

NUEJ

NARESUAN

UNIVERSITY ENGINEERING JOURNAL

January-June 2026 Vol.21, No.1

ISSN : 2651-1568



Editorial Team

Editorial Advisory Board

Prof. Dr. Somchai Wongwises	Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
Assoc. Prof. Dr. Sarintip Tantane	President of Naresuan University
Assoc. Prof. Dr. Uraya Weesakul	Faculty of Engineering, Thammasat University
Asst. Prof. Dr. Kumpon Subsomboon	Faculty of Engineering, Naresuan University

Editor-in-Chief

Asst. Prof. Dr. Ananchai U-kaew	Faculty of Engineering, Naresuan University
---------------------------------	---

Associate Editor

Assoc. Prof. Dr. Thawatchai Mayteevarunyoo	Faculty of Engineering, Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Korakod Nusit	Faculty of Engineering, Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Jirawadee Polprasert	Faculty of Engineering, Naresuan University

Editorial Board

Prof. Dr. Kosin Chamnongthai	Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
Prof. Dr. Juntaraporn Palagongun	Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Prof. Dr. Pradit Terdtoon	Faculty of Engineering, Chiang Mai University
Prof. Dr. Songphol Kanjanachuchai	Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Prof. Dr. Puangrat Kajitvichyanukul	Faculty of Engineering, Chiang Mai University
Prof. Dr. Paisarn Muneesawang	Faculty of Engineering, Naresuan University
Prof. Dr. Wanida Jinsart	Faculty of Science, Chulalongkorn University
Prof. Dr. Vatanavongs Ratanavaraha	Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
Prof. Dr. Virote Boonamnuyvitaya	Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
Prof. Dr. Sampan Rittidej	Faculty of Engineering, Mahasarakham University
Prof. Dr. Sumrerng Jugjai	Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
Prof. Dr. Apinunt Thanachayanont	Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Prof. Dr. Issarachai Ngamroo	Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Editorial Board

Prof. Christian Hicks

Assoc. Prof. Dr. Kamchai Nuithitikul

Assoc. Prof. Dr. Koonlaya Kanokjaruvijit

Assoc. Prof. Dr. Chalermraj Wantawin

Assoc. Prof. Dr. Tanyada Pannachet

Assoc. Prof. Dr. Nipon Theeraumpon

Assoc. Prof. Dr. Ninlawan Choomrit

Assoc. Prof. Dr. Nivit Charoenchai

Assoc. Prof. Dr. Panus Nattharith

Assoc. Prof. Dr. Pupon Pongcharoen

Assoc. Prof. Dr. Mathanee Sanguansermisri

Assoc. Prof. Dr. Yodchanan Wongsawat

Assoc. Prof. Dr. Lunchakorn Wuttisittikulki

Assoc. Prof. Dr. Watcharin Pongaen

Assoc. Prof. Dr. Wassanai Wattanutchariya,

Assoc. Prof. Dr. Virasit Imtawil

Assoc. Prof. Sanguan Patamatamkul

Assoc. Prof. Dr. Sdhabhon Bhokha

Assoc. Prof. Dr. Sombat Chuenhooklin

Assoc. Prof. Dr. Samorn Hirunpraditkoon

Assoc. Prof. Dr. Suchart Yammen

Assoc. Prof. Dr. Suwit Kiravittaya

Assoc. Prof. Dr. Athikom Roeksabutr

Assoc. Prof. Dr. Apichai Ritvirool

Assoc. Prof. Maetee Boonpichetvong

Assoc. Prof. Dr. Vo Ngoc Dieu

Asst. Prof. Dr. Kaokanya Sudaprasert

Asst. Prof. Dr. Tanikan Thongchai

Asst. Prof. Dr. Narumon Seeponkai

Asst. Prof. Dr. Pajaree Thongsanit

Asst. Prof. Dr. Panu Buranajakorn

Asst. Prof. Dr. Supawan Ponpitakchai

Asst. Prof. Dr. Somlak Wannarumon Kielarova

Newcastle University, United Kingdom

Faculty of Engineering, Walailak University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, King Mongkut's

University of Technology Thonburi

Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Faculty of Engineering, Chiang Mai University

Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

Faculty of Engineering, Chiang Mai University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Mahidol University

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Department of Teacher Training in Mechanical

Engineering, King Mongkut's

University of Technology North Bangkok

Faculty of Engineering, Chiang Mai University

Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Faculty of Engineering, Mahanakorn University of
Technology

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Ho Chi Minh City University of

Faculty of Engineering, King Mongkut's

University of Technology Thonburi

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Faculty of Engineering, Naresuan University

Editorial Board

Asst. Prof. Dr. Sasikorn Leungvichcharoen	Faculty of Engineering, Naresuan University
Asst. Prof.Dr. Sutanit Puttapanom	Faculty of Engineering, Naresuan University
Dr. Salisa Veerapun	Faculty of Engineering, Naresuan University
Dr. Ivan Lee	School of Information Technology and Mathematical Sciences, University of South Australia, Australia
Dr. Sasidharan Sreedharan	University of Hawaii, USA

Aims and Objectives

The primary objective of the Naresuan University Engineering Journal (NUEJ) is to publish high-quality research articles presenting contemporary developments in theory, design, and applications in all areas of Engineering, Science, and Technology, including research in Civil, Environmental, Mechanical, Electrical, Computer, Industrial, Chemical, and Material Engineerings. NUEJ covers all multidisciplinary research in associated areas, such as Mechatronics, Energy, Industrial and Engineering Design, Manufacturing Technology, Engineering Management, and Medical Engineering.

Journal Policies

Naresuan University Engineering Journal (NUEJ) is open access system which uses Double-blind peer review journal, According to broaden the Engineering and Technology develop the NUEJ has for Thai society and global. “No Charge policy of any publication fee”, regularly published with 2 issues per year (January – June, and July – December). Submissions must be original, unpublished works, and not currently under review by other journals. NUEJ will consider only submitted works which respect research ethics, including confidentiality, consent, and the special requirements for human and animal research. All research articles dealing with human or animal subjects must attach an approval certificate from the appropriate Ethics Committee. Additionally, the research articles dealing with human subjects must provide evidence of informed consent

Editorial board of NUEJ reserves the right to decide whether the submitted manuscript should be accepted for publication. The final decision of the editorial board cannot be appealed.

The submitted manuscript has to be written in English only, and can be in Microsoft Word (doc or docx) or PDF file format. The corresponding author is required to register and submit the manuscript at <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/nuej>

ISSN : 2651-1568 (Online)

Electronic journal Has been service since issue number 13, issue 2, July - December 2018 henceforward

Editorial board of Naresuan University Engineering Journal (NUEJ)
Faculty of Engineering, Naresuan University
Phitsanuloke, 65000 Thailand
Tel. +66(0)55 963951
Fax. +66(0)55 964000
Email: nuej@nu.ac.th

Editor's Note

Editorial for Naresuan University Engineering Journal (NUEJ) Engineering Innovation for Entrepreneurial Society

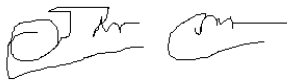
Welcome to this edition of the *Naresuan University Engineering Journal (NUEJ)*, where we unite engineering ingenuity with entrepreneurial foresight to forge a future of innovation-driven development. Guided by our vision, "Innovation for Entrepreneurial Society," this publication serves as a platform for ideas, research, and technologies that transcend traditional academic boundaries to create tangible societal and economic impact.

This issue features contributions from diverse disciplines that align with our vision. From groundbreaking technologies that redefine sustainable practices to entrepreneurial case studies that illuminate pathways to market success, the articles underscore the role of engineering as a catalyst for societal transformation. By integrating academic rigor with a focus on practical implementation, NUEJ aims to inspire a new generation of engineers and researchers to take bold steps toward innovation.

As we navigate an era defined by rapid technological advancement and global challenges, the need for entrepreneurial engineers has never been more critical. Solutions to climate change, resource management, and digital transformation demand not just technical expertise but also the entrepreneurial mindset to adapt, scale, and sustain innovations. NUEJ aspires to be a beacon for this mindset, encouraging engineers and researchers to think beyond laboratories and embrace opportunities for impactful implementation.

Thank you for your continued support of *Naresuan University Engineering Journal*. Let us move forward with a shared commitment to innovation and entrepreneurship.

Sincerely,



[Assist Prof. Dr. Ananchai Ukaew]
Editor, Academic Journal of the Faculty of Engineering
Naresuan University Engineering Journal

Research Articles

การสร้างต้นแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็กและการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น

ศักดิ์สิทธิ์ ชื่นขนาดจาด แม่น พักทอง อธิภัทร บุญอ่ำ และ กล้า วาริพิทักษ์.....1

การแก้ปัญหการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่เปรียบเทียบกับ
กฎกำหนดส่งเร็วที่สุด: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

สายสัมพันธ์ ชื่นเจริญ, อธิภาพ เกษศิल्प, เอกราช กองสี, เสาวลักษณ์ ทองกลั่น และ ภาณุ บุรณจารุกร.....12

การสร้างต้นแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็กและการทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้น Development of a Small-Scale Plastic Injection Mold and Preliminary Performance Evaluation

ศักดิ์สิทธิ์ ชื่นชนนาคจาด¹ แมน ฟักทอง¹ ธีรภัทร บุญอ่ำ¹ กล้า วาริพิทักษ์^{1*}
Saksit Chuenchomnakjad¹, Man Fakthong¹, Teerapat Bunam¹ and Kla Wareepitak^{1*}

¹* สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

¹* Program in Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok, Thailand

* Corresponding author e-mail: kla.wa@rmutl.ac.th

(Received: 1 May 2026, Revised 4 June 2026, Accepted 29 June 2026)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้มีวัตถุประสงค์ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็ก และทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของแม่พิมพ์เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกพร้อมทั้งกำหนดแนวทางในการตั้งค่าใช้งานที่เหมาะสม โดยมีพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนและโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง เป็นวัสดุทดสอบ การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ ก่อนติดตั้งร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อทำการฉีดขึ้นรูปภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิที่แตกต่างกัน จากนั้นประเมินสมรรถนะเบื้องต้นของแม่พิมพ์เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อกำหนดแนวทางการตั้งค่าการใช้งานที่เหมาะสม

ต้นแบบแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นมีขนาดสุทธิความกว้าง 70 ยาว 110 และสูง 20 มิลลิเมตร และสามารถทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อสร้างชิ้นงานจากวัสดุทดสอบทั้งสองชนิดได้อย่างสมบูรณ์ จากผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานร่วมกันระหว่างแม่พิมพ์และเครื่องฉีดพลาสติกพบว่า การตั้งค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปควรกำหนดความดันฉีด 0.4 เมกะพาสคัล สำหรับพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนและความดัน 0.6 เมกะพาสคัล สำหรับพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยใช้ระยะเวลาหลอมเม็ดพลาสติก 2 นาที ระยะเวลาเติมเต็มแม่พิมพ์ 10 วินาที และระยะเวลาพักแข็งตัว 30 วินาที โดยใช้อุณหภูมิหลอมที่ 170 องศาเซลเซียส สำหรับพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน และ 180 องศาเซลเซียส สำหรับพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่าแม่พิมพ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมีสมรรถนะเพียงพอสำหรับการใช้งานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อผลิตชิ้นงานต้นแบบ พร้อมทั้งสามารถใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก และต่อยอดสู่การประยุกต์ใช้ด้านการเรียนการสอนและงานต้นแบบทางวิศวกรรมได้ต่อไป

คำสำคัญ: แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก การฉีดขึ้นรูปพลาสติก ต้นแบบแม่พิมพ์ โพลีโพรพิลีน

Abstract

This research aimed to design and fabricate a small-scale plastic injection mold and evaluate its performance when used with a small-scale plastic injection molding machine. The study also sought to determine suitable operating parameters for the injection molding process using polypropylene (PP) and high-density polyethylene (HDPE) as test materials. The research process consisted of mold design and fabrication, installation of the mold on the injection molding machine, and experimental trials under various temperature conditions. The performance of the mold and molding system was then evaluated to identify appropriate processing parameters.

The fabricated mold had dimensions of 70 mm x 110 mm x 20 mm and successfully produced complete molded parts from both PP and HDPE materials. Experimental results showed that suitable injection pressures were 0.4 MPa for PP and 0.6 MPa for HDPE. The recommended processing conditions included a plastic melting time of 2 minutes, a mold filling time of 10 seconds, and a cooling time of 30 seconds. Appropriate melting temperatures were found to be 170 °C for PP and 180 °C for HDPE.

The findings indicate that the developed mold provides satisfactory performance for prototype production using a small-scale plastic injection molding machine. In addition, the results can serve as preliminary guidelines for selecting process parameters in plastic injection molding and may support educational applications as well as engineering prototype development.

Keywords: Plastic Injection Mold, Plastic Injection Molding, Mold Prototype, Polypropylene

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เช่น รถยนต์ ของใช้ครัวเรือน อุปกรณ์สื่อสาร และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตในปริมาณมาก (Kauffer, 2021) กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกนับถือได้ว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของการผลิตซึ่งมีบทบาทหลักในปัจจุบัน ซึ่งสามารถใช้ในการผลิตได้หลายลักษณะ มีคุณค่าสำคัญและต่อทุกภาคอุตสาหกรรมการผลิตสร้างพลาสติกผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการฉีดขึ้นรูปพลาสติกนั้นมีประสิทธิภาพในการผลิตชิ้นงานสูงด้วยต้นทุนที่ต่ำ (Silva, 2025) มีศักยภาพในการสร้างชิ้นงานได้อย่าง มีคุณภาพสม่ำเสมอในระดับที่เหมาะสม มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการรองรับการผลิตจำนวนมากภายในช่วงเวลาที่ยากัดได้ ด้วยคุณลักษณะพิเศษของกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่สามารถเปลี่ยนวัสดุของแข็งเริ่มต้นกระบวนการผลิตสามารถคัดลอกและถ่ายทอดรายละเอียดของลักษณะทางเรขาคณิตซับซ้อนสู่ชิ้นงานผ่านระบบแม่พิมพ์ได้ (Stemmler et al., 2020)

อย่างไรก็ตาม การสร้างชิ้นงานเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในระบบการผลิตระดับอุตสาหกรรมจำเป็นต้องใช้พื้นที่ติดตั้งในระดับสูง ตั้งแต่การใช้งานไปจนถึงการบำรุงรักษาซึ่งจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรสูง (Chiptiyanti et al., 2025) ทำให้มีข้อจำกัดการนำไปใช้ผลิตชิ้นงานในปริมาณจำกัด มีขนาดเล็ก งานต้นแบบ อีกทั้งยังไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนเพื่อใช้สำหรับการสาธิตการสอนในสถาบันการศึกษา ห้องจัดแสดง และห้องเรียน

ซึ่งแนวความคิดการพัฒนาเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต้นแบบขนาดเล็กเพื่อสนับสนุนการเรียนการสอนและการฝึกปฏิบัติในสถาบันการศึกษาได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นการออกแบบอุปกรณ์ที่มีขนาดกะทัดรัด ใช้งานสะดวก และมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการฝึกทักษะเชิงปฏิบัติ เช่น การพัฒนาเครื่องฉีดผิวโลหะ (Fakthong et al., 2024) และชุดฝึกปฏิบัติระบบทำความเย็นและปรับอากาศแบบแยกส่วน (Promseenong et al., 2024)

ด้วยสถานศึกษามีทรัพยากรด้านงบประมาณและสถานที่อย่างจำกัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของห้องเรียนหรือห้องปฏิบัติการ ประกอบกับข้อจำกัดด้านการซ่อมบำรุงรักษาที่ใช้งบประมาณสูงและต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง ทำให้การใช้งานเครื่องฉีดพลาสติกในลักษณะเพื่อการศึกษาต้องการแม่พิมพ์ที่มีโครงสร้างเหมาะสม โดยมีขนาดเล็กถึงปานกลาง ใช้งานได้สะดวก สามารถควบคุมกระบวนการทำงานง่าย มีประสิทธิภาพและสมรรถนะที่เพียงพอในการสร้างชิ้นงานขนาดเล็ก เหมาะสมต่อการสนับสนุนด้านการจัดการศึกษาในชั้นเรียน เจื่อนไขเฉพาะดังกล่าวมีความสำคัญในบริบทของสถาบันเตรียมอุดมศึกษาและอุดมศึกษา ที่เปิดสอนรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและการออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก ซึ่งมักมุ่งเน้นการจัดการศึกษาเพื่อมอบองค์ความรู้แก่ผู้เรียนทั้งภาคทฤษฎีและการฝึกทักษะที่ต้องการปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เข้ารับ

การศึกษามีทักษะและความเข้าใจในวิธีการควบคุมใช้งานเครื่องฉีดพลาสติก ตลอดจนเข้าใจหลักการทำงานกระบวนการสร้างชิ้นงานด้วยการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกมากยิ่งขึ้น

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาแม่พิมพ์และระบบฉีดพลาสติกขนาดเล็ก โดยมุ่งหวังเพื่อใช้สาธิตกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ทั้งนี้ งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็ก 2) ทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของแม่พิมพ์เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กพร้อมทั้งกำหนดแนวทางในการตั้งค่าใช้งานที่เหมาะสม

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกเป็นหนึ่งในเครื่องจักรสำคัญที่จำเป็นต่อกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยการฉีด โดยตัวเครื่องอาศัยหลักวิธีการให้ความร้อนแก่เม็ดพลาสติกแข็งจนเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งสู่พลาสติกเหลว จากนั้นจึงทำการป้อนพลาสติกที่ถูกหลอมเหลวด้วยการฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ที่ถูกออกแบบไว้ภายใต้ความดันสูง (Chiptiyanti et al., 2025) เพื่อสร้างชิ้นงาน การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ที่มีมิติรูปร่างและขนาดตามแม่พิมพ์พลาสติก การสร้างผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก โดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอนในการให้ความร้อน สำหรับการหลอมเปลี่ยนแปลงสถานะพลาสติกที่เป็นแข็งให้กลายเป็นของเหลว ขั้นตอนการฉีดอัดด้วยความดันสูงเพื่อขึ้นรูป และขั้นตอนการหล่อเย็น (Fu et al., 2020) ซึ่งในทุกกระบวนการที่ดำเนินระหว่างการสร้างชิ้นงานที่ได้กล่าวมานั้นมีอิทธิพลโดยตรงต่อผลลัพธ์ของคุณภาพของชิ้นงานพลาสติกที่ถูกสร้างขึ้น ทั้งคุณสมบัติเฉพาะทางกลของชิ้นงานรวมถึงความสวยงามลักษณะทางกายภาพที่พึงประสงค์ ตัวอย่างด้านคุณภาพที่พึงประสงค์ เช่น คุณสมบัติความแข็งแรง ความทนทาน ความเหนียวยืดหยุ่น ความขรุขระ-เรียบของพื้นผิวผลิตภัณฑ์ และสัดส่วนความแม่นยำสมบูรณ์ของมิติและขนาดของชิ้นงาน (Fu et al., 2020)

โดยทั่วไป เครื่องฉีดพลาสติกมีส่วนประกอบสำคัญทั้งสิ้น 3 ส่วนประกอบ ส่วนที่หนึ่งของเครื่องฉีดเป็นส่วนของชุดหัวฉีด (Injection unit) ทำหน้าที่หลอมพลาสติกลำเลียงน้ำพลาสติกไปยังจุดฉีด ส่วนนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ ให้ความร้อน (Heater) กระจกบอและสกรู (Barrel and screw) ระบบขับเคลื่อน (Drive system) และหัวฉีด (Nozzle) (Semsri, 2022) ส่วนที่สองของเครื่องเป็นชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit) ซึ่งมีหน้าที่ให้แรงหนีบเพียงพอเพื่อให้แม่พิมพ์ปิดสนิทระหว่างการฉีด

พลาสติกกรองรับความดันสูง ส่วนสุดท้ายเป็นที่ต้องของฐานเครื่อง (Base) ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวถูกออกแบบให้รองรับน้ำหนักของเครื่องฉีดพลาสติกทั้งหมด และเป็นบริเวณจุดยึดคัลอบคลุมการติดตั้งอุปกรณ์สำคัญ ระบบไฮดรอลิก ตลอดจนส่วนสนับสนุนอื่นๆ (Semsri, 2022)

2.2 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์สองแผ่น

แม่พิมพ์ฉีดเป็นการผลิตที่ใช้การฉีดหรือเติมพลาสติกหลอมเหลวเข้าไปในโพรงแม่พิมพ์ภายใต้ความดันสูง จากนั้นจึงปล่อยให้พลาสติกเย็นตัวจนแข็งตัวก่อนนำชิ้นงานออก ผลิตชิ้นงานจำนวนมาก และมีความแม่นยำสูง (ประภัสสร อ่อนเพชร และ ผกาวัลย์ หนูแก้ว, 2555) โดยประเภทของแม่พิมพ์อาจแบ่งได้หลายประเภท โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้แม่พิมพ์ที่ใช้เป็นแบบสองแผ่น

แม่พิมพ์สองแผ่น (Two plate mold) เป็นประเภทของแม่พิมพ์แบ่งตามโครงสร้างพื้นฐาน โดยในระหว่างกระบวนการฉีด แม่พิมพ์จะเปิดออกเพียงระนาบเดียว ตำแหน่งดังกล่าวจะถูกระบุไว้ในแบบประกอบแม่พิมพ์เพื่อกำหนดแนวการแยกของแม่พิมพ์และการนำชิ้นงานออก

2.3 ขนาดรูไหลของแม่พิมพ์

รูไหล (Runner) คือ เส้นทางลำเลียงน้ำพลาสติกที่หลอมเหลวเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์ โดยมีลักษณะคล้ายกับคลองลำเลียงน้ำ นำพาพลาสติกเหลวไหลไปยังชิ้นงานอย่างรวดเร็วผ่านเส้นทางที่สั้นที่สุด เพื่อลดการสูญเสียความร้อนและความดันในระหว่างกระบวนการ

ขนาดรูไหลของแม่พิมพ์มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดขนาดทางเดินของพลาสติกหลอมเหลวให้เหมาะสม เพื่อให้พลาสติกสามารถไหลเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์ได้อย่างทั่วถึงและสมบูรณ์ ลดปัญหาการไหลไม่เต็มชิ้นงาน ฟองอากาศ หรือการเกิดความดันสูงเกินไปในระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูป การกำหนดรูไหลอ้างอิงตามงานวิจัยของ Thaisawad et al. (2018) แสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$D = \frac{\sqrt{W} \times \sqrt[3]{L}}{8} \quad (1)$$

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรูไหล (มิลลิเมตร)

W คือ น้ำหนักชิ้นงานพลาสติก (กรัม)

L คือ ความยาวทางไหลของโพรงแม่พิมพ์ (มิลลิเมตร)

2.4 เหล็กกล้าคาร์บอน S50C

เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 0.48–0.55% ทำให้มีความแข็งแรงและความแข็งสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำทั่วไป อีกทั้งยังสามารถรับแรงกระแทก แรงกด และแรงบิดได้ดี รวมถึงสามารถกลึงและตัดเฉือนได้ง่ายกว่าเหล็กเกรดแข็งสูง จึงนิยมใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ (เอกชัย เพิ่มพูนพิพัฒน์, 2025) ผู้วิจัยจึงได้เลือกเหล็กประเภทดังกล่าวใช้สร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็กสำหรับงานวิจัยนี้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแม่พิมพ์

การออกแบบแม่พิมพ์เป็นหัวข้อที่มีผู้สนใจศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ดังต่อไปนี้

Thonguthai et al. (2017) ได้ออกแบบแม่พิมพ์พลาสติกแบบสามชิ้นส่วน สำหรับผลิตภัณฑ์กล่องเอนกประสงค์ การออกแบบแม่พิมพ์เริ่มต้นจากการเขียนแบบด้วยโปรแกรมช่วยเขียนแบบ SolidWorks จากนั้นทำการจำลองการไหลของพลาสติกวิเคราะห์ลดความเสี่ยงก่อนนำไปสร้างแม่พิมพ์ด้วยวัสดุเหล็ก S50C การประเมินผลประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ถูกประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยผลการวิจัยพบว่าสมรรถนะแม่พิมพ์อยู่ในระดับมากที่สุดด้วยคะแนนเฉลี่ย 4.53

Yokee et al. (2019) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์แบบสองแผ่น (Two plates) สำหรับชิ้นงานที่เกิดการเนื้อมาแม่เหล็กภายในแม่พิมพ์ โดยใช้หลักการออกแบบแม่พิมพ์มาตรฐาน ซึ่งเริ่มจากการ กำหนดจำนวนโพรงแบบ (Cavity number) จำนวน 2 โพรง การกำหนดระบบทางวิ่ง (Runner) โดยกำหนดให้เป็นแบบรูปตัวยู การกำหนดทางเข้า (Gate) ให้เป็นทางเข้าแบบสี่เหลี่ยมกว้าง 1 มิลลิเมตร และวิเคราะห์การไหลของพลาสติกโดยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ก่อนจัดสร้างแม่พิมพ์ด้วยทองเหลืองเกรด BC6C ผลการวิจัยพบว่าเพื่อลดปัญหาการฉีดขึ้นงานไม่เต็มและปัญหาการเกิดตำหนิที่ผิวหน้าชิ้นงาน ควรใช้เวลาเติมเต็มเนื้อพลาสติกที่ 3 วินาที เวลาที่ใช้ในการคงความดัน 10 วินาที ระยะเวลาหล่อเย็น 12 วินาที อุณหภูมิแม่พิมพ์ 90 องศาเซลเซียส ความดันเครื่องฉีดที่ 75 บาร์ ทั้งนี้ยังพบว่าการเลือกใช้ทองเหลืองเกรด BC6C ในส่วนเข้าแม่พิมพ์ช่วยป้องกันปัญหาชิ้นงานติดแม่พิมพ์ได้

Laomrachakul (2016) ได้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) ร่วมกับการจำลองการไหลของพลาสติกหลอมเหลวในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เพื่อกำหนดโครงสร้างและพารามิเตอร์ที่สำคัญของ

แม่พิมพ์ ได้แก่ โครงสร้างแม่พิมพ์ ตำแหน่งที่เหมาะสมของทางเข้า (Gate) ขนาดทางวิ่ง ตำแหน่งการวางที่เหมาะสมของทางวิ่งของพลาสติกหลอมเหลว (Runner) โพรงแม่พิมพ์ (Cavity) แขนนำ (Guide posts) ผลการจำลองและวิเคราะห์พบว่า การวิจัยค้นพบว่าการประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และโปรแกรมจำลองสถานการณ์การไหลของพลาสติก สามารถนำมาใช้ศึกษา วิเคราะห์ และประเมินจุดบกพร่องของกระบวนการฉีดพลาสติกและโครงสร้างแม่พิมพ์ได้ก่อนการผลิตจริง ช่วยให้ทราบถึงพฤติกรรมของการไหล การกระจายความร้อน และความเค้นที่เกิดขึ้นภายในโพรงแม่พิมพ์ ตลอดจนสามารถประมาณการความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ถูกสร้างด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบได้

Sangkas et al. (2025) ได้ศึกษาการออกแบบระบบระบายอากาศในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อแก้ไขปัญหาชิ้นงานแฉกจากวัสดุพลาสติกถูกฉีดไม่เต็ม ด้วยหลักการออกแบบระบบระบายอากาศ (Air Vent System Design) และการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูป ผลการดำเนินการออกแบบกำหนดให้แม่พิมพ์มีช่องระบายอากาศขนาด ความกว้าง 2 มิลลิเมตร ลึก 0.05 มิลลิเมตร และความกว้าง 10 มิลลิเมตร ลึก 0.1 มิลลิเมตร โดยกำหนดค่าปัจจัยควบคุมการฉีดด้วยความดัน 54 บาร์ แรงปิดแม่พิมพ์ 100 ตัน อุณหภูมิหลอมเหลว 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแม่พิมพ์ 90 องศาเซลเซียส ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบช่องระบายอากาศด้วยหลักการออกแบบระบบระบายอากาศ (Air vent system design) สามารถระบายอากาศที่ตกค้างภายในโพรงแม่พิมพ์ได้ และการตั้งค่าพารามิเตอร์กระบวนการฉีดที่เหมาะสม สามารถลดปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มได้

Thaisawat et al. (2019) ได้ศึกษาและพัฒนาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบ 2 แผ่น (Two-Plate Mold) สำหรับผลิตด้ามจับไฟฉาย โดยกระบวนการออกแบบแม่พิมพ์เริ่มจากการออกแบบโครงสร้างแม่พิมพ์ที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบ Unigraphics NX การออกแบบครอบคลุม การกำหนดแกนแม่พิมพ์ โพรงแม่พิมพ์ ระบุรูฉีด ความยาวและระบบของรูวิ่ง รูเข้า ตำแหน่งการปลดขึ้นงานและจำนวนของปุ่มปลดขึ้นงาน จากนั้นทำการจำลองการไหลพลาสติกด้วยโปรแกรม Moldex3D filling melt front time เพื่อวิเคราะห์และกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติกโดยประมาณเบื้องต้น ก่อนนำแบบแม่พิมพ์ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ ก่อนนำไปจัดสร้างและทำการทดสอบเพื่อสรุปหาค่าพารามิเตอร์ในการฉีดที่เหมาะสม และการวัดผลความบกพร่องของคุณภาพชิ้นงานด้วยการสังเกต ตามหลักความคุ้มค่าด้วยการสุ่มตรวจสอบ โดย

ชิ้นงานจะพิจารณาว่าสมบูรณ์เมื่อ ชิ้นงานเต็ม ไม่ยุบ ไม่เสียรูป ไม่มีเส้นวิ่ง และผิวชิ้นงานไม่มีรอย ผลการวิจัยพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกที่ได้จากผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนไปจากการประมาณการด้วยโปรแกรมจำลองเล็กน้อย ทั้งนี้หลังจากปรับค่าพารามิเตอร์พบว่าควรกำหนด อุณหภูมิการฉีดที่ 220 องศาเซลเซียส ความดันฉีดที่ 170 เมกะปาสคาล ความดันย้า 150 เมกะปาสคาล เวลาในการฉีด 1.5 วินาที เวลาหล่อเย็น 20 วินาที

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบแม่พิมพ์ พบว่าการออกแบบแม่พิมพ์มีหลักการและวิธีการที่ต่างกันอย่างชัดเจนตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ลักษณะของชิ้นงาน และปัญหาที่งานวิจัยต้องการแก้ไข อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่พบมีแนวทางการดำเนินงานที่สำคัญร่วมกัน โดยกระบวนการเริ่มจากการออกแบบโครงสร้างแม่พิมพ์ โดยต้องมีการกำหนดองค์ประกอบสำคัญของแม่พิมพ์ ได้แก่ โพรงแม่พิมพ์ (Cavity) ความยาวขนาดและระบบทางวิ่ง (Runner) ทางเข้าพลาสติก (Gate) และชิ้นส่วนประกอบอื่นๆ ตามความเหมาะสม ทั้งนี้พบว่ากระบวนการออกแบบโครงสร้างดังกล่าว มีทั้งการอาศัยการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทางวิศวกรรม ตลอดจนการใช้โปรแกรมช่วยออกแบบแม่พิมพ์สำเร็จรูป หลังจากการออกแบบ นักวิจัยมักตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรมจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบความเข้ากันได้ในการประกอบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ หรือทำการจำลองการไหลของน้ำวัสดุเหลว เพื่อศึกษาพฤติกรรมและการไหล การกระจายความร้อน การกำหนดรูปแบบการตั้งค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการพิมพ์เบื้องต้น และคาดการณ์ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นก่อนการสร้างแม่พิมพ์

การสร้างแม่พิมพ์ดำเนินการตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าแม่พิมพ์นั้นสร้างจากวัสดุโลหะ ซึ่งการเลือกใช้วัสดุขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน คุณสมบัติที่ต้องการ และข้อจำกัดของงานวิจัยแต่ละเรื่อง โดยวัสดุที่พบในการศึกษาที่ทบทวน ได้แก่ ทองเหลือง และเหล็กกล้า ภายหลังจากการสร้างแม่พิมพ์ จะมีการทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการพิมพ์ โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญที่พบในงานวิจัยที่ทบทวน ได้แก่ ความดันฉีด อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิแม่พิมพ์ เวลาในการฉีด และเวลาหล่อเย็น เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างมีคุณภาพ

สำหรับการประเมินที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะและความเหมาะสมของแม่พิมพ์ พบว่างานวิจัยที่ผ่านมาใช้วิธีที่แตกต่างกัน ได้แก่ การวัดผลประเมินแม่พิมพ์ด้วยคะแนนระดับความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ การตรวจสอบคุณภาพความสมบูรณ์ของ

ชิ้นงานที่แม่พิมพ์ผลิตได้ และการประเมินความสามารถในการลดข้อบกพร่องของกระบวนการฉีดขึ้นรูป

3. วิธีการดำเนินงาน วัสดุและอุปกรณ์

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

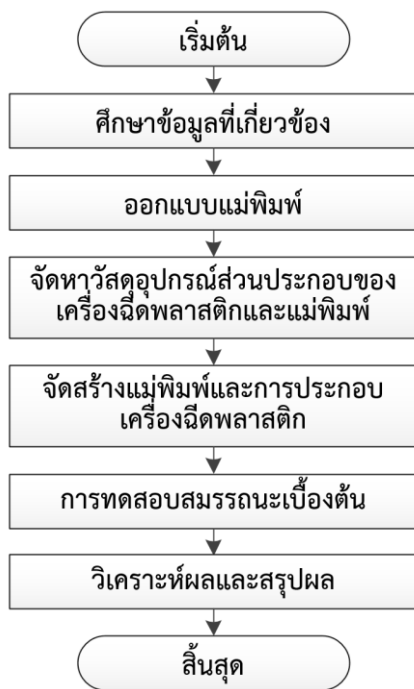
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อ การออกแบบ จัดสร้าง ตลอดจนทดสอบสมรรถนะการทำงานของแม่พิมพ์เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อกำหนดแนวทางในการตั้งค่าใช้งานที่เหมาะสม ทั้งนี้ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การศึกษาข้อมูล การออกแบบแม่พิมพ์ตามหลักพื้นฐานการฉีดขึ้นรูปและการจำลองการประกอบ (Azuddin et al., 2015) การจัดหาเครื่องฉีดพลาสติกแรงดันสูงและจัดหาวัสดุสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก จากนั้นจึงทำการจัดสร้างแม่พิมพ์และประกอบแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกแรงดันสูง ก่อนทำการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้น

การทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ที่ได้สร้างขึ้น ดำเนินการเพื่อกำหนดแนวทางในการตั้งค่าการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้น เพื่อให้ผู้สาคิสามารถใช้งานเครื่องฉีดพลาสติกได้อย่างเหมาะสมและมีเสถียรภาพระหว่างกระบวนการเรียนการสอน รวมทั้งใช้เป็นแนวทางสำหรับการสาธิตการปฏิบัติงานจริง

ในการวิจัยนี้กำหนดให้อุณหภูมิหลอมละลายเป็นปัจจัยที่ศึกษา โดยทำการทดสอบ 5 ระดับ ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 150 160 170 180 และ 190 องศาเซลเซียส แต่ละระดับดำเนินการทดสอบซ้ำจำนวน 3 ครั้ง คิดเป็น 15 การทดสอบต่อวัสดุหนึ่งชนิด โดยใช้วัสดุทดสอบ 2 ชนิด ได้แก่ พลาสติกโพลีโพรพิลีน (PP) และพลาสติกโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ส่งผลให้มีจำนวนการทดสอบรวมทั้งสิ้น 30 การทดสอบ

โดยมีตัวแปรควบคุมซึ่งถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ตลอดกระบวนการทดสอบ ได้แก่ ความดันฉีด ระยะเวลาหลอมเม็ดพลาสติก ระยะเวลาเติมเต็ม และระยะเวลาพักแข็งตัว สำหรับวัสดุที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนและเม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง

โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานจะพิจารณาจากผลการผลิตชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์ กล่าวคือค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเป็นค่าที่สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างสมบูรณ์ โดยชิ้นงานต้องถูกเติมเต็ม ไม่มีครีบ ไม่มีการยุบตัว ไม่มีการหดตัว และไม่มีประกายเงิน ทั้งนี้ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 1

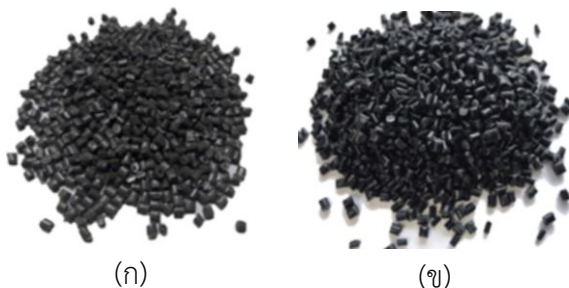


รูปที่ 1 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของแม่พิมพ์ประกอบด้วย เครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กยี่ห้อ BORX ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ทำความร้อนได้สูงสุด 350 องศาเซลเซียส เครื่องเทอร์โมไฮโกรมิเตอร์ (Thermo-Hygrometer) สำหรับวัดอุณหภูมิ นาฬิกาจับเวลา เครื่องชั่งดิจิทัล

วัสดุการทดสอบในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย เม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) และเม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene: HDPE) รวมค่าวัสดุอุปกรณ์วิจัยโดยประมาณทั้งสิ้น 29,200 บาท โดยตัวอย่างเม็ดพลาสติกแสดงได้ดังรูปที่ 2

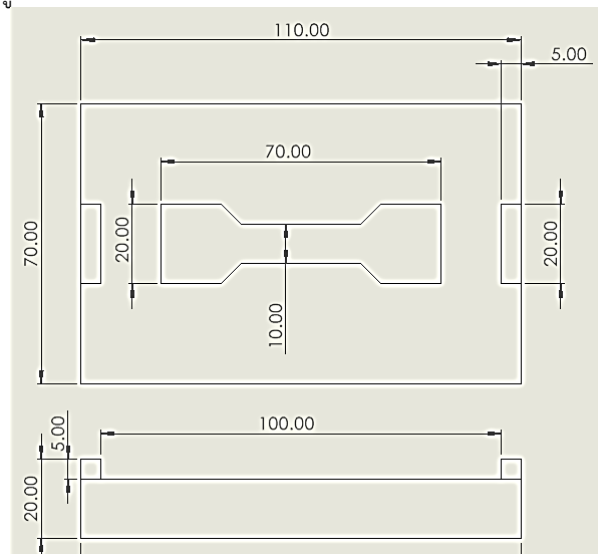


รูปที่ 2 ภาพเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (ก) เม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (ข)

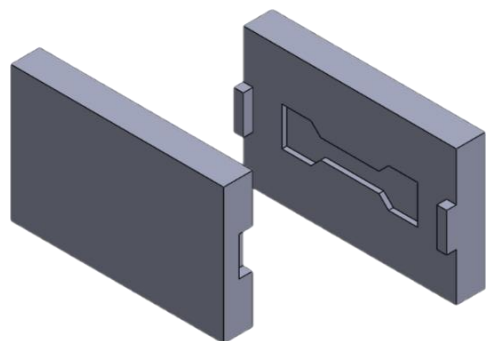
4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์

จากการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับผลิตชิ้นงานรูปดัมเบล (Dumbbell Specimen) ได้กำหนดขนาดรูโหลของแม่พิมพ์จากสมการที่ (1) ซึ่งมีขนาดประมาณ 3 มิลลิเมตร และกำหนดขนาดโพรงแม่พิมพ์ให้สอดคล้องกับขนาดชิ้นงานที่มีความกว้างสุทธิ 20 มิลลิเมตร และความยาว 70 มิลลิเมตร ผลการออกแบบและจำลองการประกอบด้วยโปรแกรมช่วยออกแบบ แสดงให้เห็นว่าแม่พิมพ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันได้อย่างเหมาะสม โดยแบบเขียนของแม่พิมพ์พร้อมด้วยการระบุขนาดส่วนประกอบโครงสร้าง แสดงได้ดังรูปที่ 3 และภาพจำลองการประกอบแบบสามมิติแสดงดังรูปที่ 4

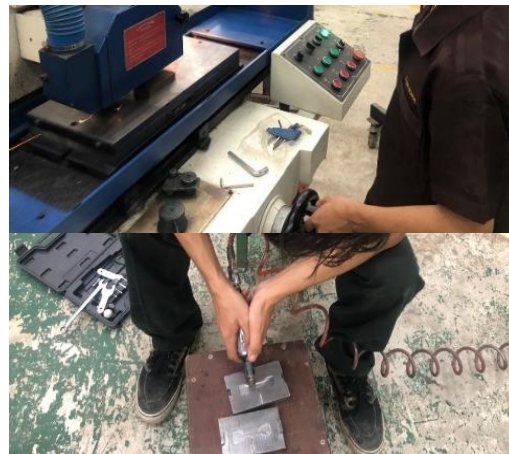


รูปที่ 3 รายละเอียดของแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก



รูปที่ 4 ภาพสามมิติสำหรับการจำลองการประกอบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

แม่พิมพ์ถูกสร้างขึ้นตามแบบที่ได้สร้างและผ่านการจำลอง โดยเริ่มจากนำเหล็ก S50C วัสดุหลักของแม่พิมพ์ มาตัดให้ได้ ขนาดกว้าง 70 มิลลิเมตร ยาว 110 มิลลิเมตร และสูง 25 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น จากนั้นดำเนินการสร้างโครงแม่พิมพ์ ด้วยเครื่องกัด และสร้างรูไหลโดยการประกบแม่พิมพ์ทั้งสอง แผ่นก่อนทำการเจาะรูไหลให้ตรงกัน สุดท้ายทำการขัดผิวโครง แม่พิมพ์เพื่อปรับปรุงคุณภาพผิวและลดความขรุขระของ ผิวชิ้นงานโดยผลการสร้างพบว่าแม่พิมพ์สามารถผลิตได้ตาม แบบที่กำหนด และสามารถประกอบกันได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถติดตั้งเข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกแนวตั้งขนาดเล็กยี่ห้อ BORX ได้อย่างเหมาะสมและสามารถฉีดสร้างชิ้นงานได้ ทั้งนี้ ภาพระหว่างการสร้างแม่พิมพ์แสดงดังรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 8 และ ภาพแม่พิมพ์ที่ประกอบเข้ากับเครื่องฉีดพลาสติกพร้อมสร้าง ชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 การขัดผิวแม่พิมพ์ให้เรียบ



รูปที่ 5 การเตรียมเหล็กกล้าคาร์บอน S50C ตามขนาดที่ออกแบบ



รูปที่ 9 แม่พิมพ์ที่ถูกล็อกประกบด้วยปากกาจับชิ้นงานพร้อมเริ่มทำการฉีด สร้างชิ้นงาน



รูปที่ 6 การสร้างโครงแม่พิมพ์ด้วยเครื่องกัด



รูปที่ 7 การเจาะเพื่อสร้างรูไหลของแม่พิมพ์

4.2 ผลการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้น

ผลการทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องฉีดพลาสติก และแม่พิมพ์ต้นแบบที่พัฒนาขึ้น ดำเนินการเพื่อศึกษา ความสามารถในการทำงานร่วมกันของระบบฉีดขึ้นรูปและ กำหนดแนวทางการตั้งค่าที่เหมาะสม โดยทดสอบกับวัสดุเม็ด พลาสติก 2 ชนิด ได้แก่ พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และ พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

ผลการทดสอบประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ การประเมิน ความสามารถในการหลอมละลายของวัสดุ การประเมินการทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องฉีดและแม่พิมพ์ ระหว่าง กระบวนการฉีดขึ้นรูป และการประเมินคุณภาพของชิ้นงานที่ ผลิตได้จากการทดสอบ โดยผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการหลอมละลายของเม็ดพลาสติกในชุด
หลอมเหลวของเครื่องฉีดพลาสติก

ชนิดวัสดุ	อุณหภูมิ ทดสอบ C°	สถานะของเม็ดพลาสติก
PP	150	คงเป็นก้อนแข็งบางส่วน
PP	160	เริ่มทำการหลอมละลาย
PP	170	การหลอมละลายที่สมบูรณ์
PP	180	การหลอมละลายที่สมบูรณ์
PP	190	การหลอมละลายที่สมบูรณ์
HDPE	150	คงเป็นก้อนแข็งบางส่วน
HDPE	160	คงเป็นก้อนแข็งบางส่วน
HDPE	170	เริ่มทำการหลอมละลาย
HDPE	180	การหลอมละลายที่สมบูรณ์
HDPE	190	การหลอมละลายที่สมบูรณ์

จากตารางที่ 1 แสดงผลการทดสอบการหลอมละลายของเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) และโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene: HDPE) ที่ช่วงอุณหภูมิ 150 ถึง 190 องศาเซลเซียส ด้วยเวลาหลอม 2 นาที โดยเริ่มนับเวลาเมื่อกระบอกหลอมเครื่องฉีดพลาสติกมีอุณหภูมิถึงอุณหภูมิทดสอบ

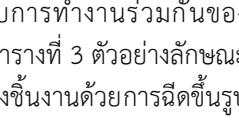
ผลการทดสอบพบว่า เม็ดพลาสติกทั้งสองชนิดมีการหลอมละลายแตกต่างกันตามช่วงอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ โดยพบว่าเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนเริ่มหลอมละลายที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสและหลอมละลายสมบูรณ์ที่ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป ในขณะที่พลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงใช้อุณหภูมิสำหรับหลอมละลายเม็ดพลาสติกสูงกว่า โดยเริ่มหลอมละลายที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสและหลอมละลายสมบูรณ์ที่ อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานร่วมกันของแม่พิมพ์ต้นแบบและเครื่องฉีดพลาสติกในการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

ชนิดวัสดุ	การทดสอบที่	อุณหภูมิในการหลอมละลาย (°C)	สถานะของชิ้นงานหลังการฉีด	
			ความสมบูรณ์	หมายเหตุ
PP	PP:1	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
PP	PP:2	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
PP	PP:3	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
PP	PP:4	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็มและมีครีบ

ชนิดวัสดุ	การทดสอบที่	อุณหภูมิในการหลอมละลาย (°C)	สถานะของชิ้นงานหลังการฉีด	
			ความสมบูรณ์	หมายเหตุ
PP	PP:5	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็มและมีครีบ
PP	PP:6	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็มและมีครีบ
PP	PP:7	170	สมบูรณ์	-
PP	PP:8	170	สมบูรณ์	-
PP	PP:9	170	สมบูรณ์	-
PP	PP:10	180	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานมีตำหนิยุบตัวมีประกายเงิน
PP	PP:11	180	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานมีตำหนิยุบตัวมีประกายเงิน
PP	PP:12	180	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานมีตำหนิยุบตัวมีประกายเงิน
PP	PP:13	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานหดตัว
PP	PP:14	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานหดตัว
PP	PP:15	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานหดตัว
HDPE	PE:1	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
HDPE	PE:2	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
HDPE	PE:3	150	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานไม่เต็ม
HDPE	PE:4	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว
HDPE	PE:5	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว
HDPE	PE:6	160	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว
HDPE	PE:7	170	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบมีตำหนิ
HDPE	PE:8	170	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบมีตำหนิ
HDPE	PE:9	170	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบมีตำหนิ
HDPE	PE:10	180	สมบูรณ์	-
HDPE	PE:11	180	สมบูรณ์	-
HDPE	PE:12	180	สมบูรณ์	-
HDPE	PE:13	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว
HDPE	PE:14	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว
HDPE	PE:15	190	ไม่สมบูรณ์	ชิ้นงานยุบหดตัว

ตารางที่ 3 ตัวอย่างลักษณะชิ้นงานที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์จากการทดสอบ

ชนิดวัสดุ	อุณหภูมิ	สถานะความสมบูรณ์	ภาพชิ้นงาน
PP	150	ไม่สมบูรณ์ ชิ้นงานไม่เต็ม	
PP	160	ไม่สมบูรณ์ ชิ้นงานไม่เต็ม และมีครีบ	
PP	170	สมบูรณ์	
PP	180	ไม่สมบูรณ์ มีตำหนิยุบตัวมี ประกายเงิน	
PP	190	ชิ้นงานหดตัว	
HDPE	150	ไม่สมบูรณ์ ชิ้นงานไม่เต็ม	
HDPE	160	ไม่สมบูรณ์ ชิ้นงานยุบหดตัว	
HDPE	170	ไม่สมบูรณ์ ชิ้นงานยุบมี ตำหนิ	
HDPE	180	สมบูรณ์	
HDPE	190	ไม่สมบูรณ์ ยุบหดตัว	

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานร่วมกันของแม่พิมพ์และเครื่องฉีดพลาสติก และตารางที่ 3 ตัวอย่างลักษณะชิ้นงานที่เกิดจากการทดสอบการสร้างชิ้นงานด้วยการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกโพลีโพรพิลีน (PP) และโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ช่วงอุณหภูมิ 150 ถึง 190 องศาเซลเซียส เวลาหลอม 2 นาที ระยะเวลาเต็มเต็ม 10 วินาที ช่วงเวลาพักแข็งตัว 30 วินาที ที่ความดัน 0.4 เมกะพาสคัล (MPa) สำหรับพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และ 0.6 เมกะ

พาสคัล (MPa) พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

ผลการทดสอบ พบผลเชิงประจักษ์ว่าอุณหภูมิในการหลอมละลายมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่สร้างทั้ง 2 ชนิดพลาสติก โดยสำหรับพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีนพบว่าสามารถผลิตชิ้นงานที่สมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เมื่อกำหนดอุณหภูมิต่ำกว่าค่าดังกล่าว จะทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายได้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้สร้างชิ้นงานได้ไม่เต็มชิ้น ขณะที่การกำหนดอุณหภูมิสูงกว่า 170 องศาเซลเซียสพบว่าชิ้นงานที่สร้างเกิดตำหนิบนชิ้นงาน เช่น การยุบตัว ประกายเงิน และการหดตัวของชิ้นงาน เนื่องจากสภาวะการหลอมไม่เหมาะสมกับปัจจัยควบคุมที่กำหนดไว้ในทางทดลอง

สำหรับพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง พบว่าสามารถผลิตชิ้นงานที่สมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยเมื่อกำหนดอุณหภูมิต่ำกว่าค่าดังกล่าว จะทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายได้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการเติมไม่เต็ม การยุบตัว และการหดตัวของชิ้นงาน หรือพบตำหนิบนชิ้นงาน ทั้งนี้เมื่อกำหนดอุณหภูมิสูงถึง 190 องศาเซลเซียสพบว่าชิ้นงานที่สร้างเกิดการยุบตัวและหดตัว ซึ่งไม่เหมาะสมกับปัจจัยควบคุมที่กำหนดไว้ในทางทดลอง

จากผลการทดสอบสามารถสรุปแนวทางการใช้งานเครื่องฉีดพลาสติกร่วมกับแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบและพัฒนาสำหรับการสร้างชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็กได้ว่า ควรกำหนดอุณหภูมิการหลอมสำหรับเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) ที่ 170 องศาเซลเซียส ที่ความดันฉีด 0.4 เมกะพาสคัล (MPa) และเม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) ที่ 180 องศาเซลเซียสภายใต้ความดันฉีด 0.6 เมกะพาสคัล (MPa) โดยใช้ระยะเวลาหลอม 2 นาที ระยะเวลาเต็มเต็มแม่พิมพ์ 10 วินาที และระยะเวลาพักแข็งตัว 30 วินาที

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกขนาดเล็กและ ทดสอบสมรรถนะการทำงานเบื้องต้นของแม่พิมพ์เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อกำหนดแนวทางในการตั้งค่าใช้งานที่เหมาะสมสำหรับการสร้างชิ้นงาน โดยใช้พลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) และโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) เป็นวัสดุทดสอบ

ผลการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์พบว่า แม่พิมพ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถประกอบได้ตามแบบที่กำหนด มีความถูกต้องของขนาดและตำแหน่งชิ้นส่วนต่าง ๆ และสามารถติดตั้งใช้งานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กได้อย่างเหมาะสม ผลการ

ทดสอบสมรรถนะพบว่าแม่พิมพ์ที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถทำงานร่วมกับเครื่องฉีดพลาสติกขนาดเล็กเพื่อสร้างชิ้นงานด้วยวัสดุทดสอบทั้งสองชนิดได้ตามประสงค์

จากการทดสอบสมรรถนะพบว่า อุณหภูมิในการหลอมละลายมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานที่ผลิต โดยจากการทดสอบสามารถกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการใช้งานของเครื่องฉีดพลาสติกและแม่พิมพ์ที่พัฒนาขึ้น โดยสำหรับวัสดุเม็ดพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) สามารถหลอมละลายสมบูรณ์และผลิตชิ้นงานที่สมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิความดัน 0.4 เมกะพาสคัล ขณะที่เม็ดพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) สามารถหลอมละลายสมบูรณ์และผลิตชิ้นงานที่สมบูรณ์ได้ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ภายใต้อุณหภูมิความดัน 0.4 เมกะพาสคัลภายใต้เงื่อนไขระยะเวลาหลอมเม็ดพลาสติกสองชนิดที่ 2 นาที ระยะเวลาเติมเต็มแม่พิมพ์ 10 วินาที และระยะเวลาพักแข็งตัว 30 วินาที อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบพบว่า การกำหนดอุณหภูมิหลอมละลายที่แตกต่างกันจากค่าที่เหมาะสมส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องของชิ้นงาน โดยสามารถอธิบายผลที่เกิดขึ้นได้ 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่กำหนดอุณหภูมิหลอมละลายต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม และกรณีที่กำหนดอุณหภูมิหลอมละลายสูงกว่าค่าที่เหมาะสม

โดยเมื่อกำหนดอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่เหมาะสม เม็ดพลาสติกจะหลอมละลายได้ไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้พลาสติกหลอมมีความหนืดสูงและไหลเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์ได้ยาก ทำให้เกิดการเติมเนื้อพลาสติกไม่เต็มชิ้นงานในบางส่วน ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้พลาสติกบางส่วนละลายประกอบกับการให้แรงดันมากเกินไปหรือแรงประกบของแม่พิมพ์ปิดแม่พิมพ์ไม่เพียงพอ ส่งผลให้เนื้อพลาสติกไหลเล็ดออกไปนอกเขตโพรงแม่พิมพ์ ทำให้ชิ้นงานการเกิดครีบ ผลดังกล่าวคล้องกับการวิจัยของ Mawardi et al. (2019) และ Hedayati-Dezfooli and Moayyedian (2026)

ทั้งนี้เมื่อกำหนดอุณหภูมิหลอมละลายสูง เม็ดพลาสติกจะหลอมละลายเกินสมบูรณ์ และมีการสะสมของความร้อนส่วนเกิน เมื่อพลาสติกถูกฉีดเข้าสู่โพรงแม่พิมพ์ อุณหภูมิของพลาสติกหลอมในแต่ละตำแหน่งภายในแม่พิมพ์จะมีความแตกต่างกัน โดยบริเวณที่อยู่ใกล้ทางหลักจะมีอุณหภูมิสูงกว่าส่งผลให้พลาสติกในแต่ละส่วนเกิดการเย็นตัวและแข็งตัวในอัตราที่ไม่เท่ากัน ประกอบกับเวลาฉีดที่ไม่เพียงพอ นำไปสู่การหดตัวทำให้ชิ้นงานมีขนาดไม่สม่ำเสมอ การอธิบายดังกล่าวเป็นไปแนวทางเดียวกับการอธิบายผลของ Wang et al. (2026) ทั้งนี้ตัวชิ้นงานที่ไม่สม่ำเสมอหรือหดตัวจะส่งผลกระทบต่อชิ้นงานในส่วนบริเวณส่วนขึ้นงานที่มีความความหนา เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ (Hedayati-Dezfooli & Moayyedian, 2026) โดยทั้งนี้อุณหภูมิหลอมละลายสูงเกินไป

ยังส่งผลให้พลาสติก หรือสารตกค้างที่อยู่ในพลาสติกเปลี่ยนสภาพกลายเป็นก๊าซแทรกตัวอยู่ในพลาสติกหลอม และปรากฏเป็นรอยประกายเงินบนผิวชิ้นงานระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน (Bortoletto et al., 2025)

งานวิจัยนี้ได้ศึกษารูปแบบการตั้งค่าปัจจัยอุณหภูมิหลอมเหลว ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่อาจมีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานเพิ่มเติม เช่น ความดันฉีด อุณหภูมิแม่พิมพ์ ระยะเวลาหลอม ระยะเวลาฉีด ระยะเวลาพักหล่อเย็น ด้วยการออกแบบการทดลองทางสถิติ รวมถึงศึกษาความแม่นยำทางมิติของชิ้นงานที่สร้างได้ นอกจากนี้ แม่พิมพ์และระบบฉีดพลาสติกขนาดเล็กสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดสู่การใช้งานเพื่อผลิตชิ้นงานพลาสติกเชิงอุตสาหกรรม ทั้งนี้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปต่อยอดวิจัยเชิงการศึกษาเพื่อพัฒนาเป็นสื่อและอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนด้านกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก เพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ได้ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต (ค.อ.บ. วิศวกรรมอุตสาหกรรม) สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่กรุณาให้การสนับสนุนในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- Azuddin, M., Choudhury, I. A., & Taha, Z. (2015). Development and performance evaluation of a low-cost custom-made vertical injection molding machine [Article]. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 37(1), 79–86. <https://doi.org/10.1007/s40430-014-0145-z>
- Bortoletto, A., Orfano, A., Sorgato, M., & Lucchetta, G. (2025). Silver streaks dependence on processing conditions in the injection molding of post-consumer recycled polypropylene [Article]. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 63, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2025.09.005>
- Chiptiyanti, C., Sugeng Mulyono, R., Luqyana, D., & Milah, A. (2025). Design of double barrel injection molding machine prototype support table using VDI 2221 method. AIP Conference Proceedings,
- Fakthong, M., Meenu, K., Chuenchomnakjad, S., Khruaphue, T., & Lonphan, K. (2024). Design And Development of The Metal Surface Polishing Machine. *Industrial*

- Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal*, 2, 246-255.
- Fu, H., Xu, H., Liu, Y., Yang, Z., Kormakov, S., Wu, D., & Sun, J. (2020). Overview of Injection Molding Technology for Processing Polymers and Their Composites. *ES Materials and Manufacturing*, 8, 3 - 23. <https://doi.org/10.30919/esmm5f713>
- Hedayati-Dezfooli, M., & Moayyedian, M. (2026). Integrated Optimization for Reducing Injection Molding Defects in Charcoal Canisters [Article]. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 10(4), Article 114. <https://doi.org/10.3390/jmmp10040114>
- Kauffer, P. H. (2021). *Injection molding: Process, design and applications* [Book]. Nova Science Publishers, Inc.
- Laomrachakul, W. (2016). The Design of Plastic Injection Mold Using Finite Element Analysis. *Naresuan University Engineering Journal*, 11(1), 101-109.
- Mawardi, I., Jannifar, A., & Lubis, H. (2019). Effect Of Injection Temperature On Defect Plastic Products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 536(1), 012102. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012102>
- Promseenong, P., Sema, P., & Chuenchomnakjad, S. (2024). Creation and Efficiency Determination of a Modular Refrigeration and Air Conditioning Practice Set According to the National Skilled Labor Standards. *Journal of Technical and Engineering Education*, 15(1), 29-39.
- Sangkas, T., Chainawakul, A., Aukaranarakul, S., Kowtakul, P., & Manokruang, S. (2025). Solving Short Shot Defect by Designing Air Vents in Plastic Injection Molds for Coffee Cups with Biodegradable Material. *Research on Modern science and Utilizaing Technological Innovation Journal*, 18(2), 81-90.
- Semsri, A. (2022). Determination of Optimum Temperature of Barrel Heater for Reducing Waste in Plastic Injection Molding Process of Tractor Turn Signal Cover Parts using DMAIC Techniques. *Ladkrabang Engineering Journal*, 39(3), 111-130.
- Silva, H. M. (2025). A review of the design optimization of conformal cooling channels in injection molds [Review]. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 138(7), 2653-2671. <https://doi.org/10.1007/s00170-025-15234-2>
- Stemmler, S., Vukovic, M., Ay, M., Heinisch, J., Lockner, Y., Abel, D., & Hopmann, C. (2020). Quality control in injection molding based on norm-optimal iterative learning cavity pressure control. *IFAC-PapersOnLine*, 10380-10387,
- Thaisawad, P., Dounghongkum, T., & Samackthai, K. (2018). Design and Construction Plastic Injection LED FLASHLIGHT (Part Lens & Top Lens). *Vocational Education Central Region Journal*, 2(2), 37-45.
- Thaisawad, P., Unsuphan, P., & Jantlakajorn, T. (2019). Plastic Injection Mold Design and Construction for LED flashlight Handle, Handshel Worklam. *Vocational Education Central Region Journal*, 3, 33-42.
- Thonguthai, Wongpan, A., Nimreang, R., Suksomrereewong, U., & Ueaim, A. (2017). Three Plate Mold : Tray. *Vocational Education Central Region Journal*, 1(2), 14-24.
- Wang, J., Zheng, K., Liu, T., Liu, H., Cui, H., Li, H., Liang, Y., Zhou, S., Li, F., Wang, D., Fan, C., Shang, J., He, Q., Cheng, Y., Jiang, B., Qi, J., Chang, L., & Shuai, W. (2026). 4D injection molding [Article]. *Nature Communications*, 17(1), Article 4797. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-71538-1>
- Yokee, C., Hearunyakij, M., Layluk, V., & Chatakom, S. (2019). The Study of Mold Construction and Injection Process for PA6 and Ferrite Bonded Magnet Compound Plastic Parts. *Sripatum Review of Science and Technology*, 11.
- เอกชัย เพิ่มพูนพิพัฒน์. (2025, 2026/05/24). S50C คืออะไร? จุดเด่น คุณสมบัติ และการใช้งานของเหล็กกล้า S50C. บริษัท พี แอนด์ พี สตีล [ไทยแลนด์] จำกัด. <https://pandpsteel.co.th>
- ประภัสสร อ่อนเพชร, & ผกาวัลย์ หนูแก้ว. (2555). การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน [ปริญญา นิพนธ์, มหาวิทยาลัยนเรศวร]. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่เปรียบเทียบกับ
กฎกำหนดส่งเร็วที่สุด: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง
Solving Production Scheduling Problems Using a Local Search Metaheuristic in
Comparison with the Earliest Due Date Rule:
A Case Study of the Cosmetics Industry

สายสัมพันธ์ ชื่นเจริญ¹, ธีรภพ เกษศิศิลป², เอกราช กองสี², เสาวลักษณ์ ทองกลั่น¹ และ ภาณุ บุรณจารุกร^{1*}
Saisumpan Sooncharoen¹, Thiraphob Ketsin², Aekarat Konsee², Saowalak Tongklin¹ and Panu Buranajarukorn^{1*}

¹ อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ประเทศไทย

² นิสิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก ประเทศไทย

* Corresponding author e-mail: panub@nu.ac.th

(Received: 19 May 2026, Revised 28 May 2026, Accepted 22 June 2026)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ เพื่อหาลำดับการผลิตที่เหมาะสมภายใต้ข้อจำกัดของระบบการผลิตจริง ปัญหาการจัดตารางการผลิตเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงในงานวิจัยการดำเนินงาน เนื่องจากจำนวนทางเลือกของลำดับงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของปัญหา ทำให้การหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีเชิงแน่นอนอาจใช้เวลาในการคำนวณสูง งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีค้นหาเฉพาะที่ร่วมกับกฎกำหนดส่งเร็วที่สุดในการจัดลำดับงานและตารางการทำงาน เพื่อเปรียบเทียบและค้นหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพสำหรับกรณีศึกษาขนาดต่าง ๆ จากข้อมูลการผลิตของอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ตัวชี้วัดหลักของผลลัพธ์คือค่าต้นทุนรวมของงานทั้งหมดในระบบ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนรวมจากการจัดตารางการผลิตให้ต่ำที่สุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีค้นหาเฉพาะที่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีในการลดต้นทุนรวมได้สูงสุด 4,000 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 26.17 ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดหลายประการในภาคอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: การจัดตารางการผลิต, วิธีค้นหาเฉพาะที่, กฎกำหนดส่งเร็วที่สุด, ต้นทุนรวมของงานทั้งหมด, อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

Abstract

This study presents a production scheduling approach for the cosmetic products industry by focusing on the application of a Local Search metaheuristic to determine effective production sequences under practical manufacturing constraints. Production scheduling is a highly complex problem in operations research because the number of possible job sequences increases rapidly as the problem size becomes larger. As a result, exact optimization approaches may require substantial computational effort, particularly for practical industrial cases. Therefore, this study applies a Local Search method combined with the Earliest Due Date rule to compare and identify effective solutions for different case study sizes obtained from cosmetic production data. The main performance measure is the total cost of all jobs in the system, with the objective of minimizing the overall production scheduling cost. The experimental results indicate that the Local Search approach can provide effective solutions for reducing total cost and is suitable for addressing complex production scheduling problems with multiple practical constraints in industrial applications.

Keywords: Production Scheduling, Local Search, Earliest Due Date Rule, Total Cost of All Jobs, Cosmetics Industry

1. บทนำ

การจัดตารางการผลิตเป็นกระบวนการสำคัญในการบริหารจัดการระบบการผลิต เนื่องจากการกำหนดลำดับงาน การจัดสรรงานให้กับทรัพยากรหรือเครื่องจักร และการควบคุมให้งานสามารถดำเนินไปตามระยะเวลาที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในระบบการผลิตที่มีเครื่องจักรหลายหน่วยหรือมีงานหลายรายการ ลำดับของงานที่ถูกจัดสรรให้แก่เครื่องจักรแต่ละเครื่องจะส่งผลโดยตรงต่อค่าชี้วัดด้านการผลิต เช่น เวลาปิดงานของระบบ เวลาการไหลของงาน เวลาล่าช้า และต้นทุนรวมของระบบ ดังนั้น การจัดตารางการผลิตที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ลดความล่าช้า และลดต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานในภาคอุตสาหกรรม (เชษฐา ชำนาญหล่อ, จันจิรา คงชื่นใจ, ธนพันธ์ คงทอง และ กาญจนา บุญชู, 2562)

อย่างไรก็ตาม ปัญหาการจัดตารางการผลิตมักเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง โดยเฉพาะเมื่อจำนวนงาน จำนวนเครื่องจักรหรือเงื่อนไขของระบบการผลิตเพิ่มขึ้น ทำให้จำนวนทางเลือกของลำดับงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของปัญหางานวิจัยด้านการจัดตารางงานได้อธิบายว่าปัญหาลักษณะนี้มักอยู่ในกลุ่มปัญหาแบบ NP-Hard หรือ Combinatorial Optimization ซึ่งการหาคำตอบด้วยวิธีเชิงแน่นอนอาจใช้เวลาในการคำนวณสูงมากเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น เช่น กรณีที่มีงานจำนวน n งาน จะมีความเป็นไปได้ของลำดับงานมากถึง $n!$ ส่งผลให้การแก้ปัญหาด้วยวิธีการแบบเดิมทำได้ยากและอาจไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในปัญหาจริงของภาคอุตสาหกรรม (อดุลย์ พุกอินทร์, 2557)

จากข้อจำกัดดังกล่าว วิธีฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติกจึงถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต เนื่องจากสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพดีภายในระยะเวลาที่เหมาะสม แม้ว่าจะไม่สามารถรับประกันได้ว่าคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเชิงคณิตศาสตร์เสมอไป แต่วิธีดังกล่าวมีความยืดหยุ่นและเหมาะสมกับปัญหาที่มีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมากหรือมีข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการคำตอบเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในระบบการผลิตจริง (สุวิมล คำแสน, อธิวัฒน์ บุญมี และ อัมภิกา บุญมี, 2561) นอกจากนี้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน (Parallel Machine Scheduling) ยังแสดงให้เห็นว่าการใช้ฮิวริสติก เช่น EDD, Shortest Processing Time (SPT) และอัลกอริทึมที่ปรับปรุงเพิ่มเติม สามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อเลือกวิธีการจัดตารางที่เหมาะสมกับลักษณะของอุตสาหกรรมแต่ละประเภทได้ (เชษฐา ชำนาญหล่อ และคณะ, 2562)

ในงานวิจัยนี้ โรงงานกรณีศึกษาเป็นอุตสาหกรรมเครื่องสำอางที่มีลักษณะการผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า และเดิมใช้กฎกำหนดส่งงานเร็วที่สุด หรือ Earliest Due Date (EDD) เป็นแนวทางในการจัดลำดับงาน ซึ่งเป็นวิธีที่เข้าใจง่ายและสอดคล้องกับการให้ความสำคัญกับวันส่งมอบ อย่างไรก็ตาม เมื่อมีงานหลายรายการและต้องจัดสรรงานให้กับหน่วยผลิตหลายหน่วย การใช้ EDD เพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถให้ผลลัพธ์ด้านต้นทุนรวมที่ดีที่สุดได้ การศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากกรณีศึกษาอุตสาหกรรมเครื่องสำอางจำนวน 5 ขนาดปัญหา และเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างวิธี Local Search Algorithm กับวิธี EDD โดยใช้ต้นทุนรวมของงานทั้งหมดในระบบเป็นตัวชี้วัดหลัก และมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนรวมให้ต่ำที่สุด (ธีรภาพ เกษศิลป์ และ เอกราช กองสี, 2567)

วิธี Local Search เป็นแนวทางหนึ่งของเมตาฮิวริสติกที่มุ่งค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นจากคำตอบเริ่มต้น โดยปรับเปลี่ยนลำดับงานในบริเวณใกล้เคียงของคำตอบเดิม แล้วเปรียบเทียบค่าคำตอบเพื่อเลือกคำตอบที่เหมาะสมกว่า แนวทางนี้เหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีพื้นที่คำตอบขนาดใหญ่และไม่สามารถตรวจสอบคำตอบทั้งหมดได้ภายในเวลาที่เหมาะสม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การนำ Local Search ไปใช้ร่วมกับวิธีการค้นหาอื่นสามารถช่วยเพิ่มศักยภาพของการหาคำตอบและทำให้ผลลัพธ์ของการจัดตารางงานดีขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีพื้นฐานบางรูปแบบ (อดุลย์ พุกอินทร์, 2557)

จากเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีเมตาฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่กับกฎกำหนดส่งงานเร็วที่สุด เพื่อหาลำดับการผลิตที่ลดต้นทุนรวมต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขของระบบการผลิตกรณีศึกษา โดยต้นทุนรวมจะเกี่ยวข้องกับค่าจัดเก็บสินค้า (Inventory Holding Cost) และค่าเสร็จงานล่าช้า (Tardiness Penalty Cost) ที่คำนวณจากตารางการผลิต (Production Scheduling) ที่จัดขึ้น ผลการทดลองพบว่าวิธี Local Search ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธี EDD ในทุกขนาดปัญหา ได้แก่ S, M, L, XL และ XXL ภายใต้เงื่อนไขการค้นหาคำตอบจำนวน 32,000 คำตอบต่อกรณี ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงศักยภาพของ Local Search ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีความซับซ้อนและมีหลายทางเลือกของลำดับงาน (ธีรภาพ เกษศิลป์ และ เอกราช กองสี, 2567)

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการจัดการการผลิตในการวิจัยดำเนินงาน เนื่องจากสามารถแสดงให้เห็นถึงแนวทางการเลือกใช้วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตในสถานการณ์จริง โดยเฉพาะ

อุตสาหกรรมที่มีการผลิตตามคำสั่งซื้อ มีข้อจำกัดด้านกำหนดส่งและต้องการลดต้นทุนรวมของระบบ ผลลัพธ์ที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาวิธีการจัดการการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และเป็นข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนการผลิตของอุตสาหกรรมเครื่องสำอางต่อไป

2. การทบทวนวรรณกรรม

การจัดการตารางการผลิตเป็นกระบวนการกำหนดลำดับของงานและการจัดสรรงานให้กับทรัพยากรการผลิต เช่น เครื่องจักร หน่วยผลิต หรือสายการผลิต ภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลาความสามารถของทรัพยากร และเงื่อนไขการส่งมอบสินค้า โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ระบบการผลิตดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดเวลารอคอย ลดงานล่าช้า และลดต้นทุนรวมของระบบ ปัญหาการจัดการตารางการผลิตมีความสำคัญอย่างมากในงานวิจัยการดำเนินงานและวิศวกรรมอุตสาหกรรม เนื่องจากการเปลี่ยนลำดับงานเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลกระทบต่อเวลาสำเร็จงาน กำหนดส่งมอบ ต้นทุนการจัดเก็บ และต้นทุนจากความล่าช้าได้อย่างชัดเจน (Pinedo, 2016) ทั้งนี้ งานวิจัยของ ธนวัฒน์ วงศ์เครือ และ วรวุฒิ หวังวัชรกุล (2564) ที่ศึกษาการจัดการตารางการผลิตเครื่องจักรขนานในกระบวนการทดสอบวงจรรวม ได้แสดงให้เห็นว่าการจัดการตารางการผลิตสามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เครื่องจักร และเปรียบเทียบแนวทางการจัดการระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับฮิวริสติกได้ โดยใช้หลักการ Earliest Due Date และ Longest Processing Time (LPT) เป็นส่วนหนึ่งของวิธีฮิวริสติกแบบผสมผสาน

ปัญหาการจัดการตารางการผลิตมักจัดเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมเชิงจัดหมู่หรือ Combinatorial Optimization เนื่องจากจำนวนทางเลือกของลำดับงานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อจำนวนงานหรือจำนวนเครื่องจักรเพิ่มขึ้น ในหลายกรณีปัญหาการจัดการตารางการผลิตมีลักษณะเป็นปัญหาแบบ NP-hard ทำให้การค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีเชิงแน่นอนใช้เวลาในการคำนวณสูงมาก โดยเฉพาะในสถานการณ์อุตสาหกรรมจริงที่มีจำนวนงานจำนวนมากและมีข้อจำกัดหลายประการ (Garey & Johnson, 1979) งานวิจัยด้านการจัดการตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรยังระบุว่าปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง และเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้นจะไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้โดยง่าย จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการเชิงประมาณหรือฮิวริสติกเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมภายในเวลาที่ยอมรับได้ (จักรวาล คุณะดิลก, 2564)

กฎกำหนดส่งงานเร็วที่สุด (Earliest Due Date: EDD) เป็นกฎการจัดลำดับงานพื้นฐานที่จัดเรียงงานตามวันกำหนดส่ง โดยให้งานที่มีกำหนดส่งเร็วกว่าได้รับการดำเนินการก่อน กฎดังกล่าวมีข้อดีคือเข้าใจง่าย ใช้งานสะดวก และเหมาะกับระบบการผลิตที่ต้องการให้ความสำคัญกับการลดความล่าช้าหรือรักษากำหนดส่งมอบ อย่างไรก็ตาม การใช้ EDD เพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในทุกมิติ โดยเฉพาะเมื่อเป้าหมายของระบบไม่ได้พิจารณาเฉพาะการส่งมอบตรงเวลา แต่รวมถึงต้นทุนรวม เช่น ต้นทุนจากการผลิตเสร็จก่อนกำหนด ต้นทุนการจัดเก็บ และต้นทุนจากความล่าช้า งานวิจัยของ ธนวัฒน์ วงศ์เครือ และ วรวุฒิ หวังวัชรกุล (2564) จึงใช้ EDD เป็นส่วนหนึ่งของวิธีฮิวริสติกเพื่อเปรียบเทียบกับแนวทางการจัดการแบบอื่นในระบบเครื่องจักรขนาน

เมตะฮิวริสติกเป็นแนวทางการค้นหาคำตอบที่พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาที่มีพื้นที่คำตอบขนาดใหญ่ ซับซ้อน และยากต่อการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีเชิงแน่นอน วิธีดังกล่าวไม่ได้รับประกันว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดเชิงคณิตศาสตร์เสมอไป แต่สามารถให้คำตอบที่มีคุณภาพดีภายในเวลาคำนวณที่เหมาะสม จึงเหมาะกับปัญหาการจัดการตารางการผลิตที่มีจำนวนทางเลือกของลำดับงานสูงและมีข้อจำกัดหลายประการ (Talbi, 2009) งานวิจัยของ อุดุลย์ พุกอินทร์ (2557) ได้นำวิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับ Local Search มาใช้กับปัญหาการจัดการตารางงาน โดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงคุณภาพของคำตอบเมื่อเทียบกับการค้นหาแบบพื้นฐาน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการผสมผสานแนวคิดเมตะฮิวริสติกกับการค้นหาเฉพาะที่สามารถใช้สนับสนุนการแก้ปัญหาการจัดการตารางงานที่มีความซับซ้อนได้

วิธีค้นหาเฉพาะที่ หรือ Local Search เป็นวิธีเมตะฮิวริสติกที่เริ่มจากคำตอบต้นแบบหรือคำตอบเริ่มต้น จากนั้นทำการปรับปรุงคำตอบโดยพิจารณาคำตอบข้างเคียง เช่น การสลับลำดับงาน การย้ายตำแหน่งงาน หรือการปรับโครงสร้างบางส่วนของลำดับงาน แล้วเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อเลือกคำตอบที่ดีขึ้น วิธีนี้เหมาะกับปัญหาการจัดการตารางการผลิต เนื่องจากสามารถปรับปรุงลำดับงานเดิมให้มีผลลัพธ์ดีขึ้นได้โดยไม่จำเป็นต้องตรวจสอบทุกความเป็นไปได้ของลำดับงานทั้งหมด โดยวิธี Local Search ถูกใช้ร่วมกับกฎ EDD เพื่อแก้ปัญหาการจัดการตารางการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยกำหนดให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดพิจารณาจากค่าต้นทุนรวมของงานทั้งหมดในระบบที่มีค่าน้อยที่สุด

ต้นทุนรวม (Total Cost) เป็นตัวชี้วัดสำคัญในการประเมินผลการจัดการตารางการผลิต เนื่องจากสามารถสะท้อนผลกระทบของลำดับงานต่อระบบการผลิตได้มากกว่าการพิจารณาเฉพาะวันกำหนดส่งและต้นทุนรวมถูกใช้เป็นเกณฑ์

หลักในการประเมินคำตอบ โดยเป้าหมายคือการหาลำดับงานที่ทำให้ต้นทุนรวมของงานทั้งหมดในระบบต่ำที่สุด งานวิจัยดังกล่าวรายงานว่า การเปรียบเทียบระหว่าง Local Search และ EDD ดำเนินการทั้งในกรณี Rescheduling และชุดข้อมูลขนาดต่าง ๆ ได้แก่ S-problem, M-problem, L-problem, XL-problem และ XXL-problem โดยผลการทดลองส่วนใหญ่พบว่าวิธี Local Search ให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี EDD เมื่อพิจารณาจากค่าต้นทุนรวม

จากการทบทวนวรรณกรรมจะเห็นได้ว่า ปัญหาการจัดตารางการผลิตเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงและมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการบริหารทรัพยากรการผลิต กำหนดส่งมอบ และต้นทุนรวมของระบบ แม้กฎ EDD จะเป็นวิธีพื้นฐานที่ใช้งานง่ายและเหมาะสมกับปัญหาที่ให้ความสำคัญกับกำหนดส่ง แต่เมื่อพิจารณาเป้าหมายด้านต้นทุนรวมและเงื่อนไขของระบบการผลิตจริง วิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่มีศักยภาพในการค้นหาคำตอบที่มีคุณภาพสูงกว่า เนื่องจากสามารถปรับปรุงลำดับงานจากคำตอบเริ่มต้นและค้นหาทางเลือกที่ดีกว่าในพื้นที่คำตอบขนาดใหญ่ได้ ดังนั้น การเปรียบเทียบ Local Search กับ EDD ในกรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมต่อการศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการจัดตารางการผลิตภายใต้เป้าหมายการลดต้นทุนรวมของระบบ

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัยในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วย สมมติฐานการวิจัย กรอบแนวคิดการวิจัย และวิธีดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 สมมติฐานการวิจัย

การจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ให้ค่าต้นทุนรวมของระบบต่ำกว่าการจัดตารางการผลิตด้วยกฎกำหนดส่งงานเร็วที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

3.2 กรอบแนวคิดการวิจัย

ตัวแปรอิสระ (X) ในการวิจัยในครั้งนี้ได้แก่ ลักษณะของปัญหาการจัดตารางการผลิต วิธีการจัดตารางการผลิต และตัวชี้วัดการประเมินผล มีผลต่อตัวแปรตาม (Y) ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการจัดตารางการผลิตที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 1 ด้านล่างนี้



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณเชิงทดลองด้วยการคำนวณเชิงเปรียบเทียบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับกฎกำหนดส่งงานเร็วที่สุด หรือ Earliest Due Date: EDD ในกรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง โดยมุ่งประเมินผลจากค่าต้นทุนรวมของงานทั้งหมดในระบบเป็นสำคัญ เนื่องจากปัญหาการจัดตารางการผลิตเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง และเวลาในการคำนวณมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของปัญหา จึงเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้วิธีเมตะฮิวริสติกในการค้นหาคำตอบที่มีคุณภาพดีภายในเวลาที่เหมาะสม

ข้อมูลในการวิจัยนี้มาจากกรณีศึกษาในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โดยพิจารณาข้อมูลที่เป็นต่อการจัดตารางการผลิต ได้แก่ งานหรือคำสั่งผลิต เครื่องจักรหรือหน่วยผลิต เวลาในการผลิต และกำหนดส่งมอบงาน ทั้งนี้ การวิจัยมุ่งเน้นการจัดตารางการผลิตแบบเปรียบเทียบระหว่างวิธีพื้นฐานของการจัดลำดับงานตามกำหนดส่งเร็วที่สุดกับวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่

ตัวแปรอิสระ (X) ประกอบด้วย 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ (1) ลักษณะของปัญหาการจัดตารางการผลิต ซึ่งประกอบด้วย จำนวนงานหรือคำสั่งผลิต จำนวนเครื่องจักรหรือหน่วยผลิต เวลาในการผลิต และกำหนดส่งมอบงาน (2) วิธีการจัดตารางการผลิต ซึ่งประกอบด้วย กฎกำหนดส่งงานเร็วที่สุด และวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ และ (3) ตัวชี้วัดการประเมินผล ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนรวมค่าจัดเก็บสินค้า (Inventory Holding Cost) และค่าเสร็จงานล่าช้า (Tardiness Penalty Cost) ที่คำนวณจากตารางการผลิต (Production Scheduling) ที่จัดขึ้น ประสิทธิภาพของตารางการผลิต และความสามารถในการลดต้นทุน ส่วนตัวแปรตาม (Y) คือ ผลลัพธ์ของการจัดตารางการผลิตในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง โดยมุ่งพิจารณา

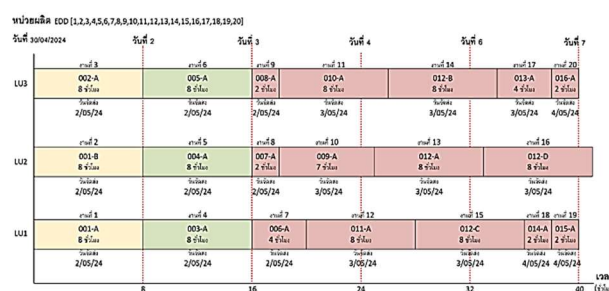
ต้นทุนรวมต่ำที่สุดเป็นเกณฑ์หลักในการตัดสินใจประสิทธิภาพของวิธีการจัดตารางการผลิต

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเริ่มจากการจัดเตรียมข้อมูลค่าส่งผลิตของกรณีศึกษา โดยกำหนดข้อมูลพื้นฐานของแต่ละงาน ได้แก่ ลำดับงาน เวลาในการผลิต เครื่องจักรหรือหน่วยผลิตที่เกี่ยวข้อง และกำหนดส่งมอบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าส่งผลิตของกรณีศึกษา

ลำดับงาน	รหัสสินค้า	ชั่วโมงการทำงาน	วันที่งานต้องส่ง
1	001-A	8	2/5/2024
2	001-B	8	2/5/2024
3	002-A	8	2/5/2024
4	003-A	8	2/5/2024
5	004-A	8	2/5/2024
6	005-A	8	2/5/2024
7	006-A	4	2/5/2024
8	007-A	2	2/5/2024
9	008-A	2	2/5/2024
10	009-A	7	3/5/2024
11	010-A	8	3/5/2024
12	011-A	8	3/5/2024
13	012-A	8	3/5/2024
14	012-B	8	3/5/2024
15	012-C	8	3/5/2024
16	012-D	8	3/5/2024
17	013-A	4	3/5/2024
18	014-A	2	4/5/2024
19	015-A	2	4/5/2024
20	016-A	2	4/5/2024

จากนั้น ทำการดำเนินการจัดตารางการผลิตให้เป็นไปตามกฎกำหนดส่งงานเร็วที่สุด (EDD) โดยเรียงลำดับงานตามวันกำหนดส่งมอบ ได้แก่ Number of solution 0 หรือ N0 คือ [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20] เพื่อใช้เป็นวิธีเปรียบเทียบพื้นฐานดังรูปที่ 2 โดยสี่เหลี่ยมคือ งานเสร็จก่อนกำหนด สี่เหลี่ยมคอกไข่คือ งานเสร็จพอดีกำหนด และสี่เหลี่ยมผืนผ้าคือ งานเสร็จหลังกำหนด



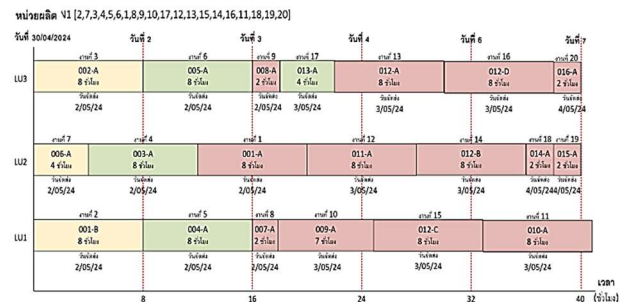
รูปที่ 2 การจัดตารางการผลิตด้วยกฎกำหนดส่งงานเร็วที่สุด (EDD)

หลังจากนั้น ให้มีการดำเนินการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ โดยเริ่มจากคำตอบตั้งต้นแล้วปรับปรุงลำดับงานผ่านการค้นหาคำตอบข้างเคียง เช่น การสลับลำดับงานหรือการเปลี่ยนตำแหน่งงานในตารางการผลิต สมมติให้ตัวอย่างการสลับลำดับงานแบบสุ่มเกิดขึ้นแตกต่างกัน 3 กรณี อันได้แก่ N1 (รูปที่ 3) N2 (รูปที่ 4) และ N3 (รูปที่ 5) ที่ได้จากวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ ดังต่อไปนี้

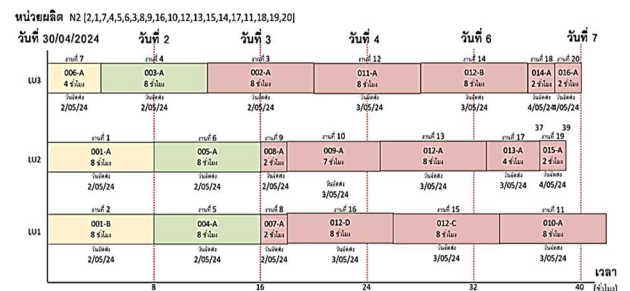
N1 [2,7,3,4,5,6,1,8,9,10,17,12,13,15,14,16,11,18,19,20]

N2 [2,1,7,4,5,6,3,8,9,16,10,12,13,15,14,17,11,18,19,20]

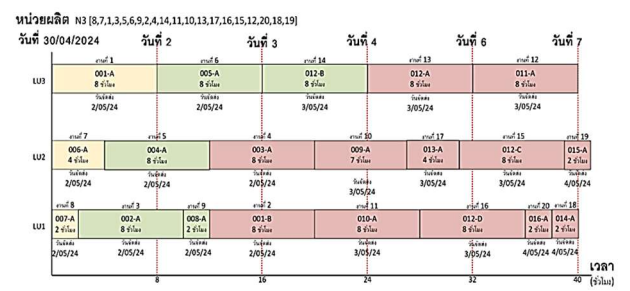
N3 [8,7,1,3,5,6,9,2,4,14,11,10,13,17,16,15,12,20,18,19]



รูปที่ 3 การจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ N1



รูปที่ 4 การจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ N2



รูปที่ 5 การจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ N3

จากนั้นคำนวณค่าต้นทุนรวมของแต่ละคำตอบ ต้นทุนรวมจะเกี่ยวข้องกับค่าจัดเก็บสินค้าและค่าเสร็จงานล่าช้าจากการคำนวณแบบละเอียดที่อิงข้อมูลจากอุตสาหกรรมจริงในงานวิจัยของ อธิรพ เกษศิลป์ และ เอกราช กองสี (2567) และเลือกคำตอบที่ให้ค่าต้นทุนรวมต่ำที่สุดซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด

(Optimal solution) ได้ดังต่อไปนี้ คือ EDD หรือ N0 เท่ากับ 15,284 บาท N1 เท่ากับ 13,784 บาท N2 เท่ากับ 15,284 บาท และ N3 เท่ากับ 12,284 บาท

จากการคำนวณต้นทุนรวมจะเห็นได้ว่าคำตอบของกรณีตัวอย่างที่ 3 หรือ N3 ให้ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด นั่นคือคำตอบที่ดีที่สุดจากการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ที่เรียกว่าค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution)

การประเมินผลการวิจัยใช้การเปรียบเทียบค่าต้นทุนรวมที่ได้จากวิธี Local Search และวิธี EDD ในชุดข้อมูลกรณีศึกษาขนาดต่างๆ โดยพิจารณาว่าวิธีใดสามารถให้ค่าต้นทุนรวมต่ำกว่า และสามารถลดต้นทุนจากการจัดตารางการผลิตได้มากกว่า ทั้งนี้ ต้นทุนรวมถือเป็นตัวชี้วัดหลักของงานวิจัยเนื่องจากสามารถสะท้อนผลกระทบของการจัดลำดับงานต่อระบบการผลิตได้โดยตรง ทั้งในด้านการเสร็จก่อนกำหนด งานที่เสร็จล่าช้า และประสิทธิภาพโดยรวมของตารางการผลิต

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนาและการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ โดยนำเสนอค่าต้นทุนรวมของแต่ละวิธีในแต่ละชุดข้อมูล และคำนวณความแตกต่างของต้นทุนรวมระหว่างวิธี Local Search และ EDD เพื่อแสดงประสิทธิภาพในการลดต้นทุนของวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ หากต้องการเพิ่มความเข้มแข็งของบทความ สามารถวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วยร้อยละของการปรับปรุงผลลัพธ์ โดยคำนวณจากส่วนต่างของต้นทุนรวมระหว่างวิธี EDD และ Local Search เทียบกับต้นทุนรวมของวิธี EDD เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธี Local Search สามารถลดต้นทุนรวมได้มากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับวิธีพื้นฐาน

ดังนั้น วิธีดำเนินการวิจัยนี้จึงออกแบบให้สอดคล้องกับกรอบแนวคิดการวิจัย โดยเริ่มจากลักษณะของปัญหาการจัดตารางการผลิตและวิธีการจัดตารางที่ใช้เป็นตัวแปรอิสระ แล้วประเมินผลผ่านตัวชี้วัดด้านต้นทุนรวมและประสิทธิภาพของตารางการผลิต เพื่อสรุปผลว่าวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่มีความเหมาะสมต่อการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางมากกว่ากำหนดส่งงานเร็วที่สุดหรือไม่

4. ผลการวิจัย

จากการทดลองใช้งานโปรแกรมในการประมวลผลชุดข้อมูลทั้ง 5 ชุด ซึ่งในหนึ่งชุดข้อมูลจะทำการค้นหาคำตอบทั้งหมด 32,000 คำตอบ แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (LSA) เปรียบเทียบกับวิธีการจัดแบบกำหนดส่งเร็วสุด (EDD) เพื่อดูความแตกต่างระหว่างค่าคำตอบที่ได้ใน

ต้นทุนรวมที่ต่ำสุดที่ใช้วิธี LSA เปรียบเทียบกับวิธีแบบดั้งเดิมของทางโรงงานที่ใช้วิธีกำหนดส่งเร็วสุด EDD แสดงดังตาราง 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างวิธี Local Search กับวิธี EDD

ขนาด ปัญหา	ต้นทุนรวมต่ำสุด (บาท)		% ต้นทุนรวมวิธี LSA ที่ ลดลงจากวิธี EDD
	LSA	EDD	
S	11,284	15,284	26.17%
M	16,984	18,982	10.53%
L	37,028	40,382	8.18%
XL	86,746	93,026	6.75%
XXL	143,670	151,802	5.36%

ในชุดข้อมูล S-problem ได้ผลลัพธ์จากวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี Local Search ใช้เครื่องจักรในการทำงาน 3 เครื่อง มีต้นทุนรวมอยู่ที่ 11,284 บาท ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพราะเป็นลำดับงานที่มีต้นทุนรวมระบบน้อยสุดจากจำนวนผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นไปได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ใช้วิธี EDD พบว่ามีร้อยละของต้นทุนรวมที่ลดลงถึง 26.17%

ในชุดข้อมูล M-problem ได้ผลลัพธ์จากวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี Local Search มีเครื่องจักรในการทำงาน 5 เครื่อง ต้นทุนรวมอยู่ที่ 16,984 บาท ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพราะเป็นลำดับงานที่มีต้นทุนรวมระบบน้อยสุดจากจำนวนผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นไปได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ใช้วิธี EDD พบว่ามีร้อยละของต้นทุนรวมที่ลดลงถึง 10.53%

ในชุดข้อมูล L-problem ได้ผลลัพธ์จากวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี Local Search มีเครื่องจักรในการทำงาน 5 เครื่อง ต้นทุนรวมอยู่ที่ 37,028 บาท ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพราะเป็นลำดับงานที่มีต้นทุนรวมระบบน้อยสุดจากจำนวนผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นไปได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ใช้วิธี EDD พบว่ามีร้อยละของต้นทุนรวมที่ลดลงถึง 8.18%

ในชุดข้อมูล XL-problem ได้ผลลัพธ์จากวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี Local Search มีเครื่องจักรในการทำงาน 6 เครื่อง ต้นทุนรวมอยู่ที่ 86,746 บาท ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพราะเป็นลำดับงานที่มีต้นทุนรวมระบบน้อยสุดจากจำนวนผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นไปได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ใช้วิธี EDD พบว่ามีร้อยละของต้นทุนรวมที่ลดลงถึง 6.75%

ในชุดข้อมูล XXL-problem ได้ผลลัพธ์จากวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี Local Search มีเครื่องจักรในการทำงาน 7 เครื่อง ต้นทุนรวมอยู่ที่ 143,670 บาท ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพราะเป็นลำดับงานที่มีต้นทุนรวมระบบน้อยสุดจากจำนวนผลเฉลยทั้งหมดที่เป็นไปได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมที่ใช้วิธี EDD พบว่ามีร้อยละของต้นทุนรวมที่ลดลงถึง 5.36%

ดังนั้นสรุปผลได้ว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ให้ค่าต้นทุนรวมของ

งานแต่ละงานที่อยู่ในระบบมีค่าน้อยที่สุดและเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับการนำไปจัดตารางการผลิต

5. สรุปและอภิปรายผล

จากตารางที่ 2 งานวิจัยเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างวิธี การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (LSA) และวิธีการจัดแบบกำหนดส่งเร็วสุด (EDD) ในชุดข้อมูลขนาดปัญหา 5 ขนาด ได้แก่ S, M, L, XL และ XXL โดยใช้ตัวชี้วัดหลักคือต้นทุนรวมต่ำสุด (Minimized Total Cost) และรายงานร้อยละการลดต้นทุนของ Local Search เมื่อเทียบกับ EDD ได้ดังต่อไปนี้ คือ S-problem ลดได้ 26.17%, M-problem ลดได้ 10.53%, L-problem ลดได้ 8.18%, XL-problem ลดได้ 6.75% และ XXL-problem ลดได้ 5.36% สามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

1) วิธี Local Search ให้ต้นทุนรวมต่ำกว่า EDD ในทุกขนาดปัญหา โดยจากผลการทดลองพบว่า วิธี LSA ให้ค่า Total Cost ต่ำกว่าวิธี EDD ในทุกชุดข้อมูล ได้แก่ S, M, L, XL และ XXL แสดงให้เห็นว่า Local Search มีความสามารถในการค้นหาลำดับงานที่เหมาะสมกว่า EDD ภายใต้เป้าหมายการลดต้นทุนรวมของระบบ ผลลัพธ์นี้สะท้อนว่า Local Search ไม่ได้ให้ผลดีเฉพาะปัญหาขนาดเล็ก แต่ยังสามารถรักษาความสามารถในการลดต้นทุนได้แม้ขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะที่เหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางการผลิตที่มีจำนวนงานและจำนวนเครื่องจักรเพิ่มขึ้นตามสภาพการผลิตจริง

2) วิธี EDD เหมาะกับการจัดลำดับตามกำหนดส่ง แต่ไม่เพียงพอสำหรับเป้าหมายในด้านต้นทุนรวม (Total Cost) วิธีนี้เป็นวิธีที่จัดลำดับงานโดยให้ความสำคัญกับงานที่มีกำหนดส่งเร็วที่สุดก่อน จุดแข็งคือเข้าใจง่าย ใช้งานง่าย และเหมาะสมกับสถานการณ์ที่เป้าหมายหลักคือการลดความล่าช้าตามกำหนดส่ง แต่ในงานนี้ตัวชี้วัดหลักคือ ต้นทุนรวมซึ่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับกำหนดส่งเพียงอย่างเดียว ต้นทุนรวมของการจัดตารางการผลิตอาจได้รับผลกระทบจากหลายองค์ประกอบ เช่น งานที่เสร็จก่อนกำหนดมากเกินไปจนเกิดต้นทุนจัดเก็บ งานที่เสร็จหลังกำหนดจนเกิดต้นทุนล่าช้า และการจัดสรรงานที่ทำให้เครื่องจักรบางส่วนถูกใช้งานไม่สมดุล ดังนั้น การใช้ EDD เพียงอย่างเดียวจึงอาจไม่สามารถหาลำดับงานที่ให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุดได้ กล่าวอีกนัยหนึ่ง EDD เป็นวิธีที่ดีในเชิง “กฎลำดับความสำคัญ” แต่ยังไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมที่สุดเมื่อ Objective Function ของงานวิจัยคือ ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด (Minimized Total Cost)

3) LSA มีความเหมาะสมกับปัญหา Production Scheduling ที่มีลักษณะเป็น Combinatorial Optimization เนื่องจากปัญหาการจัดตารางการผลิตเป็นปัญหาที่จำนวน

คำตอบที่เป็นไปได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อจำนวนงานเพิ่มขึ้น เพราะลำดับงานสามารถสลับตำแหน่งกันได้จำนวนมาก ปัญหาการจัดตารางเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง และเวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของปัญหา Local Search เหมาะกับลักษณะปัญหานี้ เพราะไม่จำเป็นต้องค้นหาคำตอบทุกความเป็นไปได้ แต่ใช้แนวคิดการเริ่มจากคำตอบตั้งต้น แล้วปรับปรุงคำตอบในบริเวณใกล้เคียง เช่น การสลับตำแหน่งงานหรือปรับลำดับงานบางส่วน จากนั้นประเมินว่าคำตอบใหม่ให้ต้นทุนรวมลดลงหรือไม่ ดังนั้น ผลการทดลองที่ Local Search ให้ต้นทุนต่ำกว่า EDD ในทุกกรณีจึงสนับสนุนว่าการค้นหาในพื้นที่ คำตอบแบบ neighborhood search สามารถช่วยปรับปรุงลำดับงานให้เหมาะสมกับ Objective Function ได้ดีกว่าการใช้กฎเรียงลำดับแบบตายตัว

4) ประสิทธิภาพการลดต้นทุนของ Local Search มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดปัญหาใหญ่ขึ้น แม้ Local Search จะให้ต้นทุนรวมต่ำกว่า EDD ในทุกชุดข้อมูล แต่เมื่อพิจารณาร้อยละการลดต้นทุน พบว่าเปอร์เซ็นต์การลดลงมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 2 ที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่มากขึ้น ร้อยละของค่าความแตกต่างของคำตอบที่ได้ของทั้งสองวิธีมีแนวโน้มลดลง ในประเด็นนี้ตีความได้ว่า เมื่อขนาดปัญหาใหญ่ขึ้น พื้นที่คำตอบมีความซับซ้อนมากขึ้น ทำให้ Local Search อาจค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นได้ แต่ประสิทธิภาพเชิงร้อยละเมื่อเทียบกับ EDD ลดลงเนื่องจากพื้นที่ คำตอบมีขนาดใหญ่ขึ้นและอาจมี local optimum จำนวนมากขึ้น ดังนั้น แม้ Local Search จะยังมีประสิทธิภาพ แต่ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นข้อจำกัดของ Local Search แบบพื้นฐาน โดยเฉพาะในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่อาจต้องใช้กลไกเสริม เช่น การเพิ่มจำนวนรอบการค้นหา การปรับ neighborhood structure หรือการใช้เมตเฮิวริสติกแบบผสมเพื่อเพิ่มโอกาสในการหลุดจากคำตอบเฉพาะที่

5) มูลค่าการลดต้นทุนเชิงจำนวนเงินเพิ่มขึ้นในปัญหาขนาดใหญ่ แม้เปอร์เซ็นต์การลดต้นทุนจะลดลงเมื่อขนาดปัญหาใหญ่ขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากมูลค่าการลดต้นทุนจริง พบว่าปัญหาขนาดใหญ่สามารถลดต้นทุนเป็นจำนวนเงินได้มากกว่า เช่น XL-problem ลดได้ 6,280 บาท และ XXL-problem ลดได้ 8,132 บาท ประเด็นนี้มีความสำคัญเชิงอุตสาหกรรม เพราะในระบบการผลิตจริง แม้ร้อยละการปรับปรุงจะไม่สูงมาก แต่หากเป็นระบบที่มีปริมาณงานมากหรือมีการผลิตซ้ำต่อเนื่อง การลดต้นทุนเพียง 5-7% อาจมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงเมื่อนำไปใช้ในระยะยาว ดังนั้น Local Search จึงมีความน่าสนใจในเชิงปฏิบัติ ไม่ใช่เพียงเพราะให้ผลลัพธ์เชิงตัวเลขดีกว่า EDD แต่ยังสามารถ

สร้างผลประโยชน์ด้านต้นทุนในระดับที่มีนัยสำคัญต่อการตัดสินใจวางแผนการผลิต

6) ผลการทดลองสามารถสนับสนุนสมมติฐานการวิจัยได้ว่าวิธีเมตะฮิวริสติกแบบค้นหาเฉพาะที่ให้ค่าต้นทุนรวมของการจัดตารางการผลิตต่ำกว่าวิธี EDD เนื่องจาก Local Search ให้ค่าต้นทุนรวมที่ต่ำกว่า EDD ในทุกขนาดปัญหา จึงสามารถสรุปได้ว่า Local Search มีความเหมาะสมมากกว่า EDD สำหรับโจทย์การจัดตารางการผลิตที่มีเป้าหมายหลักคือการลดต้นทุนรวม อย่างไรก็ตาม ข้อสรุปนี้ควรถูกจำกัดอยู่ในบริบทของชุดข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และควรมีการทดสอบเพิ่มเติมในชุดข้อมูลอื่นหรือสถานการณ์การผลิตที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและความสามารถในการนำผลลัพธ์ไปใช้ทั่วไป

6. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) ควรเลือกใช้ Local Search เมื่อเป้าหมายหลักคือการลดต้นทุนรวม เนื่องจากผลการทดลอง LSA ให้ต้นทุนรวมต่ำกว่า EDD ในทุกชุดข้อมูล ดังนั้น หากโรงงานต้องการลดต้นทุนรวมของการจัดตารางการผลิต ไม่ควรใช้ EDD เป็นวิธีหลักเพียงอย่างเดียว แต่ควรใช้ Local Search เป็นเครื่องมือช่วยค้นหาลำดับงานที่ให้ต้นทุนรวมต่ำกว่า

2) วิธี EDD ควรใช้เป็นคำตอบตั้งต้นมากกว่าวิธีสุดท้าย ทั้งนี้ EDD ยังมีประโยชน์ในฐานะกฎพื้นฐานสำหรับสร้างลำดับงานเริ่มต้น เพราะเข้าใจง่ายและอิงกับกำหนดส่งงานโดยตรง อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลอง EDD ไม่ควรถูกใช้เป็นคำตอบสุดท้ายโดยไม่มีการปรับปรุงเพิ่มเติม แนวทางที่เหมาะสมคือใช้ EDD เป็น initial solution แล้วนำคำตอบนั้นไปปรับปรุงต่อด้วย Local Search เพื่อให้ได้ลำดับงานที่มีต้นทุนรวมต่ำกว่า

3) ควรเพิ่มการวิเคราะห์เชิงลึกของต้นทุนรวม โดยแยกวิเคราะห์องค์ประกอบของต้นทุนรวมเพิ่มเติม เช่น ต้นทุนจากงานเสร็จก่อนกำหนด ต้นทุนจากงานเสร็จล่าช้า จำนวนงานที่ล่าช้า จำนวนงานที่เสร็จก่อนกำหนด และผลกระทบของแต่ละลำดับงานต่อเครื่องจักรหรือหน่วยผลิต การแยกองค์ประกอบเหล่านี้จะช่วยให้เข้าใจว่า Local Search ลดต้นทุนได้จากปัจจัยใดเป็นหลัก ไม่ใช่เพียงสรุปว่าต้นทุนรวมลดลงเท่านั้น

4) ควรเพิ่มการวิเคราะห์ผลลัพธ์ตามขนาดปัญหา จากผลการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การลดต้นทุนลดลงเมื่อขนาดปัญหาใหญ่ขึ้น ดังนั้นควรวิเคราะห์เพิ่มเติมว่า สาเหตุเกิดจากอะไร เช่น จำนวนงานเพิ่มขึ้นทำให้พื้นที่คำตอบใหญ่ขึ้น Local Search ติด local optimum มากขึ้น จำนวนรอบค้นหายังไม่เพียงพอสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ Neighborhood structure ที่ใช้ยังไม่เหมาะกับปัญหาขนาดใหญ่ การวิเคราะห์ส่วนนี้จะช่วย

ให้ผลการอธิบายมีความลึกมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ปรับปรุงวิธี Local Search ได้

5) ควรเพิ่มการวิเคราะห์ความคุ้มค่าระหว่างต้นทุนที่ลดลงกับเวลาในการคำนวณ แม้ Local Search จะให้ต้นทุนต่ำกว่า EDD แต่ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมว่าใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า EDD เท่าใด และต้นทุนที่ลดลงคุ้มกับเวลาคำนวณที่เพิ่มขึ้นหรือไม่ โดยเฉพาะในระบบการผลิตจริง หากต้องการนำวิธีนี้ไปใช้ในการวางแผนรายวันหรือรายสัปดาห์ ความเร็วในการหาคำตอบจะเป็นปัจจัยสำคัญร่วมกับคุณภาพของคำตอบ

6) ควรกำหนดจำนวนรอบการค้นหาและพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับขนาดปัญหา หากใช้จำนวนรอบค้นหาเท่ากันในทุกขนาดปัญหา อาจไม่ยุติธรรมต่อปัญหาขนาดใหญ่ เพราะพื้นที่คำตอบของ XL และ XXL ใหญ่กว่าปัญหา S หรือ M มาก ดังนั้นควรกำหนดจำนวนรอบการค้นหาให้สัมพันธ์กับขนาดปัญหา เช่น เพิ่มจำนวนรอบตามจำนวนงานหรือจำนวนเครื่องจักร

7. เอกสารอ้างอิง

- เขมฐา ชำนาญหล่อ, จันจิรา คงชื่นใจ, ธนพันธ์ คงทอง และ กาญจนา บุญชู. (2562). ฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตในอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักรขนาน. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อ., 12(2), 13-27.
- จักรวาล คุณะดิลก. (2564). การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักร: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมยางรถยนต์. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 9(2), 1-14.
- ธนวัฒน์ วงศ์เครือ และ วรุฒิ หวังวีระกุล. (2564). การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานในกระบวนการทดสอบวงจรรวม. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 9(1), 153-162.
- สุวิมล คำแสน, อธิวัฒน์ บุญมี และ อัมภิกา บุญมี. (2561). การวางแผนเส้นทางการเยี่ยมชมจุดท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขด้านกรอบเวลาโดยประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม: กรณีศึกษาเมืองจำลองจังหวัดชลบุรี. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 6(1), 1-12.
- อดุลย์ พุกอินทร์. (2557). วิธีการแก้ปัญหาของการจัดตารางงานโดยใช้วิธีการผสมผสานเจเนติกอัลกอริทึมกับโลคอลเสิร์ช. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 7(2), 111-126.
- ธีรภพ เกษศิลป์ และ เอกราช กองสี. (2567). การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์อัจฉริยะเพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางโดยใช้ขั้นตอนวิธีปัญญาประดิษฐ์ประเภทการคำนวณด้านโปรแกรม: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยนครสวรรค์.
- Garey, M. R., & Johnson, D. S. (1979). Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. San Francisco: W. H. Freeman.

- Pinedo, M. L. (2016). Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. 5th ed. Cham: Springer.
- Talbi, E. G. (2009). Metaheuristics: From Design to Implementation. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.