การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบและเขียนแบบ อาคารท่อส่งน้ำแบบปากแตร

Development of Computer Program for Design and Draft of Morning Glory Outlet Works

คำนำ

โครงการชลประทานประเภทอ่างเก็บน้ำ เกิดขึ้นเพื่อทำการเก็บกักน้ำที่มีมากในฤดูฝนไว้ในอ่างเก็บน้ำ และส่งน้ำทางอาคารท่อส่งน้ำ ให้มีน้ำใช้เพื่อการเพาะปลูก อุปโภค-บริโภค การอุตสาหกรรม และการประปา แก่ประชาชนผู้อาศัยอยู่ทางด้านท้ายเขื่อนได้ตลอดเวลา ทำให้มีน้ำใช้ตลอดปี การก่อสร้างอาคารท่อส่งน้ำ ซึ่งจะต้องวางท่อลอดผ่านใต้ตัวเขื่อน มีความจำเป็นที่ผู้ออกแบบ จะต้องเข้าใจถึงหลักการออกแบบทางชลศาสตร์ ทางโครงสร้าง และการเขียนแบบที่ชัดเจน ถูกต้อง และส่งให้กับผู้ควบคุมการก่อสร้าง เพื่อจะได้ดำเนินการควบคุมการก่อสร้างให้ถูกต้องได้ผลตามความมุ่งหมาย ทั้งนี้เพราะสาเหตุที่สำคัญของการวิบัติของเขื่อนเก็บกักน้ำ โดยเฉพาะประเภทเขื่อนดิน เกิดจากการออกแบบและก่อสร้างท่อส่งน้ำลอดผ่านตัวเขื่อนไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดการรั่วซึมของน้ำซึ่งกัดเซาะดินถมตัวเขื่อนทำให้ความแข็งแรงของเขื่อนลดลงจนไม่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้เกิดและเกิดการพังทะลาย ดังจะเห็นจากรายงานสาเหตุความเสียหายของเขื่อนที่ได้รวบรวมไว้ในการประชุมเขื่อนใหญ่นานาชาติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอาคารท่อส่งน้ำ นับว่าเป็นอาคารที่มีความสำคัญมากในงานทางด้านการชลประทาน

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์มีบทบาทอย่างมาก ในการพัฒนาทางด้านวิชาการ เนื่องจากนำมาใช้ในการคำนวณได้อย่างสะดวกรวดเร็ว แม่นยำ ดังนั้นการนำโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่นิยมอย่าง Microsoft Excel ที่เป็นโปรแกรมทางด้านการคำนวณ และ AutoCAD ที่เป็นโปรแกรมทางด้านการการเขียนแบบ มาประยุกต์ร่วมกันโดยใช้การเขียน Visual Basic for Application เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ในการคำนวณออกแบบ เขียนแบบ และสามารถคำนวณหาราคาค่าก่อสร้างของอาคาร เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด อันจะทำให้วิศวกรผู้ออกแบบทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมในการออกแบบทางด้านชลศาสตร์ และทางด้านโครงสร้างของอาคารท่อส่งน้ำเฉพาะในส่วนที่สำคัญ

2. เขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการเขียนแบบเบื้องต้นให้เห็นถึงรูปร่างและมิติของอาคารท่อส่งน้ำ

3. เพื่อให้ได้โปรแกรมที่สามารถคำนวณราคาค่าก่อสร้างเบื้องต้นของอาคารท่อส่งน้ำ

ขอบเขตการศึกษา

1. พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปในการออกแบบอาคารท่อส่งน้ำแบบปากแตร (Morning Glory Outlet Works) เพื่อส่งน้ำให้คลองส่งน้ำ ทางด้านชลศาสตร์ (Hydraulic Design) และทางด้านโครงสร้าง (Structure Design) เพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างที่เหมาะสม สามารถส่งน้ำได้ในปริมาณที่ต้องการ โดยคำนึงถึง ความมั่นคงและปลอดภัยของตัวอาคาร

2. การพัฒนาโปรแกรมในการออกแบบ จะไม่คำนวณออกแบบอาคารควบคุม (Control House) ซึ่งเป็นอาคารประกอบของอาคารท่อส่งน้ำ

3. พัฒนาโปรแกรม เพื่อการคำนวณอาคารท่อส่งน้ำ โดยให้ตำแหน่งของอาคารควบคุม (Control House) อยู่ทางด้านปลายท่อส่งน้ำ (Downstream Control) และใช้รูปแบบของอาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure) ในรูปแบบของแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin) ของ USBR.

4. พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปในการนำค่าที่ได้จากการคำนวณ นำมาแสดงภาพรูปร่างของอาคารท่อส่งน้ำในลักษณะรูปแปลน, รูปตัดตามแนวศูนย์กลางอาคาร

5. พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อใช้ในการคำนวณราคาค่าก่อสร้างเบื้องต้นของอาคารท่อส่งน้ำ เพื่อนำไปใช้ในระดับงานศึกษาความเหมาะสมของโครงการ

การตรวจเอกสาร

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีลักษณะใกล้เคียงที่ได้มีการพัฒนาแล้ว

นรินทร์ (2523) ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบอาคารระบายน้ำล้นแบบ Morning Glory เป็นการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปด้วยโลตัส 1-2-3 รีลีส 2.01 ซึ่งทำการออกแบบเฉพาะทางด้านการออกแบบทางชลศาสตร์

นันทวรรณ (2544) ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาวิชวลเบสิก (Visual Basic) สำหรับการคำนวณงานออกแบบอาคารระบายน้ำล้น

พฤกษ์ (2544) ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับเขียนแบบและออกแบบฝายทดน้ำแบบ Ogee ซึ่งเรียกว่าโปรแกรม weir โดยเขียนในโปรแกรม AutoCad

ทั่วไป

โอบเอื้อ (2535) ได้กล่าวไว้ว่า อาคารท่อส่งน้ำเป็นอาคารประกอบของอ่างเก็บน้ำเช่นเดียวกับอาคารระบายน้ำล้นและอาคารท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม สำหรับใช้ส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำลอดผ่านตัวเขื่อนไปใช้ทางด้านท้ายเขื่อน เพื่อการเกษตรกรรม อุตสาหกรรม การผลิตกระแสไฟฟ้า หรืออุปโภค-บริโภค การออกแบบอาคารท่อส่งน้ำจะต้องพิจารณาถึงอัตราการปล่อยน้ำผ่านอาคาร ระดับน้ำเก็บกัก ระดับน้ำต่ำสุด ชนิดและลักษณะของเขื่อน สภาพภูมิประเทศบริเวณจุดที่ตั้งอาคาร ตลอดจนหน้าที่หลักและหน้าที่รอง เพื่อนำไปใช้กำหนดจุดที่ตั้ง หาขนาดและคำนวณออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ทั้งทางด้านชลศาสตร์ ทางด้านโครงสร้าง เพื่อให้อาคารท่อส่งน้ำทำหน้าที่ได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้และมีความมั่นคงแข็งแรง

จุดประสงค์ของอาคารท่อส่งน้ำ (Outlet Works)

จุดประสงค์ของอาคารท่อส่งน้ำ ซึ่งเป็นอาคารประกอบของเขื่อนเก็บกักน้ำประเภทหนึ่งเพื่อทำหน้าที่สำคัญ ดังนี้

1. ทำหน้าที่เป็นอาคารส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น เพื่อการชลประทาน อุตสาหกรรม และการประปา แก่ประชาชนที่อาศัยอยู่ทางด้านท้ายเขื่อน

2. ใช้เป็นทางผันน้ำในระหว่างการก่อสร้าง เพื่อนำน้ำจากลำน้ำระบายลงลำน้ำทางด้านท้ายน้ำ ทำให้ประชาชนที่อาศัยอยู่สองฝั่งของลำน้ำมีน้ำกินน้ำใช้ตามปกติเช่นเดิม

3. ใช้ทำหน้าที่เสริมช่วยอาคารทางระบายน้ำล้น โดยการระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้ลดระดับลงก่อนที่จะถึงฤดูน้ำหลาก ทำให้อ่างเก็บน้ำสามารถรับน้ำลงอ่างเก็บน้ำได้มากขึ้นในฤดูน้ำหลาก

4. ทำหน้าที่ระบายน้ำทิ้งออกจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อทำการตรวจสอบหรือซ่อมแซมเขื่อนอาคารท่อส่งน้ำ

ชนิดของอาคารท่อส่งน้ำ

อาคารท่อส่งน้ำโดยทั่วไป จะแบ่งออกได้ตามการใช้งาน ดังนี้

1. Irrigation Outlet หรือ Canal Outlet คือ อาคารท่อส่งน้ำที่ใช้ควบคุมการปล่อยน้ำลงคลองส่งน้ำเพื่อการชลประทาน

2. River Outlet คือ อาคารท่อส่งน้ำที่ใช้ระบายน้ำลงลำน้ำเดิม เพื่อรักษาระดับน้ำในแม่น้ำสำหรับการคมนาคม การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การควบคุมคุณภาพน้ำ ตลอดจนเพื่อความต้องการน้ำในการอุปโภค-บริโภคทางด้านท้ายน้ำ

3. Flood Control Outlet คือ อาคารท่อส่งน้ำที่ใช้ระบายน้ำออกจากอ่าง เพื่อไม่ให้ระดับน้ำในอ่างลุกล้ำเข้าไปในเขตปริมาตรสำรองเพื่อการป้องกันน้ำท่วม

4. Power Outlet หรือ Penstock คือ อาคารท่อส่งน้ำที่ปล่อยน้ำเพื่อไปหมุนเทอร์ไบน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

5. Sluice Outlet คือ อาคารท่อส่งน้ำที่ปล่อยน้ำเพื่อระบายตะกอนหน้าเขื่อน

ส่วนประกอบของอาคารท่อส่งน้ำ

ส่วนประกอบที่สำคัญของอาคารท่อส่งน้ำโดยทั่วไป จะแบ่งออกได้ตามลักษณะของรูปแบบอาคารใช้งาน และทางด้านชลศาสตร์ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งแบ่งส่วนประกอบได้ดังต่อไปนี้

1. อาคารรับน้ำ (Intake Structure)
2. ท่อส่งน้ำ (Conduit)
3. อาคารควบคุมการส่งน้ำ (Control House)
4. อาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure)

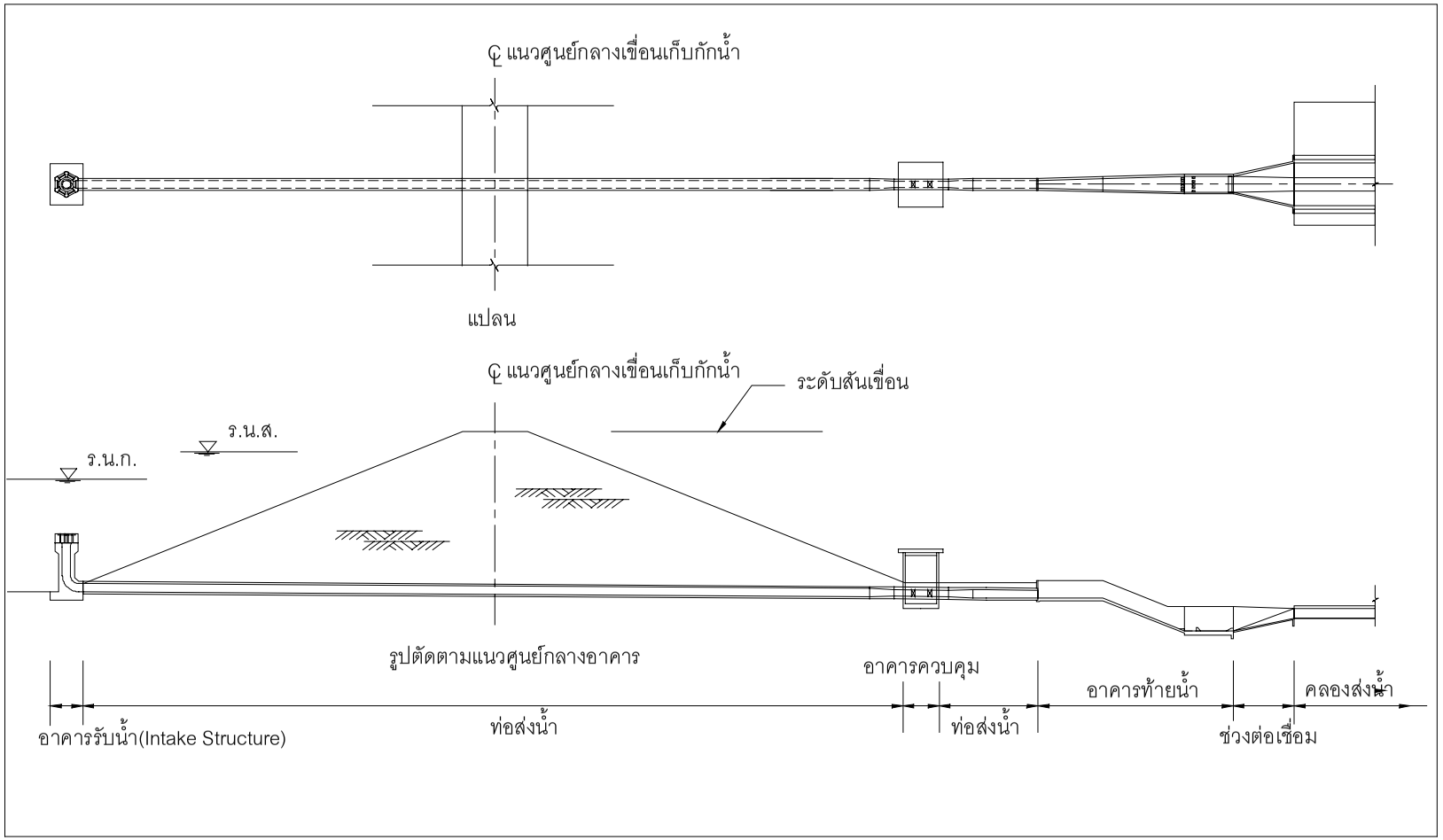
อาคารรับน้ำ

เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำหน้าที่เป็นช่องทางรับน้ำจากทางรับน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำไหลเข้าท่อส่งน้ำ สถานที่ตั้งของอาคารรับน้ำจะอยู่ที่ปลายท่อส่งน้ำด้านอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะอยู่ใกล้กับลาดด้านหน้าเขื่อน ลักษณะทั่วไปจะเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยเปิดทางรับน้ำเข้าทางด้านข้าง หรือด้านบน มีตะแกรงกันสวะปิดกั้นป้องกันไม่ให้กิ่งไม้ ต้นไม้ ไหลเข้าไปทำอันตรายท่อส่งน้ำ หรือทำให้เกิดการอุดตันได้

1. ชนิดของอาคารรับน้ำ (Intake Structure)

ชนิดของอาคารรับน้ำ โดยทั่วไปจะแบ่งออกได้ตามลักษณะรูปร่างของอาคารมีดังนี้

1.1 อาคารรับน้ำแบบกล่องสี่เหลี่ยม (Box Inlet) เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรูปสี่เหลี่ยมติดตั้งที่ปลายท่อส่งน้ำทางด้านอ่างเก็บน้ำบริเวณด้านหน้าจะเปิดเป็นทางรับน้ำเข้า และติดตั้งตะแกรงเหล็กสำหรับป้องกันสวะ กิ่งไม้ และวัสดุอื่นๆ ไหลเข้าไปในท่อส่งน้ำ ทำให้เกิดการอุดตัน



<u>ภาพที่ 1</u> แสดงลักษณะทั่วไปของอาคารท่อส่งน้ำแบบปากแตร

หรือท่อนไม้ใหญ่กระแทกให้ท่อส่งน้ำเสียหายได้ บางแห่งต้องการรับน้ำมากขึ้นโดยเปิดบริเวณด้านข้างอีกสองด้าน และด้านบนอาคาร โดยติดตั้งตะแกรงเหล็กกันสวะไว้ทุกด้าน อาคารท่อส่งน้ำรูปสี่เหลี่ยมโดยทั่วไปแสดงในภาพที่ 2 บริเวณปากทางท่อส่งน้ำจะติดตั้งช่องไว้ใส่ Stop Log ป้องกันน้ำไหลเข้าท่อส่งน้ำ ในกรณีที่ต้องทำการตรวจสอบและซ่อมแซมท่อส่งน้ำ

1.2 อาคารรับน้ำแบบหอรับน้ำ (Tower) เป็นอาคารรับน้ำที่สร้างหอรับน้ำ สูงจากระดับพื้นดินและส่งน้ำเข้าทางด้านบนของหอรับน้ำ ซึ่งจะออกแบบให้ผายออกคล้ายปากแตร (เครื่องดนตรี) (Morning Glory) สันฝายจะอยู่ที่ระดับน้ำต่ำสุดส่วนบนของฝายจะสร้างครีบแบ่งน้ำให้ไหลเข้าปากทางรับน้ำ บริเวณระหว่างครีบจะติดตั้งตะแกรงเหล็กกันสวะ ดังแสดงในภาพที่ 3

1.3 อาคารรับน้ำอยู่ในที่เดียวกับอาคารทางระบายน้ำล้น โดยการติดตั้งประตูที่หอรับน้ำของทางระบายน้ำล้นแบบ Morning Glory Spillway เปิดรับน้ำให้ไหลเข้าทางหอคอยรับน้ำ และส่งน้ำลงไปทางท่อส่งน้ำในแนวนอนเบื้องล่าง ซึ่งเหมาะสำหรับสร้างเป็นอาคารประกอบของเขื่อนเก็บกักน้ำที่มีความสูงไม่มากนัก ข้อเสียในการสร้างอาคารรับน้ำประเภทนี้ คือ แรงดันน้ำที่พุ่งเข้ามากระแทกผนังของกำแพงหอคอยรับน้ำตลอดเวลา ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน การก่อสร้างจะต้องพิจารณาถึงความแข็งแรงของตัวอาคารและฐานรากให้สามารถรับแรงกระแทกของน้ำได้

<u>ท่อส่งน้ำ</u>

ทำหน้าที่เป็นทางส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำลอดผ่านตัวเขื่อน โดยทั่วไปเป็นท่อคอนกรีตกลม สำหรับเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่ที่มีแรงดันของน้ำภายในท่อส่งน้ำสูง จะติดตั้งท่อเหล็กกลม (Steel Liner) อยู่ภายใน เพื่อช่วยเสริมความแข็งแรงและเพื่อป้องกันน้ำรั่วซึมผ่านท่อคอนกรีตเข้าไปในตัวเขื่อน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการทรุดตัวของท่อส่งน้ำไม่เท่ากัน เป็นผลให้ท่อคอนกรีตแตกหรือหลุดจากกัน หรือทำให้น้ำไหลซึมเข้าไปในตัวเขื่อนได้

<u>อาคารควบคุมการส่งน้ำ (Control House)</u>

อาคารควบคุมการส่งน้ำ (Control House) คือ อาคารที่ติดตั้งประตูน้ำสำหรับใช้ในการปิด-เปิดน้ำที่ส่งไปใช้งานทางด้านท้ายเขื่อน ภายในอาคารจะประกอบด้วย ประตูน้ำสองชุด ชุดแรกทางด้านหน้าซึ่งเรียกว่า Guard Gate ทำหน้าที่ปิดกั้นน้ำในท่อ เมื่อต้องการซ่อมแซมและบำรุงรักษาประตูน้ำ

ชุดที่สองถัดจากชุดแรก ซึ่งเรียกว่าประตูน้ำใช้งาน Operating Gate เป็นประตูน้ำที่ใช้ในการควบคุมปิด-เปิดการส่งน้ำ ซึ่งจะต้องถูกใช้งานตลอดเวลาที่ต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ สำหรับกรณีที่ประตูน้ำ Guard Gate เสียหาย การแก้ไขต้องใช้วิธีลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้ต่ำลงถึงระดับน้ำเก็บกักแล้วใช้ Bulk Head Gate ปิดทางปากท่อส่งน้ำป้องกันไม่ให้น้ำไหลผ่านเข้าท่อ ตำแหน่งที่ตั้งอาคารควบคุมการส่งน้ำ จะสร้างตามชนิด ขนาด ของเขื่อนเก็บกักน้ำ และสภาพภูมิประเทศ โดยทั่วไปจะแบ่งออกได้ ดังนี้

1. อาคารควบคุมน้ำที่ตั้งอยู่ในช่วงต้นของท่อส่งน้ำด้านอ่างเก็บน้ำ

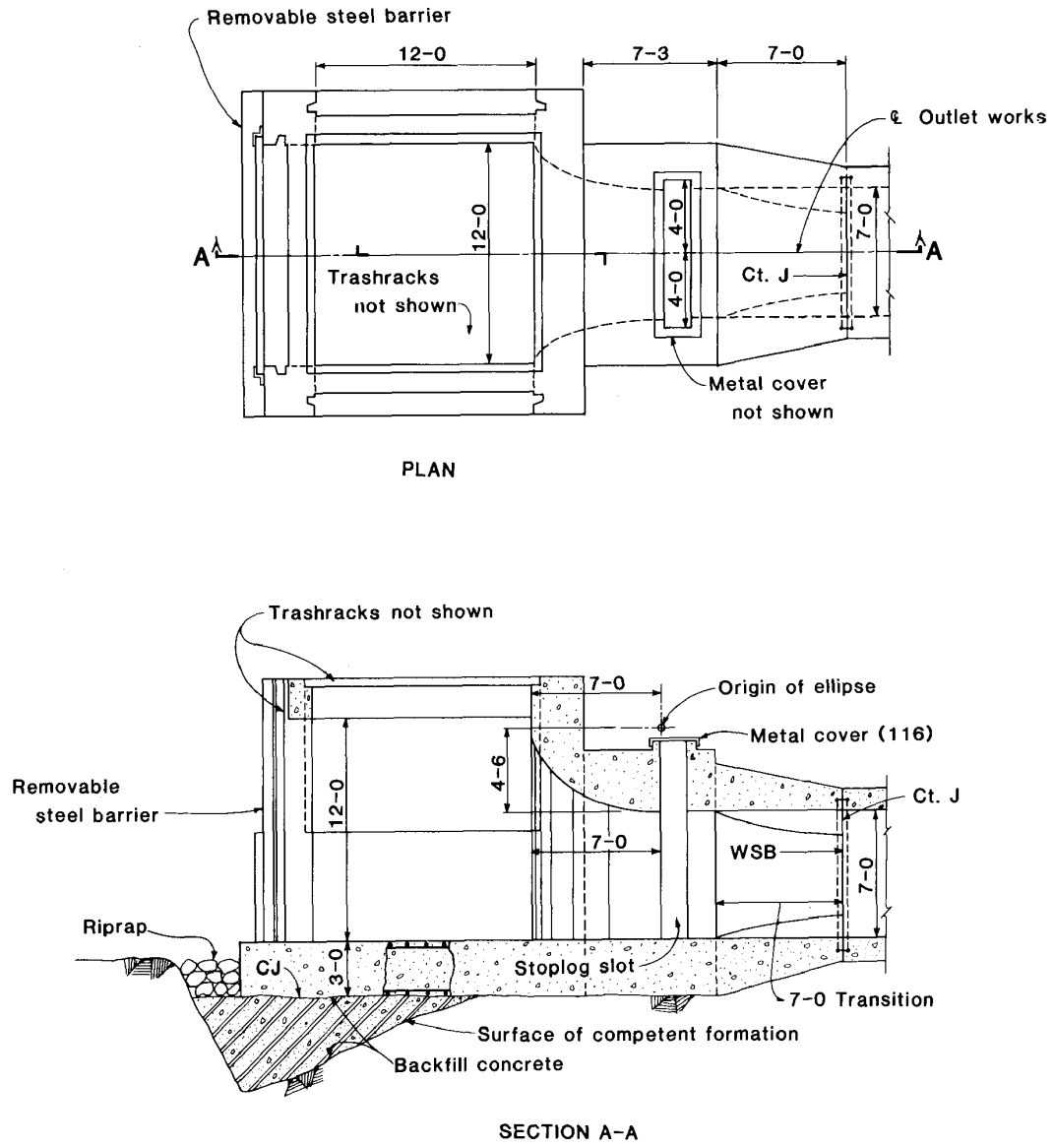
โดยทั่วไปจะสร้างกับเขื่อนขนาดเล็กที่มีความสูงไม่มากนัก เนื่องจากประตูน้ำติดทางด้านหน้าเขื่อน ทำให้แรงดันของน้ำในท่อส่งน้ำจะมีไม่มากนัก ท่อส่งน้ำจะมีราคาค่าก่อสร้างถูก ไม่ต้องมีท่อเหล็กภายใน (Steel Liner) แต่การควบคุมการปิดเปิด จะต้องสร้างสะพานจากสันเขื่อนหรือขอบอ่างเก็บน้ำให้เจ้าหน้าที่เดินไปปิดเปิดประตูน้ำ ถ้าสะพานมีความยาวมากราคาค่าก่อสร้างจะเพิ่มมากขึ้น

2. อาคารควบคุมน้ำที่ตั้งอยู่ในช่วงกลางของท่อส่งน้ำ

แรงดันของน้ำในท่อส่งน้ำด้านหน้าจะมีลักษณะเป็นท่อรับแรงดันของน้ำสูง สำหรับท่อส่งน้ำด้านท้าย น้ำจะไหลอย่างอิสสระ (Free Flow) การออกแบบอาคารรับน้ำและท่อส่งน้ำด้านหน้าจะต้องป้องกันการลอยตัว เนื่องจากแรงดันของน้ำสำหรับท่อส่งน้ำภายในตัวเขื่อนจะมีน้ำหนักของเขื่อนกดทับ การควบคุมการปิดเปิดประตูน้ำของอาคารควบคุมการส่งน้ำประเภทนี้ จะต้องสร้างปล่องสำหรับลงไปปิดเปิดประตูน้ำภายในตัวเขื่อน

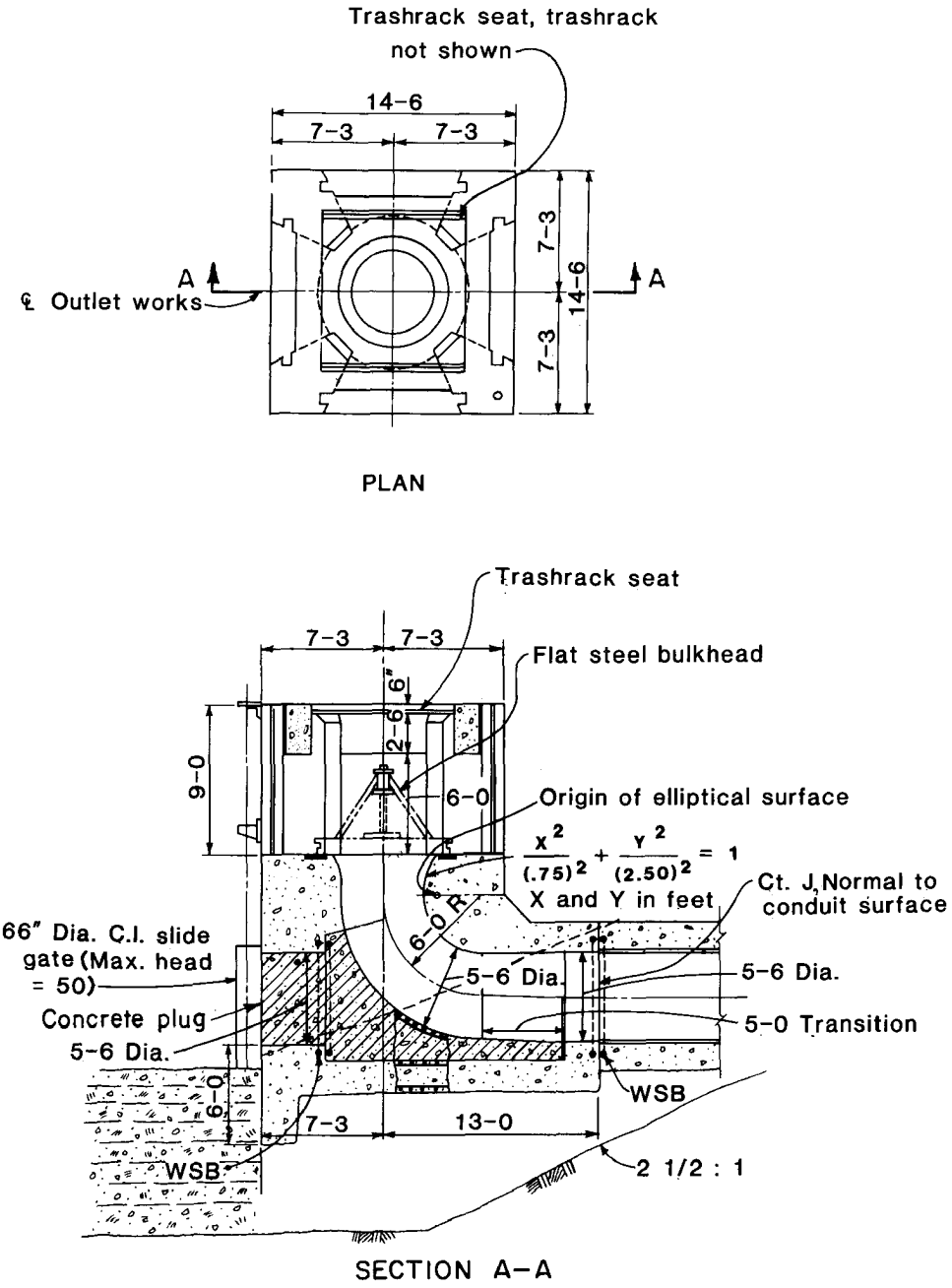
3. อาคารควบคุมน้ำตั้งอยู่ในช่วงปลายของท่อส่งน้ำทางด้านท้ายเขื่อน

การติดตั้งประตูน้ำประเภทนี้ ท่อส่งน้ำจะต้องมีความแข็งแรงสูง เพราะต้องรับแรงดันของน้ำสูงสุดตลอดความยาวของท่อ การก่อสร้างท่อคอนกรีตจะต้องใส่ท่อเหล็กภายใน เพื่อช่วยป้องกันน้ำรั่วซึมจากท่อคอนกรีต ซึ่งจะทำให้ราคาค่าก่อสร้าง



<u>ภาพที่ 2</u> ตัวอย่างอาคารรับน้ำแบบ Box Inlet

ที่มา: U.S.B.R. (1987)



ภาพที่ 3 ตัวอย่างอาคารรับน้ำแบบปากแตร (Morning Glory)

ที่มา: U.S.B.R. (1987)

อาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure)

เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้านท้ายน้ำ ทำหน้าที่สลายพลังน้ำที่ไหลออกจากท่อส่งน้ำด้วยความเร็วสูง ซึ่งจะต้องสลายพลังงานที่เกิดขึ้นนี้ให้ลดน้อยลง ก่อนที่จะให้น้ำไหลเข้าคลองส่งน้ำหรือลำน้ำเดิมด้านท้ายเขื่อน โดยไม่เกิดการกัดเซาะของลาดลำน้ำ และลาดตลิ่งทั้งสองข้างเสียหาย โดยทั่วไปการออกแบบก่อสร้างจะใช้ตามเกณฑ์กำหนดของ United State Bureau of Reclamation (U.S.B.R.) ซึ่งได้ทำการทดลองค้นคว้าในห้องทดลองชลศาสตร์แล้วจนได้ผลดีนำมาใช้ในการออกแบบก่อสร้าง โดยสำหรับอาคารท่อส่งน้ำมีความเหมาะสมและนิยมจะออกแบบให้ใช้เป็นชนิดแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin) ชนิดที่ III

อาคารท้ายน้ำที่มีรูปแบบเป็นแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin) เป็นอาคารที่สร้างต่อเนื่องกับส่วนของรางเทของอาคารระบายน้ำล้น เพื่อลดพลังงานของน้ำที่ไหลมาด้วยความเร็วสูง (Supercritical Velocity) โดยการเกิด Hydraulic Jump จนกระทั่งในที่สุดน้ำจะไหลสู่ด้านท้ายน้ำ (Downstream Channel) ด้วยความเร็วต่ำ เป็นการป้องกันความเสียหายหรืออันตรายจากการกัดเซาะทางน้ำอย่างรุนแรงได้

การออกแบบอาคารรับน้ำ (Intake Structure)

อาคารรับน้ำจะเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีช่องรับน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมอยู่บริเวณด้านข้างของอาคาร โดยที่ช่องรับน้ำจะมีตะแกรงดักขยะ (Trashrack) ปิดอยู่ เพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งของลอยน้ำ เศษไม้หรือวัสดุต่างๆ ที่มากับน้ำไหลเข้าสู่อาคาร ที่ปากทางเข้าท่อส่งน้ำจะมีทางรับน้ำเป็นรูปโค้ง (Entrance Shapes) เพื่อให้การไหลของน้ำเข้าท่อมีความราบเรียบสม่ำเสมอ และไหลผ่าน ช่วงต่อเชื่อมระหว่างอาคารรับน้ำ (Intake Structure) กับท่อส่งน้ำ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานน้อยที่สุด หลักเกณฑ์กำหนดการคำนวณออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของอาคารรับน้ำมีดังนี้

<u>การออกแบบตะแกรงดักขยะ (Trashrack)</u>

วราวุธ (2534) ได้กล่าวไว้ว่า ตะแกรงดักขยะทำด้วยเหล็กแผ่นตัดเป็นซี่ๆ ตามขนาดที่กำหนด นำมาเชื่อมต่อกันเป็นตะแกรง โดยซี่เหล็กแต่ละชิ้นมีระยะห่างกันตามแนวราบไม่มากกว่า 0.10 เมตร ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ขยะมาอุดตันที่ตะแกรงเหล็ก และป้องกันไม่ให้เศษขยะหลุดลอดเข้าไปภายในท่อส่งน้ำได้ การคำนวณหาขนาดพื้นที่ตัดของ Trashrack จะต้องมีขนาดใหญ่พอที่ความเร็วกระแสน้ำไหลผ่านตะแกรงประมาณ 0.60 ม./วินาที ซึ่งพื้นที่หน้าตัดที่กล่าวถึงเป็นพื้นที่หน้าตัดสุทธิไม่รวมพื้นที่ของแผ่นเหล็กที่นำมาทำเป็นตะแกรง และพื้นที่เกิดการอุดตัน โดยคำนวณได้ดังนี้

$$An = Q/V_T \qquad (1)$$

โดยที่

An = พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (Net Area) ของตะแกรงดักขยะ ($ม.^2$)

Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อสูงสุด ($ม.^3$/วินาที)

V_T = ความเร็วกระแสน้ำไหลผ่านตะแกรงดักขยะ (0.60 ม./วินาที)

การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดรวมของตะแกรงดักขยะ จะสมมติให้มีพื้นที่ๆ มีการอุดตันและพื้นที่ของตะแกรงเหล็กเป็น 50% ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดรวม คำนวณได้จาก

$$Ag = 2An \qquad (2)$$

โดยที่

Ag = พื้นที่หน้าตัดรวมของตะแกรงดักขยะ ($ม.^2$)

An = พื้นที่หน้าตัดสุทธิ ($ม.^2$)

พื้นที่หน้าตัดรวมเป็นพื้นที่ทั้งหมดของช่องรับน้ำซึ่งรวมกับพื้นที่ตะแกรงเหล็กด้วย

<u>รูปร่างทางรับน้ำ (Entrance Shapes)</u>

U.S.B.R. (1987) ได้กล่าวไว้ว่า รูปร่างของทางรับน้ำจะต้องออกแบบให้มีลักษณะเหมือนรูปร่างของลำน้ำที่พุ่งผ่านรูจมน้ำ (Orifice) รูปร่างที่ดีที่สุด เพื่อให้การไหลของน้ำราบเรียบสม่ำเสมอ คือทางเข้ารูปปากระฆัง (Bellmouth)

สำหรับอาคารท่อส่งน้ำชนิดปากแตรนี้ปากทางเข้ามีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม (Circular Entrance) ส่วนรูปร่างการบานของปากระฆังจะเป็นวงรี (Elliptical Curve) ดังแสดงในภาพที่ 2 และภาพที่ 3 ซึ่งหาได้จากสมการดังนี้

$$X^2/(0.5D)^2 + Y^2/(0.15D)^2 = 1 \qquad (3)$$

<u>การออกแบบท่อส่งน้ำ (Conduit)</u>

U.S.B.R. (1968) ได้กล่าวไว้ว่า การวิเคราะห์แรงต่างๆ และโมเมนต์ที่เกิดในส่วนต่างๆ ของท่อที่เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (Pressure Conduit) จะวิเคราะห์จากทฤษฎีและ ตารางของ Engineering Monograph No.14 Beggs Deformeter Stress Analysis of Single Barrel conduits โดย H.B. Phillips and I.E.Allen ตามที่แนบมาในภาคผนวก ข

<u>การออกแบบท่อเหล็ก (Steel Liner)</u>

U.S.B.R. (1986) ได้กล่าวว่า ในการออกแบบท่อเหล็ก จะพิจารณาออกแบบเป็นท่อเหล็กกลมหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยท่อเหล็กจะทำหน้าที่เป็นแบบ (Form work) ระหว่างการก่อสร้าง และเป็นท่อสำหรับรับแรงดันภายใน (Internal Pressure) อันเนื่องมาจากเฮดของน้ำและแรงกระแทกของน้ำอันเนื่องมาจากการปิด-เปิดประตูน้ำ โดยสามารถคำนวณหาความหนาของท่อเหล็กได้ดังนี้

1. การหาความหนาของท่อเหล็ก (Steel Liner)

1.1 การหาความหนาของท่อเหล็ก (Steel Liner) เพื่อต้านแรงดันของน้ำ

$$t = 0.5\gamma_w \, h.D/(F_s \, e) \quad (4)$$

(จาก Hook Tension Stress ซึ่งเกิดที่ศูนย์กลางท่อ)

โดยที่

t = ความหนาของท่อเหล็ก (Steel Liner) (ซม.)

γ_w = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ

= 0.001 กก./ซม.^{3}

h = ผลต่างของระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำและระดับศูนย์กลางท่อที่ตำแหน่งต่ำที่สุด

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อส่งน้ำ (ม.)

F_s = หน่วยแรงดึงของเหล็กที่ยอมให้

e = ประสิทธิภาพของรอยต่อ

= 0.70

1.2 การหาความหนาของท่อ Steel Liner ต่ำสุด ตามข้อกำหนด

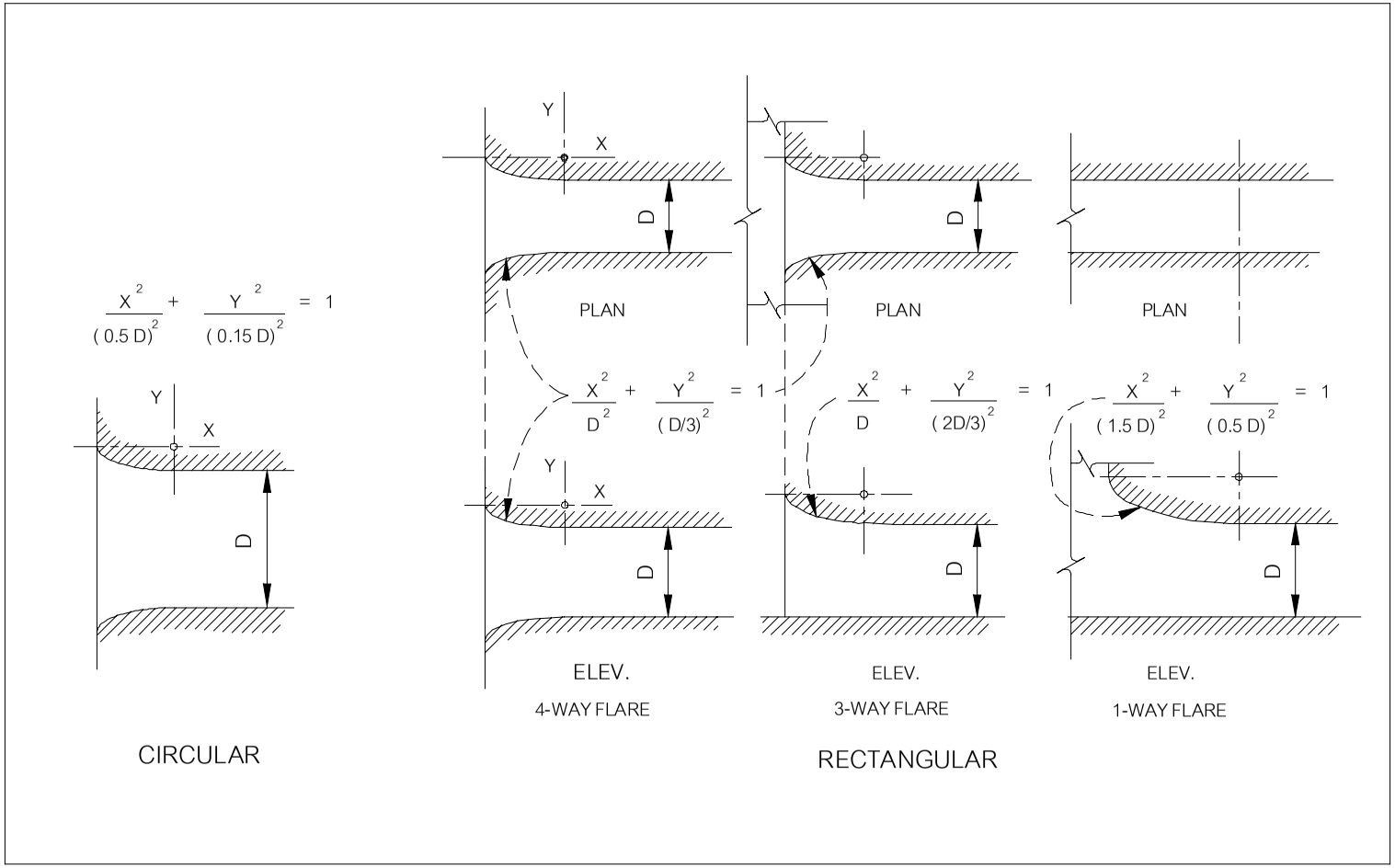
$$t_{min} = \frac{D + 50.8}{400} \quad (5)$$

เมื่อ

t_{min} = ความหนาของท่อเหล็ก (Steel Liner) ต่ำสุด (ซม.)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (ซม.)

เปรียบเทียบความหนาระหว่างข้อ (1.1) กับ ข้อ (1.2) ค่าใดมากกว่าให้ใช้ค่านั้นในการออกแบบท่อเหล็ก (Steel Liner)



<u>ภาพที่ 4</u> ลักษณะของทางเข้าสู่ท่อส่งน้ำ (ENTRANCE)

เกณฑ์การคำนวณด้านชลศาสตร์

สันติ (2534) ได้กล่าวโดยสรุปไว้ว่า คุณลักษณะทั่วๆ ไป ลักษณะการไหลของน้ำผ่านอาคารท่อส่งน้ำ ซึ่งมีอาคารรับน้ำแบบปากแตร จะแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ตามความสูงของความลึกของน้ำเหนือสันฝายปากแตร ดังแสดงในภาพที่ 5

การไหลแบบ Crest Control

ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการไหลได้จากสมการการไหลของน้ำผ่านฝายสันกว้างดังนี้

$$Q = Cw.(2\pi R)H_e^{1.5} \quad (7)$$

โดย

Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านฝาย (ลบ.ม./วินาที)

Cw = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านฝายสันกว้าง

= 1.5

R = รัศมีของฝายปากแตร (ม.)

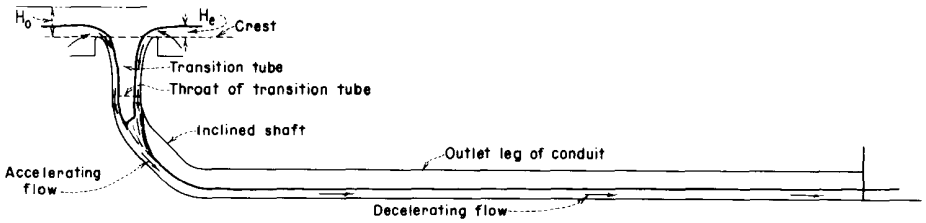
He = ความสูงของน้ำเหนือสันฝาย (ม.)

ลักษณะการไหลแบบ Crest Control แสดงได้ดังช่วงกราฟ a – g ในภาพที่ 4

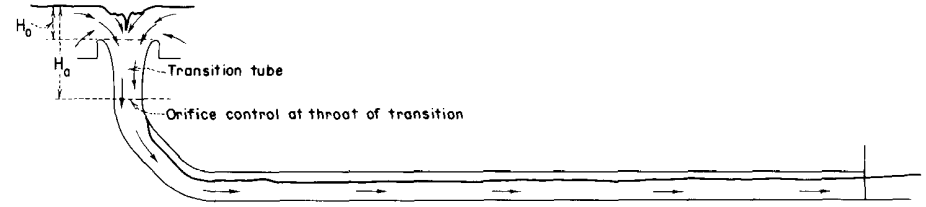
การไหลแบบ Orifice Control หรือ Tube Control

ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการไหลได้จากสมการการไหลผ่านช่อง Orifice ดังนี้

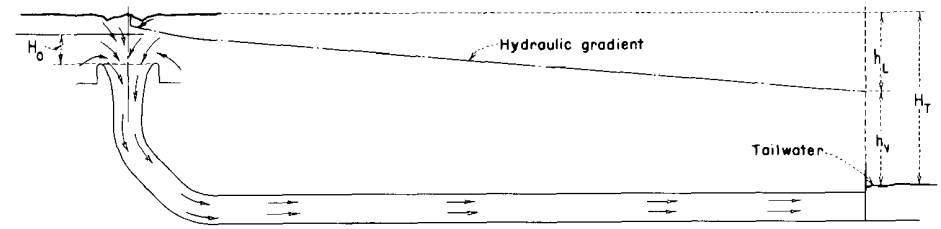
$$Q = Co.(Ao)\,(2gH_0)^{0.5} \quad (8)$$



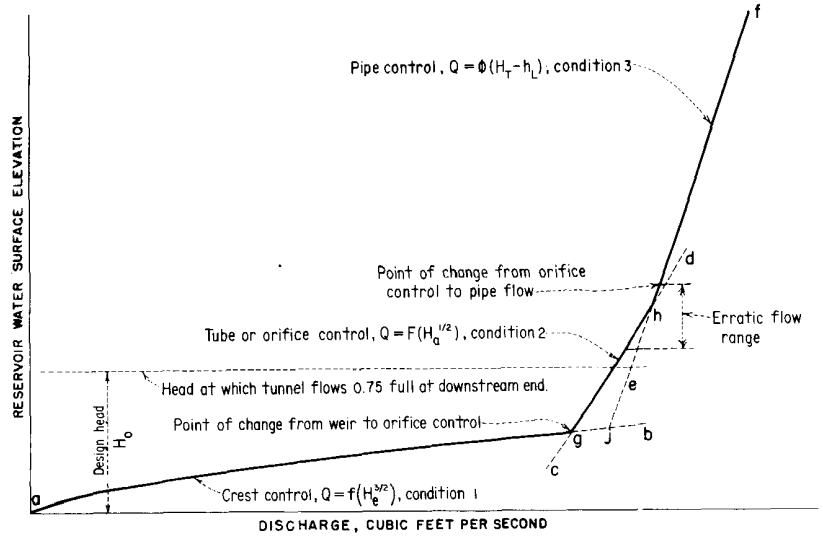
CONDITION 1. CREST CONTROL



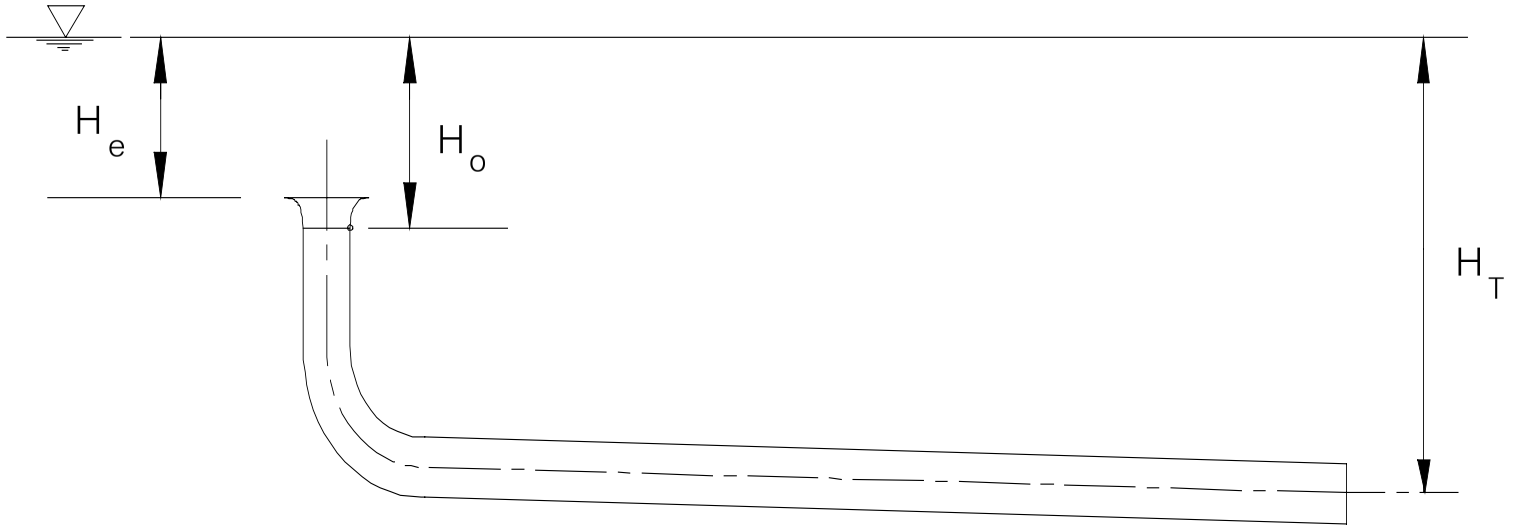
CONDITION 2. TUBE OR ORIFICE CONTROL



CONDITION 3. FULL PIPE FLOW



<u>ภาพที่ 5</u> แสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านทางรับน้ำแบบปากแตร (Morning Glory)
ที่มา: U.S.B.R. (1987)



<u>ภาพที่ 6</u> แสดงความสูงของน้ำสำหรับสมการการออกแบบต่างๆของอาคารท่อส่งน้ำ

โดย

Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านทางเข้า (ลบ.ม./วินาที)

Co = ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านช่อง Orifice

= 0.6

Ao = พื้นที่หน้าตัดของช่อง Orifice ($ม.^2$)

g = อัตราเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 ม./วินาที^{2})

Ho = ความสูงของน้ำเหนือระดับคอ(Throat) ของช่องOrifice (ม.)

ลักษณะการไหลแบบ Orifice Control แสดงได้ดังช่วงกราฟ g – hในภาพที่ 5

<u>การไหลแบบ Pipe Control หรือ Conduit Control</u>

ซึ่งสามารถคำนวณหาอัตราการไหลได้จากสมการการไหลของน้ำในท่อ ดังนี้

$$Q = A\left(\frac{2gH_T}{K_L}\right)^{0.5} \quad (9)$$

โดยที่

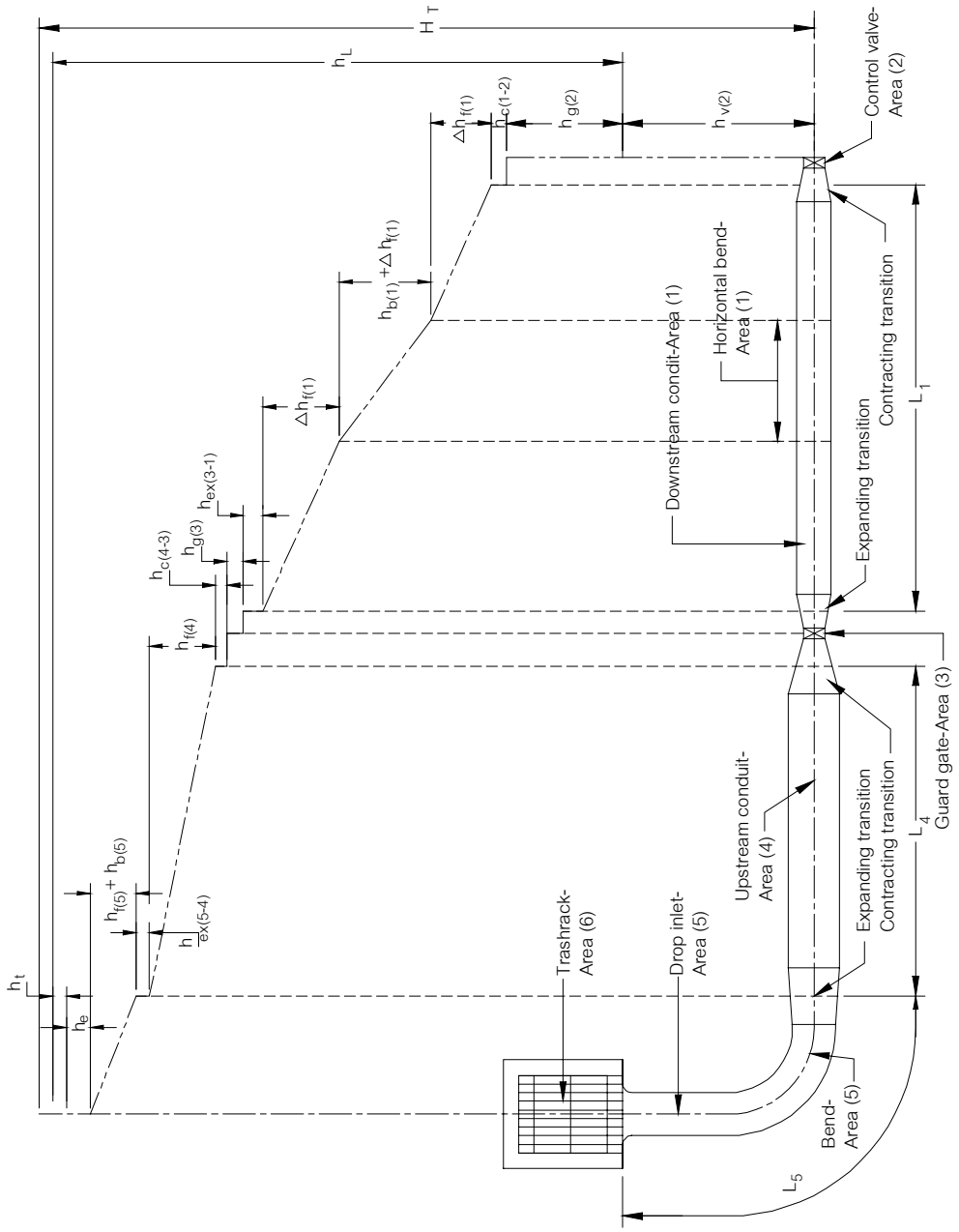
Q = อัตราการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

K_L = ค่าสัมประสิทธิ์รวมของการสูญเสียแรงดันของน้ำคิดเป็นความสูงของน้ำทั้งหมด

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อส่งน้ำ (ลบ.ม.)

g = อัตราเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 ม./วินาที^{2})

H_T = ความสูงของระดับน้ำที่ทำให้เกิดการไหล (ม.)



ภาพที่ 7 แสดงการสูญเสียแรงดันของน้ำในอาคารท่อส่งน้ำ

ที่มา: U.S.B.R. (1987)

ลักษณะการไหลแบบ Pipe Control แสดงได้ดังช่วงกราฟเหนือจุดhขึ้นไป และการสูญเสียแรงดันของน้ำ(Head losses) ต่าง ๆ ที่ไหลผ่านอาคารท่อส่งน้ำ ซึ่งจะแสดงได้ในภาพที่ 7 คำนวณตาม Bernoulli's Equation ซึ่งสามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$H_T = h_L + h_v \quad (10)$$

เมื่อ

H_T = เฮดรวมทั้งหมด (ม.)

h_L = ผลรวมของเฮดที่สูญเสียไปทั้งระบบ (ม.)

h_v = เฮดความเร็วที่ท้ายท่อ (ม.)

เฮดที่สูญเสียไปตามแนวท่อ แสดงไว้ในภาพที่ 6 สามารถแยกได้ดังนี้

$$h_L = h_t + h_e + h_b + h_f + h_c + h_{ex} + h_g \quad (11)$$

1. Trashrack Loss (h_t) แรงดันของน้ำที่สูญเสีย เนื่องจากการไหลของน้ำผ่านตะแกรงกันสวะ คำนวณได้จากสมการ

h_t = Trashrack loss (ม.) (12)

$$= K_t \frac{V_t^2}{2g}$$

K_t = Trashrack loss coefficient (13)

$$= 1.45 - 0.45 \left(\frac{a_n}{a_g}\right) - \left(\frac{a_n}{a_g}\right)^2$$

V_t = ความเร็วที่ผ่านช่องตะแกรงกันขยะ (ม./วินาที)

a_n = พื้นที่หน้าตัดสุทธิของตะแกรงดักขยะ ($ม.^2$)

a_g = พื้นที่หน้าตัดรวมของตะแกรงดักขยะ ($ม.^2$)

2. Entrance Loss (h_e) การสูญเสียเฮดที่ปากทางเข้า เนื่องจากการไหลของน้ำเข้าอาคารรับน้ำ คิดได้จากสมการ

$$h_e = \text{Entrance loss (ม.)} \quad (14)$$

$$= K_e \frac{V_e^2}{2g}$$

V_e = ความเร็วที่ปากทางเข้า (ม./วินาที)

K_e = Entrance loss coefficient กำหนดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่า Entrance loss coefficient ในรูปแบบต่างๆ

Type of Entrance	Max.	Min.	Average
1. Gate in thin wall-unsuppressed contraction	1.8	1.0	1.5
2. Gate in thin wall-bottom and side suppressed	1.2	0.5	1.0
3. Gate in thin wall-corners rounded	1.0	0.1	0.5
4. Square cornered entrances	0.7	0.4	0.5
5. Slightly rounded entrances	0.6	0.18	0.23
6. Fully rounded entrances r/D > 0.15	0.27	0.08	0.10
7. Circular bellmounth entrances	0.10	0.04	0.05
8. Square bellmounth entrances	.020	0.07	0.16
9. Inward projecting entrances	.093	0.56	0.80

เมื่อ

r = รัศมีของส่วนโค้งมนของขอบปากทางเข้า

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

3. Bend Loss (h_b) การสูญเสียเฮด เนื่องจากการไหลผ่านข้อโค้งของท่อ คำนวณได้จากสมการ

h_b = Bend loss (ม.) (15)

$= K_b \frac{V_b^2}{2g}$

V_b = ความเร็วของน้ำในท่อโค้ง (ม./วินาที)

K_b = สัมประสิทธิ์การสูญเสียเฮดที่ท่อโค้ง ดังแสดงในภาพที่ 7

4. Friction Loss (h_f) การสูญเสียเฮดเนื่องจากความฝืดของท่อส่งน้ำ คำนวณได้จากสมการ

h_f = การสูญเสียเฮดเนื่องจากความฝืด (ม.) (16)

$= 124.51 \frac{n^2}{D^{1/3}} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่ง

= 0.012 สำหรับท่อเหล็ก(Steel pipe)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (ม.)

L = ความยาวท่อ (ม.)

V = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อ (ม./วินาที)

5. Contraction Loss (h_c) การสูญเสียเฮดตรงท่อลดขนาด คำนวณได้จากสมการ

h_c = การสูญเสียเฮดตรงท่อลดขนาด (ม.) (17)

$= K_c \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right)$

V_1 = ความเร็วของน้ำในท่อใหญ่ (ม./วินาที)

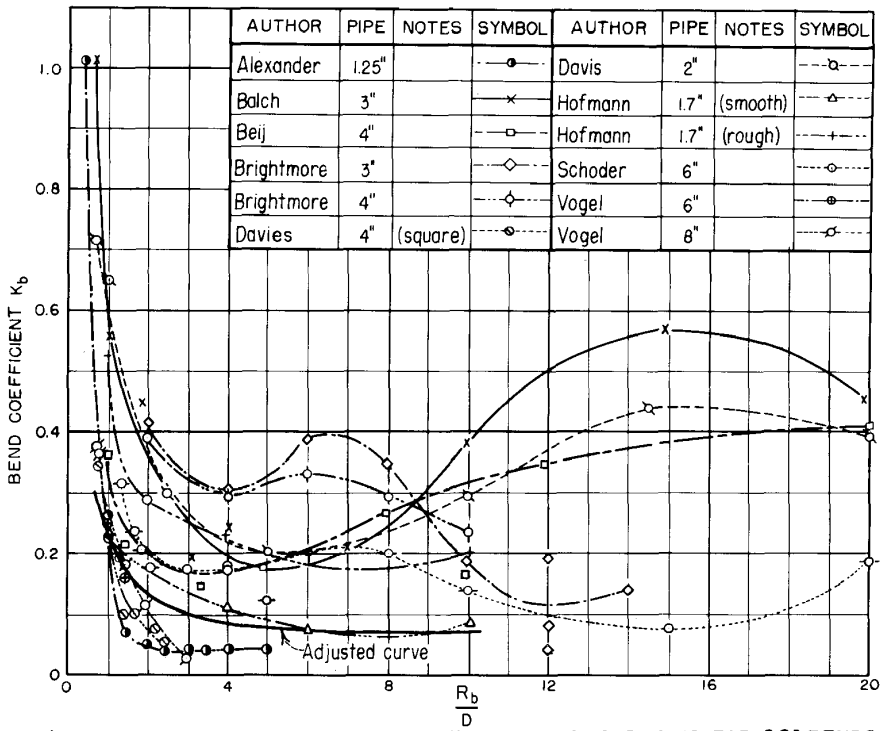
V_2 = ความเร็วของน้ำในท่อเล็ก (ม./วินาที)

K_c = Contraction loss coefficient

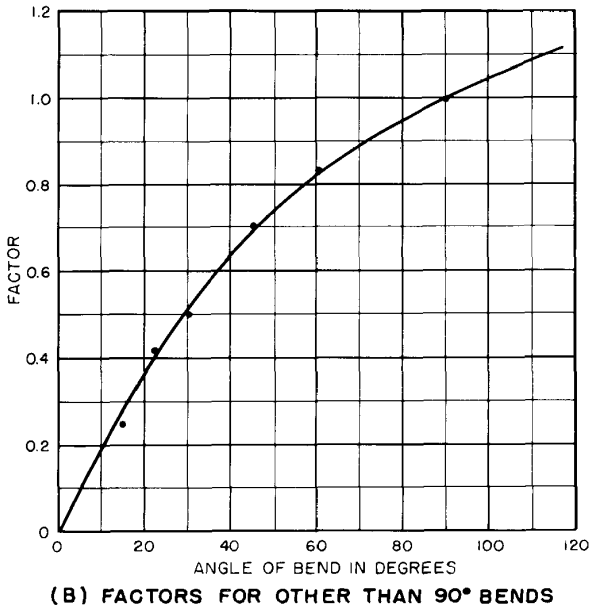
= 0.1 (สำหรับการลดขนาดท่อแบบค่อยๆลดขนาด)

= 0.5 (สำหรับการลดขนาดท่อแบบทันทีทันใด)

g = อัตราเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 ม./วินาที^{2})



(A) VARIATION OF BEND COEFFICIENT WITH RELATIVE RADIUS FOR 90° BENDS OF CIRCULAR CROSS SECTION, AS MEASURED BY VARIOUS INVESTIGATORS



(B) FACTORS FOR OTHER THAN 90° BENDS

<u>ภาพที่ 8</u> แสดงค่า Bend Loss Coeffcient

ที่มา: U.S.B.R. (1987)

6. Expansion Loss (h_{ex}) การสูญเสียเฮดตรงท่อขยายขนาด คำนวณได้จากสมการ

h_{ex} = การสูญเสียเฮดตรงท่อขยายขนาด (ม.) (18)

$$= K_c \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

V_1 = ความเร็วของน้ำในท่อใหญ่ (ม./วินาที)

V_2 = ความเร็วของน้ำในท่อเล็ก (ม./วินาที)

Ke x = Expansion loss coefficient จะมีค่าแปรตามค่ามุมที่ผายออก ดังตารางที่ 2

<u>ตารางที่ 2</u> แสดงค่า Expansion loss coeffcient

Flare Angle	K^{ex}
2	0.03
5	0.04
10	0.08
12	0.10
15	0.16
20	0.31
25	0.40
30	0.49
40	0.60
50	0.67
60	0.72

ที่มา: U.S.B.R. (1987)

g = อัตราเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 ม./วินาที^{2})

7. Gate Loss (h_g) การเสียเฮดน้ำที่ผ่านประตูน้ำ คำนวณได้จากสมการ

h_g = Gate loss (ม.) (19)

$$= K_g \frac{V_g^2}{2g}$$

V_g = ความเร็วการไหลของน้ำที่ผ่านประตูน้ำ (ม./วินาที)

K_g = Gate loss coefficient สำหรับ gate valve

= 0.19 (สำหรับการเปิดGate 100%)

= 1.15 (สำหรับการเปิดGate 75%)

= 5.60 (สำหรับการเปิดGate 50%)

= 24.00 (สำหรับการเปิดGate 25%)

8. Exit Loss (h_v) การสูญเสียเฮดน้ำจากการไหลออกจากท่อส่งน้ำ

h_v = Exit loss (ม.) (20)

$$= K_v \frac{V^2}{2g}$$

V = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อ (ม./วินาที)

K_v = Exit loss coefficient ($K_v = 1$)

ประตูน้ำ (Gate)

โอบเอื้อ (2535) ได้กล่าวไว้ว่า สำหรับอาคารควบคุมการส่งน้ำ (Control House) จะมีระบบบานประตูควบคุมการเปิด-ปิดน้ำ 2 ประตู คือ ประตูแรกทำหน้าที่เป็น Guard Gate และประตูที่สองทำหน้าที่เป็น Regulating Gate ติดตั้งอยู่ในอาคารควบคุม (Control House)

การออกแบบรางเท

โอบเอื้อ (2535) ได้กล่าวไว้ว่า ลักษณะของรางเท (Chute) เป็นทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และมีความลาดชันค่อนข้างสูง ทำให้การไหลของน้ำในรางเท จะมีลักษณะการไหลสูงกว่าวิกฤต (Supercritical Flow)

รางเท เป็นอาคารที่ต่อจากปลายท่อส่งน้ำ เพื่อนำน้ำสู่อาคารท้ายน้ำ เพื่อสลายพลังงานและลดความปั่นป่วนของน้ำก่อนที่จะระบายลงสู่คลองส่งน้ำ การกำหนดความกว้างของรางเท โดยทั่วไปความกว้างของรางเทจะมีค่าน้อยกว่าความกว้างของแอ่งน้ำนิ่ง ดังนั้นในช่วงต่อเชื่อมระหว่างความกว้างของรางเทกับความกว้างของแอ่งน้ำนิ่ง การขยายความกว้างของหน้าตัด จะต้องมีความระมัดระวัง เพราะการไหลของน้ำในรางเทมีความเร็วสูง การขยายความกว้าง (Divergence) ถ้าขยายเร็วเกินไป การไหลของน้ำอาจจะไม่แตะข้างกำแพง และการคำนวณหน้าข้างการไหลจะผิดไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

<u>การหาหน้าข้างการไหล (Water Surface Profile)</u>

กำหนดให้สภาวะการไหลของน้ำใน Chute เป็นการไหลแบบ Supercritical Flow ตลอดความยาวของ Chute โดยตรวจสอบจากค่า Froude Numbe (Fr) ดังนี้

$$Fr = V/\sqrt{gy} \qquad (21)$$

โดยที่

Fr = Froude Number > 1

V = ความเร็วกระแสน้ำที่จุดพิจารณา เป็น ม./วินาที

y = ความลึกกระแสน้ำที่จุดพิจารณา เป็นเมตร

การคำนวณหาความลึกของน้ำที่จุดต่างๆ ตลอดความยาว Chute (Flow Profile) จะคำนวณโดยวิธี Direct Step Method โดยมีสมการดังนี้

$$\Delta x = \Delta E / (So - Sfa) \qquad (22)$$

โดยที่

Δx = ระยะทางระหว่างจุดที่กำลังพิจารณา 2 จุด เป็นเมตร

ΔE = E2 – E1

E1, E2 = Specific Energy ที่จุด 1 และจุด 2 เป็นเมตร

$$E1 = y1 + \alpha \frac{V_1^2}{2g} \quad (23)$$

$$E2 = y2 + \alpha \frac{V_2^2}{2g} \quad (24)$$

y1, y2 = ความลึกน้ำที่จุด 1 และจุด 2 เป็นเมตร

α = Energy Coefficient = 1.00

V1, V2 = ความเร็วกระแสน้ำที่จุด 1 และจุด 2 เป็นเมตร/วินาที

So = ความลาดของพื้น Chute (Bottom Slope)

Sfa = Friction Slope เฉลี่ยระหว่างจุด 1 และจุด 2

$$= (nV)^2 / R_{av}^{4/3} \quad (25)$$

$$V_{av} = (V1 + V2) / 2 \quad (26)$$

R = Hydraulic Radius ระหว่างจุด 1 และจุด 2 เป็นเมตร

$$= (R1 + R2) / 2 \text{ โดย } R_1 = \frac{A_1}{P_1} \text{ และ } R_2 = \frac{A_2}{P_2} \quad (27)$$

A = พื้นที่หน้าตัดการไหลของน้ำที่หน้าตัดที่ 1 หรือ 2, เป็น ตร.ม.

$$= b.y \quad (28)$$

P = เส้นขอบเปียกที่หน้าตัดที่ 1 หรือ 2 เป็นเมตร

$$= 2y + b \quad (29)$$

b = ความกว้างก้น Chute เป็นเมตร

n = Roughness Coefficient ของ Concrete

= 0.014

จุดที่ 1 และจุดที่ 2 ที่กล่าวถึงได้แสดงไว้ในภาพที่ 9 และภาพที่ 10

<u>การคำนวณโค้งคว่ำ (Convex Curvature)</u>

U.S.B.R. (1987) ได้กล่าวว่า เนื่องจากการไหลของน้ำในรางเท เป็นการไหลสูงกว่าวิกฤต ดังกล่าวข้างต้น เพื่อให้การไหลของน้ำราบเรียบกับพื้นของรางเท จึงจำเป็นต้องคำนวณหามิติต่างๆ ตรงจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านราบและด้านดิ่งของพื้นรางเท ในกรณีที่พื้นรางเทเปลี่ยนความลาดชัน ซึ่งชันกว่าเดิม ดังแสดงในภาพที่ 11 ดังนี้

สมการคำนวณโค้งคว่ำ

$$y = x\tan\theta + x^2 / [4K (d + h_v) \cos^2\theta)$$

โดยที่

y = พิกัดจุดตามแนวดิ่ง เป็นเมตร

x = พิกัดจุดตามแนวราบ เป็นเมตร

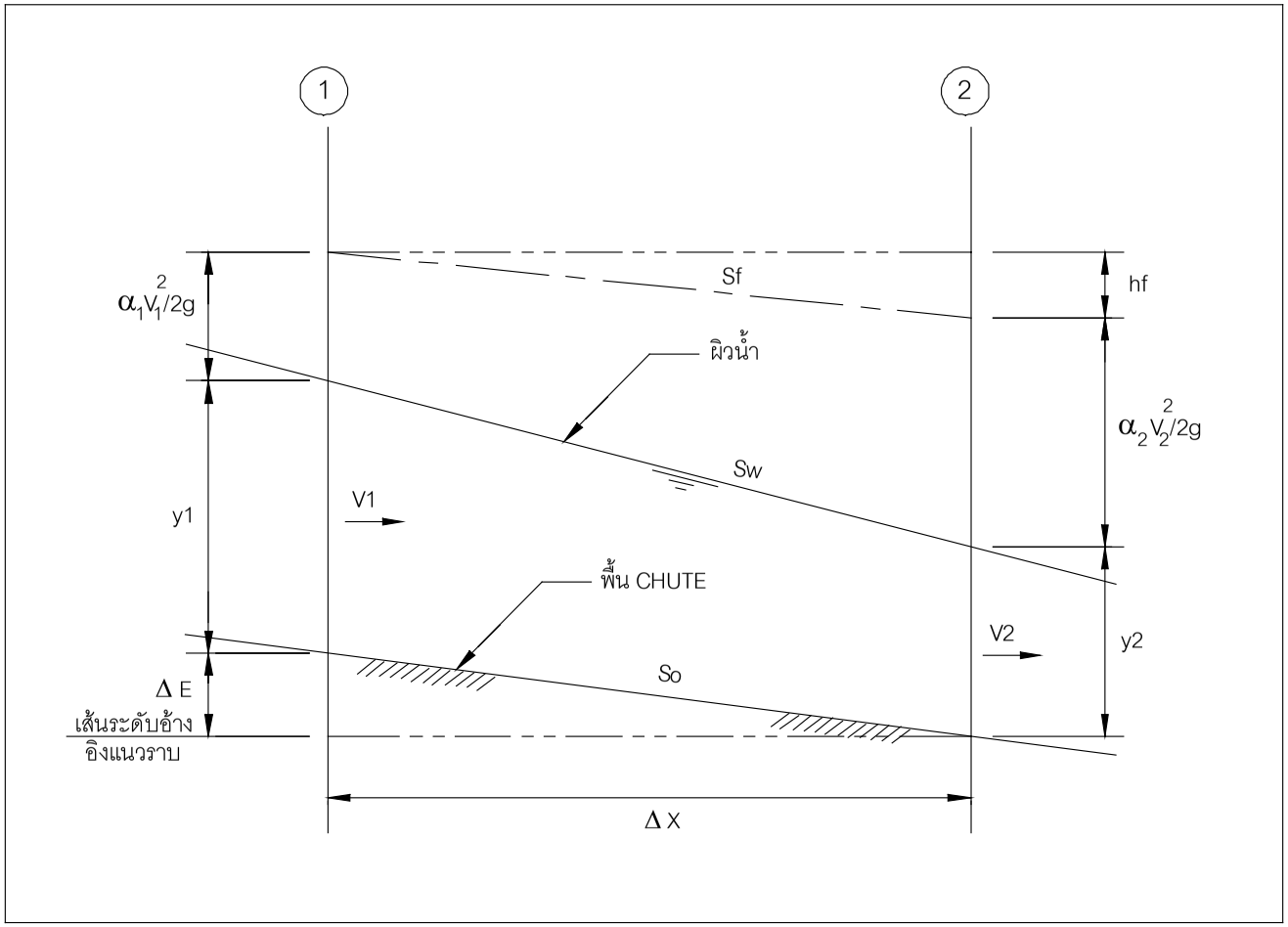
θ = มุมเอียงของพื้นรางเทด้านเหนือน้ำกับแนวราบเป็นองศา

K = 1.5 เพื่อให้เกิด Positive Pressure ตลอดตามแนวโค้ง

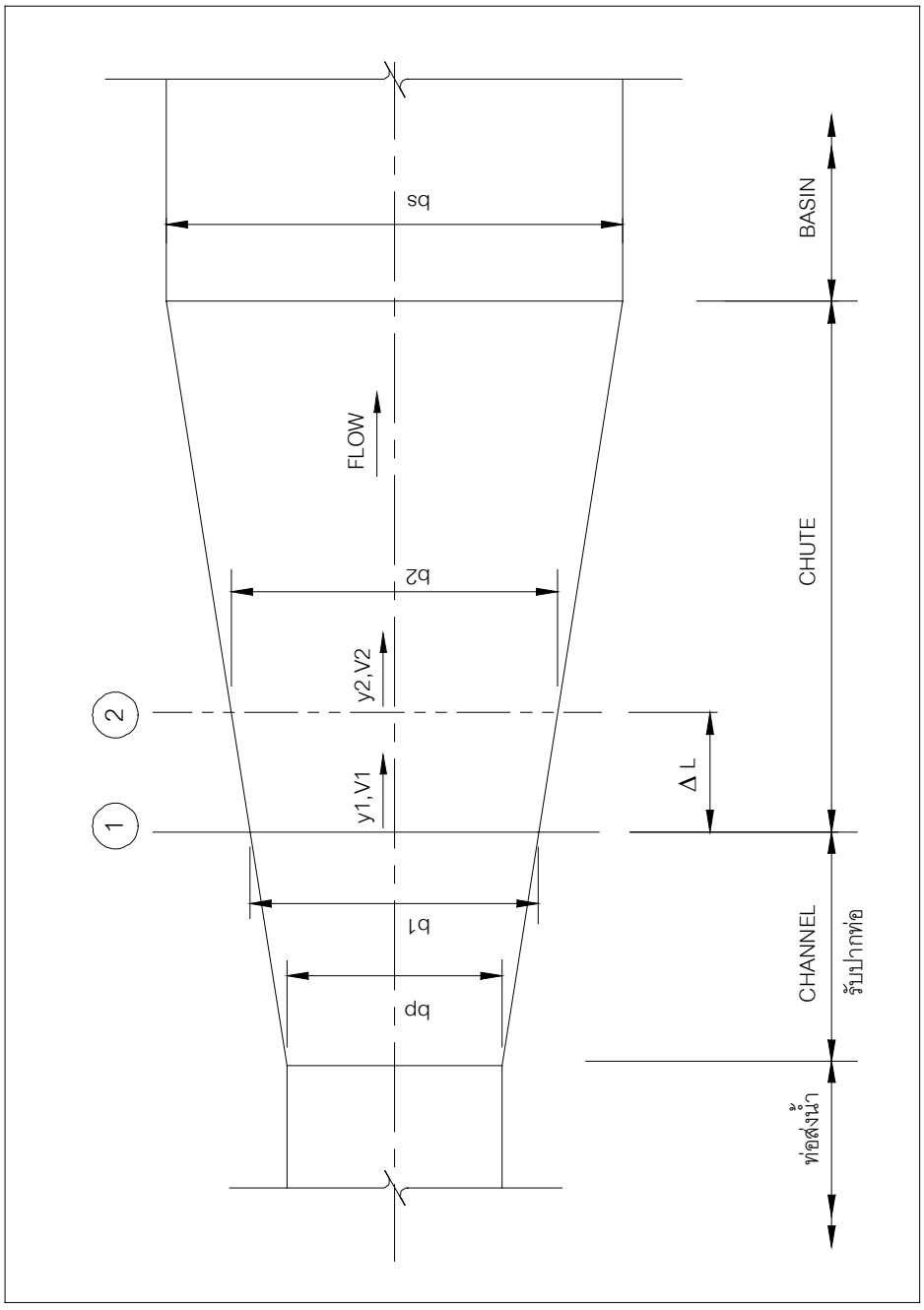
h_v = เฮดความเร็วที่จุดเปลี่ยน Slope เป็นเมตร

$$= \frac{V^2}{2g}$$

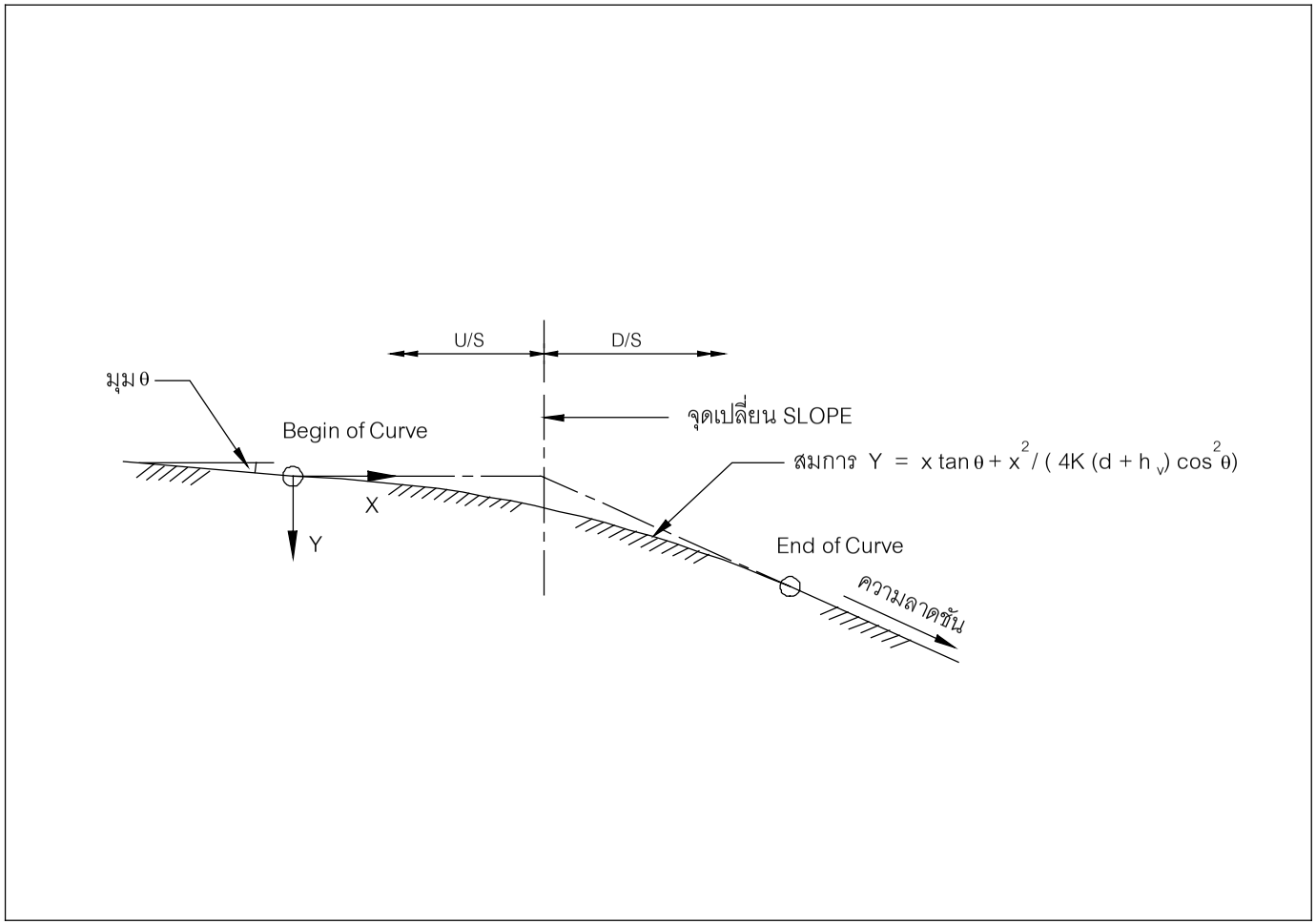
V = ความเร็วของน้ำที่จุดเปลี่ยน Slope เป็น ม./วินาที



ภาพที่ 9 ทฤษฎีการทำ WATER SURFACE PROFILE ในรางเทที่มีแนวตรง



ภาพที่ 10 แปลนแสดงการผายของ CHUTE ที่ใช้ในการคำนวณหา SURFACE



<u>ภาพที่ 11</u> แสดงรายละเอียด VERTICAL CURVE

<u>การผายของกำแพงรางเท</u>

การเปลี่ยนแปลงความกว้างของรางเท จะต้องควบคุมมิให้เกิดคลื่นสูงในช่วงที่แคบลง (Convergent) และต้องให้มีการไหลแผ่กระจาย โดยสม่ำเสมอตลอดความกว้างที่ผายออก (Divergent) มุมเบี่ยงเบนจากแนวศูนย์กลางของผนังกำแพงของรางเท จะต้องมีมุมไม่เกินค่าที่กำหนดให้ดังนี้

$$\tan\alpha = \frac{(gd)^{0.5}}{3V} \qquad (28)$$

โดยที่

α = มุมที่ผนังกำแพงเบนจากแนวศูนย์กลาง (องศา)

g = อัตราเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 ม./วินาที^{2})

V = ความเร็วเฉลี่ยในช่วงเชื่อมต่อ (ม./วินาที)

d = ความลึกเฉลี่ยของน้ำในช่วงเชื่อมต่อ (ม.)

ความเร็วและความลึกเฉลี่ยในช่วงเชื่อมต่อ คือความเร็วเฉลี่ยและความลึกเฉลี่ยของน้ำด้านเหนือและท้ายน้ำของรางเท

<u>ระยะเผื่อพ้นน้ำ (Freeboard) ของรางเท</u>

ระยะเผื่อพ้นน้ำของผนังกำแพงของรางเท คำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$F_b = 2.0+0.025V(d)^{1/3} \text{ (ฟุต)} \qquad (29)$$

$$F_b = 0.61+0.037V(d)^{1/3} \text{ (ม.)} \qquad (30)$$

โดยที่

F_b = ระยะเผื่อพ้นน้ำ (ม.)

V = ความเร็วน้ำไหลเฉลี่ย (ม./วินาที)

D = ความลึกเฉลี่ยของการไหลของน้ำ (ม.)

การออกแบบอาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure)

โอบเอื้อ (2535) ได้กล่าวว่า อาคารท้ายน้ำเป็นอาคารที่ออกแบบเพื่อสลายพลังงานหรือลดความเร็วของกระแสน้ำก่อนที่จะส่งน้ำเข้าคลองส่งน้ำ เป็นการป้องกันการกัดเซาะต่อคลองส่งน้ำทางด้านท้ายอาคาร โดยสำหรับอาคารท่อส่งน้ำนี้มีความเหมาะสมและนิยมจะออกแบบให้ใช้เป็นชนิดแอ่งน้ำนิ่งชนิดที่ III (Stilling Basin Type III) ดังแสดงในภาพที่ 8 ซึ่งรูปแบบของอาคารมีความสัมพันธ์กับจำนวนฟรุด (Froude Number) และลักษณะการเกิดไฮดรอลิกจั๊ม (Hydraulics Jump)

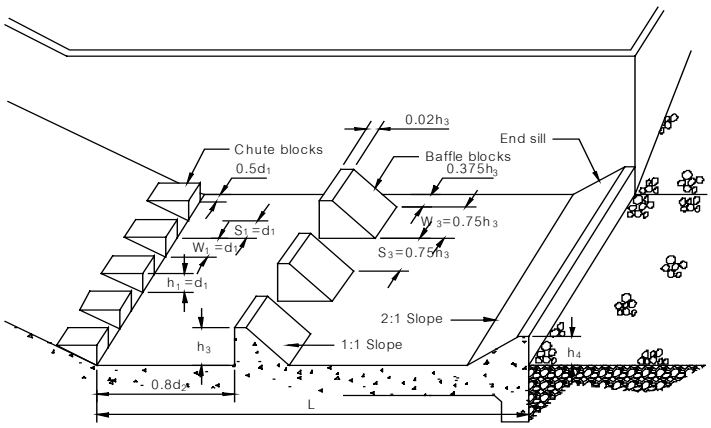
อาคารท้ายน้ำที่มีรูปแบบเป็นแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin) เป็นอาคารที่สร้างต่อเนื่องกับส่วนของรางเทของอาคารท่อส่งน้ำเพื่อลดพลังงานของน้ำที่ไหลมาด้วยความเร็วสูง (Supercritical Velocity) โดยการเกิดไฮดรอลิกจั๊ม จนกระทั่งในที่สุดน้ำจะไหลสู่ด้านท้ายน้ำ (Downstream Channel) ด้วยความเร็วต่ำ เป็นการป้องกันความเสียหายหรืออันตรายจากการกัดเซาะทางน้ำอย่างรุนแรงได้

ส่วนประกอบของแอ่งน้ำนิ่ง มี ดังนี้

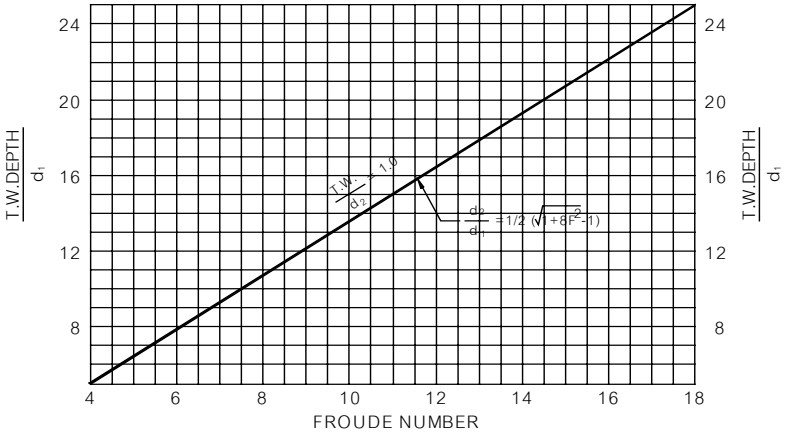
1. ฟันแบ่ง (Chute Block) เป็นบล็อกคอนกรีตตันรูปสามเหลี่ยม ติดตั้งที่ปลายรางเทเป็นแนวขวางช่องเว้นช่อง ทำหน้าที่ช่วยยกมวลน้ำที่ไหลผ่านให้สูงขึ้นจากพื้นและมวลน้ำอีกส่วนหนึ่งไหลผ่านช่องว่างระหว่างบล็อก เพื่อช่วยให้น้ำสงบไม่ปั่นป่วน

2. ขอบปลาย (End Sill) เป็นบล็อกคอนกรีตตันติดตั้งตลอดแนวขวางของทิศทางน้ำไหลที่ส่วนปลายของพื้นแอ่งน้ำนิ่ง ทำหน้าที่ยกระดับน้ำป้องกันการกัดเซาะท้องน้ำบริเวณส่วนที่ต่อจากอาคารแอ่งน้ำนิ่ง

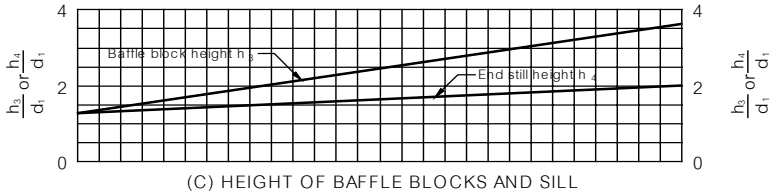
3. ฟันจระเข้ (Baffle Block) เป็นบล็อกคอนกรีตติดตั้งช่องเว้นช่อง ขวางทิศทางแอ่งน้ำนิ่งที่ระยะห่างจากฟันแบ่ง 0.8 เท่าของความสูงของน้ำกระโดดที่เกิดขึ้น ทำหน้าที่ช่วยลดระยะน้ำกระโดดให้สั้นลงและช่วยสลายพลังน้ำ



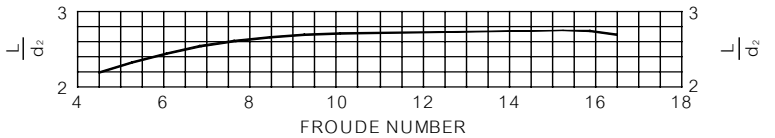
(A) TYPE III BASIN DIMENSIONS



(B) MINIMUM TAILWATER DEPTHS



(C) HEIGHT OF BAFFLE BLOCKS AND SILL



(D) LENGTH OF JUMP

Stilling basin characteristics for froude numbers above 4.5 where incoming velocity, $V_1 \leq$ 60 ft/s.

<u>ภาพที่ 12</u> แสดงลักษณะของอาคารสลายพลังงานชนิดแอ่งน้ำนิ่ง ชนิดที่III

ที่มา: U.S.B.R. (1987)

การคำนวณไฮดรอลิคจั๊ม (Hydraulic Jump) ในแอ่งน้ำนิ่ง มีดังนี้

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2}\left[\left(1+8Fr_1\right)^{1/2} - 1\right] \tag{31}$$

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}} \tag{32}$$

โดยที่

d_1 = ความลึกของน้ำก่อนเกิดไฮดรอลิคจั๊ม (ม.)

d_2 = ความลึกของน้ำหลังเกิดไฮดรอลิคจั๊ม (ม.)

Fr_1 = จำนวนฟรุดก่อนเกิดไฮดรอลิคจั๊ม

V_1 = ความเร็วของน้ำก่อนเกิดไฮดรอลิคจั๊ม (ม./วินาที)

g = อัตราเร่งตามแรงโน้มถ่วงของโลก (ม./วินาที^{2})

ระยะเผื่อพ้นน้ำ (Freeboard) คือ ระยะเผื่อไว้เพื่อไม่ให้น้ำในแอ่งน้ำล้นกำแพงข้างหรือน้ำกระเซ็นออกมา ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายได้ โดยค่าระยะเผื่อพ้นน้ำนี้คิดจากผิวน้ำหลังจากเกิดการกระโจนตัวของน้ำ

สมการคำนวณระยะเผื่อพ้นน้ำและความสูงกำแพง

$$F_b = 0.1\,(V_1 + d_2) \tag{33}$$

$$h_b = d_2 + F_b \tag{34}$$

โดยที่

F_b = ระยะเผื่อพ้นน้ำ (ม.)

V_1 = ความเร็วของน้ำก่อนเกิดไฮดรอลิคจั๊ม (ม./วินาที)

d_2 = ความลึกของน้ำหลังเกิดไฮดรอลิคจั๊ม (ม.)

h_b = ความสูงกำแพง (ม.)

ความกว้างของแอ่งน้ำนิ่ง โดยส่วนมากจะใช้เท่ากับ หรือมากกว่าความกว้างของรางเท การประมาณค่าความกว้างใช้สูตรซึ่งได้จากการทดลอง (Empirical)

$$B = K\sqrt{Q} \quad (35)$$

K = 1 (K มีค่าอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 1.3)
B = ความกว้างของแอ่งน้ำนิ่ง (ฟุต)
Q = อัตราการไหล (ลบ.ฟุต/วินาที)

ในการออกแบบอาคารสลายพลังงานแอ่งน้ำนิ่ง จะต้องพิจารณาระดับน้ำท้ายน้ำประกอบด้วย เพราะถ้าความกว้างของแอ่งน้ำนิ่งแคบ จะทำให้เกิดความลึกสังยุคสูง ถ้าความกว้างของแอ่งน้ำนิ่งมาก ความลึกสังยุคจะต่ำ ซึ่งในการออกแบบจะต้องปรับระดับน้ำหลังจากเกิดไฮดรอลิกจั๊มเท่ากับหรือต่ำกว่าระดับน้ำท้ายน้ำ หรือบางครั้งอาจจะต้องมีการปรับระดับพื้นของแอ่งน้ำนิ่งด้วยค่าของความลึกท้ายน้ำต่ำสุด ซึ่งแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับจำนวนฟรุด

ความยาวของแอ่งน้ำนิ่ง โดยส่วนมากแล้วจะหาค่าจากความยาวของไฮดรอลิคจั๊ม เพื่อที่จะควบคุมให้เกิดขึ้นในแอ่งน้ำนิ่ง การหาความยาวของแอ่งน้ำนิ่ง จะหาจากกราฟในแต่ละชนิดของแอ่งน้ำนิ่ง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับจำนวนฟรุด ดังแสดงในภาพที่ 8

<u>เกณฑ์การคำนวณออกแบบด้านโครงสร้าง</u>

คณะทำงานเพื่อพัฒนางานวิศวกรรมการชลประทาน (2535) ได้กล่าวไว้ว่า การคำนวณออกแบบด้านโครงสร้างสำหรับอาคารท่อส่งน้ำ ประกอบไปด้วยอาคารประกอบคอนกรีตเสริมเหล็ก และเพื่อให้ได้อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่มีความแข็งแรงทนทานต่อแรงกระทำต่างๆ จากภายนอกจึงต้องมีเกณฑ์การคำนวณออกแบบทางโครงสร้างของอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก และมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กดังต่อไปนี้

ข้อกำหนดต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้าง

คุณสมบัติของคอนกรีตเสริมเหล็กและเหล็กเสริมคอนกรีต ที่จะใช้ในการคำนวณขนาดของโครงสร้างของอาคารต่างๆ ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น กำหนดให้มีคุณสมบัติดังนี้

เหล็กเสริม fs = 1,500 กก./ซม^2

แรงกดประลัยของคอนกรีต f_c' = 210 กก./ซม^2

$f_c = 0.45\, f_c'$

$= 94.50$ กก./ซม^2

$n = E_s/E_c$

$= 2.04 \times 10^6 / (15{,}210)$

$= 9$

$k = n / (n + f_s/f_c)$

$= 0.362$

$j = 1 - k/3 = 0.879$

$R = 0.5\, f_c.j.k = 15.035$ กก./ซม^2

$v_c = 0.292 \sqrt{f_c'} = 3.86$ กก./ซม^2

(สำหรับคาน คสล. ไม่มีเหล็กรับแรงเฉือน)

$= 0.53 \sqrt{f_c'} = 7.01$ กก./ซม^2

(สำหรับแผ่นพื้น หรือฐานราก)

ระยะหุ้มเหล็กเสริม = 5 ซม. สำหรับผิวสัมผัสอากาศ

= 8 ซม. สำหรับผิวติดดินหรือหิน

เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติเหล็กรูปพรรณและการเชื่อม

สำหรับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ จะนำมาใช้เป็นโครงสร้างของอาคารต่างๆ นั้น กำหนดให้ใช้เหล็กชนิด A36 ตามมาตรฐาน ASTM โดยมีค่า fy = 2,450 กก./ซม^2 และ fs ไม่เกิน หรือเทียบเท่ากับ 1,526 กก/ซม.^{2} สำหรับการเชื่อมเหล็กรูปพรรณในงานต่างๆ จะใช้ลวดเชื่อม ชนิด E37 ตามมาตรฐาน ASTM โดยรับแรงได้ไม่น้อยกว่า $1{,}040 \times T$ กก./ซม^2 เมื่อ T เป็นขนาดของการเชื่อมเป็น ซม.

<u>เกณฑ์กำหนดหน่วยน้ำหนักที่จะให้ในการคำนวณแรงกระทำกับอาคาร</u>

Surcharge Load	=	500	กก./ม^2
น้ำหนักน้ำ	=	1,000	กก./ม^3
น้ำหนักดินแห้ง	=	1,800	กก./ม^3
น้ำหนักดินเปียก (มีความชื้น)	=	2,100	กก./ม^3
น้ำหนักคอนกรีตล้วน	=	2,300	กก./ม^3
น้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก	=	2,400	กก./ม^3
น้ำหนักของกรวดหรือหิน	=	1,600-2,600	กก./ม^3
น้ำหนักทรายแห้ง	=	1,600-1,800	กก./ม^3
น้ำหนักทรายเปียก	=	1,900-2,200	กก./ม^3
น้ำหนักเหล็กเหนียว	=	7,900	กก./ม^3

<u>Live Load</u>

Surcharge ของกำแพง	=	300	กก./ม^2

<u>Design Stresses</u>

1. แรงกดประลัยของคอนกรีต (fc')

ใช้ 210 กก./ซม.^{2} สำหรับงานอาคาร หรืองานโครงสร้างการทดสอบแรงกดประลัยของคอนกรีต (fc') กระทำโดยทดสอบจากแท่งคอนกรีตมาตรฐานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. ยาว 30 ซม. เมื่ออายุ 28 วัน

2. สำหรับทฤษฎีอีลาสติกหน่วยแรงอัด แรงเฉือนและแรงกระแทก ในคอนกรีตใดๆ จะใช้คำนวณออกแบบได้ไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)

รายการ	สัญลักษณ์	ค่า
แรงดัด :		
- หน่วยแรงอัดที่ผิว	fc	$0.45\ fc' = 94.5$ กก./ซม^2
- หน่วยแรงดึงที่ผิวฐานรากและกำแพง	fc	$0.42\sqrt{fc'} = 4.2$ กก./ซม^2
แรงเฉือน :		
- คานคอนกรีตล้วน	Vc	$0.29\sqrt{fc'} = 4.2$ กก./ซม^2
- ตงคอนกรีตล้วน	Vc	$0.32\sqrt{fc'} = 4.6$ กก./ซม^2
- โครงสร้างเสริมเหล็กรับแรงเฉือน	Vc	$1.32\sqrt{fc'} = 19.1$ กก./ซม^2
- พื้นฐานรากตามเส้นขอบ	Vc	$0.53\sqrt{fc'} = 7.7$ กก./ซม^2
แรงกด :		
- เต็มเนื้อที่	fb	$0.25\ fc' = 52.5$ กก./ซม^2
- หนึ่งในสามของเนื้อที่ หรือน้อยกว่า	fb	$0.37\ fc' = 77.7$ กก./ซม^2

3. สำหรับทฤษฎีอีลาสติกหน่วยแรงยึดเหนี่ยว ของคอนกรีตจะกำหนดค่าดังนี้

3.1 สำหรับเหล็กบน (Top Bars)

$$U = 2.29\sqrt{fc'}/D$$ แต่ต้องไม่เกิน 25 กก./ซม.^{2}

3.2 สำหรับเหล็กอื่นที่ไม่ใช่เหล็กบน

$$U = 3.23\sqrt{fc'}/D$$ แต่ต้องไม่เกิน 35 กก./ซม.^{2}

เมื่อ U = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ของคอนกรีต, กก./ซม.^{2}

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม, ซม.

เหล็กบน หมายถึง เหล็กที่มีคอนกรีตรองรับภายใต้เหล็กหนา ไม่น้อยกว่า 12 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็ก

<u>เหล็กเสริมคอนกรีต</u>

1. เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตทั้งหมดจะใช้เหล็กข้ออ้อยที่มี Allowable Tensile Stress เท่ากับ 1,500 กก./ซม.^{2} ซึ่งเท่ากับเหล็กคุณภาพ SD-30 ตามมาตรฐาน มอก.24-2527 นอกจากเหล็กที่มีขนาดเล็กกว่า ϕ12 มม. จึงจะใช้เป็นเหล็กกลมที่มี Allowable Tensile Stress เท่ากับ 1,200 กก./ซม.^{2} ซึ่งเท่ากับเหล็กคุณภาพ SR – 24 ตามมาตรฐาน มอก.20-2527

2. เหล็กข้ออ้อย จะไม่งอปลายเป็นขอ ยกเว้นเหล็กกลม ที่ต้องงอปลาย

<u>เกณฑ์กำหนดเหล็กเสริมหลักและเหล็กเสริมกันแตกร้าว</u>

เหล็กเสริมหลักจะต้องมีปริมาณเพียงพอ ที่จะต้านทานโมเมนต์ที่เกิดจากแรงภายนอกได้ โดยระยะห่างของเหล็กเสริมหลักไม่ควรน้อยกว่า 0.10 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้มีความง่าย ความสะดวกในการก่อสร้างระยะการทาบเหล็ก และฝังเหล็ก เพื่อให้มีระยะยึด Anchorage Length พอเพียง จะต้องไม่น้อยกว่า 24 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กสำหรับเหล็กข้ออ้อย และ 48 เท่า และสำหรับเหล็กเส้นกลมเหล็กเสริมกันร้าวให้ใช้ดังนี้

Ast = 0.0020 bt สำหรับเหล็กเสริม 2 ชั้น

และ Ast = 0.0025 bt สำหรับเหล็กเสริมชั้นเดียว

โดยที่ Ast = ปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว เป็น ซม.^{2}

b = ความกว้างของอาคารที่พิจารณาเป็น ซม.

= ปกติคิดความกว้าง 100 ซม.

t = ความหนาของอาคารที่พิจารณา เป็น ซม.

สำหรับเหล็กเสริมกันร้าว ในอาคารชลศาสตร์ขนาดใหญ่ควรใช้เหล็กที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 12 มม.

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) Pentium III 850 MHz 384 MB RAM 20 GB Hard Drive พร้อมอุปกรณ์ประกอบ 1 ชุด

2. ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 98หรือวินโดวส์ XP

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel

4. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ AutoCAD 2004

วิธีการ

1. ทำการศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูล ที่ต้องนำมาใช้ในการออกแบบอาคารท่อส่งน้ำ (Outlet Works) ทางด้านชลศาสตร์ (Hydraulic Design) และทางด้านโครงสร้าง (Structure Design) ข้อมูลที่นำมาพิจารณา ได้แก่ ข้อมูลสภาพภูมิประเทศ สภาพธรณีฐานราก เกณฑ์กำหนดในการออกแบบทางด้านชลศาสตร์ เกณฑ์กำหนดในการออกแบบทางด้านโครงสร้าง ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของตัวเขื่อนเป็นต้น

2. ศึกษาหลักการและวิธีการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Application (VBA.)ใน Microsoft Excel

3. ทำการเขียนโปรแกรมสำหรับคำนวณทางด้านชลศาสตร์ (Hydraulic Design) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel และใช้ Visual Basic for Application (VBA.) เป็นตัวประกอบให้โปรแกรมคำนวณ มีการคำนวณแบบอัตโนมัติและมีกรอบโต้ตอบระหว่างตัวผู้ใช้กับโปรแกรม

4. ทำการเขียนโปรแกรมสำหรับคำนวณทางด้านโครงสร้าง (Structure Design) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel และใช้ Visual Basic for Application (VBA.) เป็นตัวประกอบให้โปรแกรมคำนวณ มีการคำนวณแบบอัตโนมัติและมีกรอบโต้ตอบระหว่างตัวผู้ใช้กับโปรแกรม

5. ทำการเขียนโปรแกรมสำหรับคำนวณหาปริมาณงานและราคาค่าก่อสร้าง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel และใช้ Visual Basic for Application (VBA.) เป็นตัวประกอบให้โปรแกรมคำนวณ มีการคำนวณแบบอัตโนมัติและมีกรอบโต้ตอบระหว่างตัวผู้ใช้กับโปรแกรม

6. ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยเทียบกับผลของการออกแบบที่ได้จากโปรแกรม กับการออกแบบที่น่าเชื่อถือ (รายการคำนวณของกรมชลประทานหรือตัวอย่างรายการคำนวณ)

7. ทำการเขียนโปรแกรม โดยใช้ Visual Basic for Application (VBA.) ดำเนินการรับข้อมูลขนาดและมิติต่างของอาคารฯ จาก Microsoft Excel เขียนเป็น Script File เพื่อเป็น File ข้อมูลให้โปรแกรม AutoCAD

8. ใช้โปรแกรม AutoCAD โหลด Script File เพื่อทำการเขียนแบบอาคารท่อส่งน้ำในรูปแปลน รูปตัดตามแนวศูนย์กลางอาคาร ฯลฯ

<u>การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ</u>

ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย Visual Basic for Application (VBA.) ใน Microsoft Excel สำหรับการคำนวณออกแบบอาคารท่อส่งน้ำ มีขั้นตอนการคำนวณออกแบบซึ่งประกอบด้วย ส่วนต่างๆ ดังนี้

1. การคำนวณออกแบบทางด้านชลศาสตร์ (Hydraulic Design)
2. การคำนวณออกแบบทางด้านโครงสร้างอาคาร (Structure Design)
3. การประมาณราคา (Cost Estimation)
4. การเขียนแบบเบื้องต้น (Draft Drawing)

สามารถแสดงเป็นแผนผังการทำงานหลักดังแสดงในภาพที่ 9 และแผนผังการทำงานในส่วนของโปรแกรมต่างๆ แสดงในภาพที่ 14 ถึงภาพที่ 16

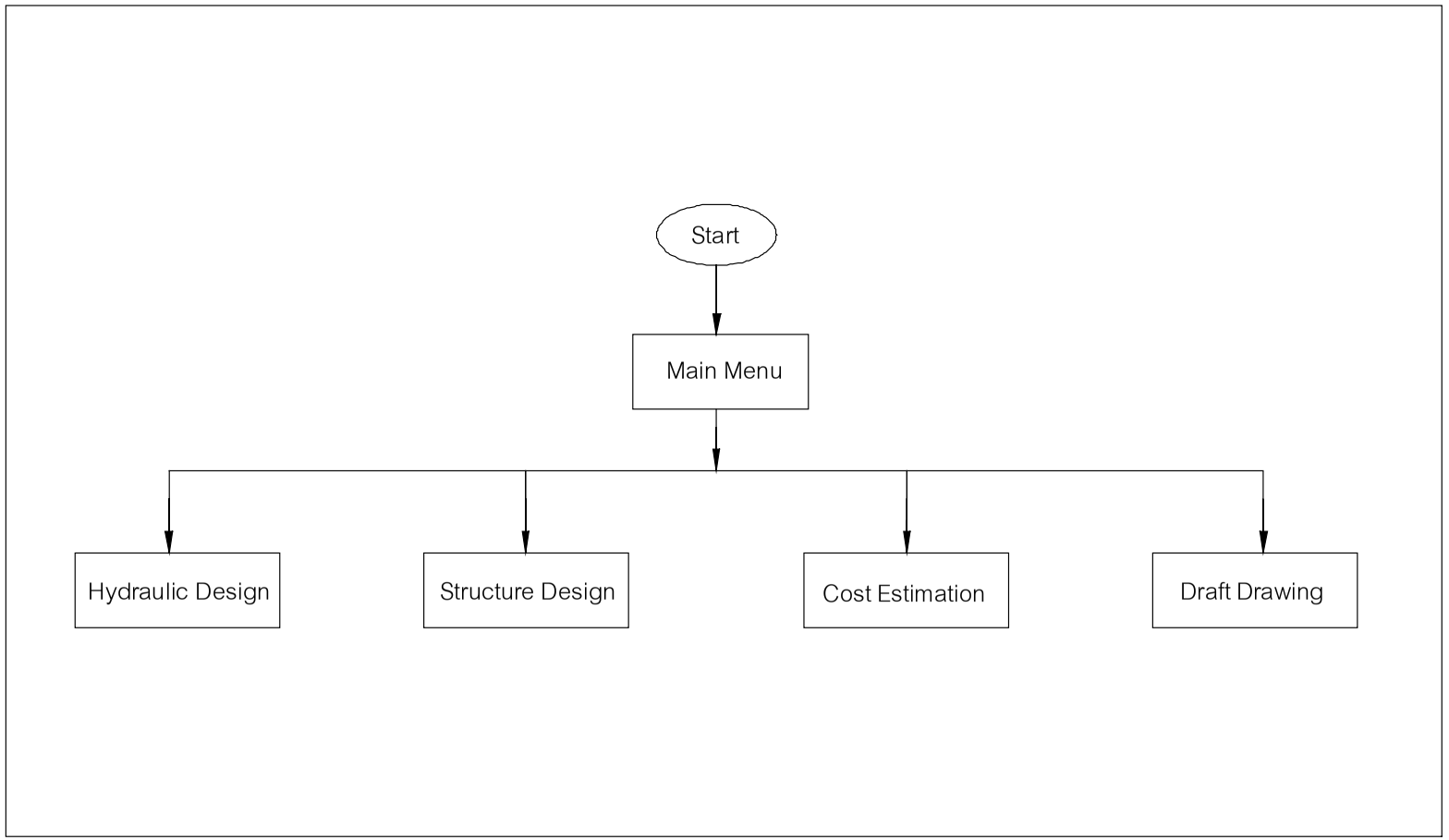
การสร้าง Application ของ Microsoft Excel ด้วยการใช้ภาษา Visual Basic for Application (VBA.) ซึ่งเป็นภาษาซึ่งสามารถเรียนรู้การเขียนและแก้ไขข้อผิดพลาดของโปรแกรมได้ง่าย เนื่องจากมีอุปกรณ์ซึ่งเรียกว่า เครื่องมือ (Tool) สำหรับช่วยในการสร้าง Application และการเขียน Code ของโปรแกรม

ในการพัฒนาการเขียนโปรแกรม จะทำการสร้าง Work Sheets ในการคำนวณออกแบบร่วมกับการเขียน Code ใน VBA. มีการสร้างฟอร์ม(Form) และนำเครื่องมือที่ประกอบด้วยปุ่มคอนโทรล (Control) ต่างๆ ที่มีให้ใน VBA. ปุ่มคอนโทรลที่นำมาใช้ในการสร้าง Application สำหรับการพัฒนาโปรแกรมนี้ได้แก่ Textbox Command Button Checkbox และ Label เป็นต้น และในการเขียน Code ให้กับปุ่มคอนโทรลต่างๆ จะทำโดยการดับเบิ้ลคลิกที่ปุ่มคอนโทรลนั้นๆ ซึ่งตัวโปรแกรม VBA. จะเขียนหัวและท้ายของ Code ของแต่ละปุ่มมาให้

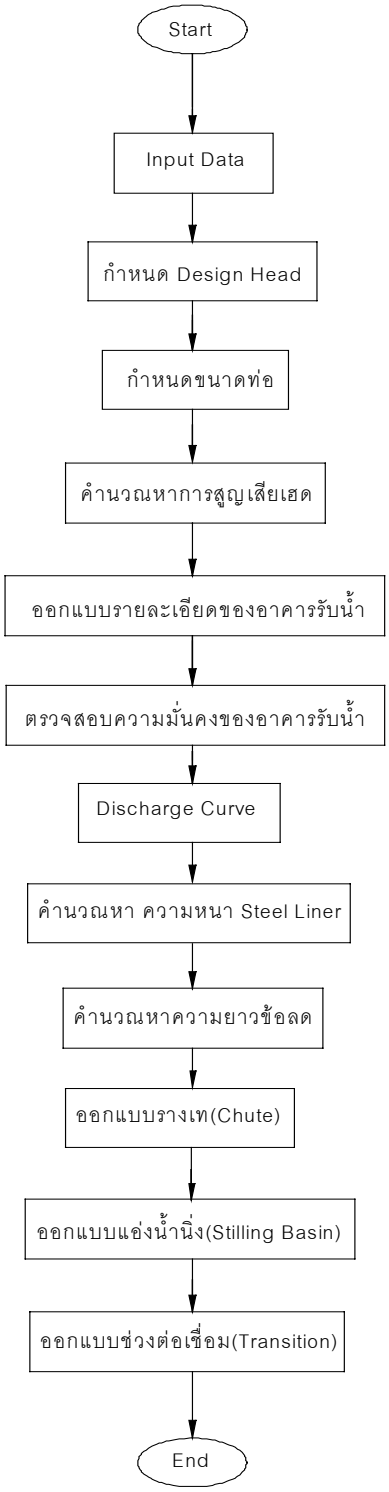
ฟอร์ม (Form) ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับป้อนข้อมูลการออกแบบ แสดงผลการคำนวณ และมีกรอบการโต้ตอบในการแก้ไขและตรวจสอบผลของการคำนวณ แอบพลิเคชั่นในโปรแกรมคอมพิวเตอร์พัฒนาขึ้นนี้จะประกอบไปด้วยฟอร์มหลายๆฟอร์ม ซึ่งระหว่างการคำนวณออกแบบผู้ใช้โปรแกรมจะโต้ตอบคอมพิวเตอร์โดยตรงในการป้อนค่าข้อมูล แผนผังการทำงานของฟอร์มในโปรแกรมแสดงได้ในภาพที่ 18 ซึ่งประกอบไปด้วยฟอร์มดังนี้

1. ฟอร์ม FrmTitle เป็นฟอร์มการเปิดตัวโปรแกรม ซึ่งแสดงชื่อโปรแกรม และชื่ออาจารย์ผู้ควบคุมดูแล

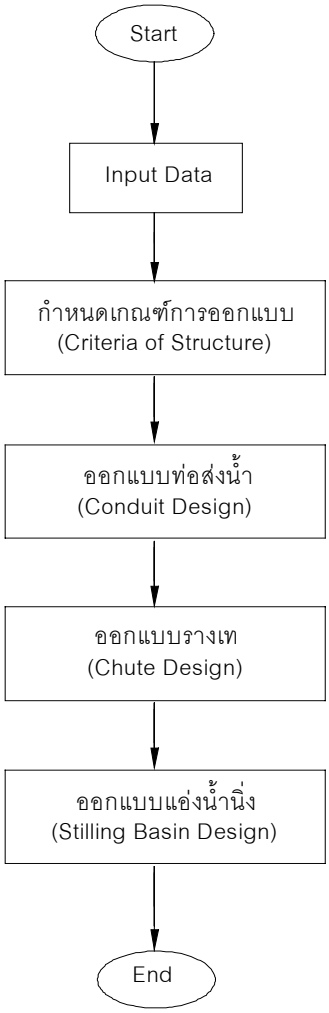
2. ฟอร์ม FrmAll เป็นฟอร์ม ที่เป็นศูนย์กลางของการควบคุมการคำนวณออกแบบในด้านต่างๆ คือ ด้าน Hydraulic Design ด้านStructure Design ด้านCost Estimation และ ด้านDraft Drawing



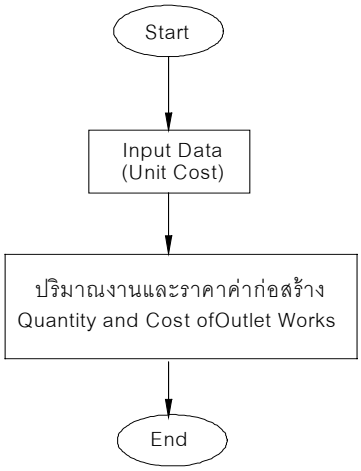
ภาพที่ 13 แสดงผังขั้นตอนการทำงานหลักของโปรแกรม



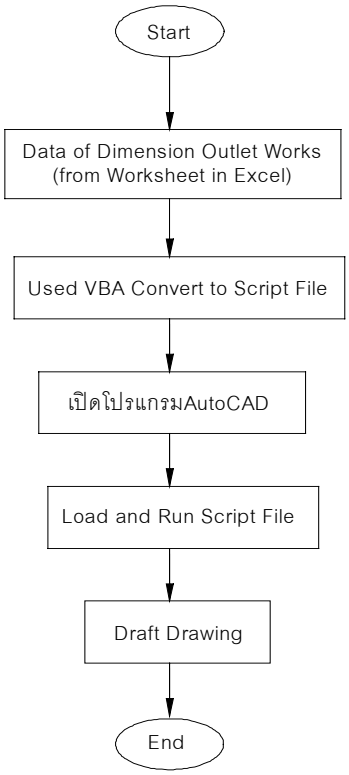
<u>ภาพที่ 14</u> แสดงผังรายละเอียดของการดำเนินการของโปรแกรมในส่วนของการออกแบบด้านชลศาสตร์



<u>ภาพที่ 15</u> แสดงผังรายละเอียดของการดำเนินการของโปรแกรมในส่วนของการออกแบบด้านโครงสร้าง



ภาพที่ 16 แสดงผังรายละเอียดของการดำเนินการของโปรแกรมในส่วนของการประมาณราคา



ภาพที่ 17 แสดงผังรายละเอียดของการดำเนินการของโปรแกรมในส่วนของการเขียนแบบเบื้องต้น

3. ฟอร์ม FrmIPDT เป็นฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูลของอ่างเก็บน้ำดังนี้

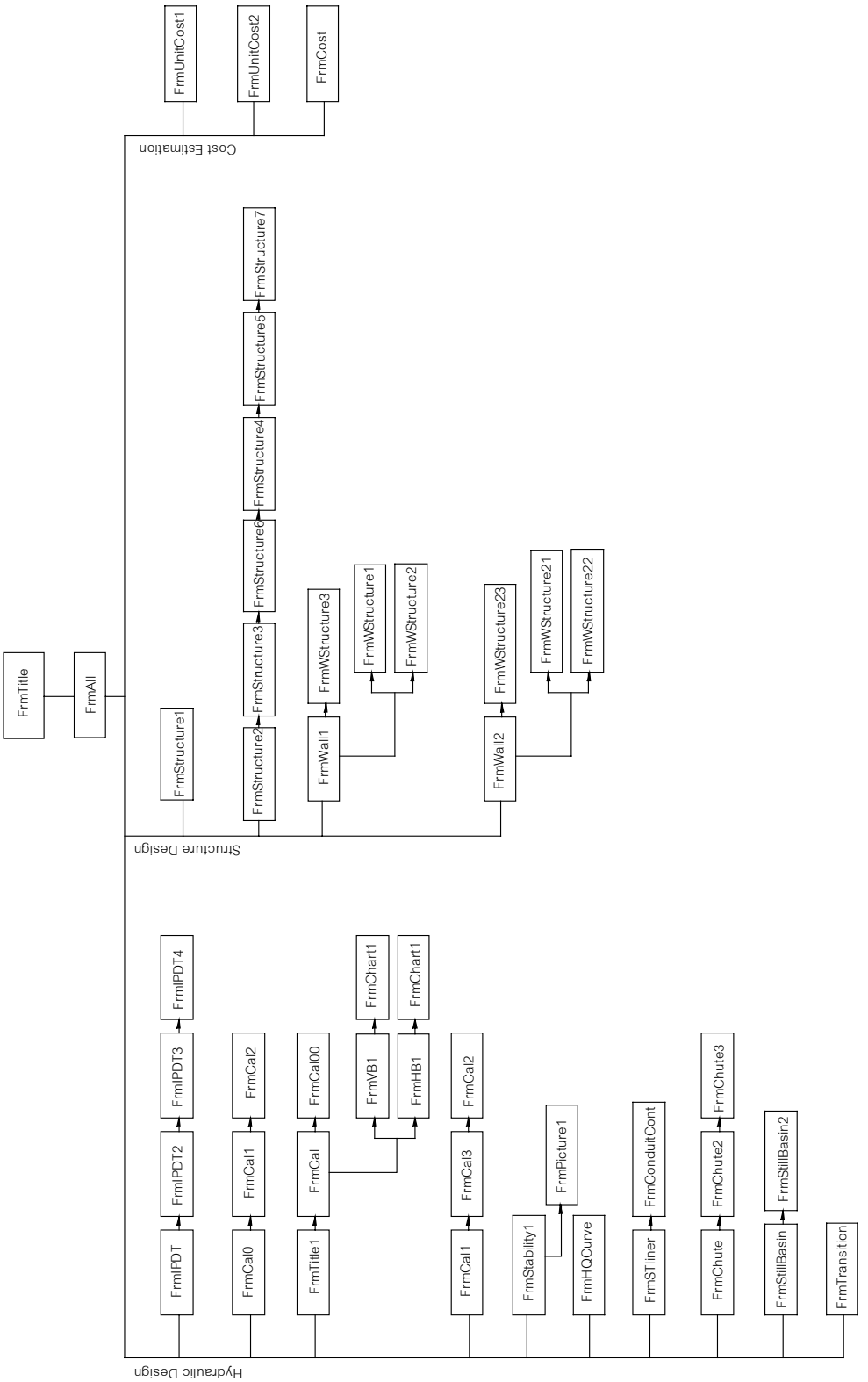
   3.1 ชื่อโครงการ
   3.2 จังหวัด
   3.3 ระดับสันเขื่อน
   3.4 ระดับน้ำสูงสุด
   3.5 ระดับน้ำเก็บกัก
   3.6 ระดับน้ำต่ำสุด
   3.7 ระดับท้องลำน้ำ
   3.8 ปริมาณน้ำชลประทาน

4. ฟอร์ม FrmIPDT2 เป็นฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูลของคลองส่งน้ำ ดังนี้

   4.1 ระดับน้ำใช้การ
   4.2 ความกว้างก้นคลอง
   4.3 ความลึกน้ำ
   4.4 ความลาดชันด้านข้างคลอง
   4.5 ความกว้างชานคลอง
   4.6 ความสูงจากก้นคลองถึงชานคลอง
   4.7 ความสูงจากก้นคลองถึงคันคลอง
   4.8 ความกว้างคันคลองฝั่งซ้าย
   4.9 ความกว้างคันคลองฝั่งขวา
   4.10 ลาดตามยาวคลอง

5. ฟอร์ม FrmIPDT3 เป็นฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูลการร่างแบบเบื้องต้น(Layout) ดังนี้

   5.1 ความกว้างสันเขื่อน
   5.2 ความลาดชันเขื่อนด้านเหนือน้ำ 1
   5.3 ความลาดชันเขื่อนด้านเหนือน้ำ 2



ภาพที่ 18 แสดงขั้นตอนการทำงานของฟอร์มในโปรแกรม

5.4 ความกว้าง Berm ทางด้านเหนือน้ำ

5.5 ความลาดชันเขื่อนด้านท้ายน้ำ 1

5.6 ความลาดชันเขื่อนด้านท้ายน้ำ 2

5.7 ความกว้าง Berm ทางด้านท้ายน้ำ

5.8 ระดับสันฝายปากแตร

5.9 ระดับธรณีด้านหน้าท่อ

5.10 ระดับธรณีท้ายท่อ

5.11 ความลึกของชั้นหิน (โดยประมาณ)

6. ฟอร์ม FrmIPDT4 เป็นฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูลการกำหนดตำแหน่งของอาคารดังนี้

6.1 ตำแหน่งที่ 1

6.2 ตำแหน่งที่ 2

6.3 ตำแหน่งที่ 3

6.4 ตำแหน่งที่ 4

6.5 ตำแหน่งที่ 5

6.6 ตำแหน่งที่ 6

6.7 ตำแหน่งที่ 7

6.8 ตำแหน่งที่ 8

6.9 ตำแหน่งที่ 9

6.10 ระดับดินเดิมของตำแหน่งที่ 1

6.11 ระดับดินเดิมของตำแหน่งที่ 2

6.12 ระดับดินเดิมของตำแหน่งที่ 3

6.13 ระดับดินเดิมของตำแหน่งที่ 4

6.14 ระดับดินเดิมของตำแหน่งที่ 5

6.15 ระดับดินเดิมของตำแหน่งที่ 6

6.16 ระดับดินเดิมของตำแหน่งที่ 7

6.17 ระดับดินเดิมของตำแหน่งที่ 8

6.18 ระดับดินเดิมของตำแหน่งที่ 9

7. ฟอร์ม FrmCalo เป็นฟอร์มที่ใช้เพื่อกำหนดเฮดที่ใช้ในการออกแบบ (Design Head) และเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (Conduit) ที่ไม่ทำให้ Head Losses (เบื้องต้น) มีค่ามากกว่าเฮดที่ใช้ในการออกแบบ (Design Head)

8. ฟอร์ม FrmCal1 เป็นฟอร์มที่ใช้ในการกำหนดรายละเอียดเบื้องต้นของฝายปากแตร

9. ฟอร์ม FrmCal2 เป็นฟอร์มที่ใช้ในการกำหนดรายละเอียดเบื้องต้นของขนาด Trashrack และขนาดของส่วนประกอบอื่นๆ ของอาคารรับน้ำ (Intake)

10. ฟอร์ม FrmTitle1 เป็นฟอร์มที่ใช้แสดงรูปแบบของการสูญเสียเฮดของท่อส่งน้ำในลักษณะต่างๆ

11. ฟอร์ม FrmCal เป็นฟอร์มที่สำคัญ เพราะเป็นฟอร์มที่ใช้ในการคำนวณหา Head Losses ต่างๆ ที่เกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของอาคาร ซึ่งประกอบไปด้วยเฮดดังต่อไปนี้

11.1 Trashrack Loss (h_t)

11.2 Entrance Loss (h_e)

11.3 Bend Loss (h_b)

11.4 Friction Loss (h_f)

11.5 Contraction Loss (h_c)

11.6 Expansion Loss (h_{ex})

11.7 Gate Loss (h_g)

11.8 Exit Loss (h_v)

ซึ่งผลรวมของเฮดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ Total Head Losses

12. ฟอร์ม FrmCaloo เป็นฟอร์มที่สรุปลักษณะข้อมูลที่ได้จากการออกแบบ และหลังจากผ่านการกำหนดขนาดรายละเอียดต่างๆ และคำนวณหาเฮดทั้งหมด จนเป็นที่พอใจแล้วก็จะกลับมาเปิดใช้ฟอร์ม FrmCal1 และ FrmCal2 เพื่อกำหนดรายละเอียดของ Trashrack และส่วนประกอบอื่นๆ ของอาคารรับน้ำ (Intake)

13. ฟอร์ม FrmCal3 เป็นฟอร์มที่ใช้คำนวณหาสมการโค้งของปากทางเข้า (Entrance Curve) และแสดงรูปของโค้งของปากทางเข้า

14. ฟอร์ม FrmStability1 เป็นฟอร์มสำหรับคำนวณหาความมั่นคงของอาคารรับน้ำ (Intake) โดยตรวจสอบความมั่นคงต่อการลอยตัว (Bvoyancy) และน้ำหนักกดทับที่ฐานราก (Bearing Capacity)

15. ฟอร์ม FrmPicture1 เป็นฟอร์มที่แสดงรูปภาพ ซึ่งแสดงรายละเอียดของขนาดอาคารรับน้ำในส่วนต่างๆ ที่มีผลต่อการคำนวณหาความมั่นคงของอาคารรับน้ำ

16. ฟอร์ม FrmHQCurve เป็นฟอร์มที่แสดงรูปของกราฟ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของระดับน้ำที่ระดับต่างๆ กับอัตราการไหลของน้ำในอาคารท่อส่งน้ำ

17. ฟอร์ม FrmSTliner เป็นฟอร์มสำหรับคำนวณหาความหนาของท่อเหล็ก (Steel Liner)

18. ฟอร์ม FrmConduitCont เป็นฟอร์มสำหรับใช้คำนวณหาความยาวของท่อลดขนาดกรณีใช้ท่อเหล็ก (Steel Liner) 2 ขนาด

19. ฟอร์ม FrmChute เป็นฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูลตำแหน่งและความยาวของอาคารทางด้านท้ายท่อส่งน้ำ (Conduit) ดังนี้

19.1 ความกว้างของทางน้ำท้ายท่อส่งน้ำ
19.2 ความกว้างของแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin)
19.3 ระดับพื้นของอาคารสลายพลังงาน
19.4 ระยะจากท้ายท่อส่งน้ำถึงหน้าตัดควบคุม (Control Section) (LT1)
19.5 ระยะจากหน้าตัดควบคุม (Control Section) ถึงจุดสิ้นสุดรางเท (Chute)
19.6 ระดับดินเดิมของอาคารตำแหน่งที่ 10
19.7 ระดับดินเดิมของอาคารตำแหน่งที่ 11
19.8 ระดับดินเดิมของอาคารตำแหน่งที่ 12
19.9 ระดับดินเดิมของอาคารตำแหน่งที่ 13

20. ฟอร์ม FrmChute2 เป็นฟอร์มสำหรับแสดงผลการคำนวณระดับน้ำที่ไหลจากท้ายท่อส่งน้ำจนถึงท้ายรางเท (Chute) โดยวิธี Direct Step Method และระดับน้ำหลังการเกิด Hydraulic Jump จากนั้นจะให้เลือกกำหนดความสูงของกำแพงรางเทในช่วงต่างๆ และทำการตรวจสอบมุมฝายของกำแพงโดยมุมฝายของกำแพงจะต้องมีค่าน้อยกว่ามุม Flare

21. ฟอร์ม FrmChute3 เป็นฟอร์มสำหรับแสดงผลการคำนวณโค้งทางดิ่ง โดยจะแสดงสมการพร้อมทั้งแสดงตำแหน่ง กม. ของอาคารและระดับพื้นอาคาร

22. ฟอร์ม FrmStillBasin เป็นฟอร์มสำหรับแสดงผลการคำนวณขนาดความกว้างและความสูงของแอ่งน้ำนิ่ง และให้กรอกข้อมูลความยาวของแอ่งน้ำนิ่ง (ความยาวของแอ่งน้ำนิ่งได้จากกราฟแสดงขนาดมาตรฐานของอาคารสลายพลังงานชนิดแอ่งน้ำนิ่ง Type III ของ U.S.BR. (Stilling Basin Type III)

23. ฟอร์ม FrmStillBasin2 เป็นฟอร์มสำหรับการกำหนดขนาดรายละเอียดส่วนประกอบของแอ่งน้ำนิ่ง Type III ได้แก่ Chute Blocks Baffle Blocks End Sill และความลึกของ Cutoff เป็นต้น

24. ฟอร์ม FrmTransition เป็นฟอร์มสำหรับการคำนวณและกำหนดความยาวของช่วงต่อเชื่อม (Transition) เพื่อไม่ให้กระแสน้ำปั่นป่วน จากการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดจากแอ่งน้ำนิ่งไปสู่หน้าตัดคลองส่งน้ำ

25. ฟอร์ม FrmStructure1 เป็นฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูลน้ำหนักต่อหน่วยของวัสดุต่างๆ และข้อกำหนดในการออกแบบโครงสร้างต่างๆ ดังนี้

25.1 น้ำหนักน้ำ
25.2 น้ำหนักคอนกรีตเสริมเหล็ก
25.3 น้ำหนักดินถมบดอัดแน่น (ชื้น)
25.4 น้ำหนักดินอิ่มตัวด้วยน้ำ
25.5 Ka
25.6 f_c'

25.7 fs

25.8 R

25.9 n

25.10 k

25.11 j

26. ฟอร์ม FrmStructure2 เป็นฟอร์มสำหรับกำหนดขนาดและรายละเอียดต่างๆ ของท่อส่งน้ำ (Conduit) ดังนี้

26.1 ความหนาท่อ

26.2 ความกว้างฐาน Conduit

26.3 ลักษณะของฐานรากของท่อส่งน้ำ

27. ฟอร์ม FrmStructure3 เป็นฟอร์มสำหรับแสดงรายละเอียดตำแหน่งของความหนาของท่อส่งน้ำ (Conduit) ที่ใช้พิจารณาในการวิเคราะห์โครงสร้างของตัวท่อส่งน้ำ ตาม Beggs Deformeter Stress Analysis of Single Barrel Conduit ของ U.S.B.R

28. ฟอร์ม FrmStructure6 เป็นฟอร์มสำหรับแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของท่อส่งน้ำ 2 กรณี คือ กรณีสร้างเสร็จใหม่ (End of Construction) และกรณีเก็บกักที่ระดับน้ำสูงสุด (Fully Retention Storage) โดยแสดงค่าโมเมนต์ (Moment) แรงตามแนวแกน (Thrust) และแรงเฉือน (Shear) ที่ตำแหน่งต่างๆ

29. ฟอร์ม FrmStructure4 เป็นฟอร์มสำหรับแสดงผลสรุปการวิเคราะห์โครงสร้าง ที่ตำแหน่งต่างๆ ของท่อส่งน้ำ (Conduit) ที่จะนำมาใช้ในการออกแบบเสริมเหล็ก

30. ฟอร์ม FrmStructure5 เป็นฟอร์มสำหรับการคำนวณออกแบบหาขนาดเหล็กเสริมหลัก (Main Reinforce Steel) และเหล็กเสริมรับอุณหภูมิ (Temperature Steel) ของท่อส่งน้ำ (Conduit)

31. ฟอร์ม FrmStructure7 เป็นฟอร์มสำหรับแสดงรูปการเสริมเหล็กในท่อส่งน้ำ (Conduit)

32. ฟอร์ม FrmWall1 เป็นฟอร์มสำหรับการคำนวณออกแบบความหนาของกำแพงและของพื้นของทางน้ำชนิดรางเท (Chute)

33. ฟอร์ม FrmWStructure1 เป็นฟอร์มย่อยของ ฟอร์ม FrmWall1 โดยเป็นฟอร์มสำหรับการคำนวณออกแบบขนาดเหล็กเสริมหลัก (Main Reinforce Steel) และเหล็กเสริมรับอุณหภูมิ (Temperature Steel) ของกำแพงรางเท

34. ฟอร์ม FrmWStructure2 เป็นฟอร์มย่อยของ ฟอร์ม FrmWall โดยเป็นฟอร์มสำหรับการคำนวณออกแบบขนาดเหล็กเสริมหลัก (Main Reinforce Steel) และเหล็กเสริมรับอุณหภูมิ (Temperature Steel) ของพื้นรางเท

35. ฟอร์ม FrmWStructure3 เป็นฟอร์มสำหรับแสดงรูปการเสริมเหล็กของทางน้ำชนิดรางเท (Chute)

36. ฟอร์ม FrmWall2 เป็นฟอร์มสำหรับการคำนวณออกแบบความหนาของกำแพงและของพื้นของแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin)

37. ฟอร์ม FrmWStructure21 เป็นฟอร์มย่อยของ ฟอร์ม FrmWall2 โดยเป็นฟอร์มสำหรับการคำนวณออกแบบขนาดเหล็กเสริมหลัก (Main Reinforce Steel) และเหล็กเสริมรับอุณหภูมิ (Temperature Steel) ของกำแพงแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin)

38. ฟอร์ม FrmWStructure22 เป็นฟอร์มย่อยของ ฟอร์ม FrmWall2 โดยเป็นฟอร์มสำหรับการคำนวณออกแบบขนาดเหล็กเสริมหลัก (Main Reinforce Steel) และเหล็กเสริมรับอุณหภูมิ (Temperature Steel) ของพื้นแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin)

39. ฟอร์ม FrmWStructure23 เป็นฟอร์มสำหรับแสดงรูปการเสริมเหล็กของแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin)

40. ฟอร์ม FrmUnitCost1 เป็นฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูลของราคาต่อหน่วยของงานดังนี้

40.1 งานขุดดิน

40.2 งานขุดระเบิดหินพร้อมขนย้าย

40.3 งานดินถมบดอัดแน่นพิเศษรอบท่อ

40.4 งานดินถมบดอัดแน่น

40.5 งานคอนกรีตเสริมเหล็ก

40.6 งานจัดหาและติดตั้ง Side Trashrack

40.7 งานจัดหาและติดตั้ง Top Trashrack

40.8 งานจัดหาและติดตั้ง Bulkhead

40.9 งานท่อเหล็กเหนียว Steel Liner

40.10 งานจัดหาและติดตั้งประตูบังคับน้ำ(Gate)

40.11 งานอาคารควบคุม (Control House)

41. ฟอร์ม FrmUnitCost2 เป็นฟอร์มสำหรับกรอกข้อมูลของขนาดพื้นที่อาคารควบคุม (Control House) ที่ต้องการ

42. ฟอร์ม FrmCost เป็นฟอร์มสำหรับแสดงราคาค่าก่อสร้างอาคารท่อส่งน้ำ โดยจะแสดงปริมาณงานและราคาในแต่ละรายการ

การใช้โปรแกรม

การเริ่มต้นใช้งานโปรแกรมออกแบบและเขียนแบบอาคารท่อส่งน้ำแบบปากแตร มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการเข้าสู่ตัวโปรแกรมโดยการเปิดไฟล์ Outlet.xls จาก C:\ Program Files\Outlet Works เมื่อ Outlet.xls ถูก Load ขึ้นมาเรียบร้อยแล้ว จะมีหน้าจอแสดงการแนะนำชื่อโปรแกรมและชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดังแสดงภาพที่ 19 หากกดปุ่มเงื่อนไขการใช้โปรแกรมจะแสดงภาพที่ 20 ซึ่งบอกถึงเงื่อนไขในการใช้โปรแกรม กด OK เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

2. จะปรากฏแสดงหน้าจอหลักสำหรับออกแบบทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 21 การคำนวณเริ่มจากหน้าจอส่วนของ Hydraulic Design กดปุ่ม “1) Input Data” หน้าจอจะแสดงดังภาพที่ 22

3. ทำการป้อนข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ที่โปรแกรมถาม ดังแสดงในภาพที่ 22 ถึงภาพที่ 25

4. กดปุ่ม “2) General Criteria” เพื่อกำหนดค่า Design Head และกำหนดขนาดท่อ ดังแสดงในภาพที่ 26 ทำการออกแบบขนาดและรายละเอียดต่างๆ ของอาคารรับน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 27 และภาพที่ 28

5. กดปุ่ม “3) Head Losses” จะแสดงภาพการสูญเสียเฮด ขณะที่น้ำไหลผ่านท่อ กดปุ่ม OK เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนของการหา Head Losses ในส่วนต่างๆ ดังนี้

5.1 คำนวณออกแบบการหาค่า Trashrack Loss ดังแสดงในภาพที่ 30

5.2 คำนวณออกแบบการหาค่า Entrance Loss ดังแสดงในภาพที่ 31

5.3 คำนวณออกแบบการหาค่า Bend Loss ดังแสดงในภาพที่ 32 และภาพที่ 33

5.4 คำนวณออกแบบการหาค่า Friction Loss ดังแสดงในภาพที่ 34

5.5 คำนวณออกแบบการหาค่า Contraction Loss ดังแสดงในภาพที่ 35

5.6 คำนวณออกแบบการหาค่า Expansion Loss ดังแสดงในภาพที่ 36

5.7 คำนวณออกแบบการหาค่า Gate Loss ดังแสดงในภาพที่ 37

5.8 คำนวณออกแบบการหาค่า Exit Loss ดังแสดงในภาพที่ 38

5.9 คำนวณออกแบบการหาค่า Total Head Losses ดังแสดงในภาพที่ 39 ถ้าค่า Total Head Losses มีค่าน้อยกว่าค่า Design Head แสดงว่า การเลือกขนาดท่อใช้ได้ แต่ถ้ามีค่ามากกว่าค่า Design Head ให้ทำการปรับเพิ่มขนาดท่อจนกว่าค่า Total Head Losses จะมีค่าน้อยกว่าค่า Design Head

จากนั้นจะแสดงสรุปลักษณะของการออกแบบ ดังแสดงในภาพที่ 40

6. กดปุ่ม “4) Intake Structure”เพื่อออกแบบ Etrance Curve ดังแสดงในภาพที่ 41 และออกแบบขนาดและรายละเอียดของอาคารรับน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 42

7. กดปุ่ม “5) Stability of Intake” เพื่อคำนวณหาความมั่นคงของอาคารต่อการลอยตัว ดังแสดงในภาพที่ 43 และภาพที่ 44

8. กดปุ่ม “6) Discharge Curve” เพื่อแสดงผลของการคำนวณหากราฟของ Discharge Curve ของอาคารท่อส่งน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 45

9. กดปุ่ม “7) Conduit Design” เพื่อคำนวณออกแบบความหนาของ Steel Liner ดังแสดงในภาพที่ 46 และแสดงการคำนวณหาความยาวของท่อลดของท่อส่งน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 47 (หากอาคารท่อส่งน้ำใช้ท่อขนาดเดียวจะไม่มีหน้าจอนี้แสดงขึ้นมา)

10. กดปุ่ม “8) Chute Design” เพื่อป้อนข้อมูลเพิ่มเติมและคำนวณออกแบบรางเทดังแสดงในภาพที่ 48 และภาพที่ 49 จากนั้นจะเป็นหน้าจอคำนวณออกแบบโค้งทางดิ่งของพื้นรางเท ดังแสดงในภาพที่ 50

11. กดปุ่ม “9) Basin Design” เพื่อคำนวณออกแบบขนาดของแอ่งน้ำนั้น ดังแสดงในภาพที่ 51 และภาพที่ 52

12. กดปุ่ม “10) Transition to Canal” เพื่อคำนวณออกแบบความยาวของช่วงต่อเชื่อม ดังแสดงในภาพที่ 53 ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของโปรแกรมในส่วนของ Hydraulic Design

13. ทำการออกแบบในส่วนของโปรแกรม Structure Design โดยกดปุ่ม “1) น.น.และข้อกำหนด” เพื่อป้อนข้อมูลทางการออกแบบโครงสร้างต่างๆ ที่โปรแกรมถาม ดังแสดงในภาพที่ 54

14. กดปุ่ม “2) Conduit” เพื่อกำหนดขนาดและคำนวณออกแบบท่อส่งน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 55 หน้าจอแสดงตำแหน่งของท่อส่งน้ำที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 56 จากนั้นหน้าจอแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างของท่อส่งน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 57 และภาพที่ 58 หน้าจอแสดงการออกแบบการเสริมเหล็กของท่อส่งน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 59 และภาพที่ 60

15. กดปุ่ม “3) Chute” เพื่อคำนวณออกแบบโครงสร้างของรางเท (Chute) และคำนวณการออกแบบการเสริมเหล็ก ดังแสดงในภาพที่ 61 ถึงภาพที่ 64

16. กดปุ่ม “4) Stilling Basin” เพื่อคำนวณออกแบบโครงสร้างของแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin และคำนวณการออกแบบการเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของโปรแกรมในส่วนของ Structure Design ดังแสดงในภาพที่ 65 ถึงภาพที่ 68

17. ทำการหาราคาค่าก่อสร้างของอาคารในส่วนของ Cost Estimation โดยกดปุ่ม “1) Unit Cost” เพื่อป้อนข้อมูลอัตราราคางานที่โปรแกรมถาม ดังแสดงในภาพที่ 69 และภาพที่ 70

18. กดปุ่ม “2) Cost” เพื่อแสดงผลราคาค่าก่อสร้างของอาคาร ดังแสดงผลในภาพที่ 71 ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของโปรแกรมในส่วนของ Cost Estimation

19. กดปุ่ม “1) Drawing” เพื่อทำการส่งข้อมูล ขนาด และรายละเอียดของอาคารท่อส่งน้ำไปเป็นไฟล์Script ชื่อ ”PlotO.scr” และโปรแกรมจะทำการเรียกโปรแกรม AutoCAD ขึ้นมา ดังแสดงในภาพที่ 72

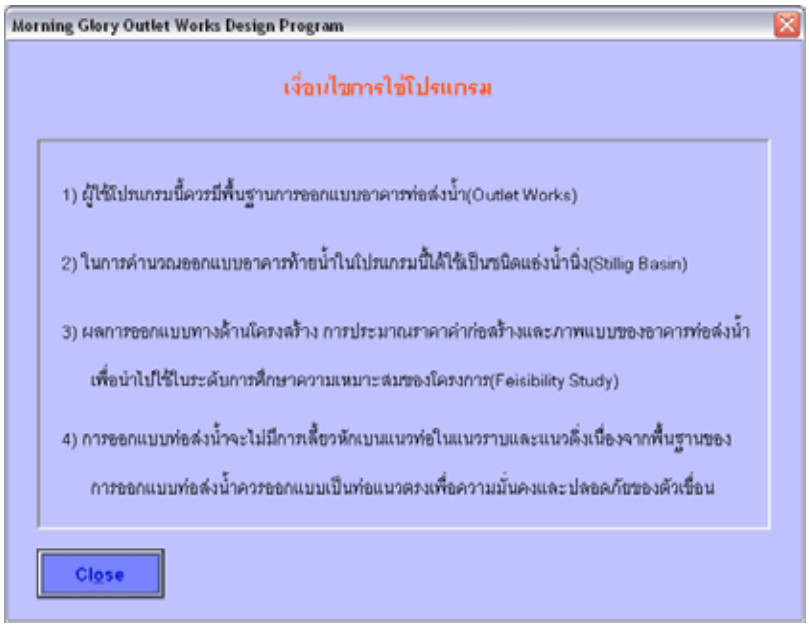
20. ทำการเลือกไฟล์ที่ต้องการ Load โดยเลือกไฟล์ “PlotO.scr” ดังแสดงในภาพที่ 73

21. โปรแกรม AutoCAD จะทำการเขียนรูปแบบแปลน และรูปตัดตามแนวศูนย์กลางของอาคารท่อส่งน้ำโดยอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 74

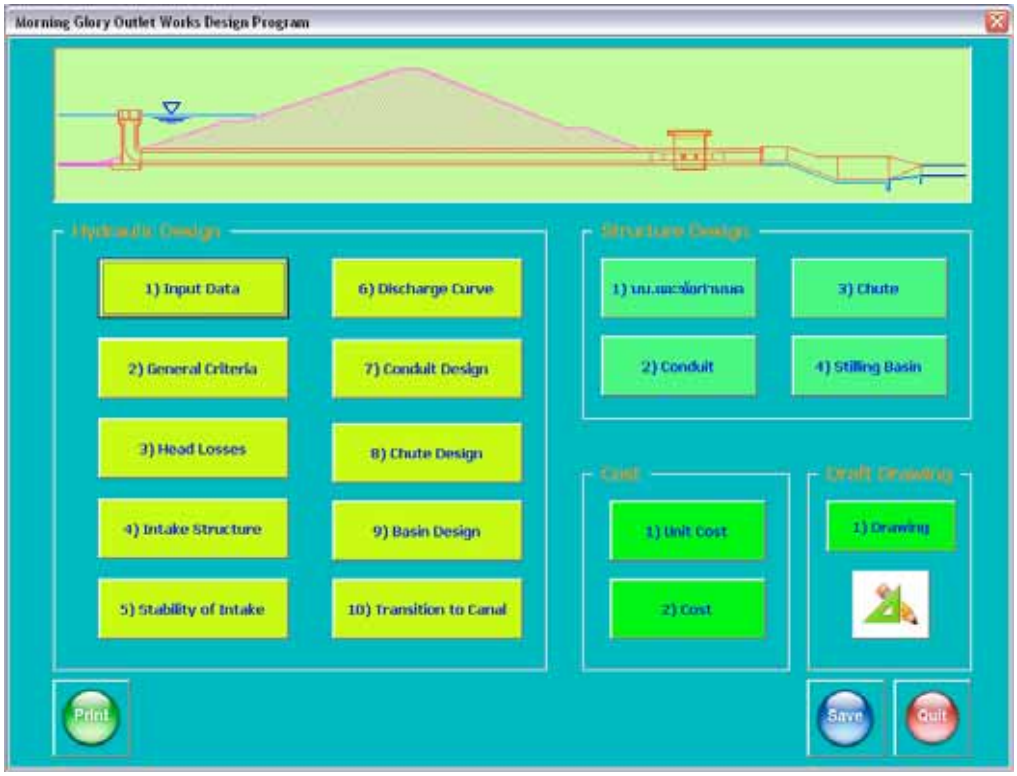
22. ที่หน้าจอหลักของการออกแบบ เมื่อได้ผลของการออกแบบและราคาค่าก่อสร้างจนเป็นที่พอใจแล้ว สามารถสั่งพิมพ์ผลสรุปของการออกแบบได้ทางเครื่องพิมพ์ (Printer) จากการกดปุ่ม Print และหากต้องการบันทึก (Save) ไฟล์เก็บเอาไว้ให้กดปุ่ม Save

23. เมื่อต้องการออกจากโปรแกรมให้กดปุ่ม Quit เพื่อออกจากโปรแกรม

ภาพที่ 19 แสดงหน้าจอเมื่อเริ่มโปรแกรม

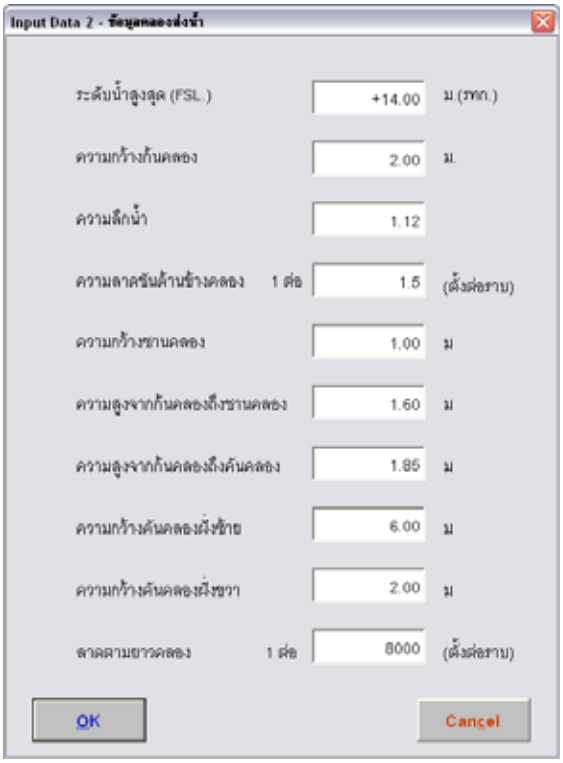


ภาพที่ 20 แสดงเงื่อนไขการใช้โปรแกรม



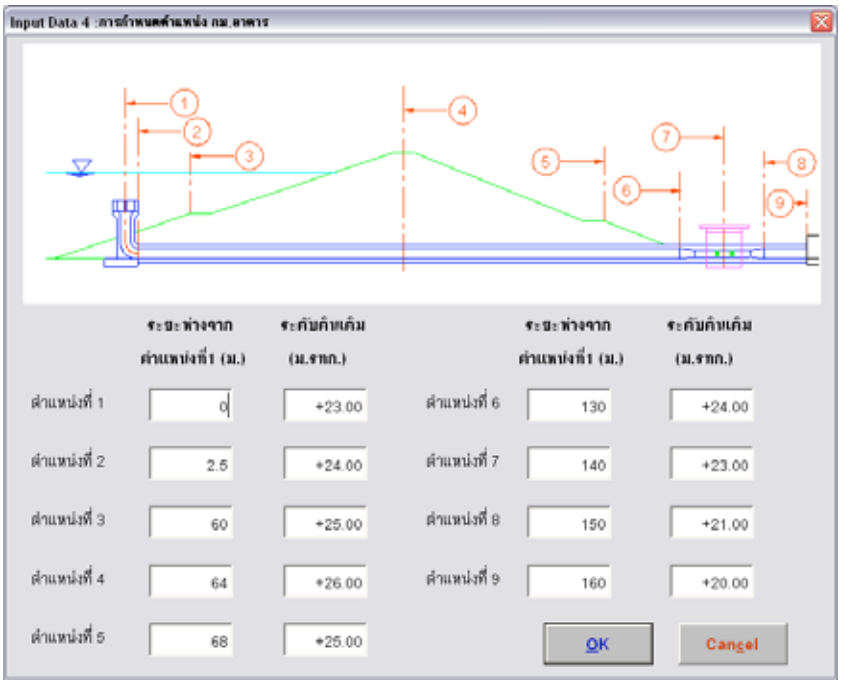
ภาพที่ 21 แสดงหน้าจอหลักการควบคุมการออกแบบในส่วนต่างๆ

ภาพที่ 22 แสดงหน้าจอให้กรอกรายละเอียดของข้อมูลทั่วไปในการออกแบบ

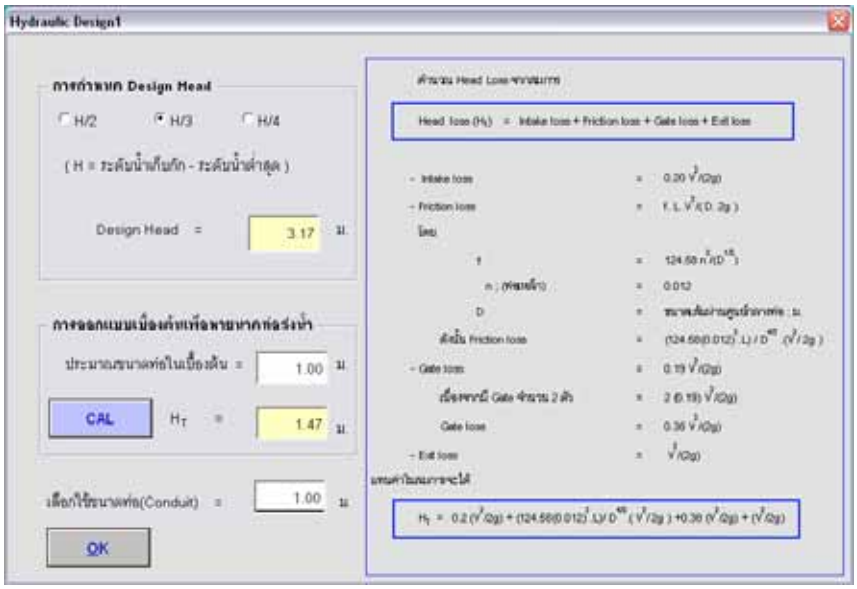


ภาพที่ 23 แสดงหน้าจอให้กรอกรายละเอียดของข้อมูลคลองส่งน้ำ

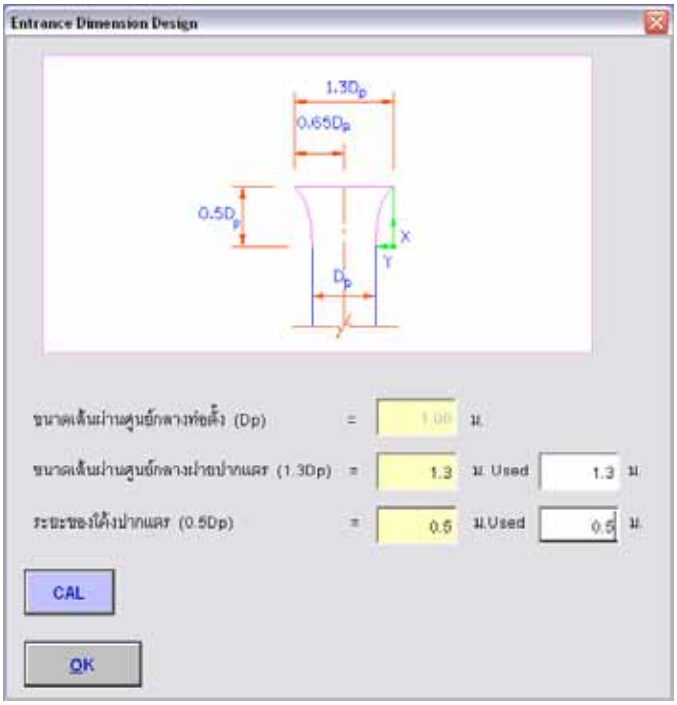
ภาพที่ 24 แสดงหน้าจอให้กรอกรายละเอียดของข้อมูลการออกแบบร่างเบื้องต้น



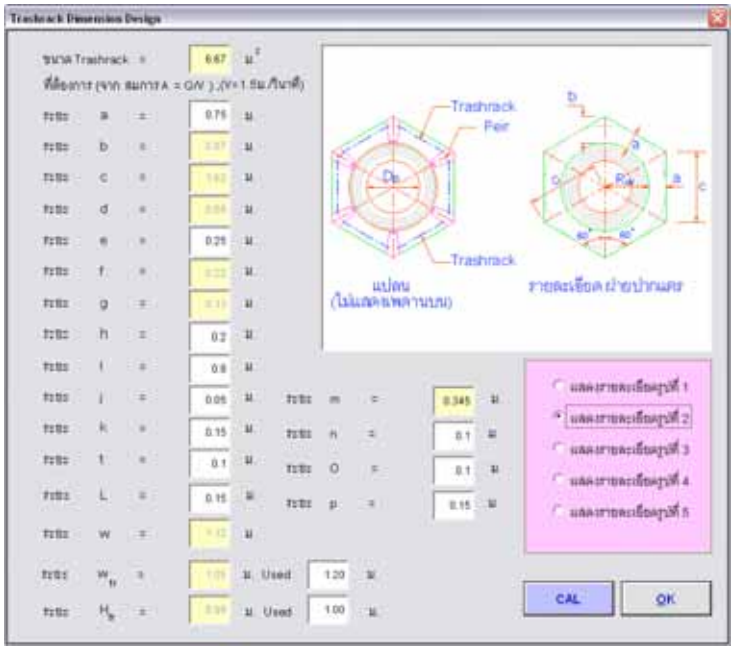
ภาพที่ 25 แสดงหน้าจอให้กรอกรายละเอียดการกำหนดตำแหน่งของอาคาร



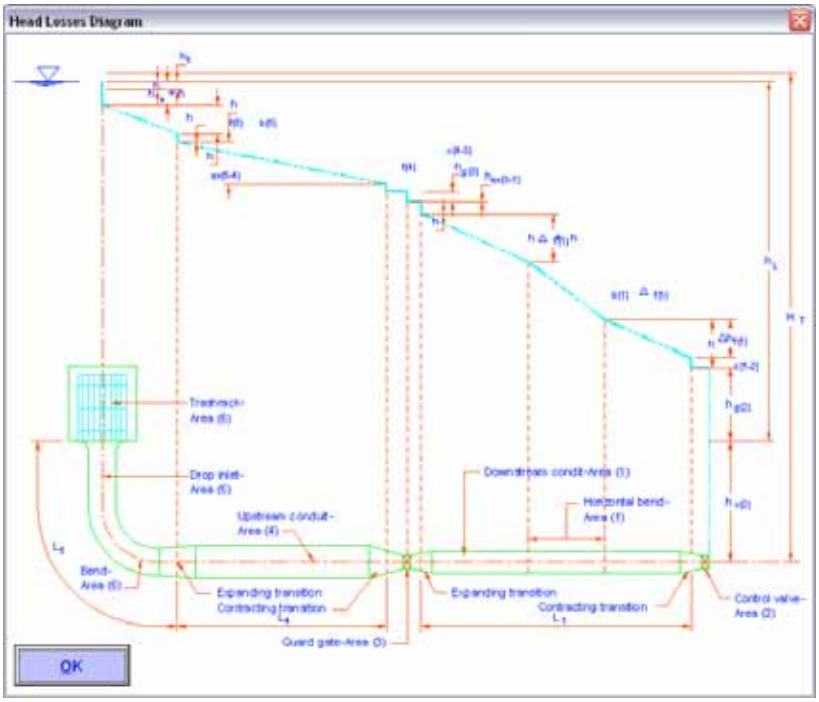
ภาพที่ 26 การกำหนดDesign Head และกำหนดขนาดท่อเบื้องต้น



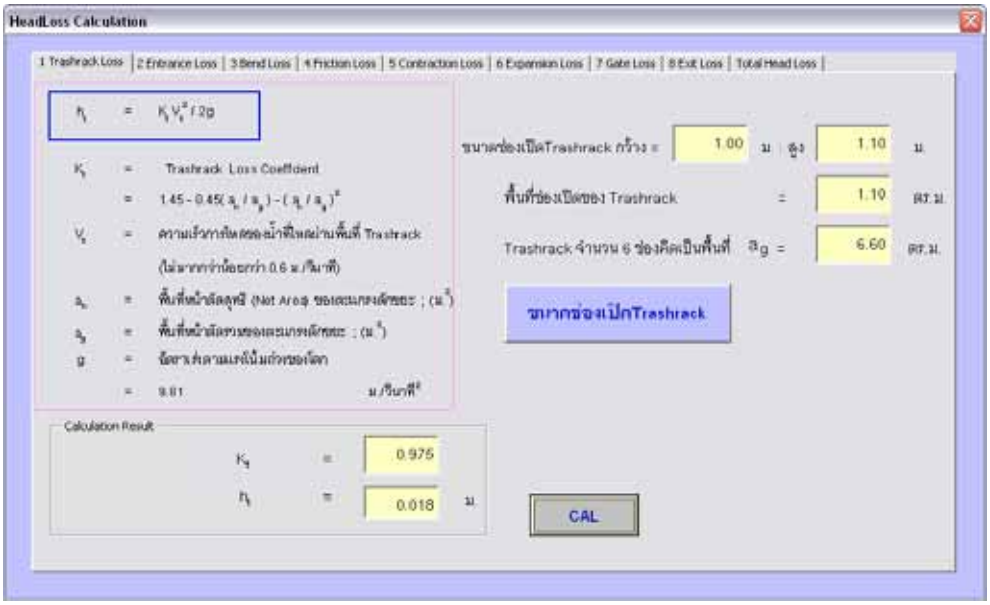
ภาพที่ 27 การกำหนดขนาดของอาคารรับน้ำ



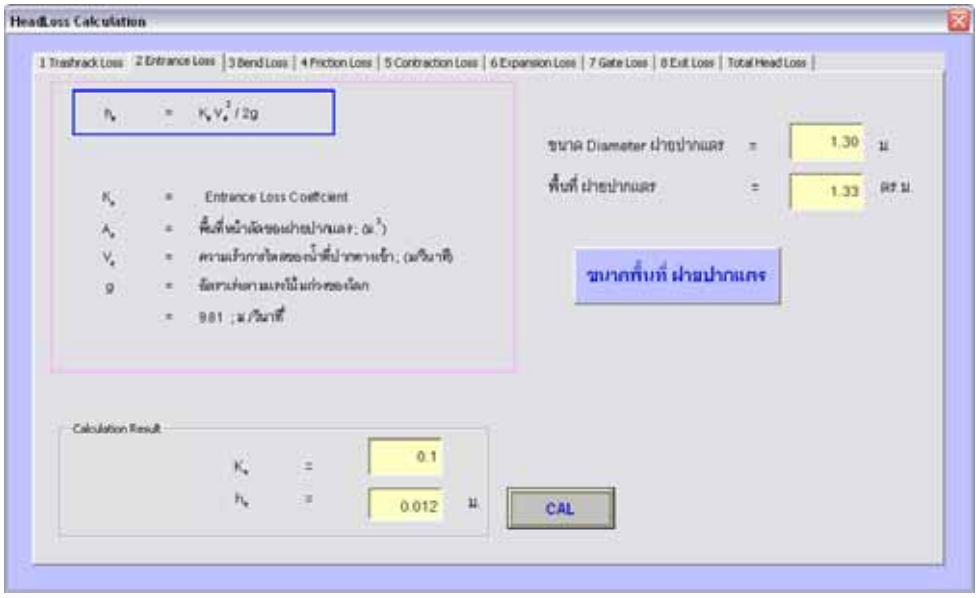
ภาพที่ 28 การกำหนดขนาดของรายละเอียดต่างๆของอาคารรับน้ำเบื้องต้น



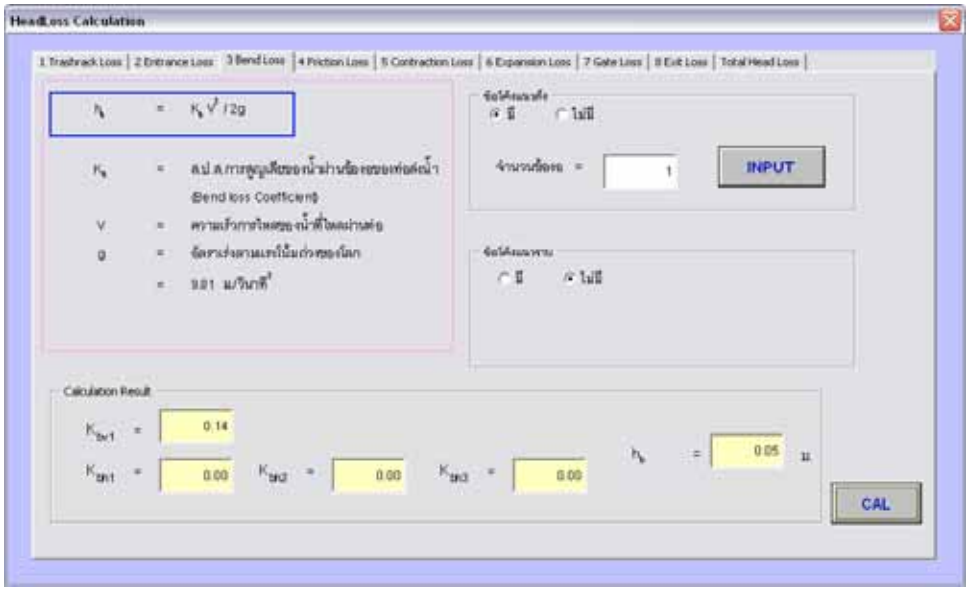
ภาพที่ 29 แสดงการสูญเสียเฮดขณะที่น้ำไหลผ่านท่อภายใต้ความดัน



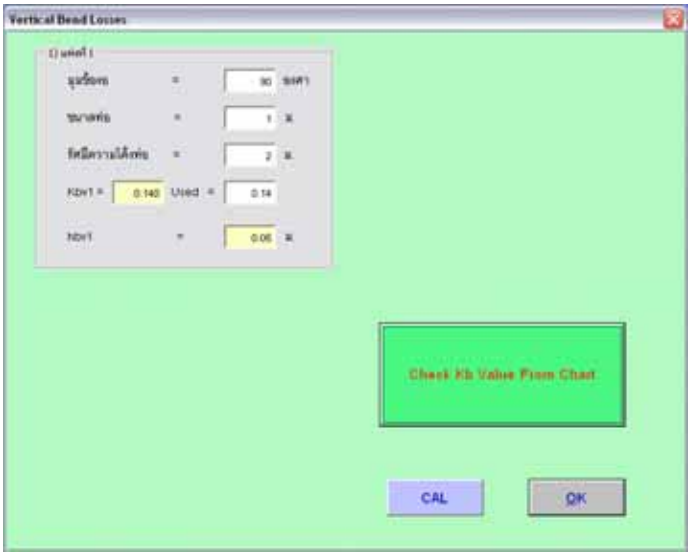
ภาพที่ 30 แสดงการคำนวณหา Trashrack Loss



ภาพที่ 31 แสดงการคำนวณหา Entrance Loss

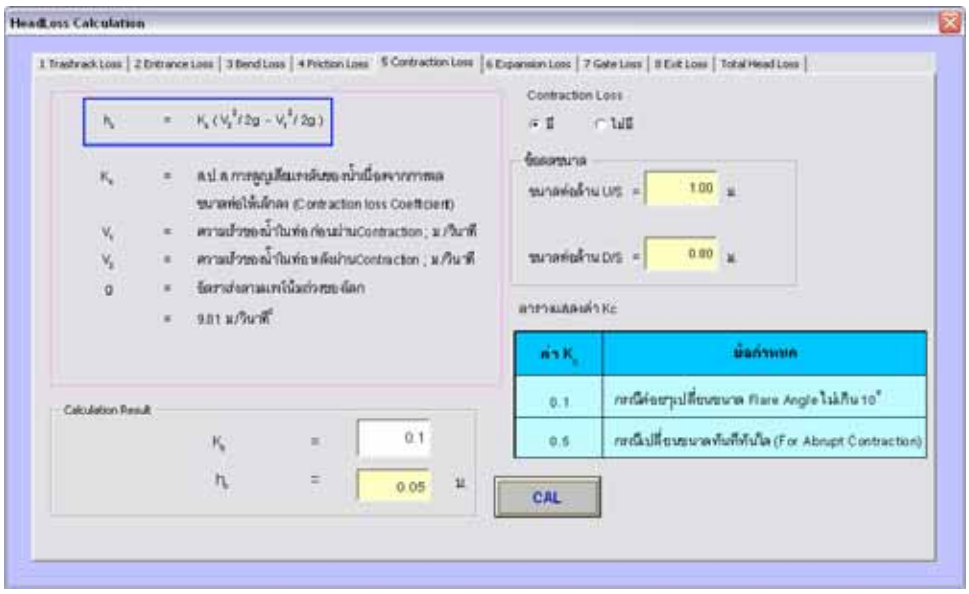


ภาพที่ 32 แสดงการคำนวณหา Bend Loss

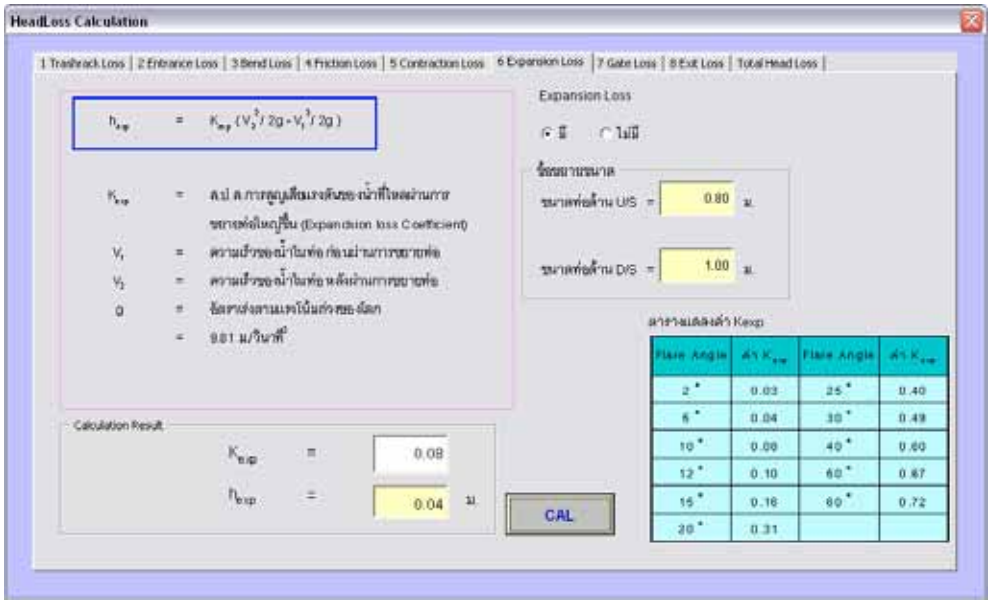


ภาพที่ 33 แสดงการคำนวณหาค่าKb ของBend Loss

ภาพที่ 34 แสดงการคำนวณหา Friction Loss

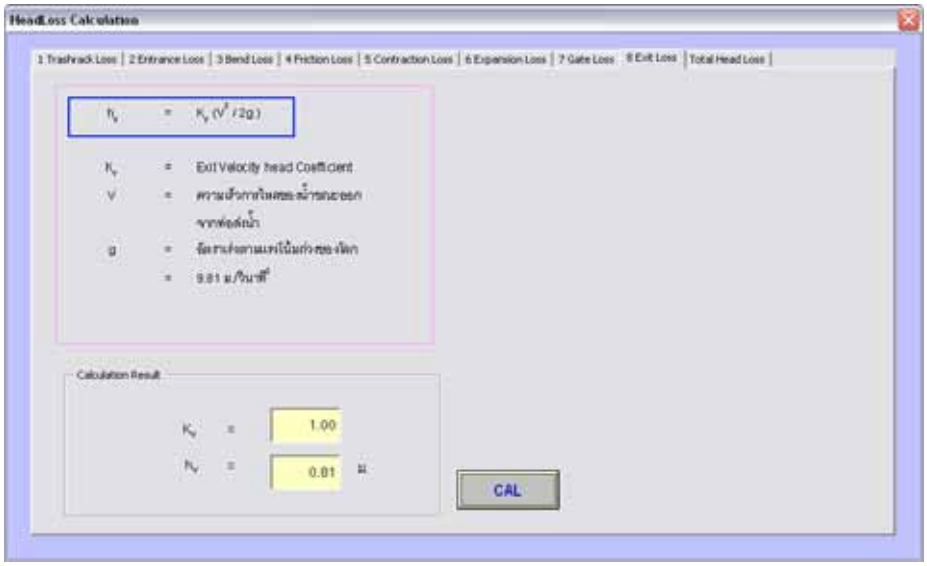


ภาพที่ 35 แสดงการคำนวณหา Contraction Loss



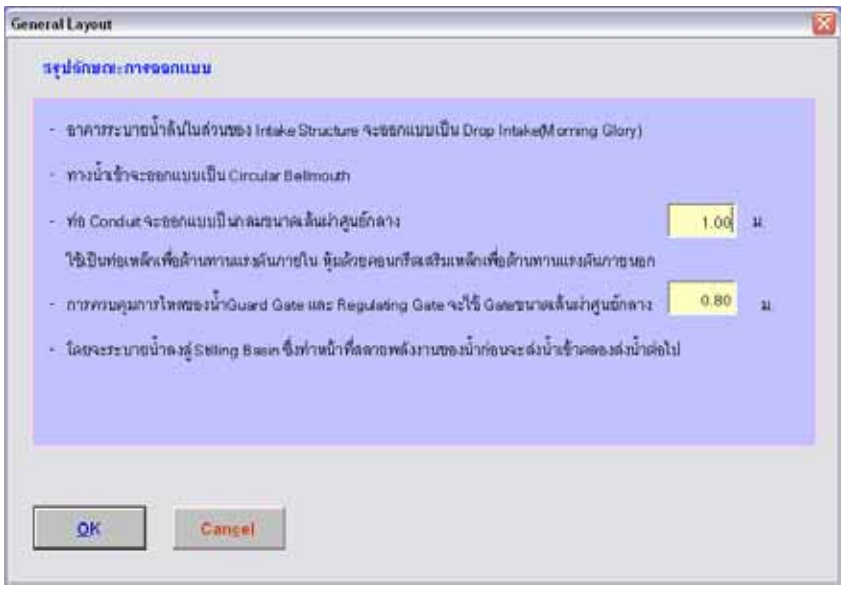
ภาพที่ 36 แสดงการคำนวณหา Expansion Loss

ภาพที่ 37 แสดงการคำนวณหา Gate Loss

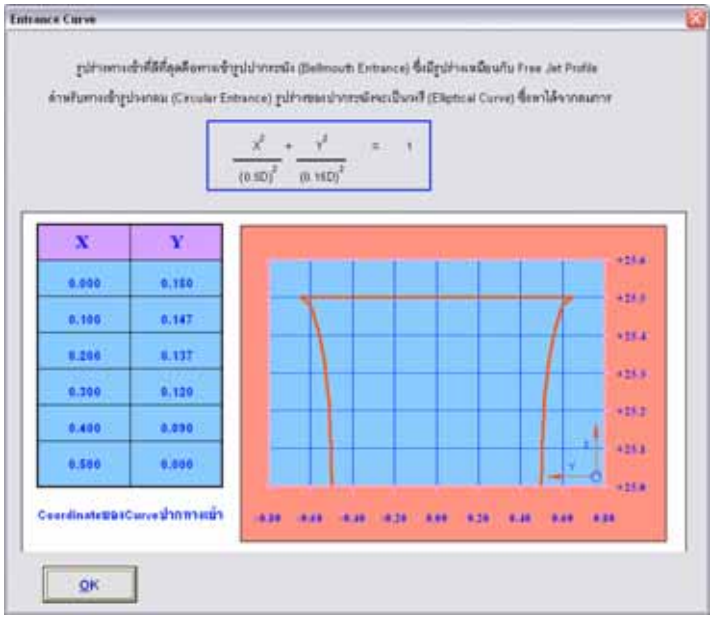


ภาพที่ 38 แสดงการคำนวณหา Exit Loss

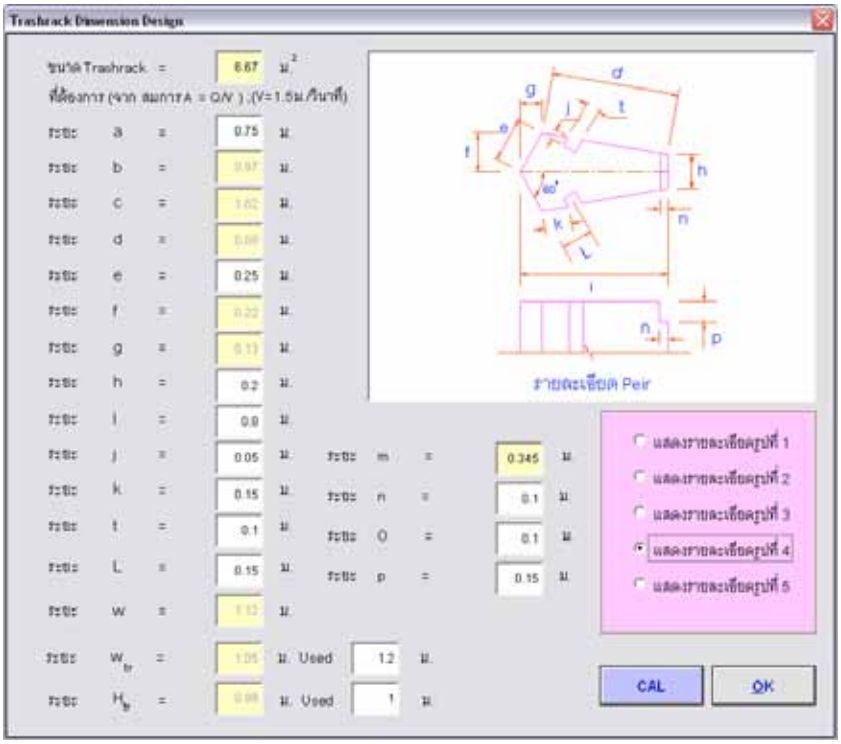
ภาพที่ 39 แสดงการคำนวณหา Total Head Losses



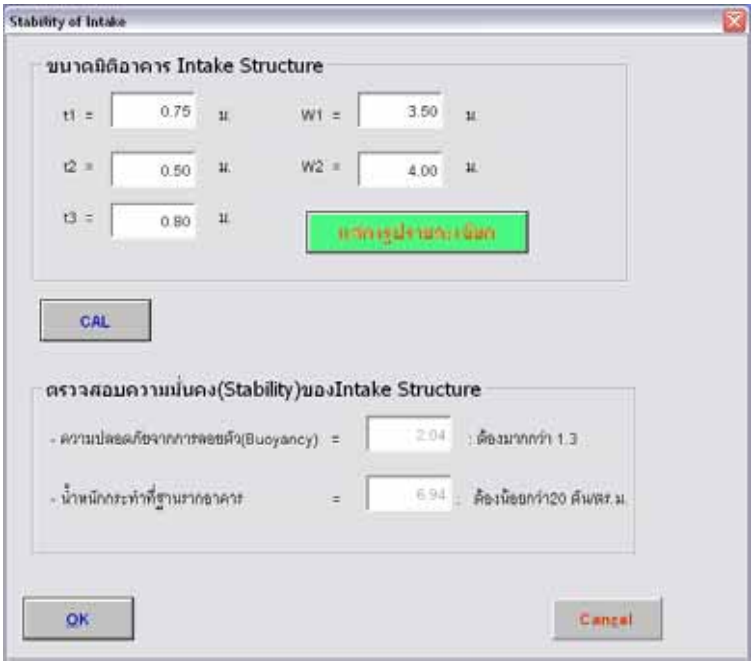
ภาพที่ 40 แสดงการสรุปลักษณะการออกแบบเบื้องต้น



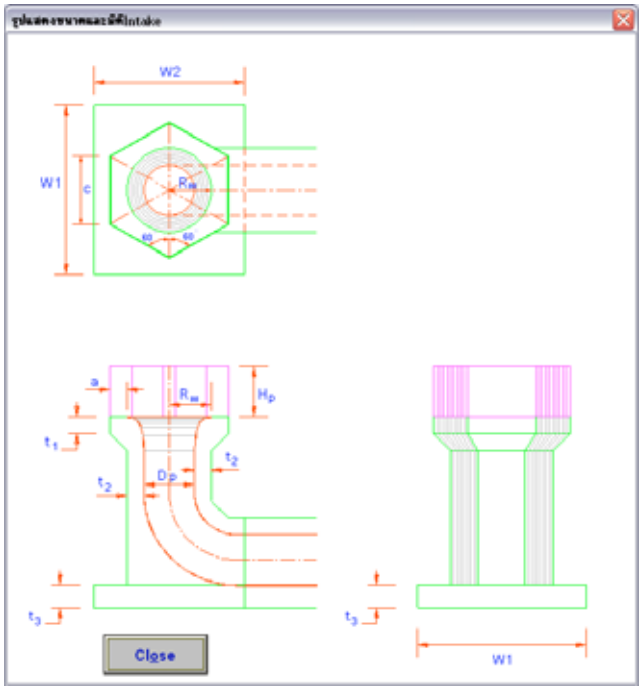
ภาพที่ 41 แสดงการออกแบบ Entrance Curve



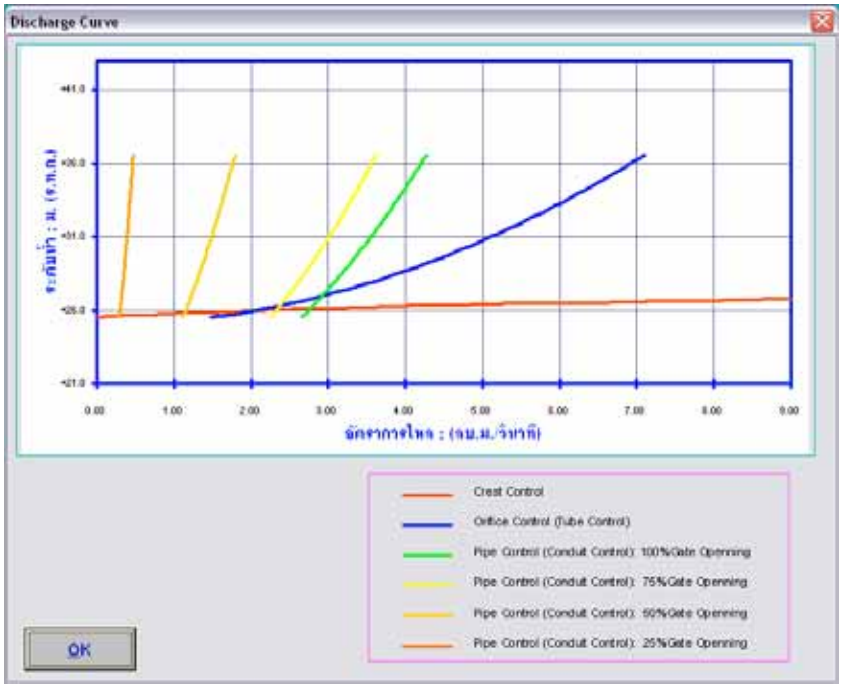
ภาพที่ 42 การออกแบบขนาดและรายละเอียดขนาดของอาคารรับน้ำ



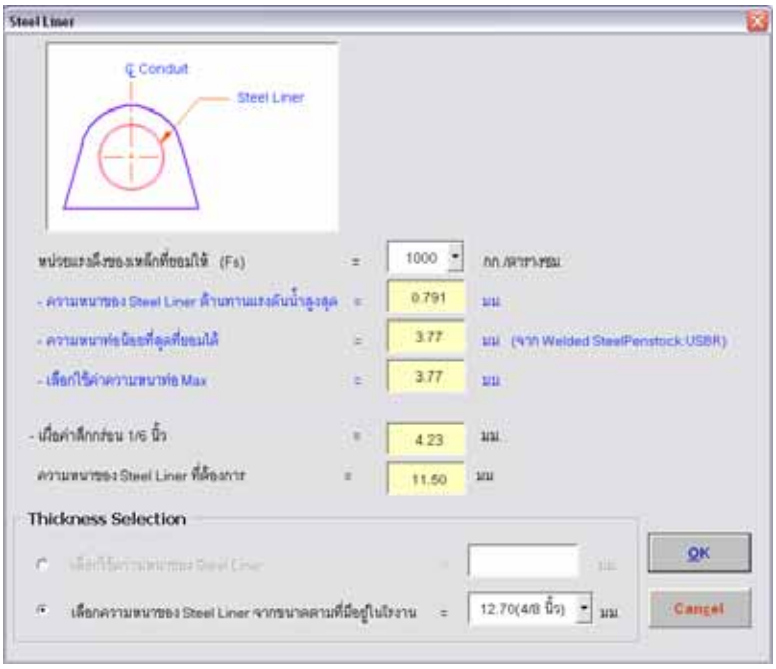
ภาพที่ 43 การตรวจสอบความมั่นคงของอาคาร



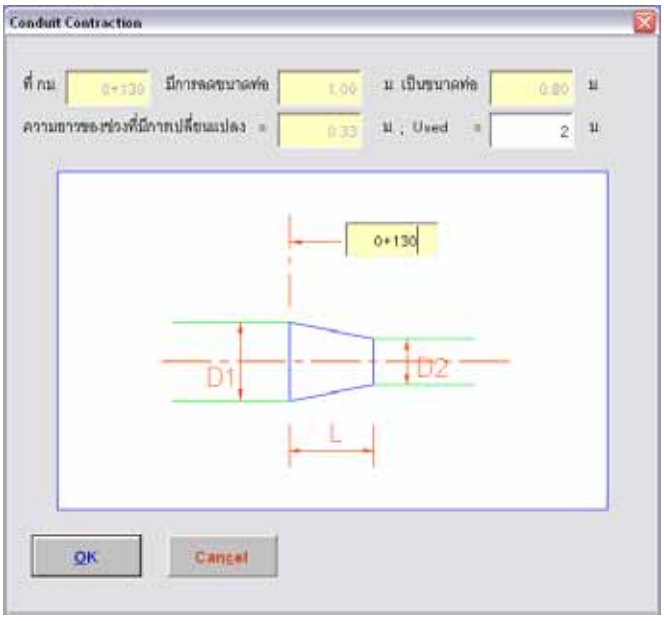
ภาพที่ 44 แสดงรูปรายละเอียดและสัญลักษณ์ของตัวแปรของอาคารรับน้ำ



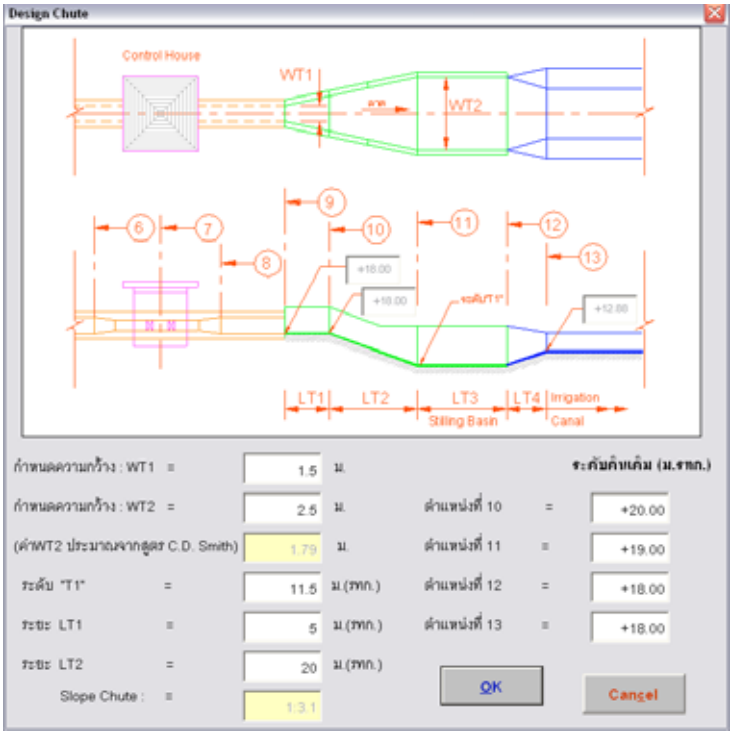
ภาพที่ 45 แสดง Discharge Curve ของอาคารท่อส่งน้ำ



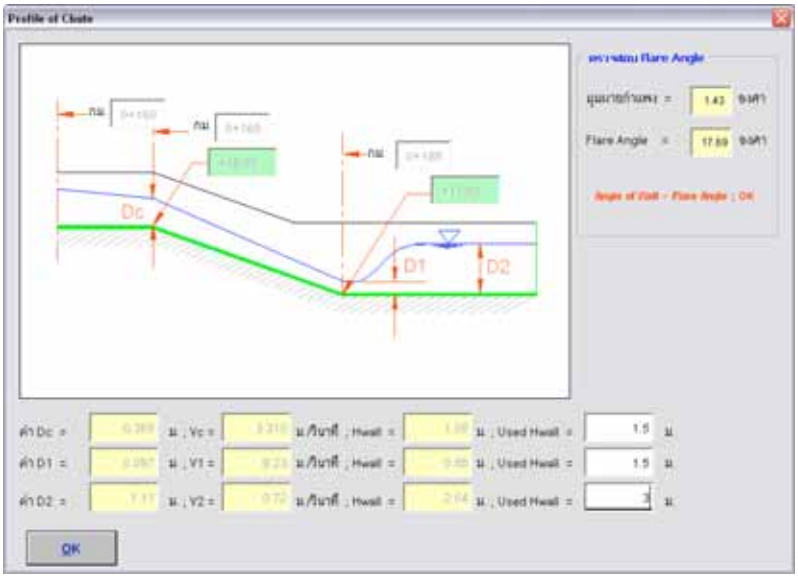
ภาพที่ 46 การออกแบบความหนาของ Steel Liner



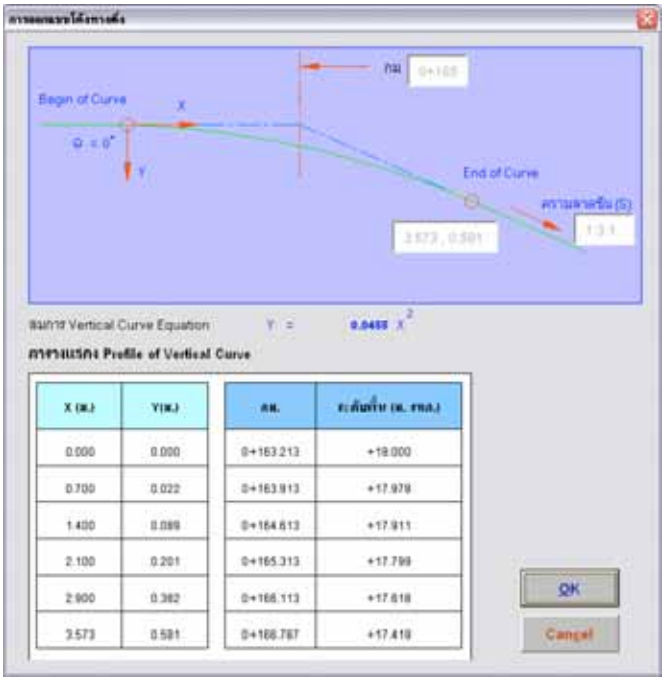
ภาพที่ 47 การออกแบบความยาวของข้อลดขนาดท่อ



ภาพที่ 48 ลักษณะหน้าจอการกรอกรายละเอียดของการออกแบบรางเท(Chute)

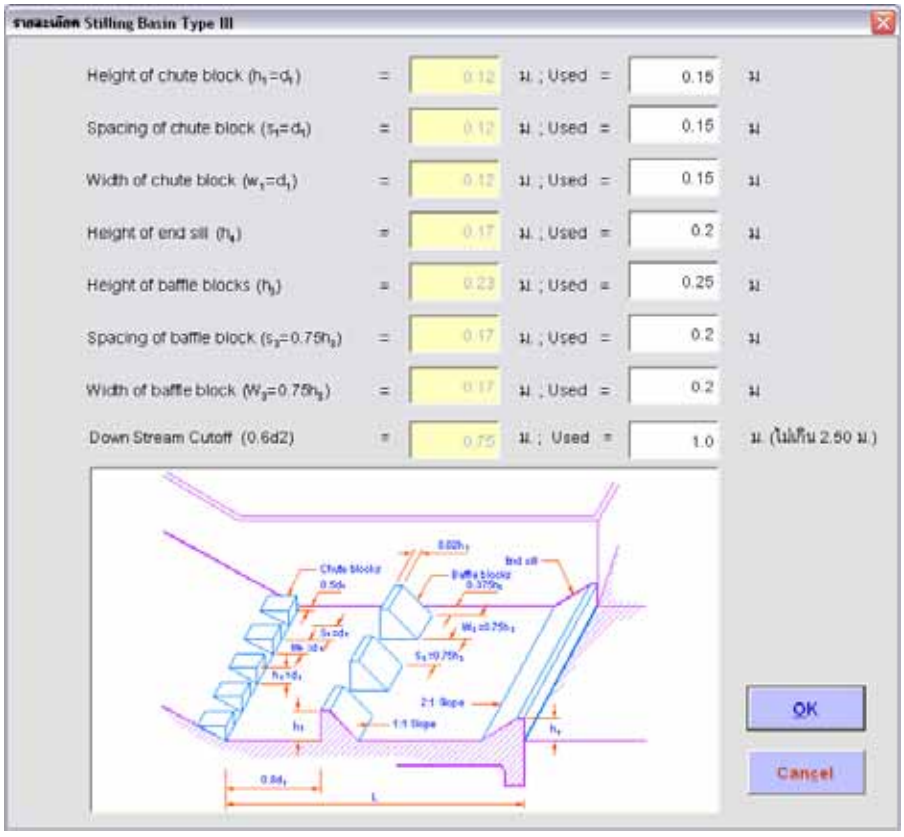


ภาพที่ 49 การออกแบบรางเท (Chute)

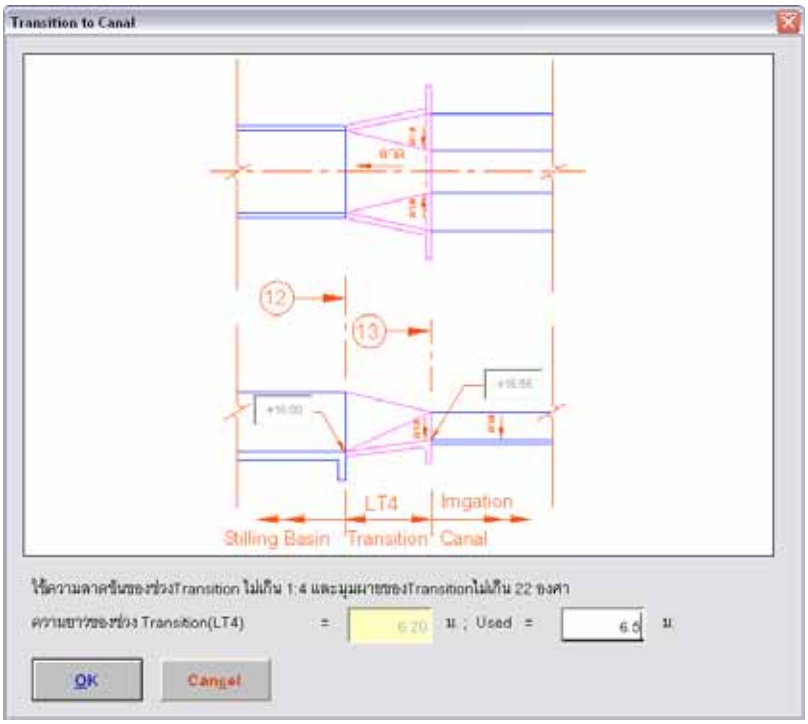


ภาพที่ 50 การออกแบบโค้งทางดิ่งของพื้นรางเท (Chute)

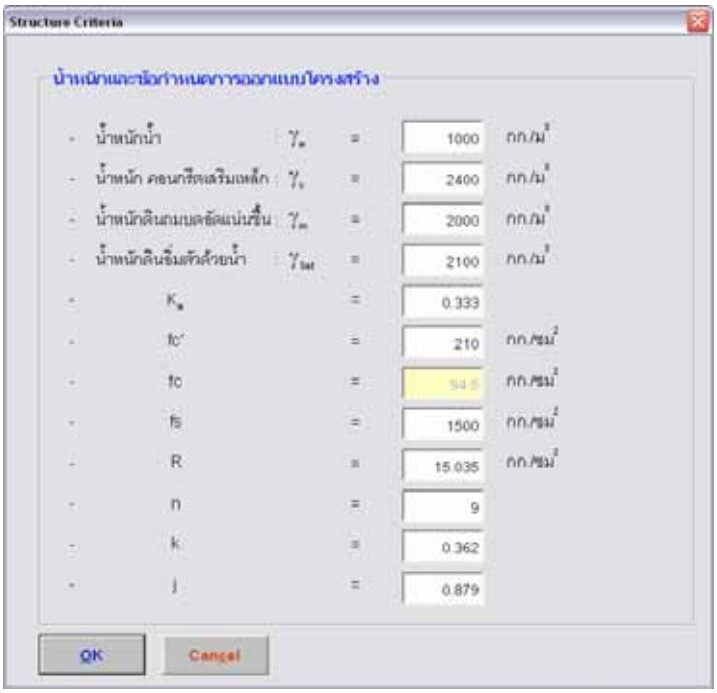
ภาพที่ 51 การกำหนดขนาดของแอ่งน้ำนิ่ง



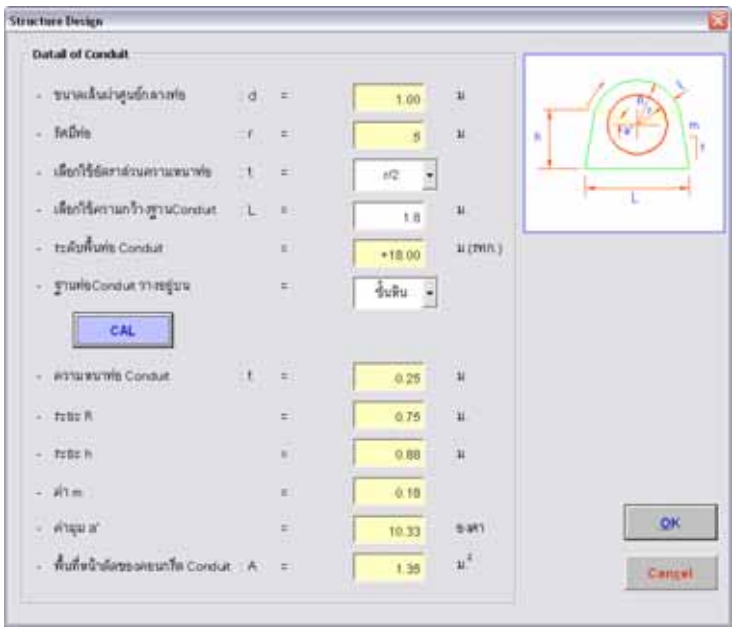
ภาพที่ 52 การออกแบบรายละเอียดขนาดและมิติต่างๆของแอ่งน้ำนิ่ง Type III



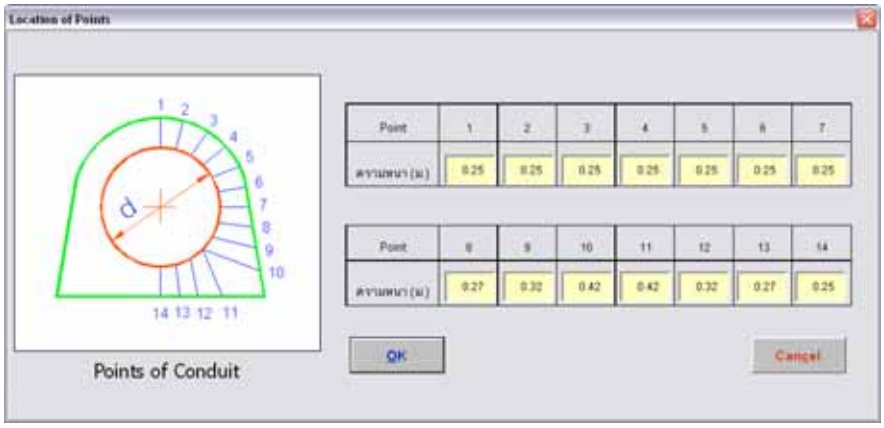
ภาพที่ 53 การออกแบบช่วงต่อเชื่อม (Transition)



ภาพที่ 54 ลักษณะหน้าจอการกรอกรายละเอียดข้อมูลการคำนวณทางด้านโครงสร้าง

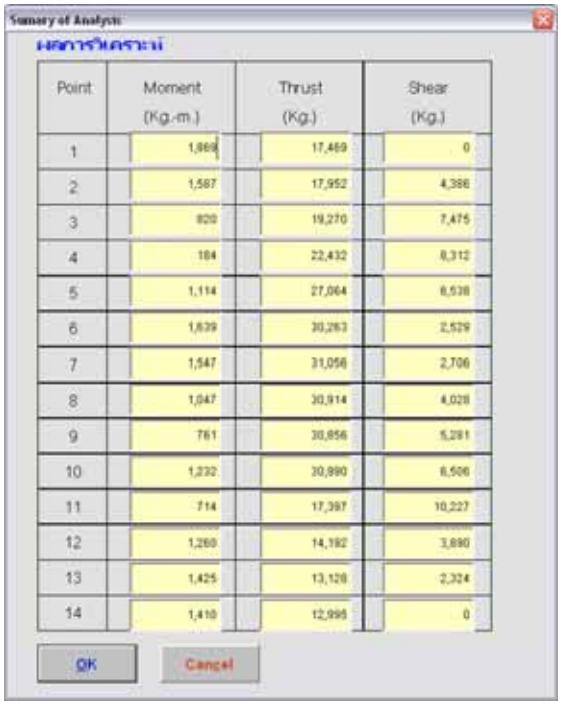


ภาพที่ 55 การออกแบบรายละเอียดของขนาดท่อส่งน้ำ (Conduit)

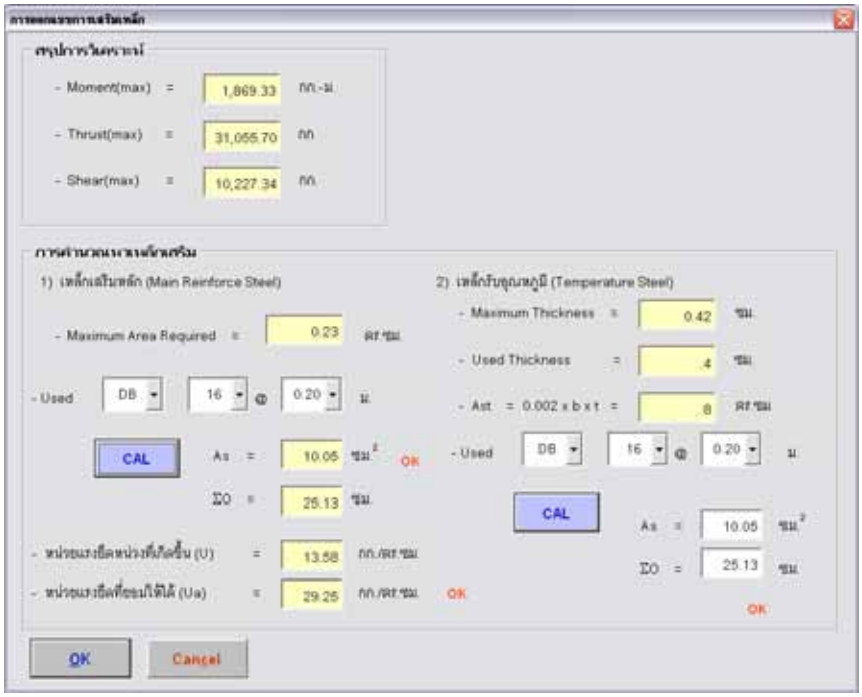


ภาพที่ 56 การแบ่งตำแหน่งส่วนของท่อส่งน้ำที่ใช้วิเคราะห์ทางด้านโครงสร้าง

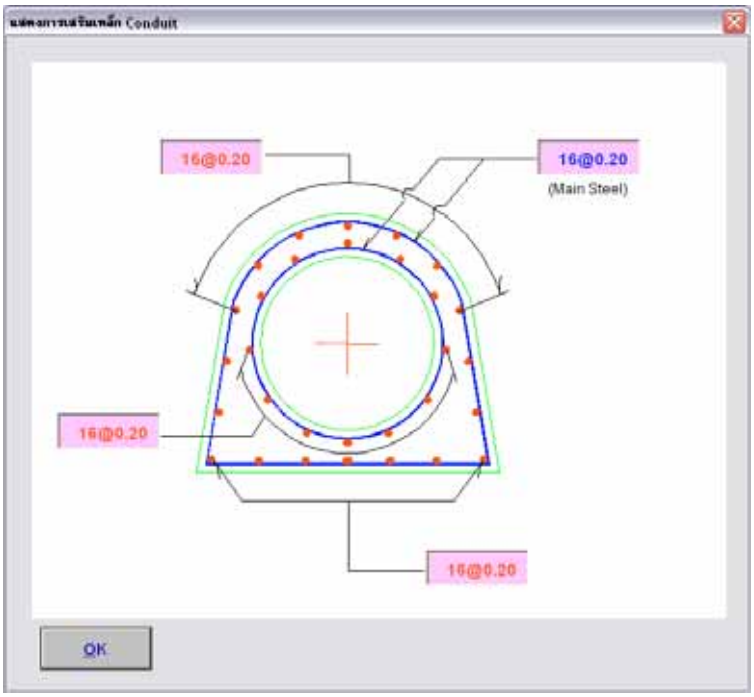
ภาพที่ 57 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างกรณีสร้างเสร็จใหม่และกรณีเก็บกักที่ระดับน้ำสูงสุด



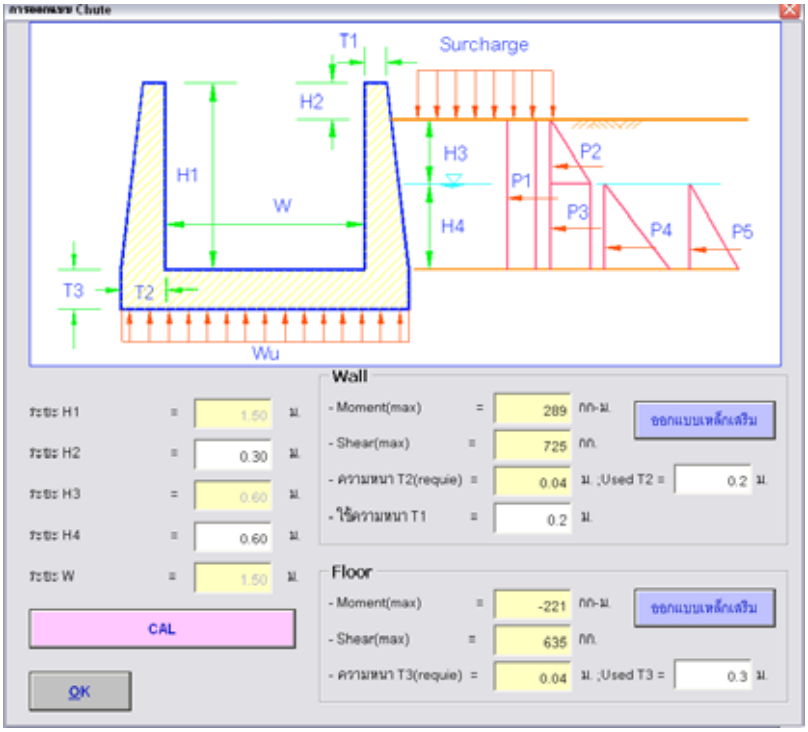
ภาพที่ 58 สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่จะนำไปใช้ในการออกแบบการเสริมเหล็ก



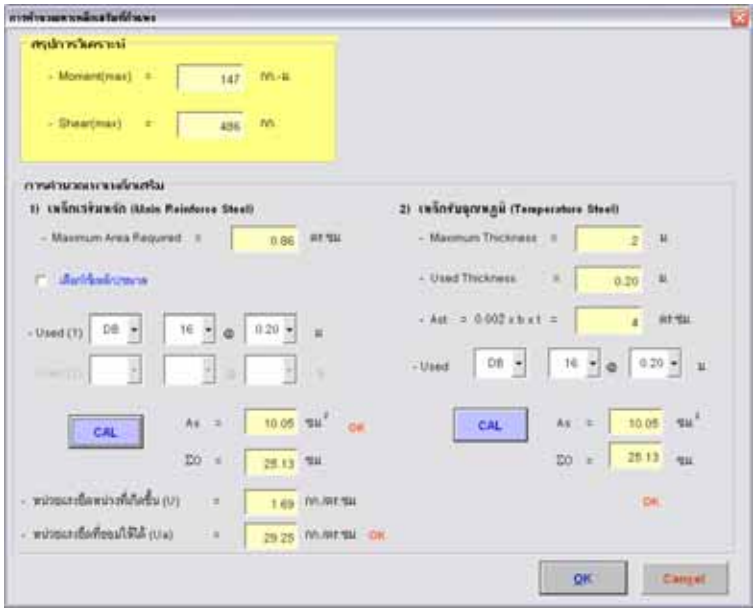
ภาพที่ 59 การออกแบบการเสริมเหล็กของท่อส่งน้ำ(Conduit)



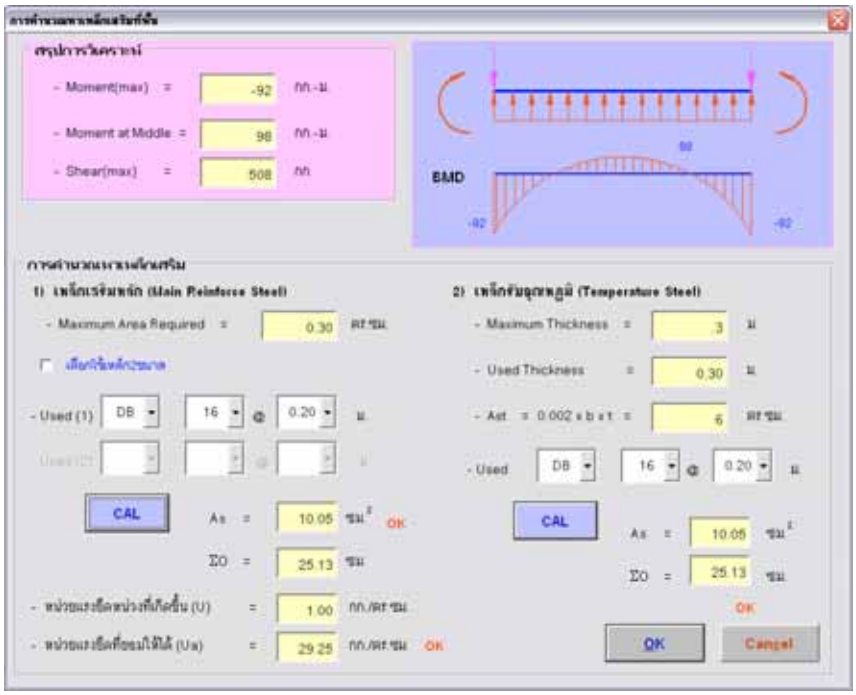
ภาพที่ 60 ลักษณะหน้าจอแสดงรูปการเสริมเหล็กท่อส่งน้ำ



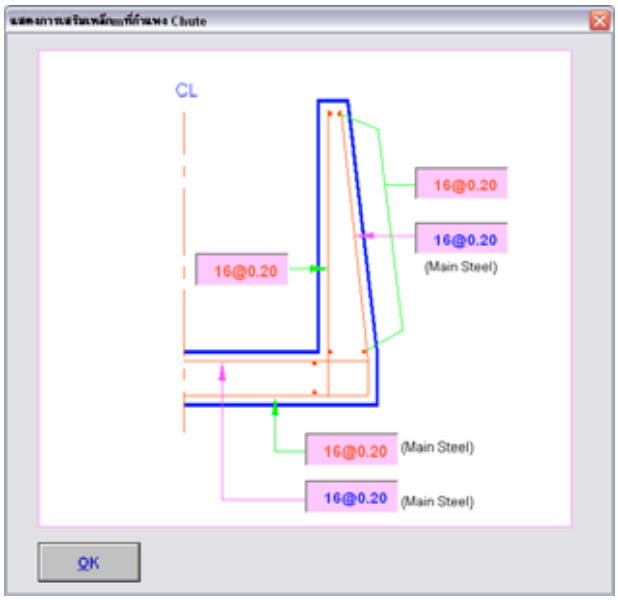
ภาพที่ 61 การออกแบบโครงสร้างของรางเท(Chute)



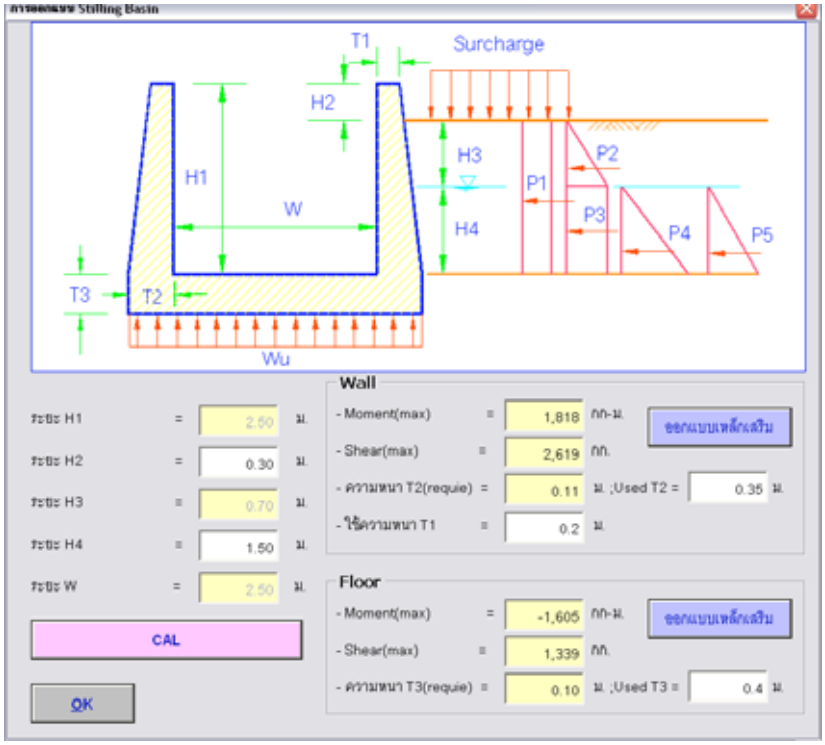
ภาพที่ 62 การออกแบบการเสริมเหล็กของกำแพงรางเท



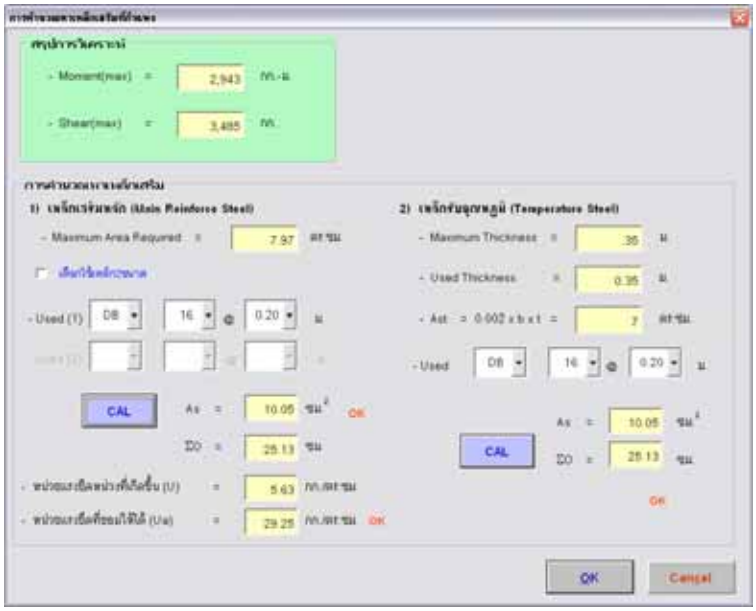
ภาพที่ 63 การออกแบบการเสริมเหล็กของพื้นรางเท



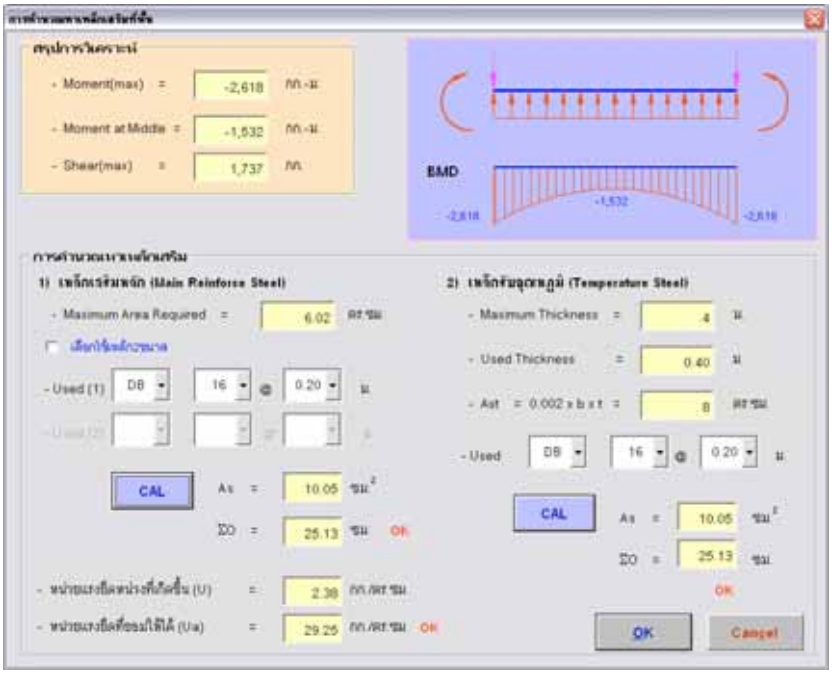
ภาพที่ 64 ลักษณะหน้าจอแสดงรูปการเสริมเหล็กของรางเท



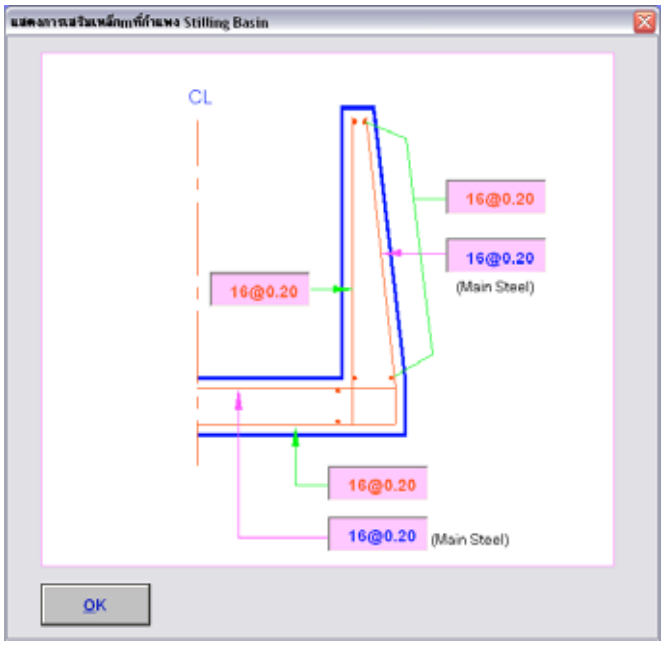
ภาพที่ 65 การออกแบบโครงสร้างของแอ่งน้ำนิ่ง



ภาพที่ 66 การออกแบบการเสริมเหล็กของกำแพงแอ่งน้ำนิ่ง

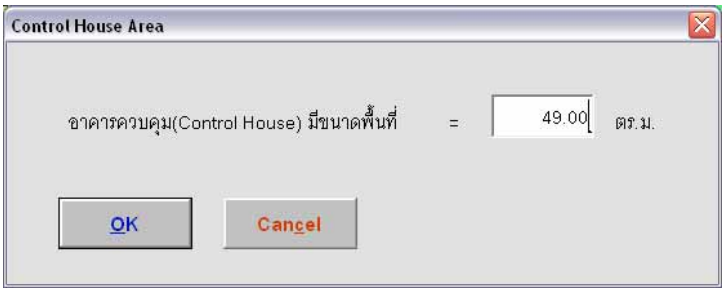


ภาพที่ 67 การออกแบบการเสริมเหล็กของพื้นแอ่งน้ำนิ่ง

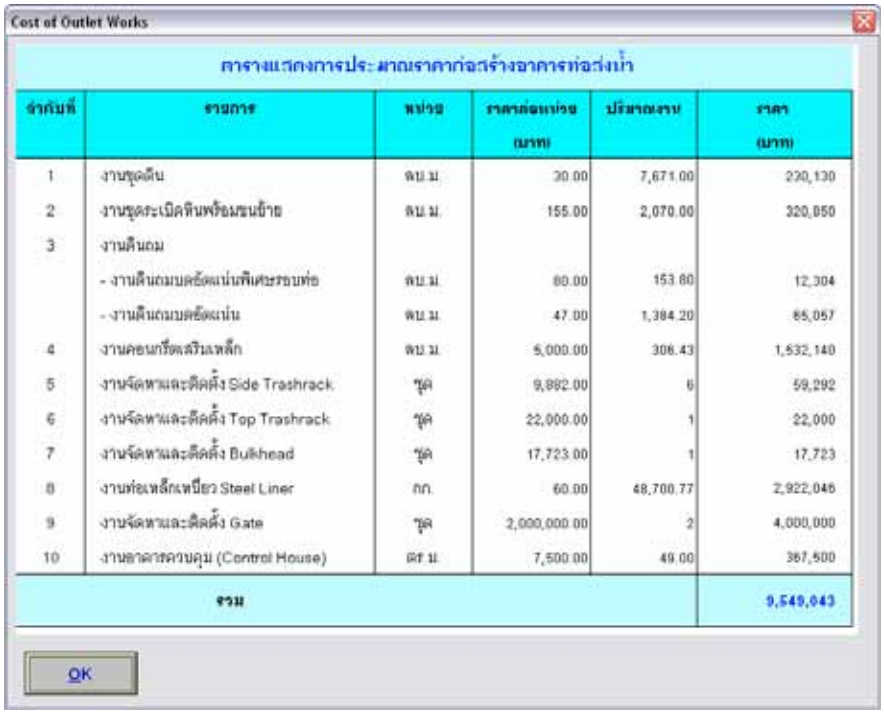


ภาพที่ 68 ลักษณะหน้าจอแสดงรูปการเสริมเหล็กของแอ่งน้ำนิ่ง

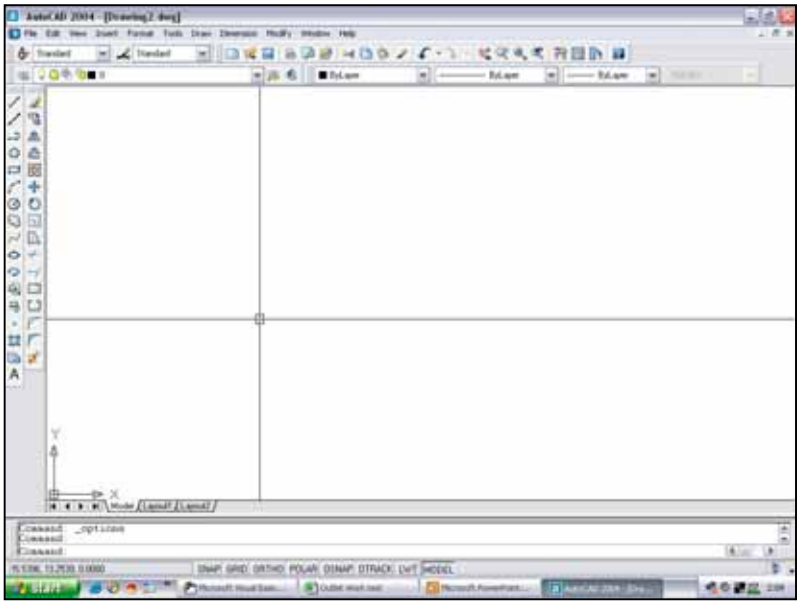
ภาพที่ 69 แสดงหน้าจอให้กรอกรายละเอียดของข้อมูลอัตราราคางาน(Unit Cost)



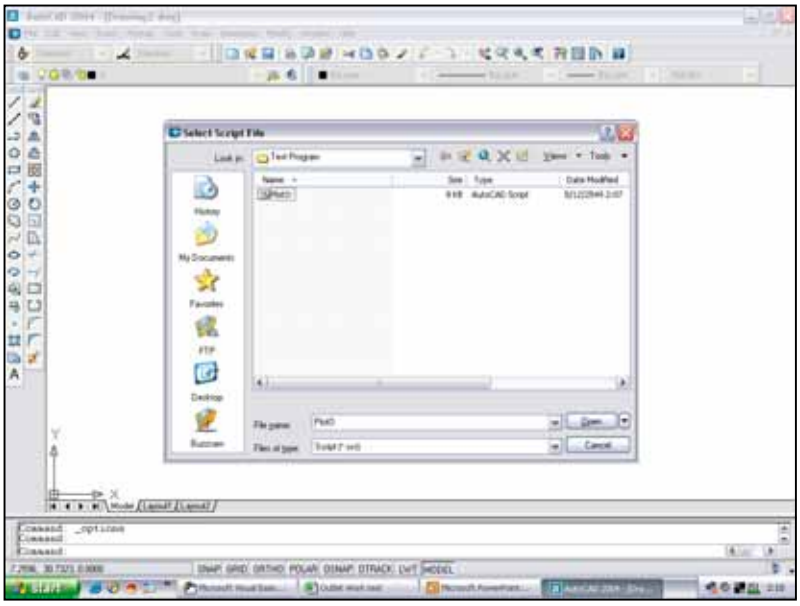
ภาพที่ 70 ลักษณะหน้าจอการกรอกรายละเอียดข้อมูลขนาดพื้นที่ของอาคารควบคุม



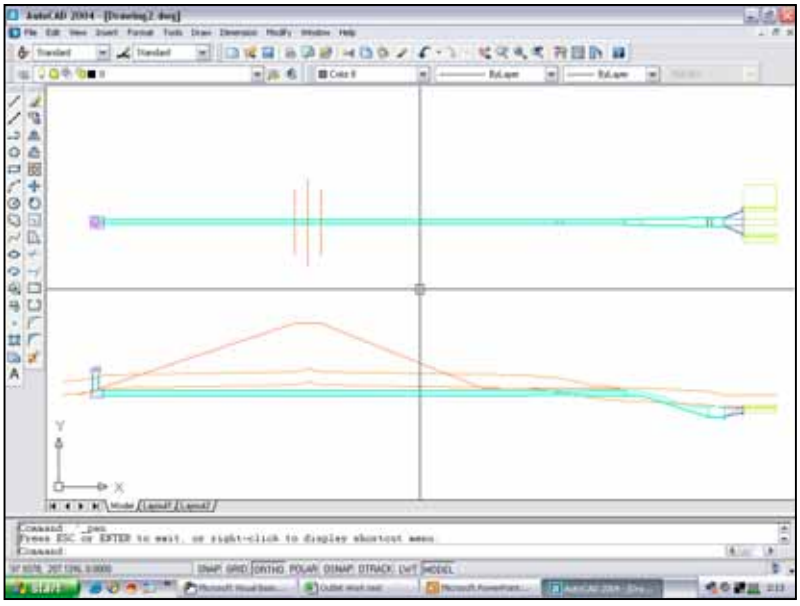
ภาพที่ 71 ภาพหน้าจอแสดงราคาค่าก่อสร้างอาคารท่อส่งน้ำ



ภาพที่ 72 ภาพหน้าจอการเปิดโปรแกรมAutoCAD



ภาพที่ 73 ภาพหน้าจอแสดงการ Load Script File ชื่อ PlotO.scr



ภาพที่ 74 ภาพหน้าจอแสดงผลการวาดรูปอาคารท่อส่งน้ำที่ได้จากการ Run โปรแกรม

ผลและวิจารณ์

ผลจากการวิจัย เรื่องการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบและเขียนแบบอาคารท่อส่งน้ำแบบปากแตร โดยการนำข้อมูลของโครงการที่มีอยู่ มาทำการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้น และเปรียบเทียบกับผลการคำนวณเดิม ซึ่งใช้โปรแกรม Excel คำนวณแบบธรรมดาและผลของการคำนวณออกแบบ และประมาณราคาค่าก่อสร้าง ได้แสดงเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 3

จากการเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้จากการคำนวณออกแบบปรากฏว่า ได้ผลลัพธ์ที่เท่ากันและมีค่าบางค่าที่ใกล้เคียงกันเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งค่าที่แตกต่างกันไปบ้างเนื่องจาก

1. การคำนวณโดยใช้โปรแกรมบางครั้ง จะมีการปัดเศษทศนิยม เพื่อให้ค่าผลลัพธ์ที่ออกมาเป็นเลขลงตัว

2. ในการคำนวณหาความลึกของน้ำในรางเท โดยวิธี Direct Step Method และได้ค่า d_1 และ v_1 มานั้น มีค่าแตกต่างกันเนื่องจากการแบ่งจำนวนหน้าตัดของรางเทเพื่อทำการ Trial and Error ค่าความลึกน้ำนั้น มีความละเอียดในการแบ่งซอยย่อยหน้าตัดไม่เท่ากัน ซึ่งในการใช้โปรแกรมมีความละเอียดและถูกต้องมากกว่า

3. ราคาค่าก่อสร้างอาคารท่อส่งน้ำที่มีค่าแตกต่างกัน เนื่องมาจากปริมาณงานดิน ปริมาณงานหิน มีปริมาณแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากจำนวนการแบ่งหน้าตัดของอาคารในการคำนวณปริมาณงานดิน ปริมาณงานหินไม่ตรงกัน แต่ถือว่ามีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งหากใช้จำนวนหน้าตัดถี่มากๆ ค่าปริมาณงานดิน และหินที่ได้จะมีค่าละเอียดมากยิ่งขึ้น แต่จากประสบการณ์ในการทำงานปริมาณงานดิน และปริมาณงานหิน ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับดินธรรมชาติและระดับชั้นหิน ในการคำนวณปริมาณงานจริงๆ ก็จะมีการยอมให้มีค่าผิดพลาดได้มากอยู่แล้ว

และจากภาพของอาคารท่อส่งน้ำ ที่ได้จากเขียนของโปรแกรม กับภาพของอาคารที่ได้ออกแบบไว้จริงเป็นภาพที่มีความถูกต้องและมีความสอดคล้องกันเป็นที่น่าพอใจ

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณออกแบบอาคารท่อส่งน้ำแบบปากแตร ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบเครื่องมือคำนวณชนิดอื่น

ผลการคำนวณ	หน่วย	โปรแกรมคอมพิวเตอร์	เครื่องมือคำนวณชนิดอื่น
การออกแบบทางด้านชลศาสตร์ (Hydraulic Design)			
1. ค่า Available Head ; H/3	ม.	3.17	3.17
2. ค่า Head Loss ของการไหลของน้ำในท่อ			
1 Trashrack Loss (ht)	ม.	0.02	0.02
2 Entrance Losss (he)	ม.	0.01	0.01
3 Bend Loss (hb)	ม.	0.05	0.05
4 Friction loss (hf)	ม.	1.22	1.22
5 Contraction loss (hc)	ม.	0.05	0.05
6 Expansion loss (hex)	ม.	0.04	0.04
7 Gate loss (hg)	ม.	0.30	0.30
8 Exit loss (hv)	ม.	0.81	0.81
9 Total Head Losses	ม.	2.44	2.44
3. ขนาดท่อส่งน้ำ1	ม.	1.00	1.00
4. ขนาดท่อส่งน้ำ2	ม.	0.80	0.80
5. ความหนาของท่อเหล็ก(Steel Liner)	มม.	12.70	12.70
6. ความปลอดภัยต่อการลอยตัวของIntake		2.04	2.04
7. ค่ารายละเอียดการไหลในรางเท(Chute)			
1 ความลึกของน้ำก่อนเกิด Jump ; d1	ม.	0.10	0.10
2 ความเร็วของน้ำก่อนเกิด Jump ; V1	ม./วินาที	8.23	8.23
3 ค่า Fr1		8.44	8.44
4 ความลึกของน้ำหลังเกิด Jump ; d2	ม.	1.11	1.11
8. ค่ารายละเอียดของแอ่งน้ำนิ่ง(Stilling Basin)			
1 ชนิดของแอ่งน้ำนิ่ง	ม.	Type III	Type III
2 ความกว้างของแอ่งน้ำนิ่ง	ม.	2.50	2.50
3 ความสูงของแอ่งน้ำนิ่ง	ม.	3.00	3.00
4 ความยาวของแอ่งน้ำนิ่ง	ม.	5.00	5.00

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ผลการคำนวณ	หน่วย	โปรแกรมคอมพิวเตอร์	เครื่องมือคำนวณชนิดอื่น
9. ความยาวช่วงต่อเชื่อม(Transition)	ม.	5.50	5.50
การออกแบบทางด้านโครงสร้าง (Structure Design)			
10. ท่อส่งน้ำConduit			
1 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นสูงสุด	กก.ม.	1869.33	1869.33
2 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นสูงสุด	กก.	31055.70	31055.70
11. รางเท			
1 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นสูงสุดที่กำแพง	กก.ม.	146.59	146.59
2 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นสูงสุดที่กำแพง	กก.	485.69	485.69
3 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นสูงสุดที่พื้น	กก.ม.	98.21	98.21
4 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นสูงสุดที่พื้น	กก.	508.24	508.24
12. แอ่งน้ำนิ่ง(Stilling Basin)			
1 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นสูงสุดที่กำแพง	กก.ม.	2942.87	2942.87
2 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นสูงสุดที่กำแพง	กก.	3485.14	3485.14
3 โมเมนต์ที่เกิดขึ้นสูงสุดที่พื้น	กก.ม.	2687.33	2687.33
4 แรงเฉือนที่เกิดขึ้นสูงสุดที่พื้น	กก.	1607.14	1607.14
การประมาณราคาค่าก่อสร้าง (Cost Estimation)			
1. งานขุดดิน	ลบ.ม.	7683	7636
2. งานขุดระเบิดหินพร้อมขนย้าย	ลบ.ม.	2062	1996
3. งานดินถม			
3.1 งานดินถมบดอัดแน่นพิเศษรอบท่อ	ลบ.ม.	154	155
3.2 งานดินถมบดอัดแน่น	ลบ.ม.	1388	1392
4. งานคอนกรีตเสริมเหล็ก	ลบ.ม.	302	302
5. งานจัดหาและติดตั้ง Side Trashrack	ชุด	6	6
6. งานจัดหาและติดตั้ง Top Trashrack	ชุด	1	1

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ผลการคำนวณ	หน่วย	โปรแกรมคอมพิวเตอร์	เครื่องมือคำนวณชนิดอื่น
7. งานจัดหาและติดตั้ง Bulkhead	ชุด	1	1
8. งานท่อเหล็กเหนียว Steel Liner	กก.	48701	48701
9. งานจัดหาและติดตั้ง Gate	ชุด	2	2
10. งานอาคารควบคุม (Control House)	ตร.ม.	49	49
11. ราคาค่าก่อสร้างอาคาร	บาท	9,524,812	9,513,423

อย่างไรก็ตาม ข้อที่ควรระวังในการใช้โปรแกรม คือ ข้อมูลที่ป้อนให้โปรแกรมจะต้องครบถ้วน และถูกต้อง อีกทั้งผู้ใช้โปรแกรมนี้ในการออกแบบ ควรจะมีพื้นฐานในการออกแบบอาคารท่อส่งน้ำ (Outlet Works) มาก่อน เพื่อให้สามารถใช้โปรแกรมนี้ในการคำนวณออกแบบและเขียนแบบได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลงานวิจัย เรื่องการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการออกแบบและเขียนแบบอาคารท่อส่งน้ำแบบปากแตร (Development of Computer Program for Design and Draft of Morning Glory Outlet Works) ซึ่งโปรแกรมสามารถคำนวณออกแบบทางด้านชลศาสตร์ การคำนวณทางด้านโครงสร้าง การคำนวณหาราคาค่าก่อสร้างและการเขียนแบบเบื้องต้น สามารถใช้งานได้เป็นที่หน้าพอใจตามจุดประสงค์ที่กำหนด โดยสามารถคำนวณออกแบบและเขียนแบบอาคารท่อส่งน้ำได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบผลการคำนวณของโปรแกรมกับผลการคำนวณออกแบบด้วยวิธีเดิม (Ms. Excel) ให้ผลการคำนวณที่ตรงกันเป็นที่หน้าพอใจ และสามารถแสดงผลสรุปการคำนวณออกแบบและตารางสรุปราคาค่าก่อสร้าง ออกทางเครื่องพิมพ์ และรูปอาคารที่ได้จากโปรแกรมซึ่งเป็นไฟล์ของโปรแกรม AutoCAD สามารถนำไปใช้เป็นแบบเบื้องต้น เพื่อนำไปสู่แบบรายละเอียดในลำดับต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ ผู้ใช้โปรแกรมควรมีความรู้พื้นฐานของการออกอาคารท่อส่งน้ำและโปรแกรมในส่วนของการคำนวณออกแบบทางด้านชลศาสตร์ สามารถนำไปใช้ได้ในงานออกแบบรายละเอียด การคำนวณออกแบบทางด้านโครงสร้าง สามารถนำไปใช้ได้ในงานออกแบบรายละเอียดแต่ต้องเพิ่มเติมการคำนวณในส่วนต่างๆ อีก ให้ครบถ้วน เช่น การออกแบบอาคารควบคุม (Control House) เป็นต้น ส่วนการคำนวณราคาค่าก่อสร้างเหมาะจะนำไปใช้กับงานศึกษาความเหมาะสม (Feisibility Study) หากจะนำไปใช้ในงานขั้นการออกแบบรายละเอียดต้องเพิ่มรายการของปริมาณงานในส่วนอื่นๆ เพิ่มเติมอีก เช่น งานคอนกรีตเสริมเหล็ก จะเปลี่ยนเป็นงานคอนกรีตโครงสร้างและงานเหล็กเสริมคอนกรีต เป็นต้น

โปรแกรมการออกแบบอาคารท่อส่งน้ำนี้ยังมีข้อจำกัดในการทำงานอยู่บ้าง โดยโปรแกรมการออกแบบนี้สามารถออกแบบได้เฉพาะในส่วนของท้ายน้ำ (Terminal Structure) ที่เป็นแบบแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin) ไม่สามารถเลือกชนิดของอาคารท้ายน้ำแบบอื่นได้ และในส่วนของการออกแบบทางด้านโครงสร้างของทางน้ำด้านท้าย (รางน้ำและแอ่งน้ำนิ่ง) ใช้เป็นรูปแบบตัวยู (U Shape) ซึ่งเหมาะกับโครงสร้างอาคารที่ไม่ใหญ่มากนัก ซึ่งควรมีการพัฒนาให้สามารถเลือกใช้ทางน้ำขนาดใหญ่ที่เป็นรูปแบบของ Cantiliver Retaining Wall หรือรูปแบบ Counter Fort

โปรแกรมนี้ยังไม่มีการป้องกันการป้อนข้อมูลผิด เช่น การป้องกันการป้อนค่า (Input) ที่ติดลบ การป้อนข้อมูลไม่ครบ หรือการป้อนข้อมูลตัวหนังสือ (Text) แทนที่จะเป็นตัวเลข

ดังนั้นผู้เขียนหวังว่าโปรแกรมนี้จะได้รับการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต เพื่อที่จะได้เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานในสายงานทางด้านพัฒนาแหล่งน้ำต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กาจ จารุหงส์. 2539. **คู่มือการใช้งาน Microsoft Excel/Visual Basic สำหรับโปรแกรมเมอร์**. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

คณะทำงานเพื่อพัฒนางานวิศวกรรมการชลประทาน. 2535. **มาตรฐานและคู่มือการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก**. กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

ณัฐศิระ เยาวสุต, ว่าที่ร้อยโท. 2548. **มือใหม่เริ่มเรียนหัดเขียนMacroและVBAบนMicrosoft Excel**. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

ธนพล ฉันจรัสวิชัย. 2544. **มือใหม่เริ่มหัดเขียนโปรแกรม Visual Basic**. วิตตี้ กรุ๊ป, กรุงเทพฯ.

นรินทร์ ศรีดอกไม้. 2535. **การออกแบบมอร์นิ่งกลอรี่สปิลเวย์ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์**. วิทยานิพนธ์ปริญาโท, สถาบันเทคโนโลยี่พรจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นันทวรรณ ยิ้มแย้ม. 2544. **การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยตัดสินใจเบื้องต้นในการออกแบบอาคารระบายน้ำล้น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พฤกษ์ เรืองไวทย. 2544. **โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับเขียนแบบและออกแบบฝายทดน้ำแบบโอกี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุทธภูมิ วงศ์วัฒนฤกษ์. 2546. **Advance Excel Volume2**. เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์, กรุงเทพฯ.

วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2534. **เอกสารประกอบการสอนวิชา การออกแบบอาคารบังคับน้ำ**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิศัลย์ พัวรุ่งโรจน์. 2549. **เรียนลัดการเขียน VBA บน Excel**. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

สันติ ทองพำนัก. 2534. **เอกสารประกอบการสอนวิชา วิศวกรรมชลศาสตร์**. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

โอบเอื้อ วราทร. 2535. **เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรม อาคารท่อส่งน้ำ Outlet Works**. ศูนย์วิศวกรรมชลประทาน กรมชลประทาน, กรุงเทพฯ.

U.S.B.R. 1968. **Beggs Deformeter Stress Analysis of Single Barrel Conduits**. U.S. Government Printing Office, Washington D.C

_____. 1986. **Welded Steel Penstocks**. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

_____. 1987. **Design of Small Dams**. U.S. Government Printing Office, Washington D.C.