พฤติกรรมการดักจับและควบคุมของวัสดุเม็ดแห้งผสมเศษท่อนไม้เมื่อไหลผ่านฝายช่องเปิด

The trapping and controlling behavior of dry granular mixed with driftwood material flowing through the open check dam

ทศพล ทุ่งฝนภูมิ[1,*] ศุภณัฐ กาศสนุก[1] สิปปกร สุขโภชน์[1] อาทิตย์ เรืองยศ[1] ปาลินี สุมิตสวรรค์[2] ขวัญสิรินภา ธนะวงศ์[3] และ สุริยาวุธ ประอ้าย[3]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[2]ศูนย์เทคโนโลยียานยนต์และขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[3]ศูนย์ความเป็นเลิศ RS2GH คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
**Corresponding author; E-mail address: 6310377[illegible]@up.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของเม็ดแห้งผสมเศษท่อนไม้ เมื่อไหลฝายช่องเปิดโดยศึกษาในการดักจับหรือการควบคุมและการดูดซับแรง โดยทำการทดลองการไหลในรางเพื่อทดสอบฝายช่องเปิด 2 รูปแบบได้แก่ รูปแบบตัวอัลฟาและรูปแบบตัววี ฝายช่องเปิดแต่ละรูปแบบมีมุมภายใน (

การศึกษาผลกระทบของการไหลเม็ดแห้งต่อฝายวัดแรงกระแทก โดยถูกตรวจสอบผ่านการวัดแรงย่อยแบบปกติ [2,3] และแบบผิวสัมผัส [4] ทั้งนี้มีการศึกษาเกี่ยวกับการไหลของเศษซากที่มีต่อสิ่งกีดขวางแบบแข็งและยืดหยุ่น [2,5,6] อนุภาคส่วนใหญ่สามารถถูกดักจับโดยตัวกั้นแบบยืดหยุ่นได้เมื่อขนาดตาข่ายมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาค 90 % ถึง 3 เท่า [4] และการกระจายแรงไม่สม่ำเสมอ แรงกระแทกมีขนาดใหญ่ตรงกลางของช่วงและมีขนาดเล็กลงที่ปลายทั้งสองข้าง การทดลองลักษณะฝายแบบทึบและแบบร่อง [7-9] ความดันที่อยู่ใกล้ร่องฝายสูงกว่าที่อื่น ๆ เกือบสองเท่า ทั้งนี้ขนาดเม็ดแห้งมีนัยสำคัญ [7] เนื่องจากขนาดเม็ดแห้งมีอิทธิพลต่อระดับความเฉื่อยของเม็ด การชนกันของเม็ดแห้งเกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนที่ของการไหลของดินถล่มและการเรียงลำดับขนาดเม็ดชัดเจนขึ้นในช่วงตกตะกอนสุดท้าย [6,7,10] มุมเอียงที่มีขนาดใหญ่กว่ามุมเสียดทานของเม็ดแห้งและระยะการไหลที่ยาวกว่าส่งผลให้เกิดแรงกระแทกสูงสุด [3,11] การศึกษาเกี่ยวกับการดักเศษไม้ด้วยฝายแบบร่องและการก่อตัวของท่อนไม้ที่สะพานเมื่อน้ำท่วมโดยทำการทดลองรางน้ำ [12,13] ผลการศึกษาพบว่าการสะสมเศษไม้จะขยายตัวต้นน้ำและอัตราส่วนการอุดตันของไม้สะสมเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ การผสมกันของเศษท่อนไม้และหิน [14] ถูกทดลองโดยแยกประเภทเหตุการณ์ต่าง ๆ ตามประเภทการดักเศษซาก [15] ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ฝายช่องเปิดชนิดแบบเสาเข็มถูกนำมาใช้สำหรับการดักจับท่อนไม้ที่ไหลมาตามลำน้ำ [16] และเกี่ยวกับการใช้งานของฝายช่องเปิดชนิดเหล็กในการดักเศษซาก [17] หลังจากใช้งานไปนานแล้วพบว่ายิ่งเวลาผ่านไปฝายแบบเหล็กสามารถดักจับเศษซากได้ดียิ่งขึ้นและยังแข็งแรงเหมือนเดิม ฝายลักษณะนี้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่ได้กั้นน้ำไว้และตะกอนทั่วไปสามารถผ่านฝายไปได้ ยกเว้นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้อยู่อาศัยในพื้นที่ท้ายน้ำ ดังนั้นฝายชนิดนี้จึงเหมาะสมในการดูดซับแรงเนื่องจากการไหลหลากของดินโคลนและเศษซาก

บทความนี้มุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมและประสิทธิภาพของฝายช่องเปิดเมื่อคุณสมบัติหินกรวดผสมเศษท่อนไม้ โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาคือความเข้าใจพฤติกรรมเบื้องต้นของการไหลของวัสดุของแข็งที่เป็นตัวแทนของดินโคลนเมื่อไหลผ่านฝายช่องเปิด เพื่อให้เข้าใจประสิทธิภาพของฝายเมื่อมุมภายในและรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเพื่อหาแนวทางบรรเทาภัยพิบัติจากการไหลหลากของดินโคลนในการใช้ฝายช่องเปิด เนื่องจากฝายช่องเปิดดังกล่าวไม่กระทบกับสิ่งแวดล้อม [18] เพราะไม่กีดขวางทางเดินของน้ำและการอพยพของสัตว์ ฝายช่องเปิดดังกล่าวถูกออกแบบไว้เป็นมาตรฐานแล้ว แต่เนื่องจากยังไม่เข้าใจพฤติกรรมการไหลของดินโคลนจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาเบื้องต้น ผลของการศึกษา ได้แก่ แรงกระแทกที่เกิดขึ้นหน้าฝายทึบหลังจากวัสดุไหลผ่านฝายช่องเปิดและปริมาณวัสดุที่ถูกดักจับโดยฝายช่องเปิด เพื่อศึกษาประสิทธิการดักจับและการดูดซับแรงสูงสุดของฝายช่องเปิดแต่ละรูปแบบ



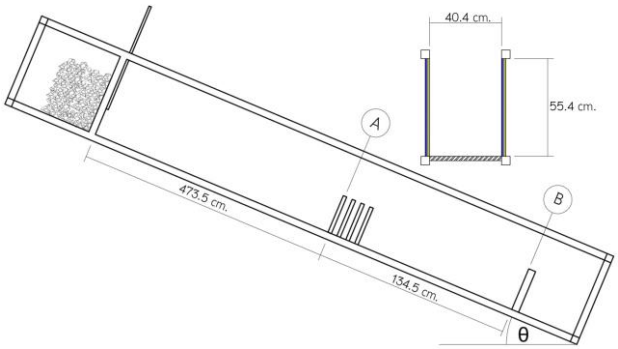
รูปที่ 1 น้ำป่าไหลหลากลงห้วยแม่ขนาด บ้านปง ต.ทากาศ อ.แม่ทา จ.ลำพูน [1]

2. ระเบียบวิธีวิจัย

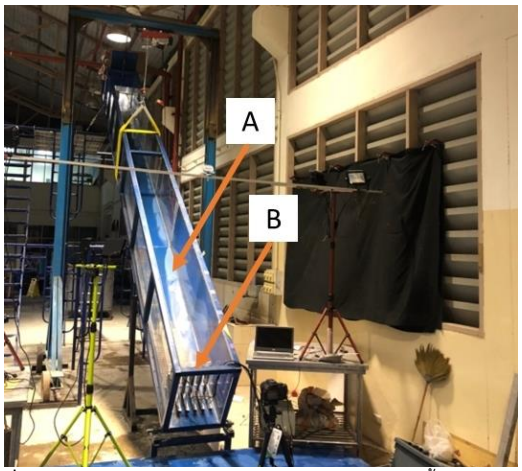
2.1 เครื่องมือการทดลอง

2.1.1 รางน้ำ

การทดลองรางน้ำขนาดความยาว 617 ซม. กว้าง 40.4 ซม. และ สูง 55.4 ซม. แสดงในรูปที่ 2 จุด A คือตำแหน่งติดตั้งฝายช่องเปิดมี 2 ประเภท 1.ฝายรูปตัววี 2.ฝายรูปตัวอัลฟา จุด B คือตำแหน่งติดตั้งฝายทึบแบบติดตั้งโหลดเซลล์ 6 ตัวเพื่อวัดแรงกระแทกตลอดแนวราบ (รูปที่ 3) ทดลองความลาดชันการไหล (θ) 25 30 และ 35 องศา



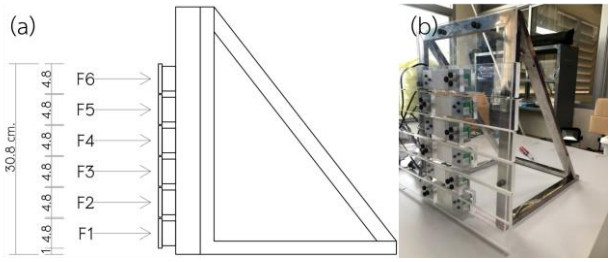
รูปที่ 2 แบบร่างรางน้ำทดลอง: A คือ ตำแหน่งติดตั้งฝายช่องเปิด, B คือ ตำแหน่งติดตั้งฝายทึบ



รูปที่ 3 ภาพถ่ายรูปอุปกรณ์การทดลอง: A คือ ตำแหน่งติดตั้งฝายช่องเปิด, B คือ ตำแหน่งติดตั้งฝายทึบ

2.1.2 ฝายทึบ

ฝายทึบถูกติดตั้งโหลดเซลล์ 6 ตัว (รูปที่ 4) วัดแรงกระแทกตลอดแนวราบในทิศทางตั้งฉากเมื่อวัสดุเคลื่อนที่ผ่านฝายช่องเปิดแล้วชนเข้ากับฝายทึบ เพื่อประเมินพฤติกรรมการไหลของเม็ดแห้งผสมท่อนไม้และประสิทธิภาพการดูดซับแรงของฝายช่องเปิด



รูปที่ 4 ฝายทึบวัดแรงกระแทกโดยติดตั้งโหลดเซลล์: (a) ลักษณะแรงกระแทกหน้าฝายทึบที่ถูกวัด, (b) ภาพถ่ายฝายทึบ

จากสมการ (1) แสดงถึงปริมาณแรงทั้งหมด (F) ที่เกิดจากการไหลของเม็ดแห้งผสมเศษท่อนไม้ที่กระทำกับสิ่งกีดขวาง [4] เมื่อ F_d คือแรงต้านหรือเรียกว่าแรงหน่วงเป็นแรงที่ต้านการเคลื่อนที่ซึ่งวัตถุต้องเอาชนะแรงนี้จึงเกิดการเคลื่อนที่, F_p คือแรงเนื่องจากแรงดันดินด้านข้างโดยแรงนี้มี 2 ประเภท คือ 1. แรงดันด้านข้างเมื่อดินเคลื่อนตัวดันฝายทึบ และ 2. แรงดันดินด้านข้างเมื่อฝายทึบต้านการเคลื่อนตัวของดิน และ F_{gf} คือแรงที่ถูกสร้างจากการหยุดนิ่งของดินที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงและแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส

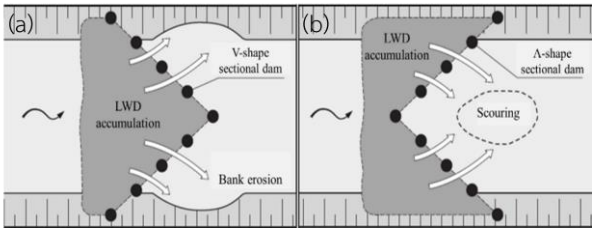
$$F = F_d + F_p + F_{gf} \quad (1)$$

$$R = \frac{F_H - F_i}{F_H} \quad (2)$$

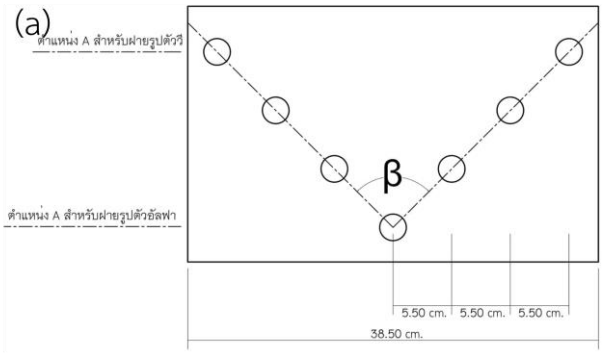
จากสมการ (2) แสดงถึงการดูดซับแรงของฝายช่องเปิดชนิดและรูปแบบต่าง ๆ (R) เมื่อ F_H คือปริมาณแรงกระแทกสูงสุดของฝายทึบเมื่อไม่มีฝายช่องเปิดดูดซับแรงกระแทก และ F_i คือปริมาณแรงกระแทกสูงสุดของฝายทึบเมื่อมีฝายช่องเปิดดูดซับแรงกระแทก

2.1.3 ฝายช่องเปิด

การทดลองประสิทธิภาพของฝายช่องเปิด ฝายที่ใช้มีลักษณะทรงกระบอกเพื่อเป็นตัวแทนจำลองแทนเสาเข็ม โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. สูง 27 ซม. ขนาดช่องเปิด 3 ซม. (s) อัตราส่วน s/d_{90} เท่ากับ 1.875 เมื่อ s คือระยะห่างช่องว่างของฝาย, d_{90} คือเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดอื่นเล็กกว่านี้ร้อยละ 90 รูปแบบการดักจับของฝายช่องเปิดมี 2 รูปแบบ ได้แก่ 1.รูปแบบตัวอัลฟา (A) 2.รูปแบบตัววี (V) [19] แสดงดังรูปที่ 5 แต่ละรูปแบบมีมุมภายใน (β) 80 90 และ 100 องศา (รูปที่ 6)



รูปที่ 5 การดักจับของฝายช่องเปิด: (a) รูปแบบตัววี, (b) รูปแบบตัวอัลฟา [19]





รูปที่ 6 ฝายช่องเปิด: (a) แบบร่างฝาย, (b) ภาพถ่าย

ประสิทธิภาพการดักจับของฝายช่องเปิด (E) คือปริมาณเม็ดแห้งและเศษท่อนไม้ที่ติดอยู่หน้าฝายช่องเปิดต่อปริมาณทั้งหมด [20,21] ประสิทธิภาพการดักจับคำนวณได้จากสมการ (3) เมื่อ V_e คือ ปริมาตรของวัสดุทั้งหมด และ V_s คือ ปริมาตรของวัสดุที่ไหลผ่านฝาย

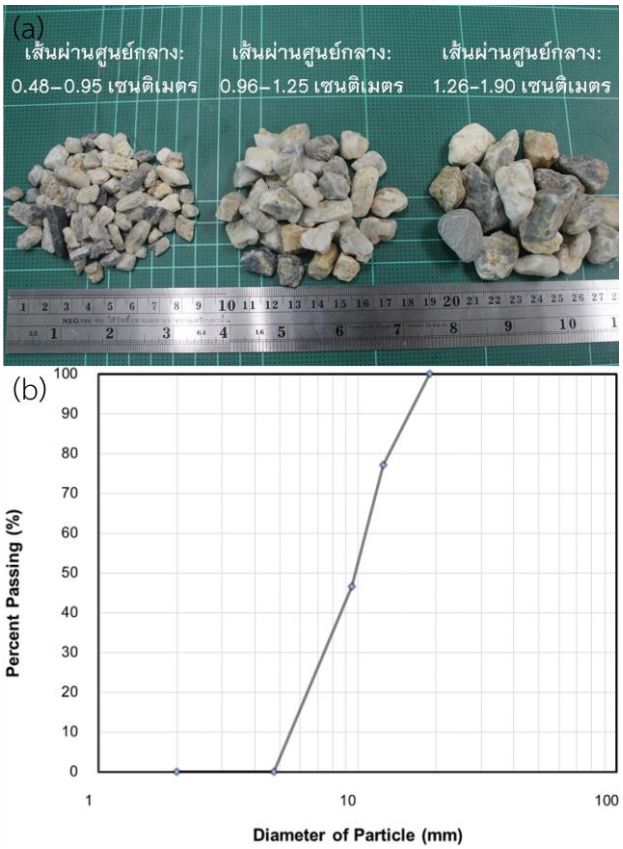
$$E = \frac{V_e - V_s}{V_e} \quad (3)$$

จากสมการ (2) $V_e - V_s$ คือ ปริมาณของวัสดุที่ถูกดักจับโดยฝายช่องเปิด แสดงให้เห็นว่าเมื่อ $V_e = V_s$ ประสิทธิภาพการดักจับเท่ากับศูนย์ในทางตรงกันข้าม เมื่อ $V_s = 0$ ฝายช่องเปิดสามารถดักจับปริมาณวัสดุได้ทั้งหมด

2.2 วัสดุการทดลอง

2.2.1 เม็ดแห้ง

กรวดแม่น้ำแบบแห้งถูกใช้ให้เป็นวัสดุตัวแทนเม็ดแห้งในการทดลอง มีพื้นผิวรูปทรงหลายด้านและผิวขรุขระ การเตรียมตัวอย่างวัสดุทดลองโดยล้างหินให้สะอาดเพื่อลดฝุ่น แล้วนำไปอบแห้งอุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 23 ± 0.5 ชม. [22] ปริมาณที่ใช้การทดลองแต่ละครั้งคือ 30 กิโลกรัม ขนาดกรวดผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว, 3/8 นิ้ว และตกค้างตะแกรงเบอร์ #4 ปริมาณการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแสดงดังรูปที่ 7 และรายละเอียดคุณสมบัติดังตารางที่ 1



รูปที่ 7 เม็ดแห้งที่ใช้ในการทดลอง: (a) ขนาดของกรวดแม่น้ำ, (b) แผนภูมิการกระจายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกรวดแม่น้ำ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของกรวดแม่น้ำที่ใช้เป็นเม็ดแห้งในการทดลอง

คุณสมบัติของวัสดุ	ขนาดเล็ก	ขนาดกลาง	ขนาดใหญ่
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	5.0	11.9	19.0
จำนวน (%)	46.58	30.56	22.87
หน่วยน้ำหนักรวม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1,582		
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	2,650		

2.2.2 เศษท่อนไม้

เศษท่อนไม้ที่ใช้ทดลองเป็นวัสดุไม้อัดแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. ความยาว 10 ซม. และ 15 ซม. แสดงในรูปที่ 8 น้ำหนักที่ใช้ทั้งหมดในการทดลอง 0.5 กิโลกรัม โดยผสมไม้ 2 รูปแบบเข้าด้วยกัน คุณสมบัติของไม้แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 8 ลักษณะเศษท่อนไม้ที่ใช้ในการทดลอง: ไม้รูปแบบที่ 1 (สีเหลือง), ไม้รูปแบบที่ 2 (สีแดง)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของกรวดแม่น้ำที่ใช้เป็นเม็ดแห้งในการทดลอง

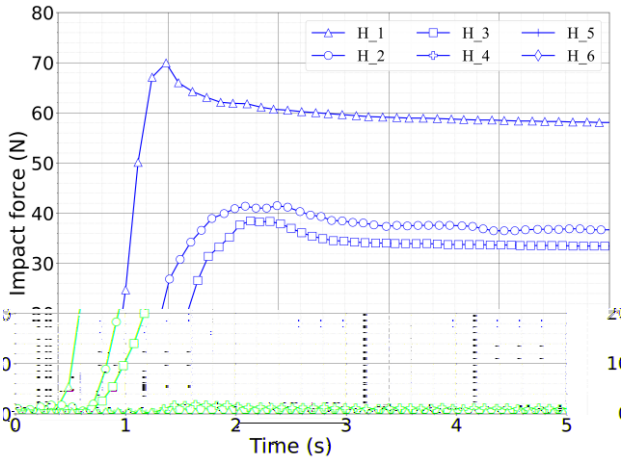
คุณสมบัติของวัสดุ	ไม้รูปแบบที่ 1	ไม้รูปแบบที่ 2
ความยาว (เซนติเมตร)	10	15
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (เซนติเมตร)	1.51	1.47
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	620	

เส้นผ่านศูนย์กลางของเศษท่อนไม้มีขนาด ½ ของความกว้างตั้งฉากกับทิศทางการไหลของช่องเปิดฝาย เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการดักจับเศษท่อนไม้และความยาวของเศษท่อนไม้เป็นความยาวที่สามารถทำให้เศษท่อนไม้บางส่วนสามารถไหลผ่านฝายไปได้ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการดักจับของฝายช่องเปิดเมื่อรูปแบบและมุมภายในต่าง ๆ [12,14]

2.3 การทดลอง

2.3.1 การทดลองปราศจากฝายช่องเปิด

การทดลองโดยติดตั้งฝายทึบวัดแรงกระแทกเท่านั้น เพื่อศึกษาพฤติกรรมแรงกระแทกเนื่องจากการไหลของเม็ดแห้งผสมเศษท่อนไม้ โดยไม่มีฝายช่องเปิดในการช่วยผ่อนแรง จากรูปที่ 9 แสดงแรงกระแทกที่เกิดขึ้นบนฝายทึบโดยปราศจากฝายช่องเปิดในการดูดซับแรง จากรูปที่ 4 หมายเลข 1-6 แสดงถึงปริมาณแรงกระแทกที่วัดได้จาก F1 ถึง F6



รูปที่ 9 แรงกระแทกที่ถูกวัดโดยฝายทึบ (H) ความลาดชันการไหล θ 30 องศา

2.3.2 การทดลองประสิทธิภาพฝายช่องเปิด

การทดลองประเภทนี้มีการติดตั้งฝายช่องเปิดและฝายทึบวัดแรงกระแทก เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของฝายช่องเปิดแต่ละรูปแบบในการดักจับและการดูดซับแรง รายละเอียดการทดลองแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายการทดลองประสิทธิภาพฝายช่องเปิด

ความลาดชันการไหล (องศา)	วัสดุทดลอง	รูปแบบการทดลองฝายช่องเปิด	รหัสการทดลอง
25 30 35	เม็ดแห้งผสมเศษท่อนไม้	ฝายช่องเปิดรูปตัวอัลฟามุม 80 องศา	A80-H
		ฝายช่องเปิดรูปตัวอัลฟามุม 90 องศา	A90-H
		ฝายช่องเปิดรูปตัวอัลฟามุม 100 องศา	A100-H
		ฝายช่องเปิดรูปตัววีมุม 80 องศา	V80-H
		ฝายช่องเปิดรูปตัววีมุม 90 องศา	V90-H
		ฝายช่องเปิดรูปตัววีมุม 100 องศา	V100-H

3. ผลการศึกษา

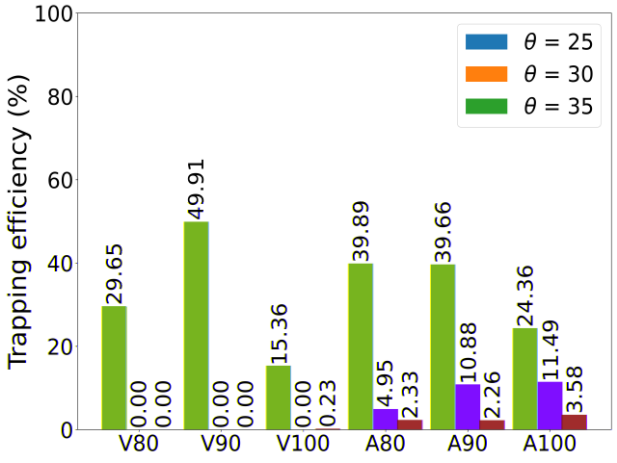
3.1 ประสิทธิภาพการดักจับ

ประสิทธิภาพการดักจับคำนวณได้จากสมการ (3) ในศึกษาฝายช่องเปิดรูปตัววีและรูปตัวอัลฟามุมภายใน 80, 90 และ 100 องศา ดังนั้นจึงมีฝาย 6 รูปแบบ ซึ่งที่ผ่านมามีการศึกษาประสิทธิภาพของฝายช่องเปิดการศึกษาทั้งหมดชี้ให้เห็นว่า ขนาดช่องเปิดและความลาดชันการไหลของเศษซากมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการดักจับของฝาย [8,9,14,15,20,21] ผลการทดลองพฤติกรรมการไหลของเม็ดแห้งผสมเศษท่อนไม้ที่ความลาดชันการไหล 25, 30 และ 35 องศา สรุปได้ดังนี้

ความลาดชันการไหล 25 องศา ฝายช่องเปิด V90 มีประสิทธิภาพการดักจับสูงสุด 49.91% เพราะมุมภายในช่วยดักจับเศษท่อนไม้และเศษท่อนไม้ยังช่วยดักจับเม็ดแห้ง อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าฝายช่องเปิด V100 มีประสิทธิภาพการดักจับต่ำที่สุด ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าฝาย V100 ไม่เหมาะสมกับการใช้ดักจับที่พื้นที่การไหลที่มีความลาดเอียง 25 องศา

ความลาดชันการไหล 30 องศา ฝายช่องเปิด A100 องศา มีประสิทธิภาพการดักจับสูงสุด 11.49% ส่วนฝายช่องเปิดรูปแบบตัววีไม่สามารถดักจับเม็ดแห้งผสมเศษท่อนไม้ ดังนั้นความลาดชันการไหล 30 องศาจึงไม่ควรใช้ฝายช่องเปิดรูปแบบตัววีในการดักจับ

การทดลองความลาดชันการไหล 35 องศา ฝายทั้ง 6 รูปแบบแทบไม่สามารถดักจับเม็ดแห้งผสมเศษท่อนไม้ เว้นแต่ฝายรูปแบบตัวอัลฟาที่มีปริมาณการดักจับเล็กน้อย สรุปได้ว่าความลาดชัน 35 องศา เกิดการไหลที่รุนแรงเกินกว่าประสิทธิภาพดักจับของฝายช่องเปิดที่ใช้ทดลอง โดยเฉพาะฝายรูปแบบตัววี



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพการดักจับเม็ดแห้งผสมเศษท่อนไม้ของฝายช่องเปิด ที่ความลาดชันการไหล θ 25, 30 และ 35 องศา

*** หมายเหตุ V80, V90 และ V100 คือฝายช่องเปิดรูปตัววี มุมภายใน 80, 90 และ 100 องศา ตามลำดับ; A80, A90 และ A100 คือฝายช่องเปิดรูปตัวอัลฟา มุมภายใน 80, 90 และ 100 องศา*

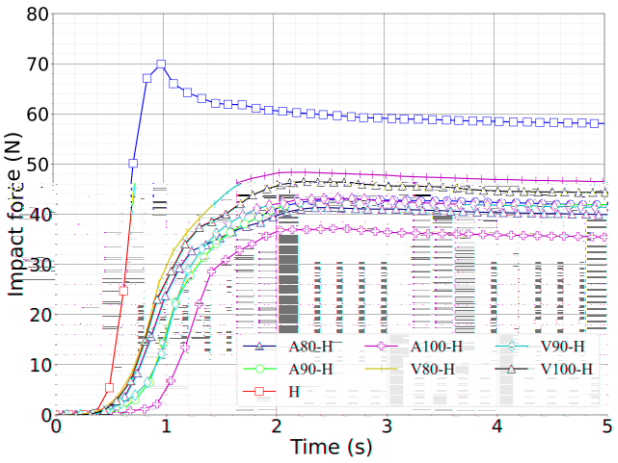
3.2 ประสิทธิภาพของการดูดซับแรง

เมื่อพิจารณาลักษณะการรับแรงของฝายทึบ เพื่อให้เกิดความเข้าใจการดูดซับแรงของฝายช่องเปิด ประสิทธิภาพของฝายช่องเปิดในการดูดซับแรงแตกต่างกันไปตามความลาดชันการไหลหรือระดับความรุนแรงจากการไหล [2-4,11] นอกจากนี้ ความสูงของกองวัสดุเริ่มต้น ขนาดของอนุภาค และมุมเสียดทานยังส่งต่อแรงกระแทกอย่างมีนัยสำคัญ [4,6,7] จากสมการ (1) แสดงถึงปริมาณแรงกระแทกทั้งหมดที่กระทำกับสิ่งกีดขวาง การดูดซับสามารถคำนวณได้จากสมการ (2) รูปที่ 11 แรงกระแทกบนฝายทึบของการไหล 30 องศา การทดลองการไหลเมื่อปราศจากฝายช่องเปิดในการดูดซับแรง 25, 30 และ 35 องศา (รูปที่ 10) เกิดแรงกระแทกสูงสุด 38, 70 และ 124 นิวตัน ตามลำดับ

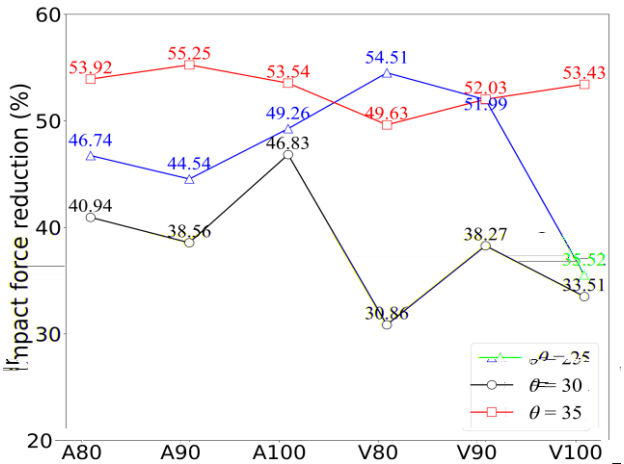
การทดลองความลาดชันการไหล 25 องศา ฝายช่องเปิด V80 มีประสิทธิภาพการดูดซับแรงสูงสุด 54.51 % เนื่องจากสามารถลดแรงกระแทกเมื่อวัสดุไหลผ่านฝายช่องเปิดกระทบกับฝายทึบ อย่างไรก็ตามฝายช่องเปิด V90 สามารถดูดซับแรงใกล้เคียงฝายช่องเปิด V80 คือ 51.99 % จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการดูดซับแรงของฝายช่องเปิด V100 สามารถดูดซับแรงได้น้อยที่สุด คือ 35.52 %

การทดลองความลาดชันการไหล 30 องศา ฝายช่องเปิด A100 มีประสิทธิภาพการดูดซับแรงสูงสุด 46.83 % จากรูปที่ 12 ประสิทธิภาพการดูดซับแรงของฝายช่องเปิดทุกรูปแบบเมื่อความลาดชันการไหล 30 องศา ต่ำสุดเมื่อเทียบกับความลาดชันการไหล 25 และ 35 องศา

การทดลองความลาดชันการไหล 35 องศา ฝายช่องเปิด A90 มีประสิทธิภาพการดูดซับแรงสูงสุด 55.25 % จากรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่า การทดลองความลาดชันการไหล 35 ฝายทุกรูปแบบมีประสิทธิภาพการดูดซับแรงที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 11 แรงกระแทกที่ถูกวัดโดยฝายทึบในการทดลอง θ 30 องศา



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพการดูดซับแรงของฝายช่องเปิด ที่ความลาดชันการไหล θ 25, 30 และ 35 องศา

*** หมายเหตุ A80, A90 และ A100 คือฝายช่องเปิดรูปตัวอัลฟา มุมภายใน 80, 90 และ 100 องศา ตามลำดับ; V80, V90 และ V100 คือฝายช่องเปิดรูปตัววี มุมภายใน 80, 90 และ 100 องศา*

4. บทสรุป

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการดักจับและประสิทธิภาพการดูดซับแรงของฝายช่องเปิดสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ประสิทธิภาพการดักจับของฝายแปรเปลี่ยนไปตามความลาดชันหรือสภาพความรุนแรงของการไหล อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดการไหลที่รุนแรงยกตัวอย่างเช่น ความลาดชัน 35 องศา พบว่าฝายช่องเปิดที่ใช้ในการทดลองไม่สามารถดักจับเศษท่อนไม้ผสมเม็ดแห้ง ดังนั้นเมื่อเกิดการไหลที่รุนแรงควรเปลี่ยนรูปแบบฝายหรือลดความกว้างของช่องเปิดให้แคบลง
2. จากการทดลองฝายช่องเปิดแต่ละรูปแบบมีประสิทธิภาพการดูดซับแรงขึ้นอยู่กับความลาดชันของการไหล แต่เมื่อการไหลของเม็ดแห้งผสมเศษท่อนไม้ที่รุนแรง (θ = 35 องศา) ฝายช่องเปิดทุกรูปแบบสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ฝายช่องเปิดทุกรูปแบบสามารถดูดซับแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเกิดการไหลที่รุนแรงเพราะ เมื่อไม่มีฝายช่องเปิดที่ดูดซับแรงจะเกิดแรงกระแทกกับสิ่งกีดขวางอย่างยิ่งยวด แต่เมื่อความลาดชันกันไหล 30 องศา แสดงให้เห็นว่าความลาดชันนี้ฝายช่องเปิดมีการดูดซับแรงที่ต่ำที่สุด
3. ฝายทึบเมื่อได้รับแรงกระแทกโดยตรงจะเกิดแรงกระแทกที่สูดสุดอย่างรวดเร็วและเมื่อเวลาผ่านไปเศษท่อนไม้และเม็ดแห้งที่เคลื่อนที่เข้าหาฝายจะพัฒนาทับถมและเกิดแรงดันด้านข้างจากฝายทึบต้านการเคลื่อนที่ของเศษท่อนไม้และเม็ดแห้งที่ตามมาจึงทำให้แรงที่กระทำต่อฝายลดลง
4. ประสิทธิภาพของฝายช่องเปิดขึ้นอยู่กับสภาวะการไหลที่รุนแรงต่างกัน โดยรวมแล้วฝายช่องเปิดรูปตัวอัลฟาสามารถดักจับได้ดีกว่าฝายช่องเปิดรูปตัววี ดังนั้นการประยุกต์ใช้รูปแบบฝายควรประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับสภาพความรุนแรงของการไหลหลากของดินโคลน การศึกษาพฤติกรรมในการช่วยดูดซับแรงและการดักจับของฝายช่องเปิดแต่ละรูปแบบ สามารถนำข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาพฤติกรรมการไหลของดินโคลนเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาแนวทางป้องกันเนื่องจากภัยพิบัติการไหลหลากของดินโคลนหรือดินโคลนถล่มให้มีความเหมาะสมและถูกต้อง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

คณะกรรมการโครงการวิจัย สำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนงบประมาณทุนอุดหนุนการวิจัย จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ผู้วิจัยขอกราบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และ ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่คอยสนับสนุนด้านเครื่องมือในการปรับแต่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] MGR ONLINE. น้ำป่าทะลักลงดอยขุนตาล พัดเศษไม้กองมหึมาขวางเต็มห้วยลำพูดซ้ำ. (2563). สืบค้นจาก. https://mgronline.com/local/detail/9630000077270.

[2] Jiang, Y.-J. and Towhata, I. (2012). Experimental Study of Dry Granular Flow and Impact Behavior Against a Rigid Retaining Wall. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 46, pp. 713-729.

[3] Ahmadipur, A. and Qiu, T. (2018). Impact force to a rigid obstruction from a granular mass sliding down a smooth incline. *Acta Geotechnica*, 13, pp. 1433-1450.

[4] Jiang Y.-J. and Zhao, Y. (2015). Experimental investigation of dry granular flow impact via both normal and tangential force measurements. *Géotechnique Letters*, 5, pp. 33-38.

[5] Canelli, L., Ferrero, A.M., Migliazza, M. and Segalini, A. (2012). Debris flow risk mitigation by the means of rigid and flexible barriers – experimental tests and impact analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, pp. 1693-1699.

[6] Cui, Y., Choi, C.E., Liu, L.H.D. and Ng, C.W. (2018). Effects of particle size of mono-disperse granular flows impacting a rigid barrier. *Nat Hazards*, 91, pp. 1179-1201.

[7] Leonardi, A., Goodwin, G.R. and Pirulli, M. (2019). The force exerted by granular flows on slit dams. *Acta Geotechnica*, 14, pp. 1949-1963.

[8] Silva, M., Costa, S., Canelas, R.B., Pinheiro, A.N. and Cardoso, A.H. (2016). EXPERIMENTAL AND NUMERICAL STUDY OF SLIT-CHECK DAMS. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 11, pp. 107-118.

[9] Sun, H., You, Y. and Liu, Jf. (2018). Experimental study on characteristics of trapping and regulation sediment with an open-type check dam in debris flow hazard mitigation. *Journal of Mountain Science*, 15, pp. 2001-2012.

[10] Qing-Zhao, Z., Qing, P., Ying, C., Ze-Jun, L., Zhen-Ming, S. and Yuan-Yuan, Z. (2019). Characteristics of landslide-debris flow accumulation in mountainous areas. *Heliyon*, 5, e02463.

[11] Zhao, H., Yao, L., You, Y., Wang, B. and Zhang, C. (2018). Experimental Study of the Debris Flow Slurry Impact and Distribution. *Shock and Vibration*, 2018, Article ID 5460362.

[12] Xie, Xp., Wei, Fq., Yang, Hj. and Xie T. (2017). Experimental study on large wood filtration performance by herringbone water-sediment separation structure. *Journal of Mountain Science*, 14, pp. 269-281.

[13] Okamoto, T., Takebayashi, H., Sanjou, M., Suzuki, R. and Toda, K. (2018). Log jam formation at bridges and the effect on floodplain flow: A flume experiment. *J Flood Risk Management*, 13(1), e12562.

[14] Hashimoto, H., Hashimura, K., Nagano, H. and Maricar F. (2016). Experimental Investigation into Flow Behavior of Wood-Sediment-Water Mixture at a Grid Type of Open Check Dam. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 9(4), pp. 188-193.

[15] Shima, J., Moriyama, H., Kokuryo, H. and Ishikawa, N. (2016). Prevention and Mitigation of Debris Flow Hazards by Using Steel Open-Type Sabo Dams. *International Journal of Erosion Control Engineering*, 9(3), pp. 135-144.

[16] Bavarian Environment Agency (2017). Sediment and woody debris transport-countermeasures. *Federal state of Bavaria*.

[17] Moriyama, H., Kokuryo, H., Yamaguchi, M., Inoue, R., Ishikawa, N. and Shima, J. (2014). Debris Flow Capture Investigation of Steel Open-type Sabo Dams around Mt. Aso JAPAN. *INTERPRAEVENT 2014 IN NARA*.

[18] MGR ONLINE มณฑาธาร ในวันที่ธารกำลังจะจมน้ำตาย. (2559). สืบค้นจาก. https://mgronline.com/science/detail/9590000060510.

[19] Piton, G. and Recking, A. (2015). Design of Sediment Traps with Open Check Dams. II: Woody Debris. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(2).

[20] Silva, M., Costa, S. and Cardoso, A.H. (2015). Effect of plan layout on the sediment control efficiency of Slit-check dams for stony type debris flows mitigation. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, 197, pp. 259-270.

[21] Silva, M., Costa, S. and Cardoso, A.H. (2015). Slit-check dams for stony type debris flows mitigation. Experimental Study to Evaluate Sediment Control Efficiency. *Dam World Conference*, Lisbon, Portugal, 21-24 Aprill 2015.

[22] ASTM C33/C33M-13 (2016). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. ATSM International, ASTM Volume 04.02: Concrete and Aggregates, Conshohocken, PA, USA. DOI:10.1520/C0033_C0033M-13.