

การวิเคราะห์สมการคำนวณค่าการสูญเสียความดันเนื่องจากการไหลของ ของไหลผสมในท่อเอียง

Analysis and calculation pressure drop of solid-liquid mixture flow in inclined pipe

ณัฏฐ์ ชาญัญญาพร¹, จำลอง ปรวบแก้ว^{2*}

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

* ติดต่อ: E-mail: kpchamlo@kmitl.ac.th โทรศัพท์: (662) 3264197, โทรสาร: (662) 3264198

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์สมการที่ใช้ในการคำนวณหาความสัมพันธ์การสูญเสียของของไหลผสมที่ไหลในท่อเอียง แล้วเขียนโปรแกรมแมทแล็บ คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร็วการไหล ขนาดมุมเอียงของท่อเทียบกับค่าความดันสูญเสียจากนั้นก็หาค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานเพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการส่งของไหลผสมระหว่างน้ำกับของแข็งที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ในการศึกษาจะใช้ของไหลผสมระหว่างน้ำกับเม็ดพลาสติก ขนาด 1.1 มิลลิเมตรและ 2.91 มิลลิเมตร ที่อัตราส่วนผสม 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ให้ของไหลไหลผ่านท่อเอียงทำมุม 0, 30, 60 และ 90 องศา จากแนวระดับ เขียนโปรแกรมแมทแล็บคำนวณหาความดันที่สูญเสียในระหว่างการไหลที่อัตราส่วนการผสมและมุมเอียงของท่อต่างกัน จากผลการคำนวณพบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับเม็ดพลาสติก ความเร็วของการไหล มุมเอียงของท่อ และขนาดของอนุภาค จะส่งผลทำให้ค่าความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น

คำหลัก : ความดันสูญเสีย, การไหลของของไหลเนื้อผสม, ท่อเอียง

ABSTRACT

This article presents an analysis of equations used to calculate the coefficient loss of slurry flow in inclined pipes. The MATLAB program is used to calculate the correlation between the velocity and angles of the inclination pipes and the pressure drop. As well as the coefficient friction so that the calculation of the energy used in the transport of slurry fluid is revealed. Considering that the concentration of water and the plastic size of 1.1 mm and 2.91 mm in the ratio of 10 20 30 and 40 percent per volume are flowing through the pipes with angles of 0 30 60 and 90 degrees of a horizontal inclination. The MATLAB program calculates the pressure drop that flows with different concentration and angles of inclination, the results show that the increase in concentration, velocities, angles of inclination and size of the particles will result in a pressure drop that increases.

Keywords: Pressure drop, Solid-Liquid flow, Inclined pipes

1. บทนำ

ระบบท่อส่งของเหลวเป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบงานทางวิศวกรรม พบได้ตั้งแต่ในเครื่องจักรต่างๆ ไปจนถึงในอาคารและในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีมูลค่าประมาณ 7 - 8% ของมูลค่าการก่อสร้างโรงงานทั่วไป และอาจมีมูลค่ามากถึง 30% ในกรณีของเรือเดินสมุทรบางชนิด ระบบท่อมียุคอย่างมากต่อการใช้พลังงานของอาคารและโรงงานซึ่งจะเป็นค่าใช้จ่ายสะสมตลอดอายุการใช้งาน หากมีการวางระบบหรือออกแบบท่อไม่มีประสิทธิภาพแล้วก็จะเกิดผลกระทบต่อระบบนั้นๆ นำไปสู่การสูญเสียค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้นได้ ระบบท่อส่งของเหลวทำหน้าที่ส่งของเหลวจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ซึ่งนอกจากจะมีการส่งของไหลที่เป็นของไหลชนิดเดียวแล้ว ยังมีงานหลายประเภทที่มีการขนถ่ายของไหลผสมระหว่างของเหลวกับของแข็งที่มีอนุภาคขนาดเล็กๆ ซึ่งในการขนถ่ายของไหลผสมผ่านระบบนั้น จะเกิดการสูญเสียความดันเนื่องจากความฝืดระหว่างผิวด้านในของท่อ กับของไหลผสมที่ไหลผ่านซึ่งถือเป็น การสูญเสียหลัก นอกจากนี้หากระบบท่อมมีการเชื่อมต่อด้วยข้อต่อต่างๆ หรือมีการเปลี่ยนขนาดของท่อ หรือมีการวางท่อเอียงทำมุมองศาต่างๆ ก็จะมีการสูญเสียความดันเกิดขึ้นอีกเช่นกัน ดังนั้น การออกแบบระบบท่ออย่างเหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง การหาการสูญเสียพลังงานเป็นหนึ่งในเทคนิคที่สำคัญที่สุด ที่จะได้รับ การประเมินโดยนักออกแบบสำหรับการออกแบบระบบการขนส่งของไหลผ่านท่อ และเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการเลือกกำลังของปั๊มที่ต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนของไหลให้เหมาะสมซึ่งที่ผ่านมาได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการไหลของของไหลแบบเนื้อผสมที่ไหลในท่อ

P. Doron M. Simkhis and D. Barnea [1] ได้ทดลองลักษณะของการไหลของของไหลผสมระหว่างของแข็ง - ของเหลว ในท่อเอียงทำมุมระหว่าง -7° , -4° , 0° , 4° , 7° ความเข้มข้นของส่วนผสม 7% , 10% , 13% ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของของแข็ง 3 mm ขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลางท่อ 50 mm ความหนาแน่น 1240 kg/m^3 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมุมเอียงของท่อเพิ่มขึ้นจากแนวระดับ จะส่งผลให้ค่าความดันสูญเสียเพิ่มมากขึ้น สำหรับที่ค่าอัตราการไหลที่น้อยมาก ค่าความดันสูญเสียจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงโน้มถ่วงยังไม่มีผลต่อการไหลมากนัก แต่เมื่อค่าอัตราการไหลมากขึ้น ความเร็วก็จะมีผลทำให้ค่าความดันสูญเสียเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของมุมเอียงท่อและปริมาณส่วนผสม แต่เมื่อมุมเอียงของท่อลดลงจากแนวระดับ ค่ามุมเอียงของท่อที่ลดลงจะส่งผลให้ค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นลดลง

D.R. Kaushal [2] ได้ศึกษาผลกระทบจากขนาดของอนุภาคและความเข้มข้นของอัตราส่วนผสมที่มีผลต่อความดันสูญเสีย โดยได้ทำการทดลองในท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54.9 mm ใช้ลูกแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $440 \mu\text{m}$, $125 \mu\text{m}$ และเม็ดลูกแก้วขนาดผสม $440 \mu\text{m}$ กับ $125 \mu\text{m}$ ความเร็วของการไหลตั้งแต่ 0 - 5 m/s และความเข้มข้นของส่วนผสม 0 - 50% โดยปริมาตร จากการศึกษาพบว่าความดันสูญเสียจะเพิ่มขึ้นตามขนาดความโตเม็ดลูกแก้ว อัตราส่วนผสมและความเร็วที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่ขนาดส่วนผสม $440 \mu\text{m}$ พบว่าค่าความดันสูญเสียจะลดลงแล้วเพิ่มขึ้นแต่น้อยมากเมื่อเทียบกับความเร็วและ อัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ที่ความเร็วที่ต่ำและอัตราส่วนผสมน้อยค่าความดันสูญเสียจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อความเร็วของการไหลมีค่า 5 m/s และมีค่าความเข้มข้นของอัตราส่วนผสม 50% ค่าความดันสูญเสียจะมีค่าลดลง

V. Matousek [3] ได้ศึกษารูปแบบการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างน้ำกับทรายที่มีผลต่อค่าไฮดรอลิกเกรเดียน โดยได้ทำการทดลองในท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm ใช้เม็ดทราย 3 ขนาด คือ ขนาดละเอียด (0.1-0.2 mm) ขนาดปานกลาง (0.2-0.5 mm) และขนาดหยาบ (1.6-2.7 mm) ความเร็วของการไหลได้ตั้งแต่ 0 - 10 m/s และความเข้มข้นของส่วนผสม

0 – 45% โดยปริมาตร จากการทดลองพบว่า ในท่อแนวตั้งค่าความไฮดรอลิกเกรเดียนจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นแต่อัตราส่วนผสมน้ำกับทรายจะไม่มีผลต่อค่าไฮดรอลิกเกรเดียนมากนัก สำหรับท่อแนวนอนค่าไฮดรอลิกเกรเดียนจะลดลงเล็กน้อยในช่วงความเร็วต่ำ (2-4 m/s) และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น (4-10 m/s) เช่นเดียวกับอัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น

P. Doron and D. Barnea [4] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการไหลในท่อของของไหลผสมระหว่างของแข็ง - ของเหลว ที่อัตราการไหลต่ำ (0-1 m/s) รูปแบบการไหลจะมี 3 รูปแบบคือ ในช่วงแรกอัตราการไหลต่ำการไหลจะเป็นการไหลแบบ Stationary bed เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น ลักษณะการไหลจะกลายเป็นการไหลแบบ Moving bed และเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 m/s การไหลจะกลายเป็นการไหลแบบ Heterogeneous suspension flow หรือ full suspension ระดับความสูงของ Stationary bed จะค่อยๆ ลดลงเมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้น สำหรับค่า Pressure gradient (ค่าความกดอากาศ) [5] จะคงที่ในช่วงแรกและลดลงเล็กน้อยในช่วงความเร็วต่ำ หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ความเร็วมากกว่า 1 m/s

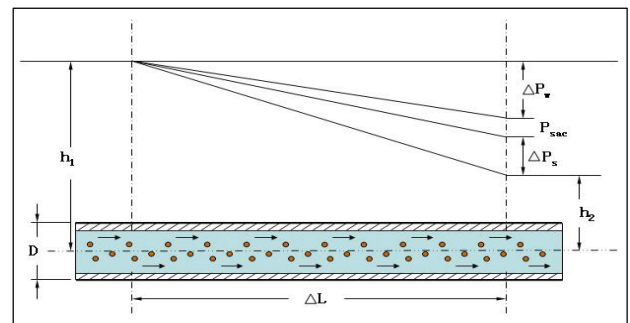
2. ทฤษฎี

การไหลในท่อของส่วนผสมระหว่างของแข็งกับของเหลวจะมีตัวแปรหลายตัวที่มีผลต่อค่าความดันสูญเสียในท่อ เช่น ความเข้มข้นของส่วนผสม ความเร็วในการไหล ขนาดของของแข็งที่ผสมในของไหล ความขรุขระของผิวท่อ การลื่นไถลระหว่างของของแข็งกับของเหลว เราจะศึกษาพฤติกรรมของการไหลของส่วนผสมระหว่างของแข็งกับของเหลวโดยวิเคราะห์จากสมการต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม และสมการพลังงานเพื่อคำนวณหาความดันสูญเสียที่เกิดขึ้น ความเร็วของการไหล ความเข้มข้นของส่วนผสมที่แตกต่างกัน และค่าความ

ดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในท่อแนวระดับและท่อเอียงทำมุมต่างๆ กัน

2.1 การสูญเสียความดันเมื่อวางท่อในแนวนอน

ในการคำนวณหาการสูญเสียความดันของของไหลผสมภายใต้สมมติฐานให้อุณหภูมิการไหลคงที่และเป็นการไหลแบบ Uniform steady flow ตามแนวแกน

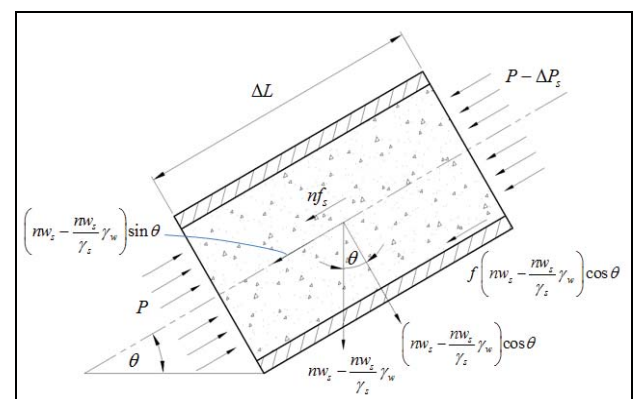


รูปที่ 1 แสดงความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในท่อแนวนอน

เมื่อพิจารณาการสูญเสียความดันของการไหลของของไหลผสม ค่าความดันสูญเสียของของไหลผสมสามารถหาได้จากค่าความดันสูญเสียของของเหลวรวมกับของแข็ง

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

2.2 การสูญเสียความดันเมื่อวางท่อแนวเอียงทำมุม θ



รูปที่ 2 ความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในท่อเอียงทำมุม

ในกรณีที่ท่อเอียงทำมุมต่างๆ กับแนวระดับ เพื่อหาค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยจะทำการศึกษาจากการไหลในท่อที่ความยาวควบคุม จากรูปพิจารณาภาคตัดของท่อ

ที่บริเวณ Section 1 และ Section 2 ตามความยาว ΔL ความเร็วเฉลี่ย U_m พิจารณาแรงกระทำ

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

จะได้ค่าความดันสูญเสียของของแข็ง (ΔP_s)

$$\Delta P_s = n \frac{f_s}{A} \quad (2)$$

โดยที่ Drag coefficient (f_s) หาได้จากสมการ

$$f_s = \frac{k}{Re_s^\varepsilon} \frac{\gamma_s}{2g} (U_m - U_s)^2 a \quad (3)$$

และค่า Re_s จะมีผลต่อค่า k และค่า ε

$$Re_s = (1 - \phi) \frac{d_s}{D} Re_e$$

โดยค่า k และ ε สามารถหาได้จากการพิจารณาค่า Re_s

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

ตารางที่ 1 แสดงค่า Re_s ที่มีผลต่อค่าและค่า k และค่า ε

เมื่อพิจารณาสมดุลของน้ำหนักจะได้ น้ำหนักของเม็ดพลาสติกกรรมกับน้ำหนักของน้ำเท่ากับน้ำหนักของทั้งหมด

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

$$n = \frac{\mu_s \gamma_w A\Delta L}{w_s \phi (1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s})} \quad (4)$$

จากสมการที่ (2) ค่า ΔP_s จะคลาดเคลื่อนเนื่องจากความเร็วของของไหลที่ส่ง เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค ความเข้มข้นของของแข็งที่ผสม ค่า η จะเป็นตัวคำนวณปรับค่าในสมการที่ (5)

$$\Delta P_s = \eta \cdot n \frac{f_s}{A} \quad (5)$$

แทนค่าสมการ (3) และ (4) ลงในสมการ (5) แล้วจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\Delta P_s = \left[\eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\varepsilon}}{2Re_s^\varepsilon} \frac{\left(\frac{D}{d_s}\right)^{1+\varepsilon}}{\phi} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{1}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right] \frac{\Delta L \gamma_w U_m^2}{D 2g} \quad (6)$$

ค่าความดันสูญเสียที่ได้จากสมการ (6) เป็นค่าความดันสูญเสียของของแข็ง (ΔP_s) ในการหาค่าความดันสูญเสียของของไหลผสม (ΔP) เราจะนำค่าความดันสูญเสียของของแข็ง (ΔP_s) แทนลงในสมการ (1) จะได้

$$\Delta P = \left[\lambda_w + \left(\eta \frac{3k\mu_s (1-\phi)^{2-\varepsilon}}{2Re_s^\varepsilon} \frac{\left(\frac{D}{d_s}\right)^{1+\varepsilon}}{\phi} \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \frac{1}{\left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s}\right)} \right) \right] \frac{\Delta L \gamma_w U_m^2}{D 2g} \quad (7)$$

จากรูปที่ (2) ห้อตราส่วนระหว่างความเร็วของอนุภาคและความเร็วเฉลี่ยภายใน โดยพิจารณาแรงภายในปริมาตรควบคุมที่เกิดจากส่วนผสมที่เป็นของแข็ง นำมาคิดสมดุลแรงจะได้สมการ

$$n \frac{w_s}{g} \frac{dU_s}{dt} = n \frac{w_s (U_m - U_s)^2}{U_t^2} \left(1 - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right) - f \left(n w_s - \frac{n w_s}{\gamma_s} \gamma_w \right) \cos \theta - \left(n w_s - \frac{n w_s}{\gamma_s} \gamma_w \right) \sin \theta \quad (8)$$

เมื่อ $\phi = \frac{U_s}{U_m}$ นำไปแทนค่าในสมการ (8)

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

พิจารณาเป็น Steady flow ($\frac{d\phi}{dt} = 0$)

$$\phi = 1 - \frac{U_t}{U_m} - \sqrt{f \cos \theta + \sin \theta} \quad (9)$$

Constant velocity of solid

$$U_t = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g d_s}{(k / Re_s^\varepsilon) \gamma_w} (\gamma_s - 1)} \quad (10)$$

Friction factor in turbulent flow

$$f = \left\{ \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon / D}{3.7} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}} \right) \right]^2} \right\} \quad (11)$$

Weight ratio

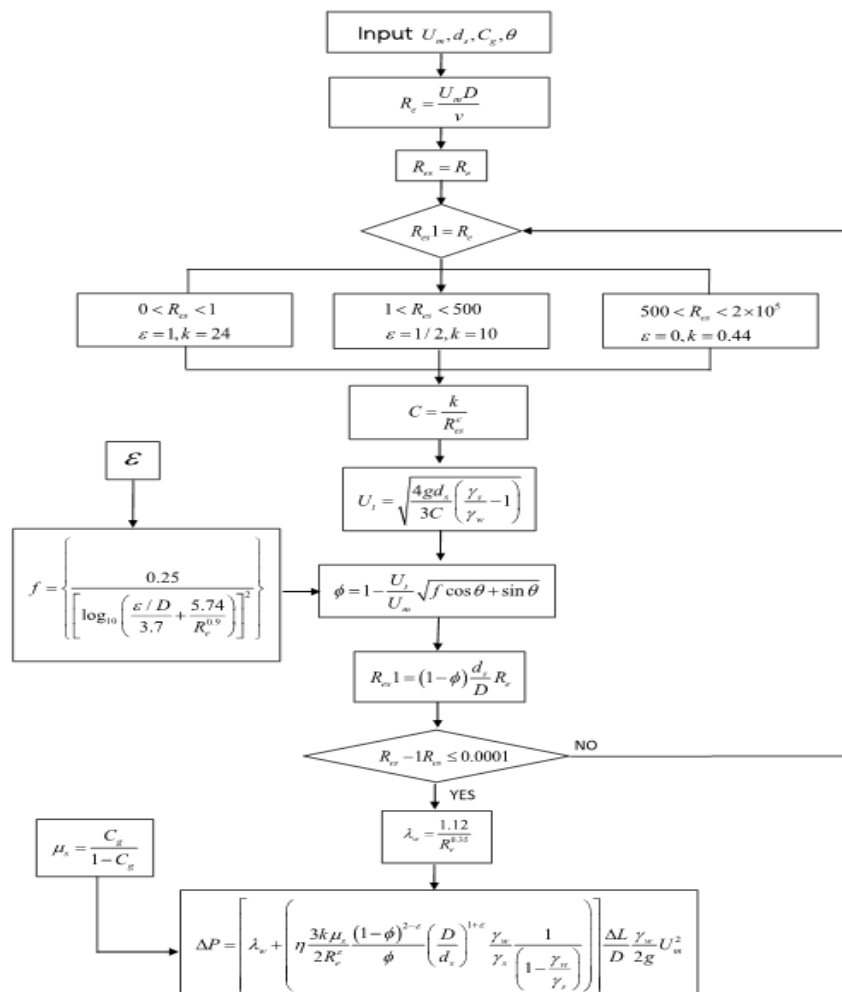
$$\begin{aligned} \mu_s &= \frac{w_s}{w_w} \\ C_g &= \frac{w_s}{w_s + w_w} \\ \text{ดังนั้น} \quad \mu_s &= \frac{C_g}{1 - C_g} \end{aligned} \quad (12)$$

Coefficient loss of Water

$$\lambda_w = \frac{1.12}{R_e^{0.35}} \quad (13)$$

3. วิธีการคำนวณ

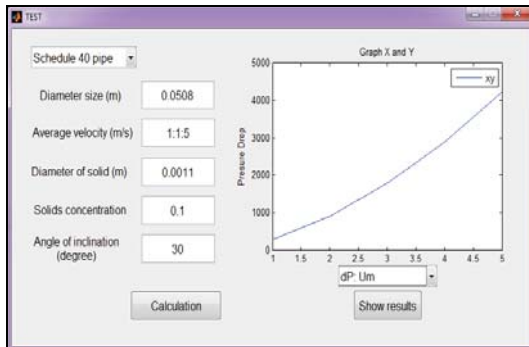
ทำการคำนวณหาความดันสูญเสียของของไหลผสมระหว่างของแข็งกับของเหลวที่เกิดขึ้นภายในท่อเอียงที่วางทำมุมต่างกันตั้งแต่ 0 – 90 องศาจากแนวระดับ ในอัตราส่วนผสม 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร และมีขนาดของส่วนผสมที่เป็นของแข็งที่ผสมในน้ำ คือ เม็ดพลาสติกขนาด 1.1 และ 2.91 mm โดยใช้สมการที่ได้ศึกษามาใช้ในการเขียนคำนวณด้วยโปรแกรมแมทแล็บเพื่อหาความดันสูญเสียและนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบความแตกต่างในสถานะที่แตกต่างกัน



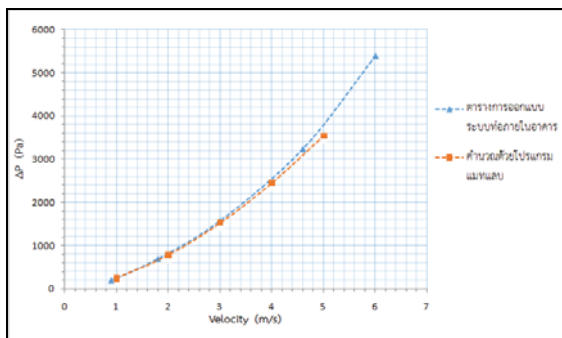
รูปที่ 3 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

4. ผลการการคำนวณ

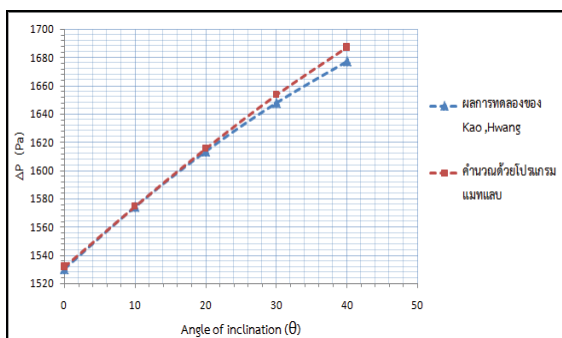
4.1 การทวนสอบโปรแกรมคำนวณค่าการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลของของไหลผสมในท่อเอียง



รูปที่ 4 หน้าต่างโปรแกรมสามารถกรอกค่าตัวแปรต่างๆ พร้อมทั้งแสดงผลการคำนวณและกราฟความสัมพันธ์



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียกับความเร็วน้ำ

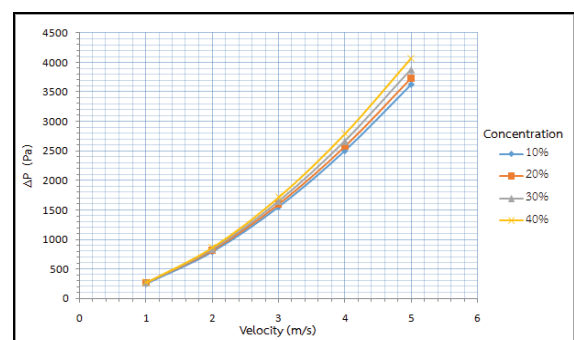


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียกับมุมเอียงของท่อของของไหลผสม ที่ความเร็ว 3 m/s, $\rho_s = 2475 \text{ kg/m}^3$, $d_s = 0.66 \text{ mm}$, $D = 51 \text{ mm}$, $C_g = 5.8 \%$

รูปที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมแมทแลบกับทฤษฎีการออกแบบระบบท่อภายในอาคาร กรณีของไหลเป็นน้ำที่ไหลในท่อผิวเรียบ จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ผลการคำนวณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากตารางทฤษฎีการออกแบบระบบท่อภายในอาคาร [8] รูปที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมแมทแลบกับผลการทดลองของ Kao, Hwang [6] กรณีของไหลเป็นของไหลผสมระหว่างน้ำกับยางมะตอยที่ไหลในท่อเอียงทำมุม 0, 10, 20, 30 และ 40 องศา จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ผลการคำนวณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากผลการทดลองของ Kao, Hwang

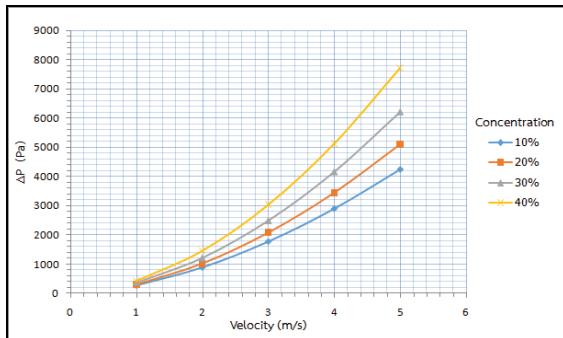
4.2 ผลการคำนวณการสูญเสียความดันการไหลของของไหลผสม

พิจารณาเป็นท่อผิวเรียบของไหลผสมคือน้ำผสมเม็ดพลาสติกขนาด 1.1 mm และ 2.91 mm ที่ความเร็วการไหล 1-5 m/s อัตราส่วนผสม 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ท่อเอียงทำมุม 0, 30, 60 และ 90 องศา

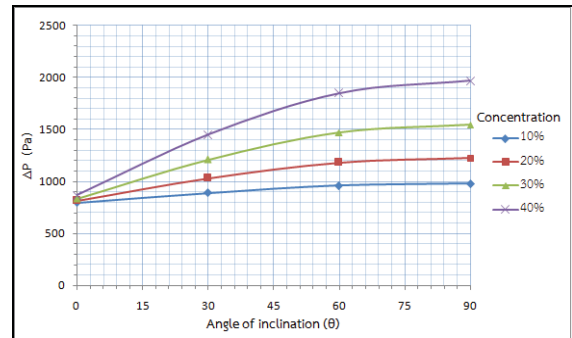


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียกับความเร็วน้ำผสมเม็ดพลาสติกขนาด 1.1 mm ท่อเอียง 0 องศา

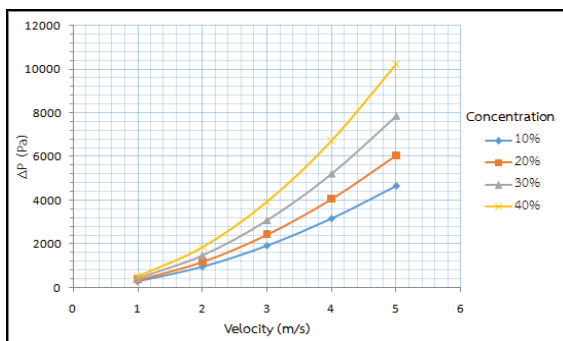
จากรูปที่ 7 จะพบว่าค่าความดันสูญเสียจะเพิ่มสูงขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับเม็ดพลาสติก โดยในช่วงความเร็ว 1-2 m/s อัตราส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นจะไม่มีผลต่อค่าความดันสูญเสียมากนักแต่จะเริ่มมีผลกระทบอย่างเห็นได้ชัดที่ความเร็ว 3-5 m/s



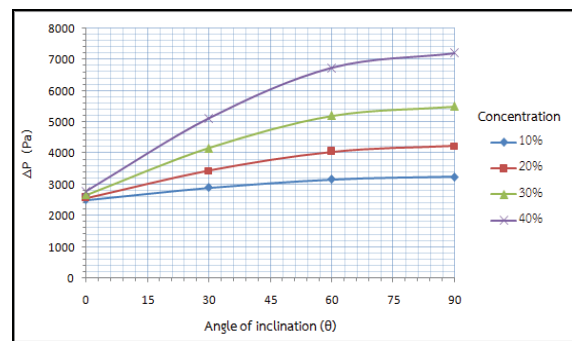
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียกับความเร็วน้ำผสมเม็ดพลาสติกขนาด 1.1 mm ที่เอียง 30 องศา



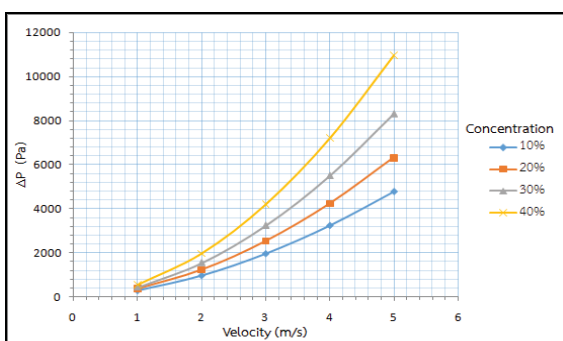
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียกับมุมเอียงของท่อของน้ำผสมเม็ดพลาสติกขนาด 1.1 mm ที่ความเร็ว 2 m/s



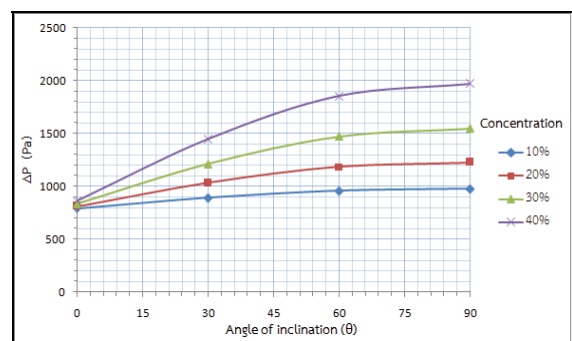
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียกับความเร็วน้ำผสมเม็ดพลาสติกขนาด 1.1 mm ที่เอียง 60 องศา



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียกับมุมเอียงของท่อของน้ำผสมเม็ดพลาสติกขนาด 1.1 mm ที่ความเร็ว 4 m/s



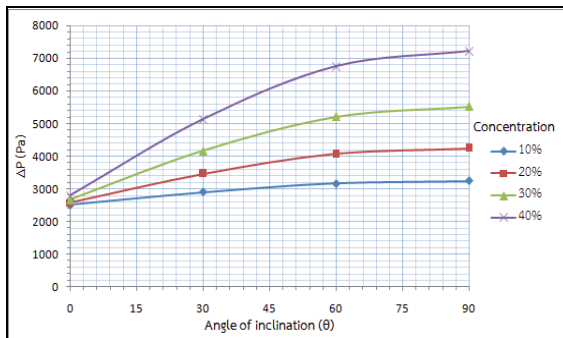
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียกับความเร็วน้ำผสมเม็ดพลาสติกขนาด 1.1 mm ที่เอียง 90 องศา



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียกับมุมเอียงของท่อของน้ำผสมเม็ดพลาสติกขนาด 2.91 mm ที่ความเร็ว 2 m/s

จากกราฟรูปที่ 8 9 และ 10 จะพบว่า ที่มุมท่อเอียง 30, 60 และ 90 ค่าความดันสูญเสียจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนผสม

จากรูปที่ 11 และ 12 พบว่ามุมเอียงของท่อที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความดันสูญเสียเพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับการเพิ่มของอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับเม็ดพลาสติก



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียกับมุมเอียงของท่อของน้ำผสมเม็ดพลาสติกขนาด 2.91 mm ที่ความเร็ว 4 m/s

จากรูปที่ 13 และ 14 พบว่าขนาดความโตของเม็ดพลาสติกที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น

5. สรุปผลการทดลอง

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสีย (ΔP) ค่าความเร็วเฉลี่ย (U_m) มุมการเอียงของท่อ (θ) และขนาดของอนุภาค (d_s) พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำกับเม็ดพลาสติก ความเร็วของการไหล มุมเอียงของท่อ และขนาดของอนุภาค จะส่งผลต่อค่าความดันสูญเสียที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น การออกแบบระบบขนส่งของไหลผสม จึงต้องคำนึงถึงตัวแปรดังกล่าวเพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียซึ่งจะอยู่ในรูปของการสูญเสียความดันไปกับแรงเสียดทานระหว่างของไหลผสมกับผิวท่อ และสูญเสียความดันกับการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมในการไหลในระบบท่อให้เหมาะสมกับการสภาพการใช้งานจริง

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 บทความจากวารสาร (Journal)

- [1] P. Doron, M. Simkhis and D. Barnea. (1997), Flow of solid-liquid mixtures in inclined pipes, Int. J. Multiphase Flow Vol. 23, No. 2, pp. 313-323,

- [2] D.R. Kaushal, Kimihiko Sato, Takeshi Toyota, Katsuya Funatsu, Yuji Tomita. (2005), Effect of particle size distribution on pressure drop and concentration profile in pipeline flow of highly concentrated slurry, International Journal of Multiphase Flow 31 pp. 809-823

- [3] V. Matousek. (2002), Pressure drops and flow patterns in sand-mixture pipes, Experimental Thermal and Fluid Science 26 pp. 693-702

- [4] P. Doron, D. Barnea.(1996), Flow Pattern Maps For Solid-Liquid Flow in Pipes, Int. J. Multiphase Flow, Vol. 22, No. 2, pp. 273-283

- [5]] Pinchas Doron and Dvora Barnea.(1995), Pressure drop and limit deposit velocity for solid-liquid flow in pipes, Chemical Engineering Science, Vol. 50, No. 10, pp. 1595-1604

- [6] Kao, D. T. Y. and Hwang, L. Y. (1979) Critical slope for slurry pipeline transporting coal and other solid particles. In Proc. of the 6th Int. Conf. on the Hydraulic Transport of Solids in Pipes, Canterbury, England, Paper A5, pp.57-74.

6.2 หนังสือ (Books)

- [7] Baha E. Abulnaga, P.E. (2002), Slurry systems handbook, New York, United states of America: McGraw-Hill

- [8] Ph.D. Prof. Variddhi Ungbhakorn (2000), Design of plumbing systems, Bangkok, Thailand

- [9] Bruce R. Munson, Donald F. Young and Theodore H. Okiishi. (2002) Fundamentals of Fluid Mechanics, 4ed., John Wiley & Sons, Inc.