

การออกแบบและสร้างเครื่องพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ ขนาดเล็ก

Design and Construction of Mini 3D Printer

จรัสศรี เสือทับทิม^{1,*} และ เสกสรร ไชยจิตต์²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ ²สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

E-mail: jaratsri58@gmail.com

Jaratsri Soeattupim^{1,*} and Seksan Chaijit²

¹Department of Mechatronics Engineering, ²Department of Advanced Manufacturing Technology,

Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology,

833 Rama 1 Rd., Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand.

E-mail: jaratsri58@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของบทความนี้เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ขนาดเล็กและศึกษาหลักการทำงานของเครื่องขึ้นรูปชิ้นงานในการสร้างด้วยโมเดล 3 มิติ โดยใช้เทคโนโลยีการพิมพ์ฉีดเส้นพลาสติก Fused Deposition Modeling (FDM) ชนิด Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร สามารถพิมพ์ชิ้นงานขนาดสูงสุด กว้าง 1,500 มิลลิเมตร ยาว 1,500 มิลลิเมตร และสูง 1,000 มิลลิเมตร ที่เป็นรูปทรงเรขาคณิตได้แก่ ทรงสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม ทรงกระบอก ที่มีความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ตามแนวแกน X และ แกน Y และมีความคลาดเคลื่อน $\pm 10\%$ ตามแนวแกน Z การทำงานของเครื่องเริ่มจากการออกแบบชิ้นงานที่ต้องการ แล้วนำชิ้นงานที่ได้ออกแบบไปแปลงเป็นรหัส G-code โดยตัวเครื่องพิมพ์จะอ่านชิ้นงานด้วยรหัส G-code ความละเอียดในการพิมพ์ของชิ้นงานสามารถปรับได้ในโปรแกรม ความละเอียดของการพิมพ์ชิ้นงานมากจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานน้อย ความละเอียดของการพิมพ์ชิ้นงานน้อยจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานมาก ทดลองการพิมพ์ชิ้นงานขนาดกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร และสูง 20 มิลลิเมตร ของรูปทรงเรขาคณิต ทรงสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และทรงกระบอก โดยการหาค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนของการพิมพ์ชิ้นงาน

ผลจากการทดลองการพิมพ์ทรงสี่เหลี่ยมค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกน X ร้อยละ 0.7 แกน Y ร้อยละ 1.0 แกน Z ร้อยละ 0.3 ใช้เวลาในการพิมพ์ 14 นาที ทรงสามเหลี่ยมค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกน X ร้อยละ

0.3 แกน Y ร้อยละ 0.5 แกน Z ร้อยละ 0.1 ใช้เวลาในการพิมพ์ 12 นาที ทรงกระบอกค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกน X ร้อยละ 0.3 แกน Y ร้อยละ 0.5 แกน Z ร้อยละ 0.1 ใช้เวลาในการพิมพ์ 11 นาที

คำสำคัญ: เครื่องพิมพ์ 3 มิติ, เทคโนโลยีการพิมพ์ฉีดเส้นพลาสติก (FDM)

Abstract

This article proposes the design and construction of a Mini 3D printer. A principle of 3D molding machine by using Fused Deposition modeling (FDM) technology is studied. A diameter 1.75 mm of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) filament was used when the maximum capacity size of width 1,500 mm x length 1,500 mm x height 1,000 mm can be formed for 3D geometry model including rectangular shape, triangular shape and cylindrical shape. The tolerance of X-axis and Y-axis position is $\pm 5\%$ and tolerance of Z axis position is $\pm 10\%$. The 3D printing machine uses G-code, made by encoding 3D model into G-code to operate machine and molding 3D model. Molding resolution can be changed in designing software with negative proportional change of error. This machine was tested by molding three dimensions of width 20 mm หรือ mm x length 20 mm x height 20 mm rectangular, triangular and cylindrical geometry models.

The experiment result of the rectangular shape model had percent relative error for X-axis of 0.7%, Y-axis of 1.0%, and Z-axis of 0.3% with molding time for 14 seconds. The triangular shape model had percent relative error for X-axis of 0.3%, Y-axis of 0.5%, and Z-axis of 0.1% with molding time for 12 seconds. The cylindrical shape model had percent relative error for X-axis of 0.3%, Y-axis of 0.5% and Z-axis of 0.1% with molding time for 11 seconds.

Keywords: 3D Printer, Fused Deposition Modeling (FDM)

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติกำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก จากเดิมที่เคยเป็นเทคโนโลยีเฉพาะทางขึ้นสูงราคาแพงที่ใช้ในอุตสาหกรรมการออกแบบ ผลิต รวมถึงวงการการแพทย์และอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการ ปัจจุบันกลายเป็นสิ่งที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายด้วยราคาหลักหมื่นเท่านั้น [1] เครื่องพิมพ์สามมิติถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่ละระบบก็แตกต่างกันทั้งในเรื่องของโครงสร้างเครื่องวัสดุที่ใช้ เทคนิคการขึ้นรูป ความละเอียด ความแข็งแรง ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานที่พิมพ์ เป็นต้น [2,3] ทั้งนี้เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานในด้านต่างๆ และสามารถช่วยให้นักออกแบบ สามารถสร้างสรรค์ผลงานได้จริงโดยไม่ถูกจำกัดรูปแบบการผลิต ทำให้เกิดความสวยงาม โดดเด่นเป็นเอกลักษณ์ [4,5] จนเป็นที่จดจำรวมถึงตอบสนองความคิดที่ไม่หยุดนิ่งของแนวคิด

ในวงการออกแบบรวมทั้งสามารถผลิตต้นแบบ (prototype) ได้เหมือนจริงโดยที่ยังไม่ต้องทำโมแม่พิมพ์ ซึ่งเป็นการลดขั้นตอน ลดเวลา และลดต้นทุนในการพัฒนาต้นแบบลงอย่างมาก [6,7] การพิมพ์สามมิติสามารถพิมพ์ชิ้นงานออกมาเป็นรูปทรงต่างๆ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) ในการสร้างโมเดล 3 มิติ (3D Models) เสมือนจริงหรือการขึ้นรูปชิ้นงาน สามารถสัมผัสจับต้องมองเห็นได้ทุกมุม [8,9] ระบบการพิมพ์จะเป็นลักษณะของการแบ่งระนาบเป็นชั้นๆ แล้วนำมาวางซ้อนกัน คุณภาพของชิ้นงานก็จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของแต่ละชั้น เทคนิคการพิมพ์ที่ได้รับความนิยมสูงในเครื่องพิมพ์สามมิติขนาดเล็กได้แก่วิธี Fused Deposit Modeling (FDM) [10] ซึ่งเครื่องพิมพ์จะมีหัวฉีดที่ทำงานคล้ายปืนกาที่หลอมและฉีดเส้นพลาสติกเพื่อสร้างเป็นวัตถุแต่ละชั้น วิธีนี้ได้รับความนิยมเพราะกลไกที่ไม่ซับซ้อนและวัสดุการพิมพ์ที่ไม่แพงเกินไป ชิ้นงานที่สร้างขึ้นมามีคุณภาพเพียงพอสำหรับงานทั่วๆ ไปที่ไม่เน้นความแม่นยำสูง [11]

บทความนี้จึงได้นำหลักการ วิธีการข้างต้นมาออกแบบและสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติขนาดเล็ก โดยใช้เทคโนโลยี Fused Deposition Modeling หรือ FDM ระบบฉีดเส้นพลาสติกในการขึ้นรูปชิ้นงานมีส่วนประกอบที่เป็นส่วนของฮาร์ดแวร์ จากระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) ในการสร้างโมเดล 3 มิติ (3D Models) โดยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ จะทำการพ่นเรซินมาทีละชั้น ๆ ทำให้ได้ชิ้นงานตามขนาดที่ต้องการซึ่งมีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ การสร้างชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิตินี้ ทำให้การออกแบบมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น แม่นยำ รวดเร็ว ต้นทุนต่ำกว่าเดิม และเป็นการพัฒนาเพื่อใช้สำหรับการเรียน การสอน ให้ทันสมัยกับเทคโนโลยีปัจจุบัน [12,13]

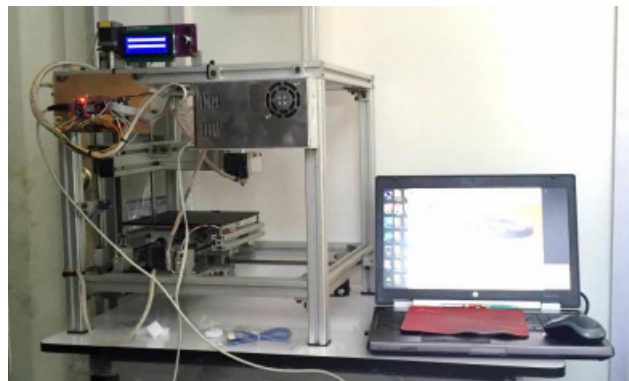
2. การสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติและหลักการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติเป็นระบบพิกัดแบบ Cartesian ที่เป็นแบบราบ ประกอบด้วยชุดโครงสร้างอุโมงค์นิยมนิโพรไฟลด์ ชุดบอร์ดควบคุมการทำงาน มอเตอร์ขับเคลื่อน ชุดขับเคลื่อนเกลียวสกรู 3 ชุดในแนวแกน X แกน Y และแกน Z โดยมีพื้นที่ทำงานคือ โต๊ะงานกว้าง 300 มม. x ยาว 300 มม. x สูง 300 มม. พื้นที่การทำงานขนาด 150 มม. x 150 มม. x 100 มม. ใน แนวแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับดังโครงสร้างเริ่มต้นของเครื่องพิมพ์ 3 มิติในรูปที่ 1

การดำเนินการเริ่มจากการเชื่อมต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละอุปกรณ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติกับอุปกรณ์ในกล่องควบคุม คือชุดบอร์ดควบคุม Arduino Mega 2560 Motherboard กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เพื่อแปลงคำสั่งจากโปรแกรมมาสั่งการขับเคลื่อนมอเตอร์ในแต่ละแกนรวมทั้งสั่งการทำงานของแหล่งจ่ายไฟและลิmitswitchของเครื่องพิมพ์ ดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการทดสอบปรับตั้งค่าควบคุมการทำงานภายหลังติดตั้งอุปกรณ์และต่อเชื่อมวงจรควบคุมสมบูรณ์กับโปรแกรม เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวฉีดร้อน (Nozzle) ก่อนนำเครื่องพิมพ์ 3 มิติไปตรวจสอบค่าความถูกต้องและความแม่นยำในขณะที่ทำการพิมพ์ชิ้นงาน



รูปที่ 1 ส่วนประกอบโครงสร้างเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

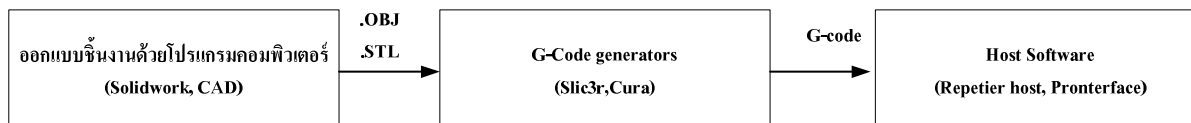


รูปที่ 2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์การควบคุมเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ สำหรับการพิมพ์งานจะมี 3 ส่วนหลักๆ คือ 1) โปรแกรมสำหรับเขียนโมเดลชิ้นงานสามมิติ 2) ตัวแปลงไฟล์เป็นภาษา G-code และ 3) โปรแกรมส่ง G-code ไปยังเครื่องพิมพ์ที่มี firmware รองรับการทำงาน ดังรูปที่ 3

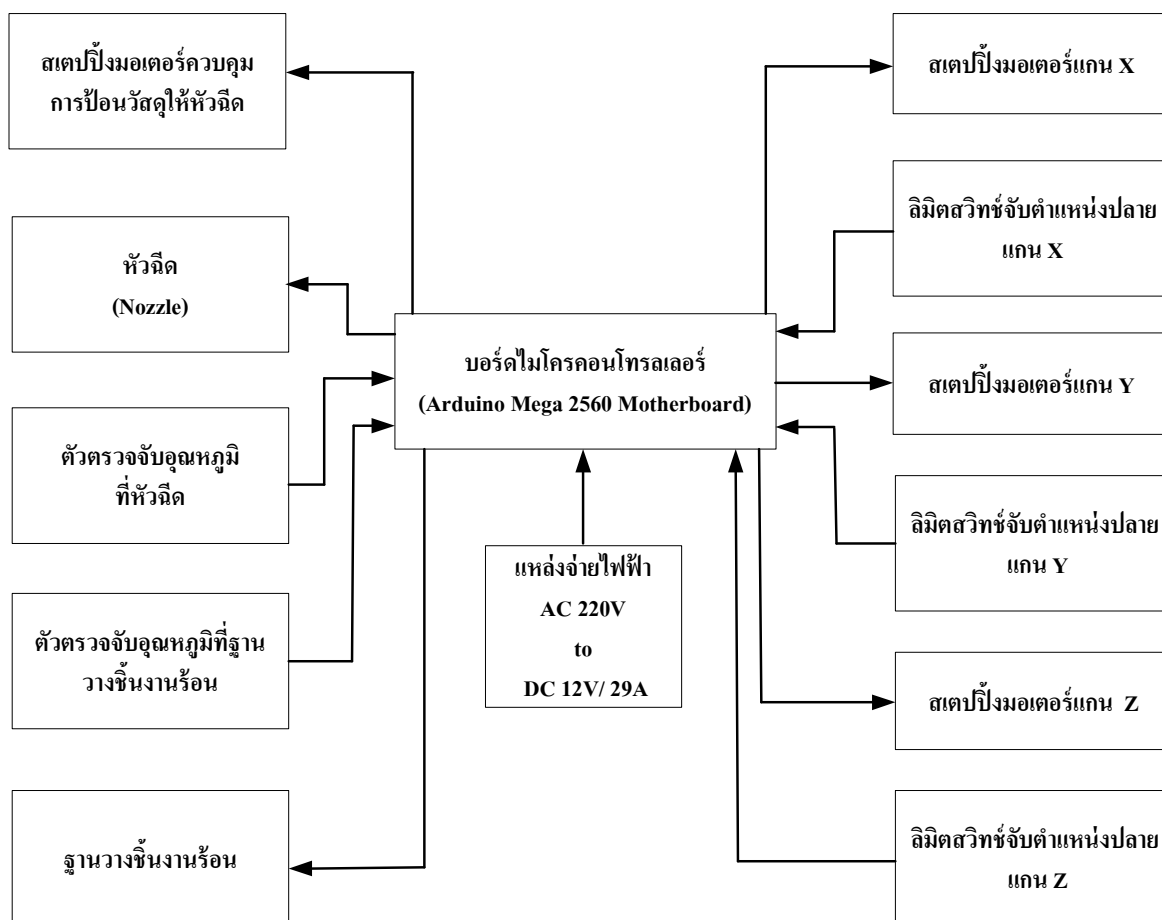
เริ่มต้นจากการวาดโมเดลชิ้นงานสามมิติตามขนาดจริงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ Solidworks ที่บันทึกไฟล์เป็นนามสกุล .STL เมื่อได้ไฟล์ชิ้นงาน 3 มิติแล้ว นำไปเข้าโปรแกรม Slicer ตัวแปลงไฟล์ G-code เป็นตัวที่แบ่งชิ้นงาน 3 มิติออกเป็นชั้นๆ และ คำนวณหาเส้นทางเดินของหัวพิมพ์ 3 มิติ และส่ง G-code ไปยังซอฟต์แวร์ Repetier Host เป็นการติดต่อสื่อสารกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ และ เรียกโปรแกรมที่คำนวณเส้นทางเดินของหัวพิมพ์ โดยสามารถกำหนดค่าการพิมพ์ต่างๆในซอฟต์แวร์ได้ เช่น ความละเอียดของการพิมพ์

ความเร็วในการพิมพ์ เป็นต้น โปรแกรมจะตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของทางารพิมพ์ที่ได้ออกแบบไว้ และทำการบันทึกลงใน USB Flash drive ไปเปิดที่ตัวเครื่องพิมพ์ 3 มิติ



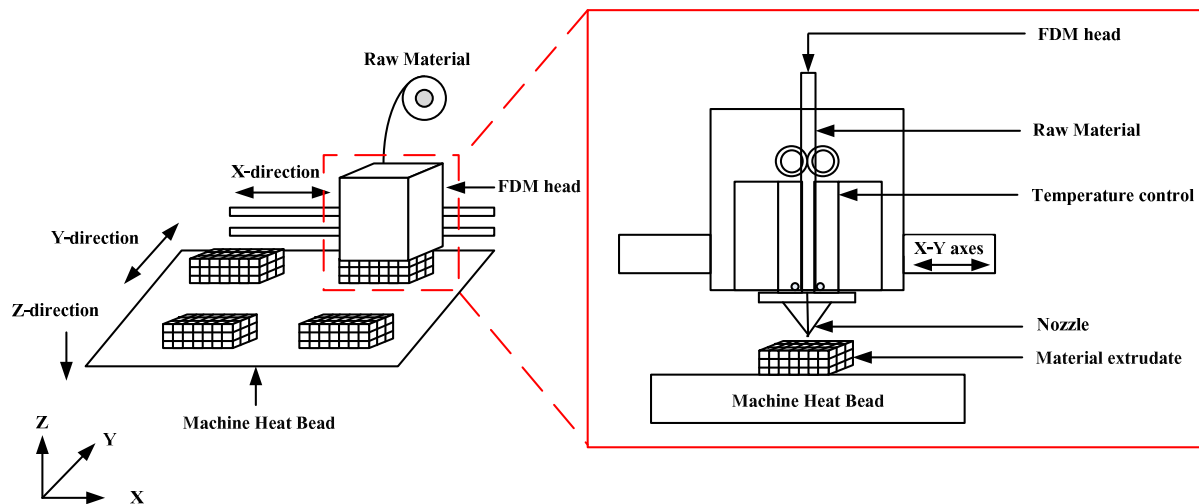
รูปที่ 3 โปรแกรมที่ใช้งานเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติ แบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมหัวฉีด และตำแหน่งที่ฐานวางชิ้นงาน และ 2) ระบบทางกลที่ควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกน X , แกน Y และ แกน Z ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

จากบล็อกไดอะแกรมแสดงให้เห็นถึงระบบและการควบคุมการทำงานทั้งหมดของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply) ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับบอร์ดคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการเคลื่อนที่ให้สเตปป์มอเตอร์หมุนในแนวแกน X , แกน Y และ แกน Z ที่ต้องการซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งของฐานวางชิ้นงาน สเตปป์มอเตอร์อีกตัวหนึ่งทำการควบคุมการป้อนวัสดุเส้นพลาสติกให้กับหัวฉีด แล้วฉีดออกมาเป็นเส้นผ่านหัวฉีดร้อน (Nozzle) การฉีดเส้นพลาสติกเป็นเทคโนโลยีการหลอมเส้นพลาสติกให้กลายเป็นของเหลว (Fused deposition modeling :FDM) ภายใต้การควบคุมให้มีความร้อนที่เหมาะสมกับชนิดของเส้นพลาสติก และมีวงจรควบคุมให้ฐานวางชิ้นงาน (Machine Heat Bed) มีอุณหภูมิที่อุ่นพอให้พลาสติกที่ถูกฉีดลงไปบนฐานวางชิ้นงานอ่อนตัวระดับหนึ่งไม่หลุดออกกระหว่างกำลังขึ้นรูปชิ้นงาน โดยมีการตรวจสอบและควบคุมอุณหภูมิที่ฐานวางชิ้นงานให้เหมาะสมตลอดเวลา เมื่อพลาสติกเริ่มหลอมจะมีตัวดันลวดพลาสติกให้ผ่านหัวฉีดออกมา ซึ่งหัวฉีดจะพิมพ์โดยการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X , แกน Y และ แกน Z โดยฉีดพลาสติกออกมา ตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งจะเริ่มพิมพ์ทีละชั้นๆ หลายๆ ชั้น จนชิ้นงานเสร็จเป็น 3 มิติ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยระบบฉีดเส้นพลาสติก (FDM)

3. ส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

โครงสร้างของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ส่วนใหญ่จะทำมาจากอะลูมิเนียมโปรไฟล์เพื่อให้มีน้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน มีผลทำให้ขนาดของ สเตปป์มอเตอร์ (Stepping motor), ชุดรางเลื่อน (Guide Way), ลีดสกรู (Lead screw) เล็กลง เมื่อเวลาเคลื่อนที่จะได้ไม่ต้องรับภาระโหลดมากและราคาก็ถูกลง และชุดหัวฉีด (Nozzle)

ฐานวางชิ้นงานร้อน (Machine Heat Bed) เป็นโครงสร้างหลักที่ทำหน้าที่รองรับชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักร หมอนรอง (Saddle) ใช้ต่อแท่นเครื่องเพื่อติดตั้งแกนการเคลื่อนที่อื่นๆของโต๊ะ (Table) ใช้สำหรับเป็นที่วางสำหรับพิมพ์ชิ้นงานตามที่ต้องการ และเสาใช้สำหรับติดตั้งชุดขับเคลื่อนที่หัวฉีดพิมพ์งาน (Nozzle)

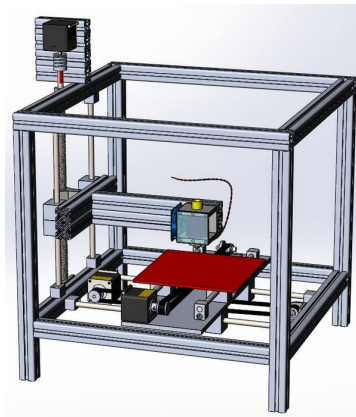
ชุดการเคลื่อนที่ในแนวแกน X แกน Y และ แกน Z ประกอบด้วยสเต็ปปีงมอเตอร์ (Stepping motor) มีหน้าที่รับคำสั่งจากชุดควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino มาเป็นการเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งต่างๆ

ชุดขับเคลื่อนเป็นชุดประกอบให้แกนเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและให้ความแข็งแรงของการเคลื่อนที่ของโต๊ะและหัวฉีดพิมพ์งาน ขณะที่พิมพ์งานชุดขับเคลื่อนแบบสกรู (Lead screw) เป็นอุปกรณ์ที่แปลงการเคลื่อนที่เชิงมุมจาก Stepping motor ให้เคลื่อนที่เป็นเชิงเส้น สามารถเลือกใช้ได้ตามลักษณะงานความละเอียดและความแม่นยำ

ชุดหัวฉีด (Nozzle) เป็นส่วนที่ให้ความร้อนกับเส้นพลาสติกที่ป้อนเข้ามาจากส่วนควบคุมการป้อนเส้นพลาสติก หรือ Extruder หัวฉีดร้อนทำมาจากโลหะบรรจุในบล็อกอะลูมิเนียม และมีแผ่นระบายความร้อนติดอยู่ที่ตัว

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่พัฒนาขึ้น

ส่วนประกอบ	รายละเอียด
พื้นที่ในการพิมพ์ชิ้นงาน	150 mm x 150 mm x 100 mm
อุณหภูมิฐานวางชิ้นงานร้อน	Operating Temperature 50°C
ชุดประกอบ	Dual linear guide way 10 mm
ชุดขับเคลื่อน	Lead Screw Ø 10 mm pitch 2 mm
โครงสร้าง	Aluminum Profile
ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแกน X, Y, Z	50 mm/min
ตัวต้นกำลัง	Stepping motor
ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่หัวฉีดในการพิมพ์	50 rpm/min
เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ	Operating Temperature -55°C -300°C
อุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดเส้นพลาสติก	190°C - 250°C
เส้นพลาสติก	Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) Ø 1.75 mm
Nozzle	Ø 0.4 mm
Processor unit	Arduino Mega 2560 Motherboard
Printer Configuration	Cartesian type



รูปที่ 6 แบบร่างของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

4. ผลการทดลอง

การทดลองพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ ขนาด 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร ให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และทรงกระบอก ตามลำดับ โดยทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อดูค่าความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) แต่ครั้งใช้เวลาในการพิมพ์ชิ้นงานที่เวลาเท่ากันทุกครั้ง รูปที่ 7 แสดงการพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติทั้ง 3 แบบ โดยในแต่ละรูปทรงจะใช้เวลาในการพิมพ์ชิ้นงานแต่ละชิ้นดังนี้

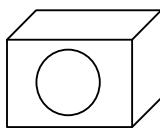
รูปทรงสี่เหลี่ยม แต่ละครั้งใช้เวลาในการพิมพ์ คือ 14 นาที

รูปทรงสามเหลี่ยม แต่ละครั้งใช้เวลาในการพิมพ์ คือ 12 นาที

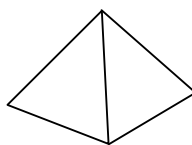
รูปทรงสามเหลี่ยม แต่ละครั้งใช้เวลาในการพิมพ์ คือ 11 นาที

ตรวจสอบโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดขนาดชิ้นงาน, ค่าเฉลี่ย และค่าความคลาดเคลื่อนของแนวแกน X, Y และ Z แสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 8 ถึงรูปที่ 10 แสดงค่าที่ได้จากการวัดของพิมพ์ชิ้นงานรูปทรงเลขาคณิต และหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของชิ้นงานจากสมการที่ (1)

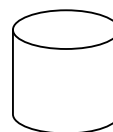
$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Percent Relative error)} = \frac{\text{ค่าที่ได้จากการวัด} - \text{ค่าจริง}}{\text{ค่าจริง}} \times 100 \quad (1)$$



ทรงสี่เหลี่ยม



ทรงสามเหลี่ยม



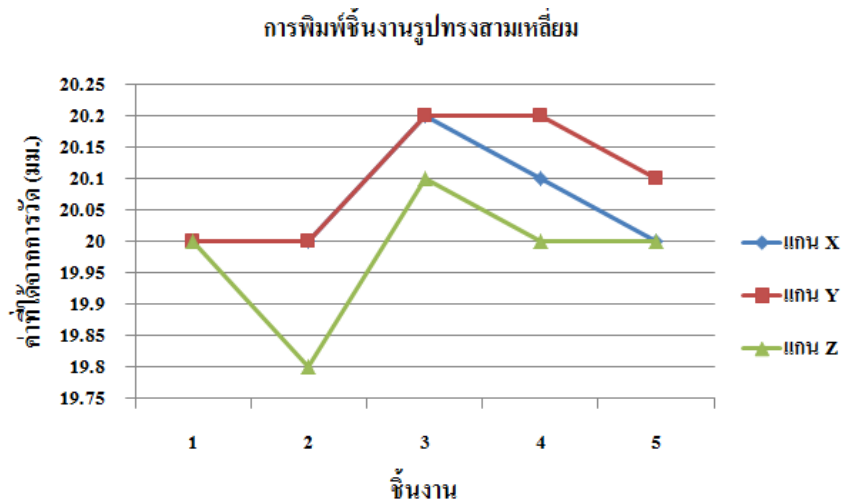
ทรงกระบอก



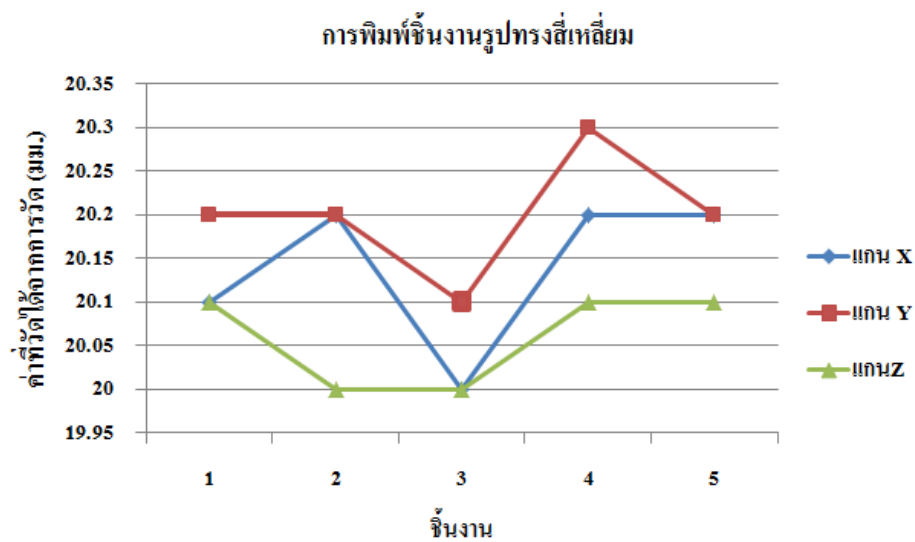
รูปที่ 7 ชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยม, สามเหลี่ยม และทรงกระบอก

ตารางที่ 2 ค่าการวัดของการพิมพ์ชิ้นงานในแนวแกน X, Y และ Z ของรูปทรงสี่เหลี่ยม, รูปทรงสามเหลี่ยม และรูปทรงกระบอก

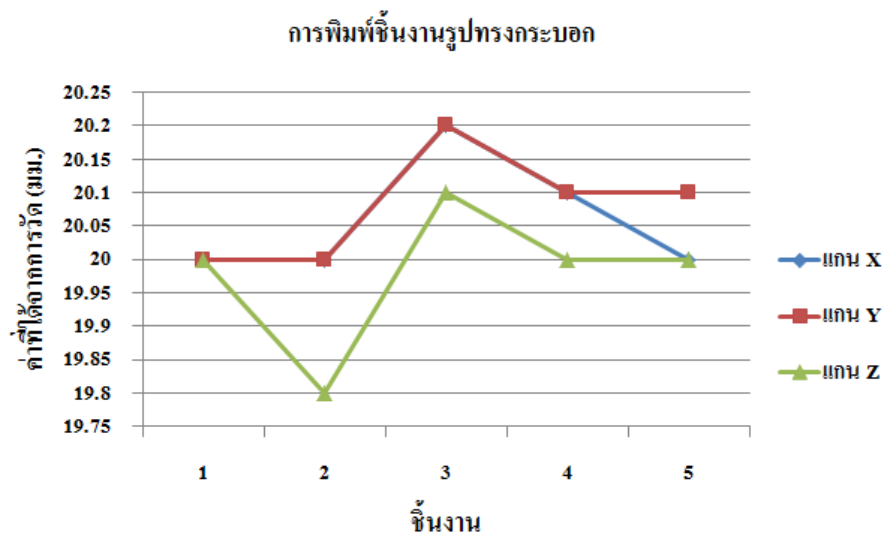
ชิ้นงาน	แกน X (มิลลิเมตร)			แกน Y (มิลลิเมตร)			แกน Z (มิลลิเมตร)		
									
1	20.10	20.00	20.00	20.20	20.00	20.00	20.10	20.00	20.00
2	20.20	20.00	20.00	20.30	20.00	20.00	20.00	19.80	19.80
3	20.00	20.20	20.20	20.10	20.20	20.20	20.00	20.10	20.10
4	20.20	20.10	20.10	20.20	20.20	20.10	20.10	20.00	20.00
5	20.20	20.00	20.00	20.20	20.10	20.10	20.10	20.00	20.00
ค่าเฉลี่ย	20.14	20.06	20.06	20.20	20.10	20.10	20.6	19.98	19.98
ความคลาดเคลื่อน (%)	0.7	0.3	0.3	1.0	0.5	0.5	0.3	0.1	0.1



รูปที่ 8 ค่าการวัดขนาดแนวแกน X, Y และ Z ของชิ้นงานรูปทรงสี่เหลี่ยม



รูปที่ 9 ค่าการวัดขนาดแนวแกน X, Y และ Z ของชิ้นงานรูปทรงสามเหลี่ยม



รูปที่ 10 ค่าการวัดขนาดแนวแกน X, Y และ Z ของชิ้นงานรูปทรงกระบอก

5. สรุป

ปัจจุบันเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่มีขายในท้องตลาดมีราคาที่สูงมาก ความแม่นยำสูง การประยุกต์ใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ในทางการแพทย์ การบินและอวกาศ บทความนี้ได้ทำการสร้างและออกแบบเครื่องพิมพ์ 3 มิติขนาดเล็ก โดยศึกษาการระบบ, หลักการทำงานและความสามารถของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ที่มีคุณภาพเพียงพอสำหรับงานทั่วไปที่ไม่เน้นความแม่นยำสูง ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนในการพิมพ์ชิ้นงานไม่เกิน $\pm 10\%$ โดยสามารถสร้างชิ้นงานที่มีความละเอียดซับซ้อนได้ในเวลาไม่นาน และใช้เป็นสื่อการเรียน การสอนที่แสดงให้เห็นถึงวิวัฒนาการของเทคโนโลยีในปัจจุบัน โดยเริ่มจากกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบและสร้างชิ้นงานจากการพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติรูปทรงเลขาคณิตได้ด้วยตนเอง เป็นการฝึกความสามารถในการแก้ปัญหา และยังได้ความรู้ในด้านต่างๆเช่นวิทยาศาสตร์ วิศวกรรม และวัสดุศาสตร์

เครื่องพิมพ์ 3 มิติขนาดเล็กนี้ใช้เทคโนโลยีฉีดเส้นพลาสติกแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) ที่แพร่หลายที่สุดในปัจจุบันในการวาดโมเดลสามมิติ และการหลอมละลายพลาสติกชนิด Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) ขนาด 1.75 มิลลิเมตร หัวฉีด (Nozzle) ขนาด 0.4 มิลลิเมตร ฮีตเตอร์ทำความร้อนควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 230 องศาเซลเซียส สามารถพิมพ์ชิ้นงานที่มีขนาดไม่เกิน กว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร สูง 100 มิลลิเมตร ที่เป็นรูปทรงเลขาคณิตแบบสี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม ทรงกระบอก ทรงกระบอกที่มีความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ตามแนวแกน X, Y และมีความคลาดเคลื่อน $\pm 10\%$ ตามแนวแกน Z

ผลจากการทดลองการพิมพ์ทรงสี่เหลี่ยมค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกน X ร้อยละ 0.7 แกน Y ร้อยละ 1.0 และแกน Z ร้อยละ 0.3 ใช้เวลาในการพิมพ์ 14 นาที ทรงสามเหลี่ยมค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวแกน X ร้อยละ 0.3 แกน Y ร้อยละ 0.5 และ แกน Z ร้อยละ 0.1 ใช้เวลาในการพิมพ์ 12 นาที ทรงกระบอกค่าความคลาดเคลื่อน

ตามแนวแกน X ร้อยละ 0.3 แกน Y ร้อยละ 0.5 และแกน Z ร้อยละ 0.1 ใช้เวลาในการพิมพ์ 11 นาที การพิมพ์ชิ้นงานรูปทรงเลขาคณิตทั้ง 3 แบบ ความคลาดเคลื่อนเกิดที่แกน Y มากที่สุด โดยมีค่าดังนี้ ร้อยละ 1.0, 0.5 และ 0.5 ตามรูปทรงสี่เหลี่ยม, รูปทรงสามเหลี่ยม และรูปทรงกระบอก ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่เครื่องพิมพ์ 3 มิติ ทำงานเกิดการสั่นสะเทือนตลอดเวลา และเนื่องจาก Guide Pin ที่รองรับแกน Y มีระยะห่างที่น้อยกว่าแกน X ซึ่งอยู่ในระนาบเดียวกัน จึงทำให้แกน Y เกิดการคลาดเคลื่อนมากที่สุด ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการขยับ Guide Pin ที่ประคองแกน Y ให้ออกห่างจากกันอีกเพื่อแก้ปัญหาคาดเคลื่อนที่เกิดจากการสั่นสะเทือนที่แกน Y เวลาเครื่องทำงาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนบทความขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการในการทดลองเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างเครื่องพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ ขนาดเล็ก และขอขอบคุณ นายวาทิต พิศสุวรรณ และนายศักดิ์ สัมบูรณ์ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ผู้ทำการออกแบบและทดสอบการทำงานของเครื่อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] เจน ชาญณรงค์. การพิมพ์มิติ เทคโนโลยีเปลี่ยนโลก : 3D Printing. บริษัทซีเอ็นยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, 2558.
- [2] วิญญู ตั้งวโรตมบุญกุล. เทคโนโลยีการสร้างเครื่องต้นแบบเร็ว. วารสารเทคโนโลยี โปรโมชัน. ประจำเดือน เมษายน-พฤษภาคม 2554 ฉบับที่ 38 หน้า 071-076 .
- [3] วิวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม1. บริษัทซีเอ็นยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, 2534.
- [4] บรรเลง ศรีนิล และ กิตติ นิงสานนท์. การคำนวณและการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล. โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2530.
- [5] นราธิป สัญญะเขื่อน, พรพิพัฒน์ ผัดเจริญ และ อนุสรณ์ พึ่งสันติ ออกแบบและสร้างชุดสาธิตเครื่องขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ 3 มิติชนิด 4 แกน ปริญญาานิพนธ์ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง, 2557.
- [6] พบพร ไชยกุลตยานนท์, พลนภัส มินบำรุง และ จักรกริช พฤษการ. วัดดู 3 มิติจาก Depth Sensor Camera และ 3D Printer, Available: http://www.eng.kps.ku.ac.th/dblibv2/fileupload/project_IdDoc215_IdPro601.pdf, สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2560.
- [7] มนัส ศรีวงศ์. การพัฒนาและสร้างเครื่องกัด ซีเอ็นซี แนวตั้งขนาดเล็ก, วิทยานิพนธ์ มหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2539.

- [8] เฉลิมชนม์ ไวศยดำรง. การพัฒนาไฟล์ NC สำหรับเครื่องกัดชนิด 3 แกนจากไฟล์ STL, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541.
- [9] วิชัย ศิวรานนท์. การโปรแกรมและการจำลองภาพการทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซี, วิทยานิพนธ์ มหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.
- [10] Admin print3dd .What is FDM/FFF 3D Printer? .บทความ.13/03/2015 Available:
<http://www.print3dd.com/fdm-3d-printer/>, สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2560.
- [11] เครื่องพิมพ์สามมิติราคาย่อมเยา (Low-cost 3D Printers), Building Hard-Fun Learning Technologies @ Dept. Computer Engineering, Chiang Mai University, Available: https://learninginventions.org/?page_id=87, สืบค้นเมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2560.
- [12] A.C. Majarena, J.J. Aguilar and J. Santolari, “Development of error compensation case study for 3D printers,” Procedia Manufacturing, Vol. 13, 2017, pp. 864–871.
- [13] C.M. Cheah, · C.K. Chua, · C.W. Lee,· C. Feng and · K. Totong, “Rapid prototyping and tooling techniques: a review of applications for rapid investment casting,” The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 25, No. 3–4, 2005, pp. 308–320.