



## รายงานการปฏิบัติงานสหกิจศึกษา

การสร้างต้นแบบภาคตัดขวางเสาเข็มโดยการพิมพ์ 3 มิติจาก  
โปรแกรมพารามетริกโซลิดโมเดล เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบขนาดหน้า  
ตัดเสาเข็ม

**Prototype of Pile Cross Section by 3D Printing from Parametric Solid  
Model Program for Pile Size Testing Tool**

โดย

นางสาวจิราพร คงขวัญเมือง รหัสนักศึกษา 6002600004

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาสหกิจศึกษาสำหรับนักศึกษาวิศวกรรมการพิมพ์

ภาควิชาวิศวกรรมการพิมพ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2561

หัวข้อโครงการ

การสร้างต้นแบบภาคตัดขวางเสาเข็ม โดยการพิมพ์ 3 มิติจากโปรแกรมพารามेटริกโซลิดโมเดล เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบขนาดหน้าตัดเสาเข็ม

หัวข้อโครงการภาษาอังกฤษ

Prototype of Pile Cross Section by 3D Printing from Parametric Solid Model Program for Pile Size Testing Tool

รายชื่อผู้จัดทำ

นางสาวจิราพร คงขวัญเมือง รหัสนักศึกษา 6002600004

ภาควิชา

วิศวกรรมการพิมพ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศศ.พิทักษ์พงษ์ บุญประสม

อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาภาควิชาวิศวกรรมการพิมพ์ สถาบันวิศวกรรมการพิมพ์ ประจำภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการการสอบโครงการ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศศ.พิทักษ์พงษ์ บุญประสม)

.....พนักงานที่ปรึกษา

(นางสาวปวิมล ศรีประยูร)

.....กรรมการกลาง

(ศศ.วิภาวัลย์ นาคทรัพย์)

.....ผู้ช่วยอธิการบดีและผู้อำนวยการสำนักสหกิจศึกษา

(ศศ.ดร.มารุจ ลิมปะวัฒน์นะ)

ชื่อโครงการ	: การสร้างต้นแบบภาคตัดขวางเสาเข็มโดยการพิมพ์ 3 มิติ จาก โปรแกรมพารามетริกโซลิดโมเดล เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบขนาดหน้าตัดเสาเข็ม
หน่วยกิต	: 5 หน่วยกิต
ผู้จัดทำ	: นางสาวจิราพร คงขวัญเมือง 6002600004
อาจารย์ที่ปรึกษา	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิทักษ์พงษ์ บุญประสม
ระดับการศึกษา	: ปริญญาตรี (หลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต)
สาขาวิชา	: วิศวกรรมการพิมพ์
คณะ	: วิศวกรรมศาสตร์
ภาคการศึกษา/ปีการศึกษา	: 2/2561

#### บทคัดย่อ

โครงการสหกิจศึกษานี้นำเสนอการสร้างต้นแบบภาคตัดขวางเสาเข็มโดยการพิมพ์ 3 มิติจาก โปรแกรมพารามетริกโซลิดโมเดล เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบขนาดหน้าตัดเสาเข็ม เนื่องจากการปฏิบัติงานตามโครงการสหกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมการพิมพ์ มหาวิทยาลัยสยาม ที่บริษัทเมโทร โพลีแทน โพรดักส์จำกัด ตำแหน่งงานจัดซื้อสไตร์และคลังวัสดุ ได้พบเห็นปัญหา เมื่อบริษัทได้ปรึกษากับบุคลากรในองค์กรเกี่ยวกับลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือนำเสนองานแก่ลูกค้าซึ่งลูกค้าและบุคลากรในองค์กรไม่สามารถเข้าใจสิ่งที่นำเสนอได้ไม่ว่าจะเป็นลักษณะรูปร่างองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ จึงได้ศึกษาและนำเทคโนโลยีระบบการพิมพ์ 3 มิติ มาใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ตัวอย่างหน้าตัดของเสาเข็มโดยการออกแบบและพิมพ์ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปแบบเสมือนจริงสามารถมองเห็นและจับต้องได้ เพื่อนำเสนอผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับลักษณะของสินค้า โดยสิ่งที่คาดหวังจากโครงการนี้คือบุคลากรในองค์กรและลูกค้าสามารถเข้าใจในลักษณะรูปร่างองค์ประกอบของสินค้า ช่วยให้การสื่อสารชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อต้องมีการนำเสนอผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ: ต้นแบบ/ภาคตัดขวางเสาเข็ม/การพิมพ์ 3 มิติ

**Project title** : **Prototype of Pile Cross Section by 3D Printing from Parametric Solid Model Program for Pile Size Testing Tool**

**Credits** : **5 Units**

**By** : **Miss Jiraporn Kongkwanmuang 6002600004**

**Advisor** : **Asst. Prof. Pitagpong Boonprasom**

**Degree** : **Bachelor of Industrial Technology**

**Major** : **Printing Engineering**

**Faculty** : **Engineering**

**Semester/Academic year** : **2/2018**

#### **Abstract**

This cooperative education project presents the prototype of pile cross section by 3D Printing from Parametric Solid Model program for a pile size testing tool. This was work of the cooperative education project of printing engineering department, Siam University and Metropolitan Products Limited. The duty was the purchasing, store and material positions. The company has consulted with personnel in the organization about the characteristics of the product or the presentation to customers. However, customer and personnel in the organization cannot communicate properly for presenting, for example, it was the appearance, shape, composition of the product. Therefore, the author studied and applied 3D printing system technology to create products for pile cross-section by designing and printing products virtually were constructed. The expected project of personnel in the organization and customers could communicate the shape, composition of the product for presenting to customers.

**Keywords:** Prototype/ Pile Cross Section / 3D printing

**Approved by**



## กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ตามที่คุณผู้จัดทำได้มาปฏิบัติงานในโครงการสหกิจศึกษา ณ บริษัทเมโทร โปลิเทน โปรดักส์ จำกัด ตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม พ.ศ. 2562 ถึงวันที่ 29 เมษายน พ.ศ. 2562 ส่งผลให้คุณผู้จัดทำได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆที่มีค่ามากมาย สำหรับรายงานสหกิจศึกษาระดับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายฝ่ายดังนี้

1. คุณปารณีย์ ปุณยวารการ
2. คุณสมศักดิ์ ปุณยวารการ
3. คุณปานฉวี วงศ์โพธิสาร
4. คุณปวิมล ศรีประยูร
5. คุณสมาน คงขวัญเมือง

และบุคคลท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการจัดทำรายงาน

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจกับชีวิตของการทำงานจริง ซึ่งผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

นางสาวจิราพร คงขวัญเมือง

27 ตุลาคม 2562

## สารบัญ

	หน้า
จดหมายนำส่งรายงาน	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อ	ค
Abstract	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	1
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เสาเข็ม	3
2.1.1 ชนิดของเสาเข็ม	3
2.1.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม	7
2.1.3 วัตถุประสงค์ในการนำเสาเข็มไปใช้ในงานก่อสร้าง	9
2.2 ระบบ 3D Printer	
2.2.1 ระบบฉีดเส้นพลาสติก (FDM หรือ FFF)	12
2.2.2 ระบบถาดเรซิน (SLA หรือ DLP)	18
2.2.3 ระบบผงยิปซัม+สี Ink Jet (Powder 3D Printer)	24
2.2.4 ระบบหลอมผงพลาสติก ผงโลหะ เซรามิก (SLS)	24
2.2.5 ระบบ Poly Jet	25
2.2.6 ระบบ Laminated Object Manufacturing (LOM)	26

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง</b>	
3.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ	27
3.2 ลักษณะการประกอบการผลิตภัณฑ์การให้บริการหลักขององค์กร	27
3.3 รูปแบบการจัดองค์กรและการบริหารงานขององค์กร	27
3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย	28
3.5 ชื่อและตำแหน่งงานของพนักงานที่ปรึกษา	28
3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน	28
3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	28
<b>บทที่ 4 การทดลอง</b>	
4.1 วัดขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	33
4.2 การทดสอบ	34
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	35
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	
5.1 สรุปผลของโครงการ	37
5.2 อภิปรายผลของโครงการ	38
5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	38
<b>บรรณานุกรม</b>	39
<b>ภาคผนวก ก.</b>	
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.396-2549	
<b>ประวัติผู้จัดทำ</b>	

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน	2
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงขนาดและมิติของภาคตัดขวางแบบรูปตัวไอตามมาตรฐานมอก	33
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงขนาดและมิติของภาคตัดขวางแบบรูปตัวไอจากชิ้นงานจริง	34
ตารางที่ 4.3 แสดงสรุปผลการประเมิน	35



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปริมาตรเหล็กปลอกคิดเปอร์เซ็นต์เทียบกับปริมาตรคอนกรีต	4
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างหน้าตัดเสาเข็มแบบต่างๆ	4
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการวางเสาเข็มเพื่อทดสอบสำหรับเสาเข็มมีจุดยกสองจุด	5
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการพิมพ์ระบบ 2D และการพิมพ์ระบบ 3D	10
รูปที่ 2.5 เครื่องพิมพ์สามมิติชื่อ Stereo lithographic 3D Printer	10
รูปที่ 2.6 ชิ้นงานจากการพิมพ์ระบบ 2D Print และการพิมพ์ระบบ 3D Print	11
รูปที่ 2.7 ไฟล์งานที่ใช้กับเครื่อง 3D Printer	12
รูปที่ 2.8 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ FDM Printer, วัสดุสำหรับพิมพ์, ชิ้นงานที่พิมพ์สำเร็จ	12
รูปที่ 2.9 มอเตอร์ขับเคลื่อนเส้นพลาสติกมายังหัวฉีด	13
รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของ FDM Printer แบบสองหัวฉีด	13
รูปที่ 2.11 FDM 3D Printer ชนิด Cartesian ยี่ห้อ MakerBot และยี่ห้อ Ultimaker	14
รูปที่ 2.12 เครื่องพิมพ์ FDM 3D Printer ชนิด Delta	15
รูปที่ 2.13 มือสำหรับผู้พิการ	16
รูปที่ 2.14 งาน Scale ของสถานที่สำคัญของโลก	16
รูปที่ 2.15 โคมไฟที่เกิดจากการออกแบบด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	17
รูปที่ 2.16 แม่พิมพ์คูกี้ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	17
รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์เกียร์ Manual ใช้ประกอบการสอนนักเรียน	17
รูปที่ 2.18 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ DLP/FDM Printer, วัสดุสำหรับพิมพ์, ชิ้นงานที่พิมพ์สำเร็จ	19
รูปที่ 2.19 หลักการทำงานของระบบ DLP	19
รูปที่ 2.20 หลักการทำงานของระบบ SLA	20
รูปที่ 2.21 เครื่องพิมพ์ DLP 3D Printer ยี่ห้อ B9Creator	21
รูปที่ 2.22 เครื่องพิมพ์ DLP 3D Printer	21
รูปที่ 2.23 แสดงให้เห็นความละเอียดของเครื่องเมื่อพิมพ์เครื่องประดับ	22
รูปที่ 2.24 สร้างตัวอย่างจำลองหอไอเฟล	22
รูปที่ 2.25 แสดงรูปชิ้นงานที่มีรายละเอียดสูง	23
รูปที่ 2.26 ส่วนประกอบ Model ที่สร้างจาก DLP 3D Printer	23
รูปที่ 2.27 เครื่องพิมพ์ Powder 3D Printer	24

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.28 เครื่องพิมพ์ระบบ SLS หรือ Selective Laser Sintering	25
รูปที่ 2.29 การทำงานของระบบ Poly Jet	25
รูปที่ 2.30 การทำงานของระบบ LOM	26
รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันรูปแบบการจัดองค์กรและการบริการงานขององค์กร	27
รูปที่ 3.2 การเขียนแบบด้วยโปรแกรม Mechanical Desktop 6	29
รูปที่ 3.3 แบบงานที่เป็น 2D	29
รูปที่ 3.4 การใช้เครื่องมือ Sketched Features - Extrude เพื่อเพิ่มความหนาของชิ้นงาน	30
รูปที่ 3.5 แบบงานที่เป็น Solid Model	30
รูปที่ 3.6 การเตรียมไฟล์ G-Code สำหรับการพิมพ์	31
รูปที่ 3.7 ภาพขณะเครื่องพิมพ์งาน	32
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานสำเร็จ	32
รูปที่ 4.1 รูปแสดงมิติของภาคตัดขวางแบบรูปตัวไอ	33
รูปที่ 4.2 วัดมิติเสาเข็มตามตารางแสดงขนาด	34
รูปที่ 5.1 ตัวอย่างหน้าตัดเสาเข็มและจิ๊กตัวอย่างข้างแบบสำหรับหล่อเสาเข็ม	37
รูปที่ 5.2 จิ๊กตัวอย่างข้างแบบเสาเข็มที่ได้จากการพับ	38

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันระบบการพิมพ์ 3 มิติ มีการเติบโตในอุตสาหกรรมหลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น อุตสาหกรรมยานยนต์ การแพทย์ อิเล็กทรอนิกส์ สินค้าอุปโภคและบริโภค โปรแกรมในปัจจุบันมีการพัฒนาและมีประสิทธิภาพ สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนและมีรูปแบบต่างกัน ซึ่งเหมาะที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปเป็นต้นแบบสร้างผลิตภัณฑ์จริงด้วยการผลิตในรูปแบบที่แตกต่างกันไป เนื่องด้วยเมื่อบริษัทได้ปรึกษากับบุคลากรในองค์กรเกี่ยวกับลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือนำเสนองานแก่ลูกค้าซึ่งลูกค้าและบุคลากรในองค์กรไม่สามารถเข้าใจสิ่งที่นำเสนอได้ไม่ว่าจะเป็นลักษณะรูปร่างองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์

จึงมีแนวคิดที่จะสร้างภาคตัดขวางเสาเข็มซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในบริษัท ด้วยการพิมพ์ระบบ 3 มิติ ขึ้นมาเพื่อช่วยให้การสื่อสารชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อต้องมีการนำเสนอผลิตภัณฑ์เพราะการแสดงผลผลิตภัณฑ์ให้มองเห็นได้ทั้ง 3 มิติช่วยให้ง่ายต่อการเข้าใจมากกว่าการอธิบายตามคำพูดหรือแม้แต่การวาดภาพร่างผลิตภัณฑ์ลงบนกระดาษ

#### 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบภาคตัดขวางเสาเข็ม โดยการใช้โปรแกรมการออกแบบด้วยระบบการพิมพ์ 3 มิติ

1.2.2 เพื่อนำไปประกอบการนำเสนอแก่บุคลากรในองค์กรและลูกค้า ให้ได้เห็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท

#### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาออกแบบตัวอย่างงานภาคตัดขวางเสาเข็มและพิมพ์งานด้วยระบบการพิมพ์ 3 มิติ

1.3.2 ระยะเวลาในการดำเนินงาน 7 มกราคม พ.ศ. 2562 ถึง 29 เมษายน พ.ศ. 2562

#### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้ออกแบบตัวอย่างงานโมเดลเสาเข็มและพิมพ์งานด้วยระบบการพิมพ์ 3 มิติได้

1.4.2 ทำให้บุคลากรในองค์กรและลูกค้าได้เห็นชิ้นงานตามแบบจริงง่ายต่อการสื่อสารพูดคุย

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ ที่	หัวข้อดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน																			
		มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน							
	สัปดาห์				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	ศึกษาข้อมูล																				
2	กำหนดวัตถุประสงค์																				
3	ออกแบบชิ้นงาน																				
4	ลงมือปฏิบัติชิ้นงาน และปรับปรุงแก้ไข																				
5	จัดทำปฏิญญานิพนธ์																				

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

## บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เสาเข็ม

เสาเข็มเป็นวัสดุที่ใช้แพร่หลายมากที่สุดในการรับน้ำหนักของอาคาร โดยเสาเข็มจะรับน้ำหนักจากฐานรากก่อน แล้วจึงค่อยถ่ายให้ดินซึ่งจะต่างจากฐานรากแบบแผ่ ที่ดินรับน้ำหนักจากฐานรากโดยตรง การออกแบบฐานโดยใช้เสาเข็ม ก็เพราะดินที่อยู่ต้นรับน้ำหนักได้น้อย จึงต้องใช้เสาเข็มเป็นตัวช่วยถ่ายน้ำหนักข้างบนลงไปยังดินชั้นล่างที่แข็งแกร่งกว่า ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มขึ้นอยู่กับตัวเสาเข็มเอง (วัสดุที่ใช้ในการทำเสาเข็ม) และความสามารถในการรับน้ำหนักของดินรอบตัวเสาเข็ม (Skin friction) และปลายเสาเข็ม (End Bearing)

#### 2.1.1 ชนิดของเสาเข็ม

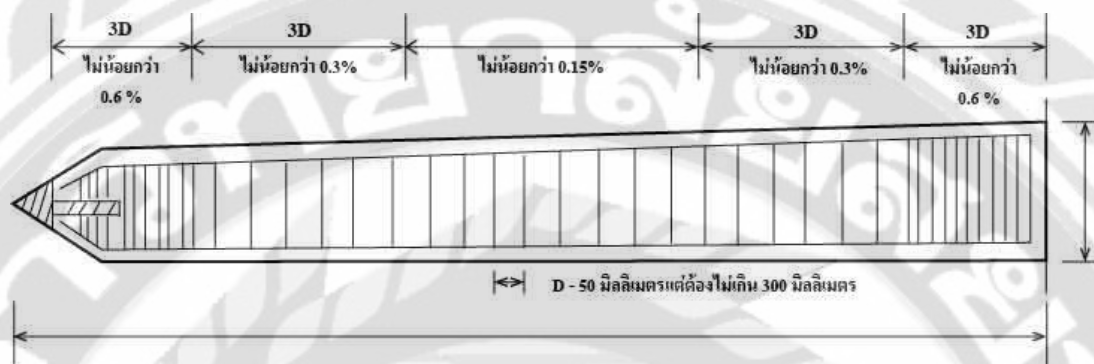
ถ้าจำแนกเสาเข็มตามวัสดุที่ใช้ทำและการใช้งานสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

**2.1.1.1 เสาเข็มไม้** ตามปกติเป็นไม้เบญจพรรณ ตัดกิ่ง และทาบเปลือกออก ตอนดอกเจาะด้านปลายลงต้องมีลำต้นตรง ไม้ผุหรือมีราขึ้น เสาเข็มไม้จะต้องทาบเปลือกหรือตากเปลือกออกทั้งหมด ไม้ต่างๆจะต้องตัดให้เรียบเสมอฟังของต้นเสาเข็ม ปลายและหัวเสาเข็มจะต้องเลื่อยตัดเรียบได้ฉากกับลำต้น

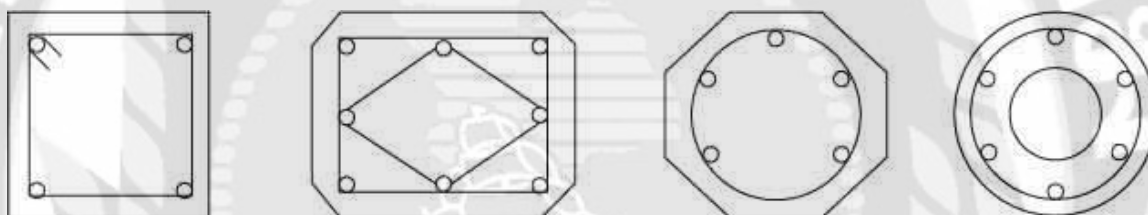
**2.1.1.2 เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ** เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ ตามปกติเรามักจะหล่อเสาเข็มในโรงงานก่อน เมื่อคอนกรีตได้อายุแล้วค่อยขนย้ายออกจากโรงงาน ไปยังสถานที่ก่อสร้างหรือในบางครั้ง เราอาจหล่อเสาเข็มในบริเวณที่ก่อสร้างเลยก็ได้ เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ

- **เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforcement Precast Concrete piles)** เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก รูปร่างจะเป็นแบบใดก็ได้แล้วแต่จะออกแบบ แต่ส่วนใหญ่ควรให้จุดศูนย์กลางของหน้าตัดทับจุดศูนย์กลางของเสาเข็ม เหล็กเสริมตามยาวต้องมีพอเพียงที่จะรับโมเมนต์คดเนื่องจากการขนส่งและยกตอก ต้องมีอย่างน้อย 4 เส้น เส้นผ่าศูนย์กลางไม่ควรเล็กกว่า 9 มิลลิเมตร สำหรับเหล็กปลอกอาจเป็นปลอกแบบพัน หรือแบบปลอกเดี่ยวก็ได้ ต้องเสริมบริเวณปลายและ โคนเสาให้มาก เพราะทั้งที่ โคนและที่ปลายเสาเข็ม อาจเสียหายเนื่องจากแรงกระแทกได้ การทำให้คอนกรีตแน่นอาจใช้เครื่องเขย่าคอนกรีต หรืออาจใช้แบบชนิดเหวี่ยง (Spun) ก็ได้

จำนวนเปอร์เซ็นต์เหล็กปลอก เมื่อเทียบกับปริมาตรคอนกรีตในช่วงนั้นๆ ไม่ควรน้อยกว่าที่กำหนดในรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.1 ปริมาตรเหล็กปลอกคิเคิเปอริเซ็นต์เทียบกับปริมาตรคอนกรีต



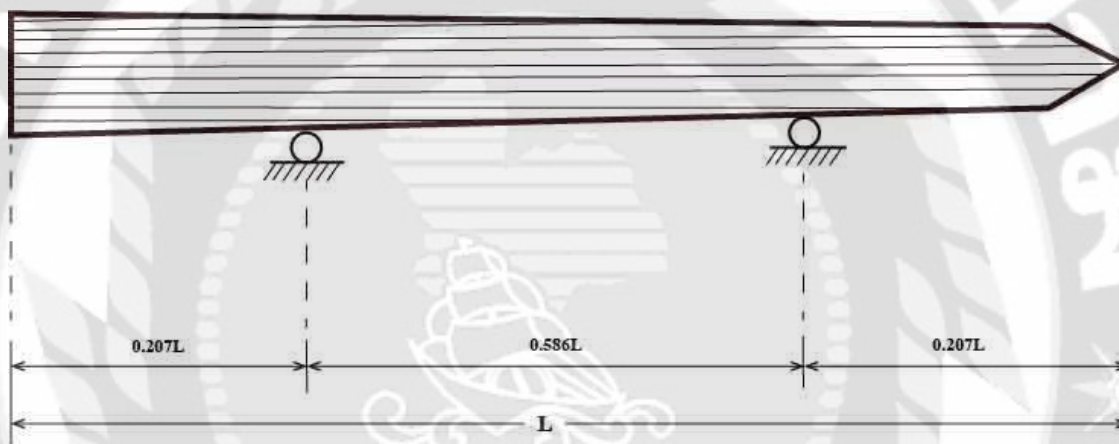
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างหน้าตัดเสาเข็มแบบต่างๆ

- **เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (Precast Prestressed Concrete Piles)** เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงรูปร่างและหน้าตัดเหมือนกับเสาเข็มคอนกรีตธรรมดา แต่ได้เปรียบกว่าที่สามารถทำได้ยาวกว่า และมีพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่า สำหรับเหล็กเสริมตามยาวนั้น เป็นลวดเหล็กรับแรงดึงได้สูง ตาม มอก. 95-2517 หรืออาจจะใช้ลวดเหล็กตาม ASTM 416-59 T หรือ JIS G 3536-1971

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงมีอยู่สองชนิดด้วยกันคือ ชนิดดึงลวดเหล็กก่อนแล้วค่อยหล่อคอนกรีต กับชนิดหล่อคอนกรีตก่อนแล้วค่อยดึงลวดเหล็ก แต่สำหรับในบ้านเรานิยมทำชนิดดึงลวดเหล็กก่อนแล้วค่อยหล่อคอนกรีต

การอัดแรงเข้าไปในคอนกรีตก่อน โดยการดึงเหล็กให้ยืดตัวออกแล้วปล่อยให้หดเข้า ในขณะที่เหล็กหดเข้านั้นมันจะอัดคอนกรีตทำให้คอนกรีตรับแรงอัดอยู่ก่อนใช้งาน การอัดแรงให้คอนกรีตนี้ทำให้คอนกรีตสามารถรับแรงโมเมนต์ดัดได้มากขึ้น นี่เป็นข้อได้เปรียบของเสาเข็มชนิดคอนกรีตอัดแรง การขนส่ง การยกตอก ต้องยกตามจุดยกที่ผู้ผลิตกำหนด เพราะผู้ผลิตได้คำนวณออกแบบไว้แล้ว ถ้าผู้ใช้ไม่ปฏิบัติตาม เสาเข็มอาจเสียหายได้

การตัดสินใจใช้เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จนั้น ผู้ซื้อควรจะแน่ใจว่าเสาเข็มชนิดนั้นๆ สามารถรับแรงอัดและโมเมนต์คดได้ตามที่ผู้ซื้อต้องการ การทดสอบว่าเสาเข็มนั้นจะเสียหายเนื่องจากชนส่งหรือยกตอกหรือไม่ เราสามารถทดสอบก่อนที่จะซื้อได้ โดยเอาเสาเข็มวางบนเหล็กเส้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. ซึ่งวางอยู่บนพื้นคอนกรีต โดยให้จุดยกอยู่ตรงเหล็กเส้นพอดีแล้วเพิ่มน้ำหนักกดอย่างสม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งความยาวของเสาเข็ม โดยปกติใช้น้ำหนักกด 30 เปอร์เซ็นต์ ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเสาเข็มต้นนั้น แล้วสังเกตรอยร้าวถ้ารอยร้าวเกิดขึ้นกว้างกว่า 0.2 มม. ถือว่าเข็มต้นนั้นใช้ไม่ได้ และถ้ารูปหน้าตัดของเสาเข็มเป็นรูปตัว I หรือรูปอื่นใดก็ตาม ควรเลือกเสาเข็มที่มีพื้นที่หน้าตัดมากๆ เพราะสามารถรับแรงกระทำเนื่องจากการตอกได้มาก และถ้าช่วงดินอ่อนลึกลงๆ เสาเข็มที่มีพื้นที่หน้าตัดโตจะทำหน้าที่เสาได้ดีกว่าเสาเข็มที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็ก



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการวางเสาเข็มเพื่อทดสอบสำหรับเสาเข็มมีจุดยกสองจุด

**2.1.1.3 เสาเข็มหล่อในที่ (Cast-in-place Concrete Piles)** เสาเข็มหล่อในที่ทำโดยเจาะรูลงไป ในดินจนได้ความลึกตามที่ต้องการ แล้วเทคอนกรีตจนเต็มรูที่เจาะอาจใช้สว่านเจาะตอกแบบหรือปลอกเหล็กหรืออาจจะกดปลอกเหล็กลงไปจุดดินภายในปลอกเหล็กขึ้นแล้วจึงเทคอนกรีต

โดยปกติเข็มหล่อในที่แบ่งตามลักษณะได้ 3 ชนิด Shell type (case type) ,Shell-less type (Uncased type) และ Pedestal (enlarged bulb)

- **Shell type** ทำโดยตอกปลอกเหล็กกลงปิดปลายลงไปดิน เมื่อถึงระดับที่ต้องการ แล้วจึงเทคอนกรีตลงไปปลอกเหล็ก โดยที่ปลอกเหล็กไว้เป็นส่วนหนึ่งของเสาเข็ม

- **Shell-less type** ทำโดยตอกหรือกดปลอกเหล็กกลงไปในดิน ถ้าเป็นปลอกเหล็ก ชนิดตอกมักจะมีแกนกลางสำหรับตอก เมื่อตอกถึงระดับที่ต้องการดึงแกนกลางออกแล้วเทคอนกรีตลงไป กระแทกคอนกรีตให้แน่นแล้วค่อยๆดึงปลอกขึ้นก่อนที่คอนกรีตจะก่อตัว ถ้าเป็นปลอกเหล็กชนิดใช้

กดลงไปมักจะเปิดปลาย เมื่อกดถึงระดับที่ต้องการจึงขุดดินออกแล้วจึงเทคอนกรีตแล้วจึงค่อยๆดึงปลอกเหล็กขึ้นเป็นระยะๆก่อนคอนกรีตก่อตัวเช่นเดียวกัน

- **Pedestal Type** เป็นเสาเข็มที่มีเชิงหรือกระเปาะอยู่ที่ปลายเสาเข็ม เชิงหรือกระเปาะอาจเป็นคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปกรวย หรืออาจจะตอกคอนกรีตที่เพิ่งผสมใหม่ด้วยลูกตุ้มหนักๆให้ลูกตุ้มดันดินกระจายออกไปรอบๆปลายปลอกเหล็กคอนกรีตก็จะแข็งตัวเป็นเชิงอยู่ใต้เสาเข็มในชั้นดินลึกๆ

- **เสาเข็มเหล็ก (Steel Piles)** เสาเข็มเหล็กถ้าทำด้วยท่อเหล็กมักจะเทคอนกรีตใส่ในท่อหลังจากตอกได้ถึงระดับที่ต้องการแล้ว แต่เสาเข็มเหล็กที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมักจะเป็นรูปตัว H เพราะสามารถตอกลงในดินได้ดีกว่าชนิดอื่นๆ สามารถตอกทะลุชั้นหินบางได้และสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่ารูปอื่นๆ

ข้อเสียของเสาเข็มเหล็กนั้นเห็นจะเนื่องจากการกัดกร่อนเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าตอกในชั้นดินที่ไม่ถูกรบกวนการกัดกร่อนจะน้อยมาก การป้องกันการกัดกร่อนนั้นเรามักจะเพื่อความหนาของเหล็กไว้ 1/16 นิ้ว จากรูปหน้าตัดที่คำนวณได้ หรืออาจจะเลือกใช้โลหะชนิดพิเศษซึ่งทำไว้สำหรับป้องกันการกัดกร่อนโดยเฉพาะ

สำหรับเสาเข็มที่ฝังอยู่ในชั้นดินที่ถูกรบกวนหรือชั้นดินถมบริเวณที่มีน้ำขึ้นน้ำลง หรือบริเวณที่เรียกว่าเปียกๆแห่งๆนั้น เราต้องป้องกันบริเวณนี้กรณีพิเศษ เช่น เทคอนกรีตหุ้มก่อนถมดินหรือทาสีอะครีลิกก่อนถมดินเหล่านี้เป็นต้น

- **เสาเข็มประกอบ (Composite Piles)** เสาเข็มประกอบเป็นเสาเข็มที่ประกอบด้วยวัสดุสองอย่างประกอบขึ้นเป็นเข็มต้นเดียวกัน เช่น ไม้กับคอนกรีตหรือเหล็กกับคอนกรีต ข้อสำคัญที่สุดของเสาเข็มประเภทนี้ก็คือ “ข้อต่อ” ข้อต่อต่อสัมผัสแนบสนิทกันสามารถถ่ายน้ำหนักบรรทุกได้โดยตรงข้อต่อต้องทนทานต่อแรงโมเมนต์คดและแรงดึงขึ้นหรือแรงยกขึ้น (Uplift force) ได้ดีและข้อต่อต้องประกบกันในสนามได้สะดวก

- **เสาเข็มเจาะเสียบ (Pre-bored Pile)** เป็นเสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จรูปธรรมดาทั่วไป แต่แทนที่จะทำการตอกตั้งแต่เริ่มแรก กลับทำการเจาะรูนำเสียบก่อนจนเลยระดับความลึกของชั้นดินอ่อนเพื่อให้เมื่อตอกเสาเข็มแล้วแรงสั่นสะเทือนเกิดขึ้นน้อย จากผลการทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็มประเภทนี้ปรากฏว่าการใช้เข็มเจาะเสียบนี้ไม่ทำให้การรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลงเลย

### ประโยชน์ของเสาเข็มชนิดนี้ก็คือ

1.ลดปริมาตรในการแทนที่ด้วยเสาเข็ม



2. ลดค่า Negative Skin Friction เพราะก่อนการตอกได้ขุดเอาดินอ่อนในตำแหน่งที่จะตอกเสาเข็มออกไปก่อนแล้ว โดยที่หลุมเจาะมีขนาดโตกว่าเสาเข็มประมาณ 5-10 เซนติเมตร

3. ลดความสั่นสะเทือนในส่วนดินชั้นบนๆ เพราะหลุมเจาะมีขนาดใหญ่กว่าเสาเข็ม

4. ลดการเคลื่อนตัวของดินชั้นบนๆ ซึ่งอาจจะทำให้ตำแหน่งของเสาเข็มผิดไปจากที่ต้องการ

5. ลดความเสียหายอันอาจจะเกิดต่ออาคารข้างเคียงได้มาก

6. มีความมั่นใจในการตอกเสาเข็มคือมีความมั่นใจว่าเสาเข็มจะไม่เกิดการหัก

ขึ้น

- **เสาเข็มไมโคร (Micro-Piles)** เป็นเสาเข็มเจาะขนาดเล็กมีขนาดระหว่าง 150-250 มม. ใช้ผงดินเหนียว (Bentonite) ผสมน้ำใส่ลงไปในรูเจาะเพื่อป้องกันดินพัง รับน้ำหนักส่วนใหญ่ด้วยความหนักของผนังเสาเข็ม ท่อเหล็กที่ใช้ทำเสาเข็มไมโครจะต้องเป็นชนิดไม่มีตะเข็บ (Seamless pipe) ท่อเหล็กที่ใช้ที่มีกำลังคลาก (yield point) สูงจะประหยัดกว่าชนิดที่มีกำลังคลากต่ำ ปกติมักใช้ท่อเหล็กยาวประมาณท่อนละ 2-3 เมตร ปลายทั้ง 2 ข้างเป็นเกลียวต่อกันด้วย Coupling ตัวท่อปลายของท่อนสุดท้ายทำเป็น non-return valve เพื่อใช้สำหรับการอัดน้ำปูนครั้งแรก ส่วนของท่อนเหล็กบริเวณที่จะทำ non-return valve เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. ปกติใช้ 4 รู ห่างเท่าๆกัน โดยระยะระหว่างรูแต่ละชุดประมาณ 50 ซม. สำหรับการอัดน้ำปูนครั้งที่ 2

### 2.1.2 ข้อกำหนดเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม

การจัดตำแหน่งของเสาเข็มที่จะตอก ต้องให้อยู่ในตำแหน่งที่วิศวกรกำหนดให้ผิดพลาดได้ไม่เกิน 5-10 ซม. ถ้าตอกผิดมากกว่านี้จะเกิดแรงหนีศูนย์กลางขึ้นและเสาเข็มจะรับแรงโมเมนต์ตัดจะเป็นอันตรายได้ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมงานอย่างใกล้ชิด ถ้าเป็นชนิดเข็มกลุ่มให้ตอกจากภายในมาสู่ภายนอก หรือถ้าตอกเข็มใกล้อาคารข้างเคียงให้ตอกจากใกล้อาคารข้างเคียงก่อนแล้วค่อยตอกไล่ออกมาภายนอก เพราะปริมาตรดินที่เข็มแทนที่นั้นจะไปดันเข็มเดิมหรือเข็มที่ตอกก็มีความสำคัญมาก การตอกเข็มต้องใช้หมอนรองรับ เช่น อาจใช้กระสอบหรือไม้เพื่อลดแรงกระแทกจากลูกตุ้ม เมื่อตอกได้ความต้านทานที่ต้องการแล้วให้หยุดตอก เพราะถ้าเดินต่อไปหัวเสาเข็มอาจเสียหายได้ เช่น คवरหยุดเมื่อผลการตอกเสาเข็มดังนี้

เสาเข็มไม้	4-5 ครั้ง/การจม 1 นิ้ว
เสาเข็มคอนกรีต	6-8 ครั้ง/การจม 1 นิ้ว

เสาเข็มเหล็ก 12-15 ครั้ง/การจม 1 นิ้ว

ระหว่างการตอกเสาเข็มนั้นต้องคอยแก้ทิศทางของเสาเข็ม ถ้าผิวหน้าไม่เรียบ เข็มอาจเปลี่ยนทิศทางได้ ถ้าระหว่างการตอกเสาเข็มเปลี่ยนทิศทางหรือตอกจมผิดปกติเสาเข็มอาจจะหัก เสาเข็มต้นนั้นใช้ไม่ได้

การตอกเสาเข็มบริเวณดินเหนียวหรือดินตะกอน (Silt) คือดินพวกที่น้ำหนีได้ช้า เมื่อเสาเข็มแทนที่ดินทำให้แรงดันของน้ำในดิน (pore water pressure) เพิ่มขึ้นทำให้มีกำลังดันเสาเข็มให้ลอยขึ้นมาหรือเรียกว่าเสาเข็มจะรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่าปกติในช่วงแรกของการตอกไม่มีผลเท่าไรนัก ถ้าเข็มนั้นเราออกแบบให้รับน้ำหนักแบบเสียดทาน แต่ถ้าเป็นเสาเข็มชนิดรับน้ำหนักที่ปลายจะทรุดตัวเร็วในช่วงแรกและจะเป็นข้อผิดพลาดมากถ้าเราตอกเสาเข็มเพื่อทำเป็นหมุดหลักฐานของการสำรวจค่าระดับเว้นแต่ได้ตอกเสาเข็มใกล้เคียงเสร็จเรียบร้อยแล้ว

การตอกเสาเข็มดินเหนียวบางชนิดดินจะถูกรบกวนมาก ทำให้ดินรับน้ำหนักได้น้อยลงอาจทิ้งไว้หลังจากตอกเสาเข็มเสร็จแล้วหนึ่งถึงสองเดือนหรืออาจมากกว่าจึงทำการก่อสร้างได้

**2.1.2.1 การตอกเสาเข็ม** หมายถึง กรรมวิธีใดๆก็ตามที่ทำให้เข็มอยู่ใต้ดิน ณ ตำแหน่งที่เราต้องการพร้อมที่จะรับน้ำหนักบรรทุกจากอาคารได้ วิธีตอกเสาเข็มมีอยู่หลายแบบด้วยกัน เช่น

- **Drop hammer** เป็นวิธีที่เก่าแก่ที่สุดและยังคงใช้อยู่ในปัจจุบัน ประกอบด้วยปั้นจั่นตัวใหญ่พร้อมทั้งลูกตุ้มที่สามารถเลื่อนขึ้นลงได้ตามความต้องการ โดยใช้สายลวดสลิงเป็นตัวยกลูกตุ้มให้สูงขึ้นไปปล่อยตกลงมาบนหัวเสาเข็มลูกตุ้มที่ต้องไม่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก

- **Steam hammer** ประกอบด้วยกรอบเหล็กสั้นๆซึ่งเป็นรางวางให้ลูกตุ้มวิ่งขึ้นวิ่งลง การบังคับลูกตุ้มบังคับด้วยการระเบิดของไอน้ำหรือแรงกดของอากาศ Steam hammer มีระยะลงที่ตอกรวดและเร็วทำการตอกสม่ำเสมอ มีการสั่นสะเทือนคงที่ การเสียหายเนื่องจากการตอกวิธีนี้น้อยกว่าวิธี Drop hammer

- **Water jet** การตอกวิธีนี้เราต้องฝังท่อไว้ในเสาเข็มแล้วอัดน้ำลงไปตามท่อด้วยความดันสูงไปยังปลายของเสาเข็ม แรงกดดันน้ำจะทำให้ดินรอบๆปลายเสาเข็มหลวมทำให้เข็มจมลงด้วยน้ำหนักตัวมันเองการตอกเข็มวิธีนี้เหมาะที่จะใช้กับดินกรวดหรือทรายหรือกับเสาเข็มที่ออกแบบให้รับน้ำหนักที่ปลาย เพราะถ้าตอกบริเวณดินเหนียวจะทำให้ดินเหนียวรอบๆเสาเข็มเป็นโคลน ถ้าตอกบริเวณดินตะกอนทำให้ดินตะกอนมีลักษณะกึ่งของไหล

- **Jacking** ถ้าต้องการตอกบริเวณที่มีระยะยกไม่สูงนักหรือบริเวณที่ทำให้เกิดการ  
สั่นสะเทือนไม่ได้ เราต้องใช้ Hydraulic Jack กดเสาเข็มให้เสาเข็มจมลง

### 2.1.3 วัตถุประสงค์ในการนำเสาเข็มไปใช้ในงานก่อสร้าง

2.1.3.1 เพื่อถ่ายน้ำหนักผ่านน้ำหรือชั้นดินอ่อนไปยังชั้นดินแข็งที่เหมาะสมได้แก่ เสาเข็มรับ  
น้ำหนักที่ปลาย (End-Bearing-Piles)

2.1.3.2 เพื่อถ่ายน้ำหนักลึกลงไปในชั้นดินอ่อนด้วยแรงเสียดทาน (Skin Friction) ตลอดความ  
ยาวของเสาเข็มได้แก่ เสาเข็มเสียดทาน

2.1.3.3 เพื่ออัดให้ดินประเภท Granular soils ให้แน่นตัวเพื่อเพิ่ม Bearing Capacity ของมัน  
ได้แก่ Compaction piles

2.1.3.4 เพื่อขยายความลึกของฐานรากให้ผ่านบริเวณที่จะเกิด Scouring ป้องกันไว้เพื่อดินจะสึก  
กร่อนหนีไป

2.1.3.5 เพื่อเป็นสมอรั้งโครงสร้างต่างๆที่รับแรงถอน (uplift) เนื่องจากแรงดันของน้ำหรือ  
Overturning Moment ได้แก่ Tension piles หรือ Uplift piles

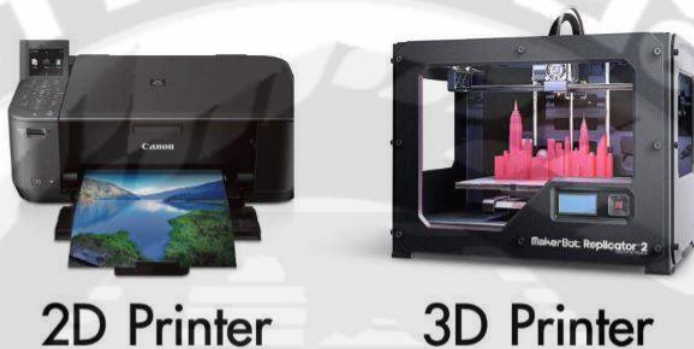
2.1.3.6 เพื่อเป็นสมอด้านแรงจุดในแนวนอนจากกำแพงกันดินหรือแรงจุดอื่นๆ ได้แก่ Anchor  
piles

2.1.3.7 เพื่อป้องกันเขื่อนเทียบเรือจากการกระแทกของเรือหรือวัตถุลอยน้ำอื่นๆ ได้แก่ Fender  
piles และ Dolphins

2.1.3.8 เพื่อต้านทานแรงในแนวราบหรือแรงในแนวเอียงที่มีค่ามากต่างๆ ได้แก่ Batter piles

## 2.2 ระบบ 3D Printer

การพิมพ์แบบสามมิติถือเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยม ซึ่งเป็นการสร้างโมเดลเสมือนจริงหรือการขึ้นรูปชิ้นงาน เครื่องพิมพ์แบบสามมิติไม่ใช่เรื่องใหม่ เพราะมีประวัติการพัฒนาที่ยาวนานกว่า 30 ปีแล้ว แต่สิ่งที่ทำให้วงการนี้กลับมาเป็นที่น่าสนใจอีกครั้งเพราะมีผู้ที่พยายามพัฒนาเครื่องพิมพ์สามมิติให้เข้าสู่ผู้ใช้ในระดับครัวเรือนมากขึ้น



2D Printer

3D Printer

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการพิมพ์ระบบ 2D และการพิมพ์ระบบ 3D

เครื่องพิมพ์แบบสามมิติถูกสร้างขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1984 โดย Charles W. (Chuck) Hull เป็นผู้ออกแบบเครื่องพิมพ์แบบสามมิติให้กับบริษัท 3D Systems Corporation โดยเครื่องพิมพ์สามมิตินี้ถูกตั้งชื่อว่า Stereo lithographic 3D Printer



รูปที่ 2.5 เครื่องพิมพ์สามมิติชื่อ Stereo lithographic 3D Printer

3D Printer นั้นสามารถสร้างชิ้นงานออกมาเป็นวัตถุที่จับต้องได้ มีความกว้าง ลึก สูง ไม่เหมือน 2D Printer ที่ใช้งานโดยทั่วไปที่พิมพ์หมึกสีลงบนกระดาษเช่น หากพิมพ์ลูกบอลลงบนกระดาษ (2D)

เราจะได้กระดาษที่มีรูปลูกบอลอยู่ แต่หากเราพิมพ์จาก 3D Printer ชิ้นงานที่ได้จะเป็นลูกบอลทรงกลมเหมือนของจริง



2D Print



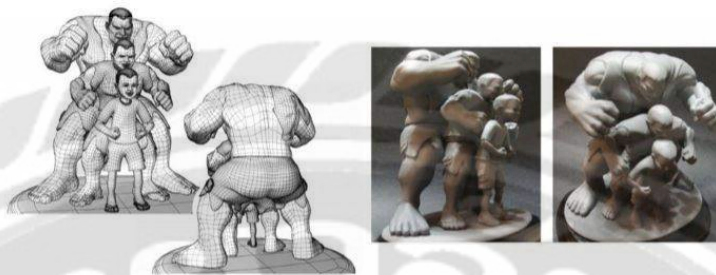
3D Print

รูปที่ 2.6 ชิ้นงานจากการพิมพ์ระบบ 2D Print และการพิมพ์ระบบ 3D Print

3D Printer ส่วนใหญ่จะใช้หลักการทำงานเดียวกันคือพิมพ์ 2 มิติแต่ละชั้นในแนวระบากับพื้นโลก XY ก่อน ส่วนที่พิมพ์ก็คือภาพตัดขวาง Cross Section ของวัตถุนั้นๆเอง เมื่อพิมพ์ในด้านสองมิติเสร็จแล้ว เครื่อง 3D Printer จะเลื่อนฐานพิมพ์ไปพิมพ์ชั้นถัดไป จากนั้นจะพิมพ์ทับไปเรื่อยๆหลายร้อยหลายพันชั้นจนออกมาเป็นรูปร่าง 3 มิติ การเลื่อนขึ้นหรือลง (เลื่อนในแนวแกน Z) ของฐานพิมพ์ทำให้เกิดมิติที่ 3 ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้ในการพิมพ์ชิ้นงานของ 3D Printer นั้นแตกต่างกันออกไปตามประเภทของเครื่องพิมพ์

โดยปกติความละเอียดในการพิมพ์ชิ้นงานของเครื่อง 3D Printer จะใช้หน่วยวัดเป็นไมครอน เช่น 100 Micron (0.1mm) ต่อชั้น ซึ่งหมายความว่าในแต่ละชั้นนั้นจะพิมพ์ให้มีขนาดความสูงประมาณ 0.1 mm ดังนั้นหากโมเดลมีความสูง 10 mm เครื่องพิมพ์จะต้องพิมพ์ทั้งหมด 100 ชั้น หากพิมพ์ที่ความละเอียด 50 Micron เครื่องจะพิมพ์ทั้งหมด 200 ชั้น ซึ่งความละเอียด 50 Micron นั้นทำให้ได้ผลงานที่มีความละเอียดและความสวยงามมากกว่า แต่ต้องใช้ระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นประมาณเท่าตัว

ไฟล์งานที่ใช้กับเครื่อง 3D Printer นั้นเป็นไฟล์ 3 มิติ แทนที่จะเป็นรูปภาพเหมือนในเครื่องพิมพ์บนกระดาษทั่วไป 3D File นี้้อาจสร้างจากโปรแกรมเช่น AutoCAD, Solid Work, 3Ds Max, Zbrush, Maya, SketchUp และ Adobe Photoshop



3D Files

3D Print

รูปที่ 2.7 ไฟล์งานที่ใช้กับเครื่อง 3D Printer

ประเภทของ 3D Printer นั้นสามารถแบ่งออกได้ตามกระบวนการพิมพ์และวัสดุดังนี้

### 2.2.1 ระบบฉีดเส้นพลาสติก (FDM หรือ FFF)

FDM (Fused Deposition Modeling) หรือ FFF เป็นเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากมีจำหน่ายตามท้องตลาดและมีราคาถูก โดยมีหลักการทำงานคือ การหลอมเส้นพลาสติกให้กลายเป็นของเหลวแล้วฉีดออกมาเป็นเส้นผ่านหัวฉีด (Nozzle) คล้ายกับปืนกาวที่ใช้กันทั่วไป เครื่อง FDM 3D Printer จะวาดเส้นพลาสติกที่ถูกฉีดออกมาเป็นรูปร่างในแนวแกนระนาบก่อน เมื่อเสร็จชั้นหนึ่งแล้วก็จะพิมพ์ในชั้นต่อไปจนครบหลายร้อยหรือหลายพัน Layer ก็จะได้ชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้

FDM Printer ใช้ได้กับงานทุกประเภท ชิ้นงานที่พิมพ์สามารถนำมาขัด แต่ง หรือเจาะได้และนำมาใช้งานได้จริงเช่นใช้เป็นชิ้นส่วนในเครื่องจักร เครื่อง FDM Printer สามารถใช้วัสดุได้หลากหลายและหาได้ง่ายตามท้องตลาด เช่น เส้น PLA, ABS, PET, NYLON, WOOD (พลาสติกผสมไม้), Bronze (พลาสติกผสมทองเหลือง) เป็นต้น



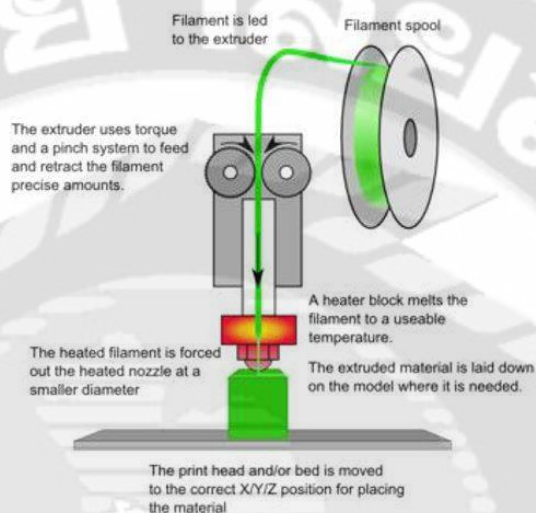
FDM/FFF Printer

Material

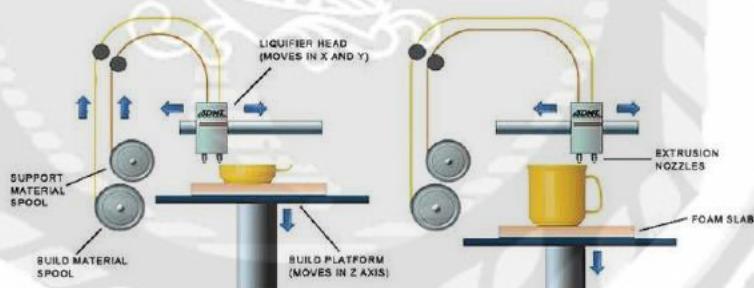
Print

รูปที่ 2.8 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ FDM Printer, วัสดุสำหรับพิมพ์, ชิ้นงานที่พิมพ์สำเร็จ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ระบบ FDM นั้นมีการใช้แพร่หลายที่สุดในโลกและขยายวงกว้างมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย ราคาเริ่มต้นอยู่ที่หลักหมื่นบาทไปจนถึงหลักแสนบาท สามารถใช้ได้กับวัสดุหลากหลายชนิดเปลี่ยนไปตามเส้นพลาสติกที่ใช้ ปัจจุบันเครื่องพิมพ์ 3 มิติในท้องตลาดเป็นเครื่องระบบ FDM กว่า 80-90 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.9 มอเตอร์ขับเคลื่อนเส้นพลาสติกมายังหัวฉีด



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของ FDM Printer แบบสองหัวฉีด

หลักการทำงานของเครื่องระบบ FDM คือการฉีดและวาดเส้นพลาสติกออกมาเป็นวัตถุ ส่วนของหัวฉีดทำหน้าที่ฉีดเส้นพลาสติกออกมา โดยที่หัวฉีดจะมีฮีตเตอร์ทำความร้อนให้ถึงจุดที่เส้นพลาสติกละลายเป็นน้ำแล้วจึงฉีดผ่านหัวฉีดออกมา โดยปกติหัวฉีดจะมีรูขนาด 0.4 มม. และมีมอเตอร์สำหรับควบคุมหัวฉีดหรือฐานพิมพ์ให้เคลื่อนที่และพิมพ์ไปที่ละชั้นจนออกมาเป็นชิ้นงานขึ้นรูป เครื่องพิมพ์มีความสามารถทำงานที่ซับซ้อนได้ เช่น ประแจเคลื่อนที่พิมพ์เพียงครั้งเดียวโดยไม่ต้องมาประกอบอีกในภายหลัง

เครื่องรับคำสั่ง G-Code ซึ่งเป็นภาษาเดียวกับการสั่งงานเครื่อง CNC หรือ Milling ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยโปรแกรมสำหรับการสร้าง G-Code นั้นมีให้เลือกใช้งานหลากหลาย เช่น Cura, Simplify3D, MakerWare, Slic3r, Repetier เป็นต้น เริ่มต้นเมื่อทำการเปิดโมเดลขึ้นมาและกำหนดค่าที่ต้องการพิมพ์ทีละชั้น ชั้นที่เครื่องพิมพ์ๆนั้นเป็น Cross Section ของวัตถุนั้นเอง

**ประเภทของเครื่อง FDM/FFF 3D Printer** เครื่องพิมพ์ FDM นั้นมีอยู่หลายชนิด แต่ชนิดที่นิยมมีดังต่อไปนี้

1. **Cartesian** สามารถพบเห็นทั่วไปตามท้องตลาด เครื่องจะพิมพ์ Fix แกนใดแกนหนึ่งด้วยการเคลื่อนที่ของหัวฉีด ตัวอย่างที่พบเห็นได้ง่ายที่สุดคือยี่ห้อ MakerBot หรือ Ultimaker มีการ Fix การเคลื่อนที่ของหัวฉีดในแกน X,Y เท่านั้น คือวิ่งได้ซ้ายขวา/หน้าหลัง ส่วนฐานพิมพ์นั้นจะเคลื่อนที่ในแกนแนว Z คือเคลื่อนที่ขึ้นลง



รูปที่ 2.11 FDM 3D Printer ชนิด Cartesian ยี่ห้อ MakerBot และยี่ห้อ Ultimaker

**ข้อดี** เครื่องพิมพ์ค่อนข้างจะมีความเสถียรมากกว่า เนื่องจากการเคลื่อนที่ของหัวฉีดจะเคลื่อนที่อยู่ใน 1 หรือ 2 แกนในรางสไลด์

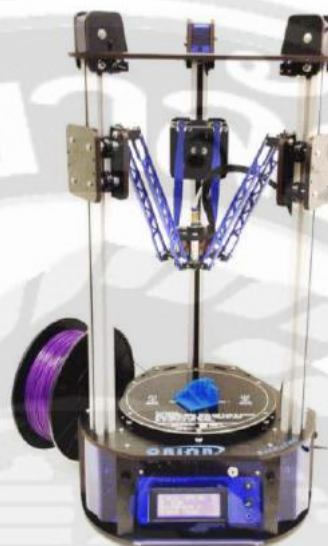
**ข้อเสีย** หากเครื่องพิมพ์มีขนาดใหญ่ขึ้นจะผลิตค่อนข้างยากและมีน้ำหนักมาก

2. **Delta** เครื่องพิมพ์ระบบนี้จุดสังเกตได้ง่ายที่สุดคือมีแกนเสาอยู่ 3 เสา เครื่อง Delta นั้นจะมีฐานพิมพ์อยู่กับที่ หัวฉีดจะเคลื่อนที่อย่างอิสระทั้งสามแกน X, Y, Z โดยควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวฉีดด้วยการทำงานสัมพันธ์กันของมอเตอร์ทั้งสามตัว เครื่องระบบนี้สามารถสร้างให้มีขนาดใหญ่หลายๆได้

**ข้อดี** สามารถสร้างเครื่องให้พิมพ์ชิ้นงานได้ง่าย มีน้ำหนักน้อยและมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ



ข้อเสีย คุณภาพงานลดลงเมื่ออยู่ห่างจากจุดศูนย์กลาง (กลางฐานจะพิมพ์ชิ้นงานได้ดีกว่าส่วนที่ห่างจากจุดกึ่งกลาง)



รูปที่ 2.12 เครื่องพิมพ์ FDM 3D Printer ชนิด Delta

วัสดุของเครื่อง FDM/FFF 3D Printer โดยทั่วไปแล้วจะเป็นพลาสติกเส้นซึ่งให้มีเลือกใช้งานอยู่ 2 ขนาดคือ 1.75 mm. และ 3.0 mm. โดยเส้นพลาสติกนั้นจะทำมาในรูปแบบม้วน ปัจจุบันมีเส้นพลาสติกให้เลือกใช้งานมากกว่า 50 ชนิดในท้องตลาด เช่น

1. PLA (Polylactic Acid) เป็นเส้นพลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น กากพืชผลทางการเกษตร, ข้าวโพด, มันสำปะหลัง พลาสติกชนิดนี้เหมาะกับการใช้กับ 3D Printer เกือบทุกชนิด เนื่องจากค่อนข้างปลอดภัย ไม่มีกลิ่นพลาสติกไหม้ หดตัวน้อย ไม่จำเป็นต้องใช้ฐานทำความร้อน ข้อเสียคือทนความร้อนได้ไม่สูงนัก

2. ABS (Acrylonitrile Butadiene) เป็นพลาสติกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน เช่น ชั้นน้ำ ถังน้ำ หรือของเล่น Lego ข้อดีคือ ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีแต่มีข้อเสียค่อนข้างมากคือพิมพ์ได้ยาก เนื่องจากมีอัตราการหดตัวสูง ต้องเปิดฐานทำความร้อน พิมพ์แล้วมีกลิ่นพลาสติกไหม้

3. Dissolvable filament หรือเส้นพลาสติกที่ละลายออกได้ ใช้ในการพิมพ์ในส่วน Support ต้องใช้กับเครื่องพิมพ์ FDM ที่มีหัวตั้งแต่ 2 หัวขึ้นไป พลาสติกที่พิมพ์นี้จะถูกละลายออกไปหลังการพิมพ์ชิ้นงานเสร็จ (โดยทั่วไปเครื่องพิมพ์ที่มีราคาสูงจะมี 2 หัวฉีด เพื่อให้อีกหัวหนึ่งทำหน้าที่พิมพ์ Dissolvable filament)

4.อื่นๆ นอกจากเส้นพลาสติกที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วยังมีเส้นพลาสติกให้เลือกใช้อีกหลากหลายชนิดเช่น เส้นไม้ (Wood filament) เส้นผสมทองเหลือง (Bronze filament) เส้นผสมทองแดง (Copper filament), Nylon, PETG, Rubber etc.

### การนำไปใช้

1. ชิ้นส่วนต่างๆ เนื่องจากชิ้นงานที่เกิดจากการพิมพ์โดย FDM 3D Printer มีความแข็งแรงพอสมควรจึงสามารถนำชิ้นงานเหล่านี้มาใช้ได้จริง



รูปที่ 2.13 มือสำหรับผู้พิการ

2. โมเดล Mock Up งานออกแบบ Scale หรืองานสร้างแบบจำลอง เราสามารถกำหนดค่า Scale ในการพิมพ์ได้



รูปที่ 2.14 งาน Scale ของสถานที่สำคัญของโลก

3. ออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบชิ้นส่วนก่อนทำการผลิตจริง เป็นตัวอย่างให้ลูกค้าดูก่อนว่างานที่ออกแบบมานั้นมีรูปร่างอย่างไรก่อนนำไปดำเนินการผลิตจริง



รูปที่ 2.15 โคมไฟที่เกิดจากการออกแบบด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

4.เครื่องใช้ในบ้านสามารถใช้สร้างเครื่องใช้ภายในบ้านได้เลย เช่น ที่วางสบู่ ที่วาง Ipad เป็นต้น



รูปที่ 2.16 แม่พิมพ์คุกกี้ที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

5.การศึกษา ใ้ใช้ประกอบการศึกษาเช่น การสอนส่วนประกอบของเครื่องยนต์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์หรือชิ้นส่วนอวัยวะของมนุษย์ในคณะแพทยศาสตร์



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์เกียร์ Manual ใช้ประกอบการสอนนักเรียน

### ข้อดี

1. มีราคาถูกที่สุด สามารถซื้อหาได้ทั่วไป เนื่องจากต้นทุนการผลิตถูก แล้วส่วนมาก Open source จึงซื้อหาได้ทั่วไป
2. งานที่พิมพ์ออกมาสามารถใช้งาน รับแรง หรือขัดแต่ง และสามารถนำชิ้นส่วนที่พิมพ์ไปเป็นส่วนประกอบในเครื่องจักรได้
3. มีวัสดุให้เลือกใช้งานหลายชนิด เนื่องจากเป็นที่นิยมจึงมีหลายบริษัทผลิตเส้นพลาสติกหลากหลายชนิด
4. ใช้งานง่ายและต้นทุนวัสดุสิ้นเปลืองต่ำ ปัจจุบันมีโปรแกรมสำหรับเครื่อง FDM ให้เลือกใช้มากมาย การใช้งานค่อนข้างง่าย

### ข้อเสีย

1. ความละเอียดในการพิมพ์อาจจะสู้ระบบอื่นไม่ได้ เนื่องจากการพิมพ์เกิดจากการฉีดเส้นพลาสติกออกมา ขนาดหัวฉีดที่นิยมคือ 0.4 มม. แต่ถึงอย่างไรชิ้นงานที่ได้ยังคงเป็นเส้นอยู่ แม้จะพิมพ์ที่ความละเอียดสูงแล้วก็ตาม
  2. หากเทียบขนาดของชิ้นงานและความละเอียดที่เท่ากันระบบ FDM ถือว่าใช้เวลาในการพิมพ์สูงกว่าระบบอื่น เนื่องจากการพิมพ์โดยการฉีดเส้นพลาสติกบางๆ แล้วค่อยๆ วาดจนออกมาเป็นรูปร่าง
- โดยรวมแล้วเครื่องพิมพ์ระบบ FDM เป็นระบบที่มีราคาถูกที่สุดและเป็นที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบันแต่อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดอยู่ในเรื่องสีของชิ้นงานที่ไม่สมจริง (True color) รวมถึงไม่สามารถพิมพ์งานที่ละเอียดมากได้ อีกทั้งผิวของชิ้นงานที่พิมพ์ออกมานั้นยังเป็นร่องระบบอื่นอยู่

### 2.2.2 ระบบถาดเรซิน (SLA หรือ DLP)

SLA หรือระบบ DLP นั้นมีหลักการทำงานเหมือนกันกล่าวคือ เครื่องระบบนี้จะฉายแสงไปทั่วถาดที่ใส่เรซินความไวแสงไว (Photo Resin/Photopolymer) เมื่อเรซินถูกแสงจะแข็งเฉพาะจุดที่โดนแสงจึงใช้หลักการแข็งตัวของเรซินนี้ในการทำชิ้นงานให้เกิดรูปร่างขึ้นมา เมื่อทำให้เกิดรูปร่างขึ้นในชั้นหนึ่งๆ แล้วเครื่องก็จะเริ่มทำให้แข็งเป็นรูปร่างในชั้นต่อไปจนเกิดเป็นชิ้นงานวัตถุที่จับต้องได้

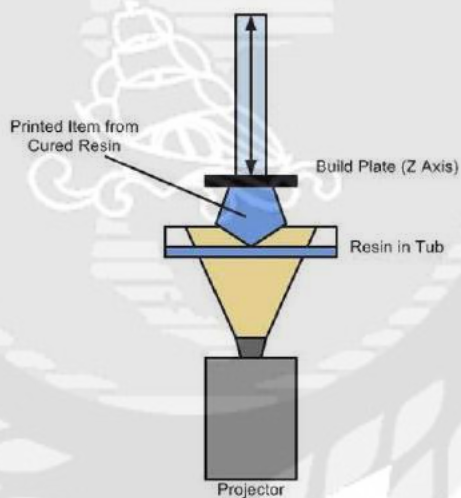
ระบบ SLA (Stereo lithography) และ DLP (Digital Light Processing) มีความแตกต่างกันที่ต้นกำเนิดแสงระบบ SLA ใช้แหล่งกำเนิดแสงด้วยแสงเลเซอร์ดังนั้น เครื่องจะทำการยิงแสงเลเซอร์ไปที่เรซิน โดยวาดเส้นเลเซอร์ไปเรื่อยๆ ถ้าต้องการพิมพ์ชิ้นงานขนาดใหญ่จะใช้ระยะเวลาในการวาดนาน ส่วนระบบ DLP นั้นใช้เวลาในการพิมพ์น้อยกว่าและระยะเวลาไม่ขึ้นกับจำนวนชิ้นงานบนฐานพิมพ์ เนื่องจากไม่ต้องวาดทีละเส้น

การพิมพ์ระบบถาดเรซินนี้ส่วนใหญ่เป็นการสร้างชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและต้องการความละเอียดที่สูงจึงเหมาะกับธุรกิจประเภทเครื่องประดับ Jewelry งานหล่อ ชิ้นส่วนขนาดเล็กในงานอุตสาหกรรม ออกแบบผลิตภัณฑ์ งานโมเดลฟิกเกอร์ หรือแม่กระทั่งงานพระเครื่อง

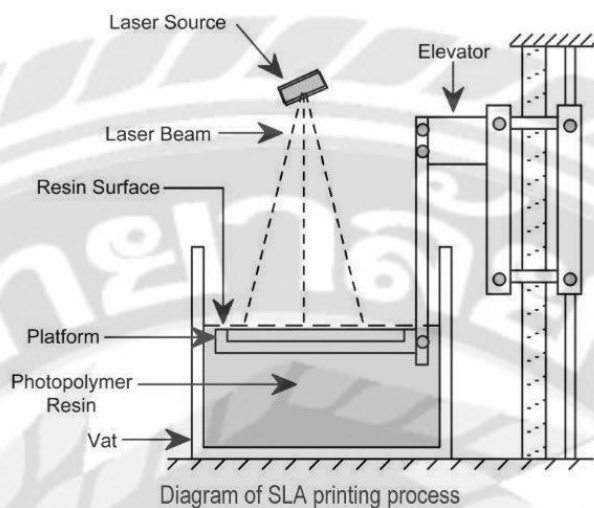


รูปที่ 2.18 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ DLP/FDM Printer, วัสดุสำหรับพิมพ์, ชิ้นงานที่พิมพ์สำเร็จ

เครื่องพิมพ์แบบ SLA หรือ DLP นั้นมีหลักการทำงานเช่นเดียวกันคือการฉายแสงไปยังเรซินที่ไวต่อแสงและแข็งตัวเมื่อโดนแสงที่ย่านความถี่เฉพาะตัว ขึ้นรูปจากน้ำเรซิน (Photopolymer Resin) เป็นวัตถุแข็งตัว



รูปที่ 2.19 หลักการทำงานของระบบ DLP



รูปที่ 2.20 หลักการทำงานของระบบ SLA

หลักการทำงานของเครื่องระบบ DLP/SLA นั้นคล้ายกับการ “ปั้นน้ำให้เป็นตัว” โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องคือ ถาดใส่น้ำเรซิน, ฐานพิมพ์ที่เคลื่อนที่ขึ้น-ลง และแหล่งกำเนิดแสง น้ำเรซินดังกล่าวคือ Photo Sensitive Resin ซึ่งเรซินชนิดนี้เมื่อถูกแสงที่มีความถี่ช่วงประมาณ 360-420 nm. (แล้วแต่ชนิดของเรซินจะแข็งตัวที่ความถี่จำเพาะ) เรซินจะแข็งตัวเป็นก้อนพลาสติก ดังนั้นหากฉายแสงทีละชั้นไปเรื่อยๆ หลายร้อยหลายพันชั้นก็จะขึ้นรูปออกมาเป็นชิ้นงาน ซึ่งแหล่งกำเนิดที่ฉายในแต่ละชั้นคือ ภาพ Cross Section หรือภาพตัดขวาง ณ ตำแหน่งนั้นๆ ของวัตถุที่ต้องการพิมพ์นั่นเอง

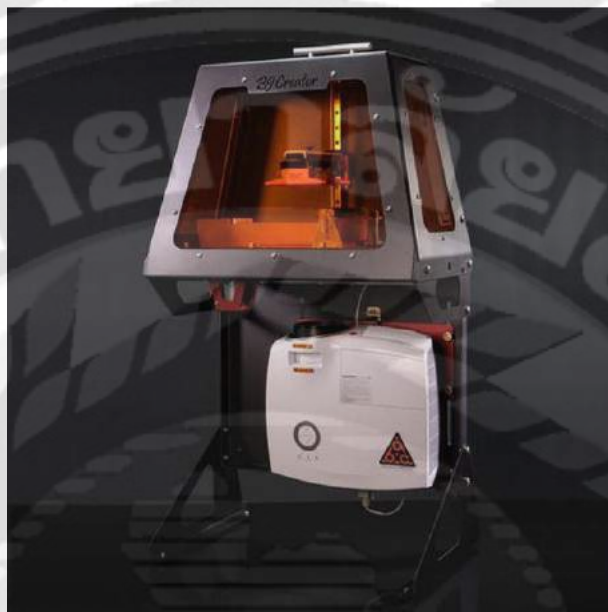
เนื่องจากเครื่องพิมพ์ระบบ DLP/SLA ใช้แหล่งกำเนิดเป็นแสง เครื่องจึงสามารถสร้างชิ้นงานได้อย่างละเอียดมาก (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสง เช่น ความละเอียดของแสงเลเซอร์หรือความละเอียดของโปรเจคเตอร์) แต่เครื่องพิมพ์นี้ยังมีข้อจำกัดอยู่เช่นกันคือ สามารถสร้างชิ้นงานได้ในขนาดที่จำกัด โดยชิ้นงานที่สร้างได้นั้นมีขนาดค่อนข้างเล็กถึงเล็กมาก ซึ่งหลังจากทำการสร้างชิ้นงานแล้ว อาจจะต้องมีการฉายแสงด้วยหลอด UV อีกครั้งเพื่อให้ชิ้นวัตถุแข็งตัวคงที่

### ประเภทของ DLP/SLA 3D Printer

ความแตกต่างของทั้งสองระบบนั้นอยู่ที่แหล่งกำเนิดแสง DLP แหล่งกำเนิดแสงคือ Projector ส่วน SLA แหล่งกำเนิดแสงคือเลเซอร์

**1. DLP Printer** ย่อมาจาก **Direct Light Process** ซึ่งใช้โปรเจคเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง หลักการทำงานของเครื่องคือ “ฉายแสงเป็นภาพ” ดังนั้นจึงขึ้นรูปในแต่ละชั้นโดยการฉายแสงเพียงครั้งเดียว ปกติแล้วเครื่องแบบ DLP จะมีขนาดใหญ่กว่าเครื่องแบบ SLA เนื่องจากต้องมีพื้นที่ไว้วางเครื่อง

Projector แต่ข้อดีคือเครื่องสามารถพิมพ์ได้รวดเร็วกว่าระบบ SLA เนื่องจากการฉายแสงเพียงครั้งเดียว ไม่ใช่วาดขึ้นมาเป็นรูปเหมือน SLA



รูปที่ 2.21 เครื่องพิมพ์ DLP 3D Printer ยี่ห้อ B9Creator

**2. SLA Printer หรือ Stereo lithography** เป็นระบบที่มีการใช้งานมาเป็นเวลาสิบปีแล้ว ซึ่งใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบเลเซอร์ หลักการทำงานของเครื่องคือการ “วาดเส้น” โดยเครื่องจะมีกระจกที่เคลื่อนที่ได้ควบคุมตำแหน่งของแสงเลเซอร์ให้ยิงไปยังจุดต่างๆของภาคใต้เรซิน ตัวเครื่องนั้นจะมีขนาดเล็กกว่าแบบ DLP



รูปที่ 2.22 เครื่องพิมพ์ DLP 3D Printer

### วัสดุของเครื่อง DLP/SLA 3DPrinter

1.เรซินธรรมดาเป็นเรซินน้ำ เมื่อแข็งตัวมีลักษณะคล้าย ABS มีทั้งแบบธรรมดาและแบบ  
แข็งแรงพิเศษ

2.เรซินสำหรับหล่อ (Direct Cast Resin) เมื่อแข็งตัวมีลักษณะคล้าย Wax หรือขี้ผึ้ง สามารถใช้  
ความร้อนละลายออกได้จึงเหมาะกับการผลิต Jewelry

3.เรซินอื่นๆเช่น เรซินที่ฉีดหยุนได้

### การนำไปใช้

1.งาน Jewelry เนื่องจากเครื่องสามารถสร้างงานได้ค่อนข้างละเอียด และทำงานชิ้นเล็กๆได้  
DLP/SLA จึงเป็นที่นิยมอย่างมากในวงการ Jewelry



รูปที่ 2.23 ความละเอียดของเครื่องเมื่อพิมพ์เครื่องประดับ

2.งานแบบจำลองขนาดเล็ก



รูปที่ 2.24 สร้างตัวอย่างจำลองหอไอเฟล



3.งานพระเครื่อง ลักษณะงานพระเครื่องคล้ายกับการทำงาน Jewelry ต้องการความละเอียดสูง ซึ่งเครื่อง 3D Printer สามารถทำงานชนิดนี้ได้ดี



รูปที่ 2.25 รูปชิ้นงานที่มีรายละเอียดสูง

4.งาน Figure หุ่นโมเดลจำลอง



รูปที่ 2.26 ส่วนประกอบ Model ที่สร้างจาก DLP 3D Printer

#### ข้อดี

- งานที่สร้างออกมามีความละเอียดสูงและเก็บรายละเอียดได้ดี
- มีวัสดุให้เลือกใช้ง่ายหลากหลาย
- ความเร็วในการพิมพ์สูงกว่าระบบ FDM (ที่โมเดลเดียวกันและความละเอียดเดียวกัน)

#### ข้อเสีย

- ใช้งานยุ่งกว่าระบบ FDM เนื่องจากเป็นของเหลว
- มีความจำกัดทางด้านขนาดของชิ้นงานซึ่งเหมาะแก่การพิมพ์ชิ้นงานขนาดเล็กเท่านั้น
- มีค่าใช้จ่ายที่สูงโดยราคาเรซินนั้นตกกรัมละ 6-10 บาท ขึ้นอยู่กับชนิดของเรซิน

เครื่องพิมพ์ 3 มิติระบบเรซินนั้นมีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของการเก็บรายละเอียดได้ดีมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติทุกชนิดในตลาด อย่างไรก็ตามระบบนี้สามารถพิมพ์ได้เฉพาะงานชิ้นเล็กๆเท่านั้น และมีการใช้งานยุ่งยากกว่าระบบ FDM พร้อมทั้งยังมีต้นทุนที่สูงกว่าด้วย

### 2.2.3 ระบบผงยิปซัม+สี Ink Jet (Powder 3D Printer หรือ Color Jet Printing)

Powder 3D Printer หรือบางคนคิดปากว่าเครื่องพิมพ์ระบบแป้ง เป็นระบบใช้ผงยิปซัม/ผงพลาสติกเป็นตัวกลางในการขึ้นชิ้นงาน โดยเครื่องจะทำงานคล้ายระบบ Inkjet แต่แทนที่จะพิมพ์ไปบนกระดาษเครื่องพิมพ์จะพิมพ์ลงไปในผงยิปซัม โดยจะพิมพ์สีลงไปเหมือนกันต่างกันที่ระบบจะฉีด Blinder หรือกาวลงไปด้วยในการผสมผงเข้าด้วยกันเป็นรูปร่าง เมื่อสร้างเสร็จในชั้นหนึ่งเครื่องจะเกลี่ยผงยิปซัมมาทับเป็นชั้นบางๆในชั้นต่อไป เพื่อเตรียมพร้อมให้เครื่องพิมพ์สีและ Blinder อีกครั้ง Powder Printer



รูปที่ 2.27 เครื่องพิมพ์ Powder 3D Printer

เครื่องระบบนี้มีจุดเด่นมากคือ สามารถพิมพ์สีได้สมจริงเครื่องพิมพ์ Inkjet โดยทั่วไป จึงเหมาะใช้กับงานศิลปะ โมเดลคนเหมือนจริง หุ่นจำลอง หรือชิ้นงานที่ต้องการเห็นสีสันทันทีสมจริงแต่มีข้อเสียคือ งานที่ได้นั้นมีความเปราะเหมือนกับปูนพลาสติกคือหล่นแล้วแตก รวมทั้งค่อนข้างสกปรกเนื่องจากเป็นผงทำให้เกิดฝุ่นผงเยอะยากในการทำความสะอาด

### 2.2.4 ระบบหลอมผงพลาสติก ผงโลหะ เซรามิก (SLS)

ระบบ SLS หรือ Selective Laser Sintering เป็นระบบที่มีหลักการทำงานคล้ายระบบ SLA แต่มีจุดที่แตกต่างคือ วิธีการทำให้เรซินแข็งตัวโดยการฉายแสงเลเซอร์นั้น ระบบ SLS จะยิงเลเซอร์ไปโดยตรงบนผงวัสดุ ความร้อนจากเลเซอร์ดังกล่าวจะทำให้ผงวัสดุหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน



SLS Printer

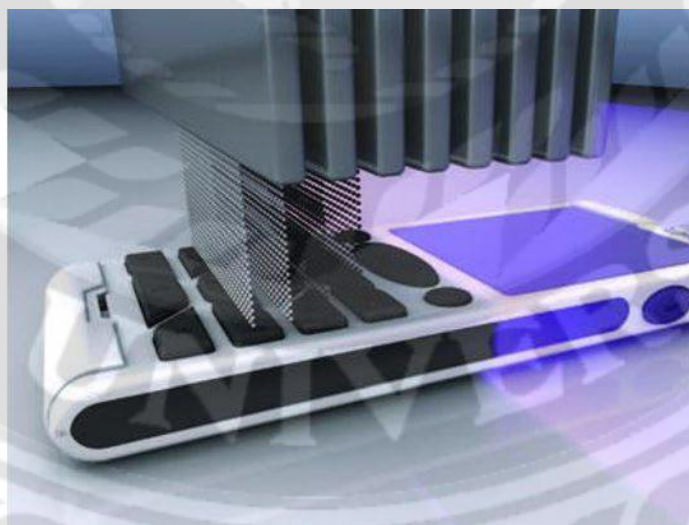
Print

รูปที่ 2.28 เครื่องพิมพ์ระบบ SLS หรือ Selective Laser Sintering

กระบวนการเริ่มจากถาดที่ใส่ผงวัสดุเช่น ผงทองเหลือง เครื่องจะเริ่มยิงเลเซอร์ความเข้มข้นสูงไปยังผงทองเหลืองในถาด เมื่อยังไปยังตำแหน่งใดผงทองเหลืองจะหลอมรวมเป็นรูปร่างที่ตำแหน่งนั้นๆ พอพิมพ์เสร็จในเลเซอร์หนึ่งๆแล้ว เครื่องจะเคลื่อนผงทองเหลืองบางส่วนทับในชั้นต่อไป เพื่อเริ่มกระบวนการยิงเลเซอร์เพื่อหลอมละลายใหม่ ทำไปซ้ำไปเรื่อยๆหลายร้อยหลายพันชั้นจนเกิดมาเป็นวัตถุที่ต้องการ SLS Printer ระบบนี้มีข้อดีคือ สามารถผลิตชิ้นงานออกมาเป็นโลหะหรือพลาสติกพิเศษโดยใช้ผงของวัสดุนั้นได้เลยแต่เครื่องมีราคาที่สูงมาก

### 2.2.5 ระบบ Poly Jet

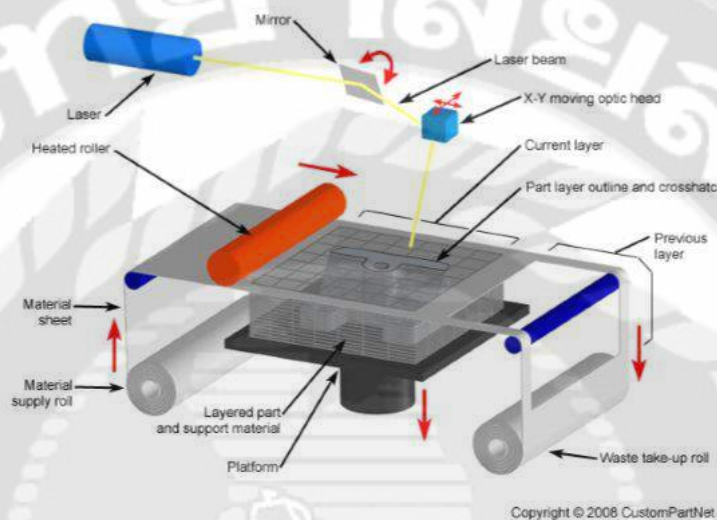
ใช้หลักการเดียวกับเครื่องพิมพ์แบบ Inkjet กล่าวคือแทนที่จะพ่นแม่สีออกมาบนกระดาษ เครื่องแบบ Poly Jet จะมีหัวฉีด Jet พ่นเรซินออกมาแล้วฉายให้แข็งโดยแสง UV อีกรอบ ทำไปทีละชั้นเรื่อยๆจนออกมาเป็นรูปร่างชิ้นงาน 3 มิติ เครื่องระบบนี้จะมีความแม่นยำสูงแต่มีราคาค่อนข้างแพง



รูปที่ 2.29 การทำงานของระบบ Poly Jet

### 2.2.6 ระบบ Laminated Object Manufacturing (LOM)

เป็นการใช้วัสดุที่เป็นแผ่นบางๆ คัดลายกระดาษและมีสารยึดติดที่หน้าหนึ่งของแผ่น โดยจะดึงวัสดุเข้าสู่เครื่องตัดด้วยเลเซอร์เป็นชั้นต่อชั้นขึ้นไป วัสดุที่จะขึ้นรูปจะอยู่ในกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก (พีวีซี) โลหะที่เป็นเหล็กและไม่ใช่เหล็ก



รูปที่ 2.30 การทำงานของระบบ LOM

### บทที่ 3

## รายละเอียดการปฏิบัติงาน

#### 3.1 ชื่อและที่ตั้งของสถานประกอบการ

บริษัทเมโทร โปลิเทน โปรดักส์ จำกัด ที่ตั้ง 9/10 นิคมอุตสาหกรรมบางชัน ซอยเสรีไทย 54 แขวง 3 แขวงคันนายาว เขตคันนายาว กรุงเทพมหานคร 10230

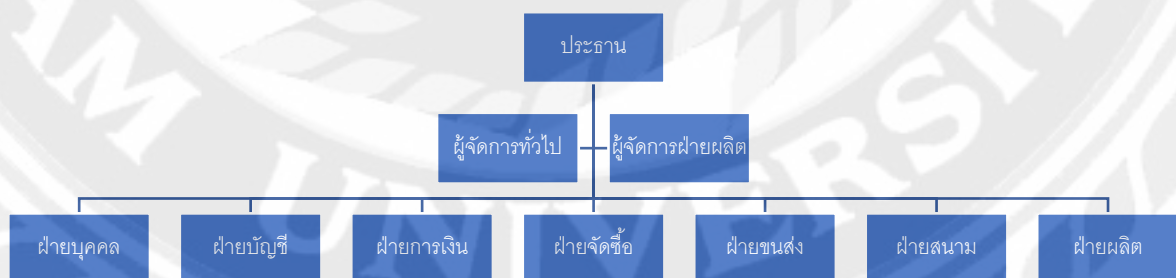
#### 3.2 ลักษณะการประกอบการผลิตภัณฑ์การให้บริการหลักขององค์กร

บริษัทเมโทร โปลิเทน โปรดักส์ จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์ก่อสร้างครบวงจร ซึ่งได้ดำเนินการมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2517 จนถึงปัจจุบัน และมีกำลังการผลิตกว่า 35,000 ลูกบาศก์เมตรต่อปี

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาบริษัทฯ ได้สั่งสมประสบการณ์ความชำนาญในด้านการผลิต เส้าเข็ม เส้าเข็มตอกเส้าเข็มเส้าเข็มคอนกรีตเส้าเข็มคอนกรีตอัดแรงเส้าเข็มรูปตัวไอเส้าเข็มสี่เหลี่ยม ตงพื้น คอนกรีตอัดแรง ตงพื้นที่องเรียบ แผ่นพื้น แผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง แผ่นพื้นสำเร็จรูป ทุกขนาดตามสั่ง

นอกจากนี้บริษัทฯ ยังมีวิศวกรที่มีประสบการณ์ทั้งงานด้านการผลิต และงานภาคสนาม มากกว่า 40 ปี คอยให้คำปรึกษา ทั้งนี้ บริษัทยังเป็นตัวแทนจำหน่ายวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นๆ อีกมากมาย อาทิเช่น ปูนถุง ปูนอินทรีปูนซีเมนต์ คอนกรีตผสมเสร็จจอิฐมวลเบา ระบบเสา คาน คอนกรีตสำเร็จรูป รั้ว คอนกรีตสำเร็จรูป และวัสดุก่อสร้างอื่นๆ อีกหลายชนิด

#### 3.3 รูปแบบการจัดองค์กรและการบริหารงานขององค์กร



รูปที่ 3.1 ผังแสดงรูปแบบการจัดองค์กรและการบริการงานขององค์กร

### 3.4 ตำแหน่งและลักษณะงานที่ได้รับมอบหมาย

ตำแหน่งงาน : เจ้าหน้าที่ฝ่ายจัดซื้อสไตร์และคลังวัสดุ

ลักษณะงาน : จัดซื้อสินค้า เปรียบเทียบราคาสินค้า, ออกเอกสารใบสั่งซื้อ (PO), ตรวจสอบเช็คสินค้าให้ตรงกับใบส่งของ, คีย์รับสินค้าเข้าระบบให้ตรงกับใบสั่งซื้อ, ตรวจสอบเช็คสินค้าในคลังให้เพียงพอต่อการใช้งาน, จ่ายของให้ตรงตามใบออเดอร์สินค้าที่ต้องการเบิกให้แก่พนักงาน, คีย์ตัดเบิกสินค้าตามใบเบิกลงในระบบ, คีย์เลขที่ใบกำกับรวบรวมเอกสารวางบิล

### 3.5 ชื่อและตำแหน่งงานของพนักงานที่ปรึกษา

คุณปานณ์ภัส วงศ์โพธิสาร ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ

คุณปวิมล ศรีประยูร ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ

### 3.6 ระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน

ตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม พ.ศ.2562 ถึงวันที่ 29 เมษายน พ.ศ.2562

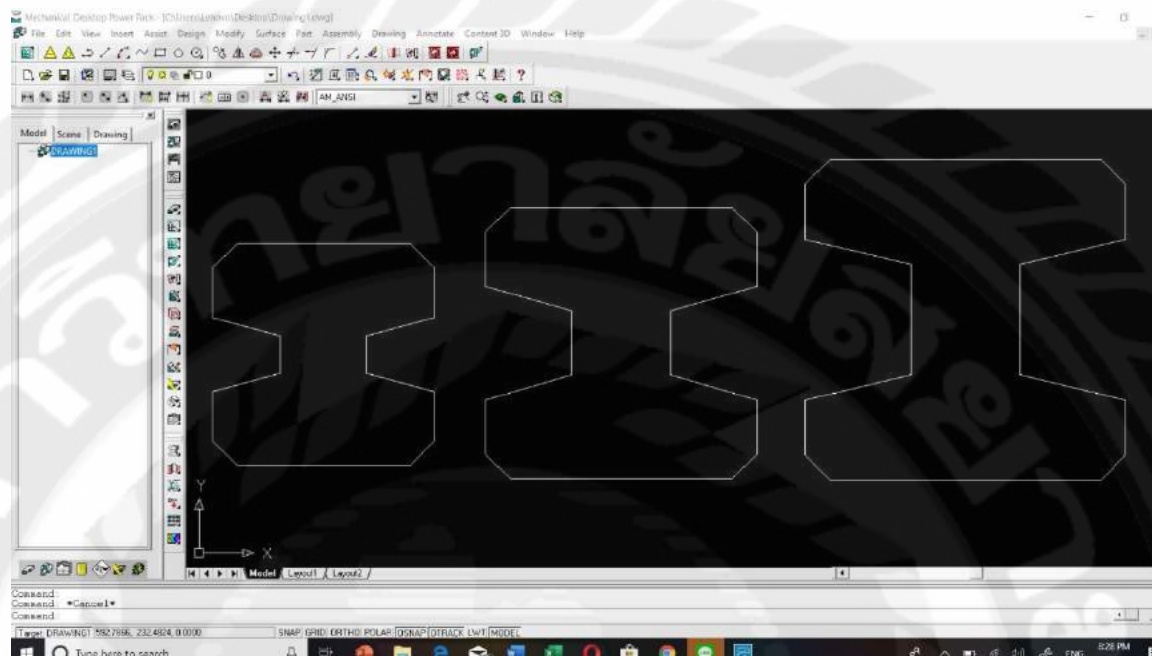
### 3.7 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.7.1 ขั้นตอนการวัดชิ้นงาน วัดขนาดชิ้นงานของจริงร่างแบบงาน(Sketch) โดยมีขนาดดังนี้

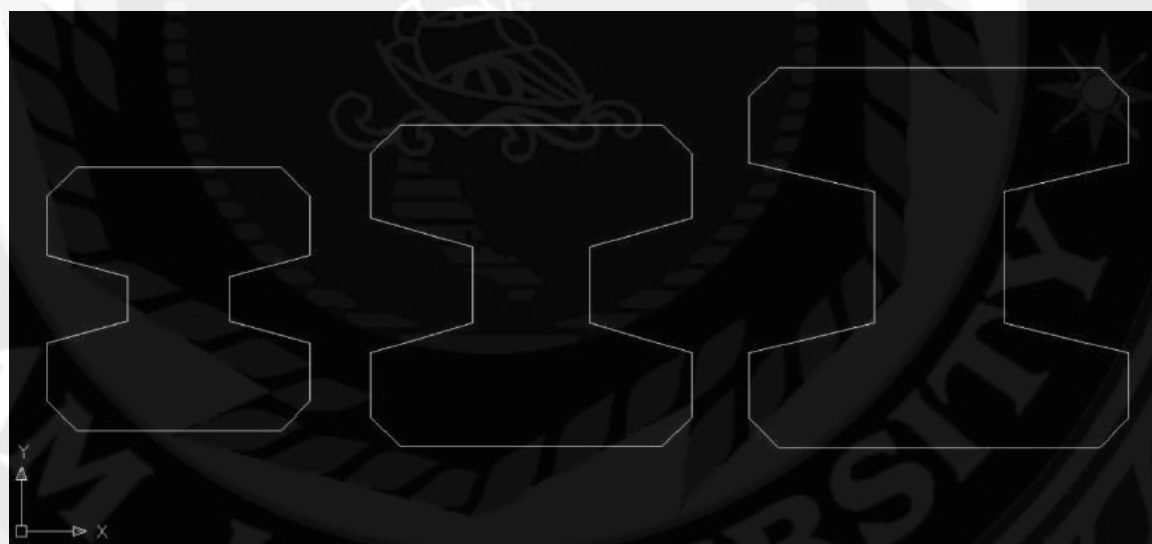
- แบบเสาเข็มขนาด I18 : กว้าง 18 มม.x ยาว 18 มม.x ลึก 5 มม.
- แบบเสาเข็มขนาด I22 : กว้าง 22 มม.x ยาว 22 มม.x ลึก 5 มม.
- แบบเสาเข็มขนาด I26 : กว้าง 26 มม.x ยาว 26 มม.x ลึก 5 มม.

3.7.2 ขั้นตอนการวาดแบบในโปรแกรม เขียนแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม Mechanical Desktop 6 เป็นโซลิดโมเดล(Solid Model)



- เขียนแบบชิ้นงานตามขนาดที่วัด แบบเสาเข็มขนาด I18, I22, I26

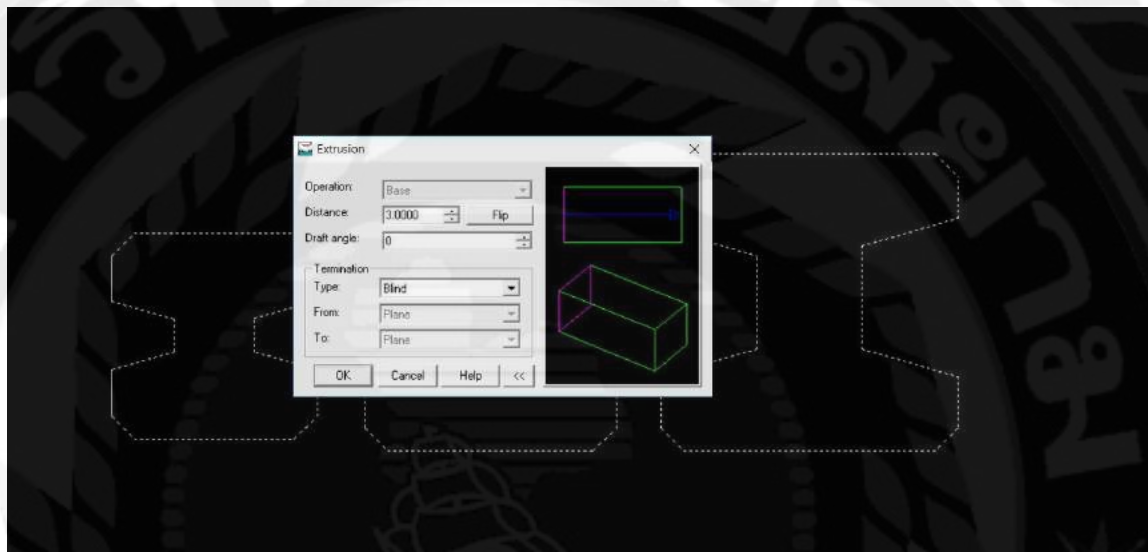


รูปที่ 3.2 การเขียนแบบด้วยโปรแกรม Mechanical Desktop 6



รูปที่ 3.3 แบบงานที่เป็น 2D

- เมื่อเขียนแบบชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้วคลิกที่ Profile a Sketch  คลิกที่รูปภาพทั้งหมดแล้วกด Enter จากนั้นจึงคลิกที่ Sketched Features - Extrude  คลิก Distance (ความหนา) 3 มิลลิเมตร แล้วจึงกด OK จะได้แบบงานที่เป็น Solid Model จากนั้นบันทึกเป็น STL File โดยการกด Save งานก่อน แล้วพิมพ์คำสั่ง AMSTLOUT กด Enter คลิกที่งาน 1 ครั้งแล้วกด Save งาน



รูปที่ 3.4 การใช้เครื่องมือ Sketched Features - Extrude เพื่อเพิ่มความหนาของชิ้นงาน



รูปที่ 3.5 แบบงานที่เป็น Solid Model

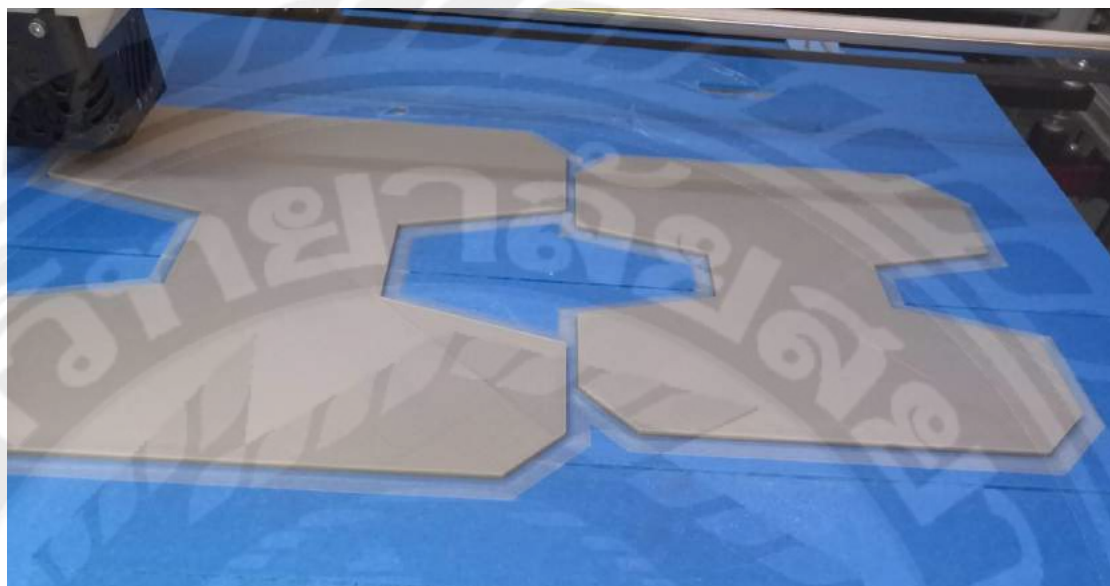


- เมื่อได้ STL File แล้ว ให้แปลงไฟล์ STL เป็น G-Code ด้วยโปรแกรม



รูปที่ 3.6 การเตรียมไฟล์ G-Code สำหรับการพิมพ์

- นำ G-Code ไปพิมพ์ชิ้นรูปตามแบบงานโดยใช้วัสดุ PLA



รูปที่ 3.7 ภาพขณะเครื่องพิมพ์งาน

- เมื่อเครื่องพิมพ์งานเสร็จตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงาน ขนาดและรูปทรง



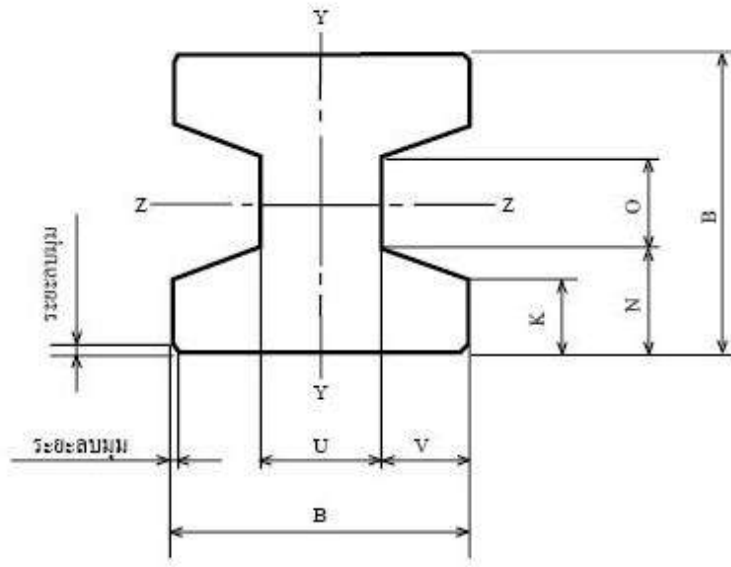
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานสำเร็จ

## บทที่ 4

### ผลการปฏิบัติงาน

#### 4.1 วัดขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1.1 วัดขนาดภาคตัดขวางแบบเสาเข็มรูปตัวไอให้เป็นไปตามมาตรฐานมอก.396-2549 ดังตารางที่ 4.1 โดยมีความคลาดเคลื่อนของมิติภาคตัดขวางไม่เกิน  $\pm 10$  มิลลิเมตร



รูปที่ 4.1 มิติของภาคตัดขวางแบบรูปตัวไอ

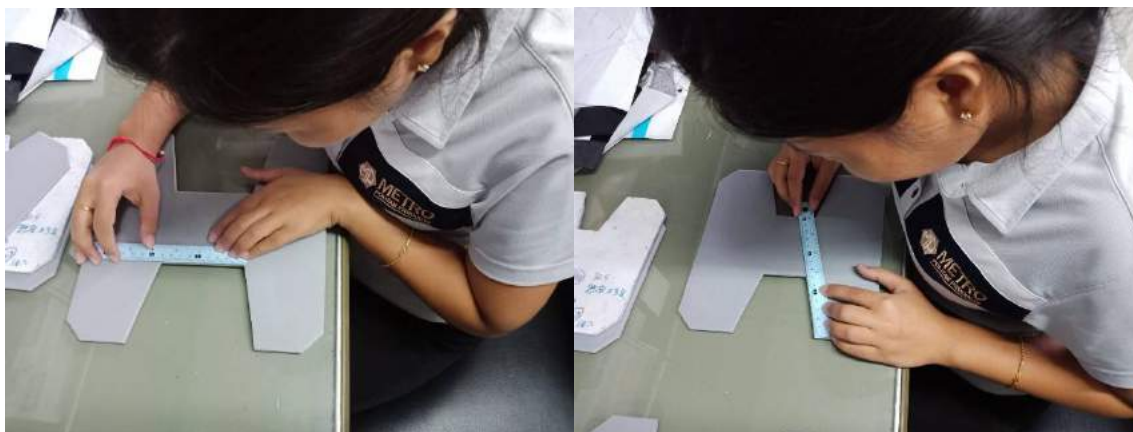
ชื่อขนาด	มิติ (mm.)						พื้นที่ภาคตัดขวางระบุ $\text{mm}^2$
	B	K	N	O	U	V	
I-B x B	B	K	N	O	U	V	$A_c$
I-180 x 180	180	60	75	30	70	55	27 450
I-220 x 220	220	65	85	50	80	70	38 600
I-260 x 260	260	65	85	90	90	85	48 900

ตารางที่ 4.1 ขนาดและมิติของภาคตัดขวางแบบรูปตัวไอตามมาตรฐานมอก (มอก.396-2549)

## 4.2 การทดสอบ

4.2.1 เครื่องมือ: สายวัดหรือไม้บรรทัดที่สามารถวัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

4.2.2 วิธีทดสอบ: วัดมิติเสาเข็มตามตารางแสดงขนาดและมิติของภาคตัดขวางแบบรูปตัวไอ ตามมาตรฐานมอก (มอก.396-2549)



รูปที่ 4.2 วัดมิติเสาเข็มตามตารางแสดงขนาด

ตารางแสดงผลการทดลอง เมื่อทำการวัดภาคตัดมิติเสาเข็มพบว่า ชิ้นงานที่ได้จากการพิมพ์ด้วยการพิมพ์ระบบ 3 มิติ มีขนาดตรงตามตารางมาตรฐาน มอก (มอก.396-2549)

ชื่อขนาด	มิติ (mm.)						พื้นที่ภาคตัดขวาง ระบุ mm <sup>2</sup>
	B	K	N	O	U	V	
I-B x B	B	K	N	O	U	V	A <sub>c</sub>
I-180 x 180	180	60	75	30	70	55	27 450
I-220 x 220	220	65	85	50	80	70	38 600
I-260 x 260	260	65	85	90	90	85	48 900

ตารางที่ 4.2 ขนาดและมิติของภาคตัดขวางแบบรูปตัวไอจากชิ้นงานจริง

### 4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการสรุปผลแบบประเมินความพึงพอใจในโครงการ การสร้างต้นแบบภาคตัดขวางเสาเข็ม โดยการพิมพ์ 3 มิติจากโปรแกรมพารามетริก โซลิด โมเดล เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบขนาดหน้าตัดเสาเข็ม มีผู้ร่วมทำแบบประเมินด้วยกัน 10 คน โดยมีผลสรุปแบบประเมินความพึงพอใจดังตารางที่ 4.3

จากแบบประเมินความพึงพอใจ ให้ค่าคะแนนในแต่ละข้อ ดังนี้

ระดับดีมาก ให้มีค่าคะแนนเป็น 5

ระดับดี ให้มีค่าคะแนนเป็น 4

ระดับปานกลาง ให้มีค่าคะแนนเป็น 3

ระดับน้อย ให้มีค่าคะแนนเป็น 2

ระดับน้อยที่สุด ให้มีค่าคะแนนเป็น 1

การวิเคราะห์และแปลผล โดยรวมคะแนนการประเมินแต่ละข้อในแต่ละประเด็นความพึงพอใจ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย แบ่งเป็น 5 ระดับ กำหนดช่องคะแนนดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจในระดับดีมาก

คะแนนเฉลี่ย 3.51 – 4.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจในระดับดี

คะแนนเฉลี่ย 2.51 – 3.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจในระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51 – 2.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจในระดับน้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.3 แสดงสรุปผลการประเมิน (ผู้ร่วมประเมิน 10 คน)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีขนาดตรงตามมาตรฐาน	4.2	0.52	ดี
น้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม	4.2	0.71	ดี
ลักษณะรูปทรงการออกแบบ	4.1	0.53	ดี
วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน	3.7	0.82	ดี
มีความสะดวกขณะใช้งาน	3.9	0.63	ดี
ทำงานได้จริงตามวัตถุประสงค์	3.8	0.42	ดี
สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก	4.5	0.32	ดี
มีประโยชน์ต่อบุคลากรภายในองค์กร	3.9	0.48	ดี
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้จริง	3.9	0.48	ดี
ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	4.0	0.52	ดี

จากตารางที่ 4.3 แสดงว่าผู้ประเมินมีความคิดเห็นต่อโครงการ การสร้างต้นแบบภาคตัดขวาง เสาเข็ม โดยการพิมพ์ 3 มิติจากโปรแกรมพารามетริกโซลิดโมเดล เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบขนาด หน้าตัดเสาเข็มดังนี้ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีขนาดตรงตามมาตรฐาน น้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม ลักษณะรูปทรงการออกแบบ วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน มีความสะดวกขณะใช้งาน ทำงานได้จริงตามวัตถุประสงค์ สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีประโยชน์ต่อบุคลากรภายในองค์กร ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้จริง ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความคิดเห็นอยู่ในระดับดี

## บทที่ 5

### สรุปผล

#### 5.1 สรุปผลของโครงการ

จากผลการทดลองการศึกษาออกแบบการสร้างต้นแบบภาคตัดขวางเสาเข็ม โดยการพิมพ์ 3 มิติ จากโปรแกรมพารามेटริกโซลิดโมเดล เพื่อใช้เป็นเครื่องมือทดสอบขนาดหน้าตัดเสาเข็ม พบว่าการดำเนินการบรรลುವัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้คือ เมื่อวัดภาคตัดขวางผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบ และพิมพ์ด้วยระบบการพิมพ์ 3 มิติ นั้นมีขนาดตรงตามตารางมาตรฐานมอก (มอก.396-2549) สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์แก่องค์กร สามารถนำผลิตภัณฑ์ตัวอย่างไปประกอบการนำเสนองานต่อลูกค้าให้ลูกค้าได้เห็นชิ้นงานตัวอย่าง สามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบและพิมพ์ด้วยระบบการพิมพ์ 3 มิติ ไปเป็นตัวอย่างหน้าตัดเสาเข็มในการสร้างข้างแบบสำหรับหล่อเสาเข็มได้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบและพิมพ์ด้วยระบบการพิมพ์ 3 มิติ มีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างหน้าตัดเสาเข็มและจิกตัวอย่างข้างแบบสำหรับหล่อเสาเข็ม



รูปที่ 5.2 จิ๊กตัวอย่างข้างแบบเสาเข็มที่ได้จากการพับ

### 5.2 อภิปรายผลของโครงการ

ผลจากการประเมินความพึงพอใจของผู้ประเมินจำนวน 10 คน สรุปได้ว่า ตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีขนาดตรงตามมาตรฐาน น้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม ลักษณะรูปทรงการออกแบบวัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทาน มีความสะดวกขณะใช้งาน ทำงานได้จริงตามวัตถุประสงค์ สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีประโยชน์ต่อบุคลากรภายในองค์กร ตัวอย่างผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้จริง และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าอยู่ในเกณฑ์ดี มีค่าเฉลี่ยรวม ( $\bar{X}$ ) 8.04 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 4.51

### 5.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบและพิมพ์ด้วยระบบการพิมพ์ 3 มิติ นั้นควรเก็บรักษาให้ไกลจากความชื้นและหลีกเลี่ยงการโดนแสงแดด เนื่องจากจะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นเกิดความเสียหายได้



## บรรณานุกรม

- มานพ ตันตระบัณฑิตย์. (2540). *การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 1*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).
- วชิระ มีทอง. (2537). *การออกแบบจิ๊กและฟิกซ์เจอร์*. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เพียรพัฒนา 프린ต์ติ้ง.
- วิรัช อิงภากรณ์. และ ชาญ อดินงาน. (2544). *การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1*. กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดดูชั่น จำกัด.
- ศุภชัย รมยานนท์ และ ฉวีวรรณ รมยานนท์. (2529). *ทฤษฎีงานเครื่องมือกลเบื้องต้น งาน 15*. กรุงเทพมหานคร: บริษัทสำนักพิมพ์ ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.
- อำพล ชื่อดรง. (2545). *ชิ้นส่วนเครื่องกล*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- Hans, Appold & Feiler, Kurt & Reinhard, Alfred and Schmidt, Paul. (1982). *Technology of the Metal Trade*. SI: Deutsche Gesellschaft Fur Technische Zusammenarbeit.
- Budynas, Richard G., Nisbett, J.Keith and Shigley, S. (2011). *Mechanical Engineering Design*. SI: McGraw-hill book Compan.



ภาคผนวก ก.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.396-2549

## มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (THAI INDUSTRIAL STANDARD) มอก.396-2549

### เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ

### PRECAST PRESTRESSED CONCRETE PILES

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ นี้ได้ประกาศใช้ครั้งแรกเป็นมาตรฐานเลขที่ มอก.396-2524 ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับพิเศษ เล่มที่ 99 ตอนที่ 12 วันที่ 29 มกราคม พุทธศักราช 2525 ต่อมาได้พิจารณาเห็นสมควรแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพการผลิตในประเทศยิ่งขึ้นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ เป็นเล่มหนึ่งในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชุดเสาเข็มคอนกรีตซึ่งมีดังนี้

มอก.395-2524	เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ
มอก.396-2549	เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ
มอก.397-2524	เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จแบบแรงเหวี่ยง
มอก.398-2537	เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงโดยใช้แรงเหวี่ยง
มอก.399-2524	เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จขนาดสั้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดขึ้นโดยอาศัยข้อมูลจากผู้ทำ ผู้ใช้ และเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

AASHTO HB-17	Standard Specifications for Highway Bridges, 17 <sup>th</sup> Edition
ACI 318/318R-02	Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
ACI 543R-00	Design, Manufacture, and Installation of Concrete Piles
BS 8110: Part 1:1997	Code of practice for design and construction
มอก.15 เล่ม 1-2547	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ
มอก.20-2543	เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กเส้นกลม
มอก.24-2548	เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย
มอก.95-2540	ลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรง
มอก.194-2535	ลวดเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ
มอก.409-2525	วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต
มอก.420-2540	ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง
มอก.528-2548	เหล็กกล้าคาร์บอนทรงแบนรีร้อนสำหรับงานทั่วไปและงานขึ้นรูป
มอก.566-2528	มวลผสมคอนกรีต

มอก.733-2530	สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต
มอก.747-2531	ลวดเหล็กกล้าดึงเย็นเสริมคอนกรีต
มอก.841-2548	สารเหลวบ่มคอนกรีต
มอก.1366-2539	ลูกปูนสำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก
มอก.1479-2541	เหล็กกล้าคาร์บอนรีดร้อนแผ่นม้วน แผ่นแถบ แผ่นหนา และแผ่นบาง สำหรับโครงสร้างทั่วไป
มอก.1499-2541	เหล็กกล้าคาร์บอนรีดร้อนแผ่นม้วน แผ่นแถบ แผ่นหนา และแผ่นบาง สำหรับโครงสร้างเชื่อมประกอบ
มอก.1736 เล่ม 1-2542	การทดสอบคอนกรีต-ขั้นทดสอบ-เล่ม 1:การชักตัวอย่างคอนกรีตสด
มอก.1736 เล่ม 2-2542	การทดสอบคอนกรีต-ขั้นทดสอบ-เล่ม 2 : การหล่อและการบ่มขึ้น ทดสอบสำหรับการทดสอบความแข็งแรง
มอก.1840-2542	การทดสอบคอนกรีต มิติ เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของขั้นทดสอบ และความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน
ว.ส.ท.1007-34	มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน
ว.ส.ท.1009-34	มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตอัดแรง

## มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ

### 1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะ เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จที่มีภาคตัดขวางเดียวกันตลอดทั้งต้นยกเว้นปลายส่วนแหลม และมีกรรมวิธีการหล่อคอนกรีตหุ้มลวดเหล็กกล้าหรือลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง ภายหลังจากที่ลวดเหล็กกล้าหรือลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรงนั้นถูกยึดออกตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้ว ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “เสาเข็ม”

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีวัตถุประสงค์ใช้รองรับฐานรากที่ตัวเสาเข็มและแรงอัดเป็นส่วนใหญ่ และใช้เฉพาะในสถานที่ที่อยู่ในบริเวณน้ำจืดเท่านั้น

1.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุมถึงเสาเข็มที่รับแรงดัดหรือแรงดึง

1.4 ในกรณีที่น่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ไปใช้กับเสาเข็มที่รองรับฐานรากสะพาน ผู้ทำต้องออกแบบเสาเข็มให้เป็นไปตามแบบและข้อกำหนดของหน่วยงานนั้น

### 2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ชื่อขนาด หมายถึง สัญลักษณ์ที่แสดงรูปร่างและมิติของภาคตัดขวางของเสาเข็ม

2.2 พื้นที่ภาคตัดขวางระบุ หมายถึง พื้นที่ภาคตัดขวางทั้งหมดของเสาเข็มที่ไม่มีการลบมุม

2.3 คอนกรีตหุ้ม(covering) หมายถึง เนื้อคอนกรีตส่วนที่บางที่สุดระหว่างผิวเหล็กเสริมตามยาวหรือเหล็กปลอก หรือเหล็กเสริมพิเศษกับผิวคอนกรีต

2.4 รอยรูน หมายถึง รูหรือโพรงซึ่งเกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีต เนื่องจากความบกพร่องในกระบวนการทำ

2.5 มวลผสมหยาบ(coarse aggregate) หมายถึง วัสดุผสมซึ่งส่วนใหญ่จะค้างอยู่บนร่อนขนาด 4.75 มิลลิเมตร

2.6 เหล็กเสริมตามยาว หมายถึง ลวดเหล็กกล้าหรือลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรงที่เสริมเพื่อให้เสาเข็มสามารถขนส่ง ยกขึ้นตอก และใช้งานได้ตามต้องการ

2.7 เหล็กปลอกเดี่ยว (single stirrup) หมายถึง ลวดเหล็กหรือเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ล้อมรอบเหล็กเสริมตามยาว 1 รอบ เพื่อต้านแรงเฉือนและแรงบิดในเสาเข็ม

2.8 เหล็กปลอกเกลียว (spiral stirrup) หมายถึง ลวดเหล็กหรือเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ ล้อมรอบเหล็กเสริมตามยาวเป็นเกลียวตั้งแต่ 2 รอบขึ้นไป เพื่อต้านแรงเฉือนและแรงบิดในเสาเข็ม

2.9 เหล็กเสริมพิเศษ หมายถึง เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่เสริมเพื่อให้หัวตอยึดกับเสาเข็ม หรือ เสาเข็มยึดกับโครงสร้างเพื่อป้องกันการแตกร้าวระหว่างการตอก

2.10 การสูญเสียการอัดแรง (total prestress loss) หมายถึง การที่เหล็กเสริมตามยาวสูญเสียการ อัดแรงทั้งหมดตามขั้นตอนต่างๆ เนื่องจากการหดตัวยืดหยุ่นของคอนกรีตตามแนวแกน การหดตัวของ คอนกรีต การคืบของคอนกรีต การผ่อนคลาย (relaxation) ของเหล็กเสริมตามยาว

2.11 ความต้านแรงอัดสูงสุด หมายถึง ความเค้นอัดสูงสุด ที่แท่งคอนกรีตสามารถรับได้ โดย ปกติกำหนดให้ทดสอบเมื่ออายุ 28 วัน

2.12 ความต้านแรงอัดก่อนตัดลวด หมายถึง ความเค้นอัดสูงสุดที่แท่งคอนกรีตสามารถรับได้ ก่อนตัดหรือปล่อยเหล็กเสริมตามยาว

2.13 แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน หมายถึง แท่งคอนกรีตที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร

2.14 แท่งคอนกรีตรูปลูกบาศก์มาตรฐาน หมายถึง แท่งคอนกรีตที่มีรูปลูกบาศก์ขนาด 150 มิลลิเมตร

2.15 ความเค้นดึงเริ่มต้นในเหล็กเสริมตามยาว (initial prestress in prestressed reinforcement) หมายถึง ความเค้นดึงในเหล็กเสริมตามยาวก่อนเกิดการสูญเสียการอัดแรง

2.16 ความเค้นดึงยังผลในเหล็กเสริมตามยาว (effective prestress in prestressed reinforcement) หมายถึง ความเค้นดึงในเหล็กเสริมตามยาวหลังเกิดการสูญเสียการอัดแรง

2.17 ความเค้นอัดยังผลในเสาเข็ม (effective prestress in prestressed concrete pile) หมายถึง ความเค้นอัดในภาคตัดขวางเสาเข็มที่เกิดจากเหล็กเสริมตามยาวทั้งหมด หลังเกิดการสูญเสียการอัดแรง หาได้จากจำนวนความเค้นดึงยังผลในเหล็กเสริมตามยาวทั้งหมดหารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวางระนาบของ เสาเข็ม

2.18 โมเมนต์ดัดออกแบบ (design bending moment) หมายถึง โมเมนต์ที่คำนวณโดยคือน้ำหนัก ของตัวเสาเข็มรวมกับน้ำหนักแผ่นสม่ำเสมออีกร้อยละ 30 ของน้ำหนักของตัวเสาเข็ม

2.19 สัญลักษณ์ต่างๆที่ใช้ในมาตรฐานนี้

2.19.1 B หมายถึง มิติของภาคตัดขวาง ป็นมิลลิเมตร

2.19.2  $f'_c$  หมายถึง ความต้านแรงอัดสูงสุดที่แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน สามารถรับได้ (specified compressive strength of concrete)

2.19.3  $f'_{ca}$  หมายถึง ความต้านแรงอัดใช้งานที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุด ตลอดเวลาที่รับน้ำหนักอยู่ โดยรวมความต้านแรงอัดของเหล็กเสริมตามยาวและน้ำหนักบรรทุก และความต้านแรงอัดใช้งานที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุด ในสภาพแรงค้ดตลอดเวลาที่รับน้ำหนักอยู่ ซึ่งเกิดจากแรงยกและแรงกระแทก โดยรวมความต้านแรงอัดของเหล็กเสริมตามยาว (allowable axial stress in compression of concrete at time of design loads or allowable extreme fiber stress in compression of concrete at time of design loads)

2.19.4  $f_{ct}$  หมายถึง ความต้านแรงอัดใช้งานที่ยอมให้คอนกรีตรับได้มากที่สุดในสภาพแรงค้ด ขณะค้ดหรือปล่อยเหล็กเสริมตามยาว (allowable extreme fiber stress in compression of concrete at time of initial prestress)

2.19.5  $f'_{ci}$  หมายถึง ความต้านแรงอัดสูงสุดที่แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน สามารถรับได้ ขณะค้ดหรือปล่อยเหล็กเสริมตามยาว (compressive strength of concrete at time of initial prestress)

2.19.6  $f_{tu}$  หมายถึง ความต้านแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีต ที่จะรับได้มากที่สุดในสภาพแรงค้ด ขณะขนส่ง ยกขึ้นตอก และใช้งาน (allowable extreme fiber stress in tension of concrete at design load)

2.19.7  $f_{ti}$  หมายถึง ความต้านแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีต ที่จะรับได้มากที่สุดในสภาพแรงค้ด ขณะค้ดหรือปล่อยเหล็กเสริมตามยาว (allowable extreme fiber stress in tension of concrete at time initial prestress)

2.19.8  $f'_s$  หมายถึง ความต้านแรงดึงสูงสุดที่เหล็กเสริมตามยาวสามารถรับได้ (specified tensile strength of prestressing tendons)

2.19.9  $f'_{ca}$  หมายถึง ความยาวของส่วนทิ้งหน่วยเป็นมิลลิเมตร

2.19.10  $L$  หมายถึง ความยาวหน่วยเป็นเมตร

2.19.11  $M$  หมายถึง โมเมนต์ค้ดออกแบบหน่วยเป็นกิโลกรัม-เมตร

2.19.12  $P$  หมายถึง น้ำหนักค้ดระหว่างหัวต่อของเสาเข็มหน่วยเป็นกิโลกรัม

2.19.13  $w$  หมายถึง น้ำหนักเสาเข็มต่อความยาว 1 เมตร หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อเมตร

### 3. แบบละประเภท

3.1 แบบ เสาเข็มแบ่งเป็น 3 แบบ ตามภาคค้ดขวาง คือ

3.1.1 แบบภาคค้ดขวาง รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสค้ด

3.1.2 แบบภาคค้ดขวาง รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกรวง

3.1.3 ปบบภาคตัดขวางรูปตัวไอ

3.2 ประเภท

เสาเข็มแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการใช้งาน คือ

3.2.1 ประเภทมีหัวต่อ

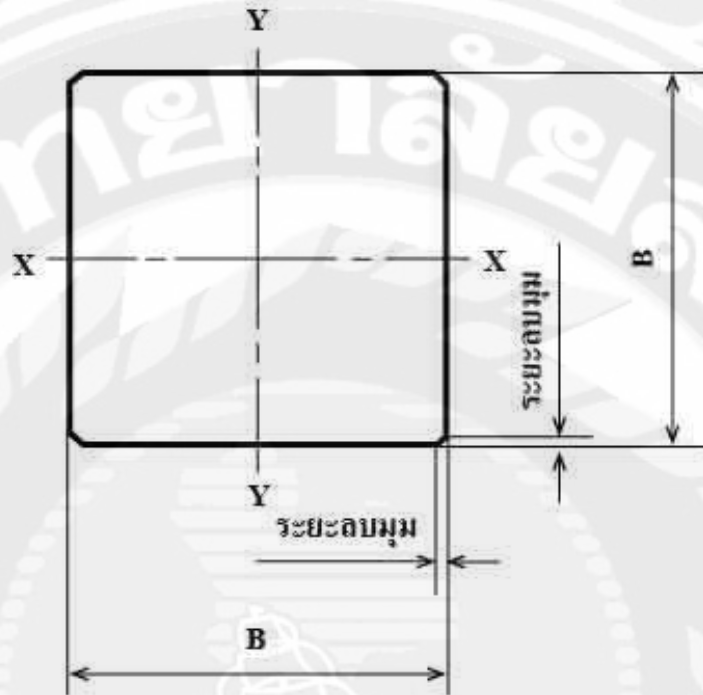
3.2.2 ประเภทไม่มีหัวต่อ

#### 4. ขนาดและเกณฑ์การคลาดเคลื่อน

4.1 ชื่อขนาดและมิติของภาคตัดขวางให้เป็นไปตามตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และตารางที่ 3 โดยจะมีความคลาดเคลื่อนของมิติของภาคตัดขวางไม่เกิน  $\pm 10$  มิลลิเมตร และขอมให้มีระยะลบบมุดได้ตั้งแต่ 15 มิลลิเมตร – 25 มิลลิเมตร

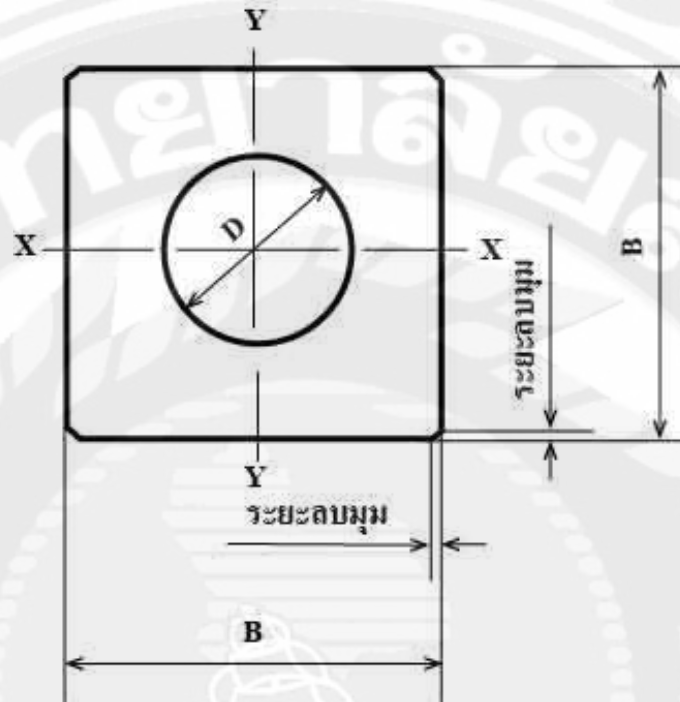


ตารางที่ 1 ชื่อขนาดและมิติของภาคตัดขวางแบบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตัน



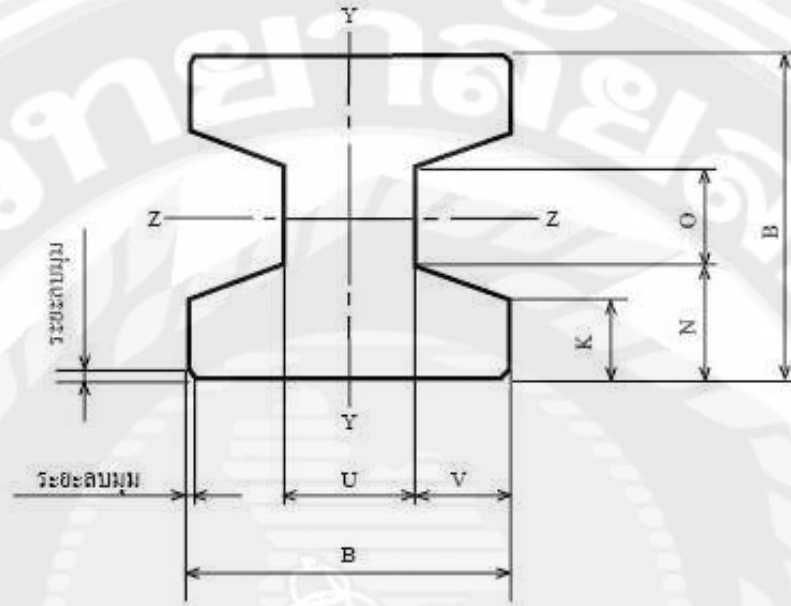
ชื่อขนาด	มิติ (mm)	พื้นที่ภาคตัดขวางระบุ (mm <sup>2</sup> )
S-B x B	B	$A_c$
S-150 x 150	150	22 500
S-180 x 180	180	32 400
S-220 x 220	220	48 400
S-260 x 260	260	67 600
S-300 x 300	300	90 000
S-350 x 350	350	122 500
S-400 x 400	400	160 000
S-450 x 450	450	202 500
S-525 x 525	525	275 625

ตารางที่ 2 ชื่อขนาดและมิติของภาคตัดขวางแบบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสกลวง



ชื่อขนาด	มิติ (mm)		พื้นที่ภาคตัดขวางระบุ ( $\text{mm}^2$ )
SH-B x B	B	D	$A_c$
S-525 x 525	525	300	204 940
S-650 x 650	650	400	296 835

ตารางที่ 3 ชื่อขนาดและมิติของภาคตัดขวางแบบรูปตัวไอ



ชื่อขนาด	มิติ (mm.)						พื้นที่ภาคตัดขวางระบุ mm <sup>2</sup>
	B	K	N	O	U	V	
I-B x B	B	K	N	O	U	V	A <sub>c</sub>
I-180 x 180	180	60	75	30	70	55	27 450
I-220 x 220	220	65	85	50	80	70	38 600
I-260 x 260	260	65	85	90	90	85	48 900
I-300 x 300	300	75	105	90	100	100	66 000
I-350 x 350	350	85	115	120	120	115	88 000
I-400 x 400	400	110	140	120	160	120	124 000
I-450 x 450	450	120	160	130	170	140	154 900

## ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล : นางสาวจิราพร คงขวัญเมือง  
รหัสนักศึกษา : 6002600004  
คณะ : วิศวกรรมศาสตร์  
สาขาวิชา : วิศวกรรมคอมพิวเตอร์  
บ้านเลขที่ : 215 รามอินทรา 109 ถนนพระยาสุเรนทร์ แขวงบางชัน  
เขตคลองสามวา กรุงเทพมหานคร 10510  
เบอร์โทร : 088-676-6879  
ประวัติการศึกษา :  
ประถมศึกษา : โรงเรียนบางชัน (ปลื้มวิทยานุสรณ์)  
มัธยมศึกษาตอนต้น : โรงเรียนบางชัน (ปลื้มวิทยานุสรณ์)  
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ : วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี  
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง : วิทยาลัยเทคนิคมีนบุรี