รหัสโครงการ SUT7-717-55-12-45

รายงานการวิจัย

การศึกษาความสัมพันธ์ของการจัดวางวัตถุต่อทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

(A study of the relationship between part orientation and direction of rapid prototype construction)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-717-55-12-45

รายงานการวิจัย

การศึกษาความสัมพันธ์ของการจัดวางวัตถุต่อทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

(A study of the relationship between part orientation and direction of rapid prototype construction)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปภากร พิทยชวาล

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

นายอภิเชษฐ ก้อนคำ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กุมภาพันธ์ 2559

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีโดยสถาบันวิจัยที่ได้ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยตลอดมา ส่งผลให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่สนับสนุนทุนวิจัยในปีงบประมาณ 2555

ท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจในการทำงาน รวมถึงครูอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping Technology, RP) เป็นเทคโนโลยีที่สามารถสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยตรงจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Aided Design, CAD) โดยแบบจำลองจะถูกแบ่งและสร้างขึ้นทีละชั้นจนเป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์ด้วยเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว การกำหนดทิศทางในการจัดวางวัตถุให้เหมาะสมก่อนการสร้างชิ้นงานต้นแบบ สามารถช่วยในการวางแผนการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งส่งผลต่อจำนวนและรูปร่างของฐานรองชิ้นงาน ทำให้สามารถลดวัตถุดิบที่ต้องใช้ในการผลิตชิ้นงานต้นแบบ รวมถึงการลดต้นทุนในการสร้างชิ้นงาน

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานที่เหมาะสมสำหรับกรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นงานแบบรวดเร็วด้วยเทคนิค Fused Deposition Manufacturing (FDM)

ผลการวิจัยพบว่า การกำหนดทิศทางการจัดวางวัตถุนั้น สามารถประยุกต์ใช้กล่องขอบเขต เพื่อระบุปริมาตรของฐานรองชิ้นงาน ซึ่งทิศทางการจัดวางวัตถุที่ก่อให้เกิดปริมาตรฐานรองชิ้นงานต่ำสุดจะถูกกำหนดเป็นทิศทางที่มีฐานรองชิ้นงานปริมาตรต่ำสุด โดยทิศทางการจัดวางวัตถุนี้จะสอดคล้องกับทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว ทั้งนี้ หากทิศทางการจัดวางวัตถุมีมากกว่าหนึ่งทิศทางที่ทำให้เกิดปริมาตรฐานรองชิ้นงานต่ำสุดเท่ากัน การเลือกทิศทางการจัดวางวัตถุจะพิจารณาทิศทางการจัดวางวัตถุที่มีจำนวนฐานรองชิ้นงานต่ำสุดเป็นทิศทางการจัดวางวัตถุต่อไป

Abstract

Rapid prototyping technology (RP) is a technology to construct prototype layer by layer directly from a computer file (CAD model). Each layer is created one by one until all layers are created, which the model is completed. To minimize volume of material and cost, a part orientation is an issue for RP planning process.

This research has been analysis of part orientation and direction of rapid prototype construction for Fused Deposition Manufacturing (FDM)

A method of part orientation analysis has been established by using a bounding box concept. A bounding box has been applied to identify support structures. The part orientation, that presents a minimum volume of support structure, has been assigned as a direction of rapid prototype construction for FDM. Unfortunately, if there is more than one direction that obtains minimum volume of support structure, the construction direction has been assigned on the direction that contains both minimum volume and number of support structure.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 14
1.3 ขอบเขตการวิจัย 14
1.4 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์ 15
2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 16
2.1 เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว 16
2.1.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็วโดยการใช้วัสดุตั้งต้นของแข็ง 16
2.1.2 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุต้นแบบของเหลว 18
2.1.3 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบผง 20
2.2 ทิศทางการวางชิ้นงาน 23
2.3 การสร้างฐานรองชิ้นงาน 24
2.4 โปรแกรม Visual basic 26
2.5 โปรแกรม Solid works 27
2.6 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 30
3 การดำเนินงานวิจัย 38
3.1 การดำเนินงานวิจัย 38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.1 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน....38
3.1.2 การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM)....38
3.2 การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM)....38
3.2.1 การสร้างชิ้นงานในรูปแบบ 3 มิติ (Creating 3D Model)....42
3.2.2 การสร้างกล่องขอบเขต (Creating Bounding Box)....42
3.2.3 การกำหนดฐานรองชิ้นงาน (Determining Support Structure)....43
3.2.4 การวิเคราะห์ส่วนที่เป็นฐานรองชิ้นงาน (Analyzing Support Structure)....44
4 ผลการดำเนินงาน....52
4.1 ผลการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM)....48
กรณีศึกษาที่ 1....48
กรณีศึกษาที่ 2....54
5 สรุปและข้อเสนอแนะ....61
5.1 สรุปผลการวิจัย....61
5.1.1 การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วย....61
5.2 ประโยชน์ที่จะได้รับ....62
5.3 ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยต่อไป....62
เอกสารอ้างอิง....63
ภาคผนวก ก....66
ภาคผนวก ข....71
ภาคผนวก ค....83
ประวัติผู้เขียน....89

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 เงื่อนไขการตรวจสอบลักษณะพื้นที่ที่เป็นฐานรองชิ้นงาน....45
4.1 การจำแนกฐานรองชิ้นงานในแต่ละทิศทางการขึ้นรูป....52
4.2 สรุปการจำแนกฐานรองชิ้นงานในแต่ละทิศทางการขึ้นรูป....59

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 แสดงกระบวนการของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid prototype Technology) 3

1.2 แสดงกระบวนการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Hur & Lee, 1998) 3

1.3 แสดงรูปแบบของ STL ไฟล์ 4

1.4 แสดงการแบ่งชั้นชิ้นงาน 5

1.5 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเทคโนโลยีต้นแบบรวดเร็วจากเส้นโครงร่าง 5

1.6 แสดงลักษณะผลกระทบที่เกิดจากวางทิศทางในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Hur & Lee, 1998)....6

1.7 (ก) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) 7

1.7 (ข) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Stereolithography Apparatus(SLA) 7

1.7 (ค) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Three-Dimensional Printing (3D Printing)....8

1.8 (ก) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Laminated Object Manufacturing (LOM) 9

1.8 (ข) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Selective Laser Sintering (SLS)....9

1.8 (ค) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Solid Ground Curing (SGC) 10

1.9 แสดงลักษณะพื้นที่ต้องการฐานรองชิ้นงานและพื้นที่ที่ไม่ต้องการฐานรองชิ้นงาน....11

1.10 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปและทิศทางการจัดวางของชิ้นงาน....12

1.11 แสดงการสร้างฐานรองชิ้นงาน....13

2.1 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบLaminated Object Manufacturing (LOM) (วรวุฒิ et al.) 17

2.2 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) (วรวุฒิ et al.) 18

2.3 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Stereolithography Apparatus (SLA) (วรวุฒิ et al.)....19

2.4 แสดงการกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Solid Ground Curing (SGC) (วรวุฒิ et al.)....20

2.5 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Selective Laser Sintering (SLS) (วรวุฒิ et al.)....21

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.6 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Electron Beam Melting (EBM) (วรวุฒิ et al.).....22

2.7 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Three-Dimensional Printing (3DP) (วรวุฒิ et al.).....23

2.8 แสดงขอบชิ้นงานที่มีลักษณะผิวเป็นขั้นบันได.....24

2.9 แสดงทิศทางการวางวัตถุก่อนการสร้างชิ้นงาน.....25

2.10 แสดงตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานที่ต้องการฐานรองชิ้นงาน (Kumar Chalasani et al., 1995).....26

2.11 แสดงตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานที่ไม่ต้องการฐานรองชิ้นงาน (Kumar Chalasani et al., 1995)....30

2.12 แสดงผลกระทบที่เกิดจากทิศทางการจัดทิศทางที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม.....32

2.13 แสดงการพัฒนาของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (P. M. Pandey, 2010).....33

2.14 แสดงลักษณะทิศทางการวางวัตถุก่อนการสร้างชิ้นงาน (Giannatsis & Dedoussis, 2007).....34

2.15 แสดงการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ FDM (P. M. Pandey, 2010).....34

2.16 แสดงการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ SLA.....36

2.17 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างฐานรองชิ้นงานที่มีผิวตรงและผิวเอียง(Huang et al., 2008).....36

2.18 แสดงกลยุทธ์ของ CIDES(Kirschman et al., 1991).....37

3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินทั้งหมด.....40

3.2 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานอย่างละเอียด.....41

3.3 แสดงตัวอย่างชิ้นงาน 3 มิติที่ออกแบบจากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์.....42

3.4 แสดงตัวอย่างกล่องขอบเขตที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....43

3.5 แสดงการหักลบชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากการกล่องขอบเขต.....43

4.1 แสดงชิ้นงาน 3 มิติ ในตัวอย่างที่ 1.....48

4.2 แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+ และ y-.....49

4.3 แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ.....50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.4 แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต....50

4.5 แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต....51

4.6 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน....51

4.7 แสดงรูปทรงฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน y+ และ y-....52

4.8 แสดงชิ้นงาน 3 มิติ ในตัวอย่างที่ 2....54

4.9 แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+....55

4.10 แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ....56

4.11 แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต....56

4.12 แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต....57

4.13 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน....58

4.14 แสดงรูปทรงฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน y+....58

ก.1 แสดงการป้อนข้อมูลข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างกล่องขอบเขต....67

ก.2 แสดงผลลัพธ์จากการสร้างกล่องขอบเขต....67

ก.3 แสดงการวิเคราะห์จุดมุมของชิ้นงาน....68

ก.4 แสดงการจัดเก็บข้อมูลจุดมุมของชิ้นงาน....68

ก.5 แสดงการตรวจสอบลักษณะเส้นขอบบนพื้นผิวชิ้นงาน....69

ก.6 แสดงผลการคำนวณปริมาตรของชิ้นงาน....69

ก.7 แสดงการจัดเก็บข้อมูลปริมาตรของชิ้นงาน....70

ค.1.1 แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+....84

ค.1.2 แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ....84

ค.1.3 แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต....85

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ค.1.4 แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต 85
ค.1.5 แสดงจำนวนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต.....86
ค.1.6 แสดงการวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรม Visual basic 86
ค.1.7 แสดงการจัดเก็บข้อมูลในโปรแกรม Visual basic.....87
ค.1.8 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลระนาบระหว่างกล่องขอบเขตกับชิ้นงานตรวจสอบ.....87
ค.1.9 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน 88
ค.1.10 แสดงรูปทรงฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน y+…….....88

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

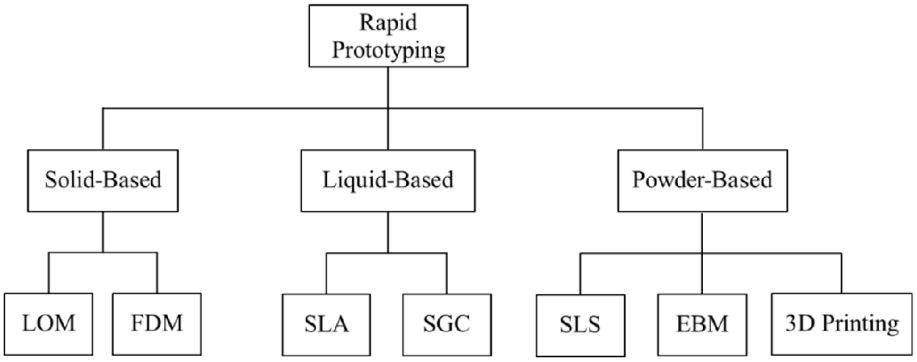
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product design and development) เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่หรือเป็นการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ในกระบวนการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์จัดว่าเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญกระบวนการหนึ่งในการผลิตสินค้า เพื่อส่งออกสู่ตลาด ภายใต้การดำเนินงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์จะเริ่มจากการสำรวจความต้องการของลูกค้า เพื่อทราบความต้องการของลูกค้าอย่างแท้จริงในตัวผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากความต้องการของลูกค้ามาทำการออกแบบผลิตภัณฑ์หรืออาจเป็นการปรับปรุงการออกแบบของผลิตภัณฑ์เดิม ข้อมูลของการออกแบบที่ได้จะถูกส่งไปยังส่วนที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์จริง เพื่อทำการผลิตชิ้นงานต้นแบบที่ได้มาจากการออกแบบ ซึ่งหลังจากผลิตชิ้นงานออกมาแล้ว นำมาสู่กระบวนการของการประเมินผล โดยทำการทดสอบการทำงานก่อนการใช้งานจริง ถ้าชิ้นงานต้นแบบสามารถยอมรับได้ก็จะนำรายละเอียดของชิ้นงานที่ได้จากการออกแบบไปวางแผนการผลิต เพื่อทำการผลิตและส่งชิ้นงานออกสู่ตลาด แต่ถ้าหากชิ้นงานต้นแบบไม่เป็นที่ยอมรับก็ต้องนำชิ้นงานกลับเข้าสู่กระบวนการออกแบบใหม่เพื่อปรับปรุงหรือแก้ไขจนชิ้นงานเป็นที่ยอมรับได้เพื่อส่งเข้าสู่การวางแผนการผลิต เพื่อผลิตออกสู่ตลาดต่อไป (MIHAIELA, Department, Bucharest, Street, & ROMANIA)

ซึ่งในอดีตกระบวนการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อทำการผลิตชิ้นงาน ยังไม่มีเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการทำงาน เพื่อสร้างชิ้นงานที่ออกแบบขึ้นมาเป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์ การทำงานแต่ละกระบวนการจึงต้องใช้ความสามารถและความชำนาญของนักออกแบบหรือผู้สร้างชิ้นงานในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ จึงทำให้ในการผลิตชิ้นงานเพื่อออกสู่ตลาดในแต่ละชิ้นต้องใช้เวลานานและเกิดความผิดพลาดในการผลิต จึงทำให้สิ้นเปลืองวัสดุและค่าใช้จ่ายรวมถึงใช้เวลาในการ

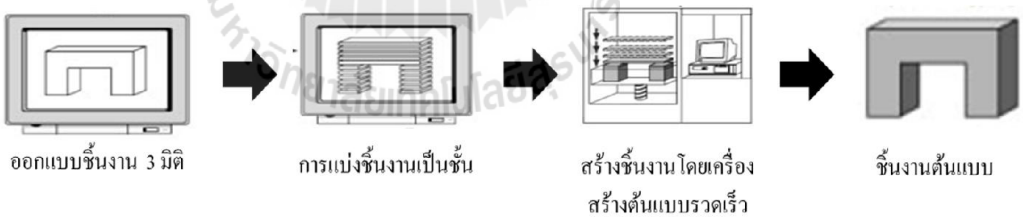
ผลิตมาก และได้มีการคิดค้นพัฒนากระบวนการออกแบบมาอย่างต่อเนื่องจนได้มีการนำเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Computer Aided Design) เพื่อช่วยลดความผิดพลาด ลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ที่นำมาช่วยในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้นกำลังได้รับความสนใจในภาคต่างๆ ทั้งในภาคอุตสาหกรรม การแพทย์ การศึกษา การวิจัยและพัฒนา เป็นต้น

ซึ่งเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถช่วยลดความผิดพลาด ลดระยะเวลา และลดต้นทุน ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยกำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ประกอบไปด้วยหลายเทคโนโลยีซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือ เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototype Technology) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสร้างชิ้นงานต้นแบบในรูปแบบชั้น โดยจะเป็นการสร้างชิ้นงานทีละชั้น (Layer By Layer) จนได้เป็นรูปร่างชิ้นงานที่สมบูรณ์ ซึ่งได้รับแบบจำลองโดยตรงจากโปรแกรมการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ซึ่งเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรรมวิธีหลัก คือ กรรมวิธีการลดเนื้อวัสดุออก (Subtractive process) และกรรมวิธีการเพิ่มเนื้อวัสดุเข้า (Additive process) โดยกรรมวิธีการลดเนื้อวัสดุออกเป็นการหักเนื้อวัสดุออกด้วยเครื่องมือต่างๆ เช่น ตะไบ สว่าน เลื่อย เป็นต้นจนได้รูปร่างชิ้นงานที่ถูกต้องสมบูรณ์ ส่วนกรรมวิธีการเพิ่มเนื้อวัสดุเข้าเป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นการเพิ่มเนื้อวัสดุเข้าไปแบบต่อเนื่องจนได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ ซึ่งสามารถแบ่งตามวัตถุดั้งต้นได้เป็น 3 ประเภท คือ วัตถุดั้งต้นแบบของแข็ง ประกอบไปด้วยกรรมวิธี Laminated Object Manufacturing (LOM) และ Fused Deposition Modeling (FDM) ส่วนวัตถุดั้งต้นแบบของเหลวจะประกอบไปด้วยกรรมวิธี Stereolithography Apparatus (SLA) และ Solid Ground Curing (SGC) และวัตถุดั้งต้นที่เป็นผง ประกอบไปด้วยกรรมวิธี Selective Laser Sintering (SLS), Electron Beam Melting (EBM) และ Three-Dimensional Printing (3D Printing) (วรวุฒิ, ทรงคุณ, & ปริญญา, 2549) ในรูปภาพที่1.1 แสดงกระบวนการของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งแบ่งตามวัตถุดิบดั้งต้นในการสร้างชิ้นงาน



รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid prototype Technology)

โดยทั่วไปเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วนั้นจะมีขั้นตอนในการสร้างดังนี้ คือ ออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ แบบจำลอง3 มิติ โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จะถูกแบ่งเป็นชั้น (Slicing) และทำการสร้างเป็นชิ้นงานต้นแบบด้วยเครื่องสร้างแบบจำลองรวดเร็วจนได้เป็นชิ้นงานออกมาดังแสดงในรูปที่ 1.2

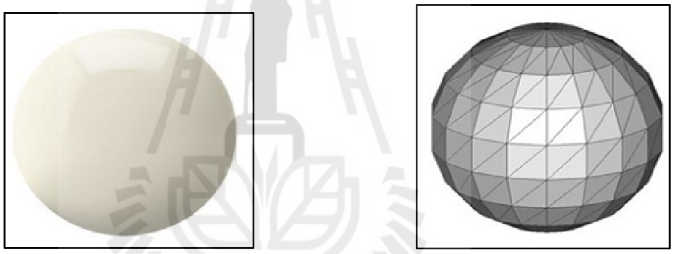


รูปที่ 1.2 แสดงกระบวนการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Hur & Lee, 1998)

กรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็วในแต่ละกรรมวิธีมีจุดเด่นที่แตกต่างกัน แต่ทุกกรรมวิธีมีแนวทางการพัฒนาที่สอดคล้องกัน การพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วสามารถจำแนกแนวทางการพัฒนา 4 ด้าน คือ การออกแบบและขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบจาก STL ไฟล์ (STL File Modeling)

การวิเคราะห์การแบ่งชั้นชิ้นงาน (Slicing Analysis) การวิเคราะห์แนวทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือสร้างต้นแบบ (Tool path planning of RP process) และการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุ (Object Analysis)

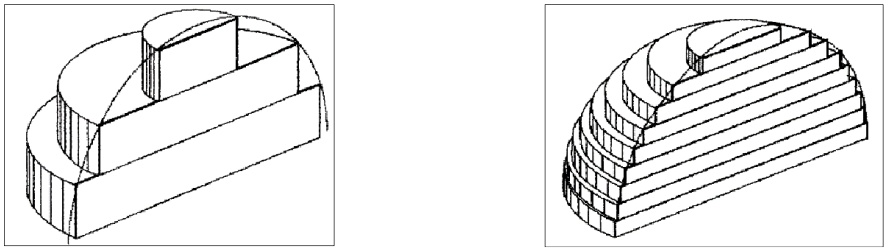
โดยแนวทางแรก การออกแบบและขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อให้เกิดความผิดพลาดต่ำสุดจากการสร้างต้นแบบ จาก STL ไฟล์ ซึ่งเป็นรูปแบบไฟล์มาตรฐานที่นิยมนำมาใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว โดยจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมประกอบกันที่ผิวด้านนอกและด้านในของชิ้นงาน ซึ่งในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว แบบจำลอง 3 มิติจะถูกแปลงเป็น STL ไฟล์ ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ก่อนทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วจนสำเร็จ(Kumar & Dutta, 1997) รวมถึงการสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยตรงจากข้อมูลภาพวาดทางวิศวกรรม(Engineering Drawing) (Soonanon & Koomsap, 2009)



แบบจำลอง 3 มิติ STL ไฟล์

รูปที่ 1.3 แสดงรูปแบบของ STL ไฟล์

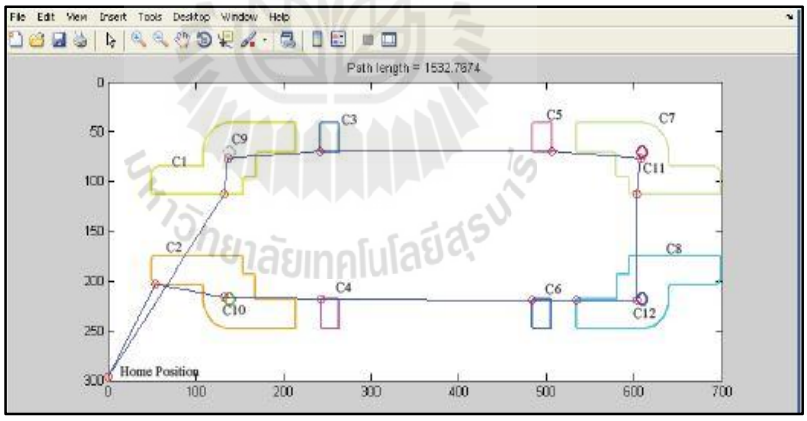
ส่วนแนวทางที่สอง การวิเคราะห์การแบ่งชั้นชิ้นงาน เป็นการพัฒนาแนวการแบ่งชิ้นงานออกเป็นชั้นๆ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การแบ่งชั้นชิ้นงานโดยแต่ละชั้นมีขนาดเท่ากัน (Uniform Slicing) และการแบ่งชั้นชิ้นงานโดยแต่ละชั้นมีขนาดไม่เท่ากัน (Adaptive Slicing) ซึ่งการแบ่งชั้นชิ้นงานสามารถนำไปสู่การลดความสูงของผิวแบบขั้นบันได (Staircase Effect) ได้ (Cao & Miyamoto, 2003) แสดงในรูปที่ 1.4



Uniform Slicing Adaptive Slicing

รูปที่ 1.4 แสดงการแบ่งชั้นชิ้นงาน

แนวทางที่สาม คือ การวิเคราะห์แนวทางการเคลื่อนที่ของกระบวนการสร้างต้นแบบ เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่เหมาะสม รวมถึงลดการสูญเสียในการสร้างต้นแบบ แสดงในรูปที่ 1.5 (พิทยชวาล & เบ้าทอง, 2556)



รูปที่ 1.5 แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือเทคโนโลยีต้นแบบรวดเร็วจากเส้นโครงร่าง (พิทยชวาล & เบ้าทอง, 2556)

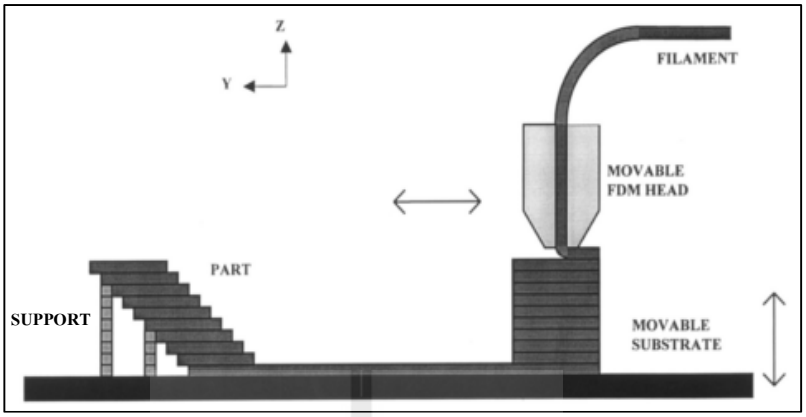
และแนวทางที่สี่ คือ การวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุเป็นการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางชิ้นงานต้นแบบเพื่อนำไปสู่การขึ้นรูป ซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์ฐานพยุงชิ้นงาน (Support Structure) เพื่อเพิ่มความมั่นคงให้กับชิ้นงานและป้องกันการไม่ให้ชิ้นงานเกิดการโค่นล้มหรือเสียรูปในขณะสร้าง

ชิ้นงานต้นแบบ (Guo, Zhang, Wang, & Huang, 2006) โดยการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุที่เหมาะสมจะสามารถลดปริมาณวัตถุดิบสำหรับการสร้างฐานรองชิ้นงาน นำไปสู่การลดเวลาและต้นทุนในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 1.6

ผลกระทบ	ลักษณะการจัดวางทิศทาง	
	เหมาะสม	ไม่เหมาะสม
การเกิดพื้นผิวแบบขั้นบันได		
การเกิดฐานรองชิ้นงาน		
การเกิดจำนวนชั้นของชิ้นงาน		

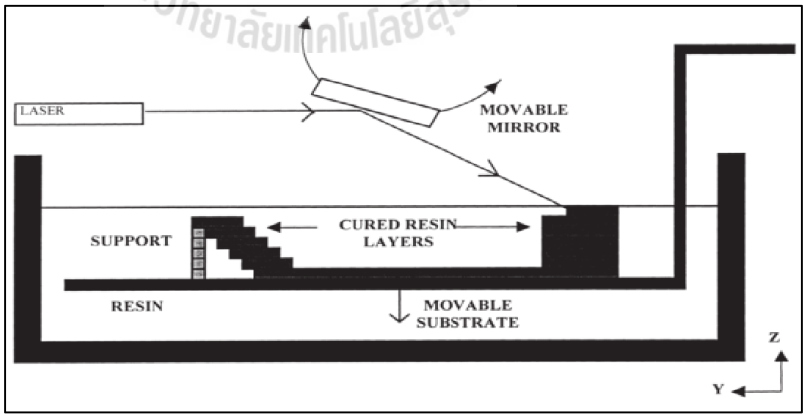
รูปที่ 1.6 แสดงลักษณะผลกระทบที่เกิดจากวางทิศทางในการขึ้นรูปชิ้นงาน (Hur & Lee, 1998)

โดยฐานรองชิ้นงาน เป็นส่วนที่เป็นหลักหรือสมอยึดติดกับชิ้นงานเพื่อเสริมความแข็งแรงให้กับชิ้นงานอีกทั้งยังช่วยป้องกันการหลุดลอยของชิ้นงาน ซึ่งจำนวนฐานรองชิ้นงานนั้นจะขึ้นอยู่กับ รูปร่างลักษณะและขนาดของชิ้นงานและวัตถุดิบที่ใช้ (Kumar Chalasani, Larry Jones, & Larry Roscoe, 1995) ซึ่งประเภทของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วที่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงาน (Support Structure) ประกอบไปด้วย 2 กรรมวิธีคือ Fused Deposition Modeling (FDM) และ Stereolithography Apparatus (SLA) (Pham & Gault, 1998) โดยกรรมวิธีทั้ง 2 กรรมวิธีนี้ มีความจำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงานในกรณีที่ชิ้นงานมีส่วนที่ยื่นออกมา เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปมีลักษณะเป็นเส้นลวดและของเหลวตามลำดับ ซึ่งไม่สามารถรองรับชิ้นงานในส่วนที่ยื่นออกมาได้ จึงต้องมีการสร้างฐานรองชิ้นงานเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูป ดังแสดงในรูปที่ 1.7 (ก) (ข) และ ค



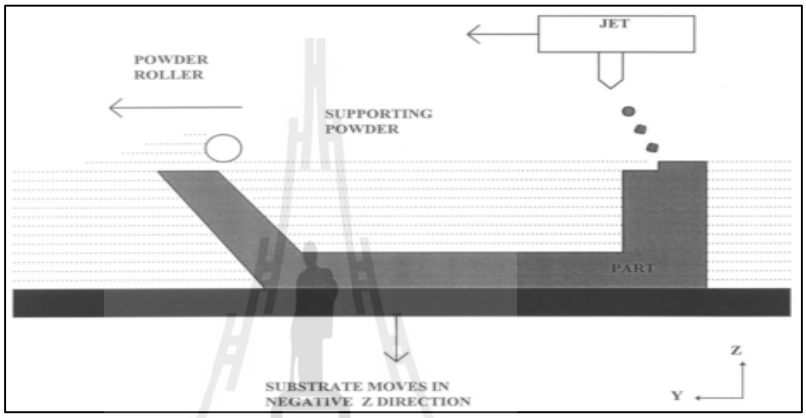
รูปที่ 1.7 (ก) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) (Pham & Gault, 1998)

ในรูปที่ 1.7 (ก) เนื่องจากกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) เป็นกรรมวิธีที่สร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยวัตถุดิบต้นที่เป็นของแข็งโดยการให้ความร้อนและฉีดวัตถุดิบต้นออกมาในลักษณะเป็นเส้นที่ละชั้นตามรูปแบบของชิ้นงาน 3 มิติ จึงจำเป็นต้องมีฐานรองชิ้นงานมารองรับในบริเวณที่เสี่ยงต่อการทำให้ชิ้นงานต้นแบบโค่นล้ม มีผิดรูปไปทางเดิม พังเสียหาย เป็นต้น



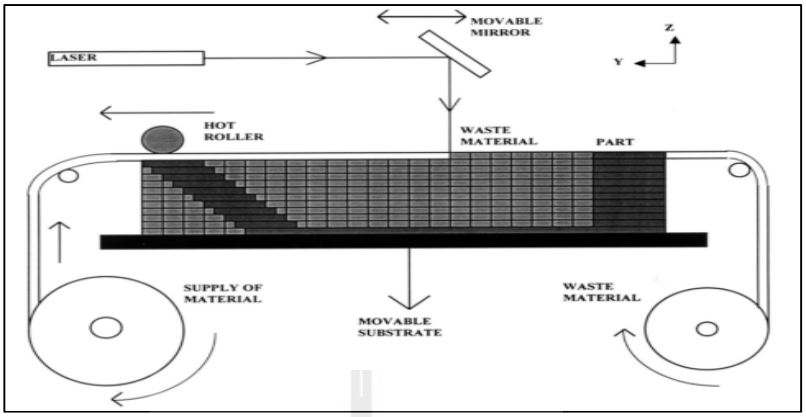
รูปที่ 1.7 (ข) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Stereolithography Apparatus (SLA) (Pham & Gault, 1998)

โดยกรรมวิธีของ Stereolithography Apparatus (SLA) เป็นกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานด้วยวัตถุตั้งต้นที่เป็นของเหลว โดยการใช้แสงอัลตราไวโอเลตยิงลงไปที่เนื้อวัตถุตั้งต้นตามรูปร่างชิ้นงาน 3 มิติ ทีละชั้น เนื่องด้วยวัตถุตั้งต้นเป็นของเหลว จึงไม่สามารถรับชิ้นงานต้นแบบที่สร้างในแต่ละชั้นได้จึงจำเป็นต้องมีฐานรองชิ้นงานมารองรับเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานต้นแบบ โค่นล้ม หรือผิดรูปร่างจากเดิม



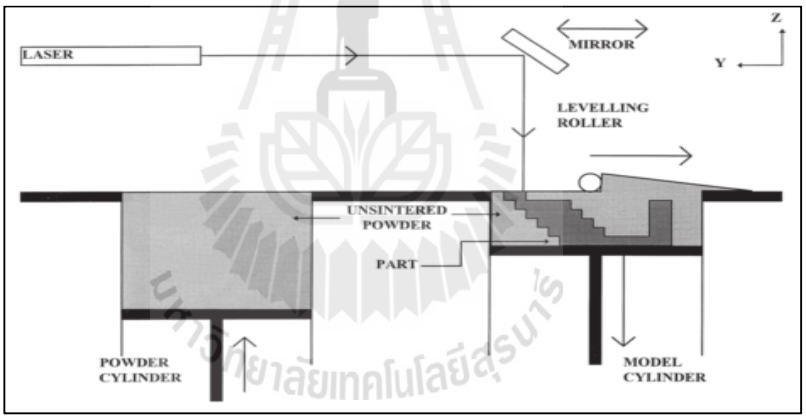
รูปที่ 1.7 (ค) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Three-Dimensional Printing (3D Printing) (Pham & Gault, 1998)

เทคโนโลยีของการสร้างชิ้นงานที่สามารถสร้างฐานรองชิ้นงานได้ด้วยตัวเอง และไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 1.8 (ก) (ข) (ค) และ (ง) เนื่องด้วยกรรมวิธีเหล่านี้เป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยใช้วัตถุตั้งต้นที่เป็นของแข็งในลักษณะที่เป็นแผ่นและวัตถุตั้งต้นที่เป็นผง ซึ่งเมื่อทำการสร้างชิ้นงานด้วยการยิงแสงอัลตราไวโอเลต หรืออินฟราเรด ไปยังเนื้อวัตถุในส่วนที่เป็นรูปร่างตามชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ เพื่อให้จับตัวกัน ซึ่งวัตถุดิบในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการยิง แสงอัลตราไวโอเลตหรืออินฟราเรดเพื่อให้เนื้อวัตถุตั้งต้นก่อตัวกัน สามารถที่จะเป็นส่วนที่รองรับชิ้นงานในตัวเองได้ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงานเพิ่ม



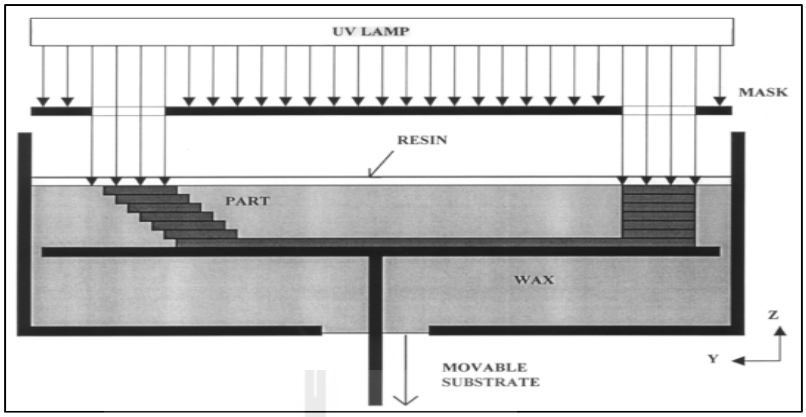
รูปที่ 1.8 (ก) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Laminated Object Manufacturing (LOM)

(Pham & Gault, 1998)



รูปที่ 1.8 (ข) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Selective Laser Sintering (SLS)

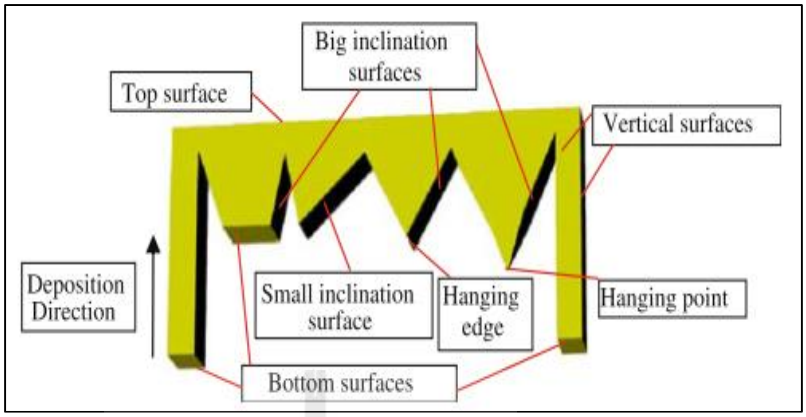
(Pham & Gault, 1998)



รูปที่ 1.8 (ค) แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Solid Ground Curing (SGC)

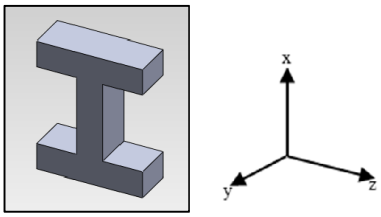
(Pham & Gault, 1998)

นอกจากกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว สามารถบ่งบอกการสร้างฐานรองชิ้นงานและไม่สร้างฐานรองชิ้นงานได้แล้วลักษณะผิวหรือตำแหน่งของผิวชิ้นงานสามารถบ่งบอกได้เช่นเดียวกัน โดยพื้นผิวที่ไม่ต้องการฐานรองชิ้นงานนั้นเป็นส่วนผิวด้านบนของชิ้นงาน (Top surface) ผิวที่เป็นแนวตั้ง (Vertical surface) และผิวที่มีลักษณะเอียงมาก (Surface with big inclination) ส่วน ประเภทพื้นผิวที่ไม่สามารถสร้างฐานรองชิ้นได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจำเป็นต้องสร้างฐานรองจากภายนอกควบคู่กันไป พื้นผิวจะมีลักษณะ ขอบที่ยื่นออกจากตัวชิ้นงาน (Hanging edges) จุดที่ยื่นออกจากตัวชิ้นงาน (Hanging point) ผิวที่มีลักษณะเอียงเล็กน้อย (Bottom with small inclination) และผิวด้านล่างที่มีลักษณะยกสูงจากพื้น (Bottom surface) เป็นต้น (Huang, Ye, Wu, Guo, & Mo, 2008) ซึ่งในรูปที่ 1.9 แสดงลักษณะพื้นที่ที่ต้องการตัวรองรับและพื้นที่ที่ไม่ต้องการฐานรองชิ้นงาน ซึ่งในรูปร่างชิ้นงานแต่ละชิ้นจะมีลักษณะพื้นผิวที่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงานหรือไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงานแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางในการจัดวางวัตถุนั้นๆ

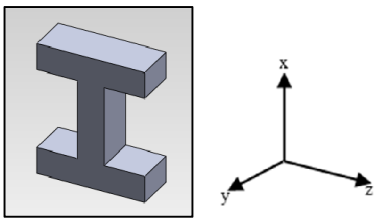


รูปที่ 1.9 แสดงลักษณะพื้นที่ต้องการฐานรองชิ้นงานและพื้นที่ที่ไม่ต้องการฐานรองชิ้นงาน (Huang et al., 2008)

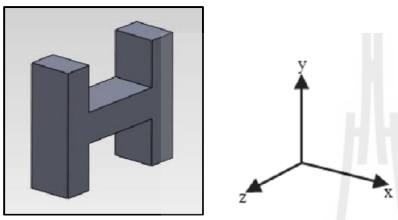
การออกแบบทิศทางการจัดวางวัตถุเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งในการสร้างต้นแบบรวดเร็วในแต่ละครั้ง สามารถลดระยะเวลา ลดความเสียหาย หรือลดค่าใช้จ่ายได้ หากมีการวิเคราะห์ทิศทางของการจัดวางวัตถุก่อนทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบ จะสามารถประหยัดปริมาณวัตถุดั้งต้นและค่าใช้จ่ายมากขึ้น และชิ้นงานมีการแบ่งชั้นที่เหมาะสม ซึ่งชิ้นงานแต่ละชิ้นจะมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างกัน ดังนั้นทิศทางที่ความเหมาะสมในการจัดวางย่อมมีความแตกต่างกันไป โดยในรูปที่ 1.10 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปและทิศทางการจัดวางของชิ้นงาน



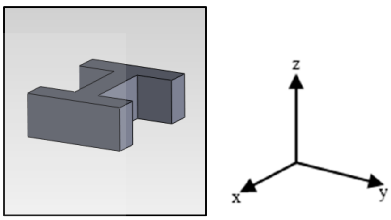
รูปแบบชิ้นงานตัวอย่าง



การวางทิศทาง x+ และ x-



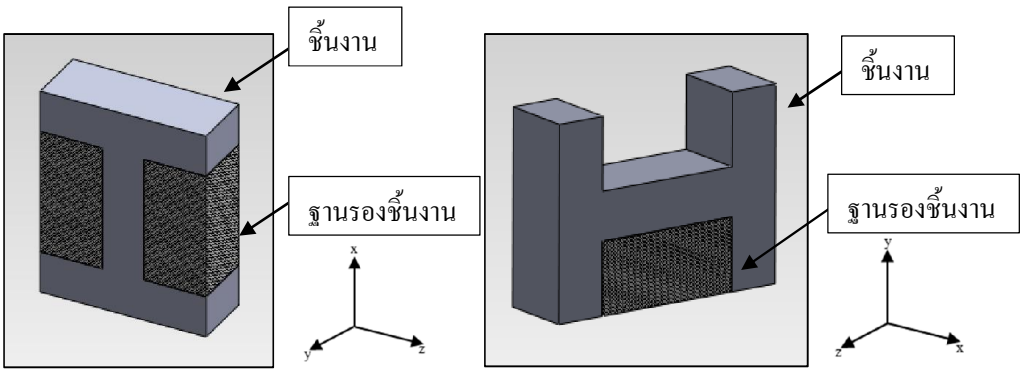
การวางทิศทาง y+ และ y-



การวางทิศทาง z+ และ Z-

รูปที่ 1.10 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปและทิศทางการจัดวางของชิ้นงาน

ในรูปที่ 1.10 ชิ้นงานต้นแบบสามารถจัดทิศทางในการวางวัตถุได้ 6 ทิศทาง คือ ทิศทาง x+, x-, y+, y-, z+ และ z- ตามลำดับ ซึ่งทำให้มีขั้นตอนและกระบวนการสร้างที่แตกต่างกัน โดยในการวางในทิศทาง x+, x-, y+ และ y- จำเป็นที่จะต้องสร้างฐานรองชิ้นงาน แต่ในการวางในทิศทาง z+ และ z- ไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 1.11



การวางทิศทาง x+ และ x- การวางทิศทาง y+ และ y-

รูปที่ 1.11 แสดงการสร้างฐานรองชิ้นงาน

จากรูปที่ 1.11 แสดงให้เห็นว่าการวางวัตถุในทิศทาง x+, x-, y+ และ y- จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงาน ซึ่งส่งผลให้ต้องใช้ปริมาณวัตถุตั้งต้นเพิ่มขึ้นสำหรับสร้างฐานรองชิ้นงาน ซึ่งแตกต่างจากการวางในทิศทาง z+ และ z- ที่ไม่จำเป็นต้องสร้างฐานรองชิ้นงานส่งผลให้ไม่เสียปริมาณวัตถุตั้งต้นเพิ่มสำหรับสร้างฐานรองชิ้นงานและประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ในการสร้างชิ้นงานในชิ้นนี้ทิศทางในการวางชิ้นงานในทิศทาง z+ และ z- จึงถูกพิจารณาเป็นทิศทางในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

จากที่กล่าวมาในข้างต้น จะเห็นได้ว่าทิศทางของการจัดวางวัตถุมีความสำคัญต่อเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยมีผลต่อ ปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานและใช้เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสร้างฐานรองชิ้นงานจึงส่งผลให้ต้องใช้ต้นทุนที่ใช้ ในการสร้างชิ้นงานและระยะเวลาที่ใช้ไป นอกจากนี้ความสูงของชิ้นงานและขนาดพื้นที่หน้าตัดมีผลต่อระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานด้วยเช่นกัน ซึ่งถือว่ามีความสำคัญต่อกระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งการวิเคราะห์และวางแผนทิศทางการวางวัตถุที่มีความถูกต้องและแม่นยำ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วและลดปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นและต้นทุนในการสร้างชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งการวิเคราะห์แสดงผลทิศทางของการจัดวางวัตถุ และขนาดฐานรองชิ้นงานในการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ประหยัดปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นสามารถลดต้นทุน ภายใต้สมมติฐาน ปริมาตรฐานรองชิ้นงานจะแปรผันตรงต่อปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างฐานรองชิ้นงานและระยะเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุ จะเป็นการวิเคราะห์แบบกึ่งอัตโนมัติ โดยที่ผู้ใช้งาน (User) จะทำการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุและปริมาตรฐานรองชิ้นงานร่วมกับโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมออกแบบทางคอมพิวเตอร์วิเคราะห์และแสดงผลในโปรแกรม Visual basic เพื่อวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุที่มีปริมาณฐานรองชิ้นงานน้อยที่สุด เพื่อใช้เป็นทิศทางในการจัดวางวัตถุและสร้างชิ้นงานต้นแบบต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. การวิจัยนี้มีปัจจัยนำเข้า (Input) คือรูปแบบชิ้นงาน 3 มิติ

2. การวิจัยนี้มีปัจจัยนำออก (Output) เป็นทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ส่งผลให้เกิดฐานรองชิ้นงานที่มีปริมาตร (Volume) น้อยที่สุด

3. การวิจัยนี้พิจารณารูปร่างชิ้นงาน 3 มิติ ที่มีผิวภายนอกเป็นทรงเหลี่ยมเท่านั้น

4. การวิจัยนี้จะใช้เทคโนโลยีการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วแบบ Fused Deposition Manufacturing (FDM)ในการวิเคราะห์

5. การวิจัยนี้กำหนดทิศทางการหมุนชิ้นงานทั้งหมด 6 ทิศทาง ได้แก่ ทิศทาง x+, x-, y+, y-, z+ และ z-

1.4 ส่วนประกอบของรายงานการวิจัย

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

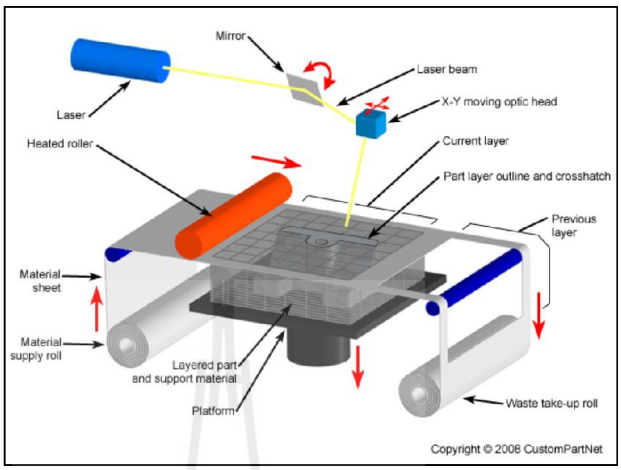
2.1 Rapid Prototype Technology

Rapid Prototype Technology หรือที่เรียกกันสั้นๆว่า RP ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างต้นแบบรวดเร็วนั้นมีอยู่ 2 แบบ ใหญ่ๆ ได้แก่ กรรมวิธีการหักเนื้อวัตถุออ (Subtractive Process) วิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันมาตั้งแต่อดีต ซึ่งเป็นการนำเนื้อวัสดุออกไปเรื่อยๆด้วยการใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น เลื่อย สิ่ว ตะไบ สว่าน เรื่องกลึง เป็นต้น จนกระทั่งได้ชิ้นงานสำเร็จออกมา ซึ่งวิธีนี้มีข้อด้อยคือ ไม่สามารถจะสร้างงานที่มีความซับซ้อนมากๆได้ ต่อมาจึงได้มีการสร้างและพัฒนาเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วแบบใหม่ขึ้นมา คือเทคโนโลยีการเพิ่มเนื้อวัสดุเข้า (Additive Process) วิธีนี้จะใช้การค่อยๆเพิ่มเนื้อวัตถุลงไปตามภาคตัดขวางของชิ้นงานทีละชั้นทีละชั้นไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ชิ้นงานสำเร็จ ซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพราะสามารถสร้างชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งการสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธีการเพิ่มเนื้อวัสดุ (Additive Process) นั้นสามารถจำแนกออกตามคุณสมบัติของวัสดุได้ 3 ประเภท ได้แก่ การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุต้นแบบของแข็ง (Solid-based rapid prototyping) , การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุต้นแบบของเหลว(Liquid-based rapid prototyping) , การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุผง (Power-based rapid prototyping)

2.1.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็วโดยการใช้วัสดุตั้งต้นของแข็ง

วัสดุตั้งต้นที่นำมาใช้จะมีลักษณะเป็นของแข็ง ซึ่งวัสดุดังกล่าวจะอยู่ในรูปแบบของแผ่น แบบเส้น หรือแบบก้อนเล็กๆ ซึ่งนำมาผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การทำให้เนื้อวัสดุหลอมละลายหรือการใช้กาวเชื่อมต่อแผ่นวัสดุในแต่ละชั้นให้ยึดติดกันเป็นรูปทรงที่ต้องการ โดยกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็วที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่

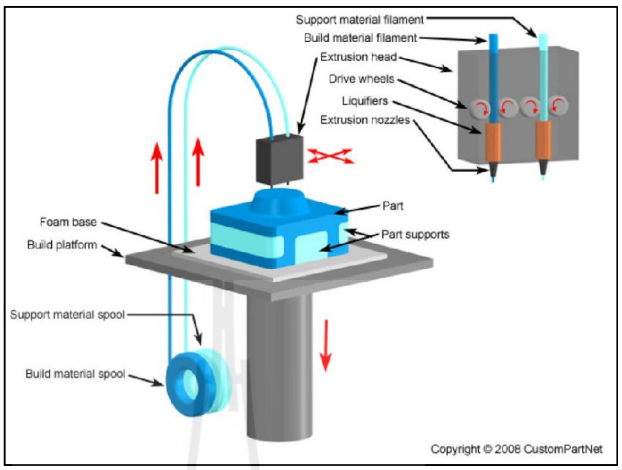
2.1.1.1 Laminated Object Manufacturing (LOM)



รูปที่ 2.1 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบLaminated Object Manufacturing (LOM) (วรวุฒิ et al., 2549)

หลักการทำงานของการสร้างต้นแบบรวดเร็วแบบ LOM จะใช้แสงเลเซอร์ยิงไปยังแผ่นวัสดุที่วางอยู่บนแท่นรองรับเพื่อตัดชิ้นงานตามเส้นโครงร่างที่ละชั้น โดยในแต่ละชั้นของแผ่นวัสดุจะมีความหนาตั้งแต่ 0.002-0.02 นิ้ว สำหรับเนื้อวัสดุที่ไม่ต้องการจะถูกตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมชิ้นเล็กๆเพื่อให้ง่ายต่อการแกะออกจากชิ้นงานโดยง่าย เมื่อเลเซอร์ตัดแผ่นวัสดุเสร็จในแต่ละชั้นจะมีลูกกลิ้งร้อนกลิ้งและกดทับแผ่นวัสดุเพื่อให้ความร้อนกับกาวที่อยู่ด้านล่างของแผ่นวัสดุ ทำให้แผ่นวัสดุถูกอัดติดกับชั้นด้านล่าง จากนั้นแท่นรองจะเลื่อนต่ำลง พร้อมกับแผ่นวัสดุสำหรับชั้นถัดไป จะถูกป้อนเข้ามารอสำหรับการตัด กระบวนการดังกล่าวจะถูกดำเนินไปจนชิ้นงานเสร็จ สำหรับเนื้อวัสดุที่นำมาใช้มีหลายแบบเช่น กระดาษ พลาสติก เป็นต้น

2.1.1.2 Fused Deposition Modeling (FDM)



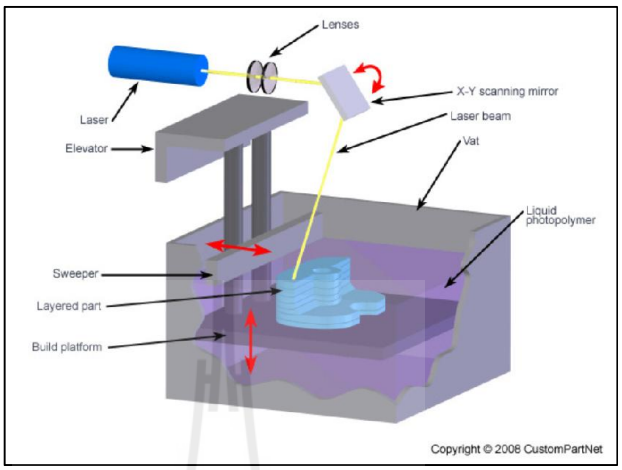
รูปที่ 2.2 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) (วรวุฒิ et al., 2549)

หลักการทำงานของเครื่อง FDM จะเริ่มจากเส้นวัสดุจะถูกทำให้หลอละลายและป้อนเข้ามายังหัวฉีดที่เคลื่อนที่ได้ในแนวระนาบ ทำหน้าที่ฉีดเนื้อวัสดุที่หลอมละลายลงมาบนแท่นรองรับชิ้นงานตามภาคตัดขวางของชิ้นงานทีละชั้น เมื่อทำเสร็จหนึ่งชั้นแท่นรองรับชิ้นงานจะเลื่อนต่ำลงสำหรับฉีดชั้นถัดไปในแต่ละชั้นจะมีความหนาตั้งแต่ 0.005-0.013 นิ้ว โดยเนื้อวัสดุที่นำมาใช้จะเป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทต่างๆเช่น ABS , PC เป็นต้น

2.1.2 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุต้นแบบของเหลว

ในการสร้างต้นแบบรวดเร็วแบบนี้จะใช้วัสดุตั้งต้นที่เป็นของเหลว มาทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง ด้วยการฉายแสงเลเซอร์หรือแสงอัลตราไวโอเลตลงไปทำปฏิกิริยากับเนื้อวัสดุเหลวที่มีความไวต่อแสงทำให้เกิดการแข็งตัวและเกิดรูปทรงชิ้นงานตามที่ต้องการซึ่งกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็วที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่

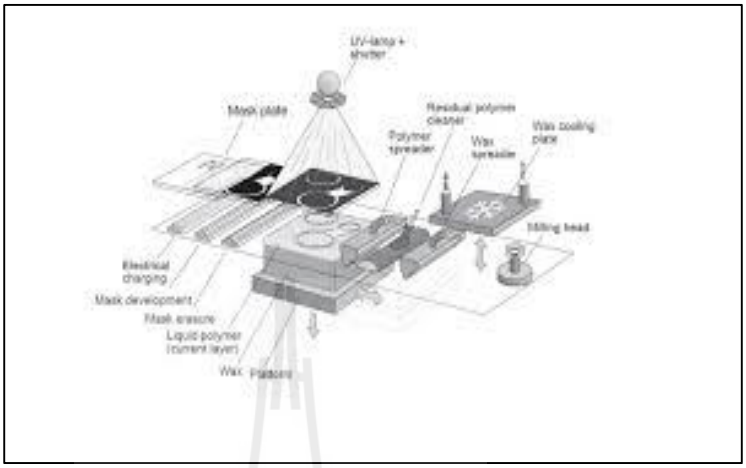
2.1.2.1 Stereolithography Apparatus (SLA)



รูปที่ 2.3 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Stereolithography Apparatus (SLA) (วรวุฒิ et al., 2549)

หลักการทำงานของวิธีนี้จะใช้การยิงแสงอัลตราไวโอเลตลงไปบนวัสดุพอลิเมอร์เหลวที่มีความไวต่อแสงสูง ทำให้เนื้อวัสดุเกิดการแข็งตัว ตามภาคตัดขวางของชิ้นงานทีละชั้น หลังจากเสร็จสิ้นทีละชั้นแล้วแท่นลองชิ้นงานจะเลื่อนต่ำลงเพื่อเตรียมพร้อมที่จะทำชั้นถัดไป จนกระทั่งได้ชิ้นงาสำเร็จ โดยในแต่ละชั้นจะมีความหนาประมาณ 0.003 นิ้ว

2.1.2.2 Solid Ground Curing (SGC)



รูปที่ 2.4 แสดงการกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Solid Ground Curing (SGC) (วรวุฒิ et al., 2549)

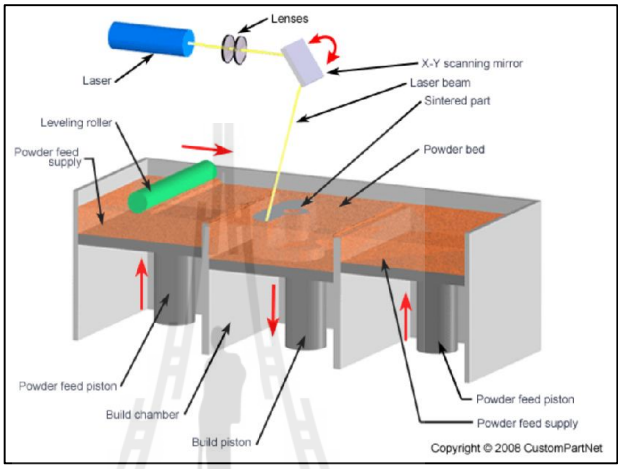
หลักการทำงานจะคล้ายๆกับเครื่องถ่ายเอกสาร จะชาร์จประจุไฟฟ้าลงบนแผ่นกระจกตามพื้นที่ภาคตัดขวางในส่วนที่ไม่ใช่เนื้อชิ้นงาน แล้วนำผงหมึกโรยบนแผ่นกนะจกให้ทั่ว ผงหมึกจะยึดติดกับกระจกในส่วนที่มีประจุไฟฟ้าทำให้แสงผ่านไม่ได้ ส่วนบริเวณที่เป็นเนื้อชิ้นงานจะไม่มีผงหมึกมาเกาะติดแสงจึงไม่สามารถผ่านได้ตามปกติ หลังจากนั้นนำแผ่นกระจกที่ได้ไปวางเหนือแท่นรองชิ้นงานที่มีพลลิเมอร์เหลวไวแสงวางอยู่ แล้วฉายแสงอัลตราไวโอเลตลงไปเนื้อพอลิเมอร์ที่โดนแสงจะแข็งตัว ส่วนเนื้อพอลิเมอร์ที่เหลือจะถูกตัดออกไปแล้วแทนที่ด้วยแวกซ์แล้วปาดให้เรียบ เพื่อใช้รองรับการทำงานในชั้นถัดไป กระบวนการดังกล่าวจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆจนได้ชิ้นงานสำเร็จ แล้วจึงนำไปล้างแวกซ์ออกก่อนนำไปใช้งาน

2.1.3 การสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวัสดุตั้งต้นแบบผง

การนำวัสดุตั้งต้นที่มีลักษณะแบบผงมาใช้ในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว สามารถทำได้จากการะบวนการเชื่อมหรือประสาน โดยอาศัยความร้อนจากแสงเลเซอร์ กาว หรือตัวประสานอื่นๆ เป็นตัว

ช่วยให้วัสดุที่เป็นผงยึดติดแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะทำให้เกิดชิ้นงานตามรูปร่างที่ต้องการซึ่งการสร้างต้นแบบรวดเร็วที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่

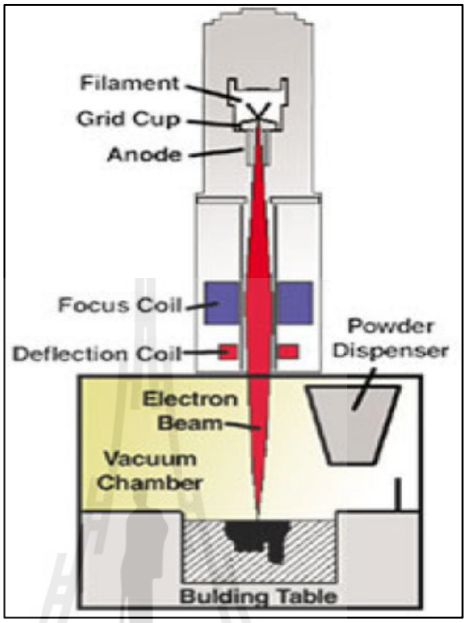
2.1.3.1 Selective Laser Sintering (SLS)



รูปที่ 2.5 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Selective Laser Sintering (SLS) (วรวุฒิ et al., 2549)

หลักการทำงานของกรรมวิธีนี้จะมีความคล้ายคลึงกับกรรมวิธี SLA มาก โดยจะใช้แสงเลเซอร์ยิงลงบนผงวัสดุตามแนวภาคตัดขวางของชิ้นงานทีละชั้น ซึ่งจะทำให้เนื้อวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงหลอมละลายยึดติดเป็นเนื้อเดียวกันตามรูปทรงที่ต้องการได้ ในแต่ละชั้นจะมีความหนาประมาณ 0.004 นิ้ว เมื่อทำเสร็จหนึ่งชั้นแท่นวางชิ้นงานจะเลื่อนลงและเนื้อวัสดุผงสำหรับชั้นถัดไปจะถูกป้อนเข้ามาด้วยลูกกลิ้ง กระบวนการดังกล่าวจะดำเนินการไปเรื่อยๆจรชิ้นงานสำเร็จ ส่วนวัสดุที่นำมาใช้มีทั้งที่เป็นพลาสติกและวัสดุที่เป็นคอมโพสิตต่างๆ

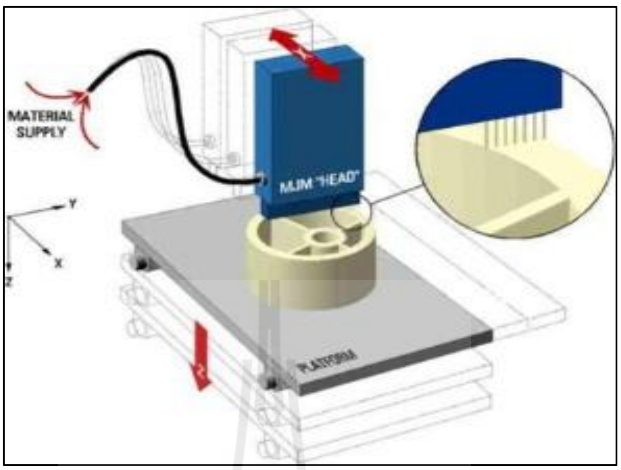
2.1.3.2 Electron Beam Melting (EBM)



รูปที่ 2.6 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Electron Beam Melting (EBM) (วรวุฒิ et al., 2549)

หลักการทำงานของกรรมวิธีนี้จะใช้ลำแสงอิเล็คตรอนที่มีพลังงานสูง ยิงไปกระทบบนผงโลหะทีละชั้นตามภาคตัดขวางของชิ้นงานไปเรื่อยๆจนนกระทั่งได้ชิ้นงานสำเร็จชิ้นงานที่ได้จากกรรมวิธี EBM จะมีความแข็งแรงสูง เพราะโลหะเกิดการหลอมละลายจนกลายเป็นเนื้อเดียวกันด้วยความร้อนสูง สามารถนำไปใช้ในการทดสอบหรือใช้งานจริงได้วัสดุที่นำมาใช้จะเป็นผงโลหะ เช่น ผงอลูมิเนียม ผงไททาเนียม เป็นต้น

2.1.3.3 Three-Dimensional Printing (3DP)



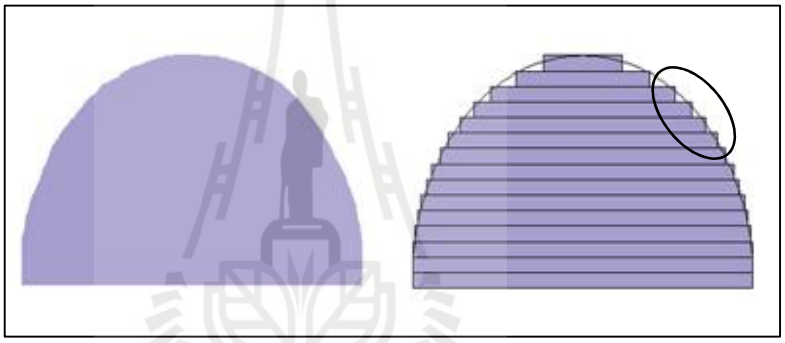
รูปที่ 2.7 แสดงกรรมวิธีการสร้างชิ้นงานแบบ Three-Dimensional Printing (3DP) (วรวุฒิ et al., 2549)

หลักการทำงานของกรรมวิธี 3D Printing จะใช้กาวเป็นตัวประสานให้เนื้อวัสดุผงยึดติดกัน โดยจะมีหัวพิมพ์แบบอิงค์เจต เคลื่อนที่ตามแนวระนาบเพื่อฉีดกาวลงบนพื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นงานที่ละชั้น โดยแต่ละชั้นจะมีความหนาประมาณ 0.002 นิ้ว เมื่อฉีดกาวเสร็จในแต่ละชั้นแล้ว แท่นรองรับชิ้นงานจะเลื่อนลง และลูกกลิ้งจะเลื่อนเนื้อวัสดุเข้ามารอสำหรับเตรียมทำชั้นต่อไป กรรมวิธี 3D Printing เป็นกรรมวิธีการสร้างต้นแบบได้รวดเร็วกว่าวิธีอื่น โดยในหนึ่งนาทีจะทำได้ 2-4 ชั้น วัสดุที่นำมาใช้มีทั้งที่เป็นผงแป้ง ผงเซรามิกและผงโลหะ

2.2 ทิศทางการวางชิ้นงาน

การกำหนดทิศทางการวางชิ้นงานถือว่ามีความสำคัญต่อพื้นผิวของชิ้นงานต้นแบบที่จะทำการสร้างขึ้น เนื่องจากการสร้างชิ้นงานต้นแบบจะเป็นการสร้างเป็นชั้นๆต่อกัน ซึ่งเมื่อผิวที่มีลักษณะเป็นผิวโค้งก็จะเกิดลักษณะเหมือนขั้นบันได ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ที่บริเวณขอบชิ้นงาน ดังนั้นบริเวณผิวที่

ต้องการความเรียบ ก็ควรที่จะกำหนดให้วางอยู่ในระนาบเดียวกับทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดลักษณะขั้นบันได นอกจากนี้การกำหนดทิศทางการวางชิ้นงานยังส่งผลกระทบต่อเวลาในกาสร้างชิ้นงานต้นแบบ เนื่องจากทิศทางในการวางชิ้นงานที่เหมาะสมจะช่วยลดจำนวนชั้นของแบบจำลองที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบส่งผลให้เวลาในการสร้างชิ้นงานต้นแบบลดลง ซึ่งการวางแผนการวางทิศทางของต้นแบบที่เหมาะสมยังจะช่วยลดปริมาณวัตถุดิบในการสร้างชิ้นงานรวมถึงปริมาณวัตถุดิบในการสร้างฐานรองรับชิ้นงาน (เบ้าทอง, 2555)

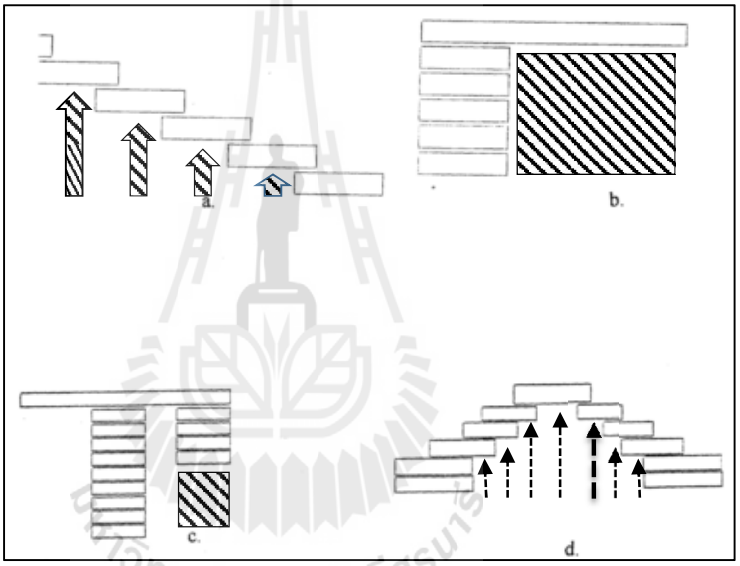


รูปที่ 2.8 แสดงขอบชิ้นงานที่มีลักษณะผิวเป็นขั้นบันได

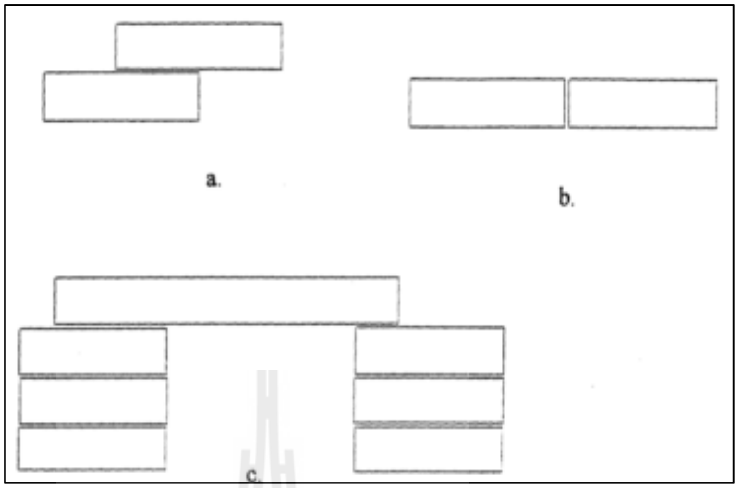
2.3 การสร้างฐานรองชิ้นงาน

ฐานรองชิ้นงานเป็นส่วนที่ถูกเพิ่มเข้าไปเป็นเนื้อวัสดุ เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานต้นแบบบิดงอ เกิดการแอ่น หรือช่วยค้ำยันในส่วนที่ห้อยย้อย หรือยื่นออกมาจากชิ้นงาน นอกจากจะช่วยป้องกันการเสียรูปของตัวชิ้นงานต้นแบบแล้ว ฐานรองชิ้นงานยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ชิ้นงานต้นแบบ ช่วยยึดติดชิ้นงานต้นแบบไม่ให้เคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งลักษณะของฐานรองชิ้นงานจะแปรผันตามลักษณะของชิ้นงานต้นแบบ และลักษณะทิศทางการวางวัตถุก่อนที่จะทำการสร้างชิ้นงานโดยการกำหนดทิศทางการวางของวัตถุซึ่งบางครั้งอาจทำให้ไม่ต้องสร้างฐานรองชิ้นงาน (Cho, Lee, Choi, & Song, 2000) ซึ่งฐานรองชิ้นงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทแรกจะเป็นประเภทที่ต้องการฐานรอง

ชิ้นงาน ซึ่งเทคโนโลยีที่การสร้างต้นแบบรวดเร็วที่ต้องการฐานรองชิ้นงานในการสร้างต้นแบบคือ เทคโนโลยี FDM และ SLA ส่วนประเภทที่ 2 เป็นประเภทที่ไม่ต้องการฐานรองชิ้นงานในขณะสร้างต้นแบบ ซึ่งประเภทนี้จะเป็นประเภทที่สามารถสร้างฐานรองชิ้นงานได้ด้วยตัวเองในขณะที่สร้างต้นแบบ (Huang et al., 2008) โดยในรูปภาพที่ 2.9 จะแสดงตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานที่ต้องการฐานรองรับชิ้นงาน และรูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ไม่ต้องการฐานรองชิ้นงาน



รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานที่ต้องการฐานรองชิ้นงาน (Kumar Chalasani et al., 1995)



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างรูปแบบชิ้นงานที่ไม่ต้องการฐานรองชิ้นงาน (Kumar Chalasani et al., 1995)

2.4 โปรแกรม Visual basic

ภาษา BASIC ถูกสร้างในปี ค.ศ. 1963 โดย Hohn Keneny และ Thomas Kurtz ที่วิทยาลัย Dartmouth ในเบื้องต้นพวกเขามีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาภาษา Basic ขึ้น เพื่อใช้ในการสอนแนวในการเขียนโปรแกรม โดยเน้นที่รูปแบบง่าย ๆ เพื่อสะดวกในการใช้งาน ในปี 1970 Microsoft ได้เริ่มผลิตตัวแปรภาษา Basic ใน Rom ขึ้น เช่น Chip Radio Sheek TRS-80 เป็นต้น ต่อมาได้พัฒนาเป็น GWBasic ซึ่ง เป็น Interpreter ภาษาที่ใช้กับ MS-Dos และในปี 1982 Microsoft QuickBaic ได้รับการพัฒนาขั้นโดยเพิ่มความสามารถในการรันโปรแกรมให้เป็น Executed Program รวมทั้งทำให้ Basicมีความเป็น "Structured Programming" มากขึ้น โดยการตัด Line Number ทิ้งไป เพื่อลบข้อกล่าวหาว่าเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีโครงสร้างในลักษณะSpaghetti Code มาใช้รูปแบบของ Subprogram และ User Defined รวมทั้งการใช้ Structured Data Type และการพัฒนาการใช้งานด้านกราฟฟิกให้มีการใช้งานในระดับที่สูงขึ้น รวมทั้งมีการใช้เสียงประกอบได้เหมือนกับภาษาคอมพิวเตอร์อื่นๆ เช่น Turbo C และ Turbo Pascal เป็นต้น Visual Basicเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานพัฒนาโปรแกรมบนระบบ Windows เนื่องจาก เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้เทคโนโลยีในลักษณะ Visualize

นั่นก็คือจะสะดวกในการหยิบเครื่องไม้เครื่องมือที่โปรแกรมได้จัดเตรียมไว้ให้สำหรับออกแบบหน้าจอและสิ่งต่าง ๆ สำหรับในการเขียนโปรแกรมให้เรียบร้อย ซึ่งแตกต่างจากสมัยก่อนเวลาจะออกแบบหน้าจอก็ยังคงต้องมานั่งเขียน Source Code ให้ลำบาก Visual Basicเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมขึ้นใช้งาน ที่ใช้ได้ตั้งแต่ระดับต้น เพื่อใช้สร้างโปรแกรมง่าย ๆ บน Windows หรือโปรแกรมเมอร์ระดับกลาง ที่จะเรียกใช้ฟังชั่นต่าง ๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนโปรแกรมเมอร์ระดับมืออาชีพที่จะพัฒนาโปรแกรมในระดับสูงโดยการใช้ Object Linking and Embedding (OLE) และ Application Programming Interface (API) ของระบบ windows มาประกอบการเขียนโปรแกรม

ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic

สาเหตุที่ Visual Basic เป็นภาษาที่เหมาะสำหรับการเรียนรู้ในการเขียนโปรแกรมนั้นเนื่องจาก Visual Basic มีข้อดีหลายประการคือ

1. ง่ายต่อการเรียนรู้เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น ทั้งในเรื่องไวยากรณ์ของภาษาเองและเครื่องมือการใช้งาน

2. ความนิยมของตัวภาษา โดยอาจกล่าวได้ว่าภาษา Basic นั้นเป็นภาษาที่คนเรียนรู้และใช้งานมากที่สุดในประวัติศาสตร์ของคอมพิวเตอร์

3. การพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพในด้านของตัวภาษาและความเร็วของการประมวลผล และในเรื่องของความสามารถใหม่ๆ เช่น การติดต่อกับระบบฐานข้อมูล การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

4. ผู้พัฒนาสำคัญของ Visual Basic คือบริษัทไมโครซอฟท์ซึ่งจัดว่าเป็นยักษ์ใหญ่ของวงการคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน เราจึงสามารถมั่นใจได้ว่า Visual Basic จะยังมีการพัฒนา ปรับปรุงและคงอยู่ไปอีกนาน

2.5 โปรแกรม Solid works

SolidWorks พัฒนาขึ้นในปี 1995 โดยบริษัท Dassault System ในฝรั่งเศสเป็นซอฟต์แวร์เพื่อให้นักออกแบบใช้ เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองใน

Computer ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล CAD (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบงานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) เพื่อนำไปสร้างเป็น 2D Standard Engineering (CADD = Computer Aided Design and Drafting)โปรแกรม Solid work เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงมาก คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น solid หรือ surface ก็มีเครื่องที่รองรับเป็นอย่างดี เมื่อสร้างชิ้นงานเสร็จเรียบร้อย สามารถที่จะประกอบชิ้นงานได้ใน Mode ของชุดคำสั่ง Assembly รวมทั้งผู้ต้องการ Drawing ของชิ้นงาน ก็เพียงลากชิ้นงานมาว่างในใบงานแล้วขนาดจะมองเห็นได้ว่าผู้ใช้งานสามารถที่จะประหยัดเวลาในการทำงานและสนุกกับการทำงานอีกด้วย

ประสิทธิภาพการทำงาน

ประสิทธิภาพของSolidWorksเป็นการเจาะลึกให้นักออกแบบสามารถสร้างชิ้นงานจำลองทางด้าน Mechanical Engineering Design ได้อย่างสมบูรณ์แบบ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรม และการตรวจสอบความผิดพลาดของ 3D Solid Models เพื่อลดต้นทุนในการผลิตและลดระยะเวลาการทำงานในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในบริษัทและองค์กร

ลักษณะการทำงาน

SolidWorks แบ่งหมวดการทำงานหลักออกเป็น 3 หมวดคือ Part, Assembly และ Drawing โดยรูปแบบการทำงานทั้งสามหมวดมีลักษณะการใช้งานดังนี้

Part Mode เป็นหมวดการทำงานเริ่มต้นก่อนที่จะก้าวสู่การทำงานในหมวด Assembly และ Drawing ในขั้นนี้จะมีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การใช้ 2D Sketch เพื่อนำไปสู่การสร้างเป็น 3D Feature และมีเงื่อนไขเป็น Feature-Based Modeling และ Parametric โดยมีการอ้างอิงจาก Solid Mode

1. Feature-Based Modeling คือ การออกแบบซอฟต์แวร์ให้สามารถทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของ Solid Model ที่สร้างขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงและแก้ไข Model ในลำดับการทำงานแต่ละขั้นได้ง่ายและรวดเร็ว

2. Parametric Model คือการออกแบบซอฟต์แวร์ซึ่งใช้เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขขนาดรูปร่าง ทางเรขาคณิตของ Model ที่สร้างขึ้นมา

3. Solid Model คือแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ที่สามารถแสดงค่าต่างๆ เช่น Density, Material, Mass,Weightเ ป็นต้น และยังสามารถมองเห็น 3DModel ได้ทุกมุมมอง

Assembly Mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อนำ Part Model เข้าไปประกอบเป็นเครื่องจักรกลหรือกลไกต่างๆ และมีเงื่อนไขเป็น Feature Base และ Parametric เช่นเดียวกับ Part Model โดย Part Model

และ Assembly จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เมื่อทำการแก้ไขในหมวดใด อีก หรือมีการประกอบที่ซ้อนหรือทับกันหมวดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการแก้ไขไปด้วย การทำงานใน Assembly สามารถช่วยให้นักออกแบบหรือวิศวกรสามารถตรวจสอบความผิดพลาดในการสร้าง Part ได้โดยการใช้คำสั่งต่างๆ เช่น คำสั่ง Interference Detection เพื่อตรวจสอบการขัดกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ โดยใช้คำสั่ง Move Component เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกลไก คำสั่ง Simulation เพื่อจำลองต้นกำลังในการทำงานจริงของเครื่องจักร หรือหากชิ้นงานจำลองที่ออกแบบมีข้อผิดพลาด ก็สามารถแก้ไข Part ใน Assembly ได้เลยทำให้การออกแบบเป็นเรื่องง่ายและผู้ออกแบบจะสนุกกับการทำงานDesignการทำงานใน Assembly Mode มีลักษณะการทำงาน 2 กรณีได้แก่

Bottom-Up Assembly คือ การนำ 3D Models ต่างๆที่สร้างเสร็จแล้วใน Part Mode ไปวางในหน้าต่าง Assembly เพื่อทำการประกอบ โดยการใช้คำสั่ง Mate หรือ Smart Mate ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสำหรับผู้ใช้ในระดับเริ่มต้นหรือขั้น Basic

Top-Down Assembly คือการสร้าง 2D Sketch เป็นโครงร่างระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ระหว่าง Part หรือการสร้าง Part ใน Assembly โดยให้มีขนาดและรูปร่างที่มีการอ้างอิงกับ Part อื่น ๆ ทั้งในส่วน Sketch และ Featureวิธีนี้เหมาะกับผู้ใช้ในระดับAdvance

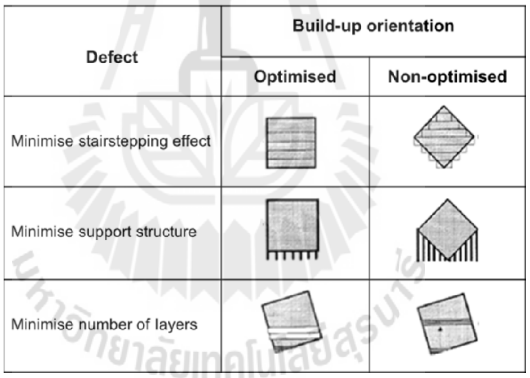
Drawing Mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อสร้าง 2D Standard Engineering โดยในหมวดนี้เป็นการสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดตามระบบมาตรฐานต่าง ๆ โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. Generative Draftingซึ่งเป็นการสร้าง2D Sketch และ Interaction Draftingซึ่งเป็นการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวางใน Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Draftingจะมีลักษณะเป็น Parametric และ Relation เช่นกัน แต่จะไม่สามารถใช้คำสั่งใน Drawing Commands ได้ เพราะคำสั่งต่าง ๆ จะต้องอ้างอิงกับ 3D Model

2. Interaction Drafting คือการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวางDrawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting การทำงานในหมวดนี้สามารถใช้คำสั่งจาก Annotation Command และ Drawing Command เพื่อสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดได้โดยอัตโนมัติ

2.6 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การจัดวางวัตถุในทิศทางต่างๆ เป็นปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนชั้นในการสร้างชิ้นงาน ลักษณะของฐานรองชิ้นงาน ลักษณะผิวแบบขั้นบันได ระยะเวลาการสร้างชิ้นงาน ปริมาณวัตถุตั้งต้นที่ใช้ และต้นทุนในการสร้างชิ้นงาน (Mishra & Thirumavalavan, 2014; P. Pandey, Venkata Reddy, & Dhande, 2007; P. M. Pandey, 2010) ดังรูปที่ 2.11 แสดงผลกระทบของการวางวัตถุที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม โดยผลกระทบจากการวางวัตถุที่เหมาะสม คือ ทิศทางการวางวัตถุที่ไม่เกิดลักษณะแบบขั้นบันได มีปริมาณฐานรองชิ้นงานและมีจำนวนชั้นที่เหมาะสม ส่วนลักษณะที่ไม่เหมาะสมจะตรงข้ามกับที่กล่าวมาในข้างต้น คือ การที่ผิวชิ้นงานเกิดลักษณะของขั้นบันได มีปริมาณฐานรองชิ้นงานและมีจำนวนชิ้นที่มากเกินไป ซึ่งความไม่เหมาะสมดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อการสร้างชิ้นงานทั้งในด้านเวลาและต้นทุนที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน



รูปที่ 2.11 แสดงผลกระทบที่เกิดจากทิศทางการจัดทิศทางที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม (Hur & Lee, 1998)

แนวทางการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุในทิศทางที่เหมาะสมนั้นได้ถูกศึกษาจากนักวิจัยอย่างหลากหลายทั้งในการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางการขึ้นรูปชิ้นงานและการวิเคราะห์การสร้างฐานรองชิ้นงาน(Byun & Lee*, 2005; Chan & Tan, 2001; Hua, Leea, & Hurb, 2002; Huang et al., 2008; Karim et al., 2006; Kumar Chalasani et al., 1995; Ziemian & Crawn III, 2001) โดยการวิเคราะห์ทิศทางการ

ขึ้นรูปชิ้นงานได้นำกล่องขอบเขต (Bounding Box) เป็นตัวกำหนดระนาบการฉายภาพชิ้นงาน โดยชิ้นงานจะถูกหมุนรอบแกนใดๆ เพื่อระบุภาพฉายในระนาบของกล่องขอบเขต มุมของแกนหมุนที่ทำให้เกิดภาพฉายที่มีพื้นที่น้อยสุดจะเป็นทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงาน(Chan & Tan, 2001) การวิเคราะห์แนวทางการจัดวางทิศทางวัตถุที่เหมาะสมต่อการสร้างฐานรองชิ้นงานภายนอก ในกระบวนการขึ้นรูปแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม Artificial Neural Network (ANN) ในการวิเคราะห์ทิศทางที่มีปริมาตรของฐานรองชิ้นงานน้อยที่สุด ถ้าหากมีปริมาตรของฐานรองชิ้นงานเท่ากันก็จะพิจารณาเลือกทิศทางที่จำนวนของฐานรองชิ้นงานที่น้อยที่สุด(Karim et al., 2006) การกำหนดทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงานโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความเรียบของพื้นผิวชิ้นงาน (R_a) ซึ่งเกิดจากลักษณะผิวแบบขั้นบันได หลักเกณฑ์ในการพิจารณา คือ คุณภาพของพื้นผิวและระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน โดยลักษณะความเรียบของผิวเอียงและพื้นที่รอยต่อของฐานรองชิ้นงานจะเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของพื้นผิว ส่วนระยะเวลาในการสร้าชิ้นงานจะพิจารณาจากปริมาตรของตัวชิ้นงาน(Byun & Lee*, 2005) นอกจากนี้การกำหนดทิศทางการสร้างชิ้นงานจะต้องพิจารณาจาก 2 ส่วน คือ พิจารณาที่กระบวนการสร้างชิ้นงานและคุณสมบัติของเครื่องสร้างชิ้นงานร่วมกัน(Hua et al., 2002)

การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างและการสร้างฐานรองชิ้นงานนั้นก็จะประกอบไปด้วยหลากหลายแนวทาง ทั้งการใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์มาช่วยในการตัดสินใจเลือกฐานรองชิ้นงาน โดยคำนึงถึงคุณภาพของชิ้นงานที่มีความแข็งแรง ระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานสั้น ขนาดและลักษณะผิวชิ้นงานถูกต้องและต้นทุนในการสร้างชิ้นงานต่ำ(Ziemian & Crawn III, 2001) โดยการวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของฐานรองชิ้นงานนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานและทิศทางของการขึ้นรูปชิ้นงาน(Kumar Chalasani et al., 1995) แนวคิดที่จะช่วยลดปริมาณวัตถุตั้งต้นที่ใช้สร้างฐานรองชิ้นงาน ด้วยการปรับปรุงลักษณะฐานรองชิ้นงานให้มีลักษณะเป็นผิวเอียง โดยมีการคำนวณทั้งทิศทางของการสร้างชิ้นงานรวมถึงคำนวณมุมที่ฐานรองชิ้นงานจะสามารถรับน้ำหนักของชิ้นงานได้อย่างมั่นคง (Huang et al., 2008)

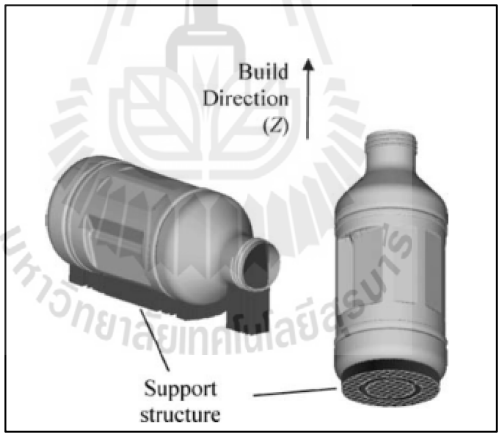
เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid prototype technology) ถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากในอดีตจนถึงปัจจุบันดังแสดงในรูปที่ 2.12

Year of inception	Technology
1770	Mechanization
1946	First computer
1952	First Numerical Control (NC) machine tool
1960	First commercial laser
1961	First commercial Robot
1963	First interactive graphics system (early version of Computer Aided Design)
1988	First commercial Rapid Prototyping system

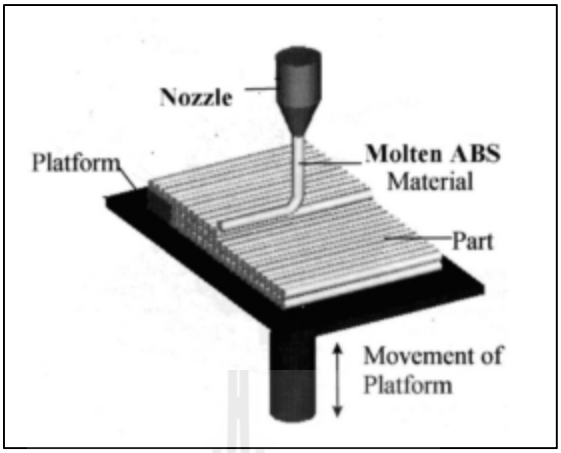
รูปที่ 2.12 แสดงการพัฒนาของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (P. M. Pandey, 2010)

ซึ่งในอดีตในการออกแบบและสร้างชิ้นงานเป็นไปด้วยความยากลำบากและใช้ระยะเวลานานในการสร้างเนื่องการในการคิด วิเคราะห์และสร้างชิ้นงานนั้นต้องอาศัยจากความรู้ความสามารถ และประสบการณ์จากผู้ชำนาญเท่านั้น เทคโนโลยีดังกล่าวจึงไม่ได้รับความนิยมที่มากพอ จนได้เริ่มมีการพัฒนาขึ้นมาเรื่อยๆ จนในปี 1980 ได้มีการนำเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้าไปช่วยในการสร้างชิ้นงาน จึงทำให้การดำเนินการสร้างเป็นไปด้วยความสะดวกมากขึ้นและลดระยะเวลาในการสร้างชิ้นงาน ลดแรงงาน ลดความเสียหาย (P. M. Pandey, 2010) จนเป็นที่รู้จักกันในปัจจุบันเพิ่มมากขึ้น ในชื่อของการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ อย่างรวดเร็วโดยตรงจาก ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design) และกำลังได้รับความสนใจในทุกภาคส่วน ทั้งทางการแพทย์ การศึกษา การวิจัย และที่กำลังแพร่หลายและมีความสำคัญกับ การออกแบบ ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถช่วยลดเวลาในการส่งสินค้าออกสู่ท้องตลาด ช่วยลดต้นทุน เพิ่มความเข้าใจใจตัวผลิตภัณฑ์หรือสินค้าระหว่างผู้ผลิตกับผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น ซึ่งภาคอุตสาหกรรมที่ได้รับความนิยมและประสบผลสำเร็จในการใช้เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วช่วยในการผลิต เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องประดับ การทำเหรียญ เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร เป็นต้น (Yan & Gu, 1996) ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการนำเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วเข้ามาช่วยในการสร้างชิ้นงาน ซึ่งจะสนใจในส่วนของเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วประเภทที่ต้องการฐานรองชิ้นงาน (Support structure) ซึ่งการที่จะทราบว่าการชิ้นงานจะมีการสร้างฐานรองชิ้นงานหรือไม่นั้นหรือไม่นั้น เป็นผลมาจากลักษณะ

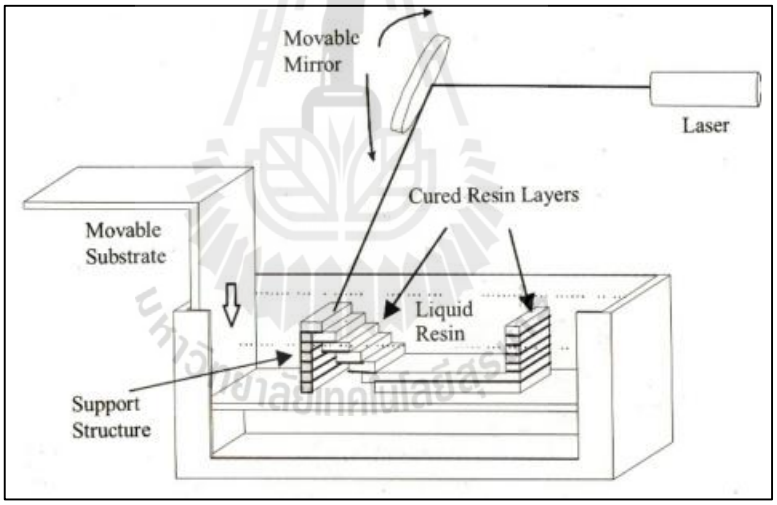
ทิศทางของการวางวัตถุก่อนการขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งลักษณะทิศทางการวางวัตถุก่อนการขึ้นรูปมีผลทั้งกับการวางแผนการสร้างฐานรองชิ้นงานและยังมีผลต่อการความเรียบของชิ้นงานด้วย ซึ่งเทคโนโลยีที่ต้องการฐานรองชิ้นงานจะประกอบไปด้วย 2 ประเภทคือ Fused Deposition Modeling (FDM) และ Stereolithography Apparatus (SLA) (Cho et al., 2000) ซึ่งรูปแบบกระบวนการสร้างชิ้นงานของทั้ง 2 ประเภทนี้จะมีความแตกต่างกัน โดยการสร้างชิ้นงานแบบ FDM จะใช้เส้นวัสดุที่เป็นของแข็ง มาทำให้หลอมละลายและป้อนเข้ามายังหัวฉีดที่เคลื่อนที่ในแนวระนาบ ฉีดลงมายังแท่นรองรับชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ส่วน SLA จะใช้วัสดุที่เป็นของเหลวโดยจะใช้แสงเลเซอร์ตกกระทบมายังของเหลว ซึ่งเป็นของเหลวที่ไวต่อแสงทำให้ของเหลวแข็งและยึดติดกันเป็นรูปร่างบนฐานรองรับชิ้นงานที่ละชั้นจนได้ชิ้นงานสำเร็จ ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะทิศทางการวางวัตถุก่อนการสร้างชิ้นงาน (Giannatsis & Dedoussis, 2007)



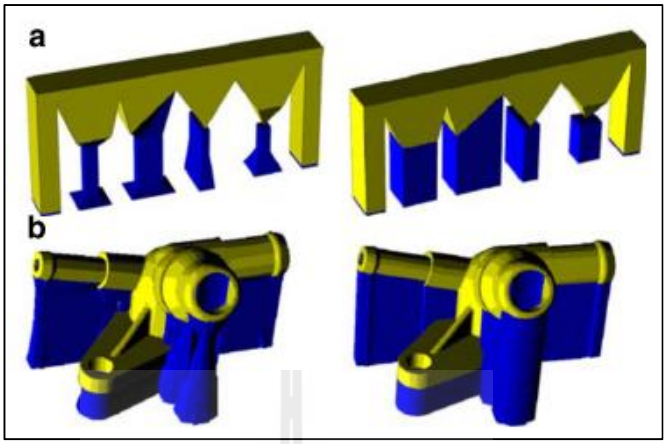
รูปที่ 2.14 แสดงการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ FDM (P. M. Pandey, 2010)



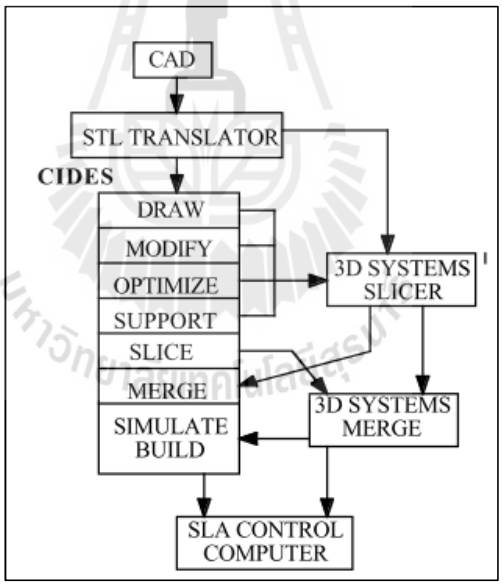
รูปที่ 2.15 แสดงการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ SLA

(Kirschman, Jara-Almonte, Bagchi, Dooley, & Ogale, 1991)

ซึ่งการสร้างฐานรองชิ้นงานโดยใช้กรรมวิธีการสร้างต้นแบบ แบบ Fused Deposition Modeling (FDM) และ Stereolithography Apparatus (SLA) ซึ่งได้มีการคิดค้น ทดลอง และประยุกต์ การสร้างฐานรองชิ้นงานด้วยกรรมวิธีทั้งสองนี้หลากหลาย โดย (Huang et al., 2008) , (Kumar Chalasani et al., 1995) และ (Ziemian & Crawn III, 2001) จะสนใจในการสร้างฐานรองชิ้นงานโดยกรรมวิธีแบบ FDM ซึ่ง (Huang et al., 2008) จำทำการปรับปรุงการสร้างฐานรองชิ้นงานจากที่มีลักษณะเป็นผิวตรงให้มีลักษณะเป็นผิวเอียง โดยกรรมวิธีการคำนวณความสัมพันธ์ของมุมและด้านเพื่อรองรับชิ้นงานได้อย่างเหมาะสม เพื่อลดวัสดุที่นำมาสร้างฐานรองชิ้นงานโดยเป็นการลดค่าใช้จ่ายไปในตัวด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.16 ทางด้านของ (Kumar Chalasani et al., 1995) จะเป็นการแจกแจงแบ่งวิธีการสร้างฐานรองชิ้นงานเพื่อการแบ่งชิ้นงานอย่างรวดเร็ว โดยจะแบ่งออกเป็น 3 วิธีการคือ สร้างฐานรองชิ้นงานล้อมรอบชิ้นงานทั้งหมด สร้างฐานรองชิ้นงานในส่วนของพื้นที่ที่ต้องการฐานรองชิ้นงานเท่านั้นและการสร้างฐานรองชิ้นงานที่เหมาะสมที่สุดสำหรับชิ้นงาน โดยทั้ง 3 วิธีก็จะมีวิธีที่แตกต่างกันและในส่วนของ(Ziemian & Crawn III, 2001)จะเป็นการเน้นในส่วนของกระบวนการในการตัดสินใจใจการสร้างฐานรองชิ้นงานให้มีความเหมาะสมกับกรรมวิธีในการสร้างชิ้นงานคือกรรมวิธี FDM เพื่อที่จะสามารถสร้างฐานรองชิ้นงานที่มีความเหมาะสมกับชิ้นงานและเหมาะสมกับกรรมวิธีการสร้างชิ้นงาน ซึ่งทางด้านกรรมวิธีกรรมวิธีของ Stereolithography Apparatus (SLA) ที่มีผู้สนใจในการสร้างชิ้นงานและฐานรองชิ้นงานด้วยกรรมวิธีนี้จะเป็นการสร้างรูปร่างชิ้นงานและฐานรองชิ้นงานความเกี่ยวเนื่องระหว่าง Computer Aided Design กับ SLA ภายใต้กลยุทธ์ของ Clemson Intelligent Design Environment for Stereolithography (CIDES). CIDES โดยทั้งสองจะช่วยประหยัดเวลาของนักออกแบบและผู้ผลิตได้รับการสนับสนุนที่ดีที่สุดโครงสร้างที่ไม่อยู่ภายใต้หรือมากกว่าการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

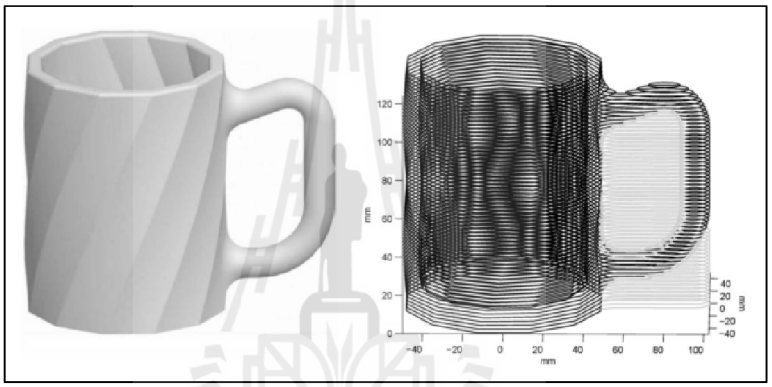


รูปที่ 2.16 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างฐานรองชิ้นงานที่มีผิวตรงและผิวเอียง(Huang et al., 2008)



รูปที่ 2.17 แสดงกลยุทธ์ของ CIDES(Kirschman et al., 1991)

นอกจากนั้นยังมี (Ossino, Barnett, Angeles, Pasini, & Sijpkes, 2009) ทำการออกแบบฐานรอบชิ้นงานของเหยือกใส่เบียร์โดยทำการพิจารณาการสร้างฐานรองชิ้นงาน 2 แบบคือ สร้างฐานรองชิ้นงานแบบครอบคลุมชิ้นงานทั้งหมด และสร้างฐานรองชิ้นงานเฉพาะจุดที่มีความซับซ้อนและเสี่ยงที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดการผิดรูป โดยข้อสรุปในการวิจัยคือ การสร้างฐานรองชิ้นงานแบบครอบคลุมชิ้นงานทั้งหมดสามารถทำได้ง่ายกว่าการสร้างฐานรองในส่วนที่มีความซับซ้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงการสร้าง ฐานรองชิ้นงานของ เหยือกเบียร์ (Ossino et al., 2009)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

บทนี้นำเสนอการดำเนินงานวิจัยการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM)

3.1 การดำเนินงานวิจัย

3.1.1. การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM) เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาทิศทางในการจัดวางวัตถุที่มีปริมาตรของฐานรองชิ้นงานต่ำที่สุดเพื่อใช้เป็นทิศทางในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในนการดำเนิงงานวิจัยประกอบไปด้วย

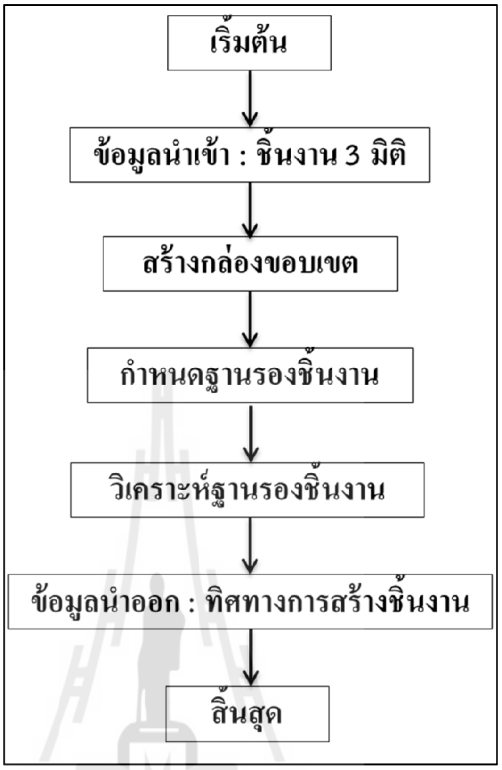
1. โปรแกรม SolidWorks 2011 ใช้เพื่อสร้างชิ้นงาน 3 มิติสำหรับการทดลอง
2. โปรแกรม Visual Basic ใช้เพื่อเขียนคำสั่งวิเคราะห์กล่องขอบเขตและฐานรองชิ้นงานร่วมกับโปรแกรม SolidWorks

3.2 การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM)

เป็นการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM) โดยใช้เทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยวิเคราะห์ทิศทางการวางวัตถุในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วที่มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานน้อยที่สุด โดยประยุกต์ใช้

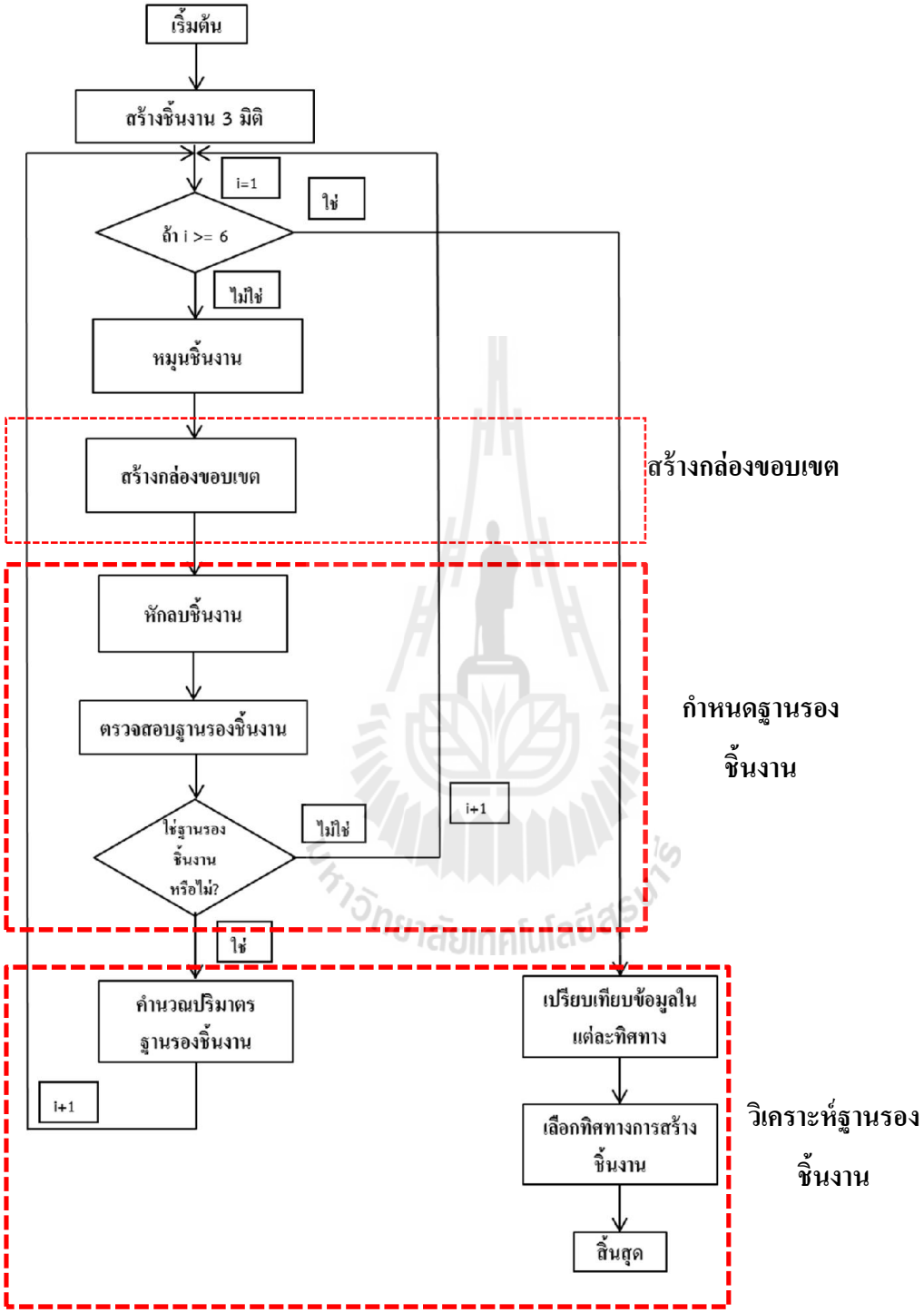
โปรแกรม Visual basic ร่วมกับโปรแกรม Solid works วิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วมีปัจจัยนำเข้า (Input) คือ ชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ (3D Model) และปัจจัยนำออก (Output) คือ ทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ส่งผลให้เกิดฐานรองชิ้นงานที่มีปริมาตร (Volume) น้อยที่สุด ดังรูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานในการทดลองทั้งหมด โดยเริ่มจากการนำเข้าชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ จากนั้นสร้างกล่องขอบเขต (Create Bounding Box) เพื่อครอบคลุมชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ ซึ่งนำไปสู่การกำหนดฐานรองชิ้นงาน (Determining Support Structure) โดยการหักลบกล่องขอบเขตด้วยชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติ และนำส่วนที่เหลือจากการหักลบกล่องขอบเขตด้วยชิ้นงาน 3 มิติ ไปทำการวิเคราะห์ฐานรองชิ้นงาน (Analyzing Support Structure) เพื่อหาทิศทางการจัดวางวัตถุที่มีความเหมาะสมในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุทั้งหมด 6 ทิศทาง ได้แก่ ทิศทาง x+, x-, y+, y-, z+ และ z- ตามลำดับ โดยในการวิเคราะห์ชิ้นงานนี้จะเลือกการสร้างชิ้นงานต้นแบบในทิศทางที่ก่อให้เกิดฐานรองชิ้นงานที่มีปริมาตรต่ำสุด ซึ่งในรูปที่ 3.2 จะแสดงกระบวนการวิเคราะห์โดยละเอียด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินทั้งหมด

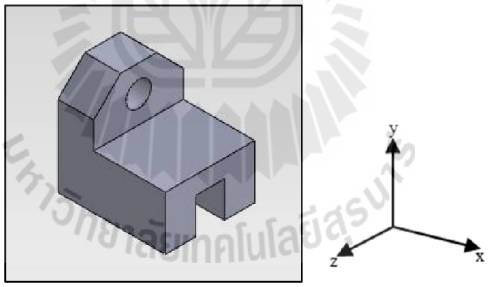
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานอย่างละเอียด

โดยในรูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานอย่างระเอียด โดยเริ่มจากการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ ทำการหมุนชิ้นงาน 3 มิติ จากนั้นสร้างกล่องขอบเขต และหักเนื้อกล่องขอบเขตออกด้วยชิ้นงาน 3 มิติ ทำการตรวจสอบฐานรองชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อกล่องกล่องขอบเขตออกด้วยชิ้นงาน 3 มิติ หากชิ้นงานที่ตรวจสอบเป็นฐานรองชิ้นงาน ทำการคำนวณปริมาตรฐานรองชิ้นงานและหมุนชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์ในทิศทางต่อไป หากชิ้นงานที่ตรวจสอบไม่เป็นฐานรองชิ้นงาน จะทำการหมุนชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์ในทิศทางถัดไปทันที ซึ่งถ้าหากมีการหมุนทิศทางการจัดวางวัตถุ 6 ทิศทางแล้ว (ค่า i = 6) จะนำปริมาตรที่ได้จากการวิเคราะห์ในแต่ละทิศทางทั้งหมด 6 ทิศทาง ทำการเปรียบเทียบเพื่อหาทิศทางที่มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานต่ำสุดเพื่อใช้เป็นทิศทางในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

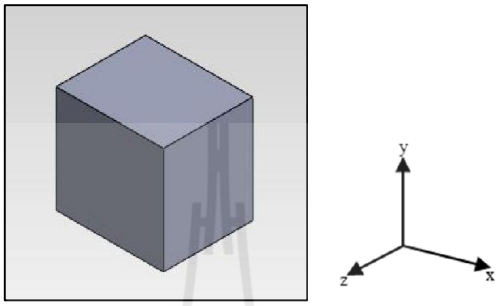
3.2.1 การสร้างชิ้นงานในรูปแบบ 3 มิติ (Creating 3D Model) ในขั้นตอนนี้เป็นการสร้างแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติ ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นชิ้นงานทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างชิ้นงาน 3 มิติที่ออกแบบจากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

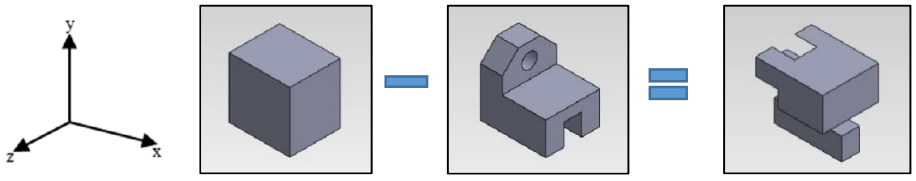
3.2.2 การสร้างกล่องขอบเขต (Creating Bounding Box) กล่องขอบเขตหมายถึง กล่องสี่เหลี่ยมที่มีขนาดเล็กที่สุด ที่สามารถครอบคลุมชิ้นงานได้โดยที่ไม่มีส่วนใดของชิ้นงานเกินขอบเขต เป็นการสร้างเพื่อครอบคลุมชิ้นงาน **3 มิติ และหักลบชิ้นงาน 3 มิติออกจากกล่องขอบเขต เพื่อทำการวิเคราะห์**

ฐานรองชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขตโดยลักษณะของกล่องขอบเขตแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างกล่องขอบเขตที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.2.3 การกำหนดฐานรองชิ้นงาน (Determining Support Structure) ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดฐานรองชิ้นงานโดยการหักลบ (Subtract) กล่องขอบเขตด้วยแบบจำลองชิ้นงานต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ แสดงดังสมการที่ 1



รูปที่ 3.5 แสดงการหักลบชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากการกล่องขอบเขต

$$\beta_{BB} - \beta_{3D} = \beta_{st} \quad (1)$$

เมื่อ β_{BB} กล่องขอบเขต

β_{3D} = แบบจำลองชิ้นงานต้นแบบ

β_{st} = ส่วนที่คงเหลือของกล่องขอบเขต

โดย β_{st} (P(xi,yi,zi)) คือจุดมุมที่จะถูกนำไปวิเคราะห์ฐานรองชิ้นงานต่อไป

เมื่อ xi = พิกัดตำแหน่งแกน x ของจุดที่ i

yi = พิกัดตำแหน่งแกน y ของจุดที่ i

zi = พิกัดตำแหน่งแกน z ของจุดที่ i

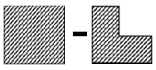
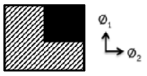
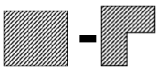
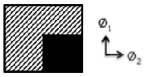
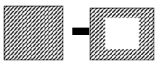
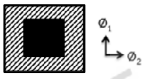
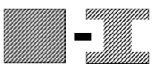
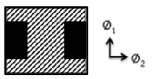
i = 1 , 2 . . . , n

n = จำนวนมุมทั้งหมดของ β_{st}

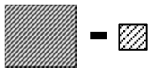
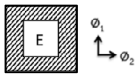
3.2.4 การวิเคราะห์ส่วนที่เป็นฐานรองชิ้นงาน (Analyzing Support Structure) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์จากส่วนที่คงเหลือของกล่องขอบเขต β_{BB} ที่ถูกลบด้วยชิ้นงาน β_{3D} จุดพิกัดของส่วนที่คงเหลือจะถูกนำมาวิเคราะห์ โดยสนใจทิศทางการจัดวางวัตถุที่ไม่มีสร้างฐานรองชิ้นงานหรือฐานรองชิ้นงานจะต้องมีปริมาตรที่ต่ำที่สุด

3.2.4.1 การตรวจสอบส่วนที่เป็นฐานรองชิ้นงาน (Checking Support Area) ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบระนาบของชิ้นส่วนที่นำเข้ามาตรวจสอบ และนำค่าระนาบที่ได้จากการตรวจสอบเปรียบเทียบกับค่าระนาบของกล่องขอบเขต โดยตรวจสอบตามเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 3.2 เพื่อตรวจสอบความเป็นฐานรองชิ้นงานต่อไป

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการตรวจสอบลักษณะพื้นที่ที่เป็นฐานรองชิ้นงาน

การหักลบชิ้นงาน	กรณีการตรวจสอบ	เงื่อนไขการตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	รูปร่างฐานรองชิ้นงาน
		If $Max_{Ø1}\{\beta_{st}\} = Max_{Ø1}\{\beta_{BB}\}$	β_{st} ไม่เป็นฐานรองชิ้นงาน	ไม่มี
		If $Min_{Ø1}\{\beta_{st}\} = Min_{Ø1}\{\beta_{BB}\}$	β_{st} เป็นฐานรองชิ้นงาน	
		If $Max_{Ø1}\{\beta_{st}\} <= Max_{Ø1}\{\beta_{BB}\}$ and $Max_{Ø2}\{\beta_{st}\} <= Max_{Ø2}\{\beta_{BB}\}$	β_{st} เป็นฐานรองชิ้นงาน	
		If $Max_{Ø1}\{\beta_{st}\}$ <=$Max_{Ø1}\{\beta_{BB}\}$ and $Min_{Ø1}\{\beta_{st}\} >= Min_{Ø1}\{\beta_{BB}\}$	β_{st} เป็นฐานรองชิ้นงาน	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

		If “E” is a space then $Max_{Ø1}\{E\} <= Max_{Ø1}\{\beta_{BB}\}$ and $Min_{Ø1}\{E\} >= Min_{Ø1}\{\beta_{BB}\}$	บริเวณใด้(E) เป็นฐานรอง ชิ้นงาน	

เมื่อ

= กล่องขอบเขต (β_{BB}) และ ชิ้นงาน (β_{3D})

= ส่วนที่เหลือจากกล่องขอบเขต (β_{st})

= ช่องว่าง (E)

Max Ø1 = จุดสูงสุดในแนวแกน Ø1

Max Ø2 = จุดสูงสุดในแนวแกน Ø2

Min Ø1 = จุดต่ำสุดในแนวแกน Ø1

Min Ø2 = จุดต่ำสุดในแนวแกน Ø2

Ø1 = x±, y±, z±

Ø2 = x±, y±, z±

ในตารางที่ 3.2 ชิ้นงานจะถูกหมุนไปในทุกทิศทางทั้งหมด 6 ทิศทาง คือ ทิศทาง x+, x-, y+, y-, z+ และ z- ตามลำดับก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ปริมาตรฐานรองชิ้นงาน จากการวิเคราะห์ทำให้สามารถระบุส่วนที่เป็นและไม่เป็นฐานรองชิ้นงานได้ โดยส่วนที่ถูกวิเคราะห์ว่าเป็นฐานรองชิ้นงานจะถูกนำไปคำนวณปริมาตร เพื่อเปรียบเทียบกับฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นกับการจัดวางวัตถุในทิศทางอื่น การจัดวางในทิศทางที่มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานต่ำที่สุดจะถูกเลือกเป็นทิศทางการจัดวางวัตถุ เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ โดยหากมีทิศทางการขึ้นรูปที่ก่อให้เกิดปริมาตรฐานรองชิ้นงานต่ำสุดเท่ากันจะพิจารณาจำนวนของฐานรองชิ้นงาน ทิศทางการขึ้นรูปที่มีจำนวนฐานรองชิ้นงานที่น้อยที่สุดจะเป็นทิศทางที่ถูกเลือกในการจัดวางชิ้นเพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบต่อไป

3.2.4.2 การคำนวณปริมาตรของฐานรองชิ้นงาน (Calculating volume support area) ขั้นตอนนี้คำนวณหาปริมาตรชิ้นส่วนที่ผ่านการตรวจสอบมาแล้วว่าชิ้นส่วนดังกล่าวเป็นฐานรองชิ้นงาน ซึ่งในการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ เป็นการคำนวณปริมาณของชิ้นงานออกมา ซึ่งข้อมูลจะถูกบันทึกไว้

3.2.4.3 การเปรียบเทียบข้อมูล (Comparison data each direction) ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำปริมาตรฐานรองชิ้นงานในแต่ละทิศทางเปรียบเทียบกัน เพื่อหาทิศทางที่มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานต่ำสุดเป็นทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

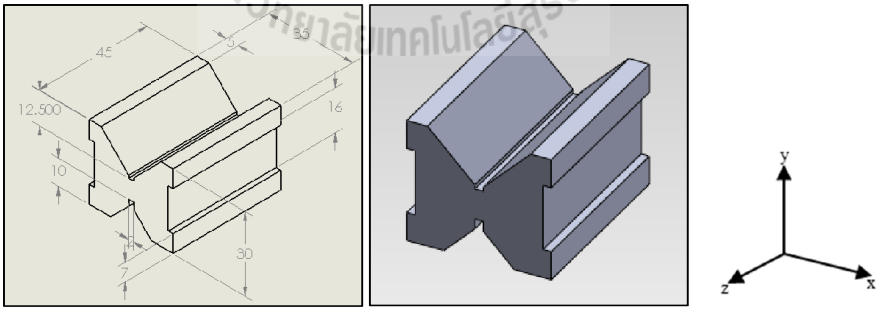
บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

บทนี้นำเสนอผลการดำเนินการวิจัย ของการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM) ซึ่งมีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM)

การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM) สามารถแสดงโดยผ่านกรณีศึกษา 2 กรณีดังต่อไปนี้

4.1.1 กรณีศึกษาที่ 1

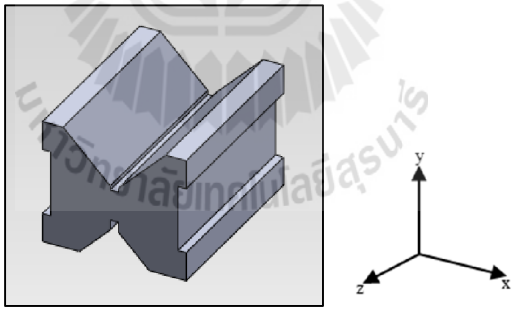


รูปที่ 4.1 แสดงชิ้นงาน 3 มิติ ในกรณีศึกษาที่ 1

ชิ้นงาน 3 มิติ (3D-CAD Model) ที่นำมาวิเคราะห์การจัดวางวัตถุแสดงในรูปที่ 4.1 มีขนาดเท่ากับ 35x45x30 mm ปริมาตร $8.11x10^4$ mm^3 โดยมีขนาดกล่องขอบเขตเท่ากับ 35x45x30 mm ปริมาตร $4.73x10^4$ mm^3 เมื่อทำการหักเนื้อชิ้นงาน (β_{3D}) ออกจากกล่องขอบเขต (β_{BB}) จะเหลือชิ้นส่วนภายหลังจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขตจำนวน 3 ชิ้น ซึ่งมีปริมาตรรวมของของส่วนที่เหลือ (β_{st}) เท่ากับ $1.34x10^4$ mm^3 ซึ่งลักษณะฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันในแต่ละทิศทางการจัดวางชิ้นงาน ซึ่งจะประกอบไปด้วย 6 ทิศทางคือ x+, x-, y+, y-, z+ และ z- ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

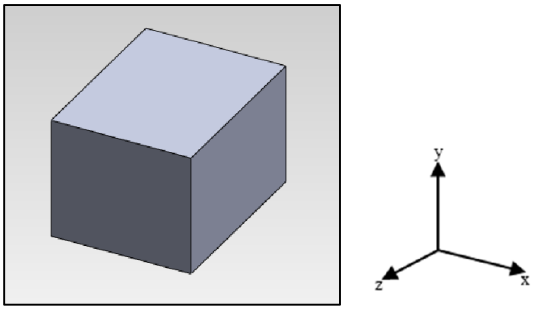
การจัดวางชิ้นงานใน ทิศทาง y+ และ y- (แสดงวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวก ค)

สร้างแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติ เพื่อใช้เป็นชิ้นงานทดลอง แสดงในรูปที่ 4.2



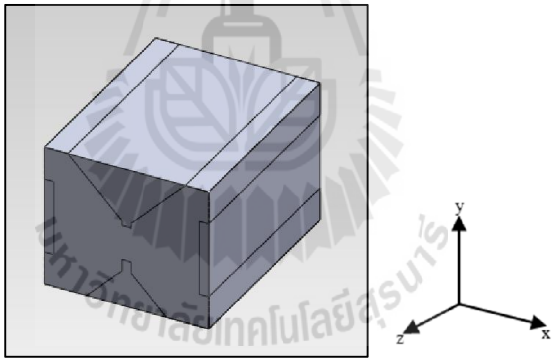
รูปที่ 4.2 แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+ และ y-

สร้างกล่องขอบเขตครอบคลุมชิ้นงาน 3 มิติ (แสดงคำสั่งการสร้างในภาคผนวก ข) เพื่อเตรียมหักลบด้วยชิ้นงาน 3 มิติออกจากกล่องขอบเขต เพื่อทำการวิเคราะห์ฐานรองชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขตโดยลักษณะของกล่องขอบเขตแสดงดังรูปที่ 4.3

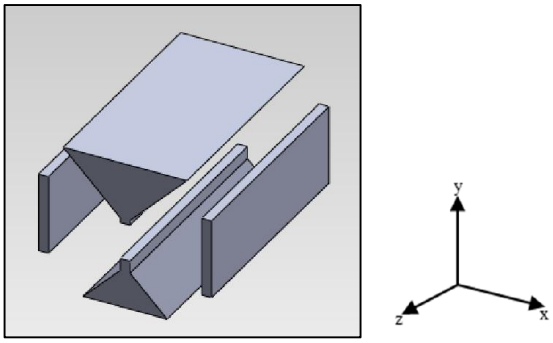


รูปที่ 4.3 แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ

การกำหนดฐานรองชิ้นงาน (Determining Support Structure) ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดฐานรองชิ้นงานโดยการหักลบ (Subtract) กล่องขอบเขตด้วยแบบจำลองชิ้นงานต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



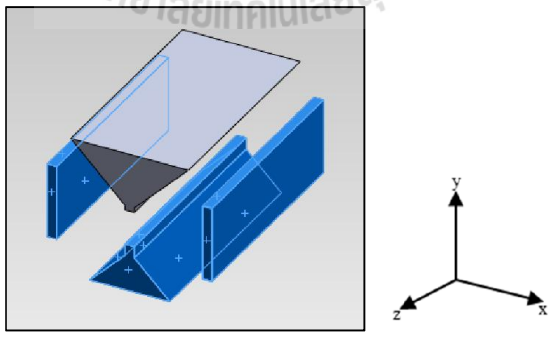
รูปที่ 4.4 แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต



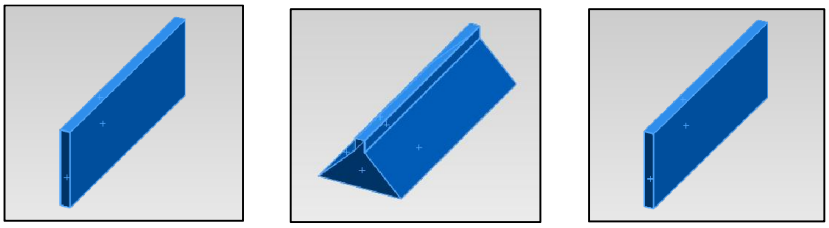
รูปที่ 4.5 แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

จากนั้นทำการวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่คงเหลือของกล่องขอบเขต β_{BB} ที่ถูกลบด้วยชิ้นงาน β_{3D} โดยสนใจทิศทางการจัดวางวัตถุที่ไม่ต้องสร้างฐานรองชิ้นงานหรือฐานรองชิ้นงานที่มีปริมาตรที่ต่ำที่สุด (แสดงคำสั่งการวิเคราะห์ในภาคผนวก ข)

ทำการตรวจสอบระนาบของชิ้นส่วนที่นำเข้ามาตรวจสอบ และนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลจุดมุมของกล่องขอบเขต โดยตรวจสอบตามเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อตรวจสอบความเป็นฐานรองชิ้นงานต่อไป โดยในรูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขต และรูปร่างฐานรองชิ้นงาน



รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน ออกจากกล่องขอบเขต

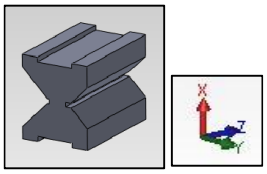
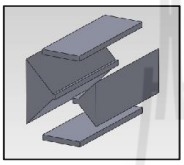
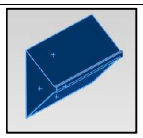
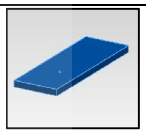
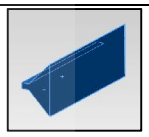
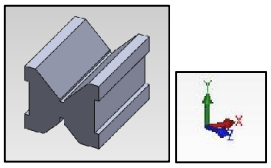
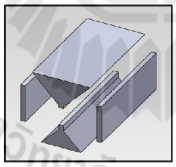
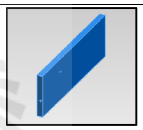
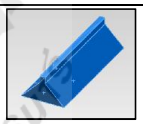
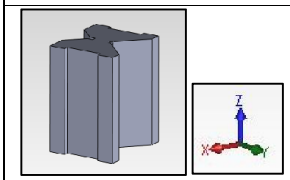
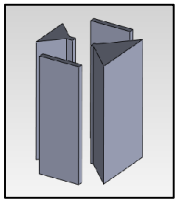


รูปที่ 4.7 แสดงรูปทรงฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน y+ และ y-

โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุและปริมาตรฐานรองชิ้นงานครบ 6 ทิศทาง สามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.4 (แสดงคำสั่งการหาปริมาตรในภาคผนวก ข)

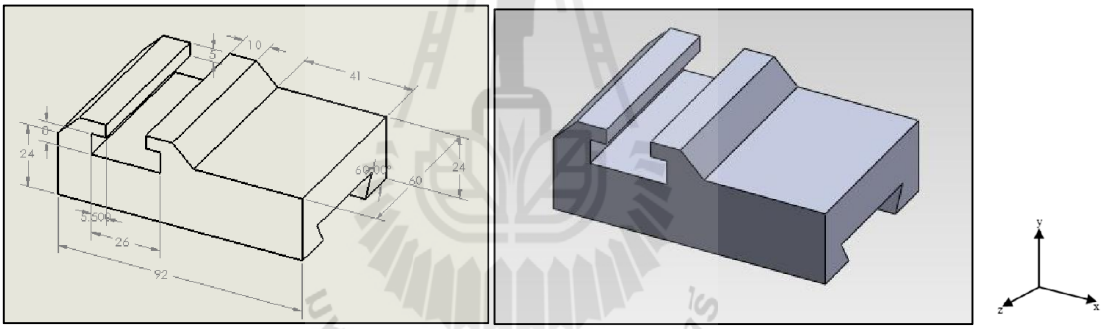
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.1 การจำแนกฐานรองชิ้นงานในแต่ละทิศทางการขึ้นรูป

ทิศทางการจัดวางชิ้นงาน	ตำแหน่งฐานรองชิ้นงาน	ลักษณะฐานรองชิ้นงาน	ปริมาตรฐานรองชิ้นงาน(mm^3)
 ทิศทาง x+ และ x-		  	$1.19x10^4$
 ทิศทาง y+ และ y-		 	$6.31x10^3$
 ทิศทาง z+ และ z-		ไม่มีฐานรองชิ้นงาน	0

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาตรของฐานรองชิ้นงานในแต่ละแนวแกนการขึ้นรูปแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ทิศทางการสร้างชิ้นงานที่มีปริมาตรของฐานรองชิ้นงานต่ำที่สุดได้แก่ ทิศทาง z+ และ z- ซึ่งไม่มีปริมาตรฐานรองชิ้นงาน รองลงมาคือทิศทาง y+ และ y- มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากัน เท่ากับ $6.31x10^{3}$ mm3 และทิศทาง x+ และ x- ปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากัน เท่ากับ $1.19x10^{4}$ mm3 ตามลำดับ ดังนั้น ทิศทางการสร้างชิ้นงานตัวอย่างในแนวแกน z+ และ z- เป็นทิศทางที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง เนื่องจากมีปริมาตรฐานรองชิ้นงานที่ต่ำที่สุด โดยจะส่งผลต่อปริมาณการใช้วัตถุดิบตั้งต้นในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วที่น้อยสุด

4.1.2 กรณีศึกษาที่ 2



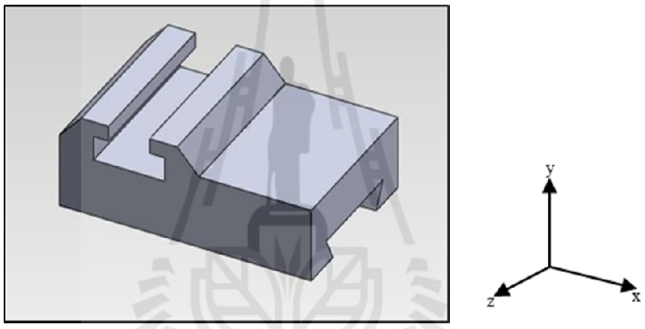
รูปที่ 4.8 แสดงชิ้นงาน 3 มิติ ในตัวอย่างที่ 2

ชิ้นงาน 3 มิติ (3D-CAD Model) ที่นำมาวิเคราะห์การจัดวางวัตถุแสดงในรูปที่ 4.8 มีขนาดเท่ากับ 92x32x60 mm ปริมาตร $1.11x10^{5}$ mm^{3} โดยมีขนาดกล่องขอบเขตเท่ากับ 80x215x60 mm ปริมาตร $1.77x10^{5}$ mm^{3} เมื่อทำการหักเนื้อชิ้นงาน (β_{3D}) ออกจากกล่องขอบเขต (β_{BB}) จะเหลือชิ้นส่วนภายหลังจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขตจำนวน 4 ชิ้น ซึ่งมีปริมาตรรวมของของส่วนที่เหลือ (β_{st}) เท่ากับ $6.60x10^{4}$ mm^{3} ซึ่งลักษณะฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามแต่

ละทิศทางการจัดวางชิ้นงาน ซึ่งจะประกอบไปด้วย 6 ทิศทางคือ x+, x-, y+, y-, z+ และ z- ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

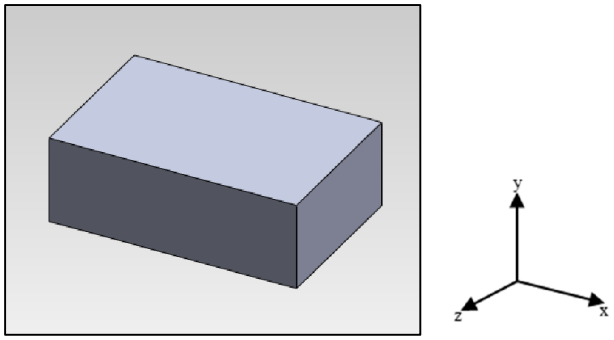
การจัดวางชิ้นงานในทิศทาง y+ (แสดงวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวก ค)

สร้างแบบจำลองชิ้นงาน 3 มิติ เพื่อใช้เป็นชิ้นงานทดลอง ดังในรูปที่ 4.9



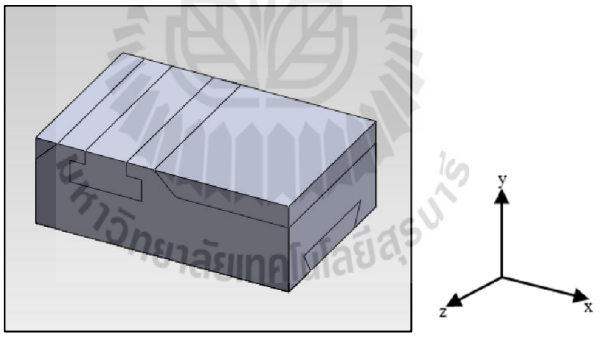
รูปที่ 4.9 แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+

สร้างกล่องขอบเขตครอบคลุมชิ้นงาน 3 มิติ (แสดงคำสั่งการสร้างในภาคผนวก ข) เพื่อเตรียมหักลบด้วยชิ้นงาน 3 มิติออกจากกล่องขอบเขต เพื่อทำการวิเคราะห์ฐานรองชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขตโดยลักษณะของกล่องขอบเขต แสดงดังรูปที่ 4.10

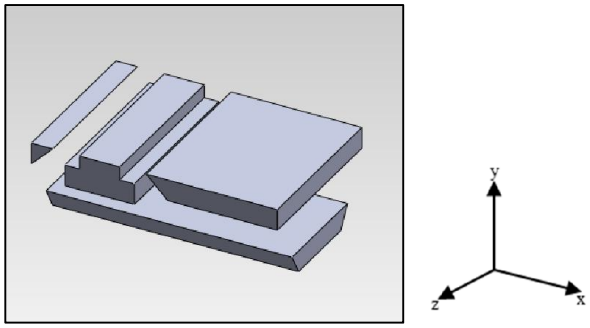


รูปที่ 4.10 แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ

การกำหนดฐานรองชิ้นงาน (Determining Support Structure) ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดฐานรองชิ้นงานโดยการหักลบ (Subtract) กล่องขอบเขตด้วยแบบจำลองชิ้นงานต้นแบบดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12



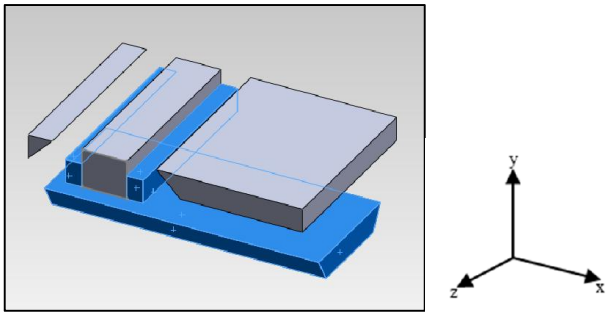
รูปที่ 4.11 แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต



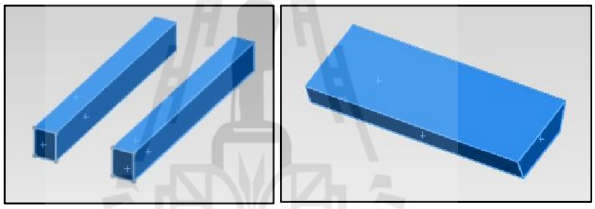
รูปที่ 4.12 แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

ทำการวิเคราะห์ชิ้นส่วนที่คงเหลือของกล่องขอบเขต β_{BB} ที่ถูกลบด้วยชิ้นงาน β_{3D} โดยสนใจทิศทางการจัดวางวัตถุที่ไม่ต้องสร้างฐานรองชิ้นงานหรือฐานรองชิ้นงานที่มีปริมาตรที่ต่ำที่สุด (แสดงคำสั่งการวิเคราะห์ในภาคผนวก ข)

ทำการตรวจสอบระนาบของชิ้นส่วนที่นำเข้ามาตรวจสอบ และนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลจุดมุมของกล่องขอบเขต โดยตรวจสอบตามเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อตรวจสอบความเป็นฐานรองชิ้นงานต่อไป โดยในรูปที่ 4.13 และ 4.14 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานจากชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงาน 3 มิติ ออกจากกล่องขอบเขต และรูปร่างฐานรองชิ้นงาน โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุและปริมาตรฐานรองชิ้นงานครบ 6 ทิศทาง สามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.5 (แสดงคำสั่งการหาปริมาตรในภาคผนวก ข)



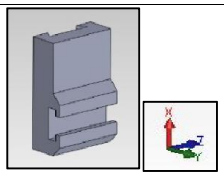
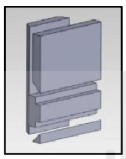
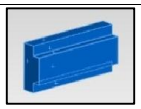
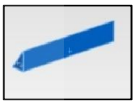
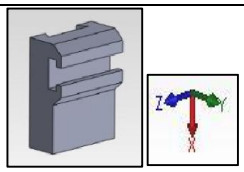
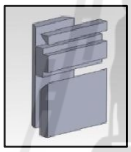
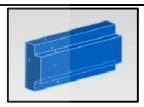
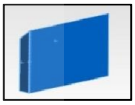
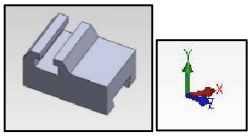
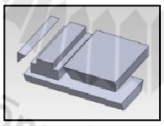
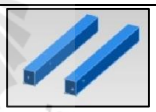
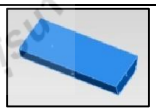
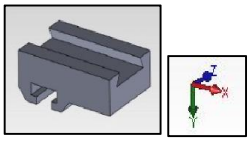
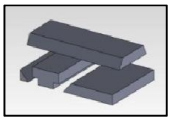
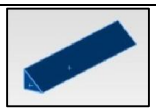
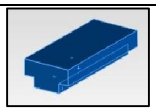
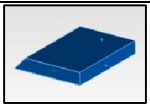
รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

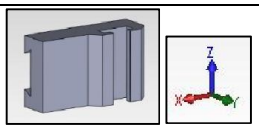
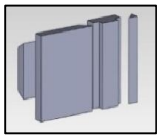
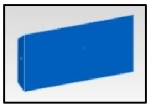
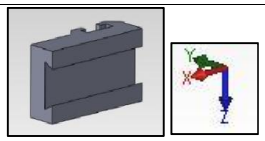
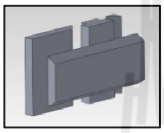
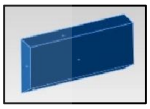


รูปที่ 4.14 แสดงรูปทรงฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน y+

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.2 สรุปการจำแนกฐานรองชิ้นงานในแต่ละทิศทางการขึ้นรูป

ทิศทางการขึ้นรูปชิ้นงาน	ตำแหน่งฐานรองชิ้นงาน	ลักษณะฐานรองชิ้นงาน	ปริมาตรฐานรองชิ้นงาน (mm^3)
 ทิศทาง x+		 	$1.89x10^4$
 ทิศทาง x-		 	$3.86x10^4$
 ทิศทาง y+		 	$3.08x10^4$
 ทิศทาง y-		  	$4.05x10^4$

 ทิศทาง z+			$2.55x10^4$
 ทิศทาง z-			$2.55x10^4$

ผลจากการวิเคราะห์ปริมาตรของฐานรองชิ้นงานในแต่ละแนวแกนการขึ้นรูปแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่า ทิศทางการสร้างชิ้นงานที่มีปริมาตรของฐานรองชิ้นงานต่ำที่สุดได้แก่ ทิศทาง y+ ซึ่งมีปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากัน คือ $1.89x10^4$ mm^3 รองลงมาคือทิศทางz+ และ ทิศทาง z- มีปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากับ $2.55x10^4$ mm^3, ทิศทาง y+ ปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากับ $3.08x10^4$ mm^3 , ทิศทาง x- ปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากับ $3.86x10^4$ mm^3และทิศทาง y- ปริมาตรฐานรองชิ้นงานเท่ากับ $4.05x10^4$ mm^3 ตามลำดับ ดังนั้น ทิศทางการสร้างชิ้นงานตัวอย่างในแนวแกน x+ จะเป็นทิศทางที่เหมาะสมในการขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง เนื่องจากมีปริมาตรฐานรองชิ้นงานที่ต่ำที่สุด โดยจะส่งผลต่อปริมาณการใช้วัตถุดิบในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วที่น้อยสุด

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

บทนี้เสนอการสรุปผลของการวิจัย การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูง พื้นที่หน้าตัด และระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานและการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM) ประโยชน์ของงานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะในงานวิจัยต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM) โดยการใช้ โปรแกรม Solid works ร่วมกับ โปรแกรม Visual basic ช่วยในการวิเคราะห์รูปทรง 3 มิติ โดยทฤษฎีการหักเนื้อวัสดุออก แล้ววิเคราะห์โดยการใช้จุดมุมของชิ้นงานเพื่อตรวจสอบความเป็นฐานรองชิ้นงาน เพื่อวิเคราะห์หาทิศทางที่มีฐานรองชิ้นงานที่มีปริมาตรต่ำสุดเป็นทิศทางในการขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป

5.1.1 การวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM)

การวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางชิ้นงานต้นแบบ โดยการวิเคราะห์ส่วนที่เหลือของกล่องขอบเขตของชิ้นงาน ทำให้สามารถระบุรูปร่างฐานรองชิ้นงานและปริมาณการใช้วัตถุดิบต้น ซึ่งการวิเคราะห์การจัดวางวัตถุและทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็วด้วยกรรมวิธี Fused Deposition Manufacturing (FDM) ทำการวิเคราะห์ชิ้นงาน 3 มิติด้วยวิธีแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งทิศทางที่มีปริมาตรของฐานรองชิ้นงานต่ำที่สุดจะเป็นทิศทางที่ถูกเลือกเพื่อใช้สร้างชิ้นงานต้นแบบจริง

5.2 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.เป็นองค์ความรู้ในงานวิจัยด้านการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

2.สามารถวางแผนการสร้างชิ้นงานในการสร้างต้นแบบรวดเร็วในทิศทางที่เหมาะสม เพื่อลดเวลาการสร้างต้นแบบและประหยัดวัตถุดิบ

3.เป็นแนวทางในการประยุกต์การใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำและประหยัดเวลา

5.3 ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยต่อไป

1.การวิเคราะห์รูปร่างฐานรองชิ้นงานได้หลากหลายยิ่งขึ้น

2.สร้างโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ชิ้นงานได้หลากหลายรูปทรง

3.สร้างโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ได้เป็นอัตโนมัติ

4.ใช้ระยะเวลาเป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์ทิศทางการสร้างชิ้นงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

Byun, H.-S., & Lee*, K. H. (2005). Determination of the optimal part orientation in layered manufacturing using a genetic algorithm. **International journal of production research, 43**(13), 2709-2724.

Cao, W., & Miyamoto, Y. (2003). Direct slicing from AutoCAD solid models for rapid prototyping. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 21**(10-11), 739-742.

Chan, C., & Tan, S. (2001). Determination of the minimum bounding box of an arbitrary solid: an iterative approach. **Computers & Structures, 79**(15), 1433-1449.

Cho, I., Lee, K., Choi, W., & Song, Y.-A. (2000). Development of a new sheet deposition type rapid prototyping system. **International Journal of Machine Tools and Manufacture, 40**(12), 1813-1829.

Giannatsis, J., & Dedoussis, V. (2007). Decision support tool for selecting fabrication parameters in stereolithography. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 33**(7-8), 706-718.

Guo, K. B., Zhang, L. C., Wang, C. J., & Huang, S. H. (2006). Boolean operations of STL models based on loop detection. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 33**(5-6), 627-633. doi: 10.1007/s00170-006-0487-5

Hua, Z., Leea, K., & Hurb, J. (2002). Determination of optimal build orientation for hybrid rapid-prototyping. **Journal of Materials Processing Technology 130–131 (2002) 378–383**.

Huang, X., Ye, C., Wu, S., Guo, K., & Mo, J. (2008). Sloping wall structure support generation for fused deposition modeling. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 42**(11-12), 1074-1081. doi: 10.1007/s00170-008-1675-2

Hur, J., & Lee, K. (1998). The development of a CAD environment to determine the preferred build-up direction for layered manufacturing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 14**(4), 247-254.

Karim, K. F., Hazry, D., Zulkifli, A. H., Ahmed, S. F., Joyo, M. K., Razlan, Z. M., . . . Bakar, S. A. (2006). FEATURE-BASED SUPPORT GENERATION FOR OPTIMUM PART DEPOSITION ORIENTATION IN FDM. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 9**.

Kirschman, C., Jara-Almonte, C., Bagchi, A., Dooley, R., & Ogale, A. (1991). **Computer aided design of support structures for stereolithographic components**. Paper presented at the Proceedings of the 1991 ASME Computers in Engineering Conference.

Kumar Chalasani, S. I., Minneapolis,USA., Larry Jones, S., Cincinnati,USA., & Larry Roscoe, S. I., Minneapolis,USA. (1995). Support Generation for Fused Deposition Modeling. 229-241.

Kumar, V., & Dutta, D. (1997). An assessment of data formats for layered manufacturing. **Advances in Engineering Software, 28**(3), 151-164.

MIHAIELA, I., Department, M. T., Bucharest, P. U. o., Street, S. I. n., & ROMANIA. Design and Rapid Prototyping–Main Steps in Product Development.

Mishra, A. K., & Thirumavalavan, S. (2014). A Study of Part Orientation in Rapid Prototyping. **Middle-East Journal of Scientific Research, 20**(9), 1197-1201.

Ossino, A., Barnett, E., Angeles, J., Pasini, D., & Sijpkes, P. (2009). Path planning for robot-assisted rapid prototyping of ice structures. **Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, 33**(4), 689.

Pandey, P., Venkata Reddy, N., & Dhande, S. (2007). Part deposition orientation studies in layered manufacturing. **Journal of Materials Processing Technology, 185**(1), 125-131.

Pandey, P. M. (2010). RAPID PROTOTYPING TECHNOLOGIES, APPLICATIONS AND PART DEPOSITION PLANNING. **Retrieved October, 15**.

Pham, D. T., & Gault, R. S. (1998). A comparison of rapid prototyping technologies. **International Journal of Machine Tools and Manufacture, 38**(10–11), 1257-1287. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0890-6955(97)00137-5

Soonanon, P., & Koomsap, P. (2009). Towards direct transformation of orthographic-view drawings into a prototype. **Virtual and Physical Prototyping, 4**(2), 75-90.

Yan, X., & Gu, P. (1996). A review of rapid prototyping technologies and systems. **Computer-Aided Design, 28**(4), 307-318. doi: http://dx.doi.org/10.1016/0010-4485(95)00035-6

Ziemian, C., & Crawn III, P. (2001). Computer aided decision support for fused deposition modeling. **Rapid prototyping journal, 7**(3), 138-147.

เบ้าทอง, ธ. (2555). การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างเพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว.

พิทยชวาล, ป., & เบ้าทอง, ธ. (2556). การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วจากความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ฉบับที่ *1* ปีที่ *6* ประจำเดือนมกราคม-มิถุนายน *2556*, 61-69.

วรวุฒิ, ว., ทรงคุณ, ศ., & ปริญญา, พ. (2549). เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว Rapid Prototyping Technology.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

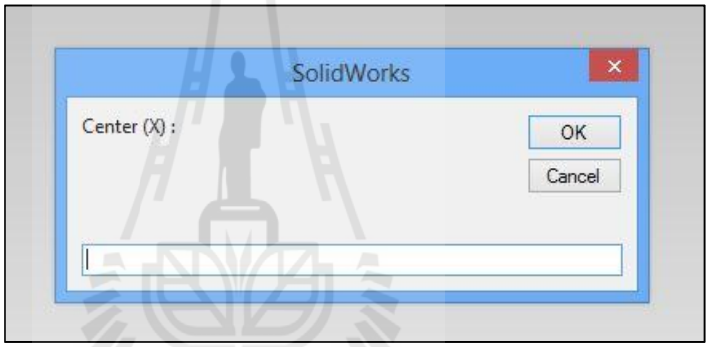
การประมวลผลด้วยโปรแกรม Visual Basic

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 การประมวลผลด้วยโปรแกรม Visual Basic ร่วมกับ โปรแกรม Solid works เพื่อวิเคราะห์การจัดวางทิศทางของชิ้นงาน

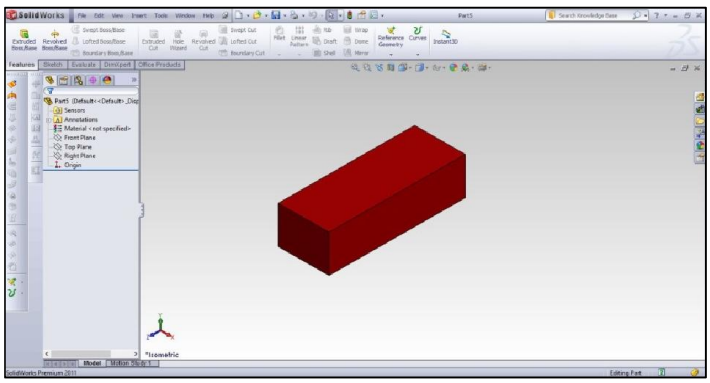
ในส่วนนี้จะแสดงการสร้างกล่องสี่เหลี่ยมเพื่อใช้เป็นกล่องขอบเขต โดยการใช้โปรแกรม Visual Basic ร่วมกับ Solid works ด้วยการป้อนข้อมูลนำเข้าซึ่งประกอบ จุดเริ่มต้น แนวแกน และขนาดของชิ้นงาน ผ่านโปรมแกรม Visual Basic เพื่อสร้างกล่องสี่เหลี่ยมในโปรแกรม Solid works, การวิเคราะห์จุกมุมของชิ้นงาน, การตรวจสอบลักษณะเส้นขอบ และการหาปริมาตรของชิ้นงาน

1. ป้อนข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างกล่องขอบเขตดังแสดงในรูปที่ ก.1



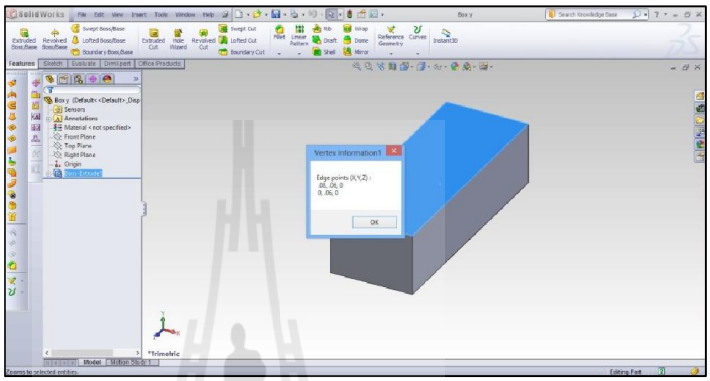
รูปที่ ก.1 แสดงการป้อนข้อมูลข้อมูลนำเข้าเพื่อสร้างกล่องขอบเขต

2. ผลลัพธ์การสร้างกล่องขอบเขตดังแสดงในรูปที่ ก.2



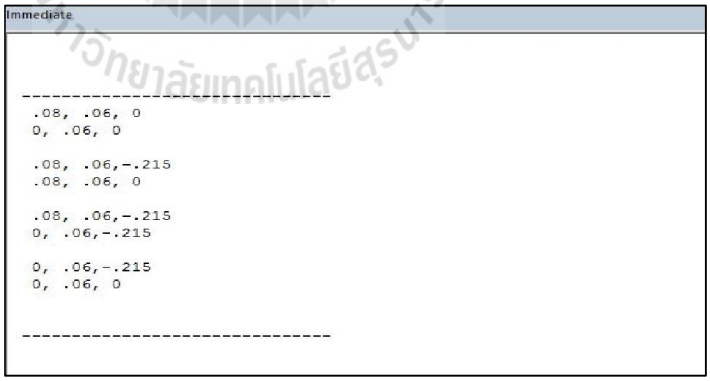
รูปที่ ก.2 แสดงผลลัพธ์จากการสร้างกล่องขอบเขต

3. ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จุดมุมของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ ก.3



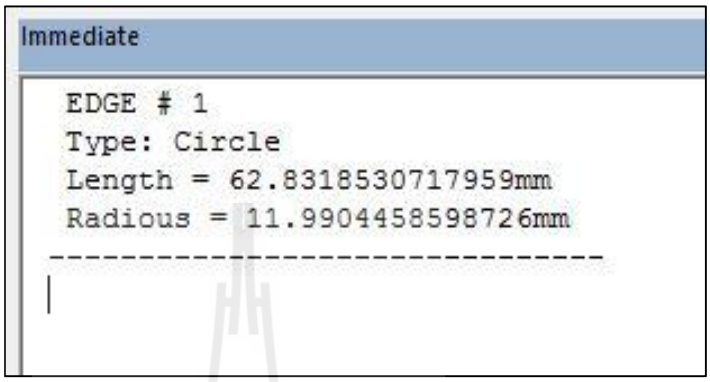
รูปที่ ก.3 แสดงการวิเคราะห์จุดมุมของชิ้นงาน

4. การบันทึกข้อมูลด้วยโปรแกรม Visual Basic ดังแสดงในรูป ก.4



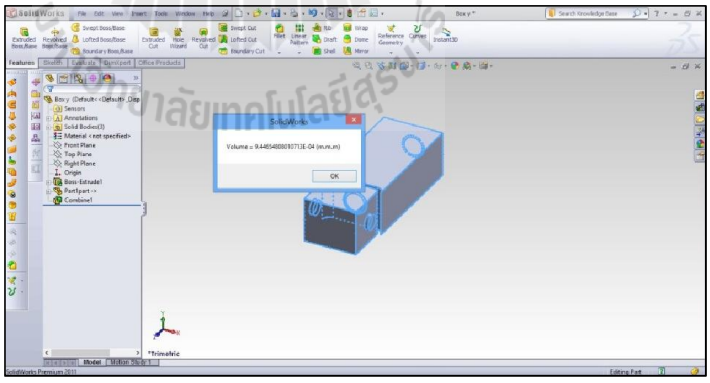
รูปที่ ก.4 แสดงการจัดเก็บข้อมูลจุดมุมของชิ้นงาน

5. ผลลัพธ์ของการตรวจสอบชนิดของเส้นบนพื้นผิวชิ้นงานด้วยโปรแกรม Visual Basic ดังแสดงในรูปที่ ก.5



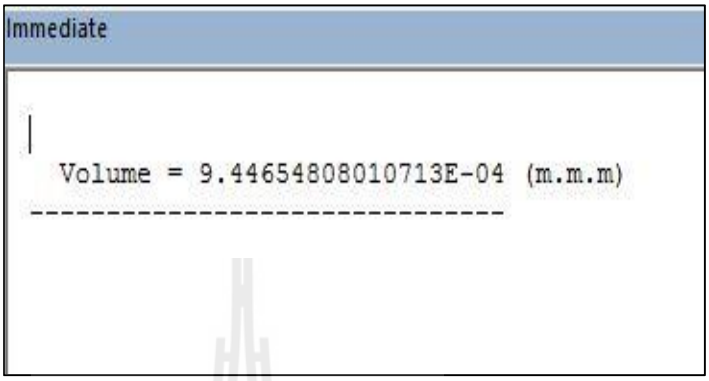
รูปที่ ก.5 แสดงการตรวจสอบลักษณะเส้นขอบบนพื้นผิวชิ้นงาน

6. ผลลัพธ์จากการคำนวณปริมาตรของชิ้นงานด้วยโปรแกรม Visual Basic ดังแสดงในรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 แสดงผลการคำนวณปริมาตรของชิ้นงาน

7. ผลลัพธ์การจัดเก็บข้อมูลปริมาตรด้วย Visual Basic ดังแสดงในรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.7 แสดงการจัดเก็บข้อมูลปริมาตรของชิ้นงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

โปรแกรม Visual Basic

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข.1 คำสั่งในการสร้างกล่องสี่เหลี่ยม

```
Sub main()
Dim swapp As SldWorks.SldWorks
Dim swmodel As SldWorks.ModelDoc2
Dim swmodeler As SldWorks.Modeler
Set swapp = Application.SldWorks
Set swmodel = swapp.ActiveDoc
Set swmodeler = swapp.GetModeler

'Define box
Dim nBox1Param(8) As Double
 nBox1Param(0) = InputBox("Please input your Center (X) :")
 nBox1Param(1) = InputBox("Please input your Center (Y) :")
nBox1Param(2) = InputBox("Please input your Center (Z) :")

  ' Axis
 nBox1Param(3) = InputBox("Axis to Extruded (X) :")
nBox1Param(4) = InputBox("Axis to Extruded   (Y) :")
nBox1Param(5) = InputBox("Axis to Extruded  (Z) :")

   ' Width
 nBox1Param(6) = InputBox("Please input your dimension Width (X) :")

    ' Length
 nBox1Param(7) = InputBox("Please input your dimension Height (Y) :")

   'Height
```

```
nBox1Param(8) = InputBox("Please input your dimension Length (Z) :")

  'Create box temporary body
Dim swBox1Body As SldWorks.Body2
Set swBox1Body = swmodeler.CreateBodyFromBox(nBox1Param)

  'Check body for faults
Call CheckBody(swBox1Body)

'Display body
swBox1Body.Display3 swmodel, RGB(200, 0, 0), swTempBodySelectOptionNone

'Repeat
Dim nBox2Param(8) As Double

   nBox2Param(0) = InputBox("Please input your Center (X) Again!! :")

   nBox2Param(1) = InputBox("Please input your Center (Y) Again!!:")

   nBox2Param(2) = InputBox("Please input your Center (Z) Again!! :")

  ' Axis
   nBox2Param(3) = InputBox("Axis to Extruded (X) Again!!  :")
   nBox2Param(4) = InputBox("Axis to Extruded (Y) Again!! :")
   nBox2Param(5) = InputBox("Axis to Extruded (Z) Again!! :")

  ' Width
nBox2Param(6) = InputBox("Please input your dimension Width (X) Again!! :")
```

```
   ' Length
nBox2Param(7) = InputBox("Please input your dimension Height (Y) Again!!  :")



  'Height
 nBox2Param(8) = InputBox("Please input your dimension Length (Z) Again!! :")

  'Create box temporary body
 Dim swBox2Body As SldWorks.Body2
 Set swBox2Body = swmodeler.CreateBodyFromBox(nBox2Param)

 'Check body for faults
Call CheckBody(swBox2Body)

 'Display body
swBox2Body.Display3 swmodel, RGB(200, 0, 0), swTempBodySelectOptionNone

 'Add bodies
   Dim vBodies As Variant
   Dim IngErrors As Long
   vBodies = swBox2Body.Operations2(SWBODYADD, swBox1Body, IngErrors)
   If IngErrors <> 0 Then
   Debug.Print "Boolean operation error: " & IngErrors & vbCrLf & "ending"
   End
   End If

   'Turn
```

```
 Dim swPart As SldWorks.PartDoc
 Set swPart = swmodel
swPart.CreateFeatureFromBody3 vBodies(0), False, 0


End Sub
Sub CheckBody(body As SldWorks.Body2)
    Dim swFaultEnt As SldWorks.FaultEntity
    Dim i As Integer
    Set swFaultEnt = body.Check3
    If swFaultEnt.Count <> 0 Then
    Debug.Print "Fauts detected."
    For i = 0 To swFaultEnt.Count - 1
        Debug.Print "Error code: " & swFaultEnt.ErrorCode(i)
    Next i
    Debug.Print "Ending."


    End If
End Sub
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ข.3 คำสั่งในการหาปริมาตรของชิ้นงาน

```
Option Explicit
Public Enum swMassPropertiesStatus_e

        swMassPropertiesStatus_OK = 0
        swMassPropertiesStatus_UnknownError = 1
        swMassPropertiesStatus_NoBody = 2

End Enum

Public Enum swUserPreferenceToggle_e

        swUpdateMassPropsDuringSave = 30

End Enum

Sub main()

        Dim swApp  As SldWorks.SldWorks
        Dim swModel As SldWorks.ModelDoc2
        Dim swModelExt As SldWorks.ModelDocExtension
        Dim swAssy As SldWorks.AssemblyDoc
        Dim swSelMgr As SldWorks.SelectionMgr
        Dim swComp  As SldWorks.Component2
       Dim nStatus As Long
        Dim vMassProp As Variant
        Set swApp = CreateObject("SldWorks.Application")
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
        Set swModel = swApp.ActiveDoc
        Set swModelExt = swModel.Extension

 vMassProp = swModelExt.GetMassProperties(1, nStatus)
'Debug.Print "ModelDocExtension::GetMassProperties(" + swModel.GetPathName + ")"
'Debug.Print "  Status = " & nStatus
Debug.Print ""
         If Not IsEmpty(vMassProp) Then
' Debug.Print "  Center Of Mass X = " & vMassProp(0)
 'Debug.Print "  Center Of Mass Y = " & vMassProp(1)
 ' Debug.Print "  Center Of Mass Z = " & vMassProp(2)

 MsgBox "  Volume = " & vMassProp(3) & " (m.m.m) "

Debug.Print "  Volume = " & vMassProp(3) & " (m.m.m) "
Debug.Print "  Area   = " & vMassProp(4)
Debug.Print "  Mass   = " & vMassProp(5)
Debug.Print "  MomXX = " & vMassProp(6)
Debug.Print "  MomYY = " & vMassProp(7)
Debug.Print "  MomZZ = " & vMassProp(8)
Debug.Print "  MomXY = " & vMassProp(9)
Debug.Print "  MomZX = " & vMassProp(10)
Debug.Print "  MomYZ = " & vMassProp(11)
  End If
Debug.Print "--------------------------------"
   End Sub
```

ข.4 คำสั่งในการตรวจสอบชนิดของเส้นบนขอบชิ้นงาน

```
Option Explicit

        Dim swApp As SldWorks.SldWorks
        Dim Part As ModelDoc2
        Dim Measure As Measure
        Dim boolstatus As Boolean

 Sub main()
        et swApp = Application.SldWorks
        Set Part = swApp.ActiveDoc
        Set Measure = Part.Extension.CreateMeasure

Measure.ArcOption = 0       'Can set this to 0, 1, or 2

                            ' 0 - Center to Center

                            ' 1 - Minimum Distance

                            ' 2 - Maximum Distance

Dim strDisplay As String
boolstatus = Measure.Calculate(Nothing)
        If (boolstatus) Then
         If (Not (Measure.Length = -1)) Then
 Debug.Print "Length: " & Measure.Length
```

```
        End If

        If (Not (Measure.Area = -1)) Then
 Debug.Print "Area: " & Measure.Area
        End If

        If (Not (Measure.ArcLength = -1)) Then
Debug.Print "Arc length: " & Measure.ArcLength
        End If

        If (Not (Measure.ChordLength = -1)) Then
Debug.Print "Chord length: " & Measure.ChordLength
        End If

        If (Not (Measure.Diameter = -1)) Then
Debug.Print "Diameter: " & Measure.Diameter
        End If

        If (Not (Measure.Radius = -1)) Then
Debug.Print "Radius: " & Measure.Radius
        End If

        If (Not (Measure.Perimeter = -1)) Then
 Debug.Print "Perimeter: " & Measure.Perimeter
        End If

        If (Not (Measure.X = -1)) Then
Debug.Print "X coordinate: " & Measure.X
```

```
        End If

        If (Not (Measure.Y = -1)) Then
Debug.Print "Y coordinate: " & Measure.Y
        End If

        If (Not (Measure.Z = -1)) Then
Debug.Print "Z coordinate: " & Measure.Z
        End If

        If (Not (Measure.DeltaX = -1)) Then
Debug.Print "DeltaX: " & Measure.DeltaX
        End If

        If (Not (Measure.DeltaY = -1)) Then
Debug.Print "DeltaY: " & Measure.DeltaY
        End If

        If (Not (Measure.DeltaZ = -1)) Then
Debug.Print "DeltaZ: " & Measure.DeltaZ
        End If

        If (Not (Measure.Angle = -1)) Then
Debug.Print "Angle: " & Measure.Angle
        End If

        If (Not (Measure.CenterDistance = -1)) Then
Debug.Print "Center distance: " & Measure.CenterDistance
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
        End If

        If (Not (Measure.NormalDistance = -1)) Then
Debug.Print "Normal distance: " & Measure.NormalDistance
        End If

        If (Not (Measure.Distance = -1)) Then
Debug.Print "Distance: " & Measure.Distance
        End If

        If (Not (Measure.TotalLength = -1)) Then
 Debug.Print "Total length: " & Measure.TotalLength
        End If

        If (Not (Measure.TotalArea = -1)) Then
 Debug.Print "Total Area : " & Measure.TotalArea
        End If

        If (Measure.IsParallel) Then
 Debug.Print "IsParallel : " & Measure.IsParallel
        End If

        If (Measure.IsIntersect) Then
 Debug.Print "Is Intersect : " & Measure.IsIntersect
        End If

        If (Measure.IsPerpendicular = -1) Then
Debug.Print "Is Perpendicular : " & Measure.IsPerpendicular
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
        End If

        If (Not (Measure.Projection = -1)) Then
Debug.Print "Projection : " & Measure.Projection
        End If
        If (Not (Measure.Normal = -1)) Then
Debug.Print "Normal : " & Measure.Normal
        End If

        If (Not (Measure.SpericalCenterDistance = -1)) Then
Debug.Print "Sperical Center Distance : " & Measure.SpericalCenterDistance
        End If

        If (Measure.IsConcentricSpheres) Then
 Debug.Print "Is Concentric Spheres : " & Measure.IsConcentricSpheres
        End If

        Else
 Debug.Print "Invalid combination of selected entities."
        End If
End Sub
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

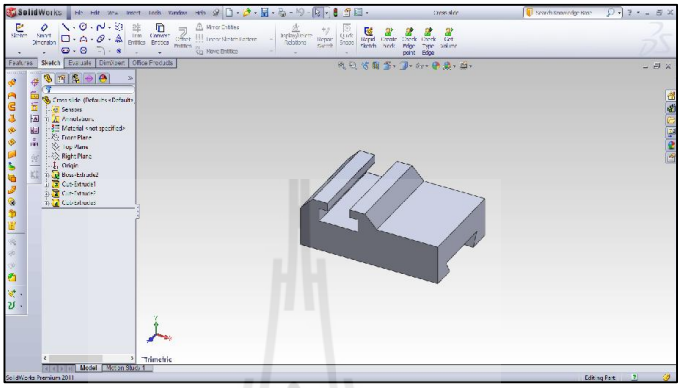
ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุด้วย โปรแกรม Visual basic และ โปรแกรม Solid works

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

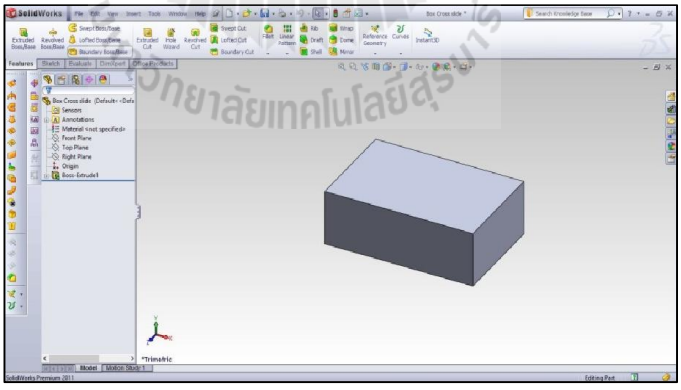
ค.1 แสดงวิธการวิเคราะห์ทิศทางการสร้างต้นแบบรวดเร็ว

สร้างชิ้นงาน 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Solid works เวอร์ชัน 2011 ดังในรูปที่ ค.1.1



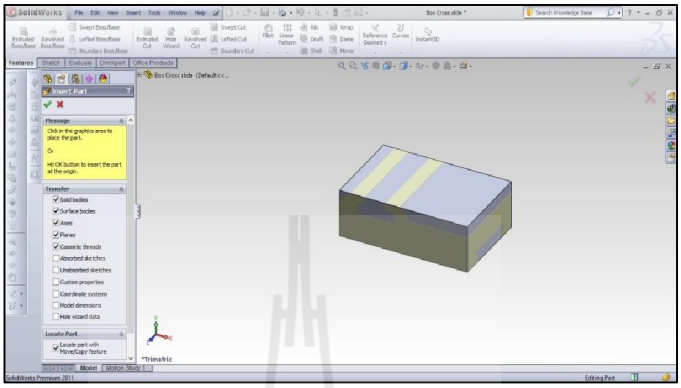
รูปที่ ค.1.1 แสดงชิ้นงาน 3 มิติในทิศทางแกน y+

สร้างฐานรองชิ้นงานด้วยคำสั่งโปรแกรม Visual basic ซึ่งแสดงในโปรแกรม Solid works ดังในรูปที่ ค.1.2

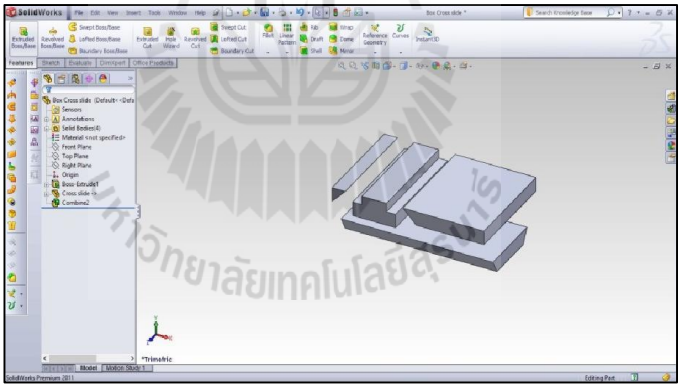


รูปที่ ค.1.2 แสดงกล่องขอบเขตของรูปชิ้นงาน 3 มิติ

หักลบกล่องขอบเขตด้วยชิ้นงาน 3 มิติ ในโปรแกรม Solid works เวอร์ชัน 2011 ดังในรูปที่ ค.1.3 และ ค.1.4

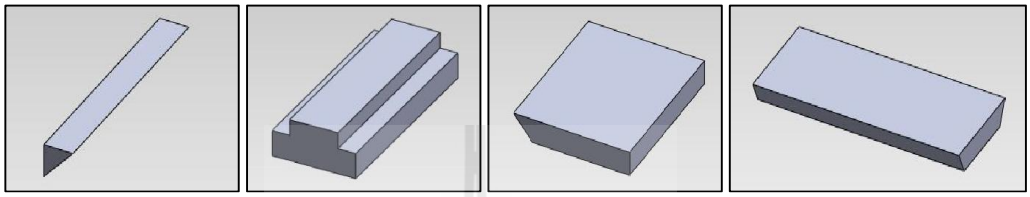


รูปที่ ค.1.3 แสดงการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต



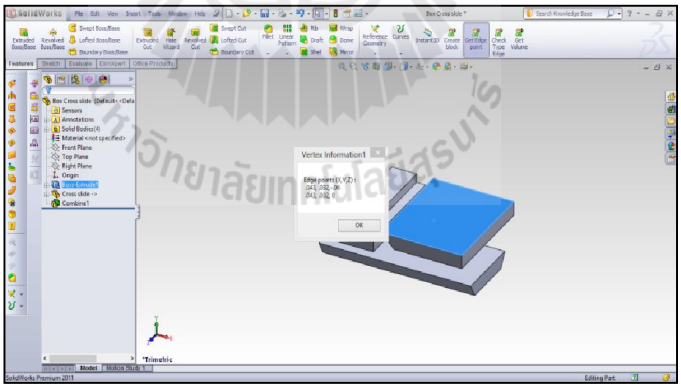
รูปที่ ค.1.4 แสดงส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

จำแนกชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักลบกล่องขอบเขตด้วยชิ้นงาน 3 มิติ สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ชิ้น ดังในรูปที่ ค.1.5



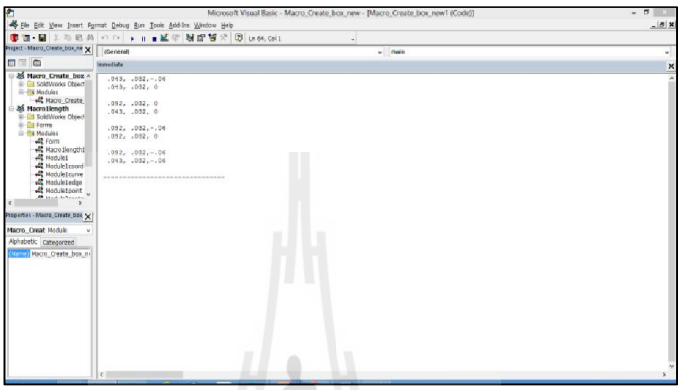
รูปที่ ค.1.5 แสดงจำนวนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

วิเคราะห์ชิ้นระนาบส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อกล่องขอบเขตด้วยชิ้นงาน 3 มิติเพื่อหาชิ้นส่วนที่เป็นฐานรองชิ้นงานด้วยคำสั่งโปรแกรม Visual basic ร่วมกับโปรแกรม Solid works ดังในรูปที่ ค.1.6



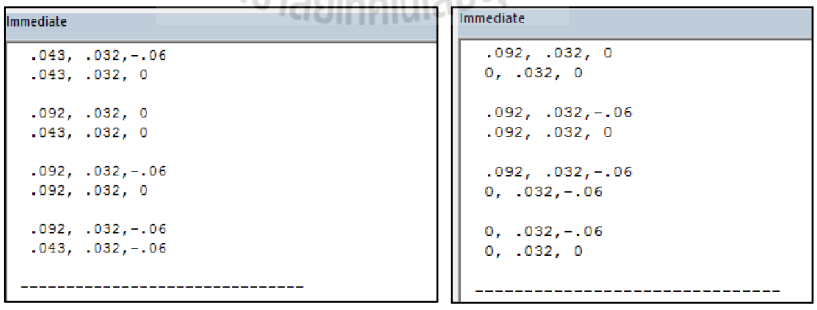
รูปที่ ค.1.6 แสดงการวิเคราะห์ชิ้นงานด้วยโปรแกรม Visual basic

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยคำสั่งโปรแกรม Visual basic ถูกจัดเก็บในโปรแกรม Visual basic ดังในรูปที่ ค.1.7



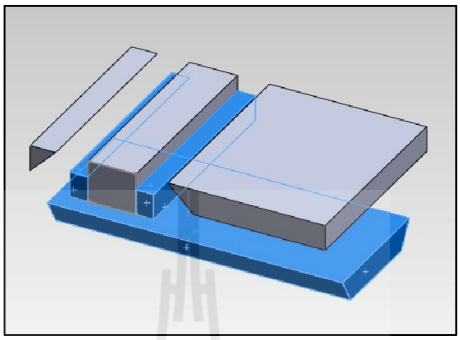
รูปที่ ค.1.7 แสดงการจัดเก็บข้อมูลในโปรแกรม Visual basic

เปรียบเทียบข้อมูลระนาบระหว่างกล่องขอบเขตกับชิ้นส่วนที่ตรวจสอบเพื่อวิเคราะห์ตามเงื่อนไข ดังในรูปที่ ค.1.8



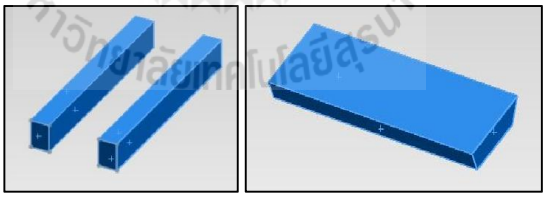
รูปที่ ค.1.8 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลระนาบระหว่างกล่องขอบเขตกับชิ้นงานตรวจสอบ

ตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานที่ผ่านการวิเคราะห์ตามเงื่อนไขของการวิเคราะห์แล้ว ดังในรูปที่ ค.1.9



รูปที่ ค.1.9 แสดงตำแหน่งของฐานรองชิ้นงานบนชิ้นส่วนที่เหลือจากการหักเนื้อชิ้นงานออกจากกล่องขอบเขต

รูปร่างฐานรองชิ้นงานที่ได้จากการวิเคราะห์ทิศทางการจัดวางวัตถุในทิศทา y+ ดังในรูปที่ ค.1.10



รูปที่ ค.1.10 แสดงรูปทรงฐานรองชิ้นงานที่เกิดขึ้นในทิศทางการสร้างชิ้นงานในแนวแกน y+

ประวัติผู้เขียน

ผศ.ดร. ปภากร พิทยชวาล อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จบการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี วิศวกรรมศาสตรมหาบัญฑิต (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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี