

ความแม่นยำของขนาดและการหดตัวของอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน ในกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ

Dimensional Accuracy and Shrinkage of Acrylonitrile Butadiene Styrene in 3D Printing Process

วิชัย พุ่มจันทร์, อุไรวรรณ พงสา, อรจิตร แจ่มแสง, ภูเมศวร์ แสงระยับ, ประสาน แสงเขียว,

พงศกร หลีตระกูล, พิสิต เมืองน้อย, ภาสุรีย์ ล้ำสกุล และ ทวี หมดสี*

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

กม. 242 ถนนเพชรเกษม อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

Wichai Pumchan, Uraiwan Pongsa, Orajit Jamesang, Phoometh Sangrayub, Prasan Saengkhaio,

Pongakorn Leetrakul, Phisith Muangnoy, Pasuree Lumsakul and Tavee Madsa*

Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Rattanakosin Wong Klai Kang Won Campus

Km 242, Petchkasem Road, Hua Hin, Prachuap Khiri Khan 77110

*Corresponding author Email: tavee.mad@rmutr.ac.th

(Received: October 18, 2024 / Revised: December 22, 2024 / Accepted: December 24, 2024)

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน การพิมพ์ 3 มิติ มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว การสร้างชิ้นส่วนที่มีความแม่นยำของขนาดมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการผลิตชิ้นส่วนขนาดใหญ่หรือชิ้นส่วนประกอบที่ต้องการขนาดพอดีกัน ดังนั้นบทความวิจัยนี้จึงนำเสนอเกี่ยวกับผลกระทบของเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุต่อความแม่นยำของขนาดและการหดตัวของชิ้นงานที่พิมพ์จากวัสดุอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (ABS) การตรวจวัดขนาด 3 มิติ ใช้เครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ และซอฟต์แวร์ GOM Inspect ในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุ ABS รูปแบบเส้น เป็นวัสดุในการพิมพ์ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร หัวฉีดขนาด 0.4 มิลลิเมตร ชิ้นงานทดสอบทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร สูง 25 มิลลิเมตร ใช้รูปแบบการเติมเนื้อวัสดุแบบลูกบาศก์ อุณหภูมิในการพิมพ์ 230 องศาเซลเซียส และความเร็วในการเติมเนื้อวัสดุ 30 มิลลิเมตรต่อวินาที เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 5 ระดับ คือ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% จากผลการศึกษาพบว่าสามารถพิมพ์ชิ้นงานได้รูปทรงตามต้องการ มีค่าพิสัยความกลมและพิสัยความเป็นทรงกระบอกใกล้เคียงกัน ชิ้นงานที่ได้ในทุกตัวแปรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าขนาดที่กำหนด ที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่ำ เกิดการหดตัวสูงและมีค่าความหนาแน่นน้อย ทำให้ความแม่นยำของขนาดน้อย เมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น เกิดการหดตัวน้อยลงและมีค่าความหนาแน่นสูงขึ้น ทำให้ความแม่นยำของขนาดเพิ่มสูงขึ้น

คำสำคัญ: การพิมพ์ 3 มิติ, อะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน, การหดตัว, ความแม่นยำของขนาด

Abstract

Nowadays, 3D printing is widely used in rapid prototyping. The dimensional accuracy of printed parts is very important for producing large-size assemblies or parts that need to precisely fit together. Thus, the effect of infill level on the dimensional accuracy and the shrinkage of the printed parts from Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) was investigated in this research. Three dimensional measurement was carried out using the optical 3D measuring machine and GOM inspect software. The ABS filaments having a diameter of 1.75 mm were used as raw material for 3D printing. The nozzle diameter is 0.4 mm. The cylindrical specimens of 25 mm diameter and 25 mm height were created with cubic infill pattern at the printing temperature of 230 °C and the printing speed of 30 mm/sec. There were 5 levels of infill including 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. As the results, it was found that all specimens were successfully printed with the desired shape. Their values of circularity and cylindricity were similar. The diameter of printed specimens was smaller than the set value for all parameters. At low percentage of infill, high shrinkage and low density was observed which could result in large dimensional accuracy tolerance. With increasing the percentage of infill, lower shrinkage and higher density were obtained, leading to higher dimensional accuracy.

Keywords: 3D Printing, Acrylonitrile Butadiene Styrene, Shrinkage, Dimensional Accuracy

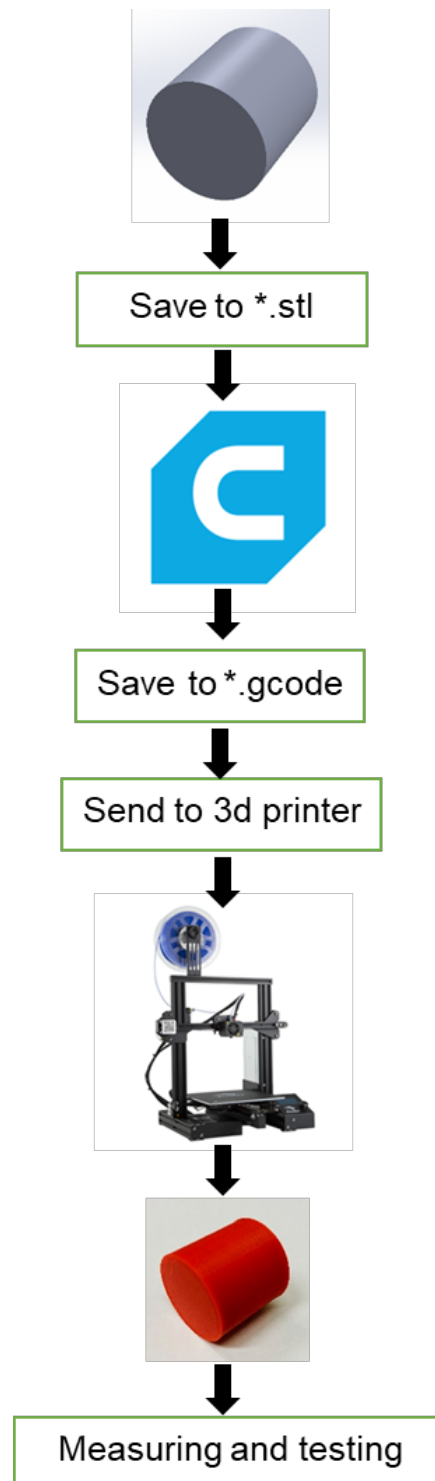
1. บทนำ

ในปัจจุบัน การพิมพ์ 3 มิติ (3D Printing) ได้รับความนิยมมากขึ้นและมีการใช้งานอย่างหลากหลาย เนื่องจากสามารถช่วยลดต้นทุนและระยะเวลาในการจะส่งพิมพ์โมเดลเฉพาะแบบ ลดค่าใช้จ่ายในการสร้างแม่พิมพ์ต้นแบบ และสามารถสร้างชิ้นงานต้นแบบ ชิ้นส่วนทดแทนและผลิตภัณฑ์พลาสติกได้หลากหลายรูปแบบ อาทิ ชิ้นงานที่เป็นของเล่น ของใช้ในครัวเรือน ชิ้นส่วนทดแทนในงานอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วน ไปจนถึงอุตสาหกรรมทางการแพทย์ การผ่าตัด และทันตกรรม [1] ซึ่งคาดการณ์ว่าเทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ จะถูกนำมาใช้ผลิตชิ้นงานเพื่อมาทดแทนชิ้นงานได้จากกระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) สำหรับวัสดุที่ใช้ในการพิมพ์นั้นมีหลายชนิด เช่น อะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS) ไนลอน (Nylon) พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid, PLA) พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต ไกลคอล (Polyethylene Terephthalate Glycol, PETG) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC) พอลิเอไมด์ (Polyamide, PA) และพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นต้น [2] สำหรับงานวิจัยนี้สนใจวัสดุ ABS เนื่องจาก ABS เป็นพลาสติกวิศวกรรมที่นิยมใช้เป็นวัสดุพื้นฐานในกระบวนการพิมพ์แบบ 3 มิติ และนิยมใช้ในการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ทางไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ของเล่น [3] จากการสืบค้นงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาผลกระทบของตัวแปรหรือสภาวะในกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ ที่มีต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ เช่น A. Dey et al. [4] ได้ทำการทดลองเพื่อหาตัวแปรที่ดีที่สุดสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ ได้แก่ ความหนาของชั้น การวางแนวของวัสดุ เฟอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ อุณหภูมิในการพิมพ์ สำหรับวัสดุ PLA พบว่าตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อความต้านทานแรงกดของชิ้นงานทดลอง และเวลาในการพิมพ์ชิ้นงาน ยิ่งใช้เวลาในการพิมพ์ ยิ่งทำให้มีความต้านทานแรงกดสูง เพราะความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น ส่วนด้านในชิ้นงานมีเนื้อวัสดุอัดแน่นอยู่เป็นจำนวนมาก ในขณะที่ B. Rankouhi et al. [5] วิเคราะห์ความเสียหายและสมบัติทางกลของ ABS ที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยพิจารณาตัวแปรในการทดลอง คือ ความหนาของชั้น ทิศทางการพิมพ์ ความเร็วในการพิมพ์ และอุณหภูมิของฐานพิมพ์ ที่เฟอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 100% และอุณหภูมิการพิมพ์ 230 องศาเซลเซียส พบว่าทิศทางการพิมพ์ที่ 0 องศา ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดในทุกตัวแปร เพราะทิศทางการพิมพ์ขนานกับแนวของแรงทำให้ชิ้นงานมีความต้านทานแรงดึงได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ H. Dave et al. [6] นำเสนอผลกระทบของรูปแบบการเติมเนื้อวัสดุต่อความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ ใช้วัสดุเป็น PLA และ ABS โดยกำหนดเฟอร์เซ็นต์ของการเติม

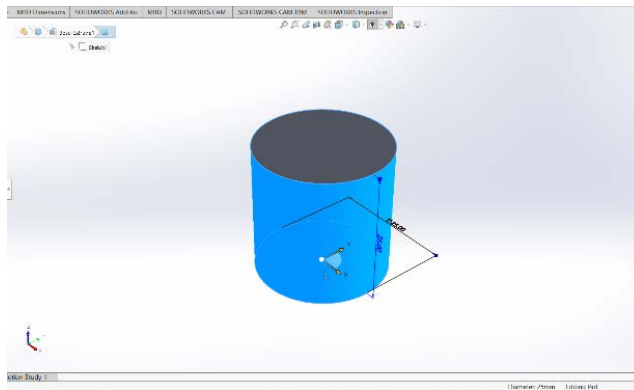
เนื้อวัสดุ 30%, 60% และ 90% ทิศทางการพิมพ์เป็นมุม 0 องศา และ 45 องศา พบว่าการพิมพ์ในทิศทาง 0 องศา ทิศทางขนานกับแรง ที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเท่ากับ 90% ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงถึง 40 เมกกะปาสคาล และ 30 เมกกะปาสคาล สำหรับ PLA และ ABS ตามลำดับ ในงานวิจัยของ A. M. Abdullah et al. [7] นำเสนอผลกระทบของเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ ABS ที่ 70%, 80%, 90% และ 100% ที่อุณหภูมิในการพิมพ์ 230 องศาเซลเซียส ความเร็วในการพิมพ์ 90 มิลลิเมตรต่อวินาที ความหนาของชั้นการพิมพ์ 0.2 มิลลิเมตร พบว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงกดมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 100% ให้ค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดเท่ากับ 120 เมกกะปาสคาล จากผลการศึกษาของ P. Žur et al. [8] กล่าวว่า การพิมพ์วัสดุ ABS ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส และเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 100% ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงถึง 34.02 เมกกะปาสคาล และมีค่าความต้านทานแรงดัดลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุลดลง มีค่าต่ำสุดคือ 18.16 เมกกะปาสคาล ที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 10% จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุมีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงาน B. Akhoundi และ A. H. Behravesht [9] นำเสนอผลกระทบของแบบการเติมเนื้อวัสดุ PLA ที่มีต่อสมบัติด้านความต้านทานแรงดึงและการดัดของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 20%, 50% และ 100% พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุสูงขึ้น จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงและการดัดสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ K. Alvarez et al. [10] ได้ศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่อสมบัติทางกลของชิ้นส่วนที่ผลิตจาก ABS โดยใช้การเติมเนื้อวัสดุแบบหกเหลี่ยม (Hexagonal) พบว่าเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 100% ให้ค่าความต้านทานแรงดึงและแรงกระแทกสูงสุด เมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุสูงขึ้น ทำให้แบบของการเติมเนื้อวัสดุมีขนาดของรูปร่างเล็กลงเรียงตัวกันอัดแน่นทำให้ไม่เกิดช่องว่างในเนื้อวัสดุ จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะสังเกตเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกด้วยเครื่องพิมพ์แบบ 3 มิติ การใช้เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุสูง จะทำให้ชิ้นส่วนที่พิมพ์ได้มีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น แต่ก็ต้องใช้ระยะเวลาในการกระบวนการพิมพ์นานขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่ออัตราการผลิตและต้นทุนการผลิตอีกด้วย นอกจากนี้ ยังไม่มีงานวิจัยที่นำเสนอผลกระทบของเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุที่มีต่อความแม่นยำของขนาดของชิ้นงานที่ได้จากการพิมพ์ 3 มิติ การใช้เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุที่แตกต่างกันนั้นมีความแม่นยำของขนาดมากน้อยเพียงใด ซึ่งความแม่นยำของขนาดของชิ้นงานมีความสำคัญสำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่มีความละเอียดแม่นยำสูงที่ใช้ในงานเชิงวิศวกรรม หรือในงานทันตกรรมที่ต้องใช้การผลิตโมเดลแบบเฉพาะ ต้องการความแม่นยำสูง และมีความละเอียดมาก เช่น การพิมพ์โมเดลต้นแบบหรือการพิมพ์โมเดลตัวอย่างฟันของคนไข้เพื่อสร้างชิ้นส่วนฟันปลอมหรือที่ครอบฟัน เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความแม่นยำของขนาดของชิ้นงานวัสดุอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene, ABS) ที่พิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% เพื่อเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนต้นแบบและการผลิตชิ้นส่วนสำหรับอุตสาหกรรม การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในอนาคตต่อไป

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

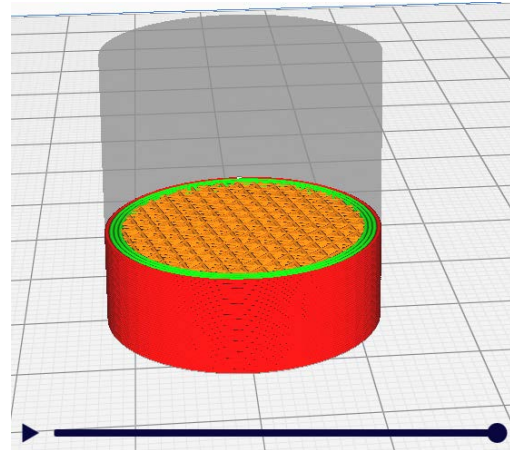
รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ การออกแบบโมเดล 3 มิติของชิ้นงานทดลองทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และสูง 25 มิลลิเมตร ด้วยซอฟต์แวร์ SolidWorks แสดงดังรูปที่ 2 ทำการบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์นามสกุล *.stl จากนั้นใช้โปรแกรม Ultimaker Cura เพื่อแปลงโมเดล 3 มิติที่อยู่ในรูปของไฟล์นามสกุล *.stl ไปเป็น G-Code โดยโปรแกรมจะทำการตัดโมเดล 3 มิติ เป็นแผ่นบาง (Slice) คล้ายแผ่นกระดาษที่อยู่ในลักษณะ 2 มิติ เรียงกันเป็นชั้น ๆ ตามรูปแบบของโมเดลที่กำหนด ซึ่งโปรแกรมจะสร้าง G-Code ขึ้นเพื่อกำหนดตำแหน่งพิกัด x, y ของหัวฉีดในการพิมพ์ชิ้นงานแต่ละชั้น โดยกำหนดค่าสถานะของตัวแปรต่าง ๆ ในการพิมพ์ 3 มิติ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยพิจารณาเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 5 ระดับ คือ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% ทำการบันทึกโปรแกรมและส่งไปยังเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รุ่น Creality 3D Ender-3 ขนาด 220 x 220 x 250 มิลลิเมตร ความแม่นยำ ± 0.01 มิลลิเมตร ขนาดหัวฉีด 0.4 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4 วัสดุที่ใช้ในการทดลองเป็น ABS เกรด GP450 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร ในแต่ละการทดลอง ทำการพิมพ์ชิ้นงานทดสอบ จำนวนอย่างน้อย 5 ชิ้น



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 2 การสร้างโมเดล 3 มิติ ของชิ้นงานทดลอง
ด้วยโปรแกรม SolidWorks



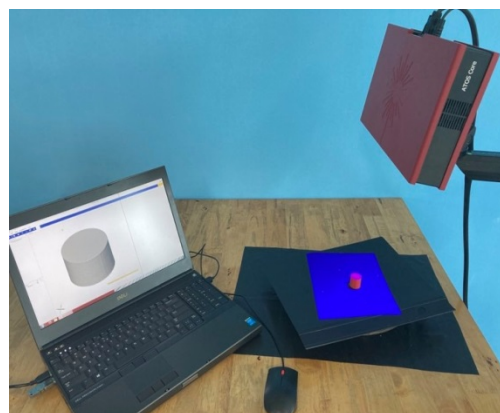
รูปที่ 3 การแปลงโมเดล 3 มิติ ไปเป็น G-Code
ด้วยโปรแกรม Ultimaker Cura

ตารางที่ 1 ค่าสถานะของตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม Ultimaker Cura

Layer Height	0.2 มิลลิเมตร
Wall Thickness	0.8 มิลลิเมตร
Wall Line Count	2
Top/Bottom Thickness	0.8 มิลลิเมตร
Top	0.8 มิลลิเมตร
Top Layers	4 ชั้น
Bottom	0.8 มิลลิเมตร
Bottom Layers	4 ชั้น
Infill Density	20, 40, 60, 80, 100%
Fill Pattern	ลูกบาศก์ (Cubic)
Printing Temperature	230 องศาเซลเซียส
Build Plate Temperature	100 องศาเซลเซียส
Printing Speed	30 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ 4 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ



รูปที่ 5 เครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ

การตรวจสอบขนาดของชิ้นงานทดสอบ จำนวนอย่างน้อย 5 ชิ้น ด้วยเครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ (Optical 3D Measuring Machine) ยี่ห้อ ATOS Core Series 3-D Scanner รุ่น 300 แสดงในรูปที่ 5 ตรวจวัดขนาดของชิ้นงาน (3D Measuring) โดยไม่ทำลายชิ้นงานและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสแกนแบบ 3 มิติ โดยใช้ซอฟต์แวร์ GOM Inspect เพื่อตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง พิกัดความกลม และพิกัดความเป็นทรงกระบอกของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้

จากนั้นนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานตัวอย่างดังสมการที่ (1)

$$S\% = \left(1 - \frac{\Delta d}{d}\right) \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ $S\%$ = เปอร์เซ็นต์การหดตัว

Δd = ขนาดชิ้นงานที่พิมพ์ได้ (มิลลิเมตร)

d = ขนาดชิ้นงานที่กำหนด (มิลลิเมตร)

การทดสอบหาความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ของชิ้นงานทดสอบ จำนวนอย่างน้อย 5 ชิ้น วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo แล้วคำนวณหาความหนาแน่นรวมได้ดังสมการที่ (2)

$$D = \frac{m}{V} \quad (2)$$

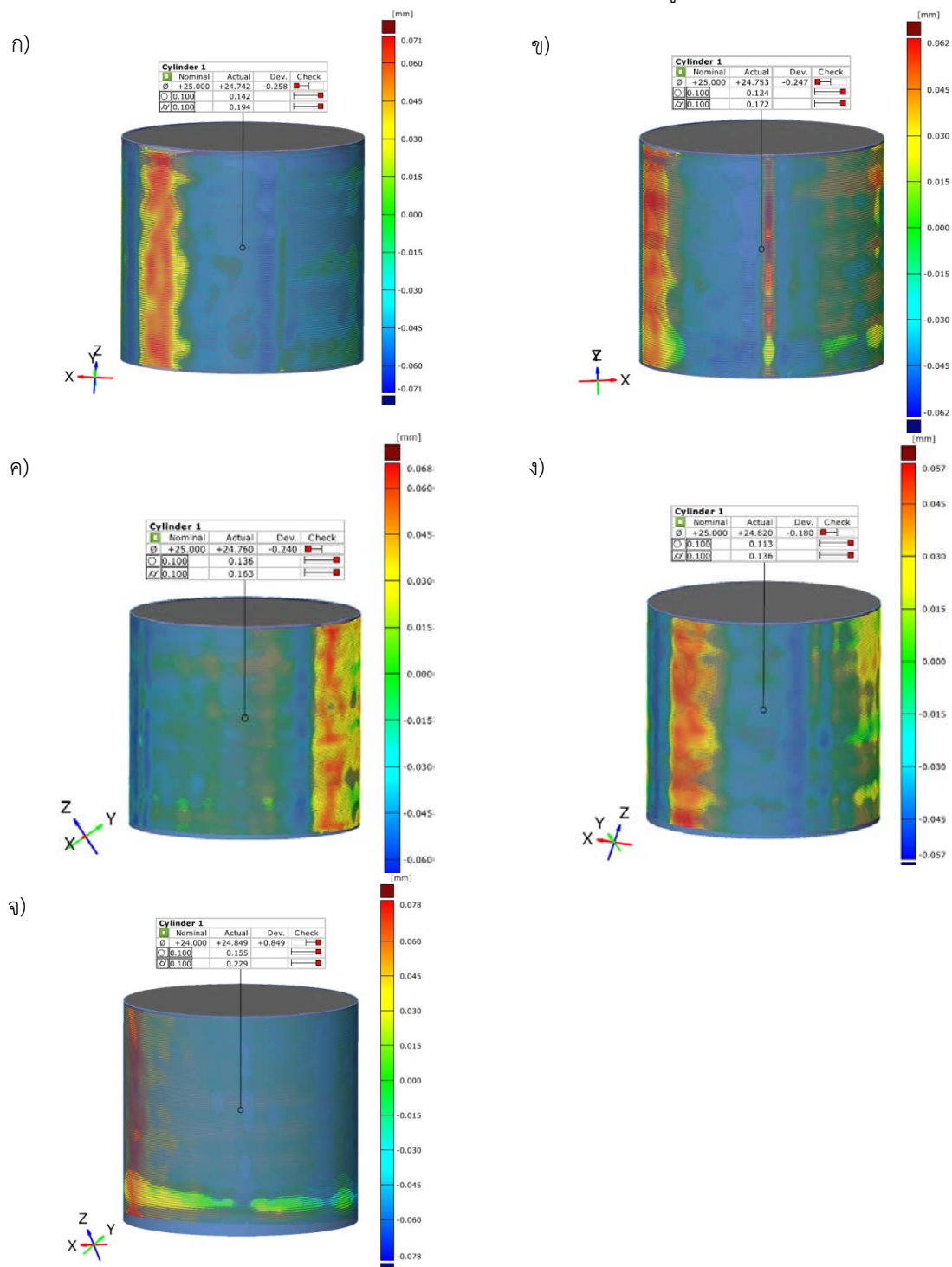
โดยที่ D = ความหนาแน่นรวม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m = มวล (กรัม)

V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

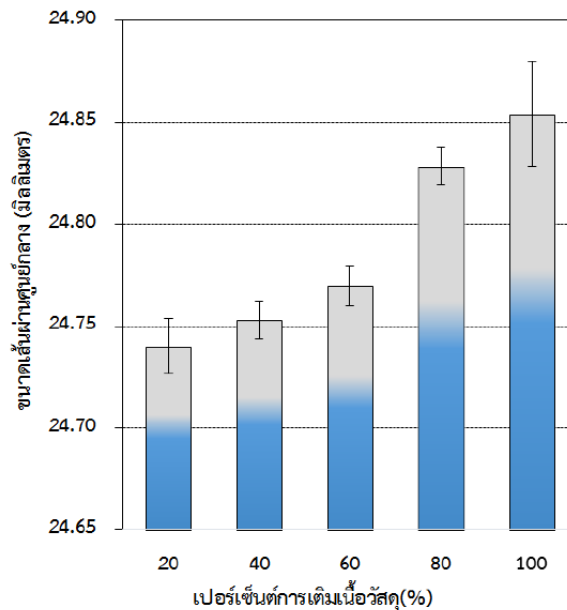
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

รูปที่ 6 แสดงผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่อลักษณะ 3 มิติ ของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้ ซึ่งผ่านการตรวจวัดขนาดด้วยเครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ และตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยซอฟต์แวร์ GOM Inspect



รูปที่ 6 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่อลักษณะของชิ้นงานทดสอบที่ตรวจวัดและตรวจสอบขนาดด้วยเครื่องสแกนตรวจวัดชิ้นงาน 3 มิติ และซอฟต์แวร์ GOM Inspect

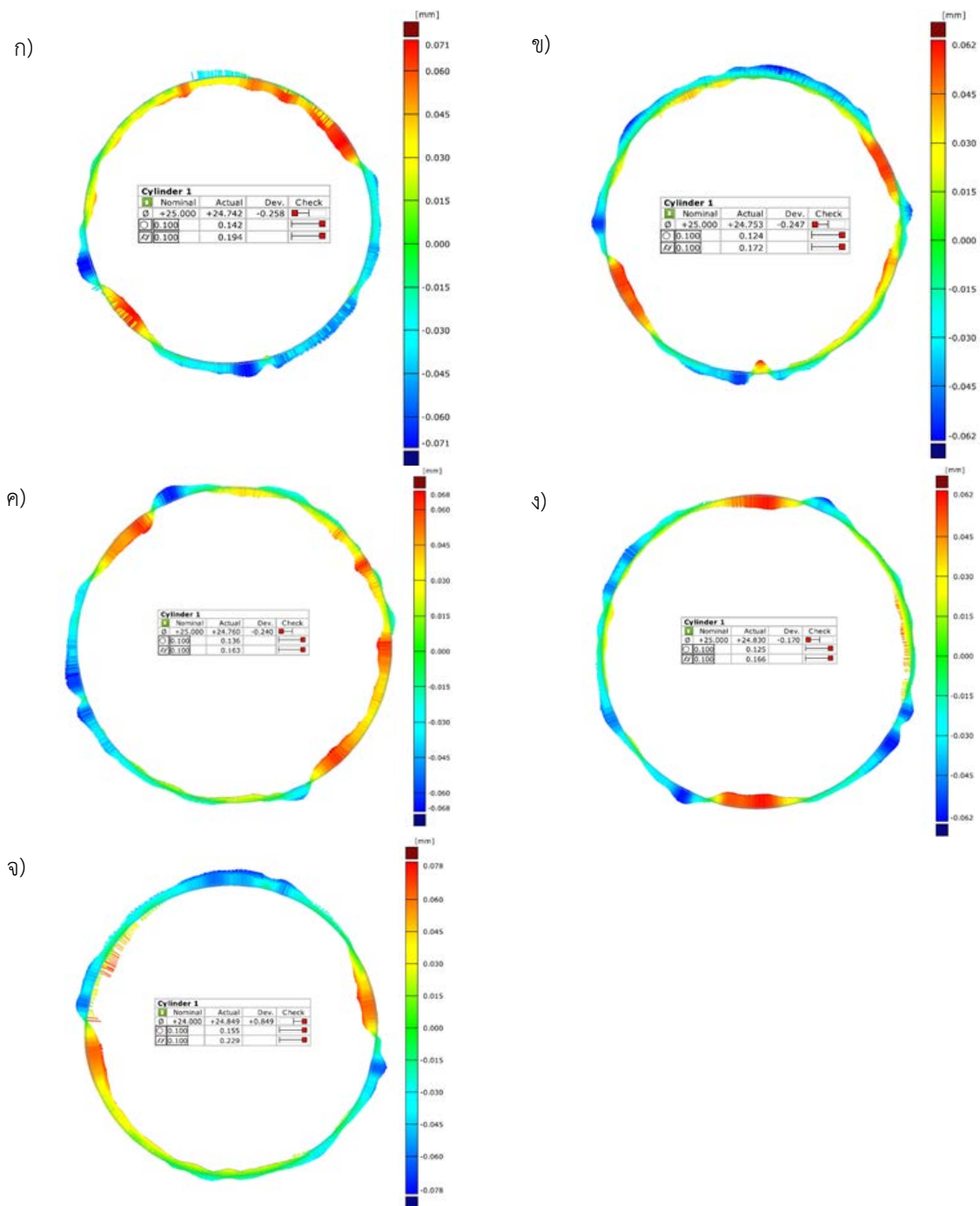
ก) 20% ข) 40% ค) 60% ง) 80% จ) 100%



รูปที่ 7 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้

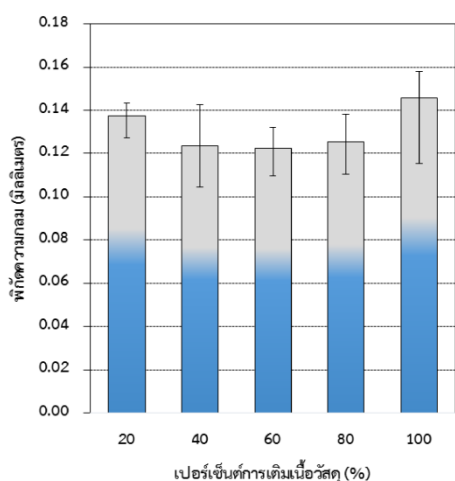
พบว่าชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าขนาดที่กำหนด ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตรวจสอบได้มีค่าอยู่ในช่วง 24.74-24.85 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 7 เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต้องการมากขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 20% ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบที่ตรวจสอบได้มีขนาดเล็กที่สุดมีค่าเฉลี่ย 24.74 มิลลิเมตร คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 1.04% ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 100% ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบที่ตรวจสอบได้มีค่าเฉลี่ย 24.85 มิลลิเมตร คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 0.6% มีค่าใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการมากที่สุด ซึ่งความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุที่สูงขึ้น ทำให้เนื้อวัสดุอัดแน่นมากขึ้นและช่องว่างในเนื้อวัสดุน้อยลง ส่งผลทำให้วัสดุเกิดการหดตัวน้อยลง ขนาดที่ได้จึงมีความค่าใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการมากขึ้น

ผลการตรวจสอบพิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้ ที่ผ่านการตรวจสอบด้วยซอฟต์แวร์ GOM Inspect แสดงดังรูปที่ 8 ในการตรวจสอบได้กำหนดพิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกไว้ที่ 0.1 มิลลิเมตร ผลที่ได้จากค่าเฉลี่ยในการตรวจสอบพิถีความกลม แสดงดังรูปที่ 9 พิกัดความกลมมีค่าอยู่ในช่วง 0.12-0.14 มิลลิเมตร ซึ่งผลของทุกค่าตัวแปรอยู่นอกค่าที่กำหนด สำหรับค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจสอบพิถีความเป็นทรงกระบอกแสดงดังรูปที่ 10 ค่าที่ได้อยู่ในช่วง 0.15-0.22 มิลลิเมตร จะเห็นว่าอยู่นอกพิถีความเป็นทรงกระบอกที่กำหนดเช่นเดียวกัน ค่าพิถีที่ได้ที่อยู่นอกพิถีที่กำหนดนี้ มีหลากหลายปัจจัยมาก ทั้งตัวเครื่อง วัสดุ เฟิร์มแวร์ (Firmware) ไฟเจอร์ของโมเดลสามมิติ แต่หลักๆ ต้องไปแก้ไขในเฟิร์มแวร์ [11] ทำให้ค่าพิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกเกินค่าที่กำหนด การปรับค่าเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุส่งผลทำให้พิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายคลึงกัน โดยพบว่าที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 100% มีค่าพิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกเกินค่าที่กำหนดมากที่สุด ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 60% ให้มีค่าพิถีความกลมและพิถีความเป็นทรงกระบอกใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดมากที่สุด อาจเพราะการหดตัวของชิ้นงาน ที่ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการพิมพ์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือการเย็นตัวของวัสดุในขณะพิมพ์ ซึ่งที่นำเสนอเกี่ยวกับการหดตัวของวัสดุได้นำเสนอไว้ [12]

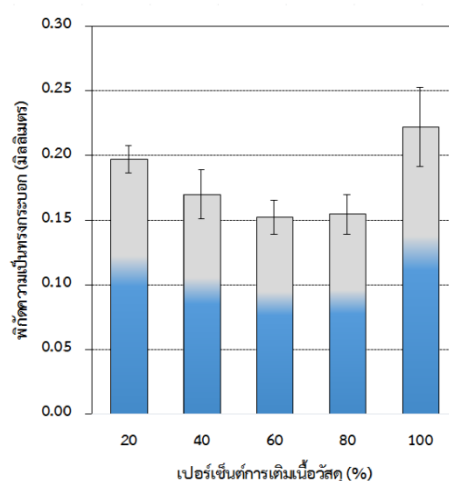


รูปที่ 8 ผลการผ่านตรวจสอบพิกัดความกลมและพิกัดความเป็นทรงกระบอกด้วยซอฟต์แวร์ GOM Inspect

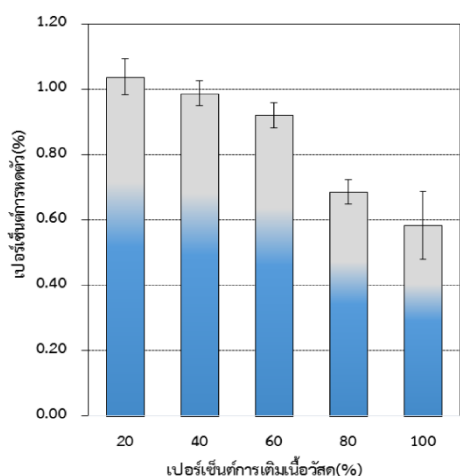
ก) 20% ข) 40% ค) 60% ง) 80% จ) 100%



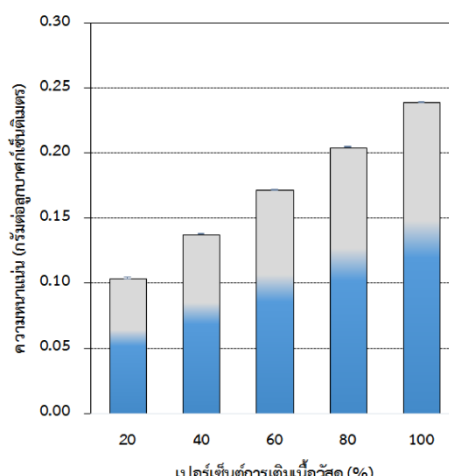
รูปที่ 9 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมน้ำละลายต่อ
พิกัดความกลม



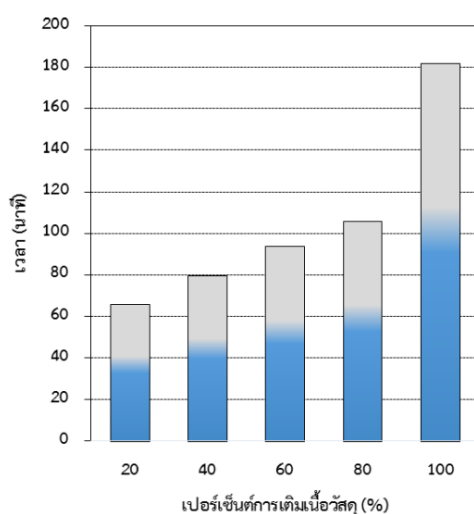
รูปที่ 10 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมน้ำละลายต่อ
พิกัดความเป็นทรงกระบอก



รูปที่ 11 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมน้ำละลายต่อ
เปอร์เซ็นต์การหด



รูปที่ 12 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมน้ำละลายต่อ
ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้



รูปที่ 13 ผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมน้ำละลายต่อเวลาที่ใช้ในการพิมพ์

รูปที่ 11 แสดงผลของการคำนวณเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้ที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่าง ๆ ซึ่งเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าอยู่ในช่วง 1.03-0.58 เปอร์เซ็นต์ของการหดตัวมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น การเติมเนื้อวัสดุ 20% ชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวมากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.03 ส่วนการเติมเนื้อวัสดุ 100% ชิ้นงานทดสอบมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวต่ำที่สุด โดยมีค่าลดลงเหลือเพียง 0.58 คาดว่าเกิดจากเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุที่เพิ่มทำให้ไม่เกิดช่องว่างภายในเนื้อวัสดุทำให้การหดตัวลดลง แต่การหดตัวก็ยังคงมีเพราะการพิมพ์ชิ้นงานโดยใช้ความร้อนในการทำให้วัสดุพลาสติกในการพิมพ์อ่อนตัว เมื่อวัสดุเย็นตัวลงทำให้ชิ้นงานหดตัวลง ซึ่งลักษณะการเย็นตัวของชิ้นงานนี้อาจมีลักษณะเดียวกับชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีด [12] ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับผลการตรวจสอบขนาดของชิ้นงานทดสอบ เปอร์เซ็นต์การหดตัวที่สูงของวัสดุจะเป็นสาเหตุทำให้ขนาดของชิ้นงานทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นตามไปด้วย

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบความหนาแน่นรวมของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้ แสดงดังรูปที่ 12 พบว่าค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 0.10-0.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความหนาแน่นรวมมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุเพิ่มสูงขึ้น ที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 100% ชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้มีค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งค่าความหนาแน่นรวมเพิ่มสูงขึ้น 140% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นรวมของชิ้นงานทดสอบที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 20% คาดว่าความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบที่พิมพ์ได้นี้มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานทดสอบ โดยจะสังเกตเห็นที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 20% ชิ้นงานทดสอบมีค่าความหนาแน่นต่ำ ทำให้เกิดการหดตัวสูง จึงส่งผลให้ขนาดของชิ้นงานทดสอบที่ตรวจสอบได้ที่ค่าความคลาดเคลื่อนสูง

เวลาในการพิมพ์เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเนื่องจากส่งผลต่ออัตราการผลิตและต้นทุน ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่อระยะเวลาที่ใช้ในการพิมพ์อีกด้วย แสดงดังรูปที่ 13 สำหรับการพิมพ์ชิ้นงานทดสอบรูปร่างทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร และสูง 25 มิลลิเมตร พบว่าการใช้เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุต่ำจะใช้เวลาในการพิมพ์น้อย เมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุสูงขึ้น เวลาในการพิมพ์จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ของการเติมเนื้อวัสดุ 20% ใช้เวลาในการพิมพ์ประมาณ 66 นาที แต่เมื่อเพิ่มการเติมเนื้อวัสดุเป็น 100% ต้องใช้เวลาในการพิมพ์นานขึ้นเป็น 182 นาที ซึ่งเวลาในการพิมพ์เพิ่มสูงขึ้นถึง 176% หรือใช้เวลานานกว่าประมาณ 3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาในการพิมพ์ที่เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ 20% ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ [13],[14] ที่ได้นำเสนอบทความเรื่องการสร้างแบบจำลองแนวทางการผ่าตัดช่องปากและขากรรไกรหน้า ด้วยการพิมพ์ชิ้นงานจากวัสดุ ABS, PLA และHIPS แสดงให้เห็นถึงผลของเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ ที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุที่ต่ำ เวลาในการพิมพ์น้อย ที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุสูง เวลาในการพิมพ์ใช้เวลานาน

4. สรุป

จากการทดลองศึกษาความแม่นยำของขนาดและการหดตัวของอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (ABS) ในตัวแปรที่กำหนดคือเปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุ สามารถสรุปได้ว่า เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุในการพิมพ์ 3 มิติ มีผลต่อขนาดการหดตัว และความหนาแน่นของชิ้นงาน ABS เปอร์เซ็นต์ของการเติมเนื้อวัสดุต่ำ ทำให้เกิดการหดตัวสูง ความแม่นยำของขนาดน้อยและชิ้นงานที่พิมพ์ได้มีความหนาแน่นต่ำ เมื่อเปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการหดตัวต่ำลง ความแม่นยำของขนาดเพิ่มสูงขึ้น และความหนาแน่นของชิ้นงานสูงเพิ่มสูงขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์การเติมเนื้อวัสดุ 100% ชิ้นงานที่พิมพ์ได้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่กำหนดที่สุด ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 24.85 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์การหดตัว 0.58% ดังนั้น สำหรับคำแนะนำในการออกแบบชิ้นงานสำหรับการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ โดยใช้วัสดุ ABS นั้น ควรต้องกำหนดขนาดบวกค่าความเผื่อการหดตัวประมาณ 0.58% เพื่อที่จะให้ได้ขนาดที่ต้องการ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. J. Lopes, M. A. Perez, D. Espalin, and R. B. Wicker, "Comparison of ranking models to evaluate desktop 3D printers in a growing market," *Additive Manufacturing*, vol. 35, p. 101291, Oct. 2020.
- [2] B. Diallio. (2021, Nov 5) . 3D Printer Filament Types. [Online] . Available: <https://www.lpfrg.com/guides/3d-printer-filament-types/>
- [3] J. White. (2021, Nov 5). How LEGO perfected the recycled plastic brick. [Online]. Available: <https://www.wired.co.uk/article/recycled-lego-brick>
- [4] A. Dey, D. Hoffman, and N. Yodo, "Optimizing multiple process parameters in fused deposition modeling with particle swarm optimization," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 14, pp. 393-405, Jun. 2020.
- [5] B. Rankouhi, S. Javadpour, F. Delfanian, and T. Letcher, " Failure Analysis and Mechanical Characterization of 3D Printed ABS With Respect to Layer Thickness and Orientation," *Journal of Failure Analysis and Prevention*, vol. 16, May. 2016.
- [6] H. Dave, B. Patel, S. Rajpurohit, A. Prajapati, and D. Nedelcu, "Effect of multi-infill patterns on tensile behavior of FDM printed parts," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 43, Jan. 2021.
- [7] A. M. Abdullah, D. Mohamad, T. N. A. T. Rahim, H. M. Akil, and Z. A. Rajion, "Effect of narrow infill density gap on the compressive properties of 3D printed carbon fibre reinforced acrylonitrile butadiene styrene," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 33, pp. 2339-2343, May. 2019.
- [8] P. Žur, A. Žur, A. Baier, and G. Kokot, "Optimization of Abs 3D-Printing Method and Parameters," *European Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 3, pp. 44-51, Mar. 2020.
- [9] B. Akhoundi and A. H. Behraves, "Effect of Filling Pattern on the Tensile and Flexural Mechanical Properties of FDM 3D Printed Products," *Experimental Mechanics*, vol. 59, pp. 883-897, Jan. 2019.
- [10] K. Alvarez, R. Lagos, and M. Aizpun, "Investigating the influence of infill percentage on the mechanical properties of fused deposition modelled ABS parts," *Ingeniería e Investigación*, vol. 36, pp. 110-116, Dec. 2016
- [11] Admin. (2019, Aug 31) . Wrong dimension. [Online] . Available: <https://www.sync-innovation.com/troubleshooting/problem-fdm-3d-printer/>
- [12] P. Kankaew, "A study of shrinkage percentage acrylonitrile butadiene styrene based on the ASTM D955 standard test method," *RMUTP Research Journal*, vol.12, pp. 148-157, Jul. 2018.
- [13] C. Studders, I. Fraser, J. W. Giles, and S. M. Willerth, "Evaluation of 3D-printer settings for producing personal protective equipment," *Journal of 3D printing in medicine*, vol. 5, pp. 133-144, Aug. 2021.
- [14] M. Adhitya, S. Sunarso, and A. Muis, "Comparison of Popular Three-Dimensional Printing Materials for Oral and Maxillofacial Surgical Guidance Model," *Journal of Dentistry Indonesia*, vol. 27, pp. 158-163, Dec. 2020.