

การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างเพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่
ของเครื่องมือในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

นายธนากร เป้าทอง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2555

**AN IDENTIFICATION OF CONTOUR RELATIONSHIP
FOR TOOL PATH PLANING OF RAPID PROTOTYPING
PROCESS**

Thanakharn Baothtong

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างเพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ ของเครื่องมือในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ปภากร พิทยชาวล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.พรศิริ จงกล)

กรรมการ

(อ. ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ธนากร เบ้าทอง : การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างเพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (AN IDENTIFICATION OF CONTOUR RELATIONSHIP FOR TOOL PATH PLANNING OF RAPID PROTOTYPING PROCESS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยवाल, 111 หน้า.

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype technology, RP) หรือกรรมวิธีการขึ้นรูปแบบชั้น (Layered Manufacturing, LM) คือกระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบ แบบชั้นต่อชั้น (Layer by layer) โดยตรงจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นชั้น ๆ (Slicing) ในระนาบ (Plane) ที่กำหนดขึ้น จากนั้นแต่ละชั้นของแบบจำลองจะถูกสกัด (Extract) เป็นเส้นโครงร่าง (Contours) ซึ่งข้อมูลจำนวนของเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นอาจมีหลายเส้น ทำให้เกิดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือการสร้างต้นแบบรวดเร็วได้หลากหลายเช่นกัน การวิจัยนี้นำเสนอวิธีการระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง (Contour Identification) ในแต่ละชั้นแบบจำลอง โดยประยุกต์ใช้แนวคิด Parent and Child ข้อมูลความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างถูกนำมาใช้เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งสามารถแบ่งเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็วได้เป็น 2 ส่วนคือ 1. เส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือในการสร้างต้นแบบทำงาน (Operating Time) และ 2. เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือในการสร้างต้นแบบไม่ได้ทำงาน (Non-Operating Time) วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก (Heuristic) ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยมุ่งหวังลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งส่งผลให้ระยะเวลาการสร้างต้นแบบรวดเร็วลดลง

THANAKHARN BAOTHTONG : AN IDENTIFICATION OF CONTOUR
RELATIONSHIP FOR TOOL PATH PLANNING OF RAPID PROTOTYPING
PROCESS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PHAPAKORN PITAYACHAVAL,
Ph.D., 111 PP.

RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGY/CONTOUR IDENTIFICATION/TOOL
PATH PLANNING/TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

Rapid Prototype technology (RP) or Laminated Manufacturing (LM) is a fabrication process of prototype created layer-by-layer directly from a 3D CAD model. After slicing plane is assigned on CAD model, layer contours are extracted for each layer. Since there are several contours on each layer, these also allow many possible solutions for tool path planning. This research presents an identification of contour relationship algorithm for tool path planning of rapid prototyping construction by applying parent-and-child concept. A relationship of sliced contours is defined, then information according to contours relationship is used to planning tool path of rapid prototyping. A tool path for one layer of RP consists of two types: moving on contours (operating time) and moving between contours (non-operating time). Heuristic method has been applied to generate possible tool paths in order to minimize distance of tool travelling to all contours.

School of Industrial Engineering

Academic Year 2012

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างดียิ่งจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยชวล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้โอกาสทางการศึกษาและให้คำแนะนำในด้านต่าง ๆ คอยดูแลด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี และให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในการดำเนินการวิจัยจนสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ รวมทั้งยังช่วยตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล และท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย ที่ได้กรุณาให้การอบรมสั่งสอน ให้ข้อคิดและคำแนะนำต่าง ๆ ทั้งด้านการศึกษาและการดำเนินชีวิต

ขอกราบขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์ ที่ให้การอบรมสั่งสอนทางวิชาการ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอน ให้ความรู้ทั้งในด้านวิชาการ ความคิด ศิลธรรมจรรยา ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินชีวิตได้ในทางที่ถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาและทำวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้ความรักและความทุ่มเทในการอุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ปลูกฝังให้รักในการศึกษา ให้ความเชื่อมั่นและความไว้วางใจ ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีและเป็นแรงผลักดันจนทำให้ประสบผลสำเร็จในชีวิต

ธนากร เป้าทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	7
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	7
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	8
1.5 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	8
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 กรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว.....	9
2.1.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบของเหลว (Liquid-based Rapid Prototyping).....	9
2.1.2 การต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบผง (Power-based Rapid Prototyping).....	11
2.1.3 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบของแข็ง (Solid-based Rapid Prototyping).....	12
2.2 วิธีการสร้างแบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรม CAD.....	14
2.2.1 แบบจำลองแบบโครงลวด (Wireframe Modeling).....	14
2.2.2 แบบจำลองผิว (Surface Modeling).....	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.3	แบบจำลองของแข็ง (Solid Modeling).....	15
2.3	ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem).....	16
2.4	วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก Nearest Neighbor.....	17
2.5	การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
3	การดำเนินการวิจัย.....	25
3.1	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	25
3.2	การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง.....	27
3.3	การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว.....	29
3.3.1	การกำหนดจุดพักของเส้นโครงร่าง ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....	30
3.3.2	การกำหนดจุดพักของเส้นโครงร่าง ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....	33
3.3.3	วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor.....	36
4	ผลการทดสอบ.....	38
4.1	กรณีศึกษาที่ 1.....	38
4.2	กรณีศึกษาที่ 2.....	44
4.3	กรณีศึกษาที่ 3.....	51
4.4	กรณีศึกษาที่ 4.....	56
5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	60
5.1.1	การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง.....	60
5.1.2	การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ในการสร้างต้นแบบ.....	60
5.2	ประโยชน์ของงานวิจัย.....	61
5.3	ข้อเสนอแนะในงานวิจัย.....	62

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB.....	66
ภาคผนวก ข. โปรแกรม MATLAB.....	75
ภาคผนวก ค. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	87
ประวัติผู้เขียน.....	111



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง.....	32
3.2 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง.....	34
4.1 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง.....	41
4.2 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....	41
4.3 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....	42
4.4 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง.....	46
4.5 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....	49
4.6 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....	50
4.7 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง.....	52
4.8 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....	53
4.9 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....	53
4.10 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง.....	57
4.11 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....	58
4.12 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....	58
5.1 แสดงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ.....	61
ก.1 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง.....	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.2 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....	71
ก.3 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....	72



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์.....	1
1.2	ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบ (RP Process).....	3
1.3	เส้นโครงร่างที่เกิดขึ้นใน 1 ชั้น.....	4
1.4	ความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง.....	5
1.5	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ.....	6
1.6	การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ.....	7
2.1	การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Stereo Lithograph Apparatus.....	10
2.2	การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Solid Ground Curing.....	10
2.3	การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Selective Laser Sintering.....	11
2.4	การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี 3D Printing.....	12
2.5	การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Laminated Object Manufacturing.....	13
2.6	การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Fused Deposition Modeling.....	13
2.7	รูปแบบจำลองโครงลวด.....	14
2.8	แบบจำลองผิว.....	15
2.9	การสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Boolean Operation.....	15
2.10	แบบจำลอง Boundary Representation.....	16
2.11	ผิวชิ้นงานระหว่างไฟล์ CAD และไฟล์ STL.....	19
2.12	การแบ่งชั้นแบบจำลอง.....	20
2.13	การกำหนดทิศการวางชิ้นงาน.....	21
2.14	การสร้างฐานรองรับชิ้นงาน.....	22
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	26
3.2	ขั้นตอนการพิจารณา Parent and Child.....	28
3.3	เส้นโครงร่างของชิ้นแบบจำลอง.....	29
3.4	ความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง.....	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5	การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง
	ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....31
3.6	ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง.....31
3.7	การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง
	ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour34
3.8	ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง.....35
3.9	การจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ.....37
4.1	แบบจำลองชิ้นงาน.....38
4.2	ชั้นแบบจำลอง.....39
4.3	ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง.....39
4.4	เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง.....40
4.5	ความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง.....41
4.6	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด
	ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....43
4.7	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด
	ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....43
4.8	แบบจำลองชิ้นงาน.....44
4.9	ชั้นแบบจำลอง.....44
4.10	ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง.....45
4.11	เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง.....45
4.12	ความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง.....46
4.13	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด
	ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....47
4.14	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด
	ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....48

สารบัญรูป (ต่อ)

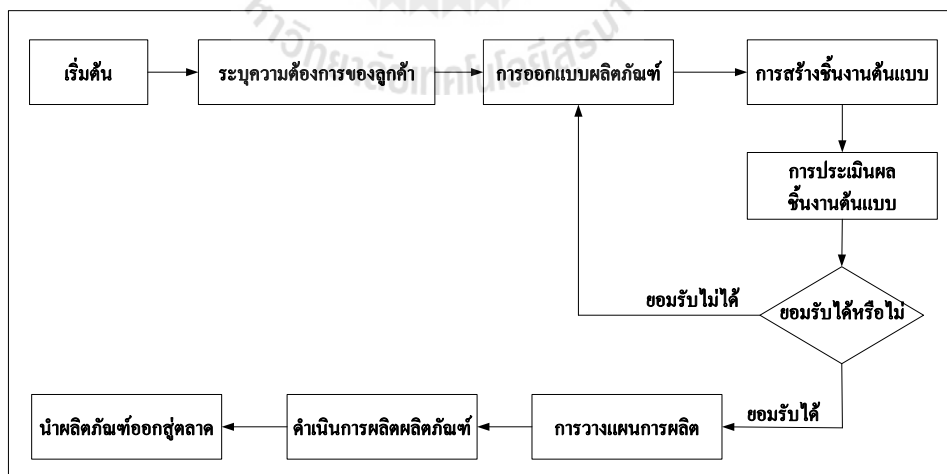
รูปที่	หน้า
4.15	ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง.....51
4.16	เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง.....51
4.17	ความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง.....52
4.18	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....54
4.19	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....55
4.20	ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง.....56
4.21	เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง.....56
4.22	ความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง.....59
4.23	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....59
4.24	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....59
ก.1	ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง.....67
ก.2	หน้าจอแสดงผลภาพขาว – ดำ.....68
ก.3	หน้าจอแสดงผลเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง.....68
ก.4	หน้าจอแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง.....69
ก.5	ระดับชั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง.....69
ก.6	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position.....73
ก.7	เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour.....74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product Design and Development) เป็นกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพเพื่อตอบสนองต่อความต้องการลูกค้า กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่หรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์จากเดิมที่มีอยู่แล้ว การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ เริ่มจากการสำรวจความต้องการของลูกค้าเพื่อระบุความต้องการที่สำคัญของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์ เมื่อทราบข้อมูลความต้องการของลูกค้าที่ชัดเจนแล้ว นำเอาข้อมูลดังกล่าวมาทำการออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์ หรืออาจจะเป็นการปรับปรุงการออกแบบของผลิตภัณฑ์เดิม ข้อมูลของการออกแบบผลิตภัณฑ์จะถูกนำมาสร้างเป็นชิ้นงานต้นแบบ จากนั้นนำชิ้นงานต้นแบบที่ได้มาทำการทดสอบหน้าที่การใช้งานก่อนที่จะผลิตจริง ถ้าชิ้นงานต้นแบบเป็นที่ยอมรับได้และไม่มีการแก้ไข จึงนำรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกแบบไว้มาทำการวางแผนการผลิต (Production Planning) เพื่อนำผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1.1



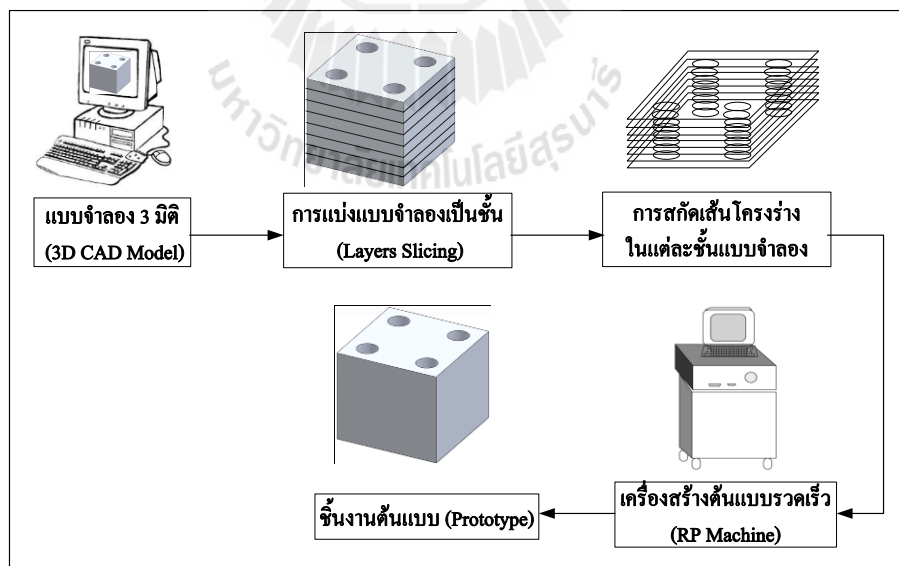
รูปที่ 1.1 กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

ในกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้นขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบถือว่ามี ความสำคัญต่อการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่เชื่อมโยงระหว่าง แนวความคิดของนักออกแบบออกมาเป็นชิ้นงานจริง วัตถุประสงค์ของการสร้างชิ้นงานต้นแบบ มิใช่เพียงแค่การสร้างผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบให้เป็นชิ้นงานจริงเท่านั้น แต่ยังสามารถนำเอาชิ้นงาน ต้นแบบมาทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์ ซึ่ง ใน บางครั้งการปรับเปลี่ยนรูปแบบลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์อาจเกิดขึ้นหลายครั้งในระหว่าง การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในอดีตมีวิธีการสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีการแบบเก่า (Conventional Prototyping) ยกตัวอย่าง เช่น การแกะสลักไม้ การสร้างแม่พิมพ์ หรือการตัดโฟม ซึ่งล้วนเป็นวิธีการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ ต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก ชิ้นงานต้นแบบที่ได้จากวิธีการสร้างแบบเก่านั้นจะมีคุณลักษณะตามที่ได้ ออกแบบไว้ คือ รูปร่างและหน้าที่การใช้งาน แต่คุณสมบัติบางประการ เช่น น้ำหนักของชิ้นงาน ต้นแบบที่สร้างด้วยวิธีการตัดโฟมจะมีน้ำหนักเบาว่าผลิตภัณฑ์จริง ส่วนในกรณีที่การสร้างชิ้นงาน ต้นแบบด้วยวิธีการสร้างแม่พิมพ์ ถ้าหากมีการแก้ไขผลิตภัณฑ์ซึ่งทำให้ต้องมีการสร้างแม่พิมพ์ ขึ้นมาใหม่ จึงส่งผลให้ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ปัญหาการสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีการแบบเก่า จึงได้มีการพัฒนาวิธีการสร้างต้นแบบทำให้เกิด เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype, RP) การสร้างต้นแบบรวดเร็วเป็นการสร้าง ชิ้นงานต้นแบบจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ (3D CAD model) ที่ได้ออกแบบทาง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ไว้ เนื่องจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Computer Aided Design, CAD) นั้น ทำให้สามารถตรวจพบความผิดพลาดในการออกแบบได้เร็ว ขึ้น และแก้ไขรูปแบบลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้โดยสะดวกขึ้น นอกจากนี้การสร้างต้นแบบด้วย วิธีการนี้สามารถสร้างชิ้นงานต้นแบบได้โดยไม่ต้องอาศัยการสร้างแม่พิมพ์ ส่งผลให้เวลาที่ใช้ใน การสร้างต้นแบบลดลงกว่าวิธีการสร้างแบบเก่าที่เคยใช้ และยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการ ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับการสร้างต้นแบบด้วยวิธีการสร้างแม่พิมพ์ (Lopez and Wright, 2002)

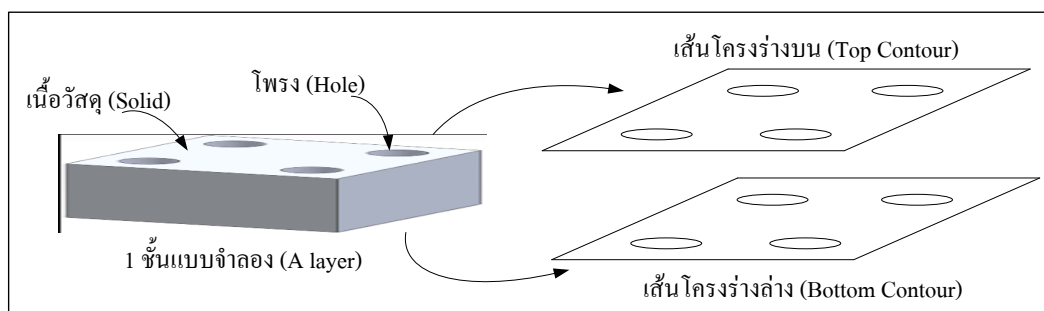
เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วเป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบเพื่อใช้ในการสนับสนุน กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบและพัฒนา ผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถนำผลิตภัณฑ์ใหม่ออกสู่ตลาดได้เร็วขึ้น และช่วยในการสื่อสาร แนวความคิดในการออกแบบทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นด้วยชิ้นงานที่มีรูปร่างเหมือนจริง นอกจากนี้ กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วแล้ว ยังมีการ ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วในด้านอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น ด้านวงการแพทย์

ด้านวิทยาศาสตร์ หรือด้านสถาปัตยกรรม และครอบคลุมไปถึงการขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบรวดเร็ว (Rapid Tooling)

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว หรือ กรรมวิธีการขึ้นรูปแบบชั้น (Layered Manufacturing, LM) คือ กระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบทีละชั้น (Layer by layer) ขึ้นโดยตรงจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จะถูกแบ่งเป็นชั้น (Slicing) ตามระนาบ (Plane) ที่กำหนดด้วยค่าความหนา (Thickness) ที่เหมาะสม โดยทั่วไปการสร้างต้นแบบรวดเร็วมีขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1.2 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติรูปทรงต่าง ๆ ถูกสร้างโดยใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบทางคอมพิวเตอร์ อาทิเช่น โปรแกรม SolidWork, AutoCAD เป็นต้น จากนั้นจึงนำแบบจำลองที่ได้ออกแบบไว้มาแบ่งเป็นชั้น ๆ ตามระนาบที่กำหนดด้วยค่าความหนาที่กำหนดขึ้น แต่ละชั้นของแบบจำลองอาจประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) ส่วนที่เป็นเนื้อวัสดุ (Solid) และ 2) ในส่วนที่เป็นโพรง (Hole) เส้นขอบที่แสดงพื้นที่ของทั้งสองส่วนนี้เรียกว่า เส้นโครงร่าง (Contour) ซึ่งเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นของแบบจำลองจะถูกสกัด (Extract) เพื่อนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ข้อมูลจำนวนของเส้นโครงร่างและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นจะถูกส่งไปยังเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว (RP Machine) เพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นทีละชั้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเป็นชิ้นงานต้นแบบที่สมบูรณ์



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบ (RP Process)

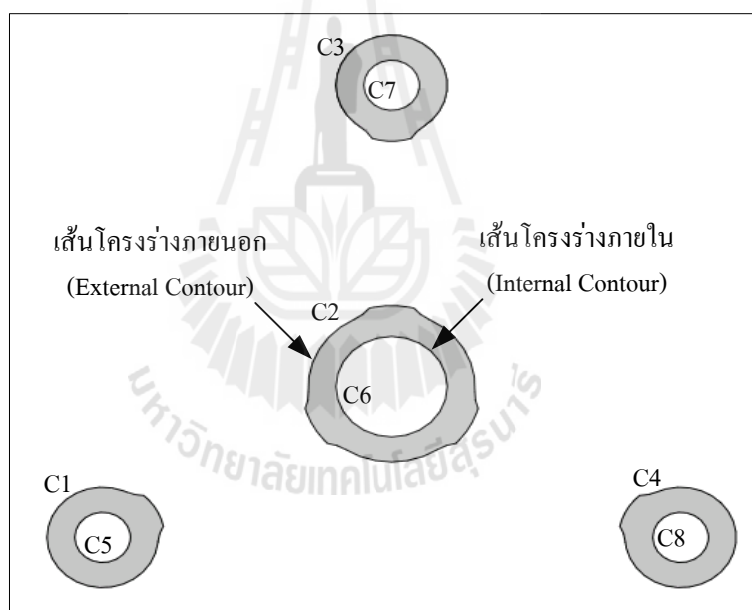


รูปที่ 1.3 เส้นโครงร่างที่เกิดขึ้นใน 1 ชั้น

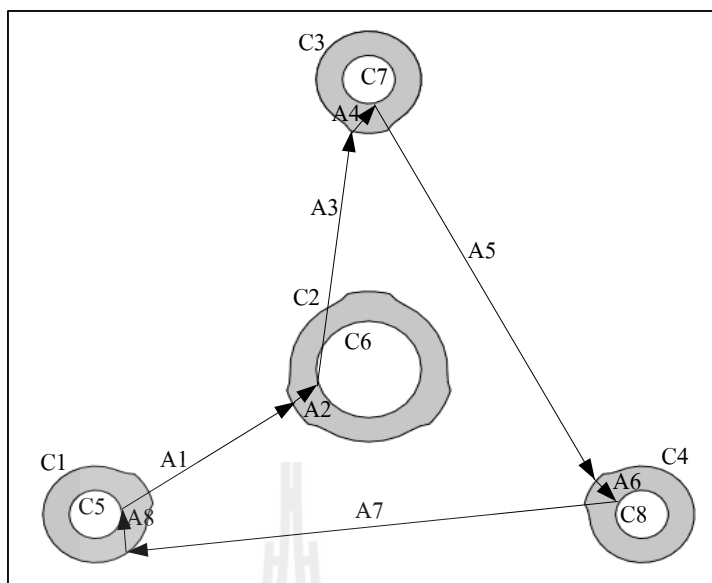
จากขั้นตอนวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็วข้างต้นที่ได้กล่าวมานั้น จะเห็นได้ว่าข้อมูลของเส้นโครงร่างที่เกิดจากการแบ่งแบบจำลองเป็นชั้นมีความสำคัญต่อการสร้างชิ้นงานต้นแบบ กล่าวคือแต่ละชั้นของแบบจำลองอาจมีเส้นโครงร่างเพียงเส้นเดียว (Single Contour) หรือมีกลุ่มของเส้นโครงร่าง (Group Contours) ซึ่งกลุ่มของเส้นโครงร่างอาจมีลักษณะเป็นเส้นโครงร่างที่กระจายตัวอย่างอิสระ (Independent Contours) หรือลักษณะที่ซ้อนกัน (Nested Contours) อยู่บนระนาบเดียวกัน จึงส่งผลให้จำเป็นต้องมีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง โดยกำหนดให้พื้นที่ที่เป็นเนื้อวัสดุ คือพื้นที่ของเส้นโครงร่างภายนอก (External) และพื้นที่ที่เป็นโพรง คือพื้นที่ของเส้นโครงร่างภายใน (Internal) ดังแสดงในรูปที่ 1.4 เส้นโครงร่าง C1, C2, C3 และ C4 มีความสัมพันธ์เป็นเส้นโครงร่างภายนอก และเส้นโครงร่าง C5, C6, C7 และ C8 มีความสัมพันธ์เป็นเส้นโครงร่างภายใน ซึ่งข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างเป็นข้อมูลสำคัญในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ชั้นของแบบจำลองที่มีกลุ่มของเส้นโครงร่างจะส่งผลต่อการวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบซึ่งจะเป็นไปได้หลายเส้นทาง โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างต้นแบบยกตัวอย่างเช่น หัวปล่อยวัสดุ (Nozzle) ที่จะเคลื่อนที่ไปเติมเนื้อวัสดุ และแสงเลเซอร์ (Laser Beam) หรือมีดตัด (Cutter) ที่จะเคลื่อนที่ตัดเนื้อวัสดุตามแนวเส้นโครงร่าง ซึ่งเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบประกอบด้วยสองส่วน คือ

1. เส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือในการสร้างต้นแบบทำงาน (Operating Time)
2. เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือในการสร้างต้นแบบไม่ได้ทำงาน (Non-Operating Time)

ดังแสดงในรูปที่ 1.5 เส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 และเส้นทาง A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8 ตามลำดับ ดังนั้นข้อมูลจำนวนของเส้นโครงร่างและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจึงมีความจำเป็นสำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ เพื่อช่วยลดระยะเวลาการสร้างชิ้นงานต้นแบบ (Fabrication Time) นอกจากนี้แล้วการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างยังสามารถนำมาใช้ในการวางแผนการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด (Multi-Materials) หรือชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีสีแตกต่างกัน (Multi-Colors) ที่ใช้หัวปล่องวัสดุมากกว่า 1 อัน เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือ (Collision-Free Tool Path) (Choi and Cheung, 2006) ดังนั้นข้อมูลจำนวนของเส้นโครงร่างและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจึงเป็นข้อมูลสำหรับขั้นตอนการวางแผนการสร้างชิ้นงานต้นแบบ



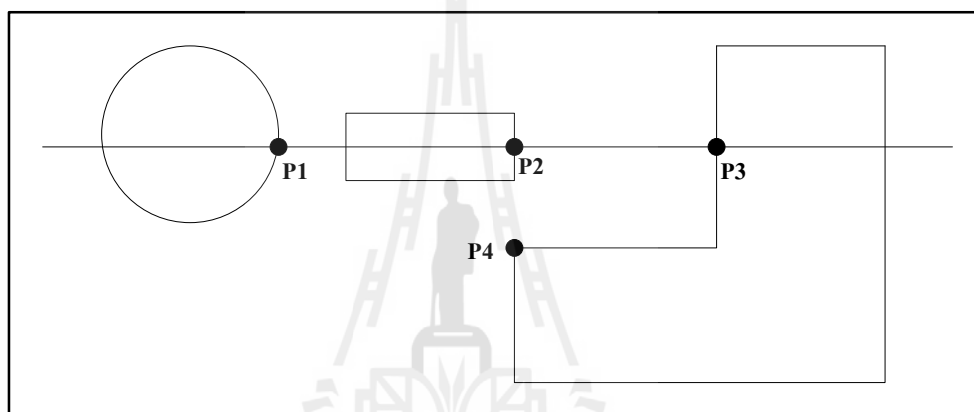
รูปที่ 1.4 ความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง



รูปที่ 1.5 เส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

การกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมให้กับเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ นอกจากเป็นการหลีกเลี่ยงการชนกันระหว่างเครื่องมือกับชิ้นงานต้นแบบแล้ว ยังสามารถลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาเครื่องมือในการสร้างต้นแบบไม่ได้ทำงาน ส่งผลให้ระยะเวลาการสร้างต้นแบบลดลง จากการศึกษาของ Tang and Pang (2003) ได้นำเสนอวิธี Maximum Linear Intersection (MLI) เพื่อกำหนดหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่สั้นที่สุด โดยวิธีการลากเส้นตรงผ่านเส้นโครงร่างของชิ้นแบบจำลอง จุดตัดที่เกิดขึ้นบนเส้นโครงร่างถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น (Starting Point) และจุดสิ้นสุด (Ending Point) ของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างดังแสดงในรูป 1.6 ซึ่งได้แก่ จุด P1, P2, และ P3 โดยมีเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างจากจุด $P1 \rightarrow P2 \rightarrow P3$ ตามลำดับ วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับเส้นโครงร่างที่อยู่ในระนาบเดียวกันที่เส้นตรงสามารถลากผ่านเส้นโครงร่างได้ทุกเส้น แต่ถ้าเส้นโครงร่างไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกันส่งผลให้ต้องมีการสร้างเส้นตรงมากกว่า 1 เส้น เพื่อลากผ่านเส้นโครงร่างทั้งหมด และเมื่อเส้นโครงร่างที่ไม่เป็นวงกลม (Non-Circular) อาจส่งผลให้ระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างจากจุดตัดที่เส้นตรงลากผ่าน ไม่ใช่เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างที่สั้นที่สุดดังแสดงในรูป 1.6 เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างจากจุด $P1 \rightarrow P2 \rightarrow P4$ มีระยะทางสั้นกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทางการเคลื่อนที่จาก $P1 \rightarrow P2 \rightarrow P3$ เช่นเดียวกับ Chou et al. (2007) ได้นำเสนอวิธี Odd-Even Adjusting Algorithm เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยได้ศึกษาเฉพาะเส้นโครงร่างที่เป็นวงกลม (Circular) เท่านั้น จาก

ข้อจำกัดของงานวิจัยที่ผ่านมา นั้น นำมาสู่การวิจัยนี้เพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ จากการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นของแบบจำลอง โดยการศึกษาเส้นโครงร่างที่มีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิต (Geometric Contour) ในชั้นที่กำหนดขึ้น (Layered Contour) บนระนาบ XY ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างและจำนวนของเส้นโครงร่างถูกนำมาใช้ โดยมุ่งหวังลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ ซึ่งส่งผลให้ระยะเวลาในการสร้างต้นแบบลดลง รวมทั้งหลีกเลี่ยงการชนกันระหว่างเครื่องมือในการสร้างต้นแบบกับชิ้นงาน



รูปที่ 1.6 การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างและลำดับชั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง (Contour Identification Hierarchy) ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

1.3 สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย คือ เส้นโครงร่างที่เป็นข้อมูลนำเข้า (Input) เป็นข้อมูลของชั้นของชิ้นงานต้นแบบที่จะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานต้นแบบ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 พัฒนาโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยค้นหา (Searching) เส้นโครงร่างบนระนาบเดียวกัน (XY Plane) โดยการติดตามเส้นโครงร่าง (Contour Tracing) ที่ละเส้นของแต่ละชั้นแบบจำลอง

1.4.2 การวิจัยนี้ศึกษาวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างบนระนาบเดียวกันเพื่อใช้ในการวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยทำการศึกษาเส้นโครงร่างที่มีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิต

1.4.3 ข้อมูลนำเข้า (Input) สำหรับการวิจัยนี้ คือ เส้นโครงร่างของชั้น (Layer Contour) ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบซึ่งอยู่ในรูปของข้อมูลภาพ (Image File)

1.4.4 ข้อมูลนำออก (Output) ของการวิจัยนี้ คือ เส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบตามความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งการวิจัยนี้ระบุเครื่องมือในการสร้างต้นแบบเพียง 1 อัน

1.4.5 การวิจัยนี้ศึกษาการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบโดยอ้างอิงวิธีเดียวกันกับ LOM

1.4.6 การวิจัยนี้ไม่คำนึงถึงการตัดในบริเวณที่ไม่ใช่ส่วนของชิ้นงาน (De-Cube)

1.4.7 การวิจัยนี้ไม่คำนึงถึงความหนาของชั้น (Layer Thickness) และทิศทางการวางวัตถุ (Object Orientation)

1.4.8 การวิจัยนี้กำหนดให้แบบจำลองที่ศึกษาผ่านขั้นตอนการแบ่งชั้นแล้ว

1.5 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท บทที่ 1 นำเสนอที่มาความสำคัญของปัญหา, วัตถุประสงค์ของการวิจัย และขอบเขตของการวิจัย บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีต่าง ๆ และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างต้นแบบรวดเร็ว และการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ บทที่ 3 นำเสนอวิธีการที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ บทที่ 4 แสดงผลลัพธ์ของการดำเนินการวิจัย โดยนำเสนอด้วยกรณีศึกษา และบทที่ 5 นำเสนอการสรุปผลจากการดำเนินการวิจัย, ประโยชน์ของงานวิจัย รวมถึงนำเสนอแนวทางในการนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ต่อไป

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้แสดงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างต้นแบบรวดเร็ว และการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว อันได้แก่ ทฤษฎีกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว, ทฤษฎีการสร้างแบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรม CAD, และทฤษฎีของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างต้นแบบรวดเร็ว และการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ได้แก่ การแปลงไฟล์ข้อมูลของโปรแกรม CAD ให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์มาตรฐาน, การแบ่งแบบจำลอง, การกำหนดทิศทางการวางชิ้นงาน, การกำหนดฐานรองชิ้นงาน และการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

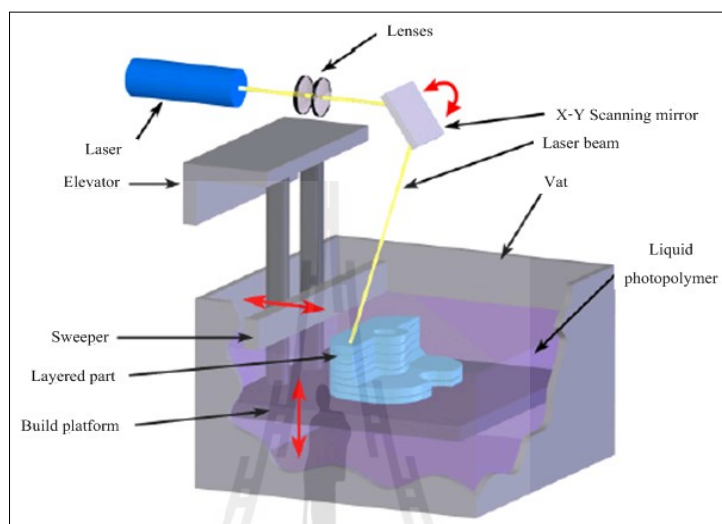
2.1 กรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

การสร้างต้นแบบรวดเร็วสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามวัสดุตั้งต้น คือ วัสดุตั้งต้นประเภทของเหลว, วัสดุตั้งต้นประเภทผง และวัสดุตั้งต้นประเภทของแข็ง (Kai and Fai, 1997)

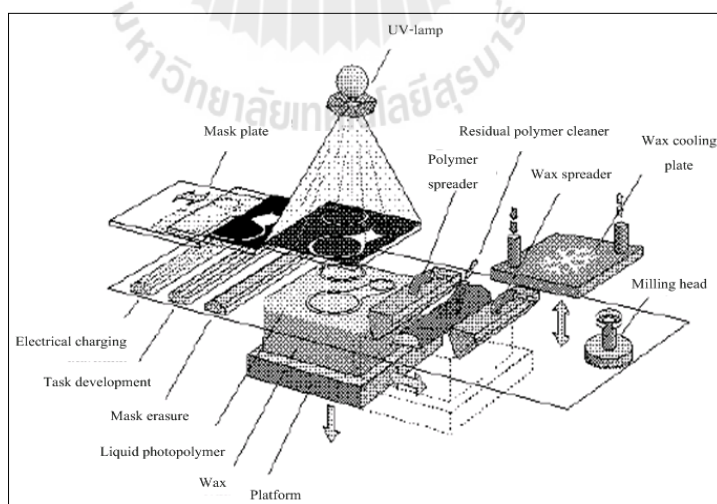
2.1.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบของเหลว (Liquid-based Rapid Prototyping)

เป็นวิธีการสร้างต้นแบบที่ได้รับความนิยม เนื่องจากเป็นวิธีการแรกที่ถูกพัฒนาขึ้น เทคนิคที่ใช้ในการสร้างต้นแบบจากวิธีนี้ได้แก่ Stereo Lithograph Apparatus (SLA) และ Solid Ground Curing (SGC) หลักการขึ้นรูปแบบ SLA คือ การขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบโดยใช้ของเหลวประเภทเรซิน (Resin) ที่มีความไวต่อแสงสูงมาทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง โดยการฉายแสงเลเซอร์ (Laser Beam) มากระทบบริเวณพื้นผิวของเรซิน ซึ่งทำให้เรซินเกิดการแข็งตัวขึ้นเป็นชั้นตามเส้นโครงร่างที่เป็นเนื้อวัสดุ โดยชิ้นงานต้นแบบจะถูกสร้างขึ้นทีละชั้นจากด้านล่างขึ้นด้านบนจากการอาศัยการเคลื่อนที่ของฐานรองชิ้นงาน (Platform) ในแนวดิ่ง ฐานรองชิ้นงานจะเลื่อนตัวลงเท่ากับค่าความหนาของชั้นแบบจำลองเพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบในชั้นถัดไป จนกระทั่งชั้นสุดท้ายถูกสร้างขึ้นเสร็จ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ส่วนเทคนิค SGC เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบโดยใช้วัสดุประเภทเรซินเช่นเดียวกับ SLA เทคนิคนี้จะพ่นสารประเภทเรซินบนฐานรองชิ้นงาน จากนั้นสร้าง

หน้ากาก (Photomask) เพื่อป้องกันแสงโดยเปิดช่องเฉพาะบริเวณที่จะสร้างเป็นชิ้นงานตามเส้น
 โครงร่างที่เป็นเนื้อวัสดุ โดยวางหน้ากากลงบนฐานรองชิ้นงานและปล่อยรังสี UV ตกกระทบ
 บริเวณที่หน้ากากเปิดช่องไว้ทำให้บริเวณนั้นเรซินจะเกิดการแข็งตัว กระบวนการดังกล่าวจะดำเนิน
 ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้ชิ้นงานต้นแบบที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



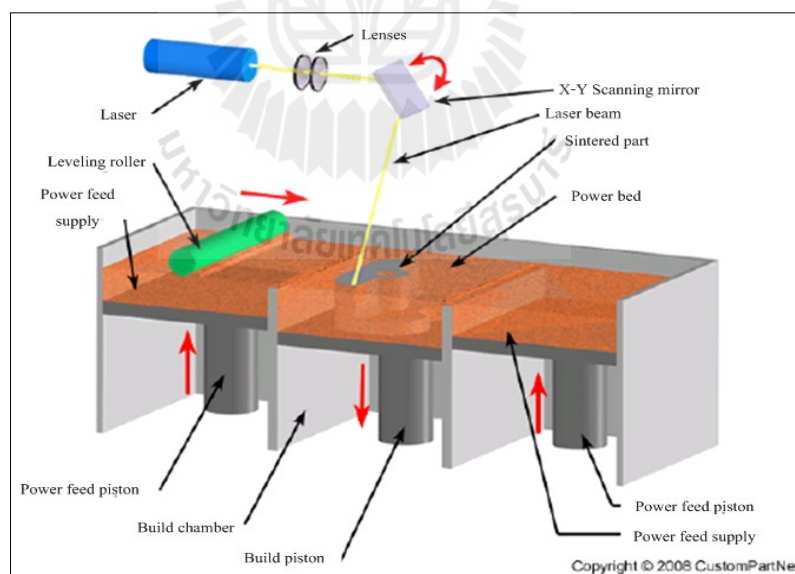
รูปที่ 2.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Stereo Lithograph Apparatus (ปริญญญา และคณะ, 2551)



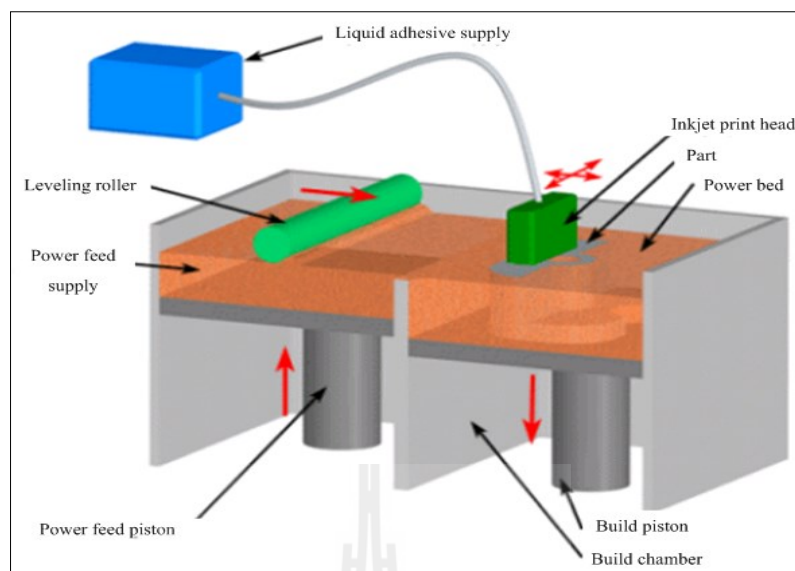
รูปที่ 2.2 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Solid Ground Curing (ปริญญญา และคณะ, 2551)

2.1.2 การต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบผง (Power-based Rapid Prototyping)

วิธีการสร้างต้นแบบด้วยวิธีการนี้ใช้วัสดุที่มีลักษณะเป็นผงในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ เทคนิคที่ใช้สำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีนี้ได้แก่ Selective Laser Sintering (SLS) และ 3Dimensional Printing (3D Printing) หลักการทำงานของ SLS คือ ผงวัสดุสำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบจะถูกให้ความร้อนด้วยแสงเลเซอร์โดยการฉายแสงเลเซอร์ตามเส้นโครงร่างที่เป็นเนื้อวัสดุ บริเวณที่ถูกฉายด้วยแสงเลเซอร์ผงวัสดุจะถูกหลอมละลายทำให้สามารถเกาะติดกันได้ และยังสามารถยึดเกาะกับชั้นที่ขึ้นรูปไปก่อนหน้านี้ โดยฐานรองชิ้นงานจะเลื่อนตัวลงเท่ากับค่าความหนาของชั้นแบบจำลอง เพื่อให้ลูกกลิ้ง (Roll) ถวดผงวัสดุชุดใหม่เข้ามาทับผิวชั้นก่อนหน้านี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ส่วน 3D Printing เป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่มีการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบด้วยวัสดุตั้งต้นแบบผงโดยใช้วิธีพ่นกาว กล่าวคือใช้วิธีการพ่นกาวให้ผงวัสดุยึดเกาะกันเป็นรูปทรงที่ต้องการ กาวประสานจะถูกพ่นลงไปบนฐานรองชิ้นงานมีผงวัสดุเตรียมไว้ตามเส้นโครงร่างที่เป็นเนื้อวัสดุ กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบจะทำได้ทีละชั้นเช่นเดียวกับกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบอื่น ๆ ซึ่งการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธี 3D Printing สามารถได้สีกับชิ้นงานทำให้รูปทรงของชิ้นงานมีสีสันต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



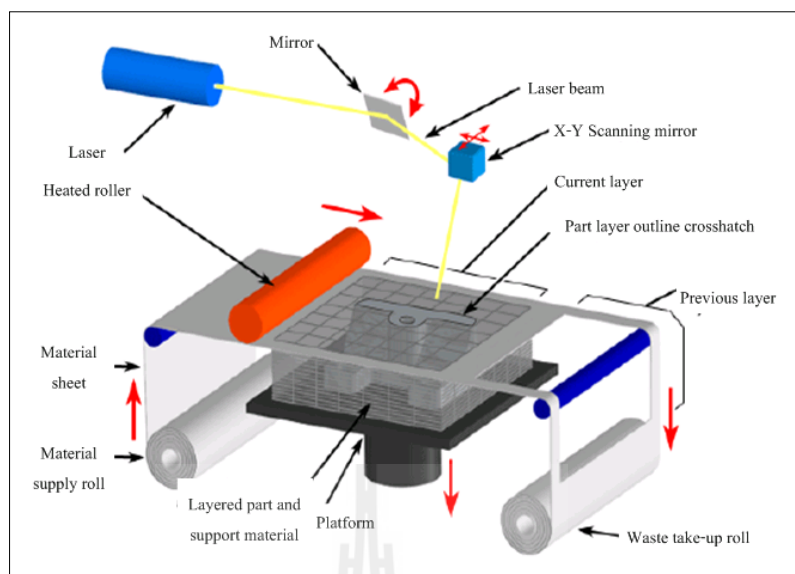
รูปที่ 2.3 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Selective Laser Sintering (ปริญญญา และคณะ, 2551)



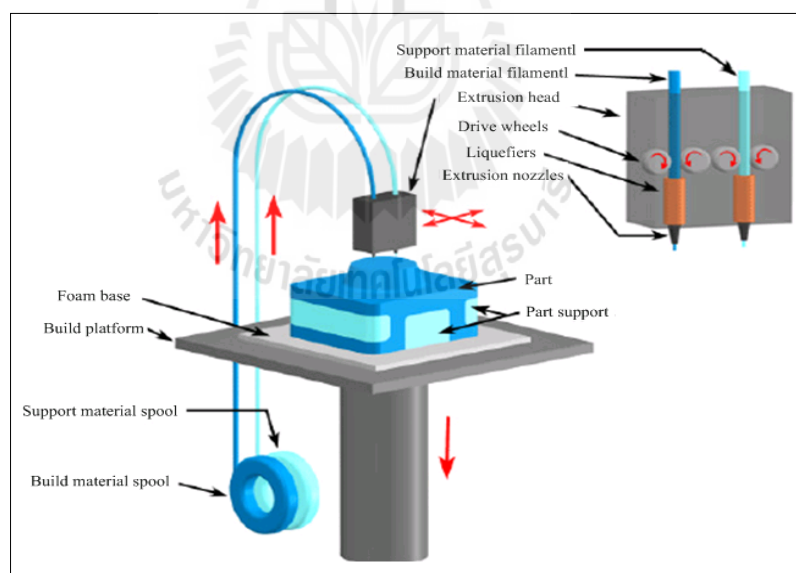
รูปที่ 2.4 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี 3D Printing (ปริญญญา และคณะ, 2551)

2.1.3 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบของแข็ง (Solid-based Rapid Prototyping)

วัสดุตั้งต้นที่นำมาใช้สร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธีนี้จะมีสถานะเป็นของแข็ง เทคนิคที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีนี้ได้แก่ Laminated Object Manufacturing (LOM) และ Fused Deposition Modeling (FDM) การขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธี LOM มีหลักการ คือ การตัดแผ่นวัสดุบาง เช่น กระดาษ หรือแผ่นพลาสติกโดยที่ด้านหนึ่งถูกเคลือบไว้ด้วยกาว การทำงานของ LOM จะยิงแสงเลเซอร์ไปยังแผ่นวัสดุที่วางอยู่บนฐานรองรับชิ้นงานเพื่อตัดแผ่นวัสดุตามแนวเส้นโครงร่างของแต่ละชั้น แผ่นวัสดุแต่ละแผ่นจะซ้อนติดกันเป็นชั้น ๆ จนได้ชิ้นงานตามต้องการ แผ่นวัสดุที่เตรียมไว้จะเคลื่อนที่ผ่านฐานรองรับชิ้นงาน และถูกตัดตามแนวเส้นโครงร่างด้วยแสงเลเซอร์ บริเวณที่ไม่ใช่ส่วนของชิ้นงานจะถูกตัดออกเป็นตารางเล็ก ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการแกะออกเมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบเสร็จสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ส่วนเทคนิค FDM เป็นวิธีขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบโดยการใช้วัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นที่ถูกทำให้ร้อนแล้วนำมาเรียงตามเส้นโครงร่างขึ้นเป็นโครงสร้างทีละชั้น จนกระทั่งเป็นรูปทรงชิ้นงานตามต้องการ อย่างไรก็ตาม วัสดุชิ้นงานที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จะมีลักษณะค่อนข้างหยาบ เนื่องจากการขึ้นรูปที่เกิดจากการเรียงตัวและเชื่อมติดกันของเส้นวัสดุขนาดเล็กเป็นชั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Laminated Object Manufacturing (ปริญา และคณะ, 2551)



รูปที่ 2.6 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Fused Deposition Modeling (ปริญา และคณะ, 2551)

2.2 วิธีการสร้างแบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรม CAD

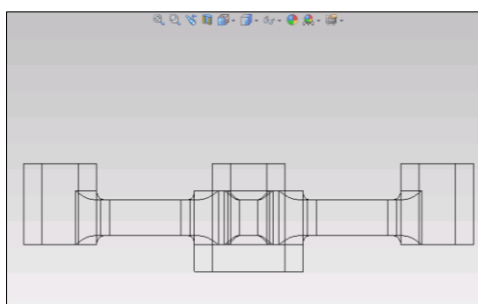
การสร้างแบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรม CAD สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ แบบจำลองโครงลวด, แบบจำลองผิว และแบบจำลองของแข็ง

2.2.1 แบบจำลองแบบโครงลวด (Wireframe Modeling)

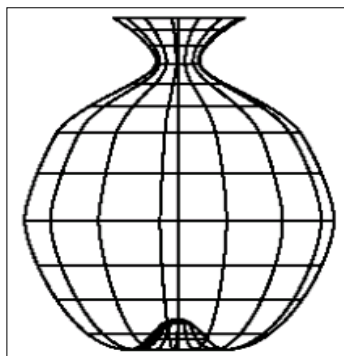
สำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติแบบโครงลวดเป็นการสร้างภาพ 3 มิติ ด้วยจุดและเส้น กล่าวคือ จุดจะถูกสร้างขึ้นก่อนและเชื่อมต่อกับเส้น ซึ่งการเชื่อมต่อแบบนี้ก่อให้เกิดรูปทรงขึ้นเป็นโครงร่าง 3 มิติ ดังนั้นภาพ 3 มิติแบบโครงลวดจึงไม่มีข้อมูลของผิวหน้า (Face) ซึ่งข้อมูลของภาพ 3 มิติแบบโครงลวดจะถูกเก็บข้อมูลในรูปแบบของพิกัดจุด (Point) เส้นตรง (Line) หรือเส้นโค้ง (Curve) แบบจำลองโครงลวดช่วยให้มองเห็นโครงสร้างภายในของแบบจำลอง ข้อดีของแบบจำลองโครงลวด คือ การเก็บข้อมูลน้อยและการแสดงผลแบบจำลองทำได้รวดเร็ว แต่ข้อเสียแบบจำลองนี้ คือ ลักษณะของภาพต้องใช้ทักษะและความชำนาญในการเข้าใจภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2.2.2 แบบจำลองผิว (Surface Modeling)

การสร้างแบบจำลองภาพ 3 มิติแบบผิว เป็นลักษณะการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ที่คล้ายกับการนำผืนผ้าซึ่งถือเป็น 1 ผิวหน้ามาเย็บต่อกันจนได้เป็นพื้นผิว (Surface) โดยที่ผิวกายนอกของชิ้นงานนั้นจะดูเหมือนของจริง ส่วนภายในจะกลวง ดังแสดงในรูปที่ 2.8 การเก็บข้อมูลแบบจำลองผิวภาพจะเก็บข้อมูล พิกัดจุด, เส้นขอบ, ข้อมูลของขอบผิวที่ติดกัน ข้อดีของแบบจำลองผิว คือ ผิวของชิ้นงานแบบจำลองคล้ายกับชิ้นงานจริง แต่ข้อเสียแบบจำลองนี้ คือ เก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2.7 รูปแบบจำลองโครงลวด



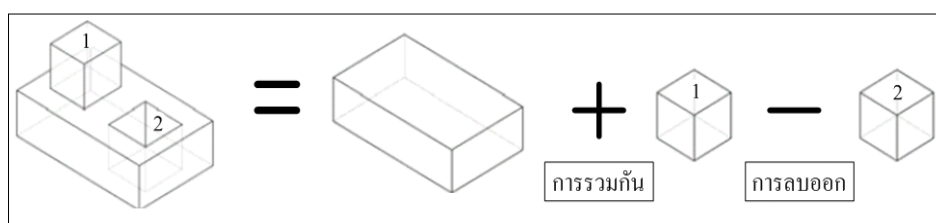
รูปที่ 2.8 แบบจำลองผิว

2.2.3 แบบจำลองของแข็ง (Solid Modeling)

แบบจำลอง 3 มิติแบบของแข็ง คือแบบจำลองในลักษณะวัตถุทรงตัน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับชิ้นงานจริงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการสร้างแบบโครงลวดและแบบจำลองผิว การสร้างแบบจำลอง 3 มิติแบบของแข็งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

2.2.3.1 Constructive Solid Geometry (CSG)

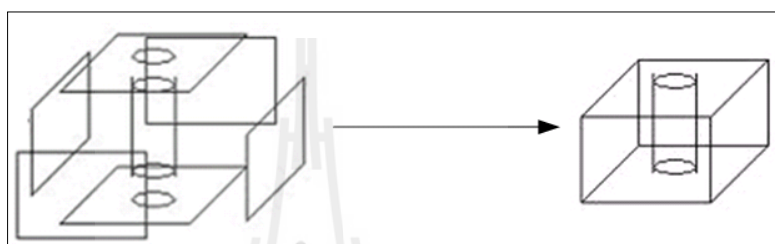
เป็นการสร้างแบบจำลอง 3 มิติโดยอาศัยรูปทรงเรขาคณิต เช่น ก้อนลูกบาศก์, ทรงกระบอก, ทรงกลม และพีระมิด เป็นต้น โดยใช้เทคนิค Boolean Operation ซึ่งเป็นการนำรูปทรงเรขาคณิตมาสร้างความสัมพันธ์กัน เช่น รวมกัน (Union), ลบออก (Subtract), เฉพาะส่วนที่ไม่ทับกัน (Difference) และเฉพาะส่วนที่ซ้อนทับกัน (Intersection) เพื่อให้ได้รูปทรงที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติแบบนี้ จะถูกเก็บในลักษณะของลำดับการนำรูปทรงเรขาคณิตมาสร้างแบบจำลอง 3 มิติ



รูปที่ 2.9 การสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Boolean Operation

2.2.3.2 Boundary Representation (B-Rep)

เป็นเทคนิคการสร้างแบบจำลอง 3 มิติโดยผู้เขียนจะทำการเขียนโครงสร้างภายนอกของชิ้นงานก่อน เป็นภาพด้านบน ด้านข้าง ด้านล่าง จากนั้นก็แปลสภาพเป็นรูปชิ้นงานตามที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติแบบนี้ จะเก็บข้อมูลของผิวรอบนอกของทรงตันที่เชื่อมติดต่อกัน ซึ่งมีข้อมูลของพื้นผิว (Surface), ขอบ (edge), จุดมุมของพื้นผิว (Vertex) และความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสาม



รูปที่ 2.10 แบบจำลอง Boundary Representation

2.3 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem)

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเป็นการกำหนดเส้นทางการเดินทางไปยังเมืองต่าง ๆ ของพนักงานขาย โดยพิจารณาว่าพนักงานขายต้องเดินทางไปทุกเมืองทั้งหมด และไปได้เพียงเมืองละครั้งแล้วกลับมาที่เมืองเริ่มต้น โดยมุ่งหวังกำหนดเส้นทางที่สั้นที่สุดให้กับพนักงานขาย (ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2554) ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{Min } Z(T) = \sum_{(i,j) \in T} D_{ij} X_{ij} \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall j \in n \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ji} = 1 \quad \forall i \in n \quad (2.3)$$

$$\sum_{i,j \in S} X_{ij} \leq |S| - 1, S \subset V, |S| > 1 \quad (2.4)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad (2.5)$$

โดย

n คือ จำนวนจุดพิกัดทั้งหมด

T คือ ชุดของเส้นทาง หรือทัวร์ (Tour)

D_{ij} คือ ระยะทางระหว่างจุด i ไปจุด j

V คือ เซตของจำนวนจุดพิกัดทั้งหมด

$|S|$ คือ ขนาดของรอบย่อยที่เกิดขึ้นแต่ละครั้ง

สมการที่ (2.1) เป็นสมการวัตถุประสงค์ คือ คำนวณหาเส้นทางที่ให้ผลรวมระยะการเดินทางของพนักงานขายที่สั้นที่สุด สมการที่ (2.2) คือ ผลรวมของตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงตัดสินใจเลือกเดินจากจุดพิกัด i ใดๆ ไปยังจุดพิกัด j ใดๆ เพียงจุดเดียว เช่นเดียวกับสมการที่ (2.3) คือ ผลรวมของตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงตัดสินใจเลือกเดินจากจุดพิกัด j ใดๆ ไปยังจุดพิกัด i ใดๆ เพียงจุดเดียว สมการที่ (2.4) สมการกำจัดทัวร์ย่อย (Sub Tour Eliminate) สมการที่ (2.5) ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกเดินทางจากจุดพิกัด i ใดๆ ไปยังจุดพิกัด j ใดๆ และมีค่าเท่ากับ 0 กรณีไม่มีการเดินทางเกิดขึ้น

2.4 วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก Nearest Neighbor

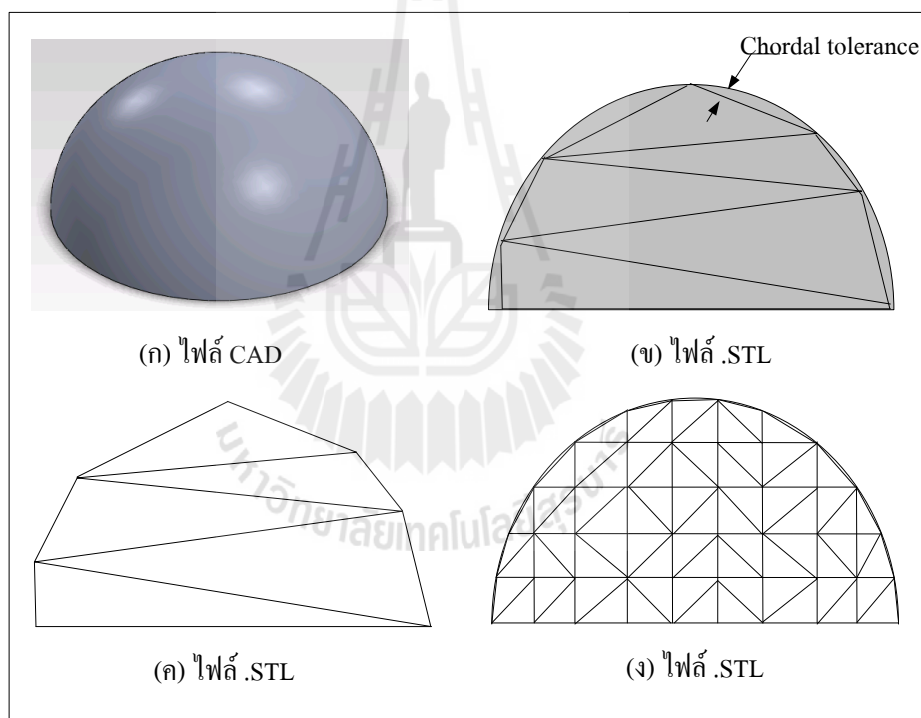
วิธีการแก้ปัญหการเดินทางของพนักงานขายมีหลากหลายวิธี วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหการจัดลำดับเส้นทางสำหรับพนักงานขาย การแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกซึ่งการคำนวณหาคำตอบที่ได้จะไม่ใช่ว่าคำตอบที่ดีที่สุด แต่จะใช้เวลาในการคำนวณที่สั้นกว่าแบบวิธีที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) โดยการจัดลำดับเส้นทางวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor จะทำการเลือกเส้นทางที่มีระยะทางสั้นที่สุดเป็นเส้นทางเดินของพนักงานขาย เพื่อใช้เดินทางไปยังเมืองในลำดับถัดไป โดยเริ่มต้นจากเมืองใดก็ได้แล้วจึงเลือกเมืองในลำดับถัดไปจากเมืองที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากเมืองที่แล้วจนครบทุกเมือง และพนักงานจะเดินกลับมาเมืองเริ่มต้น วิธีการนี้หากจะดำเนินการให้ครบเป็นฮิวริสติกที่สมบูรณ์ มักจะดำเนินการด้วยการเปลี่ยนจุดเริ่มต้นไปเรื่อย ๆ จนครบทุกเมือง จากนั้นเลือกกระยะทางที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุดเป็นคำตอบของฮิวริสติก (ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2554)

2.5 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping Technology) เป็นอีกหนึ่งทางเลือกของอุตสาหกรรมการผลิตในการสร้างต้นแบบ โดยเป็นเทคโนโลยีที่สนับสนุนกระบวนการพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และสามารถนำผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดได้เร็วขึ้น เนื่องจากการนำเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วมาใช้ ส่งผลให้ระยะเวลาการดำเนินงานของกระบวนการนี้ลดลง เมื่อเปรียบเทียบการสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีการแบบเก่า การสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว เป็นขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีการขึ้นรูปทีละชั้น (Layering Technique) โดยตรงจากแบบจำลอง 3 มิติ ชิ้นงานต้นแบบรูปทรงต่าง ๆ ถูกสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ จะถูกแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ตามระนาบที่กำหนดด้วยค่าความหนาที่กำหนดขึ้น แต่ละชั้นแบบจำลองจะมีเส้นโครงร่างที่แสดงพื้นที่ที่เป็นเนื้อวัสดุและพื้นที่ที่เป็นโพรงปรากฏอยู่ ดังนั้นข้อมูลจำนวนของเส้นโครงร่างและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกันของชั้นแบบจำลอง จะถูกนำมาเป็นข้อมูลเพื่อใช้สร้างชิ้นงานต้นแบบ

ในกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบได้เข้ามามีบทบาทในการเขียนแบบและออกแบบผลิตภัณฑ์ เนื่องจากช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบหรือเขียนแบบ และตรวจพบความผิดพลาดในการออกแบบได้เร็ว ส่งผลให้สามารถลดความผิดพลาดในการออกแบบทำให้แบบจำลองมีความสมจริงมากขึ้น อีกทั้งผู้ออกแบบสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบในรูปแบบแบบจำลอง 3 มิติ และแก้ไขหรือดัดแปลงแบบจำลองได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้โปรแกรม CAD ยังมีความแม่นยำสูงและสามารถนำเอาแบบจำลองมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ เช่น วิเคราะห์น้ำหนักของแบบจำลอง วิเคราะห์ลักษณะผิวของแบบจำลอง เป็นต้น (สมเกียรติ, 2551) การใช้โปรแกรม CAD ออกแบบจำลองนั้นช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากการออกแบบด้วยมือ และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้น (Gaither and Frazier, 1999) โดยทั่วไปแล้วแบบจำลอง 3 มิติที่ถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรม CAD จำเป็นต้องแปลงไฟล์ข้อมูลของโปรแกรม CAD ให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์มาตรฐาน รูปแบบของ STeroLithography (STL) ไฟล์เป็นรูปแบบไฟล์มาตรฐานที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว เนื่องจากการใช้งานง่าย และเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วโดยทั่วไปสามารถรองรับข้อมูลของไฟล์ STL ได้ ในขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วไฟล์ข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติแสดงในรูปที่ 2.11 (ก) จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ STL (Tessellation) ก่อนนำไปสู่ขั้นตอนการแบ่งแบบจำลองเป็นชั้น ไฟล์ STL ประกอบขึ้นจากการเรียงตัวกันของรูปสามเหลี่ยม (Triangular Facets) บนผิวด้านนอกและด้านในของแบบจำลอง 3 มิติ (Kumar and Dutter, 1997) ซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างระนาบของรูปสามเหลี่ยมและผิวของแบบจำลอง (Chordal) แสดงในรูปที่ 2.11 (ข) ส่งผลให้ชิ้นงาน

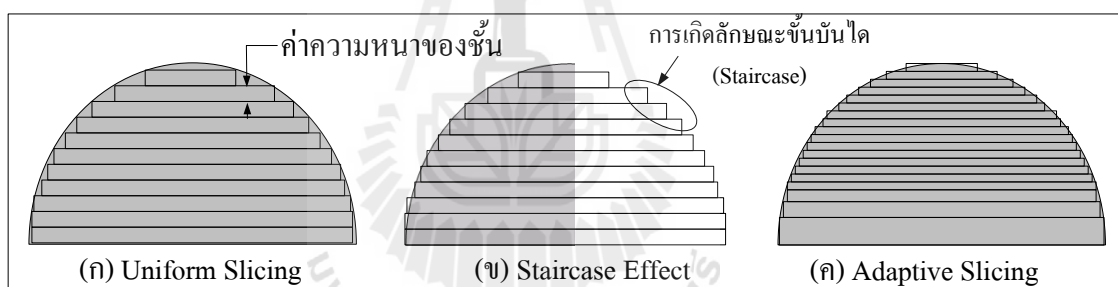
ต้นแบบที่ได้ไม่ใกล้เคียงกับชิ้นงานจริง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนเมื่อแบบจำลอง 3 มิติมีลักษณะผิวโค้ง (Curve) แสดงในรูปที่ 2.11 (ค) แบบจำลองที่มีรูปร่างซับซ้อน (Complex) ในขั้นตอนการแปลงไฟล์ CAD ให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ STL เพื่อให้ลักษณะแบบจำลองของไฟล์ STL ใกล้เคียงกับไฟล์ CAD ต้นฉบับ สามารถทำได้โดยการลดขนาดของของรูปสามเหลี่ยม ส่งผลให้บริเวณผิวของแบบจำลอง มีจำนวนรูปสามเหลี่ยมเพิ่มขึ้น และลักษณะแบบจำลองของไฟล์ STL ที่ได้จะใกล้เคียงกับไฟล์ CAD ต้นฉบับ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ง) แต่จะส่งผลให้ไฟล์ STL มีขนาดใหญ่กว่า CAD ไฟล์ ต้นฉบับ เนื่องจากการเก็บข้อมูลซ้ำ ๆ ของจุดยอดแผ่นสามเหลี่ยม และการแปลงไฟล์ข้อมูลต้องใช้ เวลาค่อนข้างมากซึ่งกลายเป็นปัญหาคอขวด (Bottleneck) (Choi and Kwok, 2002) ในขั้นตอนการ ขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการสร้างต้นแบบรวดเร็ว



รูปที่ 2.11 ผิวชิ้นงานระหว่างไฟล์ CAD และไฟล์ STL

ผลการใช้ไฟล์ STL ดังกล่าวมาส่งผลให้มีการนำเสนอวิธีการแบ่งแบบจำลองโดยตรงจาก ไฟล์ STL (Direct Slicing) (Chua and Leong, 1997; Cao and Miyamoto, 2003) นำมาใช้เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบและลดปัญหาข้อผิดพลาดจากไฟล์ STL โดยทำการตัด แบบจำลองของโปรแกรม CAD โดยตรงไม่ต้องแปลงไฟล์ข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ STL วิธีการ

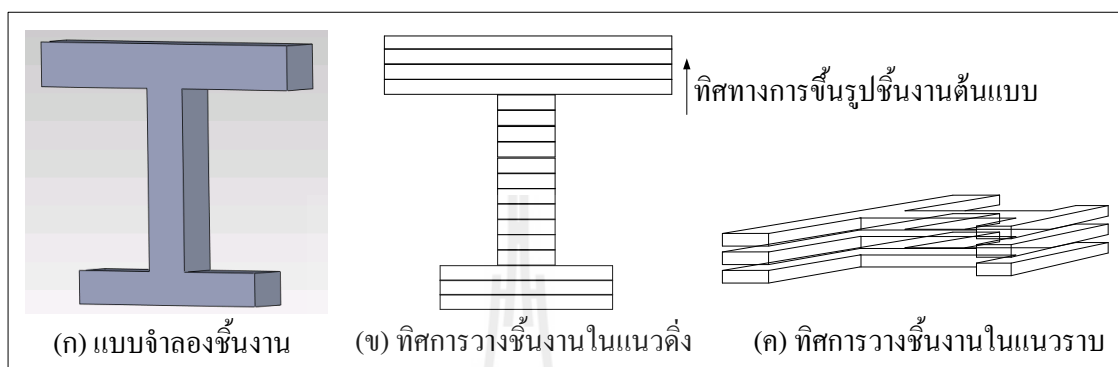
แบ่งแบบจำลองโดยตรงสามารถลดข้อผิดพลาดไฟล์ STL ส่งผลให้ชิ้นงานต้นแบบมีรูปร่างใกล้เคียงกับชิ้นงานจริงมากขึ้น วิธีการแบ่งแบบจำลองอย่างง่าย คือการแบ่งแบบจำลองด้วยค่าความหนา (Layer Thickness) ของแต่ละชั้นให้มีขนาดเท่ากัน (Uniform Slicing) (Zhao and Laperriere, 2000) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ก) การแบ่งแบบจำลองด้วยวิธีแบบนี้ส่งผลให้เกิดลักษณะขั้นบันไดที่บริเวณขอบของชิ้นงานต้นแบบ (Staircase Effect) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ข) จึงได้มีการนำเสนอวิธีการแบ่งแบบจำลองแบบปรับได้ (Adaptive Slicing) (Zhao and Laperriere, 2000) โดยกำหนดค่าความหนาที่เหมาะสมไว้ในแต่ละชั้นของแบบจำลอง เพื่อช่วยลดปัญหาลักษณะขั้นบันไดที่ขอบชิ้นงาน ซึ่งช่วยให้ชิ้นงานต้นแบบมีความถูกต้อง (Accuracy) มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ค) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยด้านอื่นที่เกี่ยวข้องกับการสร้างต้นแบบรวดเร็วซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มได้ดังนี้ คือ กำหนดทิศทางวางชิ้นงาน (Model Orientation), กำหนดฐานรองรับชิ้นงาน (Structure Supporting), การแบ่งแบบจำลอง (Model Slicing) และการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Tool Path Planning) เป็นต้น



รูปที่ 2.12 การแบ่งชั้นแบบจำลอง

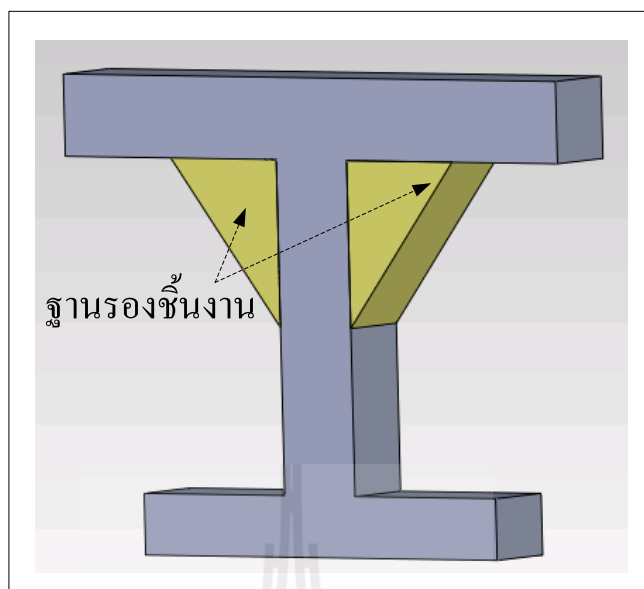
การกำหนดทิศทางวางชิ้นงานมีอิทธิพลต่อคุณภาพของผิว (Surface) ของชิ้นงานต้นแบบ เนื่องจากการสร้างงานต้นแบบรวดเร็วเป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นทีละชั้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้เกิดลักษณะขั้นบันไดที่บริเวณขอบของชิ้นงานต้นแบบเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ข) ดังนั้นบริเวณที่ผิวชิ้นงานต้องการความเรียบ (Smooth Surface) ควรที่จะกำหนดให้วางอยู่ระนาบเดียวกับทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดลักษณะขั้นบันได นอกจากนี้การกำหนดทิศทางวางชิ้นงานยังส่งผลกระทบต่อเวลาการสร้างชิ้นงานต้นแบบ (Build Time) เนื่องจากทิศทางวางชิ้นงานที่เหมาะสมจะช่วยลดจำนวนชั้นของแบบจำลองที่ใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ ส่งผลให้เวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (ก) ทิศทางวาง

ชิ้นงานในรูป 2.13 (ข) มีจำนวนชั้นของแบบจำลองมากกว่าทิศการวางชิ้นงานรูป 2.13 (ค) ดังนั้น การศึกษาวิธีการกำหนดทิศทางการวางชิ้นงานที่เหมาะสม จึงสำคัญสำหรับขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน ต้นแบบ (Masood and Lim, 1995; Masood et al., 2002)



รูปที่ 2.13 การกำหนดทิศการวางชิ้นงาน

การกำหนดฐานรองรับชิ้นงาน เป็นงานวิจัยที่ศึกษาการเพิ่มส่วนที่เป็นเนื้อวัสดุขึ้นมาเพื่อ ป้องกันไม่ให้ชิ้นงานต้นแบบเกิดการบิดงอ (Warping) การแอ่น (Sagging) หรือช่วยค้ำยันในส่วน ของชิ้นงานที่ยื่นออกมา (Overhanging) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 โดยส่วนใหญ่แล้ววิธีการขึ้นรูป ชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว เช่นวิธี SLA และ FDM จำเป็นต้องมีการสร้างฐานรองรับชิ้นงาน ยกเว้นแต่การ ขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ววิธี SLS และ LOM ที่ไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองรับชิ้นงาน เนื่องจากมี วัสดุตั้งต้นในการสร้างชิ้นงานต้นแบบทำหน้าที่เป็นฐานรองรับของชิ้นงานอยู่แล้ว การกำหนดทิศ ทิศทางการวางชิ้นงานและการสร้างฐานรองรับชิ้นงานถูกกำหนดให้เป็นปัญหาคู่ควบกัน (Coupled Problem) เนื่องจากบางทิศทางการวางชิ้นงานจำเป็นต้องกำหนดฐานรองรับชิ้นงานขึ้น ในขณะที่ ทิศทางอื่นอาจไม่จำเป็นต้องกำหนดฐานรองรับ (Cho et al., 2002) เช่น จากรูปที่ 2.13 (ก) ถ้ากำหนด ทิศทางการวางชิ้นงานในรูป 2.13 (ข) จะต้องมีการกำหนดฐานรองรับขึ้นเพื่อป้องกันการงอของชิ้นงาน ต่างจากทิศทางการวางชิ้นงานในรูป 2.13 (ค) ที่ไม่ต้องกำหนดฐานรองรับขึ้นมารองรับชิ้นงาน



รูปที่ 2.14 การสร้างฐานรองชิ้นงาน

การแบ่งแบบจำลองเป็นชั้น คือการแบ่งแบบจำลอง 3 มิติด้วยวิธีการตัดภาพตามระนาบที่กำหนดด้วยค่าความหนาที่กำหนดขึ้นเป็นแผ่นวางซ้อนกันอยู่เป็นชั้น ๆ การแบ่งแบบจำลองเป็นอีกหนึ่งขั้นตอนที่มีความสำคัญในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ เนื่องจากแต่ละชั้นแบบจำลองจะถูกสกัด (Extract) เป็นเส้นโครงร่างเพื่อนำมาขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ และการแบ่งแบบจำลองยังส่งผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงานต้นแบบ (Pandey et al., 2003) การแบ่งแบบจำลองด้วยค่าความหนาน้อย ๆ จะส่งผลให้ผิวของชิ้นงานต้นแบบใกล้เคียงกับชิ้นงานจริง แต่จะทำให้เวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นของแบบจำลอง (Jamieson and Hacker, 1995) แบบจำลองที่ถูกแบ่งเป็นชั้นตามระนาบที่กำหนด แต่ละชั้นของแบบจำลองอาจประกอบด้วยเส้นโครงร่างของพื้นที่ที่เป็นเนื้อวัสดุและพื้นที่ที่เป็นโพรง ซึ่งในแต่ละชั้นของแบบจำลองอาจมีเส้นโครงร่างเพียงเส้นเดียว หรือมีกลุ่มเส้นโครงร่างอยู่บนระนาบเดียวกัน การศึกษารูปร่างและการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายเช่น การวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เป็นต้น ซึ่งรูปร่างของแต่ละเส้นโครงร่างและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างเป็นข้อมูลสำคัญในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ จึงได้มีการนำเสนอวิธีการเกี่ยวกับการระบุรูปร่างจำนวน และความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing)

ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อศึกษาข้อมูลของเส้นโครงร่าง แนวคิดของ Chain Code ได้ถูกนำเสนอมาประยุกต์ใช้เพื่อแสดงรูปร่างของเส้นโครงร่าง (Liu et al., 2006; Chang and Chaing, 2003) โดยเริ่มจากการค้นหา (Searching) พิกเซล (Pixel) เริ่มต้นของเส้นโครงร่าง ต่อมาพิจารณาจากพิกเซลข้าง ๆ ทั้งหมด 8 พิกเซล แล้วเลือกมา 1 พิกเซลเป็นพิกเซลบนเส้นโครงร่าง จากการศึกษาของ Kaygin and Bulut (2001) ได้นำเสนอวิธี Active Chain ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้แนวคิดของ Chain Code เพื่อหาขอบเขตของพื้นที่ แนวคิดของ Chain Code ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ค้นหาจุดเชื่อมต่อระหว่างเส้นโครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกัน เพื่อสำรวจรูปร่างของ 2 เส้นโครงร่างที่ควรจะเป็นเส้นโครงร่างเดียวกัน (Identical) (Sunanon et al., 2005) ในกรณีที่มีเส้นโครงร่างมากกว่า 1 เส้นอยู่บนระนาบเดียวกัน ระบบการนับจำนวนเส้นโครงร่าง (Contour Numbering System) ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยกำหนดให้เส้นโครงร่างที่อยู่นอกสุดอยู่ที่ระดับศูนย์ และระดับชั้นที่สูงขึ้นจะแสดงเส้นโครงร่างที่อยู่ในสุด (Masood et al., 2002)

การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นของแบบจำลองเป็นงานวิจัยอีกส่วนหนึ่งที่นำมาวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพื่อช่วยลดระยะเวลาการสร้างชิ้นงาน และหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบในแต่ละชั้น จากการศึกษาของ Ma and Chu (2000) ได้นำเสนอวิธีที่ใช้ระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างที่ซ้อนกัน โดยใช้การลากเส้นจากจุดใด ๆ ผ่านเส้นโครงร่างที่ซ้อนกัน เส้นโครงร่างที่ถูกตัดผ่านเส้นแรกจะเป็นเส้นโครงร่างด้านนอกที่อยู่นอกสุด และเส้นที่ถูกตัดผ่านลำดับต่อมาจะเป็นเส้นโครงร่างด้านในถัดไป แต่เทคนิคนี้เหมาะสำหรับเส้นโครงร่างที่ซ้อนกันเป็นวง และเส้นโครงร่างทุกเส้นจะต้องอยู่บนระนาบเดียวกันที่เส้นตรงลากผ่านเส้นโครงร่างทุกเส้นได้ แนวคิด Bounding Box (Choi and Kwok, 2004) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง โดยแต่ละเส้นโครงร่างจะถูกสร้างกล่องสี่เหลี่ยมกรอบและแต่ละกล่องสี่เหลี่ยมจะถูกเปรียบเทียบที่ละคู่ กล่องสี่เหลี่ยมที่ถูกครอบด้วยกล่องสี่เหลี่ยมอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างที่อยู่ภายในกล่องสี่เหลี่ยมนั้นเป็นเส้นโครงร่างที่อยู่ข้างใน แต่ถ้าหากมีการซ้อนทับ (Overlap) ระหว่างกล่องสี่เหลี่ยม แนวคิดของ Ray Shooting จะถูกนำมาใช้ระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง ด้วยวิธีการลากเส้นตรงผ่านเส้นโครงร่างที่ต้องการพิจารณา จากนั้นทำการพิจารณาจุดตัดที่เกิดขึ้นบนเส้นโครงร่าง ถ้าจุดตัดจุดแรกและจุดที่สองเกิดขึ้นบนเส้นโครงร่างเส้นเดียวกัน แสดงว่าเส้นโครงร่างเส้นนี้คือเส้นโครงร่างภายนอก แต่ถ้าจุดตัดจุดแรกและจุดตัดที่สองเกิดบนเส้นโครงร่างคนละเส้นให้พิจารณาจุดตัดจุดที่

สาม ถ้าจุดตัดที่สามเกิดบนเส้นโครงร่างเส้นเดียวกันกับจุดตัดที่สอง แสดงว่าเส้นโครงร่างเส้นนี้คือเส้นโครงร่างภายใน

การวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งมีการเคลื่อนที่ที่สัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างของแต่ละชั้นแบบจำลอง เนื่องจากข้อมูลตำแหน่งและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำไปใช้วางแผนการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของเครื่องมือเพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของหัวปล่องวัสดุ (Choi and Cheung, 2006) ในกรณีการสร้างชิ้นงานต้นแบบใช้หัวปล่องวัสดุมากกว่า 1 อัน กลุ่มงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นล้วนแล้วมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าความผิดพลาดของชิ้นงาน (Model Error) และเพื่อลดระยะเวลาการสร้างต้นแบบ (Fabrication Time) ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างยังสามารถนำไปใช้เพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ และสามารถลดระยะเวลาการสร้างชิ้นงานต้นแบบได้อีกด้วย ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้นโครงร่างในแต่ละชั้น เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างและเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง จากการศึกษาของ Tang and Pang (2003) ได้มีการนำเสนอวิธี Maximum Linear Intersection (MLI) โดยการลากเส้นตรงตัดผ่านกลุ่มเส้นโครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกัน และคำนวณหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่สั้นที่สุด ช่วงระยะเวลาการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน จากการศึกษาของ Joneja et al. (1988) ได้นำเสนอวิธี Genetic Algorithm เพื่อลดช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงานในการสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธีการสร้างแบบ LOM โดยแบ่งช่วงระยะที่เครื่องมือไม่ได้ทำงานที่จะทำการพิจารณาออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงระยะเวลาการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากจุดเริ่มต้น (Home Position) ไปยังเส้นโครงร่างเส้นแรก 2) ช่วงระยะเวลาการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างเส้นโครงร่าง และ 3) ช่วงระยะเวลาการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากเส้นโครงร่างเส้นสุดท้ายไปยังจุดเริ่มต้น จากการศึกษาของ Castelino et al. (2002) ได้ประยุกต์นำเอาหลักการของปัญหาการเดินทางของพนักงานขายใช้ในการวางแผนการเดินทางของเครื่องมือ เพื่อลดช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน เช่นเดียวกับ Chou et al. (2007) โดยได้นำเสนอวิธี Odd-Even Adjusting Algorithm เพื่อใช้ในการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือสำหรับเส้นโครงร่างที่เป็นวงกลม โดยมีมุ่งหมายเพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง การลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างจะส่งผลให้สามารถลดเวลาการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวมทั้งสามารถช่วยประหยัดพลังงานการสร้างชิ้นงานต้นแบบได้อีกด้วย

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้นำเสนอรายละเอียดขั้นตอนต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ โดยอธิบายรายละเอียดขั้นตอนการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งแนวคิดของ Parent and Child ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง และอธิบายรายละเอียดขั้นตอนการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ และใช้วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

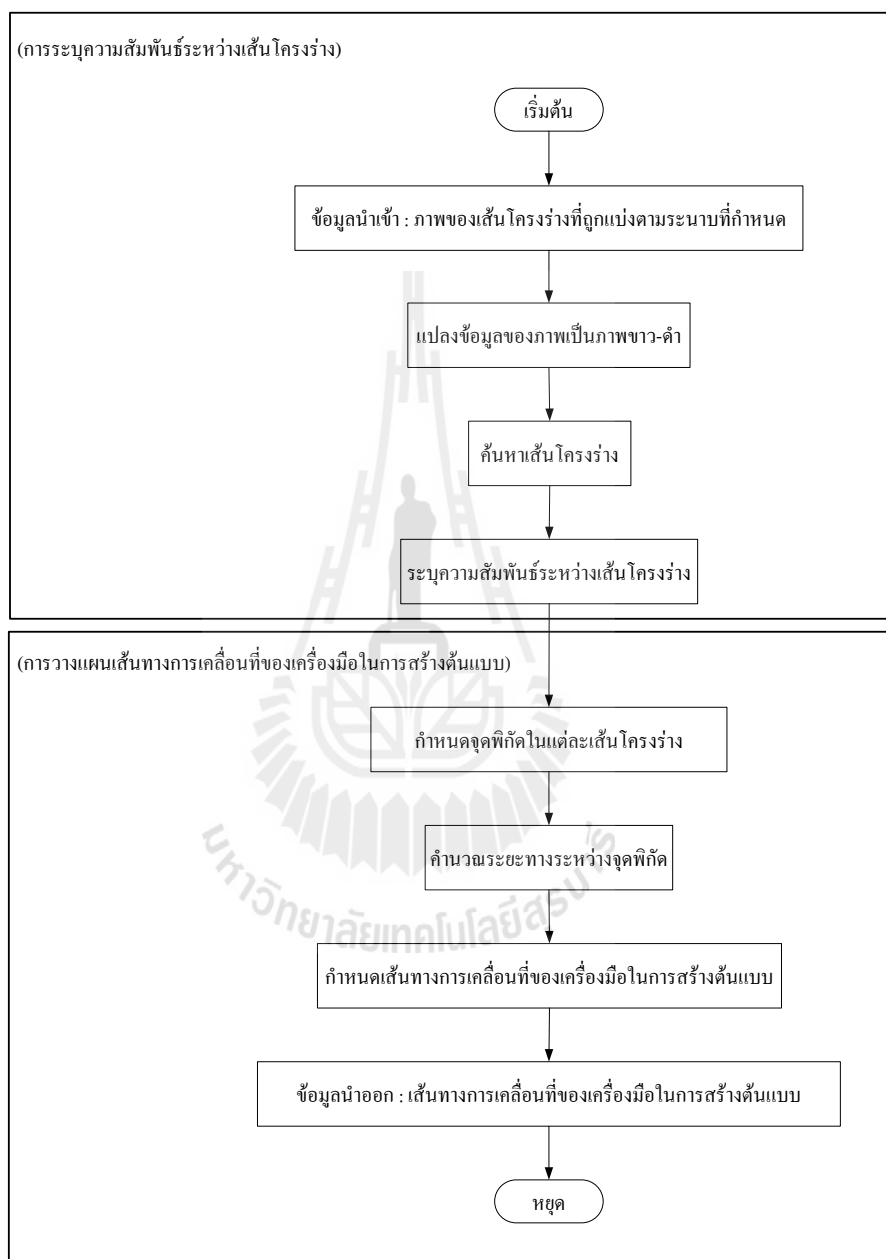
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง
2. การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้แสดงในรูปที่ 3.1 เริ่มต้นจากข้อมูลนำเข้าที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ คือ ภาพของเส้นโครงร่างที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนด ข้อมูลของภาพนี้จะถูกแปลงเป็นภาพขาว-ดำ (Binary Image) จากนั้นค้นหาเส้นโครงร่างของชิ้นแบบจำลอง แล้วระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกันของชิ้นแบบจำลอง โดยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ แต่ละเส้นโครงร่างจะถูกกำหนดจุดพิกัด (Point on Contour) ซึ่งจุดพิกัดนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น (Starting Point) และจุดสิ้นสุด (Ending Point) ของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่าง การทำวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 วิธี Searched Points Based on Home Position และวิธีที่ 2 วิธี Searched Points Based on Previous Contour จากนั้นจึงคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่างที่กำหนดได้ ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่างจะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เพื่อแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ และวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor

จะถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ เส้นการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่สั้นที่สุดคือ
ข้อมูลนำออกสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

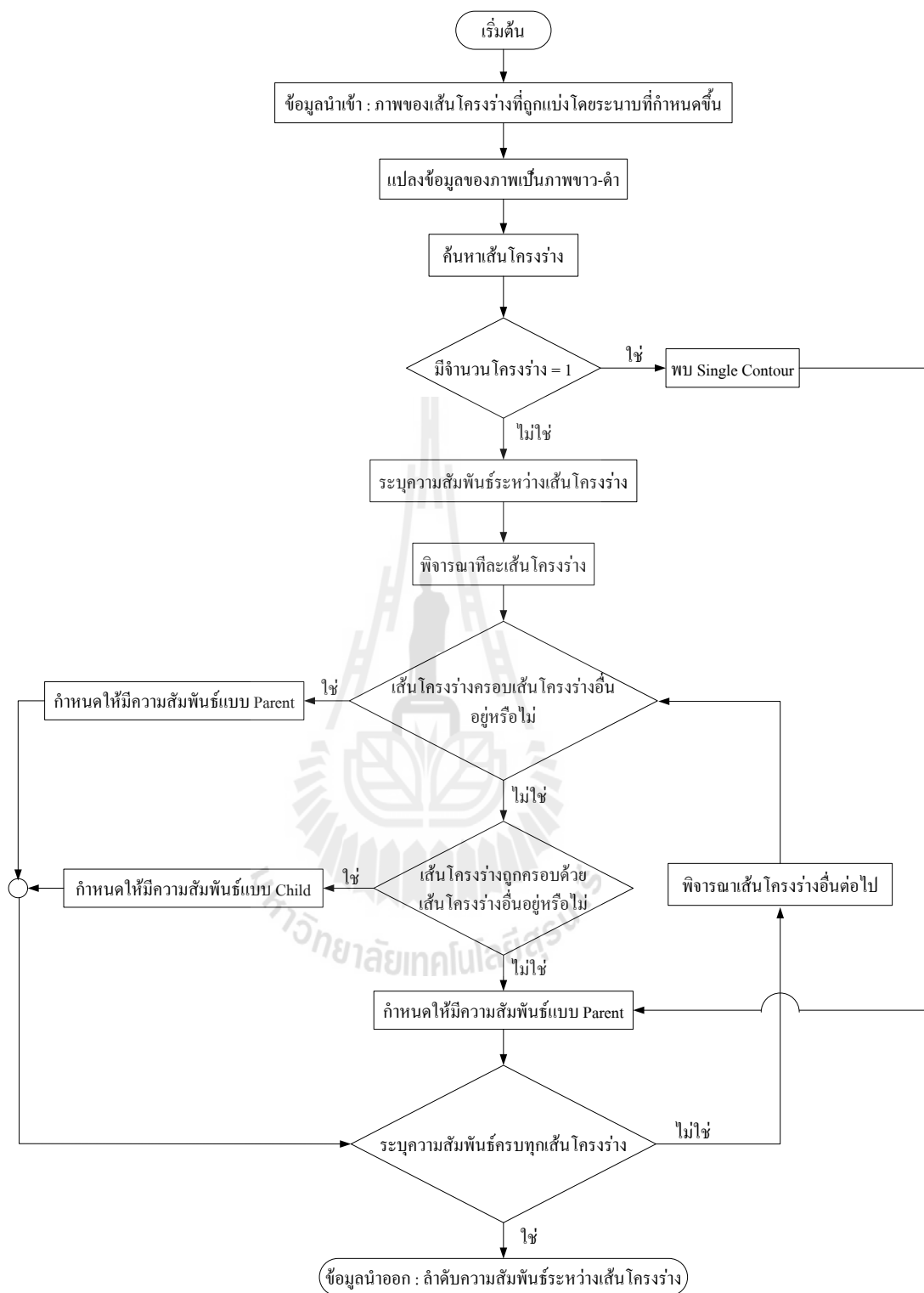
ข้อมูลนำเข้าของการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง คือ ภาพเส้นโครงร่างที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนด ซึ่งภาพนี้จะถูกสกัดเป็นรูปร่างของเส้นโครงร่าง โดยข้อมูลของเส้นโครงร่างที่ได้จะถูกเก็บข้อมูลในรูปแบบของเซต (Set) คู่อันดับในระนาบ XY ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$C_x = \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\} \quad (3.1)$$

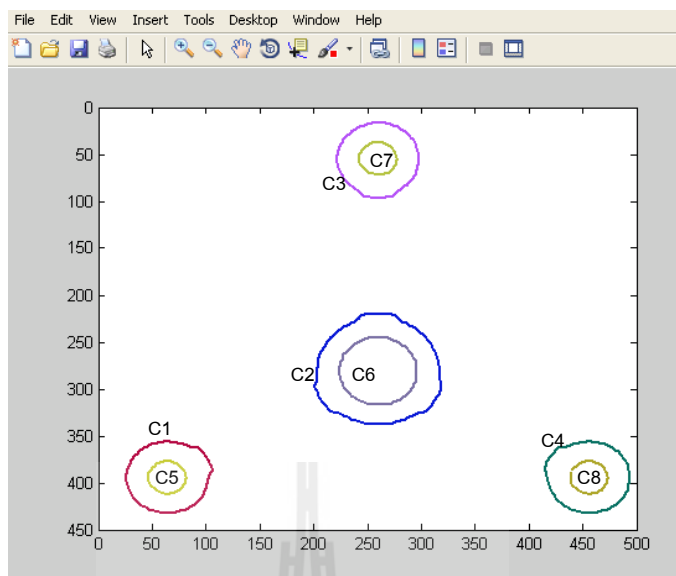
โดยที่

C_x คือ เส้นโครงร่างที่ X

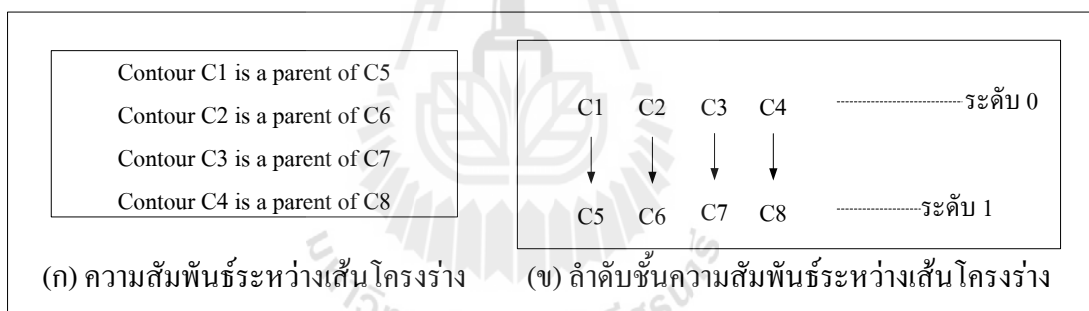
เมื่อเส้นโครงร่าง C_x คือ เส้นโครงร่างที่ X ประกอบด้วยสมาชิกคู่อันดับในระนาบ XY จากนั้นพิจารณาการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างที่ซ้อนกันอยู่บนระนาบเดียวกัน รายละเอียดขั้นตอนวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างแสดงดังในรูปที่ 3.2 โดยแนวคิดของ Parent and Child จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง โดยพิจารณาทีละเส้นโครงร่าง เส้นโครงร่างที่รอบเส้นโครงร่างอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างนั้นมีความสัมพันธ์แบบ Parent และเส้นโครงร่างที่ถูกครอบด้วยเส้นโครงร่างอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างนั้นมีความสัมพันธ์แบบ Child และกำหนดให้เส้นโครงร่างที่กระจายตัวอยู่อิสระเป็นเส้นโครงร่างภายนอก โดยจะระบุความสัมพันธ์จนครบทุกเส้นโครงร่าง ข้อมูลนำออกสำหรับขั้นตอนนี้คือ ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง จากตัวอย่างภาพเส้นโครงร่างดังแสดงในรูปที่ 3.3 ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลองประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 8 เส้นโครงร่าง คือเส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 และ C8 โดยเส้นโครงร่าง C1, C2, C3 และ C4 ครอบเส้นโครงร่างอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างเหล่านี้มีความสัมพันธ์แบบ Parent ของเส้นโครงร่างที่ถูกครอบ คือเส้นโครงร่าง C5, C6, C7 และ C8 ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบ Child ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (ก) จากข้อมูลความสัมพันธ์นี้สามารถระบุลำดับชั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างดังแสดงในรูปที่ 3.4 (ข) ตัวเลขของระดับ (Level) แสดงถึงจำนวน Parent ของเส้นโครงร่างในระดับชั้นนั้น ที่ระดับ 0 คือเส้นโครงร่าง C1, C2, C3 และ C4 ไม่มี Parent ส่วนที่ระดับ 1 เส้นโครงร่าง C5, C6, C7 และ C8 มีจำนวน Parent เท่ากับ 1 ตามความสัมพันธ์ที่ได้กล่าวมา



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการพิจารณา Parent and Child



รูปที่ 3.3 เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง

3.3 การวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. เส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือในการสร้างต้นแบบทำงาน
2. เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือในการสร้างต้นแบบไม่ได้ทำงาน

เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นแบบจำลอง ชั้นแบบจำลองที่มีกลุ่มของเส้นโครงร่างที่มีลักษณะซ้อนกันอยู่บนระนาบเดียวกัน จะ

ส่งผลต่อการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบซึ่งจะเป็นไปได้หลายเส้นทาง ปัญหาการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่เกิดขึ้นจึงแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ

1. การกำหนดจุดพิคคของแต่ละเส้น โครงร่าง ซึ่งจุดพิคคนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้น โครงร่าง ดังนั้นได้นำเสนอวิธีการกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่าง 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 วิธี Searched Points Based on Home Position โดยตำแหน่งของเส้น โครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดเริ่มต้น (Home Position) จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิคคของเส้น โครงร่าง และวิธีที่ 2 วิธี Searched Points Based on Previous โดยตำแหน่งของเส้น โครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดพิคคของเส้น โครงร่างก่อนนี้ จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิคคของเส้น โครงร่าง

2. การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยแนวคิดการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยมุ่งหวังลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้น โครงร่างของเครื่องมือ ซึ่งข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิคคของเส้น โครงร่างจะถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นเดินทางของเครื่องมือ

3.3.1 การกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

การกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position โดยตำแหน่งของแต่ละเส้น โครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้น ซึ่งตำแหน่งนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิคคของเส้น โครงร่าง จุดพิคคในแต่ละเส้น โครงร่างถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้น โครงร่าง โดยมีขั้นตอนการกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่างดังแสดงในรูปที่ 3.5 เริ่มจากข้อมูลจำนวนเส้น โครงร่างของชั้นแบบจำลอง และข้อมูลเซตคู่อันดับของแต่ละเส้น โครงร่างถูกนำมาใช้ในการกำหนดจุดพิคค โดยจุดมุมล่างซ้ายของภาพเส้น โครงร่างจะถูกกำหนดเป็นจุดพิคคจุดแรก ซึ่งจุดพิคคนี้ถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ลำดับต่อมากำหนดจุดพิคคของแต่ละเส้น โครงร่างทั้งหมด โดยตำแหน่งของแต่ละเส้น โครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดเริ่มต้น จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิคคของเส้น โครงร่างนั้น ๆ การคำนวณระยะทางใช้วิธีการหาระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance) ซึ่งเป็นการหาระยะทางระหว่างจุดสองจุดบนระนาบ XY คำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$D_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2} + \sqrt{(Y_j - Y_i)^2} \quad (3.2)$$

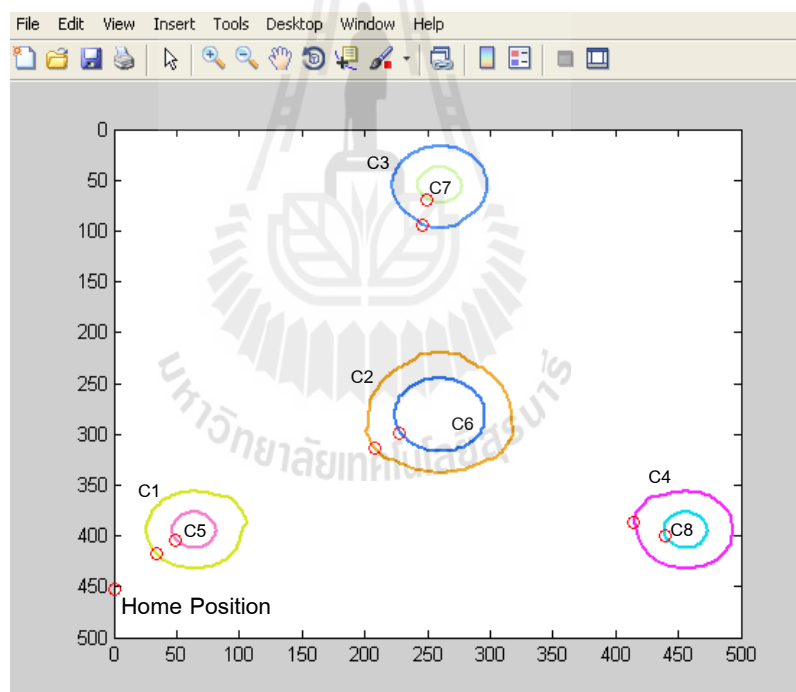
โดยระยะทางจากจุด (X_i, Y_i) ไปยังจุด (X_j, Y_j) แทนด้วย D_{ij} จากเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลองแสดงในรูปที่ 3.3 การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position โดยจุดพิกัด (0,452) ถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดจุดแรกซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางเดินของเครื่องมือ ต่อมานิยามจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 และ C8 ตำแหน่งของแต่ละเส้นโครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดพิกัด (0,452) จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ซึ่งจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างแสดงในตารางที่ 3.1 และแสดงตำแหน่งจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างในรูปที่ 3.6 ข้อมูลจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างทั้งหมดนี้ จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.5 การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

ตารางที่ 3.1 แสดงจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

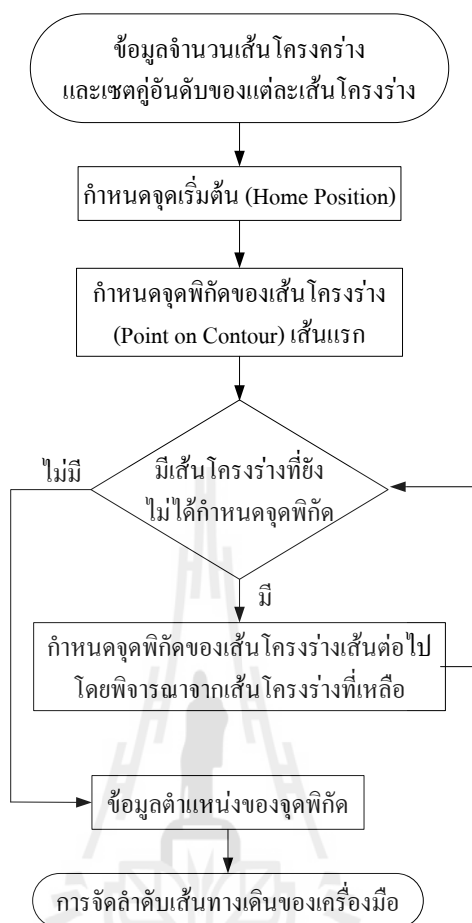
เส้นโครงร่าง	วิธี Searched Points Based on Home Position
จุดเริ่มต้น	(0,452)
C1	(34,418)
C2	(208,314)
C3	(246,95)
C4	(414,386)
C5	(49,404)
C6	(228,299)
C7	(249,69)
C8	(439,400)



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

3.3.2 การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Pervious Contour

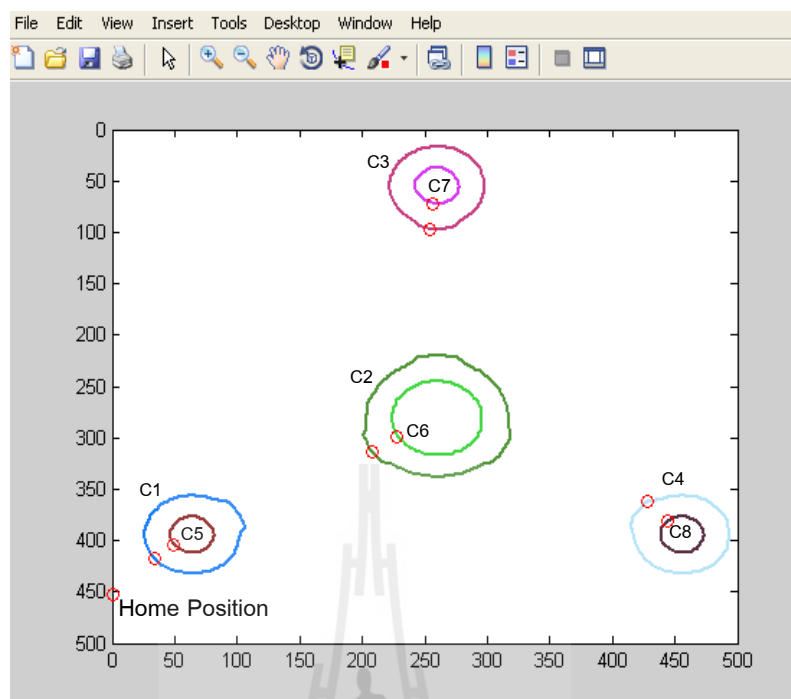
การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour โดยตำแหน่งของเส้นโครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดพิกัดก่อนหน้านี้ จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้นโครงร่างเส้นในลำดับถัดไป โดยมีขั้นตอนการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 เริ่มจากการกำหนดให้จุดมุมล่างซ้ายของภาพเส้นโครงร่าง จุดพิกัด (0,452) ถูกกำหนดเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเป็นลำดับแรก เช่นเดียวกับวิธี Searched Points Based on Home Position จากนั้นพิจารณาแต่ละเส้นโครงร่างจากเส้นโครงร่าง ทั้งหมดของชั้นแบบจำลอง ตำแหน่งของเส้นโครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดเริ่มต้น จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้นโครงร่างในลำดับถัดมา จากนั้นพิจารณาแต่ละเส้นโครงร่างที่ยังไม่ได้กำหนดจุดพิกัด ตำแหน่งของเส้นโครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดพิกัดก่อนหน้านี้ จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้นโครงร่างเส้น และดำเนินการพิจารณาเส้นโครงร่างที่เหลือเพื่อ กำหนดจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างจนกระทั่งครบทุกเส้นโครงร่าง โดยการคำนวณระยะทางใช้ วิธีการหาระยะทางแบบยุคลิดเช่นเดียวกับวิธี Searched Points Based on Home Position จากเส้น โครงร่างของชั้นแบบจำลองแสดงในรูปที่ 3.3 การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour โดยจุดพิกัด (0,452) ถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดจุดแรกซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากนั้นพิจารณาเส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 และ C8 ตำแหน่งของเส้นโครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดพิกัด (0,452) คือเส้นโครงร่าง C1 ที่จุดพิกัด (34,418) ซึ่งจุดพิกัดนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่ม และจุดสิ้นสุดของการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่าง C1 จากนั้นพิจารณาเส้นโครงร่าง C2, C3, C4, C5, C6, C7 และ C8 และกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดพิกัด (34,418) คือเส้นโครงร่าง C5 ที่จุดพิกัด (49,404) ถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดของเส้นโครงร่างในลำดับถัดมา และทำการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างเส้นอื่นต่อไป โดยพิจารณาจากเส้นโครงร่างที่ยังไม่ได้กำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ซึ่งจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างแสดงในตารางที่ 3.2 และแสดงตำแหน่งจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างในรูปที่ 3.8 ข้อมูลจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างทั้งหมดนี้ จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.7 การกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour

ตารางที่ 3.2 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง

เส้น โครงร่าง	วิธี Searched Points Based on Previous
จุดเริ่มต้น	(0,452)
C1	(34,418)
C2	(208,314)
C3	(254,97)
C4	(428,362)
C5	(49,404)
C6	(228,299)
C7	(256,72)
C8	(444,381)



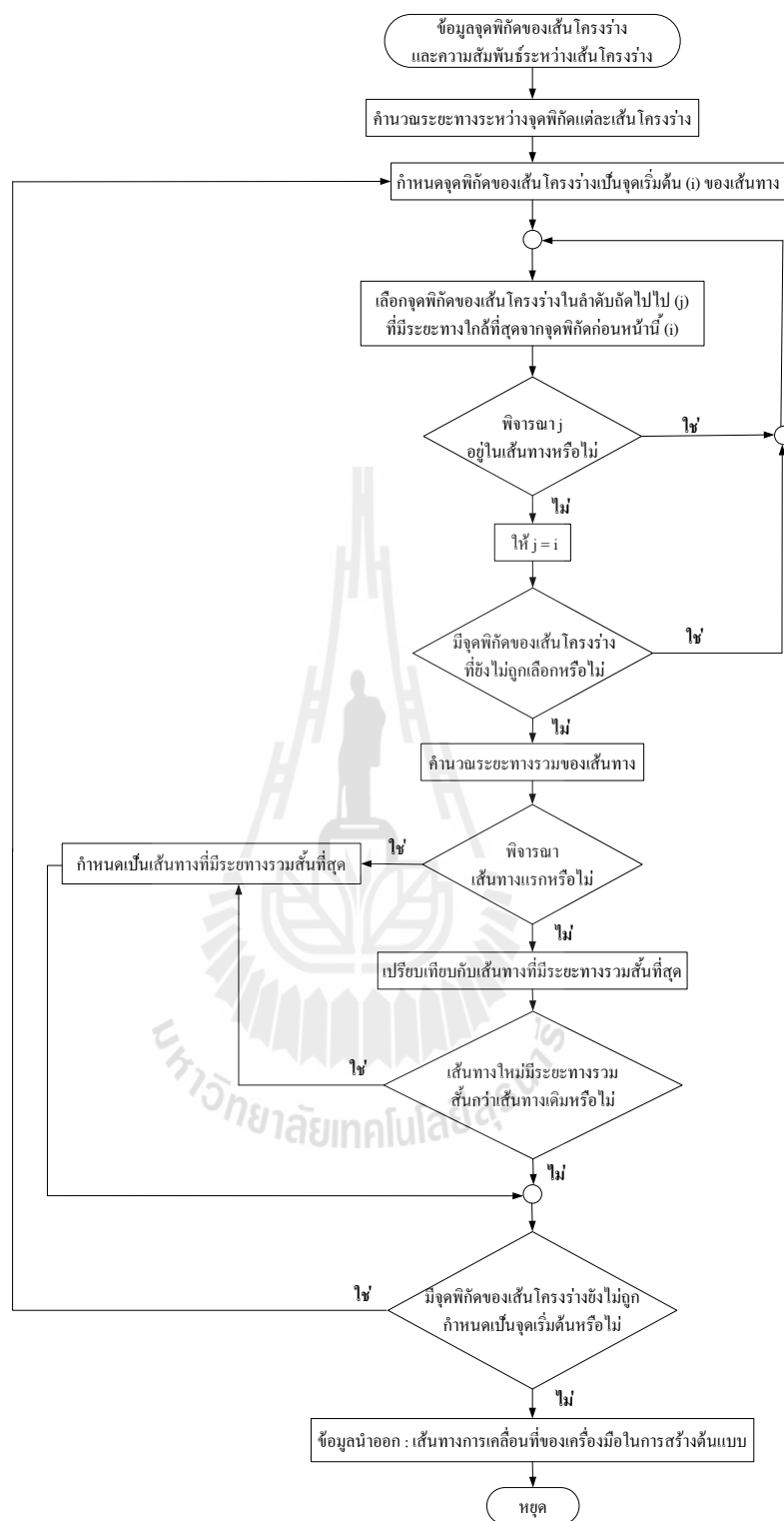
รูปที่ 3.8 ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

เมื่อจุดพิกัดของแต่ละเส้นถูกกำหนดขึ้นแล้ว จากนั้นระยะทางระหว่างจุดพิกัดทั้งหมดจะถูกคำนวณโดยใช้วิธีการหาระยะทางแบบยุคลิด ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดและข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เมื่อพิจารณาจากลักษณะของปัญหาการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ พบว่าสอดคล้องกับรูปแบบของปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem : TSP) ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงพิจารณารูปแบบการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขาย เป็นวิธีที่ใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ อย่างไรก็ตามเนื่องจากการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขายจัดเป็นปัญหาแบบเอ็นพีบริบูรณ์ (NP-Complete) ซึ่งเป็นปัญหาที่หาคำตอบที่ดีที่สุดได้ยากภายในเวลาที่เหมาะสม วิธีการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือด้วยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับเส้นทางเดินของพนักงานขาย ที่ไม่มีความซับซ้อนในการคำนวณง่ายแก่การเข้าใจ และใช้เวลาในการคำนวณน้อย วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor จึงเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการทำวิจัย เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง

3.3.3 วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor

การจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor เป็นฮิวริสติกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยพิจารณาให้เครื่องมือในการสร้างต้นแบบเป็นพนักงานขาย ส่วนจุดพิคัดของเส้นโครงร่างจากวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2 เป็นเมืองที่พนักงานขายต้องเดินทางไปทุกเมืองทั้งหมด การจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธีนี้เส้นทางที่สั้นที่สุดจะถูกเลือกให้เป็นเส้นทางเดินของเครื่องมือ เพื่อใช้เดินทางไปยังเส้นโครงร่างในลำดับถัดไป จนครบเส้นโครงร่างทุกเส้นแล้วกลับมาจุดเริ่มต้น

ขั้นตอนในการดำเนินการกำหนดเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือแสดงดังในรูปที่ 3.9 เริ่มจากการคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิคัดของแต่ละเส้นโครงร่าง ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิคัดจะถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทาง การจัดลำดับเส้นทางตามหลักการของวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ โดยเริ่มต้นเส้นทางที่แต่ละจุดพิคัดของเส้นโครงร่างที่กำหนดได้ จากนั้นเลือกจุดพิคัดของเส้นโครงร่างในลำดับถัดไปที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดพิคัดที่ถูกเลือกหน้านั้น จนจุดพิคัดของเส้นโครงร่างถูกเลือกทั้งหมดและกลับมาที่จุดพิคัดเริ่มต้น จากนั้นคำนวณระยะทางรวมและดำเนินการเปลี่ยนจุดเริ่มต้นไปเรื่อย ๆ จนครบทุกจุดพิคัดของเส้นโครงร่าง ระยะทางรวมที่คำนวณได้จากการเริ่มต้นที่แต่ละจุดพิคัดที่มีระยะทางสั้นที่สุด ถูกกำหนดให้เป็นเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ



รูปที่ 3.9 การจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

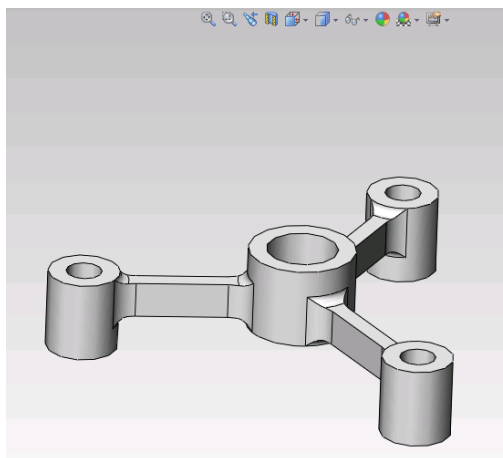
บทที่ 4

ผลการทดสอบ

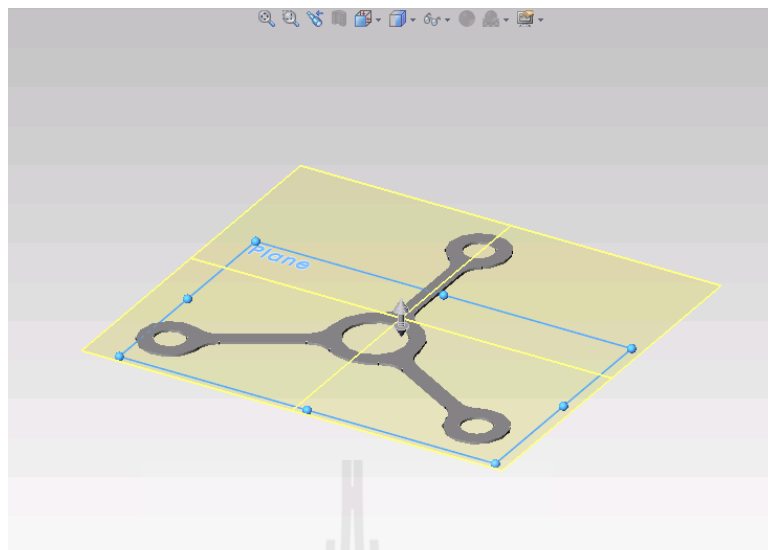
บทนี้เป็นการดำเนินการทดสอบการวิจัย ในการประมวลผลผลลัพธ์การทดสอบการวิจัยได้ทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB โดยแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการศึกษา เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง, การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง, การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างของเส้นโครงร่าง และการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ชิ้นงานตัวอย่างในการทดสอบการวิจัยนี้ถูกสร้างโดยใช้โปรแกรม SOLIDWORK

4.1 กรณีศึกษาที่ 1

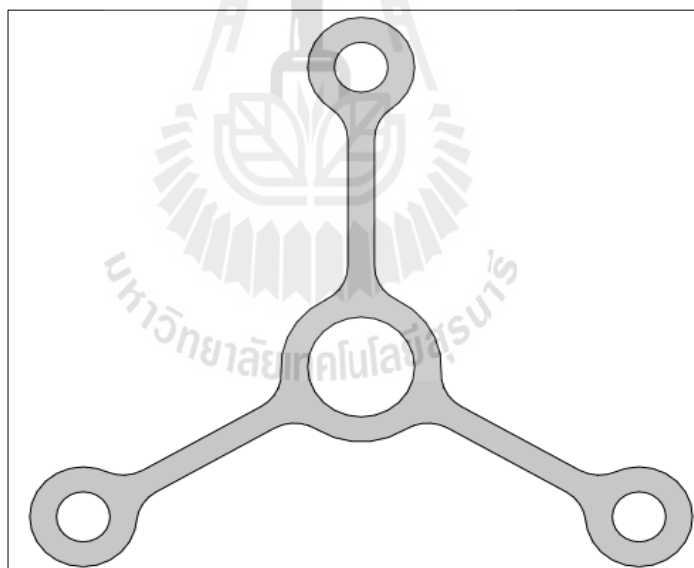
กรณีศึกษานี้ได้ทำการศึกษาแบบจำลองชิ้นงานตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.1 แบบจำลองนี้จะถูกแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ตามระนาบที่กำหนด ตัวอย่างของชั้นแบบจำลองดังแสดงรูปที่ 4.2 ชั้นแบบจำลองนี้จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาเส้นโครงร่างของชั้น ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลองนี้คือข้อมูลนำเข้าสำหรับการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.3 ผลจากการศึกษารูปร่างของเส้นโครงร่างพบว่า ภาพเส้นโครงร่างประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 5 เส้นโครงร่างคือ เส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4 และ C5 ดังแสดงในรูปที่ 4.4



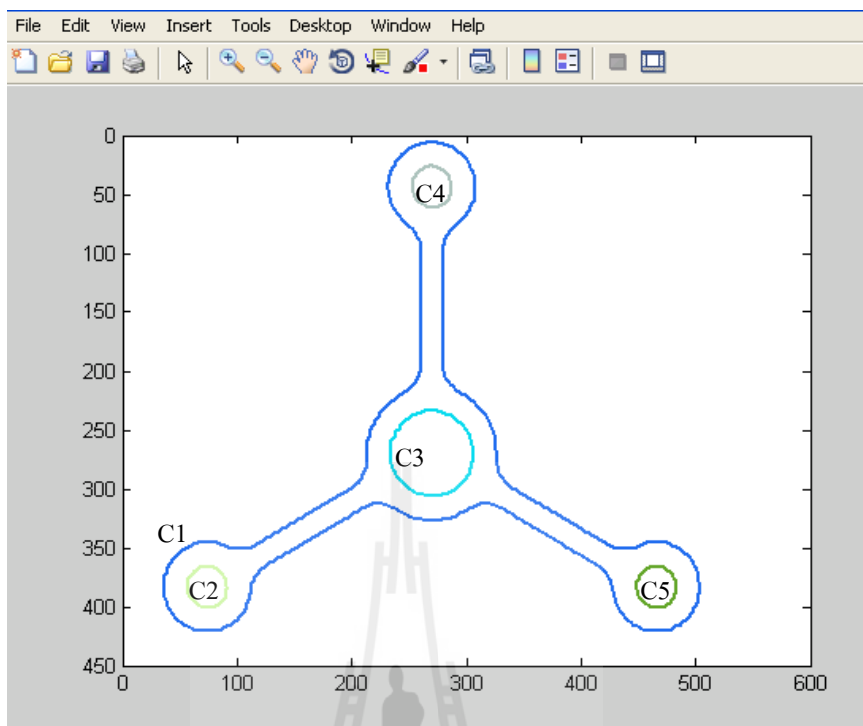
รูปที่ 4.1 แบบจำลองชิ้นงาน



รูปที่ 4.2 ชั้นแบบจำลอง

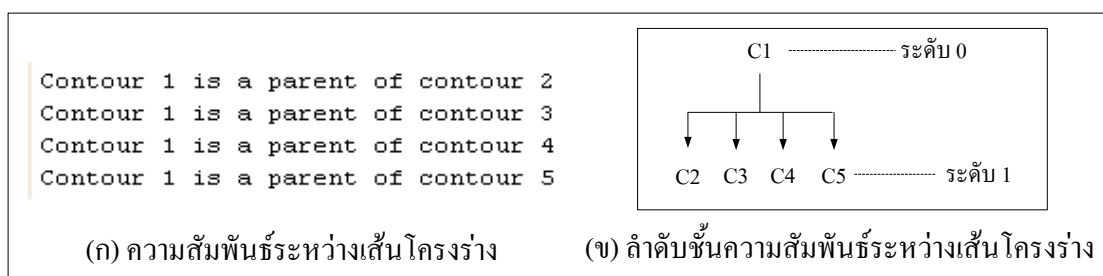


รูปที่ 4.3 ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง



รูปที่ 4.4 เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง

ผลจากการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างโดยการประยุกต์ใช้แนวคิด Parent and Child แสดงดังในรูปที่ 4.5 เส้นโครงร่าง C1 มีความสัมพันธ์แบบ Parent ของเส้นโครงร่าง C2, C3, C4 และ C5 แสดงว่าเส้นโครงร่าง C1 คือเส้นโครงร่างภายนอกของชั้นงาน ส่วนเส้นโครงร่าง C2, C3, C4 และ C5 คือเส้นโครงร่างภายในของชั้นงานที่เป็นโพรง ผลจากการกำหนดจุดพิคคของเส้นโครงร่างในแต่ละเส้นโครงร่าง ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position โดยตำแหน่งของแต่ละเส้นโครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดเริ่มต้น (Home Position) จะถูกกำหนดเป็นจุดพิคคของเส้นโครงร่าง และวิธี Searched Points Based on Previous Contour โดยตำแหน่งของเส้นโครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดพิคคของเส้นโครงร่างก่อนหน้านี้ จะถูกกำหนดเป็นจุดพิคคของเส้นโครงร่างแสดงดังในตารางที่ 4.1 ตามลำดับ จุดพิคคของเส้นโครงร่างที่ถูกกำหนดขึ้นคือจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่าง



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง

ตารางที่ 4.1 แสดงจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

เส้นโครงร่าง	วิธีการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง	
	วิธี Searched Points Based on Home Position	วิธี Searched Points Based on Previous Contour
จุดเริ่มต้น	(0,299)	(0,299)
C1	(54,242)	(54,242)
C2	(170,73)	(170,73)
C3	(170,249)	(170,242)
C4	(401,73)	(401,73)
C5	(401,249)	(448,220)

ผลการคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position และวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงดังในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

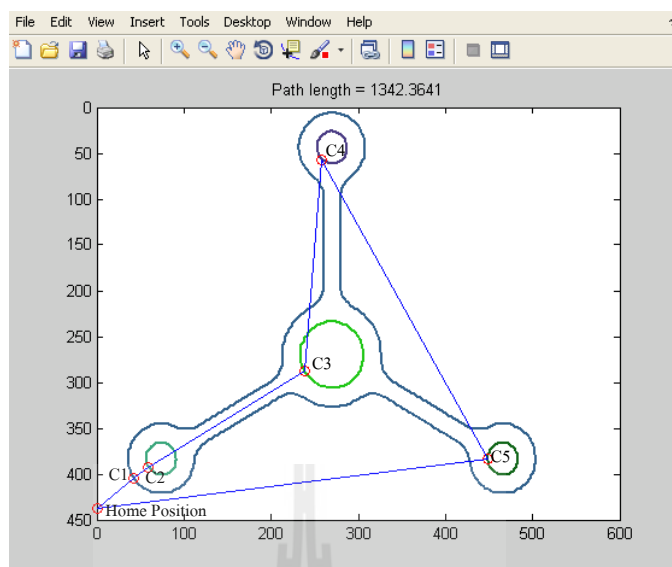
เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3	C4	C5
จุดเริ่มต้น	0	54.04	74.20	281.33	460.14	451.36
C1	54.04	0	20.25	227.75	408.74	406.54
C2	74.20	20.25	0	207.52	390.51	389.13
C3	281.33	227.75	207.52	0	231.86	230.49
C4	460.14	408.74	390.51	231.86	0	377.33
C5	451.36	406.54	389.13	230.49	377.33	0

ตารางที่ 4.3 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

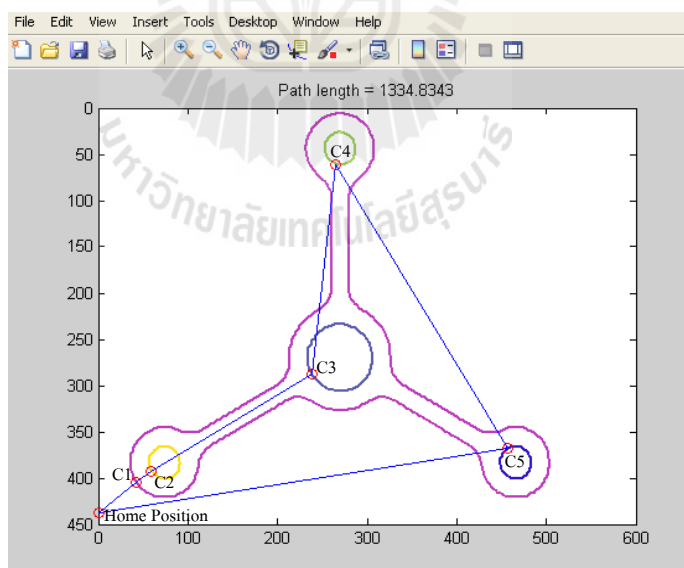
ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour

เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3	C4	C5
จุดเริ่มต้น	0	54.04	74.20	281.33	460.82	462.33
C1	54.04	0	20.25	227.75	409.12	416.56
C2	74.20	20.25	0	207.52	390.72	398.78
C3	281.33	227.75	207.52	0	228.60	233.15
C4	460.82	409.12	390.72	228.60	0	362.10
C5	462.33	416.56	398.78	233.15	362.10	0

ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่างนี้จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ โดยผลจากการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position แสดงดังในรูปที่ 4.6 มีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือเท่ากับ 1342.3641 ยูนิต (Unit) และเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงดังในรูปที่ 4.7 มีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือเท่ากับ 1334.8384 ยูนิต โดยมีลำดับเส้นทางการที่ของเครื่องมือเหมือนกันคือ เริ่มจาก จุดเริ่มต้น $\rightarrow$ C1 $\rightarrow$ C2 $\rightarrow$ C3 $\rightarrow$ C4 $\rightarrow$ C5 $\rightarrow$ จุดเริ่มต้น



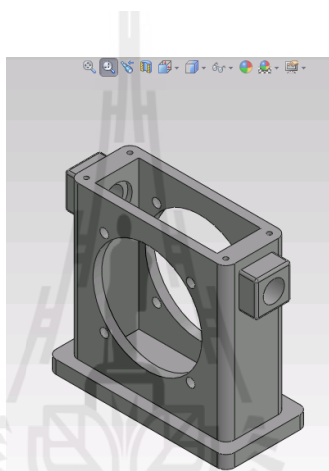
รูปที่ 4.6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพักของเส้น โครงร่างด้วยวิธี
Searched Points Based on Home Position มีระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเท่ากับ
1342.3641 หน่วย



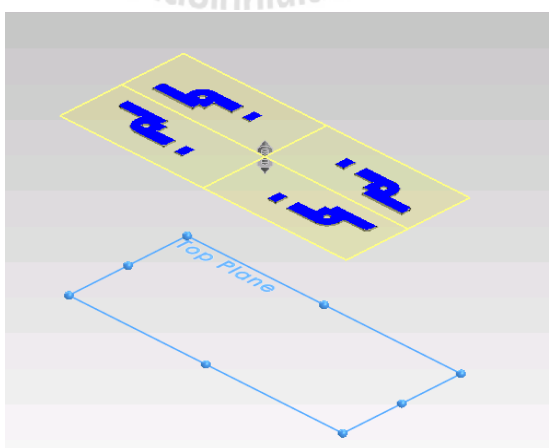
รูปที่ 4.7 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพักของเส้น โครงร่างด้วยวิธี
Searched Points Based on Previous Contour มีระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ
เท่ากับ 1334.8384 หน่วย

4.2 กรณีศึกษาที่ 2

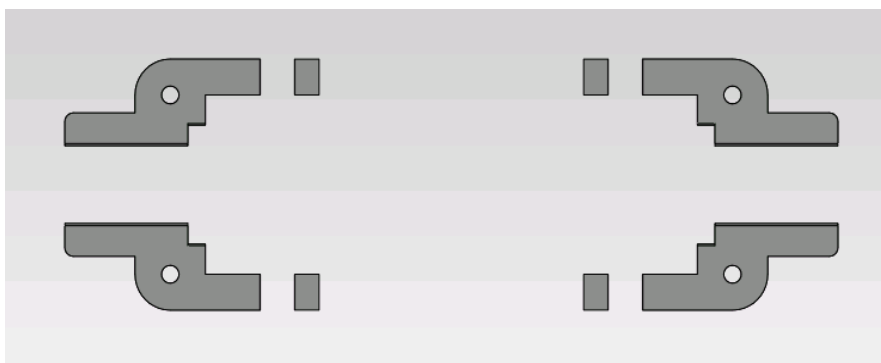
แบบจำลองชิ้นงานตัวอย่างของกรณีศึกษาที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 แบบจำลองนี้จะถูกแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ตามระนาบที่กำหนด ตัวอย่างของชั้นแบบจำลองดังแสดงรูปที่ 4.9 ชั้นแบบจำลองนี้จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาเส้นโครงร่างของชั้น ภาพเส้นโครงร่างของแบบจำลองนี้คือข้อมูลนำเข้าสำหรับการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.10 ผลจากการศึกษารูปร่างของเส้นโครงร่างพบว่า ภาพเส้นโครงร่างประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 12 เส้นโครงร่างคือ เส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11 และ C12 ดังแสดงในรูปที่ 4.11



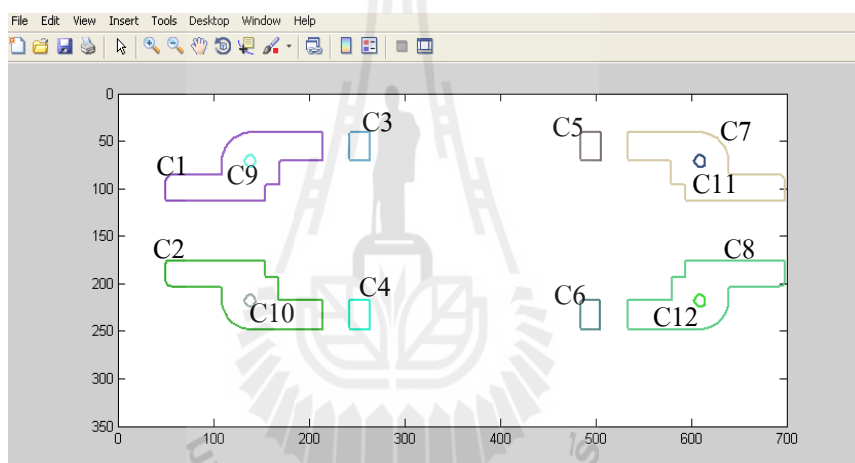
รูปที่ 4.8 แบบจำลองชิ้นงาน



รูปที่ 4.9 ชั้นของแบบจำลอง

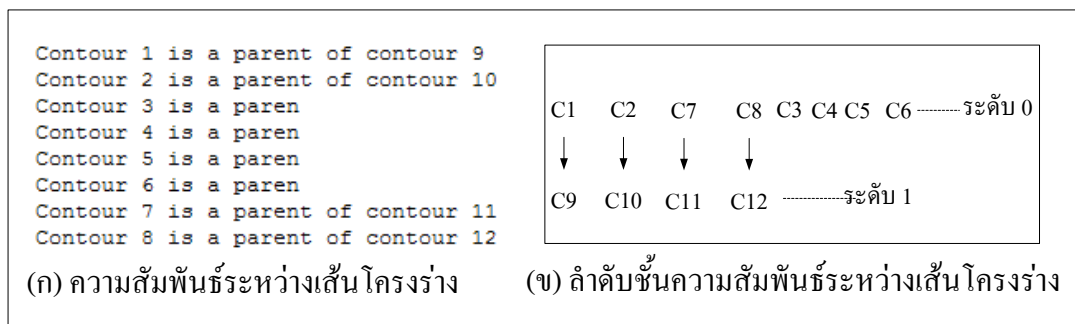


รูปที่ 4.10 ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง



รูปที่ 4.11 เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง

ผลจากการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างโดยการประยุกต์ใช้แนวคิด Parent and Child แสดงดังในรูปที่ 4.12 เส้นโครงร่าง C1, C2, C7 และ C8 มีความสัมพันธ์แบบ Parent ของเส้นโครงร่าง C9, C10, C11 และ C12 ตามลำดับ แสดงว่าเส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 และ C8 ที่ระดับ 0 คือเส้นโครงร่างภายนอกของชั้นงาน ส่วนเส้นโครงร่าง C9, C10, C11 และ C12 ที่ระดับ 1 คือเส้นโครงร่างภายในของชั้นงานที่เป็นโพรง ผลการกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดพิกัดของเส้นโครงร่างในแต่ละเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position และวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงในตารางที่ 4.4



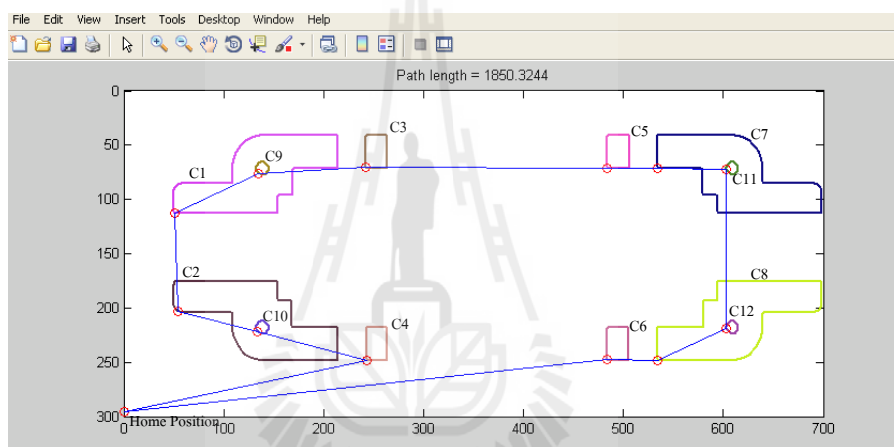
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของโครงร่าง

ตารางที่ 4.4 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง

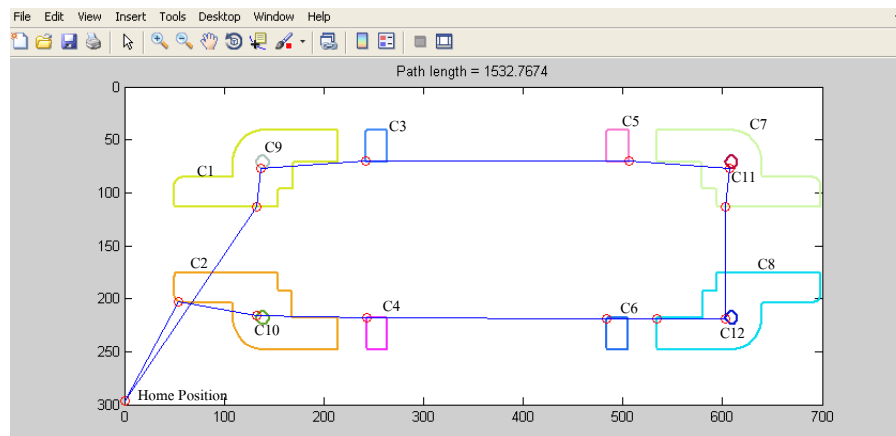
เส้นโครงร่าง	วิธีการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง	
	วิธี Searched Points Based on Home Position	วิธี Searched Points Based on Previous Contour
จุดเริ่มต้น	(0,296)	(0,296)
C1	(51,113)	(133,113)
C2	(54,203)	(54,203)
C3	(242,70)	(242,70)
C4	(234,242)	(243,218)
C5	(484,71)	(506,70)
C6	(484,247)	(484,219)
C7	(534,71)	(603,113)
C8	(534,248)	(534,219)
C9	(135,76)	(137,77)
C10	(134,222)	(133,216)
C11	(603,72)	(607,77)
C12	(603,219)	(603,219)

ผลการคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position และวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงดังในตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้น โครงร่างนี้จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการทำวิจัยครั้งนี้ เส้นทางการ

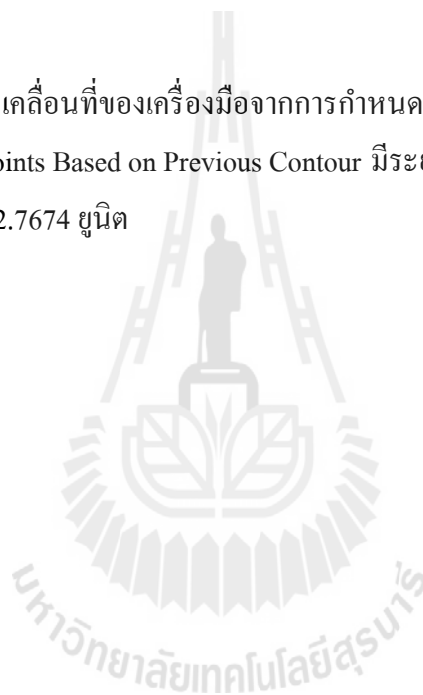
การเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากการกำหนดจุดพักของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position ซึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างเท่ากับ 1850.3244 ยูนิต โดยมีลำดับเส้นทางการที่ของเครื่องมือคือ เริ่มจาก จุดเริ่มต้น $\rightarrow C4 \rightarrow C10 \rightarrow C2 \rightarrow C1 \rightarrow C9 \rightarrow C3 \rightarrow C5 \rightarrow C7 \rightarrow C11 \rightarrow C12 \rightarrow C8 \rightarrow C6 \rightarrow$ จุดเริ่มต้น แสดงดังในรูปที่ 4.13 และเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากการกำหนดจุดพักของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour ซึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างเท่ากับ 1532.7674 ยูนิต โดยมีลำดับเส้นทางการที่ของเครื่องมือคือ เริ่มจาก จุดเริ่มต้น $\rightarrow C2 \rightarrow C10 \rightarrow C4 \rightarrow C6 \rightarrow C8 \rightarrow C12 \rightarrow C7 \rightarrow C11 \rightarrow C5 \rightarrow C3 \rightarrow C9 \rightarrow C1 \rightarrow$ จุดเริ่มต้น แสดงดังในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพักของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position มีระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเท่ากับ 1850.3244 ยูนิต



รูปที่ 4.14 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพักของเส้น โครงร่างด้วยวิธี
Searched Points Based on Previous Contour มีระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ
เท่ากับ 1532.7674 ยูนิต



ตารางที่ 4.5 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิคคของเส้นโครงร่างจากการกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
จุดเริ่มต้น	0	189.97	107.54	331.12	247.70	533.74	486.47	579.47	536.15	258.12	153.08	643.26	607.90
C1	189.97	0	90.05	195.78	234.71	435.03	453.26	484.82	501.51	91.79	137.00	553.52	562.09
C2	107.54	90.05	0	230.29	194.28	449.80	432.25	497.82	482.10	150.63	82.23	564.41	549.23
C3	331.12	195.78	230.29	0	178.00	242.00	299.82	292.00	341.98	107.17	186.46	361.01	390.54
C4	247.70	234.71	194.28	178.00	0	299.02	241.00	340.60	291.00	203.10	112.06	400.72	361.17
C5	533.74	435.03	449.80	242.00	299.02	0	176.00	50.00	183.93	349.04	381.18	119.00	189.91
C6	486.47	453.26	432.25	299.82	241.00	176.00	0	182.96	50.01	388.64	350.89	211.63	122.25
C7	579.47	484.82	497.82	292.00	340.60	50.00	182.96	0	177.00	399.03	427.55	69.01	163.29
C8	536.15	501.51	482.10	341.98	291.00	183.93	50.01	177.00	0	434.49	400.84	189.04	74.85
C9	258.12	91.79	150.63	107.17	203.10	349.04	388.64	399.03	434.49	0	146.00	468.02	489.36
C10	153.08	137.00	82.23	186.46	112.06	381.18	350.89	427.55	400.84	146.00	0	492.40	469.01
C11	643.26	553.52	564.41	361.01	400.72	119.00	211.63	69.01	189.04	468.02	492.40	0	147.00
C12	607.90	562.09	549.23	390.54	361.17	189.91	122.25	163.29	74.85	489.36	469.01	147.00	0

ตารางที่ 4.6 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิคคของเส้นโครงร่างจากการกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour

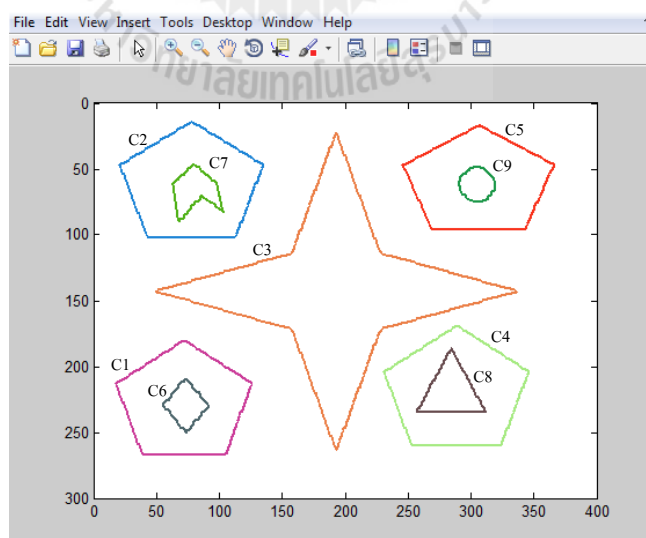
เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
จุดเริ่มต้น	0	107.54	155.21	226.23	258.32	331.12	255.21	490.09	539.52	607.90	630.16	645.30	554.18
C1	107.54	0	80.06	119.75	150.88	230.29	189.59	430.30	480.27	549.23	556.33	567.17	471.16
C2	155.21	80.06	0	103.00	139.06	182.20	110.02	351.01	401.01	470.01	481.15	493.96	400.56
C3	226.23	119.75	103.00	0	36.22	117.18	152.07	366.66	414.77	481.80	470.00	475.37	375.47
C4	258.32	150.88	139.06	36.22	0	105.23	176.40	374.93	421.63	487.16	467.39	470.00	369.07
C5	331.12	230.29	182.20	117.18	105.23	0	148.00	284.19	327.82	390.54	363.55	365.07	264.00
C6	255.21	189.59	110.02	152.07	176.40	148.00	0	241.00	291.00	360.00	375.00	390.36	301.78
C7	490.09	430.30	351.01	366.66	374.93	284.19	241.00	0	50.00	119.00	159.36	187.86	150.62
C8	539.52	480.27	401.01	414.77	421.63	327.82	291.00	50.00	0	69.00	126.48	159.67	151.61
C9	607.90	549.23	470.01	481.80	487.16	390.54	360.00	119.00	69.00	0	106.00	142.06	177.79
C10	630.16	556.33	481.15	470.00	467.39	363.55	375.00	159.36	126.48	106.00	0	36.22	106.10
C11	645.30	567.17	493.96	475.37	470.00	365.07	390.36	187.86	159.67	142.06	36.22	0	101.24
C12	554.18	471.16	400.56	375.47	369.07	264.00	301.78	150.62	151.61	177.79	106.10	101.24	0

4.3 กรณีศึกษาที่ 3

ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลองกรณีศึกษาที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.15 คือข้อมูลนำเข้าสำหรับการทดสอบ ผลจากการศึกษารูปร่างของเส้นโครงร่างพบว่าประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 9 เส้นโครงร่างคือ เส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8 และ C9 ดังแสดงในรูปที่ 4.16

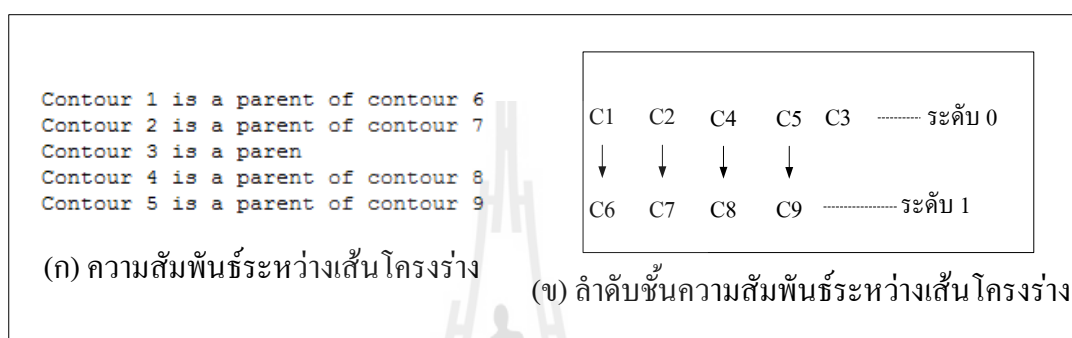


รูปที่ 4.15 ภาพเส้น โครงร่างของชั้นแบบจำลอง



รูปที่ 4.16 เส้น โครงร่างของชั้นแบบจำลอง

ผลจากการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างโดยการประยุกต์ใช้แนวคิด Parent and Child แสดงดังในรูปที่ 4.17 เส้นโครงร่าง C1, C2, C4, C5 และ C3 มีความสัมพันธ์แบบ Parent ส่วนเส้นโครงร่าง C6, C7, C8 และ C9 มีความสัมพันธ์แบบ Child และผลการกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดพิคคของเส้นโครงร่างในแต่ละเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position และวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงในตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ของโครงร่าง

ตารางที่ 4.7 แสดงจุดพิคคของเส้น โครงร่าง

เส้นโครงร่าง	วิธีการกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่าง	
	วิธี Searched Points Based on Home Position	วิธี Searched Points Based on Home Position
จุดเริ่มต้น	(0,295)	(0,295)
C1	(39,267)	(39,267)
C2	(43,102)	((96,102)
C3	(51,144)	(96,156)
C4	(231,205)	(289,169)
C5	(269,96)	(264,48)
C6	(61,237)	(68,245)
C7	(68,90)	(103,83)
C8	(257,235)	(285,186)
C9	(292,68)	(291,59)

ผลการคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position และวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงดังในตารางที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

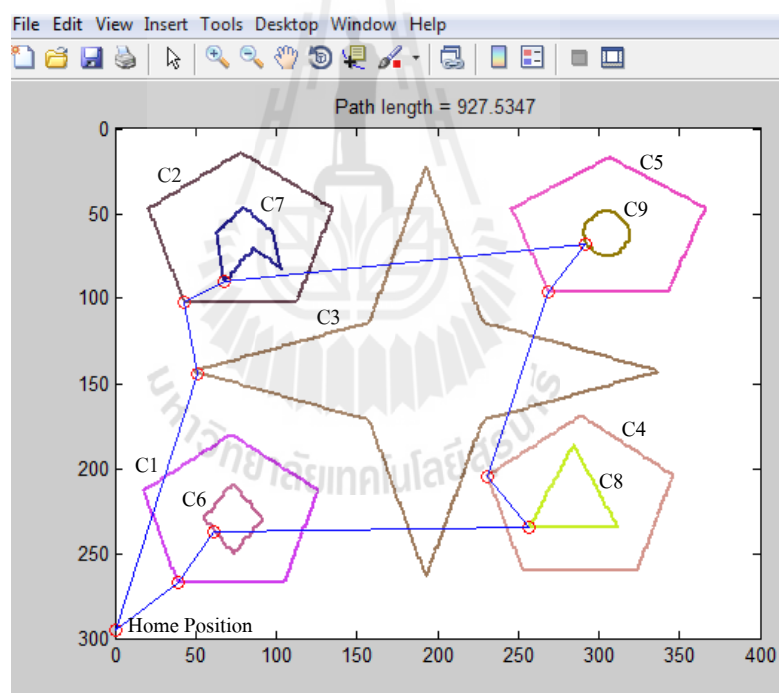
เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
จุดเริ่มต้น	0	48.01	197.73	159.38	247.91	334.61	84.17	215.98	263.91	369.86
C1	48.01	0	165.05	123.58	201.76	286.60	37.20	179.36	220.34	321.89
C2	197.73	165.05	0	42.76	214.37	226.08	136.19	27.73	251.96	251.31
C3	159.38	123.58	42.76	0	190.06	223.22	93.54	56.61	225.20	252.70
C4	247.91	201.76	214.37	190.06	0	115.43	172.99	199.48	39.70	149.97
C5	334.61	286.60	226.08	223.22	115.43	0	251.29	201.09	139.52	36.24
C6	84.17	37.20	136.19	93.54	172.99	251.29	0	147.17	196.01	286.22
C7	215.98	179.36	27.73	56.61	199.48	201.09	147.17	0	238.21	225.08
C8	263.91	220.34	251.96	225.20	39.70	139.52	196.01	238.21	0	170.63
C9	369.86	321.89	251.31	252.70	149.97	36.24	286.22	225.08	170.63	0

ตารางที่ 4.9 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

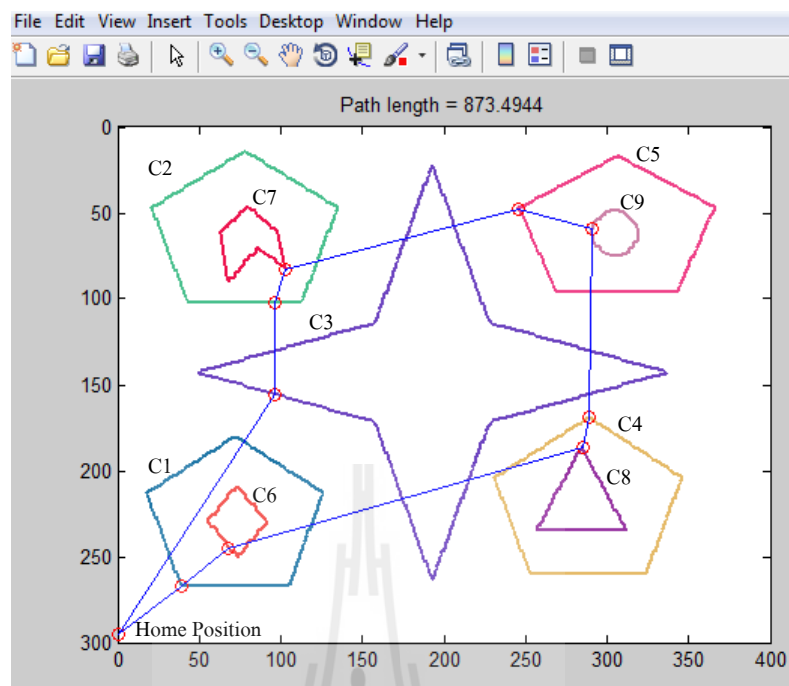
ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour

เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
จุดเริ่มต้น	0	48.01	84.40	168.93	215.56	235.70	348.60	374.67	315.27	305.13
C1	48.01	0	36.40	124.78	174.57	194.81	301.35	326.75	268.52	258.99
C2	84.40	36.40	0	93.30	145.72	165.74	265.51	290.39	233.70	224.88
C3	168.93	124.78	93.30	0	54.00	73.33	184.84	217.79	193.44	191.37
C4	215.56	174.57	145.72	54.00	0	20.25	159.42	199.68	204.30	206.83
C5	235.70	194.81	165.74	73.33	20.25	0	147.22	189.53	204.92	209.12
C6	348.60	301.35	265.51	184.84	159.42	147.22	0	46.32	128.41	143.41
C7	374.67	326.75	290.39	217.79	199.68	189.53	46.32	0	110.02	127.14
C8	315.27	268.52	233.70	193.44	204.30	204.92	128.41	110.02	0	17.46
C9	305.13	258.99	224.88	191.37	206.83	209.12	143.41	127.14	17.46	0

ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่างนี้จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ โดยผลจากการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position แสดงดังในรูปที่ 4.18 มีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือเท่ากับ 927.5347 หน่วย โดยมีลำดับเส้นทางการที่ของเครื่องมือคือ เริ่มจาก จุดเริ่มต้น $\rightarrow C1 \rightarrow C6 \rightarrow C8 \rightarrow C4 \rightarrow C5 \rightarrow C9 \rightarrow C7 \rightarrow C2 \rightarrow C3 \rightarrow$ จุดเริ่มต้น และเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงดังในรูปที่ 4.19 มีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือเท่ากับ 843.4944 หน่วย โดยมีลำดับเส้นทางการที่ของเครื่องมือคือ เริ่มจาก จุดเริ่มต้น $\rightarrow C1 \rightarrow C6 \rightarrow C8 \rightarrow C4 \rightarrow C9 \rightarrow C5 \rightarrow C7 \rightarrow C2 \rightarrow C3 \rightarrow$ จุดเริ่มต้น



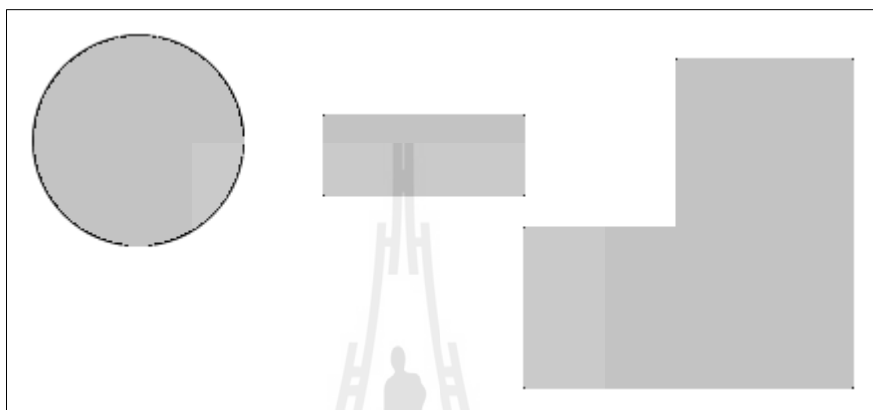
รูปที่ 4.18 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position มีระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเท่ากับ 927.5347 หน่วย



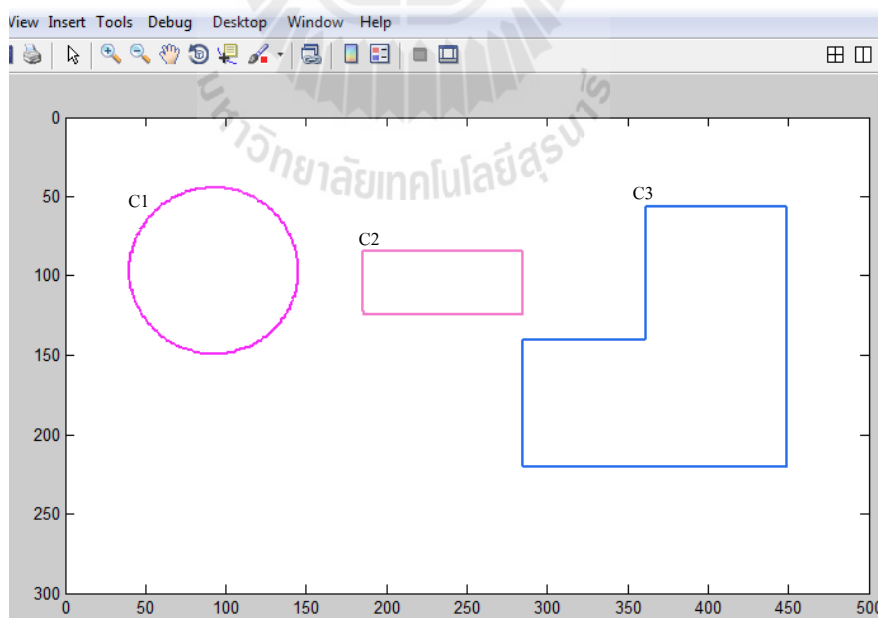
รูปที่ 4.19 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี
Searched Points Based on Previous Contour มีระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ
เท่ากับ 843.4944 หน่วย

4.4 กรณีศึกษาที่ 4

ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลองกรณีศึกษาที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.20 คือข้อมูลนำเข้าสำหรับการทดสอบ ผลจากการศึกษารูปร่างของเส้นโครงร่างพบว่าประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 3 เส้นโครงร่างคือ เส้นโครงร่าง C1, C2 และ C3 ดังแสดงในรูปที่ 4.21

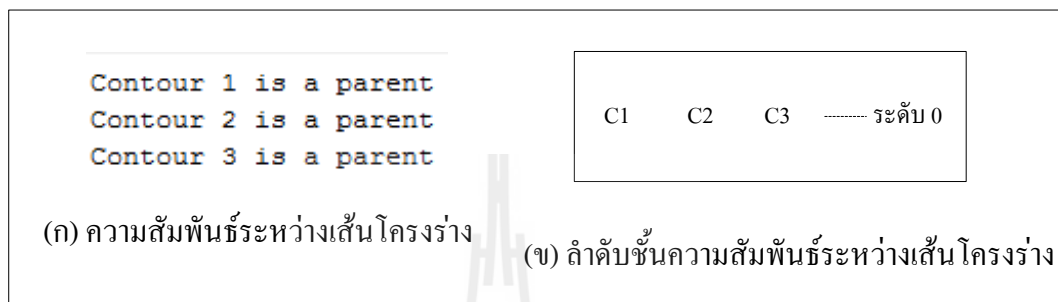


รูปที่ 4.20 ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง



รูปที่ 4.21 เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง

ผลจากการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างโดยการประยุกต์ใช้แนวคิด Parent and Child แสดงดังในรูปที่ 4.22 เส้นโครงร่าง C1, C2 และ C3 มีความสัมพันธ์แบบ Parent และผลการกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดพิกต์ของเส้น โครงร่างในแต่ละเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position และวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงในตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ของโครงร่าง

ตารางที่ 4.10 แสดงจุดพิกต์ของเส้น โครงร่าง

เส้นโครงร่าง	วิธีการกำหนดจุดพิกต์ของเส้น โครงร่าง	
	วิธี Searched Points Based on Home Position	วิธี Searched Points Based on Home Position
จุดเริ่มต้น	(0,256)	(0,256)
C1	(67,143)	(67,143)
C2	(185,124)	(185,124)
C3	(285,220)	(285,140)

ผลการคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกต์ของเส้น โครงร่าง จากการกำหนดจุดพิกต์ของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position และวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงดังในตารางที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง

ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

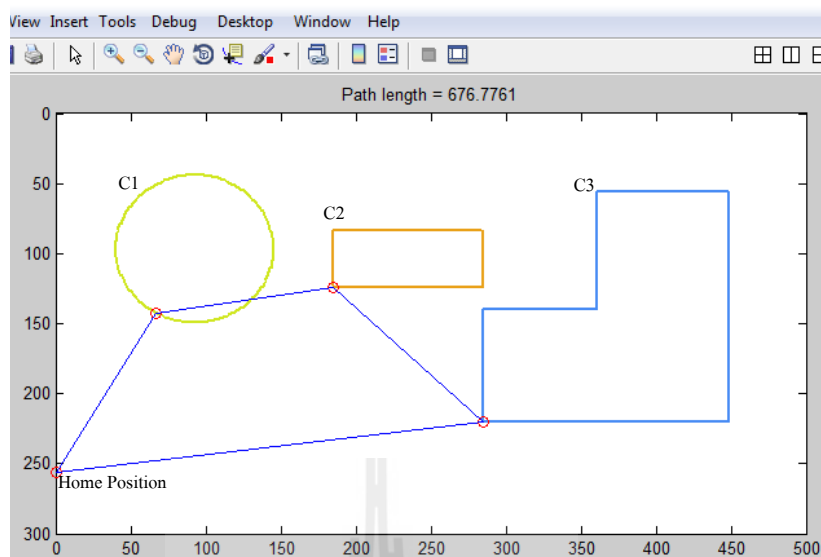
เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3
จุดเริ่มต้น	0	131.3697	227.2642	287.2647
C1	131.3697	0	119.5199	231.199
C2	227.2642	119.5199	0	138.6218
C3	287.2647	231.199	138.6218	0

ตารางที่ 4.12 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง

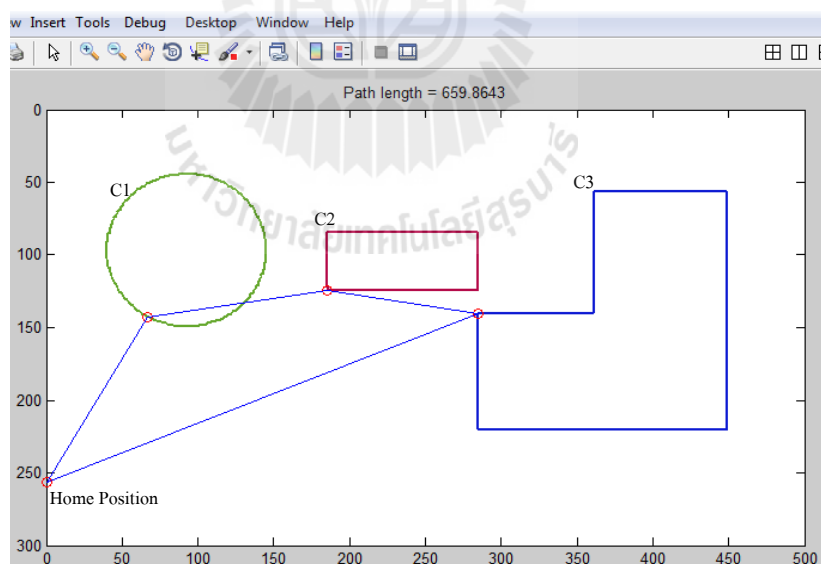
ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour

เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3
จุดเริ่มต้น	0	131.3697	227.2642	307.7028
C1	131.3697	0	119.5199	218.0206
C2	227.2642	119.5199	0	101.2719
C3	307.7028	218.0206	101.2719	0

ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่างนี้จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทาง การเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยวิธีอีวริสติก Nearest Neighbor ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ โดยผลจากการจัดลำดับเส้นทางเคลื่อนที่ของ เครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position แสดงดังในรูปที่ 4.23 มีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือเท่ากับ 676.7761 ยูนิต และเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วย วิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงดังในรูปที่ 4.24 มีระยะทางการเคลื่อนที่ ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือเท่ากับ 659.8643 ยูนิต โดยมีลำดับเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เหมือนกันคือ เริ่มจาก จุดเริ่มต้น $\rightarrow$ C1 $\rightarrow$ C2 $\rightarrow$ C3 $\rightarrow$ จุดเริ่มต้น



รูปที่ 4.23 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี
Searched Points Based on Home Position มีระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ
เท่ากับ 676.7761 ยูนิต



รูปที่ 4.24 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี
Searched Points Based on Previous Contour มีระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ
เท่ากับ 659.8643 ยูนิต

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้นำเสนอการสรุปผลของการวิจัย ผลลัพธ์ที่ได้จากการระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง และผลลัพธ์ที่ได้จากการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ประโยชน์ของงานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลที่ได้จากการวิจัยการระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างเพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยศึกษาเส้นโครงร่างที่มีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิต จากนั้นระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกัน ข้อมูลความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างถูกนำมาใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ การวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือโดยไม่ต้องอาศัยการลากเส้นตรงตัดเส้นโครงร่าง (Tang and Pang, 2003) โดยนำเสนอวิธีการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position และวิธี Searched Points Based on Previous Contour เพื่อหลีกเลี่ยงการสร้างเส้นตรงมากกว่า 1 เส้น เมื่อเส้นโครงร่างไม่ได้อยู่ในระนาบเดียวกัน ซึ่งจุดพิกัดที่ได้ถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่าง จากนั้นข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่างถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

5.1.1 การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ Parent and Child เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างบนระนาบเดียวกัน โดยผลลัพธ์จากการดำเนินการวิจัยแสดงผลของการระบุความสัมพันธ์คือ เส้นโครงร่างที่ครอบคลุมเส้นโครงร่างอื่น อยู่กำหนดให้มีความสัมพันธ์แบบ Parent ส่วนเส้นโครงร่างที่ถูกครอบคลุมกำหนดให้มีความสัมพันธ์แบบ Child ซึ่งข้อมูลความสัมพันธ์นี้จะถูกนำไปใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

5.1.2 การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

แนวคิดของ Travelling Salesman Problem และวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ได้ถูกประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน โดยผลลัพธ์จากการดำเนินการวิจัยแสดงผลของเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ จากการพิจารณาผลลัพธ์พบว่าระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่ได้จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour มีแนวโน้มลดลงดังแสดงในตารางที่ 5.1 ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่ได้จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่ได้จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

ตารางที่ 5.1 แสดงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

กรณีศึกษาที่	ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี		ระยะทางลดลง (%)
	Searched Points Based on Home Position	Searched Points Based on Previous Contour	
1	1342.36	1334.83	0.56
2	1850.32	1532.77	17.16
3	927.53	834.49	10.03
4	676.78	659.86	2.5

5.2 ประโยชน์ของงานวิจัย

1. เป็นองค์ความรู้ในงานวิจัยด้านการสร้างต้นแบบรวดเร็ว
2. สามารถวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว เพื่อลดเวลาการสร้างต้นแบบ และหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือกับชิ้นงาน
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องกัด (Milling Machine) เพื่อวางแผนเส้นทางเดินของมีดกัดและป้องกันการชนกันการชนกันของมีดกัด

5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดกับการสร้างชิ้นงานจริง และพิจารณาการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างต้นแบบ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับการดำเนินงานจริง รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด หรือชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีสีแตกต่างกัน และใช้เครื่องมือในการสร้างต้นแบบมากกว่า 1 อัน



รายการอ้างอิง

- ปริญญา พงษ์สิน, ทรงคุณ ศรีเจริญ และวรุฒ วงศ์สินชน. (2008). **เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว**. Defence Technology Institute (Public Organisation).
- ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2544). **วิธีการเมตาฮีริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- สมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ. (2551). **การสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping) หลักการ และการประยุกต์ใช้**. กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Cao, W. and Miyamoto, Y. (2003). **Direct slicing from AutoCAD solid models for rapid prototyping**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 21: 739-743
- Castellino, K., D'Souza, R. and Wright, P. K. (2002). **Toolpath optimization for minimizing airtime during machining**, Journal of Manufacturing Systems, 22 (3): 173-180.
- Chang, C.C. and Chiang, H.W. (2003). **Three-dimensional image reconstructions of complex objects by an abrasive computed tomography apparatus**. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 22: 708-712
- Cho, I., Lee, K., Choi, W. and Song. (2002). **Development of a new sheet deposition type rapid prototyping system**. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 40: 1813-1829
- Choi, S.H. and Cheung, H.H. (2006). **A multi-material virtual prototyping system**. Computer-Aided Design, 37: 123-136.
- Choi, S.H. and Kwok, K.T. (2002). **Hierarchical slice contours for layered-manufacturing**. Computer Industrial, 48: 99-114.
- Choi, S.H. and Kwok, K.T. (2004). **A topological hierarchy-sorting algorithm for layered manufacturing**, Rapid Prototyping Journal, 10(2): 98-113.
- Chou, C.C., Chen, Y.K. and Chou, S.Y. (2007). **Shortest traversal path of n circles in layered manufacturing applications**, IEEE Computer Graphics, Imaging and Visualization: New Advances, Bangkok, Thailand

- Chua, C.K. and Leong, K.F. (1997). **Rapid Prototype: Principle & Applications in Manufacturing**. Singapore: John Wiley & Sons.
- Gaither, N. and Frazier, G. (1999). **Production and Operations Management (8th ed)**. Ohio: South-Western College Publishing.
- Jamieson, R. and Hacker, H. (1995). **Direct slicing of CAD model for rapid prototyping**. Rapid Prototyping Journal, 1(2): 4-12
- Joneja, A., Pang, K.W., Murty, K.G., Lam, D. and Yuen, M. (1998). **A genetic algorithm for path planning in rapid prototyping**. Proceeding of DETC'98 1998 ASME Design Engineering Technical Conference, September 13-16, Atlanta.
- Kaygin, S. and Bulut, M.M. (2002). **A new one-pass algorithm to detect region boundaries**. Pattern Recogn Lett, 22: 1169-1178
- Kumar, V. and Dutter, D. (1997). **An assessment of data formats for layered manufacturing**. Advances in Engineering Software, 28: 151-164.
- Liu, G. H., Wong, Y. S., Zhang, Y. F. and Loh, H. T. (2003). **Modeling cloud data for prototype manufacturing**. Journal of materials processing technology, 138: 53-57.
- Lopez, S.M. and Wright, P.K. (2002). **The role of rapid prototyping in the product development process: a case study on the economic factors of handle video game**. Rapid Prototyping Journal, 8(2): 116-125
- Ma, W. and Chu, L.Y. (2000). **Extracting geometric feature from a virtual environment**. Journal of Material Processing Technology, 107: 24-30
- Masood, S. H., Rattanawong, W. and Iovenitti, P. (2002). **A generic part orientation system based on volumetric error in rapid prototyping**. The international Journal of Advanced Manufacturing Technology, 19: 209-216
- Masood, S.H. and Lim, B.S. (1995). **Concurrent intelligent rapid prototyping environment**, J. Intell. Manuf, 6(5): 291-310.
- Pandey, P.M., Reddy, N.V. and Dhanda, S.G. (2003), **Slicing procedures in layered manufacturing: a review**, Rapid Prototyping Journal, 9(5): 274-288.

- Sabourin, E. (1996). **Adaptive high-precision exterior, high-speed interior, layered manufacturing**, MS Thesis, Virginia Polytechnic Inst. State Univ., Blacksburg, VA, Feb.
- Sunanon, P., Koomsap, P. and Nachaisit, S. (2005). **Image processing for rapid prototyping technology**. Proceeding of the 2005 International Conference on Simulation and Modeling, Nakornpathom, Thailand.
- Tang, K., and Pang, A. (2003). **Optimal connection of loops in laminated object manufacturing**, Computer-Aided Design, 35(11): 1011-1022.
- Zhao, Z. and Laperriere, L. (2000). **Adaptive direct slicing of the solid model for rapid prototyping**. International Journal of Production Research, 38(3): 89-98.



ภาคผนวก ก

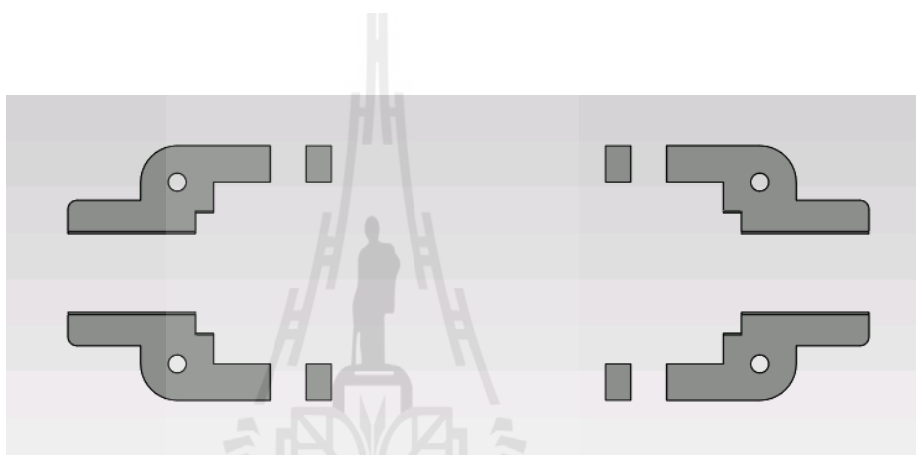
การประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 การประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง และวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

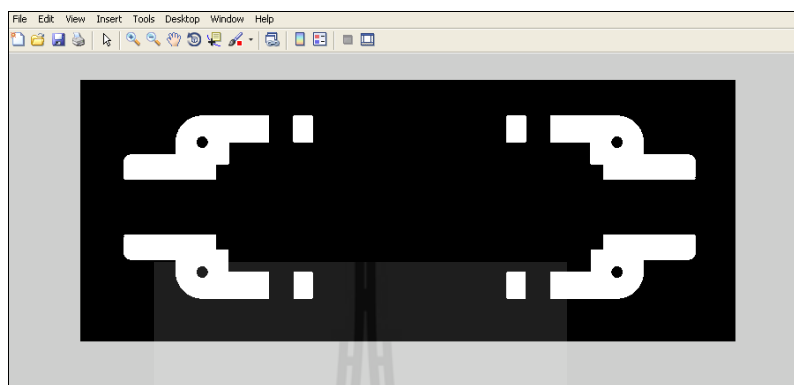
ในส่วนนี้แสดงผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB โดยนำเสนอผลลัพธ์ การแปลงภาพข้อมูลนำเข้าเป็นภาพขาว – ดำ, การค้นหาเส้นโครงร่าง, การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง, การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง, การคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัด และการ จัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ

- 1) ข้อมูลนำเข้า ภาพเส้นโครงร่างของชิ้นแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ ก.1



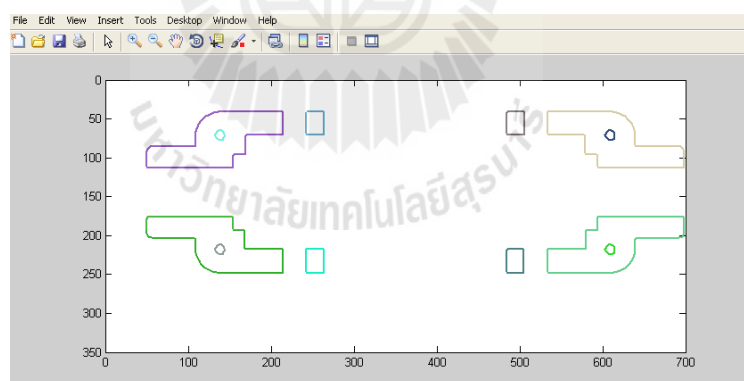
รูปที่ ก.1 ภาพเส้นโครงร่างของชิ้นแบบจำลอง

- 2) ผลลัพธ์การแปลงภาพข้อมูลนำเข้าเป็นภาพขาว – ดำด้วยโปรแกรม MATLAB ดังแสดงในรูป ก.2



รูปที่ ก.2 หน้าจอแสดงผลภาพขาว – ดำ

- 3) ผลลัพธ์การค้นหาเส้นโครงร่างด้วยโปรแกรม MATLAB

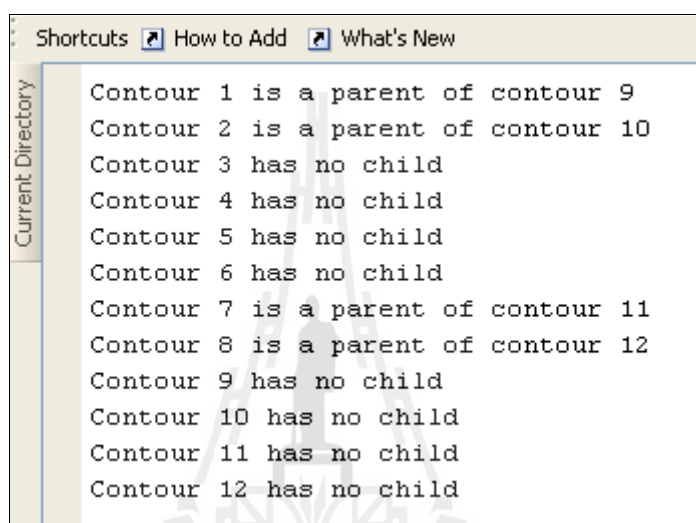


รูปที่ ก.3 หน้าจอแสดงผลเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง

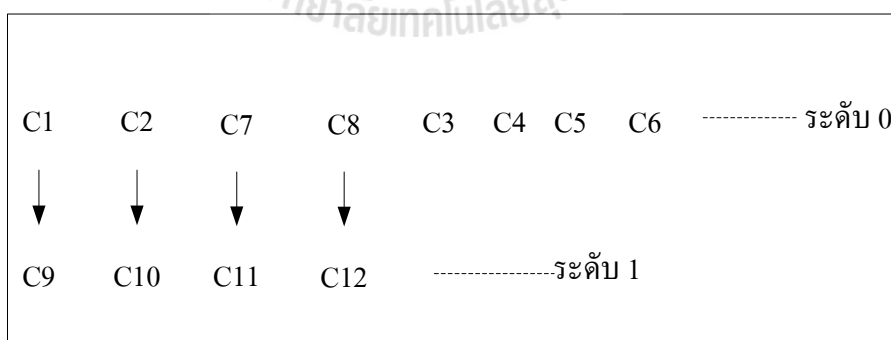
จากรูปที่ ก.3 ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลองนี้ประกอบด้วยเส้นโครงร่างจำนวนทั้งหมด 12 เส้นโครงร่าง

- 4) ผลลัพธ์การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างด้วยโปรแกรม MATLAB ดังแสดงในรูปที่ ก.4

จากความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างดังแสดงในรูปที่ ก.4 สามารถนำมาแสดงลำดับชั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างดังแสดงในรูปที่ ก.5 โดยเส้นโครงร่าง C1, C2, C7, C8, C3, C4, C5 และ C6 อยู่ในชั้นระดับ 0 ส่วนเส้นโครงร่าง C9, C10, C11 และ C12 อยู่ในชั้นระดับ 1



รูปที่ ก.4 หน้าจอแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง



รูปที่ ก.5 ลำดับชั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

5) ผลลัพธ์การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยโปรแกรม MATLAB

ตารางที่ ก.1 แสดงจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

เส้นโครงร่าง	Searched Points Based on Home Position	Searched Points Based on Previous Contour
จุดเริ่มต้น	(0,296)	(0,296)
C1	(51,113)	(133,113)
C2	(54,203)	(54,203)
C3	(242,70)	(242,70)
C4	(234,242)	(243,218)
C5	(484,71)	(506,70)
C6	(484,247)	(484,219)
C7	(534,71)	(603,113)
C8	(534,248)	(534,219)
C9	(135,76)	(137,77)
C10	(134,222)	(133,216)
C11	(603,72)	(607,77)
C12	(603,219)	(603,219)

ข้อมูลในตารางนี้แสดงผลจากการกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดพิกัดในแต่ละเส้นโครงร่างด้วย
วิธี Searched Points Based on Home Position และวิธี Searched Points Based on Previous Contour

6) ผลลัพธ์การคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดด้วยโปรแกรม MATLAB

ตารางที่ ก.2 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

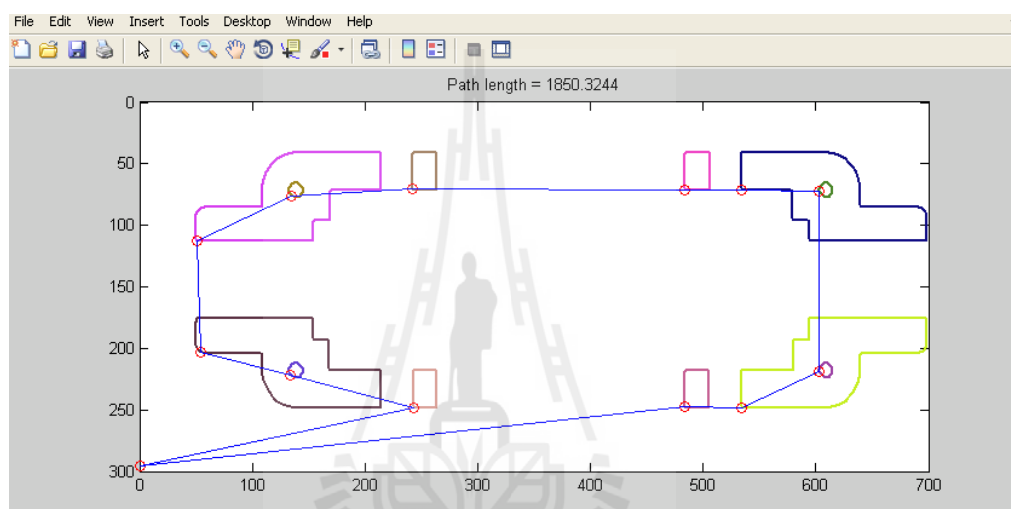
เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
จุดเริ่มต้น	0	189.97	107.54	331.12	247.70	533.74	486.47	579.47	536.15	258.12	153.08	643.26	607.90
C1	189.97	0	90.05	195.78	234.71	435.03	453.26	484.82	501.51	91.79	137.00	553.52	562.09
C2	107.54	90.05	0	230.29	194.28	449.80	432.25	497.82	482.10	150.63	82.23	564.41	549.23
C3	331.12	195.78	230.29	0	178.00	242.00	299.82	292.00	341.98	107.17	186.46	361.01	390.54
C4	247.70	234.71	194.28	178.00	0	299.02	241.00	340.60	291.00	203.10	112.06	400.72	361.17
C5	533.74	435.03	449.80	242.00	299.02	0	176.00	50.00	183.93	349.04	381.18	119.00	189.91
C6	486.47	453.26	432.25	299.82	241.00	176.00	0	182.96	50.01	388.64	350.89	211.63	122.25
C7	579.47	484.82	497.82	292.00	340.60	50.00	182.96	0	177.00	399.03	427.55	69.01	163.29
C8	536.15	501.51	482.10	341.98	291.00	183.93	50.01	177.00	0	434.49	400.84	189.04	74.85
C9	258.12	91.79	150.63	107.17	203.10	349.04	388.64	399.03	434.49	0	146.00	468.02	489.36
C10	153.08	137.00	82.23	186.46	112.06	381.18	350.89	427.55	400.84	146.00	0	492.40	469.01
C11	643.26	553.52	564.41	361.01	400.72	119.00	211.63	69.01	189.04	468.02	492.40	0	147.00
C12	607.90	562.09	549.23	390.54	361.17	189.91	122.25	163.29	74.85	489.36	469.01	147.00	0

ตารางที่ ก.3 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour

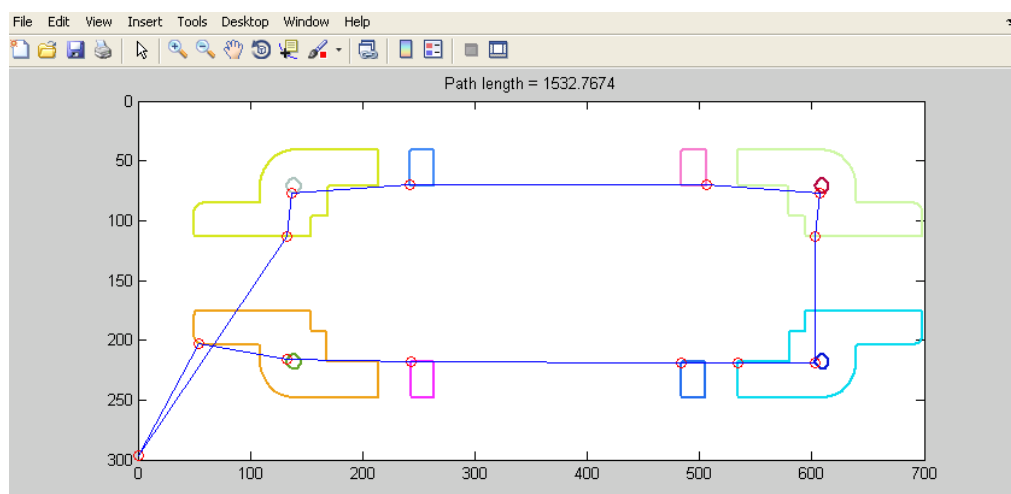
เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
จุดเริ่มต้น	0	107.54	155.21	226.23	258.32	331.12	255.21	490.09	539.52	607.90	630.16	645.30	554.18
C1	107.54	0	80.06	119.75	150.88	230.29	189.59	430.30	480.27	549.23	556.33	567.17	471.16
C2	155.21	80.06	0	103.00	139.06	182.20	110.02	351.01	401.01	470.01	481.15	493.96	400.56
C3	226.23	119.75	103.00	0	36.22	117.18	152.07	366.66	414.77	481.80	470.00	475.37	375.47
C4	258.32	150.88	139.06	36.22	0	105.23	176.40	374.93	421.63	487.16	467.39	470.00	369.07
C5	331.12	230.29	182.20	117.18	105.23	0	148.00	284.19	327.82	390.54	363.55	365.07	264.00
C6	255.21	189.59	110.02	152.07	176.40	148.00	0	241.00	291.00	360.00	375.00	390.36	301.78
C7	490.09	430.30	351.01	366.66	374.93	284.19	241.00	0	50.00	119.00	159.36	187.86	150.62
C8	539.52	480.27	401.01	414.77	421.63	327.82	291.00	50.00	0	69.00	126.48	159.67	151.61
C9	607.90	549.23	470.01	481.80	487.16	390.54	360.00	119.00	69.00	0	106.00	142.06	177.79
C10	630.16	556.33	481.15	470.00	467.39	363.55	375.00	159.36	126.48	106.00	0	36.22	106.10
C11	645.30	567.17	493.96	475.37	470.00	365.07	390.36	187.86	159.67	142.06	36.22	0	101.24
C12	554.18	471.16	400.56	375.47	369.07	264.00	301.78	150.62	151.61	177.79	106.10	101.24	0

7) ผลลัพธ์การจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ

การจัดลำดับการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว จากการกำหนดจุดพิกัดด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position ซึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างเท่ากับ 1850.3244 หน่วยแสดงดังในรูปที่ ก.6 และเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากการกำหนดจุดพิกัดด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour ซึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างเท่ากับ 1532.7674 หน่วยแสดงดังในรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position มีระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเท่ากับ 1850.3244 หน่วย



รูปที่ ก.7 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง
ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour มีระยะทางการเคลื่อนที่ของ
เครื่องมือเท่ากับ 1532.7674 หน่วย





ภาคผนวก ข

โปรแกรม MATLAB

ข.1 โปรแกรม MATLAB การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง และการวางแผนเส้นทาง การเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากการกำหนดจุดพิกัดเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

```
%convert image to binary image
I = imread('Ex222.png');
BW = im2bw(I, graythresh(I));
S=size(BW);
for row=1:S(1)
    for col=1:S(2)
        if BW(row,col)==1
            BW(row,col)=BW(row,col)*0;
        elseif BW(row,col)==0
            BW(row,col)=BW(row,col)+1;
        end
    end
end
%search contours
[B,L,N,A] = bwboundaries(BW,8,'holes');
length(B);
for X=1:length(B)
    r=rand(1,3);
    boundary = B {X};
    K=length(B)+1;
    figure(K)
    plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'Color',r, 'LineWidth', 2);
    axis('ij')
    hold off
    hold on
    figure(X)
```

```

boundary = B{X};
plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'Color',r, 'LineWidth', 2);
axis('ij')
hold off
end
%contours relationship
if length(B)==1;
    fprintf('Contour is a parent');
else length(B)> 1;
    for k=1 : length(B) ;
        l=find(A(:,k));
        ll=find(A(k,:));
        if l~=0;
            fprintf('Contour %.0f is a parent of contour %.0f\n',k,l);
        elseif ll~=0;
            fprintf('Contour %.0f is a paren \n',k);
        end
        k=k+1;
    end
end
hold on
figure(K)
%searched points based on home positon
Point_on_Contours=zeros(length(B),2);
X=1;
w=size(BW);
while X<=length(B)
    B{X};
    distance_initial=10^6;
    s=size(B{X});
    x1=0;

```

```

        y1=w(1);
    for row=1:s(1)
        x2=B{X}(row,2);
        y2=B{X}(row,1);
        distances=sqrt((x1-x2)^2 + (y1-y2)^2);
        if distances<=distance_initial
            distance_initial=distances;
            x=x2;
            y=y2;
        end
    end
    Point_on_Contours(1,1) = x1;
    Point_on_Contours(1,2) = y1;
    Xp=X;
    Xp=Xp+1;
    Point_on_Contours(Xp,1) = x;
    Point_on_Contours(Xp,2) = y;
    X=X+1;
end
disp(Point_on_Contours);
plot(Point_on_Contours(:,1),Point_on_Contours(:,2),'ro');
%Distances
s=size(Point_on_Contours);
distances = zeros(s(1));
for count1=1:s(1),
    for count2=1:count1,
        x1 = Point_on_Contours(count1,1);
        y1 = Point_on_Contours(count1,2);
        x2 = Point_on_Contours(count2,1);
        y2 = Point_on_Contours(count2,2);
        distances(count1,count2)=sqrt((x1-x2)^2+(y1-y2)^2);
    end
end

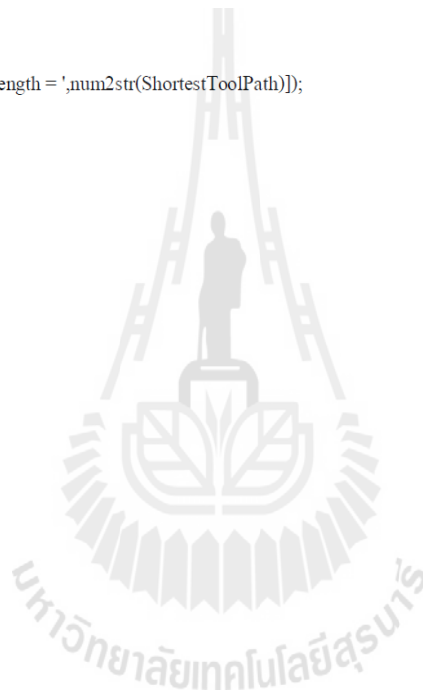
```

```

        distances(count2,count1)=distances(count1,count2);
    end;
end;
disp(distances)
%nearest neighbor
Points =Point_on_Contours;
N_Points = size(Points,1);
distances = pdist(Points);
distances = squareform(distances);
distances(distances==0) = realmax;
ShortestToolPath = realmax;
for i = 1:N_Points
    startPoint = i;
    path = startPoint;
    DistanceToolPath = 0;
    distancesNew = distances;
    currentPiont = startPoint;
    for j = 1:N_Points-1
        [minDist,next_point] = min(distancesNew(:,currentPiont));
        if (length(next_point) > 1)
            next_point = next_point(1);
        end
        path(end+1,1) = next_point;
        DistanceToolPath = DistanceToolPath + distances(currentPiont,next_point);
        distancesNew(currentPiont,:) = realmax;
        currentPiont = next_point;
    end
    path(end+1,1) = startPoint;
    DistanceToolPath = DistanceToolPath + distances(currentPiont,startPoint);
    if (DistanceToolPath < ShortestToolPath)
        ShortestToolPath = DistanceToolPath;
    end
end

```

```
ToolPath = path;  
end  
end  
%plot the tool path  
hold on  
x=[];y=[];  
for i = 1:(N_Points+1)  
    x(i)=Points(ToolPath(i),1);  
    y(i)=Points(ToolPath(i),2);  
end  
line(x,y);  
title(['Path length = ',num2str(ShortestToolPath)]);  
hold off;
```



ข.2 โปรแกรม MATLAB การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง และการวางแผนเส้นทาง การเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากการกำหนดจุดพิกัดเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour

```
%convert image to binary image
I = imread('Ex222.png');
BW = im2bw(I, graythresh(I));
S=size(BW);
for row=1:S(1)
    for col=1:S(2)
        if BW(row,col)==1
            BW(row,col)=BW(row,col)*0;
        elseif BW(row,col)==0
            BW(row,col)=BW(row,col)+1;
        end
    end
end
%search contours
[B,L,N,A] = bwboundaries(BW,8,'holes');
length(B);
for X=1:length(B)
    r=rand(1,3);
    boundary = B{X};
    K=length(B)+1;
    figure(K)
    plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'Color',r, 'LineWidth', 2);
    axis('ij')
    hold off
    hold on
    figure(X)
    boundary = B{X};
```

```

    plot(boundary(:,2), boundary(:,1), 'Color',r, 'LineWidth', 2);
    axis('ij')
    hold off
end
%contours relationship
if length(B)==1;
    fprintf('Contour is a parent');
else length(B)> 1;
    for k=1 : length(B) ;
        l=find(A(:,k));
        ll=find(A(k,:));
        if l~=0;
            fprintf('Contour %.0f is a parent of contour %.0f\n',k,l);
        elseif ll~=0;
            else fprintf('Contour %.0f is a paren \n',k);
        end
        k=k+1;
    end
    end
    hold on
    figure(K)
    %searched points based on previous contour
    point_on_contour=zeros(length(B),2);
    Last_contour=zeros(length(B),1);
    X=1;
    w=size(BW);
    x1=0;
    y1=w(1);
    distance_initial=10^6;
    for X=1:length(B)
        B{X};

```

```

s=size(B{X});
for row=1:s(1)
    x2=B{X}(row,2);
    y2=B{X}(row,1);
    distances=sqrt((x1-x2)^2 + (y1-y2)^2);
    if distances<=distance_initial
        distance_initial=distances;
        x=x2;
        y=y2;
        First_contour=X;
        point_on_contour(1,1) = x1;
        point_on_contour(1,2) = y1;
        point_on_contour(2,1) = x;
        point_on_contour(2,2) = y;
        Last_contour(1,1)=First_contour;
    end
end
end
g=3;
while g<=(length(B)+1)
    x1=x;
    y1=y;
    distance_initial=10^6;
    for X=1:length(B)
        for i=1:length(B)
            if (X==Last_contour(i,1))
                break;
            end
            if i==length(B)
                X;
                B{X};

```

```

s=size(B{X});
for row=1:s(1)
    x2=B{X}(row,2);
    y2=B{X}(row,1);
    distances=sqrt((x1-x2)^2 + (y1-y2)^2);
    if distances<=distance_initial
        distance_initial=distances;
        x=x2;
        y=y2;
        First_contour=X;
    end
end
end
end
end
Last_contour(g,1)=First_contour;
point_on_contour(g,1) = x;
point_on_contour(g,2) = y;
g=g+1;
end
disp(point_on_contour);
hold on
plot(point_on_contour(:,1),point_on_contour(:,2),'ro');
hold off
%Distances
s=size(point_on_contour);
distances = zeros(s(1));
for count1=1:s(1),
    for count2=1:count1,
        x1 = point_on_contour(count1,1);
        y1 = point_on_contour(count1,2);

```

```

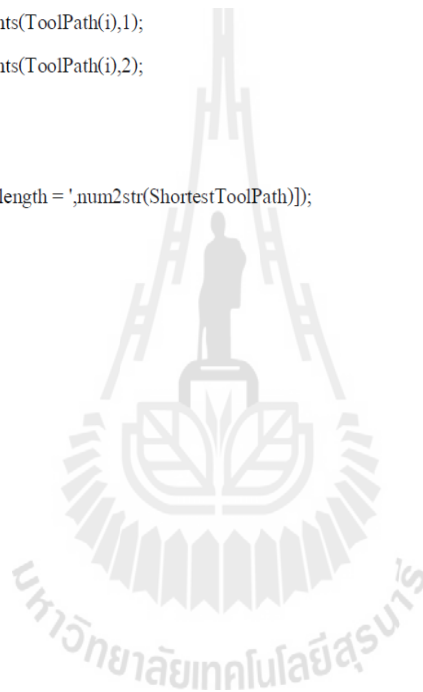
        x2 = point_on_contour(count2,1);
        y2 = point_on_contour(count2,2);
        distances(count1,count2)=sqrt((x1-x2)^2+(y1-y2)^2);
        distances(count2,count1)=distances(count1,count2);
    end;
end;
disp(distances)
%nearest neighbor
points = point_on_contour;
N_points = size(points,1);
distances = pdist(points);
distances = squareform(distances);
distances(distances==0) = realmax;
ShortestToolPath = realmax;
for i = 1:N_points
    startPoint = i;
    path = startPoint;
    DistanceToolPath = 0;
    distancesNew = distances;
    currentPoint = startPoint;
    for j = 1:N_points-1
        [minDist,next_point] = min(distancesNew(:,currentPoint));
        if (length(next_point) > 1)
            next_point = next_point(1);
        end
        path(end+1,1) = next_point;
        DistanceToolPath = DistanceToolPath + distances(currentPoint,next_point);
        distancesNew(currentPoint,:) = realmax;
        currentPoint = next_point;
    end
    path(end+1,1) = startPoint;

```

```

DistanceToolPath = DistanceToolPath + distances(currentPoint,startPoint);
if (DistanceToolPath < ShortestToolPath)
    ShortestToolPath = DistanceToolPath;
    ToolPath = path;
end
end
% plot the tool path
hold on
x=[];y=[];
for i = 1:(N_points+1)
    x(i)=points(ToolPath(i),1);
    y(i)=points(ToolPath(i),2);
end
line(x,y);
title(['Path length = ',num2str(ShortestToolPath)]);
hold off;

```



ภาคผนวก ค

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

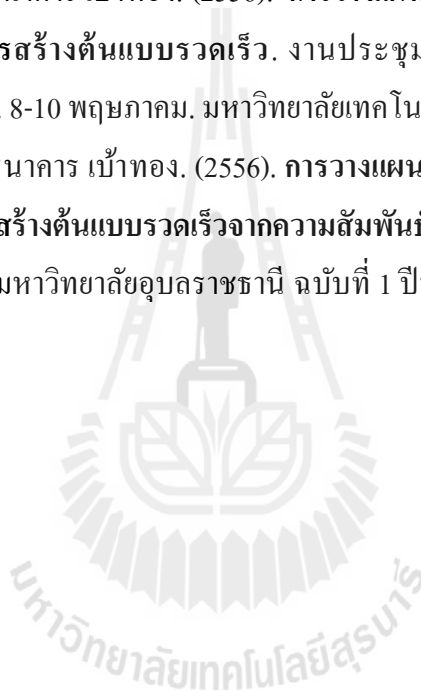


รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

ปภากร พิทยาชวาล ธารณาการ เป้าทอง เพิ่มศักดิ์ พิมพ์จ่อง และปวีร์ ศิริรักษ์. (2554). การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2554. 20-21 ตุลาคม. โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ พัทยา จังหวัดชลบุรี.

ปภากร พิทยาชวาล และธารณาการ เป้าทอง. (2556). การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว. งานประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 5. 8-10 พฤษภาคม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปภากร พิทยาชวาล และธารณาการ เป้าทอง. (2556). การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วจากความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ฉบับที่ 1 ปีที่ 6 ประจำเดือนมกราคม-มิถุนายน 2556.





การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์

An Application of Computer Simulation for a Packaging Process Improvement

ชนาคาร เป้าทอง เพิ่มศักดิ์ พิมพ์จ้อง ปภากร พิทยवाल* ปวีร์ ศิริรักษ์
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30000
E-mail: paphakhom@g.sut.ac.th*

บทคัดย่อ

การจัดสมดุลของสถานีงานในสายการผลิตและลดเวลาว่างของพนักงานในสายการผลิตเป็นแนวทางที่นำมาสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต การทดลองปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการเพิ่มหรือลดพนักงานในแต่ละสถานีงานนั้นมีข้อจำกัด คือ กระบวนการผลิตไม่สามารถหยุดกระบวนการเพื่อทำการทดลองตรวจสอบประสิทธิภาพระบบการทำงานของสถานีงานใหม่ได้ ดังนั้นการสร้างแบบจำลองเหตุการณ์ (Simulation) จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่ง เพื่อวางแผนและวิเคราะห์จำนวนพนักงานและผลผลิตที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองเหตุการณ์ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์โดยการวัดประสิทธิภาพการทำงานด้วยจำนวนผลผลิต ระยะเวลาการว่างงานของพนักงาน โดยศึกษาเวลามาตรฐานการทำงานของกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์เดิมและสร้างทางเลือกแบบจำลองสายการบรรจุด้วยโปรแกรม Flexsim 4.0 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบรรจุผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงสายการบรรจุใหม่พบว่า การยกเลิกการใช้สายพานในกระบวนการบรรจุและเพิ่มพนักงานในสถานีงานที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่องสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 47.23% คำหลัก กระบวนการบรรจุ, แบบจำลองเหตุการณ์ (Simulation), Flexsim 4.0

1. บทนำ

การจัดสมดุลของสถานีงานในสายการผลิตและลดเวลาว่างของพนักงานในสายการผลิตเป็นแนวทางที่นำมาสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ซึ่งกระบวนการปรับปรุงสายการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม ประกอบด้วย การศึกษากระบวนการทำงานปัจจุบันเพื่อเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานปัจจุบัน ก่อนที่จะออกแบบสายการผลิตที่แต่ละสถานีงานมีความสมดุลกัน โดยในแต่ละอุตสาหกรรมการออกแบบและวางสายการผลิตที่เหมาะสมอาจเกิดทางเลือกได้หลากหลาย การตัดสินใจเลือกที่เหมาะสมต้องดำเนินการภายใต้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจัดสายการผลิต ดังนั้นการสร้างแบบจำลอง (Simulation) ในคอมพิวเตอร์จึงเป็นแนวทางที่ช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบและวิเคราะห์สายการผลิตใหม่ รวมถึงการประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองกับสายการผลิตจริง[1] นอกจากนี้

แบบจำลองเหตุการณ์ยังถูกนำมาใช้ในการจัดสมดุลสายงานการประกอบเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและวิเคราะห์แบบจำลอง โดยการจัดสมดุลสามารถแก้ไขปัญหาคอขวด (Bottleneck) ของสายงานการประกอบส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของสายงานการประกอบ[2] รวมถึงการเพิ่มความสามารถในการปรับตัวให้สายการผลิตโดยการปรับปรุงเป็นสายการผลิตแบบการผลิตหลายรูปแบบ (Multi-Model Production Line) การสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์เพื่อวางแผนการปรับปรุงสายการผลิตจึงเป็นอีกแนวทางในการวิเคราะห์สายการผลิตใหม่[3] แบบจำลองในคอมพิวเตอร์ถูกนำมาใช้ในการสร้างความเชื่อมั่นของสายการผลิตใหม่ที่ถูกต้องแบบขึ้น รวมถึงเพื่อยืนยันความถูกต้องและการมีประสิทธิภาพของสายผลิตที่ถูกออกแบบขึ้น[4] นอกจากนั้นแล้ว แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้ถูกประยุกต์มาใช้ในระบบการสั่งซื้อสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตอย่างสูง โดยแบบจำลองถูกออกแบบมาให้สอดคล้องกับกระบวนการผลิตที่โรงงานสามารถผลิตสินค้าได้ทันต่อความต้องการของลูกค้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แบบจำลองนี้สามารถกำหนดปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบที่สามารถตอบสนองต่อปริมาณการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงตามความต้องการของลูกค้า[5] การสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ยังถูกนำมาประยุกต์ในการจำลองระบบงานต่างๆ เช่น การวางแผนการผลิต การปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งแบบจำลองนี้จะสามารถช่วยให้ผู้บริหารสามารถตัดสินใจที่จะลงทุนได้ง่ายขึ้นเนื่องจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข[6]

บทความนี้เสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ไม่ลามีน โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบสถานีงานในสายการบรรจุให้มีความสมดุล เพื่อแก้ปัญหาคอขวดในสายการบรรจุและนำไปสู่การเพิ่มกำลังการผลิตในแผนกบรรจุ แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ถูกออกแบบในการวิจัยครั้งนี้ เป็นแบบจำลองที่สร้างและวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Flexsim 4.0® หัวข้อต่อไปเสนอ วิธีการดำเนินงานวิจัย การออกแบบสายการบรรจุ ผลการวิเคราะห์สายการบรรจุจากแบบจำลองและสรุปสายการบรรจุที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต



2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการเก็บข้อมูลจากสายการบรรจุจริง อันได้แก่ วิธีการและเวลาการทำงานในแต่ละขั้นตอนการบรรจุ เพื่อวิเคราะห์การทำงานในปัจจุบัน ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว นำไปสร้างแบบจำลองสายการบรรจุ และออกแบบทางเลือกของสายการบรรจุ ซึ่งมีทั้งหมด 4 ทางเลือกที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ถูกนำมาพิจารณาทางเลือกที่มีความเหมาะสม

2.1 การเก็บข้อมูล

กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนการทำงานโดยเริ่มจากพนักงานทำความสะอาดผลิตภัณฑ์จากนั้นส่งผลิตภัณฑ์ไปติดสติ๊กเกอร์ดวงที่ 1 และดวงที่ 2 เมื่อติดสติ๊กเกอร์ครบทั้ง 2 ดวง พนักงานนำผลิตภัณฑ์วางบนสายพานเพื่อไปรองกระดาดและบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่อง จากนั้นนำกล่องวางบนสายพานอีกครั้ง เพื่อไปปิดปากกล่องด้วยเทปขาวและนำกล่องที่ปิดด้วยเทปขาวเรียบร้อยแล้วไปวางบนสายพานเพื่อลำเลียงไปจัดเก็บบนพาเลท (Pallet) กระบวนการทำงานและผังสายการผลิตในปัจจุบันแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ การเก็บข้อมูลในสายการบรรจุโดยการบันทึกข้อมูลคือ เวลามาตรฐานการทำงานในปัจจุบัน ระยะทางระหว่างสถานีงาน พบว่า กระบวนการทำงานในการบรรจุโดยรวมเวลาการเคลื่อนย้ายใช้เวลาทั้งหมด 16.35 วินาที ดังนั้นจำนวนรอบในการจับเวลาตามตารางที่ 1 จึงมีค่าเท่ากับ 100 รอบ

Location :		Summary			
Activity	Packaging	Event	Present	Proposed	Savings
Date : - / - / 2554		Operation	3		
Operator :	Analyst :	Transport	3		
		Delay	3		
Circle appropriate Method and Type :		Inspection	3		
Method : <u>Primary Proposed</u>		Storage	2		
Type : <u>Workstation/Manual</u>		Travel time			
Remarks :		Distance (meters)			
		Gate			
Event Description	Symbol	Time (sec)	Distance (meters)	Method Recommendation	
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V				
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V	0.63			
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V				
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V	0.70			
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V				
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V	0.02			
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V				
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V	0.97	0.80		
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V	2.28			
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V	16.75	1.80		
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V	1.68			
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V	1.10			
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V	17.04	1.80		
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V				
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V	1.04	1		
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V				
นำผลิตภัณฑ์มาบรรจุ	○ → □ → D → V				
Total time (sec)		91.11			
Total time without time moving (sec)		16.35			
Total distance (meters)			6.55		

รูปที่ 1 ขั้นตอนการบรรจุ

ตารางที่ 1 ตารางจำนวนรอบการจับเวลาที่ใช้ในการสังเกต [7]

ระยะเวลา (นาที)	จำนวนรอบในการจับเวลา (รอบ)
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00-above	3

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

เวลามาตรฐานการทำงานในแต่ละสถานีงานสามารถคำนวณได้จากกรเก็บข้อมูลเวลาในการทำงานจริงตามสมการที่ (1)

$$ST = NT \times (1 + AL) \quad (1)$$

โดยที่

ST = เวลามาตรฐานของการทำงาน

NT = เวลาการทำงานพื้นฐาน (Normal Time)

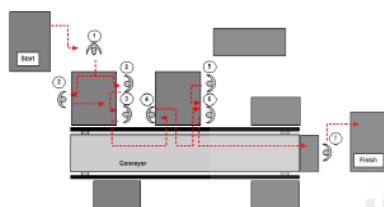
AL = เวลาเผื่อส่วนบุคคล (Allowance)

ข้อมูลเวลามาตรฐานการทำงานของแต่ละสถานีงานในปัจจุบันแสดงในตารางที่ 2 ผังสายการบรรจุแสดงในรูปที่ 2 และหมายเลขแสดงหน้าที่การทำงานของพนักงานในสายการบรรจุแสดงในตารางที่ 3 (หมายเลขดังกล่าวใช้ในการอ้างอิงตลอดทั้งบทความนี้) พบว่า ปัญหาคอขวดเกิดขึ้นที่สถานีงานติดสติ๊กเกอร์ดวงที่ 2 (หมายเลข 3) และปัญหาการรอคอยซึ่งเกิดขึ้น 2 ตำแหน่ง ได้แก่ สถานีงานรองกระดาดและบรรจุลงกล่อง (หมายเลข 4) เนื่องจากต้องรอสายพานส่งผลิตภัณฑ์มาจากสถานีงานติดสติ๊กเกอร์ดวงที่ 2 (หมายเลข 3) และสถานีงานปิดกล่องด้วยเทปขาว (หมายเลข 6) เนื่องจากต้องรอสายพานส่งผลิตภัณฑ์มาจากสถานีงานรองกระดาดและบรรจุลงกล่อง (หมายเลข 4) จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า สายการบรรจุปัจจุบันมีการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ด้วยสายพานซึ่งมีระยะทางมากเกินไปและเกิดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น รวมถึงพนักงานเกิดการรอคอยขึ้นงานที่ถูกลำเลียงด้วยสายพานทำให้การทำงานขาดความต่อเนื่อง



ตารางที่ 2 แสดงเวลามาตรฐานในการทำงาน

หมายเลข	สถานีงาน	เวลามาตรฐาน (วินาทีต่อชิ้น)
1.	เป่าทำความสะอาดชิ้นงาน	0.53
2.	ติดสติกเกอร์ตัวที่ 1	1.96
3.	ติดสติกเกอร์ตัวที่ 2	3.82
4.	รองกระดาษและบรรจุกล่อง	2.35
5.	พับขึ้นรูปกล่อง	1.69
6.	ปิดกล่องด้วยกระดาษ	1.13
7.	จัดเรียงผลิตภัณฑ์	1.04



รูปที่ 2 แสดงผังสายการบรรจุในปัจจุบันและหมายเลขแสดงหน้าที่ของพนักงาน

ตารางที่ 3 แสดงหมายเลขสถานีงานในสายการบรรจุ

หมายเลข	สถานีงาน (หน้าที่)
1	พนักงานทำงานทำความสะอาดผลิตภัณฑ์
2	พนักงานติดสติกเกอร์ตัวที่ 1
3	พนักงานติดสติกเกอร์ตัวที่ 2
4	พนักงานรองกระดาษและบรรจุกล่อง
5	พนักงานขึ้นรูปกล่อง
6	พนักงานปิดกล่องด้วยเทป
7	พนักงานจัดเรียงผลิตภัณฑ์

2.3. สร้างแบบจำลองทางเลือก

ข้อมูลสายการบรรจุในปัจจุบันมีพนักงาน 8 คน พบว่าเกิดความไม่สมดุลในแต่ละสถานีงาน ทำให้พนักงานในบางสถานีงานทำไม่ทันเนื่องเกิดการว่างงาน ในขณะที่พนักงานในบางสถานีงานทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา จากข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงสถานีงานเกิดเป็นแบบจำลอง 4 ทางเลือก ดังต่อไปนี้ คือ

1) ทางเลือกที่ 1 เป็นการปรับปรุงทำงานสายการบรรจุในปัจจุบันที่ยังใช้ประโยชน์จากสายพานไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงได้ปรับปรุงสายการบรรจุในปัจจุบันโดยเพิ่มพนักงานทำงาน 2 ตำแหน่งของสายพาน เพื่อการใช้ประโยชน์จากสายพานทั้ง 2 ด้าน รวมจำนวนพนักงานทั้งหมด 15 คน ดังแสดงในรูปที่ 3

2) ทางเลือกที่ 2 ได้ทำการจัดสมดุลสถานีงานจากทางเลือกที่ 1 โดยปรับปรุงสายการบรรจุกำหนดให้มีพนักงานขึ้นรูปกล่องและ

พนักงานปิดเทปกล่องอย่างละ 1 คน รวมจำนวนพนักงานทั้งหมด 11 คน ดังแสดงในรูปที่ 4

3) ทางเลือกที่ 3 ได้ทำการจำลองการทำงานสายการบรรจุโดยไม่ใช้สายพาน เพื่อลดระยะทางและการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ กำหนดให้มีจำนวนพนักงานเท่ากับสายการบรรจุปัจจุบันจำนวนรวมพนักงานทั้งหมด 8 คน ดังแสดงในรูปที่ 5

4) ทางเลือกที่ 4 ได้ทำการจัดสมดุลสถานีงานจากทางเลือกที่ 3 โดยเพิ่มพนักงานติดสติกเกอร์ตัวที่ 2 จำนวน 1 คน รวมพนักงานรวมทั้งหมด 9 คน ดังแสดงในรูปที่ 6

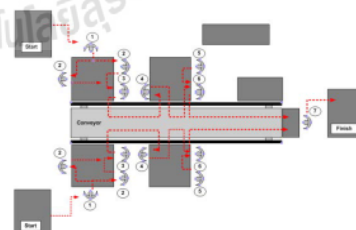
จำนวนพนักงานของแต่ละสถานีงานในแต่ละแบบจำลองแสดงในตารางที่ 3 แบบจำลองสายการบรรจุทั้ง 4 ทางเลือก ถูกสร้างและประมวลผลด้วยโปรแกรม Flexsim version 4.0© โดยใช้ข้อมูลเวลามาตรฐานการทำงาน ในการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ กำหนดเวลาการทำงานในแต่ละรอบของแบบจำลองคือ 1 ชั่วโมง หรือ 3,600 วินาที และในแต่ละแบบจำลองมีการประมวลผลจำนวน 10 รอบ

3. ผลการทดลอง

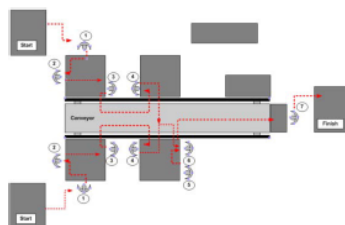
สายการบรรจุปัจจุบันสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ 904 ชิ้นต่อชั่วโมง ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่ามีเวลาการว่างงานมากกว่าเวลาทำงานคิดเป็น 22.08% จากผลการทดลองแบบจำลองทางเลือกที่ 1 พบว่าสามารถบรรจุผลิตภัณฑ์ได้ 1,876 ชิ้นต่อชั่วโมง แต่มีเวลาการว่างงานมากกว่าเวลาทำงานดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนพนักงานในแต่ละสถานีงาน

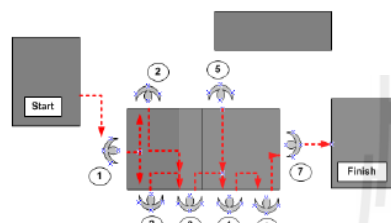
สถานีงาน	จำนวนพนักงานในแต่ละสถานีงาน (คน)							รวม (คน)
	1	2	3	4	5	6	7	
ปัจจุบัน	1	2	1	1	1	1	1	8
1	2	4	2	2	2	2	1	15
2	2	2	2	2	1	1	1	11
3	1	2	1	1	1	1	1	8
4	1	2	2	1	1	1	1	9



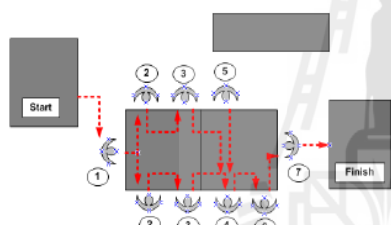
รูป 3 แบบจำลองทางเลือกที่ 1



รูป 4 แบบจำลองทางเลือกที่ 2



รูป 5 แบบจำลองทางเลือกที่ 3



รูป 6 แบบจำลองทางเลือกที่ 4

ที่ 6 แบบจำลองทางเลือกที่ 2 สามารถบรรลุผลผลิตได้ 1,874 ชิ้นต่อชั่วโมง และสามารถลดเวลาการว่างงาน ดังแสดงในตารางที่ 7 แบบจำลองทางเลือกที่ 3 พบว่าสามารถบรรลุผลผลิตได้ 939 ชิ้นต่อชั่วโมง และมีเวลาการว่างงานมากกว่าเวลาทำงาน เนื่องจากเกิดปัญหาคอขวดที่กระบวนการทำงานตัดสติกเกอร์ตัวที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 8 แบบจำลองทางเลือกที่ 4 ผลการทดลองพบว่าสามารถบรรลุผลผลิตได้ 1,331 ชิ้นต่อชั่วโมง และไม่เกิดปัญหาคอขวดในกระบวนการตัดสติกเกอร์ตัวที่ 2 ได้ ดังแสดงในตารางที่ 9

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการจำลองสายการบรรจุปัจจุบันพบว่า มีอัตราการใช้งานของพนักงานเท่ากับ 38.96% ดังแสดงในตารางที่ 10 การปรับปรุงสถานะงานของสายการบรรจุผลผลิตพบว่าแบบจำลองที่ 1 สามารถบรรลุผลผลิตเพิ่มขึ้นจากการทำงานปัจจุบัน 107.25% แต่พบว่าใช้เวลาการว่างงานมากกว่าเวลาทำงานคิดเป็น 5.08%

เนื่องจากสถานะงานมีจำนวนพนักงานมากเกินไป เช่น สถานการณ์ติดสติกเกอร์ตัวที่ 1 สถานการณ์ขึ้นรูปกล่องและสถานะงานเปิดกล่องด้วยเทปขาว ดังนั้นทั้ง 3 สถานการณ์สามารถลดจำนวนพนักงานลงได้ ซึ่งแสดงผลได้ทั้งแบบจำลองทางเลือกที่ 2 ซึ่งปรับปรุงลดจำนวนพนักงานในสถานะงานทั้ง 3 ที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าเวลาการทำงานเพิ่มขึ้นและเวลาการว่างงานลดลง คิดเป็นอัตราการใช้งาน 33.77% ของเวลาทำงาน ส่วนที่แบบจำลองที่ 3 และแบบจำลองทางเลือกที่ 4 เป็นการจำลองการปรับปรุงสถานะการทำงานโดยไม่ใช้สายพานการผลิตทำให้สามารถลดการเคลื่อนที่ในสายการบรรจุลงได้ 4.55 เมตร ส่งผลให้เกิดการทำงานอย่างต่อเนื่องและมีจำนวนพนักงานในสายการบรรจุน้อยกว่าแบบจำลองทางเลือกที่ 1 และ 2 ส่วนอัตราการใช้งานของแบบจำลองทางเลือกที่ 3 และแบบจำลองทางเลือกที่ 4 มีค่าเท่ากับ 52.48% และ 41.66% ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการทดลองแบบสายการบรรจุปัจจุบัน

ลำดับพื้นที่การทำงาน	ผลผลิต (ชิ้นต่อชั่วโมง)	เวลาการว่างงาน (วินาที)	เวลาทำงาน (วินาที)
1 พนักงานทำความสะอาด	919.00	2,729.85	487.60
2 พนักงานสติกเกอร์ตัวที่ 1	459.00	938.80	2,661.20
พนักงานสติกเกอร์ตัวที่ 1	448.00	1000.29	2,599.71
3 พนักงานสติกเกอร์ตัวที่ 2	906.00	135.49	3,464.51
4 พนักงานขึ้นรูปกล่อง	906.00	2,067.17	1,532.83
5 พนักงานรองกระดาษและบรรจุ	905.00	1,471.77	2,128.23
6 พนักงานเปิดเทปขาว	905.00	2,396.35	1,203.65
7 พนักงานจัดเรียงผลิตภัณฑ์	904.00	331.55	3,268.45
ผลผลิต	904.00	-	-
รวม		11,071.27	17,346.18

ตารางที่ 6 ผลการทดลองแบบจำลองทางเลือกที่ 1

ลำดับพื้นที่การทำงาน	ผลผลิต (ชิ้นต่อชั่วโมง)	เวลาการว่างงาน (วินาที)	เวลาทำงาน (วินาที)
1 พนักงานทำความสะอาด	993.00	2,068.02	526.82
พนักงานทำความสะอาด	993.00	1,901.46	526.82
2 พนักงานสติกเกอร์ตัวที่ 1	2.00	3,594.12	5.88
พนักงานสติกเกอร์ตัวที่ 1	939.00	1,757.60	1,842.40
พนักงานสติกเกอร์ตัวที่ 1	2.00	3,594.12	5.88
พนักงานสติกเกอร์ตัวที่ 1	939.00	1,757.60	1,842.40
3 พนักงานสติกเกอร์ตัวที่ 2	940.00	5.57	3,594.38
พนักงานสติกเกอร์ตัวที่ 2	940.00	5.40	3,594.60
4 พนักงานขึ้นรูปกล่อง	940.00	2,009.71	1,590.29
พนักงานขึ้นรูปกล่อง	940.00	2,009.71	1,590.29
5 พนักงานรองกระดาษและบรรจุ	939.00	1,391.66	2,208.34
พนักงานรองกระดาษและบรรจุ	939.00	1,391.88	2,208.12
6 พนักงานเปิดเทปขาว	939.00	2,351.13	1,248.87
พนักงานเปิดเทปขาว	939.00	2,351.13	1,248.87
7 พนักงานจัดเรียงผลิตภัณฑ์	1,878.00	1,038.91	2,561.09
ผลผลิต	1,878.00	-	-
รวม		27,228.03	24,595.04

การประชุมวิชาการรายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554
20-21 ตุลาคม 2554



ตารางที่ 7 ผลการทดลองแบบจำลองทางเลือกที่ 2

ลำดับหน้าที่การทำงาน	ผลผลิต (ชิ้นต่อชั่วโมง)	เวลาการวางแผน (วินาที)	เวลาทำงาน (วินาที)
1 พนักงานทำความสะอาด	992.00	2,871.05	528.09
พนักงานทำความสะอาด	992.00	2,113.63	528.29
2 พนักงานเสิร์ฟเครื่องดื่มที่ 1	941.00	1,753.68	1,846.32
พนักงานเสิร์ฟเครื่องดื่มที่ 1	941.00	1,753.68	1,846.32
3 พนักงานเสิร์ฟเครื่องดื่มที่ 2	940.00	5.82	3,594.38
พนักงานเสิร์ฟเครื่องดื่มที่ 2	940.00	6.18	3,593.82
4 พนักงานต้อนรับลูกค้า	1,880.00	421.89	3,178.11
พนักงานต้อนรับลูกค้า	939.00	1,392.44	2,207.56
และบรรจุ			
5 พนักงานรองกระดาษ	939.00	1,391.88	2,208.12
พนักงานเปิดเตา	1,877.00	1,102.68	2,467.32
พนักงานจัดเรียงผลิตภัณฑ์	1,874.00	298.62	3,301.38
ผลผลิต	1,874.00	-	-
รวม		12,911.35	25,325.71

ตารางที่ 8 ผลการทดลองแบบจำลองทางเลือกที่ 3

ลำดับหน้าที่การทำงาน	ผลผลิต (ชิ้นต่อชั่วโมง)	เวลาการวางแผน (วินาที)	เวลาทำงาน (วินาที)
1 พนักงานทำความสะอาด	953.00	2,387.16	505.09
พนักงานทำความสะอาด	467.00	2,682.72	917.28
2 พนักงานเสิร์ฟเครื่องดื่มที่ 1	474.00	2,869.00	931.00
พนักงานเสิร์ฟเครื่องดื่มที่ 2	940.00	5.95	3,504.05
4 พนักงานต้อนรับลูกค้า	941.00	2,008.81	1,591.19
พนักงานต้อนรับลูกค้า	940.00	1,391.00	2,209.00
และบรรจุ			
6 พนักงานเปิดเตา	939.00	2,350.23	1,249.77
พนักงานจัดเรียงผลิตภัณฑ์	939.00	1,249.35	2,350.65
ผลผลิต	939.00	-	-
รวม		14,744.20	13,348.05

ตารางที่ 9 ผลการทดลองแบบจำลองทางเลือกที่ 4

ลำดับหน้าที่การทำงาน	ผลผลิต (ชิ้นต่อชั่วโมง)	เวลาการวางแผน (วินาที)	เวลาทำงาน (วินาที)
1 พนักงานทำความสะอาด	1,336.00	2,891.92	708.08
พนักงานทำความสะอาด	677.00	2,271.83	1,328.17
2 พนักงานเสิร์ฟเครื่องดื่มที่ 1	658.00	2,310.32	1,289.88
พนักงานเสิร์ฟเครื่องดื่มที่ 2	658.00	1,068.44	2,513.56
3 พนักงานเสิร์ฟเครื่องดื่มที่ 2	678.00	1,016.43	2,583.57
4 พนักงานต้อนรับลูกค้า	1,333.00	1,345.54	2,254.46
พนักงานต้อนรับลูกค้า	1,332.00	467.67	3,132.33
และบรรจุ			
6 พนักงานเปิดเตา	1,332.00	1,828.44	1,771.56
พนักงานจัดเรียงผลิตภัณฑ์	1,331.00	280.63	3,319.37
ผลผลิต	1,331.00	-	-
รวม		13,499.21	18,000.79

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลอง

แบบจำลอง	จำนวนพนักงาน	เวลาทำงาน (วินาที)	เวลาการวางแผน (วินาที)	ผลผลิต (ชิ้นต่อชั่วโมง)	ผลผลิต (ชิ้นต่อชั่วโมง)	% ต้นทุนต่อชิ้นเมื่อ เปรียบเทียบการทำงานปัจจุบัน
ปัจจุบัน	8	61.04	36.96	904	6.28	-
1	15	47.46	52.54	1,876	13.03	107.52%
2	11	66.23	33.77	1,874	13.01	107.3%
3	8	47.52	52.48	939	6.52	3.67%
4	9	58.34	41.66	1,331	9.24	47.23%

Location :	Event	Present	Proposed	Savings
Activity : Packing	Operation	5		
Date : - / - / 2554	Transport	2		
Operator : Analyst :	Delay	2		
Circle appropriate Method and Type :	Inspection	0		
Method : ☒ Proposed	Storage	2		
Type : ☒ Manual ☒ Machine	Time (min)			
Remarks :	Obtained (min)			
	Cost			
Event Description	Symbol	Time (min)	Distance (m)	Method Recommendation
Product บรรจุ	☒			
Product บรรจุทำความสะอาด	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 1	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 2	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 3	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 4	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 5	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 6	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 7	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 8	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 9	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 10	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 11	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 12	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 13	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 14	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 15	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 16	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 17	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 18	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 19	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 20	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 21	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 22	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 23	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 24	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 25	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 26	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 27	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 28	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 29	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 30	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 31	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 32	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 33	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 34	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 35	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 36	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 37	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 38	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 39	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 40	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 41	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 42	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 43	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 44	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 45	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 46	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 47	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 48	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 49	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 50	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 51	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 52	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 53	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 54	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 55	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 56	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 57	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 58	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 59	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 60	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 61	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 62	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 63	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 64	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 65	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 66	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 67	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 68	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 69	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 70	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 71	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 72	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 73	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 74	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 75	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 76	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 77	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 78	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 79	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 80	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 81	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 82	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 83	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 84	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 85	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 86	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 87	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 88	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 89	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 90	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 91	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 92	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 93	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 94	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 95	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 96	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 97	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 98	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 99	☒			
Product บรรจุผลิตภัณฑ์ 100	☒			

รูปที่ 7 ขั้นตอนการบรรจุหลังปรับปรุงสถานที่การทำงาน

4. สรุปผล

การประยุกต์ใช้แบบจำลองเหตุการณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการบรรจุแลมมีน พบว่าการปรับปรุงสถานที่การทำงานตามแบบจำลองทางเลือกที่ 2 ซึ่งกำหนดให้มีกระบวนการบรรจุทั้งสองฝั่งของสายพาน มีพนักงานทั้งหมด 11 คน สามารถเพิ่มผลผลิตได้ 107.30% เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับกรณีที่มีปริมาณการบรรจุเป็นจำนวนมากและมีการส่งผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการบรรจุจำนวนมากและทำให้สายพานถูกใช้งานอย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นผลการปรับปรุงสถานที่ทำงานโดยการไม่ใช้สายพานลำเลียงตามแบบจำลองทางเลือกที่ 4 ซึ่งเพิ่มจำนวนพนักงานในกระบวนการทำงานติดสติกเกอร์ครั้งที่ 2 อีก 1 คน มีพนักงานรวม 9 คน สามารถเพิ่มผลผลิตได้ 47.23% เป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้อยและมีขนาดผลิตภัณฑ์หลากหลาย รวมถึงมีแต่ละชิ้นงานที่ตำแหน่งแตกต่างกัน ทำให้พนักงานต้องมีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการติดสติกเกอร์ตลอดเวลา ดังนั้นพนักงานจำนวนน้อยจึงเหมาะสมกับการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต่อเนื่อง อีกทั้งยังลดการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์บนสายพานซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นในสายการบรรจุดังแสดงในรูปที่ 7 การใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สามารถประเมินประสิทธิภาพการทำงานของสายการผลิตโดยรวบ ผลผลิต เวลาการวางแผน และ



เวลาทำงานของพนักงาน โดยสามารถลดระยะเวลาการทดลองจัด
สมดุลการผลิตได้ จึงไม่จำเป็นต้องหยุดการทำงานเพื่อทดลอง
นอกจากนี้แล้วการวิเคราะห์กระบวนการผลิตด้วยแบบจำลองทาง
คอมพิวเตอร์ เพื่อปรับปรุงและจัดสมดุลทุกสถานีงานของ
กระบวนการผลิตภาชนะเคลือบเป็นแนวทางวิจัยในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก บริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์
จำกัด (มหาชน)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธยา ภิรมย์ และ นิตกร ศิริวงศ์ไพศาล. 2550. "การประยุกต์ใช้แบบจำลองเหตุการณ์ (Simulation) ในการวางแผนการผลิตของอุตสาหกรรมเส้นผ้าสำเร็จรูป". เอกสารการประชุมวิชาการช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2550.
- [2] Anhul G., Yuqiao Z., (2010). Research on Optimization for Balance of BSP Model Assembly Line Based on Flexsim, College of Engineering Technology Northeast Forestry University, Harbin, China.
- [3] CHEN H., YANGI D., SUN, H. (2009). Simulation Research of the Mixed-Model Production Line based on Flexsim, College Of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University Of Technology, Huhhot, Inner Mongolia. China.
- [4] เกียรติขจร วรปรัชญา และ กวีภัทร์ บุรณัติ. 2551. "การสร้างแบบจำลองและการจัดตารางการผลิตที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแผ่นแบบต่อเนื่องสองสายพานการผลิต". เอกสารการประชุมวิชาการสร้างแบบจำลองและการจำลองสถานการณ์ ประจำปี 2551.
- [5] ศิริรัตน์ ถาวรสาร. 2551. "แบบจำลองพยากรณ์การสั่งซื้อสินค้าด้วยแบบจำลองเชิงสาเหตุ". สารนิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [6] ชนะ สุพัฒสร. 2548. "Simulation Software กับนักบริหาร". บริษัท เอ็มโพลัส จำกัด.
- [7] Niebel,B.W. and Freivalds,A. 2003. Methods Standard and Work Design. Eleventh Edition, McGraw-Hill.

การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ ของเครื่องมือในเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

A tool path planning for rapid prototyping technology

ปภากร พิทยชวล* ธนาคร เบ้าทอง

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา

E-mail: paphakorn@g.sut.ac.th, Bthanakharn@gmail.com

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype technology, RP) หรือกรรมวิธีการขึ้นรูปแบบชั้น (Layered Manufacturing, LM) คือ กระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบแบบชั้นต่อชั้น (Layer by layer) โดยตรงจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งแบ่งแบบจำลองออกเป็นชั้น (Slicing) ในระนาบ (Plane) ที่กำหนดขึ้น จากนั้นแต่ละชั้นของแบบจำลองจะถูกสกัด (Extract) เป็นเส้นโครงร่าง (Contours) ซึ่งข้อมูลเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นจะถูกนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ บทความนี้นำเสนอวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง (Contour Identification) ในแต่ละชั้น โดยประยุกต์ ใช้แนวคิด Parent and Child ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาใช้เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว และประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem, TSP) เพื่อกำหนดเส้นทางเดินของเครื่องมือโดยมุ่งหวังลดระยะเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาการสร้างต้นแบบ (Fabrication Time) ลดลง และหลีกเลี่ยงการชนกันระหว่างเครื่องมือในการสร้างต้นแบบกับชิ้นงาน

Abstract

Rapid Prototype technology (RP) or Laminated Manufacturing (LM) is a fabrication process of prototype created layer-by-layer directly from CAD a model. Layer contours are extracted for each layer. After slicing planes are assigned on CAD model. These contours can be utilized to build a prototype. Since there are several contours on each layer. These also allow many possible solutions for tool path planning. This paper presents an identification of contour relationship algorithm for tool path planning of a rapid prototyping construction by apply parent-and-son concept. This algorithm defines relationship of the slice contours. Information according to contours relationship can be used to planning tool path of rapid prototyping. A concept of the travelling salesman problem has been applied to determine the path sequences in order to minimize distance of tool travelling to all contours and to avoid possible collision of tools in case several tools are applied.

คำสำคัญ

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว, การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง, การวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ, ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

1. บทนำ

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วเป็นเทคโนโลยีการสร้างชิ้นงานต้นแบบจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ (3D Model) โดยตรง โดยคอมพิวเตอร์จะถูกใช้ในการออกแบบและสร้างแบบจำลอง 3 มิติเป็นรูปทรงต่าง ๆ แบบจำลองจะถูกแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ตามระนาบที่กำหนดด้วยค่าความหนาที่ถูกต้องขึ้น เส้นโครงร่างของแบบจำลองในแต่ละชั้นจะถูกสกัดออกมาเพื่อนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เส้นโครงร่างที่ได้จากชั้นแบบจำลองมีความสำคัญต่อการสร้างชิ้นงานต้นแบบเนื่องจากในแต่ละชั้นของแบบจำลองอาจประกอบด้วยเส้นโครงร่างเพียงเส้นเดียว หรือมีกลุ่มเส้นโครงร่างที่ซ้อนกัน (Nested Contours) อยู่บนระนาบเดียวกัน ข้อมูลจำนวนของเส้นโครงร่าง และข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือกับชิ้นงาน และลดระยะเวลาการสร้างต้นแบบ

บทความนี้เสนอวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างในชั้นที่กำหนดขึ้น (Layered Contour) บนระนาบ XY ข้อมูลจากความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาใช้เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ด้วยวิธีการสร้างแบบ Laminated Object Manufacturing

(LOM) โดยการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem, TSP) เพื่อกำหนดเส้นทางเดินของเครื่องมือระหว่างเส้นโครงร่าง

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นของแบบจำลองเป็นองค์ความรู้หนึ่งถูกนำมาใช้วางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เนื่องจากแต่ละชั้นของแบบจำลองอาจประกอบด้วยส่วนของพื้นที่ที่เป็นเนื้อวัสดุ (Solid) และส่วนของพื้นที่ที่เป็นโพรง (Hole) เส้นขอบที่แสดงพื้นที่ของทั้งสองส่วนนี้เรียกว่าเส้นโครงร่าง จากการศึกษาของ Ma and Chu [1] ได้นำเสนอวิธีที่ใช้ระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างที่ซ้อนกัน โดยใช้การลากเส้นจากจุดใด ๆ ผ่านเส้นโครงร่างที่ซ้อนกัน เส้นโครงร่างที่ถูกตัดผ่านเส้นแรกจะเป็นเส้นโครงร่างด้านนอกที่อยู่นอกสุด และเส้นที่ถูกตัดผ่านลำดับต่อมาจะเป็นเส้นโครงร่างด้านในถัดไป แต่เทคนิคนี้เหมาะสำหรับเส้นโครงร่างที่ซ้อนกันเป็นวง และเส้นโครงร่างทุกเส้นจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกันที่เส้นตรงลากผ่านเส้นโครงร่างทุกเส้นได้ แนวคิด Bounding box [2] ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง โดยแต่ละเส้นโครงร่างจะถูกสร้างกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ละกล่องสี่เหลี่ยมจะถูกเปรียบเทียบทีละคู่ กล่องสี่เหลี่ยมที่ถูกครอบด้วยกล่องสี่เหลี่ยมอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างที่อยู่ภายในกล่องสี่เหลี่ยมนั้นเป็นเส้นโครงร่างที่อยู่ข้างใน แต่ถ้าหากมีการซ้อนทับ (Overlap) ระหว่างกล่องสี่เหลี่ยม แนวคิดของ Ray shooting จะถูกนำมาใช้ระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง ด้วยวิธีการลากเส้นตรงผ่านเส้นโครงร่างที่ต้องการพิจารณา จากนั้นทำการพิจารณาจุดตัดที่เกิดขึ้นบนเส้นโครงร่าง ถ้าจุดตัดจุดแรกและจุดที่สองเกิดขึ้นบนเส้นโครงร่างเส้นเดียวกัน แสดงว่าเส้นโครงร่างเส้นนี้คือเส้นโครงร่างภายนอก แต่ถ้าจุดตัดจุดแรกและจุดตัดที่สองเกิดบนเส้นโครงร่างคนละเส้นให้พิจารณาจุดตัดจุดที่สาม ถ้าจุดตัดที่สามเกิดบนเส้นโครงร่างเส้นเดียวกันกับจุดตัดที่สอง แสดงว่าเส้นโครงร่างเส้นนี้คือเส้นโครงร่างภายใน โดยเส้นโครงร่างภายในคือเส้นโครงร่างของ

ส่วนพื้นที่ที่เป็นโพรง และเส้นโครงร่างภายนอกคือเส้นโครงร่างของส่วนพื้นที่ที่เป็นเนื้อวัสดุ

นอกจากนี้แล้วข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างถูกนำไปใช้เพื่อการวางแผนเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) เส้นทางเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่าง ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือสร้างต้นแบบทำงาน (Operating Time) และ 2) เส้นทางเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน (Non-Operating Time) จากการศึกษาของ Zhu and Yu [3] ได้นำเสนอวิธี A dixel-base spatio-temporal modeling ใช้วางแผนเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เพื่อป้องกันการชนกันของเครื่องมือ ในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด (Multi-Material Layered Manufacturing) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Choi and Cheung [4-5] ได้นำเสนอวิธีการวางแผนเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีสีแตกต่างกัน (Multi-Color) ที่ใช้หัวปล่อยวัสดุ (Nozzle) มากกว่า 1 อัน โดยใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างกำหนดเส้นทางเดินของเครื่องมือ เส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้นโครงร่างในแต่ละชั้น จากการศึกษาของ Tang and Pang [6] ได้มีการนำเสนอวิธี Maximum Linear Intersection (MLI) และประยุกต์ใช้แนวคิดของ Travelling Salesman Problem เพื่อกำหนดเส้นทางเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างที่สั้นที่สุด เนื่องจากช่วงระยะเวลาการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน โดยวิธีการลากเส้นตรงให้ผ่านเส้นโครงร่างที่อยู่ในระนาบเดียวกันให้มากที่สุด แล้วกำหนดจุดตัดที่เกิดขึ้นบนเส้นโครงร่างเป็นจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างเส้นนั้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Chou et al. [7] ได้นำเสนอวิธี Odd_Even เพื่อค้นหาเส้นทางเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างที่สั้นที่สุด โดยที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือไม่ใช่จุดเดียวกัน และได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ Travelling Salesman Problem ในการแก้ปัญหา นอกจากนี้วิธี Genetic

Algorithm (GA) [8-9] ได้ถูกนำมาใช้วางแผนเส้นทาง การเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เพื่อลดช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน การลดระยะเส้นทางเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ยังส่งผลให้ช่วยลดเวลาการสร้างชิ้นงานต้นแบบ

3. การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การระบุ ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง และการวางแผนเส้นทาง การเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ข้อมูลนำเข้า (Input) ที่ใช้คือ ภาพของเส้นโครงร่างที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนด ซึ่งข้อมูลนี้จะ ถูกแปลงเป็นภาพขาว-ดำ (Binary image) จากนั้นค้นหาเส้น โครงร่างของชิ้นแบบจำลอง และระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกันของชิ้นแบบจำลอง ข้อมูล ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาเป็นข้อมูลเพื่อใช้ วางแผนเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือการสร้างชิ้นงาน ต้นแบบ โดยการกำหนดจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่าง จุด พิกัดนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของ เส้นทางเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างของเส้นโครงร่างนั้น จากนั้นคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดจะนำไปใช้ในการจัดลำดับ เส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ ข้อมูล นำออก (Output) คือ เส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการ สร้างชิ้นงานต้นแบบ

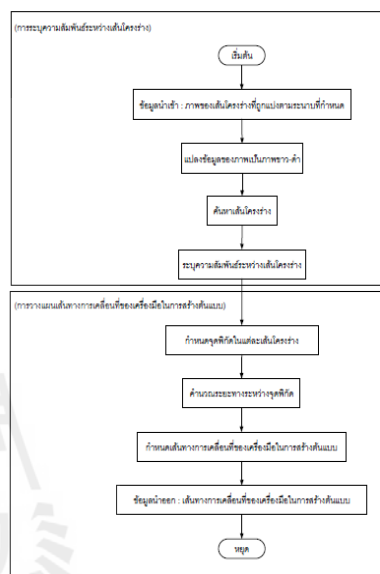
3.1 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

ข้อมูลนำเข้าของการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง คือ ภาพเส้นโครงร่างที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนด ซึ่งภาพนี้จะถูก สกัดเป็นเส้นโครงร่าง โดยข้อมูลของเส้นโครงร่างที่ได้จะถูกเก็บ ข้อมูลในรูปแบบของเซต (Set) คู่อันดับในระนาบ XY ดังแสดง ในสมการที่ (1)

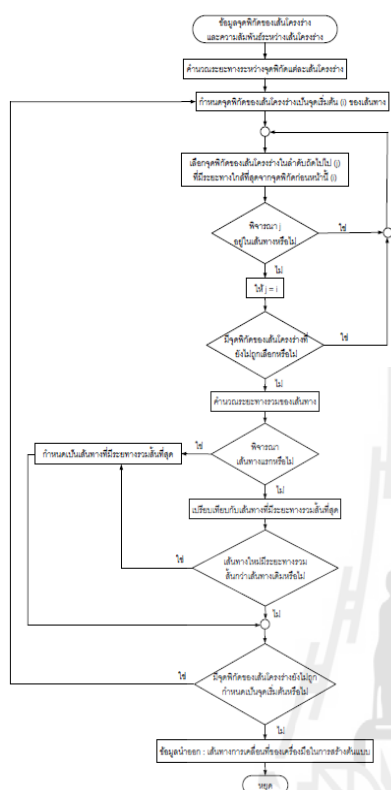
$$C_x = \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}, x = 1, \dots, I \quad (1)$$

เมื่อเส้นโครงร่างที่ X คือ เซต (Set) ที่ประกอบด้วย สมาชิกคือคู่อันดับในระนาบ XY จากนั้นพิจารณาการระบุ ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างรายละเอียดขั้นตอนวิธีการ ระบุความสัมพันธ์แสดงดังในรูปที่ 2 โดยแนวคิดของ Parent

and Child [10] จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุความสัมพันธ์ ระหว่างเส้นโครงร่าง โดยการพิจารณาที่ละเส้นโครงร่าง จาก ตัวอย่างภาพเส้นเส้นโครงร่างที่ครอบคลุมเส้นโครงร่างอื่น แสดงว่า เส้นโครงร่างนั้นมีความสัมพันธ์แบบ Parent และเส้นโครงร่างที่ ถูกครอบด้วยเส้นโครงร่างอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างนั้นมี ความสัมพันธ์แบบ Child



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



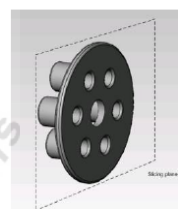
รูปที่ 3 การกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของ
เครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

4. กรณีศึกษา

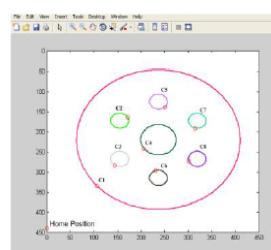
โปรแกรม MATLAB จะถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างโปรแกรม เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง และการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยแบ่งช่วงระยะทางที่เครื่องมือไม่ได้ทำงานออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากจุดเริ่มต้นไปยังเส้นโครงร่างแรก 2) ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างเส้นโครงร่าง และ 3) ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากเส้นโครงร่างสุดท้ายกลับไปยังจุดเริ่มต้น

เส้นโครงร่างของชิ้นงานตัวอย่างแสดงในรูปที่ 4 จากการศึกษาพบว่ารูปภาพรูปนี้ประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด

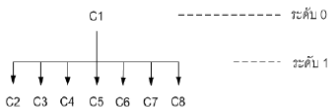
8 เส้นโครงร่าง คือเส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 และ C8 ดังแสดงในรูปที่ 5 เส้นโครงร่างเหล่านี้จะถูกระบุความสัมพันธ์โดยพิจารณาที่ละเส้นโครงร่าง โดยมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยตัวเลขของระดับ (Level) แสดงถึงจำนวน Parent ของเส้นโครงร่างในระดับนั้น ที่ระดับ 0 เส้นโครงร่าง C1 ไม่มี Parent หรือที่ระดับ 1 เส้นโครงร่าง C2, C2, C3, C4, C5, C6, C7 และ C8 มีจำนวน Parent เท่ากับ 1 คือ เส้นโครงร่าง C1 จากนั้นกำหนดจุดพิกัดในแต่ละเส้นโครงร่างดังแสดงในตารางที่ 1 ในกรณีศึกษานี้ได้กำหนดจุดมุมล่างซ้ายคือจุดเริ่มต้น (0,440) ขั้นตอนต่อมาคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง และกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยมีลำดับการเดินทางดังต่อไปนี้ คือ จุดเริ่มต้น $\rightarrow$ C1 $\rightarrow$ C3 $\rightarrow$ C4 $\rightarrow$ C6 $\rightarrow$ C8 $\rightarrow$ C7 $\rightarrow$ C5 $\rightarrow$ C2 $\rightarrow$ จุดเริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 7 รวมระยะทางทั้งหมดเท่ากับ 996.2263 ยูนิต (Unit) ซึ่งประกอบด้วย 1) ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากจุดเริ่มต้นไปยังเส้นโครงร่าง C1 เท่ากับ 149.9066 ยูนิต 2) ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างเส้นโครงร่างเท่ากับ 633.2821 ยูนิต และ 3) ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากเส้นโครงร่าง C2 ไปจุดเริ่มต้นเท่ากับ 213.0376 ยูนิต



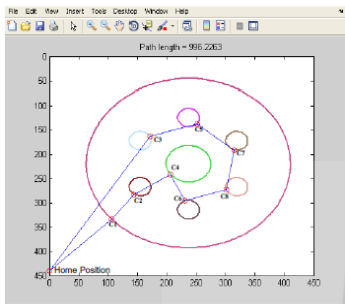
รูปที่ 4 รูปชิ้นงานตัวอย่าง



รูปที่ 5 เส้นโครงร่างของชิ้นงานตัวอย่าง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง



รูปที่ 7 เส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

ตารางที่ 1. จุดพิกัดในแต่ละเส้นโครงร่าง

เส้นโครงร่าง	จุดพิกัด
Home Position	(0,440)
C1	(106,334)
C2	(172,163)
C3	(144,283)
C4	(206,242)
C5	(251,138)
C6	(231,296)
C7	(315,191)
C8	(301,273)

5. สรุป

วิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง โดยการประยุกต์ใช้แนวคิดของ Parent and Child ซึ่งทำการพิจารณาทีละเส้นโครงร่าง เส้นโครงร่างที่ครอบคลุมเส้นโครงร่างอื่น กำหนดให้มีความสัมพันธ์แบบ Parent และเส้นโครงร่างที่ถูกครอบงำให้มีความสัมพันธ์แบบ Child ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ Travelling Salesman Problem และใช้วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ในการหาเส้นทาง

เคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างที่สั้นที่สุด เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน ส่งผลให้ระยะเวลาและพลังงานที่ใช้ในการสร้างต้นแบบลดลง รวมถึงสามารถป้องกันการชนกันของเครื่องมือกับชิ้นงานได้อีกด้วย

งานวิจัยในอนาคตจะนำเสนอวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง และวิธีการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด หรือชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีสีแตกต่างกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Ma, W. and Chu, L.Y. 2000. Extracting geometric feature from a virtual environment. Journal of Material Processing Technology, 107 : 24-30

[2] Choi, S.H. and Kwok, K.T. 2004. A topological hierarchy-sorting algorithm for layered manufacturing, Rapid Prototyping Journal, 10(2) : 98-113.

[3] Zhu, W.M. and Yu, K.M. 2002. Tool path generation of multi-material assembly for rapid manufacture. Rapid Prototyping Journal, 8(5):277-283.

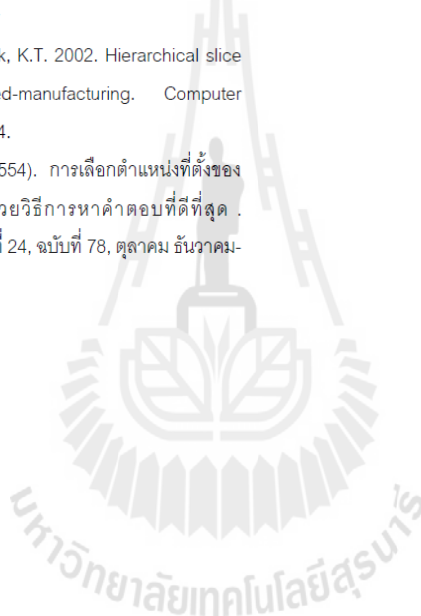
[4] Choi, S.H. and Cheung, H.H. 2005. A multi-material virtual prototyping system. Computer-Aided Design 2005;37:123-136.

[5] Choi, S.H. and Kwok, K.T. 2006. A topological hierarchy-sorting algorithm for layered manufacturing, Rapid Prototyping Journal, 10(2) : 98-113.

[6] Tang, K., and Pang, A. 2003. Optimal connection of loops in laminated object manufacturing, Computer-Aided Design, 35(11) : 1011-1022

[7] C.C. Chou, Y.K. Chen and S.Y. Chou, 2007. Shortest traversal path of n circles in layered manufacturing

- applications, IEEE Computer Graphics, Imaging and Visualization: New Advances, Bangkok, Thailand, August 13-16, 2005-210.
- [8] Joneja, A., Pang, KW., Murty, KG., Lam, D. and Yuen, M. 1998. A genetic algorithm for path planning in rapid prototyping. Proceeding of DETC'98 1998 ASME Design Engineering Technical Conference, September 13-16, Atlanta.
- [9] Joneja, A. and Pang, KW. 2001. A New Architecture for CAD/CAM Systems for Rapid Prototyping. Department of IEEM, Hong Kong University of Science & technology
- [10] Choi. S.H. and Kwok, K.T. 2002. Hierarchical slice contours for layered-manufacturing. Computer Industrial, 48 : 99-114.
- [11] จันทศิริ สิงเดือน .(2554). การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด . วิศวกรรมสาร มก, ปีที่ 24, ฉบับที่ 78, ตุลาคม ธันวาคม-2554, หน้า 107-122.





ที่ ศธ 0529.8.1.3 /ว.579

คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ตู้ ปณ. 3 ปณจ.วารินชำราบ
จ.อุบลราชธานี 34190

5 เมษายน 2556

เรื่อง ตอบรับบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

เรียน คุณปภากร พิทยขวาล

ตามที่ ท่านได้ส่งบทความวิจัย เรื่อง “การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วจากความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง” โดยมีผู้เขียนร่วมคือ คุณธนากร เป้าทอง เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ตามความทราบแล้วนั้น

บัดนี้ กองบรรณาธิการ ได้พิจารณาแล้วเห็นชอบในการนำบทความของท่าน เพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ประเภท บทความวิจัย และยินดีจะแจ้งให้ทราบว่าบทความของท่านมีกำหนดตีพิมพ์ ในวารสารฯ ฉบับที่ 1 ปีที่ 6 ประจำเดือนมกราคม-มิถุนายน 2556 ทั้งนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่า ท่านจะให้ความสนใจ ในการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ ในวารสารฯ ในโอกาสต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)
บรรณาธิการวารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.

หน่วยสนับสนุนงานวิจัยและบริการ
โทร. 045 -353319 โทรสาร 045-353333

การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบ รวดเร็วจากความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง

A Tool Path Planning of Rapid Prototyping Technology Base on a Contour Relationship

ปภากร พิทยชวล* ธนาคม เป้าทอง
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

Paphakorn Pitayachaval* Thanakham Baotthong
School of Industrial Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology,
Amphur Muang, Nakhon Ratchasima 30000
Tel : 0-4422-4264 E-mail: paphakorn@g.sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง (contour identification) ในแต่ละชั้น และประยุกต์ใช้แนวคิดความสัมพันธ์แบบพ่อลูก (parent and child) เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาใช้เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ รวมถึงการประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem, TSP) เพื่อกำหนดเส้นทางเดินของเครื่องมือ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ 1) เส้นทางเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เครื่องมือสร้างต้นแบบทำงาน (operating time) และ 2) เส้นทางเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน (non-operating time) โดยผลที่คาดว่าจะได้รับคือลดระยะเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งจะส่งผลต่อการลดระยะเวลาการสร้างต้นแบบ (fabrication time) โดยแสดงผลการดำเนินงานวิจัยด้วยกรณีศึกษา

คำหลัก เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ปัญหาการเดินทางของ

พนักงานขาย

Abstract

This paper presents an algorithm for tool path planning of rapid prototyping by identification of contour relationship in each layer. A concept of parent and child has been applied to identify relationship of the slice contours. Information as contours relationship can be utilized to plan tool path of rapid prototyping and applied the traveling salesman problem to determine the path sequences in order to minimize distance of tool travelling to all contours. The tool path is categorized by 2 types: moving on contours (operating time) and moving between contours (non-operating time). The algorithm had been implemented on a case study, and the distance of total tool path from algorithm was also presented.

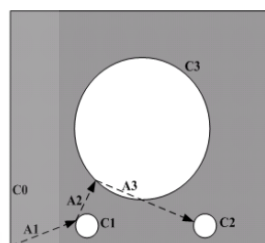
Keywords: Rapid Prototyping technology, contour identification, tool path planning, travelling salesman problem

1. บทนำ

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping technology, RP) หรือกรรมวิธีการขึ้นรูปแบบชั้น (Layered Manufacturing, LM) คือ กระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบทีละชั้น (layer by layer) โดยตรงจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ (3D CAD model) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติรูปทรงต่าง ๆ จะถูกแบ่ง (slicing) ออกเป็นชั้น ๆ ตามระนาบ (plane) ที่กำหนดขึ้นด้วยค่าความหนา (thickness) ที่เหมาะสม เส้นโครงร่าง (contours) ในแต่ละชั้นของแบบจำลองจะถูกสกัด (extract) เพื่อนำมาใช้สร้างชิ้นงานต้นแบบ ชั้นของแบบจำลองประกอบด้วยเส้นโครงร่าง (contour) ที่แสดงส่วนของพื้นที่ที่เป็นเนื้อวัสดุ (solid) หรือส่วนของพื้นที่ที่เป็นโพรง (hole) ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับจำนวน รูปร่าง และข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นจะถูกส่งไปยังเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว (RP machine) เพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นทีละชั้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเป็นชิ้นงานต้นแบบที่สมบูรณ์

เส้นโครงร่างที่เกิดจากการแบ่งแบบจำลองเป็นชั้นมีความสำคัญต่อการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว กล่าวคือ ในแต่ละชั้นของแบบจำลองอาจมีเส้นโครงร่างเพียงเส้นเดียว (single contour) หรือมีกลุ่มเส้นโครงร่างซ้อนกัน (nested contours) อยู่บนระนาบเดียวกัน ในชั้นแบบจำลองที่มีกลุ่มเส้นโครงร่างจะส่งผลให้มีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่เป็นไปได้หลายเส้นทาง เส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือประกอบด้วย 2 ส่วน ดังรูปที่ 1 คือ 1) เส้นทางเคลื่อนที่ที่ตามแนวเส้นโครงร่าง ได้แก่ เส้นโครงร่าง C0, C1, C2 และ C3 เป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือสร้างต้นแบบทำงาน (operating time) และ 2) เส้นทางเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ได้แก่ เส้นทาง A1, A2 และ A3 เป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน (non-operating time) ดังนั้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับจำนวนเส้นโครงร่างและข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจึงจำเป็นสำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือกับชิ้นงานรวมทั้งส่งผลให้ระยะเวลาการสร้างต้นแบบลดลง เมื่อพิจารณาจาก

ลักษณะของปัญหาการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ พบว่าสอดคล้องกับรูปแบบปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem, TSP) ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขายเป็นปัญหาที่มีความยากเมื่อขนาดของจำนวนเมืองเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดจะเสียเวลามาก วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก (heuristic method) เป็นรูปแบบการหาคำตอบรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอาจไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (optimal solution) แต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยและใช้งานได้ง่าย ซึ่งได้แก่วิธี Saving Heuristic (saving) และ Nearest Neighbor Heuristic (NN) ใช้สำหรับแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขาย หรือปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP) [1]



รูปที่ 1 เส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

บทความนี้นำเสนอวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างในชั้นที่กำหนดขึ้น (layered contour) บนระนาบ XY ข้อมูลจากความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาใช้เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธีการสร้างแบบ Laminated Object Manufacturing (LOM) โดยไม่คำนึงถึงการตัดในบริเวณที่ไม่ใช่ชิ้นส่วนของชิ้นงาน และได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เพื่อกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นของแบบจำลองเป็นข้อมูลที่สามารถนำมาใช้วางแผนการเคลื่อนที่

ของเครื่องในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ Ma และ Chu [2] ได้นำเสนอวิธีที่ใช้ระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างที่ซ้อนกัน โดยใช้การลากเส้นจากจุดใด ๆ ผ่านเส้นโครงร่างที่ซ้อนกัน เส้นโครงร่างที่ถูกตัดผ่านเส้นแรกจะเป็นเส้นโครงร่างด้านนอกที่อยู่นอกสุด และเส้นที่ถูกตัดผ่านลำดับต่อมาจะเป็นเส้นโครงร่างด้านในถัดไป ซึ่งเทคนิคนี้เหมาะสำหรับเส้นโครงร่างที่ซ้อนกันเป็นวง และเส้นโครงร่างทุกเส้นจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกันที่เส้นตรงลากผ่านเส้นโครงร่างทุกเส้นได้ แนวคิด Bounding box [3] ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง โดยแต่ละเส้นโครงร่างจะถูกสร้างกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า และกล่องสี่เหลี่ยมจะถูกเปรียบเทียบที่ละคู่ กล่องสี่เหลี่ยมที่ถูกครอบด้วยกล่องสี่เหลี่ยมอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างที่อยู่ภายในกล่องสี่เหลี่ยมนั้นเป็นเส้นโครงร่างที่อยู่ข้างใน แต่ถ้าหากมีการซ้อนทับ (overlap) ระหว่างกล่องสี่เหลี่ยม แนวคิดของ Ray shooting จะถูกนำมาใช้ระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง ด้วยวิธีการลากเส้นตรงผ่านเส้นโครงร่างที่ต้องการพิจารณา จากนั้นทำการพิจารณาจุดตัดที่เกิดขึ้นบนเส้นโครงร่าง ถ้าจุดตัดจุดแรกและจุดที่สองเกิดขึ้นบนเส้นโครงร่างเส้นเดียวกัน แสดงว่าเส้นโครงร่างเส้นนี้คือเส้นโครงร่างภายนอก แต่ถ้าจุดตัดจุดแรกและจุดตัดที่สองเกิดบนเส้นโครงร่างคนละเส้นให้พิจารณาจุดตัดจุดที่สาม ถ้าจุดตัดที่สามเกิดบนเส้นโครงร่างเส้นเดียวกันกับจุดตัดที่สอง แสดงว่าเส้นโครงร่างเส้นนี้คือเส้นโครงร่างภายใน

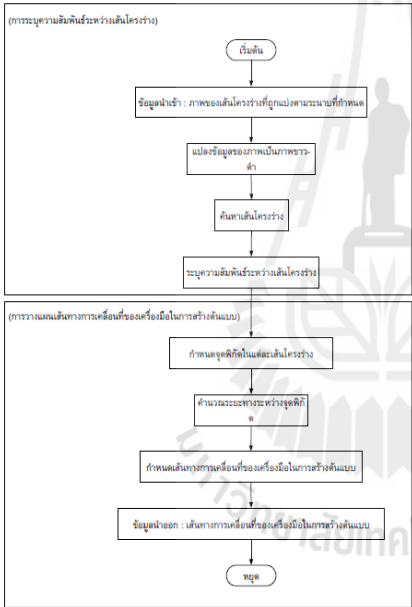
ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างยังสามารถนำไปใช้เพื่อการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบเพื่อช่วยลดระยะเวลาการสร้างชิ้นงาน และหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือ (collision-free tool path) ในการสร้างต้นแบบ Zhu และ Yu [4] ได้นำเสนอวิธี A dextral-base spatio-temporal modeling ใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเพื่อป้องกันการชนกันของเครื่องมือ ในกรณีวิธีการสร้างต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด (multi-material layered manufacturing) Choi และ Cheung [5] ได้นำเสนอวิธีการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีสีแตกต่างกัน (multi-colors) ที่ใช้หัวปล่อยวัสดุมากกว่า 1 อัน โดยใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เส้นทางการเคลื่อนที่ของ

เครื่องมือจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้นโครงร่างในแต่ละชั้น เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างและเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง นอกจากนี้ Tang และ Pang [6] ได้มีการนำเสนอวิธี Maximum Linear Intersection (MLI) และประยุกต์ใช้แนวคิดของ Travelling Salesman Problem เพื่อกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างที่สั้นที่สุด เนื่องจากช่วงระยะเวลาการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างเป็นช่วงเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน โดยวิธีการลากเส้นตรงให้ผ่านเส้นโครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกันให้มากที่สุด แล้วกำหนดจุดตัดที่เกิดขึ้นบนเส้นโครงร่างเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างเส้นนั้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Castellino และคณะ [7] แนวคิดการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายถูกนำมาประยุกต์ในการวางแผนเส้นทางการเดินของเครื่องมือ เพื่อลดช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงานจากการศึกษาของ Chou และคณะ [8] ได้นำเสนอวิธี Odd-Even adjusting algorithm เพื่อค้นหาเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างที่สั้นที่สุด และได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขายในการแก้ปัญหา โดยกำหนดให้จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือไม่ใช่จุดเดียวกัน นอกจากนี้วิธี Genetic Algorithm (GA) [9-10] ได้ถูกนำมาใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เพื่อลดช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน โดยพิจารณาเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างออกเป็นช่วงๆ การลดระยะเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างนอกจากจะช่วยลดเวลาการสร้างชิ้นงานต้นแบบแล้ว ส่งผลให้สามารถช่วยประหยัดพลังงานการสร้างชิ้นงานต้นแบบได้อีกด้วย

3. การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง และการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ ดังรูปที่ 2 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ข้อมูลนำเข้า (input) ที่ใช้คือ ภาพของเส้นโครงร่างที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนดขึ้น ซึ่งข้อมูลภาพนี้จะถูกแปลงเป็นภาพขาว-ดำ (binary

image) จากนั้นค้นหาเส้นโครงร่างของชิ้นแบบจำลอง และระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกันของชิ้นแบบจำลอง ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาเป็นข้อมูลเพื่อใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยการกำหนดจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่าง จุดพิกัดนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างของเส้นโครงร่างนั้น จากนั้นคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดจะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ข้อมูลนำออก (output) คือ เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว



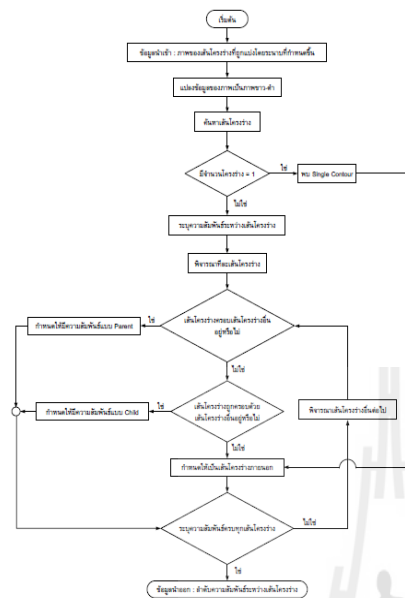
รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

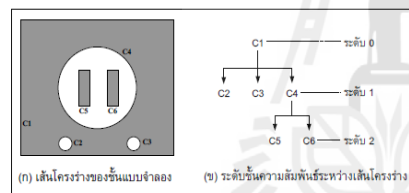
ข้อมูลนำเข้าของการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง คือ ภาพเส้นโครงร่างที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนด ซึ่งภาพนี้จะถูกสกัดเป็นเส้นโครงร่าง โดยข้อมูลของเส้นโครงร่างที่ได้จะถูกเก็บข้อมูลในรูปแบบของเซต (set) คู่อันดับในระนาบ XY ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$C_x = \{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}, x = 1, \dots, i \quad (1)$$

เมื่อเส้นโครงร่าง C_x คือ เซต (Set) ที่ประกอบด้วยสมาชิกคือคู่อันดับในระนาบ XY จากนั้นพิจารณาการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างรายละเอียดขั้นตอนวิธีการระบุความสัมพันธ์ดังในรูปที่ 3 โดยแนวคิดของความสัมพันธ์แบบพ่อลูก (parent and child) จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างโดยการพิจารณาทีละเส้นโครงร่าง เส้นเส้นโครงร่างที่ครอบคลุมเส้นโครงร่างอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างนั้นมีความสัมพันธ์แบบ Parent และเส้นโครงร่างที่ถูกครอบด้วยเส้นโครงร่างอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างนั้นมีความสัมพันธ์แบบ Child จากตัวอย่างภาพเส้นโครงร่างของชิ้นแบบจำลองดังในรูปที่ 4 (n) ประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 6 เส้นโครงร่าง คือ เส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5 และ C6 โดยเส้นโครงร่าง C1 เป็นเส้นโครงร่างนอกสุดที่ครอบคลุมเส้นโครงร่างอื่นทั้งหมด และเส้นโครงร่าง C4 ครอบคลุมเส้นโครงร่าง C5, C6 แสดงว่าเส้นโครงร่าง C1 มีความสัมพันธ์แบบ Parent ของเส้นโครงร่าง C2, C3, C4, C5 และ C6 เช่นเดียวกับเส้นโครงร่าง C4 มีความสัมพันธ์แบบ Parent ของเส้นโครงร่าง C5 และ C6 ส่วนเส้นโครงร่าง C2, C3, C4 และเส้นโครงร่าง C5, C6 มีความสัมพันธ์แบบ Child ของเส้นโครงร่าง C1 และ C4 ตามลำดับลำดับ จากข้อมูลความสัมพันธ์นี้สามารถระบุลำดับขั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างดังแสดงในรูป 4 (ข) ตัวเลขของระดับ (level) แสดงถึงจำนวน Parent ของเส้นโครงร่างในระดับนั้น เช่น ที่ระดับ 0 เส้นโครงร่าง C1 ไม่มี Parent หรือที่ระดับ 1 เส้นโครงร่าง C2, C3 และ C4 มีจำนวน Parent เท่ากับ 1 คือ เส้นโครงร่าง C1 เช่นเดียวกับที่ระดับ 2 เส้นโครงร่าง C5, C6 มีจำนวน Parent เท่ากับ 2 คือ เส้นโครงร่าง C4 และ C1



รูปที่ 3 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

3.2 การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างฐานงานต้นแบบรวดเร็ว

การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็วได้ ข้อมูลจำนวนเส้นโครงร่างและเซตคู่อันดับของแต่ละเส้นโครงร่างถูกนำมาใช้ในการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างโดยจุดมุมล่างซ้ายของภาพเส้นโครงร่างจะถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดจุดแรก ซึ่งจุดพิกัดนี้ถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น (home position) เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากนั้นกำหนดจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างทั้งหมด โดยตำแหน่งของแต่ละเส้นโครงร่างที่มีระยะทางไกลที่สุดจากจุดเริ่มต้น จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ซึ่งจุดพิกัดในแต่ละเส้นโครงร่างจะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น และ

จุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่าง เมื่อจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างถูกกำหนดขึ้นแล้ว จากนั้นคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัด ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดจะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ โดยแนวคิดการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายถูกนำมาประยุกต์ในการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยเส้นโครงร่างแต่ละเส้นถูกกำหนดให้เป็นเมืองที่พนักงานขายต้องเดินทางไปทุกเมืองทั้งหมดแล้วกลับมาที่จุดเริ่มต้น ส่วนเครื่องมือในการสร้างต้นแบบถูกกำหนดให้เป็นพนักงานขาย โดยมุ่งหวังกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมให้กับเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้

นี้ สมการที่ (2) เป็นสมการวัตถุประสงค์ คือ ค่ารวมหาเส้นทางที่ให้ผลรวมระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือสั้นที่สุด สมการที่ (3) คือ ผลรวมของตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงตัดสินใจเลือกเดินจากจุดพิกัด i ใดๆ ไปยังจุดพิกัด j ใดๆ เพียงจุดเดียว เช่นเดียวกับสมการที่ (4) คือ ผลรวมของตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงตัดสินใจเลือกเดินจากจุดพิกัด j ใดๆ ไปยังจุดพิกัด i ใดๆ เพียงจุดเดียว สมการที่ (5) สมการกำจัดทัวร์ย่อย (sub tour eliminate) สมการที่ (6) ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกเดินจากจุดพิกัด i ใดๆ ไปยังจุดพิกัด j ใดๆ และมีค่าเท่ากับ 0 กรณีไม่มีการเดินทางเกิดขึ้น

$$\text{Min } Z(T) = \sum_{(i,j) \in T} D_{ij} X_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall i \in n \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ji} = 1 \quad \forall i \in n \quad (4)$$

$$\sum_{i,j \in S} X_{ij} \leq |S| - 1, S \subset V, |S| > 1 \quad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad (6)$$

โดย

n คือ จำนวนจุดพิกัดทั้งหมด

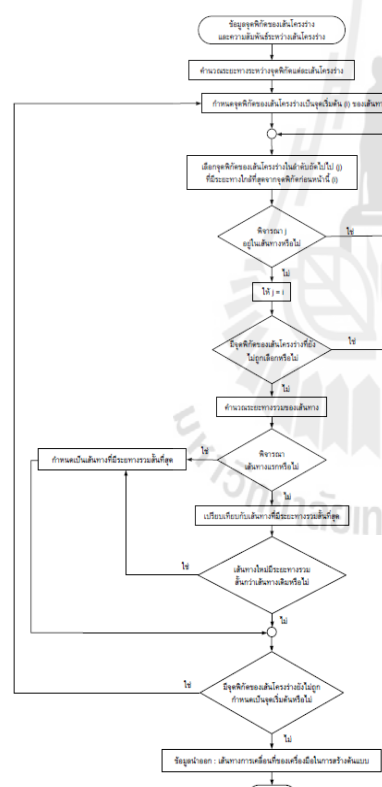
T คือ ชุดของเส้นทาง หรือทัวร์ (Tour)

D_{ij} คือ ระยะทางระหว่างจุด i ไปจุด j

V คือ เซตของจำนวนจุดพิกัดทั้งหมด

$|S|$ คือ ขนาดของรอบย่อยที่เกิดขึ้นแต่ละครั้ง

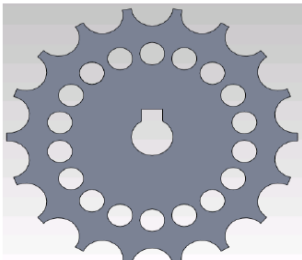
วิธีวิธีสติก Nearest Neighbor ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยมีขั้นตอนการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ดังในรูป 5 โดยข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิคตของเส้นโครงร่าง จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ โดยเริ่มต้นเส้นทางที่แต่ละจุดพิคตของเส้นโครงร่างที่กำหนดได้จากนั้นเลือกจุดพิคตของเส้นโครงร่างในลำดับถัดไปที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดพิคตก่อนหน้านี้ จนกระทั่งจุดพิคตของเส้นโครงร่างถูกเลือกทั้งหมดและกลับมาที่จุดเริ่มต้น จากนั้นคำนวณระยะทางรวมและเปลี่ยนจุดเริ่มต้นไปเรื่อย ๆ จนครบทุกจุดพิคตของเส้นโครงร่าง ระยะทางรวมที่คำนวณได้จากการเริ่มต้นที่แต่ละจุดพิคตที่มีระยะทางสั้นที่สุด ถูกกำหนดให้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ



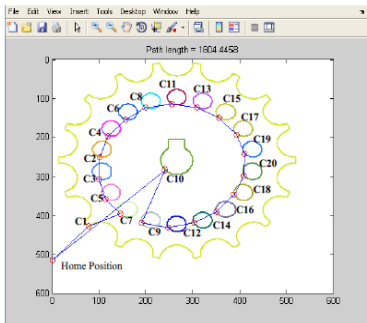
รูปที่ 5 การกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

4. กรณีศึกษา

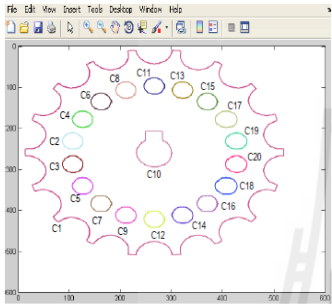
โปรแกรม MATHLAB ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง และการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยแบ่งช่วงระยะทางที่เครื่องมือไม่ได้ทำงานออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากจุดเริ่มต้นไปยังเส้นโครงร่างแรก 2) ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างเส้นโครงร่าง และ 3) ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากเส้นโครงร่างสุดท้ายกลับไปยังจุดเริ่มต้น กรณีศึกษานี้ได้ทำการศึกษาเส้นโครงร่างของเฟืองล้อรถจักรยาน ข้อมูลนำเข้าคือ ภาพของเส้นโครงร่างเฟืองล้อจักรยานที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนดดังในรูปที่ 6 จากการศึกษาพบว่ารูปภาพรูปนี้ประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 20 เส้นโครงร่าง คือเส้นโครงร่าง C1, C2, C3, ..., C20 ดังในรูปที่ 7 เส้นโครงร่างเหล่านี้จะถูกระบุความสัมพันธ์โดยการพิจารณาที่ละเส้นโครงร่าง โดยมีความสัมพันธ์คือเส้นโครงร่าง C1 มีความสัมพันธ์แบบ Parent ของเส้นโครงร่าง C1, C2, C3, ..., C20 ดังแสดงในรูปที่ 8 จากนั้นกำหนดจุดพิคตในแต่ละเส้นโครงร่างในกรณีศึกษานี้ได้กำหนดจุดมุมล่างซ้าย (0,515) ของภาพเส้นโครงร่างคือจุดเริ่มต้นเป็นจุดพิคตแรกที่ถูกกำหนดขึ้น ต่อมากำหนดจุดพิคตในแต่ละเส้นโครงร่าง ตำแหน่งของแต่ละเส้นโครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุด (0,515) จะถูกกำหนดเป็นจุดพิคตของเส้นโครงร่าง ซึ่งจุดพิคตของแต่ละเส้นโครงร่างดังในตารางที่ 1 และตำแหน่งจุดพิคตของแต่ละเส้นโครงร่างดังในรูปที่ 9 จากนั้นคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิคตและกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยมีลำดับการเคลื่อนที่ดังในตารางที่ 2 และมีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือดังในรูปที่ 10 รวมระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือทั้งหมดเท่ากับ 1604.4458 ยูนิต (unit) ซึ่งประกอบด้วย 1) ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากจุดเริ่มต้นไปยังเส้นโครงร่าง C1 เท่ากับ 116.8461 ยูนิต 2) ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างเส้นโครงร่างเท่ากับ 1153.0777 ยูนิต และ 3) ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากเส้นโครงร่าง C10 กลับไปยังจุดเริ่มต้นเท่ากับ 334.5220 ยูนิต



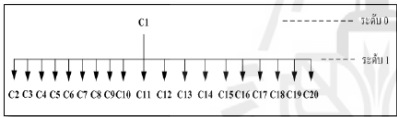
รูปที่ 6 ภาพเฟืองล้อจักรยาน



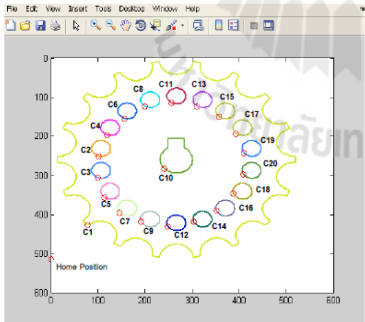
รูปที่ 10 เส้นทางเคลื่อนของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ



รูปที่ 7 เส้นโครงร่างของเฟืองล้อจักรยาน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง



รูปที่ 9 ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

ตารางที่ 1 จุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

เส้นโครงร่าง	จุดพิกัด
Home Position	(0,515)
C1	(78,428)
C2	(101,251)
C3	(100,307)
C4	(120,198)
C5	(114,357)
C6	(157,155)
C7	(146,396)
C8	(200,124)
C9	(192,491)
C10	(241,283)
C11	(257,115)
C12	(248,430)
C13	(311,124)
C14	(303,419)
C15	(357,150)
C16	(352,391)
C17	(393,193)
C18	(388,347)
C19	(410,243)
C20	(409,298)

ตารางที่ 2 ลำดับการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

ลำดับการเคลื่อนที่	เส้นโครงร่าง
จุดเริ่มต้น	Home Position
1	C1
2	C7
3	C5
4	C3
5	C2
6	C4
7	C6
8	C8
9	C11
10	C13
11	C15
12	C17
13	C19
14	C20
15	C18
16	C16
17	C14
18	C12
19	C9
20	C10
จุดสุดท้าย	Home Position

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

วิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ Parent and Child โดยทำการเปรียบเทียบเส้นโครงร่างทีละคู่ เส้นโครงร่างที่ครอบคลุมเส้นโครงร่างอื่นกำหนดให้มีความสัมพันธ์แบบ Parent และเส้นโครงร่างที่ถูกครอบงำกำหนดให้มีความสัมพันธ์แบบ Child ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างได้ถูกนำมาใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ รวมถึงได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ Travelling Salesman Problem และใช้วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ในการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพื่อลดระยะเวลาการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน ส่งผลให้ระยะเวลาและพลังงานที่ใช้การสร้างต้นแบบลดลง รวมถึงป้องกันการชนกันของเครื่องมือกับชิ้นงานได้อีกด้วย

งานวิจัยในอนาคตจะนำเสนอวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง และวิธีการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบไปประยุกต์ใช้กับการสร้างชิ้นงานจริง รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดหรือชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีสีแตกต่างกันและใช้หัวปสอยวัสดุมากกว่า 1 อัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

[1] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. 2544. วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, หน้า 12-17

[2] Ma, W. and Chu, L.Y. 2000. Extracting geometric feature from a virtual environment. Journal of Material Processing Technology, 107:24-30.

[3] Choi, S.H. and Kwok, K.T. 2004. A topological hierarchy-sorting algorithm for layered manufacturing. Rapid Prototyping Journal, 10(2): 98-113.

[4] Zhu, W.M. and Yu, K.M. 2002. Tool path generation of multi-material assembly for rapid manufacture. Rapid Prototyping Journal, 8(5):277-283.

[5] Choi, S.H. and Cheung, H.H. 2005. A multi-material virtual prototyping system. Computer-Aided Design 2005, 37:123-136.

[6] Tang, K., and Pang, A. 2003. Optimal connection of loops in laminated object manufacturing. Computer-Aided Design, 35(11):1011-1022.

[7] Castellino, K., D'Souza, R. and Wright, P. K. 2002. Toolpath optimization for minimizing airtime during machining. Journal of Manufacturing Systems, 22(3):173-180.

ประวัติผู้เขียน

นายธนาคาร เป้าทอง เกิดเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 เริ่มศึกษาชั้นประถมที่โรงเรียน
ยางสว่าง จังหวัดสุรินทร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 4-6 ที่โรงเรียนมารีย์อนุสรณ์ จังหวัดบุรีรัมย์ ชั้น
มัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนมารีย์วิทยา จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2553

ปี พ.ศ. 2554 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโททางวิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมอุตสาหการ)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา โดยขณะศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยวิจัยใน
โครงการวิจัย เรื่องการระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างเพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของ
เครื่องมือในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว และในระหว่างการศึกษาได้ปฏิบัติงานเป็นผู้สอน
ปฏิบัติการรายวิชาปฏิบัติการกรรมวิธีการผลิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีสุรนารี

ในระหว่างการศึกษาระดับปริญญาโท ได้มีผลงานตีพิมพ์จำนวน 3 บทความ โดยมี
รายละเอียดปรากฏดังภาคผนวก ก.

