บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาข้อมูลสำหรับการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการวิจัยสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ ในเบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาขั้นตอนของระบบบำบัดน้ำเสีย และลักษณะของหน่วยกระบวนการในการบำบัดน้ำเสีย พบว่า ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพซึ่งเป็นระบบที่มีการใช้งานมากที่สุด จะมีการแบ่งขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1) การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น (Preliminary Treatment)
2) การบำบัดน้ำเสียขั้นแรกหรือขั้นที่หนึ่ง (Primary Treatment)
3) การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary Treatment)
4) การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สาม (Tertiary Treatment)

การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น จะเป็นการบำบัดน้ำเสียที่มีจุดมุ่งหมายในการแยกวัตถุที่ปนมากับน้ำเสียที่อาจเข้าไปทำอันตรายต่อระบบบำบัดในขั้นตอนถัดไปออกไปจากน้ำเสีย จุดมุ่งหมายอีกประการหนึ่งของการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น คือการลดความผันแปรของอัตราการไหลและสมบัติของน้ำเสีย เพื่อง่ายต่อการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนถัดไป หน่วยกระบวนการในการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นโดยทั่วไปจะประกอบด้วย

- ตะแกรงหยาบ (Coarse Screen Or Bar Rack) ทำหน้าที่ในการแยกขยะที่ลอยมากับน้ำเสียออก เพื่อมิให้ไปไปทำความเสียหายต่ออุปกรณ์ด้านท้ายน้ำ เช่น เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น ลักษณะของหน่วยกระบวนการนี้จะประกอบด้วย รางน้ำเสีย หรือท่อรับน้ำเสียเข้า ตัวตะแกรงหยาบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเป็นซี่ตะแกรงในแนวดิ่งเพียงอย่างเดียว วางทำมุมตั้งแต่ 45 ถึง 90° กับแนวราบหรือท้องราง และส่วนประกอบสุดท้ายคือ รางหรือท่อน้ำเสียหลังผ่านตะแกรง
- ถังแยกทราย (Grit Chamber) ทำหน้าที่แยกทรายหรือกรวดเล็กๆ รวมทั้งของแข็งที่หนัก และสามารถตกจมได้ง่าย ออกจากน้ำเสีย เพื่อป้องกันมิให้วัสดุเหล่านี้เข้าไปสะสมอยู่

ในหน่วยกระบวนการท้ายน้ำ ถังแยกทรายโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 4 ลักษณะ คือ ถังแยกทรายแบบไหลตามแนวนอน (Horizantal Flow Grit Chamber) ถังแยกทรายแบบน้ำวน (Vortex Grit Chamber) และถังแยกทรายแบบเติมอากาศ (Aerated Grit Chamber) และถังแยกทรายแบบสี่เหลี่ยม (Detritus Grit Chamber) ในด้านลักษณะทางชลศาสตร์ของหน่วยกระบวนการ ถังทุกแบบจะมีองค์ประกอบคล้ายกัน คือ ส่วนรางน้ำเข้าหรือท่อเข้าถัง ตัวถังแยกทราย ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมีรูปร่างต่างๆ กันไป บางชนิดทำให้เกิดความดันสูญเสียมากเช่น แบบน้ำวน บางชนิดทำให้เกิดความดันสูญเสียน้อยเช่น แบบเติมอากาศ ตัวถังแยกทรายอาจคิดเป็นรางและข้องอของรางได้ในกรณีที่น้ำในถังมีความเร็วสูง เช่น แบบน้ำวน แต่ในกรณีถังแยกทรายประเภทอื่น ตัวถังแคบไม่ทำให้เกิดความดันสูญเสียเพราะความเร็วในถังต่ำมาก ส่วนประกอบถัดมาของถังแยกทราย คือ ส่วนควบคุมระดับน้ำ เช่น เวียร์แบบอัตราส่วน (Proportional Weir) และเวียร์รูปสี่เหลี่ยม ใช้คุมระดับน้ำในถังโดยติดตั้งที่ด้านทางออกของถัง และส่วนประกอบสุดท้ายคือ ท่อหรือรางน้ำออก

- เครื่องตัดขยะ (Grinder Or Comminutor) ใช้สำหรับตัดขยะขนาดใหญ่ให้เล็กลงจนสามารถปล่อยเข้าไปพร้อมน้ำเสียได้ โดยไม่เป็นอันตรายต่อกระบวนการท้ายน้ำ ปัจจุบันไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้วิธีนี้มากนัก เนื่องจากเป็นการเพิ่มภาระให้กับกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นถัดไป ลักษณะของหน่วยกระบวนการนี้จะประกอบด้วย รางน้ำเข้าหรือท่อน้ำเข้า ตัวเครื่องตัดขยะ ซึ่งมีลักษณะทางชลศาสตร์ไม่ต่ำจากตะแกรงดักขยะมากนัก และส่วนสุดท้ายคือท่อหรือรางน้ำออก

- ถังปรับอัตราการไหลและสมบัติของน้ำเสีย (Equalization Tank) ใช้สำหรับลดความผันแปรของอัตราการไหลและสมบัติของน้ำเสีย แบ่งเป็น 2 แบบ คือ in-line และ side-line แบบ in-line เป็นแบบที่จะรับน้ำเสียมาพักในถังพัก ก่อนจะทำการสูบต่อไปยังระบบบำบัดด้านท้ายน้ำ ถังแบบนี้สามารถปรับลดความผันแปรของทั้งอัตราการไหลและสมบัติของน้ำเสีย ส่วนแบบ side-line เป็นแบบที่ใช้รองรับน้ำเสีย ส่วนที่เกินความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสีย มาพักไว้ก่อน แล้วค่อยสูบกลับเข้าระบบบำบัดด้านท้ายน้ำ ถังแบบนี้จะใช้ในการปรับลดความผันแปรของอัตราการไหลเท่านั้น ในด้านลักษณะทางชลศาสตร์ของหน่วยกระบวนการ ถังปรับอัตราการไหลและสมบัติของน้ำเสียทั้ง 2 แบบ จะมีลักษณะทางชลศาสตร์แตกต่างกันแบบ in-line จะมีส่วนประกอบ คือ ท่อหรือรางน้ำเข้า และตัวถัง ส่วนด้านน้ำออกจะเป็นการใช้เครื่องสูบน้ำ ส่วนแบบ side-line จะมีส่วนประกอบคือ ท่อหรือรางน้ำเข้า อุปกรณ์ผันน้ำเสียส่วนเกิน เช่น เวียร์ หรือเวียร์ข้าง และท่อหรือรางน้ำออกของน้ำเสียที่มีอัตราการไหลไม่เกินความสามารถของระบบบำบัด ส่วนน้ำเสียที่ถูกผันออกจะถูกส่งกลับเข้าระบบบำบัดโดยเครื่องสูบน้ำ ในช่วงที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าต่ำ

การบำบัดน้ำเสียขั้นแรก จะเป็นการบำบัดน้ำเสียที่มีจุดหมายในการเตรียมน้ำเสียให้เหมาะสม เพื่อการบำบัดในขั้นที่สอง การบำบัดน้ำเสียในขั้นนี้จะประกอบด้วย

- ถังตกตะกอนขั้นแรก มีหน้าที่ในการตกตะกอนสารแขวนลอยบางส่วนในน้ำเสีย เพื่อช่วยลดภาระบรรทุกในด้านสารแขวนลอย และบีโอดีให้กับระบบบำบัดน้ำเสียในขั้นที่สอง ลักษณะทางชลศาสตร์ของหน่วยกระบวนการนี้จะประกอบด้วย ท่อหรือรางน้ำเสียเข้า ตัวถังตกตะกอนซึ่งปกติมีขนาดใหญ่เพื่อให้ความเร็วภายในถังต่ำกว่า ความเร็วตกจมของสารแขวนลอย และส่วนประกอบที่ใช้รักษาระดับน้ำในถังและนำน้ำออกจากถัง ได้แก่ เวียร์ รางรับน้ำออก และท่อหรือรางส่งน้ำไปยังหน่วยกระบวนการถัดไป
- ตะแกรงละเอียด (Fine Screen) ทำหน้าที่แยกสารแขวนลอยบางส่วนออกเช่นเดียวกับถังตกตะกอนขั้นแรก ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้แทนถังตกตะกอนขั้นแรกเพิ่มขึ้น เนื่องจากประหยัดพื้นที่และลดปัญหาเรื่องกลิ่นได้มาก ด้านลักษณะทางชลศาสตร์ของหน่วยกระบวนการจะเหมือนกับของตะแกรงหยาบ จะต่างกันตรงขนาดของช่องเปิดเท่านั้น

การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง เป็นการบำบัดที่มีจุดหมายในการบำบัดสารมลพิษในน้ำเสีย ส่วนใหญ่เพื่อให้น้ำทิ้งมีคุณภาพได้มาตรฐานและสะอาดพอจะปล่อยสู่แหล่งรับน้ำได้ กระบวนการบำบัดประกอบด้วยส่วนใหญ่ 3 ส่วนคือ ถังปฏิกรณ์ ถังตกตะกอนขั้นที่สอง และถังฆ่าเชื้อโรค

- ถังปฏิกรณ์มีทั้งแบบ ใช้จุลินทรีย์แขวนลอยในน้ำในการบำบัด (Suspended-Growth Biological Treatment) แบบใช้จุลินทรีย์แบบยึดติดที่ในการบำบัด (Attached-Growth Biological Treatment) หรือเป็นแบบผสมของ 2 แบบแรก ในด้านลักษณะทางชลศาสตร์ของหน่วยกระบวนการนั้น ถังปฏิกรณ์ทุกแบบแทบจะไม่แตกต่างกันในแง่ชลศาสตร์ เนื่องจากอุปกรณ์เฉพาะของกระบวนการแต่ละแบบ เช่น หัวกระจายอากาศ หรือเครื่องเติมอากาศในระบบจุลินทรีย์แขวนลอย หรือแผ่นชีวหมุน (Rotating Biological Reactor) ในระบบจุลินทรีย์แบบเกาะติดผิว ไม่ก่อให้เกิดความดันสูญเสีย หรือความเสียดทานที่เป็นนัยสำคัญ ดังนั้นส่วนประกอบที่สำคัญในแง่ชลศาสตร์ของถังปฏิกรณ์จะประกอบด้วย ท่อหรือรางน้ำเข้า ตัวถังปฏิกรณ์ ซึ่งอาจมีช่องเปิด ข้องอของราง เป็นองค์ประกอบ และส่วนท่อหรือรางน้ำออก

- ถังตกตะกอนขั้นที่สอง ทำหน้าที่ตกตะกอนจุลินทรีย์ เพื่อทำให้น้ำทิ้งใสและมีคุณภาพพอจะทิ้งสู่แหล่งรับน้ำ หรือส่งไปกระบวนการถัดไป นอกจากนี้ยังอาจมีการเวียนน้ำใสหรือตะกอนกลับไปยังถังปฏิกรณ์ ซึ่งในแง่ชลศาสตร์ถือว่าเป็นการเพิ่มภาระทางชลศาสตร์ให้ถังปฏิกรณ์ ซึ่งต้องมาพิจารณาในการคำนวณด้านชลศาสตร์ด้วย ในด้านชลศาสตร์ของหน่วยกระบวนการนั้น ถังตกตะกอนขั้นที่ 2 จะมีลักษณะด้านชลศาสตร์ เหมือนกับกรณีถังตกตะกอนขั้นแรก

- ถังฆ่าเชื้อโรค ทำหน้าที่รับน้ำจากถังตกตะกอนขั้นที่สอง (ในกรณีไม่มีการบำบัดขั้นที่ 3) มาผสมกับสารฆ่าเชื้อโรค โดยทำให้เกิดลักษณะการสัมผัสระหว่างสารฆ่าเชื้อโรคกับน้ำอย่างเหมาะสม เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสูงสุด ในแง่ชลศาสตร์ ถังฆ่าเชื้อโรคจะประกอบด้วย ท่อน้ำเข้า ตัวถังซึ่งสามารถคิดเป็นรางและข้องอของรางได้ และส่วนสุดท้ายคือส่วนนำน้ำออกและควบคุมระดับน้ำได้แก่ เวียร์ และท่อน้ำออก

การบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3 การบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 3 เป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ได้รับการบำบัดแล้วจากขั้นที่ 2 ให้มีคุณภาพดีเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ กระบวนการนี้โดยทั่วไปประกอบด้วยการกรอง การใช้สารดูดติดผิว และการฆ่าเชื้อโรค กระบวนการในการบำบัดขั้นนี้จะมีความคล้ายคลึงกับระบบผลิตน้ำประปา ในประเทศไทยมีโรงบำบัดน้ำเสียที่มีการบำบัดขั้นที่ 3 นี้ไม่มากนัก ดังนั้นในการศึกษาตามวิทยานิพนธ์นี้ จึงเลือกพิจารณาถึง 3 ขั้นตอนแรกของการบำบัดน้ำเสียเท่านั้น

นอกจากการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแล้ว ยังมีการบำบัดน้ำเสียแบบเคมี (Chemical Treatment) ซึ่งมีรายละเอียดของกระบวนการแตกต่างกันไปตามชนิดของระบบบำบัด ขึ้นอยู่กับสมบัติของน้ำเสีย แต่ในส่วนลักษณะของหน่วยกระบวนการนั้น ส่วนใหญ่จะมีลักษณะคล้ายกัน คือ ประกอบด้วย ถังปฏิกรณ์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบบกวนสมบูรณ์ ถังตกตะกอน และถังกรอง ดังนั้นในแง่ชลศาสตร์ถังเหล่านี้จะมีส่วนประกอบเหมือนถังปฏิกรณ์และถังตกตะกอนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ

จากข้อมูลในด้านระบบบำบัดน้ำเสียที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่าลักษณะทางชลศาสตร์ของหน่วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียเกือบทั้งหมดจะคล้ายกัน แม้จะมีความแตกต่างกันในแง่กลไกและหน้าที่ในส่วนของการบำบัดน้ำเสีย กล่าวคือ อุปกรณ์หรือองค์ประกอบทางชลศาสตร์ที่

ประกอบขึ้นเป็นหน่วยกระบวนการบำบัดน้ำเสีย โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะคล้ายกัน คือ ประกอบด้วยองค์ประกอบที่ใช้ขนส่งน้ำ องค์ประกอบที่ใช้ควบคุมระดับน้ำ องค์ประกอบที่ใช้ควบคุมอัตราการไหล และอุปกรณ์หรือองค์ประกอบพิเศษที่สามารถทำให้เกิดความดันสูญเสียในทางชลศาสตร์ได้ เช่น ตะแกรง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับชลศาสตร์ และสมการที่ใช้คำนวณเพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ชลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสีย

ในการคำนวณทางชลศาสตร์ของระบบบำบัดน้ำเสียนั้นจำเป็นต้องมีความเข้าใจถึงทฤษฎีของการไหลของน้ำผ่านองค์ประกอบทางชลศาสตร์ที่มีในระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับองค์ประกอบที่พบได้ในระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป ได้แก่

- องค์ประกอบที่ใช้ในการขนส่งน้ำ ได้แก่ ทางน้ำเปิด (Open Channel) ท่อแบบไหลตามแรงโน้มถ่วง (Gravitational Pipe) ซึ่งจะคิดเป็นทางน้ำเปิดในกรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อ และคิดเป็นท่อแบบมีแรงดันกรณีที่น้ำไหลเต็มท่อ ท่อแบบมีแรงดัน (Pressure Pipe) และอุปกรณ์ประกอบท่อที่สามารถก่อให้เกิดความดันสูญเสีย (Head Loss) ในเส้นท่อได้ เช่น วาล์ว และประตูน้ำต่างๆ
- องค์ประกอบที่ใช้ควบคุมระดับน้ำ หรือใช้ในการวัดอัตราการไหล ได้แก่ เวียร์ (Weir) ชนิดต่างๆ
- องค์ประกอบที่ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลหรือใช้ผันน้ำส่วนที่เกิน จากความต้องการออกจากระบบบำบัด เช่น เวียร์ข้าง (Side Weir)
- องค์ประกอบอื่นๆ เช่น ตะแกรงดักขยะ Parshall Flume เป็นต้น

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางชลศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดโดยสังเขป เพื่อช่วยให้เข้าใจการทำงานของโปรแกรมและสามารถใช้งานโปรแกรม CHU ได้ดีขึ้น

2.2 การไหลในทางน้ำเปิด และท่อแบบไหลตามแรงโน้มถ่วง

รางน้ำเปิดและท่อเป็นส่วนสำคัญในการเชื่อมต่อหน่วยกระบวนการต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยในกรณีของรางน้ำเปิดและท่อที่มีน้ำไหลไม่เต็มท่อนั้นจะต้องใช้วิธีคำนวณเฉพาะแตกต่างจากกรณีที่มีน้ำไหลเต็มท่อ ข้อแตกต่างที่ชัดเจนอย่างหนึ่งที่ทำให้การคำนวณของท่อที่น้ำไหลเต็มท่อและน้ำไหลไม่เต็มท่อมีความแตกต่างกัน ได้แก่ ความแตกต่างของพื้นที่หน้าตัดของการไหล ในกรณีน้ำเต็มท่อนั้นพื้นที่หน้าตัดของการไหลจะคงที่ตลอดเวลา แต่ในกรณีน้ำไม่เต็มท่อนั้น พื้นที่หน้าตัดการไหลจะคงที่หรือไม่คงที่ก็ได้ขึ้นกับสภาวะของการไหลนั้นๆ

2.2.1 รูปแบบของการไหล

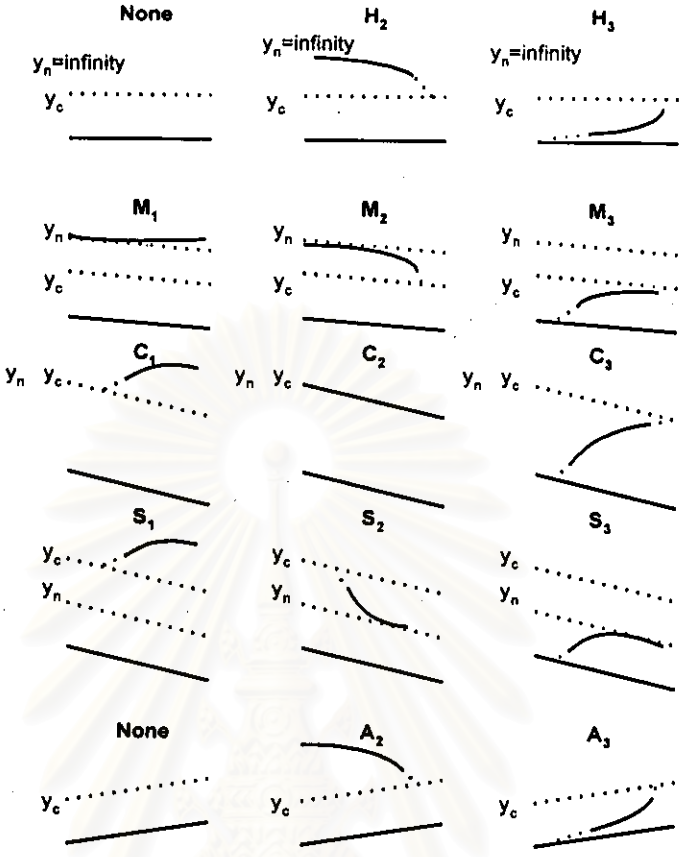
รางน้ำเปิดและท่อแบบไหลตามแรงโน้มถ่วง จะมีทั้งแบบมีความลาดชันและไม่มีความลาดชัน ซึ่งจะทำให้เกิดรูปแบบการไหลต่างๆ กันได้หลายแบบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 รูปแบบของการไหล (Flow Profile Type)

Channel slope	Profile Designation Zone 1	Zone 2	Zone 3	Relative relation of Y to Y_n และ Y_c	Type of curve	Type of flow
Mild	M1			$Y > Y_n > Y_c$	Backwater	Subcritical
$o < S_o < S_c$		M2		$Y_n > Y > Y_c$	Drawdown	Subcritical
			M3	$Y_n > Y_c > Y$	Backwater	Supercritical
Critical	C1			$Y > Y_c = Y_n$	Backwater	Subcritical
$S_o = S_c > o$		C2		$Y_c = Y = Y_n$	Pararell to channel bottom	Uriform-critical
			C3	$Y_c = Y_n > Y$	Backwater	Supercritical
Steep	S1			$Y > Y_c > Y_n$	Backwater	Subcritical
$S_o > S_c > o$		S2		$Y_c > Y > Y_n$	Drawdown	Supercritical
			S3	$Y_c > Y_n > Y$	Backwater	Supercritical
Horizontal	None			$Y > Y_n > Y_c$	None	None
$S_o = 0$		H2		$Y_n > Y > Y_c$	Drawdown	Subcritical
			H3	$Y_n > Y_c > Y$	Backwater	Supercritical
Adverse	None			$Y > (Y_n)^* > Y_c$		
$S_o < o$		A2		$(Y_n)^* > Y > Y_c$	Drawdown	Subcritical
			A3	$(Y_n)^* > Y_c > Y$	Backwater	Supercritical

* Y_n ในวงเล็บเป็นค่าสมมติให้มีค่ามากกว่าศูนย์



รูปที่ 2.1 ลักษณะของรูปแบบการไหลของรางน้ำเปิด

รูปแบบของการไหล จะเป็นตัวกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณและวิธีที่ใช้ในการคำนวณ ดังนั้นก่อนทำการคำนวณทางชลศาสตร์ของรางน้ำเปิดจะต้องกำหนดชนิดของรางและหารูปแบบของอัตราการไหลที่เกิดขึ้นเสียก่อน จากตาราง 2.1 จะเห็นได้ว่า การหารูปแบบอัตราการไหลที่จะเกิดขึ้น จะได้มาจากการพิจารณาพารามิเตอร์ที่สำคัญๆ 2 ตัว ได้แก่ ความลึกปกติ (Normal Depth, Y_n) และความลึกวิกฤต (Critical Depth, Y_c) คำจำกัดความและวิธีหาค่าพารามิเตอร์ทั้งสองนั้น จะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.2.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกรูปแบบของการไหล

ในกรณีรางน้ำเปิดแบบมีความลาดชัน ค่าที่ใช้จำแนกรูปแบบของการไหลได้แก่ ความลึกปกติ (Normal Depth, Y_n) และความลึกวิกฤต (Critical Depth, Y_c) สำหรับกรณีของรางน้ำเปิดแบบไม่มีความลาดชัน ค่าที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบการไหลที่นิยมใช้กัน ได้แก่ ค่า Froude Number ซึ่งแต่ละค่ามีความหมายดังนี้

2.2.2.1 ความลึกปกติ (Normal Depth) เป็นค่าความลึกของน้ำเมื่อมีการไหลเป็นแบบมีระเบียบ (Uniform Flow) นั่นคือ ความชันของท้องรางเท่ากับความลาดชันของความเสียดทาน (Friction Slope) สำหรับการไหลแบบนี้ ความลึก อัตราการไหล และพื้นที่หน้าตัดการไหลจะคงที่ ความลึกปกติสามารถหาได้จากสมการที่มีผู้เสนอไว้หลายสมการ เช่น Manning's Equation, Kutter's Equation หรือ Darcy-Weisbach Equation โดยสมการที่กล่าวมาทั้งหมดให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน แต่สมการ Manning เป็นสมการที่ค่อนข้างจะแพร่หลายกว่าในการคำนวณรางน้ำเปิด โดยมีรูปสมการดังนี้

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad (1)$$

โดย v หมายถึง ความเร็ว (m/s)

R หมายถึง รัศมีชลศาสตร์ (m)

S หมายถึง Friction slope

n หมายถึง ค่าคงที่ของ Manning

การคำนวณค่าความลึกปกติ สามารถทำได้โดยการแทนค่า S ในสมการด้วยค่าความชันของท้องราง และแทนค่า v ด้วยค่าอัตราการไหลหารด้วยพื้นที่หน้าตัดการไหล จากนั้นก็ทำการแก้สมการ ซึ่งในบางครั้งต้องอาศัยการวนซ้ำ (Iteration) หรือ Trial and error เพื่อหาค่าความลึกน้ำในท่อหรือรางนั้น ค่าความลึกดังกล่าวจะเป็นค่าความลึกปกติของท่อนั้น ณ อัตราการไหลที่ใช้ในการคำนวณ

ค่ารัศมีชลศาสตร์และพื้นที่หน้าตัดการไหลของท่อ หรือรางเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของราง สมการที่ใช้ในการคำนวณค่ารัศมีชลศาสตร์ และพื้นที่หน้าตัดการไหลของท่อและรางรูปทรงมาตรฐานต่างๆ สามารถหาอ่านเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิง ลำดับที่ [1], [2], [4] และ [5]

ส่วนค่า n เป็นค่าที่ขึ้นกับวัสดุและพื้นผิวของราง ซึ่งได้จากการทดลอง โดยในโปรแกรมจะมีค่าของวัสดุและพื้นผิวต่างๆ ให้ผู้ใช้ได้เลือกด้วย ตัวอย่างค่า n จะแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

2.2.2.2 ความลึกวิกฤต (Critical Depth) เป็นค่าความลึกของน้ำเมื่อมีการไหลเป็นแบบวิกฤต (Critical Flow) นั่นคือ เป็นค่าอัตราการไหลที่มีค่าพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดที่อัตราการไหลที่กำหนดให้ค่าหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ค่าพลังงานจำเพาะหาจากผลรวมของความลึกและพลังงานจลน์ของของเหลว ($Y + V^2/2g$) ความลึกวิกฤตสามารถหาค่าได้โดยใช้สมการ

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \qquad (2)$$

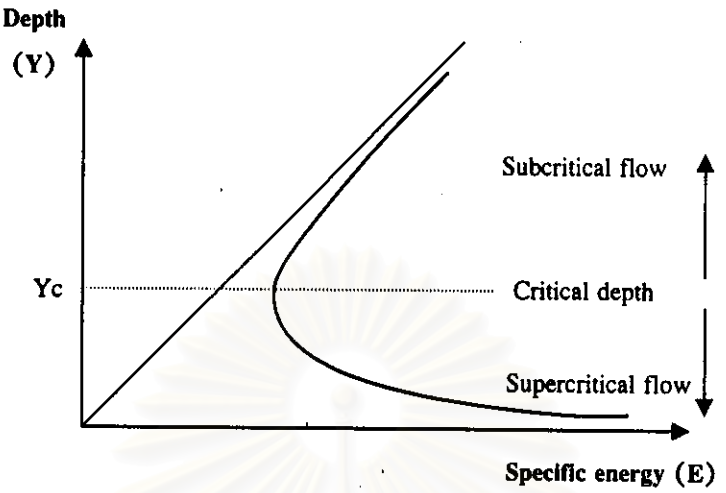
โดย Q หมายถึง อัตราการไหล

A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดการไหล

T หมายถึง ความกว้างที่ผิวบนของของไหล (Top width of flow)

การคำนวณค่าความลึกวิกฤตทำได้โดยการแทนค่าอัตราการไหลและทำการแก้สมการ ซึ่งในบางครั้งอาจจะต้องใช้การวนซ้ำหรือ Trial and Error เช่นเดียวกับกรณีของการหาค่าความลึกปกติ ค่าความลึกที่หาได้จากการแก้สมการ (2) คือ ความลึกวิกฤตของท่อหรือรางนั้นที่อัตราการไหลที่ใช้ในการคำนวณ

ค่าพื้นที่หน้าตัดการไหลและค่าความกว้างผิวบน เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของราง สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าพื้นที่หน้าตัดการไหลและค่าความกว้างบนผิวของท่อและรางรูปทรงมาตรฐานต่างๆ สามารถหาอ่านเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิง ลำดับที่ [1], [2], [4] และ [5]



รูปที่ 2.2 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจำเพาะ (E) กับความลึก (Y)

2.2.2.3 Froude Number (Fr) เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ต่อแรงโน้มถ่วง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ คือ

$$Fr = v/(gD)^{0.5} \qquad (3)$$

โดย v หมายถึง ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

D หมายถึง ความลึกชลศาสตร์ (Hydraulic Depth) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$D = A/T \qquad (4)$$

โดย A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดการไหล

T หมายถึง ความกว้างที่ผิวบนของของไหล (Top Width of Flow)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในกรณีที่ Fr เท่ากับ 1 จะเรียกการไหลนั้นว่าเป็นการไหลวิกฤต ถ้า Fr มากกว่า 1 การไหลจะเป็นแบบต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical Flow) และถ้า Fr น้อยกว่า 1 การไหลจะเป็นแบบสูงกว่าวิกฤต (Supercritical Flow)

การไหลในช่วงต่ำกว่าวิกฤต แรงโน้มถ่วงจะมีผลสำคัญ การไหลจะมีความเร็วต่ำ ส่วนการไหลแบบสูงกว่าวิกฤต แรงเฉื่อย (Inertial Force) หรืออีกนัยหนึ่งคือ พลังงานจลน์จะมีผลสำคัญ การไหลจะมีความเร็วสูง ทำให้เกิดการกัดเซาะง่าย

2.2.3 การคำนวณทางชลศาสตร์ของการไหลในรางน้ำเปิดและท่อแบบไหลตามแรงโน้มถ่วง

การคำนวณทางชลศาสตร์ของการไหลในรางน้ำเปิดและท่อแบบไหลตามแรงโน้มถ่วงในระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับโปรแกรมนี้จะอยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า การไหลเป็นแบบแปรเปลี่ยนทีละน้อย (Gradually Varied Flow) ซึ่งเป็นลักษณะการไหลที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปอยู่แล้ว สำหรับการคำนวณมีอยู่หลายวิธี เช่น วิธีอินทิเกรตโดยตรง วิธี Graphical-intregration และวิธีแบบขั้นบันได (Step Method)

สำหรับวิธีคำนวณที่นิยมใช้วิธีหนึ่งคือ ขั้นบันไดตรง (Direct Step Method) ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้คำนวณรางน้ำเปิดแบบเป็นหน้าตัดคงที่ (Prismatic Channel) ซึ่งเป็นลักษณะของรางในระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป วิธีนี้เป็นวิธีที่มีขั้นตอนการคำนวณเหมาะกับการนำมาใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รายละเอียดของแต่ละขั้นตอนจะเป็นดังนี้

1) เลือกค่าความลึกที่ท้ายน้ำของรางหรือท่อตามรูปแบบการไหล ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2.1 ซึ่งสามารถสรุปได้ตามที่แสดงในแผนผัง รูปที่ 2.3

2) สมมติความลึกจากท้ายน้ำเพิ่มขึ้นทีละช่วง โดยในโปรแกรมนี้จะใช้ค่าคงที่คือ 2 มิลลิเมตร เนื่องจากช่วงที่แคบกว่านี้ จะไม่มีนัยสำคัญในการคำนวณเนื่องจากเป็นช่วงที่เล็กเกินไป

3) สมมติการไหลในช่วงดังกล่าวเป็นแบบมีระเบียบ (Uniform Flow) คำนวณจากระยะทางจากท้ายน้ำจนถึงความลึกที่สมมติขึ้น โดยใช้สมการการไหลแบบมีระเบียบ โดยในโปรแกรมนี้จะใช้สมการ Manning

4) ทำตามขั้นตอนที่ 1) จนกว่าจะเต็มช่วงความยาวท่อหรือรางที่กำหนด

5) ในกรณีของท่อ ถ้าน้ำเกิดเต็มท่อในช่วงกึ่งกลางความยาว ช่วงที่มีน้ำเต็มท่อนั้นจะคำนวณโดยใช้สมการของท่อแบบมีแรงดัน

2.3 การไหลในท่อแบบมีแรงดัน

การคำนวณทางชลศาสตร์ของท่อแบบมีแรงดัน สามารถทำได้ง่ายกว่าแบบรางน้ำเปิด เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของการไหลคงที่

สมการที่ใช้ในการคำนวณท่อแบบมีแรงดัน มีด้วยกันหลายสมการ เช่น Manning Hazen-William, Colebrook-White และ Darcy-Weisbach แต่สมการที่เป็นที่นิยมใช้ในหมู่นักออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ สมการ Hazen-William เนื่องจากมีรูปสมการที่ง่ายต่อการหาคำตอบและค่าคงที่ง่ายต่อการจำ ดังนั้น ในโปรแกรมนี้จะใช้สมการ Hazen-William ในการคำนวณท่อแบบมีแรงดัน สมการ Hazen-William จะมีรูปสมการดังนี้

$$H_1 = 6.82(Q/(AC))^{1.85}\left(L/D^{1.167}\right) \qquad (5)$$

โดย H_1 หมายถึง ความดันลด (head loss) ในเส้นท่อ (m)

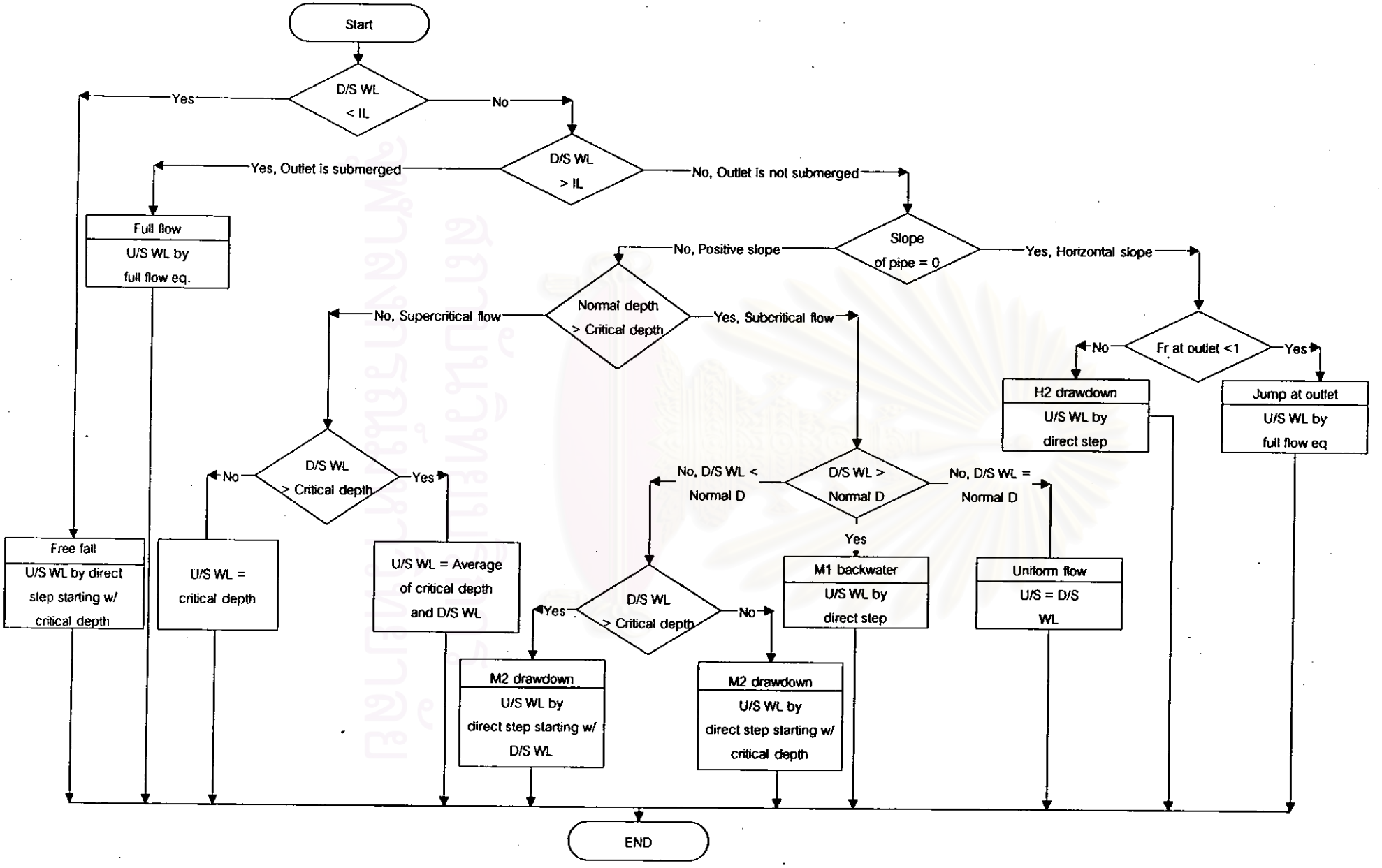
Q หมายถึง อัตราการไหล (m^3/s)

A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)

C หมายถึง ค่าคงที่ของ Hazen-William

L หมายถึง ความยาวท่อ (m)

D หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (m)



รูปที่ 2.3 แผนผังการคำนวณทางชลศาสตร์ของรางน้ำเปิด และท่อที่ไหลโดยแรงโน้มถ่วงของโลก

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า C ที่ใช้ในสมการจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำท่อ โดยในโปรแกรมจะมีค่า C ของวัสดุต่างๆ ให้ผู้ใช้ได้เลือกด้วย ตัวอย่างค่า C สำหรับวัสดุต่างๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ก สำหรับการคำนวณท่อแบบมีแรงดันที่เป็นสี่เหลี่ยม สามารถใช้สมการ (5) ได้เช่นเดียวกัน โดยคำนวณค่า D จากสมการ

$$D = 4R \tag{6}$$

โดย R หมายถึง รัศมีชลศาสตร์ของท่อเหลี่ยม (m)

2.4 การไหลผ่านวาล์ว ข้อต่อ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของท่อและราง

การไหลผ่านวาล์ว ข้อต่อ และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของท่อและรางทั้งแบบเปิดและแบบมีแรงดัน จะทำให้เกิดความปั่นป่วนขึ้นภายในอุปกรณ์นั้น ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียพลังงาน นั่นคือ เกิดความดันสูญเสีย (Head Loss) ขึ้น ค่าความสูญเสียจากอุปกรณ์เหล่านี้จะเรียกว่า ความดันสูญเสียรอง (Minor Head Loss) ซึ่งเป็นชื่อที่ได้มากจากการที่ความดันสูญเสียส่วนนี้มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่าความดันลดจากความเสียดทานของท่อ ซึ่งจะเป็นจริงเฉพาะกรณีระบบจ่ายน้ำขนาดใหญ่ที่ท่อมีความยาวมากๆ เท่านั้น

ในกรณีของระบบบำบัดน้ำเสีย ท่อส่วนใหญ่จะสั้น แต่มีจำนวนข้อต่อค่อนข้างมาก ดังนั้น ค่าความดันสูญเสียรอง จะมีค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับค่าความเสียดทานของท่อ หรือในบางครั้งค่าความดันสูญเสียรอง อาจมีค่าสูงกว่าความเสียดทานของท่อมากจนอาจตัดความเสียดทานของท่อทิ้งได้

2.4.1 ความดันสูญเสียรองของข้อต่อ และวาล์วทั่วไป

สำหรับการคำนวณค่าความดันสูญเสียรองโดยทั่วไปจะใช้สมการ

$$H_m = K\frac{v^2}{2g} \tag{7}$$

โดย H_m หมายถึง ความดันสูญเสียรอง

K หมายถึง สัมประสิทธิ์ความดันสูญเสีย

v หมายถึง ความเร็ว

g หมายถึง ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

ค่า K ในสมการจะขึ้นอยู่กับชนิดและรูปร่างของอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความปั่นป่วน เช่น เกตวาล์ว (Gate Valve) เปิดเต็มที่จะมีค่า K เท่ากับ 0.19 และเกตวาล์วเปิดเพียงครึ่งหนึ่งจะมีค่า K เท่ากับ 5.6 โดยในโปรแกรมจะมีค่า K ของอุปกรณ์ต่างๆ ให้ผู้ใช้ได้เลือกใช้ด้วยตัวอย่างค่า K สำหรับอุปกรณ์ต่างๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ในอุปกรณ์บางชนิด เช่น ประตูน้ำแบบไหลลอด (Penstock) ออริฟิส (Orifice) และ เวนทูรี่ (Venturi) ผู้ผลิตและผู้ออกแบบทั่วไปมักจะคำนวณค่าความดันสูญเสียรอง โดยอาศัย สัมประสิทธิ์ที่เรียกว่า Drag Coefficient (Cd) โดยมีรูปสมการคือ

$$v = Cd\sqrt{2gH_m} \qquad (8)$$

โดย Cd หมายถึง Drag Coefficient

โดย Cd โดยทั่วไปของออริฟิสกับ 0.6 ของเวนทูรี่ เท่ากับ 0.9 ส่วนในกรณีของประตูน้ำ แบบไหลลอดนั้นขึ้นอยู่กับรูปร่างของประตูน้ำด้วย แต่ค่าโดยทั่วไปนิยมใช้เท่ากับ 0.6 เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (7) และ (8) จะพบว่า สามารถแปลงค่า Cd เป็นค่า K ได้ โดยใช้สมการ

$$K = \frac{1}{Cd^2} \qquad (9)$$

2.4.2 ความดันสูญเสียรองของการเปลี่ยนรูปร่างของท่อและราง

ค่าความดันสูญเสียรองของการเปลี่ยนรูปร่างของท่อและราง อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ การลดขนาดลง และการขยายขนาดขึ้น การคำนวณสามารถทำได้โดยใช้สมการ (7) โดยเลือกค่า K ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกรณี

กรณีการลดขนาดท่อค่า K จะขึ้นกับอัตราส่วนของขนาดท่อท้ายน้ำต่อขนาดท่อต้นน้ำดังแสดงในภาคผนวก ก. ในกรณีของราง เนื่องจากมีการวิจัยค่า K ไว้น้อยมาก ดังนั้น อาจเลือกค่า K โดยเทียบกับค่า K ของท่อได้ โดยมีความผิดพลาดไม่มากนัก เนื่องจากโดยปกติความเร็วของการไหลในรางที่ออกแบบก็จะมีค่าไม่สูงอยู่แล้ว เมื่อนำมาคำนวณถึงแม้ค่า K จะผิดไปบ้าง ค่าความสูญเสียรองที่คำนวณได้ก็จะคลาดเคลื่อนไปไม่มากนัก อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

กรณีของการขยายขนาด ปกติถือว่ามีค่าความดันสูญเสียเกิดขึ้นน้อยมาก ค่า K จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.1 แต่การขยายขนาดในที่นี้จะกำจัดอยู่เฉพาะกรณีที่รางด้านท้ายน้ำที่ขยายขนาดแล้วก็ยังคงมีความเร็วใกล้เคียงกับทางต้นน้ำเท่านั้น เช่น ขยายจากรางกว้าง 0.2 ม. เป็นรางกว้าง 0.3 ม. ถ้าเป็นกรณีที่ขยายออกไปสู่พื้นที่ที่ใหญ่กว่ามาก เช่น จากรางปล่อยออกสู่ถัง กรณีเช่นนี้จะคิดเป็นความสูญเสียจากทางออกแทน ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.4.3 ความดันสูญเสียรองของทางเข้า (Entrance Loss)

ความดันสูญเสียจากทางเข้าโดยปกติ สามารถคำนวณโดยใช้สมการที่ (7) เช่นเดียวกับข้อต่ออื่นๆ ค่า K ของทางเข้าแบบต่างๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ก. แต่ในบางกรณีตัวทางเข้าเองจะเป็นตัวจำกัดการไหลของรางหรือท่อนั้น เช่น กรณีท่อสั้นมากๆ และเส้นผ่าศูนย์กลางท่อค่อนข้างเล็ก ค่าความดันสูญเสียจากความเสียดทานของท่อ ซึ่งคำนวณได้ตามวิธีในข้อ 2.2 และค่าความดันสูญเสียของอื่นๆ จะมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับข้อจำกัดของทางเข้าของท่อ กรณีเช่นนี้เรียกว่า Inlet Control Hydraulic ค่าความลึกของน้ำที่ต้นน้ำ ณ อัตราการไหลที่กำหนดจะคำนวณจากขนาดของทางเข้าเอง ไม่ขึ้นกับความยาวท่อและข้อต่อต่างๆ ที่อยู่ท้ายน้ำ

การคิดค่าความลึกของน้ำในกรณีของ Inlet Control Hydraulic แบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีเป็นการไหลในท่อไม่จมน้ำ (Unsubmerged Flow) และการไหลในท่อที่จมน้ำ (Submerged Flow) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

1) การไหลในท่อไม่จมน้ำ (Unsubmerged Flow) ความลึกน้ำที่ต้นน้ำของทางเข้าจะคำนวณจาก

$$\frac{HW_i}{D} = K[\frac{Q}{AD^{0.5}}]^m \qquad (10)$$

โดย HW_i หมายถึง ความลึกของน้ำวัดจากท้องของทางเข้า (ft)

D หมายถึง ความสูงของท่อหรือราง (ft)

Q หมายถึง อัตราการไหล (ft^3/S)

A หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของท่อหรือราง

K, m หมายถึง ค่าคงที่

ค่า K และ m จะขึ้นกับชนิดของทางเข้าว่ามีกำแพงปีก (Wing Wall) หรือไม่ และประเภทของท่อเช่น เป็นท่อกลม หรือท่อเหลี่ยมเป็นต้น ในกรณีของระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป ทางเข้าจะเป็นการเจาะช่องที่ผนังถังและส่วนใหญ่ไม่มีการลบมุม (Chamfer) ดังนั้นในโปรแกรมจะใช้ค่า K และ m ของกรณีนี้เป็นค่าคงที่ในการคำนวณ

2) การไหลในท่อจมน้ำ (Submerged Flow) ความลึกน้ำที่ต้นน้ำของทางเข้าจะคำนวณจาก

$$HW_i = C[\frac{Q}{AD^{0.5}}]^2 + Y - 0.5S \qquad (11)$$

โดย S หมายถึง ความชันของราง

C, Y หมายถึง ค่าคงที่

ค่า C และ Y จะขึ้นกับชนิดของทางเข้าและประเภทของท่อเช่นเดียวกับค่า K และ m ของสมการ (10) โดยค่า C และ Y ที่ใช้ในโปรแกรม จะเป็นค่าที่ได้มาจากกรณีที่ทางเข้าเป็นการเจาะช่องที่ผนังและไม่มีการลบมุม เช่นเดียวกับกรณีการไหลในท่อไม่จมน้ำ

การคำนวณในโปรแกรมจะทำการคำนวณทั้งแบบปกติหรือแบบ Outlet Control Hydraulic ความดันสูญเสียรองตามสมการ (7) และ (8) และคำนวณแบบ Inlet Control Hydraulic ด้วยสมการ (10) หรือ (11) จากค่าความลึกที่ได้จากการคำนวณทั้ง 2 แบบข้างต้น ค่าที่มากกว่าจะเป็นคำตอบของโปรแกรม

2.4.4 ความดันสูญเสียจากทางออก (Exit Loss)

ในกรณีท้ายของรางหรือท่อเปิดออกสู่ถังหรือสระขนาดใหญ่ที่ของเหลวไหลในบ่อแทบจะหยุดนิ่งหรือมีความเร็วต่ำมากเมื่อเทียบกับความเร็วในรางหรือท่อ เช่น ท่อน้ำจากถังเติมอากาศขนาด 0.1 ม. มีปลายทางออกที่ถังตกตะกอน ซึ่งมีขนาดกว้าง 5 ม. ในกรณีนี้จะถือว่าพลังงานจลน์ที่มากับน้ำจะถูกสลายไปด้วยความปั่นป่วนจากมวลน้ำที่มากกว่าหลายเท่าในถังหรือสระนั้น

ในกรณีของท่อที่ด้านท้ายน้ำเป็นการตกแบบอิสระ (Freefall) กล่าวคือ ระดับน้ำด้านท้ายน้ำต่ำกว่าท้องท่อ กรณีเช่นนี้ พลังงานจลน์ในน้ำก็จะสูญหาย เนื่องจากไม่สามารถเปลี่ยนรูปกลับมาเป็นพลังงานศักย์ หรือความลึกของน้ำได้อีก เพราะว่า ระดับน้ำในรางและที่ท้ายน้ำที่ต่ำกว่ารางนั้น ไม่มีความต่อเนื่องกัน

ทั้งสองกรณีข้างต้นทำให้พลังงานจลน์ในน้ำสูญเสียไป ดังนั้น ค่าความดันสูญเสียของทางออกสามารถคำนวณโดยใช้สมการ (7) โดยค่า K จะมีค่าเท่ากับ 1

2.4.5 การคำนวณระดับน้ำที่ต้นน้ำของวาล์ว ข้อต่อ และการเปลี่ยนรูปร่างของท่อและราง

เมื่อคำนวณค่าความดันสูญเสียรอง ได้จากสมการ (7) หรือ (8) แล้ว การนำค่าดังกล่าวมาหาค่าระดับน้ำที่ต้นน้ำของอุปกรณ์ ทำได้โดยหลักสมดุลย์พลังงานที่ต้นน้ำและที่ท้ายน้ำของอุปกรณ์ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการพลังงานได้ดังนี้

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + H_l \qquad (12)$$

โดย P_1, P_2 หมายถึง ความดันที่ต้นน้ำและท้ายน้ำตามลำดับ (m)

Z_1, Z_2 หมายถึง ระดับน้ำที่ต้นน้ำและท้ายน้ำตามลำดับ (m)

v_1, v_2 หมายถึง ความเร็วที่ต้นน้ำและท้ายน้ำตามลำดับ (m)

γ หมายถึง น้ำหนักจำเพาะของของเหลว (N/m^3)

H_l หมายถึง ความดันสูญเสียในที่นี้หาจากสมการ (7) หรือ (8)

ในกรณีของท่อแบบมีแรงดันนั้น ค่าความเร็วจะไม่ขึ้นกับความลึกของน้ำ เนื่องจากคิดว่ามีน้ำเต็มท่อตลอดเวลา ดังนั้น เมื่อทราบค่า H_l สามารถหาค่า ระดับพลังงานที่ต้นน้ำได้ทันทีจากสมการ (12) เนื่องจาก ทราบค่า P_2, Z_2, V_2, Z_1 และ V_1 อยู่แล้ว จากขนาดของท่อ ระดับของท่อ และอัตราการไหลในท่อ

ในกรณีของรางน้ำเปิดหรือท่อแบบไหลด้วยแรงโน้มถ่วง ค่าความเร็วจะขึ้นกับความลึกของน้ำในท่อ ส่วนค่า P_1 และ P_2 จะเท่ากับบรรยากาศ ดังนั้น สมการ (12) สามารถเปลี่ยนอยู่ในรูป

$$Z_1 + [\frac{Q}{A_1}]^2 \frac{1}{2g} = Z_2 + [\frac{Q}{A_2}]^2 \frac{1}{2g} + H_l \qquad (13)$$

โดย A_1, A_2 หมายถึง พื้นที่หน้าตัดการไหลที่ต้นน้ำและท้ายน้ำ ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของระดับน้ำ Z_1 และ Z_2

ความสัมพันธ์ระหว่าง A และ Z จะขึ้นกับรูปร่างของราง เช่น ในรางน้ำรูปสี่เหลี่ยม พื้นที่หน้าตัดการไหลจะเท่ากับ ความกว้างของรางคูณกับความลึกของน้ำ ค่าพื้นที่หน้าตัดการไหลของรางรูปทรงมาตรฐานต่างๆ เช่น รางสี่เหลี่ยม ท่อกลม รางคางหมู สามารถหาอ่านเพิ่มเติมได้จากเอกสารอ้างอิง [1], [2], [4] และ [5]

การหาค่าความลึกที่ต้นน้ำ (Z_1) ในสมการที่ (13) สามารถทำได้โดยการวนซ้ำ (Iteration) หรือ Trial and Error ค่าระดับต้นน้ำนี้จะนำไปใช้เปรียบเทียบกับค่า HW_1 จากสมการที่ (10) หรือ (11) ต่อไป เพื่อนำค่าที่สูงกว่ามาเป็นค่าระดับต้นน้ำที่แท้จริงของรางหรือท่อนั้นๆ

2.5 เวียร์ (Weir)

เวียร์ในที่นี้จะมีถึงเวียร์ชนิดสันคม (Sharp-Crested Weir) เป็นองค์ประกอบทางชลศาสตร์ที่ใช้สำหรับควบคุมระดับน้ำในหน่วยกระบวนการของระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อให้หน่วยกระบวนการดังกล่าวมีปริมาตรกักเก็บตามต้องการ หรือในบางครั้งเวียร์ยังถูกใช้เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำในรางน้ำต่างๆ อีกด้วย

เวียร์ที่มีใช้ทั่วไปในระบบบำบัดน้ำเสียจะมีลักษณะตามที่แสดงในรูปที่ 2.4 ได้แก่

1) เวียร์สี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่เต็มหน้าตัด (Contracted Rectangular Weir) มีสมการดังนี้

$$Q = 1.84(L - 0.2H)H^{3/2} \qquad (14)$$

โดย Q หมายถึง อัตราการไหล (m^3/s)

L หมายถึง ความยาวสันเวียร์ (m)

H หมายถึง ความสูงของน้ำเหนือสันเวียร์ (m)

2) เวียร์แบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเต็มหน้าตัด (Full Width Rectangular Weir) มีสมการดังนี้

$$Q = 1.84LH^{3/2} \tag{15}$$

3) เวียร์รูปตัววี (V Notch Weir) มีสมการดังนี้

$$Q = 8/15 * (2g)^{0.5} * 0.585 * \tan(\theta/2) * H^{5/2} \tag{16}$$

โดย θ หมายถึง มุมของตัววี

4) เวียร์สี่เหลี่ยมคางหมู

$$Q = 1.9LH^{3/2} \tag{17}$$

โดย L หมายถึง ความกว้างขอบบนของเวียร์ (m)

ในกรณีเวียร์จมน้ำนั่นคือ ระดับน้ำด้านท้ายน้ำของเวียร์สูงกว่าสันเวียร์ จะใช้สมการ Villemonte ในการคำนวณ โดยมีรูปสมการดังนี้

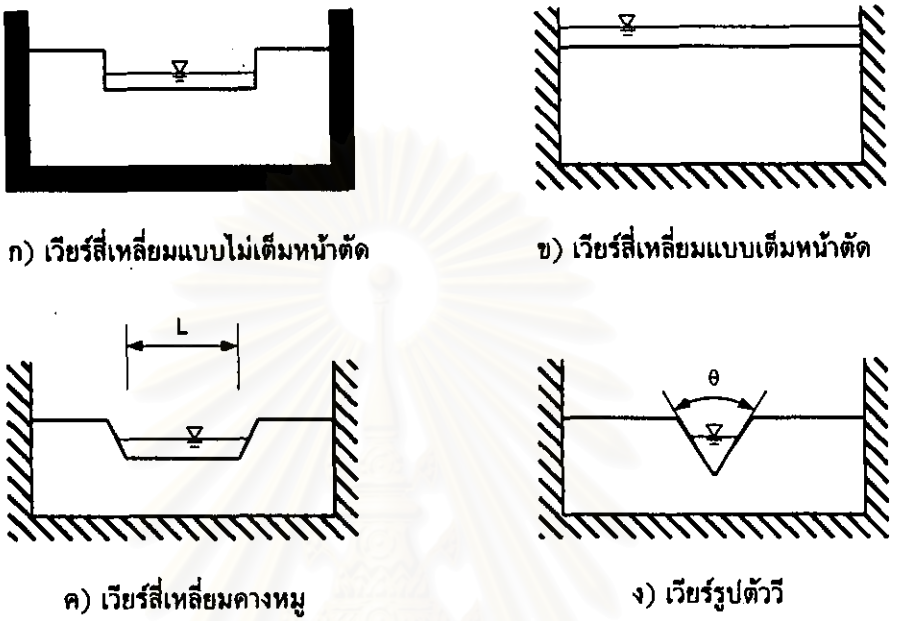
$$Q = Q_0[1 - (h_2/h_1)^n]^{0.385} \tag{18}$$

โดย Q_0 หมายถึง Full discharge หาได้จากสมการ (14) ถึง (17) โดย H ในสมการดังกล่าวจะแทนด้วย h_1

h_1, h_2 หมายถึง ความลึกของน้ำเหนือสันเวียร์ที่ด้านต้นน้ำและท้ายน้ำของเวียร์

n หมายถึง ค่าคงที่ โดยจะมีค่า 1.5 สำหรับ เวียร์สี่เหลี่ยมและเท่ากับ 2.5 สำหรับเวียร์รูปตัววี

ในกรณีของท่อปากระฆังจะใช้สมการเดียวกับเวียร์สี่เหลี่ยมแบบเต็มหน้าตัดที่มีความยาวสันเวียร์เท่ากับ π คูณกับเส้นผ่าศูนย์กลางของปากระฆัง



ก) เวียร์สี่เหลี่ยมแบบไม่เต็มหน้าตัด

ข) เวียร์สี่เหลี่ยมแบบเต็มหน้าตัด

ค) เวียร์สี่เหลี่ยมคางหมู

ง) เวียร์รูปตัววี

รูปที่ 2.4 เวียร์รูปแบบต่างๆ

2.6 เวียร์ข้าง (Side Weir)

เวียร์ข้างเป็นองค์ประกอบทางชลศาสตร์ที่สำคัญในการควบคุมอัตราการไหลหรือผันน้ำบางส่วนที่เกินความสามารถที่ระบบบำบัดน้ำเสียจะรับได้ออกจากระบบบำบัด เช่น ใช้ข้อมูลสำหรับผันน้ำเสียในช่วงที่มีฝนตกมากจนถือได้ว่าน้ำเสียดังกล่าวถูกเจือจางจนมีคุณภาพเพียงพอต่อการปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งรับน้ำได้ โดยไม่ต้องบำบัด

ในปัจจุบันถึงแม้ว่า จะมีอุปกรณ์ควบคุมการผันน้ำที่มีความละเอียดสูงกว่า เช่น ประตูน้ำควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ เพื่อทำหน้าที่ผันน้ำส่วนเกินหรือควบคุมอัตราการไหล แต่ก็ยังมีการใช้เวียร์ข้างเป็นระบบสำรองอยู่บ้างในกรณีที่ระบบอัตโนมัติเหล่านั้นเกิดชำรุด

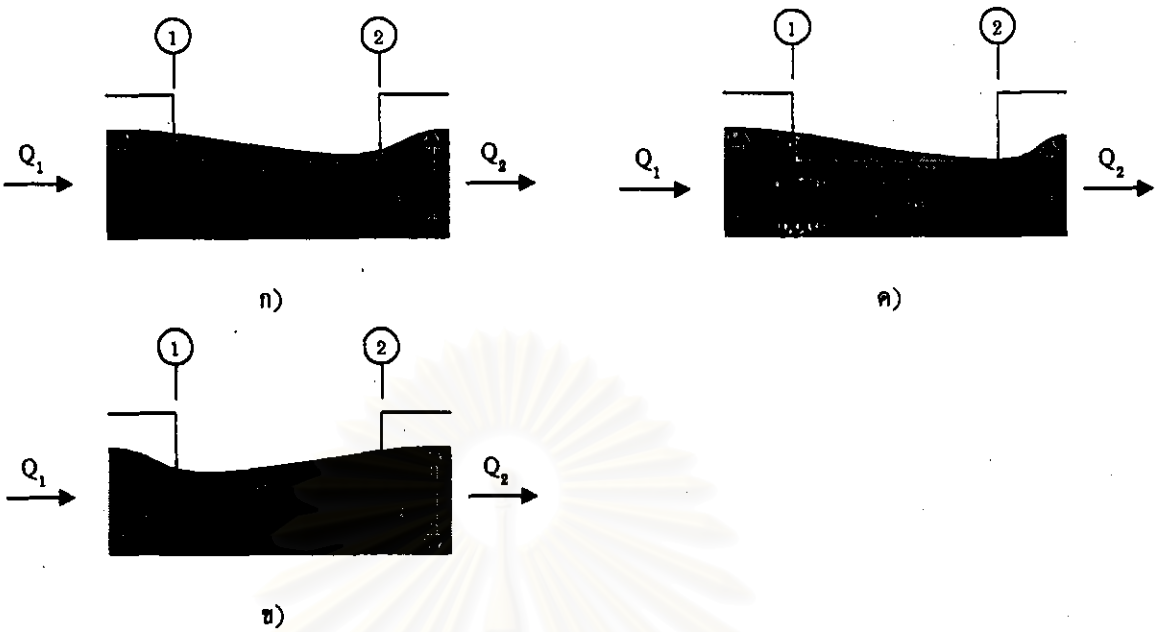
เวียร์ข้าง จะมีลักษณะเป็นเวียร์ที่วางทอดขนานกับทิศทางการไหล ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามเวียร์จะขึ้นอยู่กับระดับน้ำเหนือสันเวียร์ โดยอัตราการไหลของน้ำที่ล้นข้ามเวียร์ จะแปรผันไปตลอดความยาวของสันเวียร์ เนื่องจากระดับน้ำเหนือสันเวียร์ที่แต่ละจุดตลอดความยาวจะมีค่าไม่เท่ากัน

ลักษณะของโพรไฟล์ผิวน้ำ ที่ไหลผ่านเวียร์ข้างจะขึ้นอยู่กับลักษณะการไหลด้านต้นน้ำ ลักษณะการไหลด้านท้ายน้ำ และความสูงของสันเวียร์ ลักษณะโพรไฟล์ที่พบแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

1) การไหลด้านต้นน้ำของเวียร์มีความชันมาก ในกรณีนี้เวียร์ข้างจะไม่มีผลกระทบต่อการไหลที่ด้านต้นน้ำ ความลึกของน้ำจะลดลงตามความยาวของสันเวียร์ และเมื่อพ้นตัวเวียร์ข้าง ระดับผิวน้ำจะสูงขึ้นมาใหม่ เพราะการไหลต้องต้านทานความเสียดทานที่เพิ่มขึ้นของระบบทางท้ายน้ำ จนเมื่อระดับน้ำถึงระดับความลึกปกติ ระดับน้ำจึงจะคงที่ต่อไป โพรไฟล์ของการไหลแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 ก.

2) การไหลด้านต้นน้ำของเวียร์เป็นแบบใต้วิกฤตอย่างมีระเบียบ (Uniform Subcritical Flow) พบได้ในกรณีที่รางน้ำด้านต้นน้ำของเวียร์มีความชันน้อย ตัวเวียร์ข้างจะมีผลต่อการไหลของน้ำที่ด้านต้นน้ำของเวียร์เท่านั้น ส่วนด้านท้ายน้ำของเวียร์ระดับน้ำจะพยายามปรับตัวไปสู่ความลึกปกติที่สอดคล้องกับอัตราการไหลด้านท้ายน้ำ (ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในรางหลังจากมีบางส่วนล้นข้ามเวียร์ไปแล้ว) โพรไฟล์ของการไหลแบบนี้ความลึกของน้ำเหนือสันเวียร์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นที่ละน้อยตามทิศทางการไหล ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ข.

3) การไหลด้านต้นน้ำของเวียร์เป็นแบบใต้วิกฤตอย่างมีระเบียบ และความสูงของเวียร์ข้างน้อยกว่าความลึกวิกฤตของอัตราการไหลด้านต้นน้ำ จากนั้นจะค่อยๆ กลายเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤตขึ้นเรื่อยๆ ตามทิศทางการไหล ระดับน้ำในกรณีนี้จะลดลงเรื่อยตามความยาวเวียร์ จนสุดความยาวเวียร์ ถ้ารางด้านท้ายน้ำยังคงมีความชันอยู่การไหลช่วงหลังจากผ่านเวียร์อาจเปลี่ยนกลับมาเป็นแบบใต้วิกฤตเกิดเป็น Hydraulic Jump ขึ้นได้ โพรไฟล์ของการไหลในกรณีนี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5 ค.



รูปที่ 2.5 โพรไฟล์ของการไหลข้ามเวียร์ข้างแบบต่าง ๆ

สมการที่ใช้สำหรับหาค่าอัตราการไหลของน้ำข้ามเวียร์ข้างที่นิยมใช้ทั่วไปคือ สมการ Demarchi จากสมการดังกล่าวและการไหลทั้ง 3 แบบข้างต้น ทำให้สามารถกำหนดวิธีคำนวณการไหลผ่านเวียร์ข้างได้เป็น 2 กรณีคือ

1) กรณีการไหลด้านต้นน้ำเป็นแบบต่ำกว่าวิกฤต โดยมีสมมติฐานว่าจะเกิดขึ้นเมื่อความลึกต้นน้ำของเวียร์ข้างสูงกว่า 2 เท่าของความสูงของเวียร์ การคำนวณจะทำโดยการสมมติอัตราการไหลที่ถูกผันออกจากเวียร์ข้าง จากนั้นคำนวณหาค่าความลึกด้านต้นน้ำของเวียร์โดยใช้สมการพลังงานตามที่แสดงไว้ในสมการ (13) โดยคิดค่าความดันสูญเสียของเวียร์เท่ากับ 0 จากนั้นนำค่าความลึกต้นน้ำที่คำนวณได้มาแทนค่าในสมการ Demarchi เพื่อคำนวณอัตราการไหลที่ถูกผันออกโดยเวียร์ข้างแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่สมมติไว้ ทำการ Trial and Error จนกว่าค่าที่สมมติจะเท่ากับค่าที่คำนวณได้

2) กรณีการไหลด้านต้นน้ำเป็นแบบสูงกว่าวิกฤต โดยมีสมมติฐานว่าจะเกิดขึ้นเมื่อพลังงานด้านต้นน้ำของเวียร์ที่คำนวณได้ต่ำกว่าพลังงานที่ความลึกวิกฤต ในกรณีนี้ เมื่อสมมติอัตราการไหลที่ถูกผันออกจากเวียร์ข้างแล้ว จะคำนวณหาค่าความลึกด้านต้นน้ำของเวียร์ข้างให้เป็นความลึกวิกฤต จากนั้นนำค่าความลึกต้นน้ำที่ได้มาแทนค่าในสมการ Dermachi เพื่อทำการ

คำนวณอัตราการไหลที่ถูกผันออกโดยเวียร์ข้างแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าสมมติไว้ ทำการ Trial and Error จนกว่าค่าที่สมมติจะเท่ากับค่าที่คำนวณได้

สมการ Demarchi ที่ใช้ในการหาอัตราการไหลของน้ำที่ถูกผันข้ามเวียร์ข้างจะมีรูปสมการดังนี้

$$Q = 2/3L * C_w * (2g)^{0.5} * (d-c)^{3/2} \qquad (19)$$

โดย Q หมายถึง อัตราการไหล (m^3/S)

L หมายถึง ความยาวของสันเวียร์ (m)

d หมายถึง ความลึกต้นน้ำของเวียร์ (m)

C หมายถึง ความสูงของเวียร์จากท้องราง (m)

C_w หมายถึง ค่าคงที่หาได้จากสมการ

$$C_w = 0.611[1-3Fr^2/(Fr^2+2)]^{0.5} \qquad (20)$$

โดย Fr หมายถึง Froude Number หาได้จากสมการ (3)

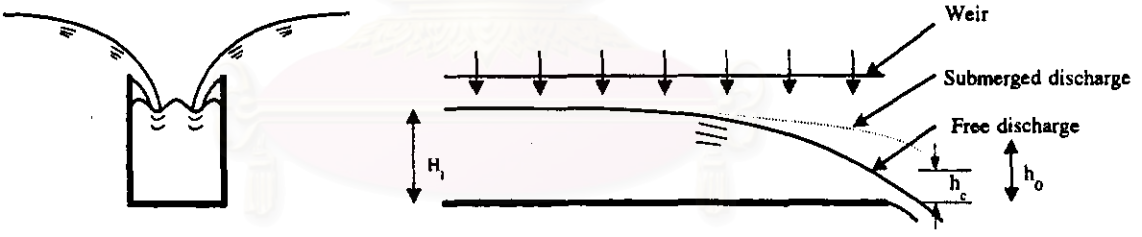
เนื่องจากการคำนวณหาอัตราการไหลที่ถูกผันข้ามเวียร์ข้างมีความซับซ้อนค่อนข้างมากและเสียเวลาในการวนซ้ำค่อนข้างนาน ดังนั้นในโปรแกรมตามวิทยานิพนธ์นี้จึงได้กำหนดให้มีเวียร์ข้างได้เพียง 1 ชุด สำหรับการวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง

นอกจากนี้ในบางครั้งการเลือกขนาดเวียร์ที่ไม่เหมาะสม หรือการป้อนข้อมูลที่ผิดพลาดก็อาจทำให้โปรแกรมไม่สามารถหาอัตราการไหลที่ถูกผันออกจากเวียร์ข้างได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ผู้ใช้ป้อนระดับน้ำท้ายน้ำสูงกว่าสันเวียร์ข้างมาก อาจทำให้ค่าอัตราการไหลที่หาจากสมการ Dermachai มีค่าอัตราการไหลของน้ำที่ต้นน้ำของเวียร์ข้าง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้หาอัตราการไหลที่ล้นข้ามเวียร์ข้างไม่ได้ ในกรณีนี้โปรแกรมจะเตือนว่า หาคำตอบไม่ได้ และถือว่าน้ำที่ล้นผ่านเวียร์ข้างมีค่าเป็นศูนย์แทน

สำหรับกรณีที่สันเวียร์มีอยู่ทั้ง 2 ด้านของราง ค่าอัตราการไหลที่ผันออกจากเวียร์แต่ละด้านสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ Demarchi ได้ ลักษณะของรางที่มีการติดตั้งเวียร์ข้างโดยส่วนใหญ่ในระบบบำบัดน้ำเสียจะเป็นรางสี่เหลี่ยมไม่มีความชัน เนื่องจากง่ายต่อการก่อสร้าง ดังนั้นในโปรแกรมตามวิทยานิพนธ์นี้ สามารถทำการคำนวณเวียร์ข้างไว้เฉพาะเป็นแบบที่ติดตั้งกับรางสี่เหลี่ยม ไม่มีความชันเท่านั้น โดยสามารถทำการคำนวณได้ทั้งแบบมีเวียร์ข้างเดียวหรือมีเวียร์ทั้งสองข้างของราง

2.7 รางรับน้ำ

รางรับน้ำ (Launder) ในที่นี้จะหมายถึงรางที่มีน้ำไหลเข้าตลอดความยาวของราง เช่น รางรับน้ำของถังตกตะกอน ซึ่งจะมีน้ำในถังตกตะกอนล้นข้ามเวียร์เข้ามาในรางที่ทุกๆ จุดตลอดความยาวของราง การไหลของน้ำในรางรับน้ำนี้จะเรียกว่า แบบ Spatially Varied Flow รูปจำลองของรางรับน้ำจะเป็นไปตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 และสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.6 รูปจำลองของรางรับน้ำ

$$H_1 = [(2Y_C^3/h_o) + (h_o - iL/3)^2]^{0.5} - 2iL/3 \qquad (20)$$

โดย H_1 หมายถึง ระดับน้ำที่ต้นทางของรางรับน้ำ (m)

Y_C หมายถึง ความลึกวิกฤต (m) หาได้จากสมการ (2)

L หมายถึง ความยาวของรางรับน้ำ (m)

h_o หมายถึง ความลึกของน้ำที่ท้ายน้ำของรางรับน้ำในกรณีที่ระดับน้ำที่ท้ายน้ำอยู่สูงกว่าท้องรางรับน้ำ (m)

i หมายถึง ความชันของรางรับน้ำ

โดยทั่วไปรางรับน้ำมักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมและไม่มีความชัน เนื่องจากเป็นแบบที่ก่อสร้างง่ายที่สุด ดังนั้น เมื่อแทนค่า Y_c ของรางสี่เหลี่ยม ซึ่งมีค่าดังแสดงในสมการที่ (21) และแทนค่า i = 0 ลงในสมการที่ (20) จะทำให้สมการดังกล่าวเปลี่ยนรูปมาอยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นดังแสดงในสมการที่ (22)

$$Y_C = (Q^2 / gb^2)^{1/3} \tag{21}$$

โดย Q หมายถึง อัตราการไหล (m^3/s)

b หมายถึง ความกว้างของรางสี่เหลี่ยม (m)

$$H_1 = [2Y_C^3 / h_o + h_0^2]^{0.5} \tag{22}$$

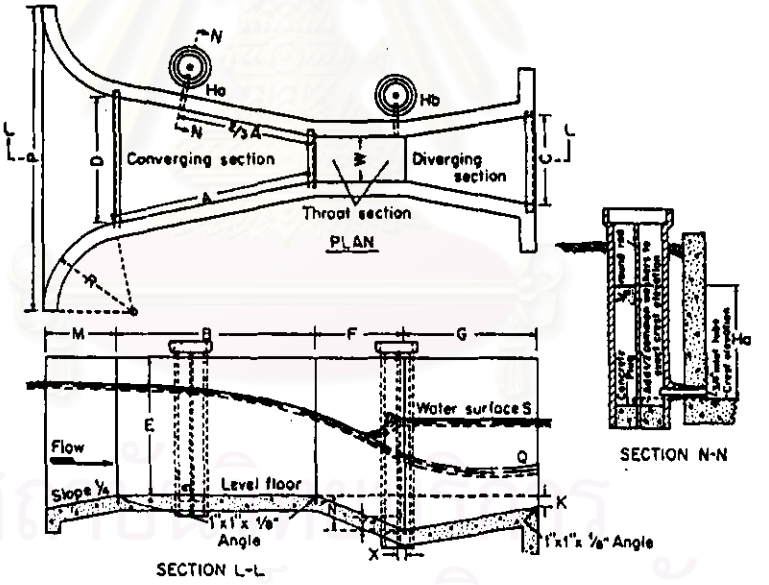
และในกรณีที่รางตามสมการที่ (22) มีระดับน้ำด้านท้ายน้ำต่ำกว่าระดับท้องรางรับน้ำ นั่นคือ เกิดการตกแบบอิสระในกรณีนี้ค่า h_o จะเท่ากับ Y_c ดังนั้น สมการที่ (22) จะเปลี่ยนรูปไปเป็นสมการต่อไปนี้

$$H_1 = 1.732 Y_C \tag{23}$$

2.8 Parshall Flume

Parshall Flume เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหลในรางน้ำเปิดที่มีประสิทธิภาพ และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายมานาน เนื่องจากไม่มีส่วนใดของอุปกรณ์ที่กีดขวางทางน้ำ จนอาจทำให้เกิดการตกตะกอนสะสมได้ ลักษณะของ Parshall Flume จะเป็นไปตามรูปที่ 2.7 ลักษณะการทำงานของ Parshall Flume คือ รางบังคับให้เกิดความลึกวิกฤตที่บริเวณเหนือคอคอด (Throat) และเกิด Hydraulic Jump ที่ปลายด้านขาออกของ Flume ณ บริเวณที่เกิดความลึกวิกฤต ค่าความลึกดังกล่าวจะแปรผันตามค่าอัตราการไหล ดังนั้นเมื่อทราบความลึก ณ จุดที่เกิดความลึกวิกฤต ก็สามารถนำไปใช้หาค่าอัตราการไหลได้

การใช้งาน Parshall Flume โดยปกติมักจะออกแบบให้ด้านท้ายน้ำของ Flume มีลักษณะเป็นการตกอิสระ (Free Flow) เพื่อให้สามารถหาค่าอัตราการไหลได้โดยคำนวณจากการอ่านค่าความลึกที่ส่วนเหนือคอคอดของ Flume เพียงอย่างเดียว แต่ในบางกรณีก็ไม่สามารถทำให้ปลายด้านท้ายน้ำเกิดการตกอิสระได้ทุกครั้ง ซึ่งทำให้ค่าอัตราการไหลมิได้ขึ้นอยู่กับความลึกที่ส่วนเหนือคอคอดเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับความลึกที่ส่วนปลายของคอคอดด้วย ค่าความลึกของน้ำส่วนที่อยู่เหนือคอคอด โดยทั่วไปจะแทนด้วยตัวแปร H_a ส่วนค่าความลึกที่ส่วนปลายของคอคอดจะแทนด้วย H_b ดังแสดงในรูปที่ 2.7 สำหรับสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการไหลของ Flume ขนาดต่างๆ และค่าอัตราส่วน H_b/H_a สูงสุดที่ทำให้ท้ายน้ำเป็นปลายตกอิสระและสามารถคำนวณด้วยค่า H_a อย่างเดียวได้นั้น จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 ถ้าค่า H_b/H_a สูงกว่าที่แสดงไว้ในตาราง H_b จะต้องถูกนำมาคำนวณอัตราการไหลด้วย

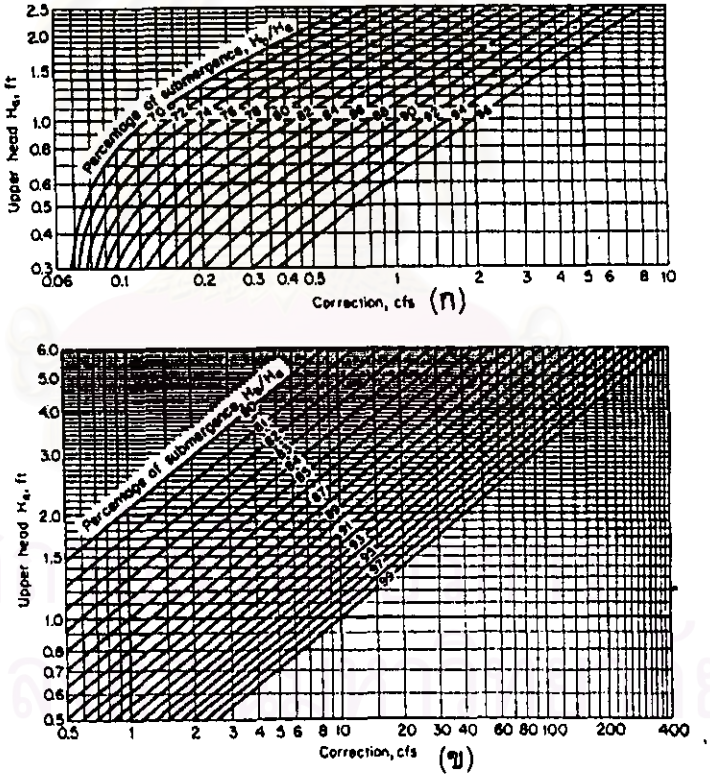


รูปที่ 2.7 Parshall Flume

I 18057263

ตารางที่ 2.2 สมการสำหรับ Parshall Flume แต่ละขนาด และค่า H_b/H_a สูงสุด

คอคอด, W (ft)	สมการที่ใช้คำนวณ		ค่า Hb/Ha สูงสุด ที่สามารถใช้สมการได้
0.25	$Q = 0.992\ H_a^{1.547}$	(24)	0.6
0.5	$Q = 2.06\ H_a^{1.58}$	(25)	0.6
0.75	$Q = 3.07\ H_a^{1.53}$	(26)	0.6
1 ถึง 8	$Q = 4\ WH_a^{1.522W^{0.026}}$	(27)	0.7
10 ถึง 50	$Q = (3.6875\ W + 2.5)H_a^{1.6}$	(28)	0.8



รูปที่ 2.8 ค่าแก้ไขอัตราการไหลของ Parshall Flume ขนาด ก) 1 ft, ข) 10 ft

ในกรณีที่ค่า H_b/H_a สูงกว่าที่กำหนดไว้ในตาราง H_b/H_a อัตราการไหลที่คำนวณจากสมการจะต้องถูกปรับแก้ด้วยค่าแก้ไขอัตราการไหล โดยค่าแก้ไขอัตราการไหลของ Flume ขนาด 1 ฟุต และ 10 ฟุต จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.8 จากรูปเมื่อทราบค่า H_a และค่า H_b/H_a ก็สามารถหาค่า

แก้ไขอัตราการไหลได้ ค่าอัตราการไหลที่ผ่าน Flume จริง จะเท่ากับ ค่า Q จากสมการในตารางที่ 2.2 ลบด้วยค่าแก้ไขอัตราการไหล ในกรณีของ Flume ขนาดอื่นๆ ค่าแก้ไขอัตราการไหลสามารถหาได้โดยใช้ค่าแก้ไขอัตราการไหลของ Flume 10 ฟุต และ 1 ฟุต คูณกับตัวประกอบแก้ไข (Correction Factor) ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าตัวประกอบแก้ไขของ Parshall Flume ขนาดต่างๆ

คอคอด,W (Ft)	ค่าตัวประกอบแก้ไข
0.25 ถึง 1	1.0
1.5	1.4
2	1.8
3	2.4
4	3.1
6	4.3
8	5.4

* ใช้คูณกับค่าแก้ไขอัตราการไหลของ Flume 1 ฟุต

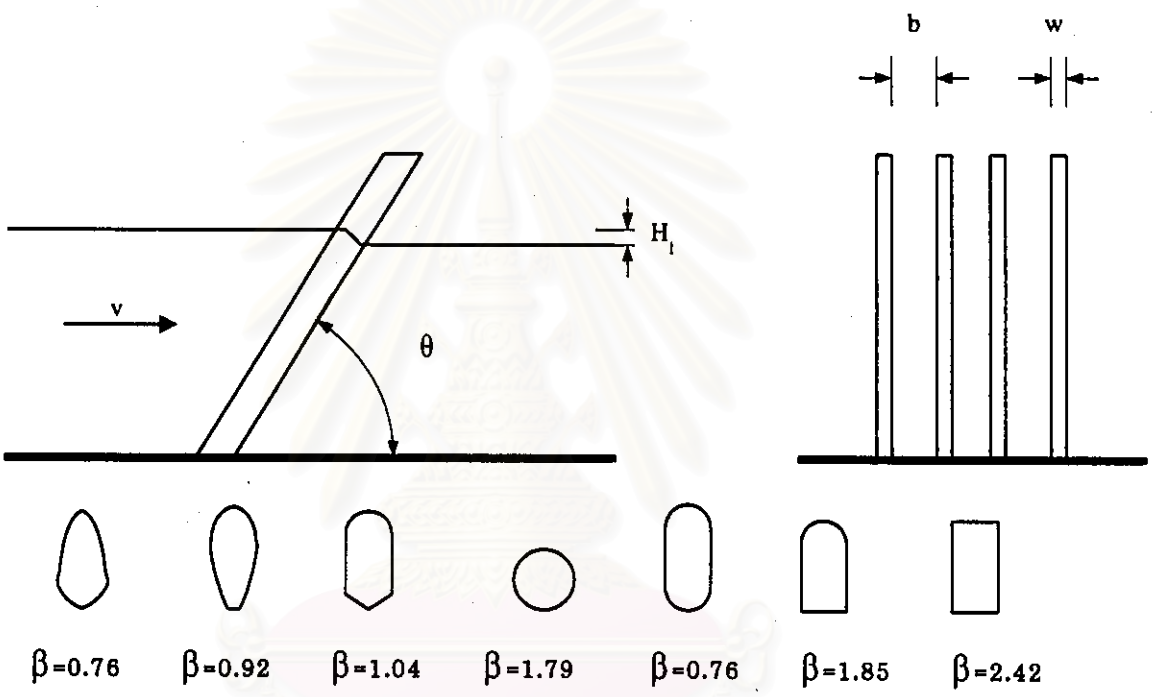
คอคอด, W (ft)	ตัวประกอบแก้ไข
10	1.0
12	1.2
15	1.5
20	2.0
25	2.5
30	3.0
40	4.0
50	5.0

* ใช้คูณกับค่าแก้ไขอัตราการไหลของ Flume 10 ฟุต

ในการคำนวณด้วยโปรแกรม แผนผังในรูปที่ 2.8 จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสมการเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถคำนวณได้ง่าย โดยสมการดังกล่าวจะมีค่า Regression Correlation (R) 0.9 ขึ้นไป หรือคิดเป็นความผิดพลาดไม่เกิน 1 ซม. ของ H_a ดังนั้นผลการคำนวณจากโปรแกรมจึงมีความละเอียดสูงมาก สำหรับรูปสมการที่ใช้ในโปรแกรมนั้น จะอยู่ในส่วนรหัสต้นฉบับ (Source Code) ของโปรแกรม โดยผู้สนใจสามารถติดต่อได้ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

2.9 ตะแกรงดักขยะ

ตะแกรงดักขยะ (Screen) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันขยะหรือวัสดุที่ติดมากับน้ำ ไม่ให้เข้าไปทำความเสียหายต่อหน่วยกระบวนการด้านท้ายน้ำ รูปจำลองของตะแกรงดักขยะจะเป็นไปตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รูปจำลองของตะกอนดักขยะ ซี่ตะแกรงและค่า β

ความดันสูญเสียผ่านตะแกรงจะขึ้นอยู่กับมุมของตะแกรง ความหนาของซี่ตะแกรง ระยะห่างของซี่ตะแกรง รูปร่างของซี่ตะแกรง และความเร็วผ่านตะแกรง โดยมีลักษณะสมการดังนี้

$$H_l = \beta(w/b)^{4/3}\frac{v^2}{2g}\mathrm{SIN}\theta \qquad (29)$$

โดย β หมายถึง ค่าคงที่ ขึ้นกับรูปร่างของซี่ตะแกรง ดังแสดงในรูปที่ 2.9

w หมายถึง ความหนาของซี่ตะแกรง (m)

b หมายถึง ระยะห่างระหว่างซี่ตะแกรง (m)

v หมายถึง ความเร็วด้านต้นน้ำของตะแกรง (m/s)

θ หมายถึง มุมของตะแกรงวัดจากแนวระนาบ

การคำนวณหาความดันลดโดยใช้สมการ (29) จะใช้ได้เฉพาะกรณีตะแกรงที่สะอาดไม่มีขยะค้าง การคำนวณค่าความดันลดของตะแกรงที่มีขยะติดอยู่อาจทำได้โดยปรับระยะห่างของซี่ตะแกรงให้ลดลง หรือถ้าใช้โปรแกรมอาจเลือกใช้ค่าความดันสูงสุดที่ยอมให้เกิดขึ้นก่อนจะมีการกวาดขยะเป็นค่าคงที่ในการคำนวณแทนต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย