



รายงานการวิจัย

การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างเพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่
ของเครื่องมือในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว
(An Identification of Contour Relationship for Tool Path Planning
of Rapid Prototyping Technology)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างเพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่
ของเครื่องมือในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว
(An Identification of Contour Relationship for Tool Path Planning
of Rapid Prototyping Technology)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปภากร พิทยชวล

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายธนากร เบ้าทอง

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2556

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยสถาบันวิจัยที่ได้ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยตลอดมา ส่งผลให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนทุนวิจัยในปีงบประมาณ 2554

ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจในการทำงาน รวมถึงครูอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

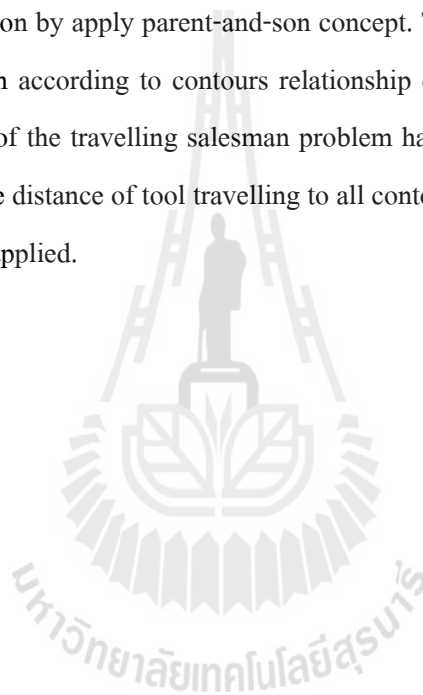


บทคัดย่อ

ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype technology, RP) มีความสำคัญต่อกระบวนการการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วเป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยตรงจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ (3D CAD model) โดยไม่ต้องอาศัยการสร้างแม่พิมพ์ ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบลดลง เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วหรือกรรมวิธีการขึ้นรูปแบบชั้น (Layered Manufacturing, LM) คือการสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นทีละชั้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเป็นชิ้นงานต้นแบบที่สมบูรณ์ โดยแต่ละชั้นของแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ซึ่งถูกแบ่งในระนาบ (Plane) ที่กำหนดด้วยค่าความหนาที่เหมาะสม จะถูกสกัด (Extract) เป็นเส้นโครงร่าง (Contours) จากนั้นข้อมูลจำนวนและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างในแต่ละชั้น ถูกนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ การวิจัยนี้นำเสนอวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง (Contour Identification) ในแต่ละชั้น โดยประยุกต์ใช้แนวคิด Parent and Child ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างถูกนำมาใช้เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยวิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem, TSP) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดเส้นทางเดินของเครื่องมือโดยมุ่งหวังลดระยะเวลาการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน (Non-Operating Time) ส่งผลให้ระยะเวลาในการสร้างต้นแบบ (Fabrication Time) ลดลง และหลีกเลี่ยงการชนกัน (Collision-Free Tool Path) ระหว่างเครื่องมือในการสร้างต้นแบบกับชิ้นงาน

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 a of 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.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	6
สมมติฐานการวิจัย	6
ขอบเขตของการวิจัย	7
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	8
การทบทวนวรรณกรรม	16
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
วิธีการดำเนินการวิจัย	24
การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง	26
การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว	28
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
กรณีศึกษาที่ 1	36
กรณีศึกษาที่ 2	42
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการวิจัย	48
ประโยชน์ของงานวิจัย	50
ข้อเสนอแนะในการวิจัยขั้นต่อไป	50
บรรณานุกรม	47
ภาคผนวก	54
ประวัติผู้เขียน	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง	29
ตาราง 3.2 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง	33
ตาราง 4.1 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง	39
ตาราง 4.2 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position	39
ตาราง 4.3 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour	40
ตาราง 4.4 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง	44
ตาราง 4.5 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position	46
ตาราง 4.6 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour	47
ตาราง 5.1 แสดงระยะทางระหว่างการเคลื่อนที่ระหว่างเส้น โครงร่าง	49
ตาราง 5.2 แสดงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ	49

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์	1
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบ (RP Process)	3
รูปที่ 1.3 เส้นโครงร่างที่เกิดขึ้นใน 1 ชั้น	4
รูปที่ 1.4 ความสัมพันธ์ของเส้น โครงร่าง	5
รูปที่ 1.5 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ	6
รูปที่ 2.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Stereo Lithograph Apparatus	9
รูปที่ 2.2 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Solid Ground Curing	9
รูปที่ 2.3 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Selective Laser Sintering	10
รูปที่ 2.4 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี 3D Printing	11
รูปที่ 2.5 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Laminated Object Manufacturing	12
รูปที่ 2.6 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Fused Deposition Modeling	12
รูปที่ 2.7 รูปแบบจำลอง โครงลวด	13
รูปที่ 2.8 แบบจำลองผิว	14
รูปที่ 2.9 การสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Boolean Operation	14
รูปที่ 2.10 แบบจำลอง Boundary Representation	15
รูปที่ 2.11 ผิวชิ้นงานระหว่างไฟล์ CAD และไฟล์ STL	18
รูปที่ 2.12 การแบ่งชั้นแบบจำลอง	19
รูปที่ 2.13 การกำหนดทิศการวางชิ้นงาน	20
รูปที่ 2.14 การสร้างฐานรองชิ้นงาน	21
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	25
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการพิจารณา Parent and Child	27
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่าง	28
รูปที่ 3.4 การกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่าง	
ด้วยวิธี Searched Based on Home Position	30
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งจุดพิคคของเส้น โครงร่าง	30
รูปที่ 3.6 การกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่าง	
ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour	32

สารบัญรูป (ต่อ)

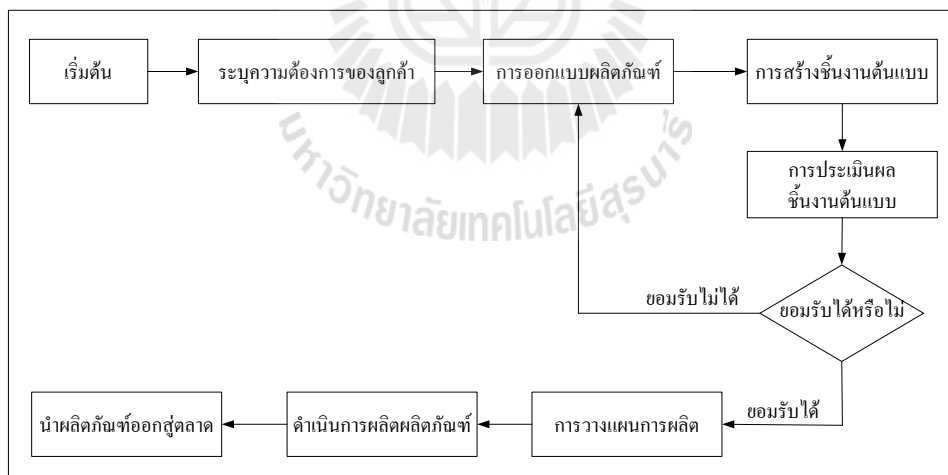
	หน้า
รูปที่ 3.7 ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง	33
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ	35
รูปที่ 4.1 แบบจำลองชิ้นงาน	36
รูปที่ 4.2 ชั้นแบบจำลอง	37
รูปที่ 4.3 ภาพเส้น โครงร่างของชั้นแบบจำลอง	37
รูปที่ 4.4 เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง	38
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่าง	38
รูปที่ 4.6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position	41
รูปที่ 4.7 ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้น โครงร่างจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour	47
รูปที่ 4.8 ชั้นแบบจำลอง	42
รูปที่ 4.9 ภาพเส้น โครงร่างของชั้นแบบจำลอง	42
รูปที่ 4.10 เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง	43
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่าง	43
รูปที่ 4.12 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position	45
รูปที่ 4.13 ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้น โครงร่างจากการกำหนดจุดพิกัด ด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour	45

บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

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

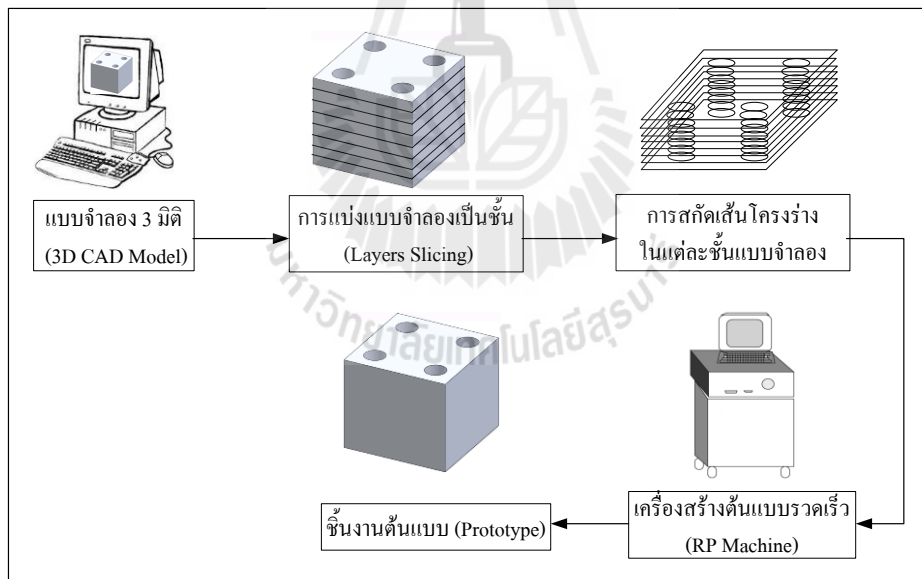


รูปที่ 1.1 กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

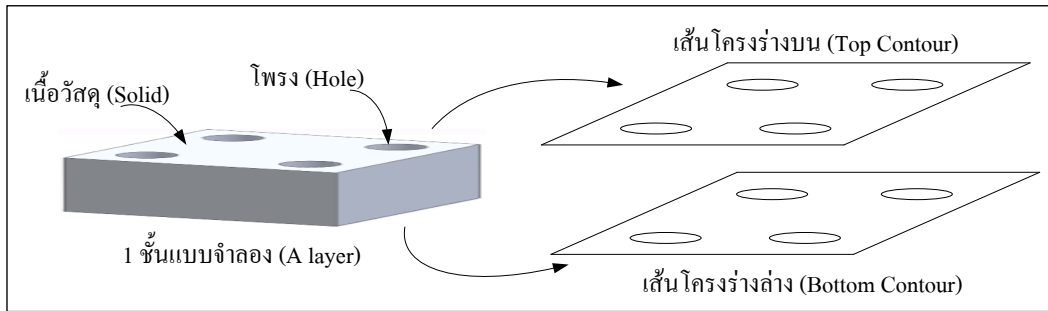
ในกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้นขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบถือว่ามี ความสำคัญต่อการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่เชื่อมโยงระหว่าง แนวความคิดของนักออกแบบออกมาเป็นชิ้นงานจริง วัตถุประสงค์ของการสร้างชิ้นงานต้นแบบมิใช่ เพียงแค่การสร้างผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบให้เป็นชิ้นงานจริงเท่านั้น แต่ยังสามารถนำเอาชิ้นงานต้นแบบ มาทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในบางครั้งการ ปรับเปลี่ยนรูปแบบลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์อาจเกิดขึ้นหลายครั้งในระหว่างกระบวนการออกแบบและพัฒนา ผลิตภัณฑ์ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในอดีตมีวิธีการสร้าง ชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีการแบบเก่า (Conventional Prototyping) ยกตัวอย่างเช่น การแกะสลักไม้ การ สร้างแม่พิมพ์ หรือการตัดโฟม ซึ่งล้วนเป็นวิธีการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก ชิ้นงานต้นแบบที่ได้จากวิธีการสร้างแบบเก่านั้นจะมีคุณลักษณะตามที่ได้ออกแบบไว้ คือ รูปร่างและ หน้าที่การใช้งาน แต่คุณสมบัติบางประการ เช่น น้ำหนักของชิ้นงานต้นแบบที่สร้างด้วยวิธีการ ตัดโฟมจะมีน้ำหนักกว่าผลิตภัณฑ์จริง ส่วนในกรณีที่การสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีการสร้างแม่พิมพ์ ถ้าหากมีการแก้ไขผลิตภัณฑ์ซึ่งทำให้ต้องมีการสร้างแม่พิมพ์ขึ้นมาใหม่ จึงส่งผลให้ขั้นตอนการสร้าง ชิ้นงานต้นแบบต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัญหาการสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีการ แบบเก่า จึงได้มีการพัฒนาวิธีการสร้างต้นแบบทำให้เกิดเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype, RP) การสร้างต้นแบบรวดเร็วเป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบจากแบบจำลองทาง คอมพิวเตอร์ 3 มิติ (3D CAD model) ที่ได้ออกแบบทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ไว้ เนื่องจากการใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Computer Aided Design, CAD) นั้น ทำให้ สามารถตรวจพบความผิดพลาดในการออกแบบได้เร็วขึ้น และแก้ไขรูปแบบลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้โดยสะดวกขึ้น นอกจากนี้การสร้างต้นแบบด้วยวิธีการนี้สามารถสร้างชิ้นงานต้นแบบได้โดยไม่ต้องอาศัยการสร้างแม่พิมพ์ ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการสร้างต้นแบบลดลงกว่าวิธีการสร้างแบบเก่าที่เคย ใช้ และยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับการสร้าง ต้นแบบด้วยวิธีการสร้างแม่พิมพ์ (Lopez and Wright, 2002)

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วเป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบเพื่อใช้ในการสนับสนุน กระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบและพัฒนา ผลิตภัณฑ์ ทำให้สามารถนำผลิตภัณฑ์ใหม่ออกสู่ตลาดได้เร็วขึ้น และช่วยในการสื่อสารแนวความคิด ในการออกแบบทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นด้วยชิ้นงานที่มีรูปร่างเหมือนจริง นอกจากนี้กระบวนการ ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วแล้ว ยังมีการประยุกต์ใช้ เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วในด้านอื่น 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 ข้อมูลที่เกี่ยวกับตำแหน่งของเส้นโครงร่างและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นจะถูกส่งไปยังเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว (RP Machine) เพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นทีละชั้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเป็นชิ้นงานต้นแบบที่สมบูรณ์



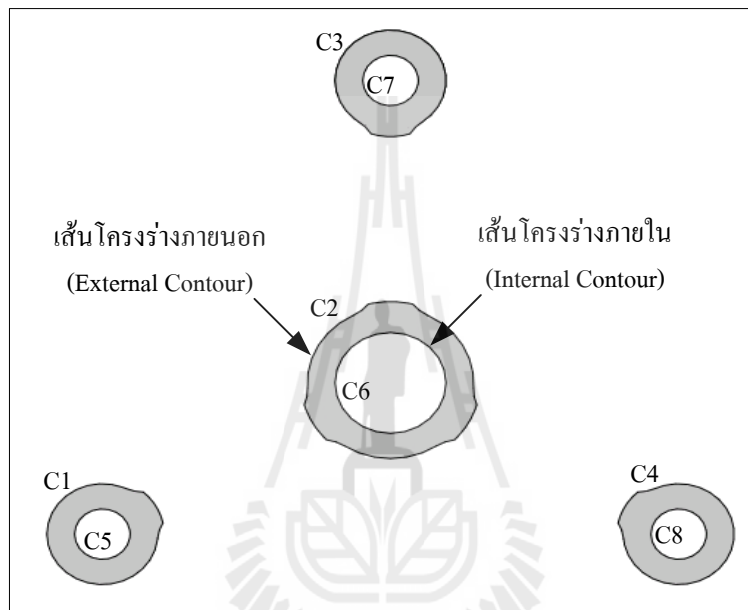
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบ (RP Process)



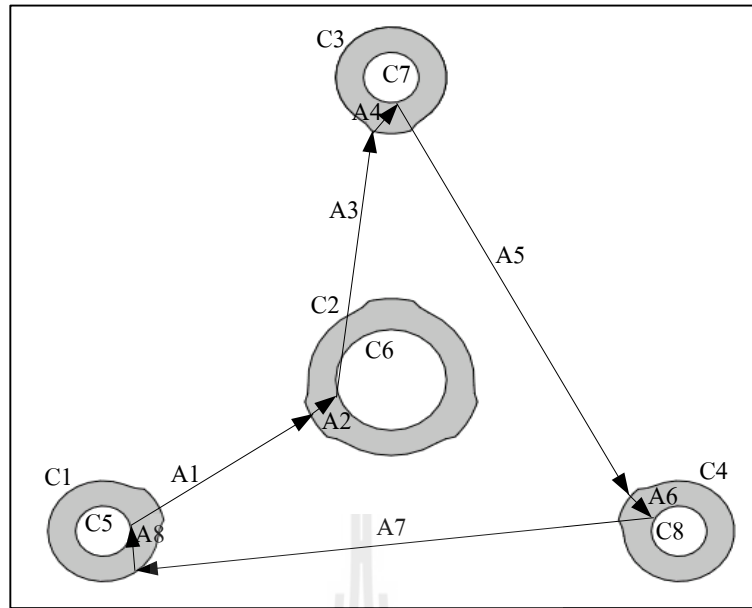
รูปที่ 1.3 เส้นโครงร่างที่เกิดขึ้นใน 1 ชั้น

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 C0 มีความสัมพันธ์เป็นเส้นโครงร่างภายนอก และเส้นโครงร่าง C1, C2, C3, และ C4 มีความสัมพันธ์เป็นเส้นโครงร่างภายใน ซึ่งข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างเป็นข้อมูลสำคัญในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ชั้นของแบบจำลองที่มีกลุ่มของเส้นโครงร่างจะส่งผลต่อการวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบซึ่งจะเป็นไปได้หลายเส้นทาง โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างต้นแบบยกตัวอย่างเช่น หัวป่นย่อยวัสดุ (Nozzle) ที่จะเคลื่อนที่ไปเติมเนื้อวัสดุ และแสงเลเซอร์ (Laser Beam) หรือมีดตัด (Cutter) ที่จะเคลื่อนที่ตัดเนื้อวัสดุตามแนวเส้นโครงร่าง ซึ่งเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบประกอบด้วยสองส่วน คือ 1) เส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือในการสร้างต้นแบบทำงาน (Operating Time) และ 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 ดังนั้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของเส้นโครงร่างและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจึงมีความจำเป็นสำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ เพื่อช่วยลดระยะเวลาการสร้างชิ้นงานต้นแบบ (Fabrication Time) นอกจากนี้แล้วการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างยังสามารถนำมาใช้ใน

การวางแผนการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด (Multi-Materials) หรือชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีสีแตกต่างกัน (Multi-Colors) ที่ใช้หัวปลีล่อยวัสดุมากกว่า 1 อัน เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือ (Collision-Free Tool Path) (Choi and Cheung, 2006) ดังนั้นข้อมูลจำนวนของเส้นโครงร่างและความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจึงเป็นข้อมูลสำหรับขั้นตอนการวางแผนการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของเครื่องมือและหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ ส่งผลให้การสร้างต้นแบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น



รูปที่ 1.4 ความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง



รูปที่ 1.5 เส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างในแต่ละชั้นของแบบจำลอง โดยการศึกษาเส้น โครงร่างในชั้นที่กำหนดขึ้น (Layered Contour) บนระนาบ XY ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างและจำนวนของเส้น โครงร่างจะถูกนำมาใช้เพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยมุ่งหวังลดระยะเวลาในการสร้างต้นแบบลดลง รวมทั้งหลีกเลี่ยงการชนกันระหว่างเครื่องมือในการสร้างต้นแบบกับชิ้นงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุตำแหน่งของเส้น โครงร่างและลำดับชั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่าง (Contour Identification Hierarchy) ซึ่งจะนำไปใช้ในการวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

1.3 สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย คือ เส้น โครงร่างที่เป็นข้อมูลนำเข้า (Input) เป็นข้อมูลของชั้นของชิ้นงานต้นแบบที่จะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานต้นแบบ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

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

1.4.2 การวิจัยนี้ศึกษาวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างบนระนาบเดียวกัน เพื่อใช้ในการวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยทำการศึกษาเส้นโครงร่างที่มีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิต (Geometric Contour)

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 การวิจัยนี้จะไม่คำนึงถึงการตัดในบริเวณที่ไม่ใช่ส่วนของชิ้นงาน (De-Cube)

1.4.7 การวิจัยนี้จะไม่คำนึงถึงความหนาของชั้น (Layer Thickness) และทิศทางการวางวัตถุ (Object Orientation)

1.4.8 การวิจัยนี้กำหนดให้แบบจำลองที่ศึกษาผ่านขั้นตอนการแบ่งชั้นแล้ว

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้แสดงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างต้นแบบรวดเร็ว และการวางแผนเส้นทาง การเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว อันได้แก่ ทฤษฎีกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ,ทฤษฎีการสร้างแบบจำลอง 3มิติใน โปรแกรม CAD, และทฤษฎีของปัญหาการเดินทางของพนักงานขายส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างต้นแบบรวดเร็ว และการวางแผนเส้นทาง การเคลื่อนที่ของ เครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ได้แก่ การแปลงไฟล์ข้อมูลของ โปรแกรม CAD ให้อยู่ใน รูปแบบของไฟล์มาตรฐาน, การแบ่งแบบจำลอง, การกำหนดทิศทางการวางชิ้นงาน, การกำหนด ฐานรองชิ้นงาน และการวางแผนการวางแผนเส้นทาง การเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

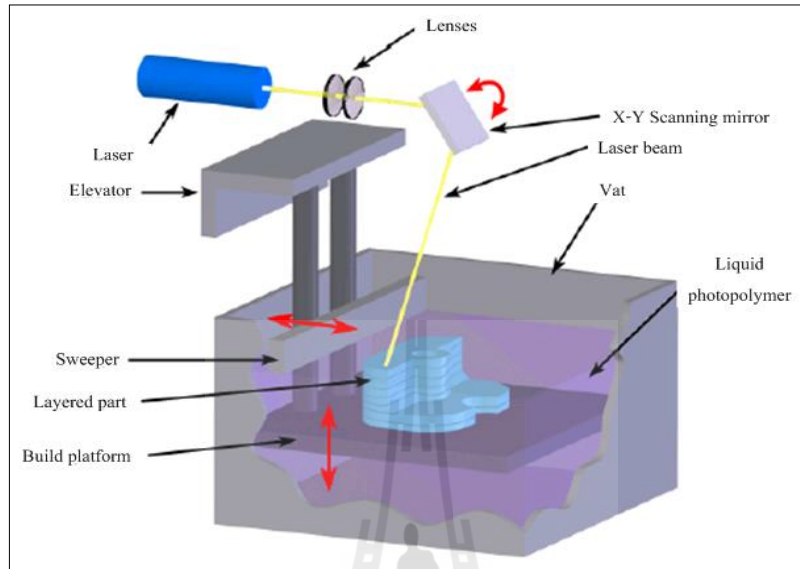
2.1กรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

การสร้างต้นแบบรวดเร็วสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามวัสดุตั้งต้น คือ วัสดุตั้งต้น ประเภทของเหลว, วัสดุตั้งต้นประเภทผง และวัสดุตั้งต้นประเภทของแข็ง

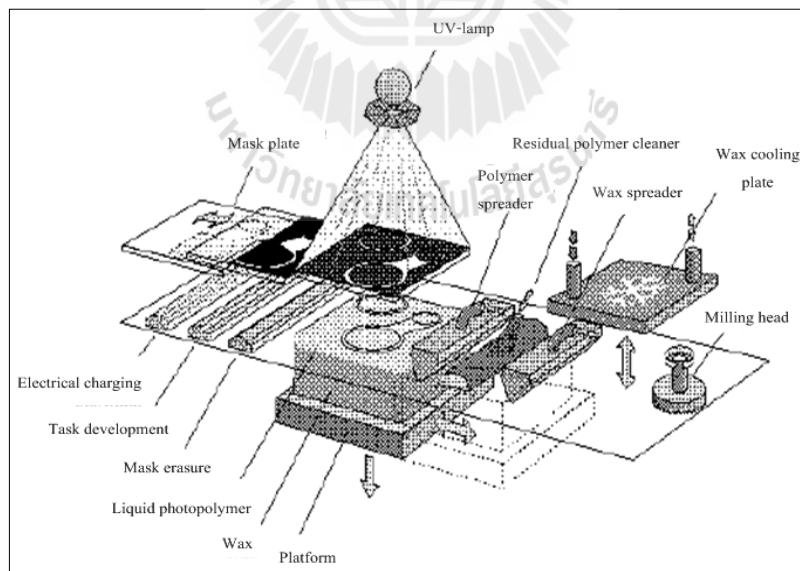
2.1.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบของเหลว (Liquid-based Rapid Prototyping)

เป็นวิธีการสร้างต้นแบบที่ได้รับความนิยมเนื่องจากเป็นวิธีการแรกที่ถูกพัฒนาขึ้น เทคนิคที่ใช้ในการสร้างต้นแบบจากวิธีนี้ได้แก่ Stereo Lithograph Apparatus (SLA) และ Solid Ground Curing (SGC)หลักการขึ้นรูปแบบ SLA คือ การขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบโดยใช้ของเหลว ประเภทเรซิน(Resin)ที่มีความไวต่อแสงสูงมาทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง โดยการฉายแสง เลเซอร์(Laser Beam)มากระทบบริเวณพื้นผิวของเรซิน ซึ่งทำให้เรซินเกิดการแข็งตัวขึ้นเป็นชั้นตาม เส้นโครงร่างที่เป็นเนื้อวัสดุ โดยชิ้นงานต้นแบบจะถูกสร้างขึ้นทีละชั้นจากด้านล่างขึ้นด้านบนจาก การอาศัยการเคลื่อนที่ของฐานรองชิ้นงาน (Platform) ในแนวดิ่ง ฐานรองชิ้นงานจะเลื่อนตัวลงเท่ากับ ค่าความหนาของชั้นแบบจำลองเพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบในชั้นถัดไป จนกระทั่งชั้นสุดท้ายถูกสร้าง ขึ้นเสร็จ ดังแสดงในรูปที่ 2.1ส่วนเทคนิคSGCเป็นการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบโดยใช้วัสดุประเภทเรซิน เช่นเดียวกับ SLAเทคนิคนี้จะพ่นสารประเภทเรซินบนฐานรองชิ้นงาน จากนั้นสร้างหน้ากาก (Photomask)เพื่อป้องกันแสงโดยเปิดช่องเฉพาะบริเวณที่จะสร้างเป็นชิ้นงานตามเส้นโครงร่างที่เป็น เนื้อวัสดุโดยวาง หน้ากากลงบน ฐานรองชิ้นงาน และปล่อยรังสี UVตกกระทบบริเวณ

กรณีที่หน้าฉากเปิดช่องไว้ทำให้บริเวณนั้นเรซินจะเกิดการแข็งตัว กระบวนการดังกล่าวจะดำเนินไปเรื่อยๆกระทั่งได้ชิ้นงานต้นแบบที่สมบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.2



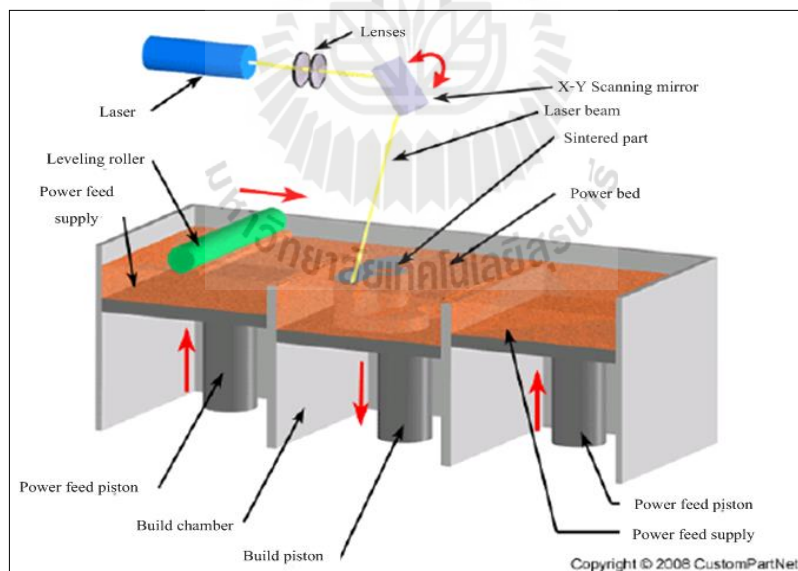
รูปที่ 2.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Stereo Lithograph Apparatus (ปริญญา และคณะ, 2551)



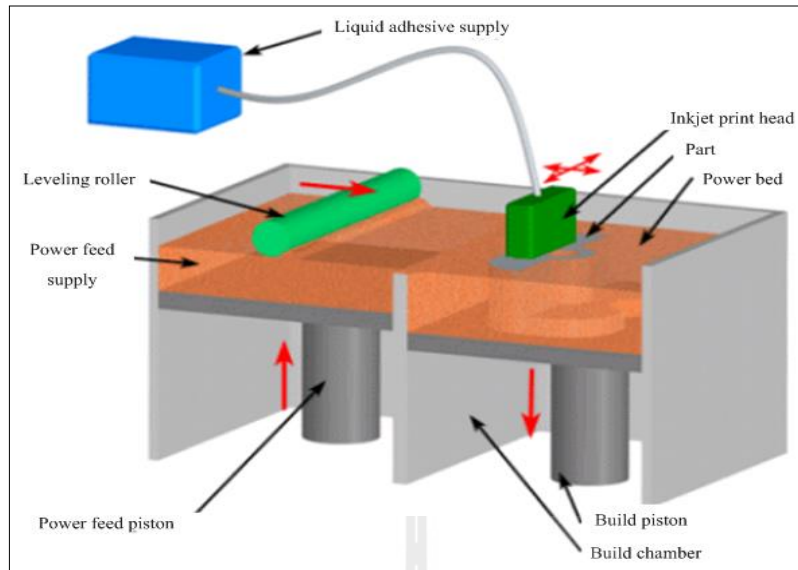
รูปที่ 2.2 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Solid Ground Curing (ปริญญา และคณะ, 2551)

2.1.2 การต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบผง (Power-based Rapid Prototyping)

วิธีการสร้างต้นแบบด้วยวิธีการนี้ใช้วัสดุที่มีลักษณะเป็นผงในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ เทคนิคที่ใช้สำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีนี้ได้แก่ Selective Laser Sintering (SLS) และ 3Dimensional Printing (3D Printing) หลักการทำงานของ SLS คือ ผงวัสดุสำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบจะถูกให้ความร้อนด้วยแสงเลเซอร์โดยการฉายแสงเลเซอร์ตามเส้นโครงร่างที่เป็นเนื้อวัสดุ บริเวณที่ถูกฉายด้วยแสงเลเซอร์ผงวัสดุจะถูกหลอมละลายทำให้สามารถเกาะติดกันได้และยังสามารถยึดเกาะกับชั้นที่ขึ้นรูปไปก่อนหน้านี้ โดยฐานรองชิ้นงานจะเลื่อนตัวลงเท่ากับค่าความหนาของชั้นแบบจำลอง เพื่อให้ลูกกลิ้ง (Roll) กวาดผงวัสดุชุดใหม่เข้ามาทับผิวชั้นก่อนหน้านี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ส่วน 3D Printing เป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่มีการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบด้วยวัสดุตั้งต้นแบบผง โดยใช้วิธีพ่นกาวคือใช้วิธีการพ่นกาวให้ผงวัสดุยึดเกาะกันเป็นรูปทรงที่ต้องการ กาวประสานจะถูกพ่นลงไปบนฐานรองชิ้นงานมีผงวัสดุเตรียมไว้ตามเส้นโครงร่างที่เป็นเนื้อวัสดุ กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบจะทำได้ทีละชั้นเช่นเดียวกับกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบอื่นๆ ซึ่งการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธี 3D Printing สามารถได้ลักษณะชิ้นงานทำให้รูปทรงของชิ้นงานมีสีสันต่างๆดังแสดงในรูปที่ 2.4



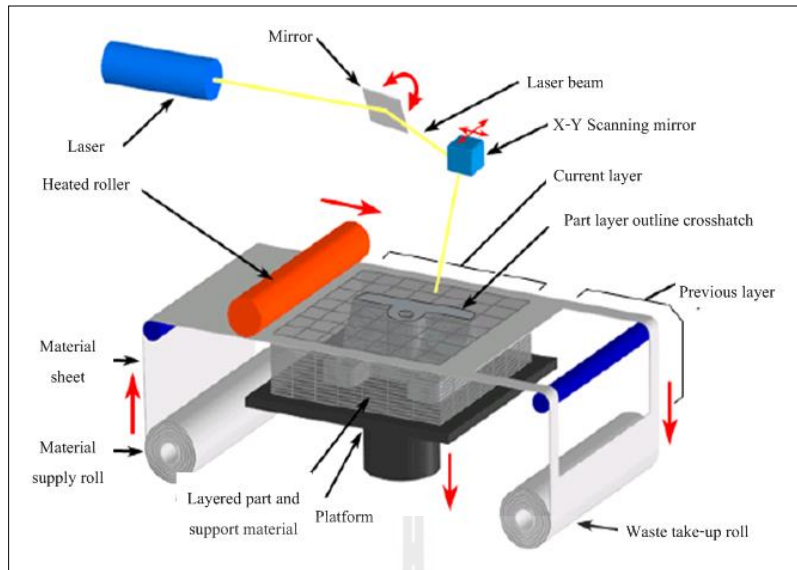
รูปที่ 2.3 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี Selective Laser Sintering (ปริญญญา และคณะ, 2551)



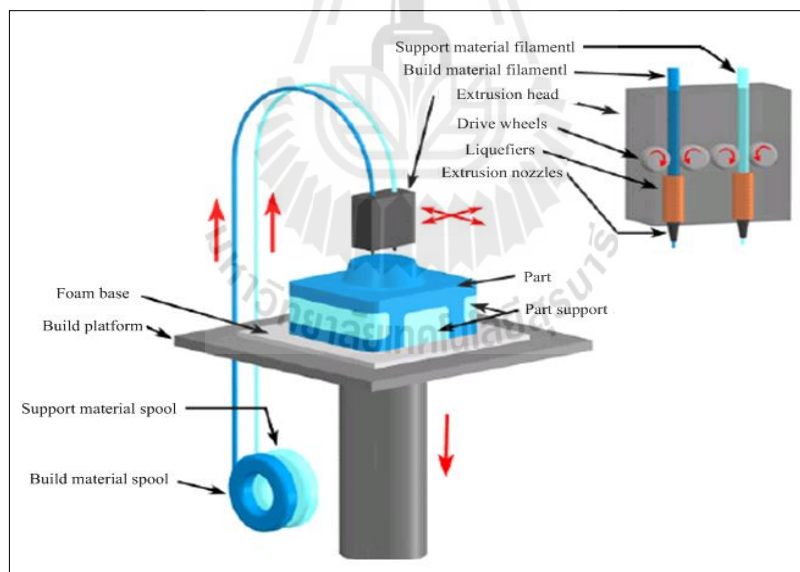
รูปที่ 2.4 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธี 3D Printing (ปริญญา และคณะ, 2551)

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 หรือแผ่นพลาสติก โดยที่ด้านหนึ่งถูกเคลือบไว้ด้วยกาว การทำงานของ LOM จะยิงแสงเลเซอร์ไปยังแผ่นวัสดุที่วางอยู่บนฐานรองชิ้นงานเพื่อตัดแผ่นวัสดุตามแนวเส้นโครงร่างของแต่ละชั้น แผ่นวัสดุแต่ละแผ่นจะซ้อนติดกันเป็นชั้นๆ จนได้ชิ้นงานตามต้องการ แผ่นวัสดุที่เตรียมไว้จะเคลื่อนที่ผ่านฐานรองชิ้นงาน และถูกตัดตามแนวเส้นโครงร่างด้วยแสงเลเซอร์ บริเวณที่ไม่ใช่ส่วนของชิ้นงานจะถูกตัดออกเป็นตารางเล็กๆ เพื่อให้ง่ายต่อการแกะออกเมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบเสร็จสมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ส่วนเทคนิค FDM เป็นวิธีขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบโดยการใช้วัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นที่ถูกทำให้ร้อนแล้วนำมาเรียงตามเส้นโครงร่างขึ้นเป็นโครงสร้างทีละชั้น จนกระทั่งเป็นรูปทรงชิ้นงานตามต้องการอย่างไรก็ตามผิวชิ้นงานที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จะมีลักษณะค่อนข้างหยาบ เนื่องจากการขึ้นรูปที่เกิดจากการเรียงตัวและเชื่อมติดกันของเส้นวัสดุขนาดเล็กเป็นชั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



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



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

2.2 วิธีการสร้างแบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรม CAD

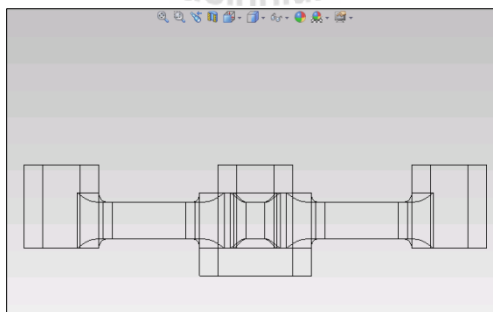
การสร้างแบบจำลอง 3 มิติในโปรแกรม CAD สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ แบบจำลองโครงกลวด, แบบจำลองผิวและแบบจำลองของแข็ง

2.2.1 แบบจำลองแบบโครงกลวด (Wireframe Modeling)

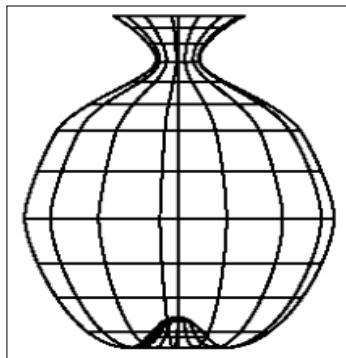
สำหรับการสร้างแบบจำลอง 3 มิติแบบโครงกลวดเป็นการสร้างภาพ 3 มิติ ด้วยจุดและเส้น กล่าวคือ จุดจะถูกสร้างขึ้นก่อนและเชื่อมต่อกันด้วยเส้น ซึ่งการเชื่อมต่อแบบนี้ก่อให้เกิดรูปทรงขึ้นเป็นโครงร่าง 3 มิติ ดังนั้นภาพ 3 มิติแบบโครงกลวดจึงไม่มีข้อมูลของผิวหน้า (Face) ซึ่งข้อมูลของภาพ 3 มิติแบบโครงกลวดจะถูกเก็บข้อมูลในรูปแบบของพิกัดจุด (Point) เส้นตรง (Line) หรือเส้นโค้ง (Curve) แบบจำลองโครงกลวดช่วยให้มองเห็นโครงสร้างภายในของแบบจำลอง ข้อดีของแบบจำลองโครงกลวด คือ การเก็บข้อมูลน้อยและการแสดงผลแบบจำลองทำได้รวดเร็ว แต่ข้อเสียแบบจำลองนี้คือ ลักษณะของภาพต้องใช้ทักษะและความชำนาญในการเข้าใจภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.7

2.2.2 แบบจำลองผิว (Surface Modeling)

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



รูปที่ 2.7 รูปแบบจำลองโครงกลวด



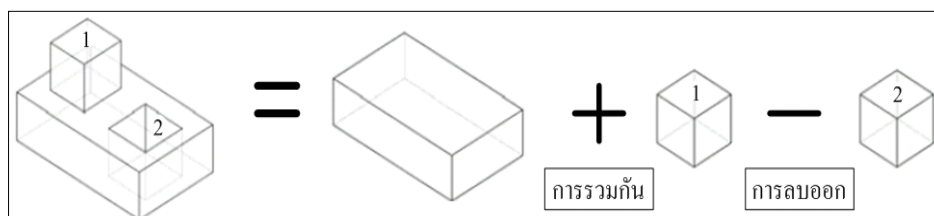
รูปที่ 2.8 แบบจำลองผิว

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)

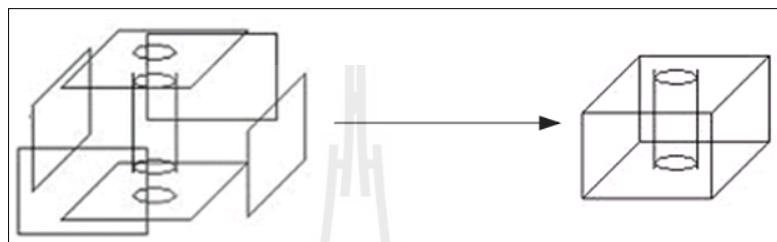
เป็นการสร้างแบบจำลอง 3 มิติโดยอาศัยรูปทรงเรขาคณิต เช่น ก้อนลูกบาศก์, ทรงกระบอก, ทรงกลมและพีระมิด เป็นต้น โดยใช้เทคนิค Boolean Operation ซึ่งเป็นการนำรูปทรงเรขาคณิตมาสร้างความสัมพันธ์กัน เช่น รวมกัน (Union), ลบออก (Subtract), เฉพาะส่วนที่ไม่ทับกัน (Difference) และเฉพาะส่วนที่ซ้อนทับกัน (Intersection) 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)

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเป็นการกำหนดเส้นทางการเดินทางไปยังเมืองต่างๆ ของพนักงานขาย โดยพิจารณาว่าพนักงานขายต้องเดินทางไปทุกเมืองทั้งหมด และไปได้เพียงเมืองละครั้งแล้วกลับมาที่เมืองเริ่มต้น โดยมุ่งหวังกำหนดเส้นทางที่สั้นที่สุดให้กับพนักงานขาย (ระพีพันธ์ ปิตาคะ โส, 2554)ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้นี้ สมการที่ (2.1) เป็นสมการวัตถุประสงค์ คือ คำนวณหาเส้นทางที่ให้ผลรวมระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือสั้นที่สุด 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 เพียงจุดเดียวสมการที่ (2.4) สมการกำจัดทัวร์ย่อย (Sub Tour Eliminate) สมการที่ (2.5) ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกเดินทางจากจุดพิกัด i ใดๆ ไปยังจุดพิกัด j ใดๆ และมีค่าเท่ากับ 0 กรณีไม่มีการเดินทางเกิดขึ้น

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

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

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

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

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

โดย

n คือ จำนวนจุดพิคัดทั้งหมด

T คือ ชุดของเส้นทาง หรือทัวร์ (Tour)

D_{ij} คือ ระยะทางระหว่างจุด i ไปจุด j

V คือ เซตของจำนวนจุดพิคัดทั้งหมด

$|S|$ คือ ขนาดของรอบย่อยที่เกิดขึ้นแต่ละครั้ง

2.4 วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก Nearest Neighbor

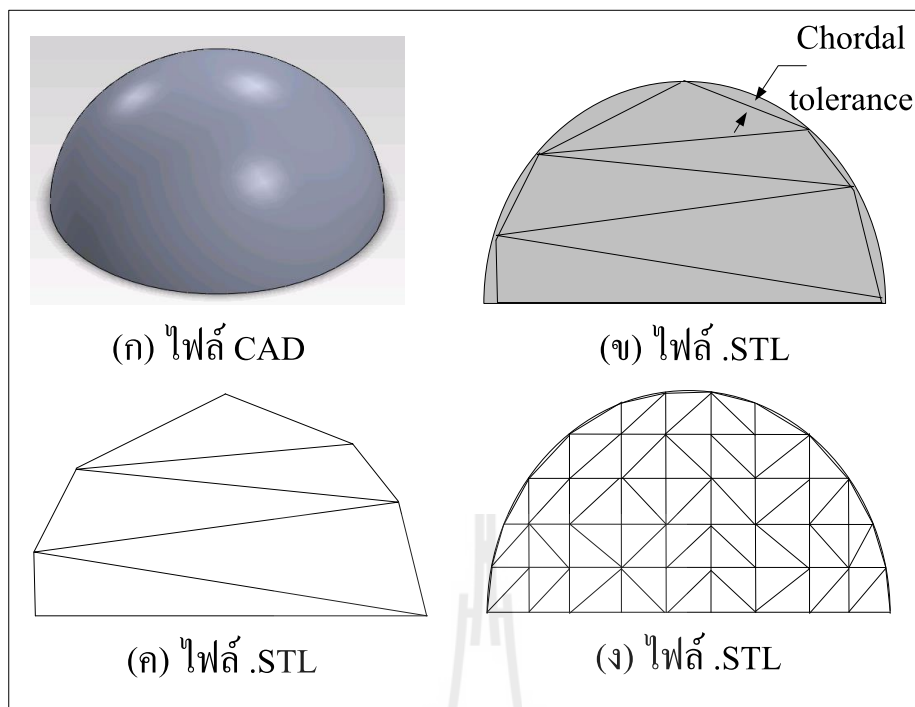
วิธีการแก้ปัญหาคำถามการเดินทางของพนักงานขายมีหลากหลายวิธี วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาคำถามการเดินทางสำหรับพนักงานขาย การแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกซึ่งการคำนวณหาคำตอบที่ได้จะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่จะใช้เวลาในการคำนวณที่สั้นกว่าแบบวิธีที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) โดยการแก้ปัญหาคำถามการเดินทางวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor จะทำการเลือกเส้นทางที่มีระยะทางสั้นที่สุดเป็นเส้นทางเดินของพนักงานขาย เพื่อให้เดินทางไปยังเมืองในลำดับถัดไป โดยเริ่มต้นจากเมืองใดก็ได้แล้วจึงเลือกเมืองในลำดับถัดไปจากเมืองที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากเมืองที่แล้วจนครบทุกเมือง และพนักงานจะเดินกลับมาเมืองเริ่มต้น วิธีการนี้หากจะดำเนินการให้ครบเป็นฮิวริสติกที่สมบูรณ์ มักจะดำเนินการด้วยการเปลี่ยนจุดเริ่มต้นไปเรื่อย ๆ จนครบทุกเมือง จากนั้นเลือกระยะทางที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุดเป็นคำตอบของฮิวริสติก (ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2554)

2.5 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping Technology) เป็นอีกหนึ่งทางเลือกของอุตสาหกรรมการผลิตในการสร้างต้นแบบ โดยเป็นเทคโนโลยีที่สนับสนุนกระบวนการพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ และสามารถนำผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดได้เร็วขึ้น เนื่องจากการนำเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วมาใช้ ส่งผลให้ระยะเวลาการดำเนินงานของกระบวนการนี้ลดลง เมื่อเปรียบเทียบการสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีการแบบเก่าการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วเป็นขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีการขึ้นรูปทีละชั้น (Layering Technique) โดยตรงจากแบบจำลอง 3 มิติ ชิ้นงานต้นแบบรูปทรงต่าง ๆ ถูกสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ จะถูกแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ตามระนาบที่กำหนดด้วยค่าความหนาที่กำหนดขึ้น แต่

ละชั้นแบบจำลองจะมีเส้น โครงร่างที่แสดงพื้นที่ที่เป็นเนื้อวัสดุและพื้นที่ที่เป็นโพรงปรากฏอยู่ ดังนั้น ข้อมูลตำแหน่งของเส้น โครงร่างและความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกันของ ชั้นแบบจำลอง จะถูกนำมาเป็นข้อมูลเพื่อใช้สร้างชิ้นงานต้นแบบ

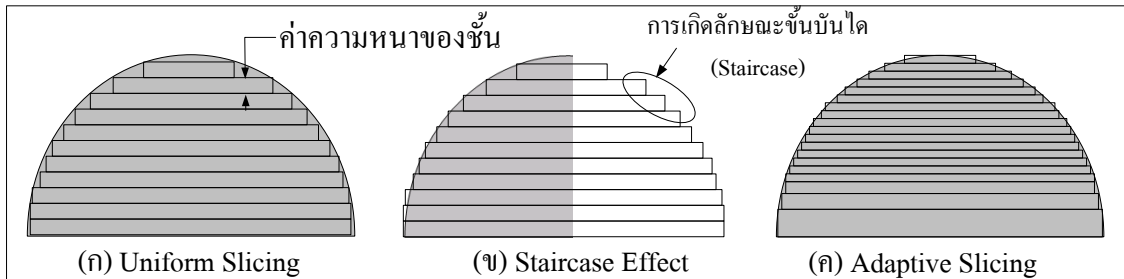
ในกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบได้เข้ามามี บทบาทในการเขียนแบบและออกแบบผลิตภัณฑ์ เนื่องจากช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบหรือ เขียนแบบ และตรวจพบความผิดพลาดในการออกแบบได้เร็ว ส่งผลให้สามารถลดความผิดพลาดใน การออกแบบทำให้แบบจำลองมีความสมจริงมากขึ้น อีกทั้งผู้ออกแบบสามารถมองเห็นผลิตภัณฑ์ที่ ออกแบบในรูปแบบแบบจำลอง 3 มิติ และแก้ไขหรือตัดแปลงแบบจำลองได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ โปรแกรม CAD ยังมีความแม่นยำสูงและสามารถนำเอาแบบจำลองมาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ เช่น วิเคราะห์น้ำหนักของแบบจำลอง วิเคราะห์ลักษณะผิวของแบบจำลอง เป็นต้น (สมเกียรติ, 2551) การ ใช้โปรแกรม CAD ออกแบบจำลองนั้นช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากการออกแบบด้วยมือ และ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงขึ้น (Gaither and Frazier, 1999) โดยทั่วไปแล้วแบบจำลอง 3 มิติที่ถูก สร้างขึ้นจากโปรแกรม CAD จำเป็นต้องแปลงไฟล์ข้อมูลของโปรแกรม CAD ให้อยู่ในรูปแบบของ ไฟล์มาตรฐานรูปแบบของ STeroLithography (STL) ไฟล์เป็นรูปแบบไฟล์มาตรฐานที่นิยมนำมาใช้ ในกระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว เนื่องจากการใช้งานง่าย และเทคโนโลยีการสร้าง ต้นแบบรวดเร็วโดยทั่วไปสามารถรองรับข้อมูลของไฟล์ STL ได้ในขั้นตอนการสร้างชิ้นงานต้นแบบ รวดเร็วไฟล์ข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 16 (ก) จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ STL (Tessellation) ก่อนนำไปสู่ขั้นตอนการแบ่งแบบจำลองเป็นชั้น ไฟล์ STL ประกอบขึ้นจากการ เรียงตัวกันของรูปสามเหลี่ยม (Triangular Facets) บนผิวด้านนอกและด้านในของแบบจำลอง 3 มิติ (Kumar and Dutter, 1997) ซึ่งจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างระนาบของรูปสามเหลี่ยมและผิวของ แบบจำลอง (Chordal) ดังแสดงในรูปที่ 16 (ข) ส่งผลให้ชิ้นงานต้นแบบที่ได้ไม่ใกล้เคียงกับชิ้น ชิ้นงานจริง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนเมื่อแบบจำลอง 3 มิติมีลักษณะผิวโค้ง (Curve) ดังแสดงในรูปที่ 16 (ค) แบบจำลองที่มีรูปร่างซับซ้อน (Complex) ในขั้นตอนการแปลงไฟล์ CAD ให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ STL เพื่อให้ลักษณะแบบจำลองของไฟล์ STL ใกล้เคียงกับไฟล์ CAD ต้นฉบับ สามารถทำได้โดยการลด ขนาดของของรูปสามเหลี่ยม ส่งผลให้บริเวณผิวของแบบจำลองมีจำนวนรูปสามเหลี่ยมเพิ่มขึ้น และ ลักษณะแบบจำลองของไฟล์ STL ที่ได้จะใกล้เคียงกับไฟล์ CAD ต้นฉบับ ดังแสดงในรูปที่ 16(ค) แต่ จะส่งผลให้ไฟล์ STL มีขนาดใหญ่กว่า CAD ไฟล์ต้นฉบับเนื่องจากการเก็บข้อมูลซ้ำๆของจุดยอดแผ่น สามเหลี่ยม และการแปลงไฟล์ข้อมูลต้องใช้เวลาค่อนข้างมากซึ่งกลายเป็นปัญหาคอขวด(Bottleneck) (Choi and Kwok, 2002) ในขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของ การสร้างต้นแบบรวดเร็ว



รูปที่ 2.11 ผิวชิ้นงานระหว่างไฟล์ CAD และไฟล์ STL

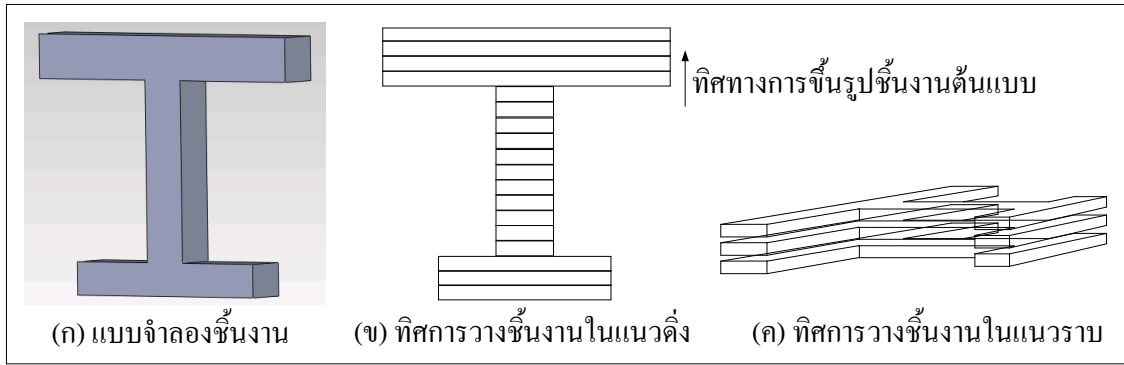
ผลการใช้ไฟล์ STL ดังกล่าวมาส่งผลให้มีการนำเสนอวิธีการแบ่งแบบจำลองโดยตรงจากไฟล์ STL (Direct Slicing) (Chua and Leong, 1997; Cao and Miyamoto, 2003) นำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบและลดปัญหาข้อผิดพลาดจากไฟล์ STL โดยทำการตัดแบบจำลองของโปรแกรม CAD โดยตรงไม่ต้องแปลงไฟล์ข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ STL วิธีการแบ่งแบบจำลองโดยตรงสามารถลดข้อผิดพลาดไฟล์ STL ส่งผลให้ชิ้นงานต้นแบบมีรูปร่างใกล้เคียงกับชิ้นงานจริงมากขึ้น วิธีการแบ่งแบบจำลองอย่างง่าย คือการแบ่งแบบจำลองด้วยค่าความหนา (Layer Thickness) ของแต่ละชั้นให้มีขนาดเท่ากัน (Uniform Slicing) (Zhao and Laperriere, 2000) ดังแสดงในรูปที่ 17 (ก) การแบ่งแบบจำลองด้วยวิธีแบบนี้ส่งผลให้เกิดลักษณะขั้นบันไดที่บริเวณขอบของชิ้นงานต้นแบบ (Staircase Effect) ดังแสดงในรูปที่ 17 (ข) จึงได้มีการนำเสนอวิธีการแบ่งแบบจำลองแบบปรับได้ (Adaptive Slicing) (Zhao and Laperriere, 2000) โดยกำหนดค่าความหนาที่เหมาะสมให้ในแต่ละชั้นของแบบจำลอง เพื่อช่วยลดปัญหาลักษณะขั้นบันไดที่ขอบชิ้นงาน ซึ่งช่วยให้ชิ้นงานต้นแบบมีความถูกต้อง (Accuracy) มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 17 (ค) นอกจากนี้ยังมีการศึกษางานวิจัยด้านอื่นที่เกี่ยวข้องกับการสร้างต้นแบบรวดเร็วซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มได้ดังนี้ คือ กำหนดทิศทางวางชิ้นงาน (Model Orientation), กำหนดฐานรองรับชิ้นงาน (Structure Supporting), การ

แบ่งแบบจำลอง(Model Slicing) และการวางแผนเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Tool Path Planning) เป็นต้น



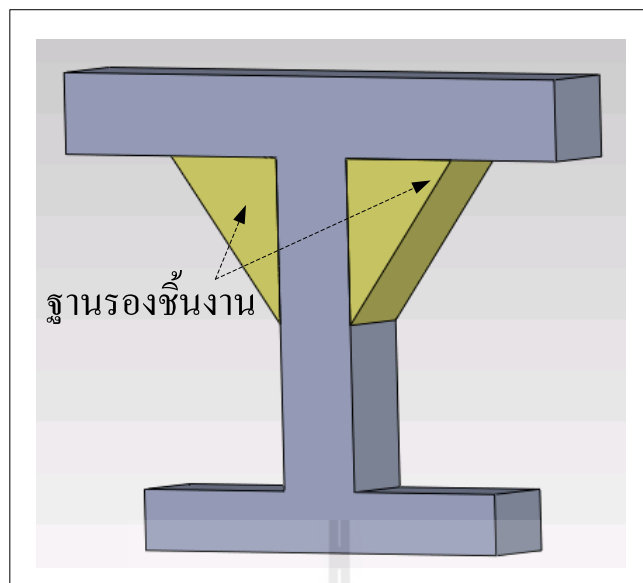
รูปที่ 2.12 การแบ่งชั้นแบบจำลอง

การกำหนดทิศทางวางชิ้นงานมีอิทธิพลต่อคุณภาพของผิว (Surface) ของชิ้นงานต้นแบบ เนื่องจากการสร้างงานต้นแบบรวดเร็วเป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นทีละชั้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้เกิดลักษณะขั้นบันไดที่บริเวณขอบของชิ้นงานต้นแบบเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 17 (ข) ดังนั้นบริเวณที่ผิวชิ้นงานต้องการความเรียบ (Smooth Surface) ควรที่จะกำหนดให้วางอยู่ระนาบเดียวกับทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดลักษณะขั้นบันได นอกจากนี้การกำหนดทิศทางวางชิ้นงานยังส่งผลกระทบต่อเวลาการสร้างชิ้นงานต้นแบบ (Build Time) เนื่องจากทิศทางการวางชิ้นงานที่เหมาะสมจะช่วยลดจำนวนชั้นของแบบจำลองที่ใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ ส่งผลให้เวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบลดลง ดังแสดงในรูปที่ 18 ทิศการวางชิ้นงานในรูป 18(ข) มีจำนวนชั้นของแบบจำลองมากกว่าทิศการวางชิ้นงานรูป 18(ค) ดังนั้นการศึกษาวิธีการกำหนดทิศทางวางชิ้นงานที่เหมาะสม จึงสำคัญสำหรับขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ (Masood and Lim, 1995; Masood et al., 2002)



รูปที่ 2.13 การกำหนดทิศทางการวางชิ้นงาน

การกำหนดฐานรองชิ้นงาน เป็นงานวิจัยที่ศึกษาการเพิ่มส่วนที่เป็นเนื้อวัสดุขึ้นมาเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานต้นแบบเกิดการบิดงอ (Warping) การแอ่น (Sagging) หรือช่วยค้ำยันในส่วนของชิ้นงานที่ยื่นออกมา (Overhanging) ดังแสดงในรูปที่ 19 โดยส่วนใหญ่แล้ววิธีการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว เช่นวิธี SLA และ FDM จำเป็นต้องมีการสร้างฐานรองชิ้นงาน ยกเว้นแต่การขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ววิธี SLS และ LOM ที่ไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงาน เนื่องจากมีวัสดุตั้งต้นในการสร้างชิ้นงานต้นแบบทำหน้าที่เป็นฐานรองของชิ้นงานอยู่แล้ว การกำหนดทิศทางการวางชิ้นงานและการสร้างฐานรองชิ้นงานถูกกำหนดให้เป็นปัญหาคู่ควบกัน (Coupled Problem) เนื่องจากบางทิศทางการวางชิ้นงานจำเป็นต้องกำหนดฐานรองชิ้นงานขึ้น ในขณะที่ทิศทางอื่นอาจไม่จำเป็นต้องกำหนดฐานรอง (Cho et al., 2002) เช่น จากรูปที่ 18(ก) ถ้ากำหนดทิศทางการวางชิ้นงานในรูป 18(ข) จะต้องมีกำหนดฐานรองขึ้นเพื่อป้องกันการงอของชิ้นงาน ต่างจากทิศทางการวางชิ้นงานในรูป 18(ค) ที่ไม่ต้องกำหนดฐานรองขึ้นมารองรับชิ้นงาน



รูปที่ 2.14 การสร้างฐานรองชิ้นงาน

การแบ่งแบบจำลองเป็นชั้น คือการแบ่งแบบจำลอง 3 มิติด้วยวิธีการตัดภาพตามระนาบที่กำหนดด้วยค่าความหนาที่กำหนดขึ้นเป็นแผ่นวางซ้อนกันอยู่เป็นชั้น ๆ การแบ่งแบบจำลองเป็นอีกหนึ่งชั้นตอนที่มีความสำคัญในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ เนื่องจากแต่ละชั้นแบบจำลองจะถูกสกัด (Extract) เป็นเส้น โครงร่างเพื่อนำมาใช้ขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ และการแบ่งแบบจำลองยังส่งผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงานต้นแบบ (Pandey et al, 2003) การแบ่งแบบจำลองด้วยค่าความหนาน้อย ๆ จะส่งผลให้ผิวของชิ้นงานต้นแบบใกล้เคียงกับชิ้นงานจริง แต่จะทำให้เวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นของแบบจำลอง (Jamieson and Hacker, 1995) แบบจำลองที่ถูกแบ่งเป็นชั้นตามระนาบที่กำหนด แต่ละชั้นของแบบจำลองอาจประกอบด้วยเส้น โครงร่างของพื้นที่ที่เป็นเนื้อวัสดุและพื้นที่ที่เป็นโพรง ซึ่งในแต่ละชั้นของแบบจำลองอาจมีเส้น โครงร่างเพียงเส้นเดียว หรือมีกลุ่มเส้น โครงร่างอยู่บนระนาบเดียวกัน การศึกษารูปร่างและการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายเช่น การวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างชิ้นงานต้นแบบเป็นต้น ซึ่งรูปร่างของแต่ละเส้น โครงร่างและความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างเป็นข้อมูลสำคัญในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ จึงได้มีการนำเสนอวิธีการเกี่ยวกับการระบุรูปร่าง จำนวน และความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่าง ซึ่งเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing) ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อศึกษาข้อมูลของเส้น โครงร่าง แนวคิดของ Chain Code ได้ถูกนำเสนอมา

ประยุกต์ใช้เพื่อแสดงรูปร่างของเส้น โครงร่าง (Liu et al, 2006; Chang and Chaing, 2003) โดยเริ่มจากการค้นหา (Searching) พิกเซล (Pixel) เริ่มต้นของเส้น โครงร่าง ต่อมาพิจารณาจากพิกเซลข้าง ๆ ทั้งหมด 8 พิกเซล แล้วเลือกมา 1 พิกเซลเป็นพิกเซลบนเส้น โครงร่าง จากการศึกษาของ Kaygin and Bulut (2001) ได้นำเสนอวิธี Active Chain ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้แนวคิดของ Chain Code เพื่อหาขอบเขตของพื้นที่ แนวคิดของ Chain Code ยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ค้นหาจุดเชื่อมต่อระหว่างเส้น โครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกัน เพื่อสำรวจรูปร่างของ 2 เส้น โครงร่างที่ควรจะเป็นเส้น โครงร่างเดียวกัน (Identical)(Sunanon et al, 2005) ในกรณีที่มีเส้น โครงร่างมากกว่า 1 เส้นอยู่บนระนาบเดียวกัน ระบบการนับจำนวนเส้น โครงร่าง (Contour Numbering System) ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยกำหนดให้เส้น โครงร่างที่อยู่นอกสุดอยู่ที่ระดับศูนย์ และระดับชั้นที่สูงขึ้นจะแสดงเส้น โครงร่างที่อยู่ในสุด(Masood et al., 2002)

การระบุความสัมพันธ์ของเส้น โครงร่างในแต่ละชั้นของแบบจำลองเป็นงานวิจัยอีกส่วนหนึ่ง ที่นำมาวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพื่อช่วยลดระยะเวลาการสร้าง ชิ้นงาน และหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบในแต่ละชั้น จากการศึกษาของ Ma and Chu (2000) ได้นำเสนอวิธีที่ใช้ระบุความสัมพันธ์ของเส้น โครงร่างที่ซ้อนกัน โดยใช้การลากเส้นจากจุดใดๆ ผ่านเส้น โครงร่างที่ซ้อนกัน เส้น โครงร่างที่ถูกตัดผ่านเส้นแรกจะเป็น เส้น โครงร่างด้านนอกที่อยู่นอกสุด และเส้นที่ถูกตัดผ่านลำดับต่อมาจะเป็นเส้น โครงร่างด้านในถัดไป แต่เทคนิคนี้เหมาะสำหรับเส้น โครงร่างที่ซ้อนกันเป็นวง และเส้น โครงร่างทุกเส้นจะต้องอยู่บน ระนาบเดียวกันที่เส้นตรงลากผ่านเส้น โครงร่างทุกเส้นได้แนวคิด Bounding Box (Choi and Kwok, 2004) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่าง โดยแต่ละเส้น โครงร่างจะถูกสร้างกล่องสี่เหลี่ยมครอบและแต่ละกล่องสี่เหลี่ยมจะถูกเปรียบเทียบทีละคู่ กล่องสี่เหลี่ยมที่ถูก ครอบด้วยกล่องสี่เหลี่ยมอื่น แสดงว่าเส้น โครงร่างที่อยู่ภายในกล่องสี่เหลี่ยมนั้นเป็นเส้น โครงร่างที่อยู่ ข้างใน แต่ถ้าหากมีการซ้อนทับ (Overlap) ระหว่างกล่องสี่เหลี่ยม แนวคิดของ Ray Shooting จะถูก นำมาใช้ระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่าง ด้วยวิธีการลากเส้นตรงผ่านเส้น โครงร่างที่ต้องการ พิจารณา จากนั้นทำการพิจารณาจุดตัดที่เกิดขึ้นบนเส้น โครงร่าง ถ้าจุดตัดจุดแรกและจุดที่สองเกิดขึ้น บนเส้น โครงร่างเส้นเดียวกัน แสดงว่าเส้น โครงร่างเส้นนี้คือเส้น โครงร่างภายนอก แต่ถ้าจุดตัดจุดแรก และจุดตัดที่สองเกิดบนเส้น โครงร่างคนละเส้น ให้พิจารณาจุดตัดจุดที่สาม ถ้าจุดตัดที่สามเกิดบนเส้น โครงร่างเส้นเดียวกันกับจุดตัดที่สอง แสดงว่าเส้น โครงร่างเส้นนี้คือเส้น โครงร่างภายใน

การวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างชิ้นงานต้นแบบซึ่งมีการเคลื่อนที่ที่ สัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างของแต่ละชั้นแบบจำลองเนื่องจากข้อมูลตำแหน่งและ ความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างจะถูกนำไปใช้วางแผนการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมของเครื่องมือ เพื่อ

หลักเลี่ยงการชนกันของหัวปล่องวัสดุ (Choi and Cheung, 2006) ในกรณีที่มีการสร้างชิ้นงานต้นแบบใช้หัวปล่องวัสดุมากกว่า 1 อัน กลุ่มงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นล้วนแล้วมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าความผิดพลาดของชิ้นงาน (Model Error) และเพื่อลดระยะเวลาการสร้างต้นแบบ (Fabrication Time) ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างยังสามารถนำไปใช้เพื่อการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วเพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ 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 โดยแบ่งช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงานที่จะทำการพิจารณาออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงระยะเวลาการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากจุดเริ่มต้น (Home Position) ไปยังเส้นโครงร่างเส้นแรก 2) ช่วงระยะเวลาการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างเส้นโครงร่าง และ 3) ช่วงระยะเวลาการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากเส้นโครงร่างเส้นสุดท้ายไปยังจุดเริ่มต้น จากการศึกษาของ Castelino, D'Souza and Wright (2002) ได้ประยุกต์นำเอาหลักการของปัญหาการเดินทางของพนักงานขายใช้ในการวางแผนการเดินทางของเครื่องมือ เพื่อลดช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน เช่นเดียวกับ Chou et al. (2007) โดยได้นำเสนอวิธี Odd-Even Adjusting Algorithm เพื่อใช้ในการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือสำหรับเส้นโครงร่างที่เป็นวงกลม โดยมีมุ่งหมายเพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง การลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างจะส่งผลให้สามารถลดเวลาการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวมทั้งสามารถช่วยประหยัดพลังงานการสร้างชิ้นงานต้นแบบได้อีกด้วย

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

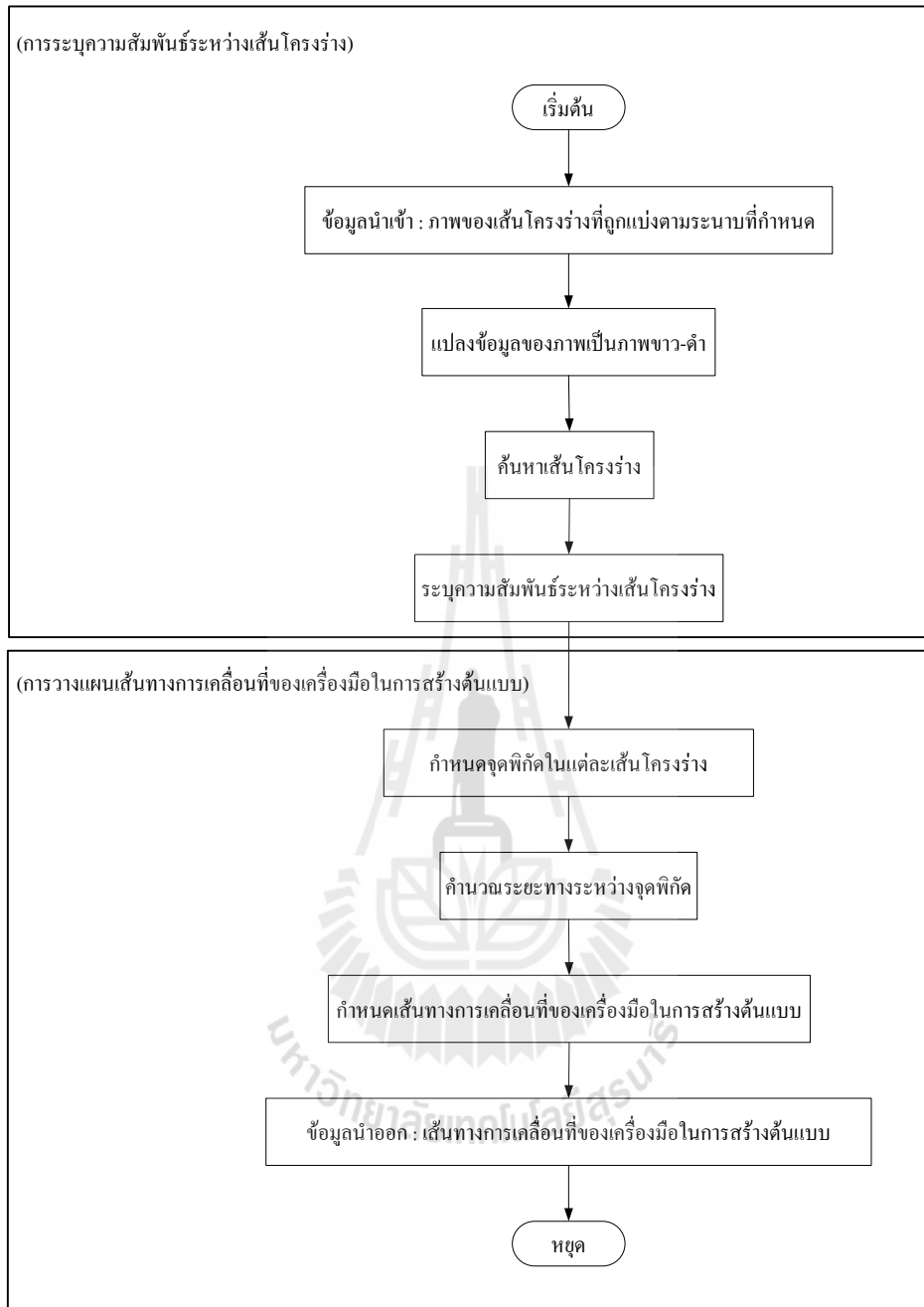
ในบทนี้นำเสนอรายละเอียดขั้นตอนต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ โดยอธิบายรายละเอียดขั้นตอนการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่าง ซึ่งแนวคิดของ Parent and Child ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุความสัมพันธ์ของเส้น โครงร่าง และอธิบายรายละเอียดขั้นตอนการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ และใช้วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่าง
2. การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เริ่มต้นจากข้อมูลนำเข้าที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ คือ ภาพของเส้น โครงร่างที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนด ข้อมูลของภาพนี้จะถูกแปลงเป็นภาพขาว-ดำ (Binary Image) จากนั้นค้นหาเส้น โครงร่างของชั้นแบบจำลอง แล้วระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกันของชั้นแบบจำลอง โดยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างจะถูกนำมาใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เพื่อแก้ปัญหาการกำหนดเส้นการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ แต่ละเส้น โครงร่างจะถูกกำหนดจุดพิกัด (Point on Contour) ซึ่งจุดพิกัดนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น (Starting Point) และจุดสิ้นสุด (Ending Point) ของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้น โครงร่าง การทำวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 วิธี Searched Points Based on Home Position และวิธีที่ 2 วิธี Searched Points Based on Previous Contour จากนั้นจึงคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดทั้งหมด ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดจะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ในการสร้างต้นแบบ โดยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor จะถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ เส้นการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่สั้นที่สุดคือข้อมูลนำออกสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

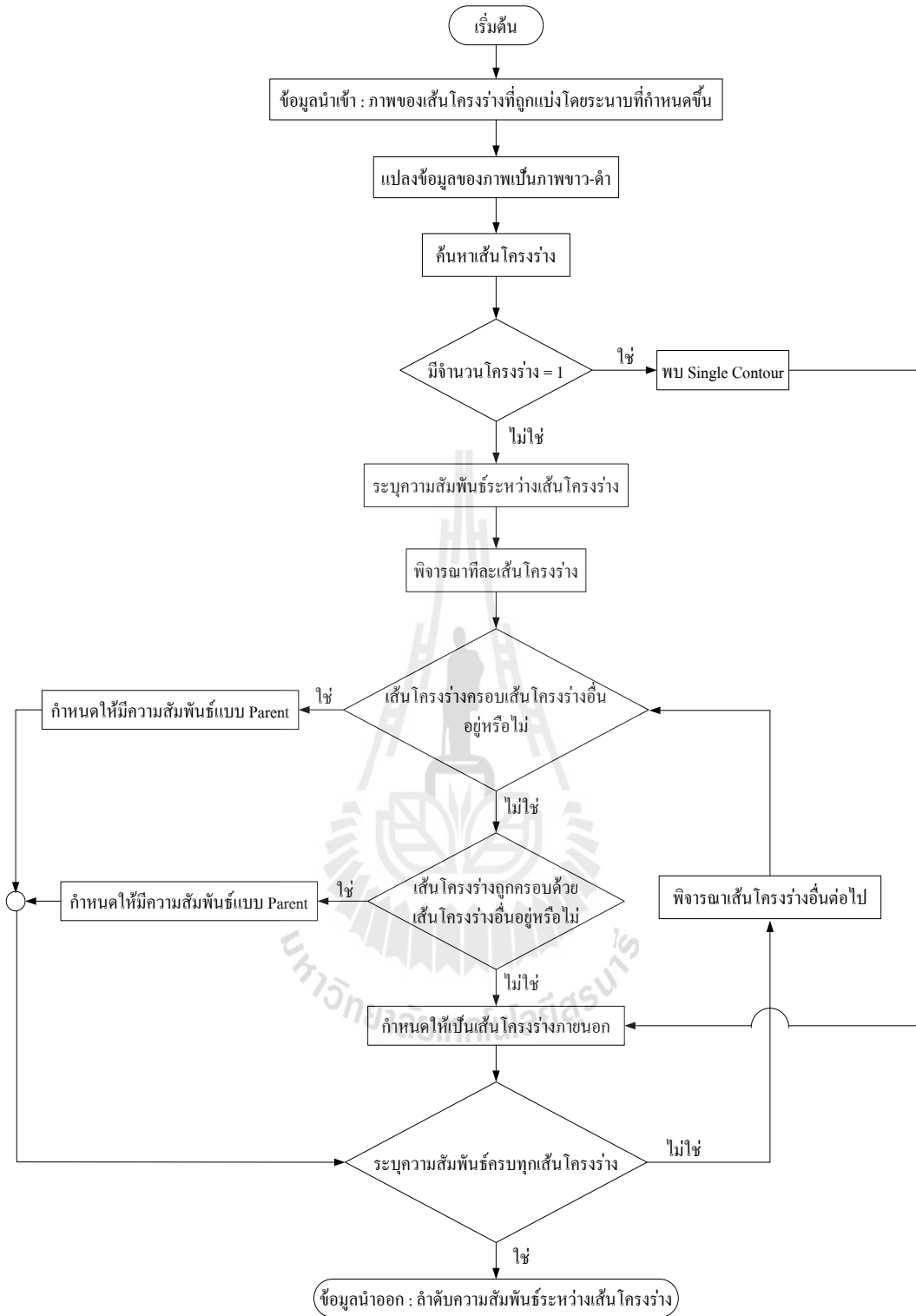
ข้อมูลนำเข้าของการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง คือ ภาพเส้นโครงร่างที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนด ซึ่งภาพนี้จะถูกสกัดเป็นรูปร่างของเส้นโครงร่าง โดยข้อมูลของเส้นโครงร่างที่ได้จะถูกเก็บข้อมูลในรูปแบบของเซต (Set) คู่อันดับ (Coordinate) ในระนาบ XY ดังแสดงในสมการที่ 3.1

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

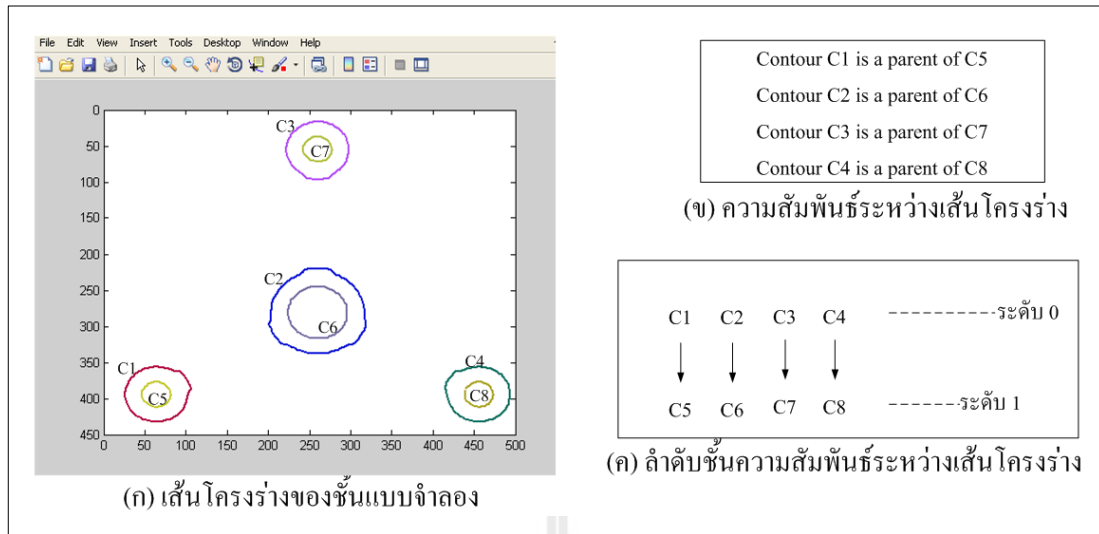
โดยที่

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 (ก) ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลองประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 8 เส้นโครงร่าง คือ เส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 และ C8 โดยเส้นโครงร่าง C1, C2, C3 และ C4 ครอบเส้นโครงร่างอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างเหล่านี้มีความสัมพันธ์แบบ Parent ของเส้นโครงร่างที่ถูกครอบ คือ เส้นโครงร่าง C5, C6, C7 และ C8 ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบ Child จากข้อมูลความสัมพันธ์นี้สามารถระบุลำดับชั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างดังแสดงในรูปที่ 21 (ก) 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 ตัวอย่างการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

3.3 การวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. เส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้น โครงร่างเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือในการสร้างต้นแบบทำงาน
2. เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้น โครงร่างเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือในการสร้างต้นแบบไม่ได้ทำงาน

เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้น โครงร่างในแต่ละชั้นแบบจำลอง ชั้นแบบจำลองที่มีกลุ่มของเส้น โครงร่างที่มีลักษณะซ้อนกันอยู่บนระนาบเดียวกัน จะส่งผลต่อการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบซึ่งจะเป็นไปได้หลายเส้นทาง ปัญหาการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่เกิดขึ้นจึงแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

1. การกำหนดจุดพิกัดของแต่ละเส้น โครงร่าง ซึ่งจุดพิกัดนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้น โครงร่าง ดังนั้นได้นำเสนอวิธีการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 วิธี Searched Points Based on Home Position โดยตำแหน่งของเส้น โครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้น (Home Position) จะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งจุดพิกัดของเส้น โครงร่างเส้นนั้น และวิธีที่ 2 วิธี Searched Points Based on Previous โดยตำแหน่งของเส้น โครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดพิกัดของเส้น โครงร่างก่อนนี้ จะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งจุดพิกัดของเส้น โครงร่างเส้นนั้น

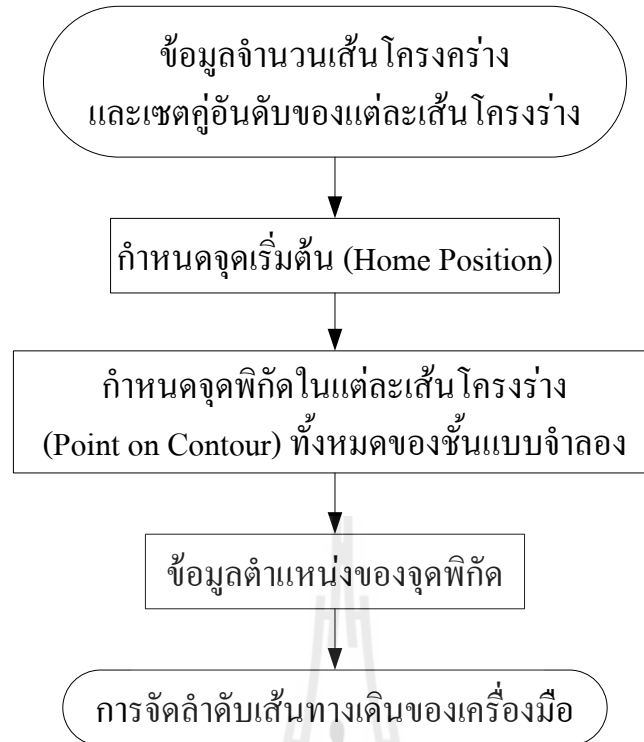
2. การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยแนวคิดการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยมุ่งหวังลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้น โครงร่างของเครื่องมือ ซึ่งข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้น โครงร่างจะถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นเดินทางของเครื่องมือ

3.3.1 วิธี Searched Points Based on Home Position

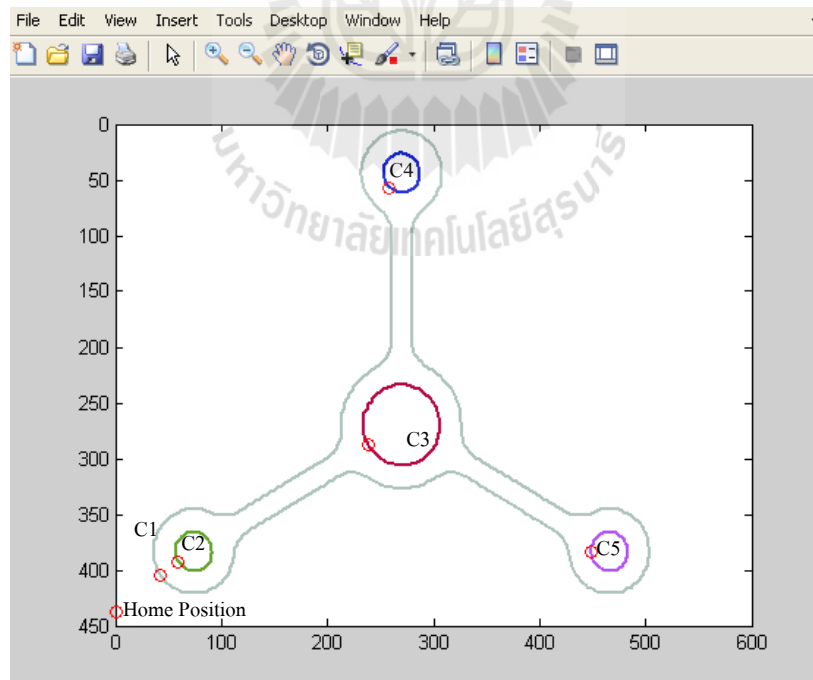
การกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position โดยตำแหน่งของแต่ละเส้น โครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้น ซึ่งตำแหน่งนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง จุดพิกัดในแต่ละเส้น โครงร่างถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้น โครงร่าง โดยมีขั้นตอนการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างดังแสดงในรูปที่ 3.4 เริ่มจากข้อมูลจำนวนเส้น โครงร่างของชั้นแบบจำลอง และข้อมูลเซตคู่อันดับของแต่ละเส้น โครงร่างถูกนำมาใช้ในการกำหนดจุดพิกัด โดยจุดมุมล่างซ้ายของภาพเส้น โครงร่างจะถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดจุดแรก ซึ่งจุดพิกัดนี้ถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ลำดับต่อมากำหนดจุดพิกัดของแต่ละเส้น โครงร่างทั้งหมด โดยคู่อันดับของเส้น โครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้น คู่อันดับนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้น โครงร่างนั้น ๆ การคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดใช้วิธีการหาระยะทางแบบยูคลิด (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} จากรูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างตำแหน่งจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Based on Home Position โดยจุดพิกัด $(0,438)$ ถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดจุดแรกซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางเดินของเครื่องมือ ต่อมากำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง C1, C2, C3, C4 และ C5 คู่อันดับของแต่ละเส้น โครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดพิกัด $(0,438)$ จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง ซึ่งจุดพิกัดของแต่ละเส้น โครงร่างแสดงในตารางที่ 3.1 ข้อมูลจุดพิกัดของแต่ละเส้น โครงร่างทั้งหมดนี้ จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.4 การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Based on Home Position



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

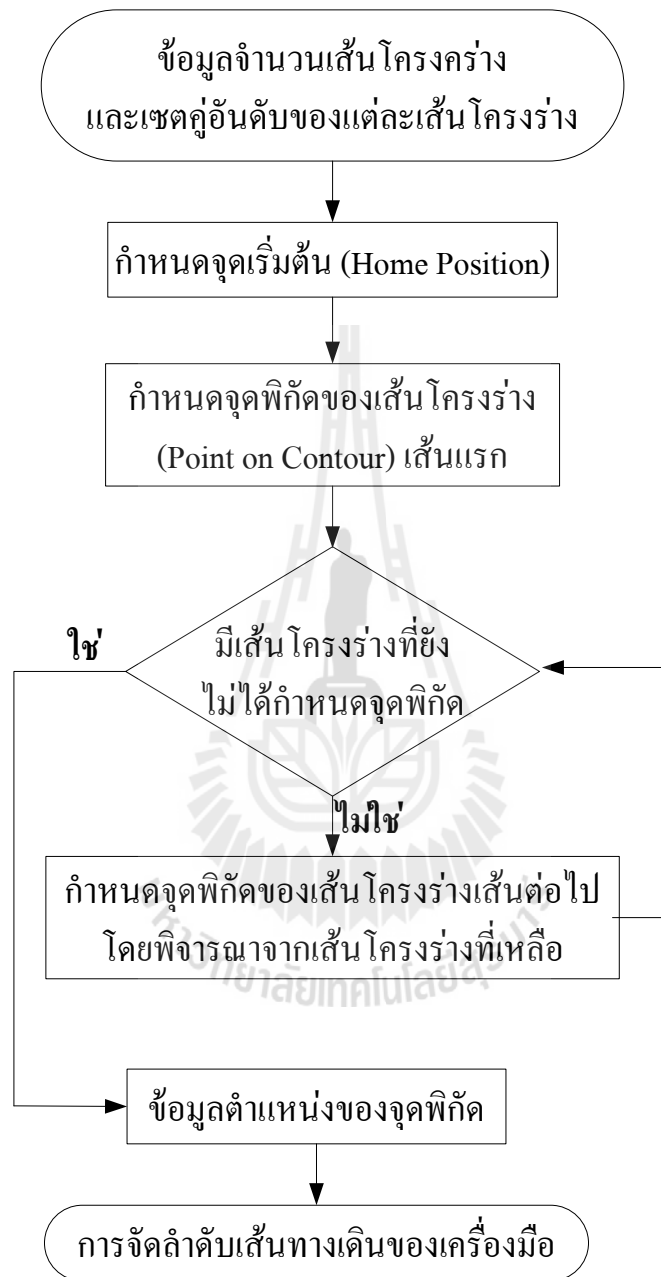
ตารางที่ 3.1 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง

เส้น โครงร่าง	วิธี Searched Points Based on Home Position
จุดเริ่มต้น	(0,438)
C1	(42,404)
C2	(59,393)
C3	(238,288)
C4	(258.57)
C5	(448,383)

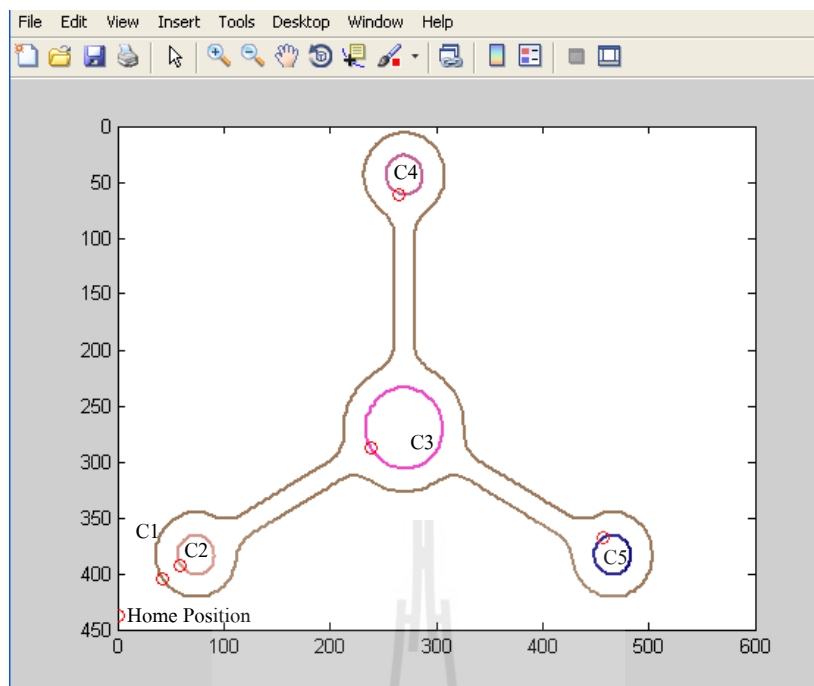
3.3.2 วิธี Searched Points Based on Pervious Contour

การกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour โดยตำแหน่งของแต่ละเส้น โครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดพิกัดก่อนหน้านี้ จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้น โครงร่างเส้นนั้น โดยมีขั้นตอนการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เริ่มจากข้อมูลจำนวนเส้น โครงร่างของชั้นแบบจำลอง และข้อมูลเซตคู้่อันดับของแต่ละเส้น โครงร่างถูกนำมาใช้ในการกำหนดจุดพิกัด โดยจุดมุมล่างซ้ายของภาพเส้น โครงร่าง จุด พิกัด (0,438) ถูกกำหนดเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเป็นลำดับแรก เช่นเดียวกับวิธี Searched Based on Home Position จากนั้นพิจารณาเส้น โครงร่างทั้งหมดของชั้น แบบจำลอง เส้น โครงร่างที่มีคู้่อันดับมีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้น คู้่อันดับนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้น โครงร่างเส้นเป็นจุดพิกัดลำดับถัดมา ต่อมาพิจารณาเส้น โครงร่างที่ยังไม่ได้กำหนด จุดพิกัด เส้น โครงร่างที่มีคู้่อันดับมีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดพิกัดก่อนหน้านี้ คู้่อันดับจะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้น โครงร่างเส้นเป็นจุดพิกัดลำดับถัดมา จากนั้นพิจารณาเส้น โครงร่างที่เหลือและทำการกำหนดจุดพิกัดจนกระทั่งครบทุกเส้น โครงร่าง โดยการคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดใช้วิธีการหาระยะทางแบบยูคลิด เช่นเดียวกับวิธี Searched Based on Home Position จากรูปที่ 3.7 แสดง ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour โดยจุดพิกัด (0,438) ถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดจุดแรกซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางเดินของเครื่องมือ จากนั้นพิจารณา เส้น โครงร่างทั้งหมดของชั้นแบบจำลอง และกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุด จากจุดพิกัด (0,438) ซึ่งจุดพิกัด (42,404) ของเส้น โครงร่าง C1 คือจุดพิกัดของเส้น โครงร่างที่มี ระยะทางสั้นที่สุดจากจุดพิกัด (0,438) จากนั้นพิจารณาเส้น โครงร่าง C2, C3, C4 และ C5 ต่อมากำหนด จุดพิกัดของเส้น โครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดพิกัด (42,404) ซึ่งจุดพิกัด (59,393) ของเส้น โครงร่าง C2 คือจุดพิกัดที่ถูกกำหนดในลำดับถัดมา และทำการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างเส้น ี่ต่อไป โดยพิจารณาจากเส้น โครงร่างที่ยังไม่ได้กำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง ซึ่งจุดพิกัดของแต่ละ

ละเส้นโครงร่างแสดงในตารางที่ 3.2 ข้อมูลจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างทั้งหมดนี้ จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.6 การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งจุดพิคัดของเส้น โครงร่าง

ตารางที่ 3.2 แสดงจุดพิคัดของเส้น โครงร่าง

เส้น โครงร่าง	วิธี Searched Points Based on Previous
จุดเริ่มต้น	(0,438)
C1	(42,404)
C2	(59,393)
C3	(238,288)
C4	(265,61)
C5	(457,368)

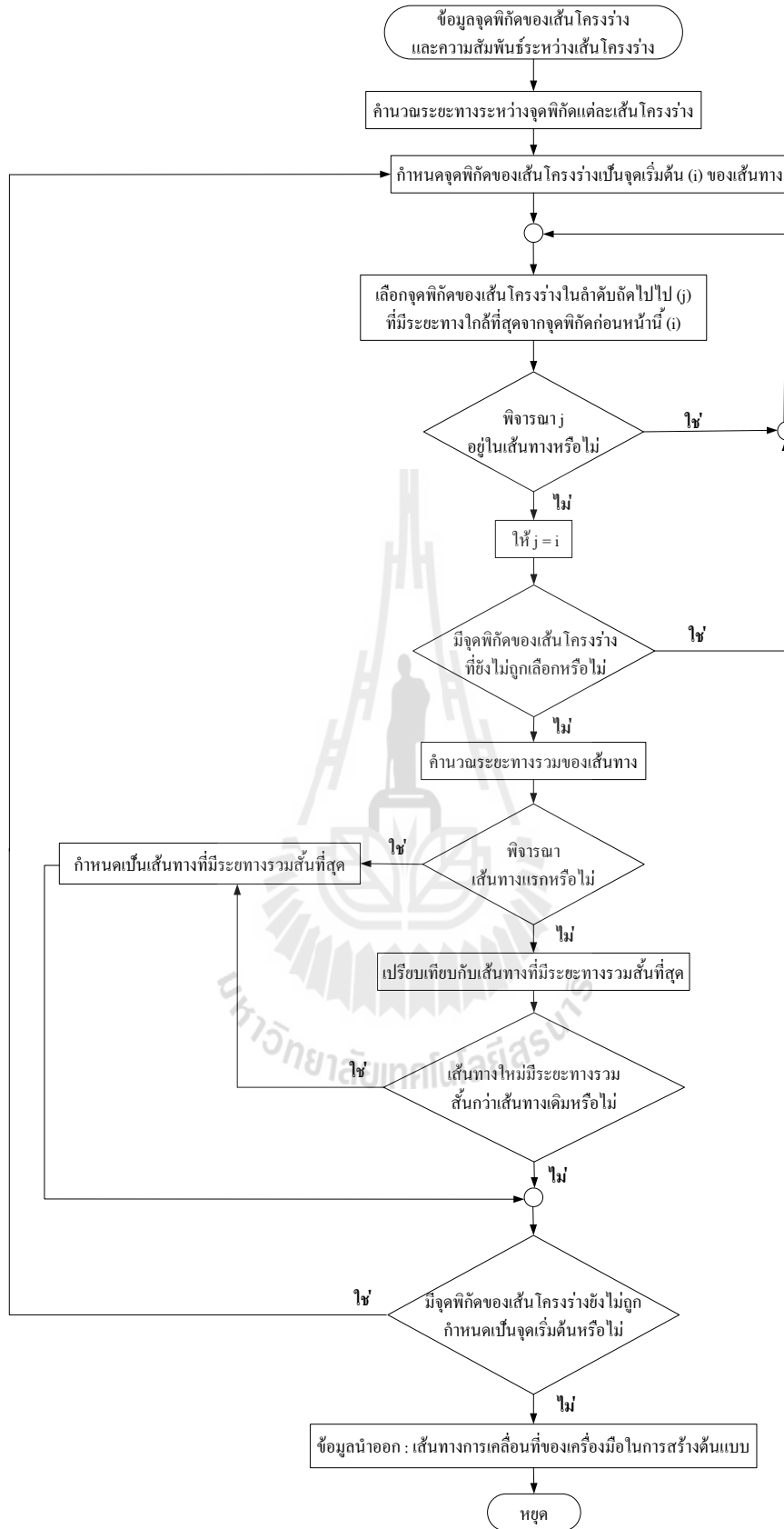
เมื่อจุดพิคัดของเส้น โครงร่างถูกกำหนดขึ้นแล้ว จากนั้นระยะทางระหว่างจุดพิคัดจะถูกคำนวณโดยใช้วิธีการหาระยะทางแบบยุคลิด ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิคัดนี้และข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้น โครงร่างจะถูกนำไปใช้ในการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เมื่อพิจารณาจากลักษณะของปัญหาการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ พบว่าสอดคล้องกับรูปแบบของปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem : TSP) ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงพิจารณารูปแบบการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขาย เป็นวิธีที่ใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ อย่างไรก็ตาม

เนื่องจากการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขายจัดเป็นปัญหาแบบเอ็นพีบริบูรณ์ (NP-Complete) ซึ่งเป็นปัญหาที่หาคำตอบที่ดีที่สุดได้ยากภายในเวลาที่เหมาะสม วิธีการจัดลำดับเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือด้วยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับเส้นทางเดินของพนักงานขาย ที่ไม่มีความซับซ้อนในการคำนวณง่ายแก่การเข้าใจ และใช้เวลาในการคำนวณน้อย วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor จึงเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการทำวิจัย เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง

3.3.3 วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor

การจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor เป็นฮิวริสติกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขาย โดยพิจารณาให้เครื่องมือในการสร้างต้นแบบเป็นพนักงานขาย ส่วนจุดพิคัดของเส้น โครงร่างจากวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2 เป็นเมืองที่พนักงานขายต้องเดินทางไปทุกเมืองทั้งหมด การจัดลำดับเส้นทางด้วยวิธีนี้เส้นทางที่สั้นที่สุดจะถูกเลือกให้เป็นเส้นทางเดินของเครื่องมือ เพื่อใช้เดินทางไปยังเส้น โครงร่างในลำดับถัดไป จนครบเส้น โครงร่างทุกเส้นแล้วกลับมาจุดเริ่มต้น

ขั้นตอนในการดำเนินการกำหนดเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือแสดงดังในรูปที่ 3.8 เริ่มจากการคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิคัดของแต่ละเส้น โครงร่าง ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิคัดจะถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทาง การจัดลำดับเส้นทางตามหลักการของวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ โดยการเริ่มต้นเส้นทางที่แต่ละจุดพิคัดของเส้น โครงร่างที่กำหนดได้ จากนั้นเลือกจุดพิคัดของเส้น โครงร่างในลำดับถัดไปที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดพิคัดที่ถูกเลือกหน้านี้ จนจุดพิคัดของเส้น โครงร่างถูกเลือกทั้งหมดและกลับมาที่จุดพิคัดเริ่มต้น จากนั้นคำนวณระยะทางรวมและดำเนินการเปลี่ยนจุดเริ่มต้นไปเรื่อย ๆ จนครบทุกจุดพิคัด ระยะทางรวมที่คำนวณได้จากการเริ่มต้นที่แต่ละจุดพิคัดที่มีระยะทางสั้นที่สุด ถูกกำหนดให้เป็นเส้นทางเดินของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการกำหนดเส้นทางเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

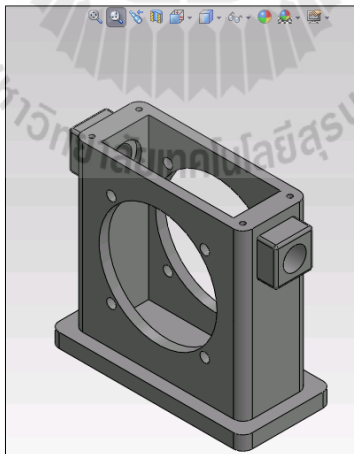
บทที่ 4

ผลการทดสอบ

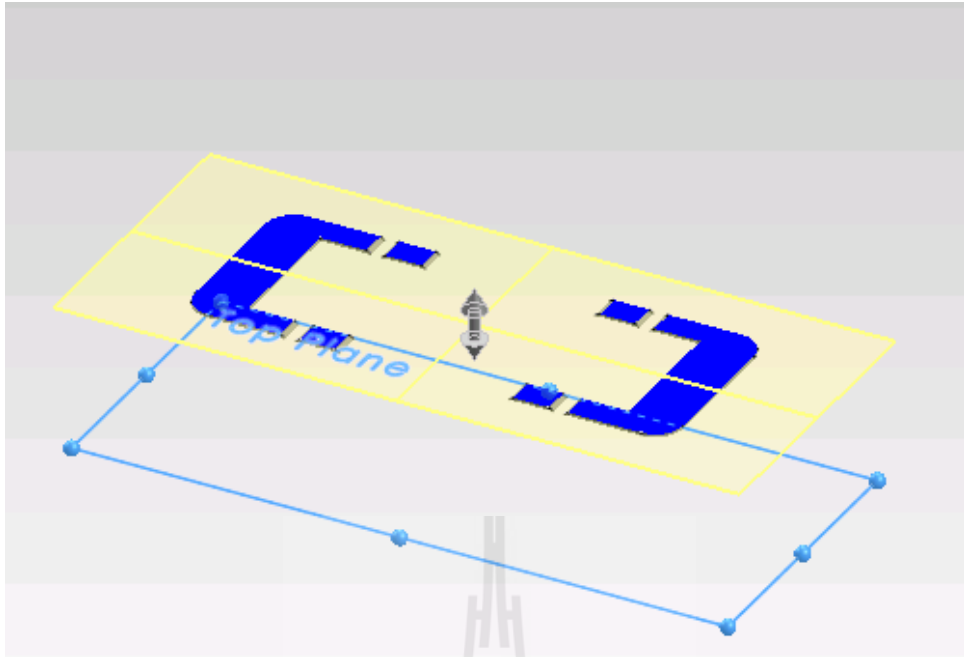
บทนี้เป็นการดำเนินการทดสอบการวิจัย ในการประมวลผลผลลัพธ์การทดสอบการวิจัยได้ทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม MATLAB โดยแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการศึกษา เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง, การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง, การกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างของเส้นโครงร่าง และการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ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

4.1 กรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษานี้ได้ทำการศึกษาแบบจำลองชิ้นงานตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.1 แบบจำลองนี้จะถูกแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ตามระนาบที่กำหนด ตัวอย่างของชั้นแบบจำลองดังแสดงรูปที่ 4.2 ชั้นแบบจำลองนี้จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาเส้นโครงร่างของชั้น ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลองนี้คือข้อมูลนำเข้าสำหรับการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.3 ผลจากการศึกษารูปร่างของเส้นโครงร่างพบว่า ภาพเส้นโครงร่างประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 6 เส้นโครงร่างคือ เส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5 และ C6 ดังแสดงในรูปที่ 4.4



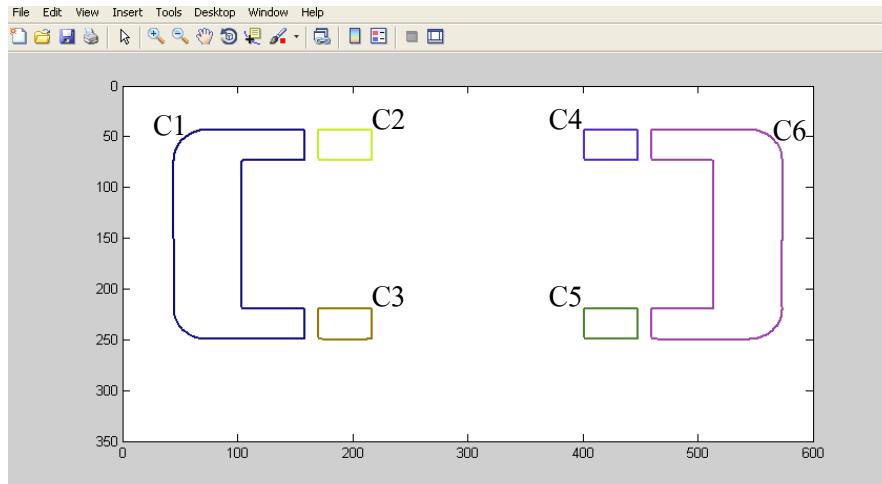
รูปที่ 4.1 แบบจำลองชิ้นงาน



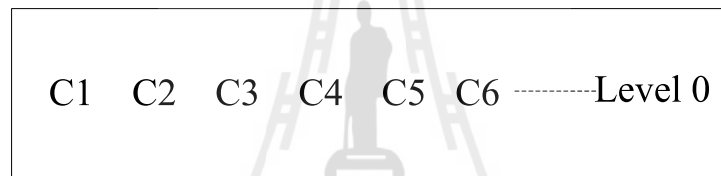
รูปที่ 4.2 ชั้นแบบจำลอง



รูปที่ 4.3 ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง



รูปที่ 4.4 เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

ผลจากการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างโดยการประยุกต์ใช้แนวคิด Parent and Child แสดงดังในรูปที่ 4.3 (ก) เส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5 และ C6 มีลักษณะกระจายอยู่อย่างอิสระ ดังนั้นจึงถูกกำหนดให้เป็นเส้นโครงร่างภายนอกอยู่ที่ระดับชั้น 0 จากนั้นพิจารณาการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่าง ผลจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างในแต่ละเส้นโครงร่าง ด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position โดยตำแหน่งของแต่ละเส้นโครงร่างที่มีระยะทางไกลที่สุดจากจุดเริ่มต้น (Home Position) จะถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง และวิธี Searched Points Based on Previous Contour โดยตำแหน่งเส้นโครงร่างในลำดับถัดไปที่มีระยะทางไกลที่สุดจากจุดพิกัดของเส้นโครงร่างก่อนหน้านั้น จะถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดของเส้นโครงร่างแสดงดังในตารางที่ 4.1 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง

เส้น โครง ร่าง	วิธีการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง	
	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)
C6	(460,249)	(460,73)

ผลการคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position และวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงดังในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

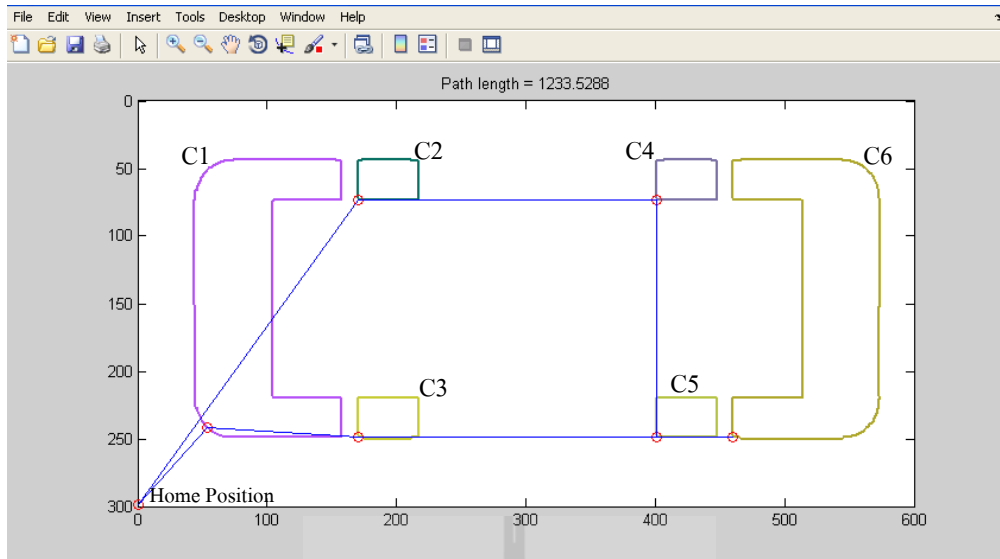
ตารางที่ 4.2 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

เส้น โครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3	C4	C5	C6
จุดเริ่มต้น	0	78.52	282.80	177.20	460.30	404.11	462.71
C1	78.52	0	204.98	116.21	385.97	347.07	406.06
C2	282.80	204.98	0	176.00	231.00	290.41	339.23
C3	177.20	116.21	176.00	0	290.41	231.00	290.00
C4	460.30	385.97	231.00	290.41	0	176.00	185.63
C5	404.11	347.07	290.41	231.00	176.00	0	59.00
C6	462.71	406.06	339.23	290.00	185.63	59.00	0

ตารางที่ 4.3 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour

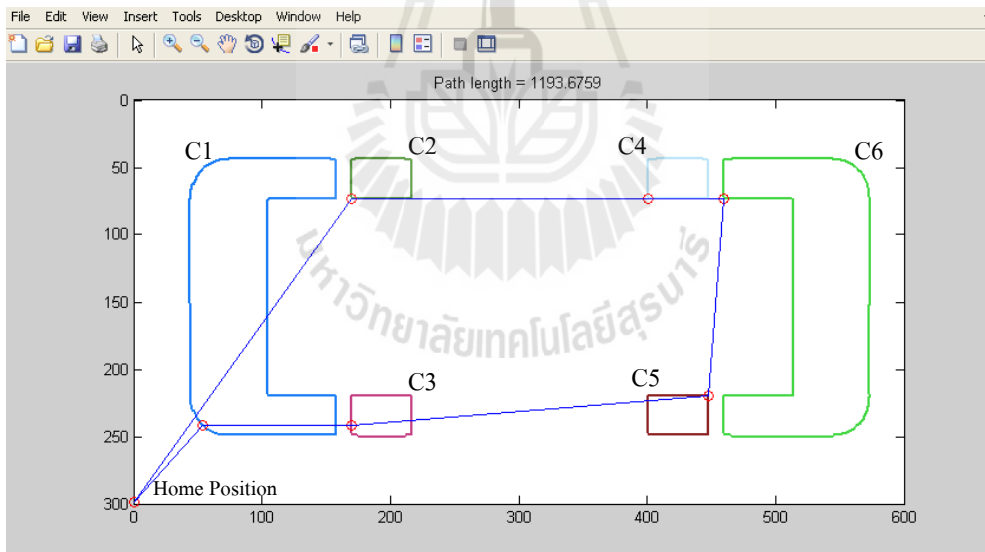
เส้นโครงร่าง	จุดเริ่มต้น	C1	C2	C3	C4	C5	C6
จุดเริ่มต้น	0	78.52	179.30	282.80	460.30	512.52	454.91
C1	78.52	0	116.00	204.98	385.97	439.77	394.61
C2	179.30	116.00	0	169.00	286.22	335.65	278.87
C3	282.80	204.98	169.00	0	231.00	290.00	314.47
C4	460.30	385.97	286.22	231.00	0	59.00	154.33
C5	512.52	439.77	335.65	290.00	59.00	0	147.49
C6	454.91	394.61	278.87	314.47	154.33	147.49	0

ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้น โครงร่างนี้จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ โดยผลจากการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position แสดงดังในรูปที่ 4.6 มีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้น โครงร่างของเครื่องมือเท่ากับ 1233.5288 หน่วย (Unit) และเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยมีลำดับเส้นทางการที่ของเครื่องมือเหมือนกันคือ เริ่มจากจุดเริ่มต้น \rightarrow C2 \rightarrow C4 \rightarrow C5 \rightarrow C6 \rightarrow C3 \rightarrow C1 \rightarrow จุดเริ่มต้น จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour แสดงดังในรูปที่ 4.7 มีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้น โครงร่างของเครื่องมือเท่ากับ 1193.6759 หน่วย โดยมีลำดับเส้นทางการที่ของเครื่องมือเหมือนกันคือ เริ่มจาก จุดเริ่มต้น \rightarrow C1 \rightarrow C3 \rightarrow C5 \rightarrow C6 \rightarrow C4 \rightarrow จุดเริ่มต้น



รูปที่ 4.6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่างด้วยวิธี

Searched Points Based on Home Position ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ = 1233.5288



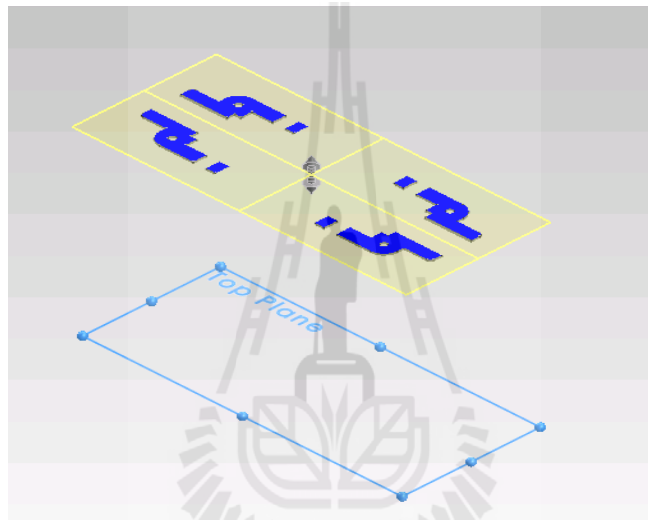
รูปที่ 4.7 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่างด้วยวิธี

Searched Points Based on Previous Contour ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ =

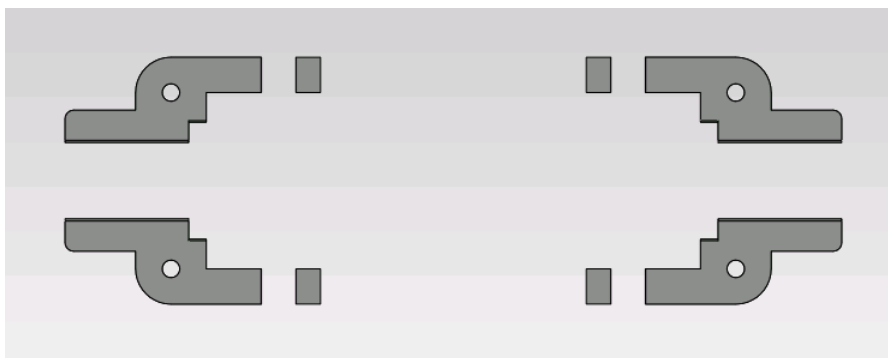
1193.6759

4.2 กรณีศึกษาที่ 2

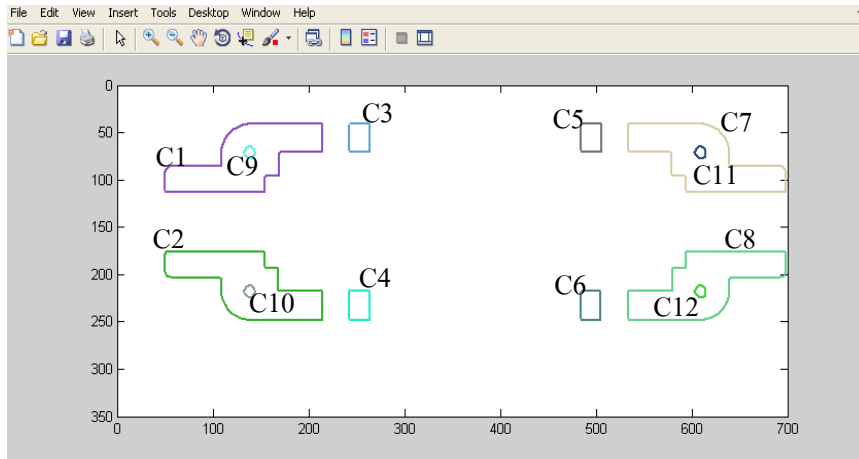
แบบจำลองชิ้นงานตัวอย่างของกรณีศึกษาที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 แบบจำลองนี้จะถูกแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ตามระนาบที่กำหนด ตัวอย่างของชั้นแบบจำลองดังแสดงรูปที่ 4.8 ชั้นแบบจำลองนี้จะถูกนำไปใช้ในการศึกษาเส้นโครงร่างของชั้น ภาพเส้นโครงร่างของแบบจำลองนี้คือข้อมูลนำเข้าสำหรับการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.9 ผลจากการศึกษารูปร่างของเส้นโครงร่างพบว่า ภาพเส้นโครงร่างประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 12 เส้นโครงร่างคือ เส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11 และ C12 ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.8 ชั้นของแบบจำลอง

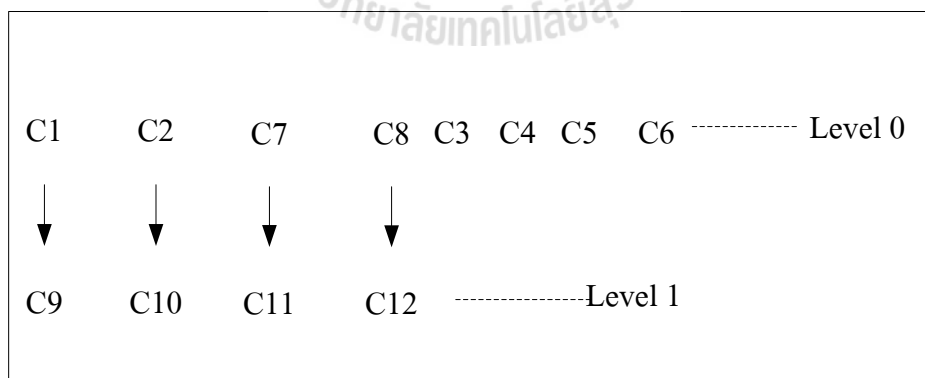


รูปที่ 4.9 ภาพเส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง



รูปที่ 4.10 เส้นโครงร่างของชั้นแบบจำลอง

ผลจากการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างโดยการประยุกต์ใช้แนวคิด Parent and Child แสดงดังในรูปที่ 4.11 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

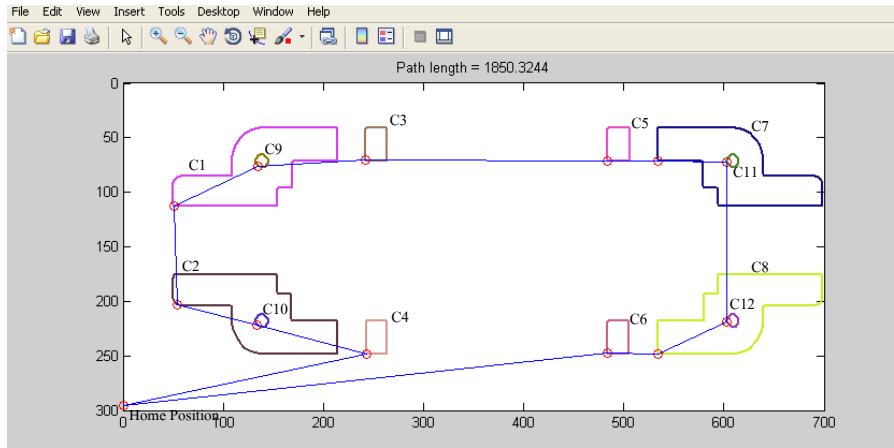


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงร่างของแบบจำลอง

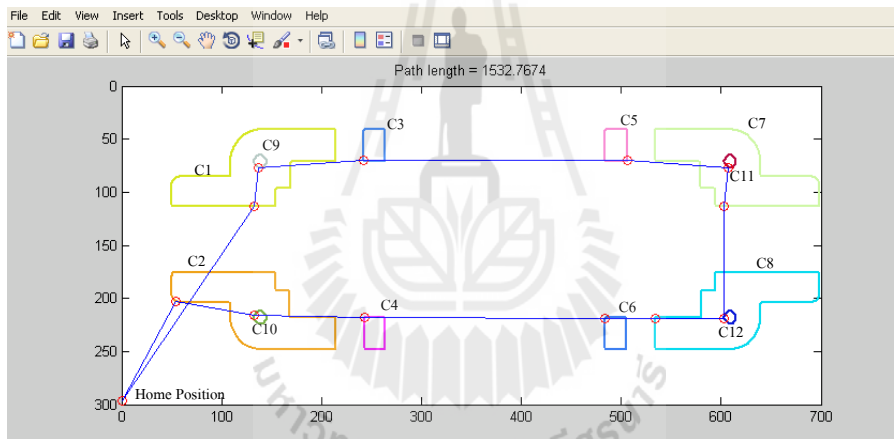
ตารางที่ 4.4 แสดงจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง

เส้นโครงร่าง	วิธีการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่าง	
	วิธี Searched Points Based on Home Position	วิธี Searched Points Based on Home Position
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 โดยวิธีฮีริสติก Nearest Neighbor ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการทำวิจัยครั้งนี้ เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position ซึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้น โครงร่างเท่ากับ 1850.3244 หน่วย 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 4.12 และเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น โครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour ซึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้น โครงร่างเท่ากับ 1532.7674 หน่วย 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 4.13



รูปที่ 4.12 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่างด้วยวิธี
Searched Points Based on Home Position ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ = 1850.3244



รูปที่ 4.13 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิคคของเส้น โครงร่างด้วยวิธี
Searched Points Based on Previous Contour ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ =
1532.7647

ตารางที่ 4.5 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิคัดของเส้น โครงร่างจากการกำหนดจุดพิคัดของเส้น 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 แสดงระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้น โครงร่างจากการกำหนดจุดพิกัดของเส้น 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

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้นำเสนอการสรุปผลของการวิจัย ผลลัพธ์ที่ได้จากการระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง และผลลัพธ์ที่ได้จากการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ประโยชน์ของงานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างโดยประยุกต์ใช้แนวคิด Parent and Child และการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบโดยประยุกต์ใช้แนวคิดของ Travelling Salesman Problem และวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ Parent and Child เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างบนระนาบเดียวกัน โดยทำการศึกษาเส้นโครงร่างที่มีลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิต ผลลัพธ์จากการดำเนินการวิจัยแสดงผลของการระบุความสัมพันธ์คือ เส้นโครงร่างที่ครอบเส้นโครงร่างอื่นอยู่กำหนดให้มีความสัมพันธ์แบบ Parent ส่วนเส้นโครงร่างที่ถูกครอบกำหนดให้มีความสัมพันธ์แบบ Child ซึ่งข้อมูลความสัมพันธ์นี้ถูกนำไปใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

5.1.2 การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

แนวคิดของ Travelling Salesman Problem และวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ได้ถูกประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน ผลลัพธ์จากการดำเนินการวิจัยแสดงผลของเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ จากการพิจารณาผลลัพธ์พบว่าระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่ได้จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour มีแนวโน้มลดลงดังแสดงในตารางที่ 5.1 ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่ได้จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour ลดลง 3.23 และ 17.16 % เมื่อเทียบกับระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่ได้จากการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position โดยทำการ

เปรียบเทียบระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างซึ่งได้พิจารณาออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากจุดเริ่มต้นไปยังเส้นโครงร่างเส้นแรก, ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตามแนวเส้นโครงร่าง และช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากเส้นโครงร่างเส้นสุดท้ายไปยังจุดเริ่มต้น โดยแสดงผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 5.2 จากผลการเปรียบเทียบเห็นได้ว่าระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิคัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Previous Contour มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากการกำหนดจุดพิคัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี Searched Points Based on Home Position

ตารางที่ 5.1 แสดงระยะทางระหว่างการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง

กรณีศึกษาที่	ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากการกำหนดจุดพิคัดของเส้นโครงร่างด้วยวิธี		ระยะทางลดลง (%)
	Searched Points Based on Home Position	Searched Points Based on Previous Contour	
1	1233.53	1193.68	3.23
2	1850.32	1532.77	17.16

ตารางที่ 5.2 แสดงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

ระยะทางการเคลื่อนที่ ระหว่างเส้นโครงร่าง	กรณีศึกษาที่ 1		กรณีศึกษาที่ 2	
	Searched Points Based on Home Position	Searched Points Based on Previous Contour	Searched Points Based on Home Position	Searched Points Based on Previous Contour
เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไป ยังเส้นโครงร่างเส้นแรก	282.80	78.52	247.70	155.21
เคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครง ร่าง	872.21	654.86	1116.15	1270.02
เคลื่อนที่จากเส้นโครงร่าง เส้นสุดท้ายไปยัง จุดเริ่มต้น	78.52	460.30	486.47	107.54
ระยะทางการเคลื่อนที่ ทั้งหมด	1233.53	1193.68	1850.32	1532.77

5.2 ประโยชน์ของงานวิจัย

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

5.3 ข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

งานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดกับการสร้างชิ้นงานจริง และพิจารณาการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างต้นแบบ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับการดำเนินงานจริง รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด หรือชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีสีแตกต่างกันและใช้เครื่องมือในการสร้างต้นแบบมากกว่า 1 อัน



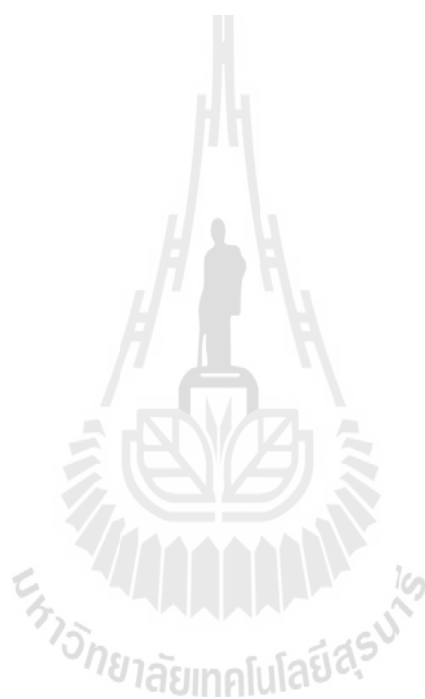
บรรณานุกรม

- ปริญญา พงษ์สิน, ทรงคุณ ศรีเจริญ และวรวุฒิ วงศ์สินธน. (2008). เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว. Defence Technology Institute (Public Organisation).
- ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2544). วิธีการเมตาฮีริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น): กรุงเทพมหานคร.
- สมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ. (2551). การสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping) หลักการ และการประยุกต์ใช้. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- 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
- Castellino, K., D'Souza, R. and Wright, P. K. (2002). Toolpath optimization for minimizing airtime during machining, Journal of Manufacturing Systems, Vol.22, No.3, pp.173-180.
- Cao, W. and Miyamoto, Y. (2003). Direct slicing from AutoCAD solid models for rapid prototyping. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 21: 739-743
- 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 2005;37:123-136.
- Choi, S.H. and Kwok, K.T. (2004). A topological hierarchy-sorting algorithm for layered manufacturing, Rapid Prototyping Journal, 10(2), 98-113.
- Choi. S.H. and Kwok, K.T., (2002). Hierarchical slice contours for layered-manufacturing. Computer Industrial, 48:99-114.
- Chua, C.K. and Leong, K.F. (1997). Rapid Prototype: Principle & Applications in Manufacturing. John Wiley & Sons. Singapore.
- 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, 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.
- 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, vol, 19 issue 3 February, p.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 Dhande, 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, p.249-53.
- 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.



ประวัติผู้เขียน

ผศ.ดร. ปภากร พิทยชวาล อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จบการศึกษาระดับปริญญาโท (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ Ph.D. (Design and Manufacturing Engineering) Asian Institute of Technology ประวัติการทำงาน พ.ศ. 2544 - 2546 วิศวกร ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ พ.ศ. 2552 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอบเขตงานวิจัยที่เชี่ยวชาญ Rapid Prototyping Technology, Manufacturing System, Product and Process Design, CAD/CAM/CAE, Process Improvement

