 + e^{-X}}$
	S_1	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 1100 รอบต่อนาที
	S_2	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที
	S_3	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที
	S_4	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที

$$X_1 = (\text{pH} \times 48.966) + (\text{TA} \times -8.7268) + (\text{TBC} \times -1.3318) + (S_1 \times 6.6596) + (S_2 \times 4.8392) + (S_3 \times -2.0879) + (S_4 \times -9.5567) - 41.2092 \quad (1)$$

$$Y_1 = \frac{1}{1 + e^{-X_1}} \quad (2)$$

$$X_2 = (\text{pH} \times -18.5341) + (\text{TA} \times -3.4111) + (\text{TBC} \times 3.4287) + (S_1 \times 4.9175) + (S_2 \times -9.1546) + (S_3 \times -5.1092) + (S_4 \times -8.9117) + 29.5199 \quad (3)$$

$$Y_2 = \frac{1}{1 + e^{-X_2}} \quad (4)$$

$$X_3 = (\text{pH} \times -55.1690) + (\text{TA} \times 9.6302) + (\text{TBC} \times -2.150) + (S_1 \times 4.1716) + (S_2 \times 2.071) + (S_3 \times -2.3062) + (S_4 \times 0.23683) + 57.2735 \quad (5)$$

$$Y_3 = \frac{1}{1 + e^{-X_3}} \quad (6)$$

$$X_4 = (\text{pH} \times 60.7602) + (\text{TA} \times -12.3024) + (\text{TBC} \times -5.7927) + (S_1 \times -5.3901) + (S_2 \times 3.67) + (S_3 \times 0.31253) + (S_4 \times 0.48804) - 47.6195 \quad (7)$$

$$Y_4 = \frac{1}{1 + e^{-X_4}} \quad (8)$$

$$X_5 = (\text{pH} \times -40.1749) + (\text{TA} \times -33.0048) + (\text{TBC} \times 10.8073) + (S_1 \times -4.1828) + (S_2 \times 0.36306) + (S_3 \times 2.8864) + (S_4 \times -3.6009) + 63.9644 \quad (9)$$

$$Y_5 = \frac{1}{1 + e^{-X_5}} \quad (10)$$

$$X_6 = (\text{pH} \times 1.7724) + (\text{TA} \times -53.9657) + (\text{TBC} \times 0.79772) + (S_1 \times -12.9433) + (S_2 \times -0.18373) + (S_3 \times -0.76755) + (S_4 \times 7.8148) + 10.8697 \quad (11)$$

$$Y_6 = \frac{1}{1 + e^{-X_6}} \quad (12)$$

$$X_7 = (Y_1 \times -41.2092) + (Y_2 \times 29.5199) + (Y_3 \times 57.2735) + (Y_4 \times -47.6195) + (Y_5 \times 63.9644) + (Y_6 \times 40.0697) - 16.4931 \quad (13)$$

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_7}} \right) \times 34 \quad (14)$$

2.1.2. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย

ค่าน้ำหนักในชั้นซ่อน

[-46.5556 -8.9555 -18.401 -3.2907 16.3751 5.9569 -9.9502;
63.5316 -7.1105 3.751 1.8522 0.12553 -3.0609 7.286;
-37.5781 -5.8498 -29.7917 14.8514 -4.7673 2.4045 -1.5894;
7.7864 -2.758 6.958 2.0194 3.5534 8.1886 4.1844;
-37.424 -10.9734 -54.9359 -9.7525 -2.8616 5.7614 -0.075334;
-49.8421 -2.7035 0.01086 -1.4391 -3.2494 3.9638 2.8667]

ค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก

[-36.5387 -0.7164 36.9617 -2.1385 54.4192 -2.2807]

ค่าเอนเอียงในชั้นซ่อน

[53.4406; -61.3452; 41.6728; -10.9443; 43.1831; 41.6499]

ค่าเอนเอียงในชั้นตัวแปรออก

[1.2933]

สมการทำนายการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบ
ขาดมันเนยที่ใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบกำหนดมุมเอียง

กำหนดให้	$X_1 - X_7$	เป็นผลรวมของค่าน้ำหนักกับค่าเอียง
	$Y_1 - Y_6$	เป็น Sigmoid function $-\frac{1}{1+e^{-X}}$
	S_1	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 1100 รอบต่อนาที
	S_2	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที
	S_3	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที
	S_4	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที

$$X_1 = (\text{pH} \times -46.5556) + (\text{TA} \times -8.9555) + (\text{TBC} \times -18.401) + (S_1 \times -3.2907) + (S_2 \times 16.3751) + (S_3 \times 5.9569) + (S_4 \times -9.9502) + 53.4406 \quad (15)$$

$$Y_1 = \frac{1}{1 + e^{-X_1}} \quad (16)$$

$$X_2 = (\text{pH} \times 63.5316) + (\text{TA} \times -7.1105) + (\text{TBC} \times 3.751) + (S_1 \times 1.8522) + (S_2 \times 0.12553) + (S_3 \times -3.0609) + (S_4 \times 7.286) - 61.3452 \quad (17)$$

$$Y_2 = \frac{1}{1 + e^{-X_2}} \quad (18)$$

$$X_3 = (\text{pH} \times -37.5781) + (\text{TA} \times -5.8498) + (\text{TBC} \times -29.7917) + (S_1 \times 14.8514) + (S_2 \times -4.7673) + (S_3 \times 2.4045) + (S_4 \times -1.5894) + 41.6728 \quad (19)$$

$$Y_3 = \frac{1}{1 + e^{-X_3}} \quad (20)$$

$$X_4 = (\text{pH} \times 7.7864) + (\text{TA} \times -2.758) + (\text{TBC} \times 6.958) + (S_1 \times 2.0194) + (S_2 \times 3.5534) + (S_3 \times 8.1886) + (S_4 \times 4.1844) - 10.9443 \quad (21)$$

$$Y_4 = \frac{1}{1 + e^{-X_4}} \quad (22)$$

$$X_5 = (\text{pH} \times -37.424) + (\text{TA} \times -10.9734) + (\text{TBC} \times -34.9339) + (S_1 \times -9.7525) + (S_2 \times -2.8616) + (S_3 \times 5.7614) + (S_4 \times -0.075334) + 43.1831 \quad (23)$$

$$Y_5 = \frac{1}{1 + e^{-X_5}} \quad (24)$$

$$X_6 = (\text{pH} \times -49.8421) + (\text{TA} \times -2.7035) + (\text{TBC} \times 0.01086) + (S_1 \times -1.4391) + (S_2 \times -3.2494) + (S_3 \times 3.9638) + (S_4 \times 2.8667) + 41.6199 \quad (25)$$

$$Y_6 = \frac{1}{1 + e^{-X_6}} \quad (26)$$

$$X_7 = (Y_1 \times -36.5387) + (Y_2 \times -0.7164) + (Y_3 \times 36.9617) + (Y_4 \times -2.1385) + (Y_5 \times 54.4192) + (Y_6 \times -2.2007) + 1.2933 \quad (27)$$

$$Days = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_7}} \right) \times 34 \quad (28)$$

2.1.3. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์รวม ตรา C ที่ใช้เครื่องปั้นเหยียงหนีศูนย์แบบกำหนดมุมเอียง

ค่าน้ำหนักในชั้นซ่อน

[47.5899 -1.8659 2.768 1.7363 -4.7844 0.24552 2.4025;
 -47.6427 -24.8374 9.9961 3.7804 0.5049 3.897 -3.1918;
 66.1874 35.291 -11.4932 -4.139 -0.18861 -6.6568 4.6478;
 -4.3156 -3.5158 -0.036812 5.5469 -3.7758 1.3497 -7.0966;
 -6.8753 17.7607 -3.9601 -5.7774 -3.3154 22.5568 1.0317;
 20.6355 43.7363 -23.7999 29.966 -16.9264 -6.1503 -0.021202;
 68.7785 10.4851 0.48395 -3.0196 0.25485 -2.54 0.64492;
 49.8484 27.5078 15.1958 -3.5734 -0.084692 -3.9829 2.3422]

ค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก

[0.82406 -38.7771 -27.7309 3.5546 -8.548 -8.3654 26.8053 -17.6237]

ค่าเอนเอียงในชั้นซ่อน

[-54.8785; 65.766; -92.9887; 6.188; -17.3221; -45.4926; -65.0255; -67.2218]

ค่าเอนเอียงในชั้นตัวแปรออก

[28.0171]

สมการทำนายการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์รวม ตรา C ที่ใช้เครื่อง
ปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบกำหนดมุมเอียง

กำหนดให้	$X_1 - X_9$	เป็นผลรวมของค่าน้ำหนักกับค่าเอียง
	$Y_1 - Y_8$	เป็น Sigmoid function $-\frac{1}{1+e^{-X}}$
	S_1	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 1100 รอบต่อนาที
	S_2	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที
	S_3	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 2000 รอบต่อนาที
	S_4	ระดับการแยกชั้น (เซนติเมตร) ที่ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที

$$X_1 = (\text{pH} \times 47.5899) + (\text{TA} \times -1.8659) + (\text{TBC} \times 2.768) + (S_1 \times 1.7363) + (S_2 \times -4.7844) + (S_3 \times 0.24552) + (S_4 \times 2.4025) - 54.8785 \quad (29)$$

$$Y_1 = \frac{1}{1 + e^{-X_1}} \quad (30)$$

$$X_2 = (\text{pH} \times -47.6427) + (\text{TA} \times -24.8374) + (\text{TBC} \times 9.9961) + (S_1 \times 3.7804) + (S_2 \times 0.5049) + (S_3 \times 3.897) + (S_4 \times -3.1918) + 65.766 \quad (31)$$

$$Y_2 = \frac{1}{1 + e^{-X_2}} \quad (32)$$

$$X_3 = (\text{pH} \times 66.1874) + (\text{TA} \times 35.291) + (\text{TBC} \times -11.4932) + (S_1 \times -4.139) + (S_2 \times -0.18861) + (S_3 \times -6.6568) + (S_4 \times 4.6478) - 92.9887 \quad (33)$$

$$Y_3 = \frac{1}{1 + e^{-X_3}} \quad (34)$$

$$X_4 = (\text{pH} \times -4.3156) + (\text{TA} \times -3.5158) + (\text{TBC} \times -0.036812) + (S_1 \times 5.8469) + (S_2 \times -3.7750) + (S_3 \times 1.3497) + (S_4 \times -7.0966) + 6.188 \quad (35)$$

$$Y_4 = \frac{1}{1 + e^{-X_4}} \quad (36)$$

$$X_5 = (\text{pH} \times -0.8733) + (\text{TA} \times 17.7007) + (\text{TBC} \times -3.9601) + (S_1 \times -5.7774) + (S_2 \times -3.3154) + (S_3 \times 22.5568) + (S_4 \times 1.0317) - 17.3221 \quad (37)$$

$$Y_5 = \frac{1}{1 + e^{-X_5}} \quad (38)$$

$$X_6 = (\text{pH} \times 20.6355) + (\text{TA} \times 43.7363) + (\text{TBC} \times -23.7999) + (S_1 \times 29.966) + (S_2 \times -16.9264) + (S_3 \times -6.1503) + (S_4 \times -0.021202) + 15.4926 \quad (39)$$

$$Y_6 = \frac{1}{1 + e^{-X_6}} \quad (40)$$

$$X_7 = (\text{pH} \times 08.7783) + (\text{TA} \times 10.4831) + (\text{TBC} \times 0.48393) \\ + (S_1 \times -3.0196) + (S_2 \times 0.25485) + (S_3 \times -2.54) + (S_4 \times 0.64492) \\ - 65.0255 \quad (41)$$

$$Y_7 = \frac{1}{1 + e^{-X_7}} \quad (42)$$

$$X_8 = (\text{pH} \times 49.8484) + (\text{TA} \times 27.5078) + (\text{TBC} \times 19.1958) \\ + (S_1 \times -3.5734) + (S_2 \times -0.084692) + (S_3 \times -3.9829) + (S_4 \times 2.3422) \\ 67.2218 \quad (43)$$

$$Y_8 = \frac{1}{1 + e^{-X_8}} \quad (44)$$

$$X_9 = (Y_1 \times 0.82406) + (Y_2 \times -38.7771) + (Y_3 \times -27.7309) + (Y_4 \times 3.5546) \\ + (Y_5 \times -8.348) + (Y_6 \times -8.3634) + (Y_7 \times 26.8093) + (Y_8 \times -17.6237) \\ + 28.0171 \quad (45)$$

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_9}} \right) \times 34 \quad (46)$$

2.2. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ที่ใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแบบแกว่งออก

2.2.1. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D กลิ่นส้ม

ค่าน้ำหนักในชั้นซ้อน

[-21.2053 -40.9014 309.8641 -39.1362;

-59.3591 -0.71959 16.3586 -0.050098;

-22.8468 49.8008 17.9881 -6.1364;

82.5646 -27.7507 -30.511 -33.7186;

22.9549 70.3001 269.5775 5.5471;

109.3406 -21.3982 12.452 -0.72226]

ค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก

[-43.5292 -4670.8123 -3614.4619 11.0737 8.8242 -11.1647]

ค่าอนเอียงในชั้นซ้อน

[-122.9409; 65.9502; -9.4552; -50.2954; -95.1675; -82.5616]

ค่าอนเอียงในชั้นตัวแปรออก

[8283.9751]

สมการทำนายการแยกชั้นของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา D เป็น
ดังนี้

กำหนดให้	$X_1 - X_7$	เป็นผลรวมของค่าน้ำหนักกับค่าเอนเอียง
	$Y_1 - Y_6$	เป็น Sigmoid function = $\frac{1}{1+e^{-n}}$
	T_1	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที

$$X_1 = (\text{pH} \times -21.2053) + (\text{TA} \times -40.9014) + (\text{TBC} \times 309.8641) + (T_1 \times -39.1362) - 122.9409 \quad (47)$$

$$Y_1 = \frac{1}{1 + e^{-X_1}} \quad (48)$$

$$X_2 = (\text{pH} \times -59.3591) + (\text{TA} \times -0.71959) + (\text{TBC} \times 16.3586) + (T_1 \times 0.050098) + 65.9502 \quad (49)$$

$$Y_2 = \frac{1}{1 + e^{-X_2}} \quad (50)$$

$$X_3 = (\text{pH} \times -22.8468) + (\text{TA} \times 49.8008) + (\text{TBC} \times 17.9881) + (T_1 \times -0.1364) - 9.4552 \quad (51)$$

$$Y_3 = \frac{1}{1 + e^{-X_3}} \quad (52)$$

$$X_4 = (\text{pH} \times 82.5646) + (\text{TA} \times -27.7507) + (\text{TBC} \times -30.511) + (T_1 \times -33.7186) - 50.2954 \quad (53)$$

$$Y_4 = \frac{1}{1 + e^{-X_4}} \quad (54)$$

$$X_5 = (\text{pH} \times 22.9549) + (\text{TA} \times 70.3001) + (\text{TBC} \times 269.5775) + (T_1 \times 5.5471) - 95.1675 \quad (55)$$

$$Y_5 = \frac{1}{1 + e^{-X_5}} \quad (56)$$

$$X_6 = (\text{pH} \times 109.3406) + (\text{TA} \times -21.3982) + (\text{TBC} \times 12.452) + (T_1 \times -0.72226) - 82.5616 \quad (57)$$

$$Y_6 = \frac{1}{1 + e^{-X_6}} \quad (58)$$

$$X_7 = (Y_1 \times -43.5292) + (Y_2 \times -4670.0123) + (Y_3 \times -3614.4619) + (Y_4 \times 11.0737) + (Y_5 \times 8.8242) + (Y_6 \times -11.1647) + 8283.9751 \quad (59)$$

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_7}} \right) \times 36 \quad (60)$$

2.2.2. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย

ค่าน้ำหนักในชั้นช้อน

[-35.0725 -18.5293 -107.8514 7.7662 71.3853 43.7499;
-142.4388 124.4753 17.5667 -1.3905 -2.418 0.11434;
-47.2103 -15.0421 -30.3038 -1.1073 1.1098 -6.113;
-119.6709 -7.0362 -2.3158 13.5413 -3.4153 -8.0012]

ค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก

[-1.0481 -2.294 16.6344 -62.973]

ค่าเอนเอียงในชั้นช้อน

[51.6848; 20.5385; 57.4134; 117.5847]

ค่าเอนเอียงในชั้นตัวแปรออก

[0.69037]

สมการการปั่นเหวี่ยงนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบพร้อมมันเนย เป็นดังนี้

กำหนดให้	$X_1 - X_5$	เป็นผลรวมของค่าน้ำหนักกับค่าเอนเอียง
	$Y_1 - Y_4$	เป็น Sigmoid function $= \frac{1}{1+e^{-n}}$
	T_1	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที
	T_2	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที
	T_3	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 1100 รอบต่อนาที

$$X_1 = (\text{pH} \times -35.0725) + (\text{TA} \times -18.5293) + (\text{TBC} \times -107.8514) \\ + (T_1 \times 7.7662) + (T_2 \times 71.3053) + (T_3 \times 43.7499) + 51.6040 \quad (61)$$

$$Y_1 = \frac{1}{1 + e^{-X_1}} \quad (62)$$

$$X_2 = (\text{pH} \times -142.4388) + (\text{TA} \times 124.4733) + (\text{TBC} \times 17.5607) \\ + (T_1 \times -1.3905) + (T_2 \times -2.418) + (T_3 \times 0.11434) + 20.5385 \quad (63)$$

$$Y_2 = \frac{1}{1 + e^{-X_2}} \quad (64)$$

$$X_3 = (\text{pH} \times -47.2103) + (\text{TA} \times -15.0421) + (\text{TBC} \times -30.3038) \\ + (T_1 \times -1.1073) + (T_2 \times 1.1098) + (T_3 \times -6.113) + 57.4134 \quad (65)$$

$$Y_3 = \frac{1}{1 + e^{-X_3}} \quad (66)$$

$$X_4 = (\text{pH} \times -119.6709) + (\text{TA} \times -7.0362) + (\text{TBC} \times -2.3158) \\ + (T_1 \times 13.5413) + (T_2 \times -3.4133) + (T_3 \times -8.0012) + 117.5847 \quad (67)$$

$$Y_4 = \frac{1}{1 + e^{-X_4}} \quad (68)$$

$$X_5 = (Y_1 \times -1.0481) + (Y_2 \times -2.294) + (Y_3 \times 16.6344) \\ + (Y_4 \times -62.973) + 0.69037 \quad (69)$$

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_5}} \right) \times 36 \quad (70)$$

2.2.3. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย

ค่าน้ำหนักในชั้นช้อน

[76.0976 -19.5704 -90.7249 -4.237 -6.3258 11.7721;
127.5895 8.6369 16.8306 4.0142 -2.1482 2.9983;
130.625 50.2061 8.346 3.4638 -4.2093 -28.4864;
17.472 82.6867 4.145 -8.0019 -4.1477 -7.3784;
-63.9679 32.6409 2.0272 -0.18305 -5.7649 -1.693;
91.4874 118.1705 14.9408 1.1567 3.668 -4.067;
-13.8486 117.884 -0.46881 6.5301 1.8898 -0.40732]

ค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก

[-3.1798 -16.1973 8.0275 -10.7273 24.908 -56.8331 85.0641]

ค่าเอนเอียงในชั้นช้อน

[-57.7993; -142.8756; -147.4003; -84.8811; 32.5327; -181.8447; -79.1568]

ค่าเอนเอียงในชั้นตัวแปรออก

[-28.5255]

สมการการปั่นเหวี่ยงนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา C แบบขาดมันเนย

เป็นดังนี้

กำหนดให้	$X_1 - X_8$	เป็นผลรวมของค่าน้ำหนักกับค่าเอนเอียง
	$Y_1 - Y_7$	เป็น Sigmoid function $= \frac{1}{1+e^{-n}}$
	T_1	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที
	T_2	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที
	T_3	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 1100 รอบต่อนาที

$$X_1 = (\text{pH} \times 76.0976) + (\text{TA} \times -19.5704) + (\text{TBC} \times -90.7249) \\ + (T_1 \times -4.237) + (T_2 \times -6.3250) + (T_3 \times 11.7721) - 57.7993 \quad (71)$$

$$Y_1 = \frac{1}{1 + e^{-X_1}} \quad (72)$$

$$X_2 = (\text{pH} \times 127.5895) + (\text{TA} \times 8.6369) + (\text{TBC} \times 16.8306) \\ + (T_1 \times 4.0142) + (T_2 \times -2.1482) + (T_3 \times 2.9983) - 142.8756 \quad (73)$$

$$Y_2 = \frac{1}{1 + e^{-X_2}} \quad (74)$$

$$X_3 = (\text{pH} \times 130.625) + (\text{TA} \times 50.2061) + (\text{TBC} \times 8.346) \\ + (T_1 \times 3.4638) + (T_2 \times -4.2093) + (T_3 \times -28.4864) - 147.4003 \quad (75)$$

$$Y_3 = \frac{1}{1 + e^{-X_3}} \quad (76)$$

$$X_4 = (\text{pH} \times 17.472) + (\text{TA} \times 82.6867) + (\text{TBC} \times 4.145) \\ + (T_1 \times -8.0019) + (T_2 \times -4.1477) + (T_3 \times -7.3784) - 84.8811 \quad (77)$$

$$Y_4 = \frac{1}{1 + e^{-X_4}} \quad (78)$$

$$X_5 = (\text{pH} \times -63.9679) + (\text{TA} \times 32.6409) + (\text{TBC} \times 2.0272) \\ + (T_1 \times -0.18305) + (T_2 \times -5.7649) + (T_3 \times -1.693) + 32.5327 \quad (79)$$

$$Y_5 = \frac{1}{1 + e^{-X_5}} \quad (80)$$

$$X_6 = (\text{pH} \times 91.4874) + (\text{TA} \times 118.1705) + (\text{TBC} \times 14.9408) \\ + (T_1 \times 1.1567) + (T_2 \times 3.668) + (T_3 \times -4.067) - 181.8447 \quad (81)$$

$$Y_6 = \frac{1}{1 + e^{-X_6}} \quad (82)$$

$$X_7 = (\text{pH} \times -13.8486) + (\text{TA} \times 117.884) + (\text{TBC} \times -0.46881) \\ + (T_1 \times 6.5301) + (T_2 \times 1.8898) + (T_3 \times -0.40732) - 79.1568 \quad (83)$$

$$Y_7 = \frac{1}{1 + e^{-X_7}} \quad (84)$$

$$X_8 = (Y_1 \times -3.1798) + (Y_2 \times -16.1973) + (Y_3 \times 8.0275) \\ + (Y_4 \times -10.7273) + (Y_5 \times 24.908) + (Y_6 \times -56.8331) \\ + (Y_7 \times 83.0641) - 28.5233 \quad (85)$$

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_8}} \right) \times 35 \quad (86)$$

2.2.4. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E รสส้ม

ค่าน้ำหนักในชั้นช้อน

[-149.7598 -3.9252 -128.147 -9.8478 1.5708 -0.50961;
 -60.1297 -63.5767 -10.0808 17.1013 20.1864 14.2722;
 74.1102 -39.6002 -83.9988 -8.2952 -3.5163 -9.1498;
 -153.3856 -173.7753 -15.2931 -17.1824 81.2972 4.3575;
 39.7704 0.58676 -24.6326 -17.2228 -30.0932 -13.4463;
 3.4177 228.8736 33.8754 -16.6527 14.9524 -31.7375;
 -5.7282 181.1394 71.941 11.1442 -19.5001 -17.6943]

ค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก

[44.3512 -21.7706 -16.9304 50.602 51.5002 -49.5502 31.8631]

ค่าเอนเอียงในชั้นช้อน

[153.6867; 63.2897; -37.0571; 236.3413; -27.2367; -192.5412; -126.5214]

ค่าเอนเอียงในชั้นตัวแปรออก

[-32.7119]

สมการการปั่นเหวี่ยงนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ตรา E เป็นดังนี้

กำหนดให้	$X_1 - X_8$	เป็นผลรวมของค่าน้ำหนักกับค่าเอนเอียง
	$Y_1 - Y_7$	เป็น Sigmoid function $= \frac{1}{1+e^{-n}}$
	T_1	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที
	T_2	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที
	T_3	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 1100 รอบต่อนาที

$$X_1 = (\text{pH} \times -149.7598) + (\text{TA} \times -3.9252) + (\text{TBC} \times -128.147) \\ + (T_1 \times -9.0470) + (T_2 \times 1.5700) + (T_3 \times -0.50961) + 153.6067 \quad (87)$$

$$Y_1 = \frac{1}{1 + e^{-X_1}} \quad (88)$$

$$X_2 = (\text{pH} \times -60.1297) + (\text{TA} \times -63.5767) + (\text{TBC} \times -10.0808) \\ + (T_1 \times 17.1013) + (T_2 \times 20.1864) + (T_3 \times 14.2722) + 63.2897 \quad (89)$$

$$Y_2 = \frac{1}{1 + e^{-X_2}} \quad (90)$$

$$X_3 = (\text{pH} \times 74.1102) + (\text{TA} \times -39.6002) + (\text{TBC} \times -83.9988) \\ + (T_1 \times -8.2952) + (T_2 \times -3.5163) + (T_3 \times -9.1498) - 37.0571 \quad (91)$$

$$Y_3 = \frac{1}{1 + e^{-X_3}} \quad (92)$$

$$X_4 = (\text{pH} \times -153.3856) + (\text{TA} \times -173.7753) + (\text{TBC} \times -15.2931) \\ + (T_1 \times -17.1824) + (T_2 \times 81.2972) + (T_3 \times 4.3375) + 236.3413 \quad (93)$$

$$Y_4 = \frac{1}{1 + e^{-X_4}} \quad (94)$$

$$X_5 = (\text{pH} \times 39.7704) + (\text{TA} \times 0.58676) + (\text{TBC} \times -24.6326) \\ + (T_1 \times -17.2228) + (T_2 \times -30.0932) + (T_3 \times -13.4463) - 27.2367 \quad (95)$$

$$Y_5 = \frac{1}{1 + e^{-X_5}} \quad (96)$$

$$X_6 = (\text{pH} \times 3.4177) + (\text{TA} \times 228.8736) + (\text{TBC} \times 33.8754) \\ + (T_1 \times -16.6527) + (T_2 \times 14.9524) + (T_3 \times -31.7375) - 192.5412 \quad (97)$$

$$Y_6 = \frac{1}{1 + e^{-X_6}} \quad (98)$$

$$X_7 = (\text{pH} \times -5.7282) + (\text{TA} \times 181.1394) + (\text{TBC} \times 71.941) \\ + (T_1 \times 11.1442) + (T_2 \times -19.5001) + (T_3 \times -17.6943) - 126.5214 \quad (99)$$

$$Y_7 = \frac{1}{1 + e^{-X_7}} \quad (100)$$

$$X_8 = (Y_1 \times 44.3512) + (Y_2 \times -21.7706) + (Y_3 \times -16.9304) \\ + (Y_4 \times 50.602) + (Y_5 \times 51.5002) + (Y_6 \times -49.5502) + (Y_7 \times 31.8631) \\ - 32.7119 \quad (101)$$

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_8}} \right) \times 28 \quad (102)$$

2.2.5. นมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์รวม

ค่าน้ำหนักในชั้นช้อน

[-61.1153 -12.7985 -11.202 -11.2032 -0.62798 2.1279;
 -86.654 -19.7086 -21.4334 -7.5027 0.11936 2.097;
 84.0395 39.6303 37.5559 -1.6821 -1.7383 -1.1215;
 45.9216 -10.178 -56.3064 -0.5851 0.58643 18.7441;
 -56.2416 -8.7187 17.2832 4.0163 -3.739 -11.9486;
 -25.784 14.1841 -17.9172 -3.2502 4.2918 -7.7192]

ค่าน้ำหนักในชั้นตัวแปรออก

[24.4802 -23.2051 -9.0022 15.9946 16.904 2.3681]

ค่าเอนเอียงในชั้นช้อน

[72.2012; 103.5529; -120.3778; -38.5483; 65.4779; 13.4298]

ค่าเอนเอียงในชั้นตัวแปรออก

[-17.4612]

สมการการปั่นเหวี่ยงนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพาสเจอร์ไรส์ ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยง
 หนีศูนย์กลางแบบแกว่งออก เป็นดังนี้

กำหนดให้	$X_1 - X_7$	เป็นผลรวมของค่าน้ำหนักกับค่าเอนเอียง
	$Y_1 - Y_6$	เป็น Sigmoid function $= \frac{1}{1+e^{-n}}$
	T_1	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 600 รอบต่อนาที
	T_2	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที
	T_3	ค่าคะแนนของการแยกชั้นที่ความเร็วรอบ 1100 รอบต่อนาที

$$X_1 = (\text{pH} \times -61.1153) + (\text{TA} \times -12.7985) + (\text{TBC} \times -11.202) \\ + (\text{T}_1 \times -11.2032) + (\text{T}_2 \times -0.62790) + (\text{T}_3 \times 2.1279) + 72.2012 \quad (103)$$

$$Y_1 = \frac{1}{1 + e^{-X_1}} \quad (104)$$

$$X_2 = (\text{pH} \times -80.634) + (\text{TA} \times -19.7080) + (\text{TBC} \times -21.4334) \\ + (\text{T}_1 \times -7.5027) + (\text{T}_2 \times 0.11936) + (\text{T}_3 \times 2.097) + 103.5529 \quad (105)$$

$$Y_2 = \frac{1}{1 + e^{-X_2}} \quad (106)$$

$$X_3 = (\text{pH} \times 84.0395) + (\text{TA} \times 39.6303) + (\text{TBC} \times 37.5559) \\ + (\text{T}_1 \times -1.6821) + (\text{T}_2 \times -1.7383) + (\text{T}_3 \times -1.1215) - 120.3778 \quad (107)$$

$$Y_3 = \frac{1}{1 + e^{-X_3}} \quad (108)$$

$$X_4 = (\text{pH} \times 45.9216) + (\text{TA} \times -10.178) + (\text{TBC} \times -56.3064) \\ + (\text{T}_1 \times -0.3831) + (\text{T}_2 \times 0.38043) + (\text{T}_3 \times 18.7441) - 38.3483 \quad (109)$$

$$Y_4 = \frac{1}{1 + e^{-X_4}} \quad (110)$$

$$X_5 = (\text{pH} \times -50.2416) + (\text{TA} \times -8.7187) + (\text{TBC} \times 17.2832) \\ + (\text{T}_1 \times 4.0163) + (\text{T}_2 \times -3.739) + (\text{T}_3 \times -11.9486) + 65.4779 \quad (111)$$

$$Y_5 = \frac{1}{1 + e^{-X_5}} \quad (112)$$

$$X_6 = (\text{pH} \times -25.784) + (\text{TA} \times 14.1841) + (\text{TBC} \times -17.9172) \\ + (\text{T}_1 \times -3.2502) + (\text{T}_2 \times 4.2918) + (\text{T}_3 \times -7.7192) + 13.4298 \quad (113)$$

$$Y_6 = \frac{1}{1 + e^{-X_6}} \quad (114)$$

$$X_7 = (Y_1 \times 24.4802) + (Y_2 \times -23.2051) + (Y_3 \times -9.0022) \\ + (Y_4 \times 15.9946) + (Y_5 \times 16.904) + (Y_6 \times 2.3681) - 17.4612 \quad (115)$$

$$\text{Days} = \left(\frac{1}{1 + e^{-X_7}} \right) \times 35 \quad (116)$$

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายฐากร กู้เกียรติกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 2 มิถุนายน 2525
สถานที่เกิด	สตูล
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เทคโนโลยีการอาหาร) มหาวิทยาลัยสยาม กรุงเทพฯ พ.ศ. 2547
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-