

ผลกระทบของความชื้นต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานในการพิมพ์ 3 มิติ
ด้วยวัสดุไนลอน 6

EFFECTS OF MOISTURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF
3D-PRINTED PART WITH NYLON 6

อุกฤษฏ์ ธนทรัพย์ทวี¹ มาโนช นำฟู^{2*} และ กิตติ วิโรจรัตนภาพิศาล³

^{1,2,3}อาจารย์สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ล้านนา ตาก, 41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้แก่น อำเภอมืองตาก จังหวัดตาก 63000

¹t.ukrit@edu.rmutl.ac.th, ²mnf.impe@gmail.com, ³kibuya@gmail.com

Ukrit Thanasuptawee¹, Manoch Numfu^{2*} and Kitti Wirotrattanaphaphisan³

^{1,2,3}Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak,
41/1 Paholayothin Road, Tambon Mai Ngam, Amphur Muang Tak, Tak, 63000, Thailand

¹t.ukrit@edu.rmutl.ac.th, ²mnf.impe@gmail.com, ³kibuya@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของความชื้นที่ส่งผลต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานพิมพ์ 3 มิติ จากวัสดุไนลอน 6 (PA6) โดยนำเส้นพลาสติกไนลอนปล้อยวางไว้ในห้องทดลองที่บรรยากาศและอุณหภูมิห้องในระยะเวลาที่ต่างกัน 5 ช่วงเวลาก่อนการขึ้นรูป โดยระยะเวลาที่ปล้อยวางไว้ในห้องทดลองนานขึ้นส่งผลทำให้เส้นพลาสติกมีปริมาณความชื้นในตัวเส้นพลาสติกที่สูงขึ้น [1] หลังจากนั้นเส้นพลาสติกไนลอนในแต่ละช่วงเวลาถูกนำมาพิมพ์ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบสำหรับทดสอบความสามารถในการรับแรงดึงและความสามารถในการรับแรงกระแทก จากผลการทดลองพบว่า จำนวนระยะเวลาที่เส้นพลาสติกไนลอนถูกปล้อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและค่าความต้านทานแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบ เมื่อเพิ่มจำนวนระยะเวลาที่วัสดุถูกปล้อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องจาก 7 วัน เป็น 35 วัน ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดลดลงตามลำดับ รวมถึงค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลงเช่นเดียวกัน นั้นแสดงว่าเมื่อเส้นพลาสติกไนลอนถูกปล้อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องจาก 7 วัน เป็น 35 วัน ทำให้เส้นพลาสติกดูดซับความชื้นจนทำให้เส้นพลาสติกมีความชื้นสูงขึ้น มีผลทำให้สมบัติทางด้านความต้านทานแรงดึงลดลง 43.1% และความต้านทานแรงกระแทกของชิ้นงานลดลง 29.2% ตามลำดับ

คำสำคัญ: เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ, พลาสติกไนลอน 6, ความชื้น, สมบัติทางกล

ABSTRACT

This research studies the impact of moisture on the mechanical properties of 3D printed specimens from Nylon 6 (PA6). Nylon filaments were left in lab conditions for 5 different time periods prior to printing to absorb varied moisture levels. As the exposure time of the filaments in the lab atmosphere increased from 7 days to 35 days, higher amounts of moisture were absorbed by the nylon filaments [1]. After each exposure time period, the nylon filaments were printed to fabricate test specimens for evaluating tensile strength and impact resistance. The experimental results indicated that the exposure time of the filaments to ambient air affected the ultimate tensile strength and impact resistance of the test specimens. As the exposure time increased from 7 days to 35 days, the ultimate tensile strength and impact resistance progressively decreased. This suggests that as the nylon filaments were left in ambient lab conditions for longer periods, from 7 days to 35 days, they absorbed more moisture. The moisture absorption resulted in a 43.1% decrease in ultimate tensile strength, and a 29.2% decrease in impact resistance.

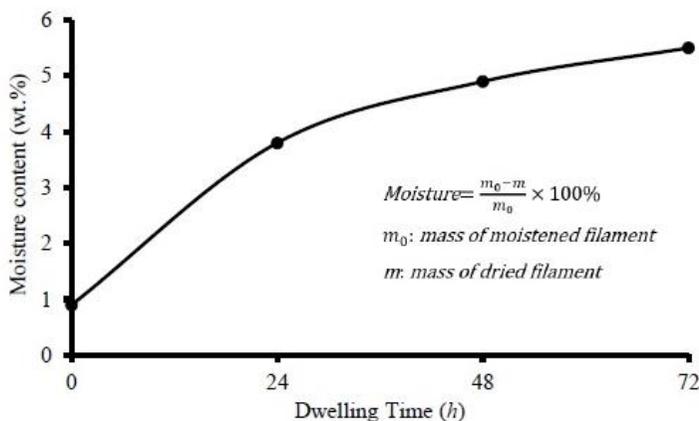
KEYWORDS: 3D Printing Technology, Nylon 6, Moisture, Mechanical Properties

1. บทนำ

เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ เป็นหนึ่งเทคโนโลยีในการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing, AM) ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ยังสามารถเลือกวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นงานได้หลากหลาย [2] อีกทั้งยังมีเทคนิคในการผลิตที่หลากหลายอีกด้วย เทคโนโลยีการพิมพ์ 3 มิติ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยกตัวอย่างเช่น เทคโนโลยี SLS (Selective Laser Sintering) เทคโนโลยี FDM (Fused Deposition Modeling) เทคโนโลยี SLA (Stereolithography) และเทคโนโลยี LOM (Laminated Object Manufacturing) เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยี FDM (Fused Deposition Modeling) เป็นหนึ่งเทคนิคที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย อีกทั้งเทคโนโลยี FDM ยังเป็นเทคโนโลยีที่ใช้งานง่ายและมีสมบัติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้เป็นเทคโนโลยีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุด [3] แต่อย่างไรก็ตามการใช้เทคโนโลยี FDM แบบระบบเปิดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนั้น ก็ยังมีปัญหาในเรื่องของความชื้นในตัวของเส้นพลาสติก ซึ่งเส้นพลาสติกนั้นสามารถดูดซับความชื้นได้ หากจัดเก็บเส้นพลาสติกไม่ดีพอก็จะส่งผลทำให้เส้นพลาสติกเกิดความเสียหายจนอาจทำให้คุณภาพการพิมพ์ลดลงและเกิดปัญหาด้านประสิทธิภาพเชิงกลของชิ้นงาน 3 มิติ [4] อีกทั้งสภาพอากาศในประเทศไทยมีลักษณะที่เป็นอากาศร้อนชื้น โดย

เฉลี่ยจะมีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปี 73-75 เปอร์เซ็นต์ [5] ซึ่งสิ่งสำคัญสำหรับการพิมพ์ 3 มิติ ก็คือต้องทำให้วัสดุอยู่ในสภาพที่แห้งและความชื้นที่เหมาะสมอยู่เสมอ

วัสดุที่ใช้ในงานพิมพ์ 3 มิติ นั้นมีมากมายให้เลือกใช้หลายชนิดมาก อาทิเช่น เส้นพลาสติก PLA, ABS, PETG, FLEX (TPU), CPE, Nylon (PA), HIPS และ PVA เป็นต้น ซึ่งเส้นพลาสติกแต่ละประเภทก็จะให้สมบัติที่แตกต่างกัน การเลือกเส้นพลาสติกให้ถูกประเภทกับงานจะช่วยให้งานที่พิมพ์ออกมานั้นทำได้ตามสมบัติที่ต้องการ [6] ในส่วนของงานวิศวกรรมที่ต้องการความแข็งแรง คงทน เหนียว และทนความร้อน ผู้ใช้สามารถเลือกใช้วัสดุในลอนเพื่อนำมาพิมพ์ขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน 3 มิติ เพื่อตอบโจทย์ความต้องการเหล่านี้ได้ ในขณะเดียวกันในลอนเป็นเส้นพลาสติกที่พิมพ์ยาก เพราะตัวในลอนนั้นดูดความชื้นจากในอากาศได้ดีจึงทำให้ขนาดและสมบัติทางกลของชิ้นงาน หลังจากการพิมพ์ด้วยเส้นในลอนที่มีความชื้นเปลี่ยนแปลงและมีขนาดความคลาดเคลื่อนไปจากไฟล์งาน 3 มิติต้นแบบ [7] ในขณะเดียวกันชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการพิมพ์จากวัสดุในลอน สามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าชิ้นงานทดสอบที่ได้จากการพิมพ์จากวัสดุ PLA [8] และได้มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างเวลาและความชื้นของในลอนที่ถูกแช่ทิ้งไว้ในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ 80% เป็นระยะเวลาที่แตกต่างกันออกไป พบว่า เมื่อในลอนถูกแช่ทิ้งไว้ในตู้อบเป็นระยะเวลานานขึ้นทำให้ความชื้นในตัวเส้นในลอนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน [1] ดังแสดงในรูปที่ 1 และหากนำเส้นพลาสติกในลอนที่มีความชื้นไปพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน ความร้อนจากหัวฉีดจะทำให้ความชื้นเดือดและระเหยระเบิดออกมาทำให้งานที่พิมพ์ออกมามีผิวขรุขระจากฟองอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 กราฟความชื้นเทียบกับระยะเวลาของในลอนที่ถูกแช่ทิ้งไว้ในตู้ความชื้น [1]



รูปที่ 2 เปรียบเทียบชิ้นงาน 3 มิติ ที่ขึ้นรูปจากเส้นพลาสติกที่มีความชื้นสูง (ก) ชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูปจากเส้นพลาสติกที่มีความชื้นสูง (ข) ชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูปจากเส้นพลาสติกที่มีความชื้นต่ำ

จากปัญหาเกี่ยวกับความชื้นที่เส้นวัสดุในลอนก่อนการขึ้นรูปด้วยการพิมพ์ 3 มิติ ทางคณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบของความชื้นที่มีผลต่อสมบัติทางกลของเส้นวัสดุในลอน 6 ที่มีความชื้นในช่วงเวลาของการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมในช่วงเวลาที่ต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้ใช้ ในการตัดสินใจก่อนนำเส้นพลาสติกมาพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน 3 มิติ

2. วัสดุ อุปกรณ์ และกระบวนการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ในการศึกษานี้ใช้เส้นวัสดุในลอน 6 หรือ Polyamide 6 (PA6) ขนาด 1.75 มิลลิเมตรในการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3 และเส้นวัสดุในลอนในสถานะแห้งมีสมบัติทางกลแสดงดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 เส้นพลาสติกในลอน 6

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของเส้นวัสดุไนลอน 6 [9]

Property	Typical Value
Tensile strength	67.7 ± 4.7 MPa
Impact strength	13.34 ± 0.5 kJ/m ²

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

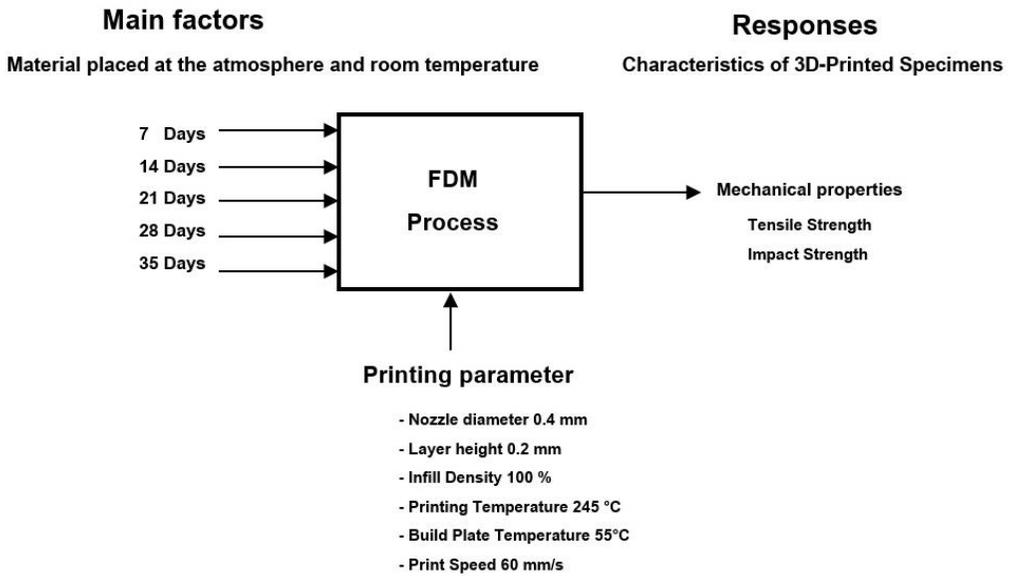
ใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ FLASHFORGE รุ่น GUIDER II สามารถพิมพ์งานได้กว้าง 280 มม. ยาว 250 มม. และสูง 300 มม. หัวฉีดขนาด 0.4 มิลลิเมตร มีความเร็วในการฉีดสูงสุด 200 มิลลิเมตร ต่อวินาที หัวฉีด Hi-Temp ทำความร้อนได้ 300 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4 เพื่อใช้ในการสร้างชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 4 เครื่องพิมพ์ 3 มิติ FLASHFORGE

2.3 กระบวนการวิจัย

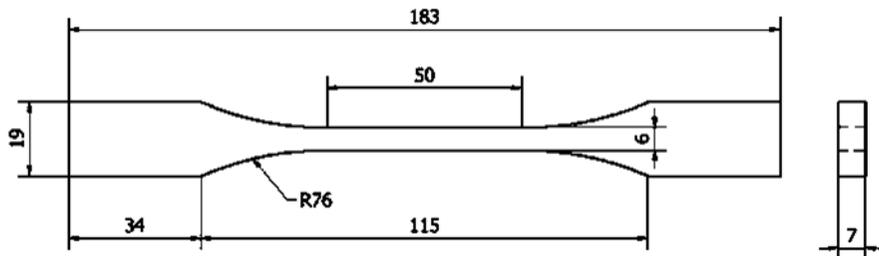
ในการทดลองเพื่อทำการศึกษาเพิ่มถึงผลกระทบของความชื้นที่มีผลต่อสมบัติทางกลของเส้นวัสดุไนลอนที่มีความชื้นในช่วงเวลาของการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมในช่วงเวลาที่ต่างกัน และทำการพิมพ์ชิ้นรูปชิ้นงานทดสอบเพื่อทดสอบสมบัติทางกลทางด้านความสามารถรับแรงดึง (Tensile Strength) และทดสอบสมบัติทางกลทางด้านความสามารถรับแรงกระแทก (Impact strength) ของชิ้นงานทดสอบที่ช่วงเวลามสัมผัสกับสภาพแวดล้อมในช่วงเวลาที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 5



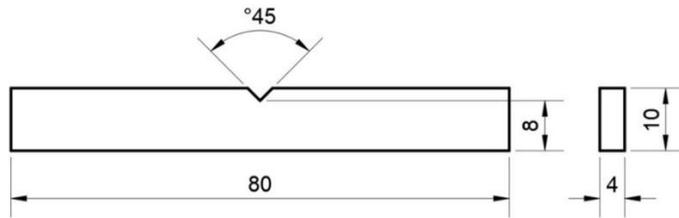
รูปที่ 5 ปัจจัยในการดำเนินงานวิจัย

2.3.1 การเตรียมวัสดุในการทดลอง

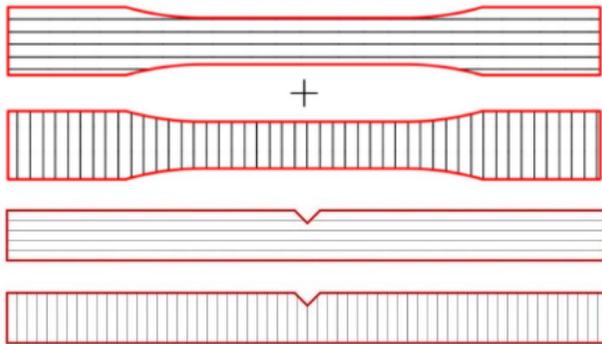
ม้วนวัสดุในล่อนจะถูกวางไว้ในห้องทดลองที่บรรยากาศและอุณหภูมิห้องในระยะเวลาที่ต่างกันเพื่อให้วัสดุดูดซับความชื้นเข้าไปในตัวของวัสดุที่ปริมาณต่างกันตามช่วงเวลา [1] โดยกำหนดระยะเวลาไว้ 5 ช่วง คือ 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน ซึ่งวัสดุในล่อนที่ได้ในแต่ละช่วงจะถูกนำมาพิมพ์เป็นชิ้นงานทดสอบสำหรับทดสอบความสามารถในการรับแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D638-10 Type II [10] ดังแสดงในรูปที่ 6 และความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact Strength) รูปแบบ Charpy impact test ตามมาตรฐาน ISO 179-1/1eA [11] ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยกำหนดทิศทางการพิมพ์ขึ้นรูป (Fill Pattern) ตามแนวยาวและขวางทำมุม 0° และ 90° ดังแสดงในรูปที่ 8 เนื่องจากการพิมพ์ขึ้นรูปในลักษณะดังกล่าวสามารถรับแรงดึงได้สูงสุด [12]



รูปที่ 6 มิติของชิ้นงานทดสอบความสามารถรับแรงดึง (Tensile Strength)



รูปที่ 7 มิติของชิ้นงานทดสอบความสามารถรับแรงกระแทก (Impact Strength)



รูปที่ 8 ทิศทางการพิมพ์ชิ้นรูป (Fill Pattern) ของชิ้นงานทดสอบ

2.3.2 การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

เส้นพลาสติกในลอนในแต่ละช่วงของระยะเวลาที่วางไว้ในห้องทดลองที่บรรยากาศและอุณหภูมิห้องที่ต่างกัน 5 ชั่วโมง จะถูกนำมาขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบสมบัติทางกลทางด้านความสามารถรับแรงดึงดังแสดงในรูปที่ 9 และชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบสมบัติทางด้านความสามารถรับแรงกระแทกดังแสดงในรูปที่ 10 ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ FLASHFORGE รุ่น GUIDER IIs โดยใช้หัวพิมพ์ขนาด 0.4 มิลลิเมตร ความสูงในแต่ละชั้นของการพิมพ์ 0.2 มิลลิเมตร การเติมเนื้อภายในของชิ้นงานทดสอบแบบ 100% อุณหภูมิในการพิมพ์ 245 องศาเซลเซียส อุณหภูมิฐานพิมพ์ 55 องศาเซลเซียส และความเร็วในการพิมพ์ 60 มิลลิเมตรต่อวินาที ดังแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 9 ชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบความสามารถในการรับแรงดึง



รูปที่ 10 ชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบความสามารถในการรับแรงกระแทก

ตารางที่ 2 การกำหนดค่าการพิมพ์ชิ้นรูปชิ้นงานทดสอบ

Nozzle diameter [mm]	0.4
Layer height [mm]	0.2
Infill Density [%]	100
Printing Temperature [°C]	245
Build Plate Temperature [°C]	55
Print Speed [mm/s]	60

2.3.3 การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical Properties Testing)

สมบัติทางกลทางด้านความสามารถรับแรงดึง (Tensile Strength) จะถูกทำการทดสอบ โดยการทดสอบความสามารถรับแรงดึงถูกกำหนดตามมาตรฐาน ASTM D638 ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine (UTM) โดยทำการติดตั้งชิ้นงานทดสอบให้ระยะห่างระหว่างหัวจับ 115 มิลลิเมตร และใช้หัวจับชิ้นงานทดสอบแรงดึงแบบ Wedge grip หนีบที่ระยะ 115 มิลลิเมตร และกำหนดความเร็วขณะดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที โดยค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบเป็นค่าแรงดึงสูงสุด

ค่าแรงดึงสูงสุดจะถูกใช้เข้ามาหาค่า Ultimate Tensile Strength ดังสมการ (1) โดยพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบมีขนาดความกว้าง 6 มิลลิเมตร และสูง 7 มิลลิเมตร

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

เมื่อ σ = Ultimate Tensile Strength

F = ค่าแรงดึงสูงสุดที่ได้จากเครื่องทดสอบแรงดึง

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบ

สมบัติทางกลทางด้านความสามารถรับแรงกระแทก (Impact Strength) จะถูกทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทกในรูปแบบ Charpy impact test ตามมาตรฐาน ISO 179-1 โดยติดตั้งชิ้นงานทดสอบในแนวนอนและใช้หัวตีกระแทกแบบ Charpy ที่มีน้ำหนักลูกตุ้ม 2 กิโลกรัม และความยาวของแขนยึดลูกตุ้มยาว 1 เมตร โดยกำหนดมุมเริ่มต้นของหัวตีที่ 160 องศา ข้อมูลที่ได้หลังการทดสอบคิดเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการตีกระแทก โดยคำนวณจากสมการที่ (2)

$$W = F \times L(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2)$$

เมื่อ W = ค่าพลังงานที่ใช้ในการตีกระแทก (นิวตันเมตร)

F = น้ำหนักของลูกตุ้ม (กิโลกรัม)

L = ความยาวของแขนลูกตุ้ม

α = มุมยกของลูกตุ้มเริ่มต้นก่อนกระแทก

β = มุมยกของลูกตุ้มสุดท้ายหลังกระแทก

2.3.4 สถิติในการศึกษาวิจัย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) โดยทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลักและผลกระทบจากความสัมพันธ์ร่วมของปัจจัยว่ามีอิทธิพลต่อค่าผลตอบหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยกำหนดสมมติฐานระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องที่แตกต่างกันจะมีผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึง และผลกระทบต่อความต้านทานแรงกระแทกหรือไม่

สมมติฐานของงานวิจัย

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_1 = \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่}$$

การวิเคราะห์ผลทางสถิติของช่วงเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องที่แตกต่างกัน 5 ระดับจะมีผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึง ได้ตั้งข้อสมมติฐานไว้ ดังนี้

H_0 = ระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องทั้ง 5 ระดับไม่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง

H_1 = ระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องทั้ง 5 ระดับมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง

การวิเคราะห์ผลทางสถิติของช่วงเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องที่แตกต่างกัน 5 ระดับจะมีผลกระทบต่อความต้านทานแรงกระแทก ได้ตั้งข้อสมมติฐานไว้ ดังนี้

H_0 = ระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องทั้ง 5 ระดับไม่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงกระแทก

H_1 = ระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องทั้ง 5 ระดับมีผลต่อค่าความต้านทานแรงกระแทก

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 สมบัติทางกลทางด้านความสามารถรับแรงดึง (Tensile Strength)

ผลการทดสอบความสามารถรับแรงดึงกระทำโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D638-10 โดยการปล่อยวัสดุในลอนไว้ในบรรยากาศห้องทดลองที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาที่ต่างกัน 5 ช่วง ก่อนนำวัสดุมาเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ขึ้นรูป ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าผลของระยะเวลาในการปล่อยวัสดุทิ้งไว้ในบรรยากาศห้องทดลองเป็นเวลานานก่อนนำมาพิมพ์ขึ้นรูปจะทำให้ชิ้นงานทดสอบมีลักษณะการเสียหายเหมือนกับวัสดุที่มีความเปราะ ส่วนวัสดุที่ถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศห้องทดลองเป็นระยะเวลาที่สั้นกว่า ลักษณะการเสียหายจะเหมือนกับวัสดุที่มีความเหนียว ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าการรับแรงดึงของชิ้นงานทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 11 เปรียบเทียบลักษณะการเสียหายของชิ้นงานทดสอบจากแรงดึง (ด้านบน) ชิ้นงานทดสอบที่ขึ้นรูปจากเส้นพลาสติกที่ถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศห้องทดลอง 7 วัน (ด้านล่าง) ชิ้นงานทดสอบที่ขึ้นรูปจากเส้นพลาสติกที่ถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศห้องทดลอง 35 วัน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าการรับแรงดึงของชิ้นงานทดสอบ [หน่วย:นิวตัน]

ครั้งที่	ระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้อง				
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
1	2039.17	1636.67	1681.67	1388.33	1185.00
2	1993.33	1888.33	1645.00	1373.33	1160.00
3	1948.33	1757.50	1707.50	1375.83	1172.33
4	2170.00	1887.50	1709.17	1400.00	1186.22
5	2175.00	1761.67	1728.33	1395.83	1169.23
เฉลี่ย	2065.17	1786.33	1694.33	1386.67	1174.56

นำค่าการรับแรงดึงของชิ้นงานทดสอบมาหาค่าความเค้นแรงดึง โดยอ้างอิงจากสมการ (1) จะได้ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ดังตารางที่ 4

จากผลการทดลองตารางที่ 4 ข้อมูลค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดถูกวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 5 จากค่า P-Value ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าเรามีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) นั้นแสดงว่าจำนวนระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของวัสดุ โดยที่ได้ค่า $R\text{-sq}(\text{adj}) = 95.60$ แสดงว่ามีความแม่นยำสูง จากรูปที่ 12 พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องจาก 7 วัน เป็น 35 วันส่งผลให้

ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดลดลงตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 7 วัน ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมากกว่าช่วงระยะเวลาอื่นที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 %

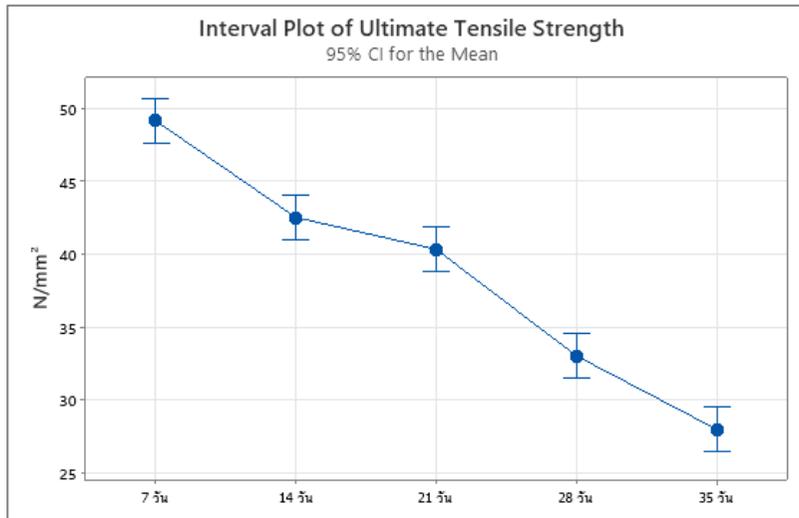
ตารางที่ 4 ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด [หน่วย:นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร]

ครั้งที่	ระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้อง				
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
1	48.55	38.97	40.04	33.06	28.21
2	47.46	44.96	39.17	32.70	27.62
3	46.39	41.85	40.65	32.76	27.91
4	51.67	44.94	40.69	33.33	28.24
5	51.79	41.94	41.15	33.23	27.84
เฉลี่ย	49.17	42.53	40.34	33.02	27.97
Pooled StDev = 1.616					

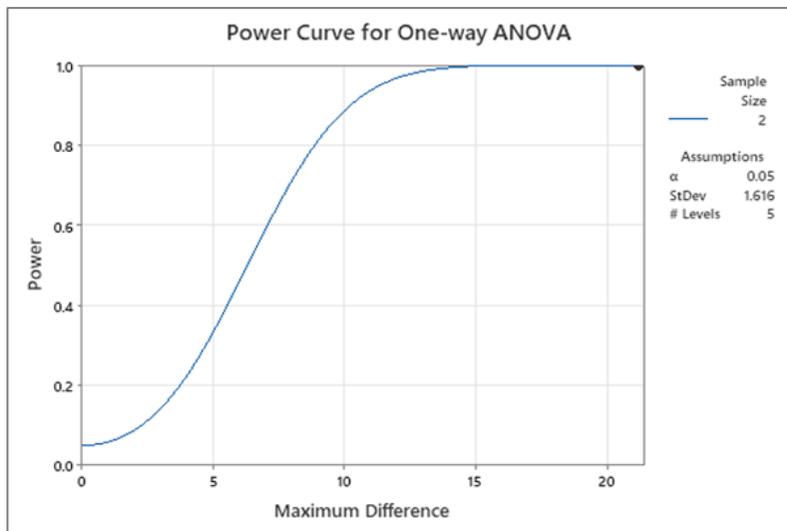
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแรงดึง

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F - value	P - value
humidity	4	2,421,094	605,273	131.28	0.000
Error	20	92,212	4,611		
Total	24	2,513,306			
R-sq = 96.33%, R-sq(adj) = 95.60%, R-sq(predict) = 94.27%					

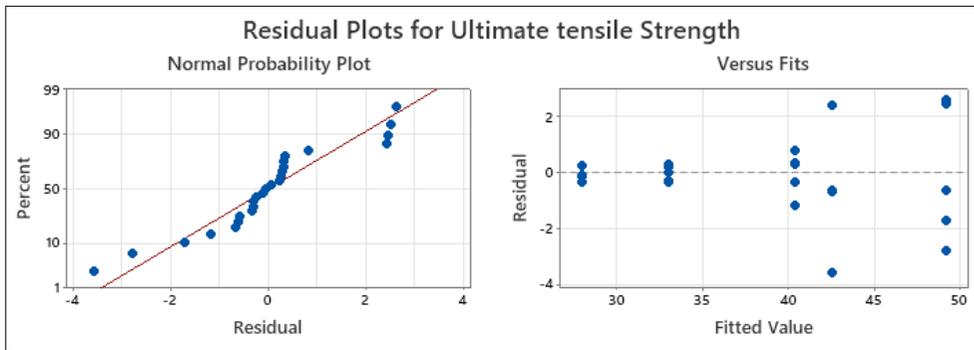
ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการมากลุ่มละ 5 ชิ้น ซึ่งมากกว่าการคำนวณจำนวนตัวอย่างที่คำนวณได้ 2 ตัวอย่างดังรูปที่ 13 ซึ่งหาได้จากการกำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมจากข้อมูลทั้ง 5 กลุ่ม (Pooled StDev) = 1.616 และค่าส่วนต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่มากที่สุดและน้อยที่สุดเท่ากับ 21.2



รูปที่ 12 กราฟแสดงระยะเวลาของไหลล่อนที่ถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องเทียบ กับค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด



รูปที่ 13 ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมของการทดสอบค่าการรับแรงดึง



รูปที่ 14 ส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลสำหรับค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

จากรูปที่ 14 การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างจากผลการทดลองค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น ซึ่งเห็นได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างของผลตอบมีการกระจายตัวแบบปกติ จุดของส่วนตกค้างบนกราฟเรียงตัวกันมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ปกติ ในขณะที่ Versus Fits จุดกระจายตัวเท่า ๆ กันรอบค่า 0 และ Versus Order มีการกระจายตัวโดยไม่มีรูปแบบใด ๆ แสดงว่าข้อมูลเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ

3.2 สมบัติทางกลทางด้านความสามารถรับแรงกระแทก (Impact Strength)

ผลการทดสอบความสามารถรับแรงกระแทกกระทำการทดสอบในรูปแบบ Charpy impact test ตามมาตรฐาน ISO 179-1 โดยการปล่อยวัสดุในลอนไว้ในบรรยากาศห้องทดลองที่อุณหภูมิห้อง ในระยะเวลาที่ต่างกัน 5 ช่วง ก่อนนำวัสดุมาเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ขึ้นรูป ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการปล่อยวัสดุทิ้งไว้ในบรรยากาศห้องทดลองเป็นเวลานานก่อนนำมาพิมพ์ขึ้นรูปจะทำให้ชิ้นงานทดสอบมีลักษณะแตกหักเป็นชั้นซึ่งเกิดจากการยึดติดกันที่ไม่สมบูรณ์ระหว่างชั้นในการขึ้นรูป ส่วนวัสดุที่ถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศห้องทดลองเป็นระยะเวลาที่สั้นกว่า ลักษณะการแตกหักในแต่ละชั้นจะขาดเป็นแนวเส้นตรง ซึ่งบอกถึงการยึดติดของแต่ละชั้นที่ดีกว่า ดังแสดงในรูปที่ 15 ซึ่งสอดคล้องกับผลของค่าการรับแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบดังแสดงในตารางที่ 6



รูปที่ 15 เปรียบเทียบลักษณะการเสียหายของชิ้นงานทดสอบจากแรงกระแทก (ด้านบน) ชิ้นงานทดสอบที่ขึ้นรูปจากเส้นพลาสติกที่ถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศห้องทดลอง 7 วัน (ด้านล่าง) ชิ้นงานทดสอบที่ขึ้นรูปจากเส้นพลาสติกที่ถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศห้องทดลอง 35 วัน

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบค่าการรับแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบ [หน่วย:นิวตันเมตร]

ครั้งที่	ระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้อง				
	7 วัน	14 วัน	21 วัน	28 วัน	35 วัน
1	13.11	11.99	11.60	10.16	9.31
2	13.04	11.90	11.39	10.73	9.19
3	12.88	12.37	11.39	10.27	9.31
4	12.96	11.90	11.49	10.27	8.94
5	13.04	12.28	11.18	10.51	9.31
เฉลี่ย	13.01	12.09	11.41	10.39	9.21
Pooled StDev = 0.178					

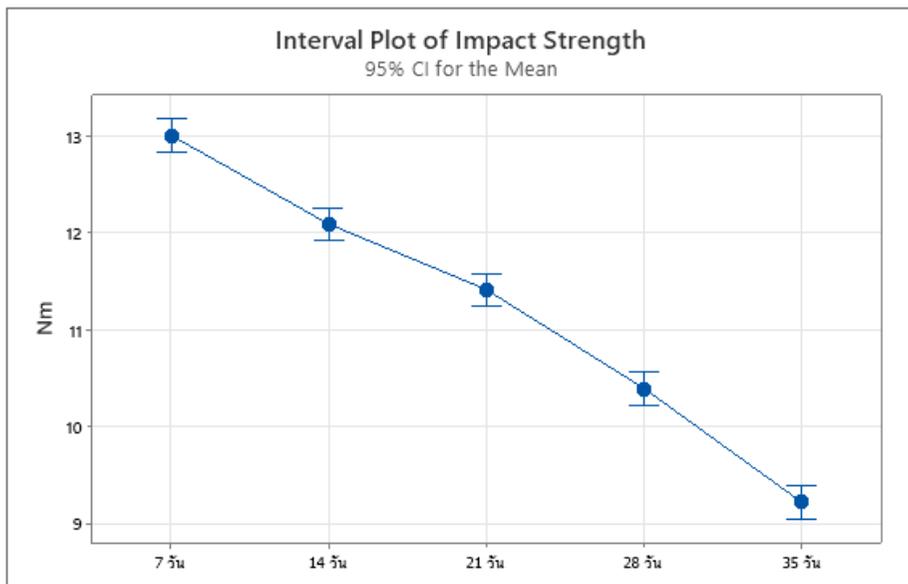
จากผลการทดลองตารางที่ 6 ข้อมูลค่าความต้านทานแรงกระแทก ถูกวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังตารางที่ 7 จากค่า P-Value ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าเรามีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) นั้น แสดงว่าจำนวนระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องมีผลต่อค่าความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุ โดยที่ได้ค่า R-sq(adj) = 98.26 แสดงว่ามีความแม่นยำสูง จากรูปที่ 16 พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องจาก 7 วัน เป็น 35 วัน

ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลงตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 7 ให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกมากกว่าช่วงระยะเวลาอื่นที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 95 %

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแรงกระแทก

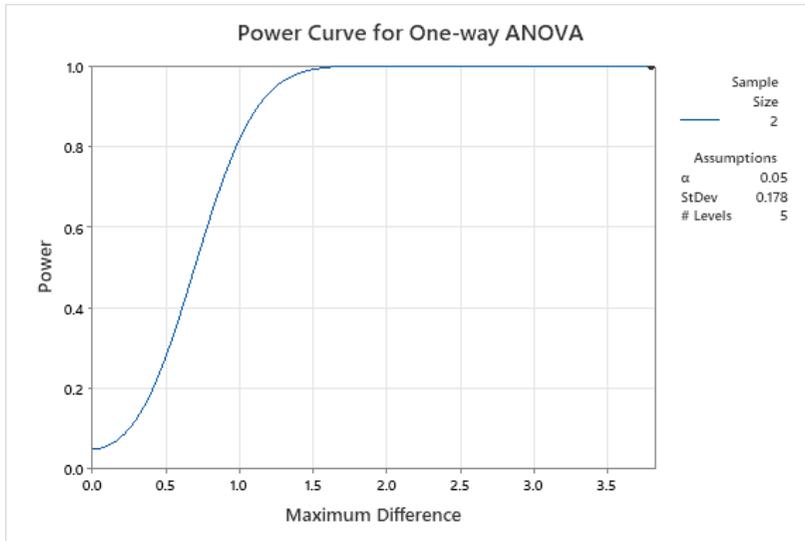
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F - value	P - value
humidity	4	43.5180	10.8795	340.54	0.000
Error	20	0.6390	0.0319		
Total	24	44.1570			

R-sq = 98.55%, R-sq(adj) = 98.26%, R-sq(predict) = 97.74%

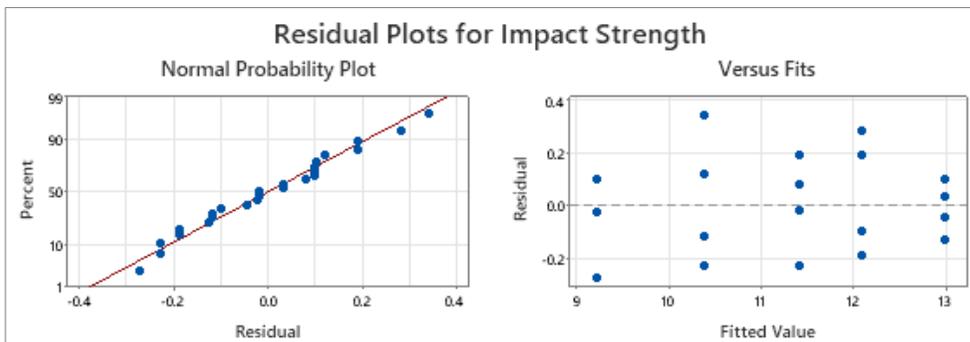


รูปที่ 16 กราฟแสดงระยะเวลาของไหลล่อนที่ถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องเทียบกับค่าความต้านทานแรงกระแทก

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการมากลุ่มละ 5 ชิ้น ซึ่งมากกว่าการคำนวณจำนวนตัวอย่างที่คำนวณได้ 2 ตัวอย่างดังรูปที่ 17 ซึ่งหาได้จากการกำหนดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวมจากข้อมูลทั้ง 5 กลุ่ม (Pooled StDev) = 0.178 และค่าส่วนต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่มากที่สุดและน้อยที่สุดเท่ากับ 3.8



รูปที่ 17 ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมการทดสอบค่าการรับแรงกระแทก



รูปที่ 18 ส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลสำหรับค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

จากรูปที่ 18 การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างจากผลการทดลองค่าความต้านทานแรงกระแทกไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น ซึ่งเห็นได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างของผลตอบมีการกระจายตัวแบบปกติ จุดของส่วนตกค้างบนกราฟเรียงตัวกันมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ปกติ ในขณะที่ Versus Fits จุดกระจายตัวเท่า ๆ กันรอบค่า 0 และ Versus Order มีการกระจายตัวโดยไม่มีรูปแบบใด ๆ แสดงว่าข้อมูลเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นทางสถิติ

4. สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่าจำนวนระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของวัสดุ เมื่อเพิ่มจำนวนระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องจาก 7 วัน เป็น 35 วัน ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดลดลงตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 7 วัน ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดอยู่ที่ 49.17 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าช่วงระยะเวลาอื่น และระยะเวลา 35 วัน ให้ค่าความต้านทานแรงดึงต่ำสุดอยู่ที่ 27.97 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ในส่วนค่าความต้านทานแรงกระแทก พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนระยะเวลาที่วัสดุถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องจาก 7 วัน เป็น 35 วัน ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลงตามลำดับเช่นเดียวกัน ซึ่งที่ระยะเวลา 7 วัน ให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกมากกว่าช่วงระยะเวลาอื่น โดยที่ระยะเวลา 7 วัน ให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกสูงสุดอยู่ที่ 13.01 นิวตันเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าช่วงระยะเวลาอื่น และระยะเวลา 35 วัน ให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกต่ำสุดอยู่ที่ 9.21 นิวตันเมตร นั้นแสดงว่าเมื่อเส้นพลาสติกในลอนถูกปล่อยทิ้งไว้ในสภาวะบรรยากาศห้องจาก 7 วัน เป็น 35 วัน ทำให้เส้นพลาสติกดูรับความชื้นจนทำให้เส้นพลาสติกมีความชื้นสูงขึ้น [1] มีผลทำให้สมบัติทางด้านความต้านทานแรงดึงลดลง 43.1% และความต้านทานแรงกระแทกของชิ้นงานทดสอบลดลง 29.2% ตามลำดับ

5. ข้อเสนอแนะ

แนวทางการวิจัยต่อไปในอนาคต ควรศึกษาผลกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานทดสอบเพิ่มเติม เช่น ความหยابผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน และสามารถนำแนวทางการศึกษาวิจัยครั้งนี้ไปใช้ในการศึกษาเส้นวัสดุชนิดอื่น ๆ หรือเส้นพลาสติกในลอนเกรดที่ใกล้เคียงกัน

References

- [1] Haijun G, Michael R, Zezheng W, Lianjun W. Impact of moisture absorption on 3D printing nylon filament. Solid Freeform Fabrication 2022: Proceedings of the 33rd Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference; 2022 Jul 25-27; Austin, Texas USA. Austin: The University of Texas at Austin; 2022. p.16-22.

- [2] Jiang S, Liao G, Xu D, Liu F, Li W, Cheng Y, et al. Mechanical properties analysis of polyetherimide parts fabricated by fused deposition modeling. *High Perform Polymers* 2019;31(1):97-106.
- [3] El Magri A, El Mabrouk K, Vaudreuil S, Chibane H, Touhami ME. Optimization of printing parameters for improvement of mechanical and thermal performances of 3D printed poly (ether ketone) parts. *Journal of Applied Polymer Science* 2020;137(37):49087.
- [4] Valerga AP, Batista M, Salguero J, Girot F. Influence of PLA filament conditions on characteristics of FDM parts. *Materials*. 2018;11(8):1322.
- [5] Thai Meteorological Department. Climate of Thailand [Online]. 2022 [cited 2023 Mar 5]. Available from: <https://www.tmd.go.th/info>. (In Thai)
- [6] Nattawat. How to select 3D filament for 3D printer [Online]. 2018 [cited 2023 Mar 5]. Available from: <https://www.siamreprep.com/2020/01/how-to-select-3d-filament-for-3d-printer/#nylon-filament>. (In Thai)
- [7] Monson L, Braunwarth M, Extrand CW. Moisture absorption by various polyamides and their associated dimensional changes. *Journal of Applied Polymer Science* 2008;107: 355-63.
- [8] Banjo AD, Agrawal V, Auad ML, Celestine AN. Moisture-induced changes in the mechanical behavior of 3D printed polymers. *Composites Part C: Open Access* 2022;7: 100243.
- [9] Polymaker. Technical Data Sheet [Online]. 2023 [cited 2023 Mar 5]. Available from: <https://polymaker.com/product/polymide-pa6-cf/>
- [10] ASTM International. D638 – 10. Standard test method for tensile properties of plastics. [Online]. 2020 [cited 2023 Mar 5]. Available from: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4839427/mod_resource/content/4/D638.1207962-1.pdf
- [11] International Organization for Standardization. ISO 179-1:2000. Plastics - determination of charpy impact properties - part 1: non-instrumented impact test. Geneva, Switzerland: ISO; 2000.
- [12] Bonada J, Pastor M, Buj-Corral I. Influence of infill pattern on the elastic mechanical properties of fused filament fabrication (FFF) parts through experimental tests and numerical analyses. *Materials* 2021;14(18):5459.

ประวัติผู้เขียนบทความ



อุกฤษฏ์ ธนทรัพย์ทวี อาจารย์ประจำหลักสูตรคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก โทรศัพท์ 055-515900 E-mail: t.ukrit@edu.rmutl.ac.th
Interested Field: Productivity Improvement and Design of Experiments



มานุษ น้าฟู อาจารย์ประจำหลักสูตรคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก โทรศัพท์ 083-8760479 E-mail: mnf.impe@gmail.com
Interested Field: Advanced Manufacturing Technology



กิตติ วิโรจรัตนภาพิตาส อาจารย์ประจำหลักสูตรคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก โทรศัพท์ 055-515900 E-mail: kibuya@gmail.com
Interested Field: Productivity Improvement and Design of Experiments

Article History:

Received: January 11, 2024

Revised: April 7, 2024

Accepted: April 19, 2024