

การศึกษาและพัฒนาสกรูเดือยหมูสำหรับ กระบวนการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

The Study and Development of Feed Screw for Briquette Charcoal Forming Process

พงษ์พันธุ์ ฤกษ์ชุมทรัพย์¹ ภาณุรุจ ยะเรือน^{1*} และ จรัสศรี เสือทับทิม¹
Pongpun Rerkkumsup¹, Panurut Yaruan^{1*},
and Jaratsri Soeatuptim¹

Received: 15 June 2023

Revised: 3 October 2023

Accepted: 3 February 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงการศึกษาและพัฒนาสกรูเดือยหมูสำหรับกระบวนการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการสึกหรอของสกรูเดือยหมูในกระบวนการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง แบบจำลองถูกออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks และวิเคราะห์ผลด้วยไฟไนท์อีลิเมนต์ โดยเริ่มต้นจากการกำหนดให้สกรูเดือยหมูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 75 มิลลิเมตร ความยาวรวม 457 มิลลิเมตร ระยะเกลียวยาว 300 มิลลิเมตร เกลียวรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูจำนวน 7 ร่องเกลียว ระยะพิทช์คงที่ 40 มิลลิเมตร โคนเกลียวกว้าง 17.40 มิลลิเมตร หน้าเกลียวทั้งด้านหน้าและด้านหลังเอียงทำมุม 70 องศา สันเกลียวสูง 14 มิลลิเมตร จากนั้นทำการแปรค่าความหนาของสันเกลียว และมุมเอียงสันเกลียวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ผลการจำลองและวิเคราะห์ความแข็งแรง แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความชันสันเกลียวส่งผลให้อายุการใช้งานของสกรูเดือยหมุนั้นลดลง เนื่องจากค่าความเค้นสูงสุดที่เพิ่มมากขึ้น ขณะที่ความหนาของสันเกลียวก็ส่งผลให้ความทนทานการสึกหรอก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นการปรับสันเกลียวด้านหน้าให้มีความชันมากขึ้นและเพิ่มความหนาของสันเกลียวจึงให้ผลดีมากกว่าผลเสีย

คำสำคัญ: สกรูเดือยหมู การวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์อีลิเมนต์ การขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10330

¹ Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 10330

*ผู้พันธ์ประสานงาน (Corresponding author) e-mail: panurut@pit.ac.th

ABSTRACT

This research describes the study and development of feed screw for briquette charcoal forming process. To reduce feed screw wearing down in briquette charcoal extrusion process. The simulation was designed in SolidWorks programs and analyzed with Finite Element. Firstly, the dimension of feed screw are define with diameter 75 mm, total length 457 mm, thread pitch 300 mm, 7 trapezoidal threads, fixed pitch 40 mm, thread base width 17.40 mm, angle of thread faces 70 degrees and spiral ridge height 14 mm and adjust that, respectively. The experimental strength and analysis results of feed screw are found that, although increasing of the thread ridge will shorten the service life of the feed screw because the increased of maximum stress but the thickness of the spiral ridge also increases endurance. Therefore, adjusting the slope of thread faces, more advantages.

Keywords: Feed Screw; Finite Element Analysis; Charcoal Briquette Forming Process

บทนำ

จากสถานการณ์ในปัจจุบันราคาของเชื้อเพลิงมีอัตราการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง หลายภาคส่วนทั่วโลกจึงพยายามแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการวิจัยและพัฒนาเชื้อเพลิงทดแทน [1] โดยมุ่งหวังเป็นแนวทางในการลดต้นทุนด้านพลังงาน ดังนั้นเชื้อเพลิงอัดแท่งผลิตจากชีวมวล [2, 3] หรือถ่านอัดแท่งจึงเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงทางเลือกที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่ให้ความร้อนได้เป็นเวลานานและสม่ำเสมอ อีกทั้งยังสามารถปรับแต่งหรือเพิ่มประสิทธิภาพได้ด้วยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน [4] ทำให้เชื้อเพลิงดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสูงขึ้น ติดไฟได้ง่าย ควันน้อยและไม่เกิดการปะทุจนกระเด็น ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถผลิตได้จากวัสดุในท้องถิ่น [5 - 7] และด้วยกระบวนการผลิตที่ง่ายและไม่ซับซ้อนจึงทำให้ถ่านอัดแท่งได้รับความนิยมสูงจากทั้งภาคธุรกิจและครัวเรือนในการเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก

จากการทบทวนงานวิจัยและวรรณกรรมวิชาการพบว่ากระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งนั้นสามารถทำได้หลากหลายวิธี [8 - 11] แม้ว่าวิธีการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบสกรูเกลียวเดียวหมุนจะได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถขึ้นรูปถ่านอัดแท่งได้ต่อเนื่อง เนื้อถ่านที่ได้แน่นและขนาดสม่ำเสมอ [10, 11] แต่กระบวนการดังกล่าวมักก่อให้เกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนในการขึ้นรูปและมีอายุการใช้งานที่สั้น [12] ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นพัฒนาและนำเสนอแนวคิดในการออกแบบสกรูเกลียวเดียวหมุนในการอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง โดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks [13] อีกทั้งยังวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ระยะเวลาและมุมของเกลียวที่เหมาะสมในการสร้างสกรูเกลียวเดียวหมุนในการอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของด้านความแข็งแรง ลดปัญหาการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานสกรูเกลียวเดียวหมุนในการอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

วิธีดำเนินการวิจัย

สกรูเดือยหมสำหรับกระบวนการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง

1. โครงสร้างของสกรูเดือยหม

สกรูเดือยหมที่ผู้ผลิตใช้ขึ้นรูปถ่านอัดแท่งซึ่งติดตั้งมากับเครื่องอัดขึ้นรูปมีโครงสร้างดังแสดงใน Figure 1 (A) สกรูเดือยหมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร ความยาวรวม 457 มิลลิเมตร ระยะเกลียวยาว 300 มิลลิเมตร เกลียวรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูจำนวน 7 ร่องเกลียว ระยะพิทช์คงที่ 40 มิลลิเมตร โคนเกลียวกว้าง 17.40 มิลลิเมตร หน้าเกลียวทั้งด้านหน้าและด้านหลังเอียงทำมุม 70 องศา สันเกลียวสูง 14 มิลลิเมตร ดังแสดงใน Figure 1 (B)

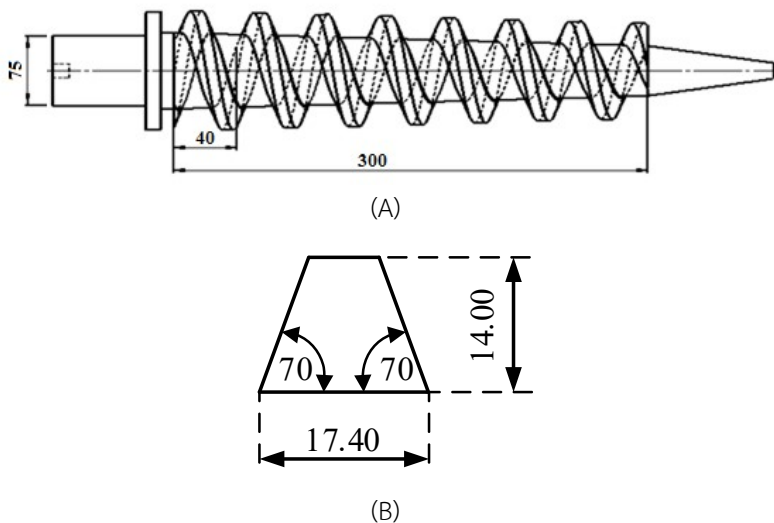


Figure 1 (A) The Structure of propose feed screw.

(B) The Dimension of propose feed screw.

คณะวิจัยได้พิจารณาตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตถ่านอัดแท่ง ได้แก่ มุมป้อนของหน้าเกลียวสกรูเดือยหม รูปทรงของสันเกลียวและระยะพิทช์ เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพการผลิตของถ่านอัดแท่งเมื่อสันเกลียวเกิดการสึกหรอ โดยส่งผลให้ถ่านอัดแท่งมีความหนาแน่นลดลงจนไม่สามารถนำไปผ่านกระบวนการผลิตขั้นตอนต่อไปได้ อัตราการผลิตที่ลดลงเนื่องจากต้องหยุดเครื่องเพื่อเปลี่ยนสกรูเดือยหม ต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องซ่อมแซมสกรูเดือยหมที่สึกหรอด้วยการเชื่อมพอกและแต่งสันเกลียว คณะวิจัยจึงออกแบบสกรูเดือยหมในโปรแกรม SolidWorks [14] เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้งานที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์ความแข็งแรงเพื่อทำการเปรียบเทียบตัวแปรสำคัญที่ศึกษาด้วยโปรแกรม CosmosWorks [15] โดยคณะวิจัยมุ่งศึกษามุมป้อนของหน้าเกลียวสกรูเดือยหม รูปทรงของสันเกลียว ระยะพิทช์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการผลิต รวมถึงวัสดุที่เหมาะสมกับการผลิตสกรูเดือยหม ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานของสกรูเดือยหมและต้นทุนในการซ่อมบำรุง

2. การกำหนดเงื่อนไขในการจำลองสกรูเดือยหมเพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรง

การกำหนดเงื่อนไขแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของสกรูเดือยหมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ใช้การจับยึดที่ผิวทรงกระบอก (On Cylindrical Faces) โดยให้ความเร็วในการหมุนและแรงดันที่เกิดขึ้นบนสันเกลียวคงที่ ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ในระนาบ X,Y และ Z ดังแสดงใน Figure 2 (A) โหลดที่ใช้ในการวิเคราะห์

เป็นแบบหมุนเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal) ที่ความเร็วเชิงมุม 1,450 rad/s และโหลดแบบกด (Pressure) ขนาด 15 MPa ที่กระทำบริเวณผิวด้านหน้าและผิวด้านบนเกลียวเดือยหมุน ดังแสดงใน Figure 2 (B) และ Figure 2 (C) ตามลำดับ คณะวิจัยกำหนดให้แบบจำลองมีทั้งหมด 15,905 โหนด เอลิเมนต์ขนาด 9.33091 มิลลิเมตร แบ่งเป็นไฟไนต์เอลิเมนต์ย่อยจำนวน 9,692 เอลิเมนต์ เพื่อจำกัดขอบเขต กำหนดรูปร่างและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของปัญหาที่อาจเกิดขึ้นดังแสดงใน Figure 2 (D)

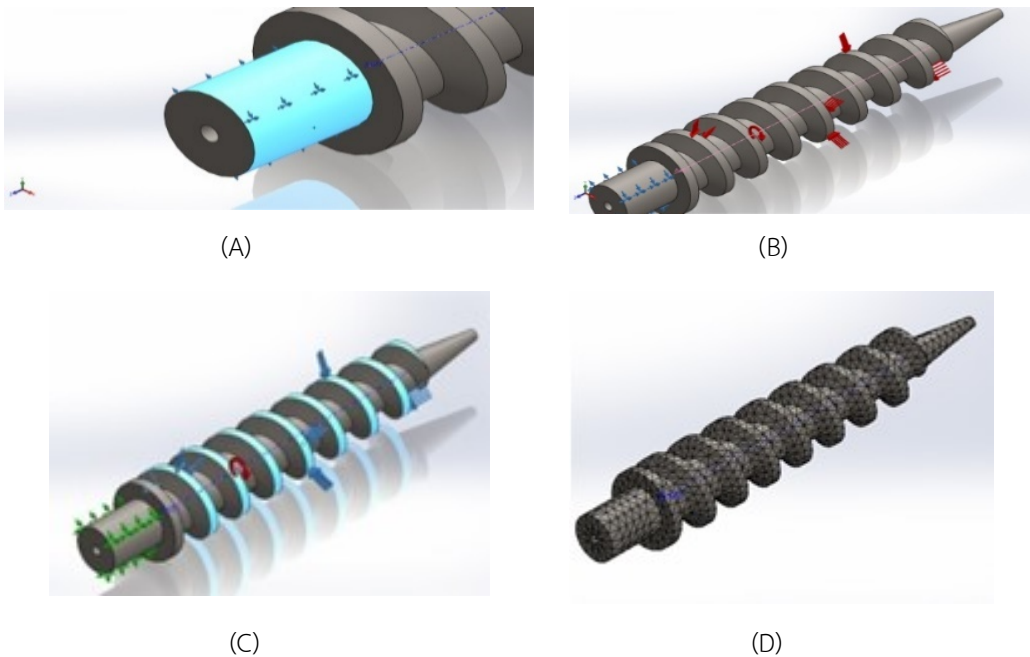


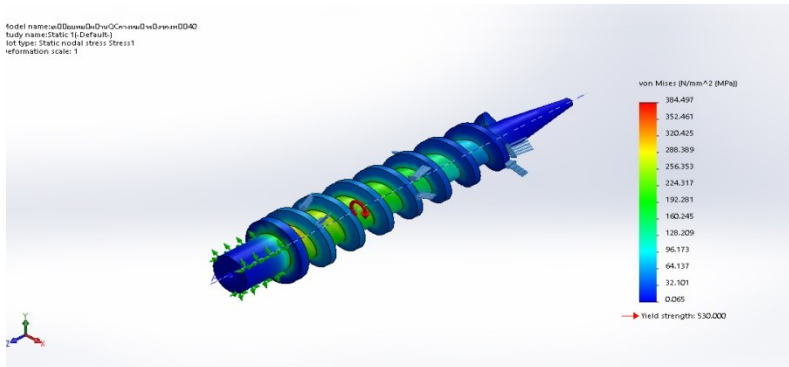
Figure 2 The condition of Simulation (A) Surface (B) Turning load
(C) Pressing load and (D) Sub element

Table 1 The characteristic of material

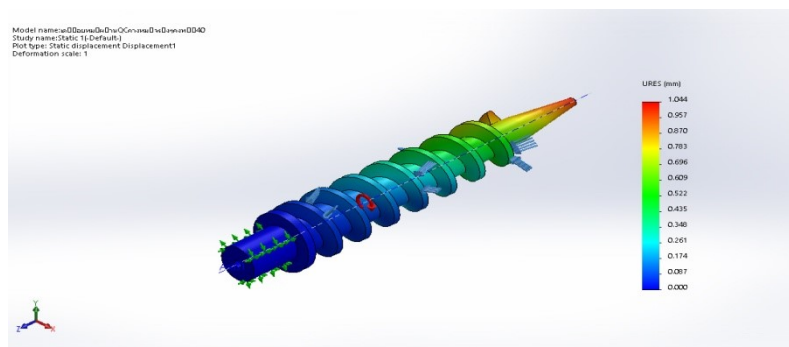
Material Type	Yield Stress (MPa)	Tensile Strength (MPa)
AISI 4340 Steel, normalized	710	1110
AISI 4340 Steel, annealed	470	745
AISI 1045	530	625
AISI 4130	460	731
AISI 1020	351.5	420.5

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของสกรูเดือยหนูในแบบจำลอง

จาก Table 1 แสดงคุณสมบัติของเหล็กที่คาดว่าจะมีความเหมาะสมต่อการนำไปผลิตสกรูเดือยหนู ผลการจำลองเพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของสกรูเดือยหนูแบบเดิมด้วยโปรแกรม Cosmos Works ดังแสดงใน Figure 3 (A) ได้ค่าความเค้นต่ำสุด (Von mises Minimum Stress) เท่ากับ 0.065 MPa และค่าความเค้นสูงสุด (Von mises Maximum Stress) เท่ากับ 384.497 MPa จากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของสกรูเดือยหนูที่มีโครงสร้างแบบเดิมโดยพิจารณาจากข้อมูลใน Table 1 จะพบว่า เหล็ก AISI 1020 มีความแข็งแรงไม่เหมาะสมกับการนำไปผลิตสกรูเดือยหนูเนื่องจากความเค้นคราก (Yield Stress) มีค่าต่ำเกินไป จึงอาจส่งผลให้สกรูเดือยหนูชำรุดเร็วกระทบต่ออัตราการผลิตและคุณภาพการผลิตเมื่อ เทียบกับ AISI 1045 ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของสกรูเดือยหนูโดยกำหนดค่าความแข็งแรงจุดคราก (Yield Strength) ของเหล็กให้ มีค่าเท่ากับ 530.000 MPa พบว่าค่าการขจัด (Displacement) ของแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 1.044 มิลลิเมตร ดังแสดงใน Figure 3 (B)



(A)



(B)

Figure 3 The simulation results of (A) strength and (B) Displacement in CosmosWorks

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างของสกรูเดือยหนู

จากปัญหาการสึกหรอของสกรูเดือยหนูในการขึ้นรูปถ่านอัดแท่ง คณะวิจัยจึงปรับปรุงโครงสร้างของสกรูเดือยหนูโดยทำการออกแบบมุมเอียงด้านหลังพื้นเกลียว (α) มุมเอียงด้านหน้าเกลียว (β) ดังแสดงใน Figure 4 (A) โดยสกรูเดือยหนูแบบเดิมมีมุมเอียงสันเกลียวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง 70 องศาเท่ากัน ความกว้างฐานเกลียว 17.40 มิลลิเมตรและความสูงสันเกลียว 14.00 มิลลิเมตร ในขณะที่สกรูแบบที่ 2 ถึงแบบที่ 5 มีมุมเอียงสันเกลียวทั้งด้านหน้าและด้านหลังเท่ากับ 75, 80, 85 และ 90 องศาเท่ากันตามลำดับ ความหนาสันเกลียว (W) เป็นไปตามสัดส่วน สกรูเดือยหนูแบบที่ 6 มีมุมเอียงสันเกลียวด้านหน้า 90 องศา ความหนาสันเกลียว 7.00 มิลลิเมตร มุมเอียงสันเกลียวด้านหลังเป็นไปตามสัดส่วนที่ 59.03 องศา ดังแสดงใน Figure 4 (B) สกรูเดือยหนูแบบที่ 1 ถึง แบบที่ 6 มีระยะพิตช์ของเกลียว 40 มิลลิเมตรเท่ากันทุกร่องเกลียวเหมือนสกรูเดือยหนูแบบเดิม สกรูเดือยหนูแบบที่ 7 ถึงแบบที่ 9 มีมิติและมุมเอียงสันเกลียวเหมือนสกรูเดือยหนูแบบที่ 6 แบบที่ 1 และแบบที่ 5 ตามลำดับ แต่มีระยะพิตช์แต่ละร่องเกลียวไม่เท่ากันที่ 50.0, 47.5, 45, 42.5, 40.0, 37.5 และ 24.5 องศา มีค่าเฉลี่ยระยะพิตช์ทุกร่องเกลียวเท่ากับ 41.00 มิลลิเมตร Figure 4 (C) แสดงแบบวาดของสกรูเดือยหนูแบบที่ 9 ซึ่งมีสันเกลียวเอียงทำมุม 90 องศาทั้ง 2 ด้านเหมือนสกรูเดือยหนูแบบที่ 5 และมีระยะพิตช์แต่ละร่องเกลียวไม่เท่ากัน โดยใน Table 2 ได้สรุปผลการจำลองเพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงและการบิดรูปเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของสกรูเดือยหนูทั้ง 9 แบบ ดังตัวอย่างการวิเคราะห์ความแข็งแรงของสกรูเดือยหนูแบบที่ 7 ที่มีมุมเอียงด้านหน้าเกลียว 90 องศา มุมเอียงด้านหลัง 59.03 องศาสันเกลียวหนา 9.00 มิลลิเมตร ระยะพิตช์ไม่คงที่ให้ค่าความเค้นสูงสุดบริเวณร่องเกลียวเท่ากับ 281.093 MPa แสดงใน Figure 5

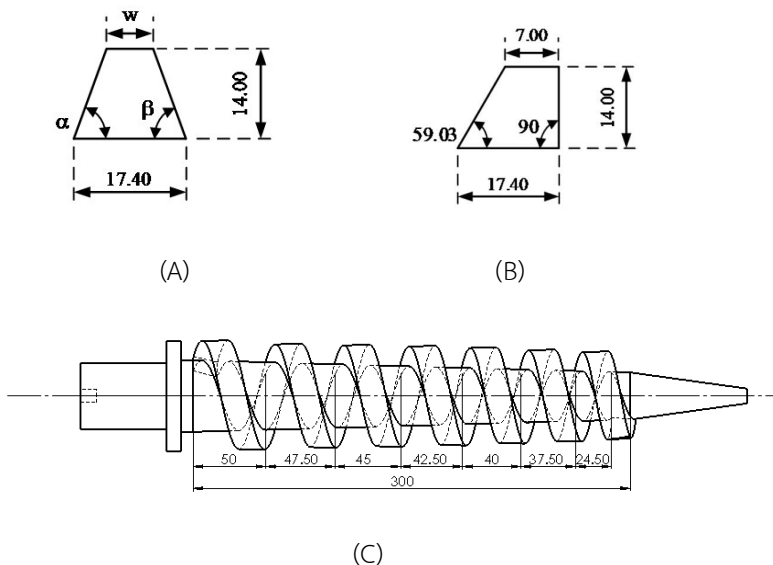
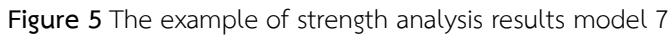


Figure 4 (A) The spiral ridge characteristics of model 1 to 5 (B) The spiral ridge characteristics of model 6 and (C) pitch of model 7 to 9



Model	Thread angle (degree)		Pitch (mm)	Thread thickness, (mm)	Von	Max .
	Back (degree)	Front (degree)			mises Max . Stress (MPa)	Displacement (mm)
1	70	70	40	7.21	384.497	1.043590
2	75	75	40	9.89	406.979	0.743991
3	80	80	40	12.46	427.863	1.317990
4	85	85	40	14.95	442.828	0.851156
5	90	90	40	17.40	529.660	0.933219
6	59.03	90	40	9.00	509.697	0.725751
7	59.03	90	inconstant	9.00	281.039	1.153000
8	70	70	inconstant	7.21	299.508	1.356820
9	90	90	inconstant	17.40	363.397	1.994110

ในขณะที่การลดความชื้นด้านหลังสันเกลียวตามแบบที่ 6 แสดงให้เห็นว่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในต่ำลงกว่าแบบที่ 5 ซึ่งมีความชื้นด้านหน้าสันเกลียวเท่ากัน อย่างไรก็ตามความเค้นสูงสุดที่ลดลงจากแบบที่ 5 มีค่าเพียง 3.77 % โดยความหนาสันเกลียวซึ่งเป็นส่วนที่มักพบการสึกหรอสูงสุดและเป็นส่วนสำคัญที่แสดงถึง

อายุการใช้งานลดลงถึง 48.28 % เป็นการออกแบบที่ให้ผลดีไม่น้อยกว่าผลเสีย สกรูเดือยหนูแบบที่ 7 ถึงแบบที่ 9 มีระยะพิชชี่ไม่คงที่โดยมีค่าเฉลี่ยระยะพิชชี่ทุกรอบเกลียวเท่ากับ 41.00 มิลลิเมตร ให้ผลการจำลองโดยเกิดความเค้นสูงสุดลดลงกว่าแบบที่มีระยะพิชชี่คงที่ โดยสกรูเดือยหนูแบบที่ 7 ให้ผลการจำลองโดยเกิดความเค้นสูงสุดต่ำกว่าแบบที่ 6 ซึ่งมีระยะพิชชี่คงที่ 44.86% สกรูเดือยหนูแบบที่ 8 ให้ผลการจำลองโดยเกิดความเค้นสูงสุดต่ำกว่าแบบที่ 1 ซึ่งมีระยะพิชชี่คงที่ 22.10% และสกรูเดือยหนูแบบที่ 9 ให้ผลการจำลองโดยเกิดความเค้นสูงสุดต่ำกว่าแบบที่ 5 ซึ่งมีระยะพิชชี่คงที่ 31.39%

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาโครงสร้างของสกรูเดือยหนูแบบเก่าของผู้ประกอบการในธุรกิจการผลิตถ่านอัดแท่งของงานวิจัยนี้ นำไปสู่การออกแบบสกรูเดือยหนูแบบใหม่ โดยใช้การจำลองเพื่อวิเคราะห์ ความแข็งแรงและการเสียรูปของชิ้นงาน ซึ่งผลลัพธ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มอัตราการผลิต คุณภาพการผลิตและต้นทุนการผลิตได้ดังนี้

1. ผลการจำลองสกรูเดือยหนูทำให้มีข้อมูลประกอบการเลือกใช้เหล็กสำหรับผลิตสกรูเดือยหนูได้อย่างเหมาะสม เช่น AISI1045 กรณีอัตราการผลิตสูงขึ้น ต้องการยืดอายุการใช้งานของสกรูเดือยหนูให้มากขึ้น ลดการหยุดเครื่องเพื่อเปลี่ยนสกรูเดือยหนูและการซ่อมแซมสันเกลียว สามารถเลือกใช้เหล็กที่มีค่าความแข็งแรงจุดครากสูงขึ้น โดยพิจารณาจุดคุ้มทุนเพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ตามความเหมาะสม

2. ผลการจำลองสกรูเดือยหนูแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความชันสันเกลียวทำให้เกิดค่าความเค้นสูงสุดมากขึ้น แม้ค่าความเค้นสูงสุดจะมากขึ้นจนเข้าใกล้ค่าความแข็งแรงจุดครากของวัสดุที่เลือกใช้ในการผลิตสกรูเดือยหนูซึ่งแสดงถึงอายุการใช้งานที่สั้นลง แต่การเพิ่มความชันสันเกลียวทำให้ได้ความกว้างสันเกลียวมากขึ้น ความทนทานต่อการสึกหรอของสันเกลียวจึงมีมากขึ้นตามค่าความหนาสันเกลียว ตัวอย่างเช่นสกรูเดือยหนูแบบที่ 2 ซึ่งมีมุมเอียงสันเกลียว 75 องศา มีความชันกว่าสันเกลียวของสกรูเดือยหนูเดิม (แบบที่ 1) เพียง 5 องศา แม้จะให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความเครียดสูงสุดเพิ่มขึ้นกว่าแบบที่ 1 เท่ากับ 5.85 % แต่สันเกลียวหนากว่าถึง 37.17 % เมื่อมุมเอียงด้านหน้าสันเกลียวมีความชันมากขึ้น ส่วนผสมของถ่านอัดแท่งที่กำลังถูกอัดให้เคลื่อนตัวไปข้างหน้าและถูกอัดย้อนกลับมาเบียดเข้าไปที่ขอบสันเกลียวจะยังมีความแน่นในการอัดเบียดลดลง การออกแบบเพื่อปรับมิติของสกรูเดือยหนูและผลการจำลองจึงแสดงให้เห็นว่าการปรับสันเกลียวด้านหน้าให้มีความชันมากขึ้นจึงให้ผลดีมากกว่าผลเสีย อย่างไรก็ตาม ควรเลือกมุมเอียงสันเกลียวที่ทำให้ค่า Maximum Von mises stress ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่า Yield strength ของวัสดุ

กิตติกรรมประกาศ

คณะนักวิจัยขอขอบคุณ นายขวัญชัย ภูวรณ์ นายจิรภูมิ จงจิต และ นายฉัตรชัย หนูแสง นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน สำหรับความอุตสาหะในการสร้างแบบจำลอง ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ก่อสุชน ศาตะโยธิน สำหรับคำแนะนำการวิเคราะห์แบบจำลองและขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีปทุมวันในความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่สำหรับงานวิจัยนี้

Reference

- [1] Department of Alternative Energy and Energy Efficiency. (2020). *Ministry of energy*. Available From https://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_dl_link.php?nid=43412. Accessed date: 17 January 2020. (in Thai)
- [2] Kuti, O. A. (2009). Performance of Composite Sawdust Briquette Fuel in a Biomass Stove under Simulated Condition. *AU Journal of Technology*, 12(4), 284–288.
- [3] Singh, R. N. (2008). Equilibrium Moisture Content of Biomass Briquettes. *Biomass and Bioenergy*, 26(3), .253–251
- [4] Rerkkumsup, P., et al. (2020).The Development of an Automatic Control System for Charcoal Briquettes Drying. *Pathumwan Academic Journal*, 10(27), 70–83. (in Thai)
- [5] Onuegbu, T. U., et al. (2010). Enhancing the Properties of Coal Briquette Using Spear Grass (*Imperate Cylindrica*). *Leonardo Journal of Sciences*, 17, 47–58.
- [6] Jittabu, P. (2015). Physical and Thermal Properties of Briquette Fuels from Rice Straw and Sugarcane Leaves by Mixing Molasses. *Energy Procedia*, 79, 2–9.
- [7] Oliveira, R. S. D., et al. (2017). Briquettes Production for Use as Power Source for Combustion using Charcoal Thin Waste and Sanitary Sewage Sludge. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(11), 10778–10785.
- [8] Ravuna, S., et al. (2016). Automatic Screw Press Briquette Making Machine. *International Journal of Novel Research in Electrical and Mechanical Engineering*, 3(1),19-23.
- [9] Nikihil, J., et al. (2016). Briquettes making machine for industrial and agricultural purpose. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 5(2), 594-598.
- [10] Ramanchit, S. (2019). Design and development of charcoal screw press briquette machine with automatic cutting. *Journal of Industrial Technology*, 14(2), 68-72. (in Thai)
- [11] Youman, P. (2016). Development of a Cold Production Biomass Charcoal Briquette Machine to use Waste from Coffee Bean Processing. *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 9(1), 34-48. (in Thai)
- [12] Wirunphan, K., et al. (2016). The Comparison of Wear Rate and Lifetime of the Spiral Fuel Briquette Extrusion from Different Quenching Media of Hardening. *Thai Industrial Engineering Network Journal*, 2(2), 21-27. (in Thai)
- [13] SolidWorks [Computer software]. Dassault Systems.
- [14] Jingzhi, Z., et al. (2016). Application of Parametric Modeling Technology in Single Screw Extruder. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 1(8), 250-255.
- [15] Epifantsev, K. & Mishura, T. (2018). Research Defects of Fatigue Failure of Screws in Solid Works Instrumentation. *Open Access Journal of Science*, 2(3), 208-210.