

มาตรวัดน้ำในท่อราคาประหยัด*

สัจจะ เสกบุตร¹⁾

¹⁾ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัด
ขอนแก่น 40002

Email: hedogy@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี ในการนำมาตรวัดน้ำขนาดเล็กราคาถูก (เช่น ขนาด 15 มิลลิเมตร ที่ราคาประมาณ 770 บาท ต่อหน่วย) มาดัดแปลงเพื่อใช้วัดการไหลในท่อขนาดใหญ่ (เช่น ขนาด 300 มิลลิเมตร ซึ่งถ้าใช้มาตรสำเร็จรูป ราคาจะตกประมาณ 110,000 บาท ต่อหน่วย) การดัดแปลงทำโดยการต่อมาตรขนาดเล็กเข้ากับท่อที่ต้องการวัดการไหล ในลักษณะที่ทำให้เกิดการไหลแบบขนาน จากทฤษฎีพื้นฐานของการไหลในท่อพบว่า มีความสัมพันธ์ที่แน่นอนระหว่างการไหลผ่านมาตรกับการไหลในท่อที่ต้องการวัดการไหล ทำให้มีความเป็นไปได้ทางทฤษฎี ที่จะนำมาตรขนาดเล็กมาใช้วัดการไหลในท่อขนาดใหญ่ การเปรียบเทียบสมรรถภาพการทำงาน (ช่วงอัตราการไหลที่วัดได้ ความผิดพลาดของค่าที่อ่าน และ head loss) ระหว่างมาตรที่ดัดแปลง กับมาตรสำเร็จรูป พบว่า มาตรที่ดัดแปลง สามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับมาตรสำเร็จรูป อย่างไรก็ตาม ยังอาจมีอุปสรรคและข้อเท็จจริงอีกหลายอย่าง ที่ต้องทำการทดลองเท่านั้น จึงจะพบได้

คำสำคัญ : มาตรวัดการไหล การไหลในท่อนาน สมรรถภาพ ความผิดพลาด

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 7 มิถุนายน 2548 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2548

Economic Pipe Flow Meter^{*}

Sacha Sethaputra¹⁾

¹⁾ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002

Email: hedogy@yahoo.com

Abstract

Application of small inexpensive water flow meter (15 mm at approximately Baht 770 per unit) to measure flow in large pipe (300 mm at approximately Baht 110,000 per unit) is theoretically investigated. Small meter is attached to large pipe to create parallel flow. Using basic pipe flow theory, relationship between flow through the meter and flow in large pipe is established. The relationship confirms theoretical feasibility of the application. Performance comparison between the device and off-the-shelf meter for large pipe reveals that their performances are comparable. Comparison items include: ranges of measurable flow, associated errors and head losses. Laboratory investigation is yet to be conducted.

Keywords : Flow meter, Parallel Pipe Flow, Performance, Measurement error.

*

Original manuscript submitted: June 7, 2005 and Final manuscript received: June 30, 2005

บทนำ

ราคามาตรวัดน้ำที่ใช้วัดปริมาณการไหลของน้ำในท่อ เช่นในกิจการประปา มีราคาต่างกันมาก ระหว่างขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ยกตัวอย่างเช่น มาตรวัดน้ำชนิดที่ติดตั้งตามบ้านเรือนสำหรับขนาดท่อ 15 มิลลิเมตร ราคา 770 บาท ต่อหน่วย ขนาดท่อ 25 มิลลิเมตร ราคา 1,500 บาท ต่อหน่วย ในขณะที่มาตรวัดน้ำชนิดที่ติดตั้งในท่อส่งน้ำขนาดท่อ 300 มิลลิเมตร ราคา 110,000 บาท ต่อหน่วย ต่างกันเกิน 70 เท่า บทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี ในการนำมาตรวัดน้ำขนาดเล็กที่ราคาถูก มาดัดแปลงเพื่อใช้วัดอัตราการไหลในท่อขนาดใหญ่ โดยมีความหวังว่า อาจทำให้ราคาถูกลง โดยคุณภาพไม่ลดลงมากนัก

การวิเคราะห์

คำถามหลักที่จะต้องตอบ คือ เป็นไปได้ไหมในทางทฤษฎีที่จะใช้มาตรวัดน้ำขนาดเล็ก มาใช้วัดอัตราการไหลในท่อขนาดใหญ่ ถ้าเป็นไปได้แล้วข้อพิจารณาอื่นๆ เช่น ความผิดพลาด ความน่าเชื่อถือในการใช้งาน ฯลฯ เป็นอย่างไร เพื่อความชัดเจนในการอธิบายต่อไป คำว่า **อุปกรณ์** จะหมายถึงมาตรขนาดเล็กที่ดัดแปลงและวิเคราะห์ในบทความนี้ ในขณะที่คำว่า **มาตร** จะหมายถึง ตัวมาตรวัดน้ำขนาดเล็กที่กล่าวมา ส่วนคำว่า **มาตรสำเร็จรูป** จะหมายถึง มาตรสำหรับวัดการไหลในท่อขนาดใหญ่ ที่หาซื้อได้ทั่วไป

ทฤษฎี

การดัดแปลงมาตรวัดน้ำขนาดเล็ก เพื่อวัดอัตราการไหลในท่อขนาดใหญ่ เป็นไปตามรูปที่ 1 โดยมีท่อเล็กที่ติดตั้งมาตร ต่อพ่วงกับท่อใหญ่ในลักษณะที่ทำให้เกิดการไหลแบบขนานหรือ parallel flow (Streeter and Wylie, 1987) จากซ้ายไปขวา ในท่อทั้งสองจะมีรู (orifice) ที่ปรับได้เพื่อให้เกิดความต้านทานการไหลที่เหมาะสมในช่วงของการปรับเทียบ อัตราการไหลในท่อเล็ก(ที่ผ่านมาตร)คือ Q_1 ในขณะที่อัตราการไหลผ่านอุปกรณ์ คือ Q_T ถ้า P คือความดันเฉลี่ยที่ภาคตัดของท่อ, v คือความเร็วการไหลเฉลี่ยในท่อ, z คือระดับความสูงของภาคตัด, h คือการสูญเสียความดัน หรือ head loss, D คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของท่อ, f คือ ค่า Darcy-Weisbach Friction Factor, g คือค่าคงที่เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) และตัวห้อย 1 และ 2 แสดงท่อขนาดเล็กและใหญ่ตามลำดับ สมการพลังงานสำหรับแต่ละท่อในช่วงจากภาคตัด A ถึง ภาคตัด B เขียนได้ว่าเป็น

$$\begin{aligned} P_A/\gamma + v_A^2/2g + z_A &= P_B/\gamma + v_B^2/2g + z_B + h_1 \\ P_A/\gamma + v_A^2/2g + z_A &= P_B/\gamma + v_B^2/2g + z_B + h_2 \end{aligned}$$

เมื่อรวมทั้งสองสมการเข้าด้วยกันจะได้ว่า $h_1 = h_2$ (1)

¹ ใจเน้จ้ราคาของสินค้าของงานวิจัย ศูนย์ฯเอ็ม จ้ากัค ทั้มีผลเมื่อ 1 ธันวาคม 2547

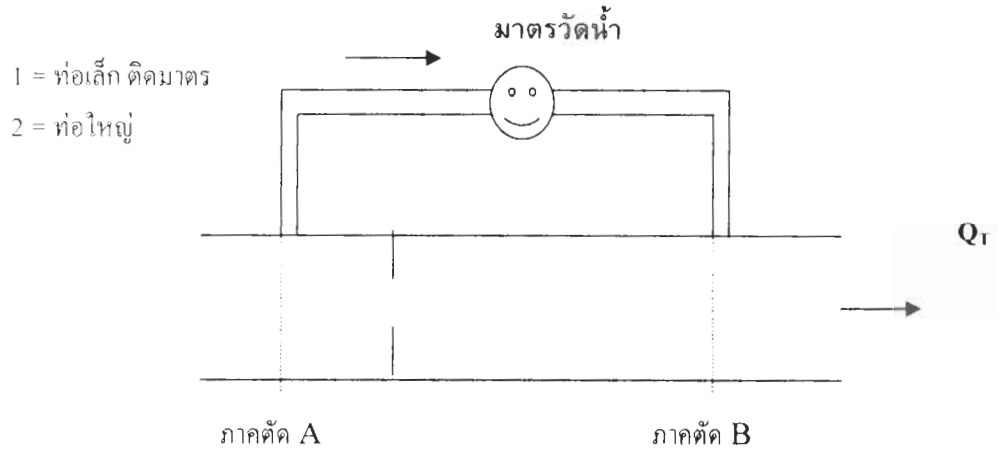
สมการ Darcy-Weisbach สำหรับแต่ละท่อ คือ

$$h_1 = r_1 Q_1^2 \quad (2)$$

$$h_2 = r_2 Q_2^2 \quad (3)$$

โดยที่ $r_1 = 8 f_1 L_1 / (g \pi^2 D_1^5) \quad (4)$

และ $r_2 = 8 f_2 L_2 / (g \pi^2 D_2^5) \quad (5)$



รูปที่ 1 อุปกรณ์สำหรับการวัดอัตราการไหล

เป็นค่าตัวแทนของความต้านทานการไหลในแต่ละท่อ โดยที่ L_1 และ L_2 คือความยาวท่อจริง รวมกับความยาวสมมูล (equivalent length) ที่เกิดจาก minor losses ในแต่ละท่อ

สมการ Continuity ที่ จุดต่อใดจุดหนึ่งของท่อทั้งสอง คือ

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad (6)$$

เมื่อแทนค่าสมการ (2) และ (3) ลงใน (1) แล้วใช้ (6) แก้จัด Q_2 จะได้

$$Q_T = A Q_1 \quad (7)$$

โดยที่ $A = 1 + (r_1/r_2)^{1/2} \quad (8)$

ในทางทฤษฎี สมการนี้ คือข้อพิสูจน์ว่า มีความเป็นไปได้ในทางทฤษฎีที่จะใช้มาตรวัดน้ำขนาดเล็ก มาใช้วัดอัตราการไหลในท่อขนาดใหญ่ เพราะอัตราการไหลในท่อทั้งสอง มีความสัมพันธ์ที่แน่นอนต่อกัน ตามสมการ (7) วิธีหา Q_T ทำได้โดยอ่านค่า Q_1 จากมาตร แล้วคูณด้วยค่า A (8) ในสมการนี้ ถ้าท่อเล็ก มีขนาดเล็กกว่าท่อใหญ่มากๆ A มีค่าโดยประมาณเท่ากับ $(r_1/r_2)^{1/2}$

ในกรณีที่การไหลในท่อทั้งสองเป็น turbulent flow ค่า friction factors, f และ r ในท่อทั้งสอง จะเป็นค่าคงที่ (ไม่ขึ้นกับ Reynold's Numbers) ทำให้ A เป็นค่าคงที่ด้วย แต่เนื่องจากการใช้งานอาจเกิดขึ้นในช่วงที่การไหลเป็น laminar flow จึงจำเป็นต้องศึกษาค่า A สำหรับการไหลทั้งสองช่วง การศึกษาค่า A จำเป็นต้องรู้ค่า friction factor f_1 และ f_2 ซึ่งขึ้นกับค่า Reynold's Numbers ของการไหล ในท่อนั้นๆ จาก Moody's Diagram ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยสมการตัวแทน (Swamee and Jain, 1976) ซึ่งเป็นสมการ empirical

$$f_1 = 1.325 / (\ln [\{ (e_1 / (3.7 D_1)) \} + 5.74 / R_1^{0.9}])^2 \quad (9)$$

$$f_2 = 1.325 / (\ln [\{ (e_2 / (3.7 D_2)) \} + 5.74 / R_2^{0.9}])^2 \quad (10)$$

และจากนิยามของ Reynold's Number, $R_1 = 4Q_1 / (\pi \nu D_1)$ (11)

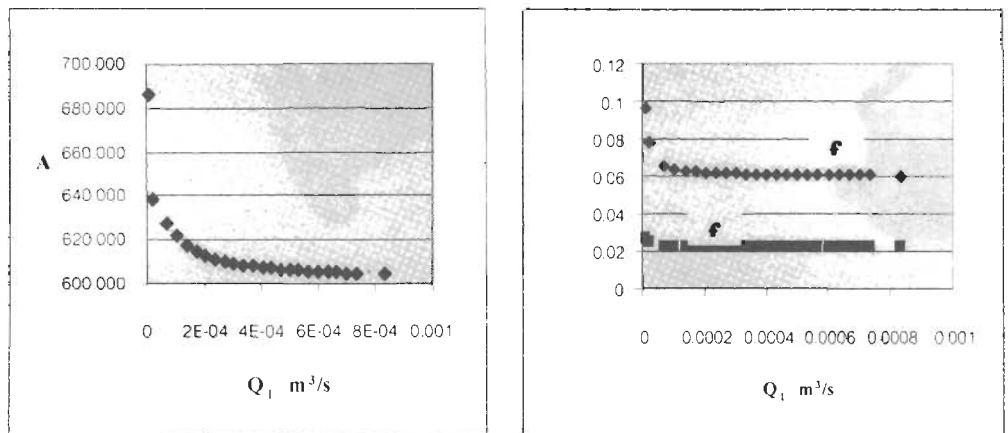
$$R_2 = 4Q_2 / (\pi \nu D_2) \quad (12)$$

โดยที่ e คือค่าความขรุขระของผิวด้านในของท่อ และ ν คือค่า kinematic viscosity ของน้ำที่ไหลในท่อ

ถ้ารู้ค่า D_1 , D_2 , L_1 , L_2 , e_1 , e_2 , g , และ ν ความสัมพันธ์ระหว่าง A กับ ค่า Q_1 จะหาได้จากสมการ (1) ถึง (5), (7) และ (9) ถึง (12) กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง A กับ ค่า Q_1 ที่กล่าวมา สำหรับค่าเริ่มต้น²ในตารางที่ 1 เมื่อนำมาพล็อตกราฟ จะได้ดังรูปที่ 2 ก จากเส้นกราฟพบว่า A ไม่เป็นค่าคงที่ ทำให้การเปรียบเทียบอุปกรณ์ยุ่งยาก และเป็นข้อด้อยหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรสำเร็จรูป สาเหตุจะเห็นได้จากรูปที่ 2 ข กล่าวคือ ในขณะที่ค่า f_2 แทบจะไม่เปลี่ยนแปลงกับ Q_1 (หมายความว่า การไหลในท่อใหญ่เป็นแบบ Turbulent flow) ค่า f_1 เปลี่ยนแปลงกับ Q_1 สำหรับช่วงซ้ายมือของกราฟ (ซึ่งหมายความว่า การไหลในท่อเล็กเป็นแบบ Laminar หรือ Transition flow)

$D_1 =$	0.015	m	$D_2 =$	0.3	m	$g =$	9.81	m/s ²
$L_1 =$	2.54	m	$L_2 =$	60.42	m	$\nu =$	0.000001	m ² /s
$e_1 =$	0.0005	mm	$e_2 =$	0.0005	mm			

ตารางที่ 1 มิติของอุปกรณ์ที่วิเคราะห์ และค่าเริ่มต้นที่ใช้คำนวณ



ก) ระหว่าง A กับ Q_1

ข) ระหว่าง f_1 และ f_2 กับ Q_1

รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ทางทฤษฎี

เพื่อหลีกเลี่ยงการเปรียบเทียบที่ยุ่งยาก การนำอุปกรณ์ไปใช้จึงต้องเลือกช่วงของกราฟที่ A เปลี่ยนแปลงภายในช่วงความผิดพลาดที่ยอมรับได้ เช่น ในช่วงที่ Q_1 มีค่าระหว่าง 0.000152 กับ 0.000833 m³/s ค่า A ที่อ่านได้จากกราฟจะเบี่ยงเบนไม่เกิน +/- 1% จากค่า A เฉลี่ย 610.47

² ค่าเริ่มต้นนี้ ได้จากการสมมุติว่า มาตรที่ติดตั้งในอุปกรณ์ และมาตรสำเร็จรูป ตรงกับสิ่งที่เปรียบเทียบในหัวข้อต่อไป

ความผิดพลาด

$$\text{จากสมการ (7) จะได้ว่า } |dQ_T / Q_T| = |dA / A| + |dQ_1 / Q_1| \quad (13)$$

ซึ่งตีความได้ว่า เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด³ ของอุปกรณ์ มีค่าเท่ากับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการใช้ค่าเฉลี่ย ของ A ที่กล่าวมา บวกกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมาตร ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการใช้ค่าเฉลี่ยของ A เท่ากับ $\pm 1\%$ และ เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของมาตรเท่ากับ $\pm 2\%$ เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดของอุปกรณ์จะมีค่าเท่ากับ $\pm 3\%$ สมการ (13) ได้มาจากสมการ (7) โดยวิธีการทาง Calculus

การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งาน

การเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งาน (performance) ทำระหว่างอุปกรณ์ กับ มาตรฐานรูปที่ 3 ซึ่งได้ทั่วไป รูปที่ 3 แสดงรูปร่างของมาตรขนาดเล็กที่ใช้ในอุปกรณ์ และมาตรฐานรูป ตารางที่ 2 เสนอการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างอุปกรณ์กับมาตรฐานรูป เพื่อที่ได้จากผลการวิเคราะห์ที่กล่าวมา



ก) มาตรขนาดเล็ก



ข) มาตรฐานรูป

รูปที่ 3 ภาพตัวอย่างมาตรขนาดเล็กที่เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ และภาพตัวอย่างมาตรฐานรูป

ข้อจำกัดของอุปกรณ์

แม้ว่าการเปรียบเทียบสมรรถภาพเบื้องต้นระหว่างอุปกรณ์ กับ มาตรฐานรูปในตารางที่ 2 จะแสดงว่า สมรรถภาพจะใกล้เคียงกัน แต่ก็ยังไม่ใช่ว่าอุปกรณ์ยังไม่ได้ทำขึ้นและทดสอบในห้องทดลอง นอกจากนั้น อุปกรณ์ก็ยังมีข้อจำกัดอื่นๆอีก ดังนี้

1 อัตราการไหลที่อุปกรณ์เริ่มอ่านค่าได้ ($Q_{revolve} = 103 \text{ liter/min}$) อาจจะสูงเกินไป มีความหมายว่า ถ้าอัตราการไหลในท่อต่ำมากๆ อุปกรณ์จะไม่สามารถวัดได้ (อุปกรณ์บอกค่า ปริมาณการไหลเป็นศูนย์ ในขณะที่ข้อเท็จจริงไม่ใช่)

³ นิยามของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด คือ (ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ ลบด้วย ค่าจริง) หรือด้วย ค่าจริง

- 2 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ อาจทำได้ด้วยความลำบาก กล่าวคือ อุปกรณ์ไวต่อการปรับเทียบมาก ประเด็นนี้ ไม่ได้วิเคราะห์ในบทความนี้
- 3 เสถียรภาพของอุปกรณ์ในขณะที่ใช้งาน ยังไม่ได้ทดสอบ และจะทดสอบได้จากการทดลองเท่านั้น
- 4 ในกรณีที่นำอุปกรณ์ไปวัดน้ำดิบที่อาจมีสิ่งสกปรกไหลมาด้วย สิ่งสกปรกอาจจะอุดตันอุปกรณ์ ได้ง่ายกว่าอุดตันมาตรสำเร็จรูป

ตัวที่เปรียบเทียบ	อุปกรณ์		มาตรสำเร็จรูป	สรุปการเปรียบเทียบ
	เฉพาะมาตร	อุปกรณ์ทั้งอัน ¹		
Qmin (m3/hr) อัตราการไหลต่ำสุดที่แนะนำให้ใช้	0.03 ที่ความผิดพลาดไม่เกิน +/- 5%	18 ที่ความผิดพลาดไม่เกิน +/- 6 %	18 ไม่ได้บอกไว้ในแผ่นพับ แต่เข้าใจว่าที่ความผิดพลาดไม่เกิน +/- 5%	อุปกรณ์ด้อยกว่าเล็กน้อย
ช่วงอัตราการไหลที่แนะนำให้ใช้ ที่ความผิดพลาดปกติ	0.12 ถึง Qmax (m3/hr) ที่ความผิดพลาดไม่เกิน +/- 2%	73 ถึง 1,829 (m3/hr) ที่ความผิดพลาดไม่เกิน +/- 3%	120 ถึง 1,200 (m3/hr) ที่ความผิดพลาดเท่าใดไม่ได้บอกไว้ในแผ่นพับ แต่เข้าใจว่าที่ความผิดพลาดไม่เกิน +/- 2%	อุปกรณ์ดีกว่า เพราะช่วงยาวกว่า แต่ที่ความผิดพลาดสูงกว่าเล็กน้อย
Qmax (m3/hr) อัตราการไหลสูงสุดที่แนะนำให้ใช้ ²	3 ที่ head loss 10 เมตรของน้ำ	1,829 ที่ head loss 10 เมตรของน้ำ	1,200 ผู้ผลิตไม่ได้บอกว่าที่ head loss เท่าใด	เปรียบเทียบไม่ได้
Qrevolve (liter/min) อัตราการไหลที่มาตรเริ่มอ่าน (หมุน)	0.17	103	ไม่ได้บอกไว้ในแผ่นพับ	เปรียบเทียบไม่ได้
ค่า minor loss coefficient	5.4 ถึง 10	4.5 ถึง 5.5	0.5 ถึง 1	อุปกรณ์ด้อยกว่า

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานระหว่างอุปกรณ์ กับ มาตรสำเร็จรูป

¹ คือการปรัยค่า r_1 หรือ r_2 เพื่อให้ค่าอ่านจากมาตร สอดคล้องกับปริมาณการไหล

² ค่าในคอลัมน์นี้ ได้จากทฤษฎีที่กล่าวมา

³ ถ้าสูงเกินไป จะทำให้ความแตกต่างของควมดันระหว่างหน้าและหลังมาตร สูงเกินกว่าที่มาตรนั้นได้

สรุป

ผลการวิเคราะห์พบว่า มีความเป็นไปได้ทางทฤษฎีที่จะนำอุปกรณ์ (ที่ได้จากการดัดแปลงมาตรฐานขนาดเล็ก) มาวัดปริมาณการไหลในท่อขนาดใหญ่ และจากการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์ กับมาตรฐานสำเร็จรูปที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน พบว่า อุปกรณ์นี้จะทำงานได้ใกล้เคียงกับมาตรฐานสำเร็จรูป

ขั้นตอนต่อไปที่ต้องดำเนินการคือ ต้องสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ ทำการทดลอง ศึกษาวิธีการผลิต และต้นทุนการผลิต เพื่อที่จะสรุปว่า สามารถผลิตได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำกว่ามาตรฐานสำเร็จรูปทั่วไปหรือไม่

อ้างอิง

- บริษัท ยูเอชเอ็ม จำกัด 2547 ใบแจ้งราคา, แผ่นพับมาตรฐานวัดน้ำMBA และ แผ่นพับมาตรฐานวัดน้ำAICO
- Victor L. Streeter, and E. Benjamin Wylie 1987 Fluid Mechanics First SI Metric Edition, McGraw Hill.
- P. K. Swamee and A. K. Jain, 1976, Explicit Equations for Pipe-Flow Problems, J.Hydr.Dv. Proc. ASCE, May 1976 pp657-664