บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

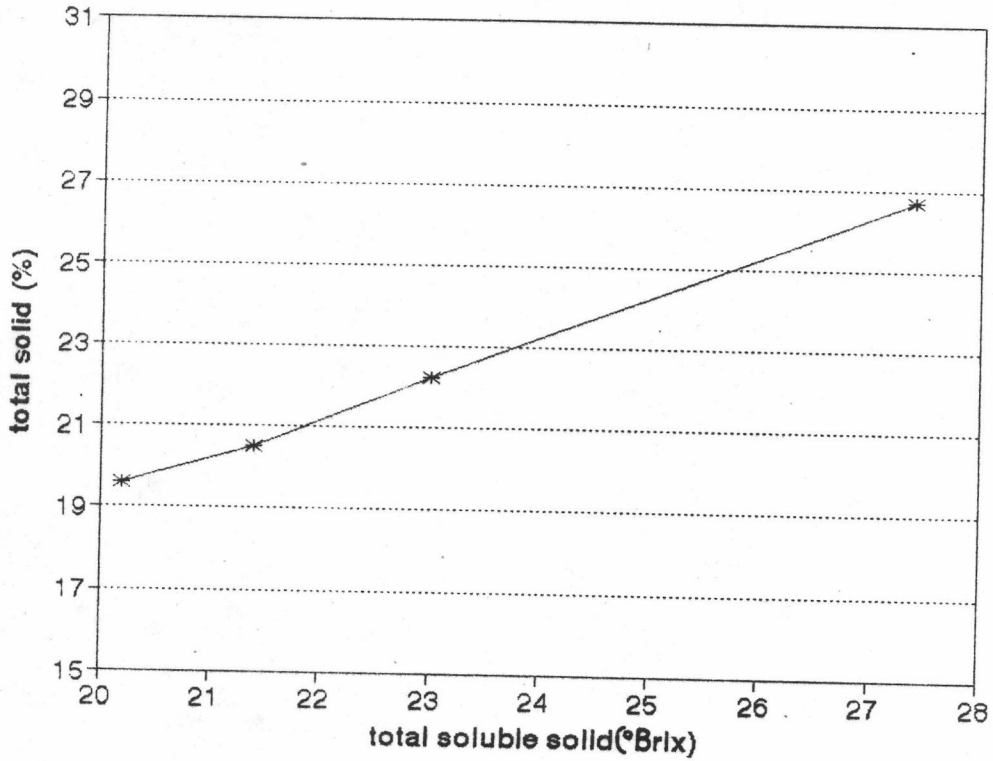
5.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งรวมทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้

ได้นำน้ำนมถั่วเหลืองมาระเหยน้ำออกโดยใช้เครื่องระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 91-95 องศาเซลเซียส สุญญากาศ -0.8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อัตราการป้อนน้ำนม 45 ลิตรต่อชั่วโมง โดยให้จำนวนครั้งที่ผ่านเข้าเครื่องระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศแตกต่างกัน จะได้น้ำนมถั่วเหลืองที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ คือ 20.2, 21.4, 23.0 และ 27.4 องศาบริกซ์

จากนั้นนำน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด และวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ ค-1 ในภาคผนวก ค. และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-1

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5-1 (หรือข้อมูลตารางที่ ค-1 ในภาคผนวก ค.) จะเห็นว่าปริมาณร้อยละของของแข็งรวมทั้งหมดแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และข้อมูลสามารถแสดงได้ด้วยเส้นตรง ดังนั้น จึงสามารถใช้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ซึ่งเป็นค่าที่วัดได้อย่างรวดเร็วไปประมาณค่าของแข็งรวมทั้งหมดในน้ำนมถั่วเหลืองได้ ทำให้สะดวกในการควบคุมคุณภาพ

เมื่อน้ำนมถั่วเหลืองมีความเข้มข้นประมาณ 28 องศาบริกซ์ (ร้อยละ



รูปที่ 5-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งรวมทั้งหมดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของน้ำนมถั่วเหลืองเข้มข้นซึ่งระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศ

ของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 27.25 เปอร์เซนต์) น้ำนมถั่วเหลืองจะมีลักษณะเป็นเจลซึ่งตรงกับรายงานของ Lo และคณะที่ได้กล่าวไว้ว่า น้ำนมถั่วเหลืองจะมีลักษณะเป็นเจลเหนียวเมื่อระเหยจนมีค่าร้อยละของแข็งรวมทั้งหมดเท่ากับ 27 เปอร์เซนต์

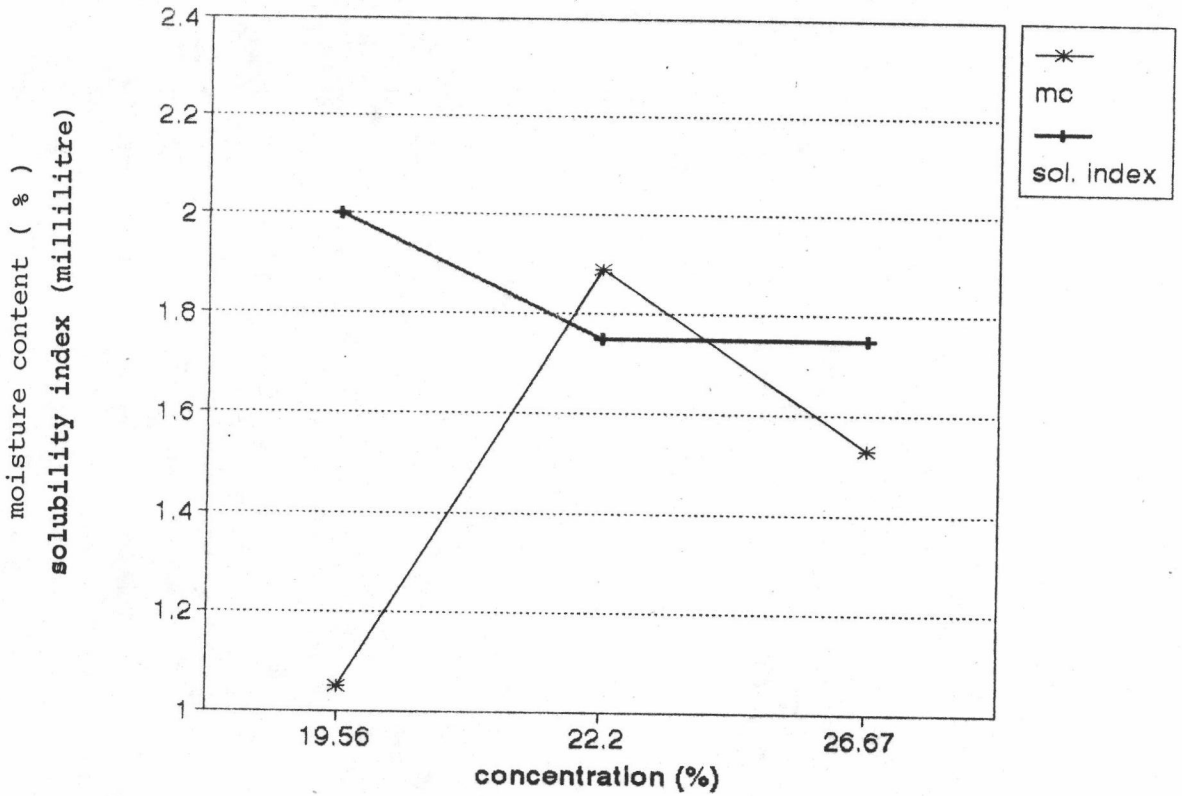
ดังนั้น ในการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองเข้มข้นก่อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ค่าร้อยละของแข็งรวมทั้งหมดจึงควรมีค่าน้อยกว่า 27 เปอร์เซนต์ เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันของเครื่องทำละอองฝอย

5.2 <u>การทดลองหาค่าความเข้มข้นของน้ำนมถั่วเหลืองที่เหมาะสมในการป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อผลิตนมถั่วเหลืองผง</u>

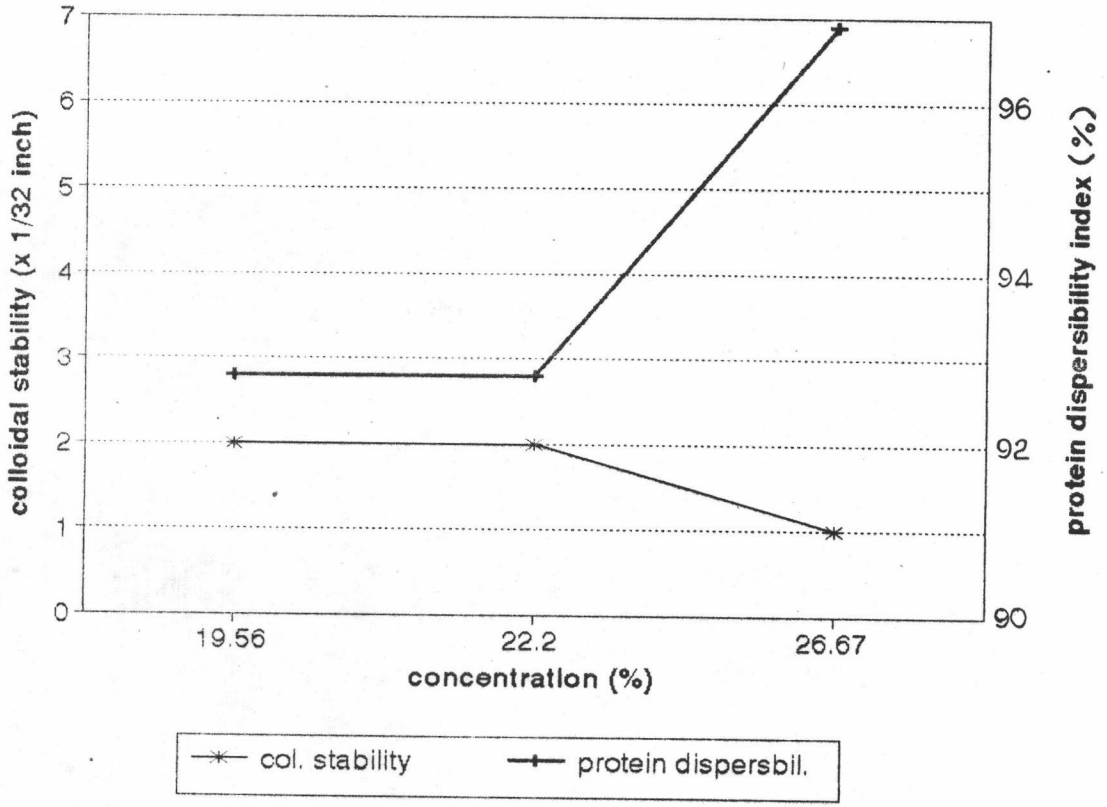
ได้เตรียมน้ำนมถั่วเหลืองที่ระดับความเข้มข้นต่าง 20.2, 23.0 และ 27.4 องศาบริกซ์ ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามภาวะในข้อ 4.2.2

จากนั้นนำนมถั่วเหลืองผงที่ผลิตได้มาวิเคราะห์หาคุณภาพทั้งในรูปนมถั่วเหลืองผง และในรูปน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้จากการละลายกลับสู่รูปเดิมโดยใช้วิธีวิเคราะห์ในข้อ 4.2.4 ซึ่งรายละเอียดของวิธีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก. และ ข. ตามลำดับ โดยในขั้นตอนนี้ทำการส่งตัวอย่างวิเคราะห์ให้กรมวิทยาศาสตร์บริการ ชั้น 4 ฝ่ายผลิตภัณฑ์จากนมทำการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ ค-2 ถึง ค-3 และรูปที่ 5-2 ถึง 5-3 ตามลำดับ

ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างที่เลือกใช้ในการทดลอง จะต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการอุดตันของเครื่องทำละอองฝอย และจากปัญหาสำคัญของการผลิตนมถั่วเหลืองผงดังได้กล่าวข้างต้น ทำให้การพิจารณาคัดเลือกนมถั่วเหลืองผงที่มีคุณภาพดีที่สุดนั้น พิจารณาตามลำดับความสำคัญ ดังนี้



<u>รูปที่ 5-2</u> ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและการละลาย เมื่อความเข้มข้นของน้ำนมถั่วเหลือง 19.56, 22.20 และ 26.67 (ร้อยละของแข็งทั้งหมด) เข้าเครื่องอบแห้งที่อัตราการป้อน 55 ลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 185 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบการหมุนของเครื่องทำละอองฝอย 15,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 5-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวของคอลลอยด์และการกระจายตัวของโปรตีน เมื่อความเข้มข้นของน้ำนมถั่วเหลือง 19.56, 22.20 และ 26.67 (ร้อยละของแข็งทั้งหมด) เข้าเครื่องอบแห้งที่อัตราการป้อน 55 ลิตรต่อชั่วโมง อุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 185 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบการหมุนของเครื่องทำละอองฝอย 15,000 รอบต่อนาที

- ค่าการละลาย
- ค่าความคงตัวของคอลลอยด์
- ความชื้น
- ค่าการกระจายตัวของโปรตีน

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5-2 (หรือข้อมูลตารางที่ ค-2 ในภาคผนวก ค.)พบว่า นมถั่วเหลืองผงตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 มีค่าความชื้นระหว่างร้อยละ 1.05-1.89 ความหนาแน่นปรากฏระหว่าง 0.51-0.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสี (5Y8/12 และ N9.25) ระหว่าง 8.52 - 9.16 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของนมผง และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของน้ำนมถั่วเหลือง (มอก.391-2524 และ มอก.1018-2533) ยกเว้นแต่ค่าการละลาย 1.75-2.0 มิลลิลิตร ที่ยังไม่เข้าเกณฑ์มาตรฐาน คาดว่าสาเหตุเนื่องมาจากพื้นผิวภายในของภาชนะอบแห้งไม่เรียบสม่ำเสมอ ทำให้มีผลิตภัณฑ์สะสมบริเวณผิวภายในซึ่งมีอุณหภูมิสูง เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างโปรตีนซึ่งไม่ละลายน้ำ (จากการสังเกตพบว่าเมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งในช่วงแรกของการทดลองไปทดสอบการละลาย จะมีคุณสมบัติในการละลายที่ดีกว่ามาก) แต่อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างที่ 2 และ 3 ก็ให้ค่าการละลาย 1.75 มิลลิลิตรซึ่งดีกว่าตัวอย่างที่ 1

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5-3 (หรือข้อมูลตารางที่ ค-3 ในภาคผนวก ค.)จะพบว่า ทั้ง 3 ตัวอย่างให้ปริมาณโปรตีนระหว่างร้อยละ 2.11-2.19 ไขมันระหว่างร้อยละ 2.06-2.16 คาร์โบไฮเดรตระหว่างร้อยละ 8.70-8.86 และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ระหว่าง 10.2-11.6 องศาบริกซ์ ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่ตัวอย่างที่ 3 จะให้ค่าความคงตัวของคอลลอยด์และค่าการกระจายตัวของโปรตีนดีที่สุด โดยมีค่า 1/32 นิ้วและ 96.90 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

ดังนั้น จึงเลือกตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองที่มีความเข้มข้น 26.67

(ร้อยละปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด) เพื่อทำการทดลองต่อไป

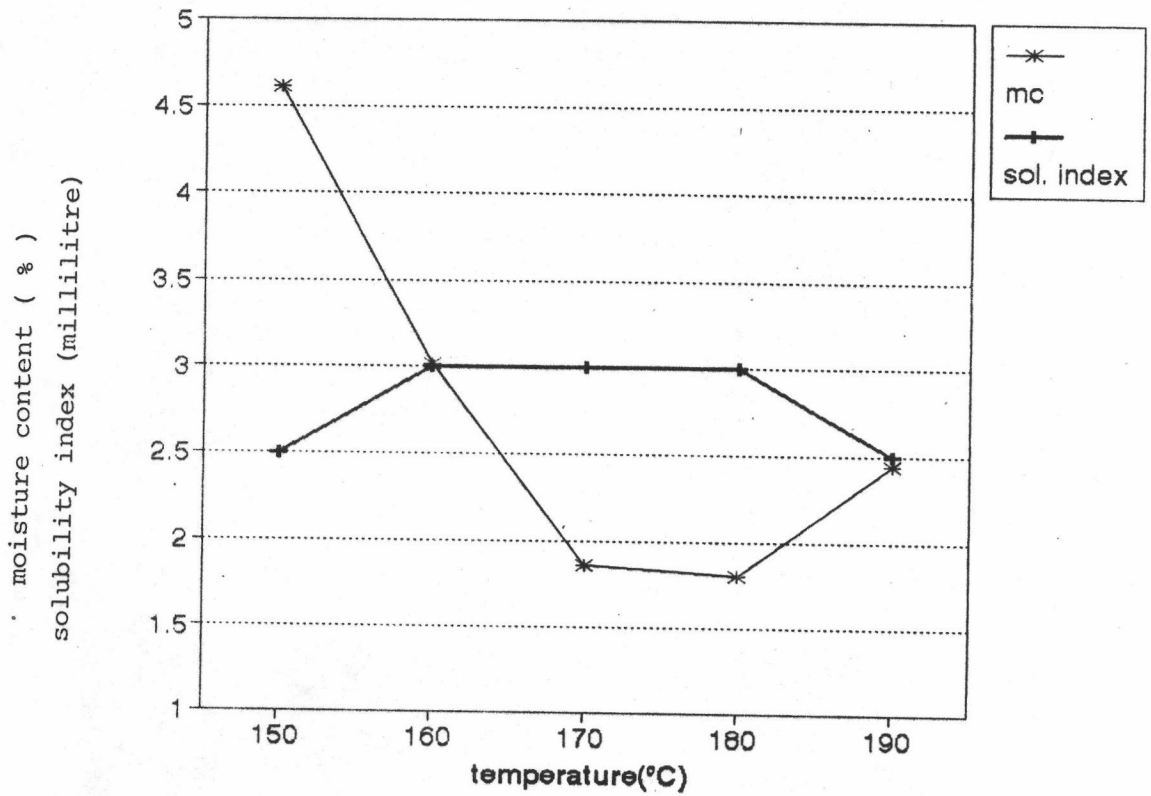
5.3 <u>การทดลองหาอุณหภูมิของอากาศร้อนเข้าที่เหมาะสมในการผลิตนมถั่วเหลืองผง</u>

นำน้ำนมถั่วเหลืองที่มีค่าความเข้มข้น 26.47 (ร้อยละปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด) ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามสภาวะในข้อ 4.3.2 โดยทำการแปรค่าอุณหภูมิของอากาศร้อนเข้า 150, 160, 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส

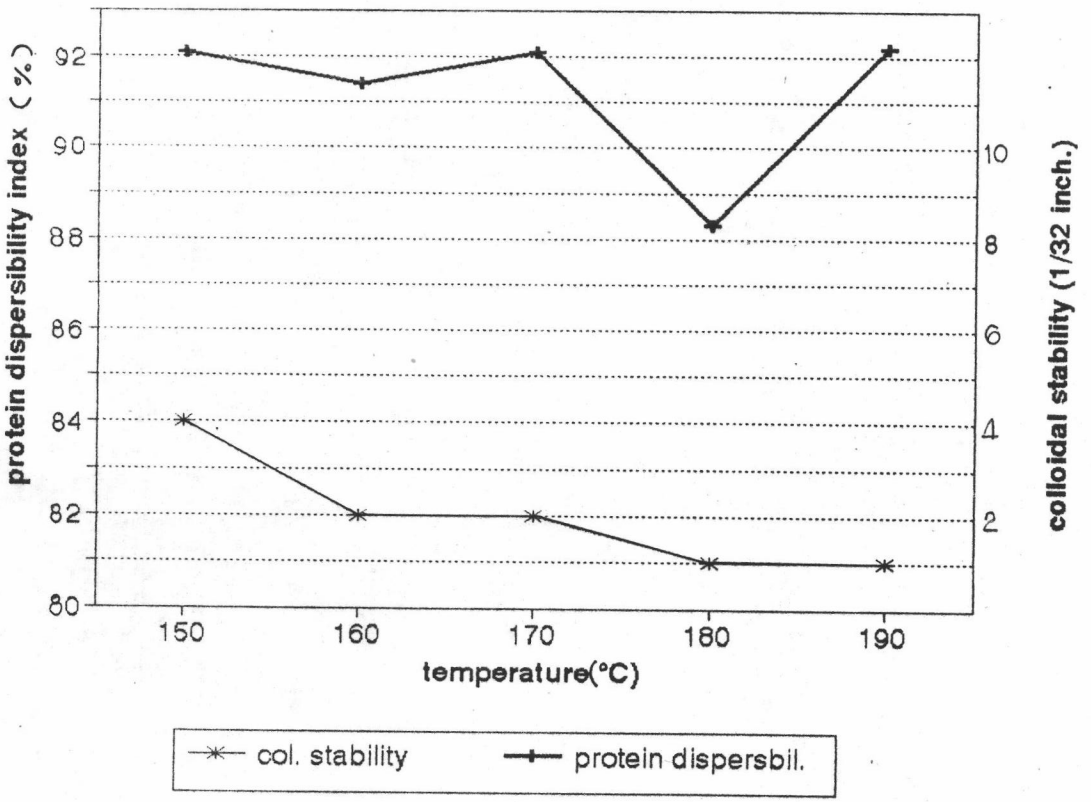
จากนั้น นำนมถั่วเหลืองผงที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพเช่นเดียวกับในข้อ 5.2 ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ ค-4 สิง ค-5 และรูป 5-4 สิง 5-5 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5-4 (หรือข้อมูลตารางที่ ค-4 ในภาคผนวก ค.)พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเข้าให้กับนมถั่วเหลืองผงตัวอย่างที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีผลทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ออกจากเครื่องอบแห้งมีค่าสูงขึ้น และสีของนมถั่วเหลืองผงเข้มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม นมถั่วเหลืองทั้ง 5 ตัวอย่างยังคงให้ค่าความชื้นระหว่างร้อยละ 1.80-4.61 ความหนาแน่นปรากฏระหว่าง 0.50-0.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสีระหว่าง 8.93-9.05 ซึ่งค่าทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คงมีเพียงค่าการละลายที่ยังคงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คาดว่าเป็นผลจากสาเหตุดังได้กล่าวข้างต้น ซึ่งตัวอย่างที่ 1 และ 5 ให้ค่าละลาย 2.5 มิลลิลิตร ดีกว่าตัวอย่างที่ 2, 3 และ 4

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5-5 (หรือข้อมูลตารางที่ ค-5 ในภาคผนวก ค.) พบว่าทั้ง 5 ตัวอย่างให้ปริมาณโปรตีนระหว่างร้อยละ 1.70-1.76 ไขมันระหว่างร้อยละ 2.15-2.20 และคาร์โบไฮเดรตระหว่างรอ้ยละ 8.68-9.13



รูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและการละลาย เมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 150, 160, 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส ที่อัตราการป้อน 55 ลิตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นของน้ำนมถั่วเหลือง 26.47 (ร้อยละของแข็งทั้งหมด) และความเร็วรอบการหมุนของเครื่องทำละอองฝอย 15,000 รอบต่อนาที



รูปที่ 5-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวของคอลลอยด์และการกระจายตัวของโปรตีน เมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 150, 160, 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส ที่อัตราการป้อน 55 ลิตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นของน้ำนมถั่วเหลือง 26.47 (ร้อยละของแข็งทั้งหมด) และความเร็วรอบการหมุนของเครื่องทำละอองฝอย 15,000 รอบต่อนาที

ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ คงมีเพียงตัวอย่างที่ 5 ที่ให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ 9.6 องศาบริกซ์ ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แต่ตัวอย่างที่ 1 ให้ค่าความคงตัวของคอลลอยด์และค่าการกระจายตัวของโปรตีนดีที่สุดคือ 1/32 นิ้วและ 92.20 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

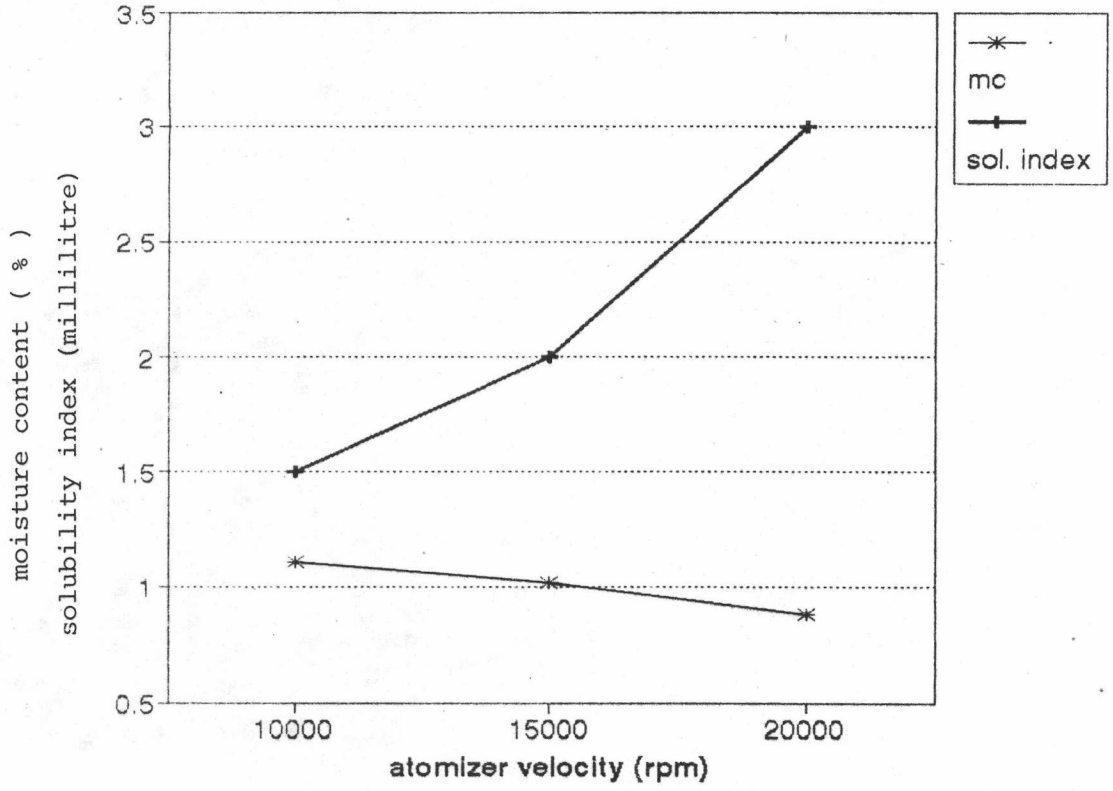
ดังนั้น จึงเลือกตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองที่มีอุณหภูมิของอากาศร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียส เพื่อทำการทดลองต่อไป

5.4 <u>การทดลองหาความเร็วรอบการหมุนของเครื่องทำละอองฝอยที่เหมาะสมในการผลิตนมถั่วเหลืองผง</u>

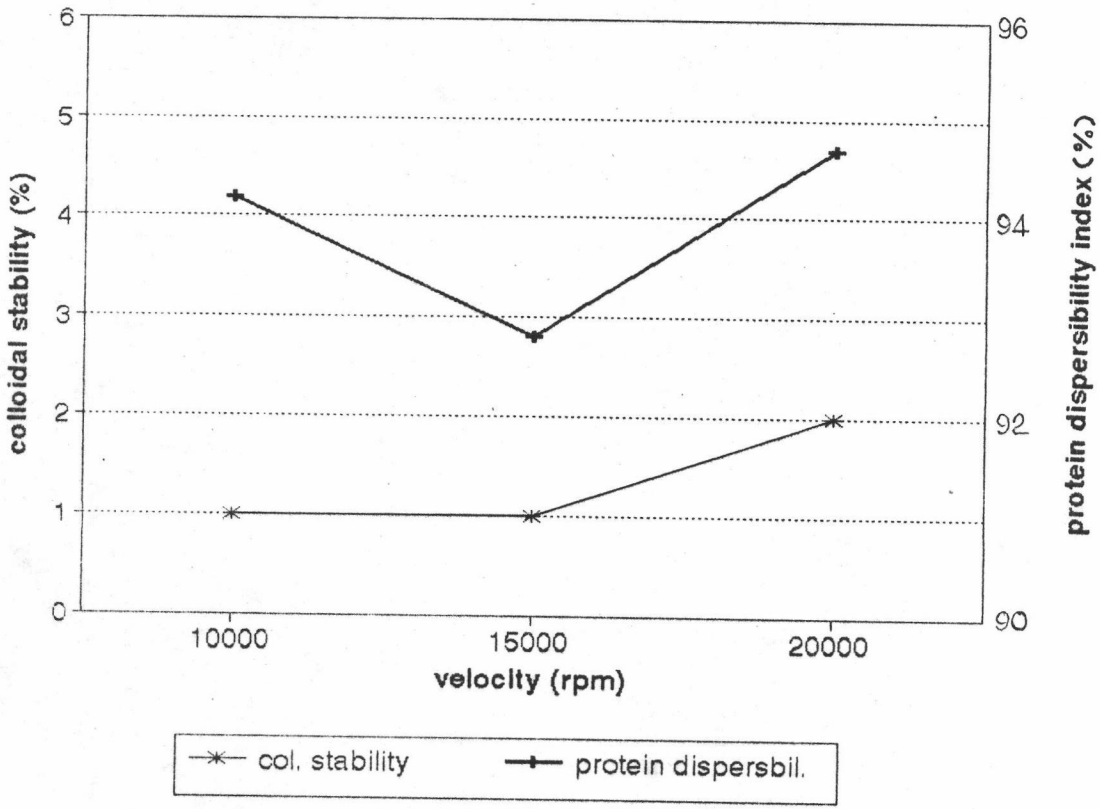
นำน้ำนมถั่วเหลืองที่มีค่าความเข้มข้น 26.08 (ร้อยละปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด) ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีค่าอุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียสตามภาวะในข้อ 4.4.2 โดยทำการแปรค่าความเร็วรอบของเครื่องทำละอองฝอย 10,000 15,000 และ 20,000 รอบต่อนาที

จากนั้น นำนมถั่วเหลืองผงที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพเช่นเดียวกับในข้อ 5.2 ผลการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ ค-6 สิง ค-7 และรูป 5-6 สิง 5-7 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5-6 (หรือข้อมูลตารางที่ ค-6 ในภาคผนวก ค.)พบว่า นมถั่วเหลืองทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าความชื้นระหว่างร้อยละ 0.88-1.11 ความหนาแน่นปรากฏระหว่าง 0.50-0.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และสีระหว่าง 9.00-9.12 ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และตัวอย่างที่ 1 ให้ค่าการละลาย 1.50 มิลลิลิตร ซึ่งดีกว่าตัวอย่างที่ 2 และ 3 อย่างเห็นได้ชัด และมีค่าใกล้เคียงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดไว้มาก และเนื่องจากตัวอย่างนม



รูปที่ 5-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและการละลาย เมื่อความเร็วรอบการหมุนของเครื่องทำละอองฝอย 10,000 15,000 และ 20,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อน 55 ลิตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นของน้ำนมถั่วเหลือง 26.08 (ร้อยละโดยน้ำหนัก) และอุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียส



ห้องสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

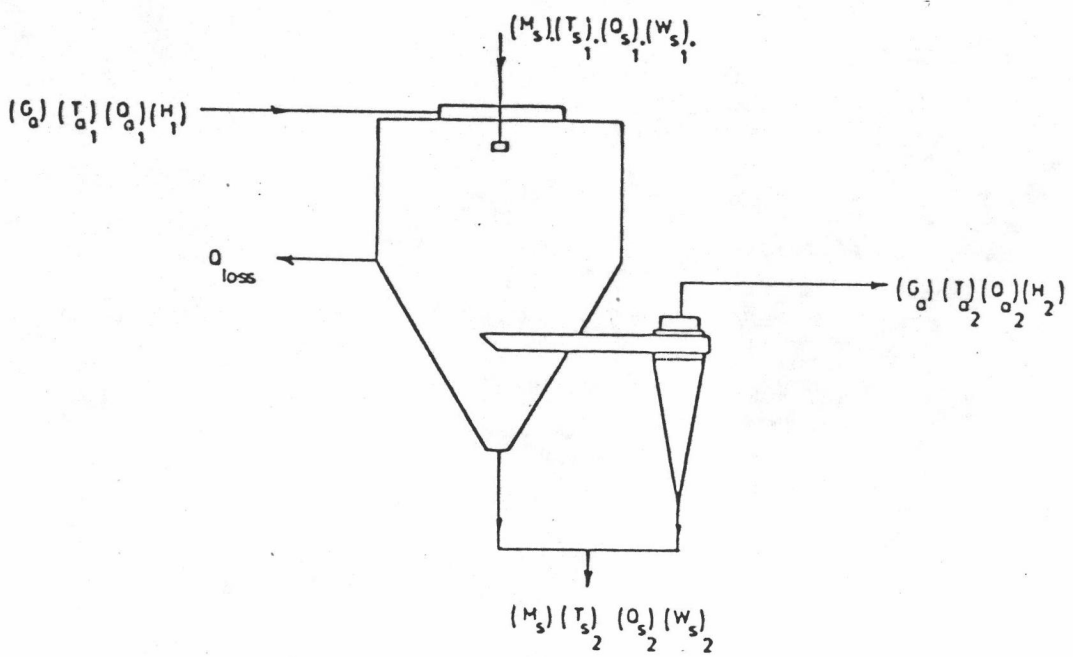
รูปที่ 5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความคงตัวของคอลลอยด์และการกระจายตัวของโปรตีน เมื่อความเร็วรอบการหมุนของเครื่องทำละอองฝอย 10,000 15,000 และ 20,000 รอบต่อนาที ที่อัตราการป้อน 55 ลิตรต่อชั่วโมง ความเข้มข้นของน้ำนมถั่วเหลือง 26.08 (ร้อยละโดยน้ำหนัก) และอุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียส

ถั่วเหลืองผงที่ส่งวิเคราะห์ทั้งหมดเป็นตัวอย่างที่ได้จากการผสมนมถั่วเหลืองผงที่ตกลงสู่ภาชนะเก็บผลิตภัณฑ์และจากส่วนที่สะสมอยู่ภายในภาชนะอบแห้ง นั่นคือค่าการละลายที่ได้จึงเป็นค่าเฉลี่ยของทั้งหมด ซึ่งทำให้มีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็นในกรณีที่วิเคราะห์นมถั่วเหลืองผงจากภาชนะเก็บผลิตภัณฑ์เพียงส่วนเดียว

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5-7 (หรือข้อมูลตารางที่ ค-7 ในภาคผนวก ค.)พบว่า ทั้ง 3 ตัวอย่างมีปริมาณโปรตีนระหว่างร้อยละ 2.05-2.12 ไขมันระหว่างร้อยละ 2.16-2.35 คาร์โบไฮเดรตระหว่างร้อยละ 7.89-8.77 และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำระหว่าง 10.8-11.2 องศาบริกซ์ ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ตัวอย่างที่ 1 ให้ค่าความคงตัวของคอลลอยด์ดีที่สุด และค่าการกระจายตัวของโปรตีนอยู่ในเกณฑ์ดีมากคือ 1/32 นิ้วและ 94.20 เปอร์เซนต์ตามลำดับ

ดังนั้น จึงเลือกค่าความเร็วรอบการหมุนของเครื่องทำละอองฝอยที่ 10,000 รอบต่อนาที

<u>การทำสมดุลมวลสารและสมดุลความร้อนที่ภาชนะอบแห้ง</u>



สัญลักษณ์

C_{ds} = ความจุความร้อนของของแข็งที่แห้ง = 0.4 Kcal/Kg/°C

C_s = ความร้อนชื้น = 0.24 + 0.46 H (Kcal/Kg/°C)

C_w = ความจุความร้อนของน้ำ = 1 Kcal/Kg/°C

G_a = อัตราการส่งอากาศเข้าเครื่องอบแห้ง

G_{da} = อัตราการส่งอากาศแห้งเข้าเครื่องอบแห้ง

H_1 = ความชื้นของอากาศขณะเข้าภาชนะอบแห้ง

H_2 = ความชื้นของอากาศขณะออกจากภาชนะอบแห้ง

M_s = น้ำหนักของของแข็งที่เข้า/เวลา

$(Q_a)_1$ = เอนทาลปีของอากาศเข้า

$(Q_a)_2$ = เอนทาลปีของอากาศออก

$(Q_s)_1$ = เอนทาลปีของของแข็งและความชื้น

$(Q_s)_2$ = เอนทาลปีของผลิตภัณฑ์

$(T_a)_1$ = อุณหภูมิของอากาศร้อนเข้า

$(T_a)_2$ = อุณหภูมิของอากาศร้อนออก

$(T_s)_1$ = อุณหภูมิของอาหารเหลว

$(T_s)_2$ = อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์

$(W_s)_1$ = เป็นน้ำหนักความชื้น/น้ำหนักของแข็งของอาหารเหลว

$(W_s)_2$ = เป็นน้ำหนักความชื้น/น้ำหนักของแข็งของผลิตภัณฑ์

ข้อกำหนด
- ป้อนอาหารเหลว 8 ลิตร (ที่อัตราการป้อน 55 ลิตรต่อชั่วโมง) ในเวลา 45 นาที
- ความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีค่า 65 เปอร์เซนต์
- ความหนาแน่นน้ำนมถั่วเหลืองมีค่า 1.12 กิโลกรัมต่อลิตร
- ปริมาณของแข็งรวมในน้ำนมถั่วเหลืองมีค่า 26.08 เปอร์เซนต์ (โดยน้ำหนัก)
- อุณหภูมิอ้างอิงที่ 0 องศาเซลเซียส
- ไม่มีมวลสะสมและสูญหาย

- อุณหภูมิอากาศในบรรยากาศ = 31 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิอากาศน้ำนมถั่วเหลือง = 28 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิอากาศร้อนเข้า = 190 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิอากาศออก (เป็นไปตาม adiabatic cooling line) = 90 องศาเซลเซียส

<u>รายละเอียดของสายเข้า</u>

1. สายป้อนอากาศร้อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

G_a = 400 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

($D_{190°C}$ = 0.762 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

= 228.6 กิโลกรัมของอากาศ/45 นาที

G_{da} = 224.3 กิโลกรัมของอากาศแห้ง/45 นาที

$(T_a)_1$ = 190 องศาเซลเซียส

H_1 = 0.011 กิโลกรัมของความชื้น/กิโลกรัมของอากาศแห้ง

(T_w = 49.2 องศาเซลเซียส)

(T_d = 190 องศาเซลเซียส)

$(Q_a)_1 = C_s\Delta T + \lambda H_1$

$= [0.24 + (0.46 \times 0.019)] \times 190 + (597.3 \times 0.019)$

= 58.61 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัมอากาศแห้ง

2. สายป้อนอาหารเหลว

$M_s = 8 \times 1.12 \times 0.2608 = 2.34$ กิโลกรัมของแข็ง/45 นาที

$(T_s)_1$ = 28 องศาเซลเซียส

$(W_s)_1 = 0.7392/0.2608 = 2.834$ กิโลกรัมของน้ำ/กิโลกรัมของแข็ง

$(Q_s)_1 = C_{ds}\Delta T + (W_s)_1 C_w \Delta T$

$= (0.4 \times 28) + (2.834 \times 1 \times 28)$

= 90.55 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัมของแข็ง

รายละเอียดสายออก

1. สายอากาศร้อนออก

G_{da} = 224.3 กิโลกรัมอากาศแห้ง/45 นาที

G_a = 235.1 กิโลกรัมอากาศ/45 นาที

$(T_a)_2$ = 90 องศาเซลเซียส

H_2 = 0.048 กิโลกรัมของน้ำ/กิโลกรัมของอากาศแห้ง

(H_2 = $\frac{\text{ปริมาณน้ำที่ถูกระเหย}}{\text{น้ำหนักอากาศแห้ง}}$ + ความชื้นเดิม

= [(8 x 1.12) - (2.34 x 1.011)]/ 224.3 + 0.019

= 0.048 กิโลกรัมของน้ำ/กิโลกรัมของอากาศแห้ง)

($Q_a)_2$ = [0.24 + (0.46 x 0.048)] x 90 + (597.3 x 0.048)

= 52.26 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัมอากาศแห้ง

2. สายผลิตภัณฑ์ออก

M_s = 2.34 กิโลกรัมของนมผงแห้ง/45 นาที

$(T_s)_2$ = 90 องศาเซลเซียส

$(W_s)_2$ = 0.0111/0.9889

= 0.011 กิโลกรัมของน้ำ/กิโลกรัมของของแข็ง

$(Q_s)_2 = C_{ds}\Delta T + (W_s)_2 C_w \Delta T$

= 0.4 x 90 + (0.011 x 1 x 90)

= 36.99 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัมของแข็ง

5.5 สมดุลมวลสาร

มวลสารที่เข้า = มวลสารที่ออก

มวลอาหารเข้า + มวลอากาศเข้า = มวลอาหารออก + มวลอากาศออก

(8 x1.12) + 228.6 = M_p + 235.1

$\therefore M_p$ = 2.46 กิโลกรัม

การหาค่าความชื้นของอากาศออก (H_2) ในการคำนวณนี้ ใช้วิธีคำนวณค่าความชื้นดังแสดงข้างต้น เนื่องจากจากการหาค่า H_2 โดยวิธีกราฟที่อุณหภูมิอากาศร้อนเข้า 190 องศาเซลเซียส ลากเส้นตาม adiabatic cooling line ไปยังอุณหภูมิอากาศออก 90 องศาเซลเซียส จะได้ค่าความชื้น 0.066 กิโลกรัมความชื้นต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง ซึ่งจะทำให้ค่าความชื้นออกมากกว่าความชื้นเข้า ดังนั้น จึงใช้ค่า H_2 = 0.048 กิโลกรัมความชื้นต่อกิโลกรัมอากาศแห้ง

จากการคำนวณพบว่าผงผลิตภัณฑ์ที่ได้ควรมีค่า 2.46 กิโลกรัม แต่จากการทดลองสามารถเก็บผงผลิตภัณฑ์เพียง 1.54 กิโลกรัม ผลต่างของทั้งสองจำนวนคือ ปริมาณผงผลิตภัณฑ์ที่สะสมอยู่ภายในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องและบริเวณผิวภายในของภาชนะอบแห้ง ซึ่งนมถั่วเหลืองผงดังกล่าวจะมีลักษณะชื้นและมีคุณสมบัติในการละลายที่ไม่ดี อันเนื่องมาจากการสัมผัสความร้อนเป็นเวลานานเกินไป

5.6 สมดุลความร้อน

เอนทาลปีของอากาศที่เข้าภาชนะอบแห้ง = $G_a(Q_a)_1$

เอนทาลปีของอาหารเหลวที่เข้าภาชนะอบแห้ง = $M_s(Q_s)_1$

เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากภาชนะอบแห้ง = $G_a(Q_a)_2$

เอนทาลปีของของแข็งที่แห้ง = $M_s(Q_s)_2$

ความร้อนที่เข้า = ความร้อนที่ออก + ความร้อนที่สูญเสีย

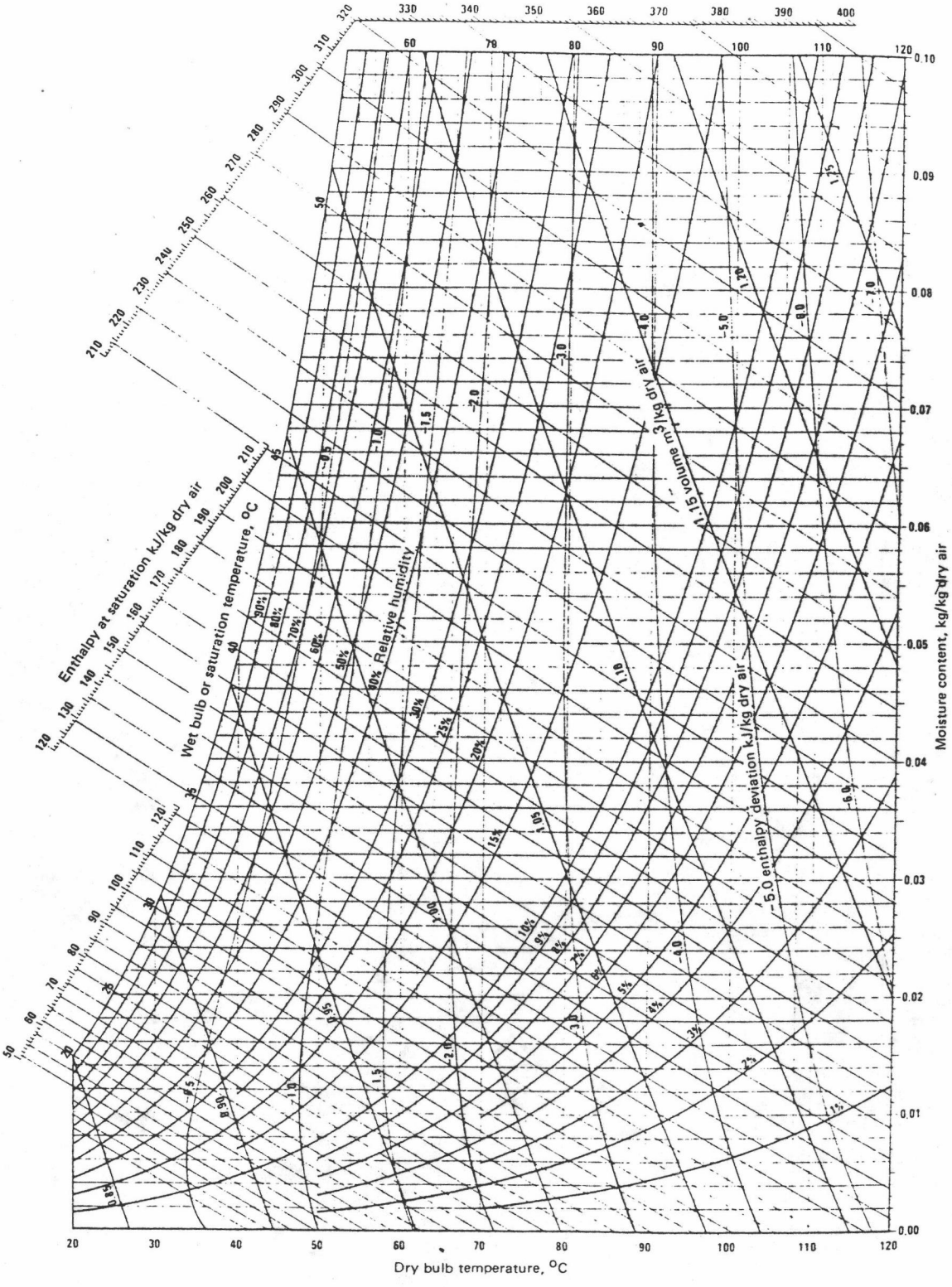
$$G_a(Qa)_1+M_s(Q_s)_1 = G_a(Q_a)_2 + M_s(Q_s)_2 + Q_L$$

$$(224.3x58.61)+(2.34x90.55)=(224.3x52.26)+(2.34x36.99)+Q_L$$

$$13,146.2 + 211.9 = 11,721.9 + 86.6 + Q_L$$

$$13,358.1 = 11,808.5 + Q_L$$

$$\therefore Q_L = 1,549.6 \text{ กิโลแคลอรี่/45 นาที}$$



รูปที่ 5-8 Psychrometric Humidity Chart

ซึ่งปริมาณความร้อนที่สูญเสีย 1,549.6 กิโลแคลอรี่ เกิดจากการที่อุณหภูมิอากาศเข้ามีค่าสูงเกินพอ

5.7 ประสิทธิภาพความร้อน

$$\text{ประสิทธิภาพความร้อน} = \frac{\text{ความร้อนที่ใช้ในการระเหย}}{\text{ความร้อนที่ใส่เข้าไป}}$$

$$= \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_0} \times 100$$

เมื่อ T_0 = อุณหภูมิของอากาศในบรรยากาศ = 31 °C

T_1 = อุณหภูมิของอากาศร้อนก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง = 190 °C

T_2 = อุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องอบแห้ง = 90 °C

ดังนั้น ประสิทธิภาพความร้อน $= \frac{190 - 90}{190 - 31} \times 100$

= 62.89 เปอร์เซนต์

พบว่าค่าประสิทธิภาพความร้อนที่ได้จากการทดลอง 62.89 เปอร์เซนต์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยชนิดสายป้อนขนาน, หนึ่งช่องผลิตภัณฑ์ออก ซึ่งมีค่าประมาณ 60 เปอร์เซนต์ (49)

5.8 การหาเปอร์เซนต์ yield ของนมถั่วเหลืองผง (น้ำนมมีค่าร้อยละปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด 26.08 เปอร์เซนต์, ปริมาตร 8 ลิตร ในเวลา 45 นาที)

: production yield = weight of soymilk powder obtained

= 1.54 กิโลกรัม

: % overall yield = $\frac{\text{production yield}}{\text{total solid in feed}} \times 100$

= (1.54 x 100)/(0.2608 x 8 x 1.12)

= 65.90 เปอร์เซนต์

: % recovery efficiency = $\frac{\text{total solids in soymilk powder}}{\text{total solids in feed}} \times 100$

= $\frac{1.54 \times (1-0.0111)}{8 \times 0.2608 \times 1.12} \times 100$

= 65.12 เปอร์เซนต์

: dryer efficiency (gm) (KW.hr) = $\frac{\text{water removed from feed}}{\text{power consumed}}$

= $\frac{(8 \times 1.12)-(2.34 \times 1.011)}{16.5 \times 0.75} \times 1,000$

= 6,594/12.38

= 532 gm/Kw/hr

5.9 <u>การประมาณราคานมถั่วเหลืองผงต่อหนึ่งกิโลกรัม</u> คิดต่อ 1 วันทำการ (8 ชั่วโมง) และ 300 วันทำการต่อปี

: ค่าจ้างแรงงาน = 2 คน ๆ ละ 132 บาท = 264 บาท

: ค่าวัตถุดิบ

- น้ำนมถั่วเหลือง 85.3 ลิตร ๆ ละ 13 บาท = 1,109 บาท
- สารปรุงแต่งและสารเคมี = 594 บาท

(เด็กซตริน 510 บาท, น้ำตาล 30 บาท, น้ำมันพืช 44 บาท อื่น ๆ 10 บาท)

รวม = 1,703 บาท

: ค่าเชื้อเพลิงและพลังงาน (240 กิโลวัตต์/วัน) = 960 บาท

: ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร (10 % ต่อปี) คิดที่ 300 วันทำการ/ปี

- เครื่องระเหยน้ำภายใต้สุญญากาศ = 800,000/10x300
  = 266 บาท
- เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย = 2,000,000/10x300
  = 667 บาท

รวม = 933 บาท

: ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา(5 % ของทั้งหมด)
= 3,929 x 5/100 = 193 บาท

: อื่น ๆ (5 % ของทั้งหมด) = 3,929 x 5/100 = 193 บาท

∴ รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 4,246 บาท

ราคานมถั่วเหลืองผงต่อหนึ่งกิโลกรัม = 4,246/16.42
= 258 บาท/กิโลกรัม
หรือ = 7.75 บาท/ซอง (30 กรัม)

พบว่าราคานมถั่วเหลืองผงหนึ่งกิโลกรัมมีราคา 258 บาท และมีราคา 7.75 บาทต่อซอง (น้ำหนักบรรจุ 30 กรัม) อย่างไรก็ตามเนื่องจากราคาดังกล่าวคำนวณจากข้อกำหนดพื้นฐานต่อหนึ่งวันทำการ (คิดที่ production yield 1.5 กิโลกรัม) และเป็นการผลิตในระดับต้นแบบ ฉะนั้น ราคาต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์จะมีราคาสูงกว่าราคาต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ของการผลิตในระดับอุตสาหกรรม และจากการสำรวจราคานมถั่วเหลืองผงในประเทศอังกฤษพบว่ามีราคาประมาณ 22 บาท ต่อซอง (บรรจุ 30 กรัม) ดังนั้น แนวโน้มอุตสาหกรรมการผลิตนมถั่วเหลืองผงจึงมีโอกาสเป็นไปได้ที่สูงมาก