

การเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตสีย้อมผ้า Productivity Improvement of Spray Drying Process in Textile Dye Manufacturing

อภาพพร จันทะมาศ^{1*} นภัสดวงศ์ โอสถศิลป์²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10300

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10300

*Corresponding author: E-mail: ap33pe@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลิตภาพของสีย้อมผ้าประเภทดีตาย โดยการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ ขนาดหัวฉีดผงสีและอุณหภูมิของอากาศร้อน ผู้วิจัยทำการทดลองเปรียบเทียบผลิตภาพที่ขนาดหัวฉีด 4 ระดับได้แก่ 2.3 มม. 2.5 มม. 2.75 มม. และ 2.3 มม. 2 หัว และที่ระดับของอุณหภูมิของอากาศร้อน 3 ระดับได้แก่ 100 110 และ 120 องศาเซลเซียส จากนั้นหาระดับของขนาดหัวฉีดผงสีและอุณหภูมิของอากาศร้อนที่สามารถเพิ่มผลิตภาพได้อย่างมีนัยสำคัญโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และการทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) ผลการศึกษาพบว่าขนาดหัวฉีดที่เหมาะสมคือ หัวฉีดขนาด 2.5 มม. และอุณหภูมิของอากาศร้อนที่เหมาะสมคือ 110 องศาเซลเซียส โดยให้ค่าผลิตภาพเฉลี่ย 25.42 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเพิ่มขึ้น 28.77 เปอร์เซ็นต์ จากเดิมที่ผลิตภาพเป็น 19.74 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ระดับขนาดหัวฉีด 2.3 มม. และอุณหภูมิอากาศร้อน 100 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: ผลิตภาพ กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ขนาดหัวฉีด อุณหภูมิของอากาศร้อน

ABSTRACT

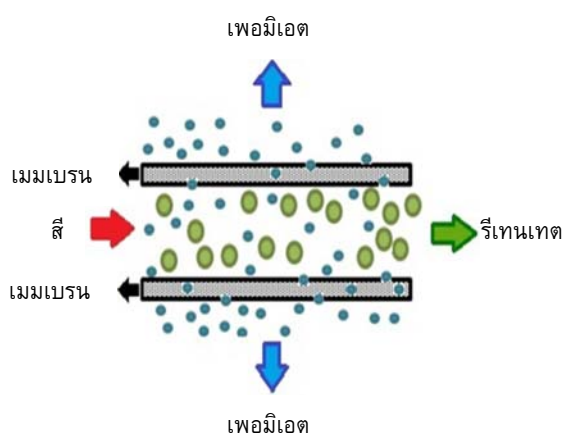
This research aims to increase the productivity of textile dye of D-dye type by finding proper levels of process factors in a spray drying process, which were nozzle diameter hot air temperature. This research performed experiments to compare productivity at 4 levels of nozzle diameter: 2.3 mm., 2.5 mm., 2.75 mm. and 2 nozzles of 2.3 mm. and 3 levels of hot air temperature: 100 °C, 110 °C and 120 °C. Then, Analysis of Variance (ANOVA) and Multiple Comparisons were performed to determine the levels of nozzle diameter and hot air temperature, which can increase the productivity significantly. The result showed that the proper levels were at the nozzle diameter of 2.5 mm. and the hot air temperature of 110 °C, which yield the productivity of 22.83%. The productivity was increased 28.77% from 19.74% when using the nozzle diameter of 2.3 mm. and the hot air temperature of 100 °C.

Keyword: Productivity, Spray Drying Process, Nozzle Diameters, Hot Air Temperature

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสีย้อมผ้ามีการขยายตัวเพื่อรองรับอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีความต้องการของผู้บริโภคที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงมีความจำเป็นที่ผู้ผลิตสีย้อมผ้าจะต้องปรับปรุงกระบวนการผลิตสีเพื่อเพิ่มผลิตภาพของสีให้มีปริมาณที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตสีให้ได้มากที่สุด และผลที่ได้จากการเพิ่มผลิตภาพของสีตามมา คือ รอบเวลาการผลิตลดลง ทำให้สามารถผลิตสีได้ทันตามความต้องการของลูกค้า

ในการผลิตสีย้อมผ้าจะต้องผ่านกระบวนการ 2 กระบวนการ คือ กระบวนการรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis; RO) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้น้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายไหลผ่านเมมเบรน (Membrane) ซึ่งเป็นเยื่อเลือกผ่านทำหน้าที่แยกตัวทำละลายออกจากเนื้อสี จากด้านที่มีความเข้มข้นของสารมากไปยังด้านที่มีความเข้มข้นของสารน้อยทำให้สีมีความเข้มข้นมากขึ้นและไหลอยู่ภายในเมมเบรนเรียกว่า คอนเซนเทรต (Concentrate) หรือรีเทนเตต (Retentate) ส่วนสารที่มีความเข้มข้นน้อยเรียกว่า เพอมีเอต (Permeate) จะถูกแรงดันออสโมติก (Osmotic) ให้ไหลผ่านเมมเบรนออกไปดังรูปที่ 1 [1] และสีที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะถูกส่งไปยังกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อทำให้สีเปลี่ยนสถานะกลายเป็นผงต่อไป



รูปที่ 1 หลักการทำงานของกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิส

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อเพิ่มผลิตภาพของสีประเภทดีตายโดยการให้ปริมาณวัตถุดิบคงที่แต่เพิ่มผลิตภณท์ให้มากขึ้น ซึ่งผลิตภณท์มีลักษณะเป็น

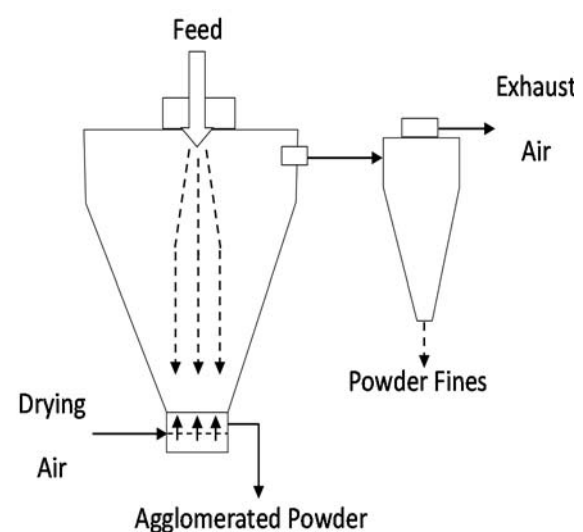
ผงสีเนื้อละเอียด และจะทำการศึกษาในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเท่านั้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้สีที่เป็นของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งโดยมีลักษณะเป็นผงสีซึ่งสามารถทำได้โดยการพ่นของเหลวภายในแชมเบอร์ (Chamber) ทำให้ของเหลวที่ถูกพ่นออกมาจากหัวฉีดเป็นละอองและถูกให้ความร้อนจากแก๊สจนน้ำที่อยู่ในของเหลวระเหยหมดไปจึงเกิดเป็นผงและตกลงมาผ่านอากาศร้อนที่เป่า และตกลงมายังส่วนบรรจุภัณฑ์ด้านล่างดังรูปที่ 2 ในการสเปรย์สีจะได้ทั้งสีและฝุ่นซึ่งเป็นอนุภาคละเอียด ส่วนที่เป็นฝุ่นจะลอยขึ้นไปข้างบนแชมเบอร์และเข้าไปตามลมร้อนขาออกเพื่อพาไปยังส่วนของไซโคลน (Cyclone) ซึ่งทำหน้าที่กรองฝุ่นที่สามารถนำกลับมาเป็นสีได้ ส่วนฝุ่นสีที่มีน้ำหนักเบาอันเนื่องมาจากมีความชื้นน้อยมากจะหลุดจากแรงลมหมุนจะลอยขึ้นสู่ข้างบนไซโคลนเพื่อเข้าสู่ถุงกรอง (Bag Filter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการแยกฝุ่นผงออกจากลมที่ออกมาจากไซโคลนอีกครั้งก่อนปล่อยให้ลมออกสู่สิ่งแวดล้อมดังรูปที่ 3 [2]

งานวิจัยในอดีตยังไม่มีการศึกษาผลของปัจจัยในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อผลิตภาพของสีโดยตรง แต่มีงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในอุตสาหกรรมอาหารและยาซึ่งมีหลักการทางานและปัจจัยในการตั้งค่าเครื่องจักรคล้ายคลึงกับกระบวนการผลิตสี ซึ่ง Maury และคณะ [3] ได้ทำการออกแบบเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอยในระดับห้องปฏิบัติการเพื่อใช้เป็นโมเดลในการสร้างเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอยของจริงในกระบวนการผลิตทรีฮาโลส (Trehalose) และได้ทำการศึกษาเรื่องขนาดหัวฉีดโดยการเพิ่มขนาดหัวฉีดในช่วง 17.3 - 19.4 ไมโครเมตร พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดหัวฉีดเพียงเล็กน้อยนั้นสามารถเพิ่มผลผลิตที่เป็นผงได้และนอกจากนี้ยังสามารถลดความชื้นในผงได้ แต่หากเพิ่มขนาดหัวฉีดมากเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียของผงเนื่องจากว่าอัตราการบ้อนสารมากเกินไปทำให้มีการระเหยของน้ำในผงไม่ทันจึงทำให้สีติดอยู่ภายในแชมเบอร์และเกิดการสูญเสียวัตถุดิบ ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jamaledine และคณะ [4] ซึ่งได้ทำการศึกษาผลกระทบบของความเร็วในการพ่น

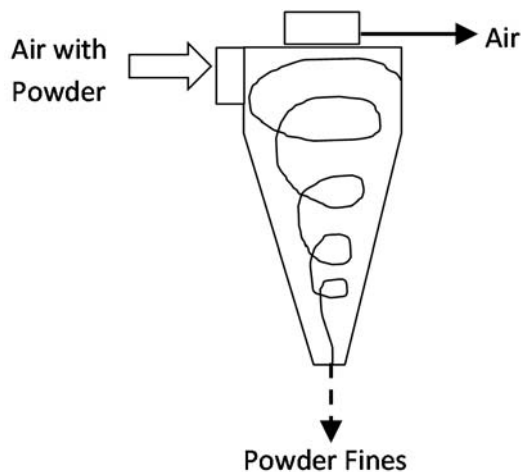
น้ำเชื่อมที่อุณหภูมิสูงและในบางส่วนของงานวิจัยได้ทดลองหาขนาดหัวฉีดที่เหมาะสมในการพ่นของเหลว โดยได้ศึกษาผลของขนาดหัวฉีด 3 ช่วงที่มีต่อค่าผลิตภาพ โดยศึกษาขนาดหัวฉีดในช่วง 0.85 ม.ม. – 2 ม.ม. ขนาดหัวฉีดในช่วง 2 ม.ม. – 4 ม.ม. และขนาดหัวฉีดตั้งแต่ 4 ม.ม. ขึ้นไปซึ่งพบว่า หัวฉีดขนาด 0.85 ม.ม. – 2 ม.ม. ซึ่งเป็นหัวฉีดขนาดเล็กที่สุดให้ผลิตภาพมากที่สุดเพราะเมื่อเพิ่มขนาดหัวฉีดให้ใหญ่ขึ้นจะทำให้มีอัตราการไหลมากขึ้น ทำให้การระเหยน้ำไม่ทัน ทำให้สติดอยู่ภายในถังแชมเบอร์ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Fuchs และคณะ [5] ซึ่งทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของผงอาหารที่ลักษณะเป็นอิมัลชัน (Emulsion) โดยศึกษาผลจากการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนจากข้างใต้แชมเบอร์ ผลการทดลองพบว่าการสเปรย์โดยที่มีการเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนให้ผลิตภาพที่สูงกว่าการไม่เพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนเพราะการเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนจะช่วยทำให้ผงอาหารแห้งได้เร็วขึ้นโดยใช้ลมร้อนเป่าผ่านชั้นวัสดุของผงอาหารและทำให้เกิดการคลุกเคล้าสัมผัสกับลมร้อนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งทำให้มีอัตราการระเหยน้ำที่มากขึ้น ผลิตภาพจึงมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Link และ Schlünder [6] ซึ่งได้ทำการศึกษากการเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนในการผลิตสารเคลือบผิว (Coating) พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณผงของสารเคลือบผิวได้และลดเวลาในการผลิตลงได้เนื่องจากสารเคลือบผิวได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นทำให้น้ำระเหยไปอย่างรวดเร็วส่งผลให้มีผลิตภาพมากขึ้น ถ้าหากว่ามีอัตราการระเหยน้ำต่ำจะทำให้สีที่ถูกพ่นออกมากลายเป็นผงของสารเคลือบผิวไม่หมดอีกทั้งยังทำให้รอบเวลาการผลิตลดลง ยังมีงานวิจัยของ Cai และ Corke [7] ในเรื่องการเพิ่มผลิตภาพของผงอาหารที่สกัดจากเบตาไซยานินในผักโขม ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในช่วง 150 - 210 องศาเซลเซียส ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจะทำให้ผลิตภาพเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้ต้องใช้อัตราการบ้อนสารที่สูงขึ้นและยังทำให้อัตราการระเหยสูงขึ้นและทำให้สามารถพ่นสารได้เร็ว

ขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Laokuldilok และ Kanha [8] ซึ่งได้ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการผลิตสารแอนโทไซยานินจากการสกัดของรากข้าวเหนียวดำ ซึ่งพบว่า หากเพิ่มอุณหภูมิน้ำเข้าจะทำให้ให้อัตราการไหลมากขึ้นและจะทำให้ผลิตภณที่มีควมชื้นน้อยลงและผลิตภาพสูงขึ้น

จากงานวิจัยข้างต้น พบว่าปัจจัยในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อการเพิ่มผลิตภาพของผลิตภัณฑ์อาหารคือ ขนาดหัวฉีด อุณหภูมิอากาศร้อน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า แต่ยังไม่ได้มีผู้ศึกษาถึงผลและระดับที่เหมาะสมของปัจจัยเหล่านี้ที่ทำให้ผลิตภาพของสีย้อมผ้าสูงที่สุด ผู้วิจัยจึงทำการศึกษปัจจัยเรื่องขนาดหัวฉีดและอุณหภูมิอากาศร้อนที่ทำให้ได้ผลิตภาพของสีย้อมผ้าประเภทดีตายจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมากที่สุด โดยผู้วิจัยไม่ศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพราะมีข้อจำกัดว่าในโรงงานกรณีศึกษาได้ปรับค่าอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้าอยู่ในระดับที่สูงที่สุดที่เครื่องจักรสามารถจะรับได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะศึกษาผลของปัจจัยขนาดหัวฉีดผงสีและอุณหภูมิอากาศร้อนที่มีต่อผลิตภาพและหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทั้งสองนี้เพื่อเพิ่มผลิตภาพของสีประเภทดีตาย



รูปที่ 2 ส่วนประกอบการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย



รูปที่ 3 การทำงานภายในไซโคลน

2. วิธีการ

2.1 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ได้ใช้สี่ประเภทที่ตายในการทดลองที่ผ่านจากกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิสซึ่งมีปริมาณการใช้วัตถุดิบแบบชละ 2600 กิโลกรัม เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยแล้วจะมีลักษณะของสีที่เป็นผงละเอียดโดยสีตายเป็นสีที่เข้ากับเครื่องพิมพ์บนผ้า

2.2 ปัจจัยและตัวแปรตอบสนองที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตภาพของสีเมื่อใช้หัวฉีดขนาดต่างกัน 4 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 มม. 2.5 มม. 2.75 มม. และ 3 มม. 2 หัว โดยกำหนดให้อุณหภูมิอากาศร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าปัจจุบันที่ใช้ในกระบวนการผลิตสี หลังจากที่ได้ขนาดหัวฉีดที่เหมาะสมแล้วจึงทำการทดลองกับปัจจัยอุณหภูมิของอากาศร้อนทั้ง 3 ระดับคือ 100 110 และ 120 องศาเซลเซียส เพื่อกำหนดระดับของอุณหภูมิอากาศร้อนที่ทำให้ได้ผลผลิตภาพสูงขึ้น นอกจากนี้จะพิจารณาผลผลิตภาพของผงสีแล้วจะต้องตรวจวัดสีทางด้านคุณภาพเพื่อให้ได้คุณภาพตามที่โรงงานกำหนดไว้ดังต่อไปนี้

1. การวัดความชื้น (Moisture) การวัดความชื้นของสีวัดเพื่อจะวัดด้วยเครื่องทดสอบปริมาณของแข็งในน้ำ

(Solid Content Tester) ตามข้อกำหนดของทางโรงงานที่กำหนดคือ 4 - 8 เปอร์เซ็นต์

2. การวัดความหนาแน่นรวม (Bulk Density) การวัดความหนาแน่นรวมวัดโดยวิธีการของห้องปฏิบัติการจะวัดน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งมีข้อกำหนดในช่วง 0.4 - 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

3. การวัดความเข้มข้นสี การวัดความเข้มข้นสีจะวัดจากเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) ซึ่งทางโรงงานกำหนดให้มีความเข้มข้นอย่างน้อย 125 กรัมต่อลิตร (g/L)

4. การวัดขนาดอนุภาค (Particle Size) การวัดขนาดอนุภาคของสีทางโรงงานจะส่งให้ห้องปฏิบัติการภายนอกวัด ซึ่งทางโรงงานได้กำหนดให้มีขนาดอนุภาคในช่วง 50 - 100 ไมครอน

2.3 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบผลผลิตภาพที่ขนาดหัวฉีด 4 ระดับข้างต้น จะทำการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง หลังจากที่ได้ข้อมูลผลผลิตภาพที่แต่ละขนาดหัวฉีดแล้วจึงทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อดูว่าขนาดของหัวฉีดที่แตกต่างกันมีผลต่อผลผลิตภาพของสีอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ จากนั้นใช้การทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) ด้วยวิธีของ Turkey เพื่อหาว่าขนาดหัวฉีดใดให้ค่าผลผลิตภาพที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและขนาดใดที่ให้ผลผลิตภาพสูงที่สุด

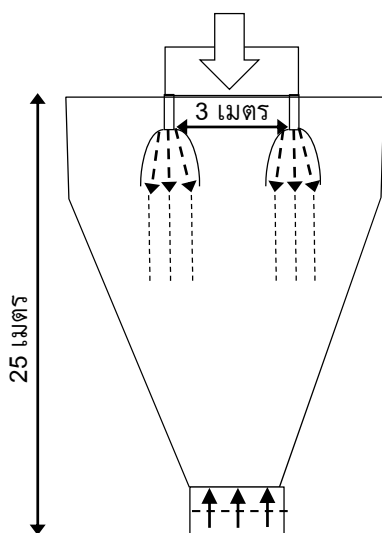
เมื่อได้ขนาดหัวฉีดที่เหมาะสมแล้ว จะศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตภาพเมื่อใช้อุณหภูมิของอากาศร้อน 3 ระดับคือ 100 110 และ 120 องศาเซลเซียส โดยมีจำนวนการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง จากนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนและการทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธีของ Turkey เพื่อหาว่าอุณหภูมิในระดับใดให้ค่าผลผลิตภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและระดับใดที่ให้ผลผลิตภาพสูงที่สุด

2.4 วิธีการทดลอง

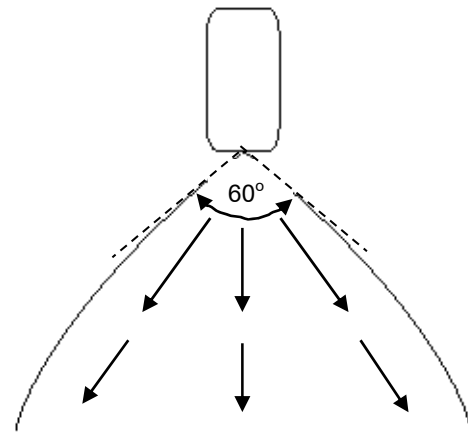
กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ทำการศึกษาคือเป็นระบบปิดทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในแชมเบอร์ได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมภายนอก และในส่วนของหัวฉีดสามารถสเปรย์สีได้เพียงสูงสุด 2

หัว ซึ่งหัวฉีดทำจากสแตนเลส ระยะห่างของสองหัวฉีดห่างกัน 3 เมตร ระยะความสูงจากหัวฉีดถึงฐานเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอย 25 เมตร ดังรูปที่ 4 สีที่ไหลผ่านหัวฉีดจะมีค่าความหนืดที่โรงงานกำหนดไว้ค่าหนึ่ง และจะมีตัวบังคับให้สเปรย์สีกออกจากหัวฉีดทำมุม 60 องศา ซึ่งตำแหน่งที่สีถูกสเปรย์ลงมาจากหัวฉีดทั้งสองจะไม่ทับซ้อนกัน ทำให้ได้ผงสีที่มากขึ้น ในกรณีที่ใช้เพียงหนึ่งหัวฉีดจะเลือกตำแหน่งการสเปรย์ตำแหน่งหนึ่งในรูปที่ 4 และมีมุมในการสเปรย์สีเหมือนกับสองหัวฉีด ดังรูปที่ 5

ก่อนที่จะทำการทดลองจะต้องตั้งค่าและอุ่นเครื่องทำให้แห้งแบบพ่นฝอยเป็นเวลา 30 นาที เพื่อเตรียมความพร้อมของเครื่อง และจึงตั้งค่าความดันที่ 47 บาร์ และจึงใส่ค่าอัตราการไหลซึ่งอัตราการไหลของสารในแต่ละขนาดหัวฉีดจะมีค่าไม่เท่ากันคือ จะใช้อัตราการไหลที่ 425 750 950 และ 850 กิโลกรัม/ชั่วโมง ที่หัวฉีดขนาด 2.3 2.5 2.75 และหัวฉีดขนาด 2.3 มม. 2 หัว ตามลำดับ และป้อนค่าอุณหภูมิอากาศร้อนที่ 100 110 120 องศาเซลเซียส ตามสภาวะการทดลอง หลังจากนั้นจึงทำการเดินเครื่อง โดยอุณหภูมิลมร้อนเข้าไม่สามารถกำหนดค่าเองได้ซึ่งเครื่องจะทำการปรับอัตโนมัติเอง โดยความดันและอัตราการป้อนสารเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิลมร้อนเข้าในการสเปรย์สี



รูปที่ 4 รูปแบบการสเปรย์ของหัวฉีดภายในแชมเบอร์

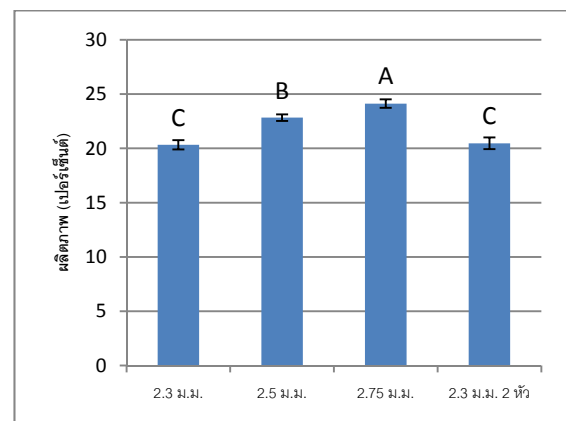


รูปที่ 5 รูปแบบการสเปรย์ของหัวฉีด

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลของขนาดหัวฉีดที่มีต่อผลิตภาพ

ผลิตภาพที่ขนาดหัวฉีดทั้ง 4 ระดับแสดงได้ดังรูปที่ 6



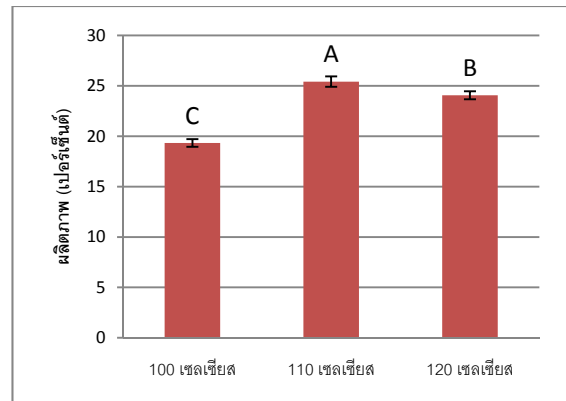
รูปที่ 6 แผนภาพเปรียบเทียบผลิตภาพที่ขนาดหัวฉีด 4 ระดับ

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าขนาดของหัวฉีดมีผลต่อผลิตภาพอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบพหุคูณแบบ Turkey พบว่า ขนาดหัวฉีด 2.75 มม. อยู่ในกลุ่ม A ขนาดหัวฉีด 2.5 มม. อยู่ในกลุ่ม B และ

ขนาดหัวฉีด 2.3 ม.ม. และขนาดหัวฉีด 2.3 ม.ม. 2 หัว อยู่ในกลุ่ม C ดังรูปที่ 6 และสามารถสรุปได้ว่า ที่หัวฉีดขนาด 2.3 ม.ม. และ 2.3 ม.ม. 2 หัว ไม่มีความแตกต่างกันของผลผลิตภาพอย่างมีนัยสำคัญเพราะว่าขนาดหัวฉีดทั้ง 2 ระดับ เป็นขนาดหัวฉีดเดียวกันแต่ต่างกันที่จำนวนหัวฉีด ซึ่งหัวฉีดขนาด 2.3 ม.ม. จำนวน 2 หัว จะมีวัตต์ถูกป้อนเข้าเป็น 2 เท่า และผลผลิตเป็น 2 เท่าของขนาดหัวฉีด 2.3 ม.ม. 1 หัว ซึ่งทำให้มีค่าผลผลิตภาพไม่แตกต่างกับขนาดหัวฉีด 2.3 ม.ม. 1 หัว ที่หัวฉีด 2.5 ม.ม. และ 2.7 ม.ม. ให้ค่าผลผลิตภาพสูงกว่าขนาด 2.3 ม.ม. และ 2.3 ม.ม. 2 หัว อย่างมีนัยสำคัญถึงแม้ว่าหัวฉีดขนาด 2.7 ม.ม. จะได้ผลผลิตภาพมากกว่าหัวฉีดขนาด 2.5 ม.ม. อย่างมีนัยสำคัญแต่เมื่อใช้ขนาดหัวฉีด 2.75 ม.ม. จะต้องใช้อุณหภูมิความร้อนเข้ามากกว่า 200 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้เกิดการไหม้ จึงไม่สามารถส่งมอบให้ลูกค้าได้ ที่ทราบว่ามีไหม้เนื่องจากว่าทางโรงงานได้รับการร้องเรียนจากลูกค้าว่าเมื่อนำผงสีละลายน้ำแล้วเกิดมีจุดเล็กๆ สีดำติดอยู่ที่หัวพิมพ์หมึก ทางโรงงานจึงทำการตรวจสอบสีก่อนเข้ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า ไม่มีจุดสีดำบนกระดาษ จากนั้นจึงได้ทำการตรวจสอบกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยการทดลองเพิ่มอุณหภูมิความร้อนเข้าพบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิความร้อนเข้าตั้งแต่ 200 องศาเซลเซียส เมื่อนำผงสีไปละลายน้ำและกรองใส่กระดาษพบว่าไม่มีจุดสีดำ ซึ่งเกิดจากสีไหม้

ผู้วิจัยจึงได้เลือกหัวฉีดขนาด 2.5 ม.ม. มาใช้งานและใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศร้อนต่อไป จากงานวิจัยของ Maury และคณะ และ Jamaledine และคณะ ได้ทำการทดลองเพื่อหาขนาดหัวฉีดที่ทำให้มีผลผลิตภาพของทรีฮาโลสและน้ำเชื่อมสูงที่สุด พบว่าเมื่อเพิ่มขนาดหัวฉีดแล้วทำให้มีค่าผลผลิตภาพมากขึ้น แต่ถ้าหากเพิ่มหัวฉีดมากเกินไปจะทำให้ผลผลิตภาพลดลงเนื่องจากว่ามีภาระเหนี่ยวน้ำไม่ทัน ทำให้สีติดอยู่ภายในถังแชมเบอร์ ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทดลองขนาดหัวฉีดที่ใหญ่กว่า 2.7 ม.ม. เนื่องจากว่าเกิดสีไหม้ จึงไม่ได้พบจุดที่ผลผลิตภาพต่ำลงเมื่อหัวฉีดมีขนาดใหญ่เกินไป

3.2 ผลของอุณหภูมิอากาศร้อนที่มีต่อผลผลิตภาพ ผลผลิตภาพที่อุณหภูมิอากาศร้อนทั้ง 3 ระดับ แสดงได้ดังรูปที่ 7



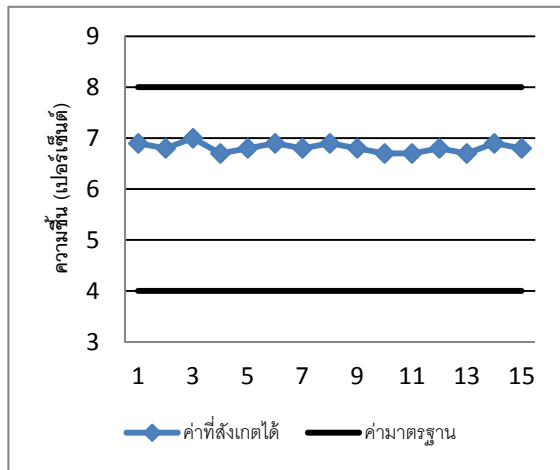
รูปที่ 7 แผนภาพเปรียบเทียบผลผลิตภาพที่อุณหภูมิอากาศร้อนที่ระดับ 100 110 และ 120 องศาเซลเซียส

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าอุณหภูมิอากาศร้อนมีผลกระทบต่อผลผลิตภาพของสีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจากการเปรียบเทียบพหุคูณแบบ Turkey พบว่าอุณหภูมิอากาศร้อน 100 110 120 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตภาพแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยแสดงเป็นกลุ่มที่แตกต่างกันคือ A B C ตามลำดับโดยที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ได้ค่าผลผลิตภาพมากที่สุดเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิให้มากทำให้อัตราการระเหยน้ำมีมากพอ ทำให้เกิดผลผลิตภาพสูง แต่ที่อุณหภูมิอากาศร้อน 120 องศาเซลเซียส กลับมีค่าผลผลิตภาพน้อยกว่าที่ 110 องศาเซลเซียส เพราะว่าที่อุณหภูมิอากาศร้อน 120 องศาเซลเซียส มีอุณหภูมิสูงมากเกินไปทำให้สีที่ถูกลมของอากาศร้อนเป่าผ่านนั้นมีความชื้นต่ำมากส่งผลให้สีที่ถูกลมของอากาศร้อนเป่าผ่านนั้นกลายเป็นฝุ่นและลอยกลับขึ้นไปข้างบนแชมเบอร์และไหลออกไปยังท่อลมร้อนขาออกทำให้มีค่าผลผลิตภาพที่น้อยกว่าที่อุณหภูมิอากาศร้อนที่ 110 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ในงานวิจัยในครั้งนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิอากาศร้อน 100 องศาเซลเซียส มีค่าผลผลิตภาพต่ำที่สุดเนื่องจากว่ามี

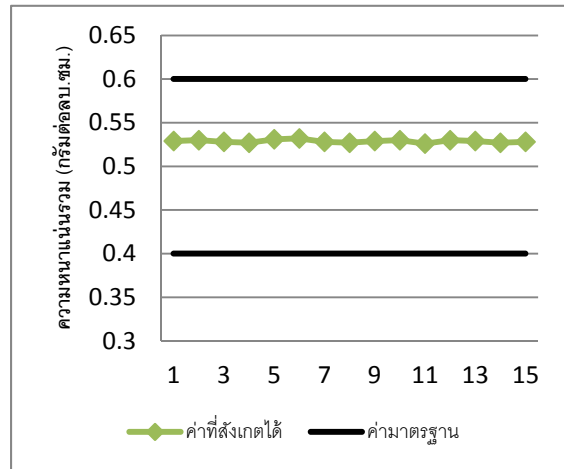
อุณหภูมิไม่เพียงพอต่อการระเหยน้ำในสีทำให้สีที่เป็นของเหลวที่ถูกพ่นผ่านหัวฉีดกลายเป็นผงสีได้น้อย และเนื่องจากว่าเกิดการระเหยไม่ทันต่อการพ่นของเหลวทำให้มีสีบางส่วนติดอยู่ภายในแชมเบอร์ทำให้ผลิตภาพต่ำ

3.3 ผลของ 2 ปัจจัยที่มีต่อตัวชี้วัดด้านคุณภาพสี

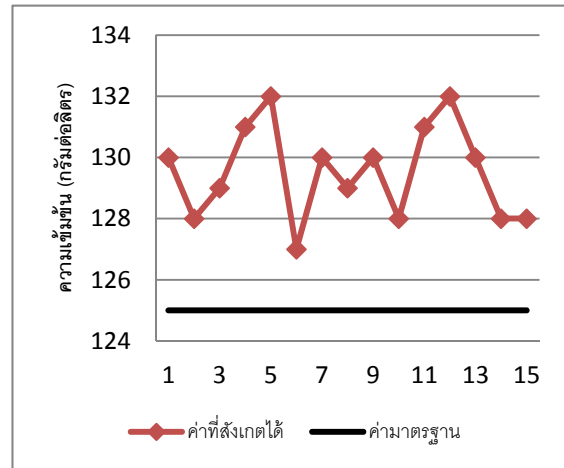
หลังจากที่ได้ค่าที่เหมาะสมของขนาดหัวฉีดและอุณหภูมิอากาศร้อนแล้วจึงตรวจวัดคุณภาพของสีจำนวน 15 แบบ ตามรายการในหัวข้อ 2.2 คือความชื้นซึ่งมีข้อกำหนดในช่วง 4 - 8 เปอร์เซนต์ ความหนาแน่นรวม 0.4 - 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความเข้มข้นสีมากกว่า 125 กรัมต่อลิตร และขนาดอนุภาค 50 - 100 ไมครอน ซึ่งผลการตรวจสอบทางด้านคุณภาพทั้ง 4 รายการอยู่ในข้อกำหนดของโรงงานดังรูปที่ 8 - 11 จึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้ขนาดหัวฉีด 2.5 มม. และอุณหภูมิอากาศร้อน 110 องศาเซลเซียส นอกจากให้ค่าผลิตภาพที่สูงขึ้นแล้ว ปัจจัยทางด้านคุณภาพยังอยู่ในข้อกำหนดของโรงงานจึงสามารถใช้ค่าที่ปรับปรุงใหม่นี้ในการผลิตจริงเพื่อเพิ่มผลิตภาพได้



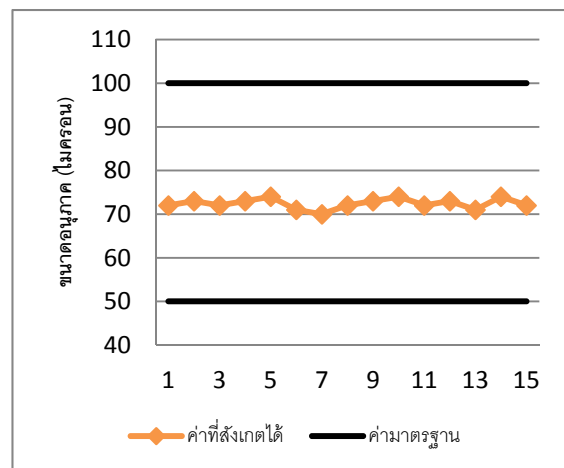
รูปที่ 8 แผนภาพการวัดความชื้นของสี



รูปที่ 9 แผนภาพการวัดความหนาแน่นรวม



รูปที่ 10 แผนภาพการวัดความเข้มข้น



รูปที่ 11 แผนภาพการวัดขนาดอนุภาค

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในการหาขนาดหัวฉีดผงสีและอุณหภูมิอากาศร้อนที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเพิ่มผลผลิตภาพในสีย้อมผ้าพบว่า อุณหภูมิอากาศร้อนในระดับก่อนปรับปรุงที่ 100 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ขนาดหัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.75 ม.ม. มีค่าผลผลิตภาพมากที่สุดคือ 24.12 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ต้องมีค่าไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้สีไหมจึงใช้หัวฉีดขนาด 2.5 ม.ม. ซึ่งให้ค่าผลผลิตภาพ 22.83 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นจึงทดสอบผลของอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ขนาดหัวฉีด 2.5 ม.ม. ซึ่งพบว่า อุณหภูมิของอากาศร้อนมีผลต่อผลผลิตภาพอย่างมีนัยสำคัญ และอุณหภูมิอากาศร้อนที่ทำให้มีค่าผลผลิตภาพมากที่สุดคือ 110 องศาเซลเซียส โดยมีค่าผลผลิตภาพ 25.42 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากว่ามีอัตราการระเหยน้ำที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตภาพก่อนการปรับปรุงซึ่งมีค่า 19.54 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ระดับขนาดหัวฉีด 2.3 ม.ม. และอุณหภูมิอากาศร้อน 100 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่า ผลผลิตภาพเพิ่มขึ้น 28.77 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นค่าที่เหมาะสมของขนาดหัวฉีดและอุณหภูมิอากาศร้อนยังทำให้ตัวชี้วัดด้านคุณภาพของสีได้แก่ ความชื้น ความหนาแน่นรวม ความเข้มข้นสี และขนาดอนุภาค เป็นไปตามข้อกำหนดของทางโรงงาน

เนื่องจากปัจจัยเรื่องขนาดหัวฉีดและอุณหภูมิอากาศร้อนเป็นปัจจัยในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อผลผลิตภาพโดยตรง แต่ในกระบวนการผลิตสีประเภทดีตายจะต้องมีการผ่านกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis, RO) ด้วยซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำต่อเนื่องกันกับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้นผู้วิจัยเสนอแนะว่าในอนาคตควรมีการศึกษาผลของปัจจัยในกระบวนการรีเวิร์สออสโมซิสที่มีต่อค่าผลผลิตภาพด้วย โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้การปรับค่าของปัจจัยในสองกระบวนการนี้ที่ทำให้มีผลผลิตภาพของสีย้อมผ้าสูงที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางโรงงานกรณีศึกษา ผู้จัดการโรงงานและพนักงานทุกคนที่ให้ทำการศึกษาระบวนการผลิตและทำการทดลองรวมทั้งให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลตลอดจนดูแลผู้วิจัยเป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Cheryan, M., "Introduction to food engineer". *University of Illinois, Urbana*, 5th Ed., pp. 645-651, 2013.
- [2] Jacobs, I. C., "Atomization and Spray-Drying Processes, in Microencapsulation in the Food Industry". *Jacobs Controlled Release Consulting, Missouri*, pp. 47-56, 2014.
- [3] M. Maury, K. Murphy, S. Kumar, L. Shib and G. Lee, "Effects of process variables on the powder yield of spray-dried trehalose on a laboratory spray-dryer," *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics.*, vol. 59, pp. 565-573, 2005.
- [4] T. J. Jamaledine, M. Saha, F. Berruti and C. Briens, "Effect of interaction between spray and attrition jets in a high temperature fluidized bed," *Powder Technology*, vol.278, pp. 57-64, 2015.
- [5] M. Fuchs, C. Turchiuli, M. Bohin, M. E. Cuvelier, C. Ordonnaud, M.N. Peyrat-Maillard and E. Dumoulin, "Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration," *Journal of Food Engineering*, vol. 75, pp. 27-35, 2006.

- [6] K. C. Link and E. U. Schlünder, "Fluidized bed spray granulation Investigation of the coating process on a single sphere," *Chemical Engineering and Processing*, vol 36, pp. 443-457, 1997.
- [7] Y. Z. Cai and H. Corke, "Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments," *Journal of food science*, vol. 65. pp. 1248-1252, 2000
- [8] T. Laokuldilok and N. Kanha, "Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 64, pp. 405-411, 2015