NUEJ
NARESUAN UNIVERSITY
ENGINEERING JOURNAL

การพัฒนาฮิวริสติกสำหรับขั้นตอนการวางแผนในการวางแบบตัด ภายใต้บริบทของการผลิตแบบเฉพาะลูกค้าเชิงมวล

The heuristic for mark planning process in a context of mass customization production.

กฤษดา พัวสกุล[1*], ปวีณา เชาวลิตวงศ์[2]

Kritsada Puasakul[1*], Paveena Chaovalitwongse[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ 10330, E-mail: kritsada.p2525@gmail.com

[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ 10330, E-mail: paveena.c@chula.ac.th

*Corresponding author: kritsada.p2525@gmail.com

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันผู้ผลิตเครื่องนุ่งห่มได้เผชิญกับความเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านเทคโนโลยีในการสื่อสารและการขนส่ง รวมถึงความต้องการที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของลูกค้า เพื่อเผชิญหน้ากับความเปลี่ยนแปลงนี้ กลยุทธ์ในการผลิตแบบเฉพาะลูกค้าเชิงมวลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ แต่อย่างไรก็ตามการที่จะประยุกต์ใช้กลยุทธ์ที่ยืดหยุ่นเช่นนี้ให้ประสบผลสำเร็จ ผู้ผลิตควรที่จะลดภาระการเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตคงคลังให้น้อยลง ในการลดค่าภาระนี้ กำหนดการในการเย็บประกอบได้ถูกนำมาร่วมพิจารณาในขั้นตอนการวางแผนในการวางแบบตัดด้วย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อที่จะพัฒนาวิธีการฮิวริสติกที่ใช้เพื่อปรับปรุงแผนการวางแบบตัดเพื่อลดค่าภาระการเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตลง โดยมีแนวคิดหลักมุ่งเน้นไปที่การปรับเปลี่ยนรายละเอียดของแบบตัดของแต่ละมาร์คเกอร์ให้มีความสอดคล้องกันมากขึ้น ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นนี้จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ การจัดเรียงแบบตัดและการจัดเรียงสแต็ค ทั้งนี้ในการวัดสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมา วิธีการแบบ Genetic Algorithm ได้ถูกปรับเปลี่ยนและนำมาใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบ ซึ่งผลลัพธ์จากการทดลองกับปัญหาการวางแบบตัดที่สร้างขึ้นมาจำนวน 140 ปัญหาแสดงให้เห็นชัดเจนว่า วิธีการฮิวริสติกสามารถหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีการแบบ Genetic Algorithm ใน 132 ปัญหา ซึ่งคิดเป็น 94.3%

คำสำคัญ : การวางแผนในการวางแบบตัด, ฮิวริสติก, อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องนุ่งห่ม, มาร์คเกอร์, การผลิตแบบเฉพาะลูกค้าเชิงมวล

Abstract

Nowadays, garment manufacturers encounter with three major changes which are a progress in communication technology, an occurrence of efficient transportations, and a rapid change in customer requirement. To cope with these three changes, a mass customization production strategy is applied. However, to successfully use such flexible strategy, garment manufacturers should reduce their work-in-process inventory workloads. To include this workload, a sewing schedule is incorporated to reflect a sewing sequence in an assembly line. The purpose of this paper is to develop a heuristic approach that is used to improve a marking plan with respect to a work-in-process inventory workload. A key concept used to develop a heuristic is to rearrange marker patterns of all markers in order to reduce differences among due dates in each marker. Furthermore, this heuristic is divided into two steps, i.e. marker pattern rearrangement and stack rearrangement. To evaluate a performance, 140 problem instances generated based on a major characteristic of a mass customization are tested. Subsequently, all solutions are compared with solutions derived from a Genetic Algorithm based approach which is modified

especially for this problem. Compared results show that solutions from the heuristic are better than solutions from a Genetic Algorithm method in 132 problem instances which is equal to 94.3%. Finally, it can be concluded that the heuristic is superior to a genetic algorithm method.

Keywords: Mark planning, Heuristic, Garment, Marker, A mass customization.

1. บทนำ

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นที่ขั้นตอนการวางแผนการวางแบบตัด (Mark planning) ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในการผลิตเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม ในขั้นตอนนี้ความต้องการจากลูกค้า ที่บ่งบอกถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ รูปแบบและปริมาณที่ต้องการ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นมาร์คเกอร์ (Marker) ซึ่งแต่ละมาร์คเกอร์จะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจำนวนมากที่จัดเรียงกันและวางซ้อนทับกันเป็นชั้นตามความต้องการของผู้วางแผน (Fister, Mernik, & Filipi, 2008; Jane C. Ammons, 1991; T.G.I. Fernando R. P. Abeysooriya, 2012) จากนั้นมาร์คเกอร์เหล่านี้จะถูกนำเอาไปตัดเป็นชิ้นส่วนในขั้นตอนการตัด และถูกนำไปเย็บประกอบเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่อไปจะเห็นได้ว่าขั้นตอนการวางแผนการวางแบบตัดเป็นเสมือนจุดเริ่มต้นของการผลิตเป็นตัวกำหนดชนิด ปริมาณและลำดับของผลิตภัณฑ์ที่จะดำเนินการในขั้นตอนลำดับถัดๆไป ดังนั้นรูปแบบของแผนการวางแบบตัดที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมาจากวิธีการในการวางแผนที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อการดำเนินการผลิตที่แตกต่างกันออกไปอีกด้วย

โดยทั่วไป มาร์คเกอร์ (marker) จะมีองค์ประกอบที่สำคัญดังรูปที่ 1 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

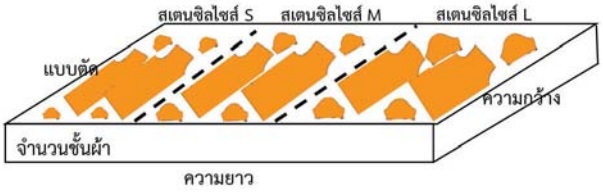
1. แบบตัด (marker pattern) เป็นการรวมกันของไซส์ที่ต้องการในคำสั่งซื้อ เพื่อสร้างเป็นแบบสำหรับการตัดของแต่ละมาร์คเกอร์

2. ความกว้างของมาร์คเกอร์ จะมีค่าเท่ากับความกว้างของม้วนผ้าที่ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสมมุติให้เป็นค่าคงที่

3. ความยาวของมาร์คเกอร์เป็นตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าแปรผันตามจำนวนและชนิดของสเตนซิลที่ใช้ในแบบตัดนั้นๆ

4. จำนวนชั้นผ้า เป็นตัวแปรตัดสินใจที่จะบอกถึงจำนวนชั้นผ้าที่จะวางซ้อนกันของมาร์คเกอร์หนึ่งๆ โดยจำนวนชั้นผ้าจะถูกจำกัดให้อยู่ในช่วงของค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดช่วงหนึ่ง

5. สเตนซิล (stencil) เป็นชุดของชิ้นส่วนของไซส์ใดๆที่จำเป็นในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยจะมีครบทุกชิ้นส่วนอยู่ในสเตนซิลหนึ่งๆ



รูปที่ 1 ตัวอย่างมาร์คเกอร์

ในปัจจุบัน วิธีการในการวางแผนการวางแบบตัดมีตั้งแต่การใช้ความเคยชินไปจนถึงการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการวางแผน แต่จากการสำรวจพบว่า ผู้ผลิตเครื่องนุ่งห่มส่วนใหญ่ยังคงพึ่งพิงการใช้วิจารณญาณจากผู้วางแผนที่มีประสบการณ์ในงานด้านนี้เป็นหลัก และมักจะใช้แผนแบบตัดเดิมซ้ำๆกัน

ในระยะหลายทศวรรษที่ผ่านมา ได้เกิดมีความเปลี่ยนแปลงหลักๆขึ้น 3 อย่าง (Fralix, 2001) ที่มีผลกระทบโดยตรงต่อการดำเนินงานของผู้ผลิตเครื่องนุ่งห่ม อันประกอบด้วยพัฒนาการของเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสาร ที่ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถเข้าถึงความต้องการของลูกค้าได้มากขึ้น การที่ความต้องการของลูกค้ามีการปรับเปลี่ยนอย่างรวดเร็วและมีความหลากหลายมากกว่าแต่ก่อนและพัฒนาการของเทคโนโลยีในการขนส่ง ทำให้ผู้ผลิตสามารถส่งผลิตภัณฑ์ไปยังส่วนต่างๆของโลกได้ง่ายขึ้น การเปลี่ยนแปลงข้างต้นมีผลให้สภาวะในการแข่งขันมีความเข้มข้นและรุนแรงมากยิ่งขึ้น กลยุทธ์ในการผลิตแบบเดิมที่ใช้กันอยู่ ทั้งแบบ custom production และแบบ mass production ไม่สามารถที่จะรองรับกับความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นข้างต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพนัก อันสืบเนื่องมาจากการที่กลยุทธ์การผลิตแบบเชิงมวล (mass production) แม้จะมีจุดเด่นในเรื่องของต้นทุนการผลิตที่ต่ำ แต่ก็มีข้อด้อยในเรื่องของความยืดหยุ่นในการผลิตและไม่สามารถรองรับกับความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้ ในส่วนของกลยุทธ์การผลิตแบบ custom production ที่เน้นไปที่การผลิตสินค้า high fashion ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นในการผลิตสูงและสามารถที่จะรองรับกับความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ได้ แต่ก็มีข้อด้อยที่ชัดเจนในเรื่องของต้นทุนการผลิตที่สูง ซึ่งจะมีผลสืบเนื่อง

โดยตรงไปยังระดับของความสามารถในการแข่งขันของผู้ผลิต จะเห็นได้ว่ากลยุทธ์การผลิตที่เหมาะสมกับบริบทที่เปลี่ยนแปลงไปข้างต้น จำเป็นที่จะต้องมีความยืดหยุ่นในการผลิตที่สูงและสามารถที่จะผลิตได้ด้วยต้นทุนที่สามารถแข่งขันได้

ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการนำเอากลยุทธ์การผลิตแบบเฉพาะลูกค้าเชิงมวล (mass customization) มาปรับประยุกต์ใช้กับการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องนุ่งห่ม ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการผลิตสามารถที่จะสนองตอบต่อความเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้อย่างดียิ่งขึ้น กลยุทธ์การผลิตแบบเฉพาะลูกค้าเชิงมวลได้ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดย Pine (Pine, 1993) จากนั้นก็ได้มีการนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้อีกหลายครั้ง กล่าวโดยย่อแล้วการผลิตแบบนี้ เป็นการผลิตที่ผสมผสานกันระหว่างรูปแบบ custom production กับ mass production โดยจะมีการดึงเอาข้อดีของทั้งสองแบบมารวมกัน ซึ่งทำให้รูปแบบการผลิตแบบเฉพาะลูกค้าเชิงมวลเป็นการผลิตที่มีความยืดหยุ่นสูง แต่ในขณะเดียวกันก็มีต้นทุนการผลิตอยู่ในระดับที่แข่งขันได้ (Bo Dong, 2012; Ms.Seung-Eun Lee, 1999) ลักษณะพิเศษของกลยุทธ์การผลิตเฉพาะลูกค้าเชิงมวลสามารถสรุปย่อได้ดังนี้

1. เมื่อเทียบกับการผลิตแบบ mass production ขนาดของล็อตผลิตจะค่อนข้างเล็กกว่า แต่จะมีขนาดที่ใหญ่กว่ารูปแบบการผลิตแบบ custom production

2. ลักษณะของความต้องการจากลูกค้าจะมีความแปรปรวนระหว่างปริมาณในแต่ละไซส์ที่น้อยกว่าการผลิตแบบ custom production แต่ในทางกลับกัน ความแปรปรวนนี้จะมีค่าที่มากกว่าการผลิตแบบ mass customization เป็นอย่างมาก

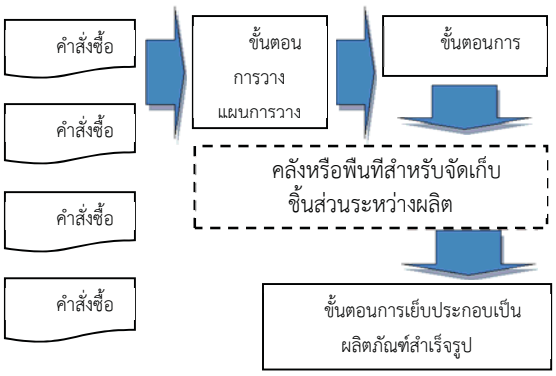
3. จำนวนไซส์ของผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าต้องการในแต่ละคำสั่งซื้อจะค่อนข้างสูงมาก เช่น 10 ไซส์ 15 ไซส์ เป็นต้น

4. ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ high-end ซึ่งจะผลิตมาจากวัตถุดิบที่มีราคาสูง

5. การผลิตจะทำตามปริมาณเท่าที่ลูกค้าสั่งเท่านั้นหรือจะเรียกว่าเป็นแบบ made to order ทำให้จำนวนผลิตที่เกินกว่าปริมาณที่ลูกค้าสั่งจะถือว่าเป็นของเสีย

6. ลูกค้าจะเคร่งครัดกับเรื่องของกำหนดการรับสินค้าเป็นอย่างมาก มีผลให้ค่าปรับจากการผลิตสินค้าไม่ได้ตามกำหนดการค่อนข้างที่จะสูง

การจะประยุกต์ใช้กลยุทธ์การผลิตแบบเฉพาะลูกค้าเชิงมวลซึ่งมีความยืดหยุ่นค่อนข้างสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล ผู้ผลิตเครื่องนุ่งห่มที่มีความเคยชินกับการใช้กลยุทธ์การผลิตในรูปแบบเดิม ซึ่งไม่สอดคล้องกับลักษณะเด่นทั้ง 5 ข้อของกลยุทธ์การผลิตแบบเฉพาะลูกค้าเชิงมวล จำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงรูปแบบในการดำเนินงานให้มีความคล่องตัวยิ่งขึ้น โดยการลดภาระงานที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม (non-value added workload) ต่อตัวผลิตภัณฑ์ลง ซึ่งจะสอดคล้องกับแนวคิดแบบ lean ที่ในระยะหลัง มักมีการนำเอามาประยุกต์ใช้กับสายการผลิตในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มอยู่บ่อยครั้ง(Amorado, 2015; Md. Mazedul Islam, 2013) โดยในบริบทของสายการผลิตที่สนใจดังแสดงในรูปที่1 จะเห็นว่า ณ.ขณะเวลาใดๆจะมีคำสั่งซื้อจากลูกค้าจำนวนหลายงานถูกส่งเข้ามาสู่ขั้นตอนการวางแผนการวางแบบตัด (mark planning) โดยที่แต่ละงานก็จะมีลักษณะของความต้องการที่แตกต่างกันออกไปทั้งชนิด สไตล์ วัตถุดิบที่ใช้และปริมาณความต้องการ คำสั่งซื้อเหล่านี้จะถูกดำเนินการในขั้นตอนการวางแผนการวางแบบตัดจนได้ออกมาเป็นชุดของมาร์คเกอร์จำนวนมาก จากนั้นชุดของมาร์คเกอร์เหล่านี้ก็จะถูกส่งไปยังขั้นตอนการตัดเพื่อตัดออกมาเป็นชิ้นส่วนที่พร้อมสำหรับการเย็บประกอบ ซึ่งในสภาวการณ์ของปัญหาที่สนใจนี้ ขั้นตอนการเย็บประกอบจะมีลักษณะเป็นแบบสายการผลิตร่วม (common production line) ที่ทุกๆคำสั่งซื้อจะใช้ร่วมกัน จากภาพจะเห็นได้ว่า พื้นที่ด้านหน้าของสายการเย็บประกอบนั้น จะถูกใช้เป็นจุดพักหรือคลังสำหรับเก็บชิ้นส่วนจากการตัด เพื่อรอเข้าสู่สายการเย็บตามกำหนดการโดยในการเก็บชิ้นส่วนคงคลังนี้ผู้ผลิตจะต้องเสียทั้งพื้นที่ เพื่อใช้เป็นคลังเก็บชิ้นส่วน ต้องลงทุนอุปกรณ์ สูญเสียแรงงานในการดูแลและจัดทำฐานข้อมูลชิ้นส่วนคงคลัง และที่สำคัญ เมื่อมีชิ้นส่วนที่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านของชนิดผ้าที่ใช้ ชนิดของผลิตภัณฑ์ และคำสั่งซื้อ มาเก็บรวมกันเอาไว้ในคลังเดียวกัน ย่อมจะมีโอกาสสูงมากที่จะเกิดความผิดพลาดในการจัดเก็บและการเบิกไปใช้งาน ซึ่งจะทำให้สูญเสียแรงงานและเวลาในการทำงานไปอย่างสูญเปล่า โดยปริมาณของชิ้นส่วนคงคลังตรงจุดนี้มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนคำสั่งซื้อและลักษณะของแบบตัดที่ถูกสร้างขึ้นมาในขั้นตอนการวางแผนแบบตัดซึ่งในประเด็นหลังนี้สามารถที่จะลดลงได้ด้วยการสร้างวิธีการในการวางแผนสร้างแบบตัดที่คำนึงถึงกำหนดการเย็บประกอบ ที่จะช่วยให้ชิ้นส่วนถูกตัดออกมาพอดีหรือใกล้เคียงกับกำหนดการเย็บมากยิ่งขึ้น อันจะเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยลดปริมาณของชิ้นส่วนรอเย็บคงคลังลงได้อย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม ชิ้นส่วนเหล่านี้จะต้องมาถึงสายการเย็บประกอบไม่เกินกำหนดการในการเย็บ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความล่าช้าในการนำส่งสินค้า



รูปที่ 2 ภาพจำลองสายการผลิต

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า ขั้นตอนการวางแผนการวางแบบตัดจะเป็นจุดเริ่มต้นของสายโซ่การผลิต เป็นขั้นตอนที่จะควบคุมชนิดและปริมาณของชิ้นงานที่จะถูกตัดและส่งต่อไปยังขั้นตอนการเย็บประกอบ ซึ่งถ้าแผนการวางแบบตัดไม่สอดคล้องกับกำหนดการในการเย็บประกอบก็จะทำให้เกิดชิ้นงานระหว่างผลิตกองรอที่หน้าสายการเย็บประกอบเป็นจำนวนมากดังอธิบายข้างต้น ดังนั้น หากมีแผนการวางแบบตัดที่สอดคล้องกับกำหนดการในการเย็บประกอบ ก็จะสามารถช่วยลดโอกาสในการเกิดชิ้นงานระหว่างผลิตคงคลังลงได้

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาฮิวริสติกที่ใช้สำหรับขั้นตอนการวางแผนการวางแบบตัด ในอุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม ภายใต้บริบทของการผลิตเฉพาะลูกค้าเชิงมวล ซึ่งในการประมวลผลของฮิวริสติกนี้ จะคำนึงถึงกำหนดการเย็บประกอบร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงแผนการวางแบบตัดตั้งต้น (initial marking plan) ให้มีค่าภาระงานในการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตคงคลังในสายการผลิตที่น้อยลง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากฮิวริสติกจะเป็นแผนการวางแบบตัดที่มีค่าภาระการจัดเก็บชิ้นส่วนที่ลดลง ภายใต้จำนวนมาร์คเกอร์ที่ใช้และจำนวนผลิตที่เกินกว่าความต้องการไม่เกินกว่าค่าที่กำหนด

ฮิวริสติกที่ทำการพัฒนาขึ้นมานี้จะอยู่บนพื้นฐานของการมุ่งเน้นไปที่การลดภาระงานการจัดเก็บชิ้นงานระหว่างผลิตคงคลัง โดยในการที่จะลดภาระงานการจัดเก็บได้นั้น ลักษณะของแบบตัด (marker pattern) ของแต่ละมาร์คเกอร์ (marker) จะต้องมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้สอดคล้องกับกำหนดการในการเย็บประกอบ

เนื้อหาของบทความถัดจากนี้จะถูกเรียบเรียงเอาไว้ดังนี้ 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3.ปัญหาวิจัย 4.การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกในการหาคำตอบ 5.ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล 6. สรุปผลการวิจัย และ7.เอกสารอ้างอิง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของปัญหาแบบ NP-COMPLETE ที่แสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนและความยากในการหาคำตอบ ที่สะท้อนออกมาในรูปของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ ที่เพิ่มขึ้นตามขนาดของปัญหาที่ใหญ่ขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นนี้จะอยู่ในรูปของ exponential function

เนื้อหาหลักในบทนี้จะมุ่งเน้นไปที่การนำเสนอถึงวิธีการหาคำตอบของปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดที่หลากหลาย ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 วิธีการหลักๆคือ 1.วิธีการแบบแจกแจงทุกคำตอบ(enumerative method), 2.วิธีการทางคณิตศาสตร์ (mathematical method), 3.วิธีการฮิวริสติก (heuristic method), 4.วิธีการเมต้าฮิวริสติก (meta-heuristic method) และ5.วิธีการแบบผสม (hybrid method) โดยแต่ละวิธีการมีรายละเอียดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยย่อดังนี้

1.วิธีการแบบแจกแจงทุกคำตอบ (enumerative method)

(Rose & Shier, 2007) ได้เสนอวิธีการแบบแจกแจงทุกคำตอบ ที่พัฒนาอยู่บนพื้นฐานของวิธีการ branch and bound โดยวิธีการหาคำตอบได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ คือ ขั้นตอนที่ 1 จะใช้ในการสร้างชุดของมาร์คเกอร์เปล่าจำนวนหลายๆชุด ซึ่งจะต้องกำหนดจำนวนชั้นของผ้า (ply height) ให้กับแต่ละมาร์คเกอร์เปล่าด้วยทั้งนี้เพื่อเป็นทางเลือกในการสร้างคำตอบสุดท้ายให้กับขั้นตอนถัดไป และในขั้นตอนที่ 2 จะนำเอาชุดของมาร์คเกอร์เปล่าแต่ละชุดมาทดลอง โดยการกำหนดแบบตัดให้กับแต่ละมาร์คเกอร์ จากนั้นก็จะเลือกเอาชุดของมาร์คเกอร์ที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด ในมุมมองของจำนวนผลิตเกินที่เกิดขึ้น เป็นคำตอบสุดท้าย

2. วิธีการทางคณิตศาสตร์ (mathematical method)

ในการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีความหมายโดยตรงถึงการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ในการหาคำตอบ ความยากอย่างหนึ่งในการใช้วิธีการนี้คือ การที่ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดจะมีลักษณะที่ไม่เป็นสมการเส้นตรง (nonlinear) งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ใช้วิธีการนี้ จึงมุ่งเน้นไปที่การหาวิธีการกำจัดพจน์ที่เป็น nonlinear เพื่อเปลี่ยนให้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์กลายเป็นสมการเส้นตรง (linear)

วิธีการ variable substitution ในงานวิจัยของ (Jacobs-Blecha, Ammons, Schutte, & Smith, 1997) ได้ถูกนำเอามาใช้ เพื่อเปลี่ยนพจน์ที่เป็น nonlinear ให้เป็นสมการเส้นตรง

โดยการใช้ตัวแปร Z_j ซึ่งจะมีค่าเป็น 0 หรือเป็นจำนวนชั้นผ้าของมาร์คเกอร์ j มาแทน ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ได้เฉพาะกับปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดที่ใช้วิธีการสร้างแบบตัดที่เป็นไปได้ทั้งหมดขึ้นมาก่อน จากนั้นค่อยเลือกแบบตัดที่เหมาะสมกับเกณฑ์การตัดสินใจให้กับแต่ละมาร์คเกอร์อีกทีหนึ่ง ในงานวิจัย (Degraeve & Vandebroek, 1998) ได้เสนอว่า ความยากของการแก้ปัญหาไม่ได้อยู่ที่ความเป็น nonlinear เพียงอย่างเดียว แต่ยังมาจากสมการข้อจำกัดเรื่องขนาดของมาร์คเกอร์ที่อยู่ในรูปของ knapsack constraint อีกด้วย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการที่จะจัดการกับทั้ง 2 ปัญหา โดยปัญหาเรื่องพจน์ที่เป็น nonlinear จะใช้วิธีการ variable discrete expansion และสำหรับปัญหาเรื่อง knapsack constraint จะแก้ไขด้วยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ขึ้นใหม่ด้วยแนวคิดของ network model โดยที่ยังคงความเป็นปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดอยู่ ในขณะที่งานวิจัย (Fister et al., 2008) แก้ปัญหาเรื่องความยากของตัวแบบคณิตศาสตร์ด้วยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาใหม่ในรูปแบบของ knapsack-based model

งานวิจัย (Degraeve, Gochet, & Jans, 2002) ได้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์ทางเลือก 2 รูปแบบ โดยในรูปแบบที่ 1 ตัวแปรใหม่ 2 ตัวได้ถูกนำเอามาใช้ รวมถึงสมการข้อจำกัดอีก 3 สมการ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะทำการเปลี่ยนให้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เป็นแบบ linear แนวคิดหลักของรูปแบบที่ 1 นี้คือ การมองการวางแบบตัดเป็นการนำเอาไซส์แต่ละไซส์ไปใส่ให้กับพื้นที่ว่างที่แน่นอนบนมาร์คเกอร์ จากนั้นจึงค่อยกำหนดจำนวนชั้นผ้าให้กับมาร์คเกอร์นั้น ต่อมาในรูปแบบที่ 2 ก็จะมีตัวแปรใหม่ที่ถูกนำมาใช้อีก 2 ตัวเช่นกัน โดยแนวคิดหลักของตัวแบบที่ 2 นี้คือ การสร้างแบบตัดที่เป็นไปได้ขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงค่อยเลือกแบบตัดที่เหมาะสมให้กับแต่ละมาร์คเกอร์และกำหนดจำนวนชั้นผ้าให้กับมาร์คเกอร์นั้น

3. วิธีการฮิวริสติก (heuristic method)

งานวิจัย (M'Hallah & Bouziri) ได้นำเสนอวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกจำนวน5วิธีการ ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะอยู่บนพื้นฐานของแนวคิดแบบ constructive ทั้งหมด วิธีการที่ 1-4 (H1-H4) จะใช้กฎเกณฑ์ที่ได้เรียนรู้มาจากผู้ชำนาญการในอุตสาหกรรมมาเป็นแกนหลักของฮิวริสติก ในขณะที่วิธีการที่ 5 (H5) จะใช้การค้นหาแบบสุ่ม (random search) เป็นแกนหลัก Jacobs-blecha et. al. (Jacobs-Blecha et al., 1997) พัฒนาวิธีการฮิวริสติกแบบ greedy ขึ้นมา 3 วิธีการ อันได้แก่ saving heuristic, cherry picking heuristic และ improvement heuristic งานวิจัยของ (Fister et al., 2008) ได้พัฒนาวิธีการฮิวริสติกแบบ greedy ขึ้นมาเหมือนกัน แต่ในวิธีการนี้ ขั้นตอนการหาคำตอบจะมีความซับซ้อนกว่ามาก ในงานวิจัย (Puasakul & Chaovalitwongse) ปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดจะอยู่ในรูปของ multi-objective problem ซึ่งมีความยากในการหาคำตอบมากยิ่งขึ้น จึงมีการนำเอาแนวคิดการแบ่งปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยๆ (decomposition concept) มาใช้ในการพัฒนาฮิวริสติก

4. วิธีการเมต้าฮิวริสติก (meta-heuristic method)

ในบรรดาแนวคิดหลักๆของเมต้าฮิวริสติก แนวคิด genetic algorithm (GA) ได้ถูกนำเอามาใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด Filipi et.al. (Filipi, #269, Fister, & Mernik, 2006) ได้ทำการพัฒนาฮิวริสติกบนพื้นฐานของแนวคิดแบบ evolutionary algorithm (EA) จำนวน 2 วิธีคือ 1.ฮิวริสติกบนพื้นฐานของ EA ที่มีฟังก์ชั่นการลงโทษ (penalty function) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ (logarithmic, linear และ quadratic ฟังก์ชั่น) และ 2.ฮิวริสติกบนพื้นฐานของ EA ที่มีฟังก์ชั่นการซ่อมแซม (repair function) ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ (heuristic, greedy และ random function) งานวิจัย (Martens, 2004) ได้นำเสนอวิธีการฮิวริสติกที่ออกแบบบนพื้นฐานของแนวคิดแบบ genetic algorithm จำนวน 2 วิธีด้วยกัน ซึ่งจะเรียกว่า GA1 และ GA2 ทั้งสองวิธีนี้จะพัฒนามาจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกัน โดย GA1 จะพัฒนามาจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เป็น nonlinear ใน (Degraeve & Vandebroek, 1998) ในขณะที่ GA2 จะพัฒนามาจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เป็น linear ใน (Degraeve et al., 2002) และทั้งสองวิธีการยังมีฟังก์ชั่นการลงโทษที่แตกต่างกันอีกด้วย

(Wong & Leung, 2008) ได้นำเสนอ 2 วิธีการใหม่ในการ encode ปัญหาการวางแผนการวางแบบตัด ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของสายโซ่โครโมโซมแบบ binary วิธีการแบบ a hybrid self- adaptive evolutionary algorithm ได้ถูกนำเสนอในงานวิจัย (Fister, Mernik, & Filipi) ในขณะที่วิธีการแบบ canonical genetic algorithm ได้ถูกนำเสนอใน (R. P. Abeysooriya, 2012)

วิธีการที่พัฒนาบนแนวคิดของการอบเย็น (simulate annealing) ได้ถูกนำเสนอใน (M'Hallah & Bouziri) โดยวิธีการนี้จะเริ่มต้นด้วยคำตอบตั้งต้นใดๆ จากนั้นจะพยายามวิ่งไปยังจุดใกล้เคียงเพื่อหาคำตอบที่ดีกว่า ซึ่งในการวิ่งไปยังจุดใกล้เคียงนี้

ในบางครั้งก็จะอนุญาตให้เกิดคำตอบที่แย่ลงได้ด้วย เพื่อความหวังที่จะเจอกับคำตอบที่ดีกว่าในการวิ่งครั้งต่อๆไป

5. วิธีการแบบผสม (hybrid method)

วิธีการแบบผสมนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาภายใต้ความคาดหวังที่จะสามารถหาคำตอบของปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ในงานวิจัย (T.G.I. Fernando R. P. Abeysooriya, 2012) วิธีการแบบผสมที่มาจากการรวมกันของวิธีการแบบฮิวริสติกและวิธีการแบบ genetic algorithm ได้ถูกพัฒนาขึ้นมา โดยมีเป้าหมายหลักคือ เพื่อที่จะลดจำนวนของประชากรตั้งต้นในวิธีการแบบ genetic algorithm ลง ซึ่งจะช่วยให้เวลาในการคำนวณลดลงตามไปด้วย เพราะฉะนั้นวิธีการฮิวริสติกจะถูกนำเอามาใช้งานแค่ในช่วงต้น เพื่อที่จะกำหนดจำนวนของประชากรตั้งต้นที่เหมาะสมให้กับวิธีการแบบ genetic algorithm งานวิจัย (Okuno, Ali, Bouziri, & M'hallah, 2007) ได้นำเสนอวิธีการที่เรียกว่า genetic annealing (GAn) ซึ่งเกิดมาจากการรวมกันของวิธีการแบบ genetic algorithm และวิธีการแบบ simulate annealing โดยในงานวิจัยนี้ วิธีการแบบ genetic algorithm จะใช้เพื่อหาคำตอบเริ่มต้น จากนั้นคำตอบนี้จะถูกนำมาปรับปรุงให้ดีขึ้นด้วยวิธีการแบบ simulate annealing ซึ่งจะใช้แนวคิดในการปรับปรุงแบบ uphill moves ซึ่งก็คือ การวิ่งไปยังคำตอบใกล้เคียงเพื่อที่จะหาคำตอบที่ดีขึ้นนั่นเอง

Deng et.al. (Deng et al.) ได้พัฒนาวิธีการแบบผสมที่เกิดขึ้นจากการรวมกันของวิธีการแบบ probability search และวิธีการแบบ Genetic Algorithm แนวคิดหลักของวิธีการนี้คือ การแบ่งปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดออกเป็นปัญหาย่อย ที่แต่ละปัญหาจะเชื่อมโยงกับตัวแปรในการตัดสินใจเพียงแค่ 1 ตัวเท่านั้น โดยในการหาคำตอบจะแบ่งออกเป็น 2 stage ดังนี้ stage แรก จะมีปัญหาย่อยอยู่ 2 ปัญหา ซึ่งจะเชื่อมโยงกับตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ในการหาจำนวนมาร์คเกอร์และจำนวนชั้นผ้าของแต่ละมาร์คเกอร์ ส่วน stage ที่สองจะมีตัวแปรตัดสินใจเพียงตัวเดียวคือ ตัวแปรตัดสินใจที่ใช้ในการหาแบบตัดของแต่ละมาร์คเกอร์

3. ปัญหาวิจัย

ปัญหาการวางแผนการวางแบบตัด (mark planning) เป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม โดยปัญหานี้ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางมาเป็นเวลาหลายทศวรรษ โดยมีผลงานที่ตีพิมพ์ออกเผยแพร่เป็นจำนวนหลายฉบับ

ดังที่ได้อธิบายมาในหัวข้อที่ 1 จะเห็นว่า ปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดที่สนใจจะเริ่มจากแผนการวางแบบตัดตั้งต้นที่ผ่านการประมวลผลภายใต้เกณฑ์ในการตัดสินใจเรื่องจำนวนมาร์คเกอร์ที่ใช้และจำนวนผลิตเกินที่ยอมให้เกิดขึ้นมาแล้ว จากนั้นฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงแผนนั้นอีกครั้งหนึ่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดค่าภาระงานการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิต ที่เกิดขึ้นจากการนำเอามาร์คเกอร์ที่ได้ไปตัดออกเป็นชิ้นส่วนหรือกองของชิ้นส่วนก่อนกำหนดการเย็บ ที่ถูกกำหนดขึ้นจากขั้นตอนการเย็บประกอบหรือจากฝ่ายวางแผนการผลิต (โดยจะมีข้อสมมุติฐานสำคัญที่ว่าเวลาที่ใช้ในการตัดสั้นมากและ capacity ในการตัดมีเพียงพออยู่เสมอ) ส่งผลให้ชิ้นส่วนที่ถูกตัดเหล่านี้จะต้องนำเอาไปกองรอการเย็บประกอบตามกำหนดการต่อไป โดยคำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการวางแบบตัดที่ถูกต้องและจำนวนมาร์คเกอร์กับจำนวนผลิตเกินที่กำหนดให้

ทั้งนี้เพื่อความเข้าใจเนื้อหาในลำดับถัดๆไปได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้อ่านจะต้องเข้าใจถึงคำว่า สแต็ก (stack) ซึ่งมีความหมายถึงกองของชิ้นส่วน (part) หรือกองของกลุ่มของชิ้นส่วน (stencil) ของไซส์ใดไซส์หนึ่ง บนมาร์คเกอร์หนึ่งๆ เช่น สแต็กของไซส์ L บนมาร์คเกอร์ที่ 1, สแต็กของไซส์ M บนมาร์คเกอร์ที่ 3 เป็นต้นโดยความสูงของสแต็กจะเท่ากับจำนวนชั้นผ้าของมาร์คเกอร์ที่สแต็กนั้นสังกัดอยู่นั่นเอง

ข้อมูลนำเข้า (input) สู่ฮิวริสติกจะประกอบด้วย ข้อมูลคำสั่งผลิตที่พิจารณา ซึ่งเป็นข้อมูลที่ปรับเพิ่มเติมมาจากคำสั่งซื้อจากลูกค้าอีกทีหนึ่งและข้อมูลแสดงชุดของมาร์คเกอร์ที่ผ่านการพิจารณาเรื่องจำนวนมาร์คเกอร์ที่ใช้และจำนวนผลิตเกินที่อนุญาตให้เกิดขึ้นแล้ว ตัวอย่างของข้อมูลข้างต้นแสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าคำสั่งซื้อตัวอย่างประกอบด้วย 3 ไซส์ คือ S, M และ L โดยในแต่ละไซส์มีปริมาณความต้องการเท่ากับ 280, 100 และ 290 ตัว ตามลำดับ ในตารางนี้อัตราการใช้ผ้าหมายถึง ปริมาณผ้าที่ใช้จริงในการผลิตสินค้าในแต่ละไซส์ ส่วนกำหนดการเย็บจะเป็นข้อมูลที่ได้รับมาจากฝ่ายวางแผนการเย็บประกอบ (given data) ซึ่งจะสะท้อนถึงกำหนดการในการเย็บของแต่ละไซส์ โดยข้อมูลนี้จะถือเป็นเนื้องานหลักของฝ่ายวางแผนการเย็บประกอบและอยู่นอกเหนือจากขอบเขตของงานวิจัยนี้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างคำสั่งผลิต

ไซส์	S	M	L
จำนวนสั่ง (ตัว)	280	100	290
กำหนดการเย็บ (ชั่วโมงที่)	3	5	8
อัตราการใช้ผ้า (ตร.ม.)	0.3	0.35	0.4

จากตารางที่ 2 จำนวนมาร์คเกอร์ที่ต้องใช้สำหรับคำสั่งผลิตนี้คือ 3 มาร์คเกอร์ โดยแต่ละมาร์คเกอร์จะมีแบบตัดดังนี้

มาร์คเกอร์ที่ 1 ประกอบด้วย ไซส์ S จำนวน 1 สแต็ค และไซส์ L จำนวน 4 สแต็คโดยวางซ้อนทับกัน 40 ชั้นผ้า

มาร์คเกอร์ที่ 2 ประกอบด้วย ไซส์ S จำนวน 3 สแต็ค และไซส์ M จำนวน 2 สแต็คโดยวางซ้อนทับกัน 50 ชั้นผ้า

มาร์คเกอร์ที่ 3 ประกอบด้วย ไซส์ S จำนวน 2 สแต็ค และไซส์ L จำนวน 3 สแต็ค โดยวางซ้อนทับกัน 45 ชั้นผ้า

ในชุดของมาร์คเกอร์นี้จะมีจำนวนผลิตเกินเกิดขึ้น 5 ตัวด้วยกัน ซึ่งทั้งหมดเป็นไซส์ L

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลแสดงชุดของมาร์คเกอร์

มาร์คเกอร์ที่	ไซส์ S	ไซส์M	ไซส์ L	ชั้นผ้า (ชั้น)	*ภาระการจัดเก็บ
1	1	0	4	40	800
2	3	2	0	50	200
3	2	0	3	45	675
จำนวนผลิตเกิน (ตัว)	0	0	5	รวม 5 ตัว	รวม 1675

ผลลัพธ์จากฮิวริสติกจะแสดงถึงชุดของมาร์คเกอร์ที่ผ่านการปรับปรุงค่าภาระงานการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตเรียบร้อยแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลลัพธ์จากฮิวริสติก

มาร์คเกอร์ที่	ไซส์ S	ไซส์ M	ไซส์ L	ชั้นผ้า	*ภาระการจัดเก็บ
1	0	0	5	40	0
2	3	2	0	50	200
3	3	0	2	45	450
จำนวนผลิตเกิน (ตัว)	5	0	0	รวม 5 ตัว	รวม 650

จากตารางที่ 3 ผลลัพธ์ที่ได้ยังคงใช้มาร์คเกอร์จำนวน 3 มาร์คเกอร์เท่าเดิมและยังคงมีจำนวนผลิตเกินเท่ากับ 5 ตัว แต่ค่าภาระงานการจัดเก็บสามารถลดลงมาเหลือแค่ 650 ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนแบบตัดของมาร์คเกอร์ที่ 1 และ 3 โดยใช้วิธีการแลกสแต็กกันระหว่างสองมาร์คเกอร์ จะเห็นได้ชัดว่าจำนวนผลิตเกินได้ย้ายจากไซส์L มาเกิดที่ไซส์ S เนื่องมาจากการย้ายสแต็ค

*ค่าภาระการจัดเก็บดังตารางที่ 2 และ 3 มีหน่วยเป็น ชิ้น * ชั่วโมง ซึ่งเป็นผลมาจากจำนวนชิ้นส่วนที่มากองรอการเย็บประกอบ

ดังได้อธิบายมาแล้วข้างต้นว่า เป้าหมายหลักของปัญหาวิจัยนี้คือ การลดค่าภาระงานการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตคงคลัง ซึ่งชิ้นส่วนที่เก็บเหล่านี้ก็คือ ชิ้นส่วนที่ตัดออกมาจากมาร์คเกอร์และนำส่งมาที่สายการเย็บประกอบก่อนกำหนดเวลาการเย็บตามแผน ชิ้นส่วนเหล่านี้ก็จะต้องถูกเก็บเอาไว้จนกว่าจะถึงกำหนดการเย็บ ก็จะมีพนักงานมาเบิกเอาไปใช้งาน แต่ทั้งนี้ มีข้อกำหนดหนึ่งที่สำคัญก็คือ ชิ้นส่วนจากขั้นตอนการตัดเหล่านี้จะต้องมาถึงหน้าสายการเย็บประกอบไม่เกินกว่ากำหนดการเย็บ โดยค่าภาระงานการจัดเก็บสามารถที่จะคำนวณได้ดังนี้

1.บนมาร์คเกอร์ใดๆ เลือกพิจารณาไซส์ใดก่อนก็ได้ โดยหาผลต่างระหว่างกำหนดการเย็บของไซส์ที่พิจารณากับกำหนดการเย็บที่เร็วที่สุดบนมาร์คเกอร์นั้น

2.คูณผลต่างข้างต้นด้วยจำนวนสแต็ค (stack) ของไซส์นั้นบนมาร์คเกอร์ที่พิจารณา และคูณด้วยจำนวนชั้นผ้า (ply height) ของมาร์คเกอร์นั้น เพื่อหาจำนวน (ตัว) ที่จะต้องทำการเก็บในคลังรอการเบิกไปใช้ต่อไป

3.จากนั้นก็คำนวณตามข้อที่ 1 และ 2 จนครบทุกไซส์บนมาร์คเกอร์ที่พิจารณา

4.ทำตามขั้นตอนที่ 1-3 จนครบทุกมาร์คเกอร์ ก็จะได้ค่าภาระในการจัดเก็บตามต้องการ

<u>ตัวอย่างการคำนวณค่าภาระการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิต</u>

จากตารางที่ 2 มาร์คเกอร์ที่ 1 จะประกอบด้วยไซส์ S จำนวน 1 สแต็คและไซส์ L จำนวน 4 สแต็ค ด้วยจำนวนชั้นผ้า 40 ชั้น ซึ่งจากตารางที่ 1 จะเห็นว่าไซส์ S มีกำหนดการเย็บที่ชั่วโมงที่ 3 ส่วนไซส์ L มีกำหนดการเย็บที่ชั่วโมงที่ 8 โดยจากขั้นตอนการคำนวณค่าภาระงานการจัดเก็บข้างต้น จะสามารถคำนวณค่าภาระงานของมาร์คเกอร์ที่ 1 ได้ดังนี้

กำหนดการเย็บเร็วที่สุดของมาร์คเกอร์คือชั่วโมงที่ 3 ดังนั้นภาระงานในการจัดเก็บจะเกิดจากไซส์ L เท่านั้น ซึ่งแต่ละสแต็คจะก่อให้เกิดภาระงานเท่ากับ ((8-3) × 40) = 200 เมื่อคูณกับจำนวนสแต็คซึ่งมีเท่ากับ 4 สแต็ค จะได้ผลลัพธ์เป็นค่าภาระงานของมาร์คเกอร์ที่ 1 เท่ากับ 800 ชิ้น * ชั่วโมง

แต่ในตารางที่ 3 หลังจากมีการย้ายสแต็คระหว่างมาร์คเกอร์ที่ 1 กับมาร์คเกอร์ที่ 3 จะเห็นว่า มาร์คเกอร์ที่ 1 มีเพียงไซส์ L เท่านั้น ทำให้ค่าภาระงานในการจัดเก็บลดลงเหลือ 0 ชิ้น * ชั่วโมง ดังแสดงในตาราง

ทั้งนี้ในการปรับปรุงแผนการวางแบบตัดเพื่อลดค่าภาระในการจัดเก็บนี้ จะต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ (constraint) ดังนี้

1.จำนวนผลิตที่ได้จากชุดของมาร์คเกอร์นี้จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณที่ลูกค้าต้องการ

2.ในแต่ละมาร์คเกอร์ ขนาดของพื้นที่ที่สามารถใช้ได้จะต้องไม่เกินขนาดพื้นที่มากสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ ซึ่งผู้วางแผนจะเป็นผู้กำหนดเอง ทั้งนี้โดยส่วนมากจะสอดคล้องกับขนาดของโต๊ะตัด

3.ในแต่ละมาร์คเกอร์จำนวนของชั้นผ้าที่สามารถปูทับกันได้จะอยู่ระหว่างค่าสูงสุดกับต่ำสุด ที่กำหนดโดยผู้วางแผน ซึ่งโดยทั่วไปจะสอดคล้องกับข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการตัดนั่นเอง

4.ข้อจำกัดในเรื่องของงานสายที่ห้ามเกิดขึ้น ซึ่งข้อจำกัดนี้ได้สะท้อนอยู่ในวิธีการคำนวณค่าภาระงานดังอธิบายแล้วข้างต้น

5.จำนวนมาร์คเกอร์ที่ใช้จะต้องไม่เกินจำนวนที่กำหนดให้ โดยในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดให้ใช้จำนวนมาร์คเกอร์ที่น้อยที่สุด ซึ่งได้มาจากการหาคำตอบของ a linearized mark planning model ด้วย ILOG C-PLEX

6.จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเกินกว่าความต้องการโดยรวมจะต้องไม่เกินจำนวนที่กำหนด

โดยปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดที่สนใจในงานวิจัยนี้ สามารถที่จะนำเสนอเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ได้ดังนี้

ดัชนี

i = ดัชนีแสดงจำนวนไซส์ในคำสั่งซื้อที่พิจารณา

k = ดัชนีแสดงจำนวนมาร์คเกอร์

พารามิเตอร์

$\mathbf{a}_i$ = ปริมาณผ้าที่ต้องการสำหรับไซส์ *i*

$\mathbf{d}_i$ = ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องการของไซส์ *i*

L = พื้นที่สูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ของมาร์คเกอร์หนึ่งๆ

UB and **LB** = จำนวนชั้นผ้าสูงสุดและต่ำสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้สำหรับมาร์คเกอร์หนึ่งๆ

$\mathbf{Duedate}_{[i]}$ = กำหนดการเย็บประกอบของผลิตภัณฑ์ไซส์ *i*

EXCESS = จำนวนผลิตเกินที่อนุญาตให้เกิดขึ้นได้

ตัวแปรตัดสินใจ

X_{ik} = จำนวนซ้ำของไซส์ *i* ที่วางบนมาร์คเกอร์ *k*

Y_k = จำนวนชั้นผ้าของมาร์คเกอร์ *k*

M_k = กำหนดการเย็บที่เร็วที่สุดของสเตนซิลหรือไซส์บนมาร์คเกอร์ *k*

HOLDING = ตัวแปรที่แสดงถึงภาระการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตของชุดของมาร์คเกอร์ชุดหนึ่งๆ

$\text{BINARYPATTERN}_{[i][k]}$ = เป็นตัวแปรที่แสดงให้เห็นว่า บนมาร์คเกอร์หนึ่งๆมีกำหนดการเย็บประกอบของไซส์ใดๆเกิดขึ้นบ้าง ในรูปของ binary form

$\text{DUEDATEPATTERN}_{[i][k]}$ = เป็นตัวแปรที่ใช้แสดงว่า บนมาร์คเกอร์หนึ่งๆมีกำหนดการเย็บประกอบของไซส์ใดๆเกิดขึ้นบ้าง ในรูปของ integer form

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

$$\text{minimize}[\text{a work} - \text{in} - \text{process inventory workload}]$$
$$\text{minimize}[(\text{HOLDING})] \quad (1)$$

สมการเงื่อนไข

$$\sum_k (X_{ik} Y_k) \geq d_i \, \forall_i \quad (2)$$

$$\sum_i (X_{ik} \times a_i) \leq L \;\; \forall_k \quad (3)$$

$$Y_k \geq LB \;\; \forall_k \quad (4)$$

$$Y_k \leq UB \;\; \forall_k \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_k \{(X_{ik} Y_k) - d_i\} \leq \text{EXCESS} \quad (6)$$

$$\text{BINARYPATTERN}_{ik} = \frac{X_{ik}}{\max(1, X_{ik})} \, \forall_{i,k} \quad (7)$$

$$\text{DUEDATEPATTERN}_{ik} = (\text{duedate}_i - M_k) \times \text{BINARYPATTERN}_{ik} \, \forall_i, \forall_k \quad (8)$$

$$\text{HOLDING} = \sum_k \sum_i (\text{DUEDATEPATTERN}_{ik} \times X_{ik} \times Y_k) \quad (9)$$

$$X_{ik}, Y_k, M_k, \text{DUEDATEPATTERN}_{ik}, \text{and HOLDING} \geq 0 \; \textit{and Integer} \;\; \forall_{i,k} \quad (10)$$

$$\text{BINARYPATTERN}_{ik} \in \{0,1\} \, \forall_{i,k} \quad (11)$$

ฟังก์ชั่นที่ 1 นำเสนอฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของปัญหา ที่เป็นการลดค่าภาระของงานด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังระหว่างผลิตให้น้อยลง *อสมการที่ 2* แสดงเงื่อนไขเรื่องความต้องการผลิตภัณฑ์ที่ต้องผลิตให้มากกว่าหรือเท่ากับความต้องการในคำสั่งซื้อ *อสมการที่ 3* แสดงเงื่อนไขเรื่องพื้นที่สูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ของแต่ละมาร์คเกอร์ *อสมการที่ 4* แสดงเงื่อนไขเรื่องจำนวนชั้นผ้าต่ำสุดที่สามารถวางได้ *อสมการที่ 5* แสดงเงื่อนไขเรื่องจำนวนชั้นผ้าสูงสุดที่สามารถวางได้ *อสมการที่ 6* แสดงเงื่อนไขเรื่องจำนวนผลิตเกินที่กำหนดให้ *สมการที่ 7 และ 8* เป็นสมการที่ใช้สำหรับคำนวณหาแพทเทิร์นของกำหนดการเย็บประกอบทั้ง 2 รูปแบบคือแบบ binary และแบบ integer บนมาร์คเกอร์หนึ่งๆ *สมการที่ 9* เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณค่า

ภาระงานในการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตคงคลังที่เกิดขึ้นของชุดมาร์คเกอร์หนึ่งๆ *อสมการที่ 10 และ 11* แสดงข้อจำกัดเรื่องชนิดของตัวแปรตัดสินใจในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอ

จากการศึกษาพบว่า ปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดได้ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มของปัญหาแบบ NP-COMPLETE ซึ่งจะมีความซับซ้อนและไม่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ปกติ (a standard mathematical method) อันเนื่องมาจากจะต้องใช้เวลาในการหาคำตอบที่นาน รวมถึงอาจจะหาคำตอบไม่ได้เลยในบางปัญหาที่มีขนาดของปัญหาใหญ่มาก

4. การประยุกต์ใช้ฮิวริสติกในการหาคำตอบ

จากที่ได้อธิบายไปแล้วข้างต้นว่าปัญหาการวางแผนการวางแบบตัด เป็นปัญหาที่ซับซ้อนและมีแนวโน้มที่จะต้องใช้เวลานานในการหาคำตอบ เมื่อปัญหามีขนาดที่ใหญ่ขึ้น งานวิจัยฉบับนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการแบบฮิวริสติกขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาคำตอบ โดยฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมานี้จะอยู่บนพื้นฐานของลักษณะพิเศษทางโครงสร้างของปัญหาการวางแผนการวางแบบตัด ซึ่งจะช่วยให้ฮิวริสติกสามารถที่จะจำกัดขอบเขตของการค้นหาคำตอบลง โดยจะมุ่งเน้นไปที่ solution space ที่มีศักยภาพที่จะให้คำตอบที่ดีได้เท่านั้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบมีโอกาสที่จะลดลงได้ อีกทั้งยังสามารถรักษาคุณภาพของคำตอบเอาไว้ได้อีกด้วย

4.1 แนวคิดที่สำคัญในการออกแบบฮิวริสติก

จากวิธีการคำนวณค่าภาระในการจัดเก็บ จะเห็นว่า สาเหตุหลักที่ส่งผลให้เกิดค่าภาระในการจัดเก็บก็คือ ลักษณะของแบบตัดที่ไม่สอดคล้องกับกำหนดการในการเย็บ เมื่อวิเคราะห์ลึกลงไปในแต่ละมาร์คเกอร์ก็จะพบว่า ความไม่สอดคล้องนี้เกิดจากการนำเอาไซส์ที่มีกำหนดการเย็บแตกต่างกัน มากบ้าง น้อยบ้าง มาอยู่ร่วมกันบนมาร์คเกอร์โดยถ้าสามารถนำเอาไซส์ที่มีกำหนดการใกล้ๆกันมาไว้ด้วยกันได้ ค่าภาระนี้ก็จะลดลงตามไปด้วย

โดยแนวคิดในการลดค่าภาระในการจัดเก็บนี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

1.การลดโดยมุ่งเน้นไปที่ไซส์ที่มีกำหนดการเย็บเร็วที่สุดบนมาร์คเกอร์ที่พิจารณา จากวิธีการคำนวณค่าภาระงาน จะเห็นได้ชัดว่า ไซส์ที่มีกำหนดการเย็บเร็วที่สุดบนมาร์คเกอร์ จะเป็นเสมือนฐานในการคำนวณภาระการจัดเก็บของไซส์อื่นๆบนมาร์คเกอร์นั้น ยิ่งฐานนี้ห่างกับกำหนดเวลาอื่นๆบนมาร์คเกอร์มากเท่าใด ค่าภาระการเก็บก็จะยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย และที่สำคัญ การปรับเปลี่ยนฐานเวลานี้ให้สอดคล้องมากขึ้นได้ จะส่งผลโดยตรงกับการเกิดขึ้นของค่าภาระงานของไซส์อื่นๆทุกอันบนมาร์คเกอร์นั้นได้ โดยในการจัดการกับกำหนดเวลาที่เป็นฐานนี้ จะแบ่งได้เป็น 3 แนวคิดย่อยคือ

- *การรวมฐาน* เป็นการนำเอาไซส์ที่มีกำหนดการเย็บเดียวกันไปรวมกันไว้ โดยที่กำหนดการเย็บนั้นเป็นกำหนดการที่เร็วที่สุดของมาร์คเกอร์ใดมาร์คเกอร์หนึ่งด้วย
- *การย้ายฐาน* สามารถทำได้ 2 แนวทางด้วยกันคือ

<u>แนวทางที่ 1</u> เป็นการนำเอาไซส์ที่มีกำหนดการเย็บเร็วที่สุดของมาร์คเกอร์ที่พิจารณา ย้ายไปยังมาร์คเกอร์ที่มีฐานต่ำกว่าหรือก็คือ ไปยังมาร์คเกอร์ที่มีกำหนดการในการเย็บเร็วที่สุดที่เร็วกว่ากำหนดการที่พิจารณาอยู่ ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะทำให้ฐานด้านกำหนดเวลาของมาร์คเกอร์ที่กำลังพิจารณาสูงขึ้นนั่นเอง

<u>แนวทางที่ 2</u> เป็นแนวทางที่ซับซ้อนและเกิดขึ้นได้ยากกว่า โดยเป็นการแลกฐานกันระหว่าง 2 มาร์คเกอร์ โดยแนวคิดในการแลกคือ ให้ฐานที่ต่ำกว่า ซึ่งคาดว่าจะให้ค่าภาระงานที่สูงกว่าไปอยู่บนมาร์คเกอร์ที่มีจำนวนชั้นผ้าที่ต่ำกว่า และนำเอาฐานที่สูงกว่า ซึ่งคาดว่าจะให้ค่าภาระงานการจัดเก็บที่ต่ำกว่า มาอยู่บนมาร์คเกอร์ที่มีจำนวนชั้นผ้าสูงกว่าแทน

2.การลดโดยมุ่งเน้นไปที่ไซส์อื่นๆที่มีกำหนดการเย็บช้ากว่ากำหนดการเย็บที่เร็วที่สุดของมาร์คเกอร์ที่พิจารณา แนวคิดหลักที่ใช้ในการย้ายไซส์ในกลุ่มนี้อธิบายได้ดังนี้ ในกรณีที่พิจารณามาร์คเกอร์ที่มีจำนวนชั้นผ้าเท่ากัน ต้องพยายามย้ายเพื่อให้เกิดแบบตัดใหม่ที่มีส่วนผสมของไซส์ที่มีกำหนดการเย็บใกล้เคียงกับฐานที่พิจารณา หรือกำหนดการเย็บที่เร็วที่สุดของแต่ละมาร์คเกอร์ เพราะฉะนั้น เกณฑ์ในการย้ายไซส์ในกลุ่มนี้จะมุ่งเน้นไปที่ผลต่างระหว่างกำหนดเวลาในการเย็บของไซส์ที่พิจารณากับฐานของมาร์คเกอร์อื่นๆ โดยต้องพยายามเลือกให้ผลต่างนี้น้อยที่สุดแต่ในกรณีที่พิจารณามาร์คเกอร์ที่มีจำนวนชั้นของผ้าที่แตกต่างกัน จะต้องคำนวณความคุ้มค่าในการย้ายสแต็คที่เชื่อมโยงกับจำนวนชั้นของผ้าที่แตกต่างกัน อีกทั้งจะต้องตรวจสอบข้อจำกัดในเรื่องของปริมาณผลิตในทุกรอบของการโยกย้ายอีกด้วย

4.2 รายละเอียดของฮิวริสติก

แนวคิดข้างต้นได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นฮิวริสติกเพื่อใช้ในการปรับปรุงแผนการวางแบบตัด โดยฮิวริสติกที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนที่ 1 การจัดเรียงแบบตัด และขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงสแต็คดังรูปที่ 3

รายละเอียดโดยย่อของแต่ละขั้นตอนสามารถสรุปได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเรียงแบบตัด ในขั้นตอนนี้ แบบตัดของชุดของมาร์คเกอร์ตั้งต้นจะถูกนำมาจัดเรียงใหม่ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะรวมเอาสแต็คของไซส์ที่มีกำหนดเวลาในการเย็บใกล้ๆกันเอามาไว้ด้วยกัน เพื่อให้ค่าความแตกต่างระหว่างกำหนดการเย็บน้อยที่สุด แต่ทั้งนี้ก็ต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดดังอธิบายแล้วข้างต้นด้วย ซึ่งจะเป็นการมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงค่าของตัวแปรตัดสินใจ X_{ik} ที่จะส่งผลต่อเนื่องไปยังตัวแปรตัดสินใจอื่นๆที่เกี่ยวข้องอีกด้วย โดยในขั้นตอนนี้จะแบ่งย่อยออกเป็นอีก 2 ขั้นตอนย่อยดังนี้

ขั้นตอนย่อยที่ 1.1 ขั้นตอนนี้จะเน้นที่การจัดเรียงแบบตัดของชุดมาร์คเกอร์ตั้งต้นใหม่ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. แบ่งชุดของมาร์คเกอร์ตั้งต้นออกเป็นกลุ่มตามจำนวนชั้นผ้าที่เท่ากัน ส่งผลให้ชุดของมาร์คเกอร์จะแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ โดยในแต่ละกลุ่มจะมีจำนวนชั้นผ้าเท่ากัน

2. ในแต่ละกลุ่มดึงสแต็คทั้งหมดออกจากมาร์คเกอร์ จากนั้นทำการจัดเรียงสแต็คที่ดึงออกมาตามลำดับจากกำหนดเวลาในการเย็บเร็วไปช้า

3. นำสแต็คกลับมาใส่ลงในมาร์คเกอร์เปล่า โดยใส่ตามลำดับที่ได้เรียงแล้วในข้อที่ 2ในขั้นตอนนี้จะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดในเรื่องของขนาดของพื้นที่ที่สามารถใช้ได้ควบคู่ไปกับการใส่สแต็คลงมาร์คเกอร์ทุกๆครั้งด้วย

4. ทำตามข้อที่ 1-3 ตามลำดับจนครบทุกกลุ่มมาร์คเกอร์ตามที่ได้แบ่งเอาไว้ในข้อที่ 1

ขั้นตอนย่อยที่ 1.2 ขั้นตอนนี้จะเน้นไปที่การปรับปรุงผลลัพธ์จากขั้นตอนย่อยที่ 1.1 โดยจะใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างที่ยังไม่ได้ถูกใช้งานของทุกมาร์คเกอร์ ทั้งนี้พื้นที่ว่างเหล่านี้เกิดขึ้นมาจากผลต่างระหว่างขนาดพื้นที่ที่อนุญาตให้ใช้ได้กับขนาดพื้นที่ที่ใช้จริง และลักษณะที่สำคัญคือ ในผลลัพธ์นี้ พื้นที่ว่างตั้งต้นจะอยู่ในมาร์คเกอร์ลำดับสุดท้ายเท่านั้น ซึ่งจะต้องพยายามย้ายให้ไปอยู่บนมาร์คเกอร์อื่นที่เหมาะสมกว่า โดยขั้นตอนย่อยที่ 1.2 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากกลุ่มของมาร์คเกอร์ที่แบ่งไว้ตามขั้นตอนย่อยที่ 1.1 ในทุกมาร์คเกอร์ หาค่าผลต่างระหว่างค่ากำหนดเวลาที่มากที่สุดกับค่ากำหนดเวลาที่น้อยที่สุดหรือฐานของมาร์คเกอร์นั่นเอง

2. เรียงมาร์คเกอร์ตามลำดับจากค่าผลต่างมากไปหาน้อย

3. ทดลองนำพื้นที่ว่างมาใส่แทนสแต็คที่มีค่ากำหนดเวลาสูงสุดบนมาร์คเกอร์ลำดับแรกสุดที่ยังไม่ได้พิจารณา และนำเอาสแต็คที่มีค่าเวลาสูงสุดบนมาร์คเกอร์นั้นแลกไปใส่ในมาร์คเกอร์สุดท้ายแทน จากนั้นประเมินว่าสามารถลดค่าภาระงานลงได้ไหม ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

3.1 การย้ายนี้สามารถช่วยลดค่าภาระงานการจัดเก็บลงได้ ทำการย้ายสแต็คและไปยังข้อ 4

3.2 การย้ายนี้ไม่สามารถช่วยลดค่าภาระงานการจัดเก็บลงได้ ไม่ย้ายสแต็ค จากนั้นกลับไปยังข้อ 3

4. ตรวจสอบว่าพื้นที่ว่างที่ยังเหลือสามารถนำไปแลกกับสแต็คใดๆได้อีกหรือไม่ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

4.1 สามารถนำไปใช้ได้ กลับไปยังข้อ 3

4.2 ไม่เพียงพอที่จะใช้ในการแลกกับสแต็คได้อีก จบขั้นตอนย่อยที่ 1.2

ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงสแต็ค ขั้นตอนนี้จะใช้ประโยชน์จากสแต็คที่มีคุณสมบัติพิเศษ (special-structure stack) ในการโยกย้ายเพื่อปรับปรุงแบบตัดที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ใหม่ โดยมุ่งหวังที่จะลดค่าภาระงานเพิ่มเติม และดังเช่นขั้นตอนที่ 1 กระบวนการในขั้นตอนนี้ก็มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงค่าของตัวแปรตัดสินใจ X_{ik} แต่ด้วยวิธีการที่แตกต่างจากวิธีการในขั้นตอนที่ 1

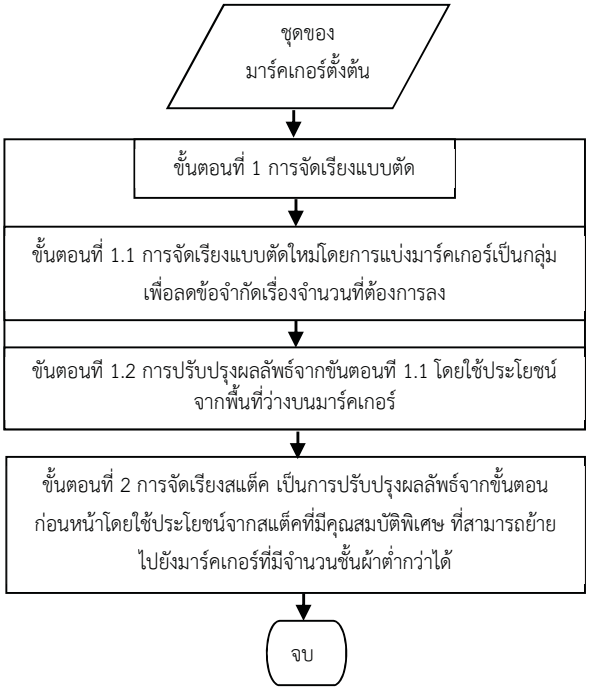
สแต็คที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ แสต็คของไซส์ที่มีจำนวนผลิตเกินเกิดขึ้น ซึ่งสแต็คเหล่านี้จะมีโครงสร้างของชั้นผ้าแยกออกเป็น 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นที่เป็นความต้องการที่แท้จริง (actual demand) และชั้นที่เป็นจำนวนผลิตเกิน ดังแสดงในรูปที่ 4 สแต็คแบบนี้จะมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถที่จะย้ายไปยังมาร์คเกอร์ที่มีจำนวนชั้นผ้าที่น้อยกว่าได้โดยไม่ละเมิดข้อจำกัดเรื่องจำนวนผลิต รายละเอียดของขั้นตอนที่ 2 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. พิจารณาทุกมาร์คเกอร์เพื่อหาสแต็คตัวแทนที่มีความน่าจะเป็นในการลดค่าภาระงานได้มากที่สุด โดยสแต็คตัวแทนจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- เป็นสแต็คของไซส์ที่มีจำนวนผลิตเกินมากกว่าหรือเท่ากับ 1 ตัวต่อสแต็ค
- เป็นสแต็คที่มีผลต่างระหว่างกำหนดการเย็บกับกำหนดเวลาที่น้อยที่สุดบนมาร์คเกอร์นั้น
- เป็นสแต็คที่ยังไม่ได้พิจารณาในรอบก่อนหน้า

2.เมื่อได้สแต็คตัวแทนแล้ว ต่อไปก็ต้องหามาร์คเกอร์ที่เหมาะสมให้สแต็คนี้ลง โดยมาร์คเกอร์ดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- มีจำนวนชั้นของผ้าหรือเรียกอีกอย่างว่า ความสูงของมาร์คเกอร์มากว่าหรือเท่ากับ จำนวนชั้นที่เป็นความต้องการที่แท้จริง (actual demand) ของสแต็คตัวแทนที่กำลังพิจารณา
- มีพื้นที่ว่างเพียงพอกับอัตราการใช้ผ้าของสแต็คตัวแทนหรือมีอย่างน้อยหนึ่งสแต็กบนมาร์คเกอร์นี้ ที่มีอัตราการใช้ผ้าเมื่อรวมกับขนาดของพื้นที่ว่างแล้ว มากกว่าหรือเท่ากับอัตราการใช้ผ้าของสแต็กตัวแทน

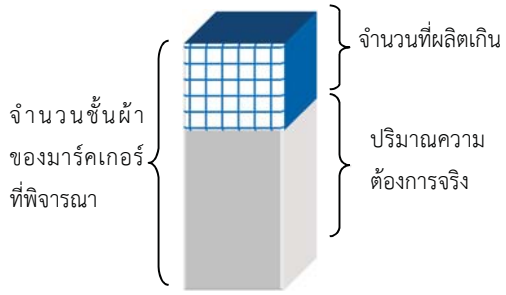


รูปที่ 3 แผนภาพแสดงขั้นตอนหลักของฮิวริสติก

3. ในบรรดามาร์คเกอร์ข้างต้น เรียงลำดับจากจำนวนชั้นผ้าน้อยไปหามาก

4. ทดลองนำเอาสแต็กตัวแทนมาวางหรือแลกกับสแต็กที่เหมาะสมบนมาร์คเกอร์ลำดับแรกที่ยังไม่ได้พิจารณา โดยจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านปริมาณผลิตและขนาดของพื้นที่ของแต่ละมาร์คเกอร์ควบคู่ไปด้วย และที่สำคัญ จะต้องประเมินถึงความคุ้มค่าในการย้ายสแต็ก ซึ่งการย้ายสแต็กจะเกิดขึ้นเมื่อสามารถที่จะช่วยลดภาระการจัดเก็บลงได้เท่านั้น

5. ทำซ้ำข้อที่ 1-4 พิจารณาจนครบทุกสแต็กตัวแทนที่ผ่านตามคุณสมบัติข้างต้น



รูปที่ 4 ตัวอย่างของสแต็คที่มีคุณสมบัติพิเศษ

5. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอถึงการวัดสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมา ในมุมมองด้านคุณภาพของคำตอบที่ได้ ทั้งนี้เพื่อวัดสมรรถนะดังกล่าว ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมา จะถูกนำไปทดลองกับโจทย์การวางแผนการวางแบบตัดที่สร้างขึ้นมาจำนวน 140 โจทย์ ซึ่งโจทย์เหล่านี้ได้สร้างขึ้นมาบนพื้นฐานของคุณลักษณะของคำสั่งซื้อที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม ภายใต้บริบทของกลยุทธ์การผลิตเฉพาะลูกค้าเชิงมวล โดยทั้ง 140 โจทย์ที่สร้างขึ้นมานี้ จะแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ในแต่ละการทดลองก็จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาสมรรถนะของฮิวริสติกในสถานการณ์ที่ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญมีการเปลี่ยนแปลงไปดังนี้

<u>การทดลองที่ 1</u> เป็นสถานการณ์ที่จำนวนไซส์ของแต่ละคำสั่งซื้อมีการปรับเปลี่ยนลดลงหรือเพิ่มขึ้น

<u>การทดลองที่ 2</u> เป็นสถานการณ์ที่ขนาดพื้นที่สูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ต่อมาร์คเกอร์มีการปรับเปลี่ยนลดลงหรือเพิ่มขึ้น

<u>การทดลองที่ 3</u> เป็นสถานการณ์ที่จำนวนชั้นผ้ามากที่สุดต่อมาร์คเกอร์มีการปรับเปลี่ยนลดลงหรือเพิ่มขึ้น

เพื่อเป็นการชี้วัดถึงคุณภาพของฮิวริสติก จึงได้มีการประยุกต์เอาวิธีการแบบ Genetic Algorithm (GA) จาก (Martens, 2004) มาปรับเปลี่ยนขึ้นเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่ใช้ในการสร้างแผนการวางแบบตัด จากนั้นจึงนำเอาคำตอบที่ได้จากทั้ง 2 วิธีการมาเปรียบเทียบกัน เพื่อวัดถึงสมรรถนะของทั้ง 2 วิธีการเปรียบเทียบกัน

ทั้งนี้เพื่อป้องกันความสับสนระหว่างทั้ง 2 วิธีการในการแก้ปัญหาข้างต้น ทางผู้วิจัยจะขอเรียกวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาบนพื้นฐานของลักษณะพิเศษทางโครงสร้างของปัญหาการวางแบบตัดว่า “ฮิวริสติก” ส่วนอีกวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาบนพื้นฐานของ genetic algorithm จะขอเรียกว่า “GA”

5.1 โจทย์ปัญหาการวางแผนการวางแบบตัด

ในการทดสอบสมรรถนะของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมา โจทย์ปัญหาการวางแบบตัดจำนวน 140 ปัญหาได้ถูกสร้างขึ้นบนพื้นฐานของคุณลักษณะของกลยุทธ์การผลิตเฉพาะลูกค้าเชิงมวลโดยทั้ง 140 ปัญหาการวางแบบตัดข้างต้น จะแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางสรุปการตั้งค่าพารามิเตอร์ของทั้ง 3 การทดลอง

การทดลองที่	จำนวนไซส์ (ไซส์)	ขนาดมาร์คเกอร์ (ตร.ม.)	จำนวนชั้นผ้า (ชั้น)
1	5,10,15	4	40
2	10	3.3,4,4.9	40
3	10	4	30,40,50

<u>การทดลองที่ 1</u> เป็นสถานการณ์ที่จำนวนไซส์ของแต่ละคำสั่งซื้อมีการปรับเปลี่ยนทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งจุดประสงค์ของการทดลองนี้ก็เพื่อที่จะศึกษาถึงความสามารถในการหาคำตอบของวิธีการฮิวริสติกในสถานการณ์ที่จำนวนไซส์ต่อคำสั่งซื้อมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจำนวนไซส์ที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นนี้จะสื่อถึงระดับของการ customization ของผู้ผลิต โดยหากมีจำนวนไซส์ที่น้อย ก็อาจจะอนุมานได้ว่า ผู้ผลิตมีระดับของการ customization ที่ต่ำ แต่ในทางกลับกัน หากผู้ผลิตมีจำนวนไซส์ที่ผลิตจำนวนมาก ก็จะอนุมานได้ถึงระดับของการ customization ที่สูง และในทางทฤษฎี จำนวนไซส์ที่มากขึ้นนี้จะส่งผลโดยตรง ทำให้ความซับซ้อนของปัญหาเพิ่มขึ้น ในการทดลองนี้ จำนวนไซส์จะมีการปรับเปลี่ยนแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ

รูปแบบ 1-A จำนวนไซส์ต่อคำสั่งซื้อเท่ากับ 5 ไซส์

รูปแบบ 1-B จำนวนไซส์ต่อคำสั่งซื้อเท่ากับ 10 ไซส์

รูปแบบ 1-C จำนวนไซส์ต่อคำสั่งซื้อเท่ากับ 15 ไซส์

<u>การทดลองที่ 2</u> เป็นสถานการณ์ที่ขนาดพื้นที่สูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ต่อมาร์คเกอร์มีการปรับเปลี่ยนทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งจุดประสงค์ของการทดลองนี้ก็เพื่อที่จะศึกษาถึงความสามารถในการหาคำตอบของวิธีการฮิวริสติกในสถานการณ์ที่ขนาดของพื้นที่สูงสุดมีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า เมื่อขนาดของพื้นที่มีการปรับเปลี่ยนทั้งลดลงหรือเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลโดยตรงไปยังขนาดของ solution search spaceอธิบายโดยย่อได้ว่า เมื่อขนาดของพื้นที่เพิ่มขึ้น แต่ละมาร์คเกอร์ก็จะสามารถบรรจุไซส์ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลงไปได้มากยิ่งขึ้น ส่งผลให้มีแบบตัด (marker pattern) ได้หลากหลายมากขึ้น ทำให้การหาแบบตัดที่เหมาะสมให้กับแต่ละมาร์คเกอร์ก็จะยากขึ้นตามไปด้วย และในทางกลับกัน หากขนาดของพื้นที่ลดลง จะส่งผลให้แต่ละมาร์คเกอร์สามารถที่จะบรรจุไซส์ของผลิตภัณฑ์ลงไปได้น้อยลง ทำให้แบบตัดที่เป็นไปได้มีจำนวนที่ลดลง แต่จะมีผลให้จำนวนมาร์คเกอร์ที่ต้องใช้โดยรวมมากขึ้น ซึ่งแน่นอนว่า การหาแบบตัดที่เหมาะสมให้กับทุกมาร์คเกอร์ก็จะต้องใช้เวลานานขึ้นไปอีกโดยในการทดลองนี้ขนาดของพื้นที่สูงสุดจะมีการปรับเปลี่ยนแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ

รูปแบบ 2-A ขนาดพื้นที่สูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ต่อหนึ่งมาร์คเกอร์เท่ากับ 3.3 ตารางเมตร

รูปแบบ 2-B ขนาดพื้นที่สูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ต่อหนึ่งมาร์คเกอร์เท่ากับ 4 ตารางเมตร

รูปแบบ 2-C ขนาดพื้นที่สูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ต่อหนึ่งมาร์คเกอร์เท่ากับ 4.9 ตารางเมตร

<u>การทดลองที่ 3</u> เป็นสถานการณ์ที่จำนวนชั้นผ้ามากที่สุดต่อมาร์คเกอร์มีการปรับเปลี่ยนทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง ซึ่งจุดประสงค์ของการทดลองนี้ก็เพื่อที่จะศึกษาถึงความสามารถในการหาคำตอบของวิธีการฮิวริสติกในสถานการณ์ที่จำนวนชั้นผ้าที่มากที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในการทดลองที่ 2 การปรับเปลี่ยนทั้งลดลงและเพิ่มขึ้นของจำนวนชั้นผ้าจะมีผลโดยตรงต่อความยากในการหาคำตอบทั้งสิ้น ในกรณีที่จำนวนชั้นผ้าสูงสุดลดลง นั่นก็หมายถึง จำนวนผลิตที่ได้จากแต่ละมาร์คเกอร์ก็จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งมีผลโดยตรงให้จำนวนมาร์คเกอร์ที่ใช้ก็จะมากตามไปด้วย ทำให้ solution search space ขยายใหญ่ขึ้น และในทางตรงกันข้าม หากจำนวนชั้นผ้าสูงสุดของแต่ละมาร์คเกอร์เพิ่มขึ้น ทางเลือกในเรื่องจำนวนชั้นผ้าของแต่ละมาร์คเกอร์ก็จะมีมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การหาจำนวนชั้นผ้าที่เหมาะสมของแต่ละมาร์คเกอร์ทำได้ยากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ในมุมมองของการผลิตจริง การปรับเปลี่ยนจำนวนชั้นผ้านี้จะเชื่อมโยงกับความสามารถของอุปกรณ์ในการตัดที่ผู้ผลิตเลือกใช้ได้อีกด้วยโดยในการทดลองนี้ จำนวนชั้นผ้ามากที่สุดจะมีการปรับเปลี่ยนแบ่งออกเป็น 3 สถานการณ์คือ

รูปแบบ 3-A จำนวนชั้นผ้ามากที่สุดต่อมาร์คเกอร์เท่ากับ 30 ชั้นผ้า

รูปแบบ 3-B จำนวนชั้นผ้ามากที่สุดต่อมาร์คเกอร์เท่ากับ 40 ชั้นผ้า

รูปแบบ 3-C จำนวนชั้นผ้ามากที่สุดต่อมาร์คเกอร์เท่ากับ 50 ชั้นผ้า

โดยทั้ง 3 การทดลองข้างต้นจะมีพารามิเตอร์บางตัวที่กำหนดให้มีค่าเท่ากันดังนี้

1.จำนวนรวมของผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าสั่งต่อคำสั่งซื้อจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1,000-3,000 ตัวต่อคำสั่งซื้อทั้ง 140 โจทย์ปัญหา

2.อัตราการใช้ผ้าของแต่ละไซส์จะมีค่าระหว่าง 0.8-1 ตารางเมตรต่อไซส์เช่น 0.8, 0.85, 0.9 เป็นต้น

3.กำหนดเวลาในการเย็บประกอบของแต่ละไซส์จะกำหนดให้อยู่ระหว่างวันที่ 1-10 เช่น 1, 2, 3 เป็นต้น

ในการวัดสมรรถนะของวิธีการฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมานี้ ได้มีการนำเอาวิธีการแบบ genetic algorithm (GA) จากงานวิจัย (Martens, 2004) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้กับปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดดั้งเดิม ที่มีบางส่วนคล้ายคลึงกับปัญหาในงานวิจัยนี้ และได้ถูกทดลองจนเชื่อมั่นได้ถึงประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการหาคำตอบของปัญหาการวางแบบตัด มาปรับเปลี่ยนและเพิ่มเติมให้สอดคล้องกับปัญหาที่สนใจ เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบและชี้วัดถึงคุณภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกโดยวิธีการแบบ GA ที่นำมาใช้นี้จะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

- A uni-crossover operator – ด้วย operator นี้ ตัวแปรตัดสินใจในสายโซ่โครโมโซม 2 เส้นที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันจะถูกสลับกันด้วยค่าความน่าจะเป็นค่าหนึ่ง ซึ่งจากการศึกษาและวิเคราะห์ในงานวิจัย (Martens, 2004)พบว่าควรที่จะตั้งค่าเท่ากับ 0.9
- A classic mutation operator – ด้วย operator นี้ ตัวแปรตัดสินใจในสายโซ่โครโมโซมหนึ่งๆจะถูกสลับด้วยค่าความน่าจะเป็นค่าหนึ่ง ซึ่งจากการศึกษาและวิเคราะห์ในงานวิจัย (Martens, 2004)พบว่าควรที่จะตั้งค่าเท่ากับ 0.1
- A simple hill climbing algorithm – อัลกอริทึ่มนี้ได้ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยปรับปรุงคำตอบที่ได้จากวิธีการ GA โดยจะทำการปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรตัดสินใจบางตัวเพื่อจุดมุ่งหมายในการลดค่าปรับ (penalty value) ที่เกิดจากการผลิตเกินหรือผลิตได้น้อยกว่าความต้องการในคำสั่งซื้อและอัลกอริทึ่มนี้จะหยุดเมื่อไม่สามารถลดค่าปรับลงได้อีก
- จำนวนของประชากร (population) – การตั้งค่าจำนวนประชากรหรือจำนวนของคำตอบที่ได้ในแต่ละรุ่น (generation) จะเท่ากับ 100 ซึ่งเหมือนกับในงานวิจัย (Martens, 2004)
- จำนวนของรุ่น (generation) – จำนวนของรุ่นที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบการรัน ค่าพารามิเตอร์ตัวนี้ จะปรับตั้งค่าให้สอดคล้องไปตามแต่ละโจทย์การวางแบบตัด โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อควบคุมให้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบมีค่าเท่าๆกันทุกโจทย์

ทั้งนี้ด้วยความที่วิธีการ GA มีลักษณะเป็นแบบสุ่ม (randomness) ส่งผลให้การหาคำตอบของปัญหาใดๆในแต่ละครั้ง ก็อาจจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไปได้ ฉะนั้น ในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ในแต่ละปัญหา จะหาคำตอบด้วยวิธีการ GA จำนวน 40 ครั้ง จากนั้นก็จะเก็บเอาผลลัพธ์ที่ให้ค่าภาระงานการจัดเก็บต่ำที่สุดมาเป็นตัวแทนของคำตอบทั้งหมด และจะใช้ค่านี้ในการเปรียบเทียบ ส่วนวิธีการฮิวริสติกเองก็จะใช้ในการหาคำตอบจำนวน 40 ครั้งเช่นกัน โดยเพื่อให้การหาคำตอบในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกัน จะมีการปรับเปลี่ยนรายละเอียดของชุดมาร์คเกอร์ตั้งต้น ก่อนที่จะนำเข้าไปสู่วิธีการฮิวริสติกในแต่ละครั้ง จากนั้นก็จะเก็บเอาผลลัพธ์ที่ให้ค่าภาระงานต่ำที่สุดเพื่อใช้เป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบกับวิธีการ GA อีกทั้ง ในการหาคำตอบแต่ละครั้งค่าเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (computation time) จะถูกควบคุมให้อยู่ที่ 2:00 นาที โดยประมาณทั้งสองวิธี

5.2 ผลการทดลอง

ในหัวข้อนี้ ผลการทดลองหาคำตอบของปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดทั้ง 140 ปัญหาด้วยวิธีการฮิวริสติกและวิธีการ GA จะถูกนำเสนอแยกออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

<u>การทดลองที่ 1</u> การวัดสมรรถนะของวิธีการฮิวริสติกเมื่อจำนวนไซส์ของแต่ละคำสั่งซื้อมีการปรับเปลี่ยน

ผลลัพธ์ของการทดลองแสดงในตารางที่ 5 โดยในตารางนี้ คอลัมน์ชื่อว่าปัญหาจะบอกว่าเป็นปัญหาลำดับที่เท่าไหร่ คอลัมน์ชื่อว่า GA จะแสดงถึงค่าภาระงานการจัดเก็บที่เป็นผลลัพธ์จากการใช้วิธีการ GA ในการหาคำตอบ ส่วนคอลัมน์ชื่อฮิวริสติก จะแสดงถึงค่าภาระงานจัดเก็บที่เกิดจากการใช้วิธีการฮิวริสติกในการหาคำตอบ โดยในการเปรียบเทียบกันในแต่ละปัญหา คำตอบที่ดีกว่า ซึ่งหมายถึงคำตอบที่ให้ค่าภาระงานการจัดเก็บที่ต่ำกว่าจะถูกแสดงด้วยตัวเอียงและขีดเส้นใต้เอาไว้เพื่อให้เห็นได้อย่างชัดเจน

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า คำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกจะให้ค่าภาระงานที่น้อยกว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ GA ใน 19 ปัญหาของทุกๆสถานการณ์ คิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาทั้งหมด โดยมีเพียงปัญหาที่ 14 ของสถานการณ์ที่ 1 ปัญหาที่ 16 ของสถานการณ์ที่ 2 และปัญหาที่ 5 ของสถานการณ์ที่ 3 เท่านั้นที่วิธีการ GA สามารถให้คำตอบที่ดีกว่า

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์จากการทดลองที่ 1

ตารางแสดงค่าภาระการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตคงคลัง (ชิ้น*ชั่วโมง)						
	จำนวน 10 ไซส์		**จำนวน 5 ไซส์**		**จำนวน 15 ไซส์**	
ปัญหา	**ฮิวริสติก**	**GA**	**ฮิวริสติก**	**GA**	**ฮิวริสติก**	**GA**
1	*1105*	1400	*230*	456	*2828*	3574
2	*354*	497	*381*	442	*3935*	3995
3	*992*	1207	*429*	543	*3153*	3800
4	*1321*	1348	*418*	774	*3225*	3305
5	*1348*	2117	*397*	442	2815	*2560*
6	*1764*	2245	*307*	332	*3895*	4130
7	*1406*	1908	*325*	517	*3754*	3900
8	*1214*	1926	*331*	350	*3054*	3210
9	*1913*	2170	*356*	536	*1682*	1720
10	*695*	1005	*413*	545	*2788*	3270
11	*975*	1385	*296*	786	*3143*	3260
12	*1505*	1675	*455*	494	*2306*	2380
13	*1507*	1635	*336*	350	*2955*	3320
14	1267	*1107*	*493*	504	*3643*	3824
15	*862*	1011	*338*	416	*2855*	2946
16	*565*	611	396	*240*	*2132*	2404
17	*939*	1042	*229*	254	*2800*	2911
18	*1807*	2330	*383*	757	*3311*	3400
19	*1155*	1665	*380*	390	*1916*	2204
20	*526*	615	*534*	580	*2123*	3319

การทดลองที่ 2 การวัดสมรรถนะของวิธีการฮิวริสติกเมื่อขนาดพื้นที่สูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ได้ต่อมาร์คเกอร์มีการปรับเปลี่ยน

ผลลัพธ์ของการทดลองแสดงในตารางที่ 6 โดยในตารางนี้รายละเอียดของคอลัมน์ต่างๆจะเหมือนกับที่ได้อธิบายไปแล้วในการทดลองที่ 1

จากตารางที่ 6จะเห็นได้ว่า คำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกจะให้ค่าภาระงานที่น้อยกว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ GA ใน 19 ปัญหาของทั้ง 3 สถานการณ์ คิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาทั้งหมด โดยมีเพียงปัญหาที่ 14 ของสถานการณ์ที่ 1 ปัญหาที่ 16 ของสถานการณ์ที่ 2 และปัญหาที่ 12 ของสถานการณ์ที่ 3 เท่านั้นที่วิธีการ GA สามารถให้คำตอบที่ดีกว่า

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์จากการทดลองที่ 2

ตารางแสดงค่าภาระการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตคงคลัง (ชิ้น*ชั่วโมง)						
	ขนาด 4 ตร.ม.		**ขนาด 3.3 ตร.ม.**		**ขนาด 4.9 ตร.ม.**	
ปัญหา	**ฮิวริสติก**	**GA**	**ฮิวริสติก**	**GA**	**ฮิวริสติก**	**GA**
1	*1105*	1400	*683*	995	*1475*	1560
2	*354*	497	*510*	636	*1091*	1724
3	*992*	1207	*1097*	1124	*1117*	1124
4	*1321*	1348	*1097*	1125	*947*	1024
5	*1348*	2117	*749*	910	*1816*	1877
6	*1764*	2245	*965*	995	*1604*	1723
7	*1406*	1908	*1256*	1295	*980*	1403
8	*1214*	1926	*1089*	1158	*1472*	1749
9	*1913*	2170	*1284*	1300	*1577*	2794
10	*695*	1005	*1200*	1294	*1543*	2018
11	*975*	1385	*1183*	1294	*1521*	3746
12	*1505*	1675	*1364*	1433	2214	*1418*
13	*1507*	1635	*1205*	1425	*1768*	2875
14	1267	*1107*	*1034*	1245	*1784*	2756
15	*862*	1011	*906*	1100	*825*	1083
16	*565*	611	910	*884*	*1352*	1430
17	*939*	1042	*989*	1145	*2009*	1699
18	*1807*	2330	*794*	1105	*2005*	2871
19	*1155*	1665	*975*	1098	*1005*	1943
20	*526*	615	*635*	995	*1200*	1920

การทดลองที่ 3 การวัดสมรรถนะของวิธีการฮิวริสติกเมื่อจำนวนชั้นผ้ามากที่สุดต่อมาร์คเกอร์มีการปรับเปลี่ยน

ผลลัพธ์ของการทดลองแสดงในตารางที่ 7 โดยในตารางนี้รายละเอียดของคอลัมน์ต่างๆจะเหมือนกับที่ได้อธิบายไปแล้วในการทดลองที่ 1

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่า ในสถานการณ์ที่ 1 และ 3 คำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกจะให้ค่าภาระงานที่น้อยกว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ GA ใน 19 ปัญหา คิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาทั้งหมด และในสถานการณ์ที่ 2 คำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกจะให้ค่าภาระงานที่น้อยกว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการ GA ใน 18 ปัญหา คิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาทั้งหมด โดยมีเพียงปัญหาที่ 14 ของสถานการณ์ที่ 1 ปัญหาที่ 5 และ 15 ของสถานการณ์ที่ 2 และปัญหาที่ 18 ของสถานการณ์ที่ 3 เท่านั้นที่วิธีการ GA สามารถให้คำตอบที่ดีกว่า

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์จากการทดลองที่ 3

ตารางแสดงค่าภาระการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตคงคลัง (ชิ้น*ชั่วโมง)						
	จำนวน 40 ชั้นผ้า		**จำนวน 30 ชั้นผ้า**		**จำนวน 50 ชั้นผ้า**	
ปัญหา	**ฮิวริสติก**	**GA**	**ฮิวริสติก**	**GA**	**ฮิวริสติก**	**GA**
1	*1105*	1400	*548*	760	*1558*	1623
2	*354*	497	*746*	826	*1065*	1426
3	*992*	1207	*841*	1200	*1569*	1992
4	*1321*	1348	*1184*	1281	*1546*	1761
5	*1348*	2117	1428	*1171*	*1247*	1425
6	*1764*	2245	*1031*	1053	*1275*	1685
7	*1406*	1908	*1369*	1754	*1095*	1270
8	*1214*	1926	*1802*	2015	*1424*	1562
9	*1913*	2170	*472*	1129	*1135*	1171
10	*695*	1005	*1625*	1793	*1008*	1295
11	*975*	1385	*821*	1443	*1403*	2023
12	*1505*	1675	*1392*	1450	2294	2313
13	*1507*	1635	*750*	1017	*1954*	2090
14	1267	*1107*	*456*	1069	*1782*	1893
15	*862*	1011	1126	*1040*	*1632*	1785
16	*565*	611	*1578*	1610	*1839*	2007
17	*939*	1042	*1432*	1517	*1525*	1574
18	*1807*	2330	*1127*	1200	1034	*510*
19	*1155*	1665	*1247*	1498	*1672*	1675
20	*526*	615	*1051*	1320	*1562*	1640

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ผลต่างจากผลลัพธ์ของการทดลอง

	ค่าเฉลี่ย % ผลต่าง	
	แยกตามพารามิเตอร์	**แยกตามการทดลอง**
การทดลองที่	**1**	
จำนวน 10 ไซส์	18.31	14.5
จำนวน 5 ไซส์	17.42	
จำนวน 15 ไซส์	7.77	
การทดลองที่	**2**	
ขนาด 4 ตร.ม.	18.31	16.46
ขนาด 3.3 ตร.ม.	12.19	
ขนาด 4.9 ตร.ม.	18.88	
การทดลองที่	**3**	
จำนวน 40 ชั้นผ้า	18.31	13.47
จำนวน 30 ชั้นผ้า	16.43	
จำนวน 50 ชั้นผ้า	5.68	

ตารางที่ 8 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ผลต่างระหว่างคำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกกับวิธีการ GA โดยนำเสนอแยกออกเป็นสองแบบคือ 1.นำเสนอแยกตามการทดลองย่อย ที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ และ 2.นำเสนอเป็นผลรวมของค่าเฉลี่ยแยกออกเป็นการทดลองที่ 1, 2 และ 3

จากทั้ง 3 การทดลองจะเห็นได้ชัดว่า วิธีการฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมานี้ยังคงสามารถที่จะให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการ GA ได้แม้ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญจะถูกปรับเปลี่ยน ซึ่งสามารถที่จะสรุปได้ว่า วิธีการฮิวริสติกมีสมรรถนะที่ดีกว่าวิธีการ GA ในการปรับปรุงค่าภาระงานการจัดเก็บให้กับแผนการวางแบบตัดตั้งต้น

5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ปัญหาทั้งหมดพบว่า วิธีการฮิวริสติกสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการ GA ในสภาวะของปัญหาดังต่อไปนี้

- ในปัญหานั้น รูปแบบการกระจายของปริมาณความต้องการผลิตภัณฑ์ไปยังแต่ละไซส์ค่อนข้างจะสม่ำเสมอ (smooth) กล่าวคือ ปริมาณความต้องการในแต่ละไซส์ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน ส่งผลให้จำนวนชั้นผ้าของแต่ละมาร์คเกอร์มีโอกาสอย่างมากที่จะเท่ากัน ซึ่งจะส่งผลดีต่อกระบวนการปรับปรุงภาระงานการจัดเก็บในขั้นตอนที่ 1 ของวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก เพราะในขั้นตอนนี้ ชุดของมาร์คเกอร์ตั้งต้นจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มๆตามจำนวนชั้นผ้าที่เท่ากัน และแบบตัดจะถูกจัดเรียงใหม่ให้สอดคล้องกับกำหนดการเย็บประกอบเฉพาะภายในกลุ่มเท่านั้น
- ในปัญหานั้นจะต้องมีพื้นที่ว่างเหลือมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดการโยกย้ายสแต็คได้สำเร็จ โดยพื้นที่ว่างเหล่านี้จะเป็นได้ทั้งพื้นที่สำหรับรองรับการโยกย้ายสแต็คเองหรืออาจจะเป็นตัวช่วยในกรณีที่มีการแลกสแต็คที่มีขนาดแตกต่างกัน แต่ก็มีข้อสังเกตว่า หากมีพื้นที่ว่างที่เหลืออยู่มากเกินไปก็จะเป็นผลเสียต่อการหาคำตอบได้เหมือนกัน อันเนื่องมาจากการมีพื้นที่เหลือมาก ก็จะทำให้เกิดผลลัพธ์ที่เป็นทางเลือกมากขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้ขนาดของ solution space ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย
- ในปัญหานั้นจะต้องมีจำนวนผลิตเกินกระจายอยู่ในหลายๆไซส์ในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยส่งเสริมให้ขั้นตอนที่ 2 ของวิธีการฮิวริสติกสามารถที่จะโยกย้ายสแต็คได้หลากหลาย เป็นผลให้เกิดทางเลือกในการปรับปรุงภาระการจัดเก็บมากยิ่งขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

ในระยะหลายปีที่ผ่านมา ได้เกิดความเปลี่ยนแปลงที่สำคัญขึ้น 3 ประการด้วยกัน คือ 1.มีเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารที่ทันสมัยมากขึ้น 2.มีระบบการขนส่งที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และสุดท้าย 3.ความต้องการของลูกค้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วมากขึ้น โดยกลยุทธ์ในการผลิตรูปแบบเดิมทั้ง custom production และ mass production ไม่สามารถที่จะรองรับกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล ส่งผลให้มีการนำเอากลยุทธ์ในการผลิตเฉพาะลูกค้าเชิงมวลมาประยุกต์ใช้ กลยุทธ์แบบเฉพาะลูกค้าเชิงมวลได้ถูกพัฒนาขึ้นมาบนพื้นฐานของทั้ง custom production และ mass production โดยทั้งนี้การจะประยุกต์ใช้กลยุทธ์การผลิตที่มีความยืดหยุ่นสูงเช่นนี้ให้ประสบผลสำเร็จได้นั้น ผู้ผลิตจำเป็นที่จะต้องพยายามลดภาระงานที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม (non-value added workload) ลงให้ได้ ซึ่งในบริบทของสายการผลิตที่สนใจนี้ ภาระงานการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตคงคลังดูจะเป็นปัญหาหนึ่งที่สำคัญและควรจะถูกจัดการเป็นอันดับแรก

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาฮิวริสติกที่ใช้สำหรับขั้นตอนการวางแผนการวางแบบตัด ในอุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม ภายใต้บริบทของการผลิตเฉพาะลูกค้าเชิงมวลซึ่งในการประมวลผลของฮิวริสติกนี้ จะคำนึงถึงกำหนดการเย็บประกอบร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงแผนการวางแบบตัดตั้งต้นให้มีค่าภาระงานในการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตคงคลังในสายการผลิตที่น้อยลง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกจะเป็นแผนการวางแบบตัดที่มีค่าภาระการจัดเก็บชิ้นส่วนที่ลดลง ภายใต้จำนวนมาร์คเกอร์ที่ใช้และจำนวนผลิตที่เกินกว่าความต้องการไม่เกินกว่าค่าที่กำหนด

ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมานี้จะมุ่งเน้นไปที่การปรับเปลี่ยนและจัดเรียงแบบตัดจากแผนการวางแบบตัดตั้งต้นเสียใหม่ เพื่อให้มีความสอดคล้องกันของกำหนดเวลาการเย็บบนแต่ละมาร์คเกอร์มากขึ้น จากแนวคิดข้างต้น ฮิวริสติกได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่ 1 การจัดเรียงแบบตัด ซึ่งจะแบ่งอีกได้เป็น 2 ขั้นตอนย่อย และขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงสแต็ค

เพื่อเป็นการวัดสมรรถนะของคำตอบที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมา จึงได้มีการนำเอาวิธีการแบบ Genetic Algorithm มาปรับเปลี่ยนและพัฒนาเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่ใช้สำหรับปัญหาการวางแผนการวางแบบตัดเช่นเดียวกัน โดยจะนำเอาวิธีการทั้งสองไปใช้กับปัญหาการวางแบบตัดจำนวน 140 ปัญหาที่สร้างขึ้นมาบนพื้นฐานของลักษณะความต้องการที่เกิดขึ้นในการผลิตเฉพาะลูกค้าเชิงมวลโดยทั้ง 140 ปัญหานี้จะแยกย่อยเป็น 3 การทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองก็จะมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ คือ จำนวนไซส์ต่อคำสั่งซื้อ ขนาดพื้นที่สูงสุดของมาร์คเกอร์ที่อนุญาตให้ใช้ได้ และจำนวนชั้นผ้าสูงสุดที่สามารถใช้ได้ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นชัดเจนว่าวิธีการฮิวริสติกสามารถที่จะให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการแบบ Genetic Algorithm (วิธีการฮิวริสติกให้คำตอบที่มีค่าภาระการจัดเก็บน้อยกว่าใน 132 ปัญหาจากทั้งหมด 140 ปัญหา) ทั้งนี้จากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุที่วิธีการฮิวริสติกมีสมรรถนะที่ดีกว่าจะมาจาก

1.รูปแบบการกระจายของปริมาณความต้องการในคำสั่งซื้อที่ค่อนข้างจะสม่ำเสมอ ส่งผลให้มีมาร์คเกอร์ที่มีจำนวนชั้นผ้าเท่ากันจำนวนมาก

2.ในปัญหาที่สร้างขึ้น มีปริมาณของพื้นที่ว่างเหลือมากเพียงพอต่อการโยกย้ายสแต็คเพื่อสร้างแบบตัดที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

3.ปริมาณผลิตเกินที่กระจายกันอยู่ในหลายๆไซส์ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถที่จะโยกย้ายสแต็คได้อย่างยืดหยุ่น เป็นการเพิ่มโอกาสในการสร้างแบบตัดที่ดีให้มากขึ้น

แนวทางของการต่อยอดจากงานวิจัยนี้สามารถที่จะทำได้ในหลายรูปแบบ แนวทางหนึ่งคือ การเพิ่มข้อจำกัดในเรื่องของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต อันได้แก่ อุปกรณ์การตัด เครื่องตัดโต๊ะตัด จำนวนจักรที่ใช้ในการเย็บประกอบ รวมถึงปริมาณของพนักงานที่มี ซึ่งการเพิ่มข้อจำกัดในเรื่องนี้จะช่วยให้คำตอบที่ได้จากปัญหาการวางแบบตัดมีความสมจริงมากยิ่งขึ้น อีกทั้งผู้วิจัยสามารถที่จะเพิ่มข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่ในการจัดเก็บชิ้นส่วนระหว่างผลิตคงคลัง เพื่อจำกัดปริมาณที่จะจัดเก็บได้ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจะทำให้ปัญหามีความซับซ้อนและน่าสนใจมากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Amorado, R. M. N. a. A. T. (2015). Application of Lean Manufacturing Tools in a Garment Industry as a Strategy for Productivity Improvement *Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research, 3*(4), 8.

[2] Bo Dong, H. J., Zheng Li, Kangcheng Dong. (2012). Implementing mass customization in garment industry. *System engineering procedia, 3*, 9.

[3] Degraeve, Z., Gochet, W., & Jans, R. (2002). Alternative formulations for a layout problem in the fashion industry.

European Journal of Operational Research, 143(1), 80-93. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00330-7

[4] Degraeve, Z., & Vandebroek, M. (1998). A Mixed Integer Programming Model for Solving a Layout Problem in the Fashion Industry. *Management Science, 44*(3), 301-310. doi: doi:10.1287/mnsc.44.3.301

[5] Deng, H., Miao, D., Wang, F., Lei, J., Yan-mei, L., Shao-cong, Y., & Shu-ting, Z. Research on Cut Order Planning for Apparel Mass Customization *Emerging Research in Artificial Intelligence and Computational Intelligence* (Vol. 237, pp. 267-271): Springer Berlin Heidelberg.

[6] Filipi, B., #269, Fister, I., & Mernik, M. (2006). *Evolutionary search for optimal combinations of markers in clothing manufacturing*. Paper presented at the Proceedings of the 8th annual conference on Genetic and evolutionary computation, Seattle, Washington, USA.

[7] Fister, I., Mernik, M., & Filipic, B. (2008). Optimization of markers in clothing industry. *Engineering Applications of Artificial Intelligence, 21*(4), 669-678. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2007.06.002

[8] Fralix, M. T. (2001). From mass production to mass customization. *Journal of textile and apparel, technology and management, 1*(2), 7.

[9] Jacobs-Blecha, C., Ammons, J., Schutte, A., & Smith, T. (1997). Cut order planning for apparel manufacturing. *IIE Transactions, 30*(1), 79-90. doi: 10.1023/a:1007497613410

[10] Jane C. Ammons, C. J.-B., Terri smith, Avril Baker, Bill Warden. (1991). Cut order planning (S. o. i. a. s. engineering, Trans.) (pp. 43): Georgia institute of technology.

[11] M'Hallah, R., & Bouziri, A. Heuristics for the combined cut order planning two-dimensional layout problem in the apparel industry. *International Transactions in Operational Research*, n/a-n/a. doi: 10.1111/ itor.12104

[12] Martens, J. (2004). Two genetic algorithms to solve a layout problem in the fashion industry. *European Journal of Operational Research, 154*(1), 304-322. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00706-3

[13] Md. Mazedul Islam, A. M. K., Md. Monirul Islam (2013). Application of Lean Manufacturing to Higher Productivity in the Apparel Industry in Bangladesh *International Journal of Scientific & Engineering Research, 4*(2), 10.

[14] Ms.Seung-Eun Lee, D. J. C. C. (1999). Mass-customization methodology for an apparel industry with a future. *Journal of Industrial technology, 16*(1), 8.

[15] Okuno, H., Ali, M., Bouziri, A., & M'hallah, R) .2007 .(A Hybrid Genetic Algorithm for the Cut Order Planning Problem New Trends in Applied Artificial Intelligence)Vol .4570, pp .454-463 :(Springer Berlin Heidelberg.

[16] Pine, B. J. (1993). *Mass customization : The new frontier in business competition* (1 ed.): Harvard Business Review Press.

[17] Puasakul, K., & Chaovalitwongse, P. (10-13 Dec. 2013). *The development of heuristic for solving multi objective mark planning problem in garment industry.* Paper presented at the Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2013 IEEE International Conference on.

[18] R. P. Abeysooriya, T. G. I. F. (2012). Canonical genetic algorithm to optimize cut order plan solutions in apparel manufacturing. *Journal of emerging trends in computing and information sciences, 3*(2), 5.

[19] R. P. Abeysooriya, T. G. I. F. (2012). hybrid approach to optimize cut order plan solutions in apparel manufacturing. *International journal of information and communication technology research, 2*(4), 6.

[20] Rose, D. M., & Shier, D. R. (2007). Cut scheduling in the apparel industry. *Comput. Oper. Res., 34*(11), 3209-3228. doi: 10.1016/j.cor.2005.12.001

[21] Wong, W. K., & Leung, S. Y. S. (2008). Genetic optimization of fabric utilization in apparel manufacturing. *International Journal of Production Economics, 114*(1), 376-387. doi: http://dx.doi.org/10.1016/ j.ijpe.2008.02.012