



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการจัดเรียงชิ้นผ้า

โดย ผศ. ดร. จรัมพร หรรณมนตรี และคณะ

๑ กรกฎาคม 2546

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการจัดเรียงชิ้นงานผ้า

คณะผู้วิจัย

- | | |
|-----------------------------|---|
| 1. ผศ. ดร. จรัมพร หรรษมนตร์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 2. อ. จตุพร ใจดำรงค์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ |
| 3. นาง นวพร เพื่องวุฒิ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |

ชุดโครงการอุตสาหกรรมสิ่งทอ
สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	1
บทคัดย่อภาษาไทย	2
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	3
เนื้อหางานวิจัย	
บทที่ 1 บทนำ	4
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีวิจัย	15
1. เตรียมข้อมูลชิ้นผ้า	20
2. การหารูปแบบการวางชิ้นผ้าขนาดใหญ่ให้เต็มความกว้างของผืนผ้า	23
3. การวางชิ้นผ้าขนาดใหญ่	26
4. การวางชิ้นผ้าขนาดเล็ก	33
5. การคำนวณหาตำแหน่งรอบรูปชิ้นผ้า	35
6. การตรวจสอบการทับกันของชิ้นผ้า	36
7. การจัดแบบจำนวนน้อย	37
บทที่ 4 ผลของการวิจัย	38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	51
ภาคผนวก	
ก. ภาพผลการจัดเรียง	ก1
ข. คู่มือการใช้โปรแกรม	ข1
ค. ตารางเปรียบเทียบวัตถุดิบ ประสิทธิภาพ และผลที่ได้รับ	ค1
ง. บทความสำหรับเผยแพร่	

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

อุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปเป็นอุตสาหกรรมหลักอุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศ สามารถสร้างงานและดึงดูดเงินตราเข้าประเทศได้เป็นจำนวนมาก อุตสาหกรรมเสื้อผ้ามีลักษณะเด่นอยู่ 3 ประการ คือ สินค้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แรงงานที่ใช้ในการทำงานเป็นแรงงานที่ต้องใช้ทักษะมาก มีการแข่งขันด้านราคาอย่างสูง ทำให้อุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปต้องมีการปรับตัวอยู่อย่างต่อเนื่อง การจัดเรียงชิ้นงานผ้าลงบนแผ่นผ้าเป็นงานที่มีความสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมการตัดเย็บเสื้อผ้า เนื่องจากปัญหาของการจัดเรียงชิ้นงาน(stencils) รูปร่างไม่เป็นเรขาคณิตลงบนแผ่นวัตถุดิบสีเหลี่ยมผืนผ้าโดยชิ้นงานจะต้องไม่ทับกันและจัดเรียงให้เหลือเศษน้อยที่สุด การจัดเรียงชิ้นงานผ้าที่ใช้ใน อุตสาหกรรมมีอยู่สองลักษณะคือ การจัดเรียงโดยใช้ความชำนาญของคนและการจัดเรียงโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ การจัดเรียงชิ้นงานโดยใช้ความชำนาญของคนจะมีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง ค่าใช้จ่ายต่ำ แต่การทำงานอาจจะใช้เวลานาน รวมทั้งผลของการจัดเรียงมีความไม่แน่นอน (การจัดเรียงชุดผ้าเดียวกัน 2 ครั้งอาจให้ผลที่แตกต่างกัน) หรือเกิดความผิดพลาดในผลของการจัดเรียงชิ้นได้ อันเนื่องมาจากสภาวะทางร่างกาย อารมณ์ หรือจิตใจของคนงาน ในกรณีของการจัดเรียงชิ้นงานผ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะมีความเร็วในการทำงานและให้ค่าประสิทธิภาพของการจัดเรียงชิ้นงานสูง แต่จะมีข้อจำกัดสำหรับรูปแบบของชิ้นงานทำให้ไม่สามารถจัดเรียงรูปแบบของชิ้นงานที่มีข้อกำหนดพิเศษได้ รวมถึงความไม่คล่องตัวในการใช้โปรแกรมและส่วนใหญ่จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศอีกด้วย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการจัดเรียงชิ้นงานผ้าลงบนแผ่นวัตถุดิบโดยมุ่งเน้นที่ประสิทธิภาพการจัดเรียงและการนำไปใช้งานได้จริงในอุตสาหกรรม วิธีการจัดเรียงชิ้นงานผ้าจะพิจารณาถึงรูปแบบลวดลายของแผ่นวัตถุดิบมีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน รูปแบบของแผ่นวัตถุดิบที่พิจารณาในงานวิจัยนี้มีอยู่ 3 ประเภทคือ (1) แผ่นวัตถุดิบแบบไม่มีลวดลาย (2) แผ่นวัตถุดิบแบบมีลายเส้นในแนวนอนหรือในแนวตั้งลาย (3) แผ่นวัตถุดิบแบบมีลายเส้นทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะปฏิบัติการบนโปรแกรมออโต้แคด(AutoCAD Release 14)โดยใช้ภาษาออตลิสพ ซึ่งจะนำมาทดลองเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่มีใช้อยู่ทั่วไปในโรงงานและ /หรือผลการจัดเรียงโดยผู้เชี่ยวชาญในโรงงานโดยใช้ชิ้นงานผ้าจริงในอุตสาหกรรม การเปรียบเทียบผลการจัดเรียงจะพิจารณาจากประสิทธิภาพการให้วัตถุดิบ ความง่ายในการใช้ซอฟต์แวร์ และเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาผลการจัดเรียง องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นอัลกอริทึมสำหรับจัดเรียงชิ้นผ้าที่มีข้อจำกัดทั้งสามแบบที่กล่าวมาพร้อมทั้งกระบวนการอัดแน่นชิ้นผ้าเพื่อให้ใช้วัตถุดิบน้อย ผลงานวิจัยดังกล่าวจะเป็นประโยชน์กับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมตัดเย็บเสื้อผ้าขนาดกลางและขนาดย่อมที่ไม่มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจัดเรียงชิ้นผ้า

บทคัดย่อ

การจัดเรียงชิ้นผ้าเป็นปัญหาอย่างหนึ่งของอุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป เนื่องจากเป็น การจัดเรียงชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่เป็นเรขาคณิตลงบนผืนผ้าสี่เหลี่ยมซึ่งชิ้นผ้าต้องไม่ทับกันและมีเศษ เหลือน้อยที่สุด วิธีการจัดเรียงในปัจจุบันมีอยู่สองรูปแบบคือการจัดเรียงโดยใช้ความชำนาญของคน และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการจัดเรียง ซึ่งการจัดเรียงโดยคนมักจะทำให้ผลของการ จัดเรียงที่ไม่แน่นอนและอาจเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์มักจะขาดความ ยืดหยุ่นในการทำงานและมีราคาสูง

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับจัดเรียงชิ้นงานผ้า และการอัดแน่น ชิ้นผ้าเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้น และเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการทำงานโปรแกรมจะให้ผู้ใช้ สามารถกำหนดเลือกรูปแบบของผืนผ้า และมุมหมุนของชิ้นผ้าได้ วิธีการค้นหาคำตอบจะใช้วิธีการแบบ ฮิวริสติกคือการลองเลื่อนและหมุนไปตามจุดตำแหน่งภายในขอบเขตที่กำหนดแล้วจึงเลือกตำแหน่ง และมุมวางผ้าที่ดีที่สุดจากนั้นจะทำการคัดแน่นชิ้นผ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเรียงให้ดีขึ้น ในการ จัดเรียงจะแบ่งชิ้นผ้าออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มชิ้นผ้าขนาดใหญ่และกลุ่มชิ้นผ้าขนาดเล็กโดยที่กลุ่มชิ้นผ้า ขนาดใหญ่จะถูกจัดเรียงให้หมดก่อนซึ่งจะมีลักษณะการจัดเรียงเป็นแถวๆ ก่อนที่จะเริ่มแถวใหม่จะทำ การคำนวณหารูปแบบการจัดเรียงก่อนแล้วจึงเรียกชิ้นผ้าที่ได้จากการคำนวณมาจัดเรียง การจัดเรียงชิ้น ขนาดเล็กจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือในขั้นตอนแรกเป็นการจัดเรียงลงในช่องว่างของชิ้นผ้าขนาด ใหญ่ให้หมดก่อน และในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการจัดเรียงเป็นแบบแถวจนกว่าจะหมดชิ้นผ้า โปรแกรมที่ พัฒนาขึ้นนี้จะทำงานบนโปรแกรมออโตแคด (AutoCAD Release 14) และเขียนโปรแกรมโดยใช้ ภาษาออโตลิสพ(AutoLISP)

การทดลองหาค่าประสิทธิภาพของการจัดเรียงชิ้นผ้าที่ใช้จริงในอุตสาหกรรม พบว่าโปรแกรมที่ พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับโปรแกรมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป สำหรับการเปรียบเทียบกับการจัด เรียงโดยใช้ความชำนาญของคนพบว่าถ้าเป็นผืนผ้าแบบไม่มีลวดลายประสิทธิภาพการจัดเรียงมีค่าน้อย กว่าความชำนาญของคน และสำหรับผืนผ้าแบบมีลวดลายประสิทธิภาพการจัดเรียงมีใกล้เคียงกับความ ชำนาญของคน

Abstract

This research aims to develop an efficient algorithm to solve a practical textile layout problem. The algorithm allows the stencil's location and orientation requirement specifications on plain fabric, fabrics with horizontal or vertical stripes, or both. Practical aspects of stencil layout consideration, such as ensuring stripe alignment between stencils are addressed. In order to generate the layout, large stencils are grouped into a rectangular block and then placed on the fabric repeatedly until no more large pieces remained. The block generation is formulated as a nonlinear integer programming model and solved using a backtrack approach. Refinements on stencil placement and compaction algorithms are used to improve the quality layout while keeping the layout generation time to the minimal. Then small pieces are placed in spaces between large stencils and at the end of the layout.

The algorithm is implemented on a CAD software that has Windows API utilities. The layouts are evaluated in terms of material utilization and computing time. On the overall the software has been able to perform comparably with human experts in terms of material utilization while using much shorter time to generate the layout. Among all four fabric types, the solutions from the human experts has outperformed the solutions provided by the software in all cases for the plain fabric. The layout efficiency is as much as 15% lower than the solution from the human expert. In other fabric types, the algorithm has been able to perform comparably with the human experts. As the software can generate the layout much faster than the human experts, it can be used as a starting point for the human experts to further improve the layout. Some of the search parameters used in the software can affect the layout result significantly, therefore, it is advisable also to adjust the search parameters to find the best layout generated. Ideally, the search resolution should be as small as possible. In general, the location stencil's reference point does not affect the layout as significantly as the search resolution.

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปมีแบบเสื้อผ้าหลากหลายและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามความนิยมของผู้บริโภค เมื่อผู้ออกแบบเสื้อผ้าได้แบบตามที่ต้องการแล้ว ขั้นตอนแรกของการผลิตเป็นการสร้างแบบของชิ้นผ้า และร่างแบบบนแผ่นวัตถุดิบ จากนั้นจึงตัดเป็นชิ้นๆ และนำเข้าสู่กระบวนการตัดเย็บเป็นเสื้อผ้าสำเร็จรูปต่อไป ความกว้างของผืนผ้ามักจะมีขนาดคงที่ ความยาวที่ใช้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการจัดเรียงแบบชิ้นผ้า ดังนั้นจึงมักมีการวางแผนการผลิตเพื่อให้ได้ใช้วัตถุดิบให้เกิดประโยชน์สูงสุด นั่นคือการจัดเรียงชิ้นงานในตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด และมีเศษเหลือน้อยที่สุด ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนหนึ่งในการวางแผนและควบคุมวัตถุดิบที่เหมาะสมกับการผลิตที่ต้องการลดต้นทุนในการผลิตลง

การจัดเรียงชิ้นผ้ามีอยู่สองวิธี คือการจัดเรียงโดยใช้ความชำนาญของคนและกาวจัดเรียง โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยจัดเรียงชิ้นผ้า การจัดเรียงชิ้นผ้าโดยความชำนาญของคน โดยวางแผนร่างที่ทำด้วยกระดาษแข็งลงบนแผ่นวัตถุดิบ เนื่องจากชิ้นผ้ามีจำนวนมากและมีความหลากหลายจึงทำให้คนจัดวางมักจะไม่สามารถจัดวางได้หมดในครั้งเดียว นอกจากนั้นเวลาทำงานและความยาวของวัตถุดิบมีความไม่แน่นอนเนื่องจาก ความเครียด ความล้า และอารมณ์ของคนงาน

การจัดเรียงชิ้นผ้าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปรแกรมส่วนมากมีข้อจำกัดของรูปทรงที่เจาะจง ไม่ครอบคลุมทุกรูปแบบของชิ้นงานได้หมด และโปรแกรมเหล่านี้มีราคาสูงซึ่งต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากราคาของโปรแกรม และทำให้ประเทศต้องขาดดุลการค้าเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้เป็นการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยจัดเรียงชิ้นผ้าที่มีรูปทรงชิ้นงานหลากหลาย โดยการใช้การทำงานของระบบแคด (CAD) มาช่วย เช่นสร้างชิ้นงานเลื้อนและหมุนชิ้นงาน ตรวจสอบการทับกันของชิ้นงาน สำหรับการวางชิ้นงานได้จากการสร้างอัลกอริทึม (Algorithm) เพื่อช่วยตัดสินใจในการวางชิ้นงาน

ขอบเขตของการวิจัย

1. แผ่นวัตถุดิบมีความกว้างคงที่กำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรม ความยาวได้จากผลลัพธ์จากการประมวลผลของโปรแกรม
2. ชิ้นงานมีรูปทรงไม่เป็นรูปเรขาคณิต (non-geometric) มีความหลากหลายทางรูปทรง
3. ใช้กับแผ่นวัตถุดิบ แบบไม่มีลวดลาย แบบมีลวดลายตามแนวนอน แบบมีลวดลายตามแนวตั้ง แบบมีลวดลายตามแนวนอนและแนวตั้ง
4. ระยะเผื่อของชิ้นงานเท่ากันทุกชิ้น กำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรม

5. สร้างโปรแกรมเพื่อจัดเรียงชิ้นผ้าด้วยภาษาออโตลิสป (Autolisp) เพื่อประมวลผลบน
ออโตแคด(AutoCad Release 14)

ขั้นตอนการทำวิจัย

1. คัดเลือกโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูปเข้าร่วมโครงการจำนวน 3 โรงงาน
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบของชิ้นงานผ้ากับแผ่นวัตถุติดเพิ่มเติม
3. ออกแบบวิธีการจัดเรียงชิ้นผ้า
4. ออกแบบและสร้างโปรแกรม
5. ตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของโปรแกรม
6. เปรียบเทียบผลการจัดเรียงชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมกับวิธีการอื่น ๆ
7. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย
8. เผยแพร่ผลการวิจัย

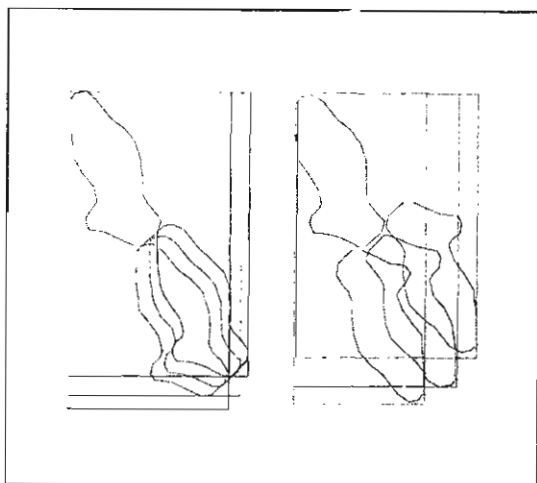
ประโยชน์ของการวิจัย

1. โปรแกรมสามารถจัดเรียงชิ้นงานที่มีรูปทรงแตกต่างกันได้
2. โปรแกรมสามารถคำนวณการใช้วัตถุติดได้
3. ลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทำงาน
4. มีความคล่องตัวในการทำงานสูงเพราะทำงานบนออโตแคด (AutoCad Release 14)
ซึ่งมีใช้กันอยู่ทั่วไป และมีความสะดวกในการนำชิ้นผ้าเข้าสู่โปรแกรม สร้างชิ้นงาน แก้ไขแบบงาน
และพิมพ์

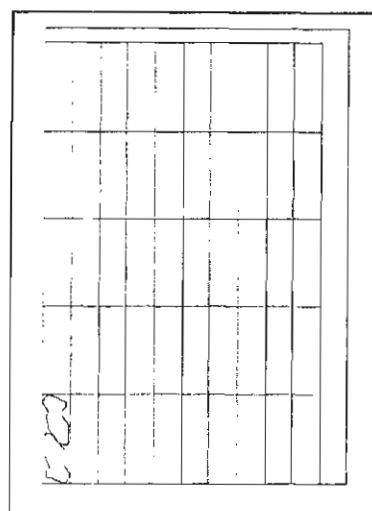
บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผดุงศิลป์[1] ได้ทำการวิจัยและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเรียงชิ้นงานรูปแบบเดียวให้มีจำนวนมากที่สุดลงบนแผ่นวัตถุดิบโดยวิธีการจัดเรียงมีสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก หาดำแหน่งประกบของชิ้นงาน 2 ชิ้น ที่มีพื้นที่สี่เหลี่ยมล้อมรอบรูปน้อยที่สุด และมาจัดวางลงบนแผ่นวัตถุดิบ ดังภาพที่ 2-1 ขั้นตอนที่สองเป็นการหาดำแหน่งการประกบของชิ้นงาน 2 ชิ้นที่มีสี่เหลี่ยมล้อมรอบรูปที่สามารถจัดวางลงบนแผ่นวัตถุดิบได้เป็นจำนวนงานมากที่สุด ดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-1 แสดงสี่เหลี่ยมล้อมรอบชิ้นงานที่ระดับต่าง ๆ

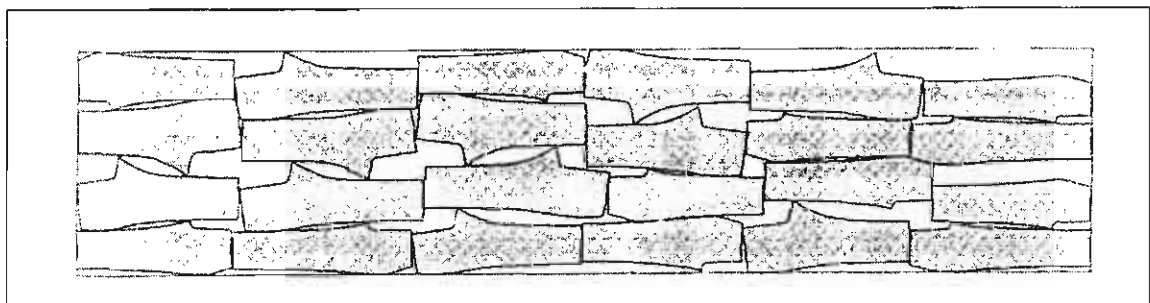


ภาพที่ 2-2 แสดงระดับประกบที่ให้สี่เหลี่ยมจำนวนมากสุด

จตุพร[2] ได้ทำการวิจัยและสร้างโปรแกรมการจัดเรียงชิ้นผ้าหลากหลายรูปทรงลงบนแผ่นวัตถุดิบที่ไม่กำหนดความยาว 4 รูปแบบ คือแบบไม่มีลวดลาย แบบมีลายตามแนวนอน แบบมีลายตามแนวตั้ง และแบบลายที่มีการกำหนดตำแหน่งทั้งในแนวนอนและตั้ง โดยมีเป้าหมายเพื่อจัดเรียงให้ได้ความยาวของแผ่นวัตถุดิบน้อยที่สุด และจัดเรียงชิ้นผ้าขนาดใหญ่ก่อนขนาดเล็ก วิธีการจัดเรียงมี 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรก เป็นการจัดเรียงชิ้นงานชิ้นแรก โดยการหมุนเพื่อจัดให้ขอบด้านซ้ายของชิ้นผ้ามีพื้นที่เศษเหลือที่น้อยที่สุด และนำมาจัดวางลงบนแผ่นวัตถุดิบโดยให้ชิดขอบด้านล่างซ้ายสุด ขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการจัดเรียงชิ้นผ้าทั้งหมด โดยการเลื่อนและหมุน

ชิ้นผ้าเพื่อหาตำแหน่งและมุมหมุนชิ้นผ้าที่มีความยาวตามแนวแกน x น้อยที่สุด ซึ่งวัดจากขอบด้านซ้ายของแผ่นวัตถุดิบกับขอบด้านขวาของชิ้นผ้า ผลของการจัดเรียงจะให้ประสิทธิภาพน้อยกว่าการจัดเรียงโดยความชำนาญของคนในกรณีที่ใช้ผ้าแบบไม่มีลวดลาย และยังใช้เวลาค่อนข้างมาก

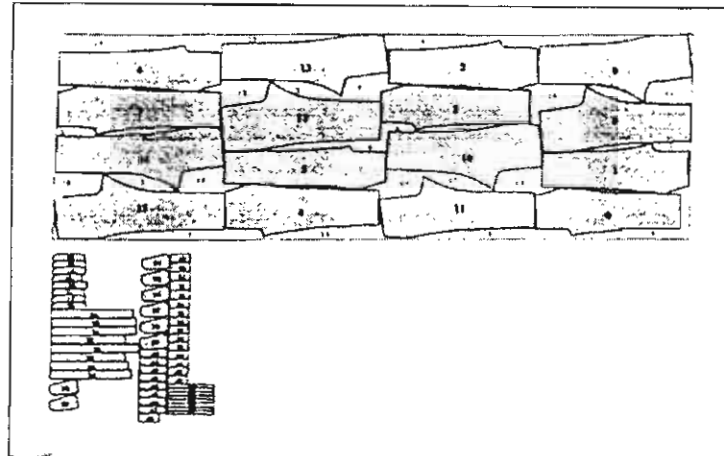
Victor Minlenkovic และ คณะ[3] ได้วิจัยและสร้างโปรแกรมการจัดเรียงชิ้นผ้า ลงบนแผ่นวัตถุดิบที่ไม่กำหนดความยาว และแบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มชิ้นผ้าขนาดใหญ่ และกลุ่มชิ้นผ้าขนาดเล็ก ซึ่งจะจัดเรียงเฉพาะกลุ่มชิ้นผ้าขนาดใหญ่ โดยการจัดที่ละเป็นแถว ตำแหน่งของการจัดเรียงเป็นตำแหน่งที่ชิ้นงานไม่ทับกันโดยที่สามารถหมุนได้ 180 องศาและสะท้อนภาพตามแกน x ของแต่ละมุมมองสา ดังแสดงในภาพที่ 2-3 หลังจากการจัดเรียงชิ้นผ้าทั้งหมดแล้วจะเป็นขั้นตอนการอัดแน่นของชิ้นผ้าโดยการสมมุติแรงกดจากขอบด้านขวาของแผ่นวัตถุดิบผลักให้ชิ้นผ้าเลื่อนไปทางด้านซ้าย ผลของการจัดเรียงใกล้เคียงกับการจัดเรียงโดยคน และหลังจากการอัดแน่นแล้วความยาวของผืนผ้าที่ไ้ลดลง 0.2 เปอร์เซ็นต์



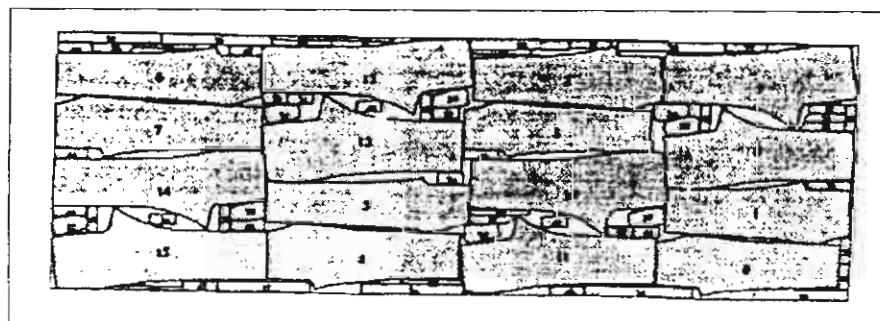
ภาพที่ 2-3 แสดงผลการจัดเรียงชิ้นผ้าหลักโดยโปรแกรมการจัดเรียง

Roger B. Orien และ Karen Daniel[4] ได้ทำการวิจัยและสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจัดเรียงชิ้นผ้าขนาดเล็กเช่น ชิ้นส่วนของขอบกางเกง กระเป๋ากางเกง เป็นต้น โดยจัดเรียงลงในช่องว่างระหว่างชิ้นผ้าขนาดใหญ่ให้ได้มากที่สุด และไม่ทำให้ความยาวของแผ่นวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ในขั้นตอนแรกเป็นการกำหนดช่องว่าง นำหนักความสำคัญของชิ้นผ้า และจัดชิ้นผ้าเป็นกลุ่มๆ ดังแสดงในภาพที่ 2-4 และ ภาพที่ 2-5 ในการตัดสินใจวางผ้าให้ได้มากที่สุดจะสร้างรูปแบบปัญหาเป็นรูปแบบการโปรแกรมเลขจำนวนเต็ม (Integer Programming) ในรูปแบบของปัญหาการกำหนดตำแหน่งจัดวางหลายกลุ่ม (Multiple-Container Group Assignment Problem) และหาคำตอบของปัญหาโดยใช้วิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch & Bound) และวิธีการของลากรังจ์ (Lagrangian Heuristic)

ผลจากการทดสอบโปรแกรมพบว่าวิธีของแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต และวิธีการของลากร้านจีให้ผลของการจัดเรียง และวิธีของลากร้านจีให้ค่าที่ดีที่สุด เพราะในบางกลุ่มทดสอบวิธีของการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตมีค่ากระโดดสูงมาก

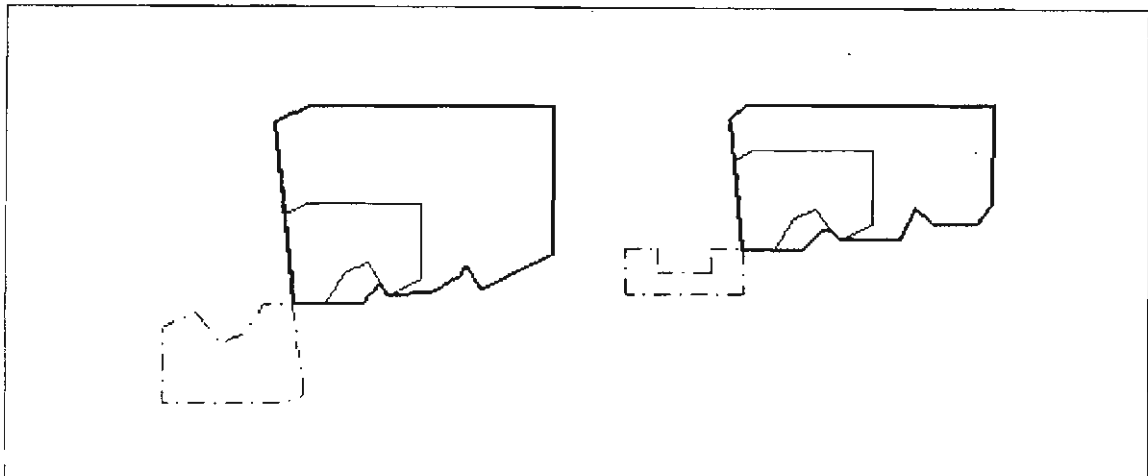


ภาพที่ 2-4 แสดงช่องว่างและชิ้นผ้าขนาดเล็ก

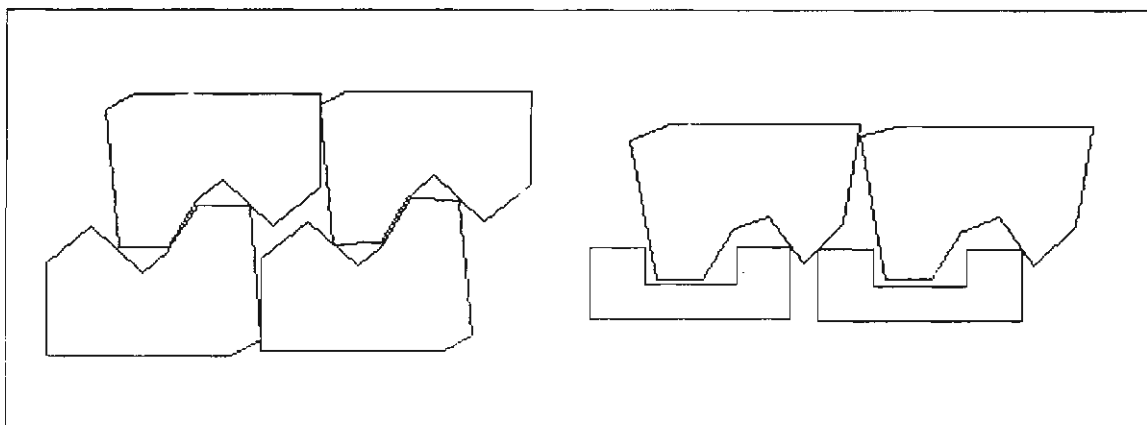


ภาพที่ 2-5 แสดงการจัดเรียงกลุ่มชิ้นผ้าลงในช่องว่าง

V.Vamanu และ T. J. Nye[5] ได้ทำการศึกษาการตัดชิ้นงานรูปทรงไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิตลงบนแผ่นวัสดุดิบ เพื่อที่จะสามารถลดเศษเหลือของวัสดุดิบและนำไปออกแบบสร้างรูปร่างของเครื่องมือตัดแผ่นโลหะ ในการศึกษารูปร่างชิ้นงานได้แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การประกบกั้นของชิ้นงานที่เหมือนกัน และการประกบของชิ้นงานที่มีรูปร่างต่างกัน วิธีการทำงานมีสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกเป็นการสร้างขอบเขตของชิ้นงานสองชิ้นโดยใช้วิธีการของมินคอฟสกีซัม (Minkowski sum) ดังแสดงในภาพที่ 2-6 และในขั้นตอนที่สองเป็นการเลื่อนชิ้นงานไปตามจุดแบ่งของเส้นขอบเขตมินคอฟสกี ตำแหน่งที่ถูกเลือกคือตำแหน่งที่ชิ้นงานเมื่อประกบกั้นแล้วจะมีเศษเหลือน้อยที่สุดซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการใช้พื้นที่สูงสุดนั่นเอง ดังที่แสดงในภาพที่ 2-7

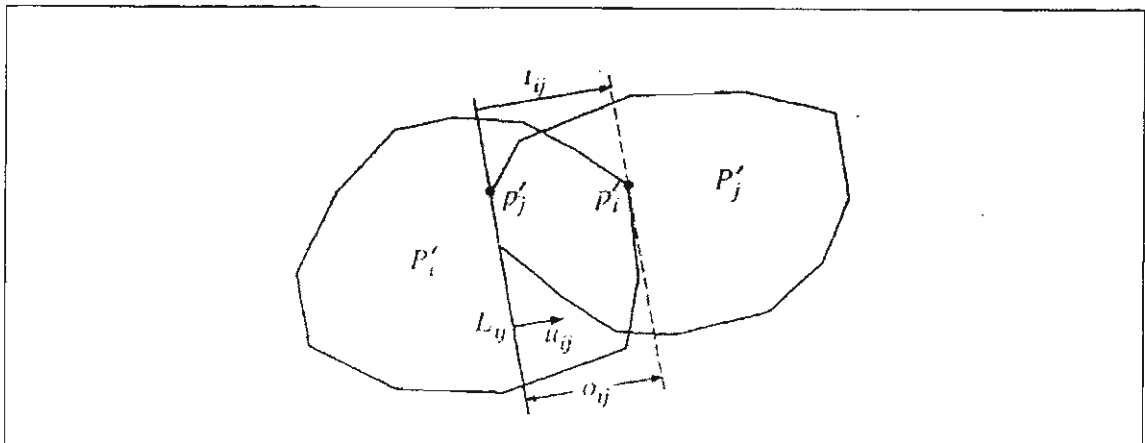


ภาพที่ 2-6 แสดงขอบเขตของมินคอฟสกีซัม (Minkowski sum) ของชิ้นงานรูปทรงเหมือนกัน (ซ้าย) และชิ้นงานรูปทรงต่างกัน (ขวา)

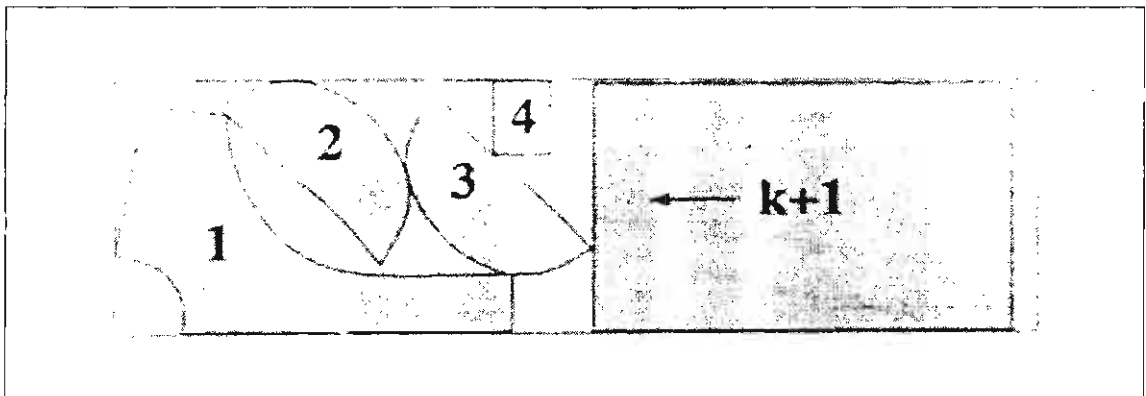


ภาพที่ 2-7 แสดงผลการทดสอบโปรแกรมในการวางตำแหน่งชิ้นงาน

Victor J. Milenkovic[6] ได้ทำการวิจัยและศึกษาการจัดเรียงชิ้นผ้าโดยใช้เทคนิคการทับกันของชิ้นผ้า โดยการวางชิ้นผ้าให้ทับกันก่อนแล้วจึงหมุนและเลื่อนชิ้นผ้าออกจากกันเป็นระยะเท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะทับกัน และจะทำซ้ำจนกว่าจะมีค่าคงที่หรือไม่มีระยะทับกัน ดังแสดงในภาพที่ 2-8 วิธีการอัดแน่นชิ้นผ้าจะทำหลังจากที่การจัดเรียงชิ้นผ้าทั้งหมดแล้ว ซึ่งจะนำเทคนิคของการทับกันของชิ้นผ้ามาใช้เพื่อลดความยาวของวัตถุดิบ โดยการกำหนดชิ้นผ้าสมมุติมีความกว้างเท่ากับความกว้างของวัตถุดิบซึ่งสามารถเลื่อนได้ในทิศทางเดียวตามความยาวของวัตถุดิบ ดังแสดงในภาพที่ 2-9 ซึ่งถ้าชิ้นงานสมมุติเลื่อนทับชิ้นผ้า ก็จะทำให้ชิ้นผ้าหมุนและเลื่อนเพื่อลดระยะการทับกัน



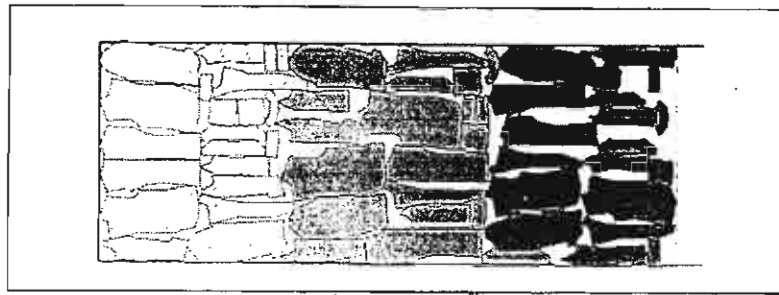
ภาพที่ 2-8 แสดงระยะทับกันของชิ้นผ้า



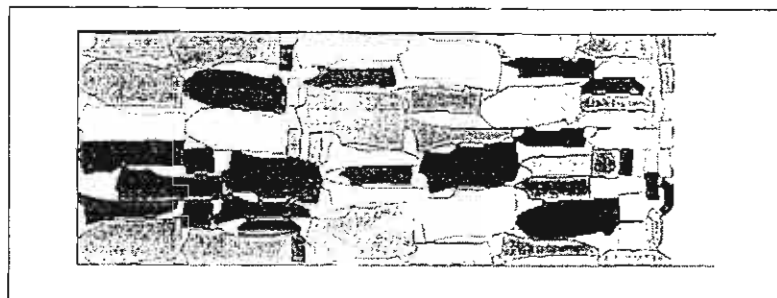
ภาพที่ 2-9 แสดงการอัดแน่นชิ้นผ้า

German Research Association[7] ได้ทำการวิจัยและสร้างโปรแกรมการจัดเรียงชิ้นผ้าลงบนแผ่นวัตถุดิบ 3 รูปแบบ คือ แบบไม่มีลวดลาย แบบมีลายเส้นตามแนวนอน และแบบลายสก๊อต การจัดเรียงจะใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และการใช้ระบบฐานความรู้(Knowledge-Base Approach) เพื่อค้นหาลำดับของชิ้นงานในการจัดเรียงที่ให้ความยาวของแผ่นวัตถุดิบน้อยที่สุด ชิ้นงานสามารถหมุนได้ครั้งละ 90 องศาและสะท้อนภาพในแนวแกน x วิธีการจัดเรียงมีสองแบบ คือแบบผสม หรือ แบบกลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 2-10 และภาพที่ 2-11

ผลจากการทดสอบโปรแกรมพบว่าการจัดเรียงชิ้นงานแบบผสมจะให้ค่าความยาวของแผ่นวัตถุดิบน้อยกว่า ถ้าจำนวนชิ้นงานเพิ่มมากประสิทธิภาพในการจัดเรียงจะมากขึ้นด้วย แต่ก็ใช้เวลาเพิ่มมากขึ้นด้วย

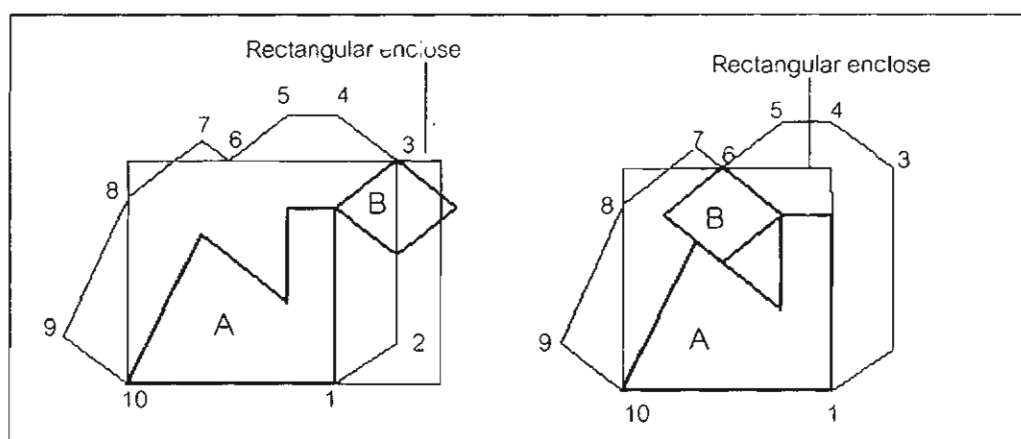


ภาพที่ 2-10 จัดชิ้นผ้าแบบกลุ่ม



ภาพที่ 2-11 จัดชิ้นผ้าแบบผสม

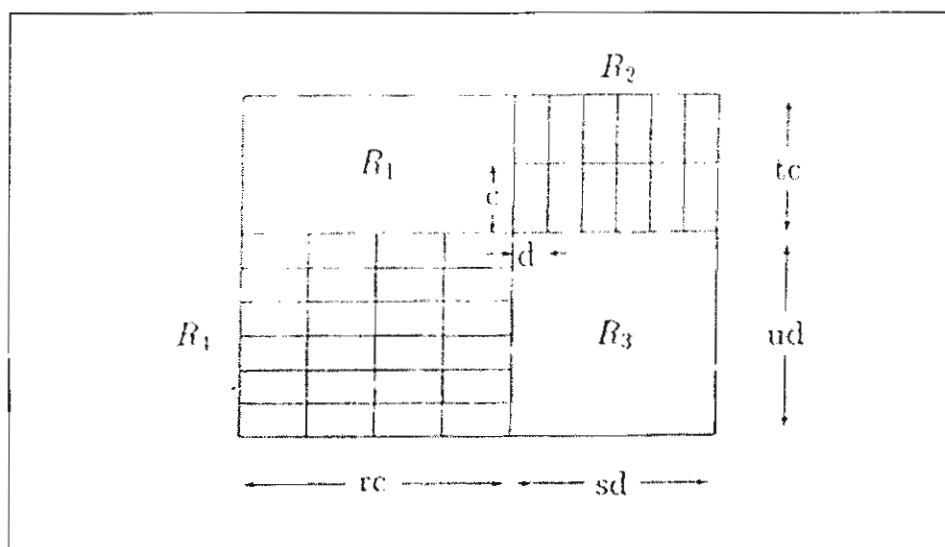
Michael Adamowics และ Antonio Albano[8] ได้แสดงวิธีการจัดเรียงชิ้นงานลงบนแผ่นวัสดุตัด เพื่อให้ได้มากที่สุด วิธีการทำงานมีสองขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเป็นการหมุนชิ้นงานเพื่อหาค่ามุมหมุนที่ให้พื้นที่สี่เหลี่ยมล้อมรอบชิ้นงานน้อยที่สุด หรือแบบหาตำแหน่งการประกบของชิ้นงานที่ให้พื้นที่สี่เหลี่ยมล้อมรอบน้อยที่สุด โดยการเลื่อนชิ้นงานไปรอบๆ เส้นรอบรูปของชิ้นงานอีกชิ้นหนึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 2-12 ในขั้นตอนที่สองเป็นการนำชิ้นงานที่ประกบกันไปจัดเรียงลงบนแผ่นวัสดุตัด



ภาพที่ 2-12 แสดงเส้นทางการเลื่อนเพื่อหาดำแหน่งประกบ

Karen Daniel และ Victor J. Milenkovic[9] ได้ทำการวิจัยและสร้างโปรแกรมการจัดเรียงชิ้นผ้าลงบนแผ่นวัตถุดิบที่ไม่กำหนดความยาว โดยการจัดชิ้นงานเป็นสองกลุ่ม คือกลุ่มชิ้นงานขนาดยาวและกลุ่มชิ้นงานขนาดสั้น ในการจัดเรียงมีสองขั้นตอน คือขั้นตอนแรกเป็นการจัดเรียงชิ้นงานขนาดยาวก่อนเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมโดยไม่ทับกัน ชิ้นงานสามารถหมุนรอบตัวเองได้ครึ่งละ 90 องศา หรือ 180 องศา โดยมีวัตถุประสงค์ให้ใช้ความยาวของแผ่นวัตถุดิบน้อยที่สุด และขั้นตอนที่สองเป็นการจัดเรียงชิ้นงานขนาดสั้นโดยการวางแทรกลงในช่องว่าง ผลจากการทดสอบการทำงานของโปรแกรมพบว่ามิต้องกรณีที่ได้ค่าประสิทธิภาพการใช้วัตถุดิบที่สูงและต่ำกว่าการจัดเรียงด้วยคน

M.Z. Arslanov[10] ได้ศึกษาปัญหาการตัดสี่เหลี่ยมจำนวนเท่ากันบนแผ่นวัตถุดิบรูปทรงสี่เหลี่ยมให้ได้จำนวนมากที่สุดดังที่แสดงในภาพที่ 2-13 โดยใช้ทฤษฎีบทแยกส่วน (Decomposition Theorem) อัลกอริทึมที่ใช้มีเวลาในการทำงานแบบเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับขนาดของปัญหา (Linear Complexity Algorithm) มีการใช้เศษส่วนต่อเนื่อง (Continued Fractions) มาใช้เพื่อช่วยในการกำหนดและแก้ปัญหาคัดสี่เหลี่ยมเพื่อให้ได้จำนวนการตัดที่มากที่สุด



ภาพที่ 2-13 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดสี่เหลี่ยมเพื่อนำมาแก้ปัญหา

ตารางที่ 2.1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ	เทคนิคที่ใช้ในการจัดเรียง
ผดุงศิลป์[1]	เทคนิคก่อนการจัดเรียง หมุนหามุมที่มีสี่เหลี่ยมล้อมรอบน้อยสุด เทคนิคการจัดเรียง มี 2 รูปแบบ 1. เลือกตำแหน่งการประกบของชิ้นงาน 2 ชิ้นที่มีพื้นที่สี่เหลี่ยมล้อมรอบรูป น้อยสุดแล้วนำมาจัดเรียง 2. เลือกตำแหน่งการประกบของชิ้นงาน 2 ชิ้นที่มีพื้นที่จำนวนสี่เหลี่ยมล้อม รอบรูปมากที่สุด
จตุพร[2]	เทคนิคการจัดเรียง 1. วางชิ้นงานชิ้นแรกโดยการหมุนเพื่อให้ขอบซ้ายมีพื้นที่เศษเหลือน้อยสุด 2. เรียงชิ้นงานที่เหลือโดยการเลื่อนและหมุนเพื่อหาตำแหน่งและมุมที่ให้ ระยะความยาวน้อยสุด
Victor Minlenkovic และ คณะ[3]	เทคนิคการจัดเรียง 1. วางทีละแถวโดยที่ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ทับกัน เทคนิคหลังการจัดเรียง อัดแน่นชิ้นงาน
Roger B. Orien และ Karen Danaiels[4]	เทคนิคการจัดเรียง 1. จัดชิ้นงานเป็นกลุ่ม ๆ ที่สามารถวางลงในช่องว่างได้โดยใช้การโปรแกรม เลขจำนวนเต็มมาช่วย หาคำตอบโดยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch & Bound) และวิธีของลากรังจ์ (Lagrangian Heuristic)
V. Vamanu, T. J. Nye[5]	เทคนิคการจัดเรียง 1. ใช้วิธีการเทคนิคของมินคอสกีซัม (Minkowski sum) หาตำแหน่งที่ชิ้น งานประกบแล้วให้เศษเหลือน้อยที่สุด
Victor J. Milenkovic[6]	เทคนิคการจัดเรียง 1. ให้ชิ้นผ้าทับกันก่อนแล้วจึงหมุนและเลื่อนออกเป็นระยะเท่ากับครึ่งหนึ่ง ของระยะที่ทับกัน จะทำซ้ำ ๆ กันจนกว่าจะมีค่าคงที่ เทคนิคหลังการจัดเรียง-อัดแน่นชิ้นงาน

ตารางที่ 2.1 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

งานวิจัยของ	เทคนิคที่ใช้ในการจัดเรียง
German Research Association[7]	<u>เทคนิคการจัดเรียง</u> ลำดับการจัดเรียงจะใช้ระบบฐานความรู้ (Knowledge Base System) ฮิวริสติก (Heuristic Search) และการตรวจสอบการทับกัน <u>เทคนิคหลังการจัดเรียง</u> อัดแน่นชิ้นงาน
Michael Adamowics และ Antonio Albano[8]	<u>เทคนิคการจัดเรียง</u> 1. เลือกตำแหน่งการประกบของชิ้นงานที่ให้พื้นที่สี่เหลี่ยมล้อมรอบชิ้นงานน้อยที่สุดมาจัดเรียง
Karen Daniels และ Victor J. Milenkovic[9]	<u>เทคนิคก่อนการจัดเรียง</u> แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ 1. กลุ่มชิ้นงานยาว 2. กลุ่มชิ้นงานสั้น <u>เทคนิคการจัดเรียง</u> มี 2 ขั้นตอน 1. จัดเรียงชิ้นงานขนาดใหญ่เป็นแถว ๆ โดยที่ชิ้นงานสามารถหมุนได้ 90 หรือ 180 องศาโดยใช้ความยาวของวัตถุบนน้อยที่สุด 2. จัดชิ้นขนาดเล็กแทรกลงในช่องว่าง
M.Z. Arslanov[10]	<u>เทคนิคก่อนการจัดเรียง</u> 1. ใช้ทฤษฎีบทแยกส่วน (Decomposition Theorem) อัลกอริทึมที่ใช้ทำงานแบบที่เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับขนาดของปัญหา (Linear Complexity) มาช่วยแก้ปัญหาการตัดสี่เหลี่ยมที่เท่ากันจำนวนมาก

บทที่ 3

วิธีวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเรียงชิ้นผ้าจากงานวิจัยชุดก่อน โดยการปรับปรุงวิธีการจัดเรียง และใช้เทคนิควิธีการบีบอัดแน่นชิ้นผ้าเพื่อให้ชิ้นผ้าได้วางชิดกันได้มากที่สุด วิธีการจัดเรียงจะใช้วิธีจัดเรียงชิ้นผ้าครั้งละแถวให้เต็มความกว้างของผืนผ้าแล้วจึงเพิ่มแถวจนกว่าชิ้นผ้าจะถูกจัดเรียงหมด ในการหาตำแหน่งการจัดวางชิ้นผ้าจะใช้วิธีการค้นหาตำแหน่งการจัดเรียงแบบฮิวริสติก (Heuristic Search) โดยการให้ชิ้นผ้ามีการเลื่อนและหมุนเพื่อหาตำแหน่งวางภาพที่เหมาะสม แล้วจึงบีบอัดแน่นชิ้นผ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเรียง รายละเอียดของการพัฒนาโปรแกรมมีดังนี้

ข้อมูลที่ป้อนเข้า

1. ข้อมูลของชิ้นผ้า
2. ข้อมูลของผืนผ้า

การแสดงผลของโปรแกรม

1. แสดงภาพของผลของการจัดเรียง
2. ประสิทธิภาพการจัดเรียง

อัลกอริทึมสำหรับการจัดเรียงชิ้นผ้า

1. เตรียมข้อมูลของชิ้นผ้า
 - 1.1 การสร้างจตุรรอบรูปชิ้นผ้าและการลดทอนจำนวนจุด
 - 1.2 วิธีการจัดเลื่อนชิ้นผ้าเข้าด้วยกันเพื่อให้แนวสายผ้าตรงกัน
 - 1.3 แบ่งกลุ่มชิ้นผ้าเป็นกลุ่มชิ้นผ้าขนาดใหญ่ และกลุ่มชิ้นผ้าขนาดเล็ก
2. การหารูปแบบการวางชิ้นผ้าขนาดใหญ่ให้เต็มความกว้างของผืนผ้า
 - 2.1 การนำเสนอปัญหาในรูปแบบทางคณิตศาสตร์
 - 2.2 เทคนิคการย่อขยาย
 - 2.3 การปรับข้อมูลจำนวนชิ้นผ้า
3. การวางชิ้นผ้าขนาดใหญ่
 - 3.1 การวางชิ้นผ้าชิ้นแรกของแถว (จากรูปแบบที่ได้ในข้อ 2)
 - 3.2 การสร้างขอบเขตและกำหนดจุดตำแหน่งภายในผืนผ้าสำหรับการค้นหาตำแหน่งวางชิ้นผ้า
 - 3.3 การวางชิ้นผ้าจากชิ้นที่ 2 จนถึงชิ้นสุดท้าย
 - 3.4 การอัดแน่นชิ้นผ้า
4. การวางชิ้นผ้าขนาดเล็ก

- 4.1 ลำดับการเรียกชิ้นผ้า
- 4.2 การวางชิ้นผ้าให้เต็มช่องว่างของชิ้นผ้าขนาดใหญ่ที่ได้วางไว้แล้ว
- 4.3 การวางชิ้นผ้าที่ละแถว
5. การคำนวณหาตำแหน่งรอบรูปชิ้นผ้า
6. การตรวจสอบการทับกันของชิ้นผ้า
7. การจัดแบบจำนวนน้อย

ข้อมูลที่ป้อนเข้า คือข้อมูลสำหรับใช้เป็นเงื่อนไขในการจัดเรียงชิ้นผ้าอันประกอบด้วย

1. ข้อมูลของชิ้นผ้า เป็นรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับตัวชิ้นผ้าที่จะนำไปจัดเรียง ดังรายละเอียดนี้

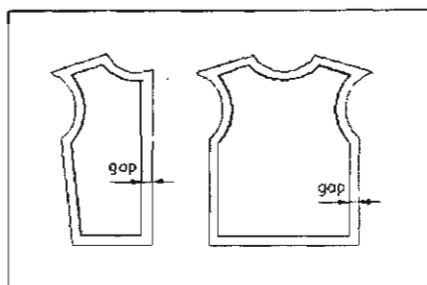
1.1 รูปร่างของชิ้นผ้าที่จะนำมาจัดเรียงจะต้องมีรูปทรงปิด (Polyline) และเป็นภาพของโปรแกรมออโตแคด (AutoCad) ซึ่งภาพที่ได้อาจได้มาจากการใช้โปรแกรมออโตแคดสร้างหรือได้มาจากการถ่ายทอดขนาดจากชิ้นผ้าจริงเข้าสู่โปรแกรมออโตแคดโดยใช้ดิจิทัลไเซอร์ (Digitizer)

1.2 ชื่อของชิ้นผ้าซึ่งจะถูกป้อนโดยผู้ใช้โปรแกรม

1.3 จำนวนของชิ้นผ้าที่จะจัดเรียง

1.4 มุมหมุนของชิ้นผ้า เป็นการกำหนดช่วงมุมที่ชิ้นผ้าสามารถหมุนได้ที่ละช่วงจำนวนองศาเพื่อใช้ในการหามุมวางภาพที่ดีที่สุด สำหรับมุมหมุนของชิ้นผ้าผู้ใช้สามารถกำหนดเลือกได้ตามเงื่อนไขที่เหมาะสมของลวดลายของผืนผ้า ทิศทางของเกรนผ้า และทิศทางของเส้นผ้า มุมหมุนมาตรฐานที่กำหนดไว้มีจำนวน 3 ช่วงมุมหมุน คือ 1. มุม 0 องศา (ไม่มีการหมุน) 2. มุม 90 องศา และ 3. มุม 180 องศา

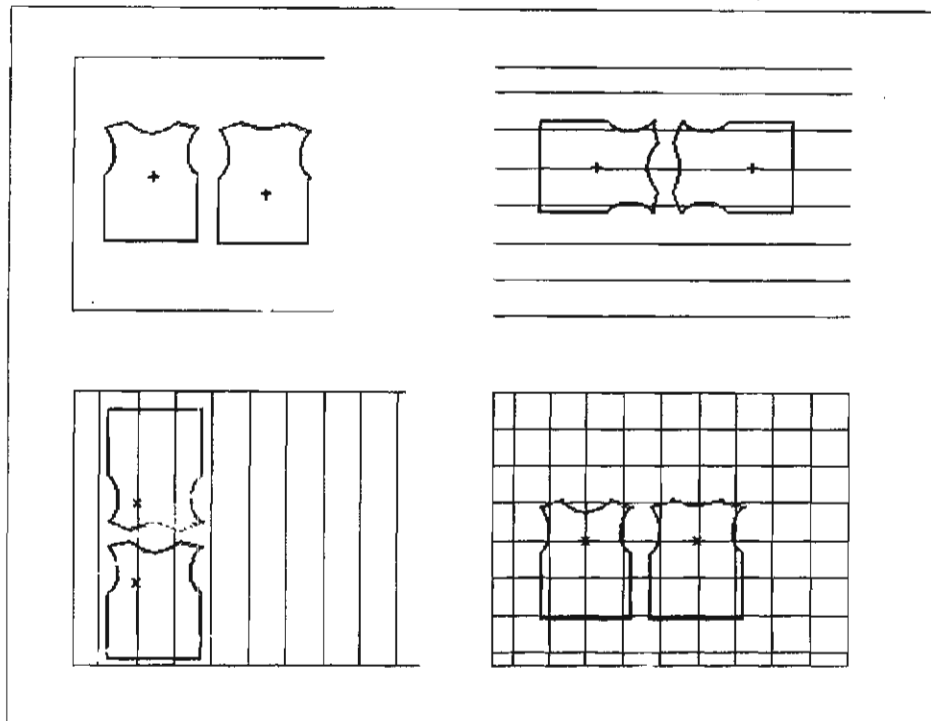
1.5 ระยะเผื่อขอบชิ้นผ้า ซึ่งกำหนดโดยผู้ใช้โปรแกรม และต้องมีระยะที่เท่ากันทุกชิ้นผ้า ภาพที่ 3-1 แสดงระยะเผื่อขอบชิ้นผ้า (gap) ระยะเผื่อขอบชิ้นผ้านี้ยังแสดงถึงระยะที่ชิ้นผ้าสามารถวางได้ใกล้กันได้อีกด้วย



ภาพที่ 3-1 แสดงระยะเผื่อขอบชิ้นผ้า (gap)

1.6 จุดอ้างอิงชิ้นผ้า ซึ่งจะต้องอยู่ภายในชิ้นผ้าเท่านั้นและถูกกำหนดโดยการกดเลือกตำแหน่งจากผู้ใช้โปรแกรม จุดอ้างอิงนี้จะใช้สำหรับเป็นจุดฐานในการเลื่อนและหมุนเพื่อค้น

หาตำแหน่งวางชิ้นผ้า ในกรณีผืนผ้าที่มีลวดลายแนวของลายผ้าจะตรงกับจุดอ้างอิงนี้เสมอ ดังที่แสดงในภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 แสดงความสัมพันธ์ของจุดอ้างอิงชิ้นผ้ากับชนิดของผืนผ้า

2. ข้อมูลของผืนผ้า เป็นรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับผืนผ้า และลวดลายของผืนผ้าที่ใช้ รูปแบบลวดลายของผืนผ้าที่พิจารณามี 4 รูปแบบ คือแบบไม่มีลวดลาย แบบมีลายเส้นตามแนวนอน แบบมีลายเส้นตามแนวตั้ง และแบบมีลายเส้นตามแนวนอนและแนวตั้ง ดังแสดงในภาพที่ 3-3 รายละเอียดข้อกำหนดของผืนผ้ามีดังนี้

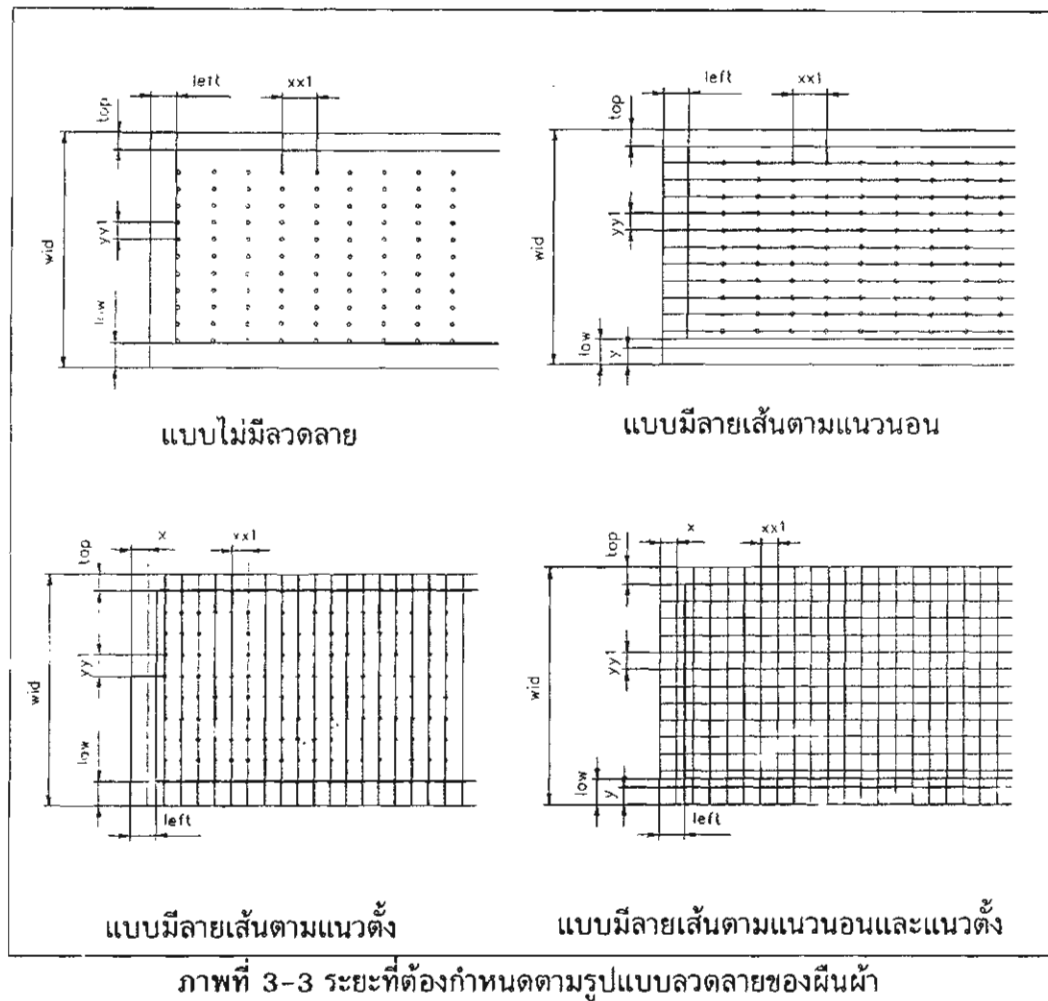
wid = ความกว้างของผืนผ้า

left , top , low = ระยะเมื่อขอบของผืนผ้าด้านซ้าย , ด้านบน และ ด้านล่างของผืนผ้า

x,y = ตำแหน่งแรกของลายผ้าในแนวนอนและแนวตั้ง

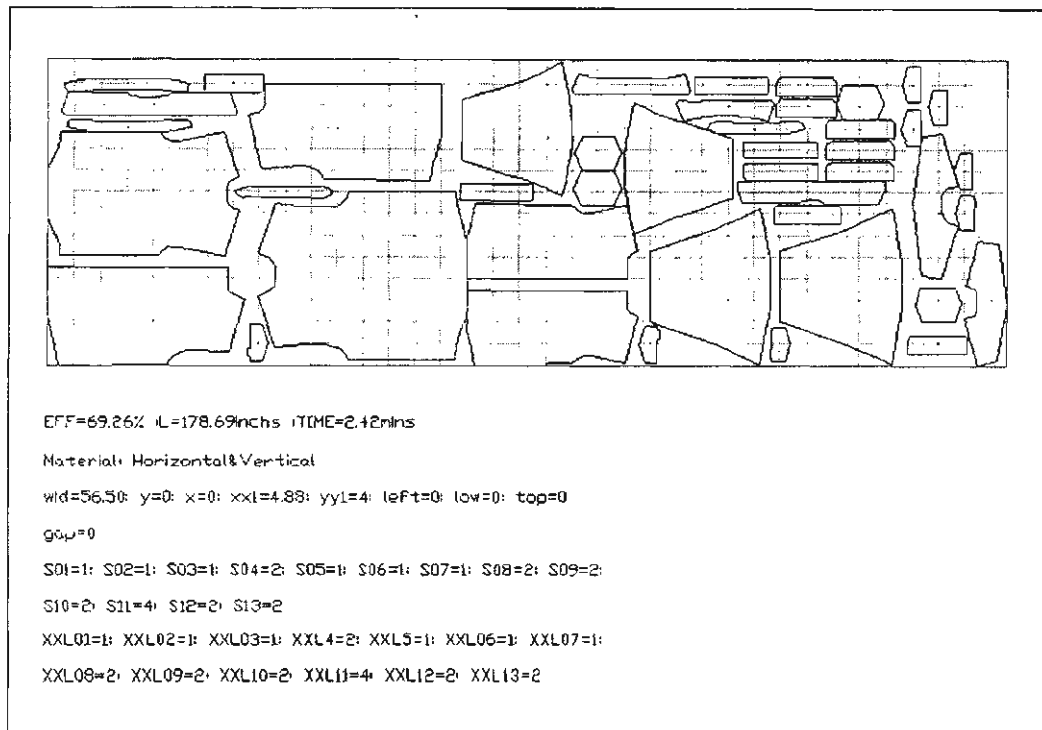
xx1= ระยะห่างของลายผ้าตามแนวนอนจากจุดกึ่งกลางถึงจุดกึ่งกลางในกรณีที่เป็นผืนผ้าแบบมีลายเส้นตามแนวตั้งและแบบมีลายเส้นตามแนวนอนและแนวตั้ง สำหรับผืนผ้าแบบไม่มีลวดลายและแบบมีลายเส้นตามแนวนอนจะหมายถึงระยะเลื่อนสำหรับค้นหาตำแหน่งการวางภาพซึ่งจะกำหนดให้มีค่าเท่าใดก็ได้

yy1 = ระยะห่างของลายผ้าตามแนวตั้งจากจุดกึ่งกลางถึงจุดกึ่งกลางในกรณีที่เป็นผืนผ้าแบบมีลายเส้นตามแนวนอนและแบบมีลายเส้นตามแนวนอนและแนวตั้ง สำหรับผืนผ้าแบบไม่มีลวดลายและแบบมีลายเส้นตามแนวตั้งจะหมายถึงระยะเลื่อนสำหรับค้นหาตำแหน่งการวางภาพซึ่งจะกำหนดให้มีค่าเท่าใดก็ได้



การแสดงผลของโปรแกรม

1. แสดงภาพผลการจัดเรียง โดยที่ชิ้นผ้าที่ถูกจัดเรียงจะอยู่ภายในพื้นที่กรอบของผืนผ้า และถ้าเป็นผืนผ้าแบบมีลวดลายโปรแกรมจะแสดงตำแหน่งของลวดลายผ้า และรายงานผลการจัดเรียงอันประกอบด้วยประสิทธิภาพการจัดเรียง (EFF) ความยาวของผืนผ้าที่ใช้ (L) เวลาที่ใช้ในการจัดเรียง (TIME) และนอกจากนี้โปรแกรมจะแสดงข้อมูลของผืนผ้าที่ใช้ และข้อมูลของชิ้นผ้าอันประกอบด้วยชื่อของชิ้นผ้าและจำนวนของชิ้นผ้าที่ใช้ดังที่แสดงในภาพที่ 3-4 เป็นตัวอย่างของการแสดงผลการจัดเรียง



ภาพที่ 3-4 ตัวอย่างการแสดงผลการจัดเรียง

2. ประสิทธิภาพการจัดเรียง เป็นการคำนวณหาประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่ของผืนผ้า

นิยามความหมาย

wid = ความกว้างของผืนผ้า

top, low, left = ระยะเผื่อขอบด้านบน, ด้านล่าง และด้านซ้ายของผืนผ้า

lmax = ความยาวของผืนผ้าที่ใช้ในการจัดเรียง (นับรวมระยะเผื่อขอบด้านซ้ายไว้ด้วยแล้ว)

area_j = พื้นที่ของชิ้นผ้าในลำดับที่ j

n_j = จำนวนชิ้นผ้าในลำดับที่ j

ประสิทธิภาพการจัดเรียง (EFF) คำนวณได้จากการเปรียบเทียบสัดส่วนของพื้นที่ของชิ้นผ้าทั้งหมดกับพื้นที่ใช้งานของผืนผ้า ดังนี้

$$EFF = \frac{\text{all_area}}{\text{area_material}} \times 100$$

โดยที่ all_area หมายถึงพื้นที่ของชิ้นผ้าทั้งหมดซึ่งคำนวณได้จากผลรวมพื้นที่ของชิ้นผ้าที่จัดเรียงทั้งหมดดังนี้

$$\text{all_area} = \sum_j (n_j \text{area}_j)$$

และ area_material หมายถึงพื้นที่กรอบในของผืนผ้าที่ใช้ในการจัดเรียงและเขียนได้ดังนี้

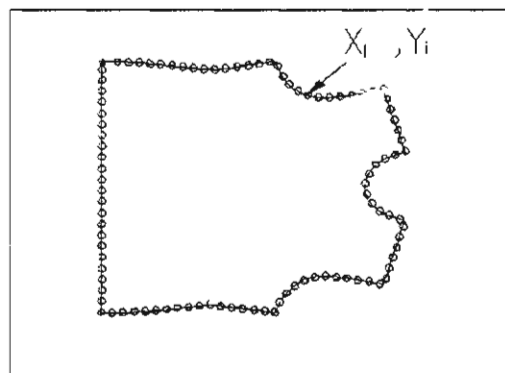
$$\text{area_material} = (\text{wid} - \text{top} - \text{low}) \times (\text{lmax} - \text{left})$$

อัลกอริทึมสำหรับการจัดเรียงชิ้นผ้า

1. เตรียมข้อมูลของชิ้นผ้า

1.1 การสร้างจุดรอบรูปชิ้นผ้าและการลดทอนจำนวนจุด จุดตำแหน่งรอบชิ้นผ้าจะถูกเรียกมาใช้ในการจัดวางเพื่อยึดครองพื้นที่ของผืนผ้าและใช้ในการตรวจสอบการทับกันของชิ้นผ้า ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดข้อมูลตำแหน่งของขอบชิ้นผ้าไว้ตลอดเวลา การเก็บตำแหน่งรอบชิ้นผ้า มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

- การหาจุดตำแหน่งรอบชิ้นผ้า โปรแกรมจะทำการย้ายจุดอ้างอิงชิ้นผ้าไปที่จุดกำเนิด (Origin) แล้วคำนวณหาความยาวเส้นรอบรูปชิ้นผ้าโดยการแบ่งเส้นความยาวเส้นรอบรูปให้เท่ากันแล้วจึงสร้างจุดตามเส้นรอบรูปให้มีระยะห่างเท่ากันดังที่แสดงในภาพที่ 3-5 จากจุดแบ่งเหล่านี้ให้เก็บเฉพาะข้อมูลตำแหน่ง (x_i, y_i) ทั้งหมดไว้



ภาพที่ 3-5 แสดงจุดตำแหน่งรอบชิ้นผ้า

- การลดทอนจุดตำแหน่งรอบชิ้นผ้า เป็นขั้นตอนในการลดทอนจำนวนจุดลง เพราะถ้ามีจำนวนจุดมากจะทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก วิธีการลดจำนวนจุดจะใช้วิธีการตรวจสอบมุมระหว่างจุดแบ่งดังที่แสดงในภาพที่ 3-6ก โดยจะเก็บตำแหน่งที่มีมุมเปลี่ยนไปจากเดิม และภาพที่ 3-6ข แสดงจำนวนจุดที่ได้หลังจากลดทอนจำนวนจุดลง วิธีการลดทอนจำนวนจุดแบ่งมีดังนี้

1. กำหนดจุดเริ่มต้น ($i=1$) และเก็บจุดนี้เป็นไว้ในชุดข้อมูลตำแหน่งชิ้นผ้า P

$$i = 1 ; P = \{(x_1, y_1)\}$$

2. เรียกจุดตำแหน่งถัดไปต่อจากจุดเริ่มต้น ($i+1$) และกำหนดให้เป็นจุดตำแหน่งที่ 2 (x_{i+1}, y_{i+1}) แล้วคำนวณหามุมจากจุดแรกไปยังจุดถัดไปดังนี้

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \right)$$

3. เรียกจุดตำแหน่งถัดไปต่อจากจุดตำแหน่งที่ 2 ($i+2$) และกำหนดให้เป็นจุดตำแหน่งที่ 3 (x_{i+2}, y_{i+2}) แล้วคำนวณหามุมระหว่างจุดที่ 2 และจุดที่ 3 ดังนี้

$$\theta_{i+1} = \tan^{-1} \left(\frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{x_{i+2} - x_{i+1}} \right)$$

4. ตรวจสอบมุมที่ 1 และมุมที่ 2 ถ้ามุมถ้ามุมทั้งสองนี้ไม่เท่ากัน ให้เก็บจุดตำแหน่งที่ 2 ไว้ในชุดข้อมูลตำแหน่งชิ้นผ้า P ดังนี้

$$\text{ถ้า } \theta_i \neq \theta_{i+1} \text{ ให้กำหนด } P \leftarrow P \cup \{(x_{i+1}, y_{i+1})\}$$

5. เรียกจุดตำแหน่งถัดไป ($i=3$) และกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$(x_{i+2}, y_{i+2}) \leftarrow (x_{i+3}, y_{i+3})$$

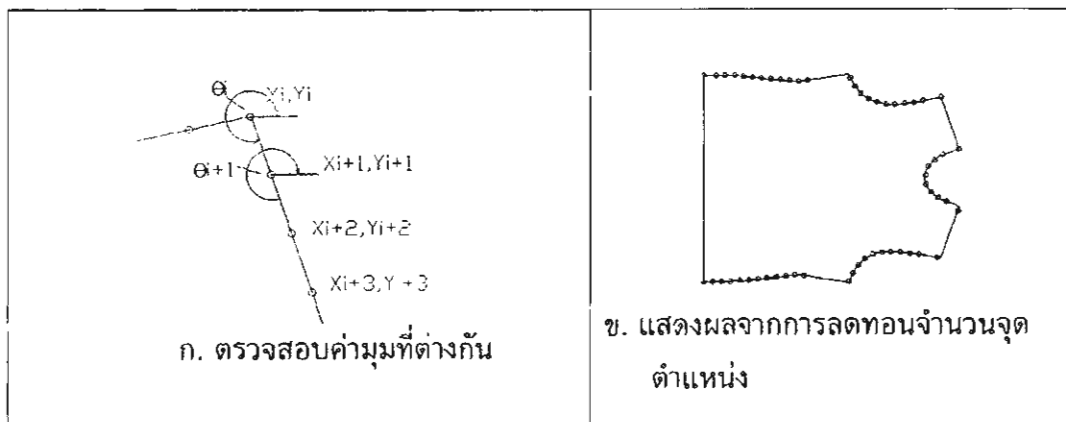
$$(x_{i+1}, y_{i+1}) \leftarrow (x_{i+2}, y_{i+2})$$

$$\theta_i = \theta_{i+1}$$

$$\theta_{i+1} = \tan^{-1} \left(\frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{x_{i+2} - x_{i+1}} \right)$$

$$\text{ถ้า } \theta_n \neq \theta_{n+1} \text{ ให้กำหนด } P \leftarrow P \cup \{(x_{i+1}, y_{i+1})\}$$

6. เรียกจุดตำแหน่งถัดไป และทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 5 จนกว่าจะหมดจุดตำแหน่ง



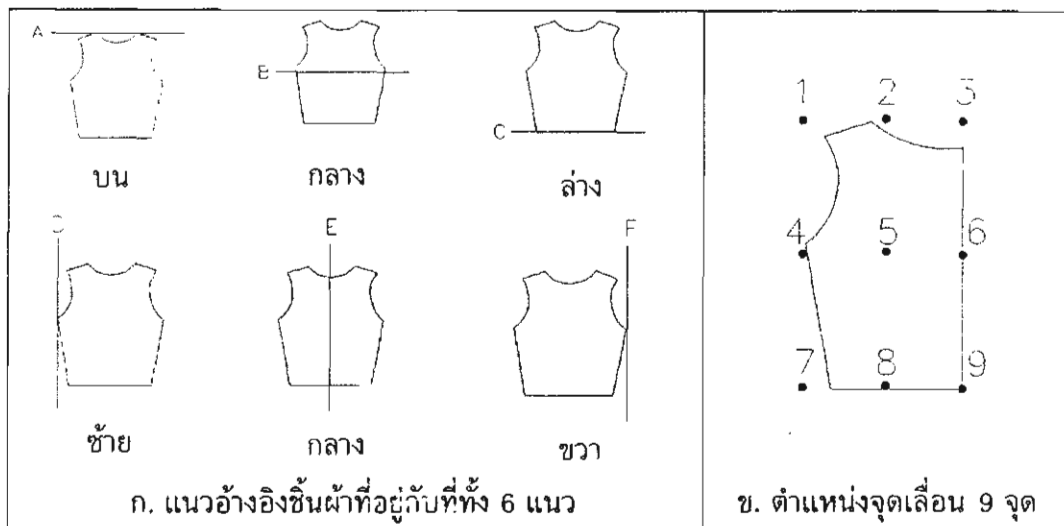
ภาพที่ 3-6 แสดงการลดทอนจำนวนจุด

1.2 วิธีการจัดเลื่อนชิ้นผ้าเข้าด้วยกันเพื่อให้แนวสายผ้าตรงกัน เนื่องจากในกรณีที่ผืนผ้ามีลวดลาย ลายผ้าจะต้องตรงกับจุดอ้างอิงที่ผู้ใช้ เลือกเสมอและเป็นการยากที่จะเลือกจุดอ้างอิงแล้วเมื่อตัดเย็บเป็นเสื้อผ้าแล้วลายผ้าจะตรงกัน ดังนั้นก่อนที่จะกำหนดจุดอ้างอิงผู้ใช้สามารถเลือกใช้การเลื่อนเรียงชิ้นผ้าเพื่อจัดให้ชิ้นผ้าตรงกันก่อน และเมื่อมีการกำหนดจุดอ้างอิงผู้ใช้โปรแกรมก็เพียงแค่เลือกจุดอ้างอิงให้ตรงกับลายผ้าเท่านั้น วิธีการเลื่อนเรียงชิ้นผ้านี้เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผืนผ้าแบบมีลวดลายเท่านั้น ในการตัดสินใจเลื่อนชิ้นผ้าเข้าหากันนั้นผู้ใช้โปรแกรมต้องตัดสินใจเลือกวิธีที่เหมาะสมกับข้อกำหนดของแบบผ้าเอง องค์ประกอบในการเลื่อนผ้ามีดังนี้

- ชิ้นผ้าอ้างอิง หรือจุดอ้างอิง ซึ่งจะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ โดยที่ชิ้นผ้าอ้างอิงจะถูกแบ่งออกเป็น 2 แนวหลัก คือแนวตั้ง 3 แนว และแนวนอน 3 แนว รวมเป็น 6 แนวตำแหน่งอ้างอิง เพื่อให้

ชิ้นผ้าเลื่อนมาหาแนวตำแหน่งอ้างอิงนี้ ดังที่แสดงในภาพที่ 3-7ก แต่ถ้ามีการเลือกเป็นจุด แนวตำแหน่งอ้างอิงจะมีอยู่ตำแหน่งเดียว

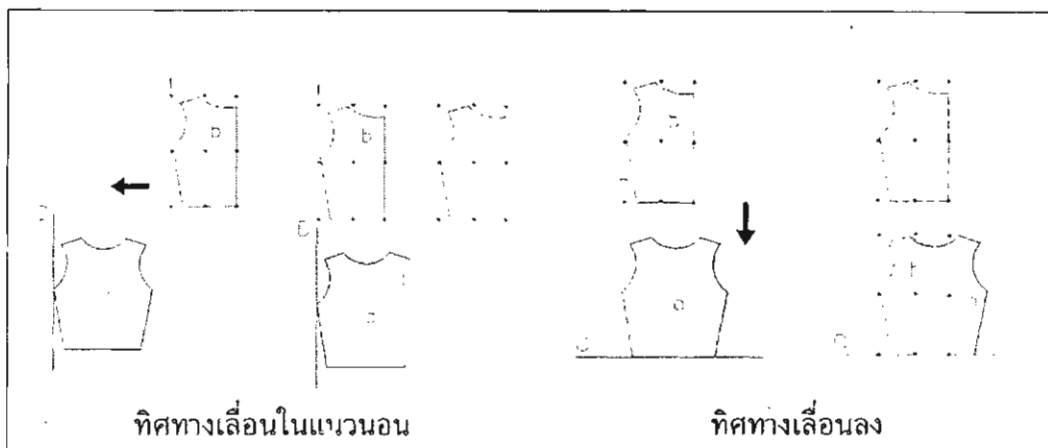
● ชิ้นผ้าเลื่อน เป็นชิ้นผ้าที่ถูกกำหนดให้เลื่อนไปยังแนวตำแหน่งอ้างอิงแนวใดแนวหนึ่งของทั้ง 6 แนว และชิ้นผ้าเลื่อนจะประกอบด้วยจุดอ้างอิงเพื่อใช้ในการเลื่อนทั้งหมด 9 จุดรอบชิ้นผ้า ดังที่แสดงในภาพที่ 3-7ข



ภาพที่ 3-7 แสดงการกำหนดแนวอ้างอิงและตำแหน่งเลื่อนของการเลื่อนเรียงชิ้นผ้า

● วิธีการเลื่อน จากแนวอ้างอิง 6 แนว และจุดอ้างอิงทั้ง 9 จุด ทำให้ผู้ใช้สามารถกำหนดเป้าหมายในการเลื่อนได้หลากหลาย เช่น ในกรณีที่ชิ้นผ้าแบบมีลายเส้นตามแนวนอนและแนวตั้งและชิ้นผ้าถูกกำหนดให้มีลายเส้นตรงกันทั้งสองแนวตั้งนั้นก่อนการกำหนดจุดอ้างอิงจึงควรจัดให้ชิ้นผ้ามาเรียงกันทั้งสองแนวโดยการจัดให้ชิ้นผ้ามีขอบด้านซ้ายและขอบด้านล่างตรงกัน ในตัวอย่างนี้ชิ้นผ้า a ในภาพที่ 3-8ก ถูกกำหนดให้เป็นชิ้นผ้าอ้างอิงและชิ้นผ้า b ถูกกำหนดให้เป็นชิ้นผ้าเลื่อน และการเลื่อนจะเลื่อนสองครั้งคือในขั้นตอนแรกชิ้นผ้า b ถูกเลื่อนไปในแนวนอนโดยเลื่อนจากจุดตรงขอบซ้ายของชิ้นผ้าซึ่งก็คือจุด 1 และเลื่อนไปหาแนว D ของชิ้นผ้า a ซึ่งในขั้นตอนนี้ชิ้นผ้า a และ b จะมีขอบซ้ายอยู่ในแนวเดียวกัน และในขั้นตอนที่สองจะเป็นการจัดเรียงชิ้นผ้า a และชิ้นผ้า b ให้ขอบล่างอยู่ในแนวกัน โดยการกำหนดจุดที่อยู่ขอบล่างของชิ้นผ้า b ในที่นี้คือจุดที่ 7 ให้เป็นจุดเลื่อน และชิ้นผ้า a มีแนว C เป็นแนวอ้างอิงซึ่งชิ้นผ้า a จะถูกเลื่อนในแนวตั้งและจะเลื่อนจากจุด 7 ไปตรงกับแนว C ของชิ้นผ้า a และเมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเลือกจุดอ้างอิงผู้ใช้โปรแกรมก็เพียงแค่เลือกจุดอ้างอิงให้ตรงกับลายผ้าเท่านั้น ดังที่แสดงในภาพที่ 3-8 ก และในภาพที่ 3-8ข เป็นตัวอย่างการเลื่อนเรียงชิ้นผ้าและกำหนดจุดอ้างอิงให้ตรงกับลายผ้า ภาพด้านซ้ายเป็นพื้นผ้าแบบมีลายเส้นตามแนวนอนซึ่งชิ้นผ้าถูกเรียงกันตรงกลางในแนวนอนและภาพกลาง

เป็นผืนผ้าแบบมีลายเส้นตามแนวตั้งซึ่งชิ้นผ้าถูกเรียงกันตรงกลางในแนวตั้ง และภาพขวาเป็นผืนผ้าแบบมีลายเส้นตามแนวนอนและแนวตั้งซึ่งชิ้นผ้าถูกเรียงกันในสองทิศทางทับกันพอดี



ภาพที่ 3-8ก ตัวอย่างการเลื่อนเรียงชิ้นผ้า



ภาพที่ 3-8ข ตัวอย่างการกำหนดจุดอ้างอิงเพื่อให้ชิ้นผ้ามีลายตรงกัน

1.3 แบ่งกลุ่มชิ้นผ้าเป็นกลุ่มชิ้นผ้าขนาดใหญ่ และกลุ่มชิ้นผ้าขนาดเล็ก เพราะต้องการให้ชิ้นผ้าที่มีขนาดใหญ่และมีขนาดใกล้เคียงกันมาจัดก่อนแล้วจึงนำชิ้นผ้าขนาดเล็กมาจัดแทรกลงในช่องว่างให้เต็ม โดยที่โปรแกรมจะทำการตรวจสอบหาพื้นที่ของชิ้นผ้าแต่ละแบบ และให้ชิ้นผ้าที่มีพื้นที่ใหญ่มากที่สุดเป็นหลักในการเปรียบเทียบเพื่อจัดแบ่งกลุ่มชิ้นผ้า โดยที่ชิ้นผ้าของกลุ่มใหญ่คือชิ้นผ้าที่มีพื้นที่มากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มชิ้นผ้าขนาดเล็กคือกลุ่มชิ้นผ้าที่มีพื้นที่น้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของชิ้นผ้าที่มีพื้นที่มากที่สุด

2. การหารูปแบบการวางชิ้นผ้าขนาดใหญ่ให้เต็มความกว้างของผืนผ้า

เป็นการกำหนดกลุ่มชิ้นผ้าและทิศทางการจัดเรียงแล้วจึงเรียกชิ้นผ้าที่ได้ไปจัดเรียงให้ได้ประสิทธิภาพการใช้สูงสุดภายในแถวเพราะถ้าหากสามารถจัดเรียงชิ้นผ้าได้เต็มแถวมากที่สุดแล้วก็จะทำให้ประสิทธิภาพการจัดเรียงโดยรวมดีขึ้น ดังนั้นก่อนการจัดเรียงในแต่ละช่วงเราจะต้อง

หาว่าจะมีชิ้นผ้ากี่ชิ้นและแต่ละชิ้นควรจจะวางในทิศทางใดเพื่อที่จะสามารถวางได้เต็มความกว้างได้มากที่สุด และมีเศษเหลือน้อยที่สุดด้วย วิธีการแก้ปัญหามีดังนี้

2.1 การนำเสนอปัญหาในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ เป้าหมายการลดเศษภายในแถวให้เหลือน้อยที่สุดโดยกำหนดจำนวนชิ้นผ้าและมุมวางผ้าโดยประมาณ มุมที่ได้นี้เมื่อนำไปหาตำแหน่งในการจัดเรียงสามารถหมุนหามุมวางผ้าได้อีก 180 องศา ขึ้นอยู่กับการกำหนดมุมหมุนในตอนเริ่มต้น ภาพที่ 3-9 แสดงตัวอย่างชิ้นผ้าที่จะนำมาคำนวณ และภาพที่ 3-10 แสดงถึงตัวอย่างวิธีการจัดเรียง 2 แบบ โปรแกรมจะเลือกภาพด้านซ้ายเพราะมีพื้นที่เศษเหลือน้อยที่สุด

A_j = พื้นที่ของชิ้นผ้าลำดับที่ j w_{id} = ความกว้างใช้งานของผืนผ้า
 l_j = ความยาวในแนวแกน x ของชิ้นผ้า w_j = ความกว้างในแนวแกน y ของชิ้นผ้า j
 n_{lj} = จำนวนการจัดเรียงของชิ้นผ้า j ในแนวความยาวบนความกว้างใช้งานของผืนผ้า
 n_{wj} = จำนวนการจัดเรียงของชิ้นผ้า j ในแนวความกว้างบนความกว้างใช้งานของผืนผ้า
 Q_j = จำนวนชิ้นผ้า j ที่ยังมีได้มีการจัดเรียง

เป้าหมายของปัญหา: ประสิทธิภาพการใช้พื้นที่สูงสุด

$$\max \frac{1}{l_{\max} w_{id}} \sum_j (n_{lj} + n_{wj}) A_j$$

ข้อจำกัด:

$$\sum_j (k_j n_{lj} + n_{wj}) \leq w_{id}$$

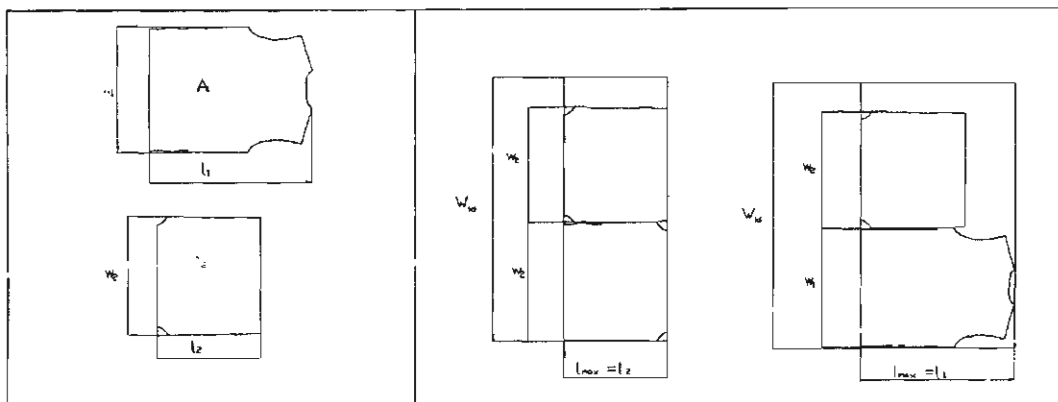
$$l_{\max} = \max(\max_{j|n_{lj} \neq 0} w_j, \max_{j|n_{wj} \neq 0} l_j)$$

$$0 \leq k_j n_{lj} + n_{wj} \leq Q_j$$

$$n_{lj}, n_{wj} \geq 0, \text{ เลขจำนวนเต็ม}$$

$$k_j = 0 \text{ เมื่อมุมหมุนชิ้นผ้าเท่ากับ } 0 \text{ องศา หรือ } 180 \text{ องศา}$$

$$k_j = 1 \text{ เมื่อมุมหมุนชิ้นผ้าเท่ากับ } 90 \text{ องศา}$$



ภาพที่ 3-9 แสดงตัวอย่างชิ้นผ้าที่จะนำมาคำนวณ

ภาพที่ 3-10 แสดงการหาชิ้นผ้าก่อนการจัดเรียง

2.2 เทคนิคการย้อนรอย การค้นหาคำตอบจะใช้เทคนิควิธีการย้อนรอย (Backtrack) ซึ่งเป็นการค้นหาแบบทั่วทุกจุดโดยการค้นหาคำตอบในแนวลึกที่สุดก่อนแล้วจึงย้อนกลับเส้นทางเดิมถ้าพบว่ายังมีเส้นทางที่ยังไม่ได้ตรวจค้นก็ให้เข้าไปตรวจค้นจนถึงสุดเส้นทางแล้วจึงย้อนกลับมาทางเส้นทางเดิมอีกทำเช่นนี้จนกว่าจะย้อนกลับมาในตำแหน่งแรกสุดของการตรวจค้น อัลกอริทึมสำหรับคำนวณการหาชิ้นผ้ามีดังนี้

นิยามตัวแปร

R หมายถึง ชุดข้อมูลที่ประกอบด้วยขนาดความยาว (l_j) และขนาดความกว้าง (w_j) ดังนั้น $R=(l_j, w_j)$

I คือจำนวนของขนาดทั้งหมดที่มีอยู่ใน R โดยมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของจำนวนลำดับชิ้นผ้า ทั้งหมด (J) ดังนั้น $I=2J$

y คือผลรวมของขนาดที่เรียกจากชุดข้อมูล R

1. กำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อจะเข้าไปทำงานในโปรแกรม $k=1, i=1, y=0$

2. โปรแกรมจะทำงานเมื่อ $k \geq 1$

2.1 เป็นช่วงการทำงานของการทำงานการเดินหน้าเข้าไปตรวจค้นคำตอบซึ่งจะเป็นจริงก็ต่อเมื่อ $i \leq I$ และ $y \leq w_{id}$

2.1.1 คำนวณลำดับของ j จากลำดับ i ที่เรียกในชุดลำดับ R เพื่อจะนำลำดับนี้ไปเรียกค่าของข้อมูลต่าง ๆ เมื่อมีการอ้างถึงลำดับชิ้นผ้าที่ j ความสัมพันธ์ของ i และ j คือ $j = \text{fix}((i+1)/2)$ โดยที่ fix คือเลขจำนวนเต็มที่ตัดเอาเศษจากการหารค่า $i+1$ ด้วย 2 ทิ้งไป

2.1.2 เป็นช่วงการทำงานของชิ้นผ้าที่ซ้ำกันซึ่งจะยังคงทำงานเมื่อ $Q_j > 0$ และ $y \leq w_{id}$ และการทำงานในช่วงนี้มีดังนี้

2.1.2.1 เก็บค่าลำดับที่ i ไว้ในชุดข้อมูล $R_0=(i)$

2.1.2.2 เรียกขนาดชิ้นผ้าในลำดับที่ i จากชุดข้อมูล R_0 ขนาดที่เรียกมาให้ชื่อว่า y_i และหาขนาดที่ตรงข้ามกับ y_i ในที่นี้เรียกว่า x_i และนำค่านี้มาเปรียบเทียบกับหาขนาด x_i ที่มากที่สุดโดย ถ้า $x_i > l_{\max}$ กำหนดให้ $l_{\max} = x_i$

2.1.2.3 คำนวณหาผลรวมของ y_i โดย $y_0 = y_0 + y_i$ และเรียกพื้นที่ของชิ้นผ้าในลำดับที่ j ในที่นี้เรียกว่า A_j แล้วคำนวณหาผลรวมของ A_j โดย $A_0 = A_0 + A_j$

2.1.2.4 คำนวณหาสัดส่วนการใช้พื้นที่ $E_0 = \frac{A_0}{y_0 \times l_{\max}}$

2.1.2.4 ถ้า $y_0 \leq w_{id}$ และ $E_0 > E_1$ ให้ $R_1 = R_0$

2.1.2.5 ลดจำนวนชิ้นผ้าในลำดับที่ j ออก $Q_j = Q_j - 1$

2.1.2 ถ้าจำนวนชิ้นผ้าหมดโปรแกรมจะมาอยู่ที่ช่วงนี้และจะไปทำข้อ 2.1 ใหม่โดยมีเงื่อนไขดังนี้ ถ้า $Q_j < 0$ และ $y \leq w_{id}$ แล้วให้ $i = i + 1$

2.2 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนของการถอยข้อมูลกลับมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

2.2.1 ตรวจสอบหาจำนวนข้อมูลใน R_0 และมีค่าเท่ากับ k

2.2.2 ลดค่า k ออกอีก 1 ค่าโดยกำหนดให้ $k=k-1$ และถ้าพบค่า i ในตำแหน่งที่ k ของชุดข้อมูล R_0 มีค่าเท่ากับ I แล้วให้ลดค่า k อีกจนกว่าจะพบ i ที่มีค่าน้อยกว่า I แล้วจึงเพิ่มค่า i อีก 1 ค่าดังนี้ $i=i+1$

2.2.3 จากค่า k ที่ได้ในข้อ 2.2.2 ให้กำหนดข้อมูลใน R_0 ใหม่โดยใช้ข้อมูลลำดับที่ 1 ถึง $k-1$ เท่านั้น

2.2.4 จากค่า k , i และชุดข้อมูล R_0 นี้จะถูกนำไปทำงานในขั้นตอนที่ 2.1 ใหม่ และจะทำงานจนกว่า k จะมีค่าน้อยกว่า 1

3 เมื่อการทำงานของขั้นตอนที่ 2 เสร็จสิ้นแล้วเราจะได้ ชุดข้อมูลของ R_1 ซึ่งประกอบด้วย ลำดับของ i และจะนำค่า i นี้ไปตรวจสอบหาชื่อชิ้นผ้าและทิศทางของชิ้นผ้าดังนี้

3.1 ตรวจสอบหาลำดับชื่อชิ้นผ้าโดยการหาลำดับของ j ซึ่ง $j=(\text{fix}(i+1)/2)$

3.2 หามุมของชิ้นผ้าโดยการตรวจสอบเศษที่ได้จากการหาร i ด้วย 2 ซึ่งสามารถเขียนได้คือ $\text{REM}(i/2)$ ถ้าเศษมีค่าเท่า 0 หมายความว่ามุมมีค่าเท่ากับ 90 องศา และถ้ามีเศษเท่ากับ 1 หมายความว่ามุมมีค่าเท่ากับ 0 องศา

3.3 ชื่อและมุมที่ได้จากข้อ 3.2 จะนำไปเก็บไว้ในชุดลำดับข้อมูล R_{name} และให้ชิ้นผ้าที่มีความยาวในแนวแกน x มากที่สุดอยู่ในอันดับต้น ๆ ของชุดข้อมูล เพราะต้องการให้ชิ้นผ้าที่มีความยาวมากที่สุดถูกจัดเรียงก่อน จากนั้นจึงนำชุดข้อมูลชุดนี้ไปใช้ในการจัดเรียงชิ้นผ้าให้เต็มแถว แล้วจึงวนกลับกำหนดกลุ่มชิ้นผ้าใหม่

2.3 การปรับข้อมูลจำนวนชิ้นผ้า จากชิ้นผ้าที่คำนวณได้ในข้อ 2.2 จะนำไปสู่ขั้นตอนการจัดเรียงในข้อ 3 ต่อไป ถ้าสามารถจัดเรียงได้ จึงลบจำนวนชิ้นผ้าออกจากรายการจำนวนชิ้นผ้าหลัก หลังจากที่เราเรียกชิ้นผ้าไปจัดเรียงจนหมดแล้ว ก็ให้นำรายการจำนวนชิ้นผ้าที่เหลือไปคำนวณหาชิ้นผ้าที่จะจัดเรียงตามที่ได้ถึงในข้อที่ 2.1 และ 2.2 จนกว่าผลรวมของจำนวนชิ้นผ้าทั้งหมดจะมีค่าเท่าศูนย์

3. การวางชิ้นผ้าขนาดใหญ่ นำกลุ่มชิ้นผ้าที่คำนวณได้มาจัดเรียงจากล่างขึ้นบน ขั้นตอนการจัดเรียงหลักมีดังนี้

3.1 นำชิ้นผ้าชิ้นแรกมาวาง โดยการวางให้ชิดกับขอบล่างและชิดซ้ายให้ได้มากที่สุด ชิ้นผ้าชิ้นแรกนี้จะใช้วิธีคำนวณหาตำแหน่งและมุมที่จะวาง

3.2 การกำหนดขอบเขตและกำหนดจุดตำแหน่ง (x,y) ภายในผืนผ้าแต่อยู่นอกผืนผ้าที่วางไปแล้วสำหรับการค้นหาตำแหน่งวางชิ้นผ้าอื่นๆ

3.3 วางชิ้นผ้าชิ้นที่ 2 จนถึงชิ้นสุดท้าย

3.1 นำชิ้นผ้าชิ้นแรกมาวาง โดยการวางให้ชิดกับขอบล่างและชิดซ้ายให้ได้มากที่สุด ชิ้นผ้าชิ้นแรกนี้จะใช้วิธีคำนวณหาตำแหน่งและมุมที่จะวาง อัลกอริทึมสำหรับการวางชิ้นผ้าชิ้นแรกของแถวมีดังนี้

1. เรียกชิ้นผ้าและมุมวางผ้าลำดับที่ 1 ที่ได้จากข้อ 2

2. จากมุมวางผ้าที่ถูกกำหนด ให้คำนวณหาตำแหน่งที่ชิ้นผ้าวางบนผืนผ้า (จุด P_1) ระยะต่าง ๆ ดูจากภาพที่ 3-11ก สำหรับผืนผ้าแบบไม่มีลาย และภาพที่ 3-11ข สำหรับผืนผ้าแบบมีลวดลาย

P_1 = จุดตำแหน่งวางผ้าซึ่งประกอบด้วยระยะในแนวนอน (lx_1) และระยะในแนวตั้ง (ly_1)

lx_0 = ระยะในแนวนอนจากขอบด้านซ้ายถึงจุดอ้างอิงชิ้นผ้าของชิ้นผ้า

ly_0 = ระยะในแนวตั้งจากขอบด้านล่างถึงจุดอ้างอิงชิ้นผ้าของชิ้นผ้า

$xmin_1$ = ระยะในแนวนอนมากที่สุดของชิ้นผ้าที่ได้วางแล้ว

dx , dy = ระยะในแนวนอนและแนวตั้งที่ต้องขยับเพื่อให้ตรงตำแหน่งลายผ้า

low = ระยะเผื่อขอบด้านล่างของผืนผ้า

การหาค่าของ lx_1 และ ly_1 ตามเงื่อนไขของลายผ้ามีดังนี้

ผืนผ้าแบบไม่มีลวดลาย

ผืนผ้าแบบมีลายตามแนวนอน

$$lx_1 = xmin_1 + lx_0$$

$$lx_1 = xmin_1 + lx_0$$

$$ly_1 = ly_0 + low$$

$$ly_1 = ly_0 + low + dy$$

ผืนผ้าแบบมีลายตามแนวตั้ง

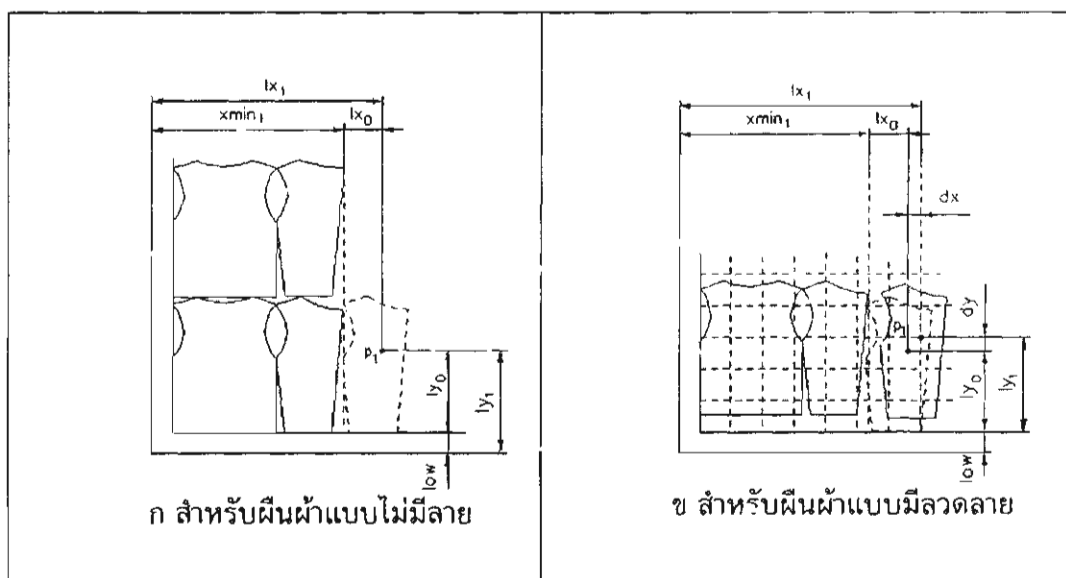
ผืนผ้าแบบมีลายตามแนวนอนและแนวตั้ง

$$lx_1 = xmin_1 + lx_0 + dx$$

$$lx_1 = xmin_1 + lx_0 + dx$$

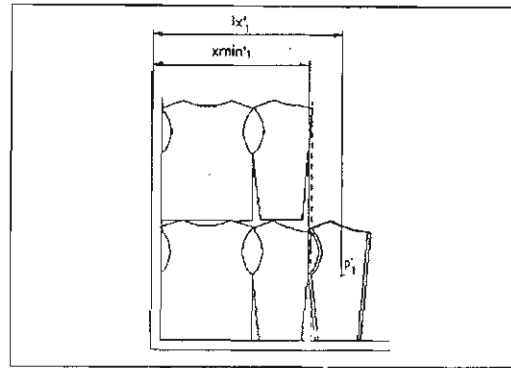
$$ly_1 = ly_0 + low$$

$$ly_1 = ly_0 + low + dy$$



ภาพที่ 3.11 แสดงระยะต่าง ๆ ตามลวดลายผืนผ้า

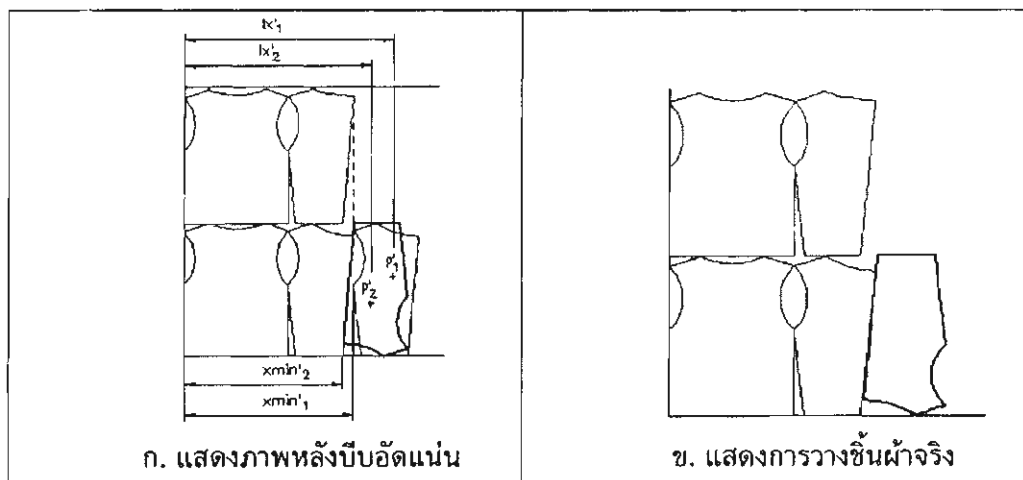
3. บีบอัดแน่นชิ้นผ้าไปทางด้านซ้าย หลังจากการบีบอัดแน่นชิ้นผ้าแล้ว ระยะน้อยสุดของชิ้นผ้าหลังจากการอัดแน่นชิ้นผ้าคือ $xmin'_1$ และระยะจุดวางผ้าในแนวนอน (p_1) จะขยับไปทางด้านซ้าย (p'_1) โดยระยะในแนวนอนของจุดวางผ้า (lx_1) จะเปลี่ยนไปเป็น lx'_1 ดังที่แสดงในภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 แสดงระยะหลังจากการบีบอัดแน่นชิ้นผ้า

4. ถ้าชิ้นผ้าสามารถหมุนได้ ให้เพิ่มมุมหมุนอีก 180 องศา แล้วกลับไปเริ่มต้นทำข้อ 2 ใหม่ ระยะน้อยสุดของชิ้นผ้าหลังจากการอัดแน่นชิ้นผ้าคือ $xmin'_2$ และระยะจุดวางผ้าในแนวนอนคือ lx'_2 ดังที่แสดงในภาพที่ 3-13ก

5. เลือกจุดตำแหน่งและมุมวางที่ชิ้นผ้าสามารถวางได้ชิดขอบซ้ายมากที่สุด ภาพที่ 3-13ก แสดงตัวอย่างเปรียบเทียบค่าที่ได้หลังจากการบีบอัดแน่นชิ้นผ้าซึ่งมีมุมวางผ้าที่แตกต่างกัน 180 องศา ซึ่งจุดตำแหน่ง p'_2 เป็นจุดที่มีมุมหมุน 180 องศาและมีระยะห่างจากขอบด้านซ้าย ($xmin'_2$) น้อยที่สุด ดังนั้นจุดตำแหน่งที่เลือกวางชิ้นผ้าคือ p'_2 และมีมุม 180 องศา ดังที่แสดงในภาพที่ 3-13ข



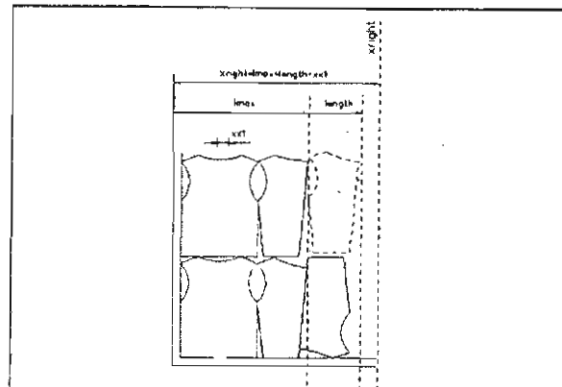
ภาพที่ 3-13 แสดงการวางชิ้นผ้าชิ้นแรกของแถว

3.2 การกำหนดขอบเขตและกำหนดจุดตำแหน่ง (x,y) ภายในผืนผ้าสำหรับการค้นหาตำแหน่งวางชิ้นผ้าอื่น ๆ ขั้นตอนในการทำงานมีดังนี้

3.2.1 หาขอบเขตขวา (xright) เพื่อใช้เป็นขอบเขตในการเรียกจุดตำแหน่งที่จะค้นหาโดยที่ขอบเขตขวา (xright) ซึ่งหาได้จาก $xright = lmax + length + xx1$ โดยที่ $lmax$ คือระยะใน

แนวนอนที่มากที่สุดของผ้าที่วางแล้วจากแถวล่าสุด และ $xx1$ คือระยะห่างระหว่างลายผ้าในแนวนอนดังที่แสดงในภาพที่ 3-14

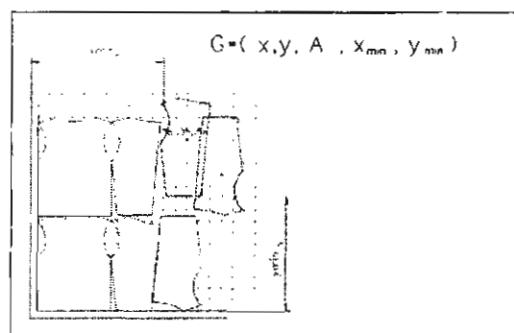
3.2.2 สร้างจุดตำแหน่งภายในพื้นที่ของผืนผ้าแต่ไม่เกินขอบเขตขวา ($xright$)



ภาพที่ 3-14 แสดงขอบเขตและจุดตำแหน่ง

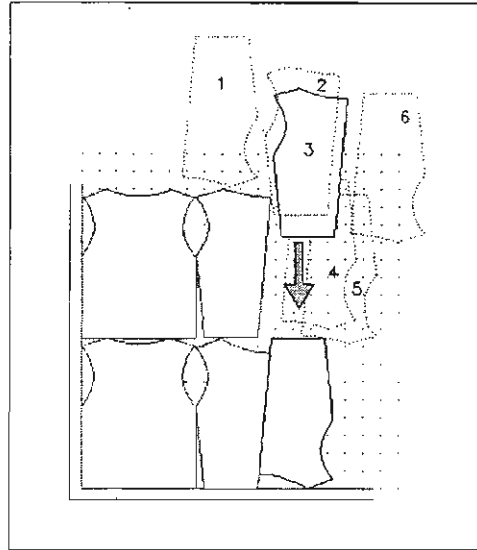
3.3 จากชิ้นผ้าชิ้นที่ 2 จนถึงชิ้นสุดท้าย ให้

3.3.1 ตรวจสอบหาจุดตำแหน่งในผืนผ้าที่ชิ้นผ้าไม่ทับกันของชิ้นผ้าที่กำลังพิจารณา และสร้างชุดข้อมูลสำหรับเก็บรายละเอียดที่จำเป็นของตำแหน่งและมุมที่ชิ้นผ้าสามารถวางได้ดังในภาพที่ 3-15 ชุดข้อมูลที่เก็บคือ $G=(x,y,A,x_{min},y_{min})$ โดยที่
 x,y คือ จุดตำแหน่งของผืนผ้าที่ชิ้นผ้าสามารถวางได้
 x_{min},y_{min} คือขอบซ้ายและขอบล่างที่คำนวณได้ของชิ้นผ้า
 A คือมุมวางชิ้นผ้า



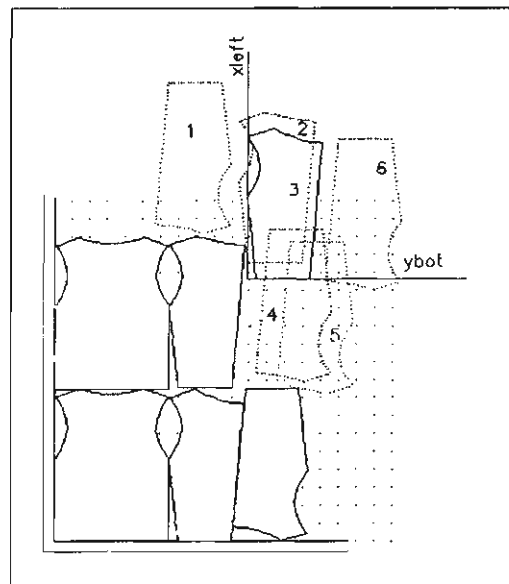
ภาพที่ 3-15 แสดงขอบเขตและจุดตำแหน่ง

3.3.2 จากทุกตำแหน่งใน G ให้กรองเอาตำแหน่งที่ชิ้นผ้าไม่สามารถเลื่อนมาชนกับชิ้นผ้าด้านล่างออก โดยการเรียกตำแหน่งและมุมจากค่า x_{min} ที่น้อยที่สุดก่อน จากนั้นเลื่อนชิ้นผ้าลงด้านล่าง ถ้าพบว่าชิ้นผ้าสามารถเลื่อนมาแตะกับชิ้นผ้าด้านล่างที่วางก่อนหน้านี้โดยที่ไม่ทับกับชิ้นอื่นๆแล้วจึงหยุดการเรียกตำแหน่งและมุมใน G ดังที่แสดงในภาพที่ 3-16



ภาพที่ 3-16 แสดงการเลื่อนลงจะหยุดที่ชุดข้อมูลอันดับที่ 3

3.3.3 นำค่า x_{min} และ y_{min} จากข้อมูลชุดสุดท้ายที่เรียกจากชุดข้อมูล G มา แล้วกำหนดให้ $x_{left} = x_{min}$, $y_{bot} = y_{min}$, $x_k = x$, $y_k = y$, $A_k = A$ ดังที่แสดงในภาพที่ 3-17

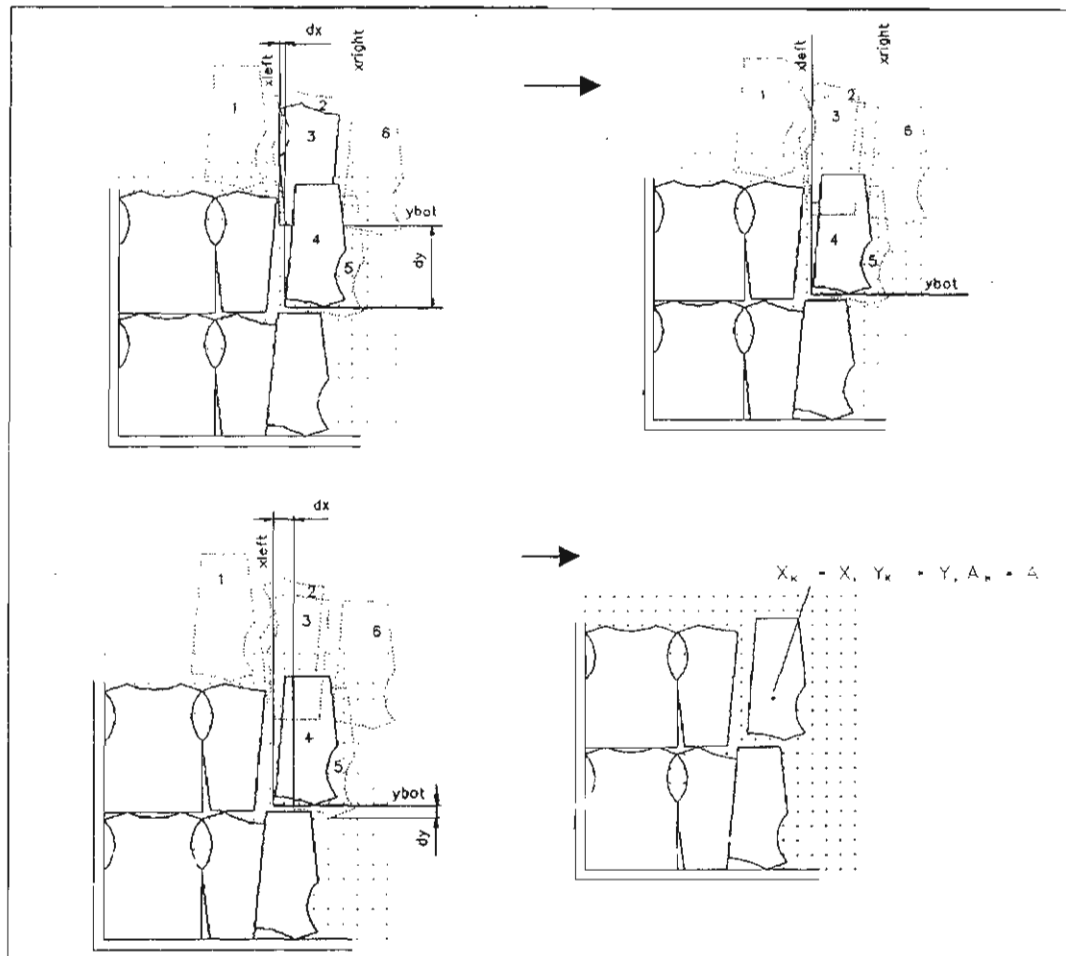


ภาพที่ 3-17 แสดงลำดับชิ้นผ้าที่ถูกเลือกเป็นขอบเขตหลัก

3.3.4 นำชุดข้อมูลใน G มา แล้วเรียกเฉพาะตำแหน่งที่ค่า x_{min} ที่มากกว่า x_{left} และค่า y_{min} น้อยกว่า y_{bot} มาพิจารณาที่ละชุดข้อมูลดังนี้

1. หาค่า $dy = y_{bot} - y_{min}$ และ $dx = x_{min} - x_{left}$

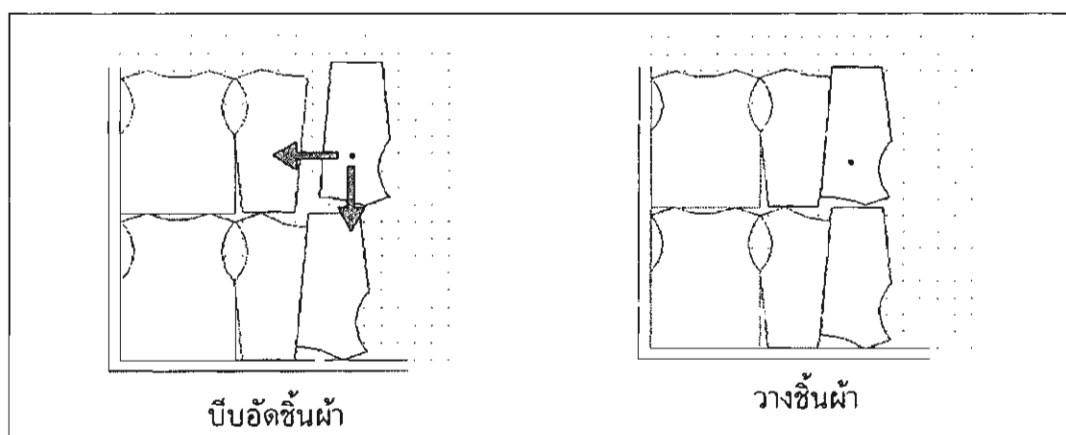
2. ถ้า $dy > dx$ แล้วกำหนดค่าขอบเขตใหม่คือ $x_{left} = x_{min}$, $y_{bot} = y_{min}$, $x_k = x$, $y_k = y$, $A_k = A$ ในตัวอย่างภาพที่ 3-18 เป็นการแสดงลำดับการเปลี่ยน x_{left} และ y_{bot}



ภาพที่ 3.18 แสดงการเปลี่ยนขอบเขตหลัก

3.3.5 นำตำแหน่ง (x_k, y_k) และมุม A_k ที่ได้ในตอนสุดท้ายมาเป็นตำแหน่งและมุมวางภาพ

3.3.6 บีบอัดชิ้นผ้า, วางชิ้นผ้า, ลบตำแหน่งจุดภายในชิ้นผ้าออกดังที่แสดงในภาพที่ 3-19 ซึ่งกระบวนการบีบอัดแน่นชิ้นผ้าจะกล่าวอธิบายถึงในขั้นตอนถัดไป

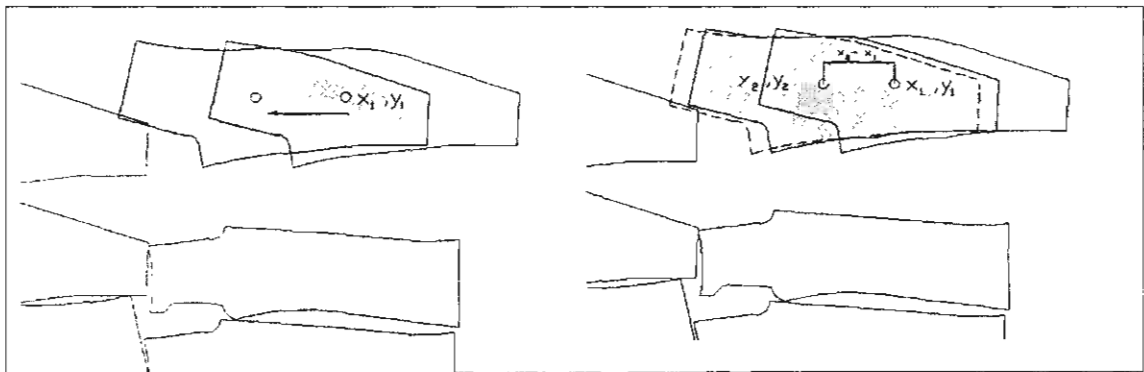


ภาพที่ 3-19 แสดงชิ้นผ้าที่วางจริง

3.4 การบีบอัดแน่นชิ้นผ้า หลังจากที่ได้ตำแหน่งและมุมวางภาพแล้วจะต้องนำมาผ่านขั้นตอนการบีบอัดแน่นชิ้นผ้าก่อนแล้วจึงนำไปจัดเรียงจริง ขั้นตอนการบีบอัดแน่นมีดังนี้

1. เก็บค่าตำแหน่งวางภาพ (x_1, y_1)

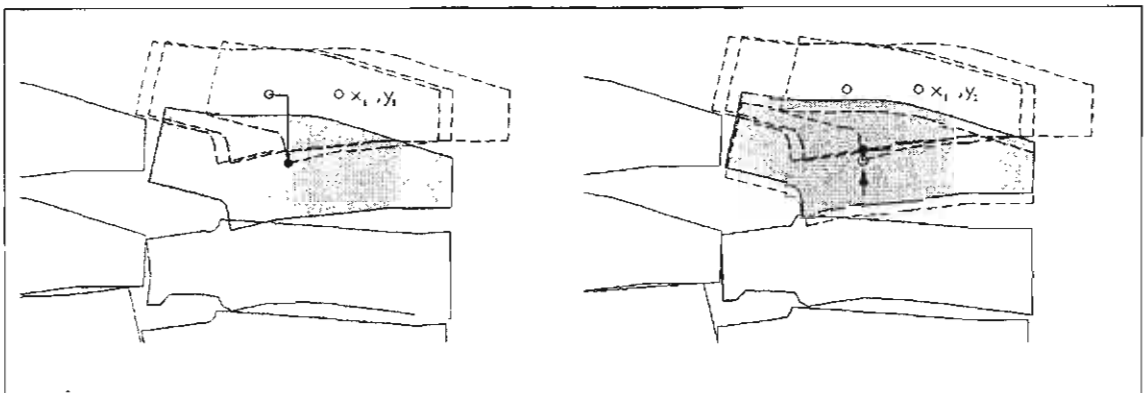
2. บีบอัดแน่นชิ้นผ้าไปทางด้านซ้ายโดยการเลื่อนละเอียดเท่ากับ 0.1 นิ้ว เมื่อเลื่อนไปที่ตำแหน่งใหม่ให้ตรวจสอบการทับกัน ถ้าพบว่าชิ้นผ้าทับกันให้หยุดการเลื่อนและให้ถอยกลับไปตำแหน่งก่อนหน้านี้ 1 ชั้น และที่ตำแหน่งนี้กำหนดให้เป็นตำแหน่งหลัก (x_2, y_2) ดังที่แสดงในภาพที่ 3-20ก



ภาพที่ 3-20ก แสดงการบีบอัดแน่นไปทางด้านซ้าย

3. เลื่อนชิ้นผ้าถอยกลับไปทางด้านขวาทีละช่วงเล็ก ๆ เท่ากับระยะที่ใช้ในการเลื่อนเพื่อบีบอัดชิ้นผ้าแต่ละระยะที่เลื่อนถอยกลับทั้งหมดจะมีค่าไม่เกิน $(x_1 - x_2)$

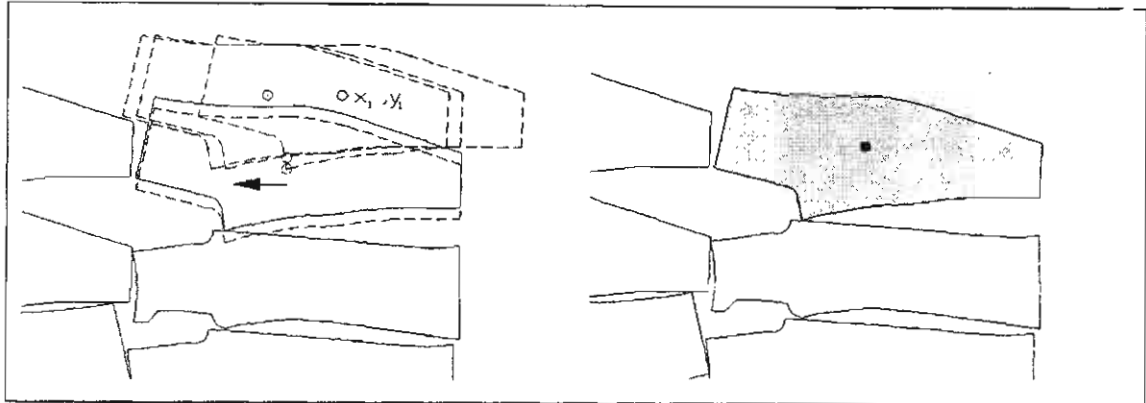
4. เลื่อนชิ้นผ้าลงด้านล่าง และตรวจสอบการทับกับ ถ้าพบว่ามีทับกันกับชิ้นผ้าอื่นหรือไม่สามารถแตะกับชิ้นผ้าด้านล่างได้ ให้เพิ่มระยะถอยกลับในแนวแกน x และเลื่อนลงอีก แต่ ถ้าพบว่ามีทับกันกับชิ้นผ้าด้านล่างได้ให้เลื่อนกลับขึ้นมา 1 ชั้น คือเมื่อพบว่าชิ้นผ้าสามารถแตะกับชิ้นผ้าด้านล่างได้โดยไม่ทับกับชิ้นผ้าอื่น ๆ แล้วนั้นแสดงว่าชิ้นผ้าสามารถวางได้ชิดกับชิ้นผ้าด้านล่างได้มากที่สุดและชิดซ้ายได้มากที่สุดด้วย ดังที่แสดงในภาพที่ 3-20ข



ภาพที่ 3-20ข แสดงบีบอัดแน่นชิ้นผ้าลงด้านล่าง

5. บีบอัดแน่นไปทางด้านซ้ายอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นผ้าสามารถวางได้ชิดซ้ายได้มากที่สุด ดังที่แสดงภาพที่ 3-20ค (ภาพด้านซ้าย)

6. นำตำแหน่งสุดท้ายที่ได้จากข้อ 5 มาจัดเรียง ดูภาพที่ 3-20ค (ภาพด้านขวา)



ภาพที่ 3-20ค แสดงการบีบอัดแน่นไปทางด้านซ้ายและการวางชิ้นผ้า

4. การวางชิ้นผ้าขนาดเล็ก ในการจัดเรียงชิ้นผ้าขนาดเล็กจะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือในขั้นตอนแรกจะเป็นการวางชิ้นผ้าแรกในช่องว่างจากการวางชิ้นผ้าขนาดใหญ่ และในขั้นตอนที่สองเป็นการจัดเรียงชิ้นผ้าขนาดเล็กที่ยังเหลืออยู่ที่ละแถวจนกว่าจะหมดชิ้นผ้าในตอนปลายของผืนผ้า

4.1 ลำดับการเรียกชิ้นผ้าขนาดเล็กจะเริ่มจากการ เรียกชิ้นผ้าที่มีความยาวในแนวแกน x ที่มากที่สุดมาจัดเรียงให้หมดก่อน

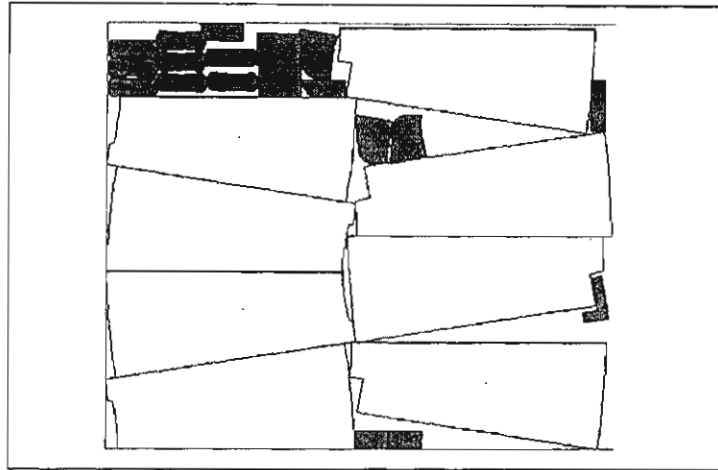
4.2 วางชิ้นผ้าขนาดเล็กโดยวางแทรกระหว่างช่องว่างของชิ้นผ้าขนาดใหญ่ที่ ได้วางแล้ว โดยการเรียกจุดตำแหน่งที่ยังเหลืออยู่มาค้นหาตำแหน่งและมุมวางชิ้นผ้า แต่ผ้าที่จัดเรียงจะต้องวางได้ไม่เกินความยาวมากที่สุดของผ้าขนาดใหญ่และถ้าพบว่ามีไม่สามารถจัดเรียงได้หรือชิ้นผ้าที่เรียกหมดแล้ว ก็ให้เรียกชิ้นผ้าอันดับต่อไปมาจัดเรียง ดังที่แสดงในภาพที่ 3-21 วิธีการจัดเรียงมีดังนี้

4.2.1 เรียกชิ้นผ้าที่มีขนาดความยาวในแนวแกน x ที่มากที่สุดมาจัดเรียง

4.2.2 กำหนดพื้นที่เป็นช่วง ๆ สำหรับค้นหาตำแหน่งการจัดเรียงโดยเริ่มต้นจากขอบซ้ายของผืนผ้า ในแต่ละช่วงของพื้นที่สำหรับค้นหาตำแหน่งการจัดเรียงมีความยาวในแนวแกน x เท่ากับความยาวของชิ้นผ้าที่พิจารณาและความสูงเท่ากับความกว้างใช้งานของผืนผ้า ถ้าไม่สามารถจัดวางได้ก็ให้เพิ่มพื้นที่ออกไปทางด้านขวาแต่ไม่เกินความยาวมากที่สุดของผืนผ้าจากการวางชิ้นผ้าขนาดใหญ่ จนกว่าจะพบตำแหน่งที่สามารถจัดวางได้หรือวางไม่ได้เลย สำหรับชิ้นผ้าที่เหมือนกันจะเริ่มต้นจากพื้นที่ล่าสุดจากการวางชิ้นผ้าชิ้นก่อน แต่ถ้าเป็นชิ้นผ้าที่ถูกเรียกมาใหม่ จะเริ่มต้นจากขอบซ้ายเสมอ

4.2.3 การเลือกตำแหน่งและมุมวางชิ้นผ้า เนื่องจากต้องการให้ชิ้นผ้าสามารถวางได้ชิดซ้ายมากที่สุดจึงเลือกตำแหน่งและมุมที่ทำให้ชิ้นผ้าวางได้ชิดซ้ายมากที่สุด

4.2.4 การอัดแน่นชิ้นผ้า จะใช้การอัดแน่น 2 ขั้นตอน คือในขั้นตอนแรกให้อัดแน่นไปทางด้านซ้ายโดยการเลื่อนละเอียดครั้งละ 0.1 นิ้ว จนกว่าชิ้นผ้าจะทับกันแล้วจึงเลื่อนกลับมายังตำแหน่งก่อนหน้านี้ จากนั้นจึงอัดแน่นชิ้นผ้าลงด้านล่างอีกครั้ง



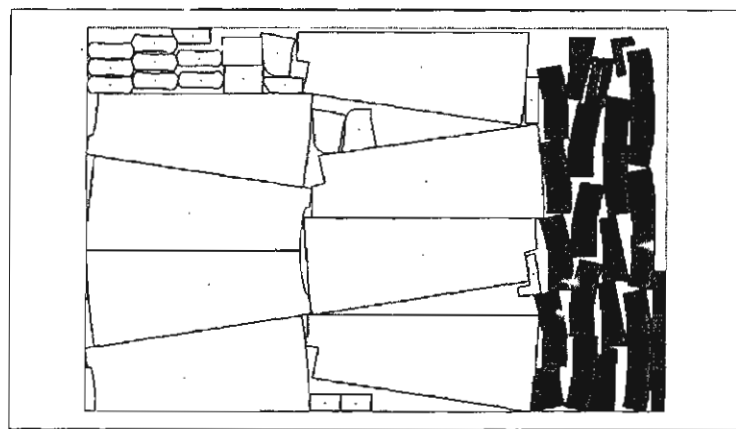
ภาพที่ 3-21 ตัวอย่างการจัดเรียงชิ้นผ้าขนาดเล็กโดยการวางแทรกลงในช่องว่าง

4.3 วางชิ้นผ้าให้เต็มความกว้างโดยการวางเป็นแถว เมื่อยังมีชิ้นผ้าขนาดเล็กเหลืออยู่หลังขั้นตอนที่ 4.2 ให้เรียกชิ้นผ้ามาจัดเรียงเป็นแถว คือจัดเรียงจากด้านล่างขึ้นด้านบนจนกว่าชิ้นผ้าจะหมด ดังที่แสดงในภาพที่ 3-22 วิธีการจัดเรียงมีดังนี้

4.3.1 เรียกผ้าขนาดเล็กที่มีขนาดความยาวในแนวแกน x ที่มากที่สุดมาจัดเรียงเป็นการจัดชั้นแรกของแถวและวิธีการจัดเรียงเหมือนกับการจัดเรียงชิ้นผ้าชั้นแรกของแถวของชิ้นผ้าขนาดใหญ่

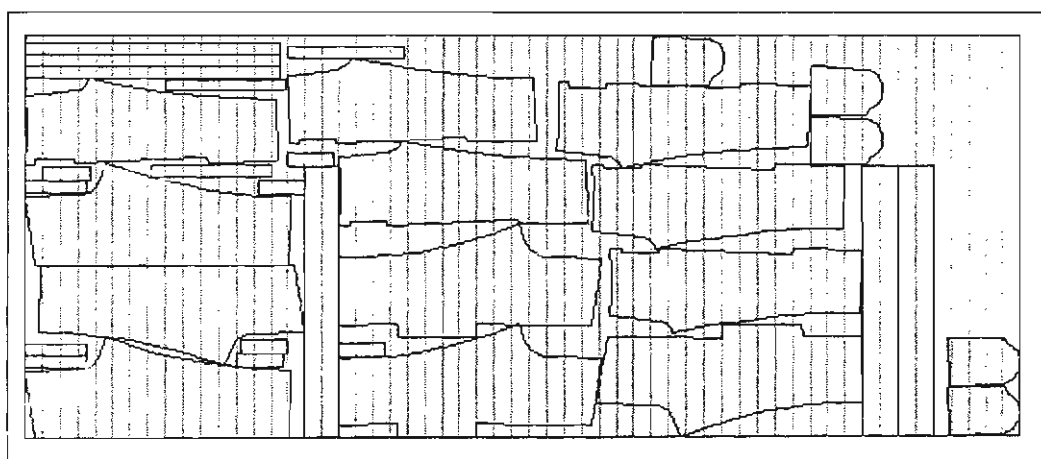
4.3.2 เรียกชิ้นผ้าที่เหลือมาจัดเรียงให้เต็มแถว แล้วจึงเริ่มทำข้อ 4.3.1 ใหม่จนกว่าชิ้นผ้าขนาดเล็กจะหมด และวิธีการเลือกตำแหน่งและมุมจะใช้วิธีเดียวกับการจัดเรียงชิ้นผ้าขนาดใหญ่

4.3.4 วิธีการอัดแน่นชิ้นผ้าเหมือนกับวิธีการอัดแน่นชิ้นผ้าขนาดใหญ่

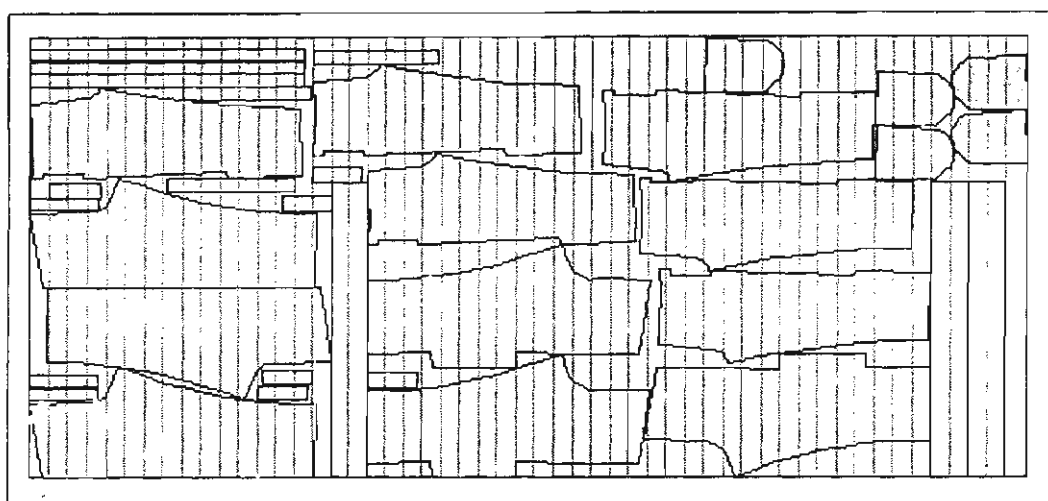


ภาพที่ 3-22 แสดงการจัดเรียงชิ้นผ้าขนาดเล็กโดยการจัดวางจากล่างขึ้นบน

4.4 ถ้าพบว่าการวางเพียงแถวเดียวและความสูงของชิ้นผ้าในแถวมีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความกว้างผืนผ้าดังที่แสดงในภาพที่ 3-23 ให้ถอยข้อมูลกลับไปทำการจัดเรียงแถวก่อนหน้านี้ ใช้วิธีการจัดแบบแทรกกับชิ้นผ้าที่เหลือและกำหนดให้ชิ้นผ้าสามารถวางได้เกินความยาวมากที่สุดจากการวางชิ้นผ้าขนาดใหญ่ ดังที่แสดงในภาพที่ 3-24



ภาพที่ 3-23 ตัวอย่างการจัดเรียงชิ้นผ้าขนาดเล็กในแถวสุดท้าย



ภาพที่ 3-24 ตัวอย่างการจัดเรียงชิ้นผ้าขนาดเล็กในแถวสุดท้ายเมื่อพบว่าความสูงในแถวสุดท้ายมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด

5. การคำนวณหาตำแหน่งรอบรูปชิ้นผ้า

เมื่อชิ้นผ้าถูกหมุนเป็นมุม θ องศา ทุกจุดตำแหน่งรอบรูปชิ้นผ้าเดิม x_i, y_i จะหมุนไปเท่ากับ x'_i, y'_i และเมื่อถูกย้ายไปที่จุดตำแหน่งใด ๆ บนผืนผ้า (x_R, y_R) ตำแหน่งทุกจุดรอบรูปชิ้นผ้าจะถูกเลื่อนไปในแนวนอนเท่ากับ x_R และในแนวตั้งเท่ากับ y_R ดังนั้นจุดตำแหน่งใหม่รอบรูปชิ้นผ้า คือ x''_i, y''_i ดังที่แสดงในภาพที่ 3-25

นิยามค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

θ = มุมหมุนชิ้นงาน

x_i, y_i = ค่าจุดตำแหน่งใด ๆ ของชิ้นผ้าที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง

x'_i, y'_i = ค่าจุดตำแหน่งใด ๆ ของชิ้นผ้าที่เปลี่ยนไปจากการหมุนเป็นมุม θ จากตำแหน่งเดิม

x''_i, y''_i = ค่าจุดตำแหน่งใด ๆ ของชิ้นผ้าที่เปลี่ยนไปจากการหมุนและเลื่อน

ω_i = มุมของจุดตำแหน่งใด ๆ รอบรูปชิ้นผ้า

เมื่อชิ้นผ้าถูกหมุนไปจากตำแหน่งเดิมเป็นมุม θ องศา ตำแหน่งจุดรอบรูปชิ้นผ้าเมื่อถูกหมุนไป

คือ x'_i, y'_i

$$x'_i = r_i \cos(\omega_i + \theta) = r_i \cos \omega_i \cos \theta - r_i \sin \omega_i \sin \theta$$

$$y'_i = r_i \sin(\omega_i + \theta) = r_i \sin \omega_i \cos \theta + r_i \cos \omega_i \sin \theta$$

แต่ $x_i = r_i \cos \omega_i$ และ $y_i = r_i \sin \omega_i$

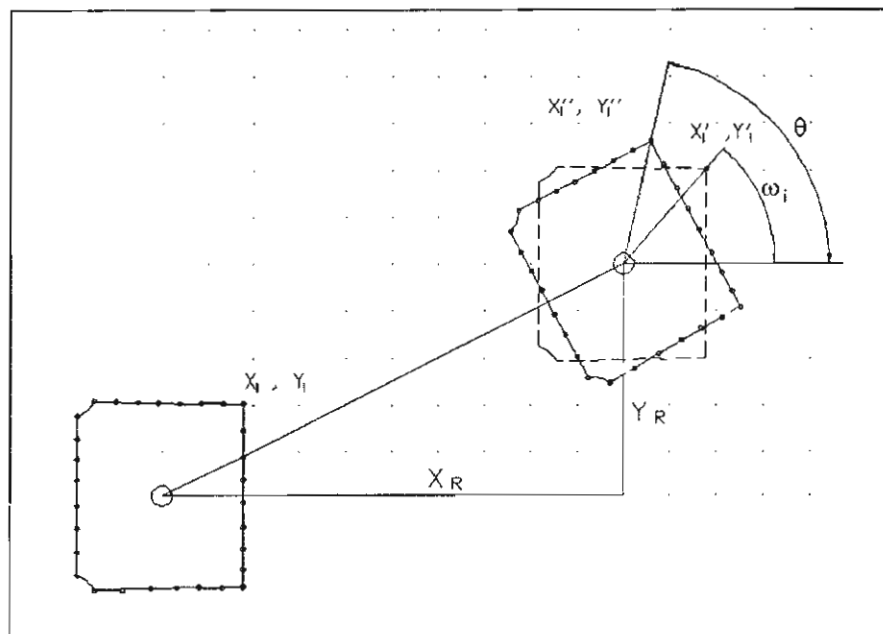
ดังนั้น $x'_i = x_i \cos \theta - y_i \sin \theta$

$$y'_i = y_i \cos \theta + x_i \sin \theta$$

เมื่อชิ้นงานเลื่อนไปที่ x_R, y_R ตำแหน่งจุดรอบรูปชิ้นผ้าเมื่อถูกเลื่อนไป คือ x''_i, y''_i

$$x''_i = x_R + (x'_i \cos \theta - y'_i \sin \theta)$$

$$y''_i = y_R + (y'_i \cos \theta + x'_i \sin \theta)$$



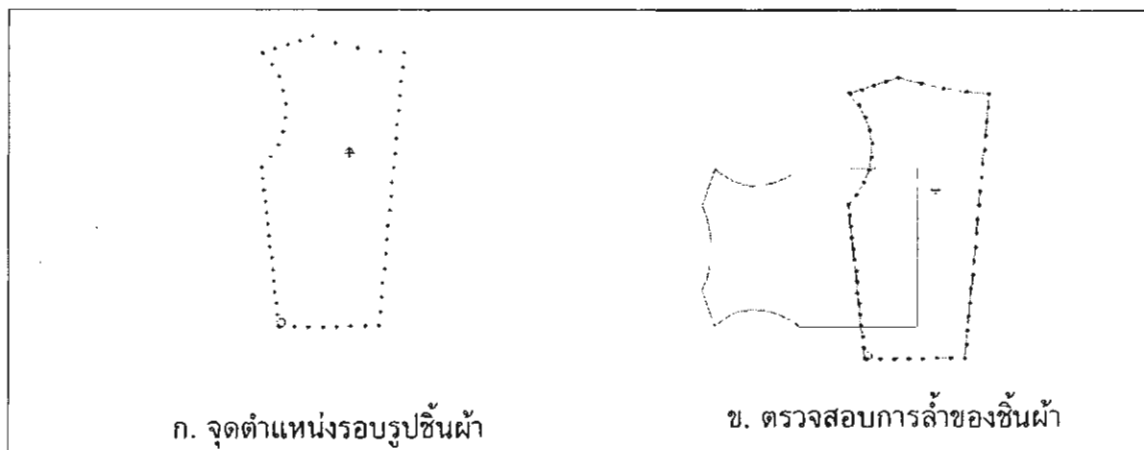
ภาพที่ 3-25 แสดงตำแหน่งรอบรูปชิ้นผ้าเมื่อมีการเลื่อนและหมุน

6. การตรวจสอบการทับกันของชิ้นผ้า วิธีการตรวจสอบการทับกันของชิ้นผ้ามีขั้นตอนการทำงานดังนี้

6.1 คำนวณหาจุดตำแหน่งรอบรูปชิ้นผ้าที่ถูกเลื่อนและหมุน

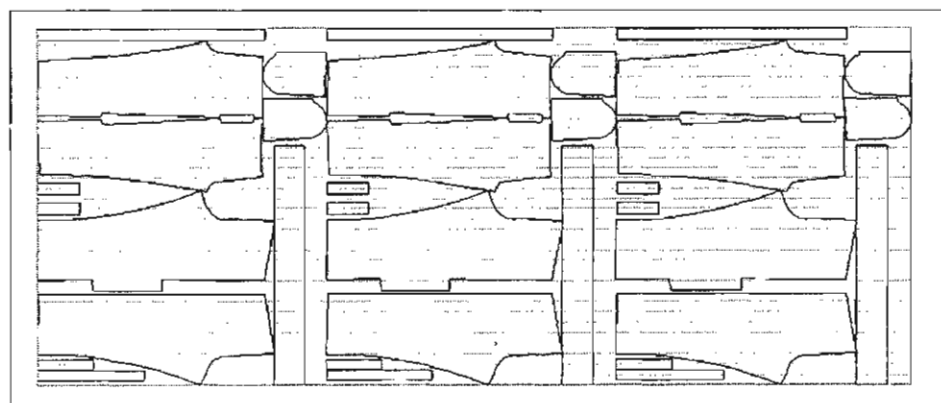
6.2 ใช้คำสั่งเลือกชิ้นผ้าซึ่งคำสั่งนี้จะสร้างขอบเขตจากจุดต่อเชื่อมกันของจุดตำแหน่งรอบรูปชิ้นผ้าที่ได้จากข้อ 6.1 และคำสั่งนี้จะเลือกเฉพาะชิ้นผ้าที่ผ่านเข้ามาในขอบเขตของจุดต่อเชื่อมที่เป็นรูปทรงปิดเท่านั้น ดังที่แสดงในภาพที่ 3-26ก

6.3 ถ้ามีชิ้นผ้าใดผ่านเข้าไปในขอบเขตที่ได้จากข้อ 6.2 หมายถึงที่ตำแหน่งนั้นเกิดการทับกันของชิ้นผ้า ที่แสดงในภาพที่ 3-26ข



ภาพที่ 3-26 การตรวจสอบการทับกันของชิ้นผ้า

7. การจัดแบบจำนวนน้อย เป็นวิธีการจัดเรียงชิ้นผ้าอีกวิธีหนึ่งโดยจะจัดเรียงชิ้นผ้าจำนวนน้อยที่สุดซึ่งโปรแกรมจะทำการตรวจสอบจำนวนชิ้นผ้าทั้งหมดแล้วหาจำนวนเต็มทีน้อยที่สุดที่สามารถหารจำนวนชิ้นที่ต้องการ (Q_i) ได้ลงตัวทั้งหมด จากนั้นจึงนำเอาค่าที่น้อยที่สุดนี้ไปหารกับชิ้นผ้าทั้งหมดจำนวนชิ้นผ้าที่ได้จากการหารนี้จะเป็นจำนวนชุดที่จะจัดเรียงจึงโปรแกรมจะทำการจัดเรียงชิ้นผ้าเพียง 1 ชุด จากนั้นจึงทำสำเนาชิ้นผ้าที่จัดเรียงแล้วอีกให้เป็นจำนวนเท่ากับจำนวนชุดที่ต้องการ ภาพที่ 3-27 เป็นตัวอย่างของการจัดเรียงแบบจำนวนน้อย



ภาพที่ 3-27 ตัวอย่างของการจัดจำนวนน้อย

บทที่ 4

ผลของการวิจัย

โปรแกรมการจัดเรียงอัตโนมัติที่สร้างขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้เรียกว่าโปรแกรมทดลอง โปรแกรมทดลองนี้สร้างด้วยภาษาออโตลิสป์ (AutoLISP) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมออโตแคด (AutoCAD) ผลของการจัดเรียงซึ่งแสดงด้วยประสิทธิภาพการการจัดเรียงและเวลาที่ใช้ในการจัดเรียง จะนำไปเปรียบเทียบกับการจัดเรียงโดยความชำนาญของคนซึ่งจัดเรียงโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดเรียงชิ้นผ้าโดยการลองเลื่อนและหมุนชิ้นผ้าจำลองจนกว่าจะได้ประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด และเปรียบเทียบกับโปรแกรมการจัดเรียงอัตโนมัติอื่น ๆ ซึ่งในที่นี้เรียกว่าโปรแกรม (ก) ในการศึกษาเปรียบเทียบผลของการจัดเรียงจะศึกษาจาก

1. การกำหนดจุดอ้างอิงบนชิ้นผ้าที่แตกต่างกันไม่เกิน 3 จุดตำแหน่ง เนื่องจากจุดอ้างอิงเป็นส่วนที่ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องเป็นผู้กำหนดเองและไม่แน่นอน ซึ่งจุดอ้างอิงที่ 1 จะมีตำแหน่งอยู่ตรงกลางชิ้นผ้า จุดอ้างอิงที่ 2 อยู่ที่ตรงกลางขอบฐานของชิ้นผ้า และจุดอ้างอิงที่ 3 จะอยู่ที่จุดล่างซ้ายของชิ้นผ้า

2. กำหนดระยะเลื่อน 1 นิ้ว 2 นิ้ว และ 3 นิ้ว เนื่องจากระยะเลื่อนเป็นระยะที่ผู้ใช้โปรแกรมเป็นผู้กำหนดเองดังนั้นเราจะศึกษาหาผลการจัดเรียงจากระยะเลื่อนที่ต่างกันไม่เกิน 3 ค่า

3. การจัดเรียงแบบจัดจำนวนน้อยซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่อยู่ในโปรแกรมทดลองดังนั้นจะนำวิธีนี้มาศึกษาผลของการจัดเรียง การจัดเรียงแบบจำนวนน้อยเป็นการจัดเรียงจำนวนที่น้อยที่สุดแล้วจึงวางชิ้นผ้าทั้งหมดที่ได้จากการจัดเรียงมาวางต่อกันและจัดวางซ้ำในแนวความยาวของผืนผ้าให้ได้เท่ากับจำนวนที่ระบุไว้

ผืนผ้าที่ใช้ในการจัดเรียงมี 4 แบบ คือ 1. แบบไม่ลวดลาย 2. แบบมีลายตามแนวนอน 3. แบบมีลายตามแนวตั้ง และ 4. แบบมีลายตามแนวนอนและแนวตั้ง แต่ละแบบมีตัวอย่างการจัดเรียง 9 ตัวอย่าง รวมทั้งหมดเป็น 36 ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างเหล่านี้ได้มาจากการจัดเรียงจริงจากโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปจำนวน 3 โรงงานที่เข้าร่วมโครงการวิจัยนี้ ในบางกรณีศึกษาของผืนผ้าแบบมีลวดลายอาจไม่มีผลการจัดเรียงจากโรงงานมาเปรียบเทียบเพราะโรงงานส่วนใหญ่นิยมผลิตเสื้อซึ่งไม่มีลวดลาย สำหรับกระโปรงและกางเกงแบบมีลวดลายนั้นไม่นิยมผลิต และบางโรงงานที่ได้เข้าร่วมโครงการไม่เคยผลิตกระโปรงเลย ภาพผลของการจัดเรียงอยู่ใน ภาคผนวก ก

เปรียบเทียบผลการจัดเรียงกับความชำนาญของคนและโปรแกรม (ก)

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการจัดเรียงเปรียบเทียบกับความชำนาญของคนและโปรแกรม (ก) ในกรณีผืนผ้าแบบไม่มีลวดลาย

กรณีศึกษา	โปรแกรมทดลอง		คน		โปรแกรม (ก)	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาที)
1	77.67	7.23	81.8	73	76.8	0.15
2	67.87	3.24	81.3	38	68.0	0.8
3	75.96	4.52	82.2	38	77.2	0.2
4	82.22	1.84	87.5	15	83.1	0.30
5	81.02	1.30	82.2	15	60.8	0.32
6	76.59	16.29	80.94	60	76.27	3.55
7	76.55	3.2	82.2	47	74.40	1.55
8	84.27	6.24	91.62	120	76.67	3.4
9	72.29	7.95	81.83	60	72.11	3.55

การจัดเรียงโดยความชำนาญของคนมีค่าสูงสุดในทุกกรณีศึกษา โปรแกรมการทดลองมีประสิทธิภาพการจัดเรียงใกล้เคียงกับโปรแกรม (ก) ยกเว้นกรณีศึกษาที่ 5 ที่โปรแกรมทดลองมีประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงกว่าโปรแกรม (ก) มาก โปรแกรมทดลองใช้เวลาในการจัดเรียงน้อยกว่าคนมากและใช้เวลาในการจัดเรียงมากกว่าโปรแกรม (ก)

ตารางที่ 4-2 แสดงผลการจัดเรียงเปรียบเทียบกับความชำนาญของคนในกรณีของผืนผ้าแบบมี
ลวดลายตามแนวนอน

กรณีศึกษา	โปรแกรมทดลอง		คนหรือโปรแกรม (ก)	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพ(%)	เวลา (นาที)
10	*72.43	2.03	68.1	36
11	66.88	1.35	67.5	25
12	*69.71	1.57	47.93	20
13	76.33	1.65	82.20	18
14	57.83	3.01	63.80	30
15	75.16	0.37	77.54	15
16	76.72	3.89	74.98	4.17
17	71.90	11.15	59.72	4.33
18	*74.07	6.17	72.16	38

โปรแกรมทดลองมีประสิทธิภาพการจัดเรียงมากกว่าการจัดเรียงโดยคนเป็นจำนวน 3 ใน 7
กรณีศึกษา และกรณีศึกษาที่ 11 ประสิทธิภาพการจัดเรียงมีค่าเกือบเท่ากัน โปรแกรมทดลองใช้
เวลาในการจัดเรียงน้อยกว่าการจัดเรียงโดยความชำนาญของคน

ตารางที่ 4-3 แสดงผลการจัดเรียงเปรียบเทียบกับความชำนาญของคนและโปรแกรมในกรณี
ของผืนผ้าแบบมีลวดลายตามแนวตั้ง

กรณีศึกษา	โปรแกรมทดลอง		คนหรือโปรแกรม (ก)	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพ(%)	เวลา (นาที)
19	*67.02	1.72	52.75	23
20	*68.61	0.72	53.98	18
21	*69.67	1.30	53.42	23
22	*80.79	1.26	80.5	15
23	*77.61	5.66	70.6	35
24	69.08	9.42	65.30	11.58
25	*70.05	1.47	68.76	22
26	*67.69	4.68	64.01	18
27	75.66	2.38	71.61	1.41

โปรแกรมทดลองมีประสิทธิภาพการจัดเรียงมากกว่าการจัดเรียงโดยความชำนาญของคนในทุกกรณีศึกษา และใช้เวลาในการจัดเรียงน้อยกว่าการจัดเรียงโดยความชำนาญของคน

ตารางที่ 4-4 แสดงผลการจัดเรียงเปรียบเทียบกับความชำนาญของคนในกรณีของผืนผ้าแบบมีลวดลายตามแนวนอนและแนวตั้ง

กรณีศึกษา	โปรแกรมทดลอง		คน	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาที)
28	*61.20	0.67	48.22	18
29	*69.50	0.93	52.81	20
30	*63.41	0.48	58.26	19
31	81.17	1.61	85	15
32	*79.10	7.97	71.8	30
33	63.37	2.44	84.58	45
34	72.51	2.12	74.77	90
35	66.93	4.23	80.12	120
36	60.26	2.42	78.53	120

โปรแกรมทดลอง 4 ใน 9 กรณีศึกษาที่ประสิทธิภาพการจัดเรียงมากกว่าการจัดเรียงโดยความชำนาญของคน และโปรแกรมทดลองใช้เวลาในการจัดเรียงน้อยกว่าการจัดเรียงโดยความชำนาญของคน สำหรับกรณีที่ 28, 29, และ 30 มุมหมุนหาตำแหน่งการวางภาพเท่ากับ 90 องศา ดังนั้นการวางภาพของคนกับโปรแกรมทดลองจึงมีทิศทางต่างกัน

เปรียบเทียบผลการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองที่ระยะเลือนต่างกัน

ตารางที่ 4-5 แสดงผลการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองที่ระยะเลือนต่างกันในกรณีผืนผ้าแบบไม่มีลวดลาย

กรณีศึกษา	ระยะเลือน 1 นิ้ว		ระยะเลือน 2 นิ้ว		ระยะเลือน 3 นิ้ว	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาทื)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาทื)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาทื)
1	77.67	7.23	*77.71	2.71	75.60	2.07
2	67.87	3.24	67.87	1.15	67.87	0.79
3	75.96	4.52	75.96	1.42	75.96	0.92
4	82.22	1.84	82.00	0.92	*83.1	0.70
5	*81.02	1.30	60.17	0.92	61.58	0.66
6	76.59	16.29	*77.14	4.84	71.30	3.61
7	*76.55	3.2	76.48	1.44	75.94	1.19
8	*84.27	6.24	82.48	2.55	79.78	2.03
9	72.29	7.95	72.29	3.42	72.29	1.77

จากกรณีศึกษา 3 ใน 9 ที่ระยะเลือนทั้ง 3 มีประสิทธิภาพการจัดเรียงเท่ากัน และ 3 ใน 9 กรณีศึกษาที่ ระยะเลือน 1 นิ้วมีประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด ระยะเลือน 2 นิ้วมีประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด 2 กรณีศึกษา ระยะเลือน 1 นิ้วใช้เวลาในการจัดเรียงมากที่สุดรองลงมาคือ 2 นิ้ว และ 3 นิ้วตามลำดับ ดังนั้นที่ระยะเลือน 1 นิ้วเป็นระยะที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการจัดเรียงมากที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 4-6 แสดงผลการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองที่ระยะเลื่อนต่างกันในกรณีพื้นผ้าแบบมี
ลวดลายตามแนวนอน

กรณี ศึกษา	ระยะเลื่อน 1 นิ้ว		ระยะเลื่อน 2 นิ้ว		ระยะเลื่อน 3 นิ้ว	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท.)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท.)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท.)
10	*72.43	2.03	71.90	1.27	71.90	0.97
11	*66.88	1.35	*66.88	0.81	*66.88	0.67
12	*69.71	1.57	69.10	0.95	*69.74	0.73
13	*76.33	1.65	76.25	1.18	*76.33	0.83
14	*57.83	3.01	57.10	2.31	57.47	1.85
15	*75.16	0.37	*75.16	0.23	*75.16	0.21
16	*76.72	3.89	66.70	3.69	75.83	2.06
17	*71.90	11.15	68.75	14.75	68.89	17.69
18	74.07	6.17	73.84	3.87	*75.02	2.71

ประสิทธิภาพการจัดเรียงของระยะเลื่อนทั้ง 3 ขนาดมีค่าเท่ากันหรือเกือบเท่ากันถึง 5 ใน 9 กรณีศึกษา และระยะเลื่อน 1 นิ้วมีประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด 3 ใน 9 กรณีศึกษา ระยะเลื่อน 1 นิ้วใช้เวลาในการจัดเรียงมากที่สุด รองลงมาคือระยะเลื่อน 2 นิ้ว และ 3 นิ้วตามลำดับ ยกเว้นในกรณีที่ศึกษาที่ 17 ที่ระยะเลื่อน 1 นิ้วใช้เวลาในการจัดเรียงน้อยที่สุด ดังนั้นที่ระยะเลื่อน 1 นิ้วเป็นระยะที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการจัดเรียงมากที่สุดเช่นกัน

ตารางที่ 4-7 แสดงผลการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองที่ระยะเลือนต่างกันในกรณีผืนผ้าแบบมี
ลวดลายตามแนวตั้ง

กรณี ศึกษา	ระยะเลือน 1 นิ้ว		ระยะเลือน 2 นิ้ว		ระยะเลือน 3 นิ้ว	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาทึ)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาทึ)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาทึ)
19	*67.02	1.72	63.46	1.18	60.13	1.00
20	68.61	0.72	*65.91	0.41	63.74	0.40
21	*69.67	1.30	*69.67	0.81	*69.67	0.75
22	*80.79	1.26	80.22	0.89	67.51	0.86
23	*77.61	5.66	75.95	3.74	74.79	3.04
24	*69.08	9.42	*69.08	4.66	67.87	3.40
25	*70.05	1.47	69.5	0.95	69.5	0.67
26	*67.69	4.68	*67.69	3.44	*67.69	2.56
27	*75.66	2.38	*75.54	1.60	*75.54	1.24

ระยะเลือน 1 นิ้วมีประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุดถึง 6 ใน 9 กรณีศึกษา ที่เหลือมีค่าเท่ากัน
หรือเกือบเท่ากัน เนื่องจากชิ้นผ้าไม่สามารถบีบอัดแน่นในแนวนอนเพื่อลดความยาวของผืนผ้าได้
ดังนั้นที่ระยะเลือน 1 นิ้ว จะมีประสิทธิภาพการจัดเรียงดีที่สุด ระยะเลือน 1 นิ้วใช้เวลาในการจัด
เรียงมากที่สุด รองลงมาคือระยะเลือน 2 นิ้ว และ 3 นิ้ว ตามลำดับ ยกเว้นในกรณีศึกษาที่ 23 ที่
ระยะเลือน 1 นิ้วใช้เวลาในการจัดเรียงน้อยที่สุด

เปรียบเทียบผลการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองที่จุดอ้างอิงต่างกัน

ตารางที่ 4-8 แสดงผลการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองที่จุดอ้างอิงต่างกันในกรณีชิ้นผ้าแบบไม่มี
ลวดลาย

กรณี ศึกษา	จุดอ้างอิงที่ 1		จุดอ้างอิงที่ 2		จุดอ้างอิงที่ 3	
	ประสิทธิภาพ	เวลา	ประสิทธิภาพ	เวลา	ประสิทธิภาพ	เวลา
	(%)	(นาท)	(%)	(นาท)	(%)	(นาท)
1	77.67	7.23	76.58	6.93	*77.77	8.02
2	67.87	3.24	*67.9	4.19	*67.9	5.59
3	75.96	4.52	75.94	4.06	*76.76	3.99
4	82.22	1.84	83.08	1.71	*83.29	2.10
5	*81.02	1.30	79.16	1.26	79.39	0.97
6	76.59	16.29	77.11	14.79	*77.35	17.09
7	76.55	3.2	76.72	2.69	*76.73	1.61
8	84.27	6.24	*84.40	5.61	83.55	5.82
9	*72.29	7.95	72.28	6.39	72.28	6.12

ประสิทธิภาพการจัดเรียงของจุดอ้างอิงทั้ง 3 มีค่าแตกต่างกันไม่มาก แต่จุดอ้างอิงที่ 3 มีค่าประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด 6 ใน 9 กรณีศึกษา จุดอ้างอิงที่ 1 มีค่าประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด 2 ใน 9 กรณีศึกษา และจุดอ้างอิงที่ 2 มีค่าประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด 2 ใน 9 กรณีศึกษา เวลาในการจัดเรียงของจุดอ้างอิงที่ 1 มีค่ามากที่สุด 5 ใน 9 กรณีศึกษา และจุดอ้างอิงที่ 3 ใช้เวลาในการจัดเรียงมากที่สุด 4 ใน 9 กรณีศึกษา พิจารณาโดยรวมแล้วจุดอ้างอิงที่ 3 เป็นจุดอ้างอิงที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4-9 แสดงผลการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองที่จุดอ้างอิงต่างกันในกรณีผืนผ้าแบบมี
ลวดลายตามแนวนอน

กรณี ศึกษา	จุดอ้างอิงที่ 1		จุดอ้างอิงที่ 2		จุดอ้างอิงที่ 3	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท.)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท.)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท.)
10	72.43	2.03	72.71	1.43	*72.96	1.64
11	66.88	1.35	*67.52	1.03	67.34	1.39
12	69.71	1.57	69.19	0.94	*70.27	1.37
13	*76.33	1.65	76.14	0.92	76.30	2.20
14	57.83	3.01	57.83	3.24	57.83	3.74
15	75.16	0.37	61.38	0.26	*75.51	0.37
16	*76.72	3.89	75.90	4.47	73.79	4.64
17	*71.90	11.15	69.55	15.04	66.88	11.56
18	*74.07	6.17	73.99	8.40	73.84	5.45

จุดอ้างอิงที่ 1 มีค่าประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด 4 ใน 9 กรณีศึกษา จุดอ้างอิงที่ 2 มี
ค่าประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด 1 ใน 9 กรณีศึกษา จุดอ้างอิงที่ 3 มีค่าประสิทธิภาพการจัด
เรียงสูงสุด 3 ใน 9 กรณีศึกษา เวลาในการจัดเรียงของจุดอ้างอิงที่ 1 น้อยที่สุด 2 กรณีศึกษาและ
มากที่สุด 2 กรณีศึกษา จุดอ้างอิงที่ 2 ใช้เวลาในการจัดเรียงมากที่สุด 2 กรณีศึกษา และน้อยที่สุด
4 กรณีศึกษา และจุดอ้างอิงที่ 3 ใช้เวลาในการจัดเรียงสูงสุด 5 กรณีศึกษา และน้อยที่สุด 1
กรณีศึกษา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า จุดอ้างอิงที่ 3 เป็นจุดอ้างอิงที่ดีที่สุด และใช้เวลาในการจัดเรียงมาก

ตารางที่ 4-10 แสดงผลการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองที่จุดอ้างอิงต่างกันในกรณีพื้นผ้าแบบมี
ลวดลายตามแนวตั้ง

กรณี ศึกษา	จุดอ้างอิงที่ 1		จุดอ้างอิงที่ 2		จุดอ้างอิงที่ 3	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท.)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท.)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท.)
19	67.02	1.72	65.17	1.81	*67.38	1.58
20	*68.61	0.72	62.92	0.64	63.65	0.62
21	69.67	1.30	*70.52	1.44	68.23	1.93
22	80.79	1.26	80.78	1.40	*81.18	1.47
23	*77.61	5.66	72.16	6.38	72.16	5.81
24	*69.08	9.42	67.61	7.68	67.59	7.29
25	*70.05	1.47	*70.05	1.56	69.51	1.68
27	*75.66	2.38	71.04	1.93	70.94	2.17

จุดอ้างอิงที่ 1 มีประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุดถึง 5 ใน 8 กรณีศึกษา จุดอ้างอิงที่ 2 และ
จุดอ้างอิงที่ 3 มีประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุดอย่างละ 2 กรณีศึกษา จุดอ้างอิงที่ 1 ใช้กับเวลาใน
การจัดเรียงมากที่สุด 3 ใน 8 กรณีศึกษาและใช้เวลาในการจัดเรียงน้อยที่สุด 4 ใน 8 กรณีศึกษา
จุดอ้างอิงที่ 3 ใช้เวลาใช้การจัดเรียงมากที่สุดและน้อยที่สุด 3 ใน 8 กรณีศึกษา ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า
จุดอ้างอิงที่ 1 เป็นจุดอ้างอิงที่ดีที่สุดในการจัดเรียง และเวลาที่ใช้ในการจัดเรียงของจุดอ้างอิงทั้ง 3
มีค่าที่แตกต่างกันไม่มาก

ตารางที่ 4-11 แสดงผลการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองที่จุดอ้างอิงต่างกันในกรณีผืนผ้าแบบมี
ลวดลายตามแนวนอนและแนวตั้ง

กรณี ศึกษา	จุดอ้างอิงที่ 1		จุดอ้างอิงที่ 2		จุดอ้างอิงที่ 3	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท)	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาท)
28	*61.20	0.67	57.70	4.60	59.67	4.90
29	69.50	0.93	69.50	0.93	*71.64	0.50
30	63.41	0.48	*65.82	0.52	61.23	0.49
31	*81.17	1.61	*81.17	1.75	*81.17	0.86
32	79.10	7.97	*79.63	6.12	*79.63	6.98
33	63.37	2.44	*73.76	1.48	72.83	2.58
34	*72.51	2.12	68.51	2.12	68.61	2.45
35	*66.93	4.23	63.65	4.32	64.73	4.36
36	*69.26	2.42	68.11	1.25	67.77	1.65

จุดอ้างอิงที่ 1 มีประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด 5 ใน 9 กรณีศึกษา รองลงมาคือจุดอ้างอิง
ที่ 2 โดยมีประสิทธิภาพการจัดเรียงสูงสุด 4 กรณีศึกษา และจุดอ้างอิงที่ 3 มีประสิทธิภาพการจัด
เรียงสูงสุด 3 กรณีศึกษา เวลาที่ใช้ในการจัดเรียงของจุดอ้างอิงที่ 2 มากที่สุด 3 ใน 9 กรณีศึกษา
และน้อยที่สุด 5 ใน 9 กรณีศึกษา จุดอ้างอิงที่ 1 ใช้เวลาในการจัดเรียงมากที่สุด 4 ใน 9 กรณี
ศึกษาและน้อยที่สุด 5 ใน 9 กรณีศึกษา ดังนั้นจุดอ้างอิงที่ 1 เป็นจุดอ้างอิงที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4-12 แสดงผลการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองแบบจัดจำนวนน้อย

กรณีศึกษา	จัดปกติ		จัดจำนวนน้อย	
	ประสิทธิภาพ (%)	เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพ(%)	เวลา (นาที)
1	77.67	7.23	67.04	0.75
2	67.87	3.24	57.45	1.03
3	75.96	4.52	71.73	0.41
4	82.22	1.84	75.05	1.10
6	77.35	17.09	61.02	4.93
7	76.73	1.61	74.43	1.26
8	84.40	5.61	80.11	2.26
9	72.29	7.95	54.51	3.85
13	76.30	2.20	75.05	0.32
15	75.16	0.37	50.51	0.10
18	74.07	6.17	73.86	2.07
22	81.18	1.47	73.83	0.52
25	70.05	1.56	69.05	0.53
27	75.66	2.38	67.11	0.59
29	71.64	0.50	69.61	0.42
30	65.82	0.52	54.37	0.17
31	81.17	0.86	73.88	0.42

ประสิทธิภาพการจัดเรียงแบบจำนวนจัดน้อยมีค่าน้อยกว่าการจัดเรียงแบบปกติมาก แต่
เวลาในการจัดเรียงก็ลดลงมากเช่นกัน

สรุปผลการทดลอง

กรณีผ้าพื้น

- โปรแกรมทดลองทำงานได้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับโปรแกรม (ก) แต่ด้อยกว่าคนในทุกกรณี ประสิทธิภาพการจัดเรียงจะน้อยกว่าคนในช่วง 1-14%
- เวลาที่ใช้ในการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองจะเร็วกว่าคนแต่ช้ากว่าโปรแกรม (ก)

กรณีผ้าที่มีลวดลายตามแนวนอน

- โปรแกรมทดลองทำงานได้ประสิทธิภาพดีกว่าคนเป็นส่วนใหญ่ (5 ใน 8 กรณี) ประสิทธิภาพการจัดเรียงดีกว่าคนในช่วง - 6.75 ถึง 21%
- เวลาที่ใช้ในการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองส่วนใหญ่จะเร็วกว่าคนหรือโปรแกรม (ก)

กรณีผ้าที่มีลวดลายตามแนวตั้ง

- โปรแกรมทดลองทำงานได้ประสิทธิภาพดีกว่าคนเกือบทุกกรณี ประสิทธิภาพการจัดเรียงดีกว่าคนในช่วง 0.25 ถึง 17%
- เวลาที่ใช้ในการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองจะเร็วกว่าคนหรือโปรแกรม (ก)

กรณีผ้าที่มีลวดลายตามแนวนอนและแนวตั้ง

- โปรแกรมทดลองทำงานได้ประสิทธิภาพดีกว่าคนเป็นส่วนใหญ่ (4 ใน 8 กรณี) ประสิทธิภาพการจัดเรียงดีกว่าคนในช่วง -13 ถึง 16%
- เวลาที่ใช้ในการจัดเรียงของโปรแกรมทดลองเร็วกว่าคน

การใช้ระยะละเอียดที่มีค่าน้อย (1 นิ้ว) มักจะให้ผลการจัดเรียงที่ดีกว่าการใช้ระยะละเอียดที่มีค่ามาก แต่ก็ใช้เวลาในการจัดเรียงมากขึ้นด้วย

การใช้จุดอ้างอิงที่ 1 (ตรงกลางชิ้นผ้า) และจุดอ้างอิงที่ 3 (จุดล่างซ้าย) ให้ผลการจัดเรียงดีกว่าการใช้จุดอ้างอิงที่ 2 (กลางขอบฐานของชิ้นผ้า)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองพบว่าในการจัดเรียงลงบนผืนผ้าแบบไม่มีสวดลายคนจะให้ประสิทธิภาพการจัดเรียงดีกว่าโปรแกรมการทดลอง และโปรแกรม (ก) มีประสิทธิภาพการจัดเรียงใกล้เคียงกับโปรแกรมทดลอง เวลาในการจัดเรียงโดยโปรแกรมทดลองเร็วกว่าการจัดเรียงโดยคนและเป็นเวลาที่ยอมรับได้ และในกรณีที่ชิ้นผ้าแบบมีสวดลายโดยเฉพาะแบบมีลายเส้นในแนวตั้งโปรแกรมทดลองทำงานได้ดีกว่าการทำงานโดยคน

โปรแกรมทดลองเป็นโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้เขียนด้วยโปรแกรมภาษาอโตลิสพ (AutoLISP) ที่ทำงานบนโปรแกรมอโตแคด (AutoCAD) ซึ่งสามารถพัฒนาอัลกอริทึมในการจัดเรียงให้ดีขึ้นต่อไปได้ การสร้างชิ้นงานยังสามารถสร้างโดยใช้โปรแกรมอโตแคด (AutoCAD) หรือการถ่ายขนาดชิ้นงานจริงจากภายนอกเข้าสู่โปรแกรมการจัดเรียงได้ ไม่ยาก นอกจากนี้โปรแกรมทดลองยังสามารถใช้การจัดเรียงงานในลักษณะอื่นๆ ได้โดยมิได้จำกัดแต่เพียงแค่เฉพาะงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปเท่านั้น โดยสามารถจัดเรียงงานที่มีลักษณะการจัดเรียงแบบ 2 มิติ และความยาวของวัตถุบิดไม่แน่นอน แต่ปริมาณงานที่จะจัดคงที่ และผู้ใช้โปรแกรมสามารถประเมินค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อวัตถุดิบก่อนล่วงหน้าได้

ปัญหาอย่างหนึ่งของโปรแกรมทดลองก็คือ อาจเกิดความผิดพลาดในการนำชิ้นงานเข้าโปรแกรมและถ้าการจัดเรียงมีเป็นจำนวนมากๆ โดยที่มีชิ้นผ้าขนาดเล็กเป็นจำนวนมากและมีความหลากหลายของชิ้นผ้าขนาดเล็กมากด้วย อาจต้องใช้เวลาในการจัดเรียงมากเพราะมีพื้นที่ในการตรวจค้นมากโดยเฉพาะเมื่อระยะเลื่อนมีค่าน้อย

สรุปผลการวิจัย

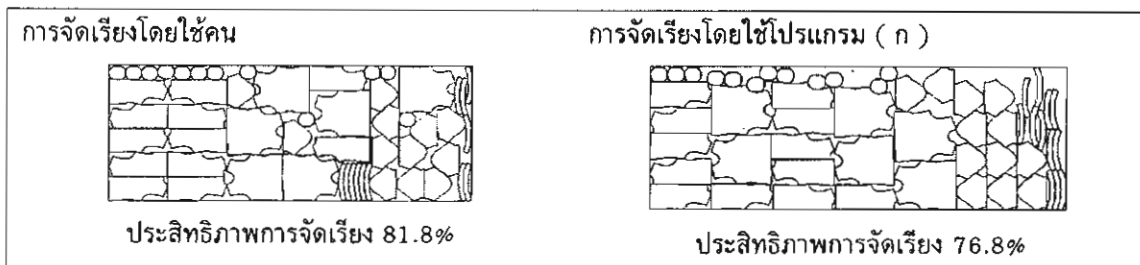
1. ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นทำงานได้ดีพอสมควรใกล้เคียงกับซอฟต์แวร์ที่มีใช้อยู่แพร่หลาย แต่ยังทำงานได้ไม่ดีเท่าเทียมกับคนโดยเฉพาะในกรณีที่ชิ้นผ้าพื้น
2. จุดเด่นของซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นจะอยู่ตรงที่ใช้กับผ้าที่มีสวดลายได้ดี ใช้เวลาในการจัดเรียงน้อย ผู้ใช้โปรแกรมสามารถปรับแก้การจัดเรียงได้อีก และง่ายแก่การเก็บข้อมูลไว้ใช้
3. องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากการวิจัยนี้คือ วิธีจัดเรียงโดยการสร้างแถวชิ้นผ้าโดยใช้ nonlinear integer optimization วิธีการกำหนดจุดเริ่มต้นในการจัดวางชิ้นผ้า การจัดการกับสวดลายผ้าและข้อกำหนดการจัดเรียง

ข้อเสนอแนะ

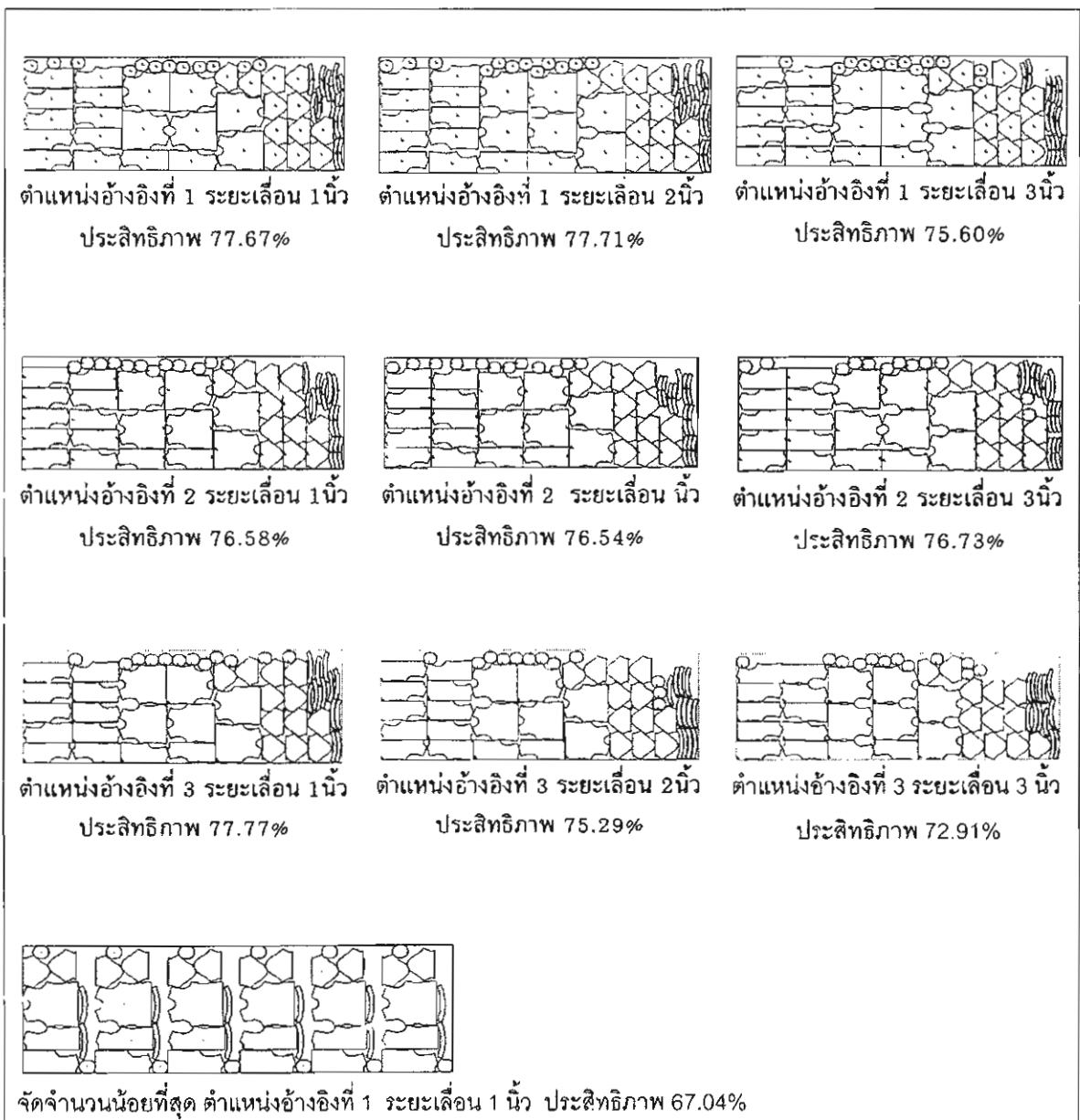
1. ผู้ใช้โปรแกรมสามารถสร้างแบบมาตรฐานของชิ้นผ้าได้ โดยใช้โปรแกรมภาษาออโตลิส (AutoLISP) เพื่อความสะดวกในการสร้างชิ้นผ้าและลดความผิดพลาดในการนำชิ้นผ้าเข้าโปรแกรม
2. หลังจากการจัดเรียงอัตโนมัติผู้ใช้โปรแกรมสามารถปรับเลื่อนชิ้นผ้าเองได้แต่จะไม่สามารถตรวจสอบการทับกันของชิ้นผ้าได้และไม่สามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการจัดเรียงที่เปลี่ยนไปได้ แต่ผู้ใช้โปรแกรมต้องมีความชำนาญในการใช้โปรแกรมออโต แคด (AutoCAD) จึงจะสามารถตรวจสอบการทับกันของชิ้นผ้าได้
3. การจัดแบบจำนวนน้อยสามารถลดปัญหาของสีผ้าที่ไม่สม่ำเสมอและลดปัญหาของลายผ้าที่ไม่เท่ากันได้ แต่การจัดแบบนี้ประสิทธิภาพการจัดเรียงไม่ดีนักและไม่เหมาะกับชิ้นผ้าที่มีความหลากหลายน้อย เช่นการผสมชิ้นผ้าของขนาดเล็กและขนาดใหญ่เข้าด้วยกันจะได้ผลดีกว่าการจัดขนาดเดียว ดังนั้นถ้ามีการพัฒนาการจัดเรียงในส่วนนี้ก็จะทำให้สามารถแก้ปัญหาตรงส่วนนี้ได้ เช่นหลังจากการจัดเรียงปกติถ้าพบว่าประสิทธิภาพการจัดเรียงเป็นที่น่าสนใจก็สามารถสั่งให้จัดเรียงเพิ่มได้โดยการใช้ผลการจัดเรียงเดิม
4. ในกรณีของผ้าลาย โปรแกรมนี้ใช้กับลายผ้าที่เท่ากันเท่านั้น ดังนั้นถ้ามีการพัฒนาโดยสามารถใช้กับลายผ้าที่ไม่เท่ากันได้ ก็จะทำให้สามารถใช้งานได้มากขึ้น
5. การสร้างแถวชิ้นผ้าที่สามารถขยายตัวในแนวแกน x ได้
6. การกำหนดดัชนีบ่งบอกความซับซ้อนของกลุ่มชิ้นผ้า
7. การค้นหารูปแบบการผสมชุดตามคำสั่งการผลิตเพื่อให้ใช้ผืนผ้าได้ประสิทธิภาพสูงสุด

ภาคผนวก ก.
ภาพผลการจัดเรียง

กรณีศึกษาที่ 1 : การจัดเรียงแบบที่ 1

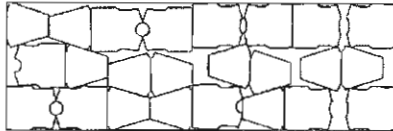


การจัดเรียงโดยใช้โปรแกรมทดลอง



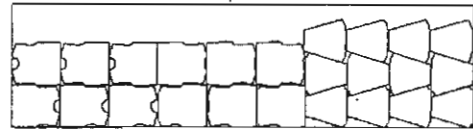
กรณีศึกษาที่ 2 : การจัดเรียงแบบที่ 2

การจัดเรียงโดยใช้คน



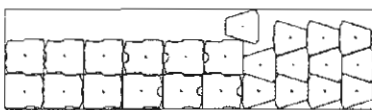
ประสิทธิภาพ 81.3%

การจัดเรียงโดยใช้โปรแกรม (ก)

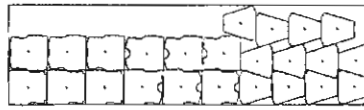


ประสิทธิภาพ 68.0%

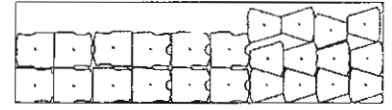
การจัดเรียงโดยโปรแกรมทดลอง



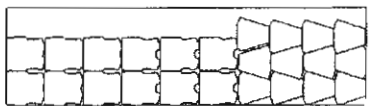
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว
ประสิทธิภาพ 67.87%



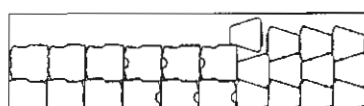
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 2 นิ้ว
ประสิทธิภาพ 67.87%



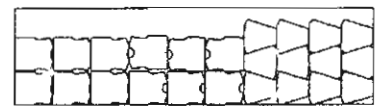
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 3 นิ้ว
ประสิทธิภาพ 67.87%



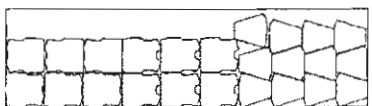
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 2 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว
ประสิทธิภาพ 67.9%



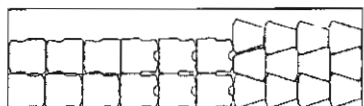
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 2 ระยะเลื่อน 2 นิ้ว
ประสิทธิภาพ 67.83%



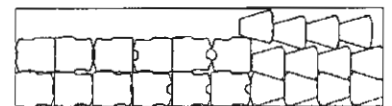
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 2 ระยะเลื่อน 3 นิ้ว
ประสิทธิภาพ 67.96%



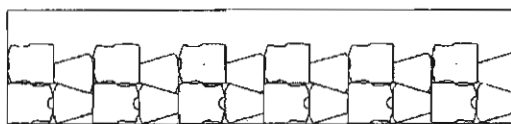
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 3 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว
ประสิทธิภาพ 67.90%



ตำแหน่งอ้างอิงที่ 3 ระยะเลื่อน 2 นิ้ว
ประสิทธิภาพ 67.92%



ตำแหน่งอ้างอิงที่ 3 ระยะเลื่อน 3 นิ้ว
ประสิทธิภาพการจัดเรียง 67.95%

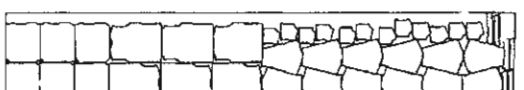


จัดจำนวนน้อยที่สุดตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว ประสิทธิภาพ 57.45%

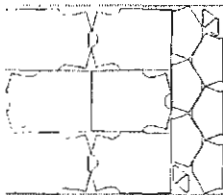
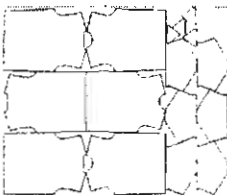
กรณีศึกษาที่ 3: การจัดเรียงแบบที่ 3

จัดเรียงโดยใช้คน	จัดเรียงโดยใช้โปรแกรม (ก)
	
ประสิทธิภาพการจัดเรียง 82.2%	ประสิทธิภาพการจัดเรียง 77.2%

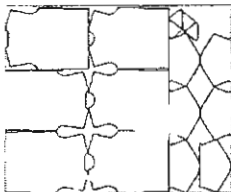
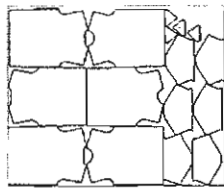
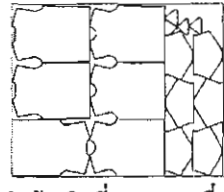
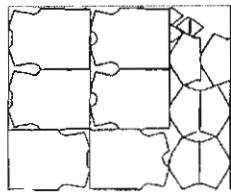
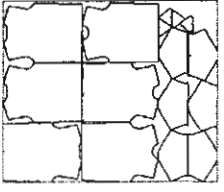
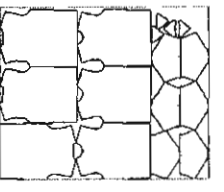
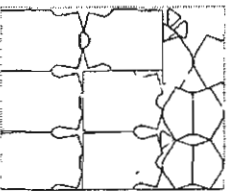
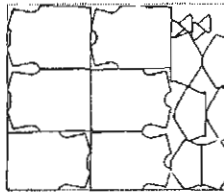
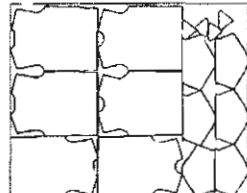
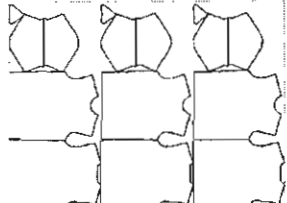
จัดเรียงโดยโปรแกรมทดลอง

	
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว ประสิทธิภาพ 75.96%	ตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 2 นิ้ว ประสิทธิภาพ 75.96%
	
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 3 นิ้ว ประสิทธิภาพ 75.96%	ตำแหน่งอ้างอิงที่ 2 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว ประสิทธิภาพ 75.94%
	
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 2 ระยะเลื่อน 2 นิ้ว ประสิทธิภาพ 75.91%	ตำแหน่งอ้างอิงที่ 2 ระยะเลื่อน 3 นิ้ว ประสิทธิภาพ 75.91%
	
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 3 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว ประสิทธิภาพ 76.76%	ตำแหน่งอ้างอิงที่ 3 ระยะเลื่อน 2 นิ้ว ประสิทธิภาพ 75.52%
	
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 3 ระยะเลื่อน 3 นิ้ว ประสิทธิภาพ 75.94%	จัดจำนวนน้อยที่สุดตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว ประสิทธิภาพ 71.73%

กรณีศึกษาที่ 4: การจัดเรียงแบบที่ 4

การจัดเรียงโดยใช้คน	การจัดเรียงโดยใช้โปรแกรม (ก)
	
ประสิทธิภาพการจัดเรียง 87.5%	ประสิทธิภาพการจัดเรียง 83.1%

การจัดเรียงโดยโปรแกรมทดลอง

		
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว ประสิทธิภาพ 82.22%	ตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 2 นิ้ว ประสิทธิภาพ 82.00%	ตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 3 นิ้ว ประสิทธิภาพ 83.10%
		
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 2 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว ประสิทธิภาพ 83.08%	ตำแหน่งอ้างอิงที่ 2 ระยะเลื่อน 2 นิ้ว ประสิทธิภาพ 83.22%	ตำแหน่งอ้างอิงที่ 2 ระยะเลื่อน 3 นิ้ว ประสิทธิภาพ 82.95%
		
ตำแหน่งอ้างอิงที่ 3 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว ประสิทธิภาพ 83.29%	ตำแหน่งอ้างอิงที่ 3 ระยะเลื่อน 2 นิ้ว ประสิทธิภาพ 81.80%	ตำแหน่งอ้างอิงที่ 3 ระยะเลื่อน 3 นิ้ว ประสิทธิภาพ 83.24%
	จัดจำนวนน้อยที่สุดตำแหน่งอ้างอิงที่ 1 ระยะเลื่อน 1 นิ้ว ประสิทธิภาพ 75.05%	