บทความวิจัย

การลดของเสียและการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลในสีอุตสาหกรรมของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรี

อำพร เจียมสง่า* ไพโรจน์ พิภพเอกสิทธิ์ และ สรวงอัยย์ อนันทวิจักษณ์
ภาควิชาบริหารธุรกิจอุตสาหกรรมและการค้า คณะบริหารธุรกิจและอุตสาหกรรมบริการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อนันต์ ธรรมชาลัย
สาขาวิชาการจัดการ คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 4103 3288 อีเมล: amphorn.p29@gmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.05.007
รับเมื่อ 29 ธันวาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2564 ตอบรับเมื่อ 2 มีนาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 23 พฤษภาคม 2565
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลในสีอุตสาหกรรมของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรี โดยนำเทคนิคซิกซ์ซิกมา มาใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลการวิจัยพบว่า มีลักษณะการผลิตเป็นแบบแบทช์ (Batch Production) มีของเสียเกิดขึ้นร้อยละ 27.52 หรือคิดเป็นมูลค่าความเสียหายประมาณ 4.8 ล้านบาทต่อเดือน โดยของเสียเกิดจากค่าอัตราการปลดปล่อยของสารออกฤทธิ์ซึ่งถูกหุ้มด้วยแคปซูลที่ถูกชะด้วยน้ำ หรือเรียกว่า *% RTW* (Release Rate to Water) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านคุณภาพ และพบว่ากระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงมีค่า DPMO เท่ากับ 45,454.54 เทียบเท่าระดับ 3.35 ซิกมา และค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการเท่ากับ 1.12 จากการวิเคราะห์หาสาเหตุพบว่า มี 2 ตัวแปร ที่ส่งผลต่อค่า *% RTW* ได้แก่ 1) จำนวนอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงร่อนขนาด 100 ไมครอน (*% Sieve*) และ 2) อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา การลดของเสียในกระบวนการผลิตโดยการทดลองเพื่อหาสภาวะการควบคุมที่เหมาะสมพบว่า ค่า *% Sieve* และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาอยู่ที่ 0.01% และ 68.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ จากนั้นนำสภาวะการควบคุมดังกล่าวไปใช้ควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียพบว่า ปริมาณของเสียต่อเดือนหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตลดลงจากร้อยละ 27.52 เป็น 3.33 ค่า DPMO ลดลงจาก 45,454.54 เป็น 6,410.25 ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากระดับซิกมา ก่อนการปรับปรุง 3.35 ซิกมา เพิ่มขึ้นเป็น 3.99 ซิกมา และค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการก่อนการปรับปรุง 1.12 เพิ่มขึ้นเป็น 1.33 ส่งผลให้มูลค่าความเสียหายลดลงเหลือ 0.6 ล้านบาทต่อเดือน

คำสำคัญ: สารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล อัตราการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล ซิกซ์ซิกมา

การอ้างอิงบทความ: อำพร เจียมสง่า, ไพโรจน์ พิภพเอกสิทธิ์, สรวงอัยย์ อนันทวิจักษณ์ และ อนันต์ ธรรมชาลัย, "การลดของเสียและการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลในสีอุตสาหกรรมของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรี," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 1, หน้า 43–55, ม.ค.–มี.ค. 2566.

Research Article

Reducing Defects and Increasing Efficiency of the Encapsulation Production Process in the Industrial Paint of a Factory in Prachin Buri Province

Amphorn Jeamsanga*, Phairhoote Phiphopaekasit and Suang-i Anunthawichak
Department of Business Administration and Trade, Faculty of Business Administration and Service Industry, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus, Prachin Buri, Thailand
Anan Thamchalai
Management, Faculty of Political Science, North Bangkok University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 4103 3288, E–mail: amphorn.p29@gmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.05.007
Received 29 December 2020; Revised 22 February 2021; Accepted 2 March 2021; Published online: 23 May 2022
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research aims to reduce defects and increase the efficiency of the encapsulation of production process in the industrial paint of a factory in Prachin Buri Province. By using the Six-sigma technique as a guide for improving the production process. The results of the research project show that in the batch production, the current conditions contain waste 27.52% and defect cost 4.8 million baht per month. The waste that was measured from the rate of active substance release to water or the percentage of *% RTW* (Release rate to water) did not meet the quality standards. It is found that the production process before improvement had a DPMO value of 45,454.54 which is equivalent to 3.35σ level and the Process Capability value was 1.12. By the process of the root cause analysis, the two variables were found both of which affect the percentage of *% RTW* such as 1) The number of particles held on a 100-micron sieve (*% Sieve*) and 2) The reaction temperature. By reducing wastes in the production process and testing to find the optimum control conditions, the optimal conditions were determined which consist of 1) *% Sieve* was 0.01% and 2) Reaction temperature was 68.00 °C respectively. Subsequently, the aforementioned control conditions were applied to control the production process in order to reduce wastes. It was found that the quantity of waste per month after improvement decreases from 27.52% to 3.33%, DPMO value decreases from 45,454.54 to 6,410.25. As a result, the efficiency of the production process increases by considering the increase of the sigma level. After the applied procedure, the sigma level increases from 3.35σ to 3.99σ, and Process Capability increases from 1.12 to 1.33, causes the defect cost decrease to 0.6 million baht per month.

Keywords: Encapsulation, Release Rate to Water (*% RTW*), Six Sigma

Please cite this article as: A. Jeamsanga, P. Phiphopaekasit, S. Anunthawichak, and A. Thamchalai, "Reducing defects and increasing efficiency of the encapsulation production process in the industrial paint of a factory in Prachin Buri Province," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 1, pp. 43–55, Jan.–Mar. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

สีอุตสาหกรรม (Industrial Paint) เป็นเคมีภัณฑ์ที่สำคัญของหลายๆ ประเทศ นอกจากจะใช้เพื่อคุณสมบัติด้านความสวยงาม (Decorative Paint) แล้วยังใช้เพื่อการป้องกัน (Protective) เช่น การเคลือบสีเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสนิม เพื่อยืดอายุของชิ้นงาน สำหรับประเทศไทยมีผู้ประกอบการซึ่งเป็นผู้ผลิตสีอุตสาหกรรมที่จดทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมมากกว่า 200 ราย [1] สีอุตสาหกรรมแบ่งตามประเภทการใช้งาน ได้แก่ สีอิมัลชัน สีน้ำมัน สีอุตสาหกรรมทินเนอร์ สีรถยนต์ สีทาไม้ สีผง สีทาเรือ สีอุตสาหกรรมหนัก และอื่นๆ ซึ่งสีอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีกระบวนการผลิต และคุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการใช้งาน โดยทั่วไปส่วนประกอบของสีอุตสาหกรรมจะประกอบด้วย ตัวเชื่อมประสาน (Binder) ของเหลวตัวนำพาที่ระเหยได้ดี (Volatile Substance) ผงสี (Pigment) และสารเติมแต่ง (Additives) [2]

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล (Encapsulation Product) ในสีอุตสาหกรรม ซึ่งสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งในกลุ่มของสารปรับปรุงคุณสมบัติ (Additives) และเป็นผลิตภัณฑ์หลักของโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัย โดยมีลักษณะการผลิตเป็นแบบแบทช์ (Batch Production) มีสัดส่วนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลอยู่ที่ร้อยละ 18 และมียอดขายที่สร้างมูลค่าอย่างสูงให้แก่บริษัทมาโดยตลอด ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ ปราศจากข้อร้องเรียนจากลูกค้า นับว่าเป็นข้อได้เปรียบทางการแข่งขันที่จะสร้างความเชื่อมั่นในผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้า อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มยอดขายและกำไรในธุรกิจ ด้วยการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง ตรงตามความต้องการของลูกค้า

การพิจารณาต้นทุนการผลิตเป็นสิ่งที่ผู้บริหารให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยมีแนวคิดที่จะลดปริมาณของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตด้วยการหาสาเหตุและดำเนินการควบคุมกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตเป็นระยะเวลา 6 เดือน คือระหว่างเดือนกันยายน 2562–กุมภาพันธ์ 2563 พบว่า มีการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลจำนวนทั้งสิ้น 88 แบทช์ และมีของเสียเกิดขึ้นจำนวน 24 แบทช์ โดยคุณลักษณะที่ใช้ควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีจำนวน 6 คุณลักษณะ และมีเพียงหนึ่งคุณลักษณะเท่านั้นที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านคุณภาพ นั่นคือ คุณลักษณะเฉพาะของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลที่เรียกว่า อัตราการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ที่ถูกหุ้มในลักษณะของแคปซูลด้วยการชะด้วยน้ำ (Release Rate to Water; *% RTW*) และพบว่า ในแต่ละเดือนมีของเสียเกิดขึ้นจากปัญหาดังกล่าวเฉลี่ยร้อยละ 27.52 หรือมูลค่าความเสียหายประมาณ 4.8 ล้านบาทต่อเดือน

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิต และคุณภาพของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล

2.1.1 ศึกษาขั้นตอนและเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตเพื่อจัดทำผังการไหลของกระบวนการผลิต (Process Flow Diagram)

2.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลในแต่ละแบทช์ระหว่างเดือนกันยายน 2562–กุมภาพันธ์ 2563

2.2 วิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล

โดยนำเทคนิคซิกซ์ซิกมา ซึ่งเป็นแนวทางที่นิยมนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด โดยมุ่งเน้นการลดความไม่แน่นอน (Variation) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ [3] ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล เริ่มจากการจัดตั้งทีมงานจำนวน 6 คน ประกอบด้วย ผู้จัดการฝ่ายผลิตจำนวน 1 คน ทำหน้าที่เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการทำซิกซ์ซิกมา ในระดับ Black Belt ผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ 1 คน ทำหน้าที่ตรวจสอบและรับรองผลด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หัวหน้าฝ่ายผลิต

1 คน และรองหัวหน้าฝ่ายผลิตอีก 3 คน ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการผลิต โดยสมาชิกทุกท่านได้ร่วมกันค้นหาสาเหตุของปัญหา และปฏิบัติตาม 3 ขั้นตอนแรก ตามแนวทาง DMAIC [4] ดังนี้

2.2.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define; D)

เก็บข้อมูลของเสียจากการผลิตจำนวน 88 แบทช์ เพื่อนำมาจำแนกปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต

2.2.2 ขั้นตอนการวัด (Measure; M)

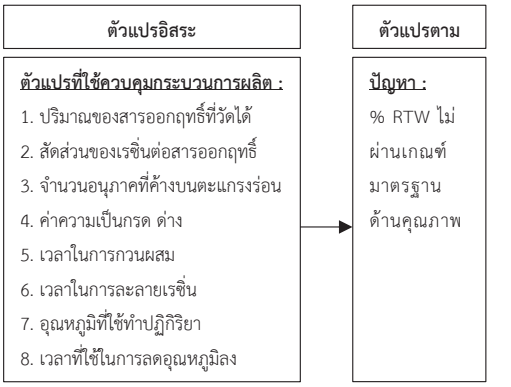
คำนวณหาร้อยละของเสียต่อเดือน (% Defect per Month) และจำนวนของเสียเทียบเป็นจำนวนของเสียต่อการปฏิบัติการหนึ่งล้านครั้ง หรือค่า DPMO (Defect per Million Opportunities) ของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับซิกมา (Sigma Level) ร้อยละผลผลิตดี (Yield) และค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (C_p) [5]

ทดสอบความแม่นยำในการวิเคราะห์หาค่า *% RTW* ของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลทั้งด้านความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด (Repeatability) และความแม่นยำของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ (Reproducibility) ด้วยวิธี Gage R&R [6] โดยกำหนดเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพจำนวน 5 คน ตรวจวัดตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง และแต่ละคนตรวจสอบค่า *% RTW* ซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งเป็นการทดสอบค่าเฉลี่ยมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป

2.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyse; A)

วิเคราะห์หาตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อค่า *% RTW* ของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลด้วยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) โดยกำหนดให้ตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตเป็นตัวแปรอิสระ และค่า *% RTW* ซึ่งเป็นปัญหาคุณภาพกำหนดเป็นตัวแปรตามตามกรอบแนวคิดการวิจัยดังรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 เมื่อกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต (ตัวแปรอิสระ) ที่น่าจะส่งผลต่อปัญหาค่า *% RTW* (ตัวแปรตาม) ได้แล้ว จากนั้นผู้วิจัยจะนำข้อมูลตัวแปรอิสระไปวิเคราะห์ด้วยวิธีถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) เพื่อศึกษาว่าตัวแปรที่ใช้ในการควบคุม



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

กระบวนการผลิต หรือตัวแปรอิสระตัวใดที่ส่งผลต่อค่าตัวแปรตาม (*% RTW*) เมื่อสามารถวิเคราะห์ได้แล้วว่าตัวแปรอิสระใดส่งผลต่อค่าตัวแปรตาม จากนั้นผู้วิจัยและทีมงานจะร่วมกันระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดจากตัวแปรอิสระนั้นๆ ด้วยแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) [7] เพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

2.3 ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และคุณภาพของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล

2.3.1 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve; I)

เมื่อสามารถวิเคราะห์ได้แล้วว่า ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต หรือตัวแปรอิสระตัวใดส่งผลต่อค่า *% RTW* จากนั้นผู้วิจัยจะดำเนินการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่ส่งผลต่อค่า *% RTW* โดยมีขอบเขต *% RTW* ตามมาตรฐานการควบคุมคุณภาพ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าควบคุม % RTW ตามมาตรฐานการควบคุมคุณภาพของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล

ขอบเขต % RTW	เกณฑ์การตัดสิน
% RTW > 8.0	ไม่ผ่านค่าควบคุม (Fail)
4.0 < % RTW ≤ 8.0	ดี (Good)
2.0 < % RTW ≤ 4.0	ดีเยี่ยม (Excellent)
0.3 ≤ % RTW ≤ 2.0	ยอมรับได้ (Acceptable)
% RTW < 0.3	ไม่ผ่านค่าควบคุม (Fail)

ผู้วิจัยออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) ด้วยการใช้โปรแกรม Minitab [8] โดยเลือกใช้รูปแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ (สูง ปานกลาง และต่ำ) เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในทางอุตสาหกรรม และมีความแม่นยำมากที่สุด [9] เพื่อหาค่าควบคุมที่เหมาะสมของตัวแปรที่ส่งผลต่อค่า *% RTW* ไปกำหนดเป็นค่าควบคุมมาตรฐานในวิธีการปฏิบัติงาน และเพื่อนำไปใช้ควบคุมในกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล

2.3.2 ขั้นตอนการควบคุม (Control; C)

จัดทำเอกสารเพื่อตรวจสอบความพร้อมของการผลิตก่อนเริ่มปฏิบัติงาน เช่น เครื่องจักร วัตถุดิบ และจัดทำแผนผังควบคุมเพื่อบันทึกค่า *% RTW* และค่าของตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อค่า *% RTW* จากการผลิตในแต่ละแบทช์ ในส่วนของการสรุปผลการดำเนินงาน สรุปเป็น 2 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านปริมาณของเสีย พิจารณาจากร้อยละของเสียต่อเดือน และค่า DPMO 2) ด้านประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต พิจารณาจากระดับซิกมาร้อยละผลผลิตดี และความสามารถของกระบวนการผลิตที่เพิ่มขึ้น

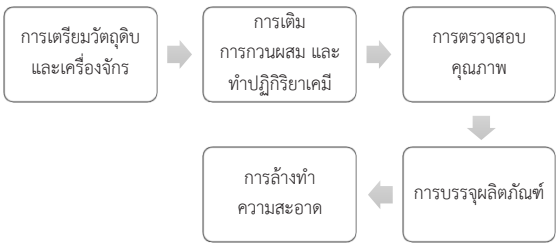
3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตและคุณภาพของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล

3.1.1 ผลการศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตและคุณภาพของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล พบว่ากระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลมีลักษณะการผลิตเป็นแบบแบทช์ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ดังรูปที่ 2

3.1.2 ผลการศึกษาคุณภาพสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่า ในการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลแต่ละแบทช์มีการตรวจสอบค่าควบคุมคุณภาพ 6 คุณลักษณะ ดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 คุณลักษณะด้านคุณภาพของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล ถูกกำหนดเป็นค่ามาตรฐานด้านการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์สารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรีที่ดำเนินการศึกษาวิจัย ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดด้านคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล

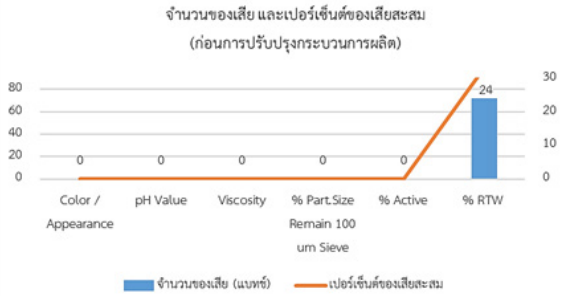
ตารางที่ 2 คุณลักษณะด้านคุณภาพ และค่าควบคุมมาตรฐานของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล

ลำดับ	คุณลักษณะด้านคุณภาพ	ค่าควบคุม
1	สี และลักษณะทั่วไป	สีขาว
2	ค่าความเป็นกรดด่าง	5.2–5.3
3	ความหนืด (เซ็นติพอยส์)	2,000–6,000
4	จำนวนอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงร่อน	สูงสุด ร้อยละ 1
5	ร้อยละของสารออกฤทธิ์	14.7–18.7
6	% RTW	0.3–8.0

ตารางที่ 3 ปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล กันยายน 2562–กุมภาพันธ์ 2563 (ก่อนการปรับปรุง)

เดือน พ.ศ.	จำนวนแบทช์ที่ผลิต	จำนวนของเสีย (แบทช์)	ร้อยละของเสีย
กันยายน 2562	15	4	26.67
ตุลาคม 2562	13	5	38.46
พฤศจิกายน 2562	16	4	25.00
ธันวาคม 2562	16	4	25.00
มกราคม 2563	14	4	28.57
กุมภาพันธ์ 2563	14	3	21.43
ของเสียเฉลี่ยต่อเดือน (ร้อยละ)			27.52

จากตารางที่ 3 พบว่า มีของเสียเกิดขึ้นในช่วงเดือนกันยายน 2562–กุมภาพันธ์ 2563 หรือช่วงก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต เฉลี่ยร้อยละ 27.52 ต่อเดือน



รูปที่ 3 จำนวนของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล (ก่อนการปรับปรุง)

3.2 ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล

3.2.1 ผลจากขั้นตอนการเลือกปัญหา

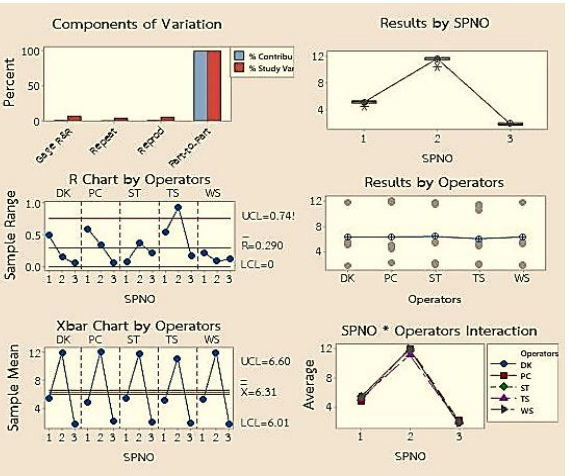
จากการเก็บข้อมูลการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล จำนวน 88 แบทช์ พบว่ามีของเสียเกิดขึ้นจำนวน 24 แบทช์ และเมื่อนำของเสียที่เกิดขึ้นมาจำแนกด้วยแผนผังพาเรโตพบว่าของเสียที่เกิดขึ้นทั้ง 24 แบทช์ เกิดจากปัญหาค่า *% RTW* ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านคุณภาพ ดังรูปที่ 3

3.2.2 ผลจากขั้นตอนการวัด

พบว่าเมื่อนำปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงมาคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดต่างๆ โดยแบ่งเป็น 2 ด้าน ได้แก่ 1) ดัชนีชี้วัดด้านปริมาณของเสีย พิจารณาจากร้อยละของเสียต่อเดือน และค่า DPMO 2) ดัชนีชี้วัดด้านประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต พิจารณาจากระดับซิกมาร้อยละผลผลิตดี และค่าความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีชี้วัดของกระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุง

ดัชนีชี้วัด	ก่อนการปรับปรุง
ดัชนีชี้วัดด้านปริมาณของเสีย	
1. % Defect per Month	27.52
2. DPMO	45,454.54
ดัชนีชี้วัดด้านประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต	
1. Sigma Level	3.35σ
2. Yield	95.45
3. C_p	1.12



รูปที่ 4 ผลการทดสอบ GR & R

การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่า *% RTW* ด้วยวิธี GR & R ดังรูปที่ 4 พบว่า การวัดค่า *% RTW* มีความแม่นยำทั้งทางด้านเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ และความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด ค่า *P/TV Ratio* มีค่าเท่ากับ 6.57 (< 10%) ถือว่าระบบการวัดมีความน่าเชื่อถือสูง ค่า *P/T Ratio* หรือระดับความผันแปรของเปอร์เซ็นต์ Tolerance เท่ากับ 24.66% (< 30%) ถือว่าระบบการวัดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และค่า ndc เท่ากับ 21 สอดคล้องกับค่าแนะนำ ndc ที่ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 5 [10] ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงของการตรวจวัดค่า *% RTW* สรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงตรงของการตรวจวัดค่า % RTW

Source	%Study Var (P/TV Ratio)	%Tolerance (P/T Ratio)
Total Gage R&R	6.57	24.66
Repeatability	3.84	14.43
Reproducibility	5.32	20.00
Operators	0.00	0.00
Operators*SPNO	5.32	20.00
Part-To-Part	99.78	374.75
Total Variation	100.00	375.56
Number of Distinct Categories (ndc) = 21		

3.2.3 ผลจากขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) [11] เพื่อนำตัวแปรอิสระเข้าสมการพยากรณ์ทั้งหมดด้วยวิธี Enter โดยตัวแปรที่จะนำเข้าสมการพยากรณ์ คือ ตัวแปรอิสระจากกรอบแนวคิดการวิจัย ดังรูปที่ 1 การวิเคราะห์เริ่มต้นจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวโดยการทดสอบค่าสถิติสัมประสิทธิ์อย่างง่ายของเพียร์สัน (Pearson's Product Moment Coefficient of Correlation; *R*) เพื่อทดสอบว่าตัวแปรอิสระคู่ใดมีความสัมพันธ์กันเองหรือไม่ ผลการทดสอบพบว่า มีหนึ่งตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันเอง นั่นคือตัวแปรสัดส่วนของเรซินต่อสารออกฤทธิ์ (Resin Ratio) โดยพบว่า มีค่า Pearson Correlation เท่ากับ –0.904 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.80 [12] จึงตัดตัวแปรนี้ออกไปและวิเคราะห์ใหม่ เมื่อผลการวิเคราะห์ไม่พบตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กันเอง จึงดำเนินการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณต่อไป ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจเชิงซ้อน (Adjusted R Square; R^2 Adjusted) เท่ากับร้อยละ 65.9 จากนั้นจึงทดสอบตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตแต่ละตัว เพื่อทำนายหรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรตามโดยใช้สถิติ F-Test ดังสมมุติฐานการทดสอบ ดังนี้

H_0: ตัวแปรที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตทุกตัวในสมการไม่สามารถร่วมกันทำนาย (พยากรณ์) *% RTW* ได้

H_1: ตัวแปรที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตทุกตัวในสมการสามารถร่วมกันทำนาย (พยากรณ์) *% RTW* ได้

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า *p*-value < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 หมายความว่า ตัวแปรที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตทุกตัวสามารถร่วมกันทำนาย (พยากรณ์) *% RTW* ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณของตัวแปรที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อค่า *% RTW* ปรากฏดังตารางที่ 6

จากตารางที่ 6 พบว่า มีตัวแปรอิสระ 2 ตัว ที่มีค่า *p*-value (Sig) น้อยกว่าค่า α (p<0.01) และส่งผลต่อค่า *% RTW* อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ได้แก่ 1) *% Sieve* ค่า Beta เท่ากับ 0.803 และมีทิศทางความสัมพันธ์เชิงบวกกับตัวแปรตาม และ 2) อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา (Reaction Temperature ℃) ค่า Beta เท่ากับ –0.190 และมีทิศทางความสัมพันธ์เชิงลบกับตัวแปรตาม

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณของตัวแปรที่ส่งผลต่อค่า % RTW

Factors	B	SE	Beta	t	Sig
Constant	307.217	132.801		2.313	0.023
% Active	–1.242	0.708	–0.120	–1.753	0.083
% Sieve	143.855	12.152	0.803	11.838	0.000**
Mixing (hr)	–3.70E–5	0.000	–0.019	–0.290	0.773
pH Value	–2.731	19.626	–0.009	–0.139	0.890
Melting (hr)	0.002	0.003	0.039	0.555	0.580
Temp. (℃)	–4.162	1.397	–0.190	–2.980	0.004**
Cooling (hr)	1.062E–6	0.000	0.000	–0.003	0.998
Adjusted R Square = 0.659, SEE = 6.855, F = 25.062, **P<0.01					

เมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิต หรือตัวแปรอิสระแต่ละตัวเพื่อป้องกันปัญหาการมีความสัมพันธ์กันเอง (Multicollinearity) โดยพิจารณาจากค่า Collinearity Tolerance และค่า VIF ตามเกณฑ์ของ Hair และคณะ [13] ที่กำหนดไว้ว่าค่า Tolerance ต้องมีค่ามากกว่า 0.10 และค่า VIF ต้องมีค่าน้อยกว่า 10 ผลการตรวจสอบตัวแปรอิสระแต่ละตัวสรุปได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่า Collinearity Tolerance และค่า VIF ของตัวแปรที่ส่งผลต่อค่า % RTW

Independent Variable	Collinearity Tolerance	VIF
% Active	0.832	1.202
% Sieve	0.850	1.176
Mixing Time (hr)	0.943	1.061
pH Value	0.950	1.052
Melting Time (hr)	0.805	1.243
Reaction Temp. (℃)	0.967	1.034
Cooling Time (hr)	0.877	1.140

จากตารางที่ 7 เมื่อพิจารณาค่า Tolerance และค่า VIF พบว่า ตัวแปร *% Sieve* และตัวแปรอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา พบว่า ไม่มีความสัมพันธ์กันเอง พิจารณาได้จากค่า Collinearity Tolerance ของ *% Sieve* และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา เท่ากับ 0.850 และ 0.967 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.10 และค่า VIF เท่ากับ 1.176 และ 1.034 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 ดังนั้นผลการวิเคราะห์สามารถนำมาเขียนเป็นสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนมาตรฐานได้ดังสมการที่ (1)

$$\%\,RTW = 0.803\,(\%\,Sieve) - 0.190\,(Reaction\ Temp.) \quad (1)$$

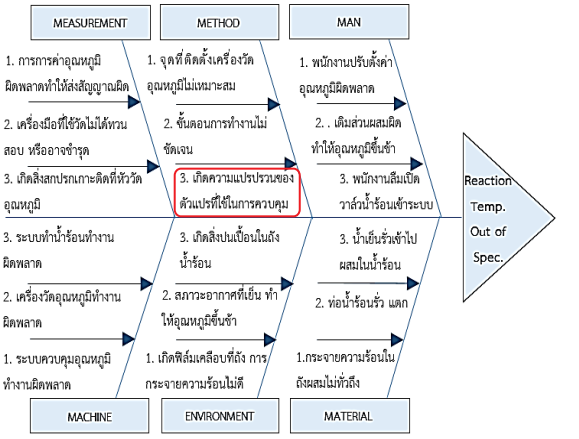
จากนั้นผู้วิจัยและทีมงานร่วมกันระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต ได้แก่ *% Sieve* และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยามีค่าออกนอกค่าควบคุม โดยนำแผนผังก้างปลา [7] มาเป็นเครื่องมือในการร่วมกันหาสาเหตุของปัญหา ในส่วนของสาเหตุพิจารณาจากหัวข้อตามหลัก 5M + 1E ซึ่งประกอบด้วยด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้ 1) พนักงาน (Man) 2) วิธีการ (Method) 3) วิธีการวัด (Measurement) 4) เครื่องจักร (Machine) 5) วัตถุดิบ (Materials) และ 6) สภาพแวดล้อม (Environment)

ผลจากการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้ค่า *% Sieve* และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาออกนอกค่าควบคุม สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ โดยพบว่า สาเหตุที่ทำให้ตัวแปรที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตทั้งสองออกนอกค่าควบคุมมาจากสาเหตุทางด้านวิธีการ เนื่องจากเกิดความแปรปรวนของค่าตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต และพบว่า ยังไม่มีค่าควบคุมที่ถูกต้องระบุอยู่ในขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจน ดังนั้นผู้วิจัยและทีมงานจึงร่วมกันทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าของตัวแปรที่ถูกต้องเพื่อนำไปใช้ควบคุมกระบวนการผลิต

3.2.4 ผลจากขั้นตอนการปรับปรุง

การทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าควบคุมของตัวแปร *% Sieve* และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา แสดงดังรูปที่ 7

รูปที่ 5 ผังก้างปลาแสดงสาเหตุที่ทำให้ *% Sieve* ออกนอกค่าควบคุม

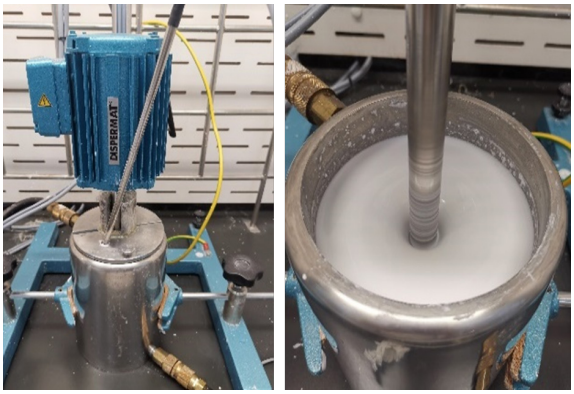


รูปที่ 6 ผังก้างปลาแสดงสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาออกนอกค่าควบคุม

โดยกำหนดค่าของตัวแปรทั้งสองตามการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ ดังตารางที่ 8 และได้ผลการทดลองดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 แผนการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ

Factor	Factor Level			Unit
	Low	Standard	High	
% Sieve	0.01	0.06	0.54	%
Reaction Temp.	65.10	68.00	70.10	°C



รูปที่ 7 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 9 แผนและผลการทดลองตามการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ

Run Order	Factor Level		Results
	% Sieve	Reaction Temp. (°C)	
1	0.01	65.10	8.63
2	0.01	68.00	2.56
3	0.01	70.10	4.87
4	0.06	65.10	9.54
5	0.06	68.00	5.46
6	0.06	70.10	6.12
7	0.54	65.10	18.64
8	0.54	68.00	9.13
9	0.54	70.10	10.29

จากตารางที่ 9 พบว่า ค่าของตัวแปร *% Sieve* และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่ส่งผลให้ได้ค่า *% RTW* อยู่ในค่าขอบเขตที่ดีเยี่ยม ($2.0 < \%\ RTW \leq 4.0$) คือ การทดลองที่ 2 โดยพบว่า ระดับ *% Sieve* อยู่ที่ 0.01 และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาอยู่ที่ 68.00 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ได้ค่า *% RTW* เท่ากับ 2.56 ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำค่าของตัวแปรทั้งสองนี้ไปกำหนด และระบุเป็นค่าควบคุมมาตรฐานในวิธีการปฏิบัติงานเพื่อการนำไปใช้ควบคุมกระบวนการผลิตจริง ซึ่งมีลักษณะการผลิตดังรูปที่ 8

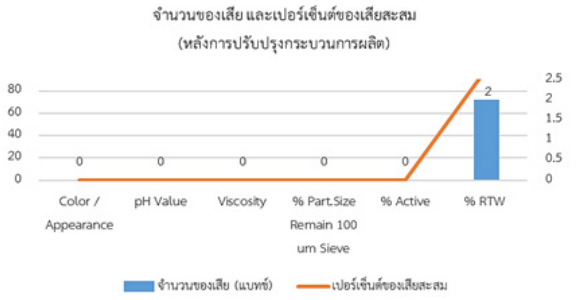
หลังการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยการควบคุมตัวแปร *% Sieve* และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาตาม

รูปที่ 8 กระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล

ค่าควบคุมมาตรฐาน ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูล *% RTW* ที่ได้จากการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลในแต่ละแบทช์ เป็นระยะเวลา 4 เดือน คือระหว่างกันยายน 2562–กุมภาพันธ์ 2563 โดยมีจำนวนการผลิตทั้งสิ้น 52 แบทช์ และพบว่า มีของเสียเกิดขึ้นจำนวน 2 แบทช์ ได้แก่ เดือนกันยายน 2562 จำนวน 1 แบทช์ และเดือนตุลาคม 2562 จำนวน 1 แบทช์ เมื่อนำจำนวนของเสียมาจำแนกด้วยแผนผังพาเรโต ดังรูปที่ 9 พบว่าของเสียทั้ง 2 แบทช์ เกิดจากปัญหาค่า *% RTW* ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านคุณภาพซึ่งคิดเป็นของเสียเฉลี่ยต่อเดือนร้อยละ 3.33 ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล กันยายน 2562–กุมภาพันธ์ 2563 (หลังการปรับปรุง)

เดือน พ.ศ.	จำนวนแบทช์ที่ผลิต	จำนวนของเสีย (แบทช์)	ร้อยละของเสีย
กันยายน 2562	15	1	6.67
ตุลาคม 2562	15	1	6.67
พฤศจิกายน 2562	12	0	0.00
ธันวาคม 2562	10	0	0.00
ของเสียเฉลี่ยต่อเดือน (ร้อยละ)			3.33



รูปที่ 9 จำนวนของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล (หลังการปรับปรุง)

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผู้วิจัยได้คำนวณหาค่าร้อยละของเสียต่อเดือน และค่า DPMO เพื่อนำไปวิเคราะห์หาระดับซิกซ์มา (Sigma Level) ร้อยละผลผลิตดี (Yield) และดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (C_p) ผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าดัชนีชี้วัดของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง

ดัชนีชี้วัด	หลังการปรับปรุง
ดัชนีชี้วัดปริมาณของเสีย	
1. % Defect per Month	3.33
2. DPMO	6,410.25
ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต	
1. Sigma Level	3.99σ
2. Yield	99.27
3. C_p	1.33

3.2.5 ผลจากขั้นตอนการควบคุม

ผู้วิจัยได้จัดทำระบบเอกสาร ได้แก่ รายการตรวจสอบความพร้อมก่อนเริ่มปฏิบัติงาน (Production Daily Check Sheet) แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เพื่อใช้บันทึกค่าควบคุมของตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการผลิตแต่ละแบทช์ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมตัวแปรของปริมาณอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงร่อน (*% Sieve*) และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา (Reaction Temperature) พร้อมทั้งติดตามค่า *% RTW* จากการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลในแต่ละแบทช์ ในรูปแบบของ x - MR Chart [14] โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานขอบเขตบน (USL) และค่ามาตรฐานขอบเขตล่าง (LSL)

4. อภิปรายผลและสรุป

การวิจัยเรื่องการลดของเสีย และการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลในสีอุตสาหกรรมของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรี พบว่า สภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลมีลักษณะการผลิตเป็นแบบแบทช์ จากการเก็บข้อมูล พบว่า ระหว่างเดือนกันยายน 2562–กุมภาพันธ์ 2563 มีการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลจำนวนทั้งสิ้น 88 แบทช์ โดยมีของเสียเกิดขึ้นจำนวน 24 แบทช์ หรือคิดเป็นของเสียเฉลี่ยต่อเดือนร้อยละ 27.52 ซึ่งมีมูลค่าความเสียหายประมาณ 4.8 ล้านบาทต่อเดือน ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการลดของเสียและการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล โดยนำเทคนิคซิกซ์ซิกมามาเป็นแนวทางในการค้นหาสาเหตุของปัญหา และปรับปรุงกระบวนการผลิตตามขั้นตอน DMAIC เริ่มจากการจัดตั้งทีมงานซึ่งเป็นบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล เพื่อร่วมกันวิเคราะห์หาสาเหตุ และร่วมกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต

ผลจากการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนตามเทคนิคซิกซ์ซิกมา มีดังนี้

1) ขั้นตอนการกำหนดปัญหา จากการเก็บข้อมูลการผลิตจำนวนทั้งสิ้น 88 แบทช์ พบว่า มีของเสียเกิดขึ้นจำนวน 24 แบทช์ และเมื่อนำของเสียมาจำแนกด้วยแผนผังพาเรโต พบว่า ของเสียที่เกิดขึ้นเกิดจากปัญหาเดียวกันทั้งหมด คือค่าอัตราการปลดปล่อยของสารออกฤทธิ์ที่ถูกหุ้มด้วยแคปซูลที่ถูกชะด้วยน้ำ (Release Rate to Water; *% RTW*) ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านคุณภาพ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3

2) ขั้นตอนการวัดผลพบว่า ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง สรุปไว้ดังตารางที่ 4 และจากการวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของระบบการวัดด้วยการทำ GR & R พบว่า ระดับความผันแปรของระบบการวัดค่า *% RTW* อยู่ที่ร้อยละ 24.66 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (< 30%)

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ ผู้วิจัยนำวิธีวิเคราะห์แบบถดถอยพหุคูณมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรที่ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อค่า *% RTW* ของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า มี 2 ตัวแปร ที่ส่งผลต่อค่า *% RTW* ได้แก่ 1) ปริมาณอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงร่อนขนาด 100 ไมครอน (*% Sieve*) และ 2) อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.01 โดยสามารถเขียนเป็นสมการพยากรณ์ได้ดังสมการที่ (1) และจากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังก้างปลาพบว่า สาเหตุเกิดจากความแปรปรวนของ 2 ตัวแปร ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตดังกล่าว ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่า ยังไม่มีค่าควบคุมมาตรฐานที่ชัดเจนถูกระบุอยู่ในวิธีการปฏิบัติงาน

4) ขั้นตอนการปรับปรุง ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่าควบคุมที่เหมาะสมของตัวแปรทั้งสองไปกำหนดเป็นค่ามาตรฐานในการควบคุมกระบวนการผลิต โดยดำเนินการทดลองจำนวน 9 การทดลอง ผลการทดลองพบว่า ค่าควบคุมมาตรฐานของ 2 ตัวแปร ที่ส่งผลให้ได้ค่า *% RTW* อยู่ในขอบเขตที่ดีที่สุด คือ 1) *% Sieve* เท่ากับ 0.01 และ 2) อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยาเท่ากับ 68.00 องศาเซลเซียส จากสภาวะดังกล่าวส่งผลให้ได้ค่า *% RTW* เท่ากับ 2.56 ซึ่งอยู่ในค่าขอบเขตมาตรฐานที่ดีเยี่ยม (Excellent) คือช่วง $2.0 < \%\ RTW \leq 4.0$ จากนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดค่าควบคุมมาตรฐานของ 2 ตัวแปรข้างต้น ลงในวิธีการปฏิบัติงาน และเก็บข้อมูลของเสียหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตเป็นระยะเวลา 4 เดือน คือระหว่างกันยายน 2562–ธันวาคม 2563 พบว่า มีจำนวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล จำนวน 52 แบทช์ และมีของเสียเกิดขึ้นจำนวน 2 แบทช์ โดยของเสียที่เกิดขึ้นเกิดจากปัญหาค่า *% RTW* ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานด้านคุณภาพ และเป็นปัญหาเดียวกันทั้ง 2 แบทช์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9

เมื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 ด้าน คือ ดัชนีชี้วัดปริมาณของเสีย พิจารณาได้จากค่าร้อยละของเสียที่ลดลงจากร้อยละ 27.52 เหลือร้อยละ 3.33 และค่า DPMO ลดลงจาก 45,454.54 เหลือ 6,410.25 และอีกด้านหนึ่งคือ ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต พิจารณาได้จากระดับซิกมาเพิ่มขึ้นจาก 3.35 ซิกมา เป็น 3.99 ซิกมา ร้อยละผลผลิตดีเพิ่มขึ้นจาก 95.45 เป็น 99.27 และค่าดัชนีชี้วัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการเพิ่มขึ้นจาก 1.12 เป็น 1.33

5) ขั้นตอนการควบคุม ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบเอกสารเพื่อนำมาใช้ควบคุม และตรวจติดตามผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต ได้แก่ 1) ตารางตรวจสอบสภาวะการควบคุมการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล (Checklist) ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน 2) แผนภูมิควบคุมเพื่อบันทึกค่าของตัวแปรที่ส่งผลต่อค่า *% RTW* ได้แก่ ค่า *% Sieve* และอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา และ 3) แผนภูมิควบคุมค่า *% RTW* ชนิด x–MR Chart เพื่อตรวจติดตามค่า *% RTW* ที่ได้จากการผลิตในแต่ละแบทช์ นอกจากนี้เพื่อให้การปรับปรุงกระบวนการผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยได้นำเสนอข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตเสนอต่อผู้บริหาร และพนักงานที่เกี่ยวข้องให้ทราบผลการดำเนินงานเป็นประจำทุกเดือน

กล่าวโดยสรุปในการดำเนินงานวิจัยเรื่องนี้ผู้วิจัยได้นำเทคนิคซิกซ์ซิกมามาเป็นแนวทางเพื่อลดของเสีย และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลในสีอุตสาหกรรมของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรี ด้วยการศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิต วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่น่าเชื่อถือเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูล และเพื่อดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งพิจารณาได้จากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง ทั้งทางด้านปริมาณของเสียที่ลดลง และทางด้านประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ภาพรวมของการดำเนินงานวิจัยนี้ส่งผลให้มูลค่าความเสียหายลดลงจาก 4.8 เหลือ 0.6 ล้านบาทต่อเดือน หรือคิดเป็นมูลค่า

ความเสียหายที่ลดลงร้อยละ 87.5 ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลเพิ่มสูงขึ้น [15] สอดคล้องกับงานวิจัย [7] เรื่องการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ซิกมา เพื่อลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก ผลการวิจัยพบว่า สามารถเพิ่มขีดความสามารถของกระบวนการผลิต (C_p) จาก 1.14 เป็น 1.94 และยังสอดคล้องกับงานวิจัย [16] เรื่องการประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกมาในกระบวนการผลิตไพวอต ผลการวิจัยพบว่า การนำเทคนิคซิกซ์ซิกมามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดของเสียได้ร้อยละ 71.05

ความสำเร็จจากการดำเนินงานวิจัยเพื่อลดของเสียและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสารออกฤทธิ์ชนิดแคปซูลในสีอุตสาหกรรม ของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรี สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางเพื่อลดของเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตอื่นๆ ต่อไปได้ โดยใช้เทคนิคซิกซ์ซิกมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งองค์กรจะต้องมีการเตรียมความพร้อมเรื่องบุคลากรทั้งทางด้านการจัดตั้งทีมงาน และทางด้านการจัดอบรมความรู้พื้นฐานในการดำเนินการแต่ละขั้นตอนของซิกซ์ซิกมา ทั้งนี้เพื่อให้ประสบผลสำเร็จสูงสุด การนำเทคนิคซิกซ์ซิกมามาประยุกต์ใช้ในองค์กร จะต้องได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหาร และการได้รับความร่วมมือจากทุกภาคส่วนเป็นอย่างดี

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้บริหาร และบุคลากรทุกท่านของโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรี ที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษา ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ทางด้านข้อมูล เป็นที่ปรึกษา และสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยเรื่องนี้ให้ประสบผลสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนด

เอกสารอ้างอิง

[1] Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation, (2021, February 2). *Laboratory Analysis of Industrial Paint* [Online] (in Thai). Available: https://onestop.mhesi.go.th/mstq/web/lab/paints

[2] T. Leechakphai, “A thick should know before choosing paints,” *Polymer Science*, vol. 26, pp. 26–29, 2004 (in Thai).

[3] The council for Six Sigma Certification, *Six sigma black belt certificate, Harmony Living*, LLC, WY, 2018, pp. 9.

[4] The council for Six Sigma Certification, *The Six Sigma: A Complete Step-by-step Guide*, WY, 2018, pp. 121.

[5] T. Hessing, (2021, February 25). *Process Capability & Performance (Pp, Ppk, Cp, Cpk)* [Online]. Available: https://sixsigmastudyguide.com/processcapability-pp-ppk-cp-cpk/.

[6] E. Thavorn, “Measurement system analysis for the prevention of inspection errors in engineering laboratory course,” *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 140–153, 2017 (in Thai).

[7] S. Vongpeang, “The application of six sigma technique for defects reduction in the injection molding process,” M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, 2011 (in Thai).

[8] S. Surattanachaikarn and A. Kengpol, “Apply design of experimental for performance liquid organic concentrate filling machine,” in *Proceedings of Industrial Engineering, Sripathum University*, 2012, pp. 818–821 (in Thai).

[9] K. Toenwanna, “Process parameter design for extra thickness conformal coating on printed circuit boards,” M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, 2018 (in Thai).

[10] K. Ployphanichcharoen, *Measurement System Analysis (MSA)*, 2nd ed., Bangkok: Bangkok Technology Promotion Association (Thailand-Japan), pp. 140–153, 2010 (in Thai).

[11] S. Chanaboon, "Chapter 6 inferential statistics analysis," *Statistics and Data Analysis in Preliminary Research*, Khonkaen: Bureau of Public Health, pp 82–147, 2017 (in Thai).

[12] K. J. Hae, "Multicollinearity and misleading statistical results," *Korean Journal of Anesthesiology*, vol. 72, pp. 558–569, 2019.

[13] J. F. Hair, R. E. Anderson, R. L. Tatham and W. C. Black, *Multivariate Data Analysis*, 3rd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995.

[14] NCSS Statistical Software, "Chapter 241 individuals and moving range charts," *NCSS Statistical Software*, NCSS, LLC., pp. 241-1–241-20, 2020.

[15] K. Ployphanichcharoen. *Process Capability Analysis*, Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand–Japan). pp. 159–197, 2008 (in Thai).

[16] K. Benjaratthapong, "Six sigma application in pivot production process," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Thammasat University, 2015 (in Thai).