

โปรแกรมการจัดลำดับงานผลิตด้วยเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย

Job shop scheduling program with genetic algorithm from multi-objective function construction based on sand pile theory

อิทธิศักดิ์ ศรีดำ^{1*}

Idhisak Sridam^{1*}

Received: 26 January 2021 ; Revised: 19 October 2021 ; Accepted: 10 January 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอโปรแกรมการจัดลำดับงานผลิตด้วยเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย ผลการวิจัย พบว่า สมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงของวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทรายจะมีอัตราการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงที่ดีกว่าวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำรุ่นที่ 2 จึงเหมาะต่อการค้นหาแบบแผนการจัดตารางการผลิตใหม่ให้เหมาะสมที่สุดภายใต้สภาวะของการผลิตแบบตามงานที่มีหลายปัจจัย ส่วนผลการทดสอบการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งาน พบว่า การยอมรับการใช้เทคโนโลยีด้านภาพรวมของโปรแกรม การยอมรับการใช้เทคโนโลยีด้านการดำเนินงานตามขั้นตอนของโปรแกรม การยอมรับการใช้เทคโนโลยีด้านการออกแบบโปรแกรม ซึ่งทั้ง 3 ด้าน มีความเหมาะสมมาก ส่วนการยอมรับการใช้เทคโนโลยีด้านลักษณะทั่วไปมีความเหมาะสมมากที่สุด

คำสำคัญ: โปรแกรมการจัดลำดับงานผลิต วิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย ฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์

Abstract

This article aims to present a job shop scheduling program with a genetic algorithm for multi-objective function construction based on sand pile theory. The results revealed that the convergence performance of the genetic algorithm from the multi-objective function construction based on sand pile theory was higher than non-dominated sorting genetic algorithm II. Therefore, it is suitable to find the optimal re-scheduling scheme under multi-factory job shop scheduling conditions. The results of testing the technology acceptance revealed that the acceptance of program overview, the acceptance of program steps execution and the acceptance of program design were very appropriate. The acceptance of general characteristics was most appropriate.

Keywords: Job shop scheduling program, sand pile multi-objective genetic algorithm, multi-objective function

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์และระบบสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

¹ Department of Software Engineering and Information System, Faculty of Science and Technology, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand 10330

* Corresponding author, E-mail: idhisak@pit.ac.th

บทนำ

ระบบการจัดลำดับงานการผลิต (Production Shop Scheduling System: PSSs) ส่วนใหญ่จะถูกกำหนดให้เป็นองค์ประกอบ (Component) หรือโมดูล (Module) ของระบบวางแผนทรัพยากรทางธุรกิจขององค์กรโดยรวม (Enterprise Resource Planning System: ERPs) ซึ่ง ERPs เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการบริหารธุรกิจเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นภายในธุรกิจ สำหรับช่วยวางแผนการลงทุนและบริหารทรัพยากรของธุรกิจโดยรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ERPs ช่วยเชื่อมโยงระบบงานต่างๆ ระหว่างการจัดซื้อจัดจ้าง วัสดุคงคลัง การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ การผลิต การตลาด การขาย และบัญชีการเงิน ทำให้สามารถบริหารองค์กรรวมเพื่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตาม การทำงานของ ERPs จะมีประสิทธิภาพสูงสุดก็ต่อเมื่อการผลิตอยู่ในสภาวะการผลิตแบบต่อเนื่องหรือการจัดลำดับงานการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Job Scheduling) ซึ่งปัจจุบันความต้องการของลูกค้ามีความหลากหลายในคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ (Product Qualification Diversity) และเป็นความต้องการงานผลิตแบบพลวัต (Dynamic Job Order) เมื่อมีความต้องการงานผลิตแบบพลวัตเข้ามาในระหว่างการผลิตแบบต่อเนื่องทำให้ต้องดำเนินการจัดลำดับงานการผลิตใหม่ ซึ่ง PSSs ที่เป็นส่วนหนึ่งของ ERPs ในปัจจุบันยังไม่สามารถรองรับการจัดลำดับงานผลิตใหม่ได้อย่างอัตโนมัติและเหมาะสมได้ ดังนั้น เมื่อมีความต้องการงานผลิตแบบพลวัตมาถึงจึงต้องอาศัยทักษะ ความชำนาญ และประสบการณ์การทำงานของผู้บริหารงานผลิตในการดำเนินการจัดลำดับงานผลิตใหม่ (Bhongade, & Khodke, 2012)

สำหรับการแก้ไขปัญหาหรือการหาคำตอบ การจัดลำดับงานผลิตให้เหมาะสมได้ด้วยการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามงาน (Job Shop Scheduling Problem: JSP) โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การพัฒนาขั้นตอนการจัดลำดับงานด้วยวิธีหาคำตอบแบบการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search Algorithm) สำหรับปัญหาการจัดลำดับงานผลิตด้วยการใช้ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ด้วยค่าของช่วงเวลาการทำงานที่เหมาะสมที่สุดหรือค่าเวลาสิ้นสุดงานสุดท้ายน้อยที่สุด หรือเรียกอีกอย่างว่า “เมคสแปน” (Makespan) โดยการเรียงลำดับของงาน การผลิตที่มีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักร (Setup Time) โดยสามารถลดเวลาในการค้นหาคำตอบได้ (Sotskov *et al.*, 2020) การใช้วิธีแก้ไขปัญหาคอขวดด้วยการย้าย (Shift Bottleneck Procedure) เป็นวิธีไฮบริด (Hybrid) ที่ใช้การค้นหาคำตอบแบบท้องถิ่น (Local Search Approach) ร่วมกับการค้นหาคำตอบย่านใกล้เคียงแบบแปรผัน (Variable Neighborhood Search) (Kalshtetty *et al.*, 2020) การวางแผนการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop Scheduling Problem: FSP) ด้วยการ

เพิ่มข้อจำกัดของงานก่อนหน้า (Precedence Constraint) และจึงแก้ไขด้วยวิธีของ จอห์นสัน (Johnson's Rule) ซึ่งจะเหมาะสมในการหาคำตอบสำหรับเครื่องจักร 2 เครื่อง นอกจากนี้ ยังสามารถขยายผลไปใช้กับปัญหาที่มีจำนวนเครื่องจักร 3 และ 4 เครื่องได้ (Gupta & Chauhan, 2015) การพิจารณาถึงความแปรปรวนในปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามงาน เพื่อสร้างปัญหาใหม่แล้วแก้ไขปัญหาคำตอบโดยใช้เทคนิคการจัดตารางการผลิตแบบไปข้างหน้า (Forward Scheduling Approach) เปรียบเทียบกับการจัดตารางการผลิตแบบไปข้างหลัง (Backward Scheduling Approach) โดยมีฟังก์ชันเป้าหมาย คือ การลดความแปรปรวนของเมคสแปน ผลการทดลอง พบว่า การจัดตารางการผลิตแบบไปข้างหน้ามีประสิทธิภาพสูงกว่า (Sonmez & Uysal, 2015) การใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristic) ในการแก้ไขปัญหการจัดตารางการผลิตแบบตามงานโดยใช้วิธีฮิวริสติก 2 วิธี โดยมีสมมติฐานว่าแต่ละงานต้องผ่านการผลิตอย่างน้อย 2 เครื่องจักร และต้องมี 1 ขั้นตอน ที่ผลิตในเครื่องจักรที่เป็นคอขวดของระบบ ผลการทดลอง พบว่า กรณีที่แย่ที่สุด (Worst Case) จะแก้ไขปัญหาคำตอบด้วยอัตราส่วนเท่ากับสามส่วนสองของประสิทธิภาพ (Performance Ratio) ซึ่งวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในการวางแผนการผลิตแบบไหลเลื่อนแบบเครื่องจักรที่เหมือนกันในแต่ละขั้นตอนมากกว่า 1 เครื่อง (Flow shop scheduling problem with parallel machines) (Al-Salem *et al.*, 2016) การแก้ไขปัญหาคอขวดแบบดิสแพทช์ฮิวริสติก (Dispatching Heuristic Rule) สำหรับใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามงานและการวางแผนการผลิตแบบไหลเลื่อนด้วยการเปรียบเทียบดิสแพทช์ฮิวริสติก โดยการจัดตารางการผลิตจะเปลี่ยนจากการวางแผนการผลิตแบบไหลเลื่อนไปเป็นการจัดตารางการผลิตแบบตามงาน และใช้การจำลองสถานการณ์ (Simulation Study) ด้วยการสุ่มเส้นทางงาน (Job Routing) ให้แตกต่างกัน ซึ่งผลการศึกษา พบว่า สามารถนำวิธีการแก้ไขปัญหาคอขวดแบบดิสแพทช์ฮิวริสติกไปใช้งานจริงได้ (Turkyilmaz *et al.*, 2020) การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) โดยการหาเหมือนข้อมูล (Data Mining) เพื่อค้นหาแบบแผน (Pattern) ในการแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามงานประกอบด้วย ขั้นตอนดำเนินงาน 2 ขั้นตอน ได้แก่ การค้นหาเมคสแปนสุดท้ายที่สั้นที่สุดในการสร้างชุดคำตอบที่ดีที่สุด และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์และพยากรณ์ว่างานในลำดับก่อนหน้าคืองานใดแล้วงานถัดไปควรเป็นงานใด (Wang *et al.*, 2015) และการใช้เทคนิควิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) เป็นการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมประยุกต์ร่วมกับวิธีการค้นหาเฉพาะที่ซึ่งในส่วนประกอบของโครโมโซม (Chromosome) จะถูกเรียกว่า “มีม (Meme)” แทนคำว่า “ยีน (Gene)” โดยเน้น

ที่ช่วงเวลาระหว่างการเปลี่ยนกิจกรรมการผลิต (Time Lag) กล่าวคือ ผลต่างของเวลาที่ต่ำสุดและสูงสุดของเวลาเริ่มต้นการทำงานของทุกกิจกรรม (Raeesi & Kobt, 2012)

นอกจากการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามงานด้วยวิธีฮิวริสติกแล้ว การแก้ปัญหาด้วยวิธีเมตา-ฮิวริสติก (Meta-heuristic) (Pongchairerks, 2019) และการแก้ปัญหาด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) (Calis & Bulkan, 2015) การประยุกต์ด้วยวิธีการผสมระหว่างวิธีเมตา-ฮิวริสติก 2 วิธีการมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามงานด้วย (Pongchairerks, 2019) รวมถึงการประยุกต์วิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยขั้นตอนวิธีเคออสมีมิติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi Objective Chaos Memetic Algorithms: MOCMA) (Schutze *et al.*, 2015) อาจนำมาใช้แก้ปัญหาการผลิตแบบตามงานที่มีหลายปัจจัย (Multi Factors) ในการพิจารณาการจัดลำดับการผลิตได้ เนื่องจาก MOCMA มีการปรับปรุงวิธีการลอกแบบด้วยการแก้ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi Objective) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในการปรับปรุงประชากรคำตอบให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น

ปัญหาที่แท้จริงของการค้นหาแบบแผนการจัดตารางการผลิตใหม่ให้เหมาะสมไม่ใช่ปัญหาของส่วนงานผลิต (Production Problem) แต่ควรที่จะเป็นปัญหาของส่วนงานขาย (Sale Problem) เนื่องด้วยส่วนงานขายเป็นผู้รับความต้องการของลูกค้าโดยตรง ซึ่งการถูกแทรกงานผลิตจากความต้องการใหม่ของลูกค้า (New Order) หลังจากแผนการผลิตเดิมได้ถูกส่งผลิตไปแล้วและอยู่ระหว่างการผลิตเป็นปัญหาที่สร้างผลกระทบต่อระบบการผลิตในองค์กรรวมเป็นอย่างมาก เช่น ต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น (Over Cost) การหยุดการผลิตเพื่อจัดเตรียมการผลิตใหม่ (Production Hold) ความเครียดสะสมของทีมงานผลิตเนื่องจากถูกแทรกงานปกติ (Unhappy Employee) การเกิดการทำงานนอกเวลา (Over Time) การถูกดำเนินจากลูกค้ากรณีที่ไม่สามารถส่งมอบได้ตามกำหนดเนื่องจากถูกแทรกงานผลิตใหม่ (Customer Complaint) เป็นต้น ดังนั้น การทราบถึงแผนการจัดตารางการผลิตใหม่ทันทีในกรณีที่มีการถูกแทรกงานผลิตจากความต้องการใหม่ของลูกค้าหลังจากแผนการผลิตเดิมได้ถูกส่งผลิตไปแล้วและอยู่ระหว่างการผลิตจึงเป็นสารสนเทศที่สำคัญสำหรับส่วนงานขายสำหรับใช้อ้างอิงในการเจรจาต่อรองนัดหมายการส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสมและเกิดผลกระทบต่อการผลิตน้อยที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อนำเสนอการจัดลำดับงานผลิตด้วยเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย โดยการพัฒนาโปรแกรมการ

จัดลำดับงานผลิตใหม่อย่างอัตโนมัติและเหมาะสมเมื่อความต้องการงานผลิตแบบพลวัตมาถึงด้วยการเปลี่ยนตารางการผลิตเดิมระหว่างการผลิตเป็นตารางการผลิตแบบตามงาน (Job Shop Scheduling) ด้วยเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย (Sand Pile Multi Objective) ในการค้นหาแบบแผนการจัดตารางการผลิตใหม่ให้เหมาะสมที่สุดภายใต้สภาวะของการผลิตแบบตามงานที่มีหลายปัจจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือวิจัย

1. เทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย (Genetic Algorithm with Sand Pile Multi Objective: GASPM)
2. ชุดปัญหา DTLZ (Suite of Continuous Test Problems by Deb, Thiele, Laumanns, Zitzler)
3. โปรแกรมเสริมสำหรับประมวลผลข้อมูลแบบ GASPM
4. ระบบ ERP (SYSPRO ERP)
5. แบบประเมินการยอมรับการใช้เทคโนโลยี

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร ได้แก่ ผู้ใช้งานส่วนงานขายและผู้ใช้งานในส่วนงานผลิตในอุตสาหกรรมผลิตหมึกพิมพ์
2. กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้ใช้งานส่วนงานขาย จำนวน 5 คน และผู้ใช้งานในส่วนงานผลิต จำนวน 5 คน

ขั้นตอนวิจัย

การวิจัยนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนวิจัย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การพัฒนาวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย การทดสอบสมรรถนะของคำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย การพัฒนาโปรแกรมเสริมสำหรับประมวลผลข้อมูล และการทดสอบการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งาน

1. การพัฒนาวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทรายเป็นการใช้กระบวนการวิธีเชิงพันธุกรรมแบบเดิมร่วมกับการพัฒนาฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย ซึ่งประยุกต์ร่วมกันวิธีเชิงพันธุกรรมแบบเดิมที่มีอยู่แล้วกับฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย ปัญหาแบบหลายวัตถุประสงค์เป็นปัญหาการออกแบบที่มีหลายวัตถุประสงค์จะประกอบด้วยจำนวน m วัตถุประสงค์และตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) มากกว่า 1 ตัวแปร ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$\text{Maximize(or minimize)} : \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)\} \quad (1)$$

โดยที่ x คือ เวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ

$f_i(x)$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ,

$$i = 1, 2, \dots, m$$

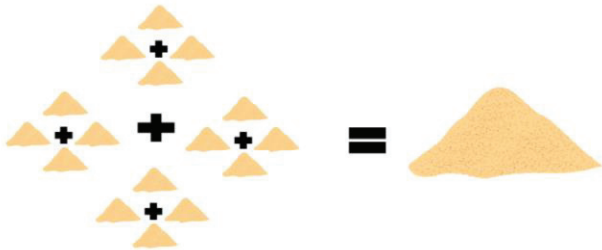


Figure 1 Sand Pile Theory

สำหรับการนำแนวคิดการก่อกองทรายมาประยุกต์ใช้พบว่า Fernandes *et al.* (2013) ได้นำแนวคิดนี้ไปใช้เกี่ยวกับวิธีเชิงพันธุกรรมในส่วนของการการกลายพันธุ์ (Sandpile Mutation Operator) สำหรับบทความนี้ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดการก่อกองทรายในการกำหนดฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ซึ่งเกิดจากแนวคิดการรวมกันของการก่อทรายจำนวนหลายๆกองและนำมารวมกันจะได้กองทราย 1 กอง ไม่ว่าจะมีจำนวนกองทรายจำนวนมากเท่าไรเมื่อนำมารวมกันแล้วจะได้

กองทราย 1 กองทรายเสมอ ซึ่งสามารถแสดงแนวคิดการก่อกองทรายได้ดัง Figure 1 จากแนวคิดนี้จะต้องแปลงค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f_i(x)$ ให้อยู่ในรูปสัดส่วนตัวเลขโดยค่าสูงสุดเท่ากับหนึ่งและค่าต่ำสุดเท่ากับศูนย์และนำมารวมกันตามกฎคณิตศาสตร์การรวมกันของสัดส่วน (Proportion Combination Rule: $p(f_i(x))$) ทำให้ได้ฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ดังสมการที่ (2)

$$\text{Maximize(or minimize)} : \{p(f_1(x)) * \dots * p(f_m(x))\} \quad (2)$$

โดยที่ x คือ เวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ

คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ,

$$i = 1, 2, \dots, m$$

จากสมการที่ (2) ทำให้ลดภาระการประมวลผลของวิธีเชิงพันธุกรรมได้ ซึ่งการพิจารณาค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะใช้ค่าตัวเลขระหว่าง 0-1 เท่านั้น และสามารถเพิ่มฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้อย่างไม่จำกัด ซึ่งสามารถแก้ปัญหาการผลิตที่มีตัวแปรตัดสินใจหลายตัวแปร และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานได้หลายประเภท ซึ่งวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทรายสามารถแสดงได้ดัง Figure 2

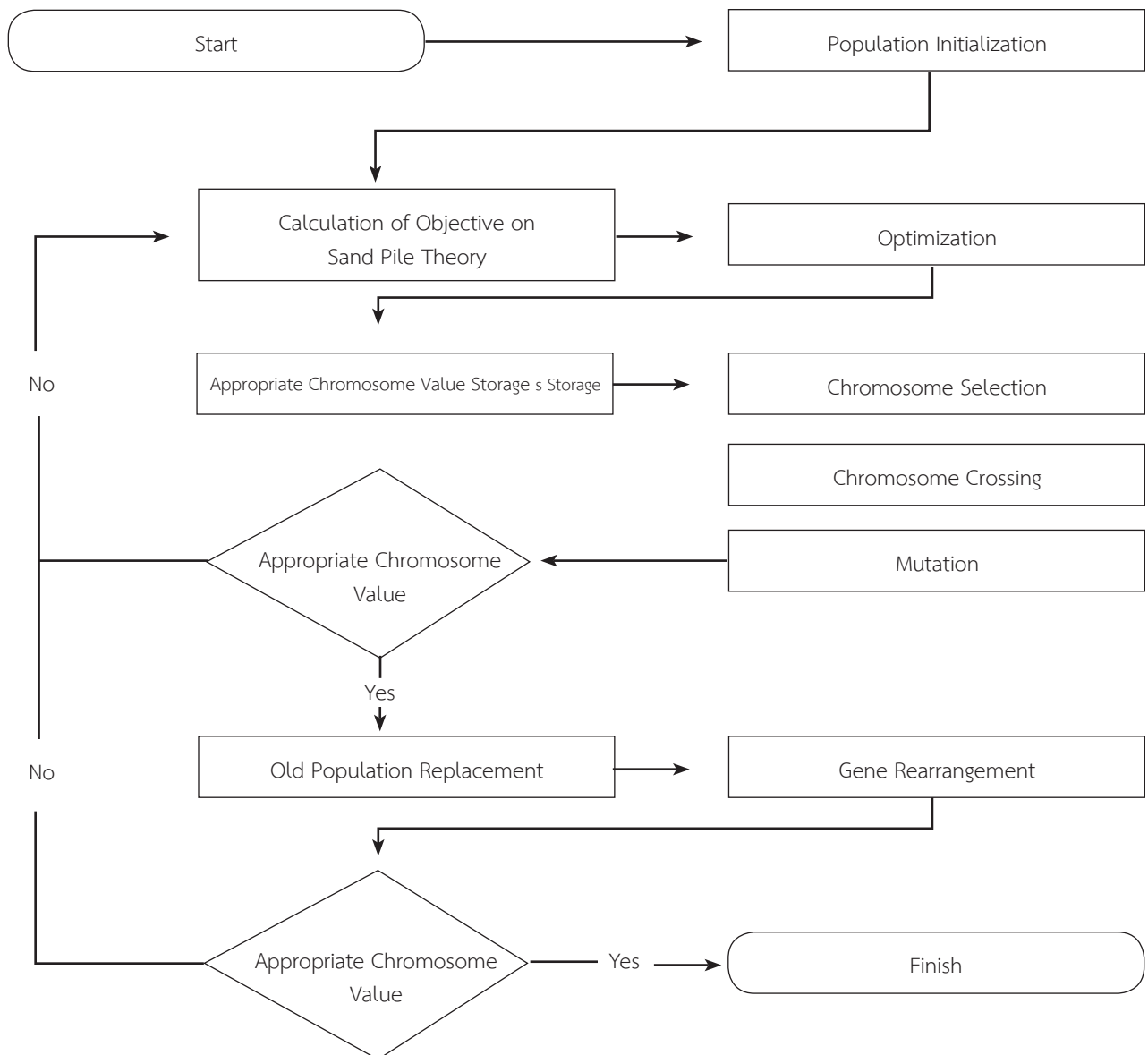


Figure 2 Sand Pile Multi-Objective Genetic Algorithm

จาก Figure 2 วิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทรายจะมีขั้นตอนการคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทรายเพิ่มขึ้นมาจากขั้นตอนปกติของวิธีเชิงพันธุกรรมโดยวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทรายมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) การสร้างประชากรเริ่มต้น
- 2) การคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย
- 3) การหาค่าความเหมาะสม
- 4) การเก็บค่าโครโมโซมที่เหมาะสม
- 5) การคัดเลือกโครโมโซม

- 6) การข้ามสายพันธุ์โครโมโซม
- 7) การกลายพันธุ์
- 8) การทำซ้ำส่วนคัดเลือกโครโมโซม
- 9) การแทนที่ประชากรรุ่นเก่า
- 10) การจัดเรียงยีนใหม่
- 11) การทำซ้ำเพื่อหาค่าโครโมโซมที่เหมาะสม

2. การทดสอบสมรรถนะของคำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทรายที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่ด้วยการเปรียบเทียบสมรรถนะของคำตอบวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำรุ่นที่ 2 (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II: NSGAI) (Kashyap *et al.*, 2020) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่ง

ที่เป็นที่นิยมวัดสมรรถนะของคำตอบหาค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ งานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบ ได้แก่ สมรรถนะของคำตอบสำหรับการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence Measurement) ดังสมการที่ (3) และสมการที่ (4) และสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบ (Spread Measurement) ดังสมการที่ (5) และสมการที่ (6)

$$Convergence = \frac{\sum_{i=1}^{|A^*|} dt_i}{|A^*|} \quad (3)$$

$$dt_i = \min_{j=1}^{|A^*|} \sqrt{\sum_{k=1}^K \left[\frac{f_k(x) - f_k(y)}{f_k^{max} - f_k^{min}} \right]^2} \quad (4)$$

$$Spread(A) = \frac{sd_f + sd_i + \sum_{i=1}^{|A|} \|sd_i - \bar{sd}\|}{sd_f + sd_i + (|A| - 1)sd} \quad (5)$$

$$sd_i = \sqrt{\sum_{k=1}^K \left[\frac{f_k(x) - f_k(x_{i+1})}{f_k^{max} - f_k^{min}} \right]^2} \quad (6)$$

จากสมการที่ (3) และ (4) A^* คือ เซตของคำตอบที่แท้จริง ส่วน dt_i คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และ $|A^*|$ คือ จำนวนคำตอบที่แท้จริง ในเซต A และถ้าสมรรถนะของคำตอบสำหรับการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากที่สุดถือว่าสมรรถนะสูงที่สุด จากสมการที่ (5) และ (6) และ เป็นระยะห่างของคำตอบปลายสุดทั้งสองด้าน ส่วนเป็นระยะของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันในเซตคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้ สำหรับ คือ ค่าเฉลี่ยของระยะทาง และ $|A|$ คือ จำนวนคำตอบที่หาได้ ส่วน dt_i คือ ระยะห่างระหว่างคำตอบที่ไม่ถูกรอบง่า

3. การพัฒนาโปรแกรมเสริมสำหรับประมวลผลข้อมูลแบบ GASPM ประกอบด้วย 2 โปรแกรมหลัก ได้แก่ โปรแกรมประมวลผลวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย และโปรแกรมตารางการผลิตแบบตามงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) โปรแกรมประมวลผลวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิด การก่อกองทราย เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยชุดการพัฒนาโปรแกรม MATLAB & Simulink และแปลงไฟล์โปรแกรมให้อยู่ในรูปแบบสกุลไฟล์ .ini โดยกำหนดชื่อไฟล์ว่า "gaspm.ini" สำหรับใช้ในการจัดลำดับความเหมาะสมของตารางการผลิตสำหรับตัวแปรตัดสินใจซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้จากตัวเลือกในโปรแกรมตารางการผลิตแบบตามงาน สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ 2 ตัวแปร ได้แก่ ระยะเวลากำหนดส่งของงานผลิต (Due Date) และต้นทุนของงานผลิต (Production Cost) โดยผลลัพธ์ของรายการการผลิตที่เหมาะสมของตารางการผลิตจะถูกเก็บในตัวแปรชนิดเมทริกซ์ (Matrix) โดยหลักสดมภ์ (Column) คือ รหัสข้อมูล ได้แก่ สถานีงาน/ เครื่องจักร, ใบบาง, งาน (วัตถุดิบ (Raw Material)/ ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูป (Semi Product) / ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (Product), จำนวนที่ผลิตในสถานีงาน และเวลาที่ใช้ในการผลิต ส่วนหลักแถว (Row) คือ ลำดับงานผลิต แสดงตัวอย่างข้อมูลดัง Figure 3 โดยยกตัวอย่างรายละเอียดข้อมูลตัวอย่างในหลักสดมภ์ที่ 1 ในแถวที่ 1 ได้แก่ P001 คือ รหัสลำดับงานที่ 1 W01 คือ รหัสสถานีงาน O190823001 คือ ใบบาง SM101 คือ รหัสงาน ส่วน 100 คือจำนวนผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตในสถานีงาน และ 12 คือเวลาที่ใช้ในการผลิตมีหน่วยเป็นนาที่ ซึ่งข้อมูลถูกนำไปใช้ในโปรแกรมตารางการผลิตแบบตามงานในลำดับต่อไป โดยมีฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ดังสมการที่ (7-11)

P001 W01,O190823001,SM101,100,12 W02,O190823001,SM101,100,30
P002 W01,O190823002,SM109,250,15 W02,O190823002,SM101,250,25
P003 W01,O190823003,SM101,400,92 W02,O190823003,SM101,400,70

Figure 3 Output of the Production Line

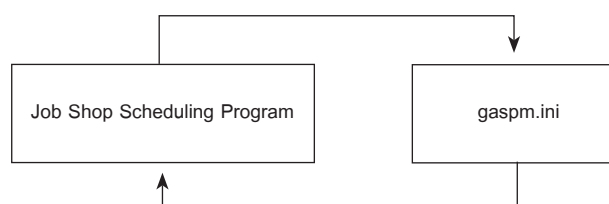


Figure 4 Relationship within Program

$$\text{Maximize} : \{p(f_1(x)) * p(f_2(x))\} \quad (7)$$

$$p(f_1(x)) = \text{Maximize}(pdt_i / pdt_A) \quad (8)$$

$$p(f_2(x)) = \text{Maximize}(1 - (pdc_{min})) \quad (9)$$

$$pdt_i = dvt_i - pdt_i \quad (10)$$

$$pdt_A = dvt_i - pdt_b \quad (11)$$

โดยที่ pdt_i คือ ระยะเวลากำหนดส่งของงานผลิตที่ i
 pdt_A คือ ระยะเวลากำหนดส่งของงานผลิตทุกงาน
 dvt_i คือ เวลากำหนดส่งมอบงานที่ i
 pdt_i คือ เวลาเริ่มของงานผลิตที่ i
 dvt_i คือ เวลากำหนดส่งมอบงานช้าที่สุด
 pdt_b คือ เวลากำหนดส่งของงานผลิตที่เริ่มต้นเร็วที่สุด
 pdc_{min} คือ ต้นทุนของงานผลิต i ที่น้อยที่สุด
 $f_1(x)$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 คือ ค่าตัวแปรตัดสินใจด้านระยะเวลากำหนดส่งของงานผลิต
 (x) คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ ค่าตัวแปรตัดสินใจด้านต้นทุนของงานผลิต

2) โปรแกรมตารางการผลิตแบบตามงานเป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยชุดการพัฒนาโปรแกรม Visual Basic dot net (VB.net) สำหรับใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) โดยมีความสัมพันธ์แสดงดัง Figure 4 โปรแกรมตารางการผลิตแบบตามงานจะส่งค่าตัวแปรตัดสินใจ ได้แก่ ระยะเวลาผลิตสูงสุดในแต่ละสถานงานผลิต ต้นทุนการตั้งเครื่องจักรในแต่ละสถานงานกรณีเริ่มการผลิตใหม่ และต้นทุนการผลิตที่ใช้ในแต่ละสถานงานผลิต

แผนกำหนดการดำเนินงานขาย						
ความต้องการ						
รหัสลูกค้า	รหัสคำสั่งซื้อ	รหัสสินค้า	จำนวน	หน่วย	วันที่สั่งซื้อ	วันที่ส่งมอบ
A-2000-00018	SO201911-000037	GPV100-OL	200	กระป๋อง	21/11/2019	24/11/2019
A-2000-00018	SO201911-000037	GPV100-OS	80	กระป๋อง	21/11/2019	24/11/2019
A-2000-00018	SO201911-000037	NPV990-XL	90	ถัง	21/11/2019	25/11/2019
A-2000-00018	SO201911-000038	GPV100-OM	980	กระป๋อง	22/11/2019	24/11/2019
A-2000-00021	SO201911-000039	GPV100-OL	50	กระป๋อง	21/11/2019	24/11/2019
A-2000-00033	SO201911-000040	GPV100-OS	20	กระป๋อง	21/11/2019	24/11/2019
A-2000-00047	SO201911-000041	GPV100-OS	50	กระป๋อง	21/11/2019	25/11/2019
A-2000-00055	SO201911-000042	GPV100-OM	1,000	กระป๋อง	22/11/2019	24/11/2019

(A) Sales Schedule Processing Screen

แผนกำหนดการดำเนินงานผลิต										
การประมวลผล		สถานะ		ประมวลผล		ดำเนินการผลิต				
เลือกสถานะ		SO201911-000037								
ลำดับ	สถานะงาน	รหัสงานผลิต	รหัสสินค้า	จำนวน/หน่วย	ก่อนหน้า	วันที่เริ่มผลิต	เวลาเริ่ม	วันที่เสร็จ	เวลาเสร็จ	
1	W01	O190823001	SM101	1,000	คก.	-	24/11/2019	9:31	24/11/2019	10:00
2	W02	O190823001	SM501	1,000	คก.	W01	24/11/2019	10:01	24/11/2019	10:30
3	W05	O190823001	SM908	1,000	คก.	W02	24/11/2019	10:31	24/11/2019	11:00
4	W09	O190823001	GPV100	30,000	คก.	W05	24/11/2019	11:01	24/11/2019	12:00
5	W18	O190823001	GPV100-OS	150	กระป๋อง	W09	24/11/2019	13:30	24/11/2019	13:45
6	W20	O190823001	GPV100-OM	396	กระป๋อง	W09	24/11/2019	13:30	24/11/2019	14:15
7	W21	O190823001	GPV100-OM	396	กระป๋อง	W09	24/11/2019	13:30	24/11/2019	14:15
8	W22	O190823001	GPV100-OM	396	กระป๋อง	W09	24/11/2019	13:30	24/11/2019	14:15
9	W23	O190823001	GPV100-OM	396	กระป๋อง	W09	24/11/2019	13:30	24/11/2019	14:15
10	W24	O190823001	GPV100-OM	396	กระป๋อง	W09	24/11/2019	13:30	24/11/2019	14:15
11	W26	O190823001	GPV100-OL	250	กระป๋อง	W09	24/11/2019	13:30	24/11/2019	13:55

(B) Production Schedule Plan Processing Screen

Figure 5 GASPM Data Processing Add-on

ผลลัพธ์ของรายการการผลิตที่เหมาะสมของตารางการผลิตจะถูกเก็บในตัวแปรชนิดเมทริกซ์ (Matrix) ได้แก่ สถานงาน ใบบาง รหัสงาน (วัตถุดิบ (Raw Material)/ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (Semi Product)/ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (Product)) จำนวนที่ผลิตในสถานงาน และเวลาที่ใช้ในการผลิต ไปประมวลผลการจัดลำดับความเหมาะสมของตารางการผลิตที่ไฟล์ "gaspm.ini" ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะนำมาจากระบบ SYSPRO ERP และไฟล์ "gaspm.ini" ส่งค่ากลับมาให้โปรแกรมตารางการผลิตแบบตามงานในรูปแบบข้อมูลตัวแปรชนิดเมทริกซ์แสดงตัวอย่างข้อมูลดัง Figure 3 หลังจากนั้นโปรแกรมตารางการผลิตแบบตามงานจะทำการแสดงผลให้ผู้ใช้งานต่อไป แสดงตัวอย่างโปรแกรม ดัง Figure 5

4. การทดสอบการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งานได้ใช้แบบประเมินการยอมรับการใช้เทคโนโลยีที่ได้รับการตรวจสอบค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity Index: CVI) จากผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน เท่ากับ 0.88 ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปใช้ทดสอบการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งาน (Vakili & Jahangiri, 2018) การทดสอบการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งานนั้นจะประเมินความเหมาะสมจากความสะดวกและความง่ายในการใช้งาน ได้แก่ การดำเนินการตามขั้นตอนของโปรแกรม การออกแบบโปรแกรมลักษณะทั่วไป และภาพรวมของโปรแกรม ซึ่งการประเมินความเหมาะสมของโปรแกรมใช้มาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ โดยนำผลประเมินรายข้อมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และเทียบกับเกณฑ์การประเมิน (Johnson & Christensen, 2014) ดังนี้

ความเหมาะสมมากที่สุด คะแนนเท่ากับ 5
 ความเหมาะสมมาก คะแนนเท่ากับ 4
 ความเหมาะสมปานกลาง คะแนนเท่ากับ 3
 ความเหมาะสมน้อย คะแนนเท่ากับ 2
 ความเหมาะสมน้อยที่สุด คะแนนเท่ากับ 1
 เกณฑ์การแปลความหมายค่าเฉลี่ย มีดังนี้
 ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00 เท่ากับ เหมาะสมมากที่สุด
 ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50 เท่ากับ เหมาะสมมาก
 ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50 เท่ากับ เหมาะสมปานกลาง
 ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50 เท่ากับ เหมาะสมน้อย
 ค่าเฉลี่ย 1.00-1.50 เท่ากับ เหมาะสมน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

การทดสอบสมรรถนะของคำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ ตามแนวคิดการก่อกองทรายที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่ด้วยการเปรียบเทียบสมรรถนะของคำตอบ NSGAII โดยชุดของปัญหาหลายวัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ คือ ชุดปัญหา DTLZ โดยใช้ DTLZ1-4 แบบ 2 วัตถุประสงค์ โดยมีรายละเอียดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดัง Table 1 และมีรายละเอียดในการทดลองวิธีเชิงพันธุกรรม ดังนี้

Fitness ใช้วิธี Pareto Ranking Approach

Selection ใช้วิธี Tournament Selection

Crossover ใช้วิธี Modified Order Crossover

Mutation ใช้วิธี Gaussian Mutation

Table 1 Multi-Objective Description

DTLZ	Objective function
1	$f_1 = \frac{1}{2} x_1(1 + g)$ $f_2 = \frac{1}{2} x_2(1 - x_1)(1 + g)$
	$g = 100 \left[5 + \sum_{i=2}^6 ((x_i - 0.5)^2 - \cos(20\pi(x_i - 0.5))) \right]$ $x_i \in [0,1], i \in \{1, \dots, 6\}$
	$f_1 = (1 + g) \cos\left(x_1 \frac{\pi}{2}\right)$ $f_2 = (1 + g) \sin\left(x_1 \frac{\pi}{2}\right)$
2	$g = \sum_{i=2}^1 (x_i - 0.5)^2$ $x_i \in [0,1], i \in \{1, \dots, 11\}$

Table 1 Multi-Objective Description (continue)

DTLZ	Objective function
3	$f_1 = (1 + g) \cos\left(x_1 \frac{\pi}{2}\right)$ $f_2 = (1 + g) \sin\left(x_1 \frac{\pi}{2}\right)$
	$g = 100 \left[10 + \sum_{i=2}^6 ((x_i - 0.5)^2 - \cos(20\pi(x_i - 0.5))) \right]$ $x_i \in [0,1], i \in \{1, \dots, 11\}$
	$f_1 = (1 + g) \cos\left(x_1 \frac{\pi}{2}\right)$ $f_2 = (1 + g) \sin\left(x_1 \frac{\pi}{2}\right)$
4	$g = \sum_{i=2}^1 (x_i - 0.5)^2$ $\alpha = 100$ $x_i \in [0,1], i \in \{1, \dots, 11\}$

ผลของการทดสอบสมรรถนะของคำตอบที่ได้จากวิธี GASPM เปรียบเทียบสมรรถนะของคำตอบวิธี NSGAII พบว่า สมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงของวิธี GASPM จะมีอัตราการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงที่ดีกว่าวิธี NSGAII และสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบของวิธี GASPM มีการกระจายที่สม่ำเสมอและมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากกว่าวิธี NSGAII แสดงดัง Table 2

Table 2 The Results of Answer Performance

DTLZ/ Algorithm		Performance			
		Convergence		Spread	
		Mean	Variance	Mean	Variance
1	GASPM		0.0011	0.00092	0.1089
	NSGAI		0.0025	0.00145	0.6914
2	GASPM		0.0007	0.00027	0.0178
	NSGAI		0.0017	0.00090	0.5428
3	GASPM		0.0012	0.00020	0.0440
	NSGAI		0.0018	0.00072	0.3377
4	GASPM		0.0014	0.00102	0.1101
	NSGAI		0.0041	0.00130	0.6958

Table 3 Testing of Answer Performance with Appropriate Production Functions

DTLZ/ Algorithm		Performance			
		Convergence		Spread	
		Mean	Variance	Mean	Variance
1*	GASPM		0.001463	0.00102	0.0789
	NSGAI		0.003325	0.00155	0.6614
2**	GASPM		0.001862	0.00112	0.0801
	NSGAI		0.005453	0.00140	0.6658

* Answer performance from customer's former requirement,

** Answer performance from customer's new requirement

Table 4 Testing of Technology Acceptance

Items	Mean	SD	Suitability Level
1. Program Steps Execution			
1.1 Program Objectives	4.47	0.72	High
1.2 Consistency of the Objectives with the program	4.29	0.77	High
1.3 Easy to Use	4.06	0.43	High
1.4 Timely Processing	4.59	0.51	Highest
รวม	4.35	0.61	High
2. Program Design			
2.1 Font			
2.1.1 Size	4.53	0.51	Highest
2.1.2 Style	4.71	0.47	Highest
2.1.3 Theme	4.24	0.44	High
2.1.4 Color	4.35	0.93	High

Table 4 Testing of Technology Acceptance (contunue)

Items	Mean	SD	Suitability Level
2.2 Descriptive Image	4.53	0.62	Highest
2.3 Clear Color of Font, Number and Image	4.41	0.51	High
Total	4.46	0.58	High
3. General Characteristics			
3.1 Easy and Convenient	4.75	0.29	Highest
3.2 Suitability for Use	4.75	0.29	Highest
3.3 Relationship of the Illustration with the Content	4.75	0.29	Highest
Total	4.75	0.29	Highest
4. Program Overview			
4.1 Procedure	4.47	0.59	High
4.2 Easy to Understand Language	4.47	0.59	High
4.3 Clear Illustrations	4.47	0.59	High
4.4 Appropriate Illustrations	4.47	0.59	High
Total	4.47	0.59	High

ผลการทดสอบสมรรถนะของคำตอบด้วยฟังก์ชันการผลิตที่เหมาะสมจากความต้องการของลูกค้าโดยฝ่ายขาย ได้แก่ การจัดตารางการผลิต (Scheduling) ตามความต้องการเดิมของลูกค้า และการเปลี่ยนตารางการผลิต (Re-scheduling) จากความต้องการใหม่ของลูกค้า โดยวิธี GASPM เปรียบเทียบสมรรถนะของคำตอบวิธี NSGAI พบว่า สมรรถนะของคำตอบด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงของวิธี GASPM จะมีอัตราการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงที่ดีกว่าวิธี NSGAI และสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบของวิธี GASPM มีการกระจายที่สม่ำเสมอและมีค่าเข้าใกล้ศูนย์มากกว่าวิธี NSGAI แสดงดัง Table 3

ผลการทดสอบการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งาน (Table 4) พบว่า การยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งานด้านการดำเนินตามขั้นตอนของโปรแกรมมีความเหมาะสมมาก ($Mean = 4.35$) การยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งานด้านการออกแบบโปรแกรมมีความเหมาะสมมาก ($Mean = 4.46$) การยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งานด้านลักษณะทั่วไปมีความเหมาะสมมากที่สุด ($Mean = 4.75$) และการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งานด้านภาพรวมของโปรแกรมมีความเหมาะสมมาก ($Mean = 4.47$)

สรุปและอภิปรายผล

โปรแกรมการจัดลำดับงานผลิตด้วยเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตาม

แนวคิดการก่อกองทราย ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ โปรแกรมประมวลผลวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทรายซึ่งอยู่ในรูปแบบไฟล์ "gaspm.ini" สำหรับทำหน้าที่การจัดลำดับความเหมาะสมของตารางการผลิต และโปรแกรมตารางการผลิตแบบตามงานสำหรับทำหน้าที่ดึงข้อมูลที่ใช้สำหรับประมวลผลการจัดลำดับงานผลิตจากระบบ ERP และการจัดลำดับงานผลิตแสดงผลตารางการผลิตรวมถึงการตอบโต้กับผู้ใช้งาน โดยการทดสอบสมรรถนะของคำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทราย (GASPM) เปรียบเทียบกับสมรรถนะของคำตอบวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำรุ่นที่ 2 (NSGAI) จากชุดปัญหา DTLZ และฟังก์ชันการผลิตที่เหมาะสม พบว่า สมรรถนะของคำตอบด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงของวิธี GASPM จะมีอัตราการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงที่ดีกว่าวิธี NSGAI และสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบของวิธี GASPM มีการกระจายที่สม่ำเสมอมากกว่าวิธี NSGAI

การศึกษา พบว่า การแก้ปัญหาการจัดลำดับงานผลิตโดยโปรแกรมการจัดลำดับงานผลิตด้วยเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมจากการสร้างฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ตามแนวคิดการก่อกองทรายสามารถจัดลำดับงานผลิตใหม่ให้เหมาะสมได้อย่างอัตโนมัติด้วยการเปลี่ยนตารางการผลิตเดิม (Scheduling) เป็นตารางการผลิตแบบตามงาน

(Re-scheduling) สำหรับโปรแกรมตารางการผลิตแบบตามงานได้ทดสอบการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งาน พบว่าการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งานด้านการดำเนินการตามขั้นตอนของโปรแกรมมีความเหมาะสมมาก การยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งานด้านการออกแบบโปรแกรมมีความเหมาะสมมาก การยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งานด้านลักษณะทั่วไปมีความเหมาะสมมากที่สุด และการยอมรับการใช้เทคโนโลยีของผู้ใช้งานด้านภาพรวมของโปรแกรมมีความเหมาะสมมาก

อย่างไรก็ตาม การวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวแปรตัดสินใจได้แก่ เวลากำหนดส่งของงานผลิต และต้นทุนการผลิตที่ใช้ในแต่ละสถานงานผลิตในอนาคตอาจจะเลือกตัวแปรตัดสินใจในด้านอื่นๆ มาพิจารณา เช่น ต้นทุนการตั้งเครื่องจักร ต้นทุนเสียโอกาสในการผลิต เป็นต้น และงานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมรรถนะของคำตอบที่แท้จริงด้วยชุดปัญหา DTLZ โดยใช้ DTLZ1-4 แบบ 2 วัตถุประสงค์มาใช้เปรียบเทียบทดสอบเท่านั้น ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรจะทำการศึกษาทดสอบกับชุดปัญหา DTLZ ที่มีวัตถุประสงค์มากกว่านี้

เอกสารอ้างอิง

- Al-Salem, M., Bedoya-Valencia, L., & Rabadi, G. (2016). Heuristic and exact algorithms for the two-machine just in time job shop scheduling problem. *Mathematical Problems in Engineering*, 5, 1-11. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6591632>.
- Bhongade, A.S. & Khodke, P. M. (2012). Heuristics for production scheduling problem with machining and assembly operations. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3, 185–19.
- Calis, B., & Bulkan, S. (2015). A research survey: review of AI solution strategies of job shop scheduling problem. *Journal of Intelligent Manufacturing, Computing*, 26(5), 961-973.
- Fernandes, C.M., Laredo, J.L.J, Rosa, A.C. & Merelo, J.J. (2013). The sandpile mutation Genetic Algorithm: an investigation on the working mechanisms of a diversity-oriented and self-organized mutation operator for non-stationary functions, *Appl Intell*, 39, 279–306.
- Gupta, A., & Chauhan, S. (2015). A heuristic algorithm for scheduling in a flow shop environment to minimize makespa. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 6, 173-184.
- Johnson, R., & Christensen, L. (2014). *Educational research quantitative, qualitative, and mixed approaches* (5th ed.). SAGE.
- Kalshetty, Y.R., Adamuthe, A.C., & Kumar, S.P. (2020). Genetic algorithms with feasible operators for solving job shop scheduling problem. *Journal of Scientific Research*, 64 (1), 310-321.
- Kashyap, N., Kumari, A., & Chhikara, R. (2020). Multi-objective Optimization using NSGA II for service composition in IoT. *Procedia Computer Science*, 167, 1928-1933.
- Pongchairerks, P. (2019). A two-level metaheuristic algorithm for the job-shop scheduling problem. *Complexity*, 2019, 1-11.
- Raeesi, M.R.N., & Kobt, Z. (2012). A memetic algorithm for job shop scheduling using a critical-path-based local search heuristic. *Memetic Computing*, 4(3), 231-245.
- Schutze, O., Martin, A., Lara, A., Alvarado, S., Salinas, E., & Coello, C.A.C. (2015). The directed search method for multi-objective memetic algorithms. *Computational Optimization and Applications*, 63(2), 305-332.
- Sonmez, R., & Uysal, F. (2015). Backward-forward hybrid genetic algorithm for resource-constrained multi project scheduling problem. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(5), 04014072.
- Sotskov, Y.N., Matsveichuk, N.M., & Hatsura, V.D. (2020). Two-machine job-shop scheduling problem to minimize the makespan with uncertain job durations. *Algorithms*, 13(1), 1-45.
- Turkyilmaz, A., Senvar, O., Unal, I., & Bulkan, S. (2020). A research survey: Heuristic approaches for solving multi objective flexible job shop problems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(8), 1949-1983. <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01547-4>
- Vakili, M.M., & Jahangiri, N. (2018). Content validity and reliability of the measurement tools in educational, behavioral, and health sciences research. *Journal of Medical Education Development*, 10(28), 106-119.
- Wang, C.L., Rong, G., Weng, W., & Feng, Y.P. (2015). Mining scheduling knowledge for job shop scheduling problem. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 800-805.