

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับ
เม็ดทราย**

Friction coefficient in the round pipe is slant of flow that combine



อุกฤษ เป็นสุวรรณ
ศุภมิตร สดประเสริฐ
สุธน ปรีทธิภักษ์กุล

รฟ.
๑๗๘ก
๒๕๕๐

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 82173
วัน,เดือน,ปี..... - 9 ก.ค. 2551

**ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550**

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสม
ระหว่างน้ำกับเม็ดยา

Friction coefficient in the round pipe is slant of flow that combine

คณะผู้จัดทำ

- | | | |
|---------------|---------------|-----------------------|
| 1. นายอุกฤษ | แป้นสุวรรณ | รหัสประจำตัว 48015411 |
| 2. นายศุภมิตร | สุดประเสริฐ | รหัสประจำตัว 48015440 |
| 3. นายสุชน | ปริพิทักษ์กุล | รหัสประจำตัว 48015444 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. จีตอง ปราบแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผศ. มณฑล ใจกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

นายอุกฤษ เป็นสุวรรณ 48015411
 นายศุภมิตร สุคประเสริฐ 48015440
 นายสุธน ปริพิทักษ์กุล 48015444
 รศ.ดร. จ้างทอง ปรานแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา
 ผศ.มณฑล ใจกุลศล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
 ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมที่มีการผสมกันระหว่างน้ำกับทราย โดยวิธีการวิเคราะห์หาสมการที่ใช้ในการคำนวณแล้วนำผลการคำนวณที่ได้ไปเทียบกับผลการทดลอง การศึกษาจะพิจารณาถึงผลของปริมาณส่วนผสมของของแข็งที่ 5, 10, 15 และ 20% และมุมเอียงของท่อที่ 30, 60 และ 90 องศาตามลำดับ โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดทรายที่ 0.425 มิลลิเมตร จากนั้นก็นำผลการคำนวณและผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ ซึ่งกราฟดังกล่าวสามารถใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายได้ จากการศึกษาพบว่าที่ความเร็วเฉลี่ยการไหลที่เท่ากัน ที่มุมท่อเอียง 30 องศาที่อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.4679 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.8436 ในขณะที่มุมท่อเอียง 60 องศาที่อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.5266 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.9554 ในขณะที่มุมท่อเอียง 90 องศาที่อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.5645 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 1.0164 จากผลการศึกษาี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนผสมของทรายและมุมของท่อเอียงมากขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) มากขึ้น

Friction coefficient in the round pipe is slant of flow that combine

Ukai Pansuwan

Suphamit Sudprasert

Suthon Pariphitakkul

Assoc.Prof. Dr.Chamlong Prabkeo Advisor

Assis.Prof Montol Jaikusol Co. Advisor

ABSTRACT

This project present about flow friction coefficient in the round pipe is slant of flow that combines with sand and water. By searching an equation for calculate then use the result from an equation compare with result from the experiment. A study considering about volume of sand result at 5, 10, 15, and 20 percent and slope angle pipe at 30, 60, and 90° with mean of sand diameter that 0.425 millimeter. After that using the result to plot graph show the relation between head loss with flow speed in the pipe, This graph can using for measuring friction coefficient. From result study to find that flow speed to be mean of angle pipe 30 degree volume of sand result at 5 percent friction coefficient (K) = 0.4679 and volume of sand result at 20 present friction coefficient (K) = 0.8436. While of angle pipe 60 degree volume of sand result at 5 percent friction coefficient (K) = 0.5266 and volume of sand result at 20 present friction coefficient (K) = 0.9554. While of angle pipe 90 degree volume of sand result at 5 percent friction coefficient (K) = 0.5645 and volume of sand result at 20 present friction coefficient (K) = 1.0164. From result study to find that about volume of sand results and mean of angle pipe to increase and to cause friction coefficient (K) to increase

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะด้วยความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือ ในด้านต่าง ๆ เสมอมาจาก รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา และผศ.มณฑล ใจกุศล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการนี้ และขอบคุณพี่ต๊อด พี่เจษ บอด และชั้นที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงการนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาธ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายอุกฤษ เป็นสุวรรณ
นายศุภมิตร สดประเสริฐ
นายสุรณ ปริพิฑกัญกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการไหลของของไหลผสม	3
2.1 คุณสมบัติของ Non-Newtonian Fluid	3
2.2 การสูญเสียความเสียดทาน	6
2.3 ปฏิกริยาของการลอยตัวในของแข็งกับสมรรถนะของปั๊ม	7
บทที่ 3 การวิเคราะห์การไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลมเอียง	11
3.1 การคำนวณหา Pressure Drop ของของไหลผสมระหว่างทรายกับน้ำ ในท่อกลมแนวราบ	11
3.2 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียง ของของไหลผสมระหว่างทรายกับน้ำ	13
3.3 เปรียบเทียบความเร็วของอนุภาคกับความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ	17
3.3 วิธีการคำนวณและผลการคำนวณ	19
บทที่ 4 ชุดทดลองและวิธีการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน	29
4.1 ชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลอง	29
4.2 วิธีการทดลอง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	35
5.1 สรุปผลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานทางทฤษฎี	35
5.2 สรุปผลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานทางการทดลอง	36
5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง	37
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก	39
ภาคผนวก ข	45
ภาคผนวก ค	51
บรรณานุกรม	53



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้าที่
2.1 แสดงไดอะแกรมการไหลแบบปั่นป่วนและโปรไฟล์แสดงการไหล	3
2.2 แสดงความหนาแน่นและน้ำหนักจำเพาะ (สำหรับ $Sw = 1$)	5
2.3 แสดงการสูญเสียความเสียดทานของของผสมระหว่างทรายละเอียดกับน้ำ	6
2.4 แสดงการสูญเสียความเสียดทานของของผสมระหว่างทรายหยาบกับน้ำ	7
2.5 แสดงประสิทธิภาพของปั๊มในการดูดของผสมระหว่างของแข็งกับของเหลว	8
2.6 แสดงประสิทธิภาพของปั๊มในการดูดของผสมระหว่างถ่านหินกับน้ำ	9
2.7 แสดงอัตราส่วนประสิทธิภาพของปั๊ม	9
2.8 แสดงประสิทธิภาพของปั๊มที่ความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมต่าง ๆ	10
3.1 แสดง Pressure Drop ของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลมแนวราบ	11
3.2 แสดงการสมดุลแรงของของไหลผสมในท่อแนวเอียง	13
3.3 แสดง Flow chart การคำนวณ	19
3.4 กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่มุมท่อเอียง 30 องศา	20
3.5 กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่มุมท่อเอียง 60 องศา	21
3.6 กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่มุมท่อเอียง 90 องศา	22
3.7 กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 30 องศา กับความเร็ว	23
3.8 กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 60 องศา กับความเร็ว	24
3.9 กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 90 องศา กับความเร็ว	25
3.10 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 30 องศา กับความเร็ว	26
3.11 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 60 องศา กับความเร็ว	27
3.12 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 90 องศา กับความเร็ว	28
4.1 แสดงชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียง ของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย	29
4.2 แสดงถังวัดปริมาตร	30
4.3 แสดงปั๊มหอยโข่ง	30
4.4 แสดงออร์ฟิช	30
4.5 แสดงมานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวอุหงาย	30
4.6 แสดงรูปเครื่องร่อนทราย	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.7 กราฟแสดงผลการทดลองที่มุมทอเอียง 30 องศา	32
4.8 กราฟแสดงผลการทดลองที่มุมทอเอียง 60 องศา	33
4.9 กราฟแสดงผลการทดลองที่มุมทอเอียง 90 องศา	34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขของค่า Re_c ที่มีผลต่อค่า k และค่า ε	16
ตารางที่ ก-1 แสดงการคำนวณของมุมท่อเอียง 30 องศา	39
ตารางที่ ก-2 แสดงการคำนวณของมุมท่อเอียง 60 องศา	41
ตารางที่ ก-3 แสดงการคำนวณของมุมท่อเอียง 90 องศา	43
ตารางที่ ข-1 แสดงการทดลองของมุมท่อเอียง 30 องศา	45
ตารางที่ ข-2 แสดงการทดลองของมุมท่อเอียง 60 องศา	47
ตารางที่ ข-3 แสดงการทดลองของมุมท่อเอียง 90 องศา	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

A	พื้นที่ของท่อ (m^2)
C	ค่าสัมประสิทธิ์ของเม็คทราย
d	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็คทราย (m)
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง = $9.81 (m/s^2)$
n	ค่าจำนวนเม็คทรายใน ΔL ที่พิจารณา
ΔP	ความแตกต่างของความดันในท่อ (kPa)
ΔP_c	ความแตกต่างความดันของของแข็ง (kPa)
Re _t	ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ของทราย
u _t	ค่าความเร็วเฉลี่ยของทราย (m/s)
α	อัตราส่วนความดันที่ลดลง
γ_w	ค่าน้ำหนักจำเพาะของน้ำ (N/m^3)
λ	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของระบบ
λ_t	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของทราย
f	ค่าความเสียดทาน
η	ค่าประสิทธิภาพ
W _s	น้ำหนักของทราย (Kg)
a	พื้นที่ของเม็คทราย (m^2)
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
f _s	ความฝืดระหว่างเม็คทรายกับน้ำในหนึ่งอนุภาค (kN)
ΔL	ช่วงความยาวที่พิจารณา (m)
P	ค่าความดันภายในท่อ (kPa)
ΔP_w	ความแตกต่างความดันของน้ำ (kPa)
Re	ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ของน้ำ
u _m	ค่าความเร็วเฉลี่ยในท่อ (m/s)
u _t	ค่าความเร็วในการจมลงของเม็คทราย (m/s)
γ	ค่าน้ำหนักจำเพาะ (N/m^3)
γ_s	ค่าน้ำหนักจำเพาะของทราย (N/m^3)
λ_w	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

μ_s	อัตราส่วนของน้ำหนัก
ϕ	อัตราส่วนความเร็ว
W_w	น้ำหนักของน้ำ
w_s	น้ำหนักของทราย
w'_s	อัตราการไหลโดยน้ำหนักของทราย (N/s)
w'_w	อัตราการไหลโดยน้ำหนักของน้ำ (N/s)
w'_m	อัตราการไหลโดยน้ำหนักเฉลี่ย (N/s)
ตัวห้อย	
s	ทราย
w	น้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การขนถ่ายของไหลผ่านท่อมีหลายรูปแบบ เช่น การส่งน้ำของการประปา, การขนถ่ายน้ำมันผ่านระบบท่อ, การส่งของไหลผ่านท่อในอุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีงานบางชนิดที่มีการขนถ่ายของไหลผสมระหว่างน้ำกับของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็ก ๆ เช่น ในอุตสาหกรรมขุดเจาะน้ำมัน, เหมืองถ่านหิน, อุตสาหกรรมการก่อสร้าง, การคัดทราย หรือโคลนออกจากแม่น้ำลำคลองที่ตื้นเขิน ในกรณีดังกล่าวนี้การไหลของของไหลในท่อจะเป็นของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายหรือโคลน ในการขนถ่ายของไหลผ่านท่อ ระบบท่อดังกล่าวจะต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อน การสูญเสียความดันเนื่องจากความฝืดระหว่างผิวด้านในของท่อของไหลผสมที่ไหลผ่านซึ่งจะส่งผลถึงการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของไหล โครงการนี้จึงได้ศึกษาถึงวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียงและอัตราส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อจะได้นำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไปใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังที่ใช้ในการขับปั๊มซึ่งเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนของไหลดังกล่าวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 วิเคราะห์หาสมการเพื่อใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

1.2.2 ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายเพื่อพิสูจน์สมการที่ได้วิเคราะห์ขึ้นมา

1.3 ขอบเขตของโครงการ

วิเคราะห์หาสมการเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานภายในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในอัตราส่วนผสมของทราย 5%, 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนักที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดทราย 0.425 มิลลิเมตร และมีการเปลี่ยนแปลงขนาดมุมของท่อเป็น 30, 60 และ 90 องศาในทุก ๆ อัตราส่วนผสม นำมาไหลผ่านท่อกลมในแนวเอียง แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากสมการที่ได้วิเคราะห์ขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับผลทางการทดลอง

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในโครงการนี้เริ่มต้นโดยการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวกับการไหลของของไหลผสม เพื่อนำมาวิเคราะห์หาสมการสำเร็จรูปในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสม จากนั้นทำการออกแบบและสร้างชุดทดลองที่ใช้ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสม หลังจากนั้นจึงทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ โดยรายละเอียดของผลการทดลอง และผลการเปรียบเทียบที่ได้จากการทดลองกับผลการคำนวณทางทฤษฎีนั้นจะแสดงไว้ในผลการทดสอบและสรุปผล

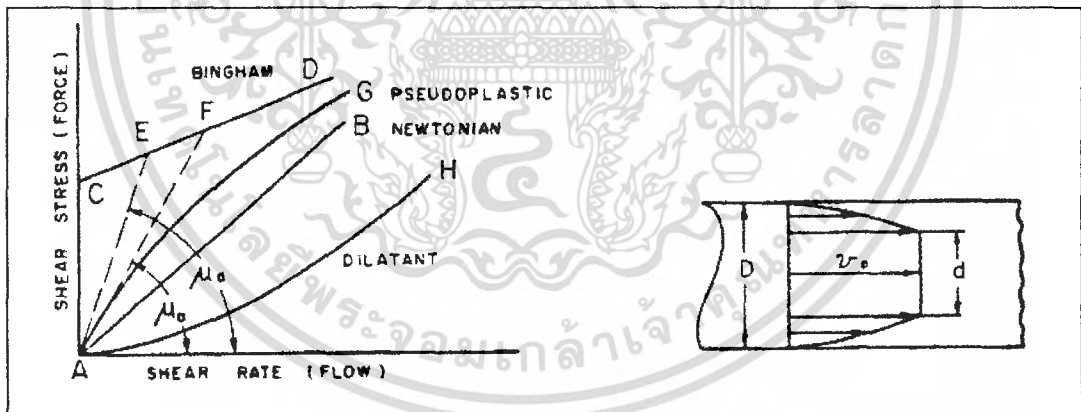
บทที่ 2

ทฤษฎีการไหลของของไหลผสม

2.1 คุณสมบัติของ Non-Newtonian Liquid

ในกระบวนการอุตสาหกรรม การขนถ่ายของไหลที่เป็นของผสมจะใช้กระบวนการแบบ Centrifugal วัสดุที่เป็นของแข็งอาจได้แก่ ซีเมนต์, Carbone Slurry, ผงถ่านหิน, ทรายบดและแร่ที่ยังไม่ถลุงจนถึงซากปรักหักพังขนาดใหญ่ที่ได้จากการขุดลอกแม่น้ำ

ส่วนผสมของของแข็งและของเหลวมีรูปแบบของการไหลแตกต่างจากของเหลว Homogeneous Viscous ความสัมพันธ์ระหว่าง The Shear Stress และความเร็วในทางลาดชันนั้นไม่เป็นไปตามลำดับและของเหลวนี้เรียกว่า Non-Newtonian Liquid รูปที่ 2.1 แสดงแผนภาพการไหลแบบปั่นป่วนของความหลากหลายของของเหลว Slurries ส่วนใหญ่จะถูกขนถ่ายโดยการสูบจ่าย Exhibit the nature of Bingham fluids เพื่อที่ซึ่งจะ ไม่มี flow occurs จนกระทั่ง yield point c นั้นเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 2.1 แสดงไดอะแกรมการไหลแบบปั่นป่วนและโปรไฟล์แสดงการไหล

สำหรับ Bingham fluid ค่า shear stress จะมีสมการดังนี้

$$\tau = \mu_B \frac{du}{dy} + K \quad (2-1)$$

เมื่อ μ_B : Viscosity (Pa.s)
 K : Yield stress (Pa)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชันที่เห็นได้ชัดถูกจำกัดโดยความลาดของ $\tau - du/dy$ Curve นั้นไม่แน่นอน สำหรับ ส่วนผสมของของแข็งและของเหลวที่แท้จริงสำหรับ Non-Newtonian Liquid, ซึ่งสามารถเขียนใน รูป “power law” ได้ดังนี้

$$\tau = \mu_k \left[\frac{du}{dy} \right]^n \quad (2-2)$$

เมื่อ μ_k คือค่าความหนืด

n คือดัชนีกฎกำลังงาน

ในสมการ (2-2) $n < 1$ คือ “pseudo plastic liquids” ที่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นของ solid suspended slurries; $n > 1$ คือ “dilatants liquid” แทน starch suspended water; $n = 1$ คือของเหลว Newtonian ที่ขึ้น เพื่อที่จะกลายเป็นของเหลวที่หนืดสมบูรณ์ มีอีกชนิดที่เรียกว่าสาร “thixotropic” เหมือนนมผสมกับสี ที่แสดงในแผนภูมิ $\tau - du/dy$

สำหรับของเหลว Bingham หรือ pseudo plastic liquids ในการบันทึกความเร็วในท่อที่เรียกว่า “plug flow” ที่มีของเหลวบาง ๆ ลอยอยู่บนพื้นผิว การลอยตัวเพิ่มสูงขึ้นของแข็งเคลื่อนตัวไปลุดอยู่กลางท่อ (รูปที่ 2.1)

องค์ประกอบของส่วนผสมของของแข็งและของเหลวถูกระบุไว้โดยชัดเจนโดยปริมาณ จำนวนของของแข็งเหมือนสัดส่วนผสมทั้งโดยปริมาตรหรือน้ำหนักก็ได้ เมื่อความหนาแน่นของ Volumetric ในส่วนผสมสำเร็จ รายละเอียดของแรงโน้มถ่วงของส่วนผสมคือ

$$S_m = S_w + C(S_s - S_w) \quad (2-3)$$

เมื่อ S_m : ความถ่วงจำเพาะของผสม

S_w : ความถ่วงจำเพาะของเหลว
(เมื่อของเหลวคือน้ำ, $S_w = 1$)

S_s : ความถ่วงจำเพาะของแข็ง

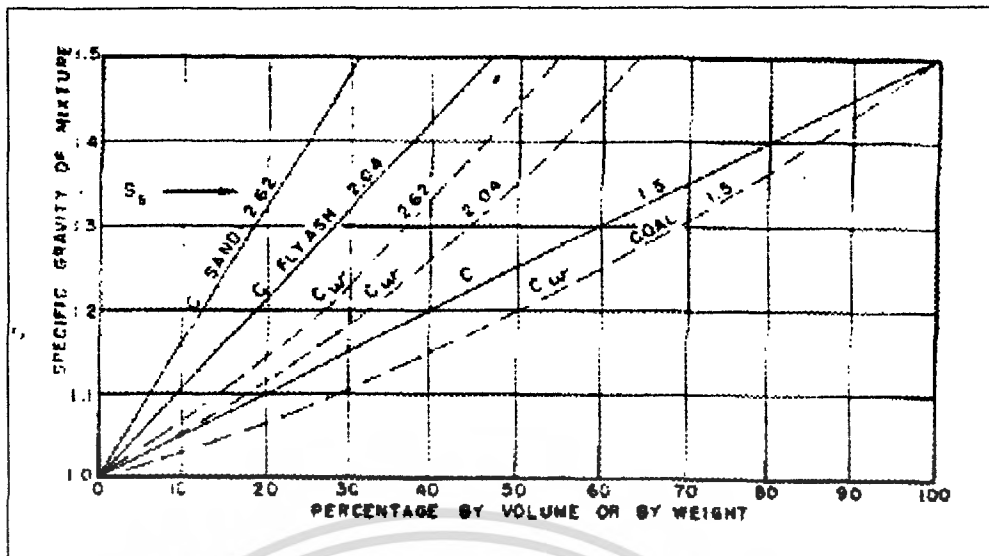
C : ความหนาแน่นในเศษส่วนปริมาตร

โดยที่ ความหนาแน่นโดยน้ำหนักคือ $C \left(\frac{S_s}{S_m} \right)$

$$S_m = S_s S_w / [C_w + S_s(1 - C_w)] \quad (2-4)$$

เมื่อ C : ความหนาแน่นในเศษส่วนน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงความหนาแน่นและน้ำหนักจำเพาะ (สำหรับ $S_w = 1$)

รายละเอียดของแรงโน้มถ่วงของส่วนผสมมีผลกระทบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยตรงกับพลังงานที่จะต้องใช้ในการขนถ่าย ส่วน Volumetric concentration มีความเกี่ยวข้องกันอย่างใกล้ชิดกับการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพซึ่งจะได้อธิบาย ในหัวข้อ 2.3

เมื่อความชื้นของส่วนผสมของของแข็งมีน้ำหนักมากกว่าของเหลวที่ลดลง ส่วนย่อยของของแข็งมีแนวโน้มจะตกค้างอยู่ระหว่างแรงโน้มถ่วง ความสำคัญของความชื้นของสารตกค้างก็คือความชื้นของส่วนผสมที่อยู่ด้านล่างที่ซึ่งลอยอยู่ในลักษณะแนวนอนในท่อน้ำจะไม่แน่นอนและสารตกค้างของของแข็งที่อยู่ในส่วนที่ต่ำกว่าของท่อน้ำจะถูกกำจัดออกได้โดยการ Jumping หรือ rolling เท่านั้น เป็นผลให้การเพิ่มขึ้นของการเสียดทานหายไป สารความเข้มข้นที่ตกค้างมีความสัมพันธ์กับขนาด รูปร่างและความหนาแน่นของของแข็งที่ลอยตัว ในสมการ (2-5) แสดงให้เห็นถึงสมการที่ได้คำนวณขึ้นในการหาสารความชื้นที่ตกค้างสำคัญ ๆ

$$V_c = F_L [2gD(S_s - 1)]^{1/2} \quad (2-5)$$

- เมื่อ V_c : ความเร็ววิกฤตในการตกตะกอน (m/s)
 F_L : สัมประสิทธิ์การทดลอง
 D : เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

ค่าของ F_L ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของของแข็งและความหนาแน่น โดยที่ค่าของทรายหยาบ < ขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร > มีค่าประมาณที่ 1.34

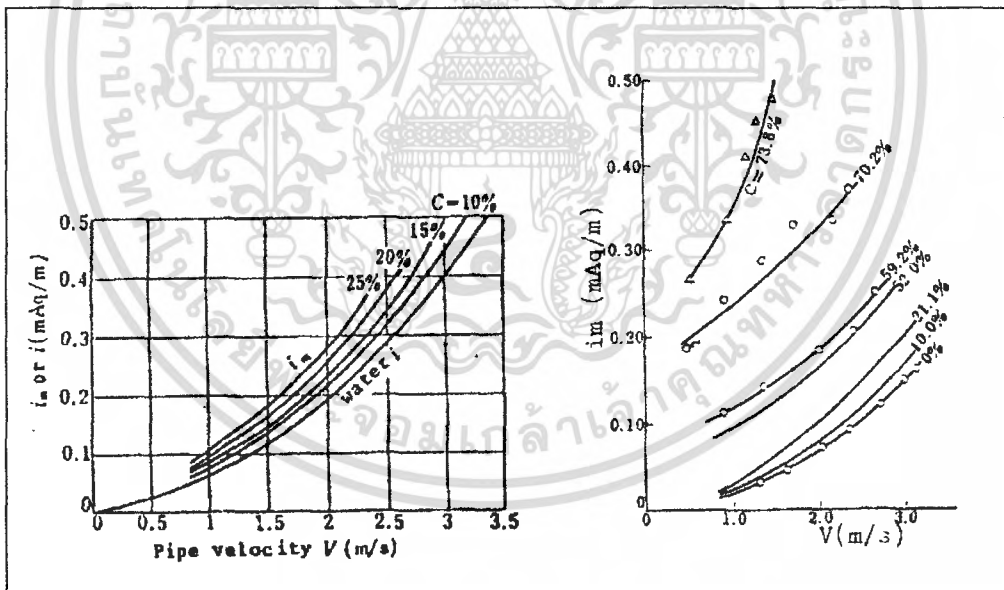
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การสูญเสียความเสียดทาน

เนื่องจากกลไกการลอบตัวที่มีลักษณะซับซ้อนเข้าใจยาก มันจึงเป็นการยากที่จะอธิบายถึงความเสียดทานของ Non-Newtonian Liquid ที่หายไป อย่างไรก็ตามข้อมูลของการขนถ่ายไฮดรอลิกของของแข็งที่ได้ทำการทดลองไว้ รูปแบบการลอบตัวและลักษณะของการไม่เกิดความเสียดทานนั้นขึ้นกับขนาดของ gain และการกระจุกตัว as give hereunder

1. อนุภาคของของแข็งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 50 ไมครอนลอบตัวในน้ำ ของผสมมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แรงเสียดทานที่เกิดจากการส่งผ่านของของผสมอ่านได้จากเครื่องมือวัด ซึ่งมีลักษณะคล้ายน้ำธรรมดา

2. อนุภาคของของแข็งมีขนาดระหว่าง 60 – 250 μm แรงเสียดทานที่เกิดจากการส่งผ่านของของผสมในท่อส่งเป็นแนวตรงเหมือนกับการส่งน้ำบริสุทธิ์ ซึ่งเป็นการประมาณในขณะที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ส่วนที่คดโค้งจะลดความปั่นป่วนของกระแสที่ออกมาจากปั๊ม ของผสมมีส่วนลดอัตราการไหลเนื่องจากเกิดแรงเสียดทาน ในรูปที่ 2.3 เป็นการเปรียบเทียบกับน้ำบริสุทธิ์

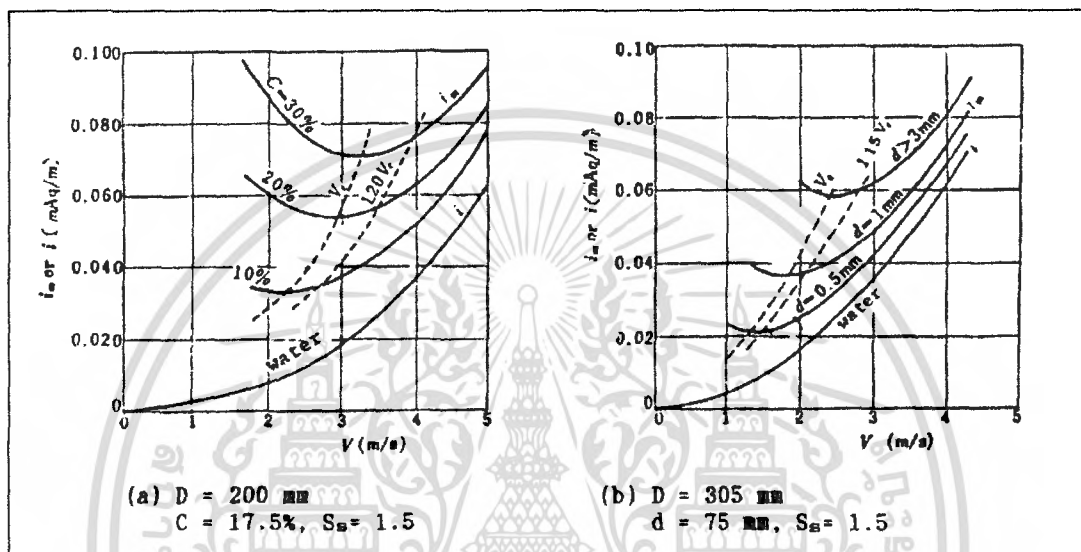


รูปที่ 2.3 แสดงการสูญเสียความเสียดทานของของผสมระหว่างทรายละเอียดกับน้ำ

3. อนุภาคของของแข็งที่มีขนาด 0.3 – 3 มิลลิเมตร และของไหลคิดเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่พอควรที่จะเกิดปฏิกิริยาของแรงโน้มถ่วงที่จุดนั้นหรือใกล้เคียง ความเร็วของการไหลที่บันทึกไว้จะมี head loss เกิดขึ้นเล็กน้อย ที่ความเร็วสูง head loss

จะมีค่าใกล้เคียงกับน้ำบริสุทธิ์ อย่างไรก็ตาม head loss จะมีค่าสูงขึ้นอีกถ้าขนาดของ grain มีค่าเพิ่มขึ้น

4. อนุภาคของของแข็งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 – 5 มิลลิเมตร ของแข็งปริมาณเล็กน้อยที่ส่วนต่างๆของท่อในแนวอนจะมีอัตราความเร็วต่ำกว่าเมื่อเทียบกับจุดความเร็วที่ได้บันทึกไว้ โดยมีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นแต่ความเร็วลดลง ความหนาแน่นหรือน้ำหนักจำเพาะมีค่ามากกว่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ซึ่งขนาดของ grain แทบจะอิสระ ไม่ขึ้นกับปัจจัยอื่น



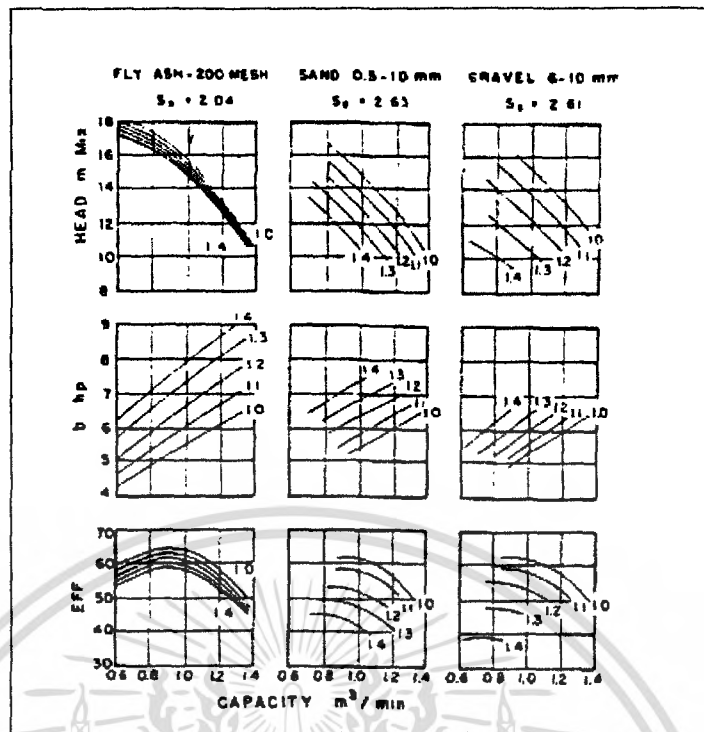
รูปที่ 2.4 แสดงการสูญเสียความเสียดทานของของผสมระหว่างทรายหยาบกับน้ำ

จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนของผสมจะทำได้ง่ายกว่าการใช้ความเร็วต่ำเพื่อลดภาวะการเกิดแรงเสียดทานและความเข้มข้นที่มาก โดยปราศจากการตกตะกอน จะทำได้ยาก ในทางปฏิบัติความเร็วในท่อที่เลือกพิจารณา มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์จากค่าความเร็วต่างๆ ที่ได้บันทึกไว้

2.3 ปฏิกริยาของการลอยตัวของแข็งกับสมรรถนะของปั๊ม

เมื่อของผสมถูกดูด สมรรถนะของปั๊มขึ้นอยู่กับการลอยตัวของของแข็ง ความเข้มข้น และขนาดของของแข็ง การเสื่อมลงของสมรรถนะปั๊มเป็นผลมาจากข้อเท็จจริงที่แรงดันไม่สามารถส่งผ่านได้ เนื่องจากของแข็งที่อยู่ภายใน การมีของแข็งผสมอยู่ในของเหลวก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งความหนาแน่น ปริมาณของแข็ง และขนาดของของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีส่วนทำให้สมรรถนะของปั๊มลดลง

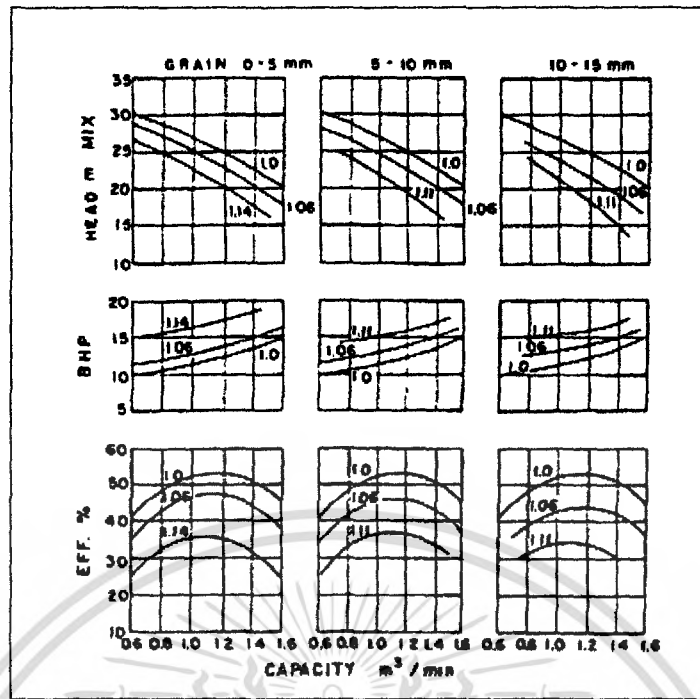
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงประสิทธิภาพของปั๊มในการดูดของผสมระหว่างของแข็งกับของเหลว

รูปที่ 2.5 แสดงความแตกต่างของข้อมูลการทดลองที่ขนาดและปริมาณของของแข็งที่แตกต่างกัน สำหรับของผสมที่มีของแข็งผสมเพียงเล็กน้อย แรงเสียดทานที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากน้ำอย่างเดียว อย่างไรก็ตามแรงดันที่ได้ก็เกิดจากการเพิ่มหรือลดลงอย่างเป็นสัดส่วนซึ่งขึ้นกับน้ำหนักจำเพาะของของผสม กล่าวได้ว่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นแรงดันจะลดลงเป็นสัดส่วนกันรวมถึงประสิทธิภาพที่ลดลงด้วย

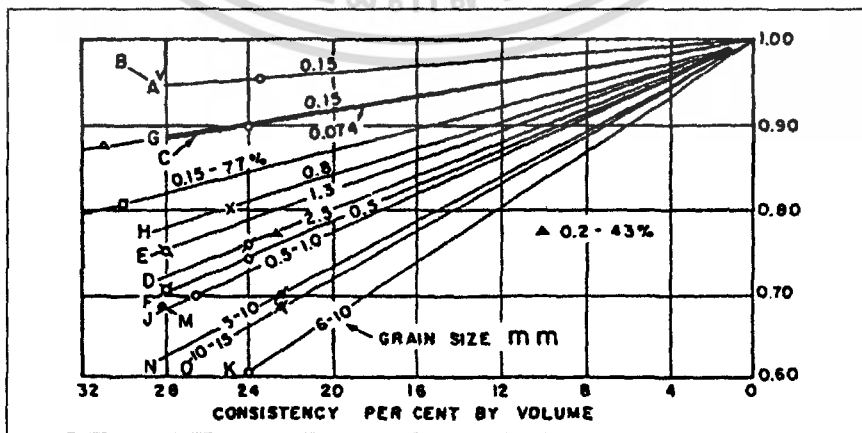
ในขณะที่ทรายขนาด 0.5 – 1 มิลลิเมตร ภาวะและประสิทธิภาพลดลงมีลักษณะเป็นสัดส่วนตรงกันข้ามกับน้ำหนักจำเพาะ และทรายที่มีขนาด 6 – 10 มิลลิเมตร สมรรถนะมีปฏิกิริยาที่น่าสังเกต เมื่อน้ำหนักจำเพาะถูกทำให้เพิ่ม ข้อควรจำที่อัตราการไหลที่มีค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดก็ควรทำให้ลดลงเหมือนกับค่าอื่น ๆ ค่าตัวประกอบ



รูปที่ 2.6 แสดงประสิทธิภาพของปั๊มในการดูดของผสมระหว่างถ่านหินกับน้ำ

รูปที่ 2.6 แสดงข้อมูลของการส่งผ่านของของผสมระหว่างถ่านหินกับน้ำที่ค่าน้ำหนักจำเพาะแตกต่างกัน โดยที่น้ำหนักจำเพาะของถ่านหินคือ 1.49 ในขณะที่ถ่านหินมีขนาดโตขึ้น ประสิทธิภาพของสมรรถนะปั๊มก็จะแน่ชัดขึ้นตามความโตของขนาดของแข็ง จากรูปส่วนที่เป็นส่วนโค้งแสดงถึงน้ำหนักจำเพาะของของผสม

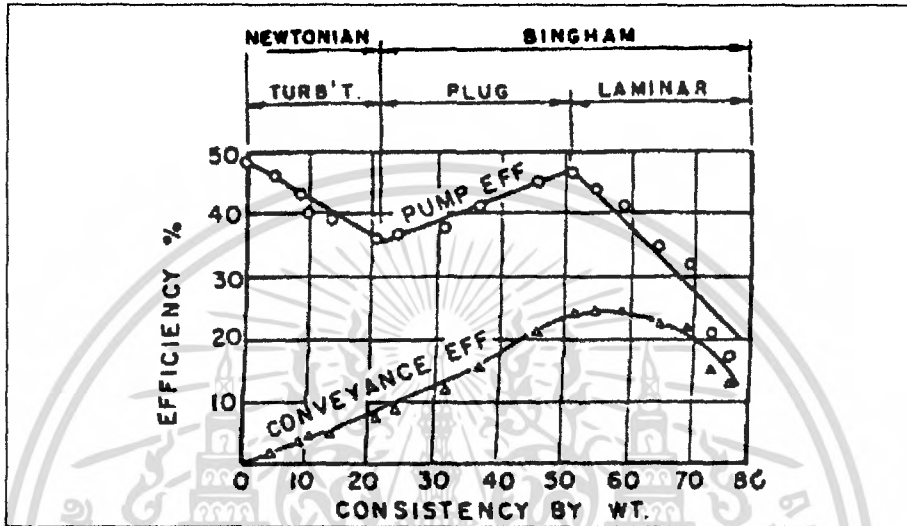
ข้อมูลที่ได้จากการทดลองถูกแสดงเป็นตัวเลขในรูปที่ 2.7 เพื่อแสดงประสิทธิภาพของปริมาณที่เพิ่มหรือลดอย่างเป็นสัดส่วน และขนาดของของแข็งต่าง ๆ โดยประสิทธิภาพของปั๊มที่ส่งผ่านของของผสมมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการส่งผ่านของน้ำเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.7 แสดงอัตราส่วนของปั๊มประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับของผสมที่มีการปรับให้มีปริมาณน้อยลง เช่นของผสมระหว่างของเหลวกับคาร์ไบน์ที่เป็นของแข็ง ประสิทธิภาพปั๊มที่กระทำกับค่าของความหนาแน่นสูง ๆ ของของผสมถูกออกแบบให้ของผสมสามารถไหลผ่านได้สะดวกกว่า ดังที่ได้แสดงจากข้อมูลของการทดลองในรูปที่ 2.8 ได้แสดงประสิทธิภาพการนำพาของแข็ง โดยประสิทธิภาพของปั๊มที่ค่าต่าง ๆ และที่ความเข้มข้นของน้ำหนักร่างต่าง ๆ .



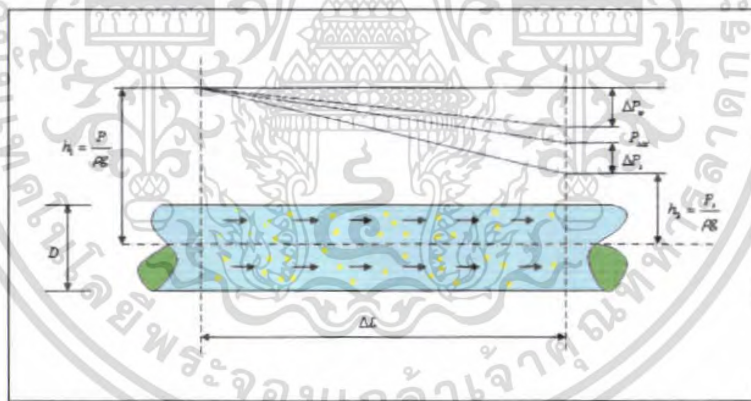
รูปที่ 2.8 แสดงประสิทธิภาพของปั๊มที่ความหนาแน่นและความเข้มข้นของของผสมต่างๆ

บทที่ 3

การวิเคราะห์การไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายภายในท่อกลมเอียง

การหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างทรายกับน้ำภายในท่อกลมเอียงจะมีตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน เช่น ความเร็วเฉลี่ย (u_m) ความยาวที่พิจารณา (ΔL) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทราย (d) และอัตราส่วนผสมของทรายเป็นต้น ซึ่งตัวแปรนี้จะมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในส่วนของทฤษฎี และในส่วนของ การทดลองนั้นจะมีตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลได้แก่ ขนาดของเม็ดทราย, มุมเอียงของท่อและอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับทราย

3.1 การคำนวณหา Pressure Drop ในท่อของของไหลผสมระหว่างทรายกับน้ำในท่อกลมแนวราบ



รูปที่ 3.1 แสดง Pressure Drop ของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลมแนวราบ

สมการแสดง Pressure Drop

Pressure Drop (ΔP) ที่เกิดขึ้นภายในท่อลำเอียงแนวตรง ซึ่งมีความยาว ΔL มีค่าเท่ากับผลรวมของ Pressure Drop อันเนื่องมาจากการไหลของน้ำบริสุทธิ์ (ΔP_w) และ Pressure Drop อันเนื่องมาจากอนุภาคถูกเพิ่มความเร่งจนมีความเร็วคงที่ (ΔP_{sc}) รวมทั้ง Pressure Drop ที่เกิดขึ้นขณะที่อนุภาคมีความเร็วในการส่งคงที่ (ΔP_t) กล่าวคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta P = \Delta P_w + \Delta P_{sac} + \Delta P_s \quad (3.1)$$

หลังจากที่อนุภาคถูกเพิ่มความเร็วจนมีความเร็วคงที่แล้ว การส่งถ่ายคงที่แสดงว่า $\Delta P_{sac} = 0$ แทนค่าในสมการ (3.1) ได้ดังนี้

$$\Delta P = \Delta P_w + \Delta P_s \quad (3.2)$$

ขณะที่น้ำบริสุทธิ์ไหล Pressure Loss จะเปลี่ยนแปลงผกผันตามแรงเฉื่อย (Inertia Force) ตามสูตรสมการ Darcy ดังนั้น Pressure Loss แสดงได้ด้วยสมการดังนี้

$$h = \lambda \cdot \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{u_m^2}{2g}$$

เมื่อ $P = \gamma \cdot h$

จากความสัมพันธ์จะได้

$$\Delta P_w = \lambda_w \cdot \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{\gamma_w}{2g} \cdot u_m^2 \quad (3.3)$$

และ Pressure Loss ที่เกิดจากการส่งถ่ายของอนุภาค แสดงได้ด้วยสมการ

$$\Delta P_s = \lambda_s \cdot \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{\gamma_w}{2g} \cdot u_m^2 \quad (3.4)$$

นำสมการ(3.4) และ (3.3) แทนในสมการ (3.2) จะได้

$$\Delta P = (\lambda_s + \lambda_w) \cdot \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{\gamma_w}{2g} \cdot u_m^2 \quad (3.5)$$

กำหนดให้ $\lambda = \lambda_s + \lambda_w$

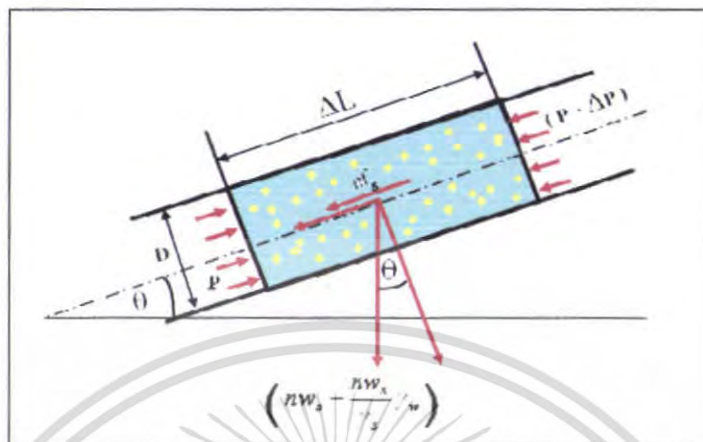
$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{\gamma_w}{2g} \cdot u_m^2 \quad (3.6)$$

อัตราส่วนความดัน (Pressure drop ratio)

$$\alpha = \frac{\Delta P}{\Delta P_w} = \frac{\lambda}{\lambda_w} = 1 + \frac{\lambda_s}{\lambda_w} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย



รูปที่ 3.2 แสดงการสมดุลแรงของของไหลผสมในท่อแนวเอียง

จากรูปที่ 3.2 ช่วงระยะ ΔL ของท่อส่งถ่าย ในช่วงระยะสั้นๆ นี้ ความเร็วเฉลี่ย (u_m) เกือบจะคงที่ การเปลี่ยนแปลงของพลังงานจลน์น้อยมากจนสามารถไม่นำมาพิจารณา ถ้าในช่วง ΔL ผลจากความเสียดทานของอนุภาคทำให้เกิด Pressure Drop (ΔP_s)

$$PA = nf_s + (P - \Delta P_s)A \tag{3.8}$$

จะได้สมการ

$$\Delta P_s = f_s \frac{n}{A} \tag{3.9}$$

โดยที่ Drag coefficient (f_s) คือแรงเสียดทานที่กระทำต่อหนึ่งอนุภาค

$$f_s = C \frac{\gamma_s}{2g} (u_m - u_s)^2 a \tag{3.10}$$

เมื่อพิจารณาความสมดุลของน้ำหนัก

$$\text{น้ำหนักของทราย} + \text{น้ำหนักของน้ำ} = \text{น้ำหนักทั้งหมด}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$nw_s + \left(A \Delta L - \frac{nw_s}{\gamma_s} \right) \gamma_w = \gamma \cdot A \Delta L$$

จะได้สมการของจำนวนเม็ดทรายในส่วนของความยาว (ΔL) ที่พิจารณา

$$n = \frac{A \Delta L (\gamma - \gamma_w)}{w_s \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \quad (3.11)$$

จากความสัมพันธ์

$$\gamma \cdot A \Delta L = w_s \frac{\Delta L}{u_s} + w_w \frac{\Delta L}{u_m}$$

$$\gamma \cdot A = w_w \left(\frac{w_s}{u_s u_m} + u_s \right) \quad (3.12)$$

กำหนดให้อัตราส่วนน้ำหนัก (μ_s) ของการไหลของของไหลผสมระหว่างทรายกับน้ำ จะได้สมการ $\mu_s = \frac{w_s}{w_w}$

$$\gamma \cdot A = w_w \left(\frac{u_m \cdot \mu_s + u_s}{u_s u_m} \right)$$

$$\gamma \cdot A = w_w \left(\frac{\mu_s \frac{u_m}{u_s} + 1}{u_m} \right) \quad (3.13)$$

ให้อัตราส่วนความเร็ว (ϕ) ของการไหลของของไหลผสมระหว่างทรายกับน้ำ $\phi = \frac{u_s}{u_m}$ จะได้สมการ

$$\gamma \cdot A = w_w \left(\frac{\frac{\mu_s}{\phi} + 1}{u_m} \right) \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\gamma_w = \frac{w_w}{A u_m}$

จะได้ความสัมพันธ์ของสมการ $\gamma = \gamma_w \left(\frac{\mu_s}{\phi} + 1 \right)$ แทนใน สมการที่(3.11) จะได้

$$n = \frac{\mu_s \gamma_w A \Delta L}{w_s \phi \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \quad (3.15)$$

ณ ตอนนี γ เป็นความหนาแน่นรวมของของไหลที่รวมอนุภาคเอาไว้

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{W_s \frac{\Delta L}{u_s} + W_w \frac{\Delta L}{u_m}}{A \Delta L} = W_w \frac{\mu_s u_m + u_s}{A u_m u_s} \\ &= \left(1 + \frac{\mu_s}{\phi} \right) \gamma_w \Delta L \end{aligned} \quad (3.16)$$

เมื่อสังเกตสภาพการส่งถ่าย (ถ้าเลียง) จริงๆแล้ว ทราบว่าอนุภาคเคลื่อนที่กลิ้งบนผนังบ้าง เป็นการเคลื่อนที่แบบไร้มวลเกณฑ์ พิจารณาแล้วความถี่ของการสัมผัสโดยตรงกับผนังท่อของอนุภาคจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเร็วของของไหลที่ส่งถ่าย, เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ตลอดจนความเข้มข้น เป็นต้น

เมื่อพิจารณาผลกระทบต่างๆแล้วคูณด้วย Correction Factor (η) ในสมการ (3.9) สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta P_s = \eta f_s \frac{n}{A} \quad (3.17)$$

ถึงตอนนี้ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคให้เป็นความยาวมาตรฐาน ผลต่างของความเร็วเฉลี่ยภายในท่อส่งถ่ายกับความเร็วของอนุภาคตามหลักการของ Reynolds's Number คือ

$$\begin{aligned} Re_s &= (u_m - u_s) \frac{d_s \gamma_w}{\mu_s g} = \frac{u_m - u_s}{u_m} \frac{d_s}{D} Re \\ Re_s &= 1 - \phi \frac{d_s}{D} Re \end{aligned} \quad (3.18)$$

และความเร็วในการจมลงของอนุภาค u_f เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$u_t = \sqrt{\frac{4}{3} g d_s \frac{\gamma_s - \gamma_w}{C \gamma_w}} = \sqrt{\frac{2 g w_s}{C \gamma_w a}} \quad (3.19)$$

โดยที่ค่า C เป็นการจมลงเนื่องจาก Resistance Coefficient สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

$$C = \frac{k}{Re_s^\epsilon} \quad (3.20)$$

ค่า k, ϵ เป็นค่า Re_s ที่แปรเปลี่ยนไปตามตาราง

		k	ϵ	
1	$0 < Re_s < 1$	24	1	Stokes
2	$1 < Re_s < 500$	10	0.5	Allen
3	$500 < Re_s < 2 \times 10^5$	0.44	0	Newton

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขของค่า Re_s ที่มีผลต่อค่า k และค่า ϵ

นำสมการที่ (3.10) กับสมการที่ (3.15) และค่า C มาแทนในสมการที่ (3.17) แล้วใช้สมการ (3.18) และ (3.19) มาช่วยจัดรูปจะได้ดังนี้

$$\Delta P_s = \left\{ \eta \frac{3k u_s (1-\phi)^{2-\epsilon}}{2 Re_s^\epsilon \phi} \left(\frac{D}{d_s} \right)^{1+\epsilon} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{1}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \right\} \left\{ \frac{\Delta L \gamma_w}{D} \frac{1}{2g} \cdot u_m^2 \right\} \quad (3.21)$$

จากสมการที่ (3.5)

$$\Delta P = \left(\lambda_s + \lambda_w \right) \frac{\Delta L}{D} \frac{\gamma_w}{2g} \cdot u_m^2$$

นำสมการที่ (3.21) มาแทนในสมการที่ (3.5) จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta P = \left[\lambda_w + \left\{ \eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\epsilon}}{2Re^\epsilon \phi} \left(\frac{D}{d_s} \right)^{1+\epsilon} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{I}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \right\} \right] \frac{\Delta L \gamma_w}{D} \cdot \frac{u_m^2}{2g} \quad (3.22)$$

อัตราส่วนความดัน (Pressure drop ratio)

$$\alpha = 1 + \eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\epsilon}}{2\lambda_w Re^\epsilon \phi} \left(\frac{D}{d_s} \right)^{1+\epsilon} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{1}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \quad (3.23)$$

สมการ (3.22) เป็น Theoretical equation ที่ได้จาก Pressure Loss ของอนุภาคภายในท่อลำเลียงขณะส่งถ่าย

3.3. เปรียบเทียบความเร็วของอนุภาคกับความเร็วเฉลี่ยภายในท่อ

ถ้าสมมติให้จำนวนของอนุภาคที่อยู่ในช่วงระยะ ΔL ภายในท่อส่งถ่ายเท่ากับ n ส่วนของแรงที่เกิดจากการไหลของกลุ่มอนุภาคนี้ในทิศทางเดียวกับการไหล กล่าวได้ว่า

3.3.1. แรงจูด (Thrust) ที่กระทำต่อน้ำส่งถ่าย

ถ้าให้แรงจูดที่กระทำต่อหนึ่งอนุภาคเป็น f_s จากสมการ(3.10)และ (3.19) แรงกระทำต่ออนุภาค n เป็น

$$nf_s = n \frac{w_s (u_m - u_s)^2}{u_t^2} \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right) \quad (3.24)$$

3.3.2 แรงเสียดทานของอนุภาคกับผนังท่อ

การแสดงค่าแรงที่กระทำระหว่างกลุ่มอนุภาคกับผนังท่ออย่างถูกต้องนั้นเป็นไปได้ยากมาก แต่สามารถที่จะพิจารณาค่าโดยประมาณได้ดังนี้ เนื่องจากส่วนของแรงตามแนวตั้งฉากกับผนังท่อมีค่าเท่ากับ (น้ำหนัก-แรงลอยตัว) ถ้า Coefficient of Friction ตามทิศทางการไหลเป็น f แรงเสียดทานมีค่าเป็น

$$f \left(nw_s - \frac{mw_s}{\gamma_s} \gamma_w \right) \cos \theta \quad (3.25)$$

ความเร็วของการส่งถ่ายมีค่าสูงมาก กรณีที่อนุภาคไหลในขณะที่อยู่ในสภาวะลอยตัวภายในท่อ อนุภาคจะสัมผัสโดยตรงกับผนังท่อความถี่ของการเสียดทานจะน้อยมาก แต่ถ้ามีของไหล (Fluid) ขึ้นขวางระหว่างผนังท่อกับอนุภาคแล้ว จะทำให้เกิดการยกตัว (ลอยตัว) ภายในของไหลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัด 82173 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากแรง Reaction Force ของน้ำหนักตามสมการ (3.25) ดังนั้นสรุปได้ว่าจะเกิดแรงเสียดทานตามสมการ (3.25) อันเนื่องมาจากผนังของท่อ

3.3.3 แรงที่เกิดจากน้ำหนัก

ส่วนของน้ำหนักที่เกิดจากกลุ่มอนุภาคตามทิศทางการไหลเป็น

$$\left(mw_s - \frac{nw_s}{\gamma_s} \right) \sin \theta \quad (3.26)$$

ดังนั้นสมการ (3.24), (3.25) และ (3.26) เป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ คือ

$$n \frac{w_s}{g} \frac{du_s}{dt} = nw_s \frac{(u_m - u_s)^2}{u_t^2} \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right) - fnw_s \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right) \cos \theta - nw_s \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right) \sin \theta$$

ถ้านำความสัมพันธ์ $\phi = \frac{u_s}{u_m}$ มาทำให้อยู่ในรูปง่ายจะได้ดังนี้

$$\frac{1}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \frac{u_m}{g} \frac{d\phi}{dt} = (1 - \phi)^2 \left(\frac{u_m}{u_t} \right)^2 - (f \cos \theta + \sin \theta) \quad (3.27)$$

ในสถานะคงที่หลังจากเร่งความเร่งด้วยความเร็วคงที่ กลุ่มอนุภาคให้ $\frac{d\phi}{dt}$ ในสมการ (3.27) จะได้รูปของสมการเป็น

$$(1 - \phi)^2 \left(\frac{u_m}{u_t} \right)^2 - (f \cos \theta + \sin \theta) = 0 \quad (3.28)$$

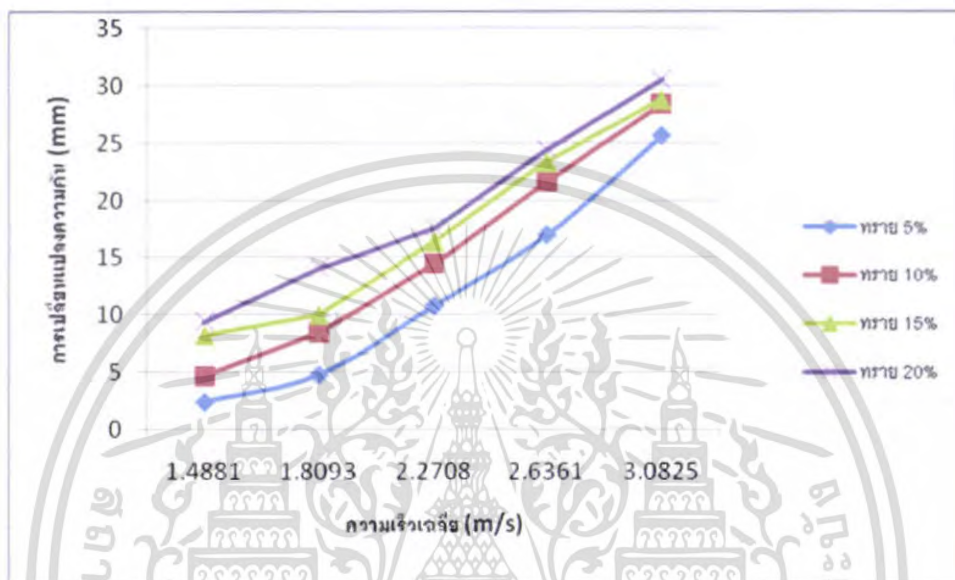
ถ้าถอดหาค่าจะได้ดังนี้

$$\phi = 1 - \frac{u_t}{u_m} \sqrt{f \cos \theta + \sin \theta} \quad (3.29)$$

3.4.1 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความดัน

3.4.1.1 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 30 องศา

กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่มุมท่อเอียง 30 องศา

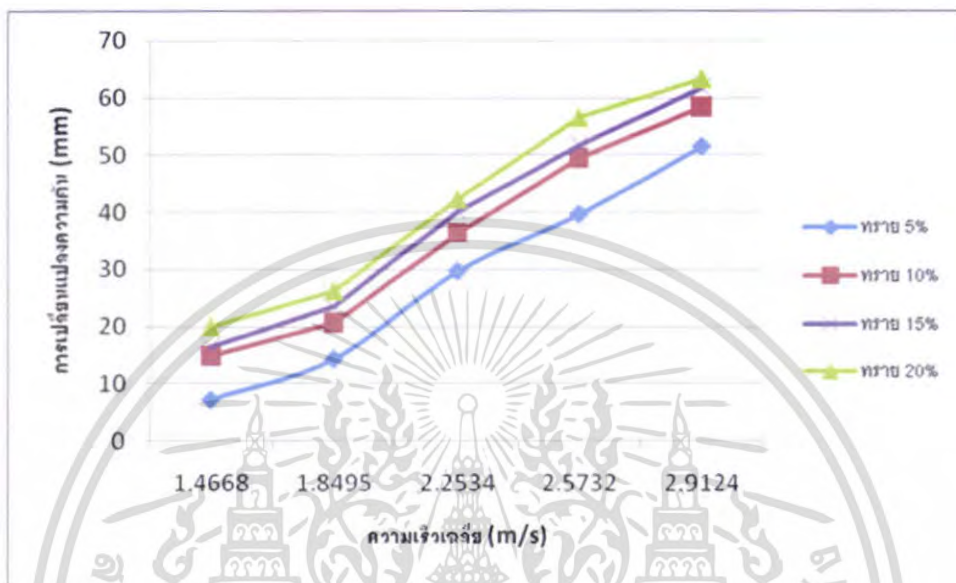


รูปที่ 3.4 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเร็วเพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงความดันก็จะเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งหมายความว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความดันแปรผันตรงกับความเร็วในทุก ๆ ส่วนผสม และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของทรายค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะสูงขึ้น

3.4.1.2 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสม ระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 60 องศา

กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่มุมท่อเอียง 60 องศา

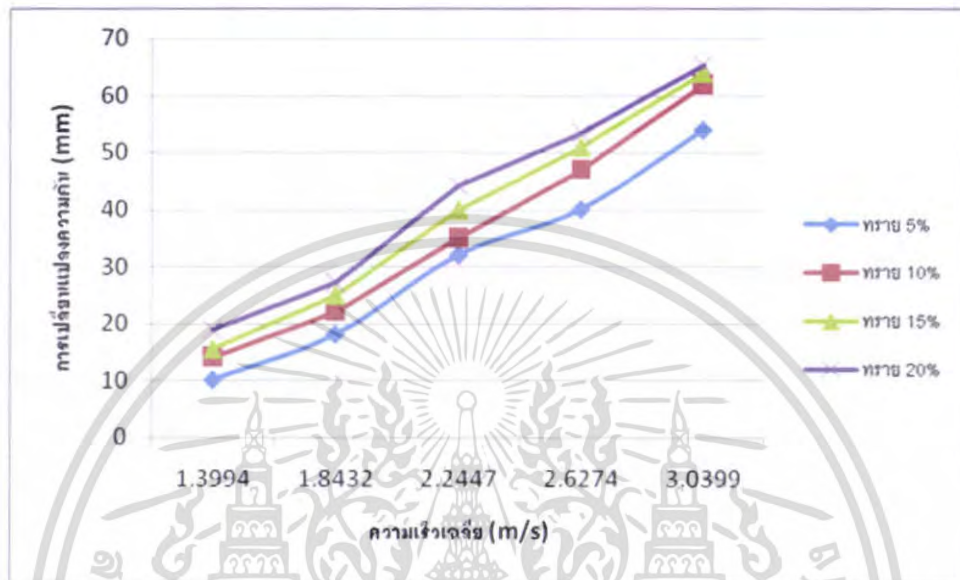


รูปที่ 3.5 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเร็วเพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงความดันก็จะเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งหมายความว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความดันแปรผันตรงกับความเร็วในทุก ๆ ส่วนผสม และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของทรายค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะสูงขึ้น

3.4.1.3 การคำนวณการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 90 องศา

กราฟแสดงผลการคำนวณทางทฤษฎีที่มุมท่อเอียง 90 องศา



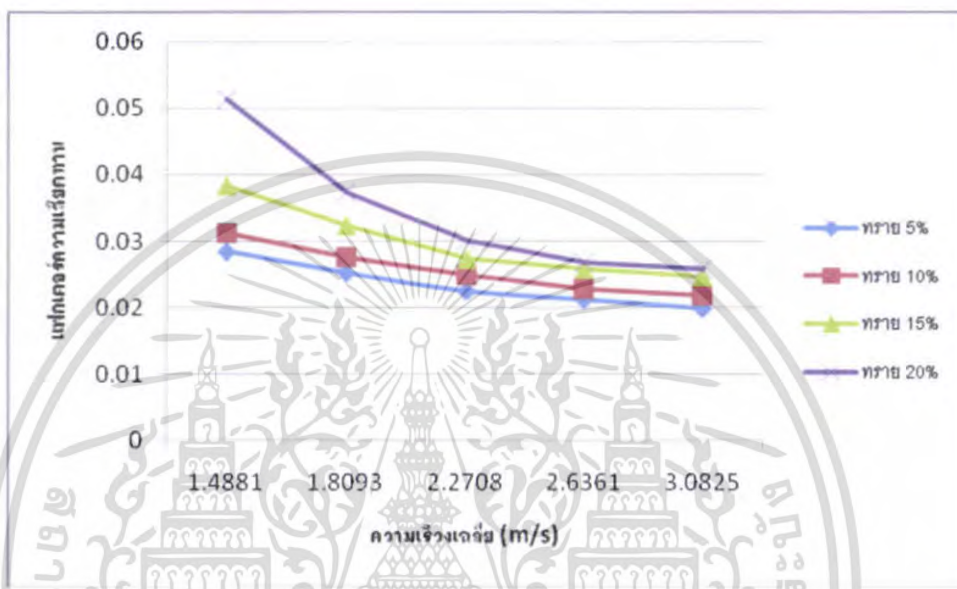
รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเร็วเพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงความดันก็จะเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งหมายความว่าค่าการเปลี่ยนแปลงความดันแปรผันตรงกับความเร็วในทุก ๆ ส่วนผสม และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของทรายค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะสูงขึ้น

3.4.2 การคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน

3.4.2.1 การคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 30 องศา

กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 30 องศา

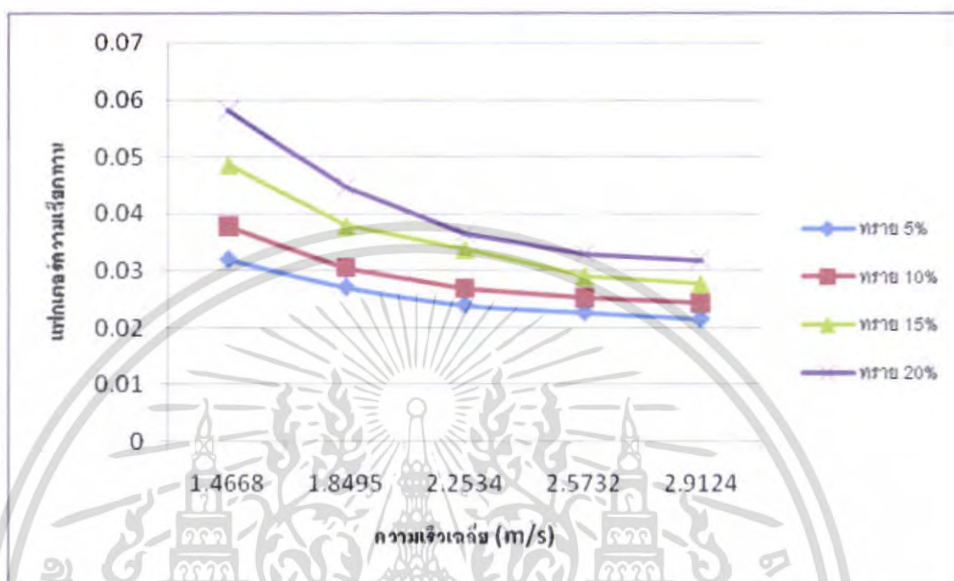


รูปที่ 3.7 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Coefficient ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

จากรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะลดลงและเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อยกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของน้ำแต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของน้ำจะมีผลมากกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทราย

3.4.2.2 การคำนวณหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 60 องศา

กราฟแสดงค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 60 องศา

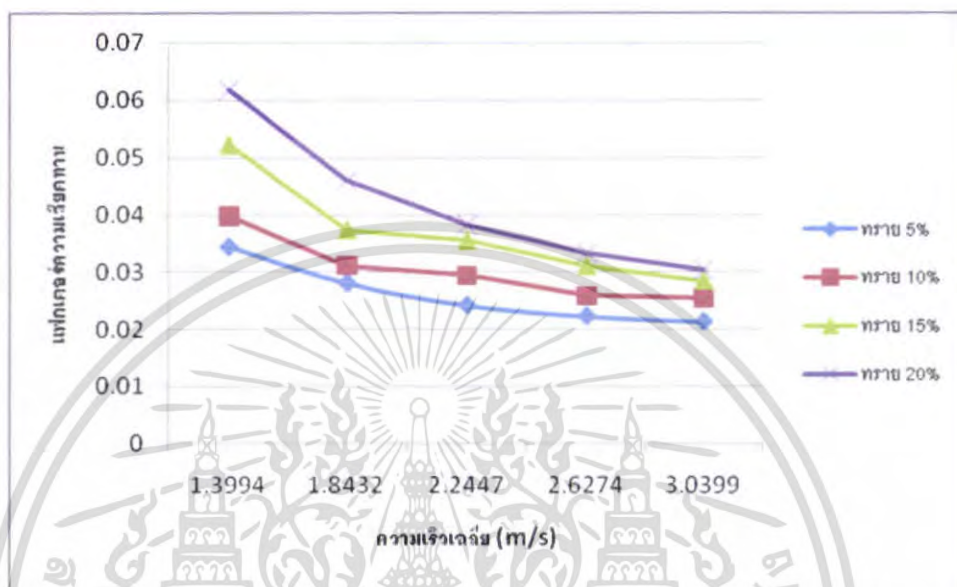


รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Coefficient ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานจะลดลงและเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อยค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของน้ำแต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของน้ำจะมีผลมากกว่าค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของทราย

3.4.2.3 การคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 90 องศา

กราฟแสดงค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 90 องศา



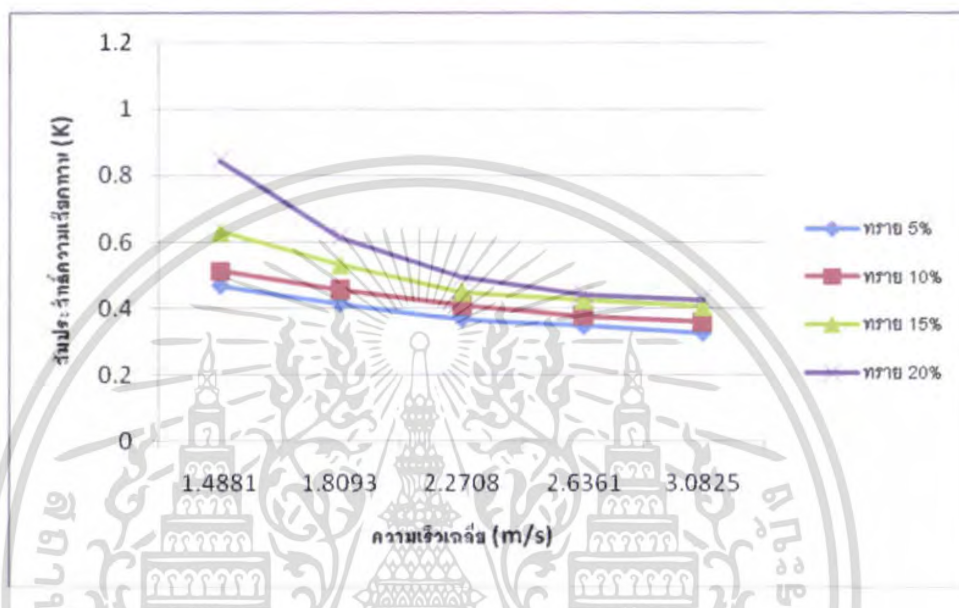
รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Coefficient ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะลดลงและเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อยกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของน้ำแต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของน้ำจะมีผลมากกว่าค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทราย

3.4.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

3.4.3.1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 30 องศา

กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 30 องศา

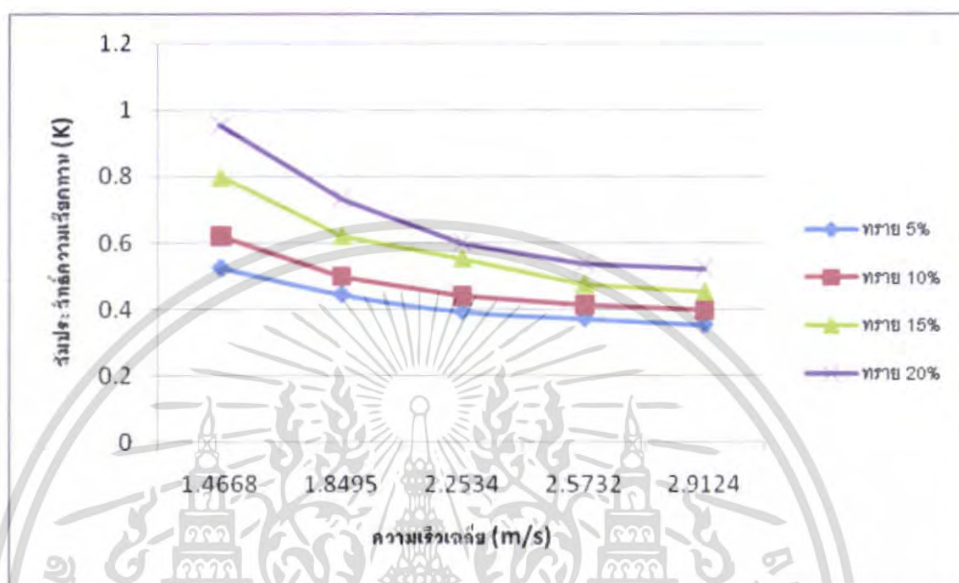


รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะลดลง และเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อย ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ แต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทราย

3.4.3.2 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 60 องศา

กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 60 องศา

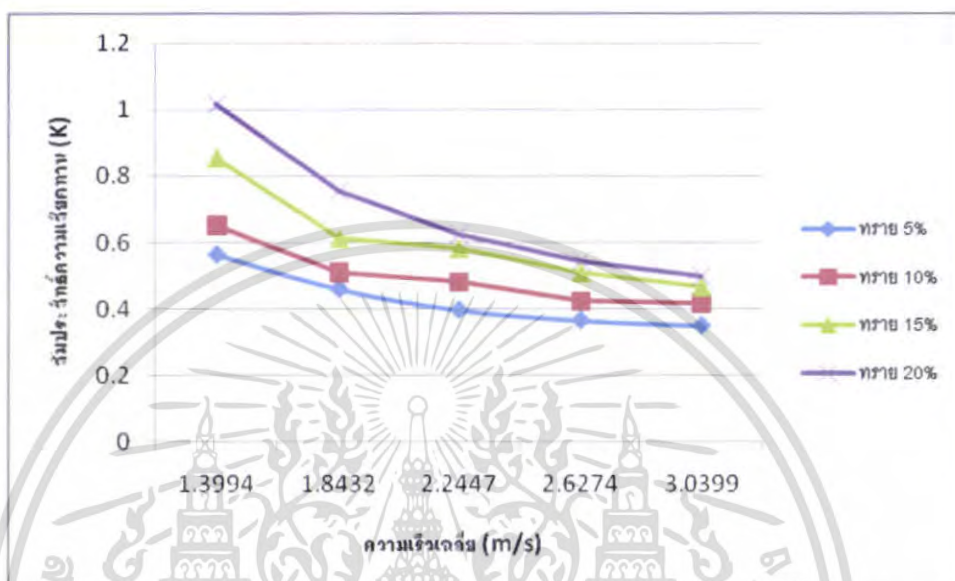


รูปที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะลดลง และเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วน้อย ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำ แต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทราย

3.4.3.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 90 องศา

กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 90 องศา



รูปที่ 3.12 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากรูปที่ 3.12 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะลดลง และเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งที่ความเร็วนี้ย ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทรายจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำแต่เมื่อความเร็วมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของน้ำจะมีผลมากกว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของทราย

บทที่ 4

ชุดทดลองและวิธีการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน การไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

การทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายเพื่อเป็นการพิสูจน์สมการที่ได้วิเคราะห์ขึ้นในบทที่ 3 ในการทดลองจะใช้น้ำผสมกับทราย โดยได้ทำการสร้างชุดทดลองไว้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย

4.1 ชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลอง

1. บั๊มหอยโข่ง มีสมรรถนะดังนี้

- Q_{max} 600 l/min
- 1 ~ Mot V 220-240 ~ Hz 50 2900 mint
- KW 1.5 HP 2 ln 9.5 A 2100 Wmax
- c 40 F VL 450 V

2. ออร์ฟิซ

ใช้ในการอ่านค่าความเปลี่ยนแปลงความดันเพื่อปรับอัตราการไหลในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

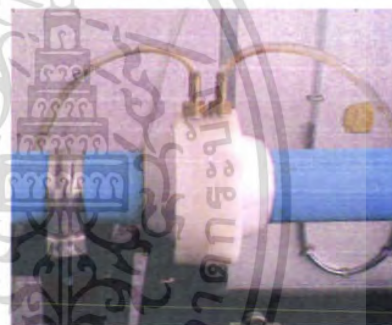
3. มานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูหงาย
ใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) ของความยาวที่พิจารณา (ΔL)
4. ถังวัดปริมาตร 0.2103 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.2 ถังวัดปริมาตร



รูปที่ 4.3 ปี่มหยอโข่ง



รูปที่ 4.4 ออร์พิช



รูปที่ 4.5 มานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูหงาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อกลมเอียงและผลการทดลอง

ก่อนที่จะทำการทดลองนั้นจะมีการเลือกขนาดของเม็ดทรายโดยใช้เครื่องร่อนทราย ซึ่งจะใช้ทรายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.425 มิลลิเมตร ในการทดลอง



รูปที่ 4.6 แสดงรูปเครื่องร่อนทราย

4.2.1 วิธีทดลองการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 30 องศา

1. เริ่มต้นใช้ทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.425 มิลลิเมตร ทำการผสมน้ำกับอัตราส่วนผสมของทราย 5% โดยน้ำหนัก ภายในถังผสมน้ำกับทราย แล้วให้ของผสมไหลผ่านท่อในแนวเอียง โดยใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นจากการปรับค่าความแตกต่างความดันที่ออริฟิซเป็น 2 เซนติเมตร แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์

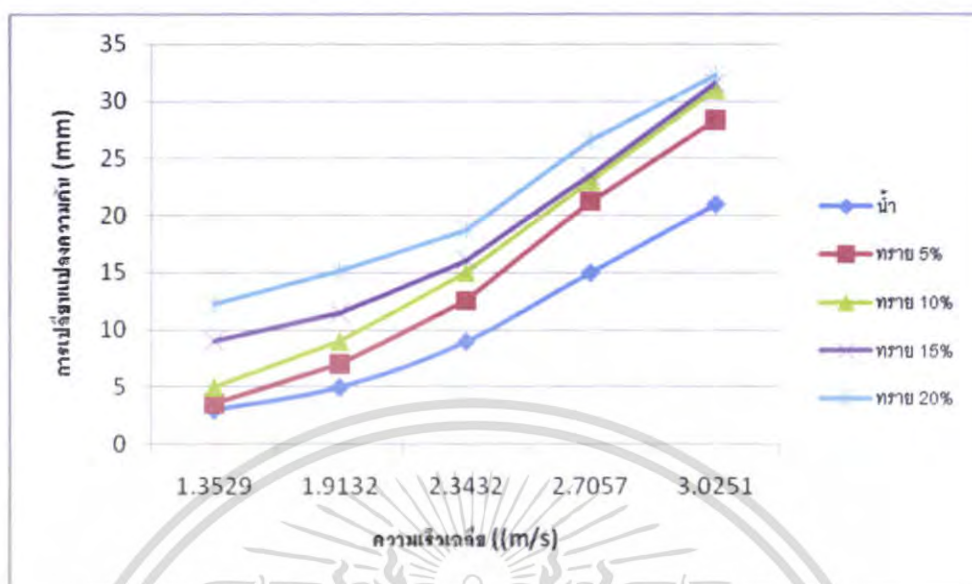
2. ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วโดยการปรับค่าความแตกต่างความดันเพิ่มขึ้น ไปเป็น 4, 6, 8, และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์

3. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 และข้อ 2 โดยเปลี่ยนปริมาณของทรายที่อัตราส่วนผสมเป็น 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ แล้วบันทึกข้อมูล

4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับค่าความเร็วเฉลี่ย (u_m) ดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่มุมท่อเอียง 30 องศา



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วนผสมน้อยค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะมีค่าน้อย โดยที่อัตราส่วนผสมยังเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น

4.2.2 วิธีทดลองการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 60 องศา

1. เริ่มต้นใช้ทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.425 มิลลิเมตร ทำการผสมน้ำกับอัตราส่วนผสมของทราย 5% โดยน้ำหนัก ภายในถังผสมน้ำกับทราย แล้วให้ของผสมไหลผ่านท่อในแนวเอียง โดยใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นจากการปรับค่าความแตกต่างความดันที่ออริฟิซเป็น 2 เซนติเมตร แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์

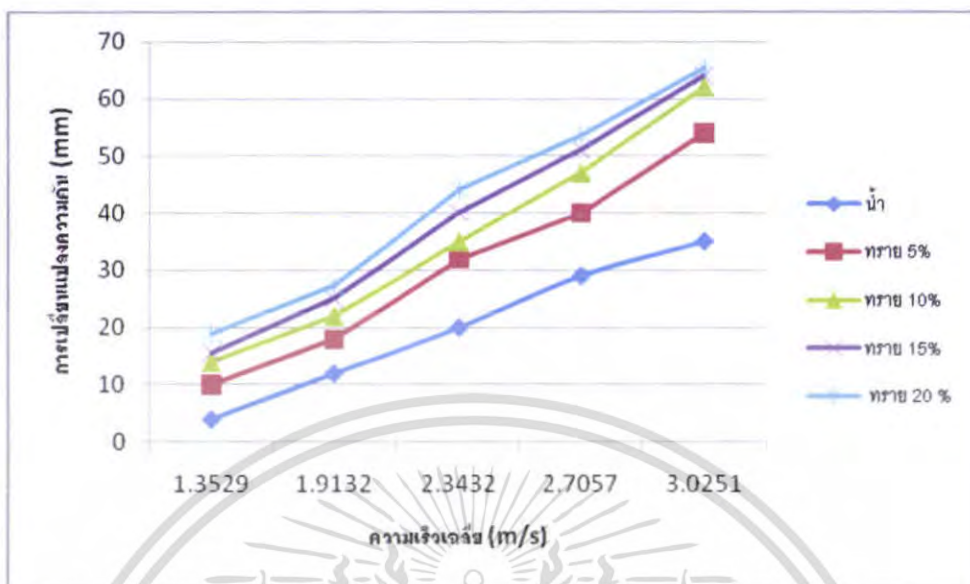
2. ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็ว โดยการปรับค่าความแตกต่างความดันเพิ่มขึ้น ไปเป็น 4, 6, 8, และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์

3. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 และข้อ 2 โดยเปลี่ยนปริมาณของทรายที่อัตราส่วนผสมเป็น 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ แล้วบันทึกข้อมูล

4. นำข้อมูลที่ได้ออกจากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับค่าความเร็วเฉลี่ย (u_m) ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่มุมท่อเอียง 60 องศา



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

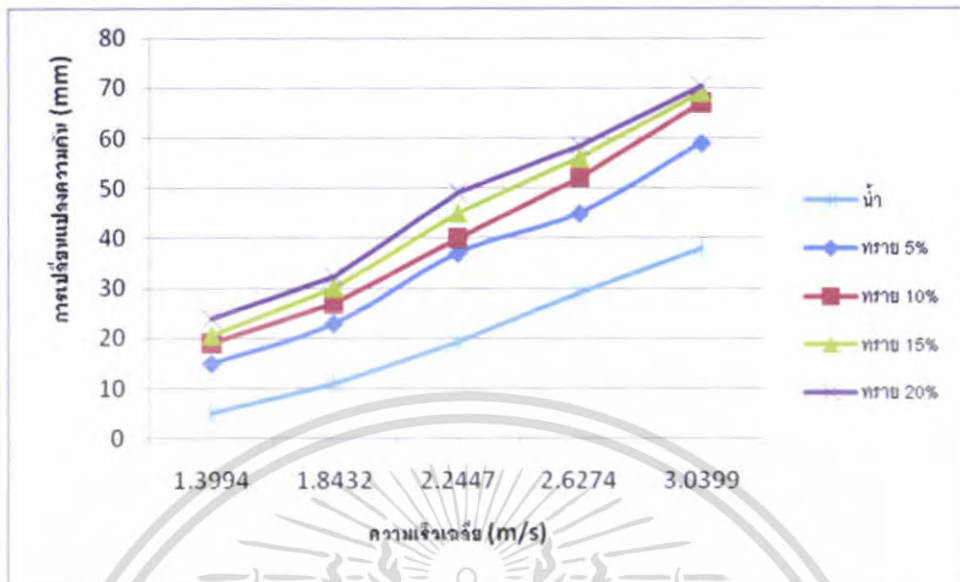
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วนผสมน้อยค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะมีค่าน้อย โดยที่อัตราส่วนผสมยังเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น

4.2.3 วิธีทดลองการเปลี่ยนแปลงความดันของการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียง 90 องศา

1. เริ่มต้นใช้ทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.425 มิลลิเมตร ทำการผสมน้ำกับอัตราส่วนผสมของทราย 5% โดยน้ำหนัก ภายในถังผสมน้ำกับทราย แล้วให้ของผสมไหลผ่านท่อในแนวเอียง โดยใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นจากการปรับค่าความแตกต่างความดันที่ออริฟิซเป็น 2 เซนติเมตร แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์
2. ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็ว โดยการปรับค่าความแตกต่างความดันเพิ่มขึ้น ไปเป็น 4, 6, 8, และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากมานอมิเตอร์
3. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 และข้อ 2 โดยเปลี่ยนปริมาณของทรายที่อัตราส่วนผสมเป็น 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ แล้วบันทึกข้อมูล
4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับค่าความเร็วเฉลี่ย (u_m) ดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงผลการทดลองที่มุมท่อเอียง 90 องศา



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ Velocity กับ Head ในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วนผสมน้อยค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะมีค่าน้อย โดยที่อัตราส่วนผสมยังเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานทางทฤษฎี

5.1.1 ที่มุมท่อเอียง 30 องศา

ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 30 องศาจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ คือ ค่าความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นและค่าอัตราส่วนผสมของเม็ดทรายที่ใช้ผสมตั้งแต่ 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ซึ่งจากการคำนวณจะพบว่าเมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดทรายที่เท่ากัน โดยที่อัตราส่วนผสมยังเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย

5.1.2 ที่มุมท่อเอียง 60 องศา

ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 60 องศา จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ คือ ค่าความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นและค่าอัตราส่วนผสมของเม็ดทรายที่ใช้ผสมตั้งแต่ 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ซึ่งจากการคำนวณจะพบว่าเมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดทรายที่เท่ากัน โดยที่อัตราส่วนผสมยังเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ข้อสังเกตจากการคำนวณที่มุมท่อเอียง 60 องศา จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมากกว่าขนาดมุมท่อเอียง 30 องศา

5.1.3 ที่มุมท่อเอียง 90 องศา

ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มุมท่อเอียง 90 องศา จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ คือ ค่าความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นและค่าอัตราส่วนผสมของเม็ดทรายที่ใช้ผสมตั้งแต่ 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ซึ่งจากการคำนวณจะพบว่าเมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดทรายที่เท่ากัน โดยที่อัตราส่วนผสมยังเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ข้อสังเกตจากการคำนวณที่มุมท่อเอียง 90 องศา จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากกว่าขนาดมุมท่อเอียง 30 และ 60 องศา

5.2 สรุปผลการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานด้วยชุดทดลอง

5.2.1 ที่มุมท่อเอียง 30 องศา

ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากชุดทดลองที่มุมท่อเอียง 30 องศา จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ คือ ค่าความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นและค่าอัตราส่วนผสมของเม็ทรายที่ใช้ผสมตั้งแต่ 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ซึ่งจากการคำนวณจะพบว่าเมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ทรายที่เท่ากัน โดยที่อัตราส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ข้อสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าแตกต่างจากการทดลองอยู่พอสมควร

5.2.2 ที่มุมท่อเอียง 60 องศา

ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากชุดทดลองที่มุมท่อเอียง 60 องศา จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ คือ ค่าความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นและค่าอัตราส่วนผสมของเม็ทรายที่ใช้ผสมตั้งแต่ 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ซึ่งจากการคำนวณจะพบว่าเมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ทรายที่เท่ากัน โดยที่อัตราส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ข้อสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าแตกต่างจากการทดลองอยู่พอสมควรและจากการทดลองที่มุมท่อเอียง 60 องศา จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะมากกว่ามุมท่อเอียง 30 องศา

5.2.3 ที่มุมท่อเอียง 90 องศา

ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากชุดทดลองที่มุมท่อเอียง 90 องศา จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ คือ ค่าความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นและค่าอัตราส่วนผสมของเม็ทรายที่ใช้ผสมตั้งแต่ 5%, 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ ซึ่งจากการคำนวณจะพบว่าเมื่อใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ทรายที่เท่ากัน โดยที่อัตราส่วนผสมยิ่งเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย ข้อสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าแตกต่างจากการทดลองอยู่พอสมควรและจากการทดลองที่มุมท่อเอียง 90 องศา จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงความดันและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมากกว่ามุมท่อเอียง 30 และ 60 องศา

5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ในการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มานอมิเตอร์จะสั้นเล็กน้อย จึงทำให้ค่าที่อ่านได้นั้นคลาดเคลื่อน ไปบ้างถึงแม้จะทำการทดสอบหลายครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยก็ตาม
2. ในการหาค่าความเร็วของส่วนผสมระหว่างน้ำกับเม็คทรายจะใช้วิธีการจับเวลาแล้วชั่งน้ำหนักของส่วนผสม อาจมีความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้ไปบ้างถึงแม้จะทำการทดสอบหลายครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยก็ตาม
3. ในการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆอาจทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องมือและอุปกรณ์ทำงานไม่เต็มที่ เนื่องจากขนาดและระยะการติดตั้งมีพื้นที่จำกัด
4. ในการผสมของของไหลผสมระหว่างน้ำกับเม็คทรายจะควบคุมปริมาณของส่วนผสมให้สม่ำเสมอทั่วทั้งระบบเป็นไปได้ยากพอสมควร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 การคำนวณของมุมท่อเอียง 30 องศา

ลำดับ	Δh (ออร์ฟิช) (cm)	% ของทราย	u_m (m/s)	Re_s	λ	Δh (mm)
1	2	5	1.4881	611.6465	0.0285	2.44
2	4	5	1.8093	744.2313	0.0252	4.8
3	6	5	2.2708	933.8207	0.0224	10.8
4	8	5	2.6361	1079.3390	0.0212	17.0
5	10	5	3.0825	1258.5510	0.0199	25.6
6	2	10	1.5519	624.2719	0.0312	4.7
7	4	10	1.8707	749.4245	0.0276	8.5
8	6	10	2.3384	923.9583	0.0249	14.5
9	8	10	2.6573	1053.3570	0.0229	21.6
10	10	10	2.9975	1174.4130	0.0219	28.4

ตาราง ก-1 (ต่อ)

ลำดับ	Δh (ออริฟิต) (cm)	% ของทราย	u_m (m/s)	Re_s	λ	Δh (mm)
11	2	15	1.4944	580.4895	0.0384	8.2
12	4	15	1.8495	712.7184	0.0323	10.0
13	6	15	2.4447	922.2302	0.0273	16.4
14	8	15	2.5935	983.1124	0.0258	23.3
15	10	15	2.9337	1088.5580	0.0247	28.8
16	2	20	1.4234	524.1358	0.0514	9.4
17	4	20	1.8282	678.3729	0.0373	14.1
18	6	20	2.3384	862.3216	0.0300	17.6
19	8	20	2.7636	1006.0020	0.0269	24.4
20	10	20	2.9549	1066.0880	0.0259	30.5

ตาราง ก - 2 การคำนวณของมุมท่อเอียง 60 องศา

ลำดับ	Δh (ออริฟิส) (cm)	% ของทราย	u_m (m/s)	Re_s	λ	Δh (mm)
1	2	5	1.4668	604.421	0.032054	7.2
2	4	5	1.8495	761.7516	0.027128	14.3
3	6	5	2.2534	928.256	0.023962	29.7
4	8	5	2.5732	1055.523	0.022672	39.7
5	10	5	2.9124	1190.014	0.021516	51.6
6	2	10	1.4881	600.6559	0.03779	14.9
7	4	10	1.892	763.3534	0.030437	20.7
8	6	10	2.3597	942.9584	0.026847	36.4
9	8	10	2.6361	1049.206	0.025161	49.4
10	10	10	2.9124	1147.792	0.024263	58.4

ตาราง ก - 2 (ต่อ)

ลำดับ	Δh (ออริฟิส) (cm)	% ของทราย	u_m (m/s)	Re_s	λ	Δh (mm)
11	2	15	1.4818	577.5547	0.0487	20.0
12	4	15	1.7857	700.2775	0.0379	26.3
13	6	15	2.2959	872.8864	0.0337	42.3
14	8	15	2.6573	1014.0810	0.0289	56.5
15	10	15	2.9337	1105.7430	0.0276	63.3
16	2	20	1.4103	539.7152	0.0582	16.4
17	4	20	1.892	707.9249	0.0447	23.5
18	6	20	2.3172	860.2733	0.0365	40.2
19	8	20	2.6361	969.7912	0.0328	51.7
20	10	20	2.8912	1040.9880	0.0318	61.8

ตาราง ก - 3 การคำนวณของมุมท่อเอียง 90 องศา

ลำดับ	Δh (ออริฟิส) (cm)	% ของทราย	u_m (m/s)	Re_s	λ	Δh (mm)
1	2	5	1.3994	577.1830	0.0344	10.0
2	4	5	1.8432	759.1653	0.0279	18.0
3	6	5	2.2447	927.2421	0.0242	32.0
4	8	5	2.6274	1084.0320	0.0222	40.0
5	10	5	3.0399	1243.7210	0.0213	54.0
6	2	10	1.4386	583.2303	0.0397	14.0
7	4	10	1.8495	750.6576	0.0311	22.0
8	6	10	2.3172	918.7363	0.0293	35.0
9	8	10	2.6148	1044.5510	0.0257	47.0
10	10	10	2.8699	1130.5930	0.0254	62.0

ตาราง ก - 3 (ต่อ)

ลำดับ	Δh (ออริฟิส) (cm)	% ของทราย	u_m (m/s)	Re_s	λ	Δh (mm)
11	2	15	1.4087	554.2555	0.0521	15.5
12	4	15	1.8521	730.6118	0.0373	25.0
13	6	15	2.2321	855.8430	0.0354	40.0
14	8	15	2.5723	984.2142	0.0309	51.0
15	10	15	2.9124	1105.2730	0.0284	64.0
16	2	20	1.3873	534.2947	0.0619	18.9
17	4	20	1.8921	714.2060	0.0459	27.3
18	6	20	2.3471	871.9305	0.0381	44.2
19	8	20	2.7274	1005.6920	0.0332	53.5
20	10	20	2.9975	1103.8290	0.0303	65.4

ภาคผนวก ข

ตาราง ข - 1 การทดลองของมุมท่อเอียงที่ 30 องศา

ลำดับ	Δh (ออริฟิส) (cm)	% ของทราย	\dot{w}_m (Kg/s)	\dot{w}_s (Kg/s)	\dot{w}_w (Kg/s)	u_s (m/s)	u_m (m/s)	Δh (mm)
1	2	5	2.1197	0.0697	2.05	0.0489	1.4881	3.5
2	4	5	2.6657	0.0857	2.58	0.0581	1.8093	7.0
3	6	5	3.1728	0.1028	3.07	0.0735	2.2708	12.5
4	8	5	3.7679	0.1379	3.63	0.0964	2.6361	21.2
5	10	5	4.2574	0.1674	4.09	0.1212	3.0825	28.3
6	2	10	2.0814	0.1114	1.97	0.0830	1.5519	5.0
7	4	10	2.7689	0.1589	2.61	0.1073	1.8707	9.0
8	6	10	3.2376	0.2276	3.01	0.1643	2.3384	15.0
9	8	10	3.8812	0.2612	3.62	0.1788	2.6573	23.0
10	10	10	4.2414	0.3314	3.91	0.2341	2.9975	31.0

ตาราง ข - 1 (ต่อ)

ลำดับ	Δh (ออริฟิต) (cm)	% ของทราย	\dot{w}_m (Kg/s)	\dot{w}_s (Kg/s)	\dot{w}_w (Kg/s)	u_s (m/s)	u_m (m/s)	Δh (mm)
11	2	15	2.2648	0.1948	2.07	0.1285	1.4944	9.0
12	4	15	2.7682	0.2582	2.51	0.1725	1.8495	11.5
13	6	15	3.3573	0.3773	2.98	0.2747	2.4447	16.1
14	8	15	3.9913	0.4313	3.56	0.2802	2.5935	23.5
15	10	15	4.5013	0.5713	3.93	0.372	2.9337	31.6
16	2	20	2.2275	0.2975	1.93	0.1901	1.4234	12.2
17	4	20	3.0695	0.3895	2.68	0.2320	1.8282	15.1
18	6	20	3.5035	0.4635	3.04	0.3094	2.3384	18.7
19	8	20	4.1797	0.5997	3.58	0.3965	2.7636	26.5
20	10	20	4.6412	0.7012	3.94	0.4464	2.9549	32.2

ตาราง ข - 2 การทดลองของมุมท่อเอียง 60 องศา

ลำดับ	Δh (ออริฟิส) (cm)	% ของทราย	\dot{W}_m (Kg/s)	\dot{W}_s (Kg/s)	\dot{W}_w (Kg/s)	u_s (m/s)	u_m (m/s)	Δh (mm)
1	2	5	2.0421	0.0621	1.98	0.0446	1.4668	10.0
2	4	5	2.7035	0.0835	2.62	0.0571	1.8495	18.0
3	6	5	3.1776	0.0976	3.08	0.0692	2.2534	32.0
4	8	5	3.7195	0.1295	3.59	0.0896	2.5732	40.0
5	10	5	4.2125	0.1625	4.05	0.1123	2.9124	54.0
6	2	10	1.9689	0.0989	1.87	0.0747	1.4881	14.0
7	4	10	2.7282	0.1382	2.59	0.0958	1.892	22.0
8	6	10	3.3182	0.1982	3.12	0.1409	2.3597	35.0
9	8	10	3.9081	0.2481	3.66	0.1673	2.6361	47.0
10	10	10	4.1518	0.3018	3.85	0.2117	2.9124	62.0

ตาราง ข - 2 (ต่อ)

ลำดับ	Δh (ออริฟิส) (cm)	% ของทราย	\dot{w}_m (Kg/s)	\dot{w}_s (Kg/s)	\dot{w}_w (Kg/s)	u_s (m/s)	u_m (m/s)	Δh (mm)
11	2	15	2.0499	0.1699	1.88	0.1228	1.4818	15.5
12	4	15	2.9369	0.2269	2.71	0.1379	1.7857	25.0
13	6	15	3.4653	0.3653	3.1	0.2420	2.2959	40.0
14	8	15	3.9201	0.4001	3.52	0.2712	2.6573	51.0
15	10	15	4.4088	0.4988	3.91	0.3319	2.9337	64.0
16	2	20	2.1433	0.2133	1.93	0.1403	1.4103	18.9
17	4	20	2.9759	0.3559	2.62	0.2262	1.8920	27.3
18	6	20	3.4457	0.4357	3.01	0.2930	2.3172	44.2
19	8	20	4.1242	0.5542	3.57	0.3542	2.6361	53.5
20	10	20	4.5798	0.6998	3.88	0.4418	2.8912	65.4

ตาราง ข - 3 การทดลองของมุมที่เอียง 90 องศา

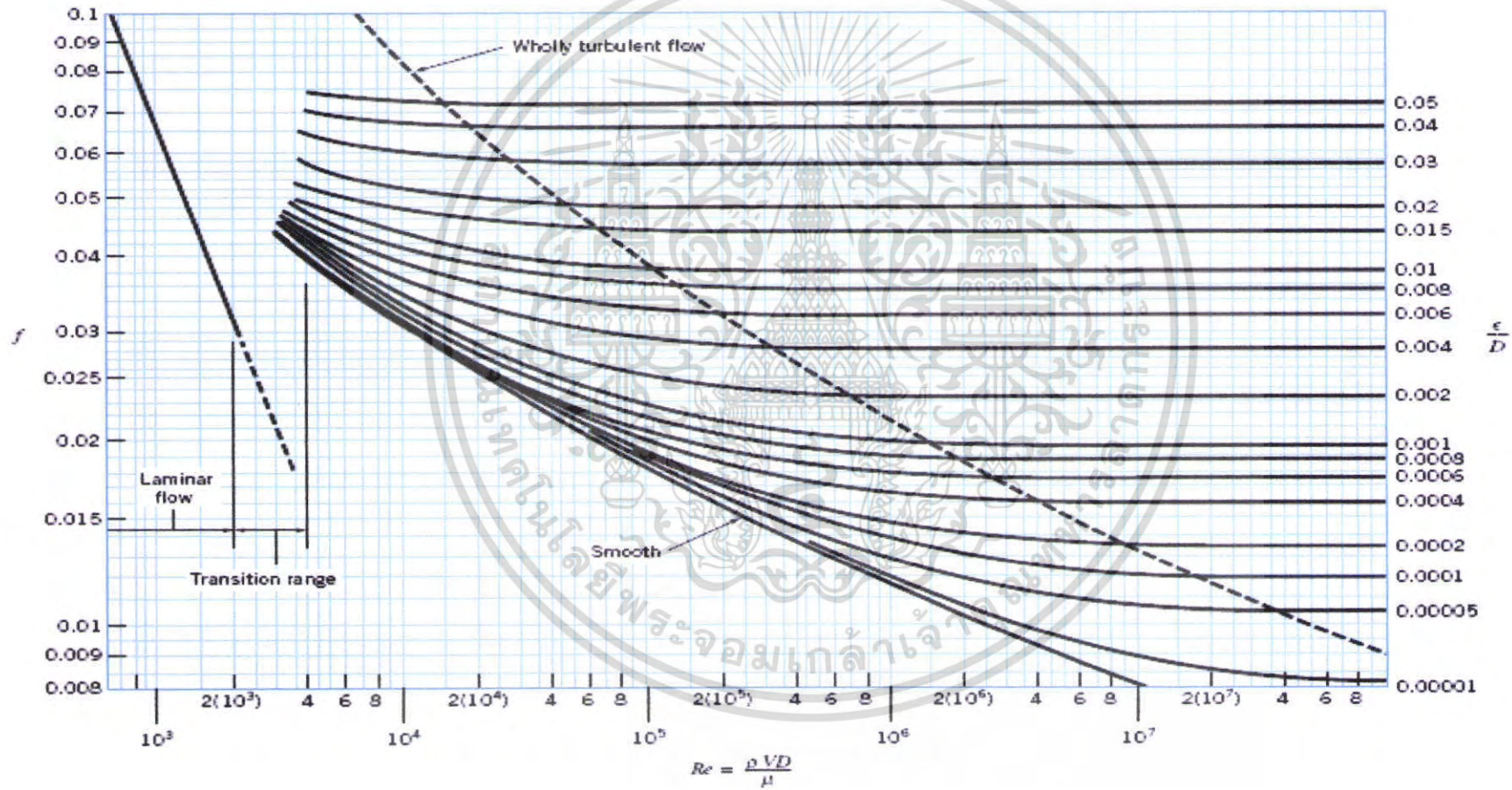
ลำดับ	Δh (ออริฟิส) (cm)	% ของทราย	\dot{w}_m (Kg/s)	\dot{w}_s (Kg/s)	\dot{w}_w (Kg/s)	u_s (m/s)	u_m (m/s)	Δh (mm)
1	2	5	2.0505	0.0605	1.99	0.0413	1.3994	15.0
2	4	5	2.6209	0.0809	2.54	0.0569	1.8432	23.0
3	6	5	3.1894	0.0894	3.10	0.0629	2.2447	37.0
4	8	5	3.7598	0.1098	3.65	0.0767	2.6274	45.0
5	10	5	4.2278	0.1578	4.07	0.1134	3.0399	59.0
6	2	10	1.9393	0.0893	1.85	0.0662	1.4386	19.0
7	4	10	2.8586	0.1286	2.73	0.0832	1.8495	27.0
8	6	10	3.2693	0.2193	3.05	0.1554	2.3172	40.0
9	8	10	3.8725	0.2325	3.64	0.1570	2.6148	52.0
10	10	10	4.0887	0.2987	3.79	0.2096	2.8699	67.0

ตาราง ข - 3 (ต่อ)

ลำดับ	Δh (ออริฟิต) (cm)	% ของทราย	\dot{w}_m (Kg/s)	\dot{w}_s (Kg/s)	\dot{w}_w (Kg/s)	u_s (m/s)	u_m (m/s)	Δh (mm)
11	2	15	2.0631	0.1531	1.91	0.1045	1.4087	20.5
12	4	15	2.790	0.200	2.59	0.1330	1.8521	30.0
13	6	15	3.2697	0.3197	2.95	0.2183	2.2321	45.0
14	8	15	4.0095	0.3998	3.61	0.2565	2.5723	56.0
15	10	15	4.3782	0.4687	3.91	0.3117	2.9124	69.0
16	2	20	2.1185	0.1987	1.92	0.1301	1.3873	23.9
17	4	20	2.8595	0.3198	2.54	0.2116	1.8921	32.3
18	6	20	3.4434	0.4335	3.01	0.2954	2.3471	49.2
19	8	20	3.9649	0.5248	3.44	0.3610	2.7274	58.5
20	10	20	4.4898	0.5994	3.89	0.4002	2.9975	70.4

ภาคผนวก ค

รูปที่ ค - 1 ก Moody diagram



ตารางที่ ค – 2 ค่าความขรุขระสัมบูรณ์

Pipe	Equivalent Roughness, ϵ	
	Feet	Millimeters
Riveted steel	0.003–0.03	0.9–9.0
Concrete	0.001–0.01	0.3–3.0
Wood stave	0.0006–0.003	0.18–0.9
Cast iron	0.00085	0.26
Galvanized iron	0.0005	0.15
Commercial steel or wrought iron	0.00015	0.045
Drawn tubing	0.00005	0.0015
Plastic, glass	0.0 (smooth)	0.0 (smooth)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียง ของของไหลผสมระหว่างเม็ดทรายกับน้ำ¹

อุกฤษ เป็นสุวรรณ², ศุภมิตร สุตประเสริฐ², สุธน ปริพิทักษ์กุล², จำลอง ปราบแก้ว³, มณฑล ใจกุลศ³

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรนำเสน่วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อกลมเอียงของของไหลผสมระหว่างเม็ดทรายกับน้ำ โดยวิธีการวิเคราะห์ทาสสมการที่ใช้ในการคำนวณ แล้วนำผลการคำนวณที่ได้ไปเทียบกับผลการทดลอง การศึกษาจะพิจารณาถึงผลของปริมาณส่วนผสมของเม็ดทรายที่ 5, 10, 15, และ 20 % และมุมเอียงของท่อที่มุม 30, 60, และ 90 องศา จากนั้นก็นำผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วเฉลี่ยการไหลในท่อ ซึ่งกราฟดังกล่าวสามารถใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายได้ จากการศึกษาพบว่าที่ความเร็วเฉลี่ยการไหลที่เท่ากัน ที่มุมท่อเอียง 30 องศาที่อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.4549 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.5710 ในขณะที่มุมท่อเอียง 60 องศาที่อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.5127 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.6550 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนผสมของทรายและมุมของท่อเอียงมากขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) มากขึ้น

Abstract

This project present about flow friction coefficient in the round pipe is slant of two phase flow with sand and water. By searching an equation for calculate then use the result from an equation compare with result from the experiment. A study considering about volume of sand result at 5, 10, 15, and 20 percent, and slope angle pipe at 30, 60, and 90°. After that using the result to plot graph show the relation between head loss with flow speed in the pipe, This graph can using for measuring friction coefficient. From result study to find that flow speed to be mean of angle pipe 30 degree volume of sand result at 5 percent friction coefficient (K) = 0.4549 and volume of sand result at 20 present friction coefficient (K) = 0.5710. While of angle pipe 60 degree volume of sand result at 5 percent friction coefficient (K) = 0.5127 and volume of sand result at 20 present friction coefficient (K) = 0.6550. From result study to find that about volume of sand results and mean of angle pipe to increase and to cause friction coefficient (K) to increase

© 2008 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All rights reserved

Keywords: flow friction coefficient; round pipe is slant; pipeline angle θ °

1. บทนำ

การขนถ่ายของไหลผ่านท่อมีหลายรูปแบบ เช่น การส่งน้ำของการประปา, การขนถ่ายน้ำมันผ่านระบบท่อ, การส่งของไหลผ่านท่อในอุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีงานบางชนิดที่มีการขนถ่ายของไหลผสมระหว่างน้ำกับของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ เช่น ในอุตสาหกรรมขุดเจาะน้ำมัน, เหมืองถ่านหิน, อุตสาหกรรมการก่อสร้าง, การดูดโคลนหรือทรายจากแม่น้ำลำคลองที่ตื้นเขิน ในกรณีดังกล่าวนี้การไหลของไหลในท่อจะเป็นของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายหรือโคลน ในการขนถ่ายของไหลผ่านท่อ ระบบท่อดังกล่าวจะต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อน การสูญเสียความดันเนื่องจากความฝืดระหว่างผิวด้านในท่อกับของไหลที่ไหลผ่านจะส่งผลถึงการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของไหล โครงการนี้จึงได้ศึกษาถึงวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของน้ำกับทรายที่มุมท่อเอียงและอัตราส่วนผสมขนาดต่างๆ เพื่อจะได้หาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไปใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนซึ่งเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนของไหลดังกล่าวต่อไป

ชื่ออังกฤษ "Friction coefficient in the round pipe is slant of two phase flow"

² นักศึกษาคณะวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 3Q รหัส 48015411, 48015440 และ 48015444 ตามลำดับ

³ รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล., โทร. 0 2326 4197, อีเมล kpchamlo@kmitl.ac.th

ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สัญลักษณ์

A	พื้นที่ของท่อ (m ²)	a	พื้นที่ของของแข็งเล็ก ๆ (m ²)
C	ค่าสัมประสิทธิ์ของหนึ่งอนุภาค	D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
d	ขนาดของเม็ดอนุภาคเฉลี่ย (m)	f _r	ความฝืดระหว่างอนุภาคกับน้ำในหนึ่งอนุภาค (kN)
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง = 9.81 (m/s ²)	ΔL	ช่วงความยาวที่พิจารณา
n	ค่าจำนวนเม็ดทรายใน ΔL ที่พิจารณา	P	ค่าความดันภายในท่อ (kPa)
ΔP	ความแตกต่างของความดันในท่อ (kPa)	ΔP _w	ความแตกต่างความดันของน้ำ (kPa)
ΔP _s	ความแตกต่างความดันของของแข็ง (kPa)	Re	ค่าเรย์โนลด์สเบอร์
Re _s	ค่าเรย์โนลด์สเบอร์ของของแข็ง	u _m	ค่าความเร็วเฉลี่ยในท่อ
u _s	ค่าความเร็วเฉลี่ยของของแข็ง	u _t	ค่าความเร็วคงที่ของของแข็ง
α	อัตราส่วนความดันที่ลดลง	γ	ค่าน้ำหนักจำเพาะ
γ _w	ค่าน้ำหนักจำเพาะของน้ำ	γ _s	ค่าน้ำหนักจำเพาะของของแข็ง
λ	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของระบบ	λ _w	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของน้ำ
λ _s	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของของแข็ง	μ	อัตราส่วนของน้ำหนัก
f	ค่าความเสียดทาน	φ	อัตราส่วนความเร็ว
η	ค่าประสิทธิภาพ	W _s	น้ำหนักของทราย

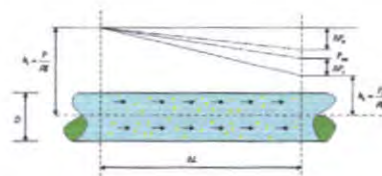
2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 2.1 วิเคราะห์หาสมการเพื่อใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายภายในท่อกลมเอียง
- 2.2 ทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายเพื่อพิสูจน์สมการที่ได้วิเคราะห์ขึ้นมา

3. ขอบเขตของโครงการ

วิเคราะห์หาสมการเพื่อคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของทรายที่ 5, 10, 15 และ 20% โดยใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายที่ 0.425 มิลลิเมตร ในทุก ๆ อัตราส่วนผสม นำมาไหลผ่านท่อกลมแนวเฉียงที่มุม 30, 60 และ 90 องศาแล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจากสมการที่ได้วิเคราะห์ขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับผลทางการทดลอง

4. การวิเคราะห์การไหลของของไหลผสมระหว่างทรายกับน้ำในท่อ



รูป 1 แสดง Pressure Drop ของของไหลผสม

เมื่อพิจารณา Pressure Drop

$$\Delta P = \Delta P_w + \Delta P_{sac} + \Delta P_s$$

เมื่ออนุภาคถูกเพิ่มความเร็วจนมีความเร็วคงที่แล้วการส่งถ่ายคงที่ทำให้ $\Delta P_{sac} = 0$
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไข $\Delta P = \Delta P_w + \Delta P_s$ อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีการสูญเสียหลัก

$$h = \lambda \cdot \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{u_m^2}{2g}$$

เมื่อ $\Delta P = \gamma h$

จะได้สมการ

$$\Delta P = \left(\lambda_s + \lambda_w \right) \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{\gamma_w}{2g} \cdot u_m^2 \quad (1)$$

กำหนดให้ $\lambda = \left(\lambda_s + \lambda_w \right)$ จะได้

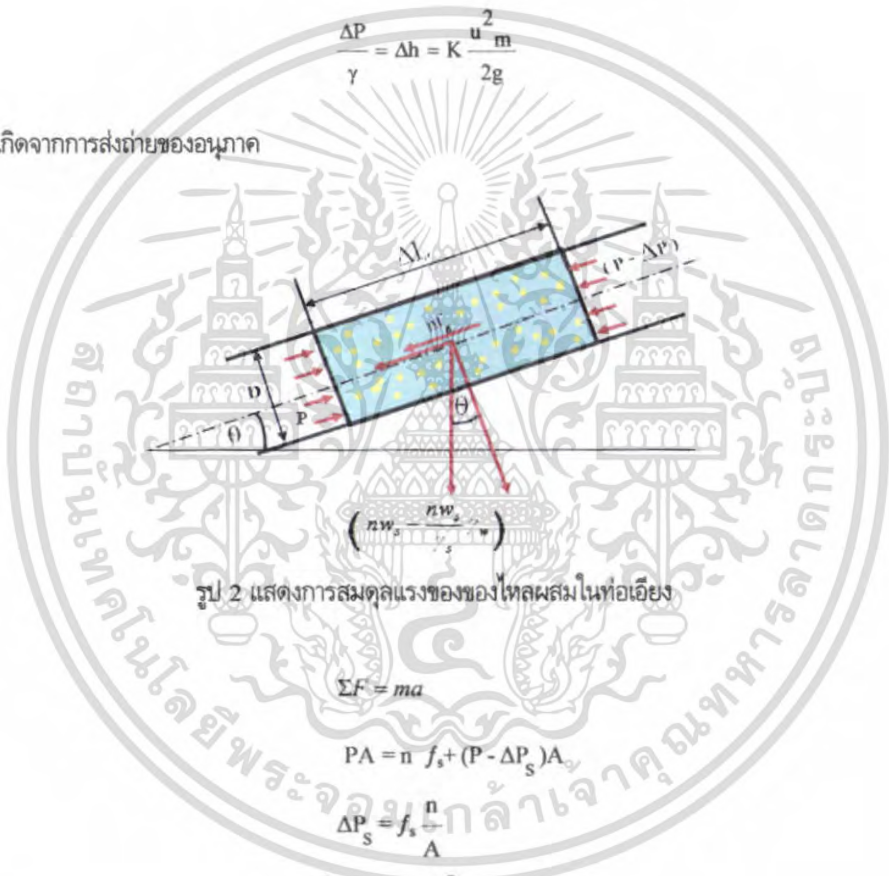
$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{\Delta L}{D} \cdot \frac{\gamma_w}{2g} \cdot u_m^2$$

เมื่อ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

$$K = \left(\lambda_s + \lambda_w \right) \frac{\Delta L}{D} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = \Delta h = K \frac{u_m^2}{2g}$$

พิจารณา Pressure Loss ที่เกิดจากการส่งถ่ายของอนุภาค



$$\Sigma F = ma$$

$$PA = n f_s + (P - \Delta P_s) A$$

$$\Delta P_s = f_s \frac{n}{A} \quad (3)$$

โดยที่ Drag coefficient (f_s)

$$f_s = C \frac{\gamma_s}{2g} (u_m - u_s)^2 a \quad (4)$$

เมื่อพิจารณาความสมดุลของน้ำหนัก

น้ำหนักทั้งหมด = น้ำหนักของทราย + น้ำหนักของน้ำ

$$\gamma \cdot A \cdot \Delta L = n \cdot w_s + A \cdot \Delta L \cdot \gamma_w$$

$$n = (\gamma - \gamma_w) \frac{A \cdot \Delta L}{w_s \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \quad (5)$$

$$\gamma = \left(1 + \frac{\mu_s}{1} \right) \gamma_w \Delta L \quad (6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แทนสมการ (6) ลงใน (5) จะได้
 เมื่อพิจารณาแต่ละพจน์ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n = \frac{\mu_s \gamma_w A \Delta L}{W_s \phi \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \quad (7)$$

และค่า $C = \frac{k}{Re_s \epsilon}$ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า Re_s

โดยที่

$$Re_s = (u_m - u_s) \frac{d_s \gamma_w}{u_s \cdot g} = \frac{u_m - u_s}{u_m} \frac{d_s}{D} Re$$

$$Re_s = 1 - \phi \frac{d_s}{D} Re$$

นำสมการ (4) กับ (7) และค่า C ลงสมการที่ (3) จัดรูป แล้วคูณด้วย ตัวแฟคเตอร์ (η) ทำให้ค่าถูกต้องยิ่งขึ้น

$$\Delta P_s = \left\{ \eta \frac{3k \cdot u_s (1-\phi)^{2-\epsilon} \left(\frac{D}{d_s} \right)^{1+\epsilon} \gamma_w}{2Re_s^\epsilon \phi \gamma_s \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \frac{1}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \right\} \frac{\Delta L \gamma_w}{D} \frac{2}{2g} \cdot u_m^2 \quad (8)$$

จากสมการ (1)

$$\Delta P = (\lambda_s + \lambda_w) \frac{\Delta L}{D} \frac{\gamma_w}{2g} \cdot u_m^2$$

จะได้

$$\Delta P = \left[\lambda_w + \left\{ \eta \frac{3k u_s (1-\phi)^{2-\epsilon} \left(\frac{D}{d_s} \right)^{1+\epsilon} \gamma_w}{2Re_s^\epsilon \phi \gamma_s \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \frac{1}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \right\} \right] \frac{\Delta L \gamma_w}{D} \frac{2}{2g} \cdot u_m^2 \quad (9)$$

จากสมการ (2) $K = (\lambda_s + \lambda_w) \frac{\Delta L}{D}$ จะได้

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

$$K = \left[\lambda_w + \left\{ \eta \frac{3k \mu_s (1-\phi)^{2-\epsilon} \left(\frac{D}{d_s} \right)^{1+\epsilon} \gamma_w}{2Re_s^\epsilon \phi \gamma_s \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \frac{1}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right)} \right\} \right] \frac{\Delta L}{D} \quad (10)$$

สมการที่ (9) นี้คือ Theoretical Equation ที่ได้จาก Pressure Loss ของทรายที่ไหลภายในท่อ

โดยที่

$$\phi = 1 - \frac{u_t}{u_m} \sqrt{f \cos \theta + \sin \theta} \quad (11)$$

ซึ่งสมการนี้ใช้เมื่อความเร็วของของผสมคงที่

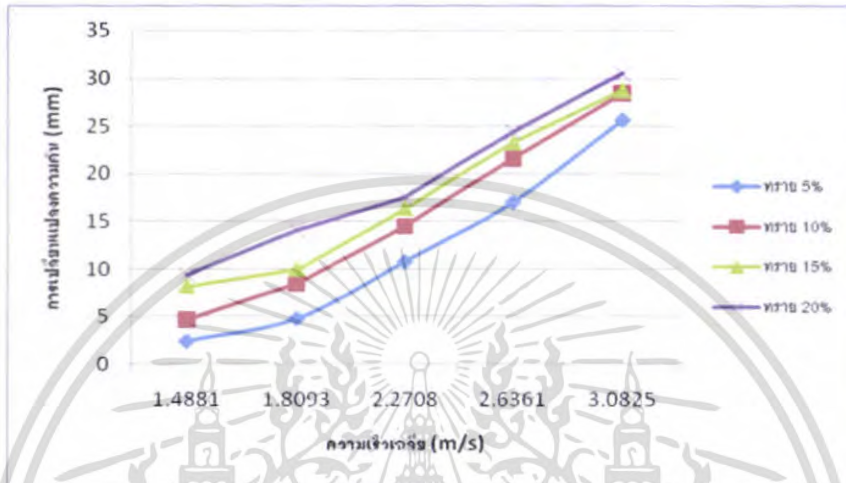
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Re_s	k	ϵ	
1	$0 < Re_s < 1$	24	1	Stokes
2	$1 < Re_s < 500$	10	0.5	Allen
3	$500 < Re_s < 2 \times 10^5$	0.44	0	Newton

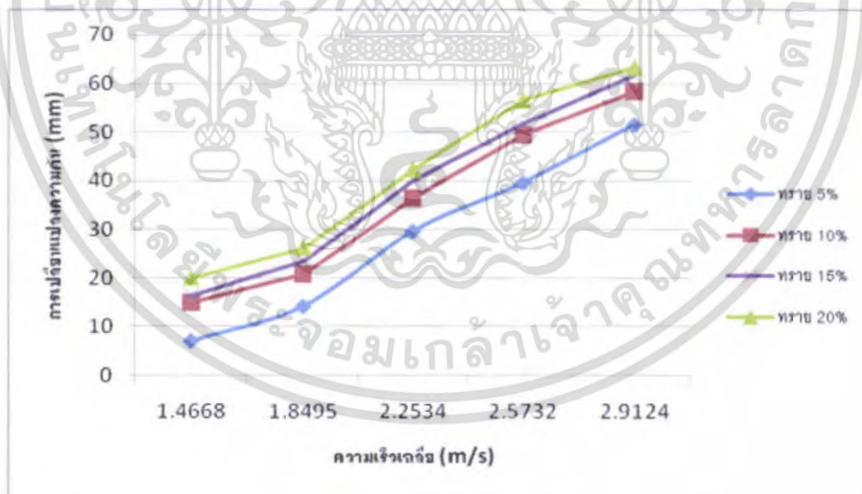
ตารางที่ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียและความขรุขระของผิวท่อที่ช่วงเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่างๆ

5. การคำนวณและผลการคำนวณ

5.1 ค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน

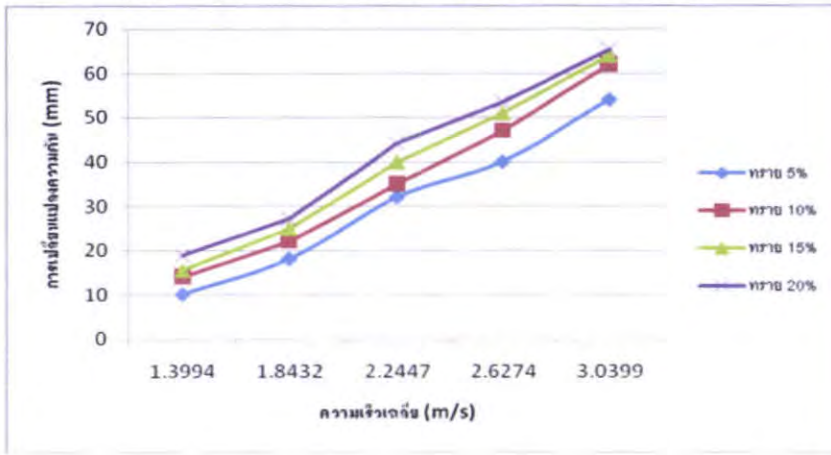


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 30 องศา



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 60 องศา

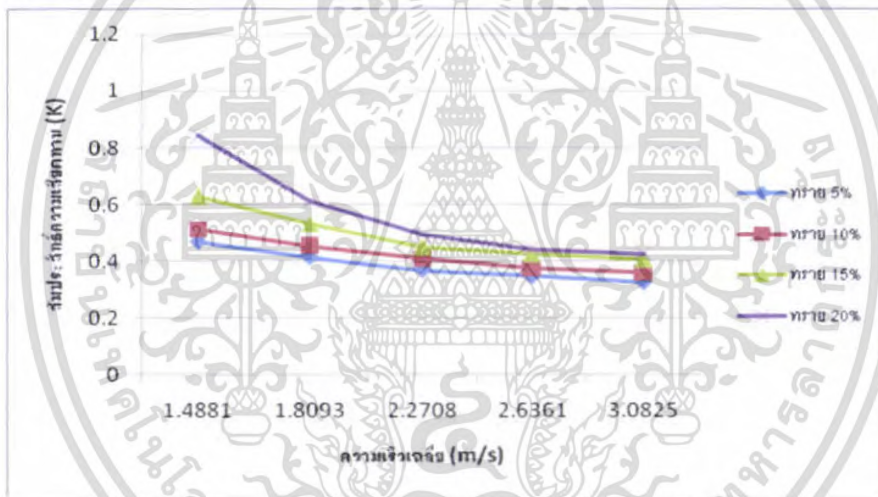
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



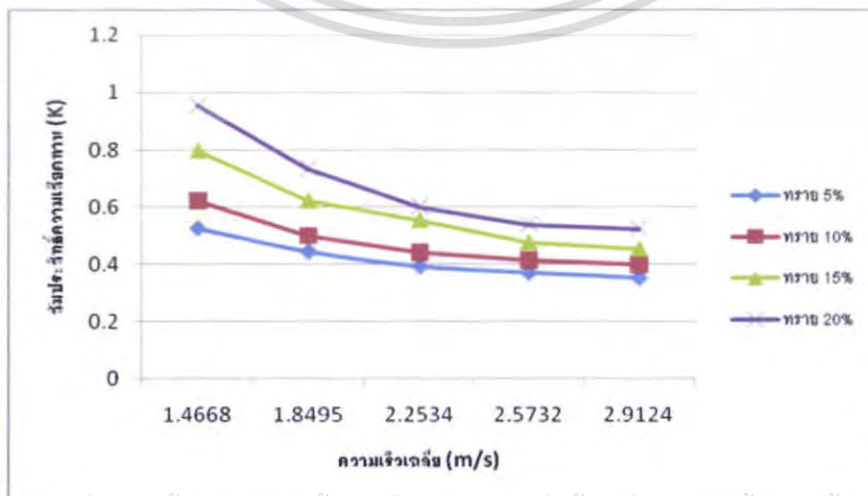
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อนเอียง 90 องศา

จากรูปที่ 3, 4 และรูปที่ 5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อนเอียง 30, 60 และ 90 องศาตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นและมุมของท่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) สูงขึ้น

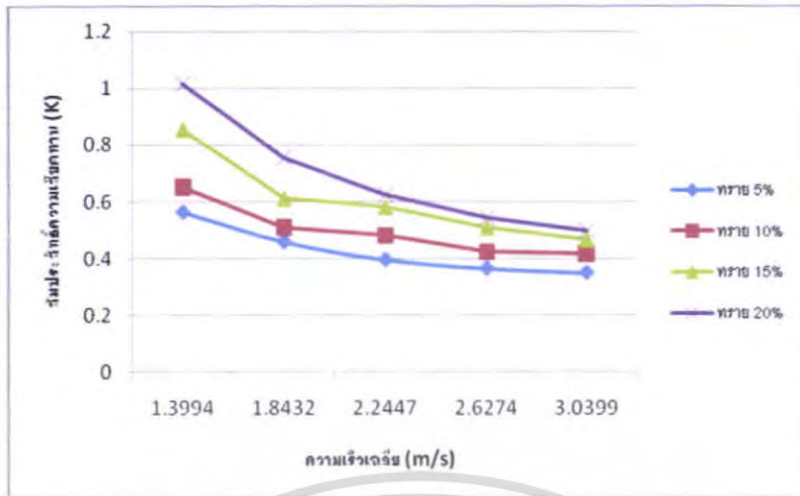
5.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อนเอียง 30 องศา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อนเอียง 60 องศา ไปใช้



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 90 องศา

จากรูปที่ 6, 7 และรูปที่ 8 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 30 60 และ 90 องศาตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นและมุมของท่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) สูงขึ้น

6. ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วยถังผสมทรายกับน้ำ และวัดอัตราการไหลด้วยการชั่งน้ำหนัก (Weighting method) ส่วนการวัดการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) สามารถอ่านได้จากமானอมิเตอร์

6.1 ชุดทดลอง



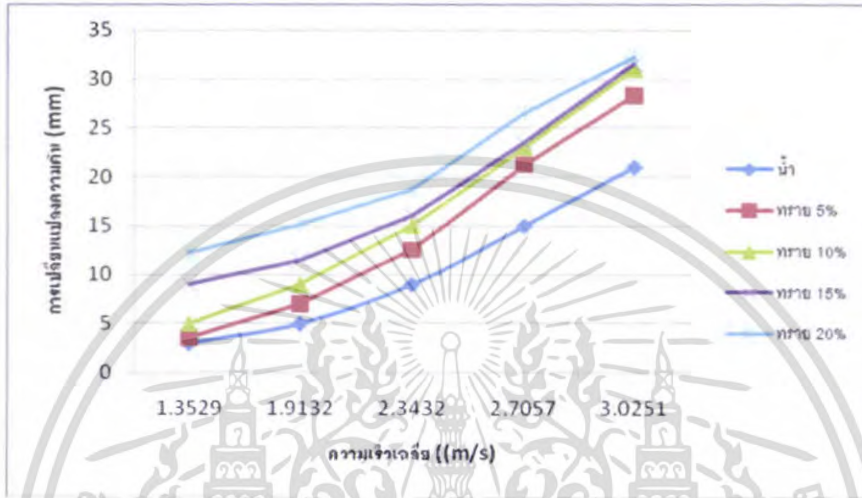
รูปที่ 9 ชุดทดลองการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

6.2 วิธีการทดลอง

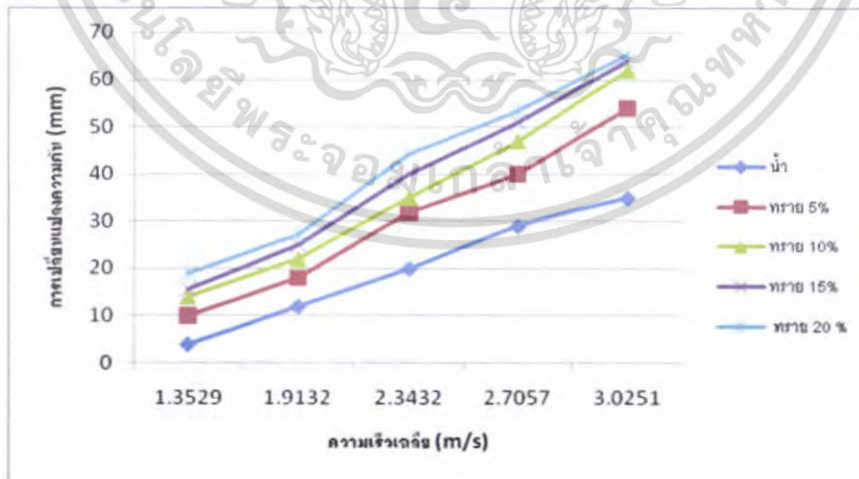
1. เริ่มต้นใช้ทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.425 มิลลิเมตร ทำการผสมน้ำกับอัตราส่วนผสมของทราย 5% โดยน้ำหนัก ภายในถังผสมน้ำกับทราย แล้วให้ของผสมไหลผ่านท่อในแนวเฉียงทำมุม 30 องศา โดยใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นที่อ่านได้จากமானอมิเตอร์ของออร์ฟิสที่มีความสูงแตกต่างกัน 2 เซนติเมตร แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากமானอมิเตอร์
ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วให้มีค่าความสูงแตกต่างจากमानมิเตอร์ของออร์พิซเพิ่มขึ้นเป็น 4, 6, 8, และ 10 เซนติเมตรตามลำดับ แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากमानมิเตอร์
3. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 และข้อ 2 โดยเปลี่ยนปริมาณของทรายที่อัตราส่วนผสมเป็น 10%, 15% และ 20% ตามลำดับ แล้วบันทึกข้อมูล
4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับค่าความเร็วเฉลี่ย (u_m)
5. ทำตามข้อ 1 โดยเปลี่ยนขนาดมุมเอียงของท่อเป็น 60 และ 90 องศา ตามลำดับ

6.3 ผลการทดลอง

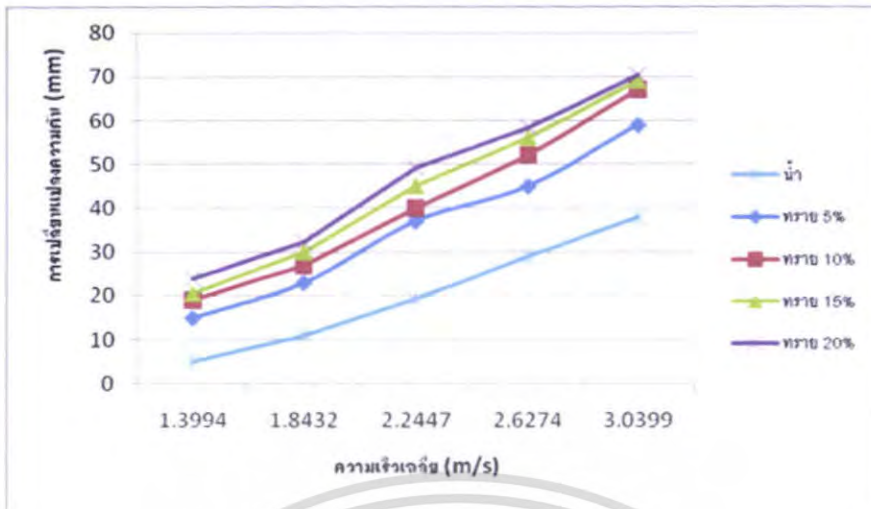


รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 30 องศา



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 60 องศา

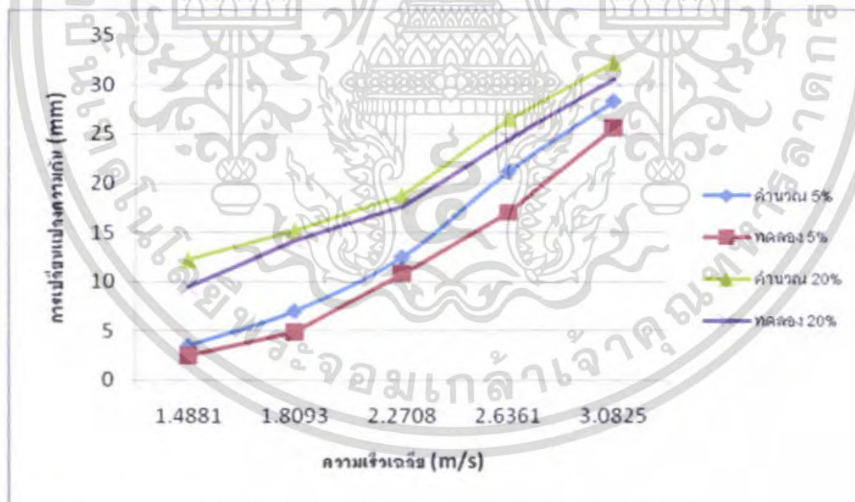
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 90 องศา

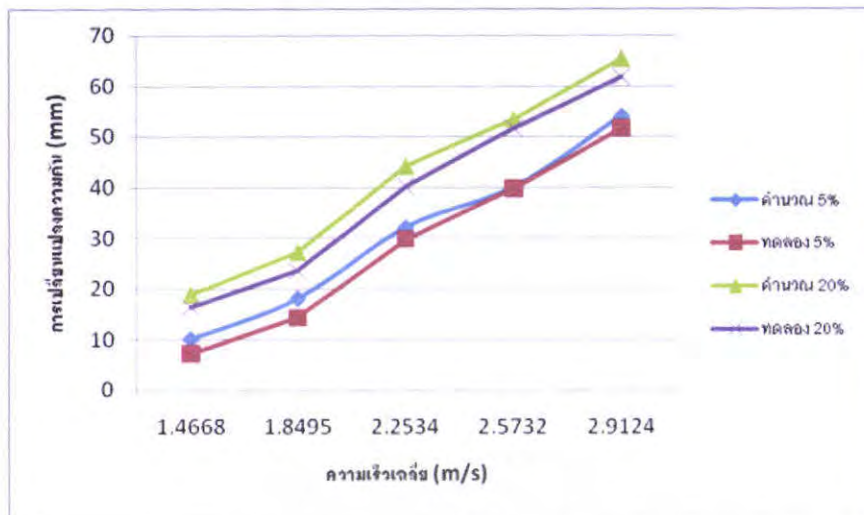
จากรูปที่ 9, 10 และรูปที่ 12 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 30, 60 และ 90 องศาตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นและมุมของท่อเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) สูงขึ้น

7. เปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงความดันจากการคำนวณกับการทดลอง

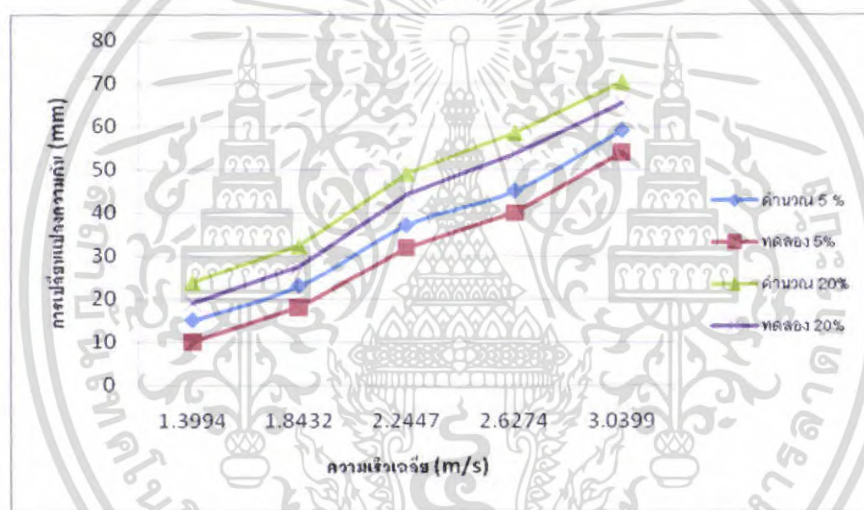


รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 60 องศา



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 90 องศา

จากรูปที่ 13,14 และรูปที่ 15 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับความเร็วเฉลี่ย (u_m) ที่มุมท่อเอียง 30 องศา 60 และ 90 องศาตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่าจากการคำนวณและทดลองมีค่าสอดคล้องกัน

8. สรุปผลการทดลอง

ผลจากการวิเคราะห์สมการทางการคำนวณ จากข้อมูลการคำนวณนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) , และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) , กับค่าความเร็วเฉลี่ย (u_m) จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการไหลของของผสมเมื่ออัตราส่วนผสมของทรายที่ 5, 10 ,15 และ 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเป็น และค่าการเปลี่ยนแปลงความดันเพิ่มขึ้น

ผลการทดลอง จากข้อมูลการทดลองนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงความดัน (Δh) กับค่าความเร็วเฉลี่ย (u_m) จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมการไหลของของผสม เมื่ออัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงความดันเพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการคำนวณและการทดลองแล้วจะเห็นว่าสอดคล้องกันโดยมีค่าแตกต่างกันประมาณ 10-15 % อันมีสาเหตุมาจากการวัดค่าต่างๆในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. วิจารณ์การทดลอง

1. ในการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงความดันที่மானอมิเตอร์จะสั้นเล็กน้อยจึงทำให้ค่าที่อ่านได้นั้นคลาดเคลื่อนไปบ้างถึงแม้จะทำการทดสอบหลายครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยก็ตาม
2. ในการหาค่าความเร็วของส่วนผสมระหว่างน้ำกับทรายจะใช้วิธีการจับเวลาแล้วซึ่งน้ำหนักของส่วนผสมรวม อาจมีความคลาดเคลื่อนของการของค่าที่ได้ไปบ้างถึงแม้จะทำการทดสอบหลายครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยก็ตาม
3. ในการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆอาจทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องมือและอุปกรณ์ทำงานไม่เต็มที่ เนื่องจากขนาดและระยะการติดตั้งมีพื้นที่จำกัด

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] มนตรี พิรุณเกษตร, “กลศาสตร์ของไหล,” ครั้งที่ 2, บริษัท จูนพับลิชชิง จำกัด, กรุงเทพฯ, 2547.
- [2] วิบูลย์ บุญชูโรกุล “ปั๊มและระบบสูบน้ำ,” มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 1996.
- [3] E. Anthony, “Fluid Mechanics with Applications,” Prentice Hall, Inc, 1988.
- [4] H. EBARA, “Fundamentals of Pump Technology,” Doc No. EHMf-7D230, 1999.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] ฉัตรชัย มานะดี, โศคิจิ โอนิชิ, “คู่มือการใช้งานปั๊มชนิดทันทันต่อการกัดกร่อน”, ปี พ.ศ. 2542
- [2] ทวีศักดิ์ จันทองและคณะ, “การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทราย”, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปรียญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2549
- [3] กัทรารณ์ เมฆพฤษยาวงศ์, วัชระ เพิ่มชาติ, “เครื่องสูบน้ำในงานวิศวกรรม”, ปี พ.ศ. 2543
- [4] วิบูลย์ บุญยชโรกุล, “ปั๊มและระบบสูบน้ำ”, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 1986
- [5] Anthony Esposito, Fluid Mechanics with Applications, Prentice Hall, Inc, 1988
- [6] EBARA Hatakeyama Memorial Fund, “Fundamentals of Pump Technology”, Doc No.EHMF-7D230, 1997
- [7] Japanese Standards Association “Measurement of Fluid Flow by Means of Orifice Plates”, Nozzles and Venturi Tubes
- [8] Bruce R. Munson, Fluid of Fluid Mechanics, John Wiley & Sons, Inc, 2002
- [9] Yunus A.Cengel, Thermodynamics, Mc Graw Hill, 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้