วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 27 ฉบับที่ 2 เม.ย. – มิ.ย. 2560
The Journal of KMUTNB., Vol. 27, No. 2, Apr. – Jun. 2017

บทความวิจัย

การตัดฟิล์มสองมิติตามชั้นคุณภาพ

สุขแสง คูกนก* วรปภา อารีราษฎร์ และ ธวัช อารีราษฎร์
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08−6331−0980 อีเมล: suksaeng@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2017.03.002
รับเมื่อ 11 กุมภาพันธ์ 2559 ตอบรับเมื่อ 4 พฤษภาคม 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 31 มีนาคม 2560
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมการผลิตฟิล์มพลาสติก หนึ่งในกระบวนการผลิตที่สำคัญได้แก่การตัดฟิล์มให้ได้ขนาดตามที่ลูกค้าต้องการ เนื่องจากความต้องการของลูกค้ามีหลากหลาย ได้แก่ ความกว้าง ความยาว ชั้นคุณภาพ วันกำหนดส่ง เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) ได้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อให้ได้รูปแบบการตัดแผ่นฟิล์มที่เหมาะสม 2) พัฒนาโปรแกรมการตัดฟิล์มตามรูปแบบการตัดแผ่นฟิล์มที่ได้สังเคราะห์ขึ้น และ 3) ทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นในด้านความเร็วในการหารูปแบบการตัด และความเร็วในบริบทของการตั้งใบมีดการตัด ในการหาแนวทางการวิจัยเรื่องการการตัดฟิล์มสองมิติตามชั้นคุณภาพ ขั้นแรกทำการศึกษาทฤษฎีขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องของการจัดการการตัดวัสดุแบบสองมิติให้มากที่สุด ขั้นที่สองวิเคราะห์งานวิจัยที่อยู่ในบริบทของงานวิจัยที่นำเสนอ ขั้นที่สามศึกษาในเชิงลึกของงานวิจัยที่อยู่ในบริบท ขั้นที่สี่สังเคราะห์ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ขั้นที่ห้าทดสอบความเป็นไปได้ของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้สังเคราะห์ขึ้น ขั้นที่หกเขียนโปรแกรมและทดสอบด้วยแบบทดสอบการทำงานจริง ขั้นที่เจ็ดทดสอบแบบทดสอบนั้นกับวิธีเดิมที่ใช้มนุษย์ และขั้นที่แปดทดสอบโดยเทคโนโลยีที่ได้เลือกนำมาใช้จัดการด้วยแบบทดสอบที่ใช้งานจริงเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบระหว่างการจัดการเทคโนโลยีที่ได้เลือกใช้กับวิธีเดิม ผลการวิจัยเมื่อได้ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นตามตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้สังเคราะห์ขึ้นแล้วทำให้ลดเวลาคำนวณจากเดิมเมื่อคำนวณด้วยมนุษย์51 เท่า(5,185%) และใช้เวลาในการผลิตจากการตั้งใบมีดน้อยลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 13

คำสำคัญ: การจัดการเทคโนโลยี, การตัดฟิล์มสองมิติ, ชั้นคุณภาพ, ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม, แบบทดสอบ

การอ้างอิงบทความ: สุขแสง คูกนก วรปภา อารีราษฎร์ และ ธรัช อารีราษฎร์, "การตัดฟิล์มสองมิติตามชั้นคุณภาพ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 2, หน้า 351−360 เม.ย.–มิ.ย. 2560.

Research Article

Two−dimension Film Cutting by Quality Grade

Suksaeng Kukanok*, Worapapha Arreerard and Tharach Arreerard
Faulty of Information Technology, Rajabhat Maha sarakham University, Maha sarakham, Thailand

*Corresponding Author, Tel. 08−6331−0480, E−mail: suksaeng@hotmail.com DOI: 1014416/j.kumtnb.2017.03.002
Received 11 February 2016; Accepted 4 May 2016; Published online: 31 March 2017
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The plastic film manufacturing industry: One of the manufacturing processes, including cutting the film to the size that according to customer requirements, due to a variety of customers, including width, length, grade and due date, etc. This research aims to 1) form a mathematical model that use the genetic algorithm that create the optimizing patterns. 2) Developing the cutting film programs which following the patterns speed performance that had developed by the generating pattern and the application speed in the context of the cutting blade changed. To find the guidelines of the research on Two−dimension Film Cutting by Quality Grade, the first step is to studies the genetic algorithm theory related research and education in the management of the cutting two−dimensional material as much as possible. The second step is to analyze the research in the context of the proposed research. The third step is to educate deeply in the research context. Step four is synthesizing the mathematical model. The fifth is testing the feasibility of the mathematical model that synthesis. Step six Programming and testing with the actually work. Step seven testing with the human computation. And the eighth compare and analyze the results from the management's technology with the old ways that is used the human computing. The result on this research that is developed by the synthesized mathematical model decreased the calculating time when compare with the man is 51 times (5185%) and reduce blades changed time in the manufacturing 13 percent less on average.

Keywords: Technology Management, Two−dimension Film Cutting, Quality Grade, Genetic Algorithm

Please cite this article in press as: S. Kukanok, W. Arreerard, and T. Arreerard, "Two−dimension film cutting by quality grade," *The Journal of KMUTNB*., vol. 27, no. 2, pp. 351–360, Apr.–Jun. 2017 (in Thai).

1. บทนำ

ในปัจจุบันฟิล์มพลาสติกได้เป็นที่นิยมในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ ฯลฯ ในส่วนของอุตสาหกรรมอาหารได้นำฟิล์มพลาสติกไปใช้ในการบรรจุอาหารต่างๆ เช่นนำไปผลิตเป็นถุงใส่ขนมขบเคี้ยว ทั้งนี้เพื่อรักษาคุณภาพของอาหารให้ดีมีอายุยาวนาน ซึ่งได้มีการพัฒนาการผลิตฟิล์มเพื่อสนองความต้องการของตลาดให้มากขึ้น ส่วนของวงจรการผลิตแผ่นฟิล์มเริ่มจากกระบวนการสั่งซื้อ เมื่อได้รับคำสั่งซื้อแล้วจะมีการวางแผนการผลิตโดยมีขั้นตอนการวางแผนตามลำดับก่อนหลัง เนื่องจากกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกเป็นกระบวนการที่ไม่ควรหยุดการผลิตกลางคันหรือปิด–เปิดเครื่องจักรกลางคันเนื่องจากพลาสติกเป็นวัตถุดิบที่จะต้องมีการหลอมละลายในขณะผลิต หากมีการหยุดเดินเครื่องจักรกลางคันจะทำให้เกิดความสูญเสียในแง่ของผลผลิตที่ยังไม่ได้คุณภาพขณะเริ่มเดินเครื่อง ความร้อนที่ใช้ในการผลิตที่ต้องเริ่มอุ่นเครื่อง เหล่านี้เป็นความสูญเสียซึ่งเมื่อคิดเป็นตัวเงินแล้วสูงมาก กระบวนการการผลิตจึงต้องมีความต่อเนื่องและทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นเมื่อลูกค้ามีการสั่งซื้อเข้ามาแล้วจะต้องมีการจัดลำดับการผลิตให้ต่อเนื่องกันไปโดยไม่หยุดเครื่องและเนื่องจากเป็นการผลิตตามสั่งด้วย ดังนั้นการวางแผนการผลิตให้สมดุลระหว่างความต้องการของลูกค้ากับกำลังผลิตของเครื่องจักรจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะคำสั่งซื้อจะต้องมีการเข้าคิวรอการผลิตเพื่อที่ไม่ให้เกิดปัญหาการหยุดเดินเครื่องอันเนื่องจากกำลังผลิตสูงเกินความต้องการ

ในการวางแผนการผลิตจะต้องมีการรวบรวมจัดหมวดหมู่สินค้าที่มีคำสั่งซื้อประเภทเดียวกันที่มีกำหนดการจัดส่งในเวลาที่ใกล้เคียงกันไว้ด้วยกัน ทั้งนี้เพื่อให้มีการผลิตประเภทสินค้าเดียวกันได้อย่างต่อเนื่อง เช่น ประเภทของฟิล์ม ความหนาของฟิล์ม เป็นต้น จากนั้นจึงทำการวางแผนการผลิตว่าจะผลิตสินค้าประเภทนั้นๆ เป็นจำนวนเท่าไรในแต่ละวัน ซึ่งการผลิตนี้จะเป็นการผลิตด้วยเครื่องจักรที่ทำการผลิตฟิล์มที่มีความหนาเดียวกันออกมาเป็นม้วนใหญ่ตามขนาดมาตรฐานหน้ากว้างของเครื่องจักรในแต่ละเครื่อง ส่วนความยาวก็ผลิตความยาวในขนาดที่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของกำลังผลิตซึ่งจะต้องพอดีกับความยาวที่ต้องการของลูกค้าซึ่งเมื่อตัดออกมาแล้วจะไม่เหลือเศษ ในส่วนความกว้างจะต้องมีการคิดคำนวณให้ถูกต้องและเหมาะสม เพื่อให้มีขนาดความกว้างของฟิล์มรวมกันแล้วมีขนาดใหญ่ที่สุดเท่ากับความกว้างเครื่องจักรที่สามารถผลิตได้ซึ่งจะทำให้ได้ประสิทธิภาพในการผลิตสูงที่สุด ในการผลิตก็จะทำการผลิตตามหน้ากว้างที่คำนวณได้

ในการคำนวณการตัดในปัจจุบันใช้การคำนวณด้วยมนุษย์ทั้งการคำนวณขนาดความยาวและความกว้างตามที่ลูกค้าต้องการโดยการใช้โปรแกรม Excel สิ่งที่จะต้องเตรียมการก่อนการคำนวณประการแรกคือรวบรวมประเภท ความหนา และคุณสมบัติร่วมอื่นๆ ของฟิล์มที่ลูกค้าสั่งซื้อ จากนั้นจึงทำการคำนวณแล้วสั่งผลิตฟิล์มม้วนใหญ่ที่เรียกว่ามิลโรล (Mill Roll) จากนั้นจึงทำการตัดฟิล์มมิลโรลนี้ออกเป็นม้วนเล็กๆ ตามต้องการ เมื่อเป็นเช่นนี้ก็จะได้ฟิล์มที่มีขนาดความกว้างหลายชิ้นและความยาวที่มีขนาดความยาวเดียวกันได้ตามต้องการซึ่งเรียกว่าชุด (Set) จากนั้นก็วางแผนการตัดต่อไปจนหมดมิลโรลตามความยาวและความกว้างที่ต้องการซึ่งต้องให้มีเศษน้อยที่สุดเช่นกัน ในทางปฏิบัติแล้วการวางแผนการผลิตจะเกิดก่อน การผลิตเศษในส่วนความยาวจะไม่มี (หากจะมีก็คือเผื่อขาดให้กับลูกค้า) เนื่องจากได้รวมความยาวของแต่ละเซ็ต (ชุดของการตัด) แล้วจึงทำการผลิตมิลโรลซึ่งขนาดความยาวเปลี่ยนแปลงไปตามผลรวมของความยาวจำนวนเซ็ต ส่วนความกว้างนั้นเป็นขนาดความกว้างที่สามารถผลิตได้ตามที่คำนวณไว้ดังนั้นจึงไม่เหลือเศษในด้านกว้างเช่นเดียวกัน (หากจะมีก็คือขอบซึ่งจะต้องเว้นเพื่อตัดขอบเป็นระยะความกว้างที่กำหนดไว้อยู่แล้ว) ดังนั้นการกำหนดความกว้างจึงเป็นความกว้างที่มากที่สุดที่ใกล้กับความกว้างของเครื่องจักรที่ผลิตได้

ฟิล์มที่ผลิตได้จะมีคุณภาพดีมากที่บริเวณส่วนกลางของความกว้างของมิลโรล ดังนั้นจึงมีการแบ่งคุณภาพของฟิล์มที่ผลิตได้และลูกค้าสามารถระบุในใบสั่งซื้อ

ได้ว่าต้องการฟิล์มที่มีคุณภาพระดับไหน ดังนั้นในการวางแผนการตัดฟิล์มนี้จะต้องมีการพิจารณาด้านคุณภาพหรือตำแหน่งของฟิล์มที่ต้องการอีกด้วย เมื่อเป็นเช่นนี้แล้วการวางแผนการผลิตจึงเป็นหัวใจหลักของการผลิตเพื่อให้ได้คุณภาพ ประสิทธิภาพ และสินค้าถึงมือลูกค้าตรงตามกำหนด ซึ่งในการคำนวณด้วยมนุษย์ดังกล่าวอาจทำการคำนวณได้ไม่รวดเร็วและไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ได้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อให้ได้รูปแบบการตัดแผ่นฟิล์มที่เหมาะสม 2) พัฒนาโปรแกรมการตัดฟิล์มตามวิธีการจัดการตัดแผ่นฟิล์มที่ได้สังเคราะห์ขึ้น และ 3) ทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นในด้านความเร็วในการหารูปแบบการตัด และความเร็วในบริบทของการตั้งใบมีดการตัด

เมื่อได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องแล้วก็ทำให้ทราบว่าจะใช้เครื่องมือใดมาทำวิจัยในบริบทของการตัดฟิล์มสองมิตินี้ กรอบแนวคิดการวิจัยคือการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่สามารถแก้ปัญหาและจัดรูปแบบการตัดโดยการใช้เครื่องมือที่ได้เลือกมาใช้ ในการใช้เครื่องมือนั้นต้องทำการเขียนโปรแกรมแล้วทดสอบจากโจทย์ที่ใช้งานจริง ทำการเปรียบเทียบกับวิธีเดิมที่ใช้มนุษย์ในกรอบของเวลาในการคำนวณ และจำนวนของการเปลี่ยนรูปแบบการตัดให้น้อยที่สุด

2. ข้อมูลและวิธีการวิจัย

2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

Gaffney *et al.* [1] ได้กล่าวถึงการเข้ารหัสสำหรับวิธีเชิงพันธุกรรมแบบเลขฐานสองกับจำนวนจริง ซึ่งได้ทดสอบกับฟังก์ชันทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเข้ารหัสแบบจำนวนจริงสามารถนำไปใช้ได้

Masao *et al.* [2] ได้กล่าวถึงการตัดวัสดุแบบสองมิติโดยใช้เครื่องตัดแบบกิโยตินตัดวัสดุออกเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากโดยมีกระบวนการตัดแบบ 3 ขั้นตอนโดยจะตัดขาดจากม้วนใหญ่ก่อนเป็นขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนต่อไปตัดในแนวตั้ง (คอลัมน์) และขั้นตอนสุดท้ายตัดในแต่ละม้วนย่อยเป็นชิ้นๆ ในแนวนอน ในการแก้ปัญหาใช้วิธีการของการอบเหนียวจำลองโดยจะสร้างรูปแบบที่ต้องการและคำนวณให้เหลือเศษน้อยที่สุดจากนั้นเอารูปแบบมาเรียงเป็นบล็อกแล้วเอาแต่ละบล็อกมาเรียงกัน

Fabien *et al.* [3] ได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาการตัดวัสดุในแบบ 2 มิติแบบ 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นขั้นตอนการคำนวณหารูปแบบในการตัดโดยใช้ LP จากนั้นนำรูปแบบที่คำนวณได้มาเรียงกันเป็นบล็อกแล้วตามด้วยขั้นตอนที่สองซึ่งเป็นรูปแบบการตัดโดยจนสำเร็จเป็นบล็อกๆ โดยการใช้วิธีศึกษาสำนึกในการคำนวณ

Meghdad *et al.* [4] ได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาการตัดวัสดุในหนึ่งมิติโดยการใช้วิธีการอบเหนียวจำลองเปรียบเทียบกับการสืบค้นตาบูว่าการตัดโดยการแก้ปัญหาวิธีใดได้ผลดีกว่ากันซึ่งสรุปได้ว่า ด้วยโจทย์เดียวกันวิธีการอบเหนียวจำลองเหลือเศษการตัด 6.49% ซึ่งดีกว่าวิธีของการสืบค้นตาบูซึ่งเหลือเศษการตัด 7.45%

Rodrigo *et al.* [5] ได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาการตัดวัสดุแบบ 2 มิติโดยการใช้เทคนิค Modified Branch and Bound Algorithm ซึ่งเป็นวิธีแบบศึกษาสำนึกโดยการตั้งสมการหาเศษวัสดุที่น้อยที่สุดแล้วดำเนินการตามกระบวนการที่ได้ออกแบบไว้

Sweeney and Haessler [6] ได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาการตัดวัสดุแบบหนึ่งมิติด้วยวิธี LP ซึ่งมีการคัดเลือกคุณภาพของชิ้นงานที่ตัด โดยการตั้งสมการการตัดวัสดุและเศษวัสดุ แล้วทำการตามวิธีของ LP ในการตัดเพื่อให้ได้เศษวัสดุที่น้อยที่สุด

Aryanezhad *et al.* [7] ได้กล่าวถึงวิธีการแก้ปัญหาการตัดวัสดุแบบ 2 มิติอย่างง่ายโดยการใช้เครื่องตัดแบบกิโยติน ซึ่งได้ใช้วิธีการที่เรียกว่าการออกแบบขั้นตอนวิธีประมาณค่า (Approximation Algorithm Design) อันเป็นวิธีการศึกษาสำนึก การวิจัยพบว่าหากการเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมในการตัดได้ไม่ดีจะทำให้เกิดเศษวัสดุในการตัดมาก

Gilmore and Gomory [8] เป็นงานวิจัยที่เก่ามากแต่ทำให้เห็นกระบวนการวิธีคิดที่เป็นขั้นเป็นตอนก่อนที่ยังไม่มีเครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยคำนวณ งานวิจัยได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาการตัดวัสดุแบบ 2 มิติและ

มากกว่า ซึ่งได้เขียนสมการการตัดให้เหลือเศษน้อยที่สุด โดยการจัดกลุ่มของรูปแบบการตัดเป็นกลุ่มๆ โดยการใช้วิธีศึกษาสำนึก

Javanshir *et al.* [9] ได้กล่าวถึงการจัดการการตัดวัสดุ 2 มิติที่มีขนาดความยาวมาก ซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อนำไปใช้กับการตัดกางเกงท่านชายโดยการใช้การอบเหนียวจำลองในการแก้ปัญหา ในการตัดกางเกงจะให้ชิ้นส่วนของกางเกงอยู่ในพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งหมด

Malik *et al.* [10] ได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาการตัดวัสดุใน 1 มิติโดยใช้วิธีการประมาณค่าเพื่อมาจัดการกับตัวแปรร่วมอื่นๆ มากมายที่มีในการตัดวัสดุ เช่น การพิจารณาในการตั้งใบมีด การทำให้เหลือเศษวัสดุให้น้อยที่สุด จำนวนและขนาดของความต้องการ ระยะเวลาในการผลิต เป็นต้น ในการแก้ปัญหางานวิจัย ผู้วิจัยได้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมประยุกต์ร่วมกับวิธีผลเฉลยแท้จริง

Belov and Scheithauer [11] ได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาการตัดวัสดุแบบ 1 มิติที่มีวัตถุดิบหลายขนาดโดยให้เหลือเศษให้น้อยที่สุดโดยวิธีการศึกษาสำนึกแบบปัดเศษเป็นจำนวนเต็ม โดยการเปรียบเทียบกับวิธี Branch–and–Price โดยใช้วัตถุดิบที่มีขนาดเดียวเปรียบเทียบระหว่างกันผลออกมาใกล้เคียงกันทั้งในด้านของความเร็วที่ดีที่สุดและความเร็วเฉลี่ย แต่วิธีศึกษาสำนึกแบบปัดเศษนั้นดีกว่าในเรื่องของรอบการทำงาน และในกรณีที่มีปัญหาขนาดใหญ่พบว่าหากใช้ร่วมกับ LP แล้วจะให้ผลที่ดีขึ้น

Haessler and Sweeney [12] ได้กล่าวถึงกรรมวิธีในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุหลายมิติว่ามีหลายวิธี ได้แก่ LP การศึกษาสำนึก การแก้ปัญหาแบบผสม (Hybrid Solution) ระหว่าง LP กับการศึกษาสำนึก ซึ่งในงานวิจัยของเขานี้ได้ใช้วิธีผสมในการแก้ปัญหาโดยการเสนอแนะสมการการสร้างรูปแบบการตัดขึ้นมา

Liang *et al.* [13] ได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาการตัดวัสดุที่มีความต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องด้วยวิธีการวิวัฒนาการ โดยในที่นี้จะใช้ EP (Evolutionary Programing) กับ GA (Genetic Algorithm) มาเป็นเครื่องมือในการค้นหาคำตอบเพื่อเปรียบเทียบกัน

Araujo *et al.* [14] ได้กล่าวถึงการแก้ปัญหาการตัดวัสดุหนึ่งมิติแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องโดยใช้ GA โดยมีฟังก์ชันประสงค์ในสองเรื่องคือทำให้จำนวนของวัตถุให้น้อยที่สุด และจำนวนของรูปแบบที่ต่างกันน้อยที่สุด

Robert and Khan [15] ได้กล่าวถึงการนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมไปใช้ในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุทั้งที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ผลวิจัยแสดงให้เห็นว่า Group Based GA ให้ผลดีอย่างมีนัยสำคัญมากว่า Order Base GA

Petridis *et al.* [16] ได้กล่าวถึงการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) แบบไดนามิกส์ของ GA ในการแก้ปัญหาการตัดวัสดุ

Colin [17] ได้กล่าวถึงการใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบไฮบริดที่นำมาใช้แก้ปัญหาในการจัดเก็บวัสดุและปัญหาที่อยู่ในบริบทเดียวกัน วิธีไฮบริดทำโดยการใช้วิทยาการศึกษาสำนึก First–Fit (FF) และ Best–Fit (BF) มาร่วมด้วย

2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

หลังจากที่ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วจึงดำเนินงานวิจัยโดยมีกระบวนการขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

2.2.1 สังเคราะห์หาข้อจำกัดและตัวแบบทางคณิตศาสตร์

เมื่อได้ทำการศึกษาแบบเจาะลึกถึงเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบบโดยตรงที่ใกล้เคียงที่สุดกับงานวิจัยนี้แล้ว ขั้นตอนนี้จะเป็นการสังเคราะห์นำความรู้ทั้งหมดที่ได้ศึกษามาแก้ปัญหางานวิจัย โดยเขียนตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่จะแก้ปัญหา พร้อมทั้งข้อจำกัด (Constrain) ต่างๆ เช่น ข้อจำกัดด้านความกว้างและความยาวของมิลโรล ความกว้างรวม และความยาวรวมของโรลสำเร็จ ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ พร้อมทั้งทดสอบความถูกต้องของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้สังเคราะห์ขึ้นมาว่าถูกต้องพร้อมที่จะนำไปใช้

ส่วนของลูกค้ามีความต้องการผลิตภัณฑ์ที่ตัด

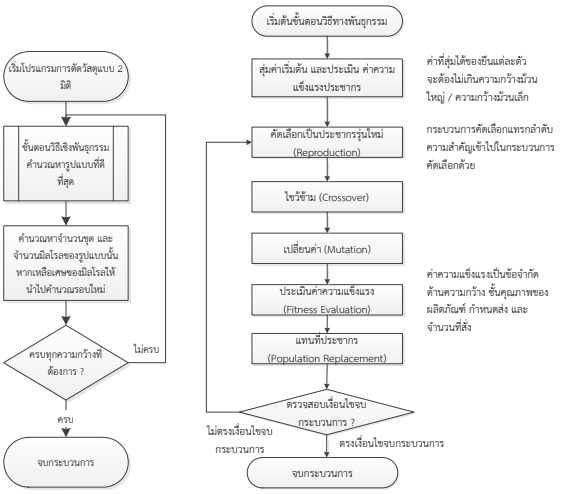
ตามความยาว ความกว้าง คุณภาพ และจำนวน ที่ต้องการ แต่เนื่องจากบริบทของการทำงานยังมีตัวแปรอื่นที่ต้องพิจารณาซึ่งเมื่อวิเคราะห์การทำงานแล้วจะมีขั้นตอนการวางแผนการตัดแผ่นฟิล์ม 2 มิติด้วยมนุษย์ดังนี้

จัดกลุ่มของม้วนผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดความยาวเดียวกันเป็นกลุ่มเดียวกัน (เนื่องจากการตัดเป็นแบบกิโยตินคือตัดจากขอบถึงขอบ) แล้วมาคำนวณทีละครั้งจัดรูปแบบการตัดโดยให้ขนาดความกว้างรวมน้อยกว่าความกว้างของมิลโรลและจัดลำดับความสำคัญของสินค้าที่กำหนดส่งก่อนเป็นอันดับแรกของการตัดชั้นคุณภาพเป็นความสำคัญอันดับสอง จำนวนสินค้าที่ต้องการมากที่สุดไปหาน้อยที่สุดเป็นอันดับสาม

คำนวณจำนวนชุด (จำนวนชิ้นตามความยาว) ของแต่ละรูปแบบที่ทำการตัดโดยเอาความยาวมิลโรลหารด้วยความยาวกลุ่ม

คำนวณจำนวนมิลโรลจากจำนวนสินค้าที่น้อยที่สุดในรูปแบบการตัดที่ได้จากข้อ 2 หารด้วยจำนวนชุดต่อมิลโรล จะได้จำนวนมิลโรลเศษของมิลโรลหากคงเหลือพอให้นำไปขึ้นรูปแบบใหม่

การประมวลผลโดยการใช้คอมพิวเตอร์แทนการทำงานของมนุษย์นั้นจะต้องมีการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ โดยมีแนวคิดในการใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม คำนวณหารูปแบบ (Pattern) ที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุดตามข้อจำกัดที่กำหนด ทางด้านความกว้างและข้อจำกัดด้านชั้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากนั้นเมื่อได้รูปแบบที่เหมาะสมที่สุดที่ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมทำได้แล้วจึงใช้วิธีศึกษาสำนึกในการคำนวณด้านความยาวและจำนวนชิ้นที่ต้องการซึ่งจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของความสำคัญด้านเวลา และจำนวนของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะทำให้ได้จำนวนชุดของรูปแบบนั้น และทำการตัดจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่สั่งผลิตในรูปแบบนั้นๆ แล้วคำนวณจำนวนคงเหลือของผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำการผลิตใหม่ในรูปแบบของการตัดใหม่โดยการวนให้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมคำนวณหารูปแบบที่เป็นไปได้ และใช้วิธีศึกษาสำนึกคำนวณจำนวนชิ้นใหม่เป็นการทำงานในรอบใหม่ จนครบจำนวนที่ลูกค้าต้องการ



รูปที่ 1 ผังงานการทำงานของโปรแกรมการตัดวัสดุ 2 มิติ

จากรูปที่ 1 ผังงานทางซ้ายแสดงถึงการทำงานทั้งระบบของงานวิจัยนี้ในกระบวนการจะเป็นการเรียกส่วนของโปรแกรมที่หน้าที่สร้างรูปแบบโดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จากนั้นผ่านกระบวนการคำนวณจำนวนชุดของรูปแบบตามข้อจำกัดด้านความสำคัญคือ ระยะเวลาส่งมอบและจำนวนที่สั่งซื้อ แล้ววนรอบทำงานจนจบกระบวนการโดยมีตัวแปรและตัวแบบทางคณิตศาสตร์ดังนี้

ตัวแปรขาเข้าของส่วนขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม

W: ความกว้างของมิลโรล [mm]

L: ความยาวของมิลโรล [m]

L_c : ค่าความเผื่อเป็นร้อยละของมิลโรล

w_i : ความกว้างของผลิตภัณฑ์ [mm] รายการที่ i

q_i : คุณภาพของผลิตภัณฑ์ในรายการที่ i

$[0, *, \#, E]$

0: ไม่ระบุตำแหน่ง

∗: ตัดตำแหน่งบริเวณกลางมิลโรล (เป็นตำแหน่งที่มีชั้นคุณภาพดีที่สุด)

#: ตัดตำแหน่งถัดจากกลางมิลโรล (เป็นตำแหน่งที่มีชั้นคุณภาพดี)

E: ตัดที่ขอบด้านซ้ายหรือด้านขวาของมิลโรล (เป็นตำแหน่งที่มีชั้นคุณภาพต่ำที่สุด)

n_i: จำนวนผลิตภัณฑ์ของรายการ i

d_i: กำหนดส่งของรายการ i

d: วันปัจจุบัน

i: รายการผลิตภัณฑ์ที่มีความกว้างแตกต่างกัน

n: จำนวนสูงสุดของรายการผลิตภัณฑ์

เมื่อเสร็จกระบวนการของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมในแต่ละรอบจะได้

P_j: รูปแบบของการตัดวัสดุตามแนวกว้างในแต่ละรอบของการคำนวณ

i: รูปแบบที่สร้างขึ้นในรอบที่ i

p_j: จำนวนของโรลต่อชุดของผลิตภัณฑ์ i

สมการความต้องการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อสร้างรูปแบบที่เหมาะสมด้านความกว้าง

$$\min\left[W-\sum_{i=1}^{n} w_i\right] \tag{3}$$

โดยที่

$$W-\sum_{i=1}^{n} w_i \geq 0 \tag{4}$$

ข้อจำกัด

$$\sum q_i \forall[*] \leq 2 \tag{5}$$

$$\sum q_i \forall[\#] \leq 2 \tag{6}$$

$$\sum q_i \forall[E] \leq 2 \tag{7}$$

$$\min \sum[d_i - d] \tag{8}$$

$$\max \sum n_i \tag{9}$$

ในข้อจำกัด (5) เป็นการคัดคุณภาพโดยนำผลิตภัณฑ์ที่มีการระบุชั้นคุณภาพรวมกันมีค่ามากที่สุดมาผลิตก่อน โดยแต่ละรูปแบบจะมีที่เป็นได้ไม่เกิน 2

ในข้อจำกัด (6) เป็นการสร้างรูปแบบที่มีกำหนดส่งเร็วที่สุดมาผลิตก่อน

ในข้อจำกัด (7) เป็นการสร้างรูปแบบที่ผลิตภัณฑ์ที่มีการสั่งมากที่สุดมาผลิตก่อน

ข้อมูลออกในแต่ละรูปแบบจะได้ข้อมูลดังนี้

BF: Bring Forward (ยอดยกมา) เป็นจำนวนชุดที่ผลิตจากมิลโรลที่เหลือจากการผลิตในรูปแบบก่อนหน้า

NR : New Roll (มิลโรลใหม่ที่ใช้) เป็นจำนวนมิลโรลใหม่ที่ใช้ผลิตในรูปแบบนั้น

SR: Set/Roll เป็นจำนวนชุดต่อมิลโรลของมิลโรลที่ใช้ผลิต

LR: Last Roll เป็นจำนวนชุดที่ผลิตได้ในมิลโรลสุดท้าย

CF: Carry Forward (ยอดยกไป) เป็นจำนวนชุดที่เหลือจากการผลิตยกไป

P_j: รูปแบบของการตัดวัสดุ

S_j: จำนวนชุดที่ต้องผลิตในรูปแบบ

Sl_j: จำนวนครั้งในการตั้งใบมีดในรูปแบบ

ผลสรุปเมื่อได้รูปแบบที่ผลิตและจำนวนที่ผลิตครบแล้วดังนี้

S_T: จำนวนชุดที่ต้องผลิตทั้งหมด

L_T: ความยาวรวมที่ต้องผลิต

L_P: ความยาวต่อมิลโรลรวมค่าความเผื่อ

R_T: จำนวนมิลโรลที่ต้องผลิต

Sl_m: จำนวนครั้งในการตั้งใบมีดทั้งหมดที่คำนวณได้ด้วยเครื่องจักร

t_m: เวลาที่ใช้ในการคำนวณด้วยเครื่องจักร

2.2.2 ทดสอบความเป็นไปได้ของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่สังเคราะห์

ก่อนการเริ่มการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้งานจริง ได้มีการทดสอบการทำงาน และรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้สังเคราะห์ขึ้นด้วยการจำลองการทำงานด้วยมือ ได้แก่ การจำลองกระบวนการขั้นตอนวิธีต่างๆ โดยการใช้ Excel จำลองการทำงานแล้วทดสอบความเป็นไปได้และความถูกต้องซึ่งมีการปรับแต่งกระบวนการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว จากนั้นจึงทำการเขียนโปรแกรมตามที่ได้ทดสอบแล้วนำมาทดสอบกับแบบทดสอบการทำงานจริง

2.2.3 เขียนโปรแกรมและทดสอบด้วยแบบทดสอบการทำงานจริง

เมื่อผ่านการทดสอบดัง 2.2.2 แล้วต่อไปเป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้เป็นไปตามตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้น จากนั้นทดสอบกับแบบทดสอบปัญหาจริงที่ได้จากการทำงานจำนวน 15 แบบทดสอบ

แล้วจับเวลาการคำนวณ พื้นที่รวมของวัสดุและประสิทธิภาพของความเร็วในบริบทของการตั้งใบมีดการตัดวัสดุเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีเดิมในการคำนวณ

2.2.4 เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบระหว่างการจัดการเทคโนโลยีที่ได้เลือกใช้กับวิธีเดิมที่ใช้มนุษย์คำนวณ

ขั้นตอนนี้เป็นการนำแบบทดสอบปัญหาเดียวกันกับที่ใช้ทดสอบด้วยเทคโนโลยีข้างต้นมาใช้กับวิธีที่คำนวณโดยมนุษย์จำนวน 15 แบบทดสอบ ซึ่งใช้โปรแกรม Excel เป็นตัวช่วยคำนวณทำการจับเวลาและผลลัพธ์ที่เป็นรูปแบบการตัดที่เปลี่ยนไปเพื่อที่นำไปเปรียบเทียประสิทธิภาพด้านความเร็ว และประสิทธิภาพของความเร็วในบริบทของการตั้งใบมีดการตัดวัสดุจากนั้นการนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันใน 2 ด้าน คือด้านความเร็วในการประมวลผลหารูปแบบในการตัดฟิล์ม และประสิทธิภาพของความเร็วในบริบทของการตั้งใบมีดการตัดวัสดุ

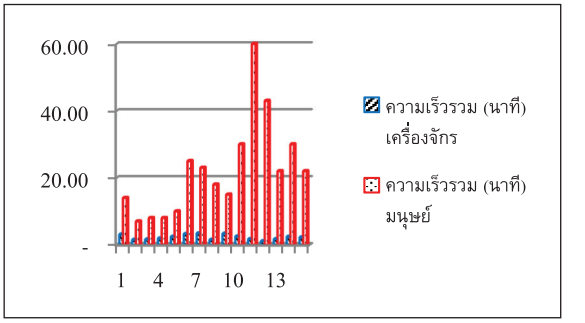
3. ผลของการวิจัย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

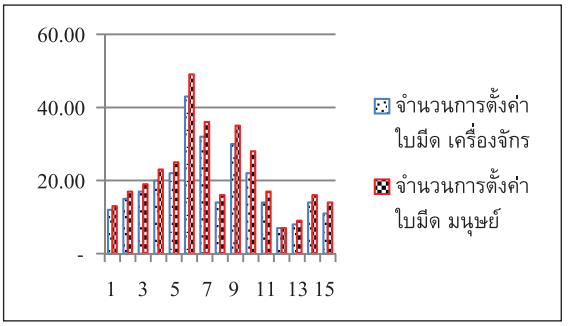
จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้สังเคราะห์ขึ้นในหัวข้อ 2.2.1 นำมาทดสอบด้วยโปรแกรม Excel ซึ่งจำลองการทำงานตามผังงานในรูปที่ 1 ได้ผลออกมาว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นมานั้นสามารถใช้งานได้จริง และได้โปรแกรมการตัดฟิล์มตามวิธีการจัดการตัดแผ่นฟิล์มที่ได้สังเคราะห์ขึ้นซึ่งเมื่อทดสอบด้วย 15 ใบสั่งสินค้าจริงจากการทำงานได้ผลดังตารางที่ 1

ความเร็วในการทำงานดังในตารางที่ 1 แสดงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณระหว่างเครื่องจักรกับมนุษย์ ซึ่งเมื่อเฉลี่ยแล้วจะได้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรดีกว่ามนุษย์ร้อยละ 5,185 (ในการคำนวณต้องปรับหน่วยความเร็วให้เท่ากันและในส่วของการทำงานด้วยเครื่องจักรมีการบวกเวลาในการป้อนข้อมูลด้วย)

ความเร็วในบริบทของการตั้งใบมีดการตัดวัสดุ ดังในตารางที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างเครื่องจักรและมนุษย์ ซึ่งเมื่อเฉลี่ยแล้วจะได้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรดีกว่ามนุษย์ร้อยละ 13 และแสดงในรูปแบบของแผนภูมิ



รูปที่ 2 แผนภูมิผลการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วระหว่างเครื่องจักรกับมนุษย์



รูปที่ 3 แผนภูมิผลการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในบริบทของการตั้งใบมีดการตัดวัสดุระหว่างเครื่องจักรกับมนุษย์

ตารางที่ 1 ผลจากการทดสอบ

ลำดับที่	พื้นที่	เครื่องจักร			มนุษย์		ประสิทธิภาพ (% เครื่องจักร/มนุษย์)	
		ตั้งใบมีด	ป้อนข้อมูล (m)	ความเร็ว (s)	ตั้งใบมีด	ความเร็ว (m)	ตั้งใบมีด	ความเร็ว
1	460,845	12	3	5.54	13	14	7.69	4754
2	3,042,000	15	1.5	2.08	17	7	11.76	4744
3	3,244,800	17	1.6	2.24	19	8	10.53	4828
4	18,252,000	20	1.9	2.35	23	8	13.04	4604
5	22,230,936	22	2.4	2.43	25	10	12.00	4584
6	1,944,270	43	3.2	3.16	49	25	12.24	5245
7	1,050,624	32	3.4	3.02	36	23	11.11	5126
8	1,208,731	14	1.5	1.91	16	18	12.50	5511
9	1,503,688	30	3.3	2.87	35	15	14.29	4699
10	91,368,895	22	2.5	2.31	28	30	21.43	5508
11	47,217,500	14	1.7	1.79	17	60	17.65	5833
12	18,887,000	7	1.1	1.5	7	43	0	5850
13	91,001,000	8	1.7	2.12	9	22	11.11	5546
14	61,812,000	14	2.4	2.07	16	30	12.50	5527
15	122,896,800	11	2.2	1.95	14	22	21.43	5409
เฉลี่ย	32,408,073	19	2	2	22	22	13	5,185

เปรียบเทียบในด้านความเร็วระหว่างเครื่องจักรและมนุษย์ในรูปที่ 2 และแผนภูมิผลการทดสอบเปรียบเทียบความเร็วในบริบทของการตั้งใบมีดการตัดวัสดุระหว่างเครื่องจักรกับมนุษย์ในรูปที่ 3

4. อภิปรายผลและสรุป

ผลของการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1) ช่วยให้ระยะเวลาในการคำนวณลดลงจากเดิมเมื่อคำนวณด้วยมนุษย์ 51 เท่า (5,185%)

2) ความสิ้นเปลืองเวลาในการผลิตลดลงจากการตั้งใบมีดที่น้อยลงโดยเฉลี่ย 13%

3) ได้กระบวนการจัดการเทคโนโลยีดังนี้

• ได้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวิจัย ผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคโนโลยีของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นศาสตร์แขนหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์เชิงวิวัฒน์มาเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา

• ได้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณรูปแบบ

จากผลที่ได้จากประสิทธิภาพทั้ง 2 ด้านนั้นจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพด้านพื้นที่ของการใช้วัสดุซึ่งก็คือฟิล์มนั้น ไม่มีการเปรียบเทียบเนื่องจากเป็นการผลิตตามที่คำนวณได้โดยมีเศษเผื่อเป็นค่าคงที่ทั้งการคำนวณโดยมนุษย์และเครื่องจักร ส่วนประสิทธิภาพของความเร็วในบริบทของการตั้งใบมีดการตัดวัสดุเมื่อเปรียบเทียบกับมนุษย์แล้วได้ผลดีต่างกันไม่มากนักเพียง13% เท่านั้น ทั้งนี้เป็นเพราะในความเป็นจริงการคำนวณด้วยมนุษย์นั้นตัวเลขหรือค่าที่ได้ทั้งด้านกว้างและด้านยาว จะเป็นค่าที่นำไปผลิตจริงได้เลยซึ่งเป็นการผลิตตามสั่ง มิใช่ผลิตตามขนาดมาตรฐานแล้วจึงตัดแล้วเหลือเศษ ส่วนการประมวลผลด้วยเครื่องจักรนั้นให้ผลดีในแง่ความยาวของวัสดุจะเป็นความยาวเดียวกัน ทำให้ฝ่ายผลิตมิลโรลนั้นสามารถผลิตออกมาด้วยความยาวมาตรฐานไม่ต้องมีการตั้งหรือเปลี่ยนแปลงค่าความยาวเหมือนอย่างที่คำนวณด้วยมนุษย์

ส่วนประสิทธิภาพในด้านเวลาของการคำนวณนั้นเครื่องจักรใช้เวลาประมวลผลน้อยกว่าการคำนวณด้วยมนุษย์เป็นจำนวนถึง 5,185% ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อนำงานวิจัยนี้ไปใช้จริงจะก่อให้เกิดผลดีในด้านการประหยัดทรัพยากรบุคคลในการวางแผนการตัดฟิล์มเป็นอย่างยิ่ง

การตัดฟิล์มสองมิติตามชั้นคุณภาพที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมามีข้อเสนอแนะเพื่อการทำวิจัยต่อไปดังนี้

• ในการลดจำนวนการตั้งใบมีดการตัดฟิล์มด้านกว้างนั้นหากสามารถกำหนดข้อจำกัดของรูปแบบการตัดในรอบถัดไปเพื่อให้สอดคล้องกับการตัดฟิล์มในรอบปัจจุบันแล้วจะทำให้ลดจำนวนการตั้งใบมีดการตัดฟิล์มด้านกว้างลงได้

• ในการที่จะให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมหลุดออกจากจุดเหมาะสมท้องถิ่น (Local Optimum) อันเนื่องมาจากข้อจำกัดบางตัวมีความขัดแย้งกันจำเป็นที่จะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์และทดสอบค่าพารามิเตอร์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมให้เหมาะสม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท ปี 2558 และบริษัท เอ.เจ.พลาสท์ จำกัด (มหาชน) ผู้ร่วมให้ทุน

เอกสารอ้างอิง

[1] J. Gaffney, C. Pearce, and D. Green, "Binary versus real coding for genetic algorithm: A false dichotomy?," *Australian and New Zealand Industrial and Applied Mathematics Journal*, vol. 51, pp. 347–359, 2010.

[2] M. Sugi, S. Yusuke, O. Tsuyoshi, I. Kazuyoshi, and O. Jun, "A solution for 2D rectangular cutting stock problems with 3−Stage guillotine−cutting constraint," *International Journal of Automation Technology*, vol. 4, no. 5, pp. 461–468, September 2010.

[3] F. Chauny, R. Loulou, S. Sadones, and F. Soumis, "A two−phase heuristic for the two−dimensional cutting−stock problem," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 42, no. 1, pp 39–47, January 1991.

[4] H. M. Jahromi, R. Tavakkoli−Moghaddam, A. Makui, and A. Shamsi, "Solving an one−dimensional cutting stock problem by simulated annealing and tabu search," *Journal of Industrial Engineering International*, pp. 1–8, December 2012,

[5] W. N. P. Rodrigo, W. B. Daundasekera, and A. A. I Perera, "Pattern generation for two−dimensional cutting stock problem with location," *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)*, vol. 3, no. 2, pp. 354–368, April–May 2012.

[6] P. E. Sweeney and R. W. Haessler, "One−dimensional cutting stock decisions for rolls with multiple quality grades," *European Journal of Operational Research*, vol. 44, no. 2, pp. 244–231, January 1990.

[7] MB. Aryanezhad, N. Fakhim Hashemi, A. Makui, and H. Javanshir, "A simple approach to the two−dimensional guillotine cutting stock problem," *Journal of Industrial Engineering International*, pp. 1–10, December 2012.

[8] P. C. Gilmore and R. E. Gomor, "Multistage Cutting Problems of Two and Mord Dimensions," *Operations Research*, vol. 13, no. 1 , pp. 94–120, January–February 1965.

[9] H. Javanshir, S. Rezaei, S. S. Najar, and S. S. Ganji, "Two dimensional cutting stock management in fabric industries and optimizing the large object's length," International *Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, vol. 4, no. 3 , pp. 243–249, August 2010.

[10] M. M. Malik, J. H. Taplin, and M. Qiu, "Variants of the Cutting Stock Problem and The Solution Methods," *International Journal of Economics and Economics and Finance Studies*, vol. 5, no. 2, pp. 45–54, 2013.

[11] G. Belov and G. Scheithauer, "The number of setups (different patterns) in one−dimensional stock cutting," Technical Report MATH−NM−15−2003, Dresden University, September 23, 2003, pp. 274–296.

[12] R. W. Haessler and P. E. Sweeney, *Cutting Stock Problems and Solution Procedures*. USA: The University of Michigan, Ann Arbor, Mi. 1991, pp. 141–150.

[13] K.−H. Liang, X. Yao, C. Newton, and D. Hoffman, "A new evolutionary approach to cutting stock problems with and without contiguity," *Computers & Operations Research*, vol. 29, no.12, 2002.

[14] S. Alexandre de Araujo, K. C. Poldi, and J. Smith, "A genetic algorithm for the one−dimensional cutting stock problem with setups," *Pesquisa Operacional*, vol. 34, no.2, pp. 165–187, May–August 2014.

[15] R. Hinterding and L. Khan, "Genetic algorithms for cutting stock problems: with and without contiguity," Springer−Verlag London, UK, Technical Report 40 COMP 12, August, 1994.

[16] V. Petridis, S. Kazarlis, and A. Bakirtzis, "Varying fitness functions in genetic algorithm constrained optimization: the cutting stock and unit commitment problems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 28, no. 5, pp. 629–640, October 1998.

[17] C. Reeves, "Hybrid genetic algorithms fior bin−packing and related problems," *Annals of Operations Research*, vol. 63, no. 3, pp. 371–396, June 1996.

[18] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Boston, MA, USA,: Addison−Wesley Longman Publishing Co., Inc. 1989.

[19] J. HMA Meghdad, R. Tavakkoli−Moghaddam, A. Makui, and A. Shamsi, "Solving an one−dimensional cutting stock problem by simulated annealing and tabu search," *Journal of Industrial Engineering International*, pp.1–8, December 2012.