หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่จำเป็นในการดำรงอยู่ของชีวิต ปราศจากอาหารและที่อยู่อาศัยมนุษย์เราอาจจะสามารถยังชีวิตอยู่ได้หลายวัน แต่ถ้าขาดอากาศหายใจ มนุษย์เราจะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้เลย แม้เพียงไม่กี่นาทีก็ตาม ที่สำคัญรองลงมาจากอากาศก็คือน้ำ น้ำเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการดำรงอยู่ของชีวิต เป็นสิ่งซึ่งธรรมชาติได้มอบให้แก่มนุษยชาติ โดยไม่คิดค่าตอบแทนใด ๆ ทั้งสิ้น ตลอดระยะเวลาอันยาวนานที่ผ่านมาอารยธรรมของมนุษยชาติได้เกิดขึ้นเป็นครั้งแรก ตามบริเวณลุ่มแม่น้ำอันอุดมสมบูรณ์ของโลก และได้วิวัฒนาการตามลำดับมาจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะ ตามบริเวณลุ่มน้ำต่าง ๆ นั้น มนุษย์มีน้ำสำหรับอุปโภคและบริโภค ได้อย่างพอเพียง สามารถทำการกสิกรรม และเกษตรกรรมได้อย่างเป็นผลดี อันเป็นรากฐานของความกินดีอยู่ดี ทำให้มนุษย์มีกำลังใจต่อสู้ และเอาชนะธรรมชาติ สร้างสรรอารยธรรมสืบต่อกันมาจนถึงปัจจุบัน

ครั้นต่อมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง หลังจากปฏิวัติอุตสาหกรรมอันยิ่งใหญ่ในระหว่างคริสศตวรรษที่ 17 ถึง 18 ความหนาแน่นของประชากรตามชุมชนต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ปริมาณความต้องการน้ำของชุมชนต่าง ๆ เพิ่มขึ้นเป็นหลายเท่าทวีคูณของความต้องการที่เคยมีอยู่ทั่วไปแต่เดิม ในขณะเดียวกัน ความก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมก็ทำให้เกิดโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นมากมาย ซึ่งโรงงานเหล่านี้มักจะปล่อยกากของเสียของโรงงานลงทิ้งตามแม่น้ำลำคลองต่าง ๆ ซึ่งเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติของมนุษย์ ทำให้การหาแหล่งน้ำที่เหมาะสม สำหรับการอุปโภคบริโภคของมนุษย์เป็นไปได้ลำบากขึ้น ดังนั้น ภาระความรับผิดชอบในเรื่องการหาน้ำสำหรับบริโภค อุปโภค ซึ่งแต่เดิมมาเป็นเรื่องของแต่ละบุคคลแต่ละครอบครัว ได้กลายมาเป็นภาระความรับผิดชอบของสังคมส่วนรวมร่วมกัน

เพื่อจะให้บริการน้ำอุปโภค บริโภค แก่ชุมชนร่วมกันจึงได้เกิด ระบบประปาชุมชน (Public Water Supply System) ขึ้น เพื่อทำหน้าที่ควบคุมดูแลแหล่งน้ำดิบที่เหมาะสม นำน้ำดิบดังกล่าวมาผ่านกระบวนวิธีการที่จำเป็น เพื่อให้เหมาะสมแก่การ

อุปโภคบริโภคของมนุษย์ และจากนั้นก็สูบจ่ายน้ำที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเหล่านี้ไปยังแต่ละครอบครัว แต่ละสถานที่ที่มีความต้องการใช้น้ำให้ทั่วถึงและเพียงพอต่อไป ในการนำน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบเข้ามาผ่านกระบวนการวิธีที่เหมาะสมนั้น โดยทั่วไปจะนำมาทางลำคลองส่งน้ำ หรือมาทางเส้นท่อก็ได้ แล้วแต่ความเหมาะสม แต่สำหรับการสูบจ่ายน้ำต่อไปตามอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ นั้น โดยทั่วไปจะกระทำโดยส่งผ่านเส้นท่อในลักษณะการไหลของน้ำเต็มท่อ(Flow under pressure) เสมอ เพราะให้ความปลอดภัยและสะดวกสบายแก่ผู้ใช้น้ำ ตลอดจนผู้ทำงานเกี่ยวข้องมากกว่าวิธีอื่นใดทั้งสิ้น ระบบของเส้นท่อที่นำน้ำจากจุดกำเนิด(Source)ไปจนถึงจุดใช้น้ำตามอาคารบ้านเรือนสถานที่ต่าง ๆ นี้ เรียกว่าระบบจ่ายน้ำ(Distribution System)

ระบบจ่ายน้ำเป็นส่วนสำคัญมากส่วนหนึ่งของระบบประปาชุมชน และในงานระบบประปาชุมชนโดยทั่วไป ราคาสำหรับท่อน้ำและส่วนที่เกี่ยวข้องจะเป็นส่วนสำคัญในราคางานทั้งหมด และในบางกรณีอาจจะสูงถึง 70 % ก็ได้ ระบบจ่ายน้ำเป็นส่วนสำคัญซึ่งจะนำน้ำไปยังผู้ใช้ทุกจุดในระบบจ่ายน้ำโดยปลอดภัย ไม่มีการเสื่อมคุณภาพของน้ำในระหว่างทาง และนำน้ำไปยังผู้ใช้ทุกจุดในระดับความดันน้ำ(Head) ที่เหมาะสม และใกล้เคียงกันทุกจุดในระบบจ่ายน้ำ

การวางท่อน้ำในระบบจ่ายน้ำ โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1.1.1 วางท่อแบบอนุกรม (Pipes in series) เป็นการวางท่อในลักษณะที่วางท่อต่างชนิดต่างขนาดกันต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ ดังแสดงตามรูป 1.1

ตามภาพ 1.1

Q1 เป็นอัตราการไหล (Flow rate) ในเส้นท่อ AB

Q2 เป็นอัตราการไหล ในเส้นท่อ BC

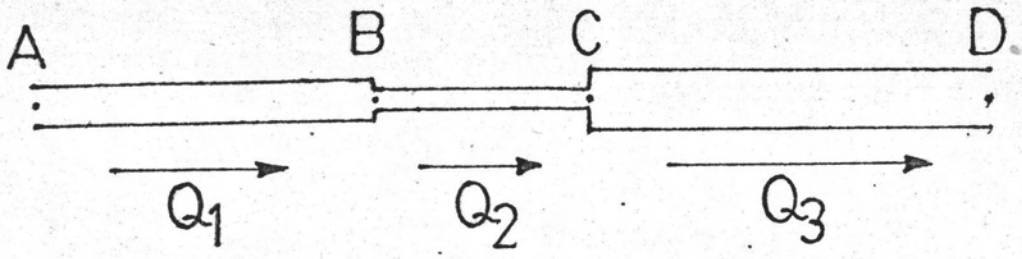
Q3 เป็นอัตราการไหล ในเส้นท่อ CD

หลักสำคัญของการไหลของน้ำในการวางท่อแบบอนุกรม คือ

(1) อัตราการไหลในเส้นท่อแต่ละเส้นท่อมีค่าเท่ากัน คือ $Q_1 = Q_2 = Q_3$ .....

(2) ผลรวมค่าความลดระดับความดันน้ำ(Total Head Losses) จากจุดแรกถึงจุดสุดท้าย มีค่าเท่ากับผลบวกของค่าความลดระดับความดันน้ำ (head loss) ของแต่ละเส้นท่อที่มาต่ออนุกรมกัน กล่าวคือ

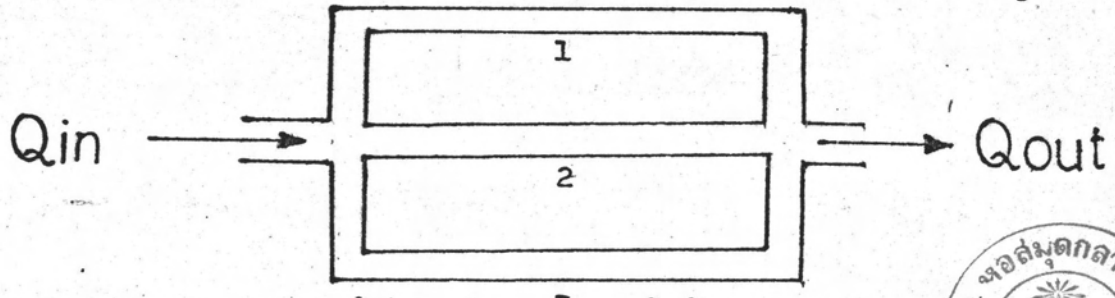
ผลรวมค่าความลดระดับความดันน้ำ = ค่าความลดระดับความดันน้ำในเส้นท่อ AB + ค่าความลดระดับความดันน้ำในเส้นท่อ BC + ค่าลดระดับความดันน้ำในเส้นท่อ CD+ .....



รูปที่ 1.1 แสดงการวางท่อแบบอนุกรม

1.1.2 การวางท่อแบบขนาน

เป็นการวางท่อในลักษณะขนานกันตั้งแต่ 2 ท่อขึ้นไป ดังแสดงในรูป 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงการวางเส้นท่อแบบขนาน

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

หลักสำคัญของการไหลของน้ำในเส้นท่อแบบขนาน คือ

(1) อัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออก เท่ากับผลรวมของอัตราการไหลของแต่ละเส้นท่อที่มาต่อขนานกัน กล่าวคือ

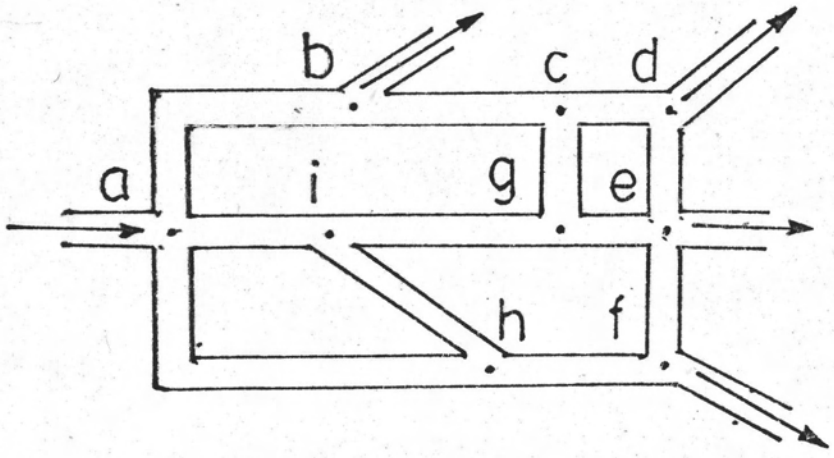
$$Q_{in} = Q_{out} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

(2) ค่าความลดระดับความดันน้ำในแต่ละเส้นท่อที่มาต่อขนานกัน มีค่าเท่ากัน เท่ากับค่าความลดระดับความดันน้ำของระบบท่อทั้งหมดโดยส่วนรวม กล่าวคือ

ผลรวมค่าความลดระดับความดัน = ค่าความลดระดับความดันในเส้นท่อ 1

= ค่าความลดระดับความดันในเส้นท่อ 2 = ...

1.1.3 การวางท่อในลักษณะข่ายงาน (Pipe Network) เป็นการวางท่อในลักษณะที่ทำให้เกิดเป็นวงจรของท่อจ่ายน้ำขึ้น ทำให้จุดที่มีการนำน้ำออกจากระบบ (Take off) ได้รับน้ำจากเส้นท่อได้หลายทาง การวางท่อในลักษณะข่ายงานท่อนี้ ให้ผลดีในการใช้งานมากกว่าแบบอนุกรมและแบบขนานแต่ก็มีความยุ่งยากในการคำนวณวิเคราะห์มากกว่า



รูป 1.3 แสดงการวางท่อแบบข่ายงาน

การวางเส้นท่อในแบบเป็นข่ายงานท่อน้ำ (Pipe network) นี้ มีข้อดีกว่าการวางท่อในแบบอนุกรม หรือขนานหลายประการด้วยกัน คือ

(1) สามารถให้ความดันในพื้นที่จ่ายน้ำได้ในระดับความดันน้ำที่สม่ำเสมอกันได้ดีกว่า

(2) เมื่อเกิดการอุดตันหรือซ่อมแซมจุดใดจุดหนึ่งในข่ายงานท่อน้ำ จะไม่ทำให้บริเวณท่อจากนั้นขาดน้ำเสียเลยทีเดียว เพราะยังมีน้ำไหลเข้ามาได้อีกจากทางอื่น

(3) เนื่องจากเป็นวงจรของข่ายงานท่อ ดังนั้นน้ำภายในข่ายงานท่อจะติดต่อหมุนเวียนถึงกันตลอด ถึงแม้บางขณะในบางส่วนจะไม่มีการนำน้ำออกจากระบบ แต่ส่วนอื่น ๆ ยังมีการนำน้ำออกจากระบบอยู่ น้ำในข่ายงานท่อทุกส่วนก็จะมีการหมุนเวียนถ่ายเทไปด้วย ไม่เกิดการกักน้ำอยู่ในท่อเป็นเวลานาน ซึ่งอาจจะทำให้น้ำเสื่อมคุณภาพได้

ปัจจุบัน การเพิ่มจำนวนประชากรทำให้ชุมชนขยายตัวออกไปอย่างรวดเร็วการวางระบบจ่ายน้ำจะต้องวางท่อน้ำในลักษณะข่ายงานท่อเท่านั้น จึงจะสามารถทำหน้าที่ให้บริการแก่ชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ และระบบข่ายงานท่อน้ำโดยทั่วไปในปัจจุบัน เป็นระบบข่ายงาน

ขนาดใหญ่มีจำนวนเส้นท่อมากมาย มีโรงสูบน้ำ (Pumping Station) หลาย ๆ โรง มักจะมีลักษณะผสมของการต่อท่อแบบขนานหรืออนุกรมในส่วนของเส้นท่อที่มาประกอบกันขึ้นเป็นข่ายงานท่อ และระบบข่ายงานท่อเองก็มักจะมีลักษณะของเส้นท่อแบบปลายปิด (Dead end) หรือแบบท่อเดี่ยว (Single Pipe) รวมอยู่ด้วยเสมอ ดังนั้นการวางระบบจ่ายน้ำในลักษณะเป็นระบบข่ายงานท่อ (Pipe Network System) จึงมีปัญหายุ่งยากมาก สำหรับวิศวกรผู้คำนวณออกแบบตลอดจนผู้ทำงานควบคุมเกี่ยวข้องกับระบบข่ายงานท่อ ปัญหายุ่งยากเหล่านี้ต้องการวิธีคำนวณวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อที่รวดเร็วมีประสิทธิภาพ ให้ผลถูกต้องและประหยัด เพื่อให้สามารถทำงานได้ผลดี และแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ทันความต้องการ

1.2 วิธีวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำวิธีต่าง ๆ ที่เคยมีมา

ได้มีผู้ทำการศึกษาค้นคว้าและเสนอวิธีการในการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำไว้มากมายหลายวิธีด้วยกัน วิธีสำคัญบางวิธีจะได้นำมากล่าวไว้โดยย่อดังต่อไปนี้

1.2.1 วิธีการลองและทดสอบแก้ไขโดยไม่มีการควบคุม (Uncontrolled trial and error method) วิธีการนี้เป็นวิธีการดั้งเดิมที่ใช้กันมา คาดว่าประมาณตั้งแต่เริ่มมีการใช้ท่อน้ำแบบไหลเต็มท่อ (Flow under pressure) มาเป็นท่อจ่ายน้ำ ภายหลังจากที่ ดาร์ซี่ – ไวส์บาคซ์ (Darcy-Weisbach) ได้เสนอสมการแสดงค่าความลดระดับความดันน้ำของเขา ในปี ค.ศ. 1857 จนถึงในระหว่างปี ค.ศ. 1936 ซึ่งยังไม่มีวิธีการใด ๆ ที่เป็นกระบวนการที่ให้ผลแน่นอนในการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำเลย หลักสำคัญที่ใช้ในวิธีการนี้มี 2 ประการ และเป็นหลักสำคัญสำหรับวิธีวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำทุกวิธีเท่าที่เคยมีมาจนถึงปัจจุบัน หลักสำคัญสองประการนี้สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้

$$Q_{in} = Q_{out} + Q_{ext} \quad \ldots\ldots(1)$$

$$\sum h = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

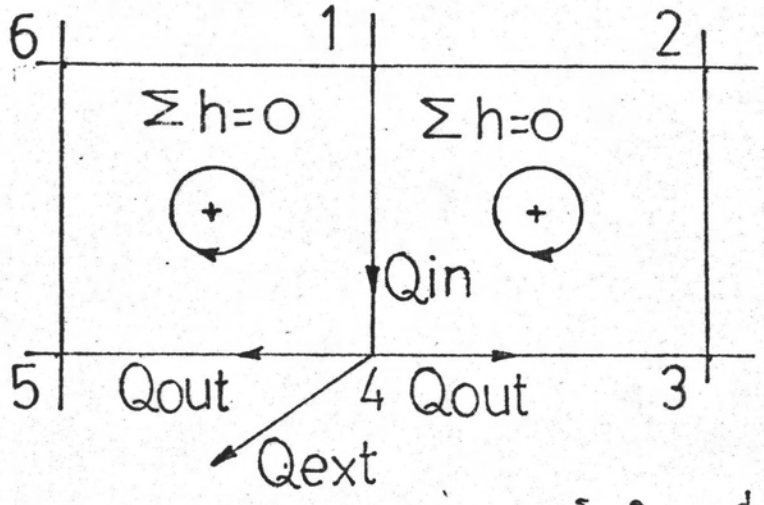
เมื่อ (ดูรูป 1.4 ประกอบ)

Q_{in} เป็นอัตราการไหลเข้าที่จุดตัดใด ๆ

Q_{out} เป็นอัตราการไหลออกจากจุดตัดใด ๆ ไปตามเส้นท่อในระบบข่ายงานท่อน้ำ

Q_{ext} เป็นอัตราการไหลออกจากจุดตัดใด ๆ ออกไปนอกระบบข่ายงานท่อน้ำ

$\sum h$ เป็นผลรวมค่าความลดระดับความดันน้ำ รอบวงใด ๆ โดยมีเครื่องหมายของค่าความลดระดับความดันน้ำตามแต่จะกำหนดให้ เช่นกำหนดให้ค่าความลดระดับความดันน้ำที่เกิดจากการไหลของน้ำในเส้นท่อ เมื่อมองเทียบกับวงนั้นเป็นในลักษณะตามเข็มนาฬิกา มีค่าเป็นบวกและที่ทวนเข็มนาฬิกาเป็นลบ

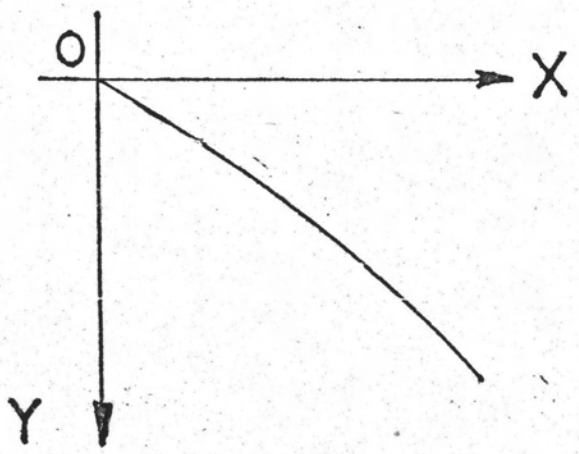


รูป 1.4 แสดงความหมายตามสมการ (1) และ (2) โดยพิจารณาที่จุด 4

วิธีคำนวณทำได้โดยเดาค่าอัตราการไหลในเส้นท่อทุกเส้นท่อในระบบข่ายงานท่อแล้วลองคำนวณดูให้ได้ถูกต้องตามสมการ (1) และ สมการ (2) ถ้ายังไม่สอดคล้องตามสมการ (1) และ สมการ (2) ก็เดาค่าอัตราการไหลใหม่ จนกว่าจะให้ค่าที่ทำให้สอดคล้องตามสมการ (1) และ สมการ (2)

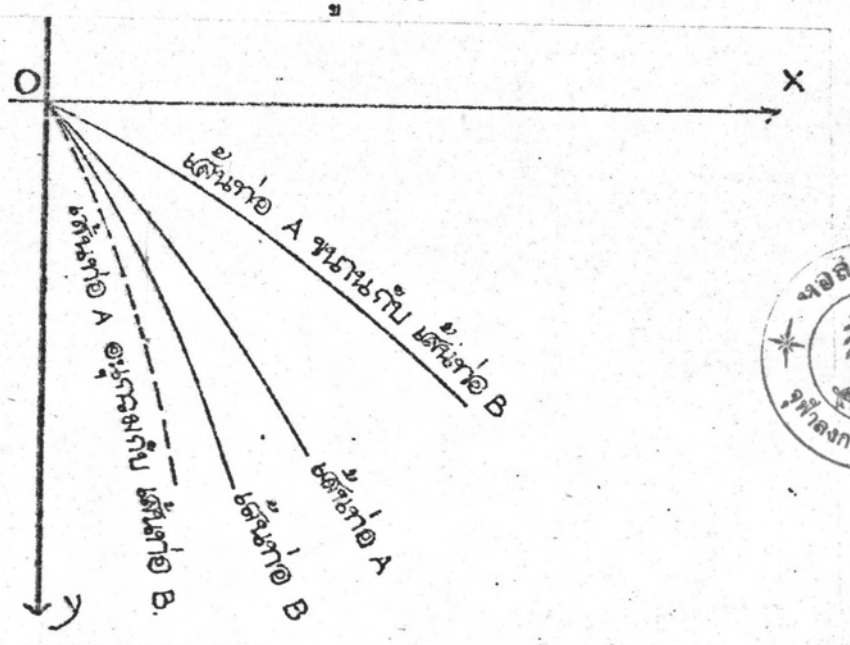
1.2.2 วิธีการแผนภาพของฟรีแมน (Freeman graphical method, 1892) ฟรีแมนเป็นคนแรกที่ได้เสนอวิธีการในการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำที่เป็นวิธีทางชลศาสตร์ที่มีแบบแผนและหลักการแน่นอนในการแก้ปัญหา แต่ก็ยังเป็นวิธีการแผนภาพที่มีขอบเขตจำกัดและยุ่งยากในการใช้งาน วิธีการของฟรีแมนอาศัยเส้นกราฟซึ่งเขียนขึ้นจากสมการความสัมพันธ์ของน้ำในเส้นท่อของ ฮาร์เซ่น – วิลเลี่ยม (Hazen - Williams) ของเส้นท่อทุกเส้นท่อในข่ายงานท่อ โดยนำเส้นกราฟเหล่านี้มาทาบทับกัน (Superimpose) ตามวิธีการของเขาสำหรับขอบเขต (Boundary conditions) ต่าง ๆ ของระบบข่ายงานท่อน้ำ

หลักการเบื้องต้นอย่างคร่าว ๆ ตามวิธีการของฟรีแมนทำได้โดยเขียนเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลในเส้นท่อ และค่าความลดระดับความดันในเส้นท่อจากสมการความสัมพันธ์ของฮาร์เซ่น – วิลเลี่ยม เช่นตามรูปแสดงที่ 1.5 สมมติให้เป็น เส้นกราฟแสดงค่าความลดระดับความดันน้ำของเส้นท่อ A แกน X เป็นค่าอัตราการไหลของน้ำในเส้นท่อ แกน Y เป็นค่าความลดระดับความดันน้ำ จากนั้น ก็นำเส้นกราฟของเส้นท่อต่าง ๆ ในระบบข่ายงานท่อมาทาบทับกัน (Superimpose) โดยมีหลักสำคัญว่า



รูป 1.5 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของน้ำในเส้นท่อและค่าความลดระดับความดันน้ำ

ในกรณีที่เส้นท่อหลายเส้นต่อขนานกัน เมื่อนำเส้นกราฟมาทาบทับกัน เส้นกราฟที่ได้ขึ้นมาใหม่จะเป็นเส้นกราฟที่มีค่าทางแกน X เท่ากับผลบวกของค่าทางแกน X ของเส้นกราฟทุกเส้นที่มาทาบทับกันและในกรณีที่เส้นท่อหลายเส้นต่อขนานกัน เส้นกราฟที่ได้ขึ้นมาใหม่จะมีค่าทางแกน X เท่ากับผลบวกของค่าทางแกน X ของเส้นกราฟทุกเส้นที่นำมาทาบทับกัน หลักการสองประการดังกล่าวนี้ แสดงในรูป 1.6



หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

รูป 1.6 แสดงการทาบทับกันและผลที่ได้ออกมาของเส้นกราฟตามวิธีการของฟรี่แมน

จากหลักการข้างต้นตามที่ได้กล่าวมาแล้ว จะสามารถดัดแปลงต่อไป ให้ใช้ได้กับขอบเขตต่าง ๆ (Boundary conditions) ที่สลับซับซ้อนยิ่งขึ้นไปอีกของระบบข่ายงานท่อน้ำ

1.2.3 วิธีการของฮาร์ดี้ครอส (Hardy Cross method, 1936)

วิธีการของฮาร์ดี้ครอส เป็นวิธีการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำที่เป็นวิธีการคำนวณโดยอาศัยหลักวิชาชลศาสตร์ โดยมีขั้นตอนในการคำนวณเป็นแบบแผนแน่นอนและเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด นับตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

วิธีการของฮาร์ดี้ครอส เป็นวิธีการแบบไอทีเรทีฟเทคนิก (Iterative Technique) ในการเดาและทดสอบค่า (Trial and Error) กล่าวคือ เป็นวิธีการเดาและทดสอบค่าเช่นเดียวกับวิธีการตามข้อ 1.2.1 แต่หลังจากการเดาค่าในครั้งแรกแล้ว จะสามารถคำนวณค่าแก้(Correction) ของแต่ละค่าที่เดาเอาไว้ได้ แล้วก็แก้ค่าที่เดาเอาไว้ครั้งแรก หลังจากนั้นก็คำนวณค่าแก้ใหม่และแก้ค่าของคราวที่แล้ว ทำวนเวียนเช่นนี้ไปทีละรอบ ๆ จนกว่าค่าแก้จะน้อยจนถึงขอบเขตที่พอใจ จากเหตุดังกล่าวนี้จึงกล่าวได้ว่า วิธีการของฮาร์ดี้ครอสเป็นวิธีการเชนิคที่ควบคุมได้ (Controlled)

วิธีการของฮาร์ดี้ครอส ใช้หลักสำคัญสองประการตามที่กล่าวไว้แล้วในข้อ 1.2.1 มาวิเคราะห์และสร้างสมการขึ้นมา สำหรับใช้เป็นค่าแก้ ค่าอัตราการไหลในเส้นท่อที่สมมติไว้ในวง (Loop) ใด ๆ ซึ่งในการคำนวณจะแก้ค่าอัตราการไหลที่สมมติไว้ในเส้นท่อ และวงไปทีละวง ๆ และทำซ้ำกันเป็นรอบ ๆ ไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่าแก้ในทุก ๆ วงได้ลดน้อยลงจนต่ำกว่าขอบเขตที่ต้องการ

สมการของฮาร์ดี้ครอส เขียนได้ดังนี้ คือ

$$\Delta Q = -\frac{\sum KQa^{x}}{\sum |xKQa^{x}|} \quad \text{-----(3)}$$

เมื่อ ΔQ คือ ค่าแก้สำหรับอัตราการไหลของทุก ๆ เส้นท่อในวงใด ๆ

K คือ ค่าคงที่ของเส้นท่อแต่ละเส้นในวงนั้น เป็นผลรวมทางคณิตศาสตร์ของคุณลักษณะของเส้นท่อ ขนาดของเส้นท่อ อุณหภูมิ และสภาพการไหลของน้ำในเส้นท่อ

Q_a คือ อัตราการไหลในเส้นท่อ กำหนดให้มีเครื่องหมายเป็นบวกเมื่อมองเทียบกับวงนั้นแล้ว เป็นการไหลทวนเข็มนาฬิกา และเป็นลบเมื่อตรงกันข้าม

x คือ ค่าคงที่สำหรับการยกกำลัง

1.2.4 วิธีการวิเคราะห์โดยตรงด้วยข่ายงานวงจรไฟฟ้า
(Electric Network Analyzer)

ได้มีผู้ค้นคว้าทำการทดลองและจัดสร้างข่ายงานวงจรไฟฟ้าขึ้น โดยถือว่าปรากฏการณ์ที่กระแสไฟฟ้า (Current) เดินในตัวนำไฟฟ้า ทำให้เกิดการลดศักย์ไฟฟ้า (Voltage drop) เป็นในทำนองเดียวกับการลดระดับความดันน้ำ เมื่อกระแสน้ำไหลไปตามเส้นท่อ และใช้ข่ายงานวงจรไฟฟ้านี้เป็นแบบจำลองรูปคล้าย (model)ของระบบข่ายงานท่อน้ำที่ต้องการจะวิเคราะห์

แคมป์ (Camp), โทมัส (Thomas), ฮาเซ่น (Hazen), และฮาโรลด์(Harold) ได้ร่วมกันจัดสร้างข่ายงานวงจรไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นแบบจำลองคล้าย (model) ของระบบข่ายงานท่อน้ำขึ้นเป็นครั้งแรก ในปี ค.ศ. 1933

แต่ค่าที่วัดได้โดยตรงจากข่ายงานวงจรไฟฟ้านี้ยังใช้การไม่ได้ดี เพราะตัวนำไฟฟ้าคือ เส้นลวดที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นเส้นท่อในระบบข่ายงานท่อน้ำนั้น ทำให้เกิดการลดศักย์ไฟฟ้าในรูปของกระแสไฟฟ้ายกกำลังหนึ่ง ในขณะที่การไหลของน้ำผ่านเส้นท่อนั้น ค่าความลดระดับความดันน้ำแปรผันโดยตรงกับค่ายกกำลังประมาณ 1.85 ถึง 2.00 ของค่าอัตราการไหลของน้ำ

ต่อมาได้มีผู้ทำการทดลองและพยายามปรับปรุงข่ายงานวงจรไฟฟ้าให้การทำงานได้ใกล้เคียงกันกับการทำงานของระบบข่ายงานท่อน้ำอีกหลายคน ที่สำคัญที่สุด คือ แมคอิลรอย (McIlroy) ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานไฟฟ้า(Electric Network Analyzer) ที่สมบูรณ์ที่สุดและให้ค่าต่าง ๆ สอดคล้องกับระบบข่ายงานท่อน้ำทุกประการ เครื่องวิเคราะห์ข่ายงานไฟฟ้าของแมคอิลรอยยังคงใช้กันอยู่ในที่หลายแห่งในประเทศสหรัฐอเมริกาในปัจจุบัน จุดสำคัญคือแมคอิลรอยสามารถสร้างตัวต้านทาน (Resistance) ชนิดพิเศษได้ ซึ่งมีคุณสมบัติต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกับที่เส้นท่อมีคุณสมบัติต่อการไหลของน้ำในเส้นท่อ

หลักสำคัญในการแทนกันได้ (Analog) ระหว่างเครื่องวิเคราะห์ข่ายงานไฟฟ้ากับระบบข่ายงานท่อน้ำ มี 6 ประการ (ดูรูป 1.7) คือ

$$Q \sim I \quad \text{----------} \quad (4)$$

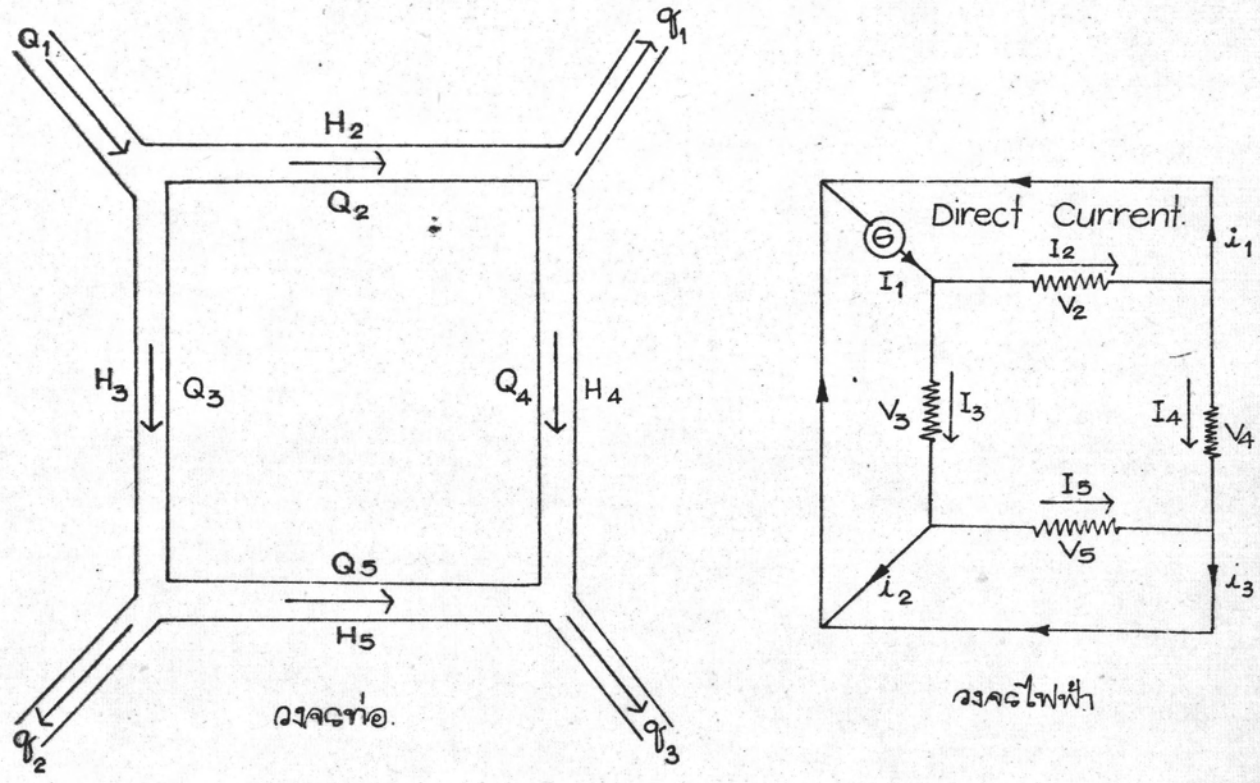
$$H \sim V \quad \text{----------} \quad (5)$$

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= Q_2 + Q_3 \\ I_1 &= I_2 + I_3 \end{aligned}\right\} \quad \text{----------} \quad (6)$$

$$\left.\begin{aligned} H_2 + H_4 &= H_3 + H_5 \\ V_2 + V_4 &= V_3 + V_5 \end{aligned}\right\} \quad \text{----------} \quad (7)$$

$$\left.\begin{aligned} H &= KQ^{1.85} \\ V &= KeI^{1.85} \end{aligned}\right\} \quad \text{----------} \quad (8)$$

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย



รูป 1.7 แสดงการแทนกันได้ (Analogies) ระหว่างวงจรท่อน้ำกับวงจรไฟฟ้า

1.2.5 วิธีการนำดิจิตอลคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้กับวิธีการของฮาร์ดี้ครอส

ในปี ค.ศ. 1957 โฮกและเวนเบิร์ก (Hoag and Weinberg) ได้เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ทำงานตามวิธีการของฮาร์ดี้ครอสขึ้นเป็นครั้งแรก ทำให้การทำงานซึ่งแต่เดิมเป็นงานคำนวณที่ยุ่งยากและต้องใช้เวลานานมาก กลับสามารถทำได้อย่างสะดวกรวดเร็วมาก และได้มีผู้ปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้ดีขึ้นอีกหลายคน ที่สำคัญคือ อาดัมส์ (Adams) ได้ใช้เทคนิคบางประการเข้าช่วยกับวิธีการของฮาร์ดี้ครอสเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาทำให้สามารถใช้งานได้กว้างขวางยิ่งขึ้น เช่น เทคนิคในการควบคุมความดันระหว่างโรงสูบน้ำหลาย ๆ แห่งสูบน้ำเข้าสู่ระบบจ่ายน้ำเดียวกัน ต่อมาเกลน วิลเลี่ยมส์ (Glen Williams) ได้วิเคราะห์สมการของฮาร์ดี้ครอส และได้เสนอตัวพารามิเตอร์ (Parameter) ซึ่งจะช่วยให้คอนเวอเจนส์ (Convergence) ของสมการของครอสเป็นไปได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และมีทางเป็นไปได้มากขึ้น ไม่ว่าในการเดาค่าอัตราการไหลครั้งแรกจะคลาดเคลื่อนไปมากเพียงใดก็ตาม

ต่อมา มาร์ติน (Martin), คาเรย์ (Carey), พาราสิท (Parasit) และ ฟริค (Frick) ได้ร่วมกัน เสนอเทคนิคประกอบ ทำให้สามารถใช้วิธีการของฮาร์ดี้ครอสวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำ ในเมื่อมีเครื่องสูบน้ำเพิ่มความดัน (Booster Pumps) อยู่ในระบบด้วย

1.2.6 วิธีการของมาร์ตินและปีเตอร์

(D.W. Martin and G. Peters Method, 1963)

มาร์ตินและปีเตอร์ (Martin and Peter) ได้นำเอาวิธีการทางคณิตศาสตร์ของนิวตัน ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์สมการไซมัลทานีอัส นอนลีเนียร์ อีเควชั่น (Simultaneous Nonlinear Algebraic equation) มาใช้ในการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำและได้เสนอแนะให้นำเครื่องดิจิตอลคอมพิวเตอร์เข้าช่วยด้วยในการทำงานของเขา การวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำนี้เขากล่าวว่า การคอนเวอเจนส์ (Convergence) เป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าวิธีการของฮาร์ดี้ครอส เพราะเป็นการแก้ความคลาดเคลื่อนในขณะเดียวกันของอัตราการไหลในทุก ๆ เส้นท่อในระบบข่ายงานท่อน้ำ

ถ้ากำหนดให้ P_i และ C_i เป็นค่าของความดันและอัตราการนำน้ำออกจากระบบที่จุดตัด i, R_{ij} เป็นค่าความต้านทานการไหลในเส้นท่อของเส้นท่อที่วางจากจุด i ถึงจุด j; และ F_{ij} เป็นอัตราการไหลจากจุด i ถึงจุด j

จากกฎแห่งความต่อเนื่อง ผลรวมทางพีชคณิตของอัตราการไหลที่จุดตัดใด ๆ รวมทั้งอัตราการนำน้ำออกจากระบบที่จุดนั้นรวมกัน ต้องมีค่าเป็นศูนย์

$$\sum_{j=1}^{N} F_{ij} - C_i = 0 \quad \text{-----(9)}$$

และสามารถเขียนสมการสำหรับจุดตัด N จุดได้โดยเขียนค่า i เท่ากับ 1,2,3 จนถึง N

อัตราการไหลของน้ำในเส้นท่อที่วางจากจุดตัด i ถึงจุดตัด j โดยทั่วไปสามารถเขียนได้ในรูปของ

$$F_{ij} = \text{Sign}(P_j - P_i)\left[\frac{|P_i - P_j|}{R_{ij}}\right]^{1/q} \quad \text{-----(10)}$$

ปัญหาที่พิจารณาคือ ทราบค่า C_i, R_{ij} และค่า P_i อยู่หนึ่งค่า ส่วนค่าอื่น ๆ ของ P_i เป็นค่าที่จะต้องคำนวณออกมาโดยวิธีทางคณิตศาสตร์ของนิวตัน โดยการแก้สมการ N สมการ เพื่อหาค่า P_2 ถึง P_N สมการ N สมการจะอยู่ในรูปดังนี้ คือ

$$f_1(P_1, P_2, \ldots P_N) = \sum_j \left[\text{Sign}(P_j - P_1)\left(\frac{|P_1 - P_j|}{R_{1j}}\right)^{1/q}\right]$$

$$-C_1 = 0$$

$$f_2(P_1, P_2, \ldots P_N) = \sum_j \left[\text{Sign}(P_j - P_2)\left(\frac{|P_2 - P_j|}{R_{2j}}\right)^{1/q}\right]$$

$$-C_2 = 0$$

$$f_N(P_1,P_2,\ldots P_N) = \sum_j [\mathrm{Sign}(P_j - P_N)\cdot(\frac{|P_N - P_j|}{R_{Nj}})^{1/q}]$$

$$-C_N = 0$$

(11)

1.3 ความมุ่งหมายในการวิจัย

จุดประสงค์ของการวิจัยนี้ก็เพื่อศึกษาถึงการนำวิธีการของครอฟอร์ด-เชโนเวท (Crawford- Chenoweth) ที่ได้เสนอไว้ในปี 1974 เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำ โดยครอฟอร์ด-เชโนเวท ได้เสนอว่า เราสามารถจะเดาค่าระดับความดันน้ำตามจุดต่อในระบบข่ายงานท่อน้ำได้ก่อน แล้วจึงแก้ค่าระดับความดันน้ำที่เดาไว้นี้จนถูกต้องได้เช่นเดียวกับที่เราเดาค่าอัตราการไหลของน้ำในเส้นท่อก่อน แล้วจึงค่อยแก้ค่าอัตราการไหลเหล่านี้จนถูกต้องตามวิธีการของฮาร์ดี้ครอส ทั้งนี้โดยอาศัยหลักสำคัญที่ว่า ณ จุดต่อใด ๆ ถ้าเราเดาค่าระดับความดันน้ำสูงเกินไป จะปรากฏว่าอัตราการไหลออกจะมากกว่าอัตราการไหลเข้าในขณะที่ถ้าเราเดาค่าระดับความดันน้ำต่ำเกินไป อัตราการไหลเข้าก็จะมากกว่าการไหลออก ซึ่งจากค่าที่ไม่เท่ากันนี้จะสามารถนำมาคำนวณเป็นค่าแก้ระดับความดันน้ำ ณ จุดต่อนั้นได้ ความมุ่งหมายในการวิจัยครั้งนี้มีดังนี้ คือ

(1) ตรวจสอบว่าวิธีการของครอฟอร์ด-เชโนเวท สามารถนำมาใช้งานได้จริงและเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อ

(2) นำผลที่ได้จากการคำนวณตามวิธีการของครอฟอร์ด-เชโนเวท ไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากระบบข่ายงานท่อน้ำจริงในห้องปฏิบัติการ

(3) หาขอบเขตในการใช้งานตลอดจนข้อบกพร่องของวิธีการนี้

(4) ทราบแนวทางที่จะประยุกต์นำวิธีการนี้ไปใช้กับงานชลศาสตร์อื่น ๆ

1.4 ขอบข่ายของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้จะทำการทดลองจริงกับการทำงานของระบบข่ายงานท่อจำลองที่จัดสร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการ และนำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณตามวิธีการของครอฟอร์ด–เชโนเวท ระบบข่ายงานท่อจำลองที่จัดสร้างขึ้น จะประกอบด้วยเส้นท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลม ระบบข่ายงานท่อทั้งระบบวางอยู่บนพื้นระดับเดียวกันตลอด ไม่มีเครื่องสูบยกระดับความดันน้ำ (Booster Pumps) อยู่ในระบบข่ายงานท่อเลย จุดสูบจ่ายน้ำ (Source) ถือเสมือนเป็นถังสูงหรือโรงสูบน้ำที่รักษาระดับความดันน้ำที่โรงสูบคงที่ตลอดเวลา ในกรณีที่นำค่าการสูญเสียระดับความดันย่อย (Minor Losses) เข้ามาคิดด้วย จะนำเข้ามาคิดในลักษณะเป็นความยาวของเส้นท่อเสมือน (Equivalent pipe) รวมเข้าไปกับความยาวของเส้นท่อจริง

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้บรรลุถึงจุดมุ่งหมายในการวิจัยนี้ จึงได้กำหนดขั้นตอนการวิจัยตามลำดับดังนี้

(1) ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อของครอฟอร์ด–เชโนเวท อย่างละเอียดถี่ถ้วน และศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ที่เคยมีมา

(2) จัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำตามวิธีนี้

(3) วางแผนจัดสร้างข่ายงานท่อจำลอง กำหนดขนาดตลอดจนชนิดและความยาวของเส้นท่อที่จะใช้ทุกเส้นท่อ

(4) จัดสร้างระบบข่ายงานท่อจำลองขั้นต้นพร้อมทั้งแผงพิโซมิเตอร์ (Piezometer panel) เพื่อวัดความดันที่จุดตัด

(5) ดำเนินการทดลองระบบข่ายงานท่อจำลองในสภาพทำงานต่าง ๆ แล้ววิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อตามสภาพการทำงานดังกล่าว โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Friction factor) ตามที่ใช้กันทั่วไปในการคำนวณและทดลองใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานตัวอื่นตามที่เห็นสมควร เพื่อให้ทราบช่วงค่าที่น่าจะเป็นไปได้ของค่าสัมประสิทธิ์

000664

ความเสียดทานของเส้นท่อในระบบข่ายงานท่อจำลองนี้

(6) จัดสร้างมาตรวัดแบบรูระบาย (Orifice Meter) ขึ้น 2 อัน แล้วทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (Coefficient of Discharge) และค่าคงตัวสำหรับค่าความลดระดับความดันย่อย (Coefficient of Minor Losses) ในห้องปฏิบัติการ

(7) ต่อข่ายงานท่อจำลองขั้นสุดท้ายขึ้นตามแบบที่กำหนดเอาไว้ โดยใส่มาตรวัดแบบรูระบายลงในบางเส้นท่อด้วย เพื่อตรวจสอบได้ทั้งค่าระดับความดันน้ำ และอัตราการไหลของน้ำในเส้นท่อบางเส้น

(8) ดำเนินการทดลองระบบข่ายงานท่อจำลองขั้นสุดท้ายในสภาพการทำงานต่าง ๆ แล้ววิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อน้ำในสภาพนั้น ๆ โดยใช้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานตามช่วงค่าที่หาได้จากข้อ (6) จนกว่าจะได้อัตราการไหลในเส้นท่อใกล้เคียงกับที่อ่านได้จากมาตรวัดแบบรูระบาย จากนั้นจึงใช้ค่าอัตราการไหลในเส้นท่อที่คำนวณออกมาได้นี้กลับไปหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่น่าจะเป็นไปได้ในทุก ๆ เส้นท่อ จากการทดลองจริงในหองปฏิบัติการ จากนั้นจึงวิเคราะห์ระบบข่ายงานท่อในสภาพดังกล่าวอีก โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่น่าจะเป็นไปได้ครั้งหนึ่ง จากนั้นจึงรวมค่าการสูญเสียระดับความดันย่อยในรูปของความยาวเสมือนของเส้นท่อ (Equivalent Length) ลงไปด้วย แล้วทำการวิเคราะห์คำนวณอีกครั้งหนึ่ง

(9) วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

(10) ให้ข้อเสนอแนะ