

# วิธีการผลิตเส้นใยพลาสติกสำหรับการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้น โดยการนำขยะพลาสติก PET กลับมาใช้ใหม่

## FDM 3D Printing Filament Fabrication Methods by Reusing the PET Plastics Wastes

วัฒนชัย ประสงค์<sup>1</sup> พิทักษ์ พนาวัน<sup>2</sup> มนัส ศรีสวัสดิ์<sup>2</sup> ประยูร สุรินทร์<sup>3</sup>  
และ วรธัน ทิลกการย์<sup>1\*</sup>

Wattanachai Prasong<sup>1</sup>, Pitak Panawan<sup>2</sup>, Manus Sriswat<sup>2</sup>,  
Prayoon Surin<sup>3</sup> and Worrathon Tilokkarn<sup>1\*</sup>

Received: 20 July 2025

Revised: 7 October 2025

Accepted: 17 October 2025

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเส้นใยพลาสติกสำหรับการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้น (Fused Deposition Modeling: FDM) จากการนำขยะพลาสติก PET (PolyethyleneTerephthalat) กลับมาใช้ใหม่ ซึ่งมีการศึกษาการปรับตั้งค่าเครื่องจักรให้เหมาะสมสำหรับการผลิตเส้นใยพลาสติกที่ขนาดเส้น 1.75±0.05 มิลลิเมตร และศึกษาคุณสมบัติของชิ้นงานหลังการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ โดยมีชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 ในการทดสอบเชิงกลและชิ้นงานทรงลูกบาศก์สำหรับการทดสอบเชิงมิติ จากการศึกษาวิจัยพบว่าเกล็ดพลาสติก PET ที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถผลิตเป็นเส้นใยพลาสติกที่  $\varnothing$  1.75±0.05 มิลลิเมตรได้ โดยมีสัดส่วนผสมร้อยละ 0 ถึง 40 กับเม็ดพลาสติก PET ใหม่ ซึ่งหลอมเหลวใหม่ผ่านเครื่องอัดขึ้นรูปแบบสกรูเดี่ยวที่อุณหภูมิ 245 ถึง 285 องศาเซลเซียส ความเร็วสกรูที่ 40 รอบต่อนาที อัดพลาสติกเหลวผ่านตายขนาดรู  $\varnothing$  3 มิลลิเมตร ดึงเส้นใยระบายความร้อนผ่านน้ำ และดึงเส้นใยพลาสติกที่ความเร็วดึง 8 เมตรต่อนาที เส้นใยพลาสติกที่ผลิตได้มีคุณภาพดี มีความเรียบ ใส โปร่งแสง และไม่มีฟองอากาศภายในเส้นใย ชิ้นงานพิมพ์สามมิติจากเส้นใยพลาสติก PET ที่นำกลับมาใช้ใหม่มีค่าต้านทานแรงดึงที่ 24.27 ถึง 29.9 MPa ค่าเปอร์เซ็นต์การ

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10330

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand 10330

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10330

<sup>2</sup> Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand 10330

<sup>3</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10330

<sup>3</sup> Department of Advanced Manufacturing Technology, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand 10330

\* ผู้นิพนธ์ประสานงาน (Corresponding author) e-mail: vorrathon.ti@pit.ac.th

ยึดตัวที่ 1.55 ถึง 2.14 เปอร์เซ็นต์และมีค่าเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงมิติที่ 0.5 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์

**คำสำคัญ:** การผลิตเส้นใยพลาสติก เส้นใยสำหรับการพิมพ์สามมิติ ขยะพลาสติก พลาสติกกรีไซเคิล

## ABSTRACT

The objective of this research is to produce plastic filaments for Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printing from recycled Polyethylene terephthalate (PET) plastic waste type. There is a study of optimizing the machine settings for producing plastic filament in dimension size of  $1.75\pm 0.05$  millimeters (mm) and studying the properties of 3D printed parts with the test specimens according to ASTM D638 for mechanical testing and cubic specimens for dimensional accuracy. Research studies have shown that recycled PET plastic flakes can be produced into plastic filament with a diameter of  $\varnothing 1.75\pm 0.05$  mm by a mixing ratio of 0 to 40% with new PET plastic pellets. There is freshly melted through a single screw extruder at a barrel temperature of 245 °C to 285 °C with a screw speed of 40 RPM. The molten plastic is extruded through a die with a diameter of  $\varnothing 3$  mm and cooled filaments are drawn through water with pulling speed of 8 meters per minute. The plastic filament produced are of good quality, smooth, clear, translucent, and have no air bubbles within the filaments. The obtain 3D printed parts from recycled PET plastic filaments are has a tensile strength value of 24.27 to 29.97 MPa., a percent elongation value of 1.55% to 2.14 % and dimensional error value of 0.5 to 1.5 %, which is similar to commercial PETG plastic filaments.

**Keywords:** Fabrication of Plastic Filament; Filament for 3D Printing; Plastic Wastes; Recyclable Plastic

## บทนำ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (3D Printing) มีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นพลาสติก (Fused deposition modelling: FDM) [1-3] ซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการพิมพ์สามมิติที่ใช้งานอย่างแพร่หลายมากที่สุด อย่างไรก็ตามวิธีการพิมพ์สามมิติชนิดนี้ยังคงใช้เทอร์โมพลาสติกเป็นวัสดุหลักในการหลอมเหลวและอัดรีดเต็มเนื้อสะสมเป็นชั้นๆ เพื่อสร้างชิ้นงานเป็นรูปทรงสามมิติตามที่ต้องการ ซึ่งส่วนใหญ่เส้นใยพลาสติกสำหรับการพิมพ์สามมิติ (3D Printing Filament) ที่ได้รับความนิยมในเชิงพาณิชย์จะถูกผลิตจากเทอร์โมพลาสติกชนิดพอลิแลคติกแอซิด (poly (lactic acid): PLA) และอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile Butadiene Styrene: ABS) แต่ปัจจุบันนี้เริ่มมีการผลิตวัสดุเทอร์โมพลาสติกชนิดอื่นมาใช้สำหรับการพิมพ์สามมิติมากขึ้น เช่น โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET) โพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE) โพลีโพรพิลีน (Polypropylene: PP) และโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC) เป็นต้น [4-7] ซึ่งพลาสติกที่กล่าวมาข้างต้นนั้นส่วนใหญ่เป็นพลาสติกใน

กลุ่มพลาสติกที่สามารถรีไซเคิลได้และใช้อยู่ในชีวิตประจำวัน เช่น ขวดน้ำ ขวดแชมพู ถ้วย จาน ชาม ถุงพลาสติก และอุปกรณ์ต่างๆในครัวเรือน ซึ่งมีการใช้งานจำนวนมากจนก่อให้เกิดปัญหาขยะพลาสติกในเมือง ยากต่อการจัดการและกำจัดทิ้ง เนื่องจากเป็นพลาสติกสังเคราะห์จากปิโตรเลียมและต้องใช้เวลาในการย่อยสลายมากกว่าหลายร้อยปี จึงส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งแวดล้อม นำไปสู่ปัญหาภาวะโลกร้อน [8-10] ดังนั้นการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่เป็นวัสดุสำหรับการพิมพ์สามมิติ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดปัญหาได้ [11-13]

จากแนวโน้มการเติบโตอย่างต่อเนื่องของเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติและปัญหาขยะพลาสติกในเมืองนั้น ได้มีนักวิจัยสนใจการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ เช่น Exconde และคณะ ศึกษาวัสดุใหม่และวัสดุ PET รีไซเคิลสำหรับการทำเส้นใยพิมพ์สามมิติ ซึ่งพวกเขาแสดงให้เห็นว่าพลาสติก PET รีไซเคิล มีศักยภาพในการเป็นเส้นใยทางเลือกสำหรับการพิมพ์สามมิติ [14, 15] Ror และคณะ ศึกษาการนำพลาสติก PET รีไซเคิลจากขวดน้ำและขวดน้ำอัดลมสำหรับการทำเส้นใยพิมพ์สามมิติ พบว่าสามารถนำพลาสติก PET รีไซเคิลมาทดแทนพลาสติก PET ใหม่ได้ [16] และ Nikam และคณะ ศึกษาการผลิตเส้นพลาสติก PET รีไซเคิลสำหรับการพิมพ์สามมิติ โดยสามารถผลิตเส้นใยพลาสติกได้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.65 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตรของเส้นใยพลาสติกที่มีขายเชิงพาณิชย์ [17] อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวมานั้นแสดงให้เห็นว่าการผลิตของเส้นใยพลาสติกจาก PET รีไซเคิลสำหรับการพิมพ์สามมิตินั้นยังมีคุณสมบัติไม่มากนัก และยังคงขาดความเสถียรของการควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยให้สามารถเทียบเคียงกับเส้นใยพลาสติกที่มีขายเชิงพาณิชย์ได้ ดังนั้นนักวิจัยจึงเล็งเห็นว่าการนำขยะพลาสติกจากขวดพลาสติกชนิด PET มาผลิตเป็นเส้นใยพลาสติกสำหรับการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้น สามารถศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อยอดงานวิจัยในเชิงพาณิชย์ได้ หรือเป็นแนวทางในการวิจัยในอนาคตต่อไป งานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาวิธีการผลิตเส้นใยพลาสติกสำหรับการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นจากขยะพลาสติก PET รวมถึงการศึกษากระบวนการผลิตเส้น การควบคุมขนาดเส้นใย ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและคุณลักษณะเชิงมิติของชิ้นงานหลังการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติจากเส้นใยพลาสติก PET ที่นำกลับมาใช้ใหม่หรือพลาสติก PET รีไซเคิล

### วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตเส้นใยพลาสติกจากขยะพลาสติก PET รีไซเคิล การนำเส้นใยพลาสติกที่ผลิตได้ผ่านกระบวนการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้น การทดสอบเชิงกลและการตรวจสอบเชิงมิติของชิ้นงานพิมพ์สามมิติจากเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิล ดังแสดงขั้นตอนการใน Figure 1 ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานโดยละเอียดดังนี้

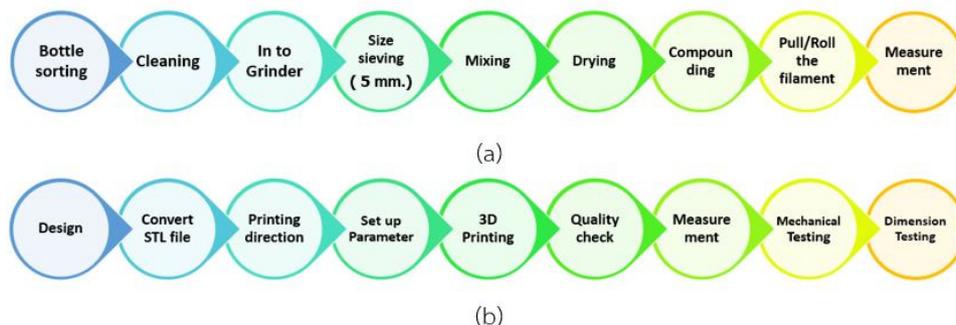


Figure 1 Flow chart of preparation process (a) Process of 3D printing filament (b) Process of 3D printing parts.

1.วัตถุดิบและการเตรียมวัสดุ

เตรียมวัตถุดิบโดยการใช้ขยะพลาสติกจากขวดน้ำดื่ม PET ซึ่งเป็นพลาสติกที่รีไซเคิลได้มีสัญลักษณ์เป็นหมายเลข 1 (Polyethylene terephthalate: PET) จากนั้นทำความสะอาดขวดพลาสติกและนำเข้าเครื่องบดพลาสติก ยี่ห้อ Chareon tut co. ltd. รุ่น CRS – 250 ให้เป็นเกล็ด แต่เนื่องด้วยช่องของกรวยบรรจุวัตถุดิบของเครื่องอัดสกรูเดี่ยวที่เลือกใช้มีขนาดเล็กไม่สามารถใส่เกล็ดที่มีขนาดใหญ่ได้ ทางผู้วิจัยจำเป็นต้องคัดกรองขนาดของเกล็ดพลาสติกให้เล็กลงโดยใช้ตะแกรงกรองขนาดรู 5 มิลลิเมตรและผสมเข้ากับเม็ดพลาสติก PET ใหม่ ยี่ห้อ VINAPET PET Chips เกรด A-grade (G080A) โดยมีสัดส่วนการผสมตาม Table 1 จากนั้นนำเม็ดพลาสติก PET และเกล็ดพลาสติก PET รีไซเคิล ทำการอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศยี่ห้อ BIOBASE รุ่น BOV-30V ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสใช้เวลา 5 ชั่วโมง

Table 1 Compound formula of PET plastic pellets and recycled PET plastic flakes

Material Formula Code	Plastic Compound Content	
	PET Pellets (wt. %)	PET Recycled Flakes (wt. %)
PET-Re00	100	0
PET-Re10	90	10
PET-Re20	80	20
PET-Re30	70	30
PET-Re40	60	40

2.การผลิตเส้นใยพลาสติกและการตรวจสอบเส้นใยพลาสติก

2.1 การผลิตเส้นใยพลาสติก หลักจากการอบวัตถุดิบแล้ว นำวัตถุดิบใส่เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ยี่ห้อ Chareon tut co. ltd. รุ่น SE-D20L30 ขนาด L/D=30 ตั้งค่าอุณหภูมิหลอม 4 ตำแหน่ง รวมอุณหภูมิหัวตาย และอัดผ่านตาย (Die) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จากนั้นปรับตั้งความเร็วในการดึง และ

ม้วนเก็บเส้นใยพลาสติกเข้าแกนม้วน (Spool) ผ่านระบบระบายความร้อนด้วยน้ำระยะทาง 1.5 เมตร โดยควบคุมขนาดความโตเส้นใยพลาสติกที่เส้นผ่านศูนย์กลาง  $1.75 \pm 0.05$  มิลลิเมตร

2.2 การตรวจสอบคุณลักษณะของเส้นใยพลาสติก โดยการสุ่มตรวจสอบขนาดความโตของเส้นใยด้วยการใช้ไมโครมิเตอร์แบบดิจิทัล ยี่ห้อ Mitutoyo ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร ระยะวัด 0-25 มิลลิเมตร ซึ่งทำการวัดจำนวน 32 ครั้ง เว้นระยะห่างการวัด 500 มิลลิเมตรต่อครั้ง และมีการตรวจสอบความเรียบผิวของเส้นใยพลาสติกและโพรงอากาศในเส้นใยพลาสติกโดยการตรวจสอบด้วยสายตา

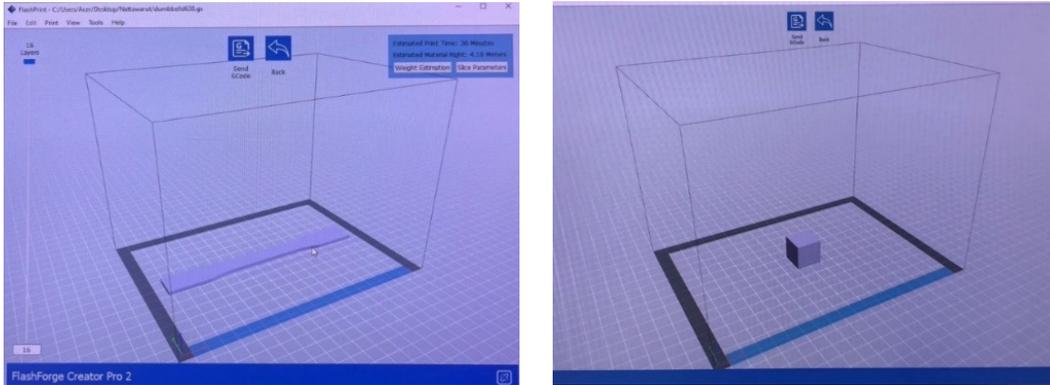
3.การออกแบบและการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ

3.1 ออกแบบชิ้นงานทดสอบด้วยการใช้โปรแกรม SolidWorks และแปลงสกุลไฟล์เป็นสกุลไฟล์ STL (Stereolithography) สำหรับการตั้งค่าการพิมพ์สามมิติ โดยแบ่งเป็นการทดสอบเชิงกลออกแบบเป็นชิ้นงานดัมเบล (Dumbbell) ตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type I สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึงและการทดสอบเชิงมิติออกแบบเป็นชิ้นงานทรงลูกบาศก์ขนาด  $20 \times 20 \times 20$  มิลลิเมตร สำหรับการตรวจวัดขนาดและคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 3 แนวแกน

3.2 การพิมพ์ชิ้นงานสามมิติเลือกใช้เส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิล ตามสัดส่วนผสมใน Table 1 พิมพ์ชิ้นงานทดสอบตามที่ออกแบบไว้ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นพลาสติกรุ่น Flashforge Creator Pro 2 มีขนาดหัวฉีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 มิลลิเมตร ซึ่งมีตั้งค่าการพิมพ์ด้วยโปรแกรม FlashPrint ตาม Table 2 และออกแบบทิศทางการพิมพ์ดัง Figure 2(a) และ Figure 2(b) ภายในอุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส โดยมีการพิมพ์ชิ้นงานกลุ่มตัวอย่างละ 5 ชิ้น สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดึงและกลุ่มตัวอย่างละ 3 ชิ้น สำหรับการตรวจวัดค่าความคลาดเคลื่อน

**Table 2** The setting of 3D printing parameters value for 3D printing specimen

Parameters List	Setting of 3D Printing Parameters Value	
	Dumbbell Specimen	Cubic Specimen
Printing Temperature	240 °C	240 °C
Build Plate Temperature	80 °C	80 °C
Layer Height	0.2 mm	0.2 mm
Top/Bottom Thickness	0.2 mm	0.5 mm
Print Speed	60 mm/s	60 mm/s
Infill Density	100%	20%
Infill Pattern	Line	Line



(a)

(b)

**Figure 2** 3D printing direction of the specimen (a) Cube shape (b) Dumbbell shape

#### 4. การทดสอบคุณสมบัติชิ้นงานสามมิติ

4.1 การทดสอบเชิงกล กำหนดเป็นการทดสอบความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานดัมเบลจากการพิมพ์สามมิติโดยใช้เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงยี่ห้อ Zwick/Roell ที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ทดสอบชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่าง โดยใช้ความยาวช่วงของระยะทดสอบ (Gauge length) 50 มิลลิเมตร ใช้อัตราเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาทีตามมาตรฐาน ASTM D638 [18]

4.2 การทดสอบเชิงมิติ กำหนดเป็นตรวจสอบขนาดชิ้นงานทรงลูกบาศก์ขนาด 20 x 20 x 20 มิลลิเมตร ด้วยไมโครมิเตอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ Mitutoyo ความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร ช่วงระยะวัด 0-25 มิลลิเมตร โดยวัดความกว้างจำนวน 3 ครั้งต่อ 1 แนวแกน จำนวน 3 แนวแกน โดยแทนแกน X เป็นค่าความกว้าง แกน Y เป็นค่าความยาว และแกน Z เป็นค่าความสูง และนำค่าความคลาดเคลื่อนจากวัดชิ้นงานมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เพื่อคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานโดยใช้วิธีการคำนวณความคลาดเคลื่อนจากสมการค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์สมการที่ (1)

$$\text{Relative error} = \left[ \frac{x_{mea} - X_t}{X_t} \right] \quad (1)$$

% Error = Relative error x100

แทนค่า  $X_t$  = ค่าจริง (True value)

$x_{mea}$  = ค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

#### ผลการวิจัย

1. การผลิตเส้นใยพลาสติกสำหรับการพิมพ์สามมิติแบบ FDM

การผลิตเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิล [19] เริ่มจากการนำเกล็ดและเม็ดพลาสติกกอบลดความชื้นที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 5 ชั่วโมงและใช้เครื่องอัดพลาสติกแบบสกรูเดียวสำหรับการหลอมเกล็ด

พลาสติกโดยใช้อุณหภูมิการหลอมที่ 245 ถึง 285 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดพลาสติกเป็นของเหลวเพื่ออัดฉีดพลาสติกเหลวผ่านตายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และดึงเส้นพลาสติกผ่านระบบระบายความร้อนเส้นใยพลาสติกให้กลับมาเป็นพลาสติกแข็งอีกครั้งด้วยน้ำ ซึ่งมีอ่างน้ำระยะทางความยาว 1.5 เมตร จากนั้นดึงเส้นใยพลาสติกเพื่อควบคุมขนาดให้ได้ตามที่ต้องการที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $0.05 \pm 1.75$  มิลลิเมตร และม้วนเก็บเส้นใยพลาสติกที่เสร็จแล้วเข้าแกนม้วนสาย (Spool) จากการทดลองพบว่า การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์หรือข้อกำหนดของเครื่องจักรต่างๆ ให้สอดคล้องกันมีผลเป็นอย่างมากต่อการควบคุมขนาดความโตของเส้นใยพลาสติก เช่น อุณหภูมิการหลอม ความเร็วของสกรูอัด ระบบระบายความร้อน และความเร็วการดึงเส้นใย ซึ่งจากการทดลองปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่าการปรับตั้งอุณหภูมิในกระบอกฉีดช่วงต้นในการป้อนเกิดพลาสติกที่ 245 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการหลอมช่วงที่ 2 และ 3 อยู่ที่ 280 และ 285 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหัวตายอยู่ที่ 285 องศาเซลเซียส ความเร็วของสกรูอัดที่ 40 รอบต่อนาที (RPM) ความเร็วการดึงเส้นใยพลาสติก 8 เมตรต่อนาทีและความเร็วรอบในการม้วนเก็บเส้นใยพลาสติกเข้าแกนม้วน (Spool) อยู่ที่ 64 รอบต่อนาที (RPM) สามารถควบคุมขนาดความโตของเส้นใยได้ตามขนาดเป้าหมายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $1.75 \pm 0.05$  มิลลิเมตร ซึ่งการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์หรือข้อกำหนดของเครื่องจักรตารางการต่างๆ สามารถสรุปได้ดังที่กำหนดใน Table 3 รายการพารามิเตอร์สำหรับการปรับตั้งเครื่องที่เหมาะสมของการผลิตเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิล สำหรับเส้นใยการพิมพ์สามมิติแบบ FDM

**Table 3** Parameters for optimal machine settings of FDM 3D printing filament fabrication.

Machine Parameters List	Unit
Speed of single screw Machine	40RPM
Plastic feeding into the hopper of single screw	Continually
FeedingTemperature of single screw Machine	245°C
MeltingTemperature of single screw Machine	280°C
MeteringTemperature of single screw Machine	285°C
DieTemperature of single screw Machine	285°C
Diameter of the die hole.	3Ø mm.
Distance between die head and cooling unit	100 mm.
Distance between die head and plastic filament pulling unit	1.5 m
Filament Cooling temperature chamber.	20°C
Working room temperature	25- 30°C
Speed of filament-pulling machine	8 m/min
Speed of filament rolling into a spool.	64 RPM

## 2. การตรวจสอบขนาดและคุณภาพของเส้นใยพลาสติก

2.1 จากการผลิตเส้นใยพลาสติกเสร็จแล้วมีการตรวจวัดขนาดความโตของเส้นใยพลาสติกเพื่อควบคุมขนาดความโตของเส้นใยพลาสติกให้ได้ตามมาตรฐานที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $1.75 \pm 0.05$  มิลลิเมตรด้วย

การใช้ไมโครมิเตอร์แบบดิจิทัลดังแสดงใน Figure 3 การวัดขนาดของเส้นใยพลาสติก PET ด้วยไมโครมิเตอร์แบบดิจิทัลซึ่งมีการตรวจสอบขนาดเส้นใยพลาสติกที่ผลิตจาก 5 สูตรผสม ซึ่งผลจากการวัดขนาดของเส้นใยพลาสติกสามารถนำมาแสดงเป็นกราฟดังใน Figure 4 กราฟแสดงการตรวจวัดตัวอย่างขนาดเส้นใยพลาสติก 5 สูตรผสม จำนวนตรวจวัด 30 ครั้งต่อตัวอย่าง จากผลการวัดสรุปได้ว่าเส้นใยพลาสติกมีค่าขนาดความโตสูงสุดที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.800 มิลลิเมตร ค่าขนาดความโตต่ำสุดที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.700 มิลลิเมตรและมีค่าขนาดความโตเส้นใยพลาสติกเฉลี่ยอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.757 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าการผลิตเส้นใยพลาสติกจากขยะพลาสติก PET สำหรับการพิมพ์สามมิติสามารถควบคุมขนาดความโตของเส้นใยพลาสติกให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $1.75 \pm 0.05$  มิลลิเมตร เทียบเท่ากับขนาดเส้นใยพลาสติกสำหรับการพิมพ์สามมิติที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป



Figure 3 Measurement of PET plastic filament diameter using a digital micrometer (Target filament diameter =  $1.75 \pm 0.05$  mm)

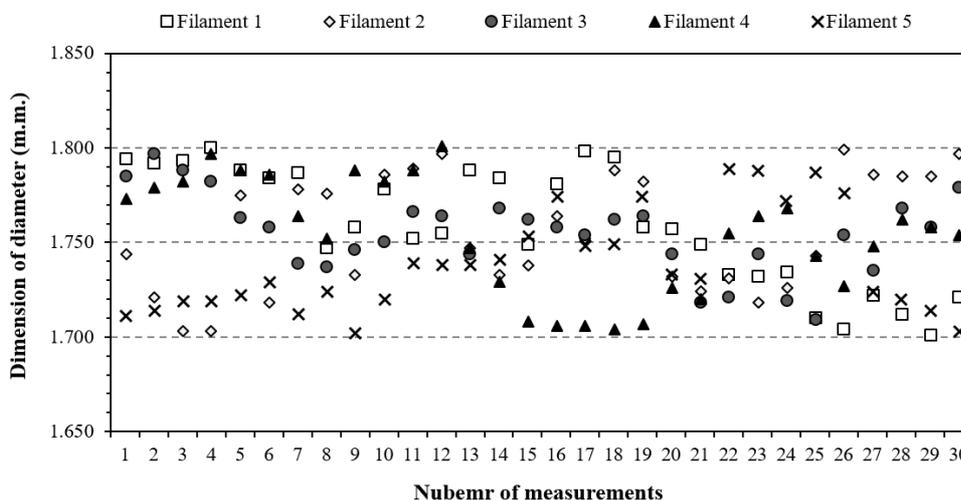


Figure 4 Measurement example of plastic recycle filaments 5 formula (Average 1.757 mm)

2.2 ตรวจสอบคุณลักษณะและคุณภาพของเส้นใยพลาสติก

การตรวจสอบความเรียบผิวของเส้นใยพลาสติกและตรวจเช็คโพรงอากาศในเส้นใยพลาสติกโดยใช้สายตาในการตรวจสอบ พบว่าเส้นใยมีความเรียบผิวที่ดี ไม่ขรุขระ ไม่มีสิ่งปนเปื้อนภายในเส้นใย มีความใส โปร่งแสง และไม่มีฟองอากาศภายในเส้นใยพลาสติก ดังแสดงใน Figure 5(a) รูปตัวอย่างเส้นใยพลาสติก PET สำหรับการพิมพ์สามมิติจากขยะพลาสติก PET และ Figure 5(b) ตัวอย่างเส้นใยพลาสติก PET หลังจากเก็บเส้นเข้าแกนม้วนสาย (Spool) แล้ว นอกจากนี้เพื่อยืนยันว่าเส้นใยพลาสติกไม่มีฟองอากาศภายในจริง จึงได้สุ่มนำตัวอย่างเส้นใยพลาสติก PET ที่นำกลับมาใช้ใหม่ไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 5 เท่า เทียบกับเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์ดังแสดงใน Figure 6 ภาพเส้นใยพลาสติกจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 5 เท่า โดย Figure 6(a) เป็นเส้นใยพลาสติกจากขยะพลาสติก PET และ Figure 6(b) เป็นเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์ สังเกตได้ว่าเส้นใยพลาสติกจากขยะพลาสติก PET มีความเรียบผิวกว่าเส้น PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์และไม่มีฟองอากาศเล็กๆ ภายในเส้นใยพลาสติก นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์ยังคงมีฟองอากาศเล็กน้อยภายในเส้นใย

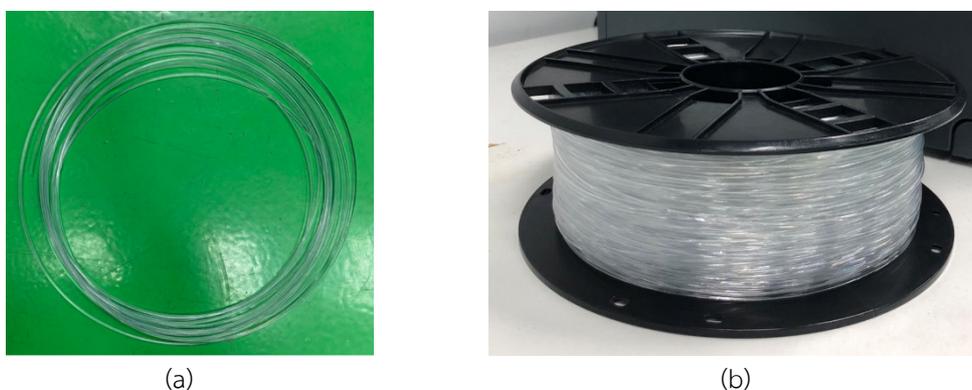


Figure 5 (a) Example picture of PET recycled filament. (b) PET recycled filament in the spool.

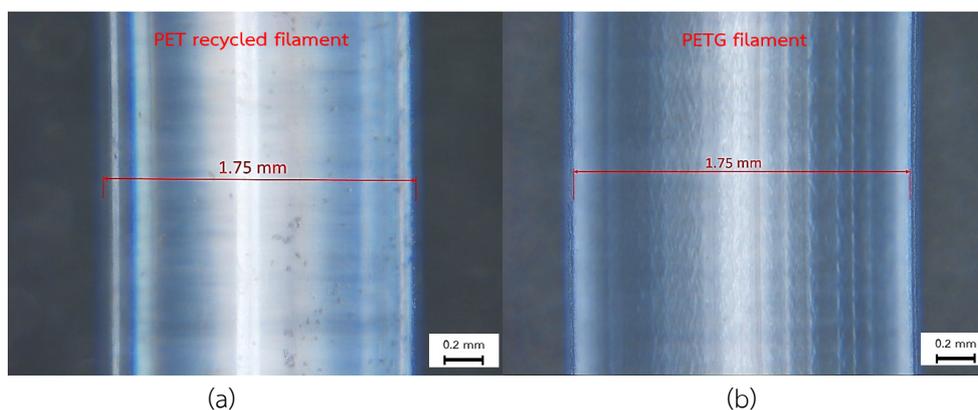
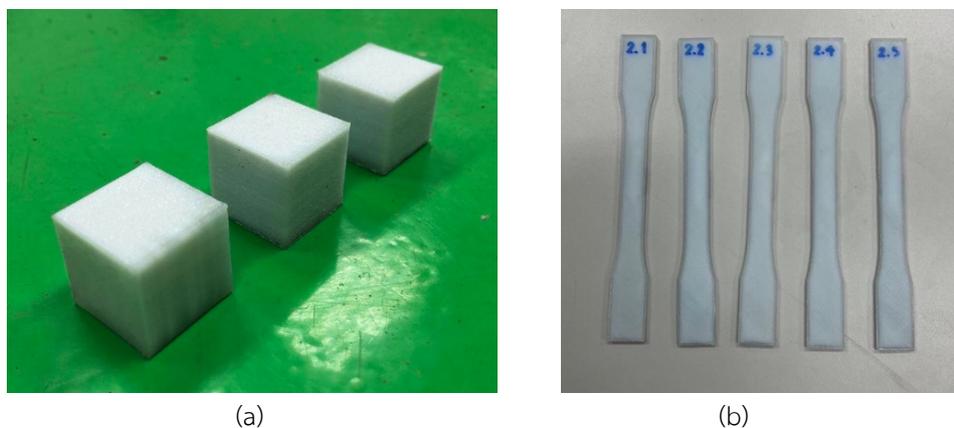


Figure 6 Example image of FDM filament with Magnification 5 times (a) PET recycled filament (b) PETG filament.

## 3. คุณลักษณะและคุณภาพของชิ้นงานพิมพ์สามมิติ

จากการตรวจสอบขนาดและคุณภาพของเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลสำหรับการพิมพ์สามมิติ แล้วนำเส้นที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพไปทดลองพิมพ์ใช้งานจริงกับเครื่องพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้น ยี่ห้อ FlashPrint Pro 2 ซึ่งมีการออกแบบชิ้นงานพิมพ์สามมิติ 2 รูปทรง คือชิ้นงานเป็นรูปทรงเป็นลูกบาศก์ขนาด 20x20x20 มิลลิเมตร สำหรับการตรวจสอบขนาดเชิงมิติ และชิ้นงานรูปทรงดัมเบล (Dumbbell) ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I สำหรับการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล โดยปรับตั้งค่าการพิมพ์ตาม Table 2 ค่าพารามิเตอร์การพิมพ์สามมิติ พบว่าชิ้นงานพิมพ์สามมิติจากเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลสามารถพิมพ์ชิ้นงานสามมิติได้ตามการปรับตั้งค่าการพิมพ์ได้ตามที่กำหนด โดยอุณหภูมิการพิมพ์อยู่ที่ 240 องศาเซลเซียส อุณหภูมิฐานอยู่ที่ 80 องศาเซลเซียส และความเร็วในการพิมพ์ 60 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยชิ้นงานพิมพ์สามมิติจากเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลดังแสดงใน Figure 7 ชิ้นงานพิมพ์สามมิติตัวอย่าง Figure 7(a) เป็นชิ้นงานพิมพ์สามมิติทรงลูกบาศก์ขนาด 20x20x20 มิลลิเมตร และ Figure 7(b) ชิ้นงานพิมพ์สามมิติสำหรับทดสอบแรงดึงมาตรฐาน ASTM D638 Type I จากรูปภาพชิ้นงานพิมพ์พบว่าคุณลักษณะชิ้นงานพิมพ์สามมิติจากเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลสามารถพิมพ์ขึ้นรูปทรงได้ตามที่ออกแบบขึ้นงานไว้ด้วยโปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเหมือนกับเส้นใยพลาสติกที่มีขายเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ยังพบอีกว่าอุณหภูมิการพิมพ์ที่ 240 องศาเซลเซียส เป็นค่าอุณหภูมิการพิมพ์สูงสุดของเครื่องพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้น ยี่ห้อ FlashPrint Pro 2 ถ้ามีการปรับลดอุณหภูมิการพิมพ์ที่ต่ำกว่า 240 องศาเซลเซียส อาจเกิดปัญหาพลาสติกอุดตันที่หัวฉีดในการพิมพ์พลาสติกได้ ดังนั้นการทดลองนี้อาจชี้ให้เห็นว่าอาจต้องมีการเลือกเครื่องพิมพ์ที่มีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่า 240 องศาเซลเซียส จะเหมาะสมมากกว่าเครื่องที่ใช้ปัจจุบัน หรือมีการปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุด้วยการผสมเติมสารเติมแต่งในเส้นใยพลาสติก PET ที่นำกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดอุณหภูมิการพิมพ์ให้ต่ำกว่า 240 องศาเซลเซียส



**Figure 7** Example of 3D printed from parts PET recycled filament (PET-Re40) (a) Cube parts of size 20 x 20 x 20 mm. (b) Tensile testing parts of ASTM D638 Type I

4.คุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติเชิงมิติ

4.1 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

จากการพิมพ์ชิ้นงานพิมพ์สามมิติรูปทรงดัมเบล ตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I จำนวน 5 ชิ้นของแต่ละตัวอย่างที่ได้จากเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิล และชิ้นงานจากเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์เพื่อทำการเปรียบเทียบ ทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล โดยการวัดค่าความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 ที่ความยาวช่วงของระยะทดสอบ 50 มิลลิเมตร ใช้อัตราเร็วในการดึง 5 มิลลิเมตรต่อนาทีดังแสดงใน Figure 8(a) ชิ้นงานรูปทรงดัมเบลหลังการทดสอบแรงดึงของเส้นใยพลาสติกจาก PET รีไซเคิล Figure 8(b) ชิ้นงานรูปทรงดัมเบลหลังการทดสอบแรงดึงของเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์จากการทดสอบได้รับผลการทดสอบเป็นค่าต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ค่าอัตราการยืดตัวของวัสดุ (Elongation) และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ตามที่แสดงไว้ใน Table 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และสามารถทำเป็นกราฟเปรียบเทียบได้ดังแสดงใน Figure 9(a)

ความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ และ Figure 9(b) ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงพบว่า ค่าต้านทานแรงดึงสูงสุดของเส้นใยพลาสติกจากขยะพลาสติก PET รีไซเคิลอยู่ที่  $24.28 \pm 2.14$  ถึง  $29.98 \pm 3.84$  MPa มีแนวโน้มต่ำลงตามปริมาณสัดส่วนของการเติมเกล็ดพลาสติก PET รีไซเคิลและต่ำกว่าต้านทานแรงดึงของเส้นใยพลาสติก PETG รวมถึงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุอยู่ที่  $1.55 \pm 0.14$  ถึง  $2.14 \pm 0.18$  เปอร์เซ็นต์ ซึ่งต่ำกว่าเส้นใยพลาสติก PETG โดยกรณีนี้เป็นเพราะเส้นใยพลาสติก PETG มีการปรับปรุงหรือดัดแปลงคุณสมบัติของ PET มาแล้ว ด้วยการเติมไกลคอล (Glycol) ในระดับโมเลกุล ส่งผลให้เส้นใยพลาสติก PETG มีความยืดหยุ่นที่ดีกว่าเส้นใยพลาสติก PET [20, 21] แต่อย่างไรก็ตามค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มสัดส่วนของพลาสติก PET รีไซเคิล และทุกสัดส่วนผสมมีค่าสูงกว่าเส้นใยพลาสติก PETG [22]

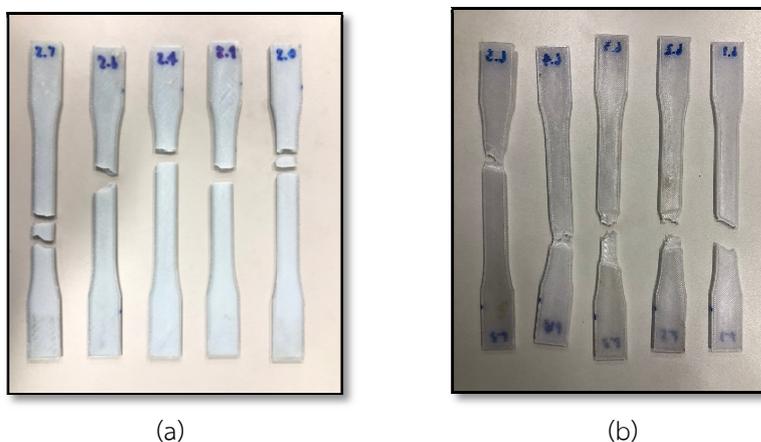
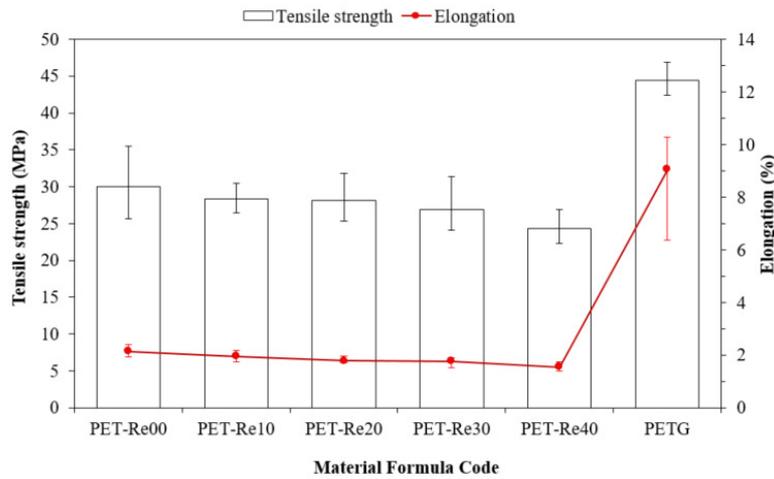


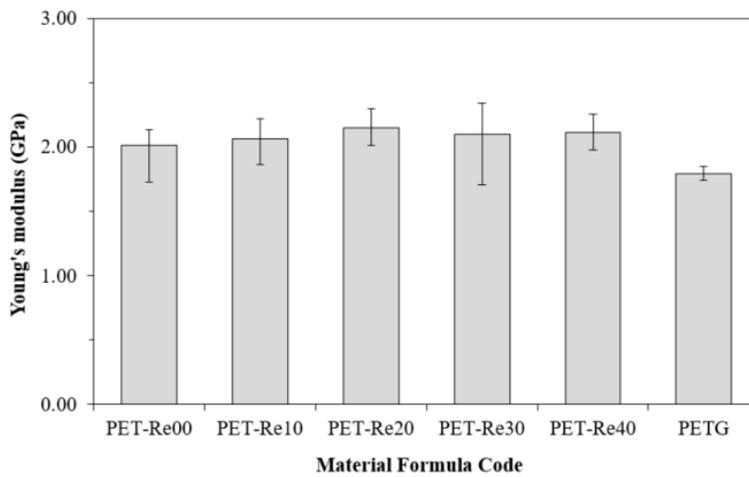
Figure 8 (a) Tensile testing part of PET recycled filament (PET-Re40) after breaking  
(b) Tensile testing part of PETG filament after breaking

**Table 4** Mechanical properties of 3D printed dumbbell from PET/PET Recycle

Material Formula Code	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation (%)
PET-Re00	29.98± 3.84	2.01± 0.17	2.14± 0.18
PET-Re10	28.37± 1.77	2.06± 0.13	1.96± 0.18
PET-Re20	28.08± 2.50	2.15± 0.14	1.79± 0.10
PET-Re30	26.93± 3.10	2.10± 0.27	1.77± 0.15
PET-Re40	24.28 ± 2.14	2.11 ± 1.11	1.55± 0.14
PETG	44.36 ± 1.87	1.79 ± 0.04	9.05± 1.81



(a)



(b)

Figure 9 Mechanical properties graph of 3D printed dumbbell from PET/PET recycle  
 (a) Tensile strength and elongation (b) Young's modulus

#### 4.2 ทดสอบคุณสมบัติเชิงมิติ

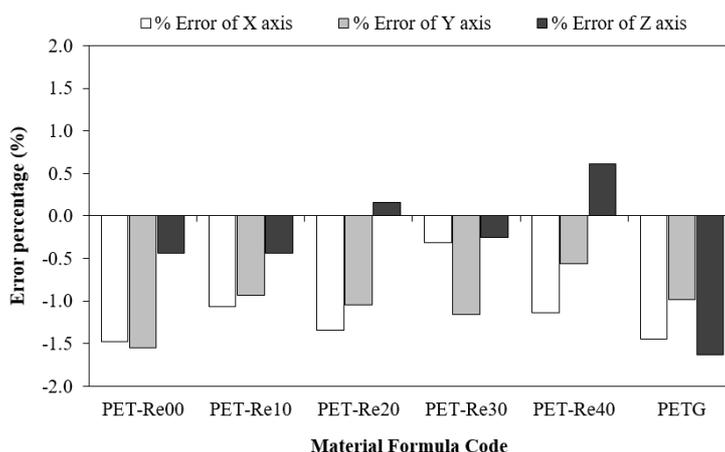
จากการพิมพ์ชิ้นงานทรงลูกบาศก์ขนาด 20x20x20 มิลลิเมตร นำมาวัดขนาดเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติเชิงมิติของชิ้นงานพิมพ์สามมิติจากเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลโดยการวัดขนาด 3 แนวแกน คือ แกน X แกน Y และแกน Z และเทียบกับชิ้นงานพิมพ์สามมิติจากเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์ ดังแสดงค่าใน Table 5 ผลการวัดขนาดเฉลี่ยของชิ้นงานทรงลูกบาศก์ พร้อมกับนำค่าความคลาดเคลื่อนจากวัดชิ้นงานมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าจริงที่ออกแบบไว้ เพื่อคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานพิมพ์สามมิติตามสมการที่(1) ดังแสดงใน Figure 10 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน จากผลการ

วัดขนาดและการคำนวณเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อน พบว่าค่าการวัดขนาดในแกน X และแกน Y ของจากเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลมีความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่เป็นค่าลบ ต่ำกว่าค่าจากการออกแบบทรงลูกบาศก์ที่ 20 มิลลิเมตรเล็กน้อย ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์ เนื่องจากการขยายตัวของพลาสติกที่หลอมเหลวขณะพิมพ์ชิ้นงานและหดตัวลงหลังจากพลาสติกที่พิมพ์ทับซ้อนกันเป็นชั้นเย็นตัวลง [19] ส่วนการวัดขนาดในแกน Z พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของแกน Z มีความหลากหลายมากกว่า โดยมีทั้งค่าเป็นลบในวัสดุ PET-Re00 PET-Re10 และ PET-Re30 และค่าเป็นบวกในวัสดุ PET-Re20 และ PET-Re40 ซึ่งมีขนาดโตกว่าขนาดที่ออกแบบทรงลูกบาศก์ เมื่อเทียบกับเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์ พบว่าเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลมีค่าความคลาดเคลื่อนของแกน Z ที่ -0.44 ถึง 0.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเข้าใกล้ค่าศูนย์มากกว่าเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลที่มีค่าติดลบสูงถึง 1.63 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลมีคุณสมบัติเชิงมิติในทิศทางแกน Z ที่ดีกว่าเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์

**Table 5** Dimensional accuracy of 3D printed cubes from PET/PET Recycle

Material Formula Code	Width (X Axis)		Length (Y Axis)		Height (Z Axis)	
	Measured value (mm)	Error (%)	Measured value (mm)	Error (%)	Measured value (mm)	Error (%)
PET-Re00	19.705 ± 0.021	-1.47	19.691 ± 0.040	-1.54	19.912 ± 0.044	-0.44
PET-Re10	19.788 ± 0.142	-1.06	19.813 ± 0.106	-0.93	19.913 ± 0.065	-0.44
PET-Re20	19.731 ± 0.048	-1.35	19.791 ± 0.057	-1.04	20.031 ± 0.016	0.15
PET-Re30	19.937 ± 0.012	-0.32	19.769 ± 0.013	-1.16	19.950 ± 0.089	-0.25
PET-Re40	19.774 ± 0.108	-1.13	19.888 ± 0.077	-0.56	20.122 ± 0.032	0.61
PETG	19.711 ± 0.018	-1.45	19.803 ± 0.043	-0.98	19.673 ± 0.009	-1.63

Remark: Original dimension from CAD: width = 20 mm, length = 20 mm, height = 20 mm.



**Figure10** Dimensional error percentage graph of 3D printed cubes from PET/PET Recycle.

### อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการผลิตเส้นใยพลาสติกสำหรับการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นใยโดยการนำขยะพลาสติก PET หรือขวดบรรจุน้ำดื่มกลับมาใช้ใหม่ เป็นวัสดุสำหรับการพิมพ์สามมิติ เพื่อลดปัญหาขยะพลาสติกในเมือง ยากต่อการจัดการและกำจัดทิ้ง นำมาประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (3D Printing) ที่กำลังได้รับความนิยมและมีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการวิจัยนี้เริ่มจากการศึกษาในงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ การพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นใยพลาสติก วัสดุของสำหรับการพิมพ์สามมิติ พลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ปัญหาขยะพลาสติก และกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกต่างๆ จากนั้นทำการทดลองผลิตเส้นใยพลาสติกสำหรับการพิมพ์สามมิติที่สามารถปรับตั้งควบคุมขนาดความโตของเส้นใยพลาสติกที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $1.75 \pm 0.05$  มิลลิเมตร ที่มีคุณภาพเชิงกลและคุณภาพเชิงมิติเทียบเท่ากับเส้นใยพลาสติกที่มีการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์

จากการทดลองผลิตเส้นใยพลาสติกโดยเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบจากขวดน้ำดื่มจากพลาสติก PET ตั้งแต่คัดเลือกและแยกขวดพลาสติก นำเกล็ดพลาสติก PET จากขวดน้ำดื่มรีไซเคิล ผสมกับเม็ดพลาสติก PET ใหม่ในสัดส่วนร้อยละ 0 ถึง 40 ของเกล็ด PET รีไซเคิล ไปจนถึงการอบลดความชื้นในวัสดุที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ก่อนนำใส่เครื่องอัดขึ้นรูปแบบสกรูเดี่ยว เมื่อเริ่มการผลิตเส้นใยพลาสติกมีการทดลองปรับตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อหาค่าที่เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิการหลอมเหลวพลาสติกที่เครื่องอัดแบบสกรูเดี่ยวอยู่ที่ 245 ถึง 285 องศาเซลเซียส ความเร็วสกรูที่ 40 รอบต่อนาที อัดพลาสติกเหลวผ่านตายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูโต 3 มิลลิเมตร อุณหภูมิชุดระบายความร้อนพลาสติกอยู่ที่ 20 องศาเซลเซียส และปรับตั้งความเร็วการดึงเส้นใยพลาสติกอยู่ที่ 8 เมตรต่อนาที เส้นใยพลาสติก PET ที่ผลิตได้สามารถควบคุมขนาดความโตของเส้นใยได้โดยมีขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ที่ 1.757 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานที่กำหนด ( $1.75 \pm 0.05$  มิลลิเมตร) และเทียบเท่ากับขนาดเส้นใยพลาสติกสำหรับพิมพ์สามมิติที่มีขายทั่วไป เส้นใยที่ผลิตได้มีคุณภาพดี มีความเรียบผิวที่ดี ไม่ขรุขระ ไม่สิ่งปนเปื้อนภายในเส้นใย มีความใส โปร่งแสง พร้อมม้วนเก็บเส้นเข้าแกนม้วนสาย และจากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 5 เท่า ยืนยันว่าเส้นใยพลาสติกจากขยะ PET รีไซเคิลมีความเรียบผิวมากกว่าและไม่มียองอากาศเล็กๆภายในเส้นใย เมื่อเทียบกับเส้นใยพลาสติก PETG ที่มีขายเชิงพาณิชย์ซึ่งยังคงมีพองอากาศเล็กน้อย

จากการนำเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลที่ผลิตได้ไปทดลองใช้พิมพ์กับเครื่องพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นใย โดยการพิมพ์ชิ้นงานเป็นรูปทรงเป็นลูกบาศก์ขนาด  $20 \times 20 \times 20$  มิลลิเมตร เพื่อการตรวจสอบขนาดเชิงมิติ และขึ้นงานรูปทรงดัมเบลตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I เพื่อการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล พบว่าเส้นใยพลาสติก PET รีไซเคิลนั้น สามารถพิมพ์ขึ้นรูปทรงได้ตามที่ออกแบบชิ้นงานได้ด้วยโปรแกรมเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ จากการตรวจวัดขนาด 3 แนวแกน (แกน X แกน Y และแกน Z) มีขนาดลดลงเล็กน้อยเนื่องจากการขยายตัวของพลาสติกที่หลอมเหลวขณะพิมพ์ชิ้นงาน และหดตัวหลังจากพลาสติกที่พิมพ์ทับซ้อนกันเป็นชั้นเย็นตัวลง ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเชิงมิติอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนในแกน X และ Y ส่วนใหญ่เป็นค่าลบ ซึ่งหมายถึงขนาดที่ได้มีค่าน้อยกว่าที่ออกแบบไว้เล็กน้อย คล้ายกับเส้นใย PETG เชิงพาณิชย์ สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนในแกน Z เส้นใย PET รีไซเคิลมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ -0.44 ถึง 0.61 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าศูนย์มากกว่าเส้นใย PETG เชิงพาณิชย์ที่มีค่าติดลบสูงถึง 1.63 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าเส้นใย PET รีไซเคิลมีคุณสมบัติเชิงมิติในทิศทางแกน Z ที่ดีกว่า นอกจากนี้ในส่วนของคุณสมบัติเชิงกลจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง ยังแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานพิมพ์สามมิติจากเส้นใย PET รีไซเคิลมีค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ที่ 24.27 ถึง 29.97 MPa โดยมีค่าความใกล้เคียง

เคียงกับงานวิจัยของ Ans Al Rashid และคณะ จากการศึกษาความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานพิมพ์สามมิติจาก PET รีไซเคิล พิมพ์แบบชิ้นงานต้นความหนาแน่นของชิ้นงาน 100 เปอร์เซ็นต์ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 31.44 MPa [19] และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวอยู่ที่ 1.55 ถึง 2.14 เปอร์เซ็นต์ ค่าเหล่านี้มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการเพิ่มสัดส่วนของเกล็ด PET รีไซเคิล และโดยรวมแล้วต่ำกว่าค่าของเส้นใยพลาสติก PETG เชิงพาณิชย์ สาเหตุที่ค่าความยืดหยุ่นต่ำกว่า PETG เนื่องจาก PETG มีการเติมไกลคอลในระดับโมเลกุลเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น อย่างไรก็ตามค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเส้นใย PET รีไซเคิลมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มสัดส่วน PET รีไซเคิล และมีค่าสูงกว่าเส้นใย PETG ในทุกสัดส่วนผสม

นอกจากนี้ที่ผู้วิจัยพบว่าการนำขยะพลาสติกจาก PET รีไซเคิลมาทำเป็นเส้นใยสำหรับการพิมพ์สามมิตินั้น ยังคงมีข้อจำกัดการบ่อนเกล็ดพลาสติกรีไซเคิลเข้าเครื่องจักรในกระบวนการการผลิตเส้นใยพลาสติก ส่งผลต่อการเพิ่มสัดส่วนของพลาสติก PET รีไซเคิล และข้อจำกัดของการนำเส้นใยไปใช้พิมพ์กับเครื่องพิมพ์สามมิติทั่วไปที่อุณหภูมิการพิมพ์สูงสุดที่ 240 องศาเซลเซียส ดังนั้นหากนักวิจัยต้องการศึกษาการนำ PET รีไซเคิลสำหรับการพิมพ์สามมิติควรเลือกเครื่องจักรที่ง่ายต่อการบ่อนเกล็ดพลาสติกเข้าเครื่องอัดรีด เพื่อเพิ่มปริมาณสัดส่วนของการใช้พลาสติก PET รีไซเคิล และควรศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนรวมถึงการเพิ่มสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงลดอุณหภูมิหลอมเหลวของเส้นใย PET รีไซเคิล

## References

- [1] Chantaramanee, C., et al. (2020). *The Value Added of Plastic Wastes by Single Screw Extruder Case Study: Community of Khaoroochang Municipality, Songkhla Province* (Research reports). Songkhla: Rajamangala University of Technology Srivijaya. (in Thai)
- [2] Cano-Vicent, A., et al. (2021). Fused Deposition Modelling: Current Status, Methodology, Applications and Future Prospects. *Additive Manufacturing*, 47, 102378.
- [3] Kristiawan, R., et al. (2021). A Review on the Fused Deposition Modeling (FDM) 3D Printing: Filament Processing, Materials, and Printing Parameters. *Open Engineering*, 11(1), 639-649.
- [4] Prasopdee, T., et al. (2023). Effect of the Thermoplastic Types and Ratios for the 3D Printed Thermoplastic Natural Rubber Vulcanizates: Mechanical, Dynamical, Thermal, Printed-Structural Properties. *Industrial Crops and Products*, 47, 117238.
- [5] Valino, A., et al. (2019). Advances in 3D Printing of Thermoplastic Polymer Composites and Nanocomposites. *Progress in Polymer Science*, 98(1), 117238.
- [6] Ozdemir, B., et al. (2024). Toward 3D Printability Prediction for Thermoplastic Polymer Nanocomposites: Insights from Extrusion Printing of PLA-Based Systems. *Additive Manufacturing*, 95, 104533.
- [7] Stecuła, B., et al. (2024). Comparison of the Strength of Popular Thermoplastic Materials Used in 3D Printing - PLA, ABS and PET-G. *Combustion Engines*, 199(4), 97-103.
- [8] Sharma, S., et al. (2023). Contribution of Plastic and Microplastic to Global Climate Change and their Conjoining Impacts on the Environment - A Review. *Science of the Total Environment*, 875, 162627.

- [9] Xin-Feng, W., et al. (2024). Plastic Pollution Amplified by a Warming Climate. *Nature Communications*, 15, 2052.
- [10] Olisah, N. C. & Obiekezie, T. N. (2024). The Impact of Plastic Pollution on Climate Change. In *The 8<sup>th</sup> International Conference on Climate Change* (p. 36-45). 8 – 9 Feb, 2024, Colombo, Sri Lanka.
- [11] Habiba, R. D, et al. (2024). Exploring the Potential of Recycled Polymers for 3D Printing Applications: A Review. *Materials*, 17(12), 2915.
- [12] Shiferaw, M. Z. & Gebremedhen, H. S. (2022). Recycled Polymer for FDM 3D Printing Filament Material: Circular Economy for Sustainability of Additive Manufacturing. In Berihun, M. L. (Ed.). *Advances of Science and Technology. ICAST 2021. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 412* (p. 243-261) Cham: Springer.
- [13] Maraveas, C., et al. (2024). Evaluation of the Viability of 3D Printing in Recycling Polymers. *Polymers*, 16(8), 1104.
- [14] Exconde, M. K. J. E., et al. (2019). Materials Selection of 3D Printing Filament and Utilization of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) in a Redesigned Breadboard. *Procedia CIRP*, 84, 28-32.
- [15] Toth, L., et al. (2024). Progress in 3D Printing of Recycled PET. *Materials Today Sustainability*, 26, 100757.
- [16] Ror, C. K., et al. (2023). Development and Characterization of Sustainable 3D Printing Filaments Using Post-Consumer Recycled PET: Processing and Characterization. *Journal of Polymer Research*, 30, 350.
- [17] Nikam, M., et al. (2023). Sustainable Fabrication of 3D Printing Filament from Recycled PET Plastic. *Materials Today Proceedings*, 103, 115-125.
- [18] Nagendra, G., et al. (2017). Tensile Strength of Commercial Polymer Materials for Fused Filament Fabrication 3D Printing. *Additive Manufacturing*, 15, 40-47.
- [19] Rashid, A. A. & Muammer, K. (2025). 3D-Printed Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Sandwich Structures - Influence of Infill Design and Density on Tensile, Dynamic Mechanical, and Creep Response. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 8(4), 442-452.
- [20] Dohan, V., et al. (2024). Mechanical Evaluation of Recycled PETG Filament for 3D Printing. *Fracture and Structural Integrity*, 70, 310-321.
- [21] Lyn, T., et al. (2025). The Potential of Virgin Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG) Grades and their Blends with Waste PET(G) for Filament-Based Material Extrusion Applications. *Additive Manufacturing*, 97, 104602.

Research Article

Journal of Advanced Development in Engineering and Science

Vol.15 ● No.44 • September – December 2025

---

- [22] Mishra, V. P., et al. (2024). Sustainable Compositions and 3D Printing Technologies for Characterizing and Optimizing Recycled PETG. *E3S Web of Conferences*, 552, 01105.