

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อของของไหลผสม

Study on Friction coefficient in Circular pipe of Slurry fluids

ปัญญภัทร น่วมเปี่ยม¹ มณฑล ใจกุลศล² จำลอง ปราบแก้ว^{3*}

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

^{2,3} อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

* ติดต่อ: E-mail: kpchamlo@kmitl.ac.th โทรศัพท์: (662) 326-4197, โทรสาร: (662) 326-4198,

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นงานนำเสนอวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลในท่อแนวราบของของไหลผสมระหว่างของแข็งกับของเหลว ซึ่งในบทความนี้จะใช้การผสมระหว่างน้ำกับเม็ดทราย โดยการวิเคราะห์หาสมการที่ใช้ในการคำนวณแล้วนำผลการคำนวณที่ได้ไปเทียบกับผลการทดลอง โดยจะพิจารณาที่ส่วนผสมของทรายที่ 5, 10, 15 และ 20% และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายที่ 0.15, 0.45, 0.90 และ 1.20 มิลลิเมตร จากนั้นก็นำผลการคำนวณและผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันกับความเร็วเฉลี่ยการไหลในท่อ กราฟดังกล่าวสามารถใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายได้ จากผลการศึกษาพบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยการไหลเท่ากับ 1 m/s ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดทราย 0.45 มิลลิเมตร อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.533 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.6049 ในขณะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทราย 0.90 มิลลิเมตรที่อัตราส่วนผสมของทราย 5% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 0.7585 และที่อัตราส่วนผสมของทราย 20% จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) = 1.045 และเมื่อเปรียบเทียบผลจากการคำนวณกับผลการทดลองจะเห็นว่าสอดคล้องกัน โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) จะแตกต่างกันประมาณ 15%

คำสำคัญ สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน, การขนถ่ายของไหลผ่านท่อ, ของไหลผสม

Abstract

This project present about flow friction coefficient in the horizontal line pipe of flow that combine with water and sand. 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 mean of sand diameter that 0.15, 0.45, 0.90, 1.20 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 the same as 1 m/s by mean of sand diameter that 0.45 millimeter volume of sand result at 5 percent friction coefficient (K) = 0.533

and volume of sand result of 20 percent friction coefficient (K) = 0.6049. While mean of sand diameter that 0.90 millimeter volume of sand result at 5 percent friction coefficient (K) = 0.7585 and volume of sand result of 20 percent friction coefficient (K) = 1.045. And the result from an equation compare with result from the experiment will to be in agreement with by friction coefficient (K) to be different about 15%

Keywords: Friction coefficient, Pipe line transportation, Slurry flow

สัญลักษณ์

A	พื้นที่ของท่อ (m^2)	a	พื้นที่ของของแข็งเล็ก ๆ (m^2)
C	ค่าสัมประสิทธิ์ของหนึ่งอนุภาค	D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)
d	ขนาดของเม็ดอนุภาคเฉลี่ย (m)	f_s	ความฝืดระหว่างอนุภาคกับน้ำ (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	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์
Re_s	ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ของของแข็ง	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_s	อัตราส่วนของน้ำหนัก
f	ค่าความเสียดทาน	ϕ	อัตราส่วนความเร็ว
η	ค่าประสิทธิภาพ	W_s	น้ำหนักของทราย
		ตัวห้อย	
		s	ของแข็ง
		w	ของเหลว

1. บทนำ

การขนถ่ายของไหลผ่านท่อเป็นที่นิยมทำกัน โดยทั่วไป เช่น การส่งน้ำประปา , การขนถ่ายน้ำมันหรือแก๊สผ่านระบบท่อ, การส่งของไหลผ่านท่อในอุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีงานในอุตสาหกรรมหลายชนิดที่มีการส่งถ่ายของไหลผสมผ่านระบบท่อ เช่น การขุดเจาะน้ำมัน , การทำเหมืองถ่านหิน , อุตสาหกรรมการก่อสร้าง และ การดูดทรายหรือโคลนจากแม่น้ำลำคลองที่ตื้นเขิน ในกรณีดังกล่าวนี้ของไหลที่ไหลผ่านท่อจะมีลักษณะเป็นของไหลผสม การสูญเสียความดันเนื่องจากความฝืดระหว่างผิวด้านในของท่อกับของไหล

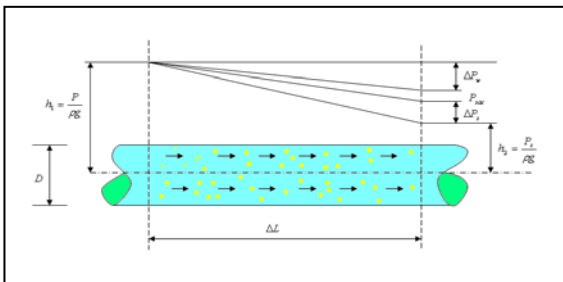
ที่ไหลผ่านจะส่งผลถึงการสูญเสียพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนของไหล โครงการนี้จึงได้ศึกษาถึงวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหลของของไหลผสม ในการศึกษาจะใช้ของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ เพื่อจะได้หาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานไปใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนต้นกำลังในการส่งถ่ายของไหลผสมดังกล่าว

ได้มีผู้ศึกษาในประเด็นดังกล่าวหลายราย เช่น Streat M. [1] ได้ศึกษาการไหลของส่วนผสมระหว่างของผงของแข็งกับของเหลวในท่อกลม โดยการคำนวณการ

สูญเสียพลังงานเนื่องจากความเสียดทานและการสิ้นเปลืองภายในท่อ พบว่าสูญเสียพลังงานน้อยที่สุดเมื่อชนถ่ายด้วยความเร็ว 1 m/s และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นการสูญเสียพลังงานจะเพิ่มขึ้นด้วย, Wasp E.J., Kenny J.P และ Gandhi R.L.[2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกระจายความดันภายในท่อแนวนอน เมื่อชนถ่ายของไหลผสม ผลการศึกษาพบว่าเมื่อความเร็วการไหลเพิ่มขึ้นความดันจะเพิ่มขึ้นด้วยและที่อัตราส่วนผสม 10% ความเร็วการไหลในท่อที่เหมาะสมคือ 1 - 2.5 m/s เป็นต้น

2. การคำนวณการสูญเสียความดันการไหลของของไหลผสม

ในการคำนวณหาการสูญเสียความดันของของไหลผสมภายใต้ข้อสมมุติฐานให้อุณหภูมิการไหลคงที่และเป็นการไหลแบบ Uniform steady flow ตามแนวแกน



รูปที่ 1 การสูญเสียความดันของการไหลของของไหลผสม

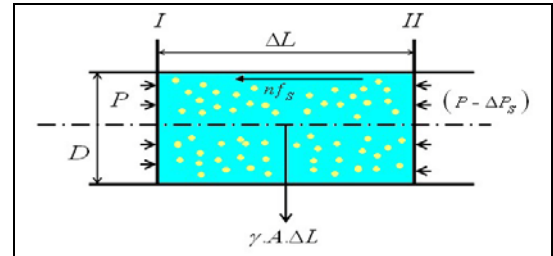
เมื่อพิจารณาการสูญเสียความดันของการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลมแนวราบ

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

เมื่อ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน $K = (\lambda_s + \lambda_w) \frac{\Delta L}{D}$

$$\frac{\Delta P}{\gamma_w} = \Delta h = K \frac{u_m^2}{2g} \quad (2)$$

พิจารณาการไหลของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายในท่อกลมแนวราบเพื่อหาค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานของทราย (λ_s)



รูปที่ 2 แสดงแรงเสียดทานที่กระทำต่อของไหลผสม

จากการสมดุลแรง

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

จะได้ค่า Pressure drop ของทราย (ΔP_s)

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

โดยที่ Drag coefficient (f_s) หาได้จากสมการ

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

และค่า Re_s จะมีผลต่อค่า k และค่า ϵ

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

		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 แสดงค่า Re_s ที่มีผลต่อค่า k และค่า ϵ

จากรูปที่ 2 เมื่อพิจารณาการสมดุลของน้ำหนัก จะได้

น้ำหนักของทราย + น้ำหนักของน้ำ = น้ำหนักทั้งหมด

$$n w_s + \left(A \Delta L - \frac{n w_s}{\gamma_s} \right) \gamma_w = \gamma_{sw} A \Delta L \quad \text{จะได้สมการ}$$

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

แทน (4) และ (5) ในสมการ (3) จะได้

$$\Delta P_s = \left\{ \lambda_w + \left[\eta \frac{3k\mu_s(I-\phi)^{2-\varepsilon}}{2Re^\varepsilon\phi} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{I+\varepsilon} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{I}{\left(I - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right] \right\} \frac{\Delta L}{D} \frac{\gamma_w}{2g} u_m^2 \quad (6)$$

แทน (6) ในสมการ (1) จะได้

$$\Delta P = \left[\lambda_w + \left[\eta \frac{3k\mu_s(I-\phi)^{2-\varepsilon}}{2Re^\varepsilon\phi} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{I+\varepsilon} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{I}{\left(I - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right] \right] \frac{\Delta L}{D} \frac{\gamma_w}{2g} u_m^2 \quad (7)$$

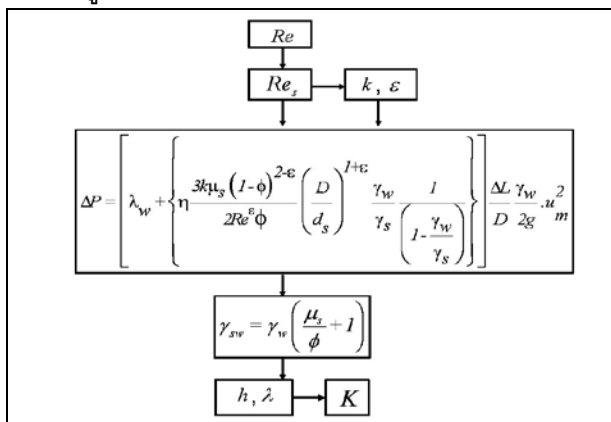
เมื่อ $\gamma_{sw} = \gamma_w \left(\frac{\mu_s}{\phi} + I \right)$ และ $\frac{\Delta P}{\gamma_{sw}} = \Delta h_{sw}$

$$\Delta h_{sw} = \left[\lambda_w + \left[\eta \frac{3k\mu_s(I-\phi)^{2-\varepsilon}}{2Re^\varepsilon\phi} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{I+\varepsilon} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{I}{\left(I - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right] \right] \frac{\Delta L}{2Dg} u_m^2$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

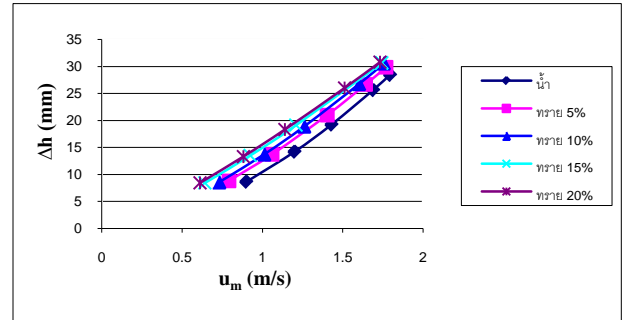
$$K = \left[\lambda_w + \left[\eta \frac{3k\mu_s(I-\phi)^{2-\varepsilon}}{2Re^\varepsilon\phi} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{I+\varepsilon} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{I}{\left(I - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right] \right] \frac{\Delta L}{D} \quad (8)$$

3. การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหล
ขั้นตอนการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
แสดงดังรูปที่ 3.

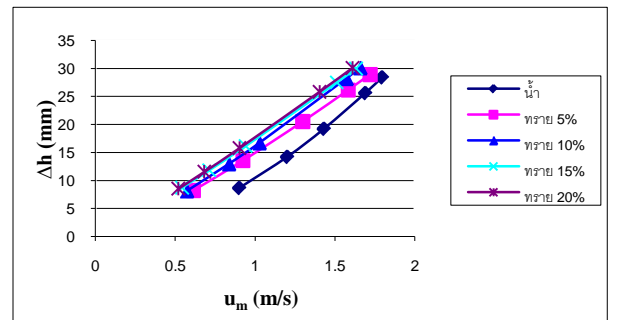


รูปที่ 3 Flow chart การคำนวณ

การคำนวณ การสูญเสียเฮด (Δh) ที่แสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 จะเห็นว่าที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายเฉลี่ย 0.45 กับ 0.90 มม.เป็นค่าที่ให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับผลการทดลองมากที่สุด เมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้น การสูญเสียเฮดจะเพิ่มขึ้นด้วย

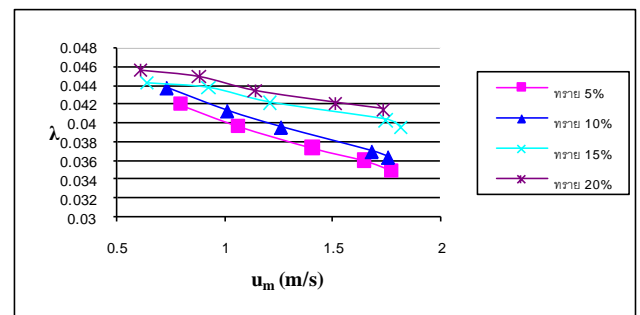


รูปที่ 4 การสูญเสียเฮดที่ขนาดทราย 0.45 มม.

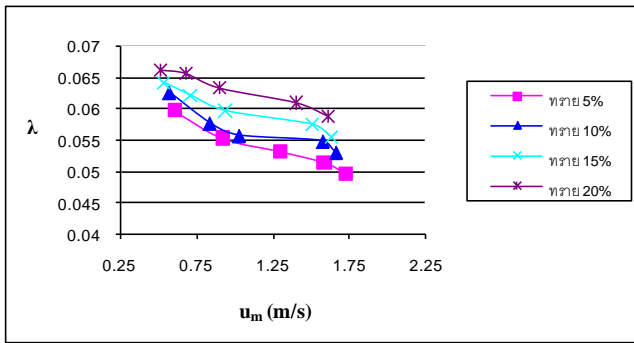


รูปที่ 5 การสูญเสียเฮดที่ขนาดทราย 0.90 มม.

ผลการคำนวณค่าตัวประกอบความเสียดทาน (λ) ดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายเฉลี่ยที่ 0.45 กับ 0.90 มม. เมื่อส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายเฉลี่ยที่ 0.45 เป็น 0.90 มม.ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานจะเพิ่มขึ้นด้วย

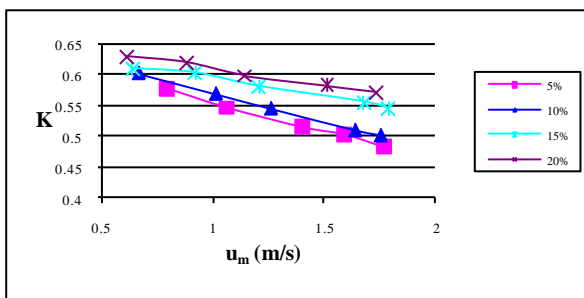


รูปที่ 6. ตัวประกอบความเสียดทานที่ขนาดทราย 0.45 มม.

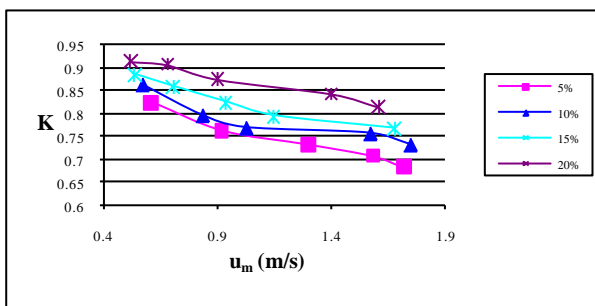


รูปที่ 7. ตัวประกอบความเสียดทานที่ขนาดทหาย 0.90 มม.

ผลการคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) ดังแสดงในรูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่า เมื่อส่วนผสมของทหายเพิ่มขึ้นค่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) จะเพิ่มขึ้นและเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทหายเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) จะเพิ่มขึ้นด้วย

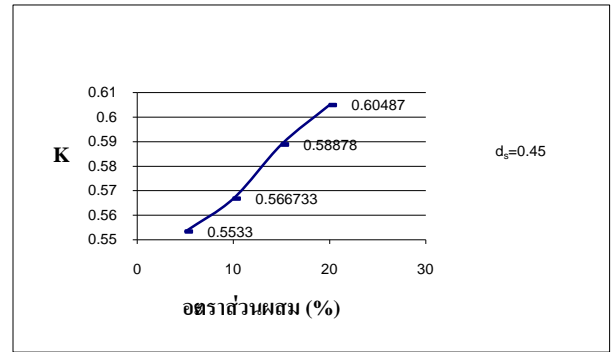


รูปที่ 8. สปส.ความเสียดทานที่ขนาดทหาย 0.45 มม.

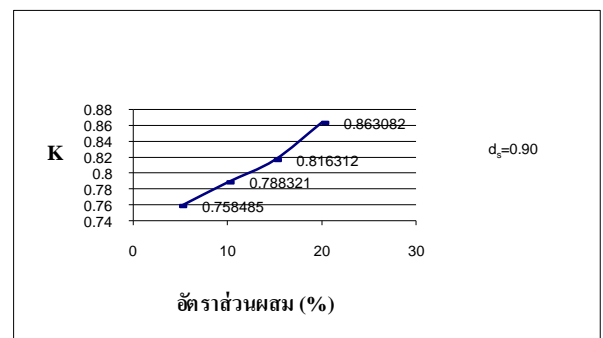


รูปที่ 9. สปส.ความเสียดทานที่ขนาดทหาย 0.90 มม.

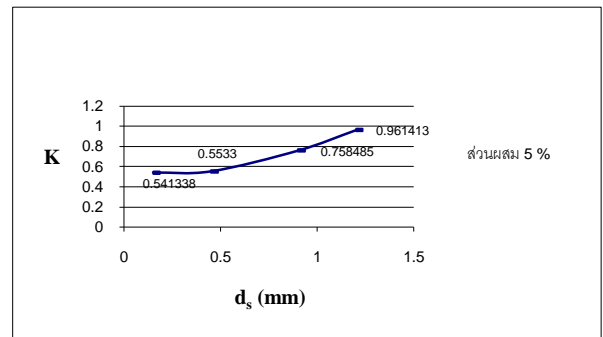
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเทียบกับอัตราส่วนผสมของทหาย 5 และ 20 % จะพิจารณาที่ความเร็วการไหลเฉลี่ย 1 m/s ดังรูปที่ 10-13.



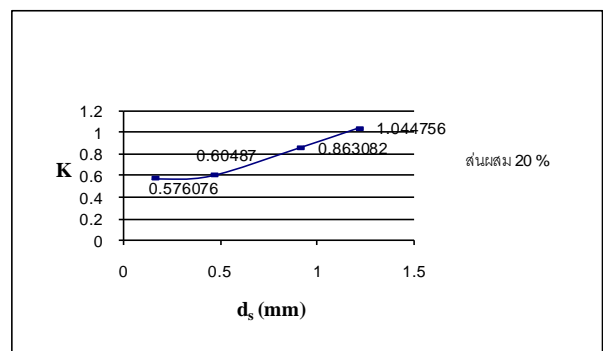
รูปที่ 10 สปส.ความเสียดทานที่ขนาดทหาย 0.45 มม.



รูปที่ 11. สปส.ความเสียดทานที่ขนาดทหาย 0.90 มม.



รูปที่ 12. สปส. ความเสียดทานที่ผสมทหาย 5%



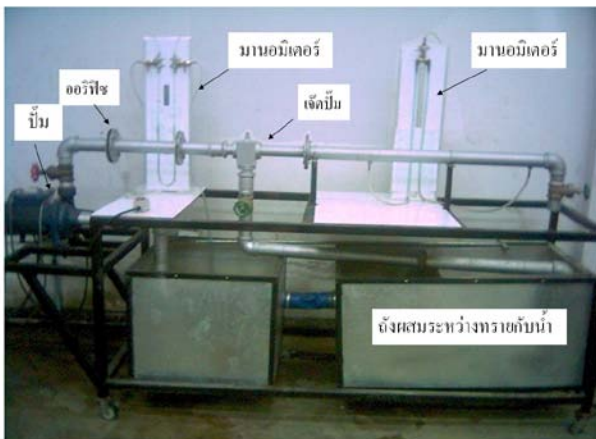
รูปที่ 13 สปส.ความเสียดทานที่ผสมทหาย 20%

จากรูปที่ 10-13 เป็นการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) ที่ความเร็วเฉลี่ย 1 m/s ในส่วนผสมและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ จะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มส่วนผสมและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K) จะเพิ่มขึ้นด้วย

4. การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

การทดลองจะผสมน้ำกับทรายในถังผสมด้วยอัตราส่วนผสมและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายเฉลี่ยต่างๆ โดยจะใช้เจ็ทปั๊มในการขับเคลื่อนส่วนผสม โดยวัดอัตราการไหลของน้ำ จากหัวฉีดด้วยออริฟิซ และวัดการเปลี่ยนแปลงเฮด (Δh) ด้วยமானอมิเตอร์ และวัดอัตราการไหลของส่วนผสมด้วย Ultrasonic Flow Meter.

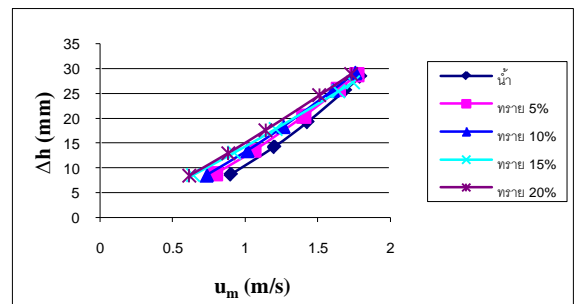


รูปที่ 14 ชุดทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

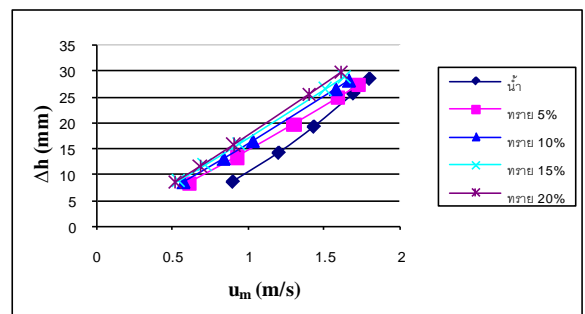
วิธีการทดลองโดยใช้ทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.15, 0.45, 0.90 และ 1.20 มิลลิเมตร แล้วใช้เจ็ทปั๊มเป็นตัวขับเคลื่อนให้ของผสมไหลผ่านท่อในแนวราบ โดยใช้ค่าความดันหัวฉีด 4, 6, 8, 10, 12 และ 14 mm-Hg ตามลำดับ แล้วบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลง เฮดจากมานอมิเตอร์แบบหลอดรูปตัวยูคว่า นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงเฮด (Δh) กับค่าความเร็วเฉลี่ย (u_m)

4.2 ผลการทดลอง

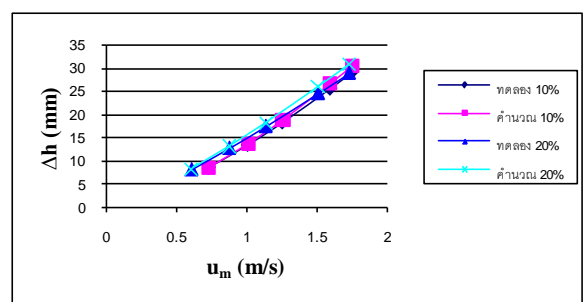
การสูญเสียเฮดที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายเฉลี่ยที่ 0.15, 0.45, 0.90 และ 1.20 มม. ให้ผลออกมาในทิศทางเดียวกันคือถ้า ส่วนผสมของทรายเพิ่มขึ้นค่าการเปลี่ยนแปลง เฮด (Δh) จะเพิ่มขึ้น และจากแนวโน้มดังกล่าวจึงเลือกพิจารณาเพียงขนาดที่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรายเฉลี่ย มา 2 ค่า นั่นคือ 0.45, 0.90 มม. ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 15 - 16 และเมื่อ เปรียบเทียบ ผลการสูญเสียเฮดที่ได้จากการคำนวณกับ ผลที่ได้ การจาก ทดลอง จะเห็นว่ามีความสอดคล้องกันดังแสดงในรูปที่ 17 -18



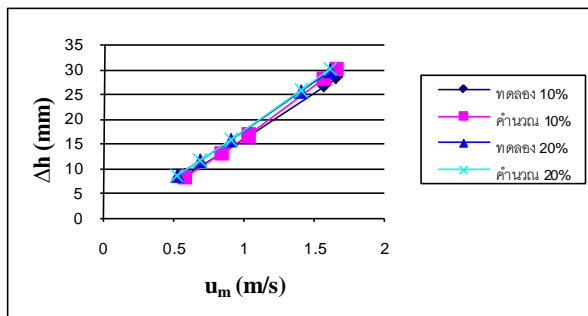
รูปที่ 15 การสูญเสียความดันที่ขนาดทราย 0.45 มม.



รูปที่ 16 การสูญเสียความดันที่ขนาดทราย 0.90 มม.



รูปที่ 17 การเปรียบเทียบที่ขนาดทราย 0.45 มม.



รูปที่ 18 การเปรียบเทียบที่ขนาดทราย 0.90 มม.

5. สรุปผลการทดลอง

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าการการสูญเสียความดัน (Δh), ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน (λ), และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (K), กับค่าความเร็วเฉลี่ย (u_m) จะเห็นว่าเมื่อไหลของของผสมระหว่างน้ำกับทราย ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของทรายและอัตราส่วนผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้การสูญเสียความดัน, ค่าแฟคเตอร์ความเสียดทาน, ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณและผลจากการทดลองสอดคล้องกันและมีค่าแตกต่างกันประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 บทความจากที่ประชุมทางวิชาการ (Proceedings)

- [1] Streat M. 1986. Dense Phase Flow of Solids-Water Mixtures in Pipelines. A state of the art review, Hydrotransport 10, Innsbruck BHRA Fluid Engineering.
- [2] Wasp E.J., Kenny J.P. and Gandhi R.L. 1977. Solid-Liquid Flow Slurry Pipeline Transportation. Trans Tech Publications.
- [3] Wilson K.C. and Judge D.G. 1984. Application of Analytic Model to Stationary Deposit Limit in Sand-Water Slurries. Dredging Technology 2, Texas BHRA Fluid Engineering.
- [4] Prabkeao,C., and Aoki,K.,The 7 Asian Symposium on Visualization, 2003

6.3 หนังสือ (Books)

- [5] Faitli J. Calculation Process for the Determination of Head Loss of Steady-State Solid Liquid Mixtures Flow in Horizontal Pipelines. Ph.D. thesis, Miskolc, 1998.
- [6] Bruce R. Munson, Donald F. Young and Theodore H. Okiishi. Fundamentals of Fluid Mechanics, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., 2002: 475 p.