การพัฒนาบล็อกป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ร่วมกับเถ้าเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมัน เพื่อการส่งเสริมการสร้างแนวป้องกันการกัดเซาะจากธรรมชาติ

Development of Erosion Control Block Containing Waste Ash from Palm Oil for Promoting Natural Vegetation

พิชิต เจนบรรจง[1] วุฒินัย กกกำแหง[1] สุวัฒน์ชัย ทองน้อย[1] องอาจ นวลปลอด[1] สารัตน์ นุชพงษ์[1] เจต พานิชภักดี[1,*] และ ศิริพร ลาภเกียรติถาวร[1]

[1] ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย จ.ปทุมธานี
**Corresponding author; E-mail address: Jate@tistr.or.th*

บทคัดย่อ

งานศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาบล็อกป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ร่วมกับเถ้าเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมัน (เถ้าหนัก หรือเถ้าลอย) ที่สามารถป้องกันการชะล้างหน้าดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยที่รากสามารถยึดโยงชั้นดิน เกิดเป็นแนวป้องกันการกัดเซาะตลิ่งตามธรรมชาติ โดยการศึกษาเริ่มจาก การออกแบบรูปทรงบล็อก การศึกษาสัดส่วนผสมเถ้าหนัก หรือเถ้าลอยเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการผลิตบล็อกป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง การทดสอบการจำลองน้ำไหลผ่านชั้นบล็อกป้องกันการกัดเซาะตลิ่งที่ปูบนผ้ากรอง และการทดสอบการเจริญเติบโตของพืช เมื่อปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ จากการศึกษา พบว่า รูปทรงบล็อกที่ออกแบบ สามารถทนทานต่อการไหลของน้ำที่จำลองขึ้นได้เป็นอย่างดี และภายในรูยังสามารถลดความเร็วของกระแสน้ำได้ร้อยละ 95.2 เมื่อเทียบกับความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านบนผิวบล็อก ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการตกตะกอนของดินที่พัดพามากับกระแสน้ำ และลดการกัดเซาะที่จะเกิดขึ้นจากการไหลของกระแสน้ำ โดยบล็อกที่มีสัดส่วนผสมเถ้าหนัก ให้ค่าความต้านทานแรงอัดที่สูงสุด คือ 27.7 เมกะพาสคัล ที่สัดส่วนเถ้าหนักต่อหินฝุ่น ร้อยละ 24 เมื่อนำไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัดเทียบกับฝันแปรสัดส่วนผสม ในขณะที่บล็อกที่มีสัดส่วนผสมของเถ้าลอย จะมีค่าความต้านทานแรงอัดที่ลดลง เมื่อมีสัดส่วนผสมของเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น โดยบล็อกที่มีสัดส่วนผสมเถ้าลอย ให้ค่าความต้านทานแรงอัดที่สูงสุด คือ 26.2 เมกะพาสคัล ที่สัดส่วนเถ้าลอยต่อหินฝุ่น ร้อยละ 1.66 นอกจากนั้น จากการทดสอบการจำลองน้ำไหลผ่านชั้นบล็อก พบว่า บล็อกป้องกันการกัดเซาะตลิ่งสามารถป้องกันการกัดเซาะดินใต้แนวป้องกันได้เป็นอย่างดี โดยที่บล็อกไม่ยกลอยเนื่องจากการไหลของน้ำ และเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 เดือน จะพบการเจริญเติบโตของพืชบนบล็อกป้องกันการกัดเซาะตลิ่งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ

คำสำคัญ: บล็อกป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง, เถ้าเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมัน, การเจริญเติบโตของพืช

Abstract

This study focused on development of erosion control block containing waste ash (i.e., bottom or fly ash) from palm oil for preventing soil erosion and promoting natural vegetation. The erosion control block was successfully designed and produced for promoting natural vegetation. The influence of bottom ash or fly ash on compressive strength of erosion control block was investigated. The maximum compressive strength in this study, with the value of 27.7 MPa was found for the erosion control block containing bottom ash/dust stone at the amount of 24%. On the other hand, as for fly ash erosion control block, the reduction of compressive strength was found to increase with an increase in amount of fly ash. The maximum compressive strength, with the value of 26.2 MPa was found for the erosion control block containing fly ash/dust stone at the amount of 1.66%. The performance testing of erosion control block containing waste ash from palm oil for hydraulic stability in open channel flow was also investigated. The result revealed that erosion control block still remained in place and prevented soil erosion from the force of flowing water. Moreover, the vegetation naturally occurred on erosion control block containing waste ash from palm oil after one month testing.

Keywords: Erosion Control Block, Waste Ash from Palm Oil, Natural Vegetation

1. คำนำ

ประเทศไทยมีแหล่งน้ำและเส้นทางน้ำไหลพาดผ่านครอบคลุมทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ การไหลของกระแสน้ำผ่านบริเวณผิวดินริมตลิ่งหรือเข้าบริเวณผิวหน้าตลิ่งโดยตรง ทำให้เกิดแรงเฉือนหรือแรงอัดกระทำกับบริเวณผิวหน้าดินของตลิ่ง ส่งผลให้เกิดการพัดพาดินออกจากแนวตลิ่งและเกิดการพังทลายของแนวตลิ่งในท้ายที่สุด ปัจจุบันมีพื้นที่หลายจังหวัดในประเทศที่กำลังประสบปัญหาการพังทลายของแนวตลิ่ง ทำให้เกิดการสูญเสียความมั่นคงทางอาณาเขตพื้นที่ดิน อาคารบ้านเรือน และสร้างอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ที่อยู่อาศัยใกล้ริมน้ำ นอกจากนั้น ยังสร้างผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของระบบนิเวศทางริมน้ำและการพัฒนาทางเศรษฐกิจ

การสร้างโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดลาดเอียงเพื่อป้องกันการกัดเซาะแบบถาวรด้วยปูนซีเมนต์ เป็นการลงทุนที่ใช้งบประมาณในการก่อสร้างที่สูง และจำเป็นที่ต้องใช้แรงงานที่มีทักษะและความชำนาญ รวมถึงระยะเวลาในการดำเนินการก่อสร้าง นอกจากนั้น ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรงต่อระบบนิเวศของพื้นที่ริมน้ำ การสร้างโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดลาดเอียงที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ตามธรรมชาติ และร่วมยึดโยงหน้าดินจึงเป็นทิศทางการพัฒนาโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบัน การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมและตามแนวคิด Bio-Circular-Green Economy (BCG Economy) กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยประเทศไทยมีผลผลิตน้ำมันปาล์มประมาณ 5 ล้านตันต่อปี และมีเศษวัสดุที่สำคัญคือ ใยปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม และทางปาล์ม โดยกากใยปาล์มมีปริมาณ 196,195 ตัน กะลาปาล์มมีปริมาณ 83,870 ตัน ส่วนทะลายปาล์มมีปริมาณ 298,036 ตัน และทางปาล์มเป็นเศษวัสดุที่มีปริมาณมากที่สุด จำนวน 357,741 ตัน [1] โดยส่วนใหญ่ล้วนจะนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงาน และเกิดเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุเหลือทิ้งขั้นสุดท้าย ซึ่งมีปริมาณเถ้าเหลือทิ้งที่สูงขึ้นในแต่ละปี เนื่องจากความต้องการนำไปใช้ผลิตน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น

ในงานวิจัยนี้ จึงเป็นการเป็นการพัฒนาโครงสร้างปิดทับหน้าตลิ่งชนิดลาดเอียง ที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้ โดยพัฒนาบล็อกป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ร่วมกับเถ้าเหลือทิ้งจากปาล์มน้ำมัน (เถ้าหนัก หรือเถ้าลอย) ที่สามารถป้องกันการชะล้างหน้าดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชโดยที่รากสามารถยึดโยงชั้นดิน เกิดเป็นแนวป้องกันการกัดเซาะตลิ่งตามธรรมชาติ

2. วิธีการดำเนินการ

2.1 วัสดุ

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้รับความอนุเคราะห์เถ้าหนัก และเถ้าลอยจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน จาก บริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด และบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด ตามลำดับ และทำการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักและเถ้าลอย ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence รวมถึง ทดสอบน้ำหนักที่หายไปจากการเผา (Loss on Ignition)

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง คือ ชนิดปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราช้าง และหินฝุ่น ของบริษัท สยามมิเนอรัลส์ เดเวลลอปเม้นท์ จำกัด

2.2 การหาอัตราส่วนผสมของเถ้าหนัก หรืออัตราส่วนผสมของเถ้าลอย

หลังจากทำการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence แล้ว ทำการบดเถ้าหนักจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ด้วยเครื่องบดร่อนแบบค้อนตี (รูปที่ 1ก) หรือเครื่องล้อเหล็กบดทับ (รูปที่ 1ข) เป็นเวลา 5 นาที ก่อนนำเถ้าหนักที่บดแล้วมาทดสอบการกระจายของขนาด (Particle size distribution) ตาม มทช.(ท) 501.8-2545 จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าหนักที่ร้อยละ 12.5 ต่อ 87.5 และทดสอบความต้านทานแรงอัด เพื่อคัดเลือกวิธีการบดที่เหมาะสม สำหรับเถ้าหนักที่จะนำมาผสมในบล็อก ในขณะที่เถ้าลอย จะถูกนำมาใช้โดยไม่ผ่านการบด เนื่องจากมีลักษณะเป็นผงละเอียดเมื่อสังเกตุด้วยตาเปล่า จากนั้น ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมของเถ้าหนัก หรือเถ้าลอยที่มีผลต่อความต้านทานแรงอัดของบล็อกในงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบด้วย เถ้าหนัก หรือเถ้าลอย หินฝุ่น และปูนซีเมนต์ ที่มวลรวมของเถ้าและหินฝุ่น รวมเป็นร้อยละ 87.5 และปูนซีเมนต์ ร้อยละ 12.5 โดยมีสัดส่วนของเถ้าหนัก หรือเถ้าลอยต่อหินฝุ่น ดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



(ก) (ข)

รูปที่ 1 การบดเถ้าหนักจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน (ก) เครื่องบดร่อนแบบค้อนตี (ข) เครื่องล้อเหล็กบดทับ

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของเถ้าหนักต่อหินฝุ่น ที่สัดส่วนต่างๆ โดยมีมวลรวมของเถ้าหนักและหินฝุ่น ที่ร้อยละ 87.5 และปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 12.5

ตัวอย่าง	สัดส่วนเถ้าหนักต่อหินฝุ่น(ร้อยละ)
1	0
2	6.5
4	18
5	24
6	27
7	33
8	39

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมของเถ้าลอยต่อหินฝุ่น ที่สัดส่วนต่างๆ โดยมีมวลรวมของเถ้าลอยและหินฝุ่น ที่ร้อยละ 87.5 และปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 12.5

ตัวอย่าง	สัดส่วนเถ้าลอยต่อหินฝุ่น(ร้อยละ)
1	0
2	1.67
3	3.33
4	6.67
5	8.33
6	10
7	15
8	20

2.3 การออกแบบรูปทรงบล็อกและการทดสอบการจำลองน้ำไหลผ่าน

บล็อกสำหรับใช้ป้องกันการกัดเซาะตลิ่งได้รับการออกแบบ บนแนวคิดการยึดโยงและยึดเกี่ยวเข้าด้วยกันด้วยเส้นสลิง กอปรกับมีรูที่พืชสามารถเจริญเติบโต และภายในรูต้องสามารถลดความเร็วของน้ำลงได้ โดยทำการทดสอบแนวคิดการออกแบบ โดยการวัดความเร็วของกระแสน้ำภายในรูบล็อกด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ ในทุกระยะ 1.2 เมตร ครั้งละจำนวน 3 จุดทดสอบ เทียบกับความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านบนพื้นผิวบล็อก ภายในอาคารทดสอบที่มีระยะทางการไหลของน้ำทดสอบ 5.49 เมตร ที่ดัดแปลงมาจากการทดสอบจากมาตรฐาน ASTM D7277 (รูปที่ 2ก) โดยมีการเตรียมชั้นทดสอบ เริ่มจากเตรียมชั้นดินบนอัดและปูแผ่นชั้นกรองป้องกันการกระจายของชั้นดิน บนอาคารทดสอบ (รูปที่ 2ข) ก่อนปิดทับด้วยบล็อกที่ผสมเถ้าจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน (รูปที่ 2ค)

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2 การทดสอบความเร็วของกระแสน้ำ และประสิทธิภาพด้านเสถียรภาพการใช้งานของบล็อก (ก) อาคารทดสอบการจำลองน้ำไหลผ่าน (ข) ชั้นดินบนอัดและปูแผ่ ผ น

ดังกล่าว บนพื้นฐานการดัดแปลงการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D7277 โดยทำการปล่อยน้ำและวัดความเร็วสูงสุดที่น้ำไหลผ่าน วัดระยะการยุบตัวของชั้นบล็อกก่อนและหลังทำการทดสอบด้วยไดอัลเกจ และสังเกตุการหลุดลอยของบล็อก หลังจากที่ปล่อยน้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

2.4 การทดสอบการเจริญเติบโตของพืช

หลังจากทำการทดสอบประสิทธิภาพด้านเสถียรภาพ ด้วยการจำลองน้ำไหลผ่านชั้นบล็อกเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ตัวอย่างบล็อกทดสอบและชั้นดินจะมีความชุ่มชื้นที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช จากนั้น ทดสอบการเจริญเติบโตของพืชที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นเวลา 30 วัน และ 60 วัน ตามลำดับ แล้วตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชที่เกิดขึ้น

3. ผลการทดสอบ

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักและเถ้าลอย

จากข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าเถ้าจากปาล์มน้ำมันมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ โดยมีกลุ่มสารซิลิกอนออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ และอลูมินัมออกไซด์ เป็นสารสำคัญในการเกิดปฏิกิริยา [2-5] ในการศึกษานี้ จึงได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักและเถ้าลอย ที่ได้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence และค่าน้ำหนักที่หายไปจากการเผา ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนักและเถ้าลอยที่ได้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน และค่าน้ำหนักที่หายไปจากการเผา

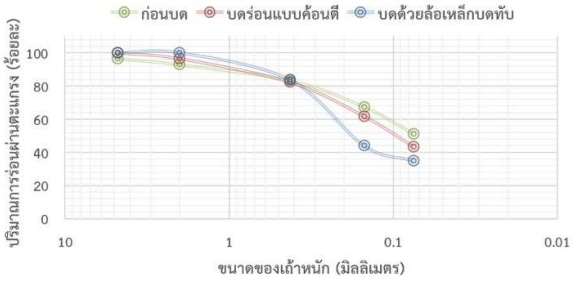
องค์ประกอบ	ร้อยละ	
	เถ้าหนัก	เถ้าลอย
Silicon Oxide (SiO_2)	51.00	35.60
Calcium Oxide (CaO)	17.70	30.20
Potassium Oxide (K_2O)	12.80	10.60
Phosphorus Oxide (P_2O_5)	4.92	6.83
Sulfur Oxide (SO_3)	3.47	0.94
Iron Oxide (Fe_2O_3)	3.37	7.15
Magnesium Oxide (MgO)	2.95	5.43
Chorine (Cl)	2.06	0.36
Aluminum Oxide (Al_2O_3)	0.94	1.48
Manganese Oxide (MnO)	0.25	0.44
Titanium Oxide (TiO_2)	0.19	0.33
Copper Oxide (CuO)	0.12	0.16
น้ำหนักที่หายไปจากการเผา	**4.76**	**8.89**

จากตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณเถ้าหนักจะมีสัดส่วนซิลิกอนออกไซด์ (ร้อยละ 51.00) ที่สูงกว่าเถ้าลอย (ร้อยละ 35.60) ในขณะที่เถ้าลอยมีสัดส่วนของแคลเซียมออกไซด์ เหล็กออกไซด์ และอลูมินัมออกไซด์ คือ ร้อยละ 30.20, 7.15 และ 1.48 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณที่สูงกว่าเถ้าหนัก คือ ร้อยละ 17.70, 3.37 และ 0.94 ตามลำดับ นอกจากนั้น ค่าน้ำหนักที่หายไปจากการเผาของเถ้าหนัก (ร้อยละ 4.76) จะมีค่าที่น้อยกว่าเถ้าลอย (ร้อยละ 8.89)

จากข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า เถ้าที่มีสัดส่วนซิลิกอนออกไซด์ เหล็กออกไซด์ และอลูมินัมออกไซด์ รวมกันมากกว่าร้อยละ 50 จะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยในการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน และค่าน้ำหนักที่หายไปจากการเผา ไม่ควรเกินร้อยละ 6 ซึ่งถ้ามีค่าสูงจะส่งผลต่อความสามารถในการรับกำลังที่ลดลง [6] ดังนั้น จากข้อมูลในตารางที่ 3 จึงสรุปเบื้องต้นได้ว่า เถ้าหนักจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ในการศึกษานี้ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยในการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน มากกว่าเถ้าลอย

3.2 การหาอัตราส่วนผสมของเถ้าหนัก หรืออัตราส่วนผสมของเถ้าลอย

การบดเถ้าหนักจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ด้วยเครื่องบดร่อนแบบค้อนตี หรือเครื่องล้อเหล็กบดทับ ให้การกระจายของขนาดเถ้า ดังรูปที่ 3 โดยพบว่า เมื่อทำการบดเถ้าหนักด้วยการบดร่อนแบบค้อนตีและบดด้วยล้อเหล็กบดทับ ปริมาณเถ้าหนักที่ร่อนผ่านตะแกรงในช่วงขนาด 4.75, 2 และ 0.425 มิลลิเมตร มีปริมาณร้อยละการร่อนผ่านตะแกรงที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับเถ้าหนักที่ไม่ผ่านการบด โดยการบดด้วยล้อเหล็กบดทับจะมีค่าร้อยละการร่อนผ่านตะแกรงที่สูงกว่าการบดร่อนแบบค้อนตี ซึ่งหมายถึงการมีขนาดเถ้าที่เล็กกว่า ในขณะที่ปริมาณเถ้าหนักหลังผ่านการบด ที่ร่อนผ่านตะแกรงในช่วงขนาด 0.15 และ 0.075 มิลลิเมตร จะมีปริมาณร้อยละการร่อนผ่านตะแกรงที่ลดลงในทั้งการบดด้วยการบดร่อนแบบค้อนตีและบดด้วยล้อเหล็กบดทับ เมื่อเทียบกับเถ้าหนักที่ไม่ผ่านการบด ซึ่งจะเป็นการบดอัดเถ้าให้แน่นขึ้น หลังจากนั้น นำเถ้าหนักที่ผ่านการบดมาผสมขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบร่วมกับปูนซีเมนต์ ที่อัตราส่วนเถ้าหนักต่อปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 87.5 ต่อ 12.5 ดังรูปที่ 4 และทดสอบความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานทดสอบ เมื่ออายุเวลา 7 วัน ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 4



รูปที่ 3 การกระจายของขนาดของเถ้าหนัก ที่ผ่านการบดร่อนแบบค้อนตีและแบบบดด้วยล้อเหล็กบดทับ เมื่อเทียบกับเถ้าหนักก่อนการบด



(ก) (ข)

รูปที่ 4 เถ้าหนักร่วมกับปูนซีเมนต์ (ก) แบบบดร่อนแบบค้อนตี และ (ข) แบบบดด้วยล้อเหล็กบดทับ

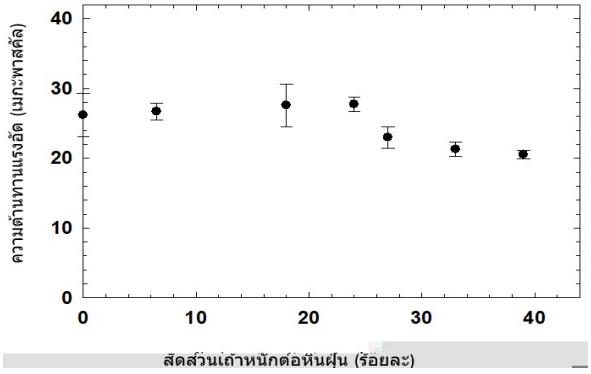
ตารางที่ 4 ความต้านทานแรงอัดของชิ้นงานทดสอบเถ้าหนักร่วมกับปูนซีเมนต์แบบบดร่อนแบบค้อนตี และแบบบดด้วยล้อเหล็กบดทับ

ตัวอย่าง	ความต้านทานแรงอัด (เมกะพาสคัล)
เถ้าหนักบดร่อนแบบค้อนตี	6.10
เถ้าหนักบดด้วยล้อเหล็กบดทับ	9.99

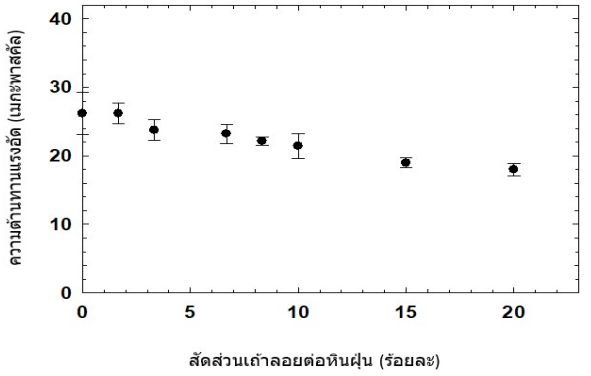
จากตารางที่ 4 พบว่า ชิ้นงานทดสอบเถ้าหนักบดด้วยเครื่องบดร่อนแบบค้อนตี มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัด 6.10 เมกะพาสคัล ในขณะที่เถ้าหนักที่บดด้วยเครื่องล้อเหล็กบดทับ มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัด 9.99 เมกะพาสคัล หรือมีความต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นประมาณ 63.8%

ทั้งนี้ เนื่องจากเถ้าหนักเกิดจากการหลอมของซิลิกาและส่วนโลหะต่างๆ เมื่อสารไฮโดรคาร์บอนที่เผาไหม้ เกิดเป็นโพรงอยู่ในเนื้อเถ้าหนัก การบดอัดด้วยการบดร่อนแบบค้อนตี ทำให้เม็ดเถ้าหนักมีขนาดที่เล็กลงเท่านั้น ในขณะที่การบดอัดเพื่อทำลายโพรงและส่วนอ่อนแอของเถ้าหนักด้วยวิธีการบดด้วยล้อเหล็กบดทับ จะบีบเถ้าให้แตกโดยเฉพาะส่วนที่เปราะเป็นโพรง หรือส่วนที่อ่อนแอของเถ้า จึงทำให้การอัดขึ้นรูปได้บล็อกที่มีความต้านทานแรงอัดที่สูงกว่า

การหาอัตราส่วนผสมของเถ้าหนัก เพื่อเพิ่มความต้านทานแรงอัด โดยมีแนวทางที่ใช้ในการศึกษา คือ การคละขนาดเถ้าหนักร่วมกับมวลรวมแข็งชนิดอื่นที่ให้ความต้านทานแรงอัดสูง หากคละขนาดได้ดีมวลรวมละเอียดของเถ้าหนักจะช่วยเข้าไปเติมเต็มช่องว่าง ทำให้การอัดขึ้นรูปได้บล็อกที่มีความต้านทานแรงอัดที่สูงขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้ ประกอบด้วย เถ้าหนัก หรือเถ้าลอย หินฝุ่น และปูนซีเมนต์ ที่มวลรวมของเถ้าและหินฝุ่น รวมเป็นร้อยละ 87.5 และปูนซีเมนต์ ร้อยละ 12.5 โดยมีสัดส่วนของเถ้าหนัก หรือเถ้าลอยต่อหินฝุ่น ดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยมีผลการศึกษาอัตราส่วนผสมของเถ้าหนักต่อความต้านทานแรงอัด ดังรูปที่ 5 และการศึกษาอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยต่อความต้านทานแรงอัด ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 อัตราส่วนผสมของเถ้าหนักต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงาน



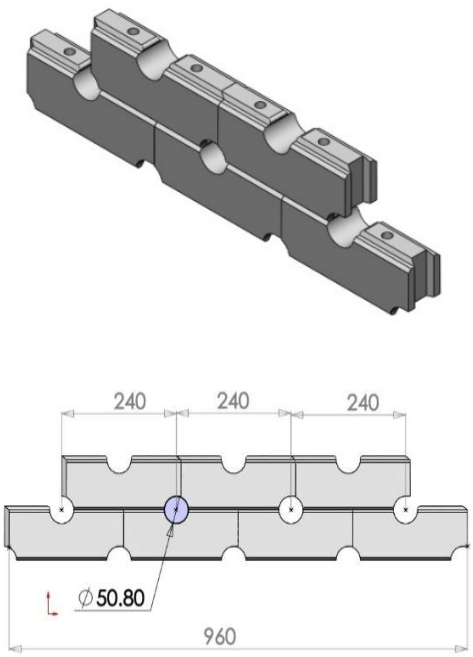
รูปที่ 6 อัตราส่วนผสมของเถ้าลอยต่อความต้านทานแรงอัดของชิ้นงาน

จากผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของอัตราส่วนผสมที่อัตราส่วนของเถ้าหนักต่างๆ (รูปที่ 5) พบว่า บล็อกที่มีสัดส่วนผสมเถ้าหนักให้ค่าความต้านทานแรงอัดที่สูงสุด คือ 27.7 เมกะพาสคัล ที่สัดส่วนเถ้าหนักต่อหินฝุ่น ร้อยละ 24 เมื่อนำไปทดสอบหาค่าความต้านทานแรงอัดเทียบกับผันแปรสัดส่วนผสม ในขณะที่ บล็อกที่มีสัดส่วนผสมของเถ้าลอยจะมีค่าความต้านทานแรงอัดที่ลดลง เมื่อมีสัดส่วนผสมของเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น โดยพบค่าความต้านทานแรงอัดที่สูงสุด คือ 26.2 เมกะพาสคัล ที่สัดส่วนเถ้าลอยต่อหินฝุ่น ร้อยละ 1.66 (รูปที่ 6)

โดยทั่วไป ไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกต ซึ่งเป็นองค์ประกอบในปูนซีเมนต์ ทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ที่ให้ค่าความต้านทานแรงอัดที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ในขณะเดียวกัน จะเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปฏิกิริยาด้วยเช่นกัน ซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีความคงตัวต่ำ [6] ซึ่งการเติมสารปอซโซลาน เช่น เถ้าหนัก และเถ้าลอย สามารถที่จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ดังกล่าว แล้วเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ให้ค่าความต้านทานแรงอัดที่เพิ่มขึ้น [7] กอปรกับ ผลการศึกษาในหัวข้อ 3.1 ที่ผ่านมา พบว่า เถ้าหนักมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยในการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน มากกว่าเถ้าลอยในการศึกษานี้ ดังนั้น ในกรณีของการผสมเถ้าหนัก แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปูนซีเมนต์จะเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ในเถ้าหนัก เกิดเป็นวัสดุประสานที่มีความแข็งแรงสูงขึ้น ส่งผลให้ความต้านทานแรงอัดเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าสูงสุด (ที่สัดส่วนเถ้าหนักต่อหินฝุ่น ร้อยละ 24) และเมื่อปริมาณเถ้าหนักเพิ่มมากขึ้น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เข้าทำปฏิกิริยาดังกล่าวจะไม่เพียงพอ จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าหนักเพิ่มมากขึ้น ในกรณีของการผสมเถ้าลอย เนื่องจากสัดส่วนซิลิกอนออกไซด์ เหล็กออกไซด์ และอลูมินัมออกไซด์ รวมกัน มีสัดส่วนร้อยละ 44.23 (น้อยกว่าร้อยละ 50) และค่าน้ำหนักที่หายไปจากการเผา มีสัดส่วนร้อยละ 8.89 (เกินร้อยละ 6) ซึ่งถ้ามีค่าสูงจะส่งผลต่อความสามารถในการรับกำลังที่ลดลง นอกจากนั้น ในเถ้าลอยยังพบปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่สูง (ร้อยละ 30.20) ทำให้มีโอกาสเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตมีความคงตัวและความคงทนที่ต่ำ ดังนั้น การเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในส่วนผสมในการศึกษานี้ จึงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงอัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยเพิ่มมากขึ้น

3.3 การออกแบบรูปทรงบล็อกและการทดสอบการจำลองน้ำไหลผ่าน

รูปทรงบล็อกสำหรับใช้ป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ร่วมกับเถ้าจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ได้รับการออกแบบ โดยมีช่องว่างภายในตัวบล็อกเพื่อใช้สำหรับการร้อยสลิง เพื่อยึดโยงก้อนบล็อกแต่ละก้อนเข้าด้วยกันที่สามารถประกอบกันเป็นแผงป้องกันการกัดเซาะตลิ่งได้ และออกแบบให้มีส่วนโค้งเว้าบริเวณขอบของบล็อก เมื่อเรียงประกอบบล็อกแต่ละชิ้นให้เป็นแผงป้องกันการกัดเซาะ จะเกิดรูที่พืชสามารถเจริญเติบโตขึ้นภายในได้ ดังรูปที่ 7 โดยที่รูดังกล่าวสามารถส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโต และเกิดเป็นแนวป้องกันการกัดเซาะตลิ่งตามธรรมชาติ นอกจากนั้น ภายในรูยังสามารถลดความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านบนผิวบล็อกได้ ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการตกตะกอนของดินที่พัดพามากับกระแสน้ำ และลดการกัดเซาะที่จะเกิดขึ้นจากการไหลของกระแสน้ำ โดยทำการวัดความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านบนพื้นผิวบล็อกบนอาคารทดสอบ (รูปที่ 8) เทียบกับความเร็วของกระแสน้ำภายในรูบล็อกด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ และมีผลการทดสอบดังตารางที่ 5 โดยพบว่า ความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านบนพื้นผิวบล็อก มีความเร็วเฉลี่ยที่ 2.1 เมตรต่อวินาที ในขณะที่เมื่อทำการวัดความเร็วของกระแสน้ำในรูบล็อก พบว่า ความเร็วเฉลี่ยของน้ำภายในรูบล็อกมีค่าลดลงเป็นอย่างมาก โดยมีความเร็วเฉลี่ยที่ 0.1 เมตรต่อวินาที (ลดลงร้อยละ 95.2)



รูปที่ 7 รูปทรงบล็อกสำหรับใช้ป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง โดยมีขนาดความยาว 240 มิลลิเมตร และเมื่อประกอบเป็นแผงแล้ว จะมีรูวงกลมที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชที่มีขนาดรัศมี 50.80 มิลลิเมตร



รูปที่ 8 การวัดความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านบนพื้นผิวบล็อกบนอาคารทดสอบ

ตารางที่ 5 ความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านบนพื้นผิวบล็อก และภายในรูบล็อก

การทดสอบ	ความเร็วกระแสน้ำ (เมตรต่อวินาที)
กระแสน้ำไหลผ่านบนพื้นผิวบล็อก	2.1
กระแสน้ำไหลผ่านภายในรูบล็อก	0.1

ประสิทธิภาพด้านเสถียรภาพการใช้งานของบล็อก ได้ถูกศึกษาภายในอาคารทดสอบดังกล่าว โดยทำการปล่อยน้ำและวัดระยะการยุบตัวของชั้นบล็อก ทุกๆระยะทาง 1.2 เมตร ก่อนและหลังทำการทดสอบ และสังเกตุการหลุดลอยของบล็อก หลังจากที่ปล่อยน้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าเมื่อทำการวัดระยะการยุบตัวโดยเฉลี่ยทั้งผืนของบล็อกที่ปูทดสอบ ด้วยไดอัลเกจ มีการยุบตัวลง 0.99 มิลลิเมตร ไม่พบการหลุดลอยของบล็อก และน้ำยังคงใสหลังผ่านการทดสอบ (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 หลังการทดสอบประสิทธิภาพด้านเสถียรภาพการใช้งานของบล็อกเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3.4 การทดสอบการเจริญเติบโตของพืช

หลังการทดสอบประสิทธิภาพด้านเสถียรภาพการใช้งานของบล็อกด้วยการจำลองน้ำไหลผ่าน จึงเริ่มทดสอบการเจริญเติบโตของพืชตามธรรมชาติบนอาคารทดสอบ โดยชิ้นงานทดสอบถูกปล่อยไว้ตามธรรมชาติ เป็นระยะเวลา 30 วัน และ 60 วัน ตามลำดับ เพื่อสังเกตุการเจริญเติบโตของพืชที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จากรูปที่ 10ก พบว่า หลังผ่านระยะเวลา 30 วัน พบการเจริญเติบโตของพืชตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในรูบล็อก ที่ผลิตร่วมกับเถ้าจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน พืชที่เกิดขึ้นมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 16 เซนติเมตร และเมื่อทดสอบเป็นระยะเวลา 60 วัน (รูปที่ 10ข) พบว่า พืชมีการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น โดยมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 46 เซนติเมตร และมีการขยายตัวในแนวกว้างปกคลุมชั้นบล็อก รวมถึงมีเมล็ดพันธุ์ที่ปลายยอด พร้อมที่จะขยายพันธุ์ และเกิดเป็นแนวป้องกันการกัดเซาะได้ตามธรรมชาติ



(ก) (ข)

รูปที่ 10 การเจริญเติบโตของพืชตามธรรมชาติที่ระยะเวลา (ก) 30 วัน และ (ข) 60 วัน

4. สรุปผลการทดลอง

ในงานศึกษานี้ เถ้าหนักเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันจะมีสัดส่วนซิลิกอนออกไซด์ (ร้อยละ 51.00) ที่สูงกว่าเถ้าลอย (ร้อยละ 35.60) ในขณะที่ค่าน้ำหนักที่หายไปจากการเผา (Loss on Ignition) ของเถ้าหนักมีค่าที่น้อยกว่า (ร้อยละ 4.76) เถ้าลอย (ร้อยละ 8.89) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานมากกว่าเถ้าลอย

เมื่อนำเถ้าหนักที่ผ่านการบดด้วยเครื่องล้อเหล็กบดทับ สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมร่วมกับปูนซีเมนต์ และหินฝุ่นเพื่อใช้ในการผลิตบล็อกป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง โดยที่อัตราส่วนเถ้าหนักต่อหินฝุ่นร้อยละ 24 ที่มวลรวมเถ้าหนักและหินฝุ่นร้อยละ 87.5 และปูนซีเมนต์ร้อยละ 12.5 ให้ค่าความต้านทานแรงอัดที่สูงสุด คือ 27.7 เมกะพาสคัล ในขณะที่เถ้าลอยเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน เมื่อผสมร่วมกับปูนซีเมนต์ และหินฝุ่น ให้ค่าความต้านทานแรงอัดที่ลดลง เมื่อมีสัดส่วนผสมของเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราส่วนเถ้าลอยต่อหินฝุ่นร้อยละ 1.66 ที่มวลรวมเถ้าลอยและหินฝุ่นร้อยละ 87.5 และปูนซีเมนต์ร้อยละ 12.5 ให้ค่าความต้านทานแรงอัดที่สูงสุด คือ 26.2 เมกะพาสคัล

การออกแบบรูปทรงบล็อก มีผลต่อการลดความเร็วการไหลของน้ำภายในรูบล็อก ซึ่งมีผลต่อการลดการกัดเซาะและการช่วยกักเก็บตะกอนดิน โดยมีความเร็วเฉลี่ยที่ลดลงจาก 2.1 เมตรต่อวินาที (บนพื้นผิวของบล็อก) ลดลงเหลือ 0.1 เมตรต่อวินาที (ภายในรูบล็อก) และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพด้านเสถียรภาพการใช้งานของบล็อกบนอาคารทดสอบ พบการยุบตัวลง 0.99 มิลลิเมตร และน้ำยังคงใสหลังผ่านการทดสอบ

นอกจากนั้น บล็อกป้องกันการกัดเซาะตลิ่ง ร่วมกับเถ้าเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ยังสามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชขึ้นตามธรรมชาติ หลังการทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน และพืชมีการเจริญเติบโตและมีเมล็ดพร้อมขยายพันธุ์ที่ระยะเวลา 60 วัน ซึ่งจะเกิดเป็นแนวป้องกันการกัดเซาะได้ตามธรรมชาติ

5. ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ควรมีการศึกษาขยายผลในพื้นที่สาธิต เพื่อประเมินประสิทธิภาพการป้องกันการกัดเซาะในพื้นที่จริง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัท ทักษิณปาล์ม (2521) จำกัด และบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าหนัก และเถ้าลอยจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] อุกฤษ อุณหเลขกะ (2563). *การส่งเสริมเกษตรกรเก็บซากวัสดุทางการเกษตรผ่านแอปพลิเคชัน รีคัลท*. รายงานฉบับสมบูรณ์, สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ, ประเทศไทย.

[2] วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, จตุพล ตั้งปกาศิต, ศักดิ์สินธุ์ แววคุ้ม และชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2546). วัสดุปอซโซลานชนิดใหม่จากเถ้าปาล์มน้ำมัน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.*, ปีที่ 26, ฉบับที่ 4, หน้า 459-479.

[3] จรูญ เจริฐเนตรกุล (2557). อิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมเถ้าและกะลาปาล์มน้ำมัน. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1, หน้า 103-117.

[4] ปกป้อง รัตนชู (2557). การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตสดผสมเถ้าปาล์มน้ำมันจากแหล่งนิคมบาเจาะ จังหวัดนราธิวาส. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1, หน้า 103-117.

[5] ธีรภัทร์ จงวิจักษณ์ และ ธีวรา สุวรรณ (2564). ผลของการใช้เถ้าลอยจากกระบวนการรีดักชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นวัสดุผสมเพิ่มต่อสมบัติของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าลอย. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26*, ออนไลน์, 23-25 มิถุนายน 2564, หน้า 1-8.

[6] อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์ (2554). ศักยภาพของเถ้าในการเป็นสารปอซโซลาน. *วารสารคอนกรีต,* ฉบับที่ 23, ประจำเดือนธันวาคม.

[7] Rukzon, S. and Chindaprasirt, P. (2013). Strength, porosity and chloride resistance of mortar using combination of two kinds of the pozzolanic materials. *International Journal Mineral Metallurgy Materials,* 20, pp. 808-814.