

การออกแบบระบบส่งน้ำในท่อปิดสู่ชุมชน

โดยไมโครคอมพิวเตอร์

สมเจตน์ ทิมพงษ์*

บทคัดย่อ

หลังจากการประเมินความต้องการในค่านปริมาณ และแรงดันของน้ำพร้อมทั้งวางโครงข่ายระบบท่อที่จะต้องตอบสนองต่อชุมชนแล้ว วิศวกรต้องคำนวณหาความเหมาะสมของขนาดท่อ ความเร็วน้ำในท่อให้เหมาะสมที่สุดกับปริมาณและแรงดันโดยมีความสมบูรณ์ทางรายละเอียดในระบบ เช่น ข้อต่อ ข้องอ และวาล์วต่าง ๆ การคำนวณทั้งระบบของโครงข่ายที่ซับซ้อนใช้เวลา นาน เพราะต้องการ Trial and Error บทความนี้จึงประยุกต์วิธี Hardy Cross ให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมที่สุดกับไมโครคอมพิวเตอร์

1. บทนำ : หลักการไหลในท่อปิด (Close Conduit flow)

ระบบส่งน้ำสู่ชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรม ไซทอประปา และระบบสูบน้ำควบคู่กันไป การไหลในท่อปิดในที่นี้หมายถึงการไหลชนิดภายใต้ความดัน ซึ่งอาจเกิดจากแหล่งเก็บน้ำที่อยู่ในที่สูง หรือเกิดจากปั๊ม และเป็นการไหลเต็มท่อ ส่วนใหญ่ของการไหลชนิดนี้จะกระทำในระบบ เช่น ระบบส่งน้ำ ระบบส่งน้ำมัน หรือระบบขนส่งของไหลอื่น ๆ การกำหนดแนวทางจะคำนึงถึงความประหยัด ความปลอดภัยและแรงดันที่กระทำต่อท่อทั้งภายในและภายนอก โดยการวางท่อให้อยู่ต่ำกว่า เส้นลาดเชิงชลศาสตร์พอสมควรเพื่อให้ต่ำเกินไป เพื่อลดแรงดันของของไหลที่กระทำต่อตัวท่อ อันจะทำให้ไม่คงใช้ท่อที่ต้องรับแรงดันที่สูงเกินจำเป็น การออกแบบระบบน้ำสู่ชุมชนต้องคำนวณขนาดของท่อ อัตราการไหล ความเร็ว ความเสียหาย แรงดันของของไหลและอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กัน ย่อมต้องอาศัยหลักเกณฑ์ทางชลศาสตร์เข้ามาประยุกต์

บทความนี้จะกล่าวถึงการหาการกระจายของปริมาณน้ำไหลในท่อใด ๆ ของระบบโครงข่ายโดยวิธีการของ Hardy Cross ทำให้เกิดการสมดุลของการสูญเสียแรงขับในวงรอบวิธีการนี้ต้องการเวลามาก ถึงปรับให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมแก่การประยุกต์กับไมโครคอมพิวเตอร์ ยังมีรายละเอียดของหลักการคำนวณ และประยุกต์ออกแบบ สำหรับส่งน้ำเข้าสู่ชุมชน หรือโรงงานอุตสาหกรรม ดังต่อไปนี้

* อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2. การไหลในท่อชนิดไหลเต็มท่อ

2.1 ลักษณะของการไหลเต็มท่อยุ่ภายใต้แรงดันแยกพิจารณาได้เป็น 2 แบบ คือ เป็น การไหลแบบราบเรียบ และการไหลแบบอลวน ค่า Reynolds number (R) เป็นค่าที่ปราศจาก มิติใ้ให้นำมาใช้ในการอธิบายชนิดของการไหลในท่อ โดยที่

$$R = \frac{vD}{\nu} \quad \text{-----}(1)$$

ซึ่ง v = ค่าความเร็วเฉลี่ย (เมตร/วินาที)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (เมตร)

ν = ความหนืดจลน์ (ตร. เมตร/วินาที)

ถ้า $R < 2000$ การไหลจะเป็นชนิดราบเรียบ และ

$R > 2000$ การไหลจะเป็นชนิดอลวน

การหาความเร็วเฉลี่ยในท่อที่มีการไหลอยู่ภายใต้แรงดัน วิธีการที่นิยมใช้ คือ วิธี การของ Hazen-Williams ที่กล่าวว่า ความเร็วของน้ำจะขึ้นอยู่กับรัศมีเชิงกลศาสตร์ ความ ลาดเชิงกลศาสตร์ และค่า ส.ป.ส. ของผิวท่อ เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$v = 1.318CR^{0.63} S^{0.54} \quad \text{-----}(2)$$

โดยที่ v = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำ, ฟุต/วินาที

C = ส.ป.ส. ความขรุขระของท่อ คูตารางที่ 1

R = รัศมีเชิงกลศาสตร์ = $D/4$ (ไหลเต็มท่อ), ฟุต

S = ความชันของความลาดเชิงกลศาสตร์

ตารางที่ 1 ค่า ส.บ.ส. ความขรุขระของท่อ

| รายละเอียดของท่อ | C |
|---|-------|
| ท่อผิวลื่นมาก เช่น แอสเบสตอสซีเมนต์ | 140 |
| ท่อผิวลื่นปานกลาง เช่น ท่อคอนกรีต, ท่อเหล็กหล่อใหม่ | 130 |
| ท่อไม้, ท่อเหล็กเชื่อมใหม่ | 120 |
| ท่อเหล็กหมุดย่ำ | 110 |
| ท่อเหล็กหล่อใช้หลายปี | 100 |
| ท่อเก่าสภาพไม่ดี | 60-80 |

2.2 การสูญเสียแรงขับ (head loss) เกิดขึ้นเนื่องจากแรงต้านการไหล แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การสูญเสียหลัก (Major Loss) และการสูญเสียรอง (Minor Loss)

การสูญเสียหลัก คือ การสูญเสียเนื่องจากความยาวของท่อ วิธีการหาโดยใช้สมการของ Darcy-Weisbach ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ไว้ดังนี้

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{-----(3)}$$

โดยที่ h_f = ความสูญเสียหลัก, เมตร

L = ความยาวท่อ, เมตร

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ, เมตร

v = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำภายในท่อ, เมตร/วินาที

g = ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง = 9.806 เมตร/วินาที²

f = เฟคเตอร์ของความเสียดทาน

$f = \frac{64}{R}$ เมื่อเป็นการไหลแบบราบเรียบ

ถ้าเป็นการไหลแบบอลวน นิยมใช้สูตรของ Colebrook ดังนี้

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.57}{R \sqrt{f}} \right) \quad \text{----- (4)}$$

โดยที่ ϵ/D เรียกว่าความขรุขระสัมพัทธ์ รูปที่ 1

ϵ เป็นค่าแสดงคุณสมบัติของความขรุขระ หน่วยเป็น มม.

การสูญเสียรอง คือ การสูญเสียแรงขับเนื่องจากน้ำไหลผ่าน ข้อต่อ ข้องอ ข้อโค้ง และประคบน้ำแบบต่าง ๆ หรือสูญเสียเนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อ สมการที่ใช้หาการสูญเสียรองคือ

$$h_e = K \frac{v^2}{2g}$$

โดยที่ h_e = ความสูญเสียรอง

v = ความเร็วเฉลี่ย

K = ส.ป.ส. ของความสูญเสีย รูปที่ 2,3,4

การสูญเสียรอง เราสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของความยาวสมมูล (L_e) ได้ดังนี้

$$f \frac{L_e}{D} \frac{v^2}{2g} = K \frac{v^2}{2g}$$

$$L_e = \frac{KD}{f} \quad \text{----- (5)}$$

$$\therefore \text{การสูญเสียทั้งหมด } H_f = \frac{f(L+L_e)}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{----- (6)}$$

3. โครงข่ายของท่อ (Networks of pipes)

เป็นระบบการจัดส่งน้ำไปยังส่วนต่าง ๆ ประกอบด้วยท่อต่าง ๆ มาประกอบเข้าด้วยกันเป็นวงรอบ และเป็นโครงข่ายในที่สุด วิธีที่ใช้ในการหาแรงดัน และการกระจายของปริมาณการไหลในท่อของโครงข่าย คือวิธีการแก้ปัญหาแบบลองผิดลองถูก โดยอาศัยกฎวิธานคูล์ของการสูญเสียแรงขับในวงรอบเป็นหลัก และคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

1. ผลรวมทางพีชคณิตของความดันที่ลดลงในหนึ่งรอบของวงรอบจะต้องเป็นศูนย์

2. การไหลเข้าจะต้องเท่ากับการไหลออก

3. สมการของการไหลที่ใช้จะต้องเหมาะสมสำหรับแต่ละท่อ วิธีการดังกล่าวคือวิธีการของ Hardy-Cross โดยให้ความสัมพันธ์ของการสูญเสียแรงขับกับค่าอัตราการไหลใหม่ดังนี้

$$h_f = rQ^n \quad \text{----- (7)}$$

โดยที่ h_f = การสูญเสียแรงขับเป็น เมตร

r = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับ C, D และ L

Q = อัตราการไหล, ลบ. เมตร/วินาที

n = ค่าคงที่

= 1.85 (Hazen-William)

= 2 (Darcy-Weisbach)

จากสมการ (2)

$$Q = 1.318 C (D/4)^{0.63} (h_f/L)^{0.54} \pi D/4 \quad \text{(BS.)} \quad \text{----- (8)}$$

$$h_f = 4.727 LQ^{1.852} / (C^{1.852} D^{4.8704}) \quad \text{----- (9)}$$

$$r = 4.727 L / (C^{1.852} D^{4.8704}) \quad \text{----- (10)}$$

หรือ $h_f = 10.674 LQ^{1.852} / (C^{1.852} D^{4.8704}) \quad \text{(SI.Unit)} \quad \text{----- (11)}$

$$r = 10.674 L / (C^{1.852} D^{4.8704}) \quad \text{-----(12)}$$

จากสมการที่ (3) ของ Darcy-Weisbach

$$h = 0.8106 f L Q^2 / (g D^5) \quad (\text{SI unit}) \quad \text{-----(13)}$$

และ $r = 0.8106 f L / (g D^5) \quad \text{-----(14)}$

สมการ (10), (12), (14) เป็นค่าคงที่สำหรับแต่ละท่อ กรณี $f = 64/R$

จะได้ $r = 0.8106 \times 64 \times L/R \times g \times D^5$

กรณี $R > 2000$ พบว่า f ขึ้นอยู่กับ R และ ϵ/D เพื่อความสะดวกจึงขอใช้สูตรของ WOOD ซึ่งดัดแปลงมาจากสมการที่ (4) ดังนี้

$$f = a + bR^{-d} \quad \text{-----(15)}$$

โดยที่ $a = 0.094 (\epsilon/D)^{0.225} \quad 0.53 (\epsilon/D)$

$$b = 88 (\epsilon/D)^{0.44}$$

$$c = 1.62 (\epsilon/D)^{0.134}$$

ดังนั้นจะได้

$$r = 0.8106 (a + bR^{-c}) L/gD^5 \quad \text{-----(16)}$$

ในการหาค่าปรับแก้เพื่อให้ค่าสมมุติเริ่มแรก (Q_0) จากสมการ (7) ถูกต้องยิ่งขึ้น หาได้ดังนี้
ในแต่ละทอ Q_0 คือ ค่าสมมุติเริ่มแรก

$$Q = Q_0 + \Delta Q \quad \text{-----}(17)$$

โดยที่ $Q =$ คือ ค่าที่ปรับแก้แล้ว

$\Delta Q =$ คือ ค่าปรับแก้

ฉะนั้น

$$h_f = rQ^n$$

$$h_f = r(Q_0 + \Delta Q)^n = r(Q_0^n + n Q_0^{n-1} \Delta Q + \dots)$$

ถ้า ΔQ มีค่าน้อย ๆ เมื่อเทียบกับ Q_0 ค่าทั้งหมดในอนุกรมหลังจากสองเทอมแรกสามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นในแต่ละวงรอบ

$$h = \sum rQ |Q|^{n-1}$$

$$= \sum rQ_0 |Q_0|^{n-1} + \Delta Q \sum rn |Q_0|^{n-1} = 0 \quad \text{-----}(18)$$

ค่า ΔQ สามารถนำออกจากเครื่องหมายรวมได้เนื่องจากเหมือนกันทุกทอในวงจรร และต้องใส่เครื่องหมายเข้าไปเพื่อชี้ให้เห็นทิศทางการไหลของวงรอบ กล่าวคือ ถ้าเป็นการไหลทวนเข็มนาฬิกา เครื่องหมายของ rQ^n จะเป็นลบ ดังนั้นจะได้ค่าปรับแก้

$$\Delta Q = - \sum rQ_0 |Q_0|^{n-1} / \sum rn |Q_0|^{n-1} \quad \text{-----}(19)$$

ซึ่งค่า ΔQ จะนำไปใช้กับทุกท่อในวงรอบ กล่าวคือ จะนำไปบวกกับการไหลในท่อที่มีทิศทางตามเข็มนาฬิกา และนำไปลบออกจากการไหลที่มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

4. รายละเอียดการคำนวณ

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1 สมมุติการกระจายปริมาณการไหลเริ่มแรกในแต่ละท่อให้ที่ที่สุด โดยให้พิจารณาการไหลที่ต่อเนื่องในแต่ละจุดต่อ โดยอาศัยข้อมูลของท่อ เช่น ขนาดของท่อ และชนิดของท่อ

4.2 คำนวณการสูญเสียแรงขับจากสูตร $h_f = rQ^n$ ของแต่ละท่อในวงรอบ แล้วหาผลรวมของการสูญเสียแรงขับทั้งหมดในวงรอบ ซึ่ง $\Sigma h_f = \Sigma rQ_o |Q_o|^{n-1}$ ซึ่งเมื่อเท่ากับศูนย์ การไหลจะเข้าสู่สภาพสมดุลย์

4.3 คำนวณค่า $\Sigma nr |Q_o|^{n-1}$ ในแต่ละวงรอบ

4.4 หาค่าปรับแก้ ΔQ ในแต่ละวงรอบโดยใช้สมการที่ (19)

4.5 คำนวณค่าอัตราการไหลใหม่ที่ถูกต้องกว่าที่สมมุติไว้ครั้งแรก โดยใช้สมการที่ (17)

4.6 ทำซ้ำ ๆ โดยเริ่มที่ค่าของปริมาณการไหลที่หาได้ใหม่ จนกระทั่งได้ค่าอัตราการไหลที่ถูกต้อง

5. การโปรแกรมสำหรับการไหลคงตัว

ในการคำนวณหาอัตราการไหลในท่อใด ๆ ของโครงข่ายจะต้องเปลี่ยนการสูญเสียรอง ไหลอยู่ในรูปของความยาวสมมูล เพื่อสะดวกในการคำนวณ ยกเว้น ส่วนที่ต่อกับปั๊มที่ควรพิจารณาเฉพาะ

สำหรับระบบที่มีระดับ pressure head คงที่หลายจุด ดังรูปที่ 3 จะต้องใช้วงรอบเทียม (pseudo Loops) เข้าช่วย เพื่อหาค่าการไหลเข้าและไหลออกจากที่เก็บน้ำ และเพื่อให้เกิดการต่อเนื่องระหว่างการทำสมดุลย์ วงรอบเทียมสร้างขึ้นโดยการเชื่อมโยงระหว่างความดันคงที่ทั้งสองจุดด้วยท่อจินตภาพ ซึ่งในท่อนี้จะมีการไหลเข้า-ออก มีเพียง hydraulic grade

ใบแทรก

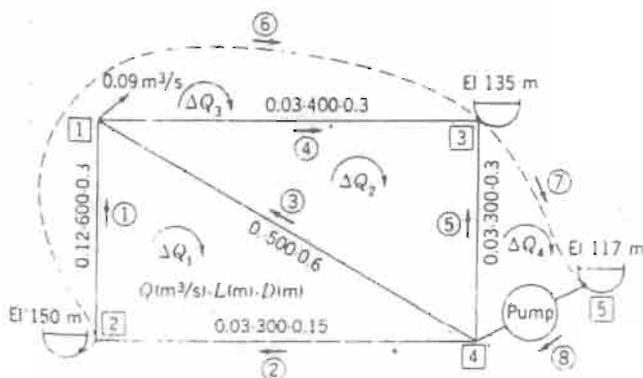
1. ให้เปลี่ยนหมายเลขหน้าที่ 12 เป็นหน้าที่ ๘๘
2. จากหน้าที่ ๗๔ ให้เติมสมการข้างล่างนี้เข้าไปในบรรทัดที่ ๘

$$\frac{dI}{dz} \lambda = -\mu_{\lambda} \cdot I_{\lambda} \dots\dots\dots(๒)$$

๓. ให้เปลี่ยนหมายเลขหน้าที่ ๘๘ เป็นหน้าที่ 12

Line ที่ตั้งที่ซึ่งเท่ากับผลต่างระหว่างระดับน้ำ ในที่เก็บน้ำทั้งสองที่ท่อจินตภาพเชื่อมต่อกัน ถ้าพิจารณา head drop เป็นบวกในทิศทางที่สมมุติเป็นบวกในท่อจินตภาพแล้ว ค่ารับแก้ในวงรอบที่ 3 จะได้

$$\Delta Q_3 = \frac{150 - 135 - r_4 Q_4 |Q_4|^{n-1} - r_1 Q_1 |Q_1|^{n-1}}{nr_4 |Q_4|^{n-1} + nr_1 |Q_1|^{n-1}} \quad \text{-----(20)}$$



รูปที่ 3 ตัวอย่างโครงข่าย

ค่ารับแก้ใช้กับท่อที่ 1 และ 4 เท่านั้น เนื่องจากท่อที่ 6 ไม่มีการไหล

เครื่องสูบน้ำที่นำมาต่อกับระบบ อาจพิจารณาเช่นเดียวกับชิ้นส่วนอื่น ๆ โดยให้การสูญเสีย head ที่เป็นลบเท่ากับ head ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการไหลที่ผ่านเครื่องสูบน้ำดังกล่าว ถ้าเขียนโค้งความสัมพันธ์ระหว่าง head และอัตราการไหลออก (pump - head - discharge curve) ของท่อที่ 8 ในรูปสมการกำลังสาม กล่าวคือ

$$H = A_0 + A_1 Q_8 + A_2 Q_8^2 + A_3 Q_8^3$$

โดยที่ A_0 คือ head ของปั๊มขณะปิด (shut off head) แล้วค่ารับแก้ในวงรอบที่ 4 จะเป็น

$$\Delta Q_4 = \frac{135 - 117 - (A_0 + A_1 Q_8 + A_2 Q_8^2 + A_3 Q_8^3) + r_5 Q_5 |Q_5|^{n-1}}{nr_5 |Q_5|^{n-1} - (A_1 + 2A_2 Q_8 + 3A_3 Q_8^2)}$$

เชื่อมต่ออยู่ ถ้า
 ำหรับแก่ในวงรอบ

<

----- (20)

โดยให้การ
 เครื่องสูบล

3 -

โดยที่ A_0 คือ head ของปั๊มขณะปิด (shut off head) แล้วค่าสัมประสิทธิ์ในวงรอบที่ 4 จะเป็น

$$\Delta Q_4 = \frac{135 - 117 - (A_0 + A_1 Q_8 + A_2 Q_8^2 + A_3 Q_8^3) + r_5 Q_5 |Q_5|^{n-1}}{nr_5 |Q_5|^{n-1} - (A_1 + 2A_2 Q_8 + 3A_3 Q_8^2)}$$

ค่าปรับแก้ใช้กับท่อที่ 5 และ ท่อที่ 8 ในวงรอบโครงสร้างของ Main Manu ของโปรแกรม แสดงใน Program 1 ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาได้อย่างกว้างขวางโดยใช้วิธีการสมดุลย์ในวงรอบของ Hardy-Cross ซึ่งใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ Hazen-William และ สูตรของ Darcy-Weisboch อีกทั้งสภาพการไหลเป็นแบบราบเรียบหรือแบบอลวน หรือใช้กับจุดต่อที่เป็นแหล่งเก็บน้ำ ซึ่งมีความดันคงที่และยังใช้กับระบบที่มีปั๊มช่วยแรงอัดการไหล และ ยังใช้กับระบบที่มีปั๊มช่วยแรงอัดการไหล และ ยังใช้กับหน่วยสากลหรือหน่วยอังกฤษ

โครงข่ายท่อประกอบด้วยท่อต่าง ๆ หลาย ๆ ท่อมาประกอบเข้าด้วยกัน ด้วยจุดต่อต่าง ๆ ท่อเหล่านี้รวมทั้งท่อที่มีปั๊มและท่อจินตภาพ การสูญเสียแรงขับต่าง ๆ ทำให้อยู่ในรูปความยาวสมมูลย์ และรวมเข้ากับท่อจริง ทิศทางการไหลถูกกำหนดไว้ในแต่ละท่อ ด้วยการกำหนดการไหลในทิศทางบวกที่เกิดจากปั๊มจะต้องเป็นจริงและจะไม่มีการไหลกลับ ในท่อจินตภาพนั้นไม่มีการไหลเข้าและออก มีเฉพาะผลต่างของระดับน้ำในที่เก็บน้ำเท่านั้น จุดต่อคือการที่ท่อเดียวไปสิ้นสุดหรือเป็นที่รวาของหลายๆ ท่อ อัตราการไหลในแต่ละท่อต้องสมดุลค่าไว้ในตอนแรก

โปรแกรมคำนวณแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ทั้งใน flow chart ที่ 5 ส่วนแรก ประกอบด้วยการทำสมดุลย์ในแต่ละวงรอบในระบบอย่างต่อเนื่องและทำซ้ำ ๆ จนผลรวมของค่าปรับแก้ของทั้งหมดเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าที่กำหนด (tolerance) ส่วนที่สอง เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาระดับ hydraulic grade Line ในแต่ละจุดต่อในระบบ ในแต่ละส่วนของขบวนการนี้ จะต้องให้ค่านีพิเศษเพื่อเป็นตัวบ่งชี้การแยกแยะท่อต่าง ๆ และแยกเป็นแต่ละวงรอบ คำนวณวงรอบใช้เวกเตอร์ IND โดยใส่อนุกรมของเลขจำนวนเต็มบวก เพื่อแยกออกเป็นแต่ละวงรอบ เริ่มค้นด้วยจำนวนท่อในแต่ละวงรอบ ตามด้วยหมายเลขท่อในแต่ละวงรอบ แล้วค้นวงรอบใหม่ในลักษณะเดิม ถ้าการไหลในท่อดำเนินมาทิศทางจะต้องให้ค่าเป็นบวก ถ้าทวนเข็มให้ค่าเป็นลบ

ส่วนที่สองของโปรแกรมจะต้องใส่หมายเลขจุดต่อที่รู้ค่า head หนึ่งหรือสองจุดต่อแล้วใส่ค่าอนุกรมเลขจำนวนเต็มบวก เริ่มค้นด้วยหมายเลขจุดต่อ ตามด้วยหมายเลขท่อ แล้วจุดต่อ

แล้วหมายเลขตามลำดับไปจนถึงจุดต่อที่เราต้องการทำ head ตามมีการหยุดเพื่อเริ่มต้น หมายเลขจุดต่อใหม่จะต้องใส่หมายเลขต่อเป็นศูนย์แล้วตามด้วยหมายเลขจุดต่อใหม่ที่รู้ค่า head ข้อมูลเหล่านี้เก็บไว้ในส่วนของเวกเตอร์ IX หมายเลขที่หอดังกล่าวจะให้ค่าเป็นแนวทางการไหลไปตามทิศทาง IX และให้ค่าเป็นลบอาการไหลวนทิศทางของ IX

อนึ่งรายละเอียดของโปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถติดต่อจากผู้เขียนได้โดย

ตรง

ห้างหุ้นส่วนจำกัด

ขอนแก่นไทยพีพิตันท์

KHONKAEN THAIPIPAT LTD., PART.

เลขที่ 71-75 ถนนหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

 236356, 237796, 239763

จำหน่าย เครื่องเหล็ก, เครื่องมือช่างกล, อุปกรณ์ก่อสร้าง, ประปา, ไฟฟ้า, สายไฟ, มอเตอร์, อุปกรณ์โรงสี, โรงเลื่อย, โรงมัน, โรงน้ำคาล, ของใช้ในโรงซ่อมต่างๆ **เอเยนต์** เครื่องอาหตุย รถแทรกเตอร์, สี่พ่นตราพัต, และสีทุกชนิด **โดยราคาเยา**

| Fitting | | Range of variation, % |
|-------------------------------|------------------------------|---|
| 90° elbow | Regular screwed | ±20 above 2-in size |
| | Regular screwed | ±40 below 2-in size |
| | Long radius, screwed | ±25 |
| | Regular flanged | ±35 |
| | Long radius, flanged | ±30 |
| 45° elbow | Regular screwed | ±10 |
| | Long radius, flanged | ±10 |
| 180° bend | Regular screwed | ±25 |
| | Regular flanged | ±30 |
| | Long radius, flanged | ±30 |
| T | Screwed, line or branch flow | ±25 |
| | Flanged, line or branch flow | ±35 |
| Globe valve | Screwed | ±25 |
| | Flanged | ±25 |
| Gate valve | Screwed | ±25 |
| | Flanged | ±50 |
| Check valve | Screwed | ±30 |
| | Flanged | +200 -80 |
| Sleeve check valve | | Multiply flanged values by 0.2 to 0.5 |
| Tilting check valve | | Multiply flanged values by 0.13 to 0.19 |
| Drainage gate check | | Multiply flanged values by 0.05 to 0.07 |
| Angle valve | Screwed | ±20 |
| | Flanged | ±50 |
| Basket strainer | | ±50 |
| Foot valve | | ±50 |
| Couplings | | ±50 |
| Unions | | ±50 |
| Reducers | | ±50 |

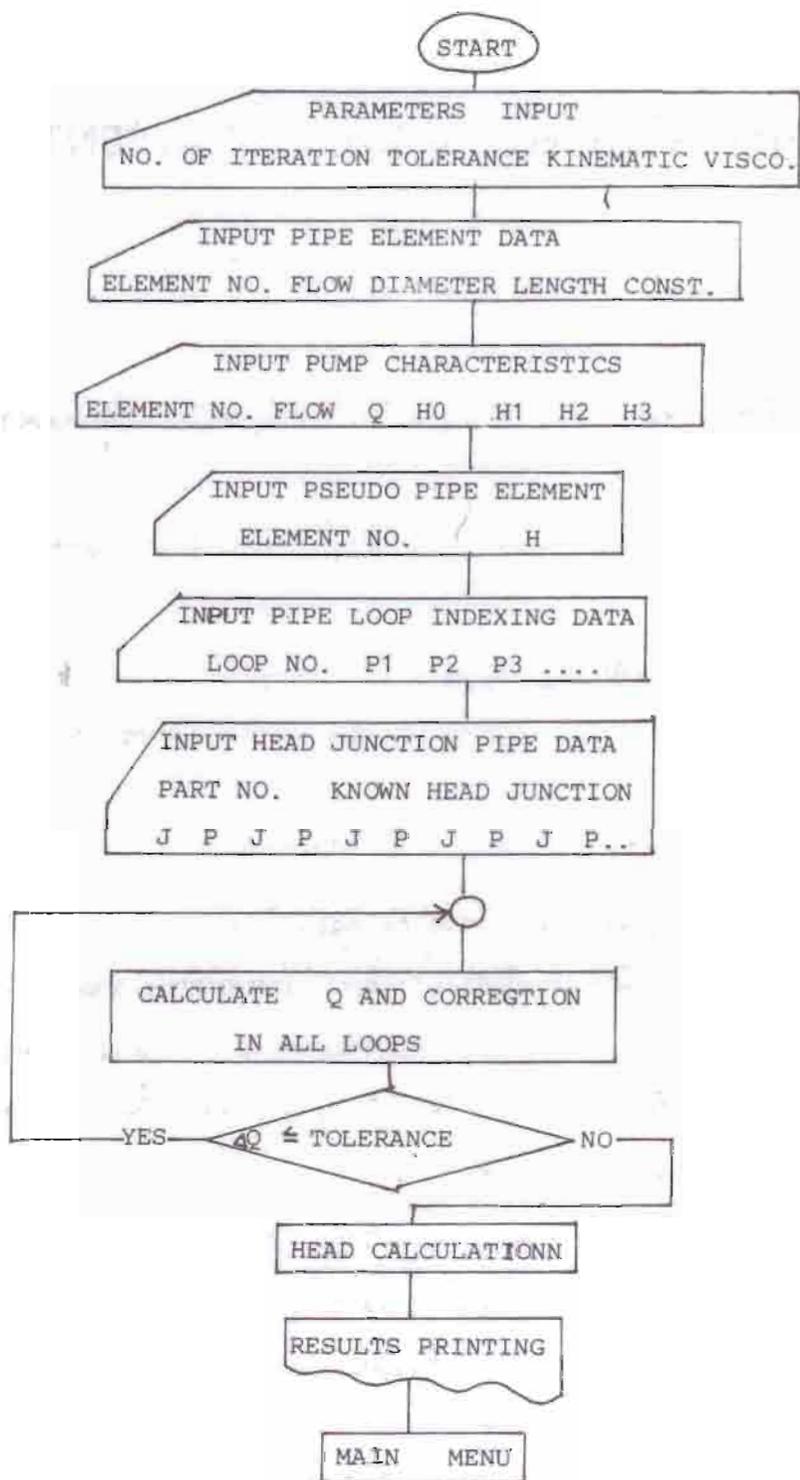
Notes
 1. The value of D given in the charts is nominal IPS (iron pipe size).
 2. For velocities below 15 ft/s, check valves, and foot valves will be only partially open and will exhibit higher values of K than that shown in the charts.

รูปที่ 4 การประมาณค่าการแปรเปลี่ยน K ในรูปที่ 4.2, 4.3

```

JPR#0          PROGRAM NO. 1 : MENU PIPE NETWORK
JLIST
20  REM ** MAIN PROG. TO ANALYSIS PIPE ENTWORK BY HARDY CROSS METHOD
40  HOME VTAB 3
60  DS = CHR$ (4)
80  HTAB 10 INVERSE PRINT"PIPE NETWORK ANALYSIS" : PRINT : PRINT : NORMAL
120 PRINT : TAB 15 : PRINT "SELECT:" : PRINT
140 HTAB : 10 : PRINT " (1) INPUT PIPE ELEMENT"
160 HTAB : 10 : PRINT " (2) INPUT LOOP INDEX"
200 HTAB : 10 : PRINT " (3) INPUT PSDO LOOP"
220 HTAB : 10 : PRINT " (4) INPUT PUMP DATA"
240 HTAB : 10 : PRINT " (5) INPUT HEAD JUNC. PIPE"
260 HTAB : 10 : PRINT " (6) EXECUTE"
280 HTAB : 10 : PRINT " (7) QUIT"
285 HTAB : 10 : VTAB 18 : FLASH : INPUT "WHICH " : YS : NORMAL
290 X = VAL(YS) : IF X 1 OR X 7 THEN 285
300 GOTO 40
400 PRINT DS ; "RUN INPUT-PIPE ELMNT"
500 PRINT DS ; "RUN INPUT-LOOP INDX"
600 PRINT DS ; "RUN INPUT-PSDO"
700 PRINT DS ; "RUN INPUT-PUMP DATA"
800 PRINT DS ; "RUN INPUT-HJP"
900 PRINT DS ; "RUN HDCN2"
1000 PRINT DS ; "RUN MAIN MENU"
    
```

รูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการคำนวณโดยวิธี HARDY CROSS