

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของของไหลนอนิวตันเนียน
เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุรับแรงกระแทกสำหรับแบรีเออร์
EXPERIMENT TO STUDY THE BEHAVIOR OF NON-NEWTONIAN FLUIDS
TO BE APPLIED AS A SHOCK-ABSORBING MATERIAL FOR A BARRIER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์
บัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของของไหลนอนนิวโตเนียน
เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุรับแรงกระแทกสำหรับแบรีเออร์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์
บัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENT TO STUDY THE BEHAVIOR OF NON-NEWTONIAN FLUIDS
TO BE APPLIED AS A SHOCK-ABSORBING MATERIAL FOR A BARRIER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN
MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2565
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของของไหลนอนิวตันเนียน
เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุรับแรงกระแทกสำหรับแบรีเออร์
EXPERIMENT TO STUDY THE BEHAVIOR OF NON-NEWTONIAN FLUIDS
TO BE APPLIED AS A SHOCK-ABSORBING MATERIAL FOR A BARRIER

ผู้จัดทำ

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1.นายกันทรากร พูลกลาง | รหัสประจำตัว 62010053 |
| 2.นายชลกานต์ พูลศิลป์ | รหัสประจำตัว 62010173 |
| 3.นายธนวิชัย คุณสมบัติ | รหัสประจำตัว 62010373 |

B.B.U

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของของไหลนอนนิวโตเนียน
เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุรับแรงกระแทกสำหรับแบรีเออร์

นายกันทรกร	พุลกลาง	62010053
นายชลกานต์	พุลศิลป์	62010173
นายธนวิษณุ	คุณสมบัติ	62010373
ดร. บำรุง	พวงเกิด	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

Oobleck คือ non-Newtonian fluid (ของไหลแบบนอนนิวโตเนียน) ของเหลวเหล่านั้นมีความหนืดคงที่ การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติของ Oobleck ที่มีความสามารถช่วยรองรับแรงกระแทก 2) เพื่อใช้คุณสมบัติที่ได้ออกแบบวัสดุรับแรงกระแทก และ 3) เพื่อศึกษาประโยชน์ของ Oobleck ที่ใช้เป็นวัสดุทดแทนเพื่อรับแรงกระแทก งานวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงคุณภาพ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้การทดสอบเปรียบเทียบความสามารถการรองรับแรงกระแทกกับวัสดุตัวอื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายกับ Oobleck โดยใช้ลูกบอลเหล็กตกอย่างอิสระเป็นแรงกระทำภายนอกเพื่อศึกษาและออกแบบวัสดุทดแทนกันกระแทกของแบรีเออร์โดยใช้ Oobleck วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ 1) ทฤษฎีแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของแข็งจะลึ่คอนุภาคเหล่านั้นไว้ในโครงแบบและทำให้การต้านการไหล 2) ทฤษฎีเมื่ออนุภาคเข้าใกล้กัน ความต้านทานในการระบายของเหลวที่อยู่ระหว่างอนุภาคทั้งสองจะทำให้การเคลื่อนที่ช้าลงและลึ่คอนุภาคเป็นกลุ่ม

สรุปผลการวิจัย พบว่าการที่นำยิปซัมมาเสริมด้วย Oobleck จะสามารถลดแรงกระแทกที่เกิดขึ้นได้ดีมากกว่าการที่มีเพียงแค่ยิปซัมหรือการที่ยิปซัมเสริมด้วยแผ่นยาง ดังนั้น Oobleck สามารถนำไปใช้ในการเสริมประสิทธิภาพในการดูดซับแรงให้กับแบรีเออร์ได้

คำสำคัญ : ของไหลแบบนอนนิวโตเนียน, วัสดุรับแรงกระแทก, Oobleck, แบรีเออร์

EXPERIMENT TO STUDY THE BEHAVIOR OF NON-NEWTONIAN FLUIDS TO BE
APPLIED AS A SHOCK-ABSORBING MATERIAL FOR A BARRIER

Mr.Kantragorn	Poonglang	62010053
Mr.Chonlakarn	Poonsil	62010173
Mr.Tanawich	Kunsombat	62010373
Dr.Bumroong	Puangkird	Advisor
		Year 2022

Abstract

Oobleck is a non-newtonian fluid. The objectives of this research were 1) to study the properties of oobleck with cushioning ability, 2) to use the properties designed for cushioning materials, and 3) to study the benefits of oobleck as a cushioning material. This research uses a qualitative research model. Data were collected using tests comparing the impact capacity to other materials with properties similar to Oobleck, using a free falling steel ball as an external force to study and design barrier cushioning substitutes using Oobleck. The liquid drain resistance located between the two particles slows down the movement and locks the particles into groups.

Summary of research results It was found that gypsum reinforced with Oobleck can reduce the impact that occurs better than only gypsum or gypsum reinforced with rubber sheet. So Oobleck Can be used to enhance the efficiency of absorbing force to the barrier.

Keywords: non-newtonian fluid, Impact material, oobleck, Barrier

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ดร.บำรุง พ่วงเกิด อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ คณะผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์รู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง อีกทั้งขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำเพิ่มเติม ทำให้ปริญญาานิพนธ์มีความสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูพร้อมทั้งให้โอกาสทางการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจอย่างเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบคุณทางภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสคณะผู้จัดทำปริญญาานิพนธ์เข้ามารับการศึกษาและทำการทดลองที่ภาควิชาแห่งนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายกันทรกร พูลกลาง
นายชลกานต์ พูลศิลป์
นายธนวิชญ์ คุณสมบัติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	A
ABSTRACT	B
กิตติกรรมประกาศ	C
สารบัญ	D
สารบัญภาพ	F
สารบัญตาราง	H
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับของเหลวแบบนอนนิวโตเนียน	3
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
2.3.1 Oobleck	8
2.3.2 ความหนืด	9
2.3.2.1 การวัดความหนืดของไหล	10
2.3.3 shear stress ของของไหล	11
2.3.4 shear rate ของของไหล	11
2.3.5 พฤติกรรมการไหลของของไหล	12
2.3.5.1 การไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent flow)	12
2.3.5.2 การไหลที่ขึ้นกับเวลา (Time dependent flow)	15
2.3.6 แรงกระแทก	15
2.3.7 Power-law fluid (Ostwald de Waele equation)	15
2.3.8 spring and damp mechanical model	16
2.3.9 Hooke's law	16
2.3.10 พลังงาน (Energy)	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.10.1 พลังงานศักย์	16
2.3.11 คอนกรีต	18
2.3.12 ยาง (rubber)	18
2.3.12.1 ยางธรรมชาติ (natural rubber)	18
2.3.12.2 ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber)	19
บทที่ 3 อุปกรณ์และการออกแบบการทดลอง	20
3.1 การเตรียมของไหลนอนนิวโตเนียน หรือ Oobleck	20
3.2 เตรียมการทดลอง	21
3.3 การเตรียมชั้นแต่ละชั้นในการทดลอง	21
3.3.1 การเตรียมการทดลองของยิปซัม	22
3.3.2 การเตรียมการทดสอบของยิปซัมเสริมด้วย Oobleck	22
3.3.3 การเตรียมการทดสอบของวัสดุยิปซัมเสริมด้วยแผ่นยาง	23
3.4 การเตรียมวัสดุลูกบอลเหล็กสำหรับปล่อยเพื่อทดลอง	23
3.5 การเตรียมชุดเซนเซอร์และสมองกลเพื่อวัดแรงกระแทก	24
3.5.1 บอร์ดสมองกล	24
3.5.2 เซนเซอร์วัดแรงกด	24
3.5.3 การต่อแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	26
4.1 ผลการวัดค่าพลังงานที่ส่งผ่านวัสดุ	26
4.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	35
5.1 สรุปผลการทดลอง	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	35

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงหยดนมที่หยดลงบน super-hydrophobic ในแต่ละเวลาขณะนั้น	4
รูปที่ 2.2 แสดงภาพ 3 มิติของการออกแบบ OobSoft Gripper	5
รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการหยิบจับสิ่งของด้วย OobSoft Gripper	5
รูปที่ 2.4 แสดงไมโครกราฟของอนุภาคแป้งข้าวโพด	6
รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของลูกกระนาบชะลอความเร็วของไหลแบบธรรมดาและ non-newtonian	7
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของ Oobleck	8
รูปที่ 2.7 หลักการพื้นฐานของความหนืด	11
รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมแสดงประเภทของไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา	12
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและอัตราเอนของของไหลแบบนิวโตเนียน (ซ้าย) และความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือนของของไหลแบบนิวโตเนียน (ขวา)	12
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด	13
รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนในของไหลแบบนิวโตเนียนและนอนนิวโตเนียน	14
รูปที่ 2.12 แสดงแผนผังของแบบจำลองทางกลพร้อมคุณสมบัติการหน่วงของวัสดุและสปริง	16
รูปที่ 2.13 แสดงภาพยางพาราก้อน	18
รูปที่ 2.14 แสดงภาพโครงสร้างตัวอย่างของยางสังเคราะห์	19
รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรร้อยละของแป้งข้าวโพดและค่าดัชนีกฏยกกำลัง (n)	20
รูปที่ 3.2 แสดงภาพจำลองการทดลองการกระแทกแบบตกอิสระ	21
รูปที่ 3.3 แสดงการเตรียมการทดลองของวัสดุยืดหยุ่น	22
รูปที่ 3.4 แสดงการเตรียมการทดสอบของวัสดุยืดหยุ่นเสริมด้วย Oobleck	22
รูปที่ 3.5 แสดงการเตรียมการทดสอบของวัสดุยืดหยุ่นเสริมด้วยแผ่นยาง	23
รูปที่ 3.6 แสดงลูกเหล็กในการทดลองมวล 44 กรัม และ 112 กรัม	23
รูปที่ 3.7 แสดงภาพของ Arduino Uno R3	24
รูปที่ 3.8 เซนเซอร์วัดแรงกดในช่วง 0.1N-10N 18.28 mm.	25
รูปที่ 3.9 แสดงการต่อชุดทดลองสำหรับตรวจจับแรงกระแทก	25
รูปที่ 4.1 แสดงพลังงานที่ถูกส่งผ่านของกรณีที่ 1 M=44 กรัม, H=10 เซนติเมตร	26
รูปที่ 4.2 แสดงพลังงานที่ถูกดูดซับของกรณีที่ 1 M=44 กรัม, H=10 เซนติเมตร	27
รูปที่ 4.3 แสดงพลังงานที่ถูกส่งผ่านของกรณีที่ 1 M=44 กรัม, H=20 เซนติเมตร	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 แสดงพลังงานที่ถูกดูดซับของกรณีที่ 2 M=44 กรัม, H=20 เซนติเมตร	28
รูปที่ 4.5 แสดงพลังงานที่ถูกส่งผ่านของกรณีที่ 3 M=112 กรัม, H=10 เซนติเมตร	29
รูปที่ 4.6 แสดงพลังงานที่ถูกดูดซับของกรณีที่ 3 M=112 กรัม, H=10 เซนติเมตร	29
รูปที่ 4.7 แสดงพลังงานที่ถูกส่งผ่านของกรณีที่ 4 M=112 กรัม, H=20 เซนติเมตร	30
รูปที่ 4.8 แสดงพลังงานที่ถูกดูดซับของกรณีที่ 4 M=112 กรัม, H=20 เซนติเมตร	31
รูปที่ 4.9 แผนผังแบบจำลองเชิงกลเทียบเท่ากับคุณสมบัติการหน่วงและสปริงของวัสดุ	31
รูปที่ 4.10 แสดงการตอบสนองการกระจัด (Δ) ของกรณีที่ 4	32
รูปที่ 4.11 แสดงค่าร้อยละของพลังงานที่ส่งผ่านวัสดุสัมพัทธ์	34

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราการหมุนของวัสดุ (Z) และ ค่าคงที่สปริงของวัสดุ(K) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	32
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพลังงานที่ส่งผ่านถึงยิปซัม (μ)	33
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าร้อยละของพลังงานที่ลดลงสัมพันธ์กับแบบจำลองยิปซัม(%)	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้ยานพาหนะในการเดินทางบนท้องถนนเพิ่มมากขึ้น การเกิดอุบัติเหตุจึงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ทุกคนไม่อยากจะเกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีการทำตัวกันถนนหรือที่เรียกทับศัพท์ว่า “Barrier” หรือ “Guardrail” ไว้ป้องกันบริเวณริมทางหรือเกาะกลางถนน โดยหน้าที่ของ Barrier หรือ Guardrail คือ เมื่อรถเสียหลักตกข้างทาง จะเกิดการชนทางด้านข้างกับตัวแบรีเออร์ ตัวแบรีเออร์ต้องสามารถทำให้รถกลับเข้ามาสู่ช่องจราจรเดิมได้ โดยต้องไม่ทำให้รถกระเด็นหรือสะท้อนกลับมากเกินไป เพราะจะทำให้ถูกชนด้วยรถคันอื่นที่วิ่งตามหลังมาได้ และแบรีเออร์จะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอให้สามารถป้องกันรถไม่ให้พุ่งทะลุหรือพลิกข้ามไปชนวัตถุอันตรายที่อยู่แนวด้านหลังแบรีเออร์ได้ แบรีเออร์มีอยู่ 3 ประเภท ได้แก่ แบรีเออร์แบบยืดหยุ่น (Flexible Barrier) แบรีเออร์แบบกึ่งแข็ง (Semi-Rigid Barrier) และ แบรีเออร์แบบแข็ง (Rigid Barrier) การจะเลือกใช้แบรีเออร์เพื่อป้องกันการชนนั้น จึงขึ้นอยู่กับลักษณะประเภทของถนน ความเร็วของกระแสจราจร ปริมาณจราจร ปริมาณของรถขนาดใหญ่ และสภาพอันตรายข้างทาง

เมื่อติดตามข่าวอุบัติเหตุมักพบว่าการเกิดอุบัติเหตุจากการที่ยานพาหนะพุ่งชนเข้ากับตัวกันถนน หรือแบรีเออร์ ที่ทำจากคอนกรีตโดยตรงนั้น อาจทำให้ผู้ที่อยู่ในยานพาหนะนั้นบาดเจ็บสาหัส หรือ ถึงขั้นเสียชีวิตได้ทันที เนื่องจากมวลของคอนกรีตนั้นมาก ไม่สามารถยืดหยุ่นได้ และออกแบบมาเพื่อให้ชนเข้ากับด้านข้างของตัวยานพาหนะเท่านั้น หากชนโดยตรงมักก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก

ดังนั้นผู้จัดทำจึงทำการศึกษาค้นคว้าว่าเราสามารถนำวัสดุชนิดไหนมาใช้ทำแบรีเออร์แทนคอนกรีตได้ พบว่า คุณสมบัติของ Non-Newtonian Fluids ชนิด Dilatant fluids เมื่อเพิ่มแรงเฉือนให้กับวัสดุจะทำให้วัสดุมีความหนืดเพิ่มขึ้น ผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาคุณสมบัติเพิ่มเติมเกี่ยวกับ Dilatant fluids โดยใช้ส่วนผสมกับแป้งข้าวโพด หรือ เรียกว่า “Oobleck” สามารถนำมาใช้ป้องกันหรือลดแรงกระแทกได้หรือไม่ เพื่อนำไปใช้ต่อยอดในการสร้างเป็นตัวกันถนน หรือ แบรีเออร์สำหรับป้องกันอุบัติเหตุบนท้องถนนได้ในอนาคต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อหาวัสดุทดแทนที่สามารถนำมาสร้างตัวกันถนนหรือ Barrier เพื่อลดอุบัติเหตุ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของ Oobleck ว่ามีความสามารถในการช่วยรองรับแรงกระแทกหรือไม่
- 1.2.3 เพื่อใช้คุณสมบัติที่ได้ออกแบบตัวกันถนนหรือ Barrier ที่สามารถลดความเสียหายที่เกิด

จากอุบัติเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1.3.1 Oobleck สามารถนำมาใช้เป็นตัวกั้นถนนหรือ Barrier เพื่อลดอุบัติเหตุได้

1.3.2 Oobleck มีความสามารถในการช่วยรองรับแรงกระแทก

1.3.3 Oobleck สามารถรับแรงกระแทกและลดการเสียหายได้ดีกว่าวัสดุอื่นที่นำมาเปรียบเทียบได้แก่ ยางและคอนกรีต

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ใช้วัสดุในการทดสอบการรับแรงกระแทกโดยใช้ น้ำผสมแป้งข้าวโพด โดยใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 3

1.4.2 ทดสอบการรับแรงกระแทกของวัสดุโดยใช้เซ็นเซอร์วัดแรงรุ่น FSR402 ในการวัด

1.4.3 ใช้ปริมาตร ใช้น้ำ 100 กรัม และแป้งข้าวโพด 150 กรัมการทดสอบการกระแทก

1.4.4 ใช้ลูกเหล็กหนัก 44 และ 112 กรัม ที่ความสูง 10 และ 20 เซนติเมตร ในการปล่อย

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อทำความเข้าใจอย่างถูกต้อง

1.5.2 เริ่มทำการทดลองคุณสมบัติการรับแรงกระแทก

1.5.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับแรงกระแทก

1.5.4 สรุปผลการทดลอง

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

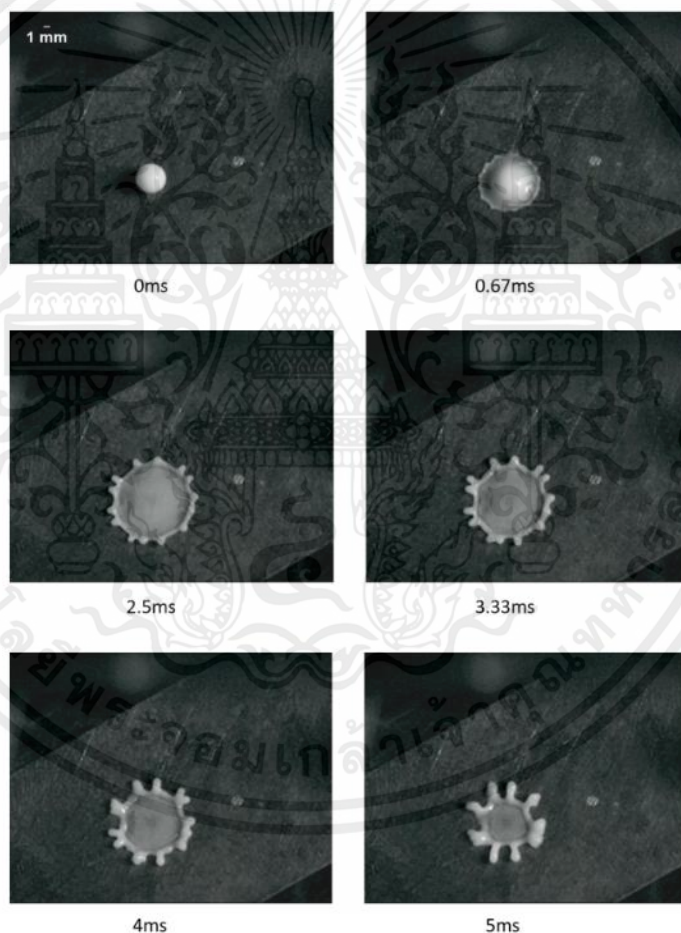
ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้ความรู้ และแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบและวิเคราะห์การรับแรงกระทำของของไหลที่เป็น Non-Newtonian เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้การทดสอบเปรียบเทียบความสามารถการรองรับแรงกระทำกับวัสดุตัวอื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายกับ Oobleck โดยใช้ลูกตุ้มเหล็กเป็นตัวปะทะเพื่อศึกษาและออกแบบวัสดุทดแทนกันกระทำของแบรีเออร์โดยใช้ Oobleck

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับของเหลวแบบนอนนิวโตเนียน

Aaron S. Baumgartena and Ken Kamrinb, [2019], สารแขวนลอยที่มีอนุภาคละเอียด (เช่น แป้งข้าวโพดผสมกับน้ำ) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในความหนืดเมื่อตัดเฉือน ทำให้เกิดพฤติกรรมอันน่าทึ่งที่ดึงดูดนักรีโอโลยี การตรวจสอบของผสมเหล่านี้ในรูปทรงเรขาคณิตการไหลอย่างง่ายแสดงให้เห็นแรงผลักระหว่างขอบเกรนและอิทธิพลของมันที่มีต่อลักษณะการเสียดสีของหน้าสัมผัสแบบเม็ดเป็นหัวใจสำคัญของผลกระทบนี้ สำหรับส่วนผสมที่เหลื่อหรือการตัดเฉือนอย่างซ้ำๆ แรงผลักระหว่างเม็ดจะป้องกันไม่ให้เกิดการสัมผัสเสียดทานระหว่างอนุภาค ในขณะที่เมื่อเฉือนออกแรงมากขึ้น ความเค้นแบบเม็ดจะเอาชนะแรงผลักระหว่างเม็ดทำให้เกิดการสัมผัสเสียดทานระหว่างอนุภาค ปฏิกริยาโต้ตอบกันแบบเสียดทานและสร้างโครงสร้างระดับจุลภาคที่ต้านทานการไหล การศึกษาที่เป็นส่วนประกอบก่อนหน้านี้ของสารผสมเหล่านี้ได้มุ่งเน้นไปที่กรณีเฉพาะ ซึ่งโดยทั่วไปจะจำกัดเฉพาะการไหลแบบเฉือนแบบ 2 มิติที่สม่ำเสมอและเรียบง่าย ในงานนี้ เราแนะนำแบบจำลองความต่อเนื่อง 3 มิติเชิงคาดการณ์และทั่วไปสำหรับวัสดุนี้ โดยใช้ทฤษฎีส่วนผสมเพื่อจับคู่เฟสของไหลและอนุภาค มีบทบาทสำคัญในโมเดล เราแนะนำตัวแปรสถานะโครงสร้างจุลภาค ซึ่งวิวัฒนาการมาจากข้อโต้แย้งทางกายภาพขนาดเล็กและตรวจสอบกับข้อมูลที่มีอยู่ แบบจำลองที่ขึ้นกับพื้นที่และเวลาของเราถูกนำมาใช้เป็นตัวเลขในการกำหนดค่าการไหลที่ไม่สม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอแบบต่างๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถจับพฤติกรรมหลักต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ: 1) ความหนาของแรงเฉือนอย่างต่อเนื่อง (CST) และความหนาของแรงเฉือนที่ไม่ต่อเนื่อง (DST) พฤติกรรมที่สังเกตได้ในการไหลสม่ำเสมอ 2) การแพร่กระจายตามเวลาของ “ด้านหน้าที่ติดขัดด้วยแรงเฉือน” 3) การแพร่กระจายที่ขึ้นอยู่กับเวลาของ “ด้านหน้าที่ติดขัดแบบกระตุ้นการกระทำ” และ 4) เอฟเฟกต์ที่ไม่ใช่นิวตัน โดยที่ห้วงจักรเคลื่อนที่เร็วจะลอยอยู่ในขณะที่รถเคลื่อนที่ช้าจะจมลง

Yingjie Li, [2016] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของเหลวแบบต่างๆ โดยการหยดของเหลวต่าง ๆ นั้นลงในพื้นผิวแบบ super-hydrophobic มีแท่นหยดของเหลว และใช้ปีเปตตีในการหยดของเหลว ใช้กล้องความเร็วสูงเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกการทดลองที่ 6,000 เฟรมต่อวินาที ซึ่งของเหลวที่นำมาศึกษาได้แก่ น้ำ, นม, น้ำที่ผสมด้วยแป้งข้าวโพด 5 เปอร์เซ็นต์, น้ำที่ผสมด้วยแป้งข้าวโพด 15 เปอร์เซ็นต์, เลือด และเลือดที่เจือจาง เพื่อศึกษารูปหยดของเหลวชนิดต่างๆและการกระทบพื้นผิว หลังจากการทดลองและสรุปผล พบว่าของเหลวแต่ละชนิดมีขนาดของเม็ดหยดไม่เท่ากัน มีระยะเวลาในการแผ่ของเม็ดหยดของเหลวขณะปะทะกับพื้นวัสดุแตกต่างกัน มีการเกิดจำนวน spires ที่แตกต่างกัน และของเหลวแต่ละอย่างมีพฤติกรรม การดีดกลับเพื่อรวมตัวกันในภายหลังจากปะทะกับวัสดุใช้ระยะเวลาแตกต่างกันด้วย ตัวอย่างดังรูป 2.1 แสดงหยดนมที่หยดลงบน super-hydrophobic ในแต่ละเวลาขณะนั้น



รูปที่ 2.1 แสดงหยดนมที่หยดลงบน super-hydrophobic ในแต่ละเวลาขณะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Francisco Yumbla, Wendy Yumbla, Emiliano Quinones Yumbla and Hyungpil Moon, [2022] เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้แขนจับของหุ่นยนต์ โดยมีการต่อยอดโดยใช้ Oobleck เป็นตัวเกาะวัตถุ แทนกำมปูแบบทั่วไป มันมีชื่อว่า OobSoft Gripper หรือที่แปลว่ากริปเปอร์แบบอ่อนที่กำหนดค่าใหม่ได้โดยใช้ Oobleck เพื่อการจับที่หลากหลายและละเอียดอ่อน มีการศึกษาการผสมแป้งข้าวโพดกับน้ำในอัตราส่วนต่างๆเพื่อศึกษาพฤติกรรมของของเหลว พบว่ายังมีการใช้แป้งข้าวโพดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ตัวของเหลวที่ได้มีความหนาแน่นและความหนืดมากขึ้นตามไปด้วย และใช้ข้อมูลจากตรงนี้ในการทดสอบต่อไป ทดลองโดยใช้ Oobleck ที่มีอัตราส่วนผสมน้ำต่อแป้งข้าวโพด 1 ส่วนต่อ 1.5-2 ส่วน ใส่ในถุงที่ทำมาจากยางทำให้ถุงนี้มีการปรับเปลี่ยนรูปร่างได้ตามวัตถุที่จะนำไปหยิบจับ ขั้นตอนมาเป็นการใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นได้เพื่อประกอบถุงที่บรรจุ Oobleck และชั้นนอกสุดห่อด้วยวัสดุที่แข็งเพื่อความแข็งแรงและการกระจายแรงที่ดี



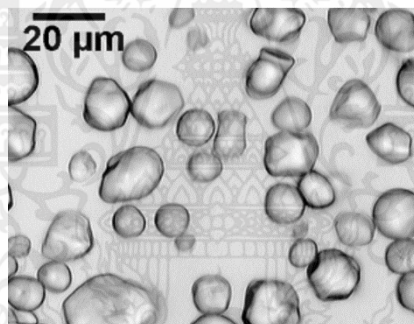
รูปที่ 2.2 แสดงภาพ 3 มิติของการออกแบบ OobSoft Gripper



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการหยิบจับสิ่งของด้วย OobSoft Gripper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abdoulaye Fall, François Bertrand, Guillaume Ovarlez and Daniel Bonn, [2012] ศึกษาวิจัยโอโลยีของสารแขวนลอยแบ่งขั้ววโฑต ซึ่งเป็น non-Brownian particle system แสดงความหนาของแรงเฉือนที่ไม่ต่อเนื่อง การใช้การถ่ายภาพด้วยคลื่นสนามแม่เหล็ก (MRI) คุณสมบัติเฉพาะของการไหลได้มาจากการกำหนดความเร็วเฉพาะที่และความเข้มข้นในเซลล์ Couette ในอัตราการหมุนต่ำ มีการสังเกตลักษณะเฉพาะของแรงเฉือนของของเหลวความเค้นคราก เมื่ออัตราเฉือนโดยรวมเพิ่มขึ้น ความกว้างของพื้นที่เฉือนจะเพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของแรงเฉือนที่ไม่ต่อเนื่องพบว่าเกิดขึ้นที่ส่วนท้ายของระบบการแปลแบบเฉือนนี้ เมื่อของไหลทั้งหมดถูกเฉือนมีอยู่บริเวณที่ไม่มีไหล ดังนั้นจึงดูเหมือนจะป้องกันหรือชะลอการหนาของแรงเฉือน การสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยใช้รูปทรงเรขาคณิต การวัดที่แตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าช่องว่างของเซลล์เฉือนมีขนาดเล็กลง อัตราการเฉือนที่ความหนาของแรงเฉือนจะยิ่งต่ำลง จึงสรุปได้ว่าความหนาของแรงเฉือนที่ไม่ต่อเนื่องของสารแขวนลอยแบ่งขั้ววโฑตเป็นผลมาจากการขยายตัวของระบบภายใต้การไหลพยายามที่จะขยาย แต่แทนที่จะผ่านการเปลี่ยนแปลงที่ติดขัดเพราะมันถูก จำกัด ข้อเสนอนี้ได้รับการยืนยันโดยการวัดอิสระของการขยายสารแขวนลอยตามฟังก์ชันของอัตราการเฉือน นอกจากนี้ยังอธิบายถึงข้อสังเกตของ MRI: เมื่อการไหลถูกแปลเป็นภาษาท้องถิ่น บริเวณที่ไม่มีไหลจะมีชื่อเป็น "dilatancy reservoir" ซึ่งทำให้สามารถเฉือนวัสดุได้โดยไม่เกิดการติดขัด

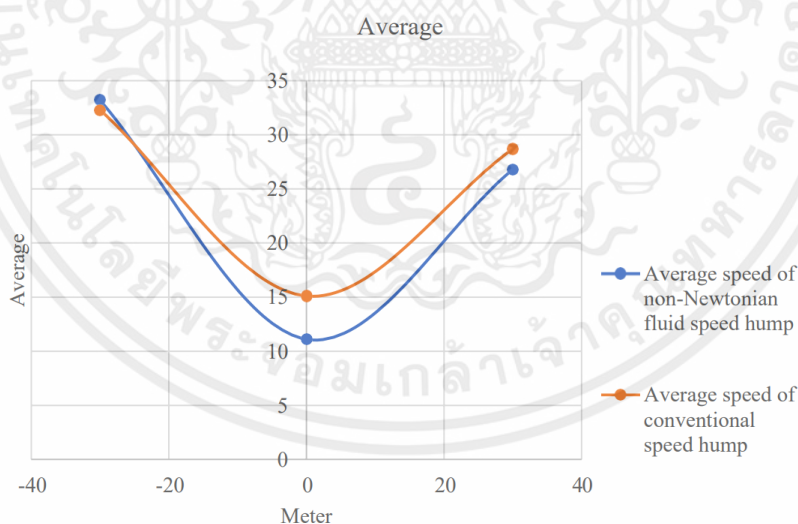


รูปที่ 2.4 แสดงไมโครกราฟของอนุภาคแบ่งขั้ววโฑต

V. Siva Rama Krishna, Shaik Hussain, CH. Ravi Kiran, K. Vijaya Kumar, [2019] มีการศึกษาการกันกระแทกของ Oobleck ไม่ว่าจะเป็นการนำไปใส่ในถุงที่บรรจุของเหลวแบบนอนนิวโทเนียนแล้วทำการปล่อยลงมาจากที่สูง การนำเซรามิกใส่ในถุงที่บรรจุของเหลวแบบนอนนิวโทเนียนแล้วทำการปล่อยลงมาจากที่สูง เพื่อทดสอบการกันกระแทกจากตัวของเหลว มีการให้ข้อมูลว่า Oobleck มีรูปร่างเป็นภาชนะที่อุณหภูมิประมาณ 200 "C. 25 ถึง 45" C เป็นอุณหภูมิที่แนะนำสำหรับการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีข้อมูลเกี่ยวกับการยืดอายุอีกด้วย เนื่องจาก Oobleck มีโมเลกุลของแบ่งขั้ววโฑตที่ย่อยสลายเนื่องจากปฏิกิริยาของแบคทีเรียในอากาศ ดังนั้น อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอูเบิ้ลคจึงมีระยะเวลาการใช้งานที่ต่ำ แต่ถ้ามีการใช้น้ำส้มสายชู (กรดอะซิติกเจือจาง) เติมให้เทียบเท่ากับปริมาณน้ำและทดสอบส่วนผสมและผลการย่อยสลายพบว่าน้ำส้มสายชูสามารถต่อต้านปฏิกิริยาของแบคทีเรียและยืดอายุของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากอูเบิ้ลคได้ถึง 1 ปี แต่ต้องมีการวิจัยเกี่ยวกับสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของอูเบิ้ลค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shuhairy Norhisham, Nor Najwa Irina Mohd Azlan, Muhammad Fadhlullah Abu Bakar, Dinesh Raja, Nor Hazwani Nor Khalid, [2021] การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวของเมืองอย่างออกอาจทำให้ปริมาณการขนส่งบนท้องถนนเพิ่มขึ้นอย่างมาก ปริมาณการขนส่งที่แตกต่างกันบนถนนในปริมาณมากทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการจราจร วัตถุประสงค์ของการศึกษาคือเพื่อพัฒนาลูกระนาดชะลอความเร็วของของเหลวที่เป็น non-newtonian fluid ให้เป็นวิธีแก้ปัญหการจราจรที่สงบลงและปรับปรุงความปลอดภัยของผู้ใช้ถนน การพัฒนาลูกระนาดชะลอความเร็วความเร็วของ non-newtonian fluid เป็นวิวัฒนาการวิธีการเลือกวัสดุ การกำหนดการออกแบบ และการพัฒนาต้นแบบ มีการทดสอบประสิทธิภาพของต้นแบบด้วยการทดสอบการลดความเร็วและการทดสอบมลพิษทางเสียง ผลการศึกษาพบว่าของไหลที่ไม่ใช่นิวตันที่วางอยู่บนแถบที่ speed hump จะควบคุมความเร็วของรถเนื่องจากคุณสมบัติในการเพิ่ม shear thickening ของ non-newtonian fluid สามารถตรวจสอบได้โดยการทดสอบการลดความเร็ว 65.15% เทียบกับ 52.60% ของความเร็วลูกระนาดชะลอความเร็วแบบทั่วไป นอกจากนี้ เสียงที่เกิดจากความเร็วของ non-newtonian fluid จะต่ำกว่าความเร็วของของเหลวแบบ newtonian เล็กน้อย โดยสรุป Speed Hump ของ non-newtonian fluid คือสิ่งทดแทนที่เชื่อถือได้ของ Speed Hump แบบเดิม เนื่องจากวัสดุและค่าติดตั้งต่ำ ลดความเร็วของยานพาหนะได้มากขึ้น และทำให้เกิดเสียงรบกวนน้อยลง ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าลูกระนาดชะลอความเร็วของ non-newtonian fluid สามารถเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจราจร



รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยของลูกระนาดชะลอความเร็วของไหลแบบธรรมดาและ non-newtonian

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 Oobleck

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 17 Sir Isaac Newton ได้บรรยายถึงพฤติกรรมของของเหลว ของเหลวเหล่านี้มีความหนืดคงที่ ซึ่งหมายความว่าพฤติกรรมจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิและความดัน อย่างไรก็ตาม มีการค้นพบว่าของไหลบางชนิดไม่เป็นไปตามกฎพื้นฐานเหล่านี้ ดังนั้น จึงมีชื่อว่า Non-Newtonian fluids Newtonian fluids เปลี่ยนความหนืดภายใต้ความเค้นเฉือน และการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเปลี่ยนความหนาของของไหลได้ ของไหลที่เป็น Non-Newtonian มีหลายประเภท Dilatant fluids และ pseudoplastic fluids มีความหนืดเปลี่ยนแปลงภายใต้ความเค้น (ช่วงสั้นๆ) เมื่อนำแรงออก ความหนืดจะกลับสู่ค่าปกติ Dilatant มี shear-thickened ซึ่งหมายความว่าเมื่อใช้แรง ความหนืดของของไหลจะเพิ่มขึ้นทันที เช่น Oobleck



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของ Oobleck

Oobleck เป็นตัวอย่างของของเหลวที่มีราคาไม่แพงและไม่เป็นพิษที่เป็น Non-Newtonian ซึ่งเป็นสารแขวนลอยของแป้งข้าวโพดในน้ำ บางครั้งเรียกว่า ooze หรือ magic mud ชื่อ Oobleck ได้รับแรงบันดาลใจจากหนังสือ Bartholomew ของ Dr. Seuss และแสดงพฤติกรรมที่ผิดปกติ เนื่องจากคุณสมบัติที่หนาเป็นพิเศษ คนจึงสามารถเดินบนอ่างที่บรรจุของเหลวแบบ Non-Newtonian ขนาดใหญ่ได้โดยไม่จม อีกตัวอย่างหนึ่งของพฤติกรรมที่ผิดปกติของของเหลวนี้คือ ถ้ามีคนต่อม้นหรือใช้แรงกระทัดใด ๆ กับมัน มันจะทำตัวเหมือนของแข็ง อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้การไหลแบบค่อยๆกระทำกับของเหลวนี้ มันจะทำตัวเหมือนของเหลว สูตรทั่วไปสำหรับการทำของเหลวนี้คือแป้งข้าวโพดและน้ำในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 ถ้วย (น้ำ 1 ส่วนต่อแป้งข้าวโพด 1.5 - 2 ส่วน) อนุภาคขนาดเล็กของแป้งข้าวโพดจะผลักันเล็กน้อย ทำให้ของเหลวไหลตามปกติ อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้แรงอย่างกะทันหัน แรงผลักันเพียงเล็กน้อยจะถูกเอาชนะ และอนุภาคของแป้งข้าวโพดจะเกาะติดกัน ทำให้ของเหลวนั้นแข็งตัว เมื่อแรงนำแรงออกไป อนุภาคจะผลักันและของเหลวก็จะไหลตามปกติอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Oobleck เป็นสารแขวนลอยแบ่งในน้ำ แทนที่จะละลายในน้ำ เม็ดแบ่งยังคงไม่บอบสลาย เมื่อใช้แรงกระทำ เม็ดแบ่งจะลึกลงเข้าที่เพราะเม็ดแบ่งจะเบียดและเสียดสีกัน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า shear thickening และเกิดขึ้นในวัสดุที่ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งขนาดเล็กจิ๋วที่แขวนลอยอยู่ในของไหล มีการเสนอทฤษฎีสองทฤษฎีเพื่ออธิบายปรากฏการณ์นี้

ทฤษฎีประการแรก แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของแข็งจะลึกลงอนุภาคเหล่านั้นไว้ในโครงแบบและทำให้การต้านการไหล

ทฤษฎีประการที่สอง เมื่ออนุภาคเข้าใกล้กัน ความต้านทานในการระบายของเหลวที่อยู่ระหว่างอนุภาคทั้งสองจะทำให้การเคลื่อนที่ช้าลงและลึกลงอนุภาคเป็นกลุ่ม

ในของไหล Oobleck อนุภาคในสารแขวนลอยที่มีความหนาแน่นจะต้านทานแรงอัดเพิ่มเติมในทิศทางเฉือน ส่วนที่เหลื่อมเม็ดแบ่งจะถูกล้อมรอบด้วยหยดน้ำเนื่องจากน้ำมีแรงตึงผิวสูง เม็ดแบ่งไหลอย่างอิสระเนื่องจากน้ำทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ช่วยเพิ่มความสะดวกในการไหลของเม็ดแบ่ง เมื่อใช้แรงกระทำ แรงจะผลักดันน้ำออกจากสารแขวนลอย และเม็ดแบ่งจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม

ในโครงสร้างของ Oobleck ประกอบด้วยโมเลกุลแบ่งข้าวโพดแข็งขนาดใหญ่ โมเลกุลของน้ำจะไหลระหว่างโมเลกุลของแบ่งข้าวโพดเล็กน้อยทำให้ไหลได้สะดวก ดังนั้น Non-Newtonian จึงมีพฤติกรรมเหมือนของเหลวในสถานะพักหรือเมื่อมีการไหลแบบค่อยเป็นค่อยไป ลักษณะที่น่าสนใจของ Oobleck คือความคลุมเครือว่า มันเป็นของเหลวหรือของแข็ง เนื่องจากคุณสมบัติของมัน Oobleck มักใช้สำหรับการสาธิตที่แสดงพฤติกรรมที่ผิดปกติเกี่ยวกับความหนืดของมัน ความหนืดเป็นการวัดความแข็งแรงโดยที่ชั้นของไหลต้านทานการไหลทับกันภายใต้ความเค้นหรือแรงเฉือน จะมีความหนืดมากขึ้นเมื่อได้รับแรงเฉือนและมีลักษณะเหมือนของแข็ง เมื่อแรงถูกถอนออกไป มันจะทำหน้าที่เป็นของไหล

2.3.2 ความหนืด

ความหนืด (Viscosity) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล เมื่อมีแรงกระทำ (ของไหล หมายถึง สารที่สามารถไหลได้ เช่น ก๊าซ และของเหลว) ของไหลที่มีความหนืดสูง จะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง ของไหลที่มีความหนืดต่ำ จะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำ ของไหลธรรมดาสามารถที่จะแสดงค่าความหนืดสมบูรณ์ได้แต่ในขณะที่ของไหลที่มีส่วนผสมของสารหลายตัวจะมีลักษณะ การไหลที่ซับซ้อนและไม่สามารถแสดงค่าความหนืดค่าเดียวได้

สำหรับอัตราเฉือน เป็นค่าอนุพันธ์ (derivative) มีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหล u ที่ถูกเฉือนผ่านความหนา r

โดยความเร็วสูงสุดอยู่ที่แผ่นที่เคลื่อนที่ และความเร็วเท่ากับศูนย์อยู่ในตำแหน่งที่ติดกันแผ่นที่อยู่กับที่ ซึ่งจะเขียนได้ว่า

$$\dot{\gamma} = \frac{du}{dr} \quad (1.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นอัตราเฉือนจึงมีหน่วยเป็นความเร็วต่อหน่วยความยาว $= U/L = \text{ms}^{-1}/\text{m} = \text{s}^{-1}$ เพราะฉะนั้นความหนืดจึงมีหน่วยเป็น(Newton seconds per square meter) และนิยมเรียกว่าปาสคาลเสกคัน (Pascal seconds, Pas) โดยที่ $1 \text{ Nm}^{-2} = 1 \text{ Pa}$

หน่วยที่นิยมใช้อีกหน่วยหนึ่งในทางเทคนิค เรียกว่า พอยส์ (Poise) ซึ่งจะมาจาก dyne seconds per square centimeter นิยามของความหนืด 1 Poise คือ ความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อแรง 1 dyne/cm² กระทำบนผิวหน้าของของเหลวที่ห่างกัน 1 ซม. เมื่อช่องว่างระหว่างผิวหน้าทั้งสองบรรจุไว้ด้วยสารที่จะวัดความหนืดความสัมพันธ์ระหว่าง Poise กับ Pascal seconds สามารถเขียนได้ดังนี้ $10 \text{ Poise} = 1 \text{ Pas}$

2.3.2.1 การวัดความหนืดของไหล

คุณสมบัติความหนืดของของเหลวจะถูกกำหนดโดยแรงระหว่างตัวอนุภาคภายในสารละลายเป็นหลัก รวมถึงการเสียดสีและการดึงดูดระหว่างโมเลกุลในโครงสร้างมหภาค แรง VanderWaals คือ แรงดึงดูดแบบอ่อนๆที่ช่วยยึดโมเลกุลเข้าด้วยกัน โดยความหนืดจะแบ่งเป็นสองรูปแบบหลัก

ความหนืดไดนามิก (Dynamic viscosity) ซึ่งเป็น การวัดความเค้นเฉือน ต่อหน่วยพื้นที่ที่ต้องการก่อนที่ตัวอย่างจะเริ่มเปลี่ยนรูป ลักษณะนี้โดยทั่วไปจะแสดงเป็นมิลลิปาสคาลวินาที (mPa-s)

ความหนืดจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity) ซึ่งหมายถึง กระแสต้านทานของของไหล ภายใต้แรงโน้มถ่วง คุณสมบัตินี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและการวัดที่เป็นตารางเมตรต่อวินาที (m²/s)

เมื่อวัตถุได้รับความเค้น (stress) จากภายนอก มักจะเปลี่ยนรูปร่าง (deform) สมบัติซึ่งวัตถุพยายามต่อต้านการเปลี่ยนสภาพ (deformation) ภาษาอังกฤษใช้คำว่า "consistency" การเปลี่ยนรูปร่าง อาจแบ่งเป็นสองประเภท ได้แก่

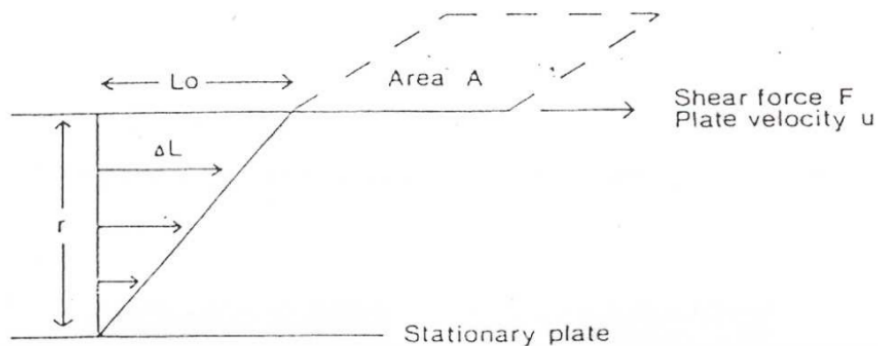
1. การเปลี่ยนรูปร่างแบบยืดหยุ่น (elastic deformation) ซึ่งเกิดขึ้นชั่วคราว และจะหมดไปเมื่อหมดความเค้น

2. การไหล (Flow) คือการเปลี่ยนรูปร่างที่เกิดขึ้นอย่างถาวร

เมื่อเกิดการไหล อนุภาคของวัตถุจะเลื่อนไหลผ่านไปบนกันและกัน โดยเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างกัน การเลื่อนไหลดังกล่าวเรียกว่าการเฉือน (shear)

พิจารณาแผ่น 2 แผ่น วางห่างกันในระยะ r ระยะช่องว่างระหว่างแผ่นบรรจุด้วยของไหล (fluid) ถ้าแผ่นหนึ่งเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์กับอีกแผ่นหนึ่งเท่ากับ V การเคลื่อนที่นี้จะถูกขัดขวางด้วยปฏิกิริยาความหนืด (viscous reaction) ในของไหลนั้น เนื่องจากการเคลื่อนที่นี้จัดว่าเป็นการเฉือน (shear) ดังนั้นปฏิกิริยานี้จึงเรียกว่า ความหนืดเฉือน (shear Viscosity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 หลักการพื้นฐานของความหนืด

2.3.3 shear stress ของของไหล

จากกฎของนิวตัน ค่าความเค้นเฉือน (Shear stress) หาได้จากแรงซึ่งกระทำบนแผ่นที่ เคลื่อนที่ F และพื้นที่ที่รับแรง A โดยเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (\text{Nm}^{-2}) \quad (2.1)$$

2.3.4 shear rate ของของไหล

อัตราเฉือน (shear rate) หาได้จากความเร็ว u ที่สัมพันธ์กับระยะ r ดังนี้

$$\dot{\gamma} = \frac{u}{r} \quad (\text{s}^{-1}) \quad (2.2)$$

เนื่องจากความเค้นเฉือนแปรผันโดยตรงกับอัตราเฉือน ดังนั้น เขียนสมการได้ดังนี้

$$\tau \propto \dot{\gamma}$$

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (2.3)$$

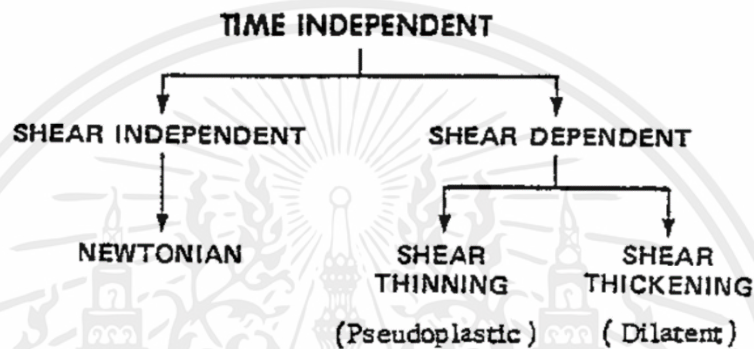
โดยที่ η คือค่าสัมประสิทธิ์ของความหนืดเฉือน เป็นค่าคงที่ที่ได้จากอัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน ของเหลวที่เป็นไปตามกฎของนิวตันนี้ เรียกว่า ของไหลนิวทอนเนียน ซึ่งของไหลประเภทนี้ มีค่าหนืดที่คงที่กับเวลาและอัตราเฉือน

2.3.5 พฤติกรรมการไหลของของไหล

ของเหลวหรือของไหลสามารถแสดงพฤติกรรมการไหลได้หลายแบบ ในกรณีที่เป็นการไหลแบบเฉือนอย่างง่าย (simple shear flow) ซึ่งไม่พิจารณาความเค้นฉาก (normal stress) และ สมบัติแบบวิสโคอีลาสติซิตี (viscoelasticity) พฤติกรรมการไหลของของไหลสามารถอธิบายได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent flow) และ การไหลที่ขึ้นกับเวลา (Time dependent flow)

2.3.5.1 การไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent flow)

สามารถแบ่งได้ตามไดอะแกรมด้านล่าง

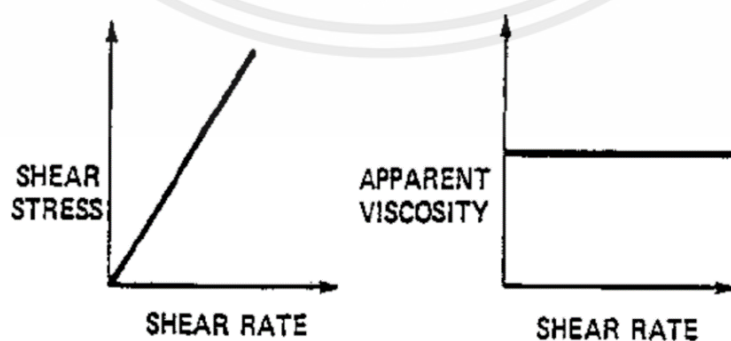


รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมแสดงประเภทของไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลา

ในลักษณะการไหลที่ไม่ขึ้นกับเวลาสามารถแบ่งของไหลออกได้ตามพฤติกรรมการไหลที่ขึ้นกับอัตราเฉือนหรือไม่ ในกรณีที่ความหนืดของของไหลไม่ขึ้นกับอัตราเฉือนของไหลประเภทนี้จัดเป็นของไหลแบบนิวโทเนียน และถ้าความหนืดของของไหลขึ้นกับอัตราเฉือน เรามักนิยมเรียกว่า ของไหลแบบนอนนิวโทเนียน

1. ของเหลวแบบนิวโทเนียนหรือของเหลวอย่างง่าย (Newtonian or Simple Liquid)

ของเหลวประเภทนี้จะเป็นไปตามกฎของนิวตัน คือ ถ้าพลอตกราฟ ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน จะได้กราฟเป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.9



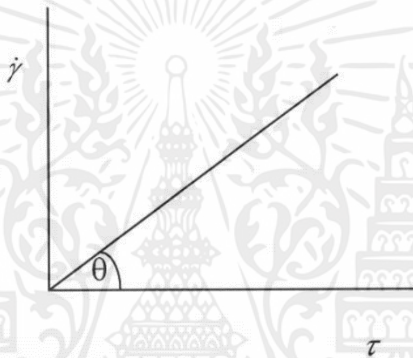
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและอัตราเฉือนของของไหลแบบนิวโทเนียน (ซ้าย) และความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือนของของไหลแบบนิวโทเนียน (ขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติของเหลวจะมีแรงต่อต้านการไหล หรือต้านทานแรงเสียดสีระหว่างอนุภาคในวัตถุซึ่งเรียกกันว่าความหนืด (viscosity) ถ้าความเร็วในการไหลไม่สูงจนเกินไปนัก การไหลของของเหลวจะเป็นแบบที่เรียกกันว่า การไหลแบบลามินา (Laminar (low) ชั้นของของเหลวจะไหลผ่านกันไปในลักษณะที่สม่ำเสมอ เกิด velocity gradient ในของเหลวดังกล่าว ตัวอย่างของการไหลแบบลามินา ได้แก่ น้ำในท่อที่ไหลไม่แรงนัก ความเร็วของน้ำสูงสุดจะอยู่ที่ตรงกลางท่อ และความเร็วของน้ำที่ติดกับผนังท่อจะเป็นศูนย์การไหลดังกล่าวนี้เรียกกันว่า การไหลแบบวิสคัส (viscous flow)

การไหลแบบลามินาสามารถแสดงได้โดยเอามือปาดไฟซึ่งกองไว้เป็นรูปสี่เหลี่ยม ไฟใบบางสุดจะอยู่คงที่ ส่วนไฟใบบนสุดจะไหลไปเร็วที่สุด ไฟแต่ละใบสามารถเปรียบเทียบกับชั้นของของเหลว

ของเหลวประเภทนี้จะเป็นไปตามกฎของนิวตัน คือ ถ้าพลอตกราฟ ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน จะได้กราฟเป็นเส้นตรงที่มีความชันคงที่ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

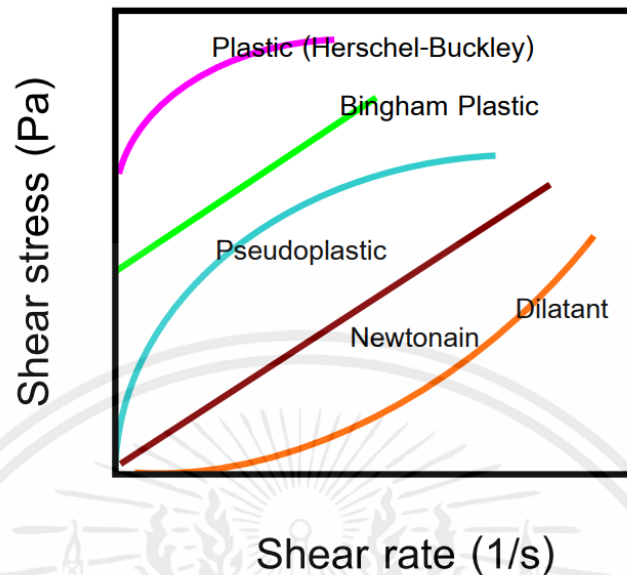
$$\text{ค่าความชัน} = \frac{\dot{\gamma}}{\tau} = \frac{1}{\eta} \quad (2.4)$$

จะเห็นได้ว่า ความหนืดบอกถึงแรงต้านทานการไหลผ่านกันและกันของชั้นของของเหลว ถ้าความหนืดมาก τ มาก $\dot{\gamma}$ น้อย คือ แรงเฉือนมาก แต่ทำให้เกิดอัตราการเฉือน หรือความเครียดน้อย แสดงว่าของเหลวมีแรงต้านทานการไหลมากนั่นเอง ของเหลวจึงหนืดมาก

2. ของเหลวแบบนอนิวทอนเนียน (non-Newtonian fluid)

ในการพิจารณาความหนืดของไหลแบบนิวทอนเนียนนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ความหนืดเป็นสมบัติที่คงที่ของของไหล ซึ่งเป็นจริงสำหรับของเหลวธรรมดา ตามที่กล่าวมาแล้ว แต่จะไม่เป็นจริงทีเดียว ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนจะไม่คงที่ โดยที่กราฟระหว่าง τ และ $\dot{\gamma}$ จะไม่เป็นเส้นตรงเช่นในของเหลวแบบนิวทอนเนียน

ดังแสดงได้ในกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน
ในของไหลแบบนิวทอนเนียนและนอนนิวทอนเนียน

1. Pseudoplastic คือของไหลที่มีค่าความหนืดลดลง เมื่อเพิ่มอัตราเฉือน หรือ ยิ่งกวนเร็ว ยิ่งไหลง่าย พฤติกรรมแบบนี้แสดงสมบัติเป็น "Shear Thinning" ตัวอย่างเช่น สีทาบ้าน และเลือด เป็นต้น มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\tau = -m \left| \frac{dv}{dy} \right|^{n-1} \frac{dv}{dy} \quad \text{เมื่อ } n < 1 \quad (2.5)$$

2. Dilatant คือของไหลที่มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราเฉือน หรือ ยิ่งกวนเร็ว ยิ่งหนืด พฤติกรรมแบบนี้แสดงสมบัติเป็น "Shear Thickening" ตัวอย่างเช่น น้ำดินชั้น น้ำแป้ง เป็นต้น โดยมีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\tau = -m \left| \frac{dv}{dy} \right|^{n-1} \frac{dv}{dy} \quad \text{เมื่อ } n > 1 \quad (2.6)$$

3. Bingham Plastic คือของไหลที่เมื่อมีแรงกระทำสูงพอจึงจะเกิดลักษณะการไหลแบบนิวทอนเนียน (Newtonian Fluid) ตัวอย่างเช่น ยาสีฟัน นมช็อกโกแลต เป็นต้น รูปสมการของ Bingham Plastic เป็นแบบจำลองสองพารามิเตอร์ กล่าวคือ เป็นสารที่แข็งแรง หากความเค้นเฉือนมีขนาดน้อยกว่า Yield Stress τ_0 แต่จะไหลคล้ายของไหล Newtonian เมื่อ $\tau > \tau_0$ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dy} \pm \tau_0 \quad \text{ถ้า } |\tau| > \tau_0 \quad (2.7)$$

$$\frac{dv}{dy} = 0 \quad \text{ถ้า } |\tau| < \tau_0 \quad (2.8)$$

4. Plastic คือของไหลที่เมื่อมีแรงกระทำสูงพอเพื่อเอาชนะค่าความเค้น ณ จุดคราก (Yield Stress) ถึงจะเริ่มไหลได้ และจะไหลแบบ Pseudoplastic หรือ ตามโมเดลของ Herschel-Buckley ตัวอย่างเช่น ซอสมะเขือเทศ สี ดินเหนียว มายองเนส ยาน้ำแขวนตะกอน เป็นต้น

รูปสมการของ Herschel-Buckley คือ

$$\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})^n \quad (2.9)$$

2.3.5.1 การไหลที่ขึ้นกับเวลา (Time dependent flow)

ของไหลที่มีพฤติกรรมการไหลขึ้นกับเวลาและความหนืดขึ้นกับอัตราเฉือนที่พบมี 2 ชนิด ได้แก่ ธิกโซโทรปิกฟลูอิด (Thixotropic fluid) และ รีโอเพคติกฟลูอิด (Rheopectic fluid) โดยทั้งสองชนิดนี้ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นโดยให้อัตราเฉือนเพิ่มขึ้นคงที่ การเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อหยุดให้อัตราเฉือน แล้วลดอัตราเฉือนลงมาที่เดิม จะพบว่า ความหนืดไม่ได้ลดลงไปตามรูปแบบเดิม โดยถ้าเป็นธิกโซโทรปิกฟลูอิด ความคืบเนื่องจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น

2.3.6 แรงกระแทก

แรงกระแทกหมายถึงแรงที่ทำให้เกิดการกระแทก โดยทั่วไปจะเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ แรงกระแทกใช้เมื่อมีบางสิ่งตกหรือหล่นจากด้านบนหรือเมื่อวัตถุสองชิ้นหรือมากกว่านั้นชนกัน ผลกระทบของแรงกระแทกอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ รวมถึงความเร็วสัมพัทธ์ของวัตถุเหล่านั้น ยิ่งวัตถุเคลื่อนไหวนเร็วเท่าไร แรงกระแทกก็จะยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น

2.3.7 Power-law fluid (Ostwald de Waele equation)

$$\sigma = m(\dot{\gamma})^n \quad (2.10)$$

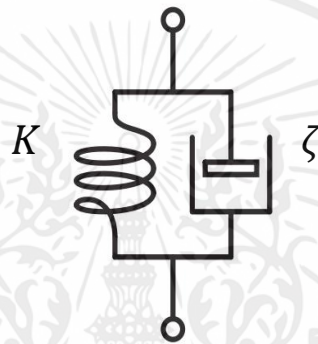
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออยู่ในรูปความหนืด

$$\eta = m(\dot{\gamma})^{n-1} \quad (2.11)$$

โดยที่ σ คือความเค้นเฉือน, m คือค่าคงที่ของความหนืด, $\dot{\gamma}$ คือ อัตราเฉือน n คือ power law index และ η คือ ความหนืด ของไหลที่มีพฤติกรรมทำให้หนาแน่นขึ้น ด้วยแรงเฉือนมีลักษณะเฉพาะด้วยค่า n ในช่วง ($n > 1$) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลของส่วนที่เป็นของแข็ง

2.3.8 spring and damp mechanical model



รูปที่ 2.12 แสดงแผนผังของแบบจำลองทางกล พร้อมคุณสมบัติการหน่วงของวัสดุและสปริง

อัตราส่วนการหน่วงสามารถคำนวณได้ในรูปของแอมพลิจูดของการตอบสนอง ดังนี้

$$\zeta = \frac{\ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)}{\sqrt{4\pi^2 + \left(\ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)\right)^2}} \quad (2.12)$$

ζ คือ material damping ratio

x_1 และ x_2 คือ แอมพลิจูดการสั่นสะเทือนที่จุดสูงสุดต่อเนื่องกันสองจุดของการสั่นสะเทือนที่สลายตัว

2.3.9 Hooke's law

$$K = \frac{F}{\Delta} \quad (2.13)$$

K คือ ค่าคงที่ของสปริง(N/m)

F คือ แรงที่ใช้(N)

Δ คือ ระยะห่าง(m)

2.3.10 พลังงาน (Energy)

ความสามารถในการทำงานหรือทำให้เกิดงาน ผลการทำงานของแรงนั้นทำให้วัตถุหรือสิ่งใด ๆ เคลื่อนที่ หรือเคลื่อนไหว พลังงานนั้นสามารถจัดเก็บไว้ได้พลังงานไม่สามารถถูกทำลายได้ แต่สามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ เช่น พลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า เป็น พลังงานกล หรือ พลังงานความร้อน เป็นต้น

2.3.10.1 พลังงานศักย์

หมายถึง พลังงานที่สะสมอยู่ในวัตถุที่หยุดนิ่ง แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ พลังงานศักย์โน้มถ่วง เป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในวัตถุซึ่งอยู่สูงจากพื้นโลกขึ้นไป และพลังงานศักย์ยืดหยุ่น เป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในวัตถุที่ยืดหยุ่นได้ เช่น สปริง

1. พลังงานศักย์โน้มถ่วง (gravitational potential energy)

พลังงานที่สะสมไว้ในวัตถุขณะที่วัตถุอยู่ในที่สูงพร้อมที่จะหล่นหรือไหลสู่ที่ต่ำกว่า พลังงานศักย์โน้มถ่วงเกิดจากแรงดึงดูดของโลก (พลังงานศักย์โน้มถ่วงเป็นปริมาณสเกลาร์) พลังงานศักย์โน้มถ่วงจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุหรือความสูงในแนวตั้ง ถ้าวัตถุมีมวลมากและอยู่สูงจากระดับอ้างอิงมาก วัตถุนั้นจะมีพลังงานศักย์โน้มถ่วงมาก สามารถคำนวณหาพลังงานศักย์โน้มถ่วงได้จากสูตร

$$E_p = mgh$$

2. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น

พลังงานที่สะสมอยู่ในสปริงหรือวัตถุยืดหยุ่นอื่นๆ ขณะที่ยืดตัวออกจากตำแหน่งสมดุล ในการออกแรงดึงสปริง เป็นระยะ x จะเกิดงานเกิดขึ้น ปริมาณงานที่เกิดขึ้นในการดึงสปริง จะเกิดพลังงานศักย์ยืดหยุ่น สามารถคำนวณหาพลังงานศักย์ยืดหยุ่นได้จากสูตร

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.11 คอนกรีต

คอนกรีต เป็นวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (เช่น หิน ทราย หรือ กรวด) และ น้ำ โดยอาจจะมีสารเคมีเติมเพิ่มเข้าไปสำหรับคุณสมบัติด้านอื่น เมื่อผสมเสร็จ คอนกรีตจะแข็งตัวอย่างช้า ๆ ซึ่งน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกันในลักษณะที่เรียกว่าการไฮเดรชัน โดยซีเมนต์จะเริ่มจับตัวกับวัสดุอื่นและแข็งตัว ซึ่งในสถานะนี้จะนิยมเรียกกันว่าคอนกรีต ความแข็งแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆหลังจากที่ผสม และยิ่งแข็งแรงขึ้นภายหลังจากการแข็งตัว โดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่

คุณสมบัติหลักของคอนกรีตคือการรับแรงอัดสูง ในขณะที่สามารถรับแรงดึงได้ต่ำ (ประมาณ 10% ของแรงอัด) โดยเมื่อต้องการให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึง จะมีการเสริมวัสดุอื่นเพิ่มเข้าไปในคอนกรีตโดยจะเรียกว่า คอนกรีตเสริมแรง หรือคอนกรีตเสริมเหล็กที่เรียกกัน (โดยเสริมแรงด้วยเหล็ก) วัสดุเหล่านี้จะช่วยรับแรงดึงภายในคอนกรีต

2.3.12 ยาง (rubber)

ยาง คือ วัสดุที่มีความยืดหยุ่น เมื่อออกแรงดึงหรือกด ยางจะยืดหรือยุบและกลับสู่สภาพเดิมได้เมื่อปล่อยให้ยางเป็นอิสระ ยางถูกนำไปแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์ในการสร้างสิ่งของเครื่องใช้มากมาย ยาง แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ยางธรรมชาติ (natural rubber) และยางสังเคราะห์ (synthetic rubber)

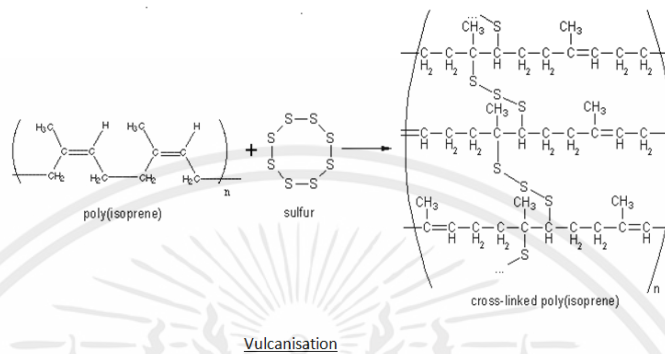
2.3.12.1 ยางธรรมชาติ (natural rubber)



รูปที่ 2.13 แสดงภาพยางพาราก้อน

ยางธรรมชาติ (natural rubber) คือ ผลผลิตที่ได้จากต้นยาง เช่น ต้นยางพารา เมื่อยางอยู่ในสถานะอุณหภูมิต่ำจะแข็งกระด้าง เมื่ออยู่ในสถานะที่อุณหภูมิสูงจะอ่อนนิ่ม ทำให้ยางใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด ยางมีความยืดหยุ่นสูง ทนต่อการฉีกขาด และการสึกหรอ แต่ไม่ทนต่อตัวทำละลายพวกน้ำมันปิโตรเลียม และมักเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ความร้อน ออกซิเจน และโอโซน

2.3.12.2 ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber)



รูปที่ 2.14 แสดงภาพโครงสร้างตัวอย่างของยางสังเคราะห์

ยางสังเคราะห์ คือ ยางที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีเพื่อเลียนแบบยางธรรมชาติข้อดีคือ สามารถปรับปรุง สมบัติต่าง ๆ ได้เช่น ความยืดหยุ่น ความทนทานต่อแรงดึงและการฉีกขาด ความทนต่อเปลวไฟ สภาพ อากาศ แสงแดด สารเคมีและน้ำมัน ยางสังเคราะห์มีหลายประเภท มีสมบัติที่แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมในการใช้งาน อีกทั้งยางสังเคราะห์มีความทนทานต่อการใช้งานและเสื่อมสภาพได้ช้ากว่ายางธรรมชาติส่งผลให้ในปัจจุบันยางสังเคราะห์ได้รับความนิยมนำมาใช้งาน

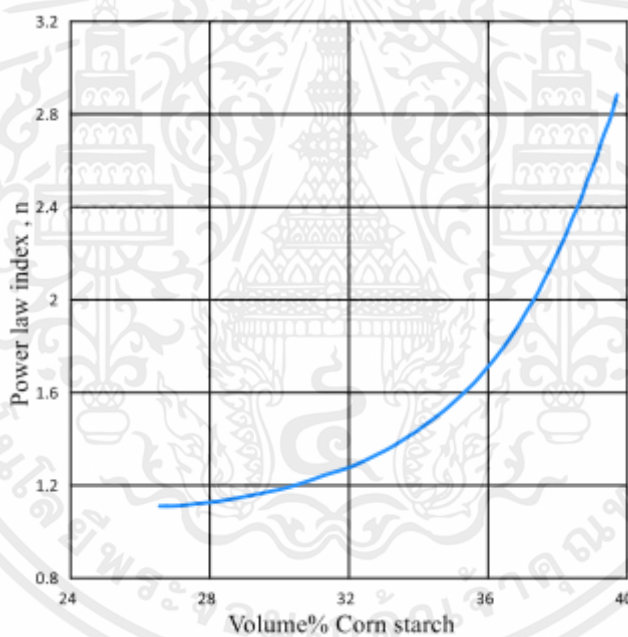
บทที่ 3

อุปกรณ์และการออกแบบการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับวิธีอุปกรณ์และการออกแบบการทดลองในการทดสอบการดูดซับแรงกระแทกของของไหลนอนนิวโตเนียน โดยหลังจากได้กำหนดขอบเขตและสมมุติฐานในการศึกษาแล้ว เริ่มดำเนินการโดยการนำสมการของเหลวแบบนิวทอเนียน และค่าคุณสมบัติทางกายภาพมาวิเคราะห์เพื่อออกแบบชุดทดลองเพื่อทำการทดลอง

3.1 การเตรียมของไหลนอนนิวโตเนียน หรือ Oobleck

ของไหลนอนนิวโตเนียนในการทดลองครั้งนี้ ใช้เป็น Oobleck ซึ่งเกิดจากการเติมน้ำลงในแป้งข้าวโพด ด้วยอัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร ใช้น้ำ 100 กรัม และแป้งข้าวโพด 150 กรัม ตามค่าดัชนีกฎยกกำลัง (n) ดังรูปที่ 3.1 ดังนั้นดัชนีของโมเดล Oobleck จึงเท่ากับ 1.33 มีความหนาแน่นที่ 1.004 g/cm³

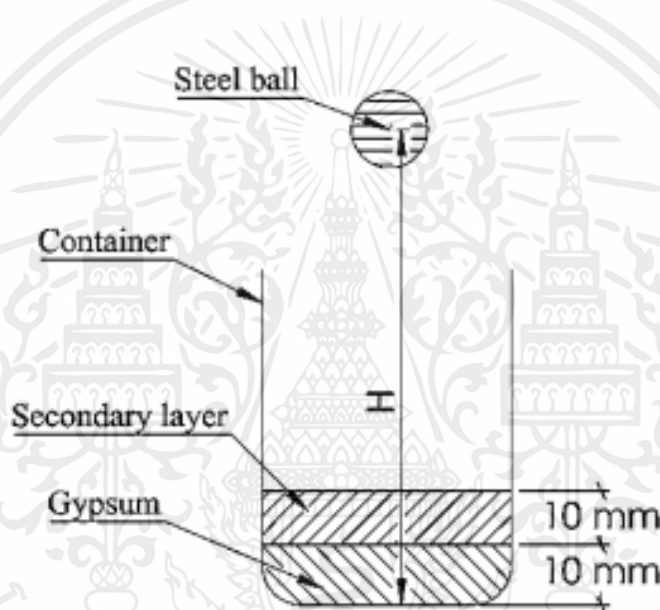


รูปที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรร้อยละของแป้งข้าวโพด และค่าดัชนีกฎยกกำลัง (n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เตรียมการทดลอง

การทดลองนี้จัดทำโดยใช้ภาชนะทรงกระบอกที่บรรจุวัสดุไว้เป็นสองชั้นที่มีความหนาของแต่ละชั้นเท่าๆกัน ชั้นแรก คือ ชั้นยิปซัมเป็นวัสดุอ้างอิงมีความหนา 10 มิลลิเมตร และชั้นที่สอง คือ วัสดุที่ต้องการทดลอง ได้แก่ แผ่นยาง และ Oobleck ที่มีความหนา 10 มิลลิเมตร เพื่อต้องการทดลองเชิงเปรียบเทียบคุณสมบัติในการดูดซับแรงกระแทกของวัสดุว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร จากนั้นจัดเตรียมชุดอุปกรณ์ เซนเซอร์ตรงวัดปริมาณแรงกระแทก โดยจะใช้เซนเซอร์จำนวนสองตัว วางไว้ที่ใต้ของชั้นแรกหนึ่งตัวและระหว่างชั้นแรกกับชั้นที่สองหนึ่งตัว จากนั้นจะใช้การตกอย่างอิสระของลูกบอลเหล็กมวล M หน่วยกรัม ที่ความสูง H หน่วยเซนติเมตร ในทิศทางสูงขึ้นไปจากภาชนะและถูกปล่อยลงอย่างอิสระ เป็นแรงกระทำภายนอกที่มากระทำต่อวัสดุที่ใช้ทดลอง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงภาพจำลองการทดลองการกระแทกแบบตกอิสระ

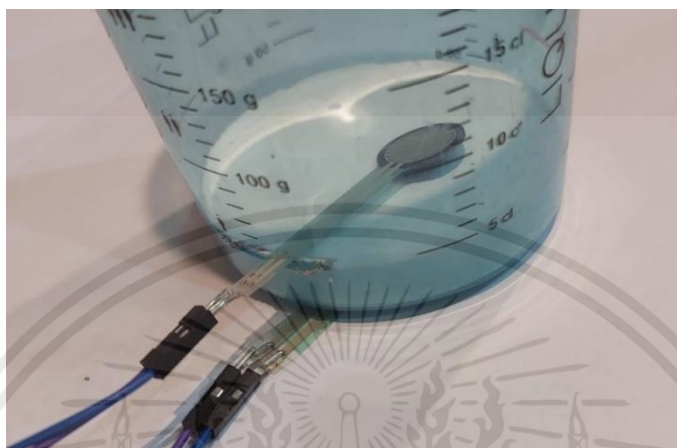
3.3 การเตรียมชั้นแต่ละชั้นในการทดลอง

จุดประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือ การศึกษาพฤติกรรมของของไหลนอนนิวโทเนียนโดยการทดสอบการกระแทกแบบตกอิสระของลูกบอลเหล็ก ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ในการนำไปเป็นวัสดุในการออกแบบตัวเสริมการดูดซับแรงกระแทกสำหรับแบรีเออร์ และคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของการตอบสนองต่อแรงสั่นสะเทือนบนแบรีเออร์เพื่อลดความรุนแรงจากผลกระทบของการชน โดยมีการใช้ชั้นวัสดุอยู่สามชนิดในการทดลอง คือ ยิปซัม, Oobleck และแผ่นยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การเตรียมการทดลองของยิปซัม

ใช้ปูนยิปซัมหล่อเป็นทรงกระบอกสูง 10 มิลลิเมตร ด้วยความหนาแน่น 2.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ใช้เวลาในการบ่ม 4 วัน, อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส) โดยติดตั้งเซนเซอร์วัดแรงกระแทกที่ตำแหน่งด้านล่างของชั้นยิปซัม



รูปที่ 3.3 แสดงการเตรียมการทดลองของวัสดุยิปซัม

3.3.2 การเตรียมการทดสอบของยิปซัมเสริมด้วย Oobleck

ใช้ปูนยิปซัมหล่อเป็นทรงกระบอกสูง 10 มิลลิเมตร ด้วยความหนาแน่น 2.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ใช้เวลาในการบ่ม 4 วัน, อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส) และใช้ Oobleck เทลงไปในภาชนะทดลองให้มีความสูง 10 มิลลิเมตร ติดตั้งเซนเซอร์วัดแรงกระแทกที่สองตำแหน่งได้แก่ ใต้ชั้นยิปซัม และระหว่างชั้นยิปซัมกับ Oobleck

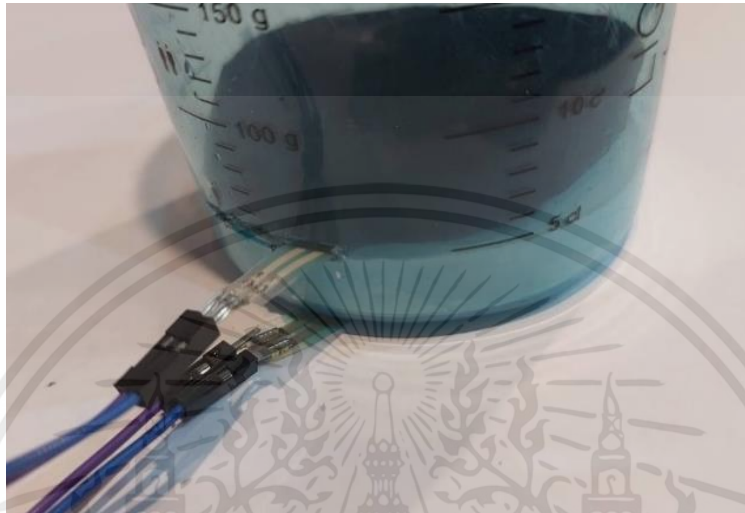


รูปที่ 3.4 แสดงการเตรียมการทดสอบของวัสดุยิปซัมเสริมด้วย Oobleck

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การเตรียมการทดสอบของวัสดุยิปซัมเสริมด้วยแผ่นยาง

ใช้ปูนยิปซัมหล่อเป็นทรงกระบอกสูง 10 มิลลิเมตร ด้วยความหนาแน่น 2.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (ใช้เวลาในการบ่ม 4 วัน, อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส) และใช้แผ่นยางสูง 10 มิลลิเมตร ติดตั้งเซนเซอร์วัดแรงกระแทกที่สองตำแหน่งได้แก่ ด้านล่างชั้นยิปซัมและระหว่างยิปซัมและก้อนยาง



รูปที่ 3.5 แสดงการเตรียมการทดสอบของวัสดุยิปซัมเสริมด้วยแผ่นยาง

3.4 การเตรียมวัสดุลูกบอลเหล็กสำหรับปล่อยเพื่อทดลอง

ใช้ลูกบอลเหล็กสองลูกเป็นวัสดุสำหรับการทดสอบการตกอิสระ โดยใช้มวลต่างกัน ได้แก่ 44 และ 112 กรัม ดังรูปที่ 3.6 ที่ระดับความสูง 10 และ 20 เซนติเมตร ดังนั้นจะมีการทดลองและบันทึกผลทั้งหมดสี่กรณีที่มีเงื่อนไขต่างกัน



รูปที่ 3.6 แสดงลูกเหล็กในการทดลองมวล 44 กรัม และ 112 กรัม

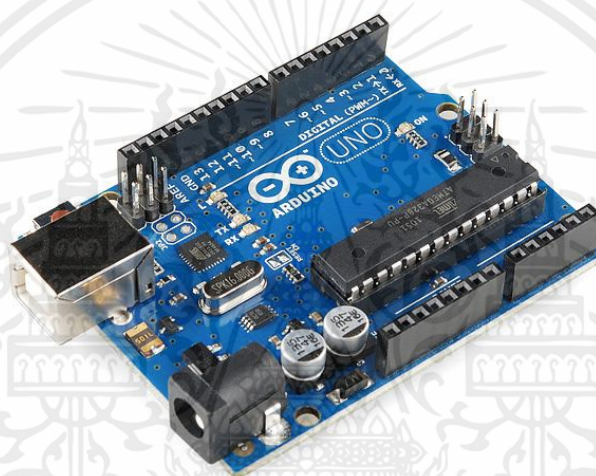
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเตรียมชุดเซนเซอร์และสมองกลเพื่อวัดแรงกระแทก

ในการเตรียมชุดเซนเซอร์และสมองกลเพื่อวัดแรงกระแทก ในการออกแบบนั้นเราจำเป็นต้องทราบสิ่งที่เราต้องการวัดค่าจากการทดลอง ในที่นี้คือค่าพลังงานและแรงที่วัสดุปะทะ จึงนำไปสู่การเลือกอุปกรณ์

3.5.1 บอร์ดสมองกล

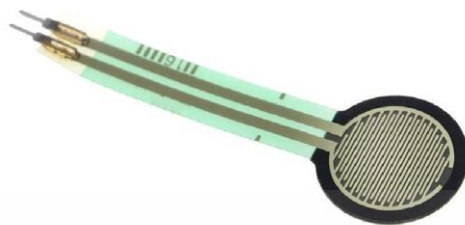
บอร์ดสมองกล คือ บอร์ดที่เชื่อมต่อการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกัน ในที่นี้เราใช้สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับ โดยบอร์ดสมองกลจะเป็นบอร์ดที่เก็บข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์รับแรงเพื่อนำไปประมวลผลเป็นค่าที่เราต้องการต่อไป โดยในที่นี้คณะผู้จัดทำได้ใช้บอร์ดสมองกล Arduino Uno R3



รูปที่ 3.7 แสดงภาพของ Arduino Uno R3

3.5.2 เซนเซอร์วัดแรงกด

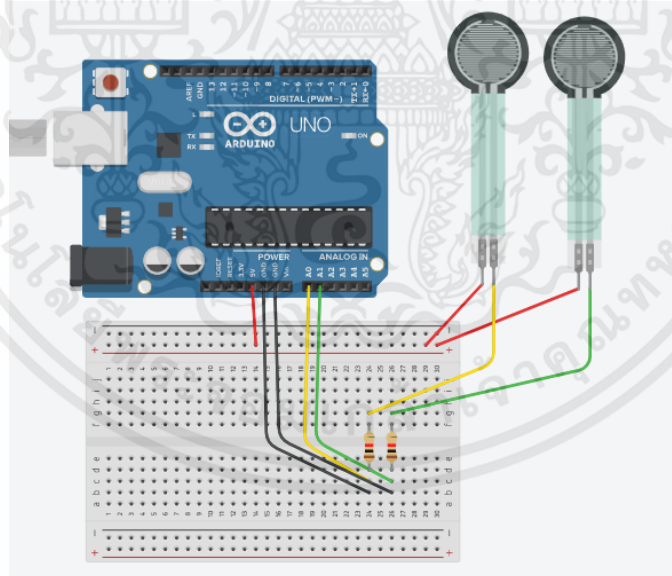
เซนเซอร์วัดแรงกด หรือ Force Sensitive Resistor คือเซนเซอร์ที่สามารถวัดแรงกดที่เกิดขึ้นกับพื้นผิวของตัวมันได้ โดยเมื่อมีแรงกด ค่าความต้านทานจากตัวเซนเซอร์จะเปลี่ยนแปลงไป เมื่อคุณทำวงจรเพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงนี้ จะทำให้สามารถส่งค่าความเปลี่ยนแปลงไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ของคุณได้ หรืออาจจะนำไปประยุกต์ใช้กับโปรเจกต์ต่างๆได้ โดยในที่นี้คณะผู้จัดทำได้ใช้ Force Sensitive Resistor (FSR402) เซนเซอร์วัดแรงกดในช่วง 0.1N-10N 18.28 mm



รูปที่ 3.8 เซนเซอร์วัดแรงกดในช่วง 0.1N-10N 18.28 mm.

3.5.3 การต่อแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

การต่อชุดทดลองสำหรับตรวจจับแรงกระแทก โดยผู้จัดทำได้ใช้ เซนเซอร์วัดแรงกดในช่วง 0.1N-10N จำนวน 2 ตัว ต่อเข้ากับบอร์ดสมองกล เพื่อให้สามารถรับค่าและอ่านค่าได้



รูปที่ 3.9 แสดงการต่อชุดทดลองสำหรับตรวจจับแรงกระแทก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

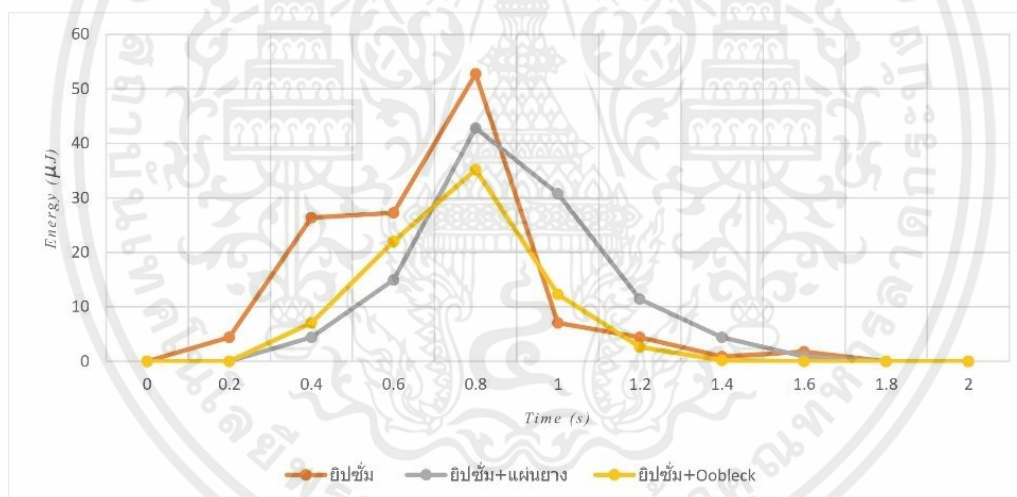
จากการทดลองและบันทึกผลพลังงานที่ส่งผ่านของวัสดุต่างๆ เพื่อวิเคราะห์การดูดซับแรงของการทดลองทั้งสามวัสดุภายใต้สภาวะและนำมาสร้างเป็นกราฟเส้นแยกในแต่ละกรณีเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์พฤติกรรมของของไหลที่เป็นนอนนิวทอนเนียน ซึ่งแสดงให้เห็นความสามารถในการดูดซับแรงกระแทก ดังนี้

4.1 ผลการวัดค่าพลังงานที่ส่งผ่านวัสดุ

4.1.1 กรณีที่ 1 ลูกเหล็กน้ำหนัก 44 กรัม ที่ความสูง 10 ซม.

โดยค่าพลังงานเริ่มต้นที่ได้จากลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 44 กรัม ตกอิสระที่ความสูง 10 เซนติเมตร เท่ากับ 43164 μJ

การบันทึกผลทดลองโดยใช้ลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 44 กรัม จากความสูง 10 เซนติเมตร ได้ผลค่าพลังงานที่ถ่ายโอนไปยังชั้นยิปซัม แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงพลังงานที่ถูกส่งผ่านของกรณีที่ 1 $M=44$ กรัม, $H=10$ เซนติเมตร

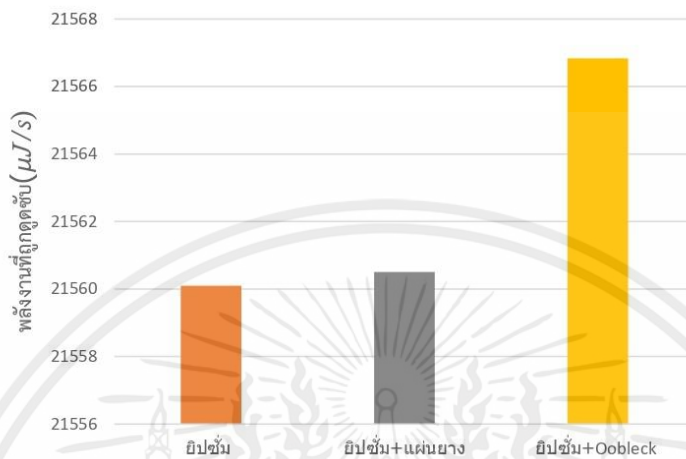
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าในกรณีของยิปซัมเพียงอย่างเดียวสามารถดูดซับพลังงานได้น้อยกว่ากรณีของยิปซัมเสริมแผ่นยาง แต่กรณีของยิปซัมเสริมแผ่นยางนั้นจะมีการหน่วงที่ใกล้เคียงกับกรณีของวัสดุรับแรงยิปซัมอย่างเดียว ส่วนกรณีของยิปซัมเสริม Oobleck สามารถดูดซับพลังงานได้มากที่สุด และมีเวลาการหน่วงที่น้อยกว่ากรณีของยิปซัมเพียงอย่างเดียว ประมาณ 0.4 วินาที

ดังนั้นเราจะสามารถคำนวณปริมาณค่าพลังงานที่วัสดุดูดซับไปได้โดยการนำปริมาณพลังงานเริ่มต้นลบปริมาณพื้นที่ได้กราฟของรูปที่ 4.1 ของแต่ละวัสดุและแสดงมาเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าพลังงานเริ่มต้นต่อเวลาทั้งหมดที่ได้จากลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 44 กรัม ตกอิสระที่ความสูง 10 เซนติเมตร เท่ากับ 21582 $\mu\text{J/s}$

จากกราฟแสดงค่าพลังงานที่แต่ละวัสดุดูดซับได้ แสดงให้เห็นได้ว่ากรณียิปซัมเสริมOobleck นั้นสามารถดูดซับแรงได้มากที่สุดจากทั้งหมด

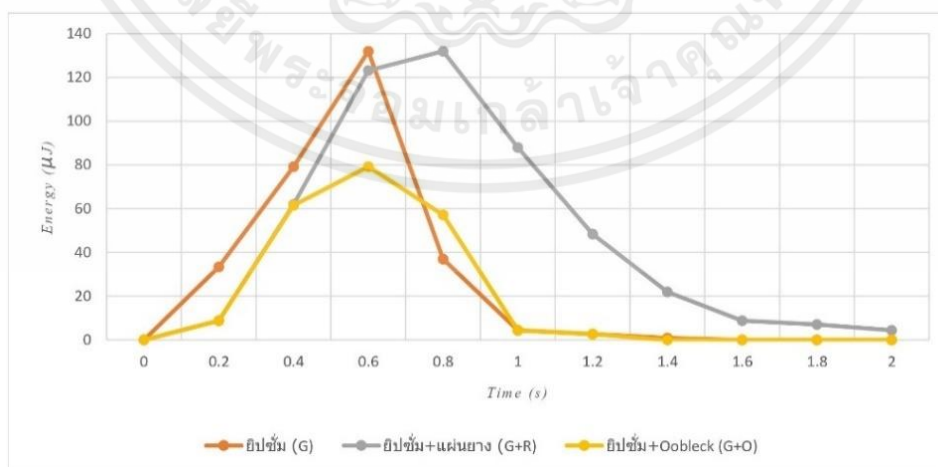


รูปที่ 4.2 แสดงพลังงานที่ถูกดูดซับของกรณีที่ 1 M=44 กรัม, H=10 เซนติเมตร

4.1.2 กรณีที่ 2 ลูกเหล็กน้ำหนัก 44 กรัม ที่ความสูง 20 ซม.

โดยค่าพลังงานเริ่มต้นที่ได้จากลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 44 กรัม ตกอิสระที่ความสูง 20 เซนติเมตร เท่ากับ 86328 μJ

การบันทึกผลทดลองโดยใช้ลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 44 กรัม จากความสูง 20 เซนติเมตร ได้ผลค่าพลังงานที่ถ่ายโอนไปยังชั้นยิปซัม แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงพลังงานที่ถูกส่งผ่านของกรณีที่ 2 M=44 กรัม, H=20 เซนติเมตร

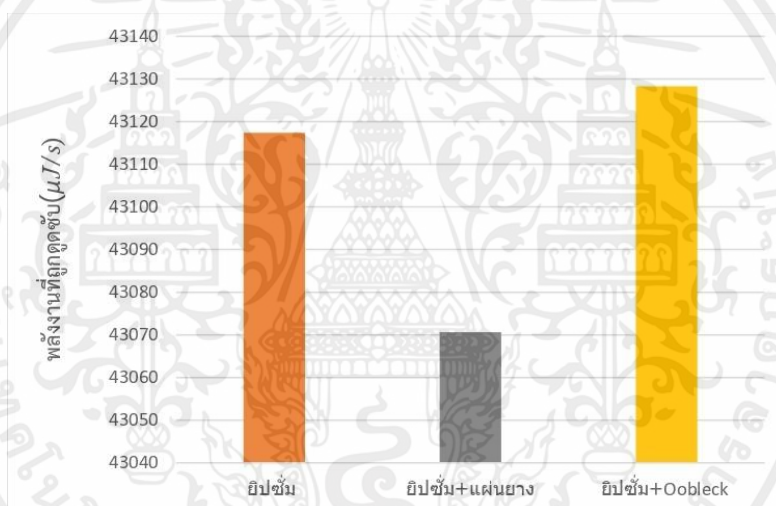
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟแสดงให้เห็นว่ากรณีของยิปซัมอย่างเดียวและยิปซัมเสริมแผ่นยาง มีค่าพลังงานที่ผ่านวัสดุสูงที่สุดเท่ากัน และกรณีของยิปซัมเสริมแผ่นยางมีการหน่วงที่ช้ามาก เนื่องจากการสะท้อนกลับที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ บ่งบอกถึงวัสดุมีค่าสปริงภายในสูง และกรณีของยิปซัมเสริม Oobleck สามารถดูดซับพลังงานได้มากที่สุด โดยมีค่าการหน่วงที่ใกล้เคียงกับกรณีของยิปซัมอย่างเดียว มีค่าหน่วงที่เร็วกว่ากรณีของยิปซัมเสริมแผ่นยาง มากกว่า 0.4 วินาที

ดังนั้นเราจะสามารถคำนวณปริมาณค่าพลังงานที่วัสดุดูดซับไปได้โดยการนำปริมาณพลังงานเริ่มต้นลบปริมาณพื้นที่ใต้กราฟของรูปที่ 4.3 ของแต่ละวัสดุและแสดงมาเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.4

โดยค่าพลังงานเริ่มต้นต่อเวลาทั้งหมดที่ได้จากลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 44 กรัม ตกอิสระที่ความสูง 20 เซนติเมตร เท่ากับ $43164 \mu\text{J/s}$

จากกราฟแสดงค่าพลังงานที่แต่ละวัสดุดูดซับได้ แสดงให้เห็นได้ว่ากรณียิปซัมเสริม Oobleck นั้นสามารถดูดซับแรงได้มากที่สุดจากทั้งหมด

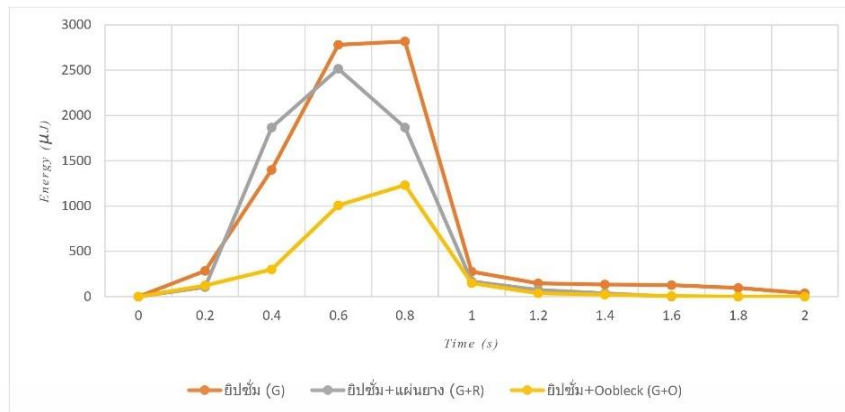


รูปที่ 4.4 แสดงพลังงานที่ถูกดูดซับของกรณีที่ 2 $M=44$ กรัม, $H=20$ เซนติเมตร

4.1.3 กรณีที่ 3 ลูกเหล็กน้ำหนัก 112 กรัม ที่ความสูง 10 ซม.

โดยค่าพลังงานเริ่มต้นที่ได้จากลูกบอลเหล็กหนัก 112 กรัม ตกอิสระที่ความสูง 10 เซนติเมตร เท่ากับ $109872 \mu\text{J}$

การบันทึกผลทดลองโดยใช้ลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 112 กรัม จากความสูง 10 เซนติเมตร ได้ผลค่าพลังงานที่ถ่ายโอนไปยังชั้นยิปซัม แสดงดังรูปที่ 4.5



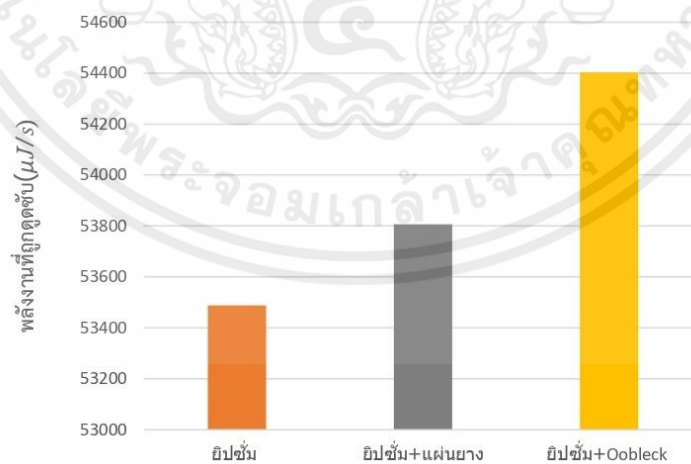
รูปที่ 4.5 แสดงพลังงานที่ถูกส่งผ่านของกรณีที่ 3 M=112 กรัม, H=10 เซนติเมตร

จากกราฟแสดงให้เห็นว่ากรณีของยิปซัมอย่างเดียวและแบบยิปซัมเสริมแผ่นยางมีค่าพลังงานที่ส่งผ่านใกล้เคียงกัน ส่วนกรณีของยิปซัมเสริมOobleck สามารถดูดซับพลังงานสูงสุด เพราะมีค่าพลังงานที่ส่งผ่านน้อยที่สุด

ดังนั้นเราจะสามารถคำนวณปริมาณค่าพลังงานที่วัสดุดูดซับไปได้โดยการนำปริมาณพลังงานเริ่มต้นลบปริมาณพื้นที่ใต้กราฟของรูปที่ 4.5 ของแต่ละวัสดุและแสดงมาเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.6

โดยค่าพลังงานเริ่มต้นต่อเวลาทั้งหมดที่ได้จากลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 112 กรัม ตกอิสระที่ความสูง 10 เซนติเมตร เท่ากับ $54936 \mu\text{J/s}$

จากกราฟแสดงค่าพลังงานที่แต่ละวัสดุดูดซับได้ แสดงให้เห็นได้ว่ากรณียิปซัมเสริม Oobleck นั้นสามารถดูดซับแรงได้มากที่สุดจากทั้งหมด



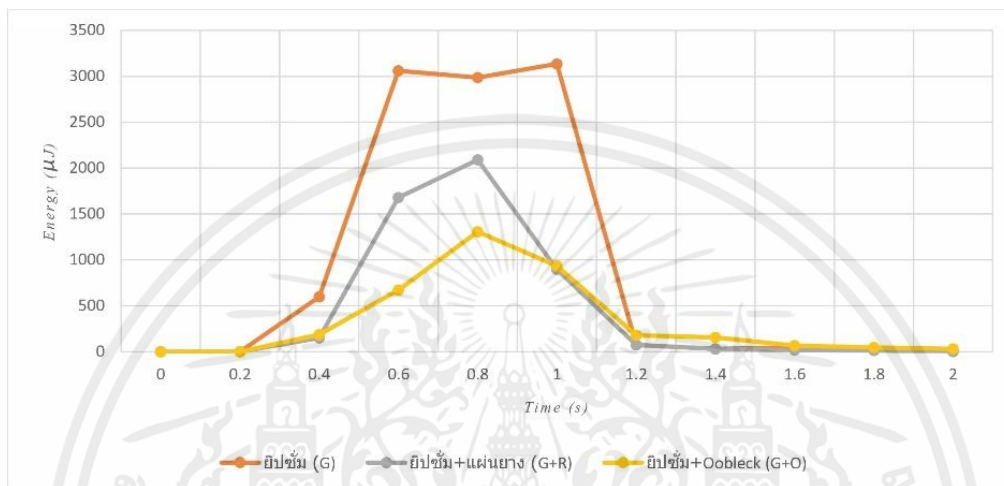
รูปที่ 4.6 แสดงพลังงานที่ถูกดูดซับของกรณีที่ 3 M=112 กรัม, H=10 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 กรณีที่ 4 ลูกเหล็กน้ำหนัก 112 กรัม ที่ความสูง 20 ซม.

โดยค่าพลังงานเริ่มต้นที่ได้จากลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 112 กรัม ตกอิสระที่ความสูง 20 เซนติเมตร เท่ากับ $219744 \mu\text{J}$

การบันทึกผลทดลองโดยใช้ลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 112 กรัม จากความสูง 20 เซนติเมตร ได้ผลค่าพลังงานที่ถ่ายโอนไปยังชั้นยิปซัม แสดงดังรูปที่ 4.7



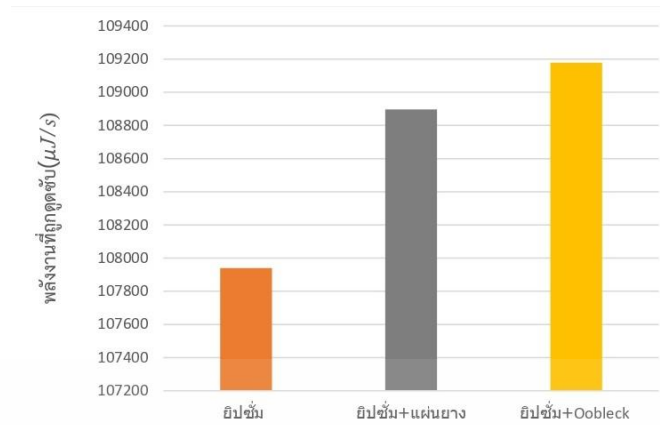
รูปที่ 4.7 แสดงพลังงานที่ถูกส่งผ่านของกรณีที่ 4 $M=112$ กรัม, $H=20$ เซนติเมตร

จากกราฟแสดงให้เห็นว่ากรณีของยิปซัมอย่างเดียวมีการส่งผ่านพลังงานสูงที่สุด แต่ขณะเดียวกันการหน่วงสำหรับทุกรูปแบบมีความใกล้เคียงกัน ในขณะที่กรณีของยิปซัมเสริม Oobleck มีการส่งผ่านพลังงานน้อยที่สุด

ดังนั้นเราจะสามารถคำนวณปริมาณค่าพลังงานที่วัสดุดูดซับไปได้โดยการนำปริมาณพลังงานเริ่มต้นลบปริมาณพื้นที่ใต้กราฟของรูปที่ 4.7 ของแต่ละวัสดุและแสดงมาเป็นกราฟได้ ดังรูปที่ 4.8

โดยค่าพลังงานเริ่มต้นต่อเวลาทั้งหมดที่ได้จากลูกบอลเหล็กน้ำหนัก 112 กรัม ตกอิสระที่ความสูง 20 เซนติเมตร เท่ากับ $109872 \mu\text{J/s}$

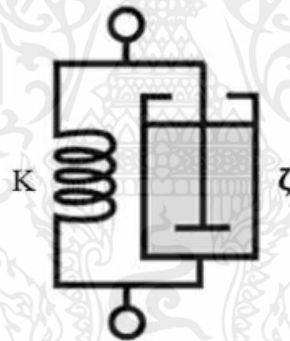
จากกราฟแสดงค่าพลังงานที่แต่ละวัสดุดูดซับได้ แสดงให้เห็นได้ว่ากรณียิปซัมเสริม Oobleck นั้นสามารถดูดซับแรงได้มากที่สุดจากทั้งหมด



รูปที่ 4.8 แสดงพลังงานที่ถูกดูดซับของกรณีที่ 4 $M=112$ กรัม, $H=20$ เซนติเมตร

4.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณค่าอัตราการหน่วงวัสดุ (ζ) และค่าคงที่สปริงวัสดุ (K) ของแบบจำลองเพื่อสร้างแบบจำลองเชิงกล ดังรูปที่ 4.5 โดยใช้ค่าการตอบสนองของกรณีที่สูง ($M=112$ กรัม, $H=20$ เซนติเมตร) ในการคำนวณ



รูปที่ 4.9 แผนผังแบบจำลองเชิงกลเทียบเท่ากับคุณสมบัติการหน่วงและสปริงของวัสดุ

ค่าอัตราส่วนการหน่วงของวัสดุ (ζ) สามารถคำนวณได้ในแง่ของแอมพลิจูดของการตอบสนองดังนี้:

$$\zeta = \frac{\ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)}{\sqrt{4\pi^2 + \left(\ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right)\right)^2}} \quad (2.12)$$

โดยที่ ζ คือ ค่าอัตราส่วนการหน่วงของวัสดุ

x_1 และ x_2 คือ แอมพลิจูดการสั่นสะเทือนที่จุดสูงสุดต่อเนื่องกันสองจุดของการสั่นสะเทือนที่สลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

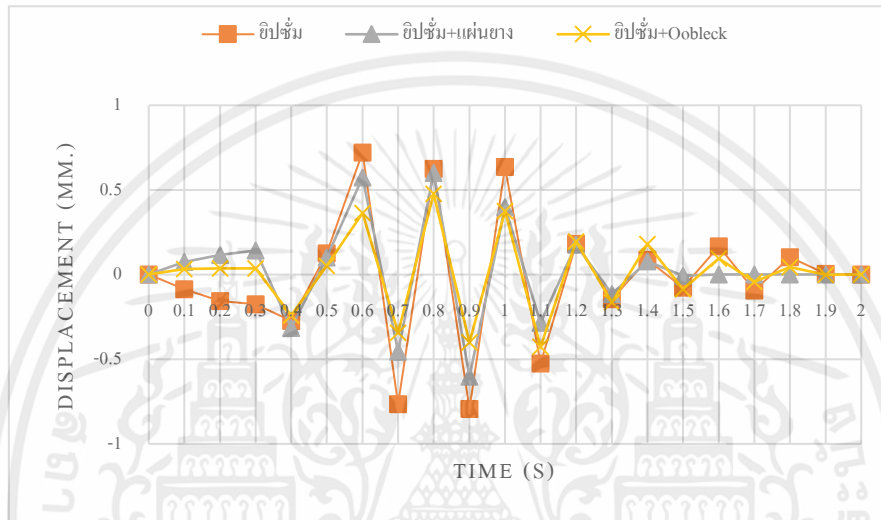
ค่าคงที่สปริงของวัสดุ(K)สามารถคำนวณหาได้โดยใช้ Hook's law ดังนี้:

$$K = \frac{F}{\Delta} \quad (2.13)$$

โดยที่ K คือ ค่าคงที่ของสปริง(N/m)

Δ คือ การกระจัด (m)

F คือ แรงที่มากระทำ (N)



รูปที่ 4.10 แสดงการตอบสนองการกระจัด (Δ) ของกรณีที่ 4

จากกราฟรูปที่ 4.10 แสดงการตอบสนองการกระจัด (Δ) ของกรณีที่ 4 ลูกบอลเหล็ก 112 กรัม, ความสูง 20 เซนติเมตร โดยใช้สมการที่ 2.12 และ 2.13 คำนวณได้เป็นค่าอัตราการหน่วงของวัสดุ (ζ) และค่าคงที่สปริงของวัสดุ(K) ดังตารางที่ 4.1

แบบจำลอง	ยิปซั่ม	ยิปซั่มเสริมยาง	ยิปซั่มเสริมOobleck
อัตราการหน่วง(ζ)	0.02289	0.06537	0.1023
ค่าคงที่สปริง (K),นิวตัน/เมตร	21.2	17.4	13.705

ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราการหน่วงของวัสดุ (ζ) และ ค่าคงที่สปริงของวัสดุ(K) ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าค่าอัตราการหน่วงของวัสดุ (ζ) ของกรณีแบบจำลองยิปซั่มเสริม Oobleck มีที่ค่าสูงกว่าของกรณีแบบจำลองยิปซั่มเสริมยางและกรณีแบบจำลองยิปซั่มเพียงอย่างเดียว ส่วนค่าคงที่สปริงของวัสดุ (K) ของกรณียิปซั่มเสริม Oobleck มีค่าที่ต่ำกว่ากรณีแบบจำลองยิปซั่มเสริมยางและกรณีแบบจำลองยิปซั่มเพียงอย่างเดียว

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าพลังงานที่ส่งผ่านถึงยิปซั่ม (μ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าของไหลแบบนอนนิวทรอนเนียนั้นมีค่าการหน่วงที่สูงสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูดซับแรงกระแทกได้ดีกว่าแผ่นยาง จึงเป็นตัวเลือกที่ดีในการนำไปเสริมความสามารถในการซับแรงกระแทกให้กับแบรีเออร์

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าร้อยละของพลังงานที่ลดลงสัมพันธ์กับแบบจำลองยิปซั่มเพียงอย่างเดียว ซึ่งจากตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นได้ว่าการเสริม Oobleck หรือของไหลนอนนิวทรอนเนียนั้นสามารถดูดซับแรงกระแทกสัมพันธ์ได้มากขึ้นถึง ร้อยละ 56.25 ของแบบจำลองที่เป็นยิปซั่มเพียงอย่างเดียว และยิ่งมากกว่าการเสริมด้วยแผ่นยาง ถึง ร้อยละ 26.25

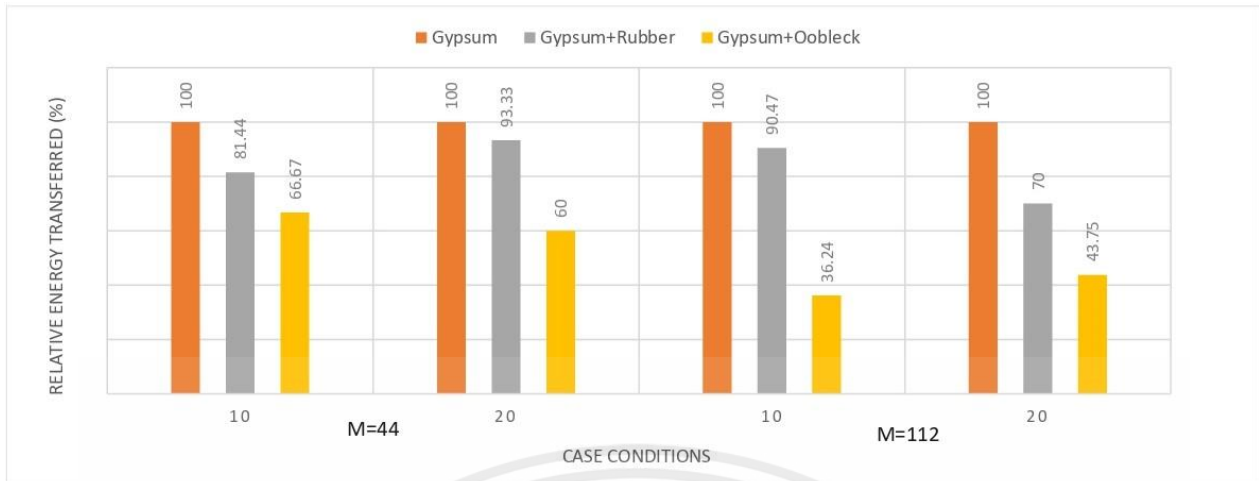
มวล(กรัม)	M = 44		M = 112	
ความสูง(ซม.)	10	20	10	20
แบบจำลอง	พลังงานที่ส่งผ่านถึงชั้นยิปซั่ม (μ)			
ยิปซั่ม	52.7755	131.9571	2780.455	2986.069
ยิปซั่มเสริมแผ่นยาง	42.8224	123.16	2515.472	2090.248
ยิปซั่มเสริมOobleck	35.1836	79.1743	1007.682	1306.405

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพลังงานที่ส่งผ่านถึงยิปซั่ม (μ)

มวล(กรัม)	M = 44		M = 112	
ความสูง(ซม.)	10	20	10	20
แบบจำลอง	ร้อยละพลังงานที่ดูดซับสัมพันธ์ (%)			
ยิปซั่ม	-	-	-	-
ยิปซั่มเสริมแผ่นยาง	18.56	6.67	9.53	30
ยิปซั่มเสริมOobleck	33.33	40	63.76	56.25

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าร้อยละของพลังงานที่ลดลงสัมพันธ์กับแบบจำลองยิปซั่ม(%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงค่าร้อยละของพลังงานที่ส่งผ่านวัสดุสัมพัทธ์

จากกราฟในรูปที่ 4.7 แสดงค่าร้อยละของพลังงานที่ส่งผ่านวัสดุสัมพัทธ์สำหรับกรณีศึกษาต่างๆ จะเห็นว่าของไหลนอนนิวโตเนียนมีความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกที่ดี จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้สำหรับการเสริมคุณภาพการดูดซับแรงของแบรีเออร์เพื่อลดความรุนแรงจากการชนให้น้อยลง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษางานวิจัยนี้ยังเป็นเพียงแนวคิดที่ต้องการจะนำคุณสมบัติการดูดซับแรงกระแทกของของไหลนอนนิวโตเนียนมาประยุกต์ใช้กับที่กั้นถนนหรือแบรีเออร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดผลกระทบร้ายแรงที่จะเกิดขึ้นบนถนน

จากผลของการทดลองที่อภิปรายข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ของไหลนอนนิวโตเนียนมีค่าการหน่วงที่สูง มากกว่าค่าการหน่วงของแผ่นยาง ของไหลนอนนิวโตเนียนมีความสามารถในการดูดซับแรงได้มากกว่ายิปซัมถึง 56.25 % ด้วยคุณสมบัตินี้ของของไหลนอนนิวโตเนียน สามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับแบรีเออร์ได้ ซึ่งจะสามารถลดผลกระทบร้ายแรงที่อาจจะเกิดขึ้นบนท้องถนนได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากไม่ได้มีการทำการทดลองกับแบรีเออร์และรถยนต์จริง เป็นเพียงออกแบบการทดลองจำลองเพื่อคาดการณ์ผลที่จะเกิดขึ้น ทำให้ไม่สามารถทราบถึงข้อบกพร่องในการนำไปประยุกต์ใช้จริง หากได้มีโอกาสในการพัฒนาศึกษาและทดสอบเพิ่มเติม จะสามารถศึกษาข้อบกพร่อง และสามารถพัฒนาปรับปรุงแก้ไขได้

2. เนื่องจากของไหลนอนนิวโตเนียนที่ใช้ในการทดลองยังมีข้อบกพร่องในเรื่องเวลาการเก็บรักษาของวัสดุ เราจึงต้องศึกษาและหาวิธีแก้ไขพัฒนาต่อไปในอนาคตสำหรับในการนำไปใช้จริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] How To Make Oobleck Without Cornstarch. (2021). Retrieved from <https://experthometips.com/how-to-make-oobleck-without-cornstarch#:~:text=Yes%2C%20you%20can%2C%20but%20you,the%20way%20that%20corn starch%20does>
- [2] สายัณห์สุยพงษ์พันธ์ และ วิรัตน์ ปฐมชัยอัมพร. (2549). ความหนืดคุณลักษณะเฉพาะของของไหล https://www.dss.go.th/images/st-article/pep_9_2549_viscosity.pdf
- [3] Stockbower,R. (2005). The physics of Oobleck on shear thickening solutions. Retrieved from <https://arstechnica.com/science/2005/11/1771/>
- [4] Mark Bello. (2016). A Crack in the Mystery of Oobleck Friction Thickens Fluids. Retrieved from <https://www.nist.gov/news-events/news/2016/05/crack-mystery-oobleck-friction-thickens-fluids>
- [5]Runal P. Pawar, Shruti Donode, Prafulsingh Chouhan, Satendrakumar Bopche, Pranali Ramteke, Prof. Pooja J. Chavhan. (2019). Non-Newtonian Fluid Speed Breaker. B.E. Department of Civil Engineering, M.I.E.T. Shahapur, Bhandara, India and Asst. Professors, Dept. of Civil Engineering, M.I.E.T. Shahapur, Bhandara, India Retrieved from <https://www.ijert.org/a-study-on-the-behavior-of-speed-breakers-using-non-newtonian-fluid-and-comparison-with-conventional-speed-breakers>
- [6] Shuhairy Norhisham, Nor Najwa Irina Mohd Azlan, Muhammad Fadhlullah Abu Bakar, Dinesh Raja, Nor Hazwani Nor Khalid. (2021). Developing a Prototype of Non-Newtonian Fluid Speed Hump. Department of Civil Engineering, College of Engineering, University Tenaga Nasional, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia, Institute of Energy Infrastructures (IEI), University Tenaga Nasional, 43000 Kajang, Selangor, Malaysia Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Non-Newtonian-Fluid-Speed-Breaker-Parmar/adc38984f2fd418a7595da7745853a1cefcacd3f>
- [7] Engineering vibrations fourth edition DANIEL JINMAN University of Michigan
- [8] Non-newtonian flow and applied rheology engineering applications second edition R.P CHHABRA, J.F.RICHARDSON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้