

กรณีศึกษาการปรับระดับฐานพิมพ์โดยการประมาณค่าแบบเชิงเส้นคู่ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

Case Study of Print Bed Leveling by Bilinear Interpolation in 3D Printers

เอกบดี เมืองกลาง^{1*} นันทวัน ปุงคานนท์¹ กริชเพชร กล้ามะรัตน์¹ ปรีชา สมหวัง¹กรัณท์กมล ภูครองหิน¹ เทวิล สกกุลบุญยงค์¹ เด่น คอกพิมาย¹ และ พริมา สมหวัง¹¹สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานEkbodee Muangklang^{1*} Nuntawan Pungkanon¹ Kritphet Klammarat¹ Preecha Somwang¹Krankamol Phukhronghin¹ Thewin Sakunbunying¹ Den Kogphimai¹ and Pharima Somwang¹¹Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan

Email: Ekbodee.mu@rmu.ac.th*

(Received: January 18, 2023; Revised: June 5, 2023; Accepted: June 6, 2023)

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมโดยสามารถขึ้นรูปชิ้นงานจริง ที่ได้จากการออกแบบด้วยโปรแกรมด้าน 3 มิติ เมื่อทำการออกแบบชิ้นงานที่ต้องการเสร็จ จัดเตรียมไฟล์งานแบ่งเป็นชั้น จากนั้นแปลงไฟล์ออกเป็นชุดคำสั่งสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวแกน X,Y,Z นำไฟล์ชุดคำสั่งป้อนเข้าเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ก่อนเริ่มพิมพ์ทั่วไปมีปัญหาการพิมพ์ คือ การปรับระดับฐานพิมพ์ ระยะหัวฉีดกับฐานพิมพ์ และฐานพิมพ์ไม่เรียบ ทำให้ชิ้นงานที่พิมพ์ไม่สมบูรณ์ คณะผู้จัดทำได้ทดลองปรับระดับฐานพิมพ์เป็นแบบอัตโนมัติเปรียบเทียบกับวิธีธรรมดาซึ่งมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากฐานพิมพ์เอียงอยู่ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการปรับระดับฐานพิมพ์โดยติดตั้งชุดเซนเซอร์ตรวจวัดระยะฐานพิมพ์ ทดสอบการวัดค่าฐานพิมพ์ที่จุด โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบเชิงเส้นเทียบกับวิธีการประมาณค่าแบบเชิงเส้นคู่ สรุปผลการทดลองคือ การปรับระดับฐานพิมพ์แบบอัตโนมัติสามารถลดปัญหาการพิมพ์ในขั้นแรก โดยมีความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานอยู่ที่ 0.0075 %

คำสำคัญ: ฐานพิมพ์เครื่องพิมพ์ 3 มิติ การปรับระดับฐานพิมพ์เครื่องพิมพ์ 3 มิติ การประมาณค่าแบบเชิงเส้นคู่

Abstract

Nowadays, 3D printers are a necessity in the industry that especially in areas that require actual work piece. It is a design process with 3D programs. After the desired work piece design has been completed that necessary to prepare a work file divided into layers. It is the process of converting the file into a set of instructions for moving in the X, Y, Z axis. The final step is to feed the batch file to the 3D printer. There are four major problems with 3D printing: leveling the print bed, distance between nozzle and print bed and the print base is not smooth that printed piece incomplete. The research team was able to experiment with automatically adjusting the print bed leveling compared to the conventional method, which is inaccurate due to the tilting of the print bed. This research presents the adjustment of the print bed level by installing the

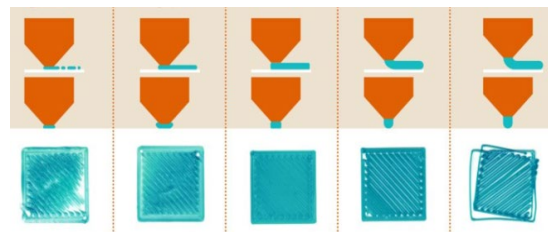
print bed distance sensor. It is the processing of set point a print bed measurement test on the spot. It's linear interpolation versus double linear interpolation. The results show that this method of automatic bed leveling can reduce the problem of first layer printing. The experimental results have a discrepancy of the work piece at 0.0075 %.

Keywords: Print bed 3D printer, Leveling, Bilinear Interpolation

1. บทนำ

เครื่องพิมพ์ 3 มิติเป็นเทคโนโลยีการพิมพ์ [1] ที่เข้ามามีบทบาทในภาคอุตสาหกรรมและการผลิตโดยทั่วไป อาทิ การขึ้นรูปชิ้นส่วนทางกล ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญในงานวิศวกรรม โดยการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ [2] จะมีขั้นตอนโดยทั่วไปที่สำคัญเริ่มตั้งแต่ การเลือกวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปชนิดต่างๆ อัตราการฉีด อุณหภูมิของหัวฉีด การปรับระยะระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ และลักษณะของฐานพิมพ์ โดยหลังจากทำการออกแบบชิ้นงานในรูปแบบของโมเดล 3 มิติเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไฟล์โมเดล 3 มิติ [3] ที่สมบูรณ์จะถูกทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบ G-code และ M-code เพื่อให้ Firmware สามารถรับข้อมูลแล้วทำการประมวลผลเพื่อสั่งงานให้มอเตอร์หมุนเคลื่อนที่ตามพิกัดโคตที่ได้จากการออกแบบ โดยมีรูปแบบลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวแกนแนว X,Y และปรับระดับในแนวแกน Z [4]

ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ [5] ปัญหาที่พบบ่อยโดยทั่วไปจากการขึ้นรูปชิ้นงาน [6] คือ การปรับระดับฐานพิมพ์ไม่ไต่ระดับ [7] ซึ่งอาจเกิดจากฐานพิมพ์ไม่เรียบ บิด โค้ง หรือโก่งงอ จนไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ ปัญหาระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ โดยการปรับระดับการพิมพ์เป็นขั้นตอนเริ่มแรกในกระบวนการขึ้นรูป 3 มิติ โดยลักษณะการปรับระดับระยะการพิมพ์ [8] สามารถสรุปได้ 3 รูปแบบกว้างๆ คือ รูปแบบที่ 1 การปรับระดับระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ที่ใกล้เคียงไป เส้นพลาสติกขาด [9] รูปแบบที่ 2 การปรับระดับระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ที่เหมาะสม เส้นพลาสติกสมบูรณ์ และรูปแบบที่ 3 การปรับระดับระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ที่ห่างกันมากเกินไป เส้นพลาสติกไม่ติดฐานพิมพ์ [10] ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการปรับระดับระยะห่างหัวพิมพ์กับฐานพิมพ์ในการพิมพ์ชิ้นแรก [11]

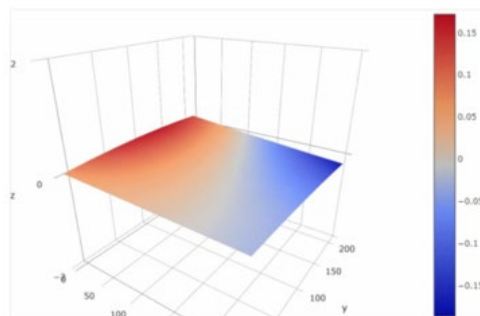
งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบชุดปรับปรุงระดับฐานพิมพ์อัตโนมัติ โดยทำการติดตั้งชุดเซนเซอร์วัดระยะในตำแหน่งใกล้กับหัวพิมพ์เพื่อเก็บค่าระดับของฐานพิมพ์ซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้จะถูกประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์และสั่งให้ชุดควบคุมมอเตอร์หมุนตามทิศทางที่ได้หลังจากโปรแกรมทำการประมวลผลเพื่อทำการชดเชยระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับฐานพิมพ์ เพื่อให้การพิมพ์ในชั้นแรกซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่สำคัญนั้นมีเส้นพลาสติกสมบูรณ์ โดยจากผลการทดสอบ การปรับระดับฐานพิมพ์แบบอัตโนมัติที่ได้ทำการออกแบบในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับผลการชดเชยค่าฐานพิมพ์ซึ่งใช้วิธีปรับระดับฐานพิมพ์แบบธรรมดา ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึง การลดปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพการพิมพ์ทำให้ชิ้นงานพิมพ์ 3 มิติมีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการการตรวจสอบและปรับระนาบของฐานพิมพ์

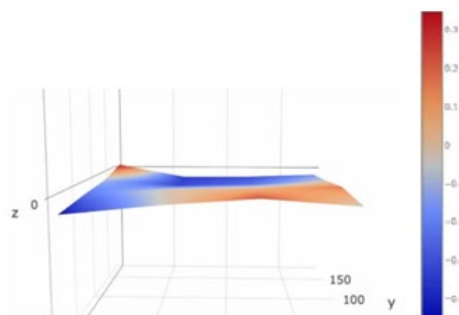
ในการปรับระดับฐานพิมพ์อัตโนมัติสำหรับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีทฤษฎีที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำการปรับระยะหว่างหัวฉีดและฐานพิมพ์ให้เหมาะสม โดยในปัจจุบันการตรวจสอบและปรับระนาบฐานพิมพ์นั้นมีหลายเทคนิควิธีการ ในงานวิจัยนี้จะขอลำถึงวิธีการที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน 2 รูปแบบดังนี้

2.1 Mesh based Leveling คือ การปรับระดับฐานพิมพ์แบบตาข่ายโดยทำการวัดความสูงของฐานพิมพ์ที่ตำแหน่งต่างๆ เพื่อสร้างระนาบตาข่าย 3 มิติ เพื่อแสดงถึงความไม่สมบูรณ์หรือความผิดปกติของฐานพิมพ์ เมื่อกระบวนการชดเชยฐานพิมพ์เริ่มทำงาน หัวฉีดจะทำการปรับระดับในแกน Z+, Z- ซึ่งจะเคลื่อนที่ขึ้น ลง พร้อมกับทำการวัดระดับที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนฐานพิมพ์ จากนั้นทำการประมาณค่าแบบ Bilinear Interpolation ซึ่งจะทำให้หัวฉีดเคลื่อนที่ตามส่วนโค้งของฐานพิมพ์ได้ละเอียดและแม่นยำยิ่งขึ้น โดยเทคนิคนี้ยังสามารถแยกเป็นรูปแบบย่อยอีกได้อีก 3 รูปแบบ คือ 1) Mesh Bed Leveling เป็นการปรับระดับฐานพิมพ์โดยสร้างตาข่ายแบบธรรมดาโดยใช้ Feeler Gauge 2) Auto Bed Leveling (Bilinear) คือ การปรับระดับฐานพิมพ์โดยสร้างตาข่ายแบบ Bilinear โดยไม่สนใจว่าเครื่องพิมพ์ 3 มิตินั้นจะมีการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดระยะหรือไม่ และ 3) Unified Bed Leveling คือ การปรับระดับตาข่ายแบบ Bilinear พร้อมกับการวัดระยะจากเซนเซอร์เพื่อใช้สำหรับปรับค่าระนาบให้พอดีกับทั้งฐานพิมพ์

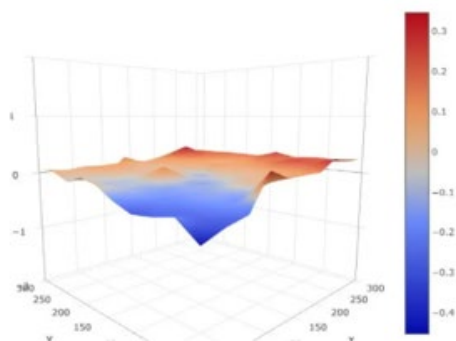
2.2 Matrix based Leveling คือ การปรับระดับความสูงตามเมทริกซ์ความสูงของฐานพิมพ์ โดยทำการวัดระดับ ณ จุดตำแหน่งต่างๆ ในฐานพิมพ์ เพื่อสร้างเมทริกซ์การหมุน ซึ่งเมทริกซ์นี้จะถูกใช้เพื่อหมุนจุดในพื้นที่ระนาบ 3 มิติที่สัมพันธ์กับการเอียงของฐานพิมพ์ ดังนั้น หากพิมพ์วัตถุบนพื้นผิวที่เอียงจะส่งผลให้วัตถุทั้งหมดเอียงตามไปด้วย ซึ่งเทคนิคนี้จะนิยมใช้กับฐานพิมพ์ที่มีลักษณะแบนราบอย่างสมบูรณ์เท่านั้น โดยลักษณะของระนาบที่สร้างขึ้นจากการเก็บข้อมูลของเซนเซอร์ในเทคนิคต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2 Linear Mesh Bed leveling [12]



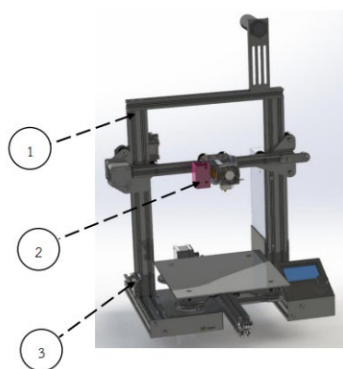
รูปที่ 3 Bilinear Auto Bed leveling [12]



รูปที่ 4 Unified bed leveling [13]

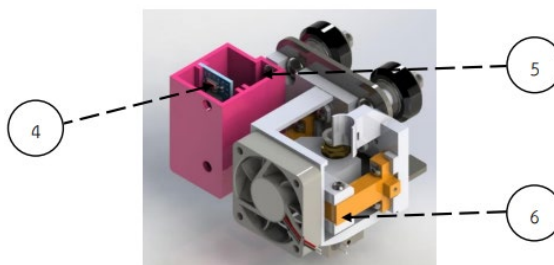
3. วิธีการดำเนินงาน

กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ [14] มีขั้นตอนที่สำคัญดังนี้ 1) ออกแบบชิ้นงาน 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Solidwork [15] และทำการบันทึกไฟล์ให้นามสกุลเป็น .STL 2) ทำการแปลงไฟล์ .STL ที่จัดเตรียมไว้แบ่งเป็นชั้น ซึ่งไฟล์ที่แปลงจะกลายเป็นชุดคำสั่งซึ่งออกรหัสเป็น G-code เพื่อให้เครื่องพิมพ์สามารถเคลื่อนที่และพิมพ์ชิ้นงานออกมาได้ 3) ปรับตั้งเครื่องพิมพ์ให้อยู่ในตำแหน่ง ที่พร้อมสำหรับการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X , Y , Z เพื่อขึ้นรูปชิ้นงาน 4) นำไฟล์ชุดคำสั่ง G-code ป้อนเข้าเครื่องพิมพ์เพื่อให้เครื่องพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานตามชุดคำสั่งการทำงาน [16] ตัวอย่างเครื่องพิมพ์ 3 มิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 5 โดยมีชิ้นส่วนที่สำคัญประกอบไปด้วย 1) เครื่องพิมพ์ 3 มิติ 2) ชุดตั้งฐานพิมพ์อัตโนมัติ 3) ลิมิตสวิตช์



รูปที่ 5 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ

ในการสร้างระบบตาข่ายเพื่อชดเชยฐานพิมพ์ได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์ไว้ที่หัวพิมพ์เพื่อให้เซนเซอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ทั่วทั้งพื้นที่ฐานพิมพ์และเก็บข้อมูลระยะห่างระหว่างหัวพิมพ์กับฐานพิมพ์ โดยตัวอย่างลักษณะชุดเซนเซอร์ที่ทำการติดตั้งกับหัวพิมพ์แสดงไว้ในรูปที่ 6 และมีชิ้นส่วนที่สำคัญประกอบไปด้วย 4) บอร์ด Arduino Pro mini 5) ชุดแปลงสัญญาณเซนเซอร์ 6) เซ็นเซอร์วัดระยะ



รูปที่ 6 ชุดเซนเซอร์เพื่อตรวจวัดฐานพิมพ์

การทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ร่วมกับชุดเซนเซอร์ตรวจวัดระยะฐานพิมพ์ มีขั้นตอนดังนี้ 1) กดเลือกไฟล์คำสั่ง G-Code เครื่องพิมพ์จะกลับเข้าสู่พิกัด Home คือ X0 , Y0 , Z0 2) มอเตอร์เคลื่อนที่กลับสู่พิกัด Z0 ของเครื่องพิมพ์ เพื่อสัมผัสลิฟต์สวิทช์ เปิดการทำงานของวงจรตรวจวัดฐานระดับฐานพิมพ์ 3) เมื่อฐานพิมพ์เริ่มทำงานแบบอัตโนมัติ จะนำค่าที่ได้จากการตรวจวัดระยะไปบันทึกไว้ที่หน่วยความจำของตัวเครื่อง 4) เมื่อเริ่มพิมพ์ชิ้นงาน เครื่องจะดึงเอาข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำมาใช้ชดเชยค่าในแกน Z+ , Z- ขณะพิมพ์ชิ้นงาน โดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ Creality ender3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้พิมพ์ Ultimaker Cura พลาสติกที่ใช้พิมพ์เป็น พอลิแลคติกแอซิด (PLA) ค่าพารามิเตอร์ที่พิมพ์ คือ ความสูงแต่ละชั้น (Layer height) 0.2 mm ความหนาแน่นชิ้นงาน (Infill Density) 20% ความหนาชั้นบนสุดและชั้นล่างสุด (Top/Bottom Thickness) 0.8 mm กำแพงชิ้นงานหรือความหนาผิวด้านนอก (Wall Thickness) 0.8 mm ความเร็วในการพิมพ์ (Print Speed) 60 mm/s และอุณหภูมิ (Temperature) ในการพิมพ์ 3 มิติ 210 °C

4. ผลการทดสอบ

ในการทดสอบการทำงานของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1) การทดสอบเพื่อวัดค่าระยะระหว่างหัวพิมพ์กับฐานพิมพ์พร้อมทั้งทำการประมาณค่าเพื่อนำไปสร้างระบบตาข่ายที่ใช้อ้างอิงในการชดเชยระยะในการพิมพ์ และ 2) การทดสอบการพิมพ์ชิ้นงานโดยเปรียบเทียบระหว่างมีการปรับฐานพิมพ์และไม่มีการปรับฐานพิมพ์

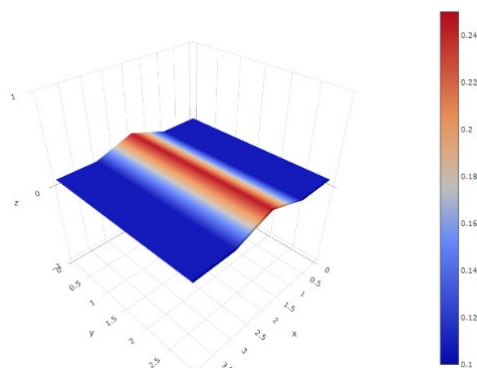
4.1 การทดลองวัดค่าที่จุดแบบธรรมดา

การทดลองปรับระดับโดยวัดระดับระดับฐานพิมพ์แบบทั่วไปโดยใช้ Feeler Gauge ขนาด 0.10 มิลลิเมตร ปรับระดับความห่างระหว่างหัวพิมพ์ 3 มิติกับฐานพิมพ์ โดยวัดระดับที่ขอบฐานพิมพ์ทั้งหมด 5 จุด และวัดระยะห่างของจุดที่ 3 ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของฐานพิมพ์ มีผลการตรวจวัดระดับฐานพิมพ์ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการวัดปรับระดับฐานพิมพ์แบบทั่วไปโดยใช้ Feeler Gauge

X	1	2	3	4	5
Y					
1	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1
2	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1
3	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1
4	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1
5	0.1	0.1	0.25	0.1	0.1

ซึ่งจากผลการปรับระดับฐานพิมพ์แบบธรรมดา โดยใช้ Feeler Gauge แล้วนำผลการทดสอบมาสร้างเป็นตารางตาข่าย จากนั้นทำการพล็อตกราฟ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 7 โดยแสดงให้เห็นถึงการโค้งงอของฐานพิมพ์และเป็นการปรับระดับแบบเชิงเส้น ซึ่งยังคงมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความเอียงของฐานพิมพ์อยู่



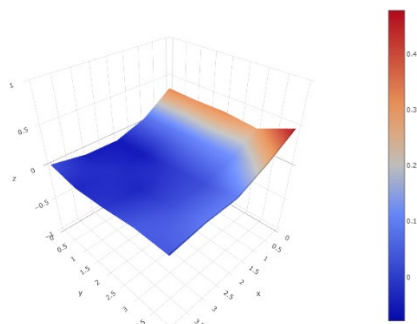
รูปที่ 7 ระดับฐานพิมพ์โดยสร้างตาข่ายแบบธรรมดาจากการใช้ Feeler Gauge ปรับระดับ

4.2 การทดลองวัดค่าที่จุดแบบการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่

ในการตรวจวัดระดับฐานพิมพ์สำหรับการปรับระดับฐานพิมพ์แบบวัดค่าที่จุดในช่วงเชิงเส้นคู่ มีผลการตรวจวัดระดับฐานพิมพ์ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองวัดค่าที่จุดระดับฐานพิมพ์แบบการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่

X	1	2	3	4	5
Y					
1	+0.337	+0.057	-0.078	-0.070	+0.013
2	+0.324	+0.067	-0.077	-0.045	-0.057
3	+0.330	+0.088	-0.028	-0.058	-0.028
4	+0.290	+0.102	+0.003	+0.003	+0.026
5	+0.478	+0.260	+0.088	+0.078	+0.019

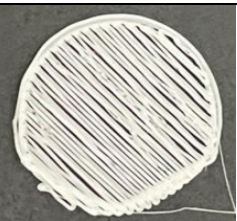
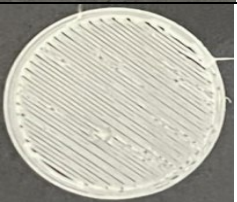


รูปที่ 8 ระดับฐานพิมพ์โดยสร้างตาข่ายวัดค่าที่จุดแบบการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่

4.3 การทดสอบการพิมพ์ชิ้นงาน

หลังจากทำการวัดค่าระยะห่างระหว่างหัวพิมพ์กับฐานพิมพ์เพื่อทำการปรับฐานพิมพ์แล้ว จากนั้นทำการทดสอบพิมพ์ชิ้นงาน โดยเปรียบเทียบระหว่างการปรับฐานพิมพ์จากค่าที่ได้จากการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้น และการประมาณค่าในช่วงแบบเชิงเส้นคู่

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ

ลักษณะ	การพิมพ์ที่ฐานในชั้นแรก
ชนิดฐานพิมพ์	
วัดค่าที่จุดจากการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น	
วัดค่าที่จุดจากการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่	

1) ทดสอบพิมพ์ชิ้นงานแบบธรรมดาในช่วงเชิงเส้น ขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร จำนวน 9 จุด และนำชิ้นงานที่ได้มาวัดขนาดความสูง

ตารางที่ 4 ผลจากการวัดชิ้นงานในการพิมพ์แบบธรรมดา

จุดที่	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 3	ทดสอบครั้งที่ 4
1	9.50	10.00	9.76	10.00
2	10.00	10.06	10.00	9.86
3	10.20	10.00	10.10	10.10
4	10.25	9.52	9.70	9.94
5	9.00	9.10	9.00	9.11
6	8.70	9.00	9.98	9.00
7	9.20	10.01	10.30	10.10
8	10.40	9.85	9.98	10.30
9	10.02	10.13	10.11	10.15
เฉลี่ย	9.70	9.74	9.88	9.84
Error (%)	2.1%			

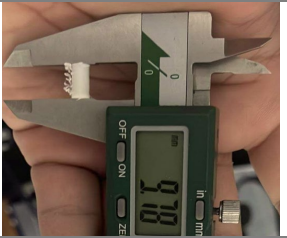
2) ทดสอบพิมพ์ชิ้นงานแบบธรรมดาในช่วงเชิงเส้นคู่ ขนาดกว้าง 10 มิลลิเมตร สูง 10 มิลลิเมตร จำนวน 9 จุด และนำชิ้นงานที่ได้มาวัดขนาดความสูง

ตารางที่ 5 ผลจากการวัดชิ้นงานในการพิมพ์แบบอัตโนมัติ

จุดที่	ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 3	ทดสอบครั้งที่ 4
1	10.00	10.00	10.01	10.02
2	10.01	10.02	10.02	10.01
3	10.02	10.00	10.00	10.00
4	10.00	10.01	10.03	10.02
5	10.00	10.00	10.00	10.01
6	10.00	10.01	10.00	10.00
7	10.01	10.00	10.01	10.00
8	10.00	10.02	10.00	10.02
9	10.00	10.00	10.00	10.00
เฉลี่ย	10.00	10.01	10.01	10.01
Error (%)	0.0075%			

จากผลการทดสอบการพิมพ์ชิ้นงานในตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ในตารางที่ 4 เป็นการพิมพ์ชิ้นงานโดยใช้รูปแบบการปรับฐานพิมพ์แบบธรรมดา ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดของชิ้นงานมีความคลาดเคลื่อนในการพิมพ์อย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบด้วยวิธีการปรับฐานพิมพ์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ตามตารางที่ 5 จะสามารถเห็นถึงความแตกต่างได้อย่างชัดเจน ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่า มีความแม่นยำสูงกว่า โดยลักษณะการวัดชิ้นงานและบันทึกข้อมูลแสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การวัดความสูงชิ้นงานเนื่องจากชดเชยแกน Z

ลักษณะ	ความสูง
ชนิดฐานพิมพ์	
วัดค่าที่จุดจากการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้น	
วัดค่าที่จุดจากการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่	

5. อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยนี้นำเสนอโมเดลการปรับฐานพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบอัตโนมัติ โดยติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัดระยะเพื่อทำการวัดระยะอัตโนมัติและการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่ เพื่อสร้างระนาบในการชดเชยการปรับระดับฐานพิมพ์ในแกน Z จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการปรับระดับแบบการประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นคู่ทำให้ชิ้นงานมีสมบรูณ์กว่าแบบเชิงเส้นและมีความผิดพลาดน้อยกว่า โดยวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0075 % ขณะที่วิธีการแบบดั้งเดิมมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.1 % ส่งผลให้เห็นว่าการปรับฐานพิมพ์ด้วยวิธีที่นำเสนอนี้สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการขึ้นรูปชิ้นงาน และชิ้นงานมีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้นจากการปรับระยะอัตโนมัติของหัวพิมพ์กับฐานพิมพ์ที่เหมาะสม

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานและบริษัท 3D Printer Korat ที่ให้การสนับสนุนในการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Rompas, C. Tsirmpas, I. Papatheodorou, G. Koutsouri, and D. Koutsouris, “3D Printing: Basic Concepts Mathematics and Technologies” International Journal of Systems Biology and Biomedical Technologies (IJSBBT), vol. 2, no. 2, pp. 58-71, 2013.
- [2] D. Tripak, P. Pamonsinlapatham, “3D Printing: Technology that Changes the Health World” Thai Pharm Health Sci J., Vol. 10 No. 4, pp.199-206, 2015. (in Thai)
- [3] C. Tachat, “Stereolithography (SLA) 3D Printer Design for Desktop Work Space with Post Printed Organizer Module” M.Eng. (Product Design), Silpakorn University, Thailand, 2017. (in Thai)
- [4] K. Tanlawan, W. Somjai, K. Premprayool and A. Udomvech, “The Construction of 3D Printing Machine for STEAM Learning” Thaksin J., vol. 20, no. 3, pp. 245-253, 2017. (in Thai)

- [5] D. Tathong, J. Wonglimpiyarat, “The Effects of Low Cost 3D Printers on Product Development in the Industries” NIDA BUSINESS J., vol.24, pp.123-155, 2019. (in Thai)
- [6] N. Thedpitak, “The Three-Dimensional Modeling from Computed Tomography Images by Three-Dimensional Printing” Srinagarind Med J., vol. 34, no. 6, pp.574-577, 2019. (in Thai)
- [7] J. Tongtipparut, “3D Modeling for Military Simulation Software” Defence Technology Academic J., vol. 2, no. 6, pp.94-105, 2020. (in Thai)
- [8] P. Sirirutbunkajal, C. Pattarmaprom, “Effect of 3D-printed Mold Insert on the Dimensional Stability of Injection Molded Parts” Thai Science and Technology J., vol. 28, no. 10, pp.1903-1915, 2020 (in Thai)
- [9] C. Paenoi, T. Sangpradit, J. Sukonthachart, “The Application of Coordinate Celestial Objects On Celestial Sphere Model Created by 3D Printing Technology to Promote Understanding of Astronomical Concepts” Social Science and Buddhist Anthropology J., vol.6 no.4, pp.241-255, 2021. (in Thai)
- [10] W. Jitwiriya, S. Limrungruengrat, B. Kaewprachum, “Development of an Extruder in the Making of 3D Printing Filament from Recycled Plastics” Industrial Technology Lampang Rajabhat University J., vol. 14, no. 2, pp.87-98, 2021. (in Thai)
- [11] “Bed Leveling Guide by Billie Ruben” DIY 3D Printing. [Online]. Available: <http://diy3dprinting.blogspot.com/2019/07/bed-leveling-guide-by-billie-ruben.html>. [Accessed: 01-Mar-2021]
- [12] “Auto-Leveling 3D Printer” ALL3DP. [Online]. Available: <https://all3dp.com/2/auto-leveling-3d-printer-do-i-really-need-it>. [Accessed: 01-Mar-2021]
- [13] “Unified Bed Leveling (UBL)” 3D Maker Engineering. [Online]. Available: <https://www.3dmakerengineering.com/blogs/3d-printing/unified-bed-leveling-marlin>. [Accessed: 01-Mar-2021]
- [14] D. Naprasert, “Shear Bond Strength of Relining Materials Bonded to 3D Printed Provisional Crown Material” The Department of Medical Services J., vol. 47, no. 4, pp.101-107, 2022. (in Thai)
- [15] S. Samrit, P. Rojanarat, S. Posritong, “Shear Bond Strength between 3D Printing UDMA Denture Base Material and the Hard Relining Material” The Department of Medical Services J., vol. 48, no. 1, pp.60-66, 2023. (in Thai)
- [16] V. Rasmidatta, “Effective Design Process for 3D Printing” DEC J., vol. 1, no. 3, pp.187-211, 2023 (in Thai)