การออกแบบและคำนวณประตูระบายน้ำปากคลองบางคู้
กม.๐+๖๐๐ ของคลองบางคู้
ตำบลบางลี่ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี

นายสุภรัตน์ โกสุมาภินันท์
กลุ่มออกแบบ
ส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักชลประทานที่ ๑๐
โทร.๐-๓๖๔๘-๖๘๓๖

คำนำ

ตามที่มีหนังสือจากราษฎรร้องขอให้ทำการก่อสร้างฝายกั้นน้ำในคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก ๓ (แม่น้ำบางขาม) ตรง กม.๔๙+๘๐๐ หมู่ที่ ๗ ตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี สำหรับเก็บกักน้ำไว้ใช้ในการเกษตรในช่วงงฤดูแล้ง การอุปโภคบริโภค และป้องกันน้ำท่วมพื้นที่เพาะปลูกบริเวณฝั่งซ้ายของคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก ๓ ท้องที่ ตำบลเขาสมอคอน และตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ประมาณ ๘,๐๐๐ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาช่องแค) พื้นที่ฝั่งขวาของคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก ๓ ท้องที่ตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ประมาณ ๓,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามหาราช) และพื้นที่เพาะปลูกทางฝั่งขวาของคลองบางคู้ อีกประมาณ ๔,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการฯมหาราช) เป็นการบรรเทาความเดือดร้อนของราษฎรอันเนื่องมาจากปัญหาการขาดแคลนน้ำในการเพาะปลูกพืชในช่วงฤดูแล้งของราษฎรในท้องที่ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี

ดังนั้นสำนักชลประทานที่ ๑๐ ได้มอบหมายให้ส่วนวิศวกรรมบริหาร ศึกษารายละเอียดของโครงการและแนวทางการพิจารณาชนิดของอาคารที่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ความเหมาะสมที่จะทำการก่อสร้างอาคารควบคุมบังคับน้ำ ในลักษณะเป็น “ประตูระบายน้ำ” ในคลองระบาย ๑ ซ้าย ลพบุรี หรือคลองบางคู้ ในท้องที่ หมู่ที่ ๔ ตำบลบางลี่ อำเภอท่าวุ้ง แทนอาคารฝายกั้นน้ำ หลังจากได้มีการศึกษาแล้วได้มีการสำรวจภูมิประเทศ สำรวจหาข้อมูลทางธรณีวิทยาและปถพีวิทยา ซึ่งกลุ่มออกแบบได้รับข้อมูลทั้งหมดในทุกๆด้าน และนำมาพิจารณาดำเนินการออกแบบประตูระบายน้ำ เพราะจะทำให้เกิดประโยชน์สูงกว่าอาคารฝายกั้นน้ำตามที่ราษฎรร้องขอ โดยใช้ชื่อโครงการดังกล่าวว่า “โครงการก่อสร้างประตูระบายน้ำปากคลองบางคู้”

การออกแบบอาคารดังกล่าวมีความยุ่งยาก ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการหลายส่วน ต้องใช้ความรู้ความสามารถและประสบการณ์อย่างยิ่ง ข้าพเจ้าจึงเลือกผลงานชิ้นนี้เข้ารับการประเมินผลงานเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งวิศวกรชลประทาน ระดับชำนาญการพิเศษ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการสำนักชลประทานที่ ๑๐ นายนพพร ชัยพิชิต ที่ช่วยให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ หากยังคงมีข้อบกพร่องประการใดผู้นำเสนอผลงานยินดีน้อมรับเพื่อปรับปรุงแก้ไขในการทำงานต่อไป

นายสุภรัตน์ โกสุมาภินันท์
วิศวกรชลประทานชำนาญการ

สารบัญ

หน้า

ความรู้ทางวิชาการหรือแนวความคิดที่ใช้ในการดำเนินการ	๑
สรุปสาระและขั้นตอนการดำเนินการ	๑๘
ผลสำเร็จของงาน	๑๙
การนำไปใช้ประโยชน์	๑๙
ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน	๒๐
ข้อเสนอแนะ	๒๒

การออกแบบและคำนวณประตูระบายน้ำปากคลองบางคู้ กม.๐+๖๐๐ ของคลองบางคู้ ตำบลบางลี่ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี

ตามที่มีหนังสือจากราษฎรขอทำการก่อสร้างฝายกั้นน้ำในคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก ๓ (แม่น้ำ-บางขาม) ตรง กม.๔๙+๘๐๐ หมู่ที่ ๗ ตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี พิกัด ๔๗ PPS ๖๒๖-๔๕๐ ระวาง ๕๑๓๘ IV มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐ ของกรมแผนที่ทหาร สำหรับเก็บกักน้ำไว้ใช้ในการเกษตรในช่วงฤดูแล้ง การอุปโภคบริโภค และป้องกันน้ำท่วมพื้นที่เพาะปลูกบริเวณฝั่งซ้ายของคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก ๓ ท้องที่ตำบลเขาสมอคอน และตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ประมาณ ๘,๐๐๐ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาช่องแค) พื้นที่ฝั่งขวาของคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก ๓ ท้องที่ ตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ประมาณ ๓,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามหาราช) และพื้นที่เพาะปลูกทางฝั่งขวาของคลองบางคู้ อีกประมาณ ๔,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการฯมหาราช) เป็นการบรรเทาความเดือดร้อนของราษฎรอันเนื่องมาจากปัญหาการขาดแคลนน้ำในการเพาะปลูกพืชในช่วงฤดูแล้งของราษฎรในท้องที่ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี

สำนักชลประทานที่ ๑๐ และกลุ่มออกแบบ ได้ตรวจสอบรายละเอียดและสภาพภูมิประเทศร่วมกับผู้เกี่ยวข้อง รวมทั้งศึกษาข้อมูลทางด้านวิศวกรรมจากแผนที่ มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐ ของกรมแผนที่ทหารแล้ว ปรากฏว่ามีความเหมาะสมที่จะทำการก่อสร้างอาคารควบคุมบังคับน้ำ ในลักษณะเป็นประตูระบายน้ำในคลองระบาย ๑ ซ้าย ลพบุรี หรือคลองบางคู้แทน ในท้องที่ หมู่ที่ ๔ ตำบลบางลี่ อำเภอท่าวุ้ง พิกัด ๔๗ PPS ๖๓๘-๔๑๗ ระวาง ๕๑๓๘ IV เพราะจะทำให้เกิดประโยชน์สูงกว่าอาคารฝายกั้นน้ำตามที่ราษฎรร้องขอ กล่าวคือ นอกเหนือจากประโยชน์ที่จะได้รับดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังจะก่อให้เกิดประโยชน์ ดังนี้

๑.๑ จากสภาพเดิมการช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกบริเวณตำบลมุจลินทร์ ตำบลเขาสมอคอน และตำบลโคกสลุด จะต้องอาศัยปตร.วัดมณีชลขัณฑ์ทำการอัดทดน้ำให้มีระดับสูงพอที่ราษฎรจะสามารถนำไปใช้ได้ด้วยวิธีการดังกล่าว จึงทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมพื้นที่เพาะปลูกบริเวณตำบลโพตลาดแก้ว อำเภอท่าวุ้ง และตำบลบางขันหมาก อำเภอเมืองลพบุรี พื้นที่ประมาณ ๒๕,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการฯโคกกะเทียม) แต่ถ้าหากสร้าง ปตร.ปากคลองบางคู้แล้ว ปัญหานี้ก็จะไม่เกิดขึ้น

๑.๒ สามารถช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกฝั่งซ้ายของคลองบางคู้ บริเวณทุ่งหน้าวัดบางลี่ได้ประมาณ ๒,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการฯโคกกะเทียม) โดยการปรับปรุงคูธรรมชาติที่มีอยู่ให้ทำหน้าที่เป็นคลองส่งน้ำได้

๑.๓ ปตร.ปากคลองบางคู้ สามารถอัดทดน้ำให้เข้าคลองระบาย ๗ ซ้าย ที่ระดับ +๖.๐๐ เมตร (รทก.) และน้ำจะเข้าคลองรางจิกไหลลอดไซฟอนคลองซอย ๑๘ ขวา ไปช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกบริเวณทุ่งหนองช้างทะลุ บ้านไผ่วง และดงกะทุ่ม ได้ประมาณ ๒,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการฯโคกกะเทียม) และถ้ายกระดับน้ำได้สูงถึง + ๗.๐๐ เมตร (รทก.) ก็จะสามารถช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกบริเวณบ้านทูลฉลอง ตำบลบางลี่ติดต่อกับบ้านหนองหลวงได้อีกประมาณ ๑,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการฯโคกกะเทียม)

ความรู้ทางวิชาการหรือแนวความคิดที่ใช้ในการดำเนินการ

ในการออกแบบจึงต้องใช้องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมต่างๆ มาประยุกต์และจัดทำแนวคิดเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานของกรมชลประทานดังต่อไปนี้

๑. นำความรู้ในสาขาต่างๆ มาประยุกต์ใช้ออกแบบ ดังนี้

- **ด้านอุทกวิทยา (Hydrology)** มาคิดปริมาณการไหลของน้ำ โดยการหาปริมาณน้ำนองสูงสุด ซึ่งทำได้ ๒ วิธี คือ

๑.โดยวิธีประเมินจากปริมาณน้ำนองสูงสุดของพื้นที่รับน้ำฝนหนึ่งหน่วยพื้นที่ ใช้หลักการพิจารณาดำเนินการ ตามลำดับ ดังนี้

- วัดขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือจุดที่ตั้งหัวงาน จากแผนที่ ๑:๕๐,๐๐๐
- เลือกปริมาณน้ำที่คาดว่าจะไหลมาตามลำน้ำมากที่สุด สำหรับพื้นที่รับน้ำฝนหนึ่งตารางกิโลเมตร ในท้องที่และลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่รับน้ำฝนต่าง ๆ กัน
- ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะไหลมาตามลำน้ำจำนวนมากที่สุดของรอบ ๒๕ ปี ที่จะใช้ประกอบการออกแบบ จะเท่ากับผลคูณของขนาดพื้นที่รับน้ำฝน กับ ปริมาณน้ำที่คาดว่าจะไหลมามากที่สุดของพื้นที่รับน้ำฝนขนาดหนึ่งตารางกิโลเมตรตามที่หาได้

๒.โดยวิธีวิเคราะห์แบบ Regression

- เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน จะใช้ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดฉับพลันรายปีของแต่ละสถานี ที่คัดเลือกได้ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง มาหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในภาคผนวก จากนั้นนำมาวิเคราะห์แบบถดถอยกับขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนของแต่ละสถานี เพื่อนำความสัมพันธ์ที่ได้ไปใช้ในการหาค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดเฉลี่ยที่จุดพิจารณาต่างๆ ได้ความสัมพันธ์ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_F = aA^b$$

ในเมื่อ Q_F = ปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
A = พื้นที่รับน้ำฝน (ตารางกิโลเมตร)
a และb = สัมประสิทธิ์ถดถอย

- **วิศวกรรมชลศาสตร์ (Hydraulics Engineering)**

๑. ใช้คำนวณหาขนาดประตูระบายน้ำ

โดยใช้สูตร $Q = C*L*y_{๒} *(๒gh)^{๐.๕}$

ในเมื่อ Q = ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลูกบาศก์เมตร/วินาที)
L = ความกว้างของประตูระบายน้ำ (เมตร)
$y_{๒}$ = ระดับน้ำด้านท้ายประตูระบายน้ำ (เมตร)
h = ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือกับด้านท้ายของประตูระบายน้ำ (เมตร)
C = (ค่าสัมประสิทธิ์) ๐.๖๕-๐.๗๕
g = (ค่าสัมประสิทธิ์) ๙.๘๑

๒. ทางทิ้งน้ำลงลำน้ำเดิม หรือคลองระบายน้ำ (Drainage Channel) ซึ่งจะอยู่ต่อจากช่วงอาคารสลายพลังงานกับลำน้ำเดิม จากสภาพโดยทั่วไปองค์ประกอบช่วงนี้จะเป็นคลองเปิดลักษณะรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ตัดผ่านไปตามสภาพภูมิประเทศที่มีโอกาสที่เป็นได้ทั้งดินและหิน ดังนั้นในการคำนวณออกแบบจะต้องกำหนดความเร็วของกระแสน้ำที่ไม่ให้เกิดการกัดเซาะและการตกตะกอน ซึ่งค่าของกำหนดลาดตลิ่ง (Side Slope) และความเร็วของกระแสน้ำของคลองระบายน้ำจะใช้หลักเกณฑ์เดียวกันกับทางชักน้ำเข้าสู่อาคาร

(Approach Channel) แต่ทั้งนี้ในการคำนวณหาขนาดของคลองระบายน้ำนั้น ได้นำเอาค่าของความลาดชันของลำน้ำเดิมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นจึงใช้สูตรของ Manning's Formular มาใช้คำนวณหาขนาดของคลองระบายน้ำแทนดังนี้

$$Q = \frac{๑}{n} (R^{๒/๓})(S^{๑/๒}) A$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคลองระบายน้ำ, ลบ. ม./วินาที

n = สัมประสิทธิ์ของความขรุขระของผิวทางน้ำ (ดูตารางที่ ๑)

R = รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius), ม.

$= \frac{A}{P}$

A = พื้นที่หน้าตัดคลองระบายน้ำ, ตร.ม.

= (b+zd) d, สำหรับคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

b = ความกว้างของก้นคลองระบายน้ำ, ม.

z = Side Slope ของคลองระบายน้ำ

d = ความลึกการไหลของน้ำในคลองระบายน้ำ, ม.

P = เส้นขอบเปียก (Wetted Perimeter), ม.

$= b + ๒d \sqrt{๑ + z^{๒}}$

S = ความลาดท้องคลองระบายน้ำตามแนวศูนย์กลางคลอง

ค่า n สำหรับลักษณะและสภาพพื้นผิวทางน้ำต่าง ๆ					หมายเหตุ
ลักษณะพื้นผิวทางน้ำ	สภาพพื้นผิวทางน้ำ				
	ดีเยี่ยม	ดี	ปานกลาง	เลว	
<u>คลองส่งน้ำและคูน้ำ</u>					*เป็นค่าที่นิยมใช้ในการคำนวณออกแบบ
คลองดินที่มีแนวตรงและรูปตัดสม่ำเสมอ	0.017	0.020	0.0225*	0.025	
คลองดินที่ลาดตลิ่งเป็นดินปนกรวดปนหิน	0.028	0.030	0.033	0.035	
คลองดินที่ก้นคลองมีดินปนกรวด ตลิ่งมีหญ้าขึ้น	0.025	0.030	0.035	0.040	
คลองขุดผ่านหินและตกแต่งผิวเรียบ	0.025	0.030	0.033*	0.035	
คลองขุดผ่านหินตะปุ่มตะป่ำและรูปตัดไม่สม่ำเสมอ	0.035	0.040	0.045	-	
คลองดินที่คดเคี้ยวมาก	0.0225	0.025*	0.0275	0.030	
คลองดาดคอนกรีต	0.012	0.014*	0.016	0.018	
<u>รางน้ำหรือสพานน้ำ</u>					
คอนกรีตผิวเรียบ	0.012	0.014*	0.016*	0.018	
ไม้ผิวขัดเรียบ	0.010	0.012*	0.013	0.014	
ไม้ผิวไม่เรียบ	0.011	0.013*	0.014	0.015	
โลหะรูปครึ่งวงกลมผิวเรียบ	0.011	0.012	0.013	0.015	
โลหะรูปครึ่งวงกลมผิวเป็นลอน	0.0225	0.025	0.0275	0.030	
<u>ท่อชนิดต่าง ๆ</u>					
เหล็กหล่อไม่ฉาบผิว	0.012	0.013	0.014	0.015	
เหล็กหล่อฉาบผิวเรียบ	0.011	0.012*	0.013*	-	
เหล็กดำไม่ฉาบผิว	0.012	0.013	0.014	0.015	
เหล็กดำอาบสังกะสี	0.013	0.014	0.015	0.017	
ทองเหลืองผิวเรียบ หรือหลอดแก้ว	0.009	0.010	0.011	0.013	
ดินเผาใช้ทำท่อน้ำโสโครก	0.011	0.012	0.014	0.017	
อิฐก่อ ใช้เป็นท่อน้ำโสโครก	0.012	0.013	0.015	0.017	
คอนกรีต	0.012	0.013	0.015*	0.016	
ไม้	0.010	0.011	0.012	0.013	

<u>ตารางที่ ๑ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของความขรุขระของผิวทางน้ำ (n) ของสภาพพื้นผิวทางน้ำต่างๆ</u>

- **วิศวกรรมฐานราก (Foundation Engineering)** ใช้ออกแบบฐานรากประตูระบายน้ำและอาคารต่างๆ

- **การพัดพาเม็ดดินฐานรากอาคาร (Piping)** เพราะการเกิด Piping ทำให้ดินฐานรากเกิดเป็นโพรง ส่งผลให้ฝายเกิดการทรุดตัวขณะที่น้ำซึมผ่านช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยจะมีแรงดันของน้ำซึ่งเรียกว่าแรงพัดพาเม็ดดิน (Seepage Force) กระทำต่อเม็ดดิน ถ้าแรงพัดพาเม็ดดินในบริเวณที่น้ำซึมออก (Exit flow line) จะก่อให้เกิดการพัดพาเม็ดดินใต้ฐานรากอาคารจนก่อให้เกิดโพรง ซึ่งถ้าโพรงดังกล่าวขยายตัวใหญ่ขึ้นจะทำให้อาคารพังทลายได้ วิธีการในการตรวจสอบการพัดพาเม็ดดินใต้ฐานรากอาคารเพื่อป้องกันการกัดพาเม็ดดินจนทำให้อาคารพัง จะใช้วิธี Weighted Creep Ratio ดังนี้ ตามวิธีของ Lane ที่ได้ทำการศึกษาการพัดพาเม็ดดินใต้ฐานเขื่อนมากกว่า ๒๐๐ เขื่อน ได้แนะนำ วิธีการตรวจสอบการพัดพาเม็ดดินใต้ฐานรากโดยใช้ Weighted Creep Ratio ดังนี้

$$C = L/H$$

เมื่อ L = Weighted Creep Distance Percolation Distance

H = Maximum Head

C = Weighted Creep Ratio หรือ Percolation Coefficient

ถ้าน้ำมีการเคลื่อนที่ตามแนวเอียงให้พิจารณาว่าการเคลื่อนที่ของน้ำซึ่งมีแนวเอียงน้อยกว่า ๔๕ องศา เป็นการเคลื่อนที่ตามแนวราบ ๔๕ องศา เป็นการเคลื่อนที่ตามแนวดิ่ง ถ้าค่า Weighted Creep Ratio ที่คำนวณได้จากสมการที่ C = L/H มีค่ามากกว่าค่าที่กำหนดให้ในตารางต่อไปนี้แสดงว่าฐานรากมีความปลอดภัยต่อการพัดพาเม็ดดิน วิธีการคือ ขยายความยาวของพื้นด้านท้ายน้ำออกไปโดยตรงหรือการใช้เข็มพืดเป็นการเพิ่มค่า Weighted Creep Ratio ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าที่กำหนด แสดงว่าฐานรากไม่ปลอดภัยต่อการพัดพาของเม็ดดิน วิธีการคือ ขยายความยาวของพื้นด้านท้ายน้ำออกไปโดยตรง หรือการใช้เข็มพืดเป็นการเพิ่มค่า Weighted Creep Ratio ให้เพียงพอกับลักษณะดินใต้อาคาร

ตารางแสดงค่า Percolation Coefficients

ลักษณะของดินใต้อาคาร	C
ทรายละเอียดมาก	๘.๕
ทรายละเอียด	๗.๐
ทรายขนาดปานกลาง	๖.๐
ทรายหยาบ	๕.๐
กรวดละเอียด	๔.๐
กรวดขนาดปานกลาง	๓.๕
กรวดหยาบ	๓.๐
ดินเหนียวอ่อน	๓.๐
หินใหญ่ปนหินเล็กปนกรวด	๒.๕
ดินเหนียวปานกลาง	๒.๐
ดินเหนียวแข็ง	๑.๐

- **การเลื่อนตัว (Sliding)** ประตูระบายน้ำต้องมีความมั่นคงต่อการเลื่อนตัว เนื่องจากแรงดันของน้ำที่กระทำต่อตัวประตูระบายน้ำด้านเหนือน้ำซึ่งพยายามผลักฝายให้เลื่อนตัว (Sliding) แต่การเลื่อนตัวของประตูระบายน้ำจะถูก Friction ระหว่างฐานประตูระบายน้ำกับดินใต้ฐานประตูระบายน้ำต้านทานไว้ ค่าความปลอดภัยต่อการเลื่อนตัวของประตูระบายน้ำ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{F.S. against Sliding} = \frac{f(\sum W - \sum U)}{\sum P}$$

เมื่อ F.S. = ค่าความปลอดภัยจะต้องมีค่ามากกว่า ๑.๐ แต่โดยทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง ๑.๕-๒.๐

f = สัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของความฝืดระหว่างพื้นดินฐานรากกับพื้นประตูระบายน้ำ

ก่อสร้างบนกรวด ค่า f = ๐.๕๐

ก่อสร้างบนทราย ค่า f = ๐.๔๐

ก่อสร้างบนดินเหนียว ค่า f = ๐.๓๐

$\sum W$ = น้ำหนักกระทำในแนวดิ่งทั้งหมด

$\sum U$ = แรงดันน้ำทั้งหมดที่กระทำต่อตัวประตูระบายน้ำทางด้านเหนือน้ำและแรงดันของน้ำที่กระทำต่อตัวประตูระบายน้ำด้านล่างได้

$\sum P$ = แรงผลลัพธ์ที่เกิดจากแรงในแนวราบทั้งหมด

- **การต้านทานการพลิกคว่ำ (Overturning)**

ประตูระบายน้ำต้องออกแบบให้มีน้ำหนักของตัวประตูระบายน้ำ มากพอที่จะต้านทานแรงดันของน้ำที่กระทำต่อตัวประตูระบายน้ำทางด้านเหนือน้ำและแรงดันของน้ำที่กระทำต่อตัวประตูระบายน้ำด้านล่างได้ (Uplift Pressure) การออกแบบจะต้องไม่ให้เกิด Tension ที่ฐานเขื่อนโดยถือหลักว่าแนวแรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงในแนวราบทั้งหมด ($\sum P$) กับน้ำหนักกระทำในแนวดิ่งทั้งหมด ($\sum W$) ต้องตัดฐานประตูระบายน้ำภายในช่วง Middle Third ทางด้านท้ายน้ำเพราะถ้าเลยออกไปแล้วจะเกิดแรงดึง (Tension) ที่ริมประตูระบายน้ำทางด้านเหนือน้ำ ซึ่งไม่ควรให้เกิดขึ้นเพราะเป็นอันตรายต่อตัวประตูระบายน้ำและฐานประตูระบายน้ำ และถ้าแรงลัพธ์ผ่านออกนอกฐานประตูระบายน้ำและไม่มีวิธีต้านฐาน Tensile Stress ที่ Upstream Toe ของประตูระบายน้ำแล้ว ประตูระบายน้ำจะล้มคว่ำลงได้ค่าความปลอดภัยต่อการคว่ำของประตูระบายน้ำ สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{F.S. against Overturning} = \frac{\text{Resisting Moment}}{\text{Overturning Moment}}$$

โดยปกติค่า F.S. ต้องมีค่ามากกว่า ๑.๐ ถือว่าปลอดภัยแต่โดยทั่ว ๆไปจะให้มีค่าอยู่ระหว่าง ๑.๕–๒.๐

- **ฐานรากต้องสามารถรับแรงกดของตัวได้ (Bearing)**

โดยที่ Bearing Capacity ของฐานรากต้องมากกว่า Maximum Pressure Intensity ที่เกิดจากแรงกระทำต่อตัวประตูระบายน้ำจากสูตร

$$S = \frac{\sum W}{L}\left(๑ \pm \frac{๖e}{L}\right) - u$$

เมื่อ S = แรงกดที่กระทำต่อฐานทั้งด้านเหนือน้ำหรือท้ายน้ำ

L = ความยาวของพื้นตัวประตูระบายน้ำ

e = eccentricity ของแรงลัพธ์ (R) ระหว่างแรง $\sum P$

$\sum w$ = น้ำหนักกระทำในแนวดิ่งทั้งหมด

u = Uplift Pressure ที่จุดด้านเหนือน้ำหรือท้ายน้ำ

จากสูตรในการหาค่า S ค่าภายในวงเล็บ (๑ – ๖e/L) และ (๑+๖e/L) นั้น อาจเป็นเครื่องหมายลบและบวกโดย ให้พิจารณา จุดที่แรงลัพธ์กระทำผ่านเส้นแบ่งครึ่งฐานของฐานประตูระบายน้ำ AB ไปอยู่ทางด้านใด ด้านนั้นต้องใช้เครื่องหมายบวกในวงเล็บ (๑+๖e/L)

- **พื้นประตูระบายน้ำต้องหนาหรือมีน้ำหนักมากพอที่จะต้าน Uplift** เนื่องจากแรงดันน้ำ(Uplift Pressure) ที่ไหลซึมลอดใต้ตัวประตูระบายน้ำ Uplift Pressure นี้จะลดลงน้อยทุกทีจนหมดที่ปลายพื้นด้านท้ายน้ำ ดังนั้น พื้นประตูระบายน้ำจึงไม่จำเป็นต้องหนาเท่ากันตลอดก็ได้ แต่จะทำให้พื้นหนาที่สุดในบริเวณใกล้ประตูระบายน้ำแล้วค่อย ๆ บางเรียวลงไปสู่ปลายพื้นด้านท้ายน้ำพิจารณาออกแบบความหนาพื้นประตูระบายน้ำท้ายน้ำจากสูตร

$$\text{F.S. against Uplift} = \frac{๒.๔\ t}{\text{Uplift Pressure}}$$

$$= \frac{๒.๔\ t}{y.w.H}$$

เมื่อ t = ความหนาของพื้นประตูระบายน้ำ

y.w = หนักของน้ำ

H = แรงดันน้ำใต้ดิน (Uplift Pressure Head)

F.S. ปกติใช้ค่าประมาณ ๑.๕๐

- **การรับน้ำหนักของเสาเข็ม**

โดยใช้สูตร Qall = Qult / F.S.

ในเมื่อ Qult = Qf + Qb - Wp

Qall = กำลังรับน้ำหนักสูงสุดปลอดภัย (ตัน)

Qult = กำลังรับน้ำหนักสูงสุด (ตัน)

Qf = กำลังรับแรงเสียดทานของเสาเข็ม (ตัน)

Qb = กำลังรับน้ำหนักที่ปลายเสาเข็ม (ตัน)

Wp = น้ำหนักเสาเข็ม (ตัน)

F.S. = Factor of Safety

- **การวิเคราะห์โครงสร้างกับการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก (Structure Analysis and Reinforce Concrete Design)** ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างของอาคารประตูระบายน้ำ และอาคารประกอบต่างๆ

๑. การพิจารณาหาแรงกระทำต่างๆ ที่มีผลกระทบกับอาคาร

๑.๑ แรงกระทำอันเนื่องจากน้ำหนักของตัวอาคารเอง เป็นน้ำหนักของโครงสร้างเอง เช่น กำแพงกันดิน ฐานรากของกำแพงกันดัน สะพานคนเดิน เป็นต้น ซึ่งเป็นน้ำหนักบรรทุกคงที่ จะคิดได้จากคุณสมบัติของวัสดุ ดังนี้

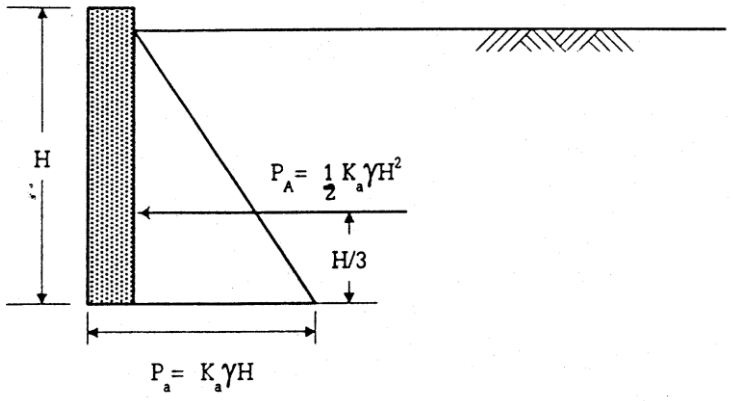
น้ำหนักของวัสดุต่างๆ สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

คอนกรีตเสริมเหล็ก	๒,๔๐๐ กก./ม.^{๓}
คอนกรีตล้วน	๒,๓๐๐ กก./ม.^{๓}
เหล็กเสริมรูปพรรณ	๗,๘๕๐ กก./ม.^{๓}
น้ำ	๑,๐๐๐ กก./ม.^{๓}
ดินแห้ง	๑,๖๐๐ กก./ม.^{๓}
ดินบดอัดแน่น	๑,๙๐๐ กก./ม.^{๓}
ดินบดอัดแน่นอิ่มตัว	๒,๑๕๐ กก./ม.^{๓}
หินจมน้ำ	๑,๗๐๐ กก./ม.^{๓}

นอกจากแรงกระทำเนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างเองแล้วนั้น ยังอาจรวมไปถึงน้ำหนักอื่นๆ เช่น น้ำหนักจร น้ำหนักเนื่องจากการเคลื่อนที่ของรถยนต์ เป็นต้น ซึ่งจะไม่กล่าวถึงไว้ในที่นี้ด้วย

๑.๒ แรงกระทำอันเนื่องมาจากแรงดันดิน โดยแรงดันของดินที่กระทำต่ออาคารนั้น สามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น ๓ กรณีดังนี้

- แรงดันดินโดยตรง(Active Earth Pressure) เป็นแรงดันดินที่กระทำต่ออาคารที่ออกแบบ



รูปที่ ๑ แสดงแรงดันดินโดยตรงที่กระทำต่อกำแพง

$$P_a = \frac{๑ - \sin\phi}{๑ + \sin\phi}.y.H$$

$$P_a = \tan^{๒}(๔๕ - \frac{\phi}{๒}).y.H$$

เมื่อ P_a = แรงดันดินโดยตรง

ϕ = มุมทรงตัวของดิน (Angle of Internal Friction)

y = น้ำหนักของดินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

H = ความลึกของดินที่เกิดแรงดัน

- แรงดันดินต้านกลับ (Passive Earth Pressure) เป็นแรงดันดินที่ต้านการเคลื่อนตัวของอาคาร

$$P_p = \frac{๑ + \sin\phi}{๑ - \sin\phi}.y.H$$

$$P_p = \tan^{๒}(๔๕ + \frac{\phi}{๒}).y.H$$

เมื่อ P_p = แรงดันดินที่ต้านการเคลื่อนตัวของอาคาร

ϕ = มุมทรงตัวของดิน (Angle of Internal Friction)

y = น้ำหนักของดินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

H = ความลึกของดินที่เกิดแรงดัน

- แรงดันดินแบบนิ่ง (At-Rest Pressure) เป็นแรงดันดินที่กระทำต่ออาคารที่ไม่เกิดการเคลื่อนตัว

$$P_p = K_r.y.H$$

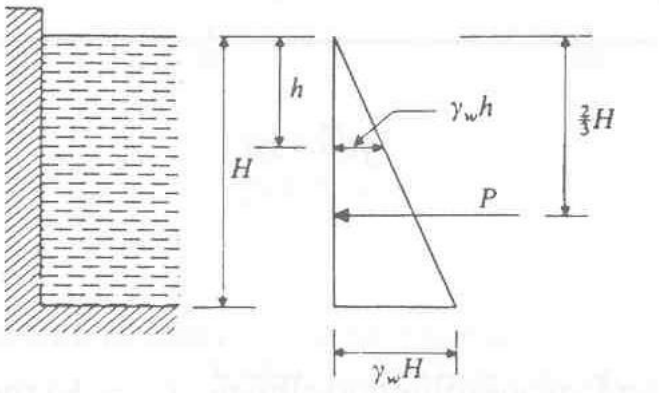
เมื่อ P_p = แรงดันดินที่กระทำต่ออาคารที่ไม่เกิดการเคลื่อนตัว

K_r = ๐.๘๐

y = น้ำหนักของดินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

H = ความลึกของดินที่เกิดแรงดัน

๑.๓ แรงกระทำอันเนื่องจากแรงดันน้ำ เป็นแรงกระทำต่อโครงสร้างโดยใช้หลักการกระจายแรงดันรูปสามเหลี่ยม (Triangular distribution) ซึ่งกระทำในทิศทางตั้งฉากกับผิวของโครงสร้าง โดยสามารถหาได้จากสูตรดังนี้



รูปที่ ๒ แสดงแรงดันน้ำโดยตรงที่กระทำต่อกำแพง

$$P_w = \frac{๑}{๒}y_w H^{๒}$$

เมื่อ P_w = แรงดันดินที่กระทำต่ออาคารที่ไม่เกิดการเคลื่อนตัว

y_w= น้ำหนักของน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

H = ความลึกของน้ำที่เกิดแรงดัน

สำหรับโครงสร้างที่อยู่ในน้ำ หรือโครงสร้างที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำใต้ดินจะเกิดแรงลอยตัว (Uplift) หรือ Vertical Component กระทำต่อโครงสร้าง แรงลอยตัวตัวนี้คำนวณได้จาก Hydrostatic Pressure แรงลอยตัวที่จุดใดๆ ที่กระทำต่อโครงสร้างจะเท่าแรงดันทางท้ายน้ำ (Tail water Pressure) และค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient) ระหว่างหัวน้ำ (Head water) และท้ายน้ำ (Tail water) ซึ่งในการออกแบบอาคารจะต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย

๒. การออกแบบโครงสร้าง (Structural Design) ด้านคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการคำนวณใช้การออกแบบโดยวิธี Working Stress Design ตามมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีตของกรมชลประทาน

หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต คอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างโครงการประตูระบายน้ำปากคลองบางคู้ นั้นใช้คอนกรีตที่รับแรงกดสูงสุดไม่น้อยกว่า ๑๗๕ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร สำหรับงานคอนกรีตทั่วไปและไม่น้อยกว่า ๒๑๐ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร สำหรับงานกำแพงกันดินข้าง โดยการทดสอบแท่งคอนกรีตมาตรฐานรูปทรงกระบอกลูกบาศก์ ๐.๑๕x๐.๓๐ เมตร เมื่ออายุได้ ๒๘ วัน

หน่วยแรงชนิดต่างๆที่ยอมให้ของคอนกรีตสำหรับแรงกดสูงสุด ๑๗๕ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และ ๒๑๐ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ใช้ตามมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต ของกรมชลประทาน

- การเสริมเหล็กโครงสร้าง ในการคำนวณ-ออกแบบเสริมเหล็กโครงสร้างนั้น ได้เลือกใช้วิธี Working Stress Design ซึ่งมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$M_c = \frac{๑}{๒} f_c .k.j.b.d^{๒}$$

$$M_s = A_s.f_s.j.d$$

$$v = \frac{V}{b.j.d}$$

$$U = \frac{v}{\sum_O .j.d}$$

$$k = \frac{n.f_c}{f_s + n.f_c}$$

$$j = ๑ - \frac{k}{๓}$$

$$n = \frac{๒๙x๑๐^{๖}}{w^{๑.๕}x๓๓\ f'c}$$

การคำนวณแรงเค้นที่เกิดขึ้นจากแรงที่กระทำร่วมกับโมเมนต์ (Combined Bending and Axial Load)

$$S = \frac{P}{A} \pm \frac{M.C}{I}$$

เมื่อ M_c = โมเมนต์ที่เกิดในเนื้อคอนกรีต

M_s = โมเมนต์ที่เกิดในเนื้อเหล็ก

M = โมเมนต์ดัดที่กระทำกับโครงสร้าง

V = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นทั้งหมด

v = แรงเฉือนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

U = แรงยึดเหนี่ยวต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

$\sum_o$ = ความยาวเส้นรอบวงของเหล็กเสริมคอนกรีต

b = ความกว้างของคาน

d = ความลึกใช้งานของคานสำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก

A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม

P = แรงที่กระทำต่อคอนกรีต

f_c = แรงกดใช้งานของคอนกรีต

$f_c^{/}$ = แรงกดสูงสุดของคอนกรีตเมื่ออายุ ๒๘ วัน

S = แรงเค้นใช้งานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

A = พื้นที่รับแรง

C = ระยะจากผิวของคานถึงแกนสะเทิน (Neutral Axis)

I = โมเมนต์ของความเฉื่อย (Moment of Inertia)

fs = แรงดึงใช้งานของเหล็กเสริม

j = ระยะช่วงแขนของโมเมนต์

n = อัตราส่วนโมดูลัส

k = ค่าคงที่ ที่วัดจากผิวบนของคานถึงแนวแกนสะเทิน

เหล็กเสริมในคอนกรีต เหล็กเสริมที่ในโครงสร้างอาคาร จะต้องมีคุณสมบัติของเหล็กเสริมตามมาตรฐานของ มอก.ดังต่อไปนี้

- เหล็กเสริมใช้เหล็กเส้นกลม (Round Bars) ต้องรับแรงดึง (fs) ได้ไม่น้อยกว่า ๑,๒๐๐ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ชั้นคุณภาพ SR-๒๔ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ๒๐-๒๕๔๓

- เหล็กเสริมใช้เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bars) ต้องรับแรงดึง (fs) ได้ไม่น้อยกว่า ๑,๕๐๐ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ชั้นคุณภาพ SD-๓๐ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ๒๔-๒๕๔๘

โดยทั้งนี้ได้กำหนดให้เหล็กเสริมที่มีขนาด ๖ มิลลิเมตร และ ๙ มิลลิเมตร เป็นเหล็กเส้นกลม ส่วนเหล็กเสริมที่มีขนาด ๑๒ มิลลิเมตร ขึ้นไป เป็นเหล็กข้ออ้อย

การเสริมเหล็กต้านทานการยืดหดตัว ข้อกำหนดสำหรับหาขนาดเหล็กเสริมเพื่อต้านการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เปอร์เซ็นต์ที่ระบุจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (ยกเว้นพอกมุม) ของคอนกรีตที่จะต้องเสริมเหล็ก แต่ถ้าพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตมากกว่า ๔๐ เซนติเมตร จะคิดพื้นที่หน้าตัดที่เสริมเหล็กจากความหนาเพียง ๔๐ เซนติเมตร เท่านั้น

การเสริมเหล็กชั้นเดียวและมีรอยต่อห่างกันไม่เกิน ๑๐.๐๐ เมตร

-พื้นคอนกรีตที่ไม่สัมผัสโดยตรงกับแสงอาทิตย์.....๐.๒๕%

-พื้นคอนกรีตที่สัมผัสโดยตรงกับแสงอาทิตย์.....๐.๓๐%

พื้นคอนกรีตที่มีความยาวมากกว่า ๑๐.๐๐ ม.

-ไม่สัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง.....๐.๓๕%

-สัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง.....๐.๓๕%

-กำแพงและส่วนอื่นๆของอาคาร จำนวนเปอร์เซ็นต์รวมของเหล็กเสริมในแนวราบจะต้องเท่ากับจำนวนรวมของเหล็กเสริมที่ผิวทั้งสองด้าน

การเสริมเหล็กสองชั้นและมีรอยต่อห่างกันไม่เกิน ๑๐.๐๐ เมตร

-ผิวหน้าสัมผัสกับดิน.....๐.๑๐%

-ผิวหน้าไม่สัมผัสกับดินและไม่ถูกแสงอาทิตย์.....๐.๑๕%

-ผิวหน้าไม่สัมผัสกับดินและสัมผัสโดยตรงกับแสงอาทิตย์.....๐.๒๐%

-ช่วงห่างของรอยต่อเกิน ๑๐.๐๐ เมตร ในทิศทางใดๆที่ขนานกับการเสริมเหล็ก

จะต้องเพิ่มเหล็กเสริมในทิศทางนั้น.....๐.๐๕%

การออกแบบความหนาของกำแพง กำแพงยื่นจะต้องมีความหนาที่ฐานอย่างน้อย ๐.๒๐ เมตร สัดส่วนความหนาจริงของโคนกำแพงจะเพิ่มขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้นจากเดิมทุกๆ ๑.๐๐ เมตร ให้เพิ่มขึ้น ๐.๑๐ เมตร

ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ในการกำหนดความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม ให้ใช้ตามมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีตของกรมชลประทาน ตามที่แสดงในรูปที่ ๕

ระยะฝังและต่อทาบของเหล็กข้ออ้อย ในการกำหนดระยะฝังและต่อทาบของหุ้มเหล็กข้ออ้อย ให้ใช้ตามมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีตของกรมชลประทาน ตามที่แสดงในรูปที่ ๖

หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต

แรงดัด (Flexure) : fc

- หน่วยแรงอัดที่ผิว ..... 0.45 f'_c ... 78.8 กก./ซม.^{2}
- หน่วยแรงดึงที่ผิวในฐานรากและกำแพงคอนกรีตล้วน ..... 0.42 $\sqrt{f'_c}$ ... 5.6 ,,

แรงเฉือน (Shear) :

- คานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน v_c ..... 0.29 $\sqrt{f'_c}$ ... 3.8 ,,
- ดงที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน v_c ..... 0.32 $\sqrt{f'_c}$ ... 4.2 ,,
- องค์อาคารเสริมลูกตั้งหรือคอม้าหรือใช้ประกอบกัน v ..... 1.32 $\sqrt{f'_c}$ ... 17.5 ,,
- ระยะเรียงของลูกตั้งต้องไม่ห่างเกิน $\frac{d}{4}$ v ..... 0.795 $\sqrt{f'_c}$ ... 10.5 ,,
- แผ่นพื้นและฐานราก (แรงเฉือนตามขอบ) v_c ..... 0.53 $\sqrt{f'_c}$ ... 7.0 ,,

แรงแบกทาน (Bearing) : fc

- รับเต็มเนื้อที่ ..... 0.25 f'_c ... 43.8 ,,
- รับหนึ่งในสามของเนื้อที่หรือน้อยกว่า ..... 0.37 f'_c ... 64.8 ,,

แรงยึดหน่วง (Bond) : u กก./ซม.^{2}

ขนาดเหล็ก DB – มม.		10	12	16	20	22	25	28	32
– สำหรับเหล็กรับแรงดึง เหล็กบน (Top Bars)	$\frac{2.29\sqrt{f'_c}}{\phi}$ ≯ 25.0	25.0	25.0	18.9	15.1	13.8	12.1	10.8	9.5
เหล็กอื่น ๆ	$\frac{3.23\sqrt{f'_c}}{\phi}$ ≯ 35.0	35.0	35.0	26.7	21.4	19.4	17.1	15.3	13.4
– สำหรับเหล็กรับแรงอัด	1.72 $\sqrt{f'_c}$ ≯ 28.0	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8

หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

- ความต้านทานแรงดึงที่จุดคลาก fy ..... 3000 กก./ซม.^{2}
- รับแรงดึงในอาคารรับแรงดัด fs ..... 1500 ,,

เกณฑ์เพื่อการคำนวณ

fs	fc	n	k	j	p	K	$\sqrt{\frac{1}{K}}$	$M = Kbd^2$; $d = \sqrt{\frac{1}{K}}\sqrt{\frac{M}{b}}$
1500	78.8	10	0.344	0.885	0.0090	11.995	0.289	b, d ..... ซม. M ..... กก. ซม.

ออกแบบ K.S.	ผ่าน ..... ฝมบ.	กรมชลประทาน เกณฑ์การคำนวณคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับคอนกรีต f'_c = 175 กก./ซม.^{2} เหล็กข้ออ้อย SD 30
ตรวจ K.S.	เห็นชอบ ..... ผอบ.	
เสนอ	อนุมัติ ..... อธช.	
กองออกแบบ งานกำหนดมาตรฐานการออกแบบ	9 ก.ค. 2535 วันที่	มฐย – 4 – 055

รูปที่ ๓ หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต สำหรับแรงกดสูงสุด ๑๗๕ กก./ซม.^{2}

หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต

แรงดัด (Flexure) : fc

- หน่วยแรงอัดที่ผิว ..... 0.45 f'c ..... 94.5 กก./ซม.^{2}
- หน่วยแรงดึงที่ผิวในฐานรากและกำแพงคอนกรีตล้วน ..... 0.42 $\sqrt{f'c}$ ..... 6.1 ,,

แรงเฉือน (Shear) :

- คานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน vc ..... 0.29 $\sqrt{f'c}$ ..... 4.2 ,,
- ตงที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน vc ..... 0.32 $\sqrt{f'c}$ ..... 4.6 ,,
- องค์อาคารเสริมลูกตั้งหรือคอม้าหรือใช้ประกอบกัน v ..... 1.32 $\sqrt{f'c}$ ..... 19.1 ,,
- ระยะเรียงของลูกตั้งต้องไม่ห่างเกิน $\frac{d}{4}$ v ..... 0.795 $\sqrt{f'c}$ ..... 11.5 ,,
- แผ่นพื้นและฐานราก (แรงเฉือนตามขอบ) vc ..... 0.53 $\sqrt{f'c}$ ..... 7.7 ,,

แรงแบกทาน (Bearing) : fc

- รับเต็มเนื้อที่ ..... 0.25 f'c ..... 52.5 ,,
- รับหนึ่งในสามของเนื้อที่หรือน้อยกว่า ..... 0.37 f'c ..... 77.7 ,,

แรงยึดหน่วง (Bond) : u กก./ซม.^{2}

ขนาดเหล็ก DB-มม.	10	12	16	20	22	25	28	32
- สำหรับแรงดึง								
เหล็กบน (Top Bars) $\frac{2.29\sqrt{f'c}}{\phi}$ ≯ 25.0	25.0	25.0	20.7	16.6	15.1	13.3	11.9	10.4
เหล็กอื่น ฯ $\frac{3.23\sqrt{f'c}}{\phi}$ ≯ 35.0	35.0	35.0	29.3	23.4	21.3	18.7	16.7	14.6
- สำหรับเหล็กรับแรงอัด $1.72\sqrt{f'c}$ ≯ 28.0	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9

หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม

- ความต้านทานแรงดึงที่จุดคลาก fy ..... 3000 กก./ซม.^{2}
- รับแรงดึงในอาคารรับแรงดัด fs ..... 1500 ,,

เกณฑ์เพื่อการคำนวณ

fs	fc	n	k	j	p	K(R)	$\sqrt{\frac{1}{K}}$	$M = Kbd^2$; $d = \sqrt{\frac{1}{K}}\sqrt{\frac{M}{b}}$
1500	94.5	9	0.362	0.879	0.0114	15.035	0.258	b,d ..... ซม. M ..... กก. ซม.

ออกแบบ K.S.	ผ่าน ..... ผมบ.	กรมชลประทาน เกณฑ์การคำนวณคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับคอนกรีต f'c = 210 กก./ซม.^{2} เหล็กข้ออ้อย SD 30
ตรวจ K.S.	เห็นชอบ ..... ผอบ.	
เสนอ	อนุมัติ ..... อธช.	
กองออกแบบ งานกำหนดมาตรฐานการออกแบบ	9 ก.ค. 2535 วันที่	มฐย-4-056

รูปที่ ๔ หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต สำหรับแรงกดสูงสุด ๒๑๐ กก./ซม.^{2}

ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม

(โดยวัดระยะจากผิวเหล็ก)

สถานะขององค์อาคาร		ซม.
ผิวคอนกรีตอยู่ในร่ม ไม่สัมผัสดิน หรือไม่ถูกแดด ฝน และ น้ำ โดยตรง	ในแผ่นพื้น ผนัง และคาน	2
	ในคาน	3
	ในเสา	3.5
ใช้แบบหล่อแต่เมื่อถอดแบบแล้ว ผิวคอนกรีตจะสัมผัสดิน หรือจมอยู่ในน้ำ หรือถูกแดด ฝน โดยตรง	ใช้เหล็กเสริมขนาดเล็กกว่า 16 มม. ลงมา	4
	ใช้เหล็กเสริม ขนาดตั้งแต่ 16 มม. ขึ้นไป	5
เทหล่อคอนกรีต ลงกับดินโดยตรง		7.5

หมายเหตุ

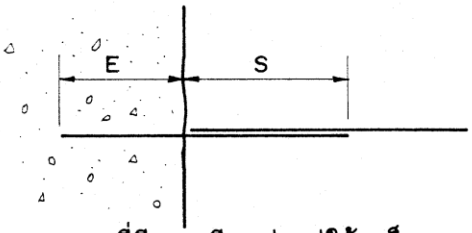
1. ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริมโดยการวัดจากผิวเหล็ก จะต้องไม่น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในตารางข้างบนนี้
2. สำหรับองค์อาคารที่ใช้เหล็กลูกตั้ง หรือเหล็กปลอกประกอบ ให้วัดความหนาของคอนกรีตที่หุ้มจากผิวของเหล็กลูกตั้ง หรือ เหล็กปลอก
3. ในบรรยากาศที่จะทำให้เกิดการผุกร่อนได้รุนแรง หรือต้องเผชิญกับสภาวะรุนแรงอื่น ๆ ให้เพิ่มความหนาที่ห่อหุ้มอีก 2 ซม.
4. สำหรับอุโมงค์ทางเดินในเขื่อน (Galleries in dams) ให้ใช้ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่น้อยกว่า 13 ซม. (ดูแบบหมายเลข 29556)

ออกแบบ K.S.	ฝ่าน ฝมบ.	กรมชลประทาน
ตรวจ K.S.	เห็นชอบ ผอบ.	มาตรฐานรายละเอียดเหล็กเสริม
เสนอ	อนุมัติ อธช.	ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม
กองออกแบบ งานกำหนดมาตรฐานการออกแบบ	วันที่ 9 ก.ค. 2535	มฐย – 4 – 049

รูปที่ ๕ ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม

ขนาดเหล็ก ø', มม. ชนิด DB	ระยะฝัง EMBEDMENT (E) – ซม.			ระยะต่อทาบ LAP SPLICES (S) – ซม.		
	เหล็กรับแรงดึง		เหล็กรับแรงอัด	เหล็กรับแรงดึง		เหล็กรับแรงอัด
	เหล็กบน	เหล็กอื่น ๆ		เหล็กบน	เหล็กอื่น ๆ	
10	20	20	20	40	40	40
12	20	20	20	45	45	40
16	35	30	30	60	60	45
20	50	35	35	80	75	55
22	60	45	40	95	80	60
25	80	55	45	125	90	70
28	100	70	50	เชื่อม	เชื่อม	เชื่อม
32	125	90	55	เชื่อม	เชื่อม	เชื่อม

หมายเหตุ



1. E คือ ระยะฝัง (Embedment length)

   S คือ ระยะต่อทาบ (Lap splices length)

2. เหล็กบน (Top bars) หมายถึง เหล็กเส้นตามแนวราบ ที่มีคอนกรีตหล่ออยู่ใต้เหล็กเส้นนั้นมากกว่า 30 เซ็นติเมตร

   เหล็กอื่น ๆ (Bars other than top bars) หมายถึง เหล็กอื่น นอกเหนือจากเหล็กบน

3. ควรหลีกเลี่ยงการต่อทาบเหล็กเสริม ณ จุดที่เกิดแรงดึงสูงสุด เท่าที่จะทำได้ และไม่ควรต่อทาบเหล็กเสริมในแนวเดียวกันตลอด ควรจะสลับที่กัน

4. ถ้าระยะช่องว่างด้านข้างของเหล็กที่ต่อทาบกันห่างมากกว่า 12 (ø') และอยู่ห่างจากขอบนอกมากกว่า 15 ซม. ก็อาจจะลดระยะการต่อทาบของเหล็กรับแรงดึงได้ โดยการใช้ค่าที่แสดงไว้ในตารางหารด้วยจำนวน 1.20

ออกแบบ K.S.	ผ่าน ฝมบ.	กรมชลประทาน **มาตรฐานรายละเอียดเหล็กเสริม** **ระยะฝังและต่อทาบเหล็กข้ออ้อย** (ปลายไม่งอขอ) f'_c = 175 กก./ซม.^{2} และ SD 30
ตรวจ K.S.	เห็นชอบ ผอบ.	
เสนอ	อนุมัติ อธช.	
กองออกแบบ งานกำหนดมาตรฐานการออกแบบ	วันที่ 9 ก.ค. 2535	**มฐย-4-059**

รูปที่ ๖ ระยะฝังและต่อทาบของเหล็กข้ออ้อย

๒. นำประสบการณ์ในการคำนวณออกแบบประตูระบายน้ำในอดีต เช่น ประตูระบายน้ำปาก-คลองหนึ่ง โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครหลวง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา รวมทั้งแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เคยประสบมา นำมาประยุกต์ใช้กับประตูระบายน้ำ ปากคลองบางคู้ เพื่อเลือกแนวทางการออกแบบระบบที่สมบูรณ์ขึ้น

สรุปสาระและขั้นตอนการดำเนินการ

ตามที่สำนักราชเลขาธิการได้มีหนังสือที่ รล ๐๐๐๕.๒/๑๐๗๖ ลงวันที่ ๑๙ มกราคม ๒๕๔๗ ถึงกรมชลประทาน ให้ทำการก่อสร้างฝายกั้นน้ำในคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก ๓ (แม่น้ำบางขาม) ตรง กม.๔๙+๘๐๐ หมู่ที่ ๗ ตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี พิกัด ๔๗ PPS ๖๒๖-๔๕๐ ระวาง ๕๑๓๘ IV มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐ ของกรมแผนที่ทหาร สำหรับเก็บกักน้ำไว้ใช้ในการเกษตรในช่วงฤดูแล้ง การอุปโภคบริโภค และ ป้องกันน้ำท่วมพื้นที่เพาะปลูกบริเวณ ฝั่งซ้ายของคลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก ๓ ท้องที่ตำบลเขาสมอคอน และตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ประมาณ ๘,๐๐๐ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาช่องแค) พื้นที่ฝั่งขวาของคลองระบายใหญ่ชัยนาท - ป่าสัก ๓ ท้องที่ตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ประมาณ ๓,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามหาราช) และพื้นที่เพาะปลูก ทางฝั่งขวาของคลองบางคู้ อีกประมาณ ๔,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการฯมหาราช) เป็นการบรรเทาความเดือดร้อนของราษฎร อันเนื่องมาจากปัญหาการขาดแคลนน้ำในการเพาะปลูกพืชในช่วงฤดูแล้งของราษฎรในท้องที่ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี

ทางกลุ่มออกแบบ ส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักชลประทานที่ ๑๐ ร่วมกับเจ้าหน้าที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม ได้ตรวจสอบรายละเอียดและสภาพภูมิประเทศร่วมกับผู้เกี่ยวข้อง รวมทั้งศึกษาข้อมูลทางด้านวิศวกรรมจากแผนที่ มาตราส่วน ๑:๕๐,๐๐๐ ของกรมแผนที่ทหารแล้ว ปรากฏว่ามีความเหมาะสมที่จะทำการก่อสร้างอาคารควบคุมบังคับน้ำ ในลักษณะเป็นประตูระบายน้ำในคลองระบาย ๑ ซ้าย ลพบุรี หรือคลองบางคู้แทน ในท้องที่ หมู่ที่ ๔ ตำบลบางลี่ อำเภอท่าวุ้ง พิกัด ๔๗ PPS ๖๓๘-๔๑๗ ระวาง ๕๑๓๘ IV เพราะจะทำให้เกิดประโยชน์สูงกว่าอาคารฝายกั้นน้ำตามที่ราษฎรร้องขอ ทั้งนี้ได้สรุปขั้นตอนการดำเนินการไว้ ดังนี้

๑. ศึกษารายงานการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ และรายละเอียดของโครงการจากผลพิจารณาโครงการของสำนักแผนงานและโครงการ เพื่อวางแผนการออกแบบและคำนวณ

๒. เดินทางไปในพื้นที่เพื่อสำรวจสภาพพื้นที่ และความต้องการของชาวบ้านในพื้นที่ตามผลพิจารณาโครงการ โดยผู้เสนอผลงานร่วมพิจารณาและสำรวจความต้องการของชาวบ้านในพื้นที่ โดยนำข้อมูลที่มีอยู่จากรายงานสำนักแผนงานและโครงการ เกี่ยวกับระดับน้ำสูงสุด ระดับน้ำต่ำสุด ปริมาณน้ำท่า อัตราการไหลของน้ำในคลองที่เกี่ยวข้อง ปริมาณน้ำฝน ศึกษาสภาพภูมิประเทศ จำนวนประชากรในพื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบในการก่อสร้างประตูระบายน้ำ

๓. กำหนดขอบเขตการสำรวจภูมิประเทศ ปฐพีวิทยา และธรณีวิทยา เมื่อได้ที่ตั้งของประตูระบายน้ำ ทำนบปิดกั้นลำน้ำเดิม อาคารป้องกันตลิ่ง และแนวคันกั้นน้ำแล้ว ทำการกำหนดแนวที่จะส่งสำรวจภูมิประเทศ โดยกำหนดให้สำรวจผังบริเวณ มาตราส่วน ๑:๕๐๐ เพื่อออกแบบประตูระบายน้ำ มีการเจาะสำรวจชั้นดินถึงชั้นดินแข็ง เพื่อหาความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน และทำการสำรวจแปลน ทำการสำรวจผังบริเวณ มาตราส่วน ๑:๕๐๐ พร้อมทั้งเจาะสำรวจชั้นดิน เพื่อหาความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน เมื่อได้ผลสำรวจมาแล้วจึงทำการตรวจสอบแนวที่สำรวจกับแนวที่กำหนดให้ ถ้ามีปัญหา เช่น ต้องแก้ไขเปลี่ยนแนวคันกั้นน้ำ จะทำการแก้ไขแนวแล้วส่งสำรวจเพิ่มเติม

๔. ปรึกษาวิธีการกำหนดจุดที่ตั้งประตูระบายน้ำ และอาคารประกอบ กับผู้อำนวยการสำนักชลประทานที่ ๑๐ และทีมงาน เพื่อเสนอแนวทางในการวางตำแหน่งประตูระบายน้ำ และอาคารประกอบ

ร่วมกันสรุปและกำหนดแนวที่ตั้ง รูปแบบของประตูระบายน้ำ และอาคารประกอบ หลังจากได้รูปแบบที่ลงตัวแล้ว ทำการหาที่ตั้งของประตูระบายน้ำ และอาคารประกอบจากแบบสำรวจ เพื่อความถูกต้องทางวิชาการและลดปัญหาในการก่อสร้างที่จะเกิดผลกระทบจากชาวบ้านในพื้นที่

๕. คำนวณออกแบบด้านชลศาสตร์และด้านโครงสร้าง เพื่อกำหนดขนาดรูปร่างของอาคารประตูระบายน้ำ ทำนบปิดกั้นลำน้ำเดิม อาคารป้องกันตลิ่งและคันกั้นน้ำ จากผลสำรวจที่ปรับแก้เรียบร้อย นำข้อมูลมาวางระดับ ขยับปรับแก้ที่ตั้งประตูระบายน้ำ และอาคารประกอบให้เหมาะสม ส่งข้อมูลให้สำนักเครื่องจักรกลออกแบบชิ้นบานระบายน้ำและเครื่องกว้าน จากนั้นจึงทำการออกแบบโครงสร้างหาขนาดพื้น ตอม่อ กำแพงกันดิน สะพาน พื้นโครงยก และอื่นๆ สำหรับประตูระบายน้ำ ออกแบบทำนบปิดกั้นลำน้ำ และออกแบบอาคารประกอบต่างๆ

๖. ตรวจสอบรายการคำนวณ แบบเค้าโครงและการเขียนแบบ เมื่อแบบเค้าโครงสมบูรณ์ติดต่อ ประสานงานโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกะเทียม จังหวัดลพบุรี เพื่อพิจารณาความถูกต้อง เหมาะสมและความครบถ้วน

๗. ผลิตแบบต้นฉบับ เพื่อให้ถูกต้องสมบูรณ์ตามรูปแบบมาตรฐานของสำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม จัดทำแบบแปลนเป็นกระดาษไขเพื่อเป็นต้นฉบับ นำแบบแปลนที่เสร็จเรียบร้อยมาตรวจสอบรายละเอียดการออกแบบและคำนวณให้ถูกต้อง

๘. เสนอการออกแบบ โดยนำแบบแปลนที่เสร็จเรียบร้อย เสนอให้ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักชลประทานที่ ๑๐ พิจารณาตรวจทาน แก้ไขก่อนเสนอแบบแปลนให้ผู้อำนวยการสำนักชลประทานที่ ๑๐ ต่อไป

๙. เห็นชอบการออกแบบ โดยผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักชลประทานที่ ๑๐ นำแบบแปลนเสนอให้ผู้อำนวยการสำนักชลประทานที่ ๑๐ พิจารณาตรวจทานแก้ไขความเรียบร้อย เห็นชอบแบบแปลน

๑๐. อนุมัติ แบบแปลน ผู้อำนวยการสำนักชลประทานที่ ๑๐ อนุมัติ แบบแปลน เพื่อที่จะได้นำแบบไปทำการก่อสร้างต่อไป

ผลสำเร็จของงาน

ผลการดำเนินการ พอสรุปรายละเอียดลักษณะของประตูระบายน้ำ และอาคารประกอบ ตามที่แสดงไว้ในแบบแปลนได้ดังนี้

อาคารหัวงานเป็นประตูระบายน้ำ ขนาด ๕.๐๐ x ๖.๐๐ เมตร จำนวน ๑ ช่อง สามารถระบายน้ำได้ ๓๐ ลูกบาศก์เมตร/วินาที โดยมีบายระบายเป็นแบบบานตรง พร้อมเครื่องกว้านบายระบาย และมีสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับติดตั้งเครื่องกว้านบานระบาย รวมทั้งมีสะพานรถยนต์ที่มีความกว้าง ๔.๘๐ เมตร ยาวทั้งหมด ๑๔๒ เมตร วางบนตอม่อข้ามสันประตูระบายน้ำเพื่อใช้ในการบำรุงรักษา มีกำแพงกันดินสูง ๗.๐๐เมตร พร้อมทั้ง มีทำนบดินปิดกั้นลำน้ำเดิมของปากคลองบางคู้และอาคารป้องกันตลิ่งด้านท้ายน้ำ

การนำไปใช้ประโยชน์

๑. โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาโคกกระเทียม สามารถนำแบบแปลนไปจัดเตรียมทำประมาณการราคาค่าก่อสร้าง เพื่อนำไปดำเนินการก่อสร้างตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์

๒. ประตูระบายน้ำปากคลองบางคู้ สามารถระบายน้ำส่วนที่เกินได้และเก็บกักน้ำตามวัตถุประสงค์และสามารถกักเก็บน้ำตามลำน้ำได้ประมาณ ๕๐๐,๐๐๐ ลูกบาศก์เมตร โดยช่วยแก้ไขบรรเทาความเดือดร้อนของราษฎรจากน้ำท่วมสองฝั่งของปากคลองบางคู้และแม่น้ำบางขามพื้นที่ประมาณ ๕๐,๐๐๐ ไร่

๓. ประตูระบายปากคลองบางคู้ ทำหน้าที่เป็นอาคารบังคับน้ำได้ตามวัตถุประสงค์

๔. เป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และการเลี้ยงสัตว์

๕. เพื่อเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำจืด เป็นการช่วยเสริมรายได้และแหล่งอาหารโปรตีนให้แก่ราษฎร

๖. ช่วยยกฐานะความเป็นอยู่ของราษฎร

ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

ประตูระบายน้ำปากคลองบางคู้ เป็นอาคารส่วนหนึ่งของโครงการกักเก็บน้ำไว้ใช้ในการเกษตรในฤดูแล้ง การอุปโภคบริโภค และป้องกันน้ำท่วมพื้นที่เพาะปลูกบริเวณฝั่งซ้ายของคลองระบายใหญ่ ชัยนาท-ป่าสัก ๓ ท้องที่ ตำบลเขาสมอคอน และตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ประมาณ ๘,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการ-ส่งน้ำและบำรุงรักษาช่องแค) พื้นที่ฝั่งขวาของคลองชัยนาท-ป่าสัก ๓ ท้องที่ ตำบลมุจลินทร์ อำเภอท่าวุ้ง จังหวัดลพบุรี ประมาณ ๓,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามหาราช) และพื้นที่เพาะปลูกฝั่งขวาของคลองบางคู้ อีกประมาณ ๔,๐๐๐ ไร่ (อยู่ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามหาราช) เป็นการบรรเทาความเดือดร้อนของราษฎร อันเนื่องมาจากปัญหาการขาดแคลนน้ำในการเพาะปลูกพืชในช่วงฤดูแล้ง เพาะพันธุ์ปลาน้ำจืดได้อีกด้วย

ลักษณะของประตูระบายน้ำปากคลองบางคู้มีรายละเอียดดังนี้

อาคารหัวงานเป็นประตูระบายน้ำ ขนาด ๕.๐๐ x ๖.๐๐ เมตร จำนวน ๑ ช่อง สามารถระบายน้ำได้ ๓๐ ลูกบาศก์เมตร/วินาที โดยมีบายระบายเป็นแบบบานตรง พร้อมเครื่องกว้านบายระบาย และมีสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับติดตั้งเครื่องกว้านบานระบาย รวมทั้งมีสะพานรถยนต์ที่มีความกว้าง ๔.๘๐ เมตร ยาวทั้งหมด ๑๔๒ เมตร วางบนตอม่อข้ามสันประตูระบายน้ำเพื่อใช้ในการบำรุงรักษา มีกำแพงกันดินสูง ๗.๐๐เมตร พร้อมทั้ง มีทำนบดินปิดกั้นลำน้ำเดิมของปากคลองบางคู้และอาคารป้องกันตลิ่งด้านท้ายน้ำ

ปัญหาความยุ่งยาก และข้อเสนอแนะของงานสามารถพิจารณาได้ ดังต่อไปนี้

๑. การสำรวจภูมิประเทศมาตราส่วน ๑:๕๐๐ สำหรับการออกแบบขั้นรายละเอียดโครงการประตูระบาย-น้ำปากคลองบางคู้ต้องพิจารณาพื้นที่การสำรวจภูมิประเทศ และทำแผนที่ให้ครอบคลุมเพียงพอในการวางประตู-ระบายน้ำพร้อมองค์ประกอบ ทำนบปิดกั้นลำน้ำเดิม และอาคารป้องกันตลิ่ง เพื่อการควบคุมจัดสรรน้ำและบำรุงรักษาในระยะต่อไป

๒. การสำรวจธรณีวิทยาของโครงการ ปรากฏว่าจะต้องทำการสำรวจทางปฐพีกลศาสตร์ฐานรากและทดสอบเพิ่มเติมตามความเหมาะสมอีกเป็นจำนวนมากเพื่อนำผลการวิเคราะห์ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่สมบูรณ์มาใช้ประกอบการพิจารณาออกแบบขั้นรายละเอียด

๓. การออกแบบประตูระบายน้ำเป็นองค์ประกอบหนึ่งของโครงการที่มีความสำคัญที่สุด ในการพิจารณาออกแบบขั้นรายละเอียดมีรายละเอียดและหลักเกณฑ์ ที่จะต้องดำเนินการทางวิศวกรรมทั้งด้านชลศาสตร์และวิเคราะห์โครงสร้างกล่าวคือ

ก. ด้านชลศาสตร์

อาคารนี้จะต้องตั้งอยู่ในบริเวณที่สามารถบังคับน้ำให้ไหลออกทั้งคลองบางคู้ และคลองบางลี่ โดยที่มีผลกระทบน้อยที่สุดต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งทำให้ต้องมีการคำนวณและวิเคราะห์ทางด้านชลศาสตร์ที่แน่นอน

ชัดเจน ระดับน้ำสูงสุดของคันกั้นน้ำหรือระดับของสันตอม่อประตูระบายน้ำต้องมีระดับที่เหมาะสมสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดด้านเหนือน้ำ อีกทั้งต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่จะต้องออกแบบ ขนาดช่องและจำนวนของประตูระบายน้ำให้สามารถระบายน้ำได้มากกว่าหรือเท่ากับที่ได้วิเคราะห์ไว้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระดับน้ำด้านท้ายน้ำจะต้องไม่ทำให้เกิดผลกระทบจากการระบายน้ำไปท่วมชุมชน แม้กระทั่งอัตราการไหลและทิศทางของกระแสน้ำ ก็จะต้องไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะตลิ่งทั้งสองฝั่งของลำน้ำด้านท้ายน้ำ

ประตูระบายน้ำจะมีแผ่นพื้นทึบน้ำ (APRON) ทั้งทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของตัวตอม่อ แผ่นพื้นทึบน้ำจะต้องมีความยาวตามทฤษฎีของ BLIGH หรือ LANE เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิด PIPING ของดินใต้ฐานรากอาคาร ซึ่งจะต้องกำหนดจากกรณีที่จะเกิดอันตรายแก่ตัวอาคารมากที่สุด (WORST CASE) ให้ได้จากระดับน้ำที่ต่างกันสูงสุดของด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของประตูระบายน้ำ

อาคารลดพลังงานน้ำท้ายประตูระบายน้ำ (ENERGY DISIPATOR STRUCTURE) การออกแบบอาคารลดพลังน้ำ ปกติจะออกแบบให้ประหยัดที่สุดโดยใช้หลักการของการเกิด HYDRAULIC JUMP ความยาวของแผ่นพื้นทึบน้ำหรือแผ่นพื้นคอนกรีตของอาคารจะควบคุมการเกิด JUMP ขึ้นกับปัจจัยทางชลศาสตร์หลายอย่าง เช่น ความเร็วของน้ำและความดันของน้ำ เป็นต้น วิธีการสลายพลังงานมีหลายวิธีด้วยกันที่จะต้องเลือกใช้ออกแบบตามความเหมาะสม สำหรับอาคารประตูระบายน้ำแห่งนี้ ได้พิจารณาออกแบบ STILLING BASIN โดยวิธีการของ USBR ซึ่งใช้โดยทั่วไปในงานของกรมชลประทาน เพื่อให้ทำหน้าที่สลายพลังงานและใช้ FROUDE NUMBER เป็นตัวกำหนดตัวเลือกชนิดของ STILLING BASIN

การป้องกันการกัดเซาะบนพื้นท้องน้ำและด้านข้างของอาคารในส่วนที่ต่อจากแผ่นพื้นทึบน้ำหรือพื้นคอนกรีตด้านท้ายน้ำ และยังอยู่ในระยะขอบเขตอิทธิพลทางชลศาสตร์ของการเกิด HYDRAULIC JUMP คือยังมีความปั่นป่วนการไหล (TURBULENT FLOW) มีคลื่นใต้น้ำและยังมีความเร็วพอที่จะทำความเสียหายได้ จะต้องออกแบบเกี่ยวกับการป้องกันการกัดเซาะ EROSION PROTECTION โดยการคำนวณออกแบบทางชลศาสตร์เกี่ยวกับความเร็วและขนาดหิน สำหรับความยาวของหินเรียงจะใช้เกณฑ์ตามทฤษฎีของ BLIGH สำหรับในส่วนของด้านเหนือน้ำก็เช่นเดียวกัน เนื่องจากความเร็วของกระแสน้ำที่เปลี่ยนแปลง

บานระบายน้ำ ได้แก่ บานปรับระดับน้ำ (REGULATING GATE) ต้องพิจารณาออกแบบบานระบายได้ สามารถปิดบานระบายน้ำทั้งหมดให้พ้นระดับน้ำสูงสุดที่ต้องการระบายน้ำสูงสุด

ตอม่อช่วงกลางของประตูระบายน้ำ ต้องมีการออกแบบให้มีลักษณะด้านเหนือและท้ายน้ำโค้งมน ตามหลักเกณฑ์ทางด้านชลศาสตร์ เพื่อลดการกีดขวางการไหลของน้ำซึ่งมีผลกระทบ ทำให้ปริมาณน้ำผ่านช่องระบายไม่เป็นไปตามที่กำหนด

ข. ด้านวิเคราะห์โครงสร้าง

ประตูระบายน้ำจะต้องมีความมั่นคงปลอดภัยต่อการพลิก (OVERTURNING) และการเลื่อนตัวตามแนวราบ (SLIDING) จากแรงดันของน้ำ แรงยกของน้ำ (UPLIFT PRESSURE) เนื่องจากแรงดันน้ำใต้ฐานและความสามารถของดินฐานรากหรือเข็มรากในการรับน้ำหนักของตัวประตูระบายน้ำ

เนื่องจากผลการเจาะทดสอบดินฐานรากปรากฏว่า ดินฐานรากอาคารประตูระบายน้ำเป็นดินที่ไม่สามารถรับน้ำหนักโดยใช้ฐานราก ชนิดฐานแผ่ได้ และอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กทั้งหมด ประกอบด้วยแผ่นพื้นทึบน้ำ ตอม่อ บานระบายน้ำ สะพานวางบนตอม่อข้ามประตูระบายน้ำ และสะพานโครงยก ซึ่งมีน้ำหนักกดทับรวมทั้งหมดมากกว่าการรับกำลังของดินใต้ฐานราก (BEARING PRESSURE) ต้องใช้เข็มรับน้ำหนักแทน

การออกแบบตอม่อประตูระบายน้ำจะแบ่งออกเป็น ๒ ส่วน คือส่วนบนต้องมีความยาวและกว้างพอเพียงสำหรับการติดตั้งเหล็กนำร่องของบานระบายน้ำและเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ให้เหมาะสมกับเสถียรภาพ (STABILITY) ของสะพานโครงยกของเครื่องกว้านในการปิดเปิดบานระบายน้ำ และอีกส่วนหนึ่งคือตอม่อส่วนล่างต้องมีความกว้างและยาวพอสำหรับ การติดตั้งบานระบายน้ำ และสะพานรถยนต์

การกำหนดจุดที่ตั้ง ระยะ และขนาดของ BLOCKOUT เพื่อการติดตั้งบานระบายน้ำ ให้มีความเหมาะสมสามารถจะดำเนินการยกขึ้นลงปิดเปิดด้วย อุปกรณ์การยก (GATE HOIST) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการกำหนดจุดที่ตั้ง ระยะ และขนาดของแท่นคอนกรีต (CONCRETE SUPPORTS) ติดตั้งอุปกรณ์การยกที่ถูกต้อง การกำหนดจุดที่ตั้งของช่อง STOP LOG ด้านท้ายน้ำสำหรับการยกบานระบายน้ำทำการตรวจซ่อมบำรุงรักษา จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีส่วนของสะพานโครงยกและสะพานรถยนต์ กีดขวางการทำงานของรถยก (LIFTING MACHINE)

๔. การออกแบบอาคารป้องกันตลิ่ง บริเวณด้ายท้ายน้ำฝั่งตรงข้าม

เนื่องจากบริเวณด้านท้ายประตูน้ำฝั่งตรงข้าม มีตลิ่งที่น้ำที่ไหลผ่านประตูระบายน้ำ จะมีพลังงานการกัดเซาะยังหลงเหลืออยู่จากการลดพลังงานโดยอาคารสลายพลังงานด้านท้ายน้ำแล้ว ทำให้เกิดการกัดเซาะผิวดินขึ้นมาได้ จำเป็นที่จะต้องป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบต่อตลิ่ง ณ บริเวณนี้ จึงได้ออกแบบให้มีคอนกรีตล้วนปนหินใหญ่ไม่เกิน ๖๐% พร้อมมีเอ็น คอนกรีตเสริมเหล็ก รองรับ และใช้หินเรียงหนา ๐.๔๐ เมตร ปนกรวดปนทรายรองพื้นต่อจากคอนกรีตล้วนปนหินใหญ่ทั้งด้านหน้าและด้านท้ายอาคาร เพื่อป้องกันการกัดเซาะ

๕. การออกแบบทำนบดินปิดกั้นลำน้ำเดิม

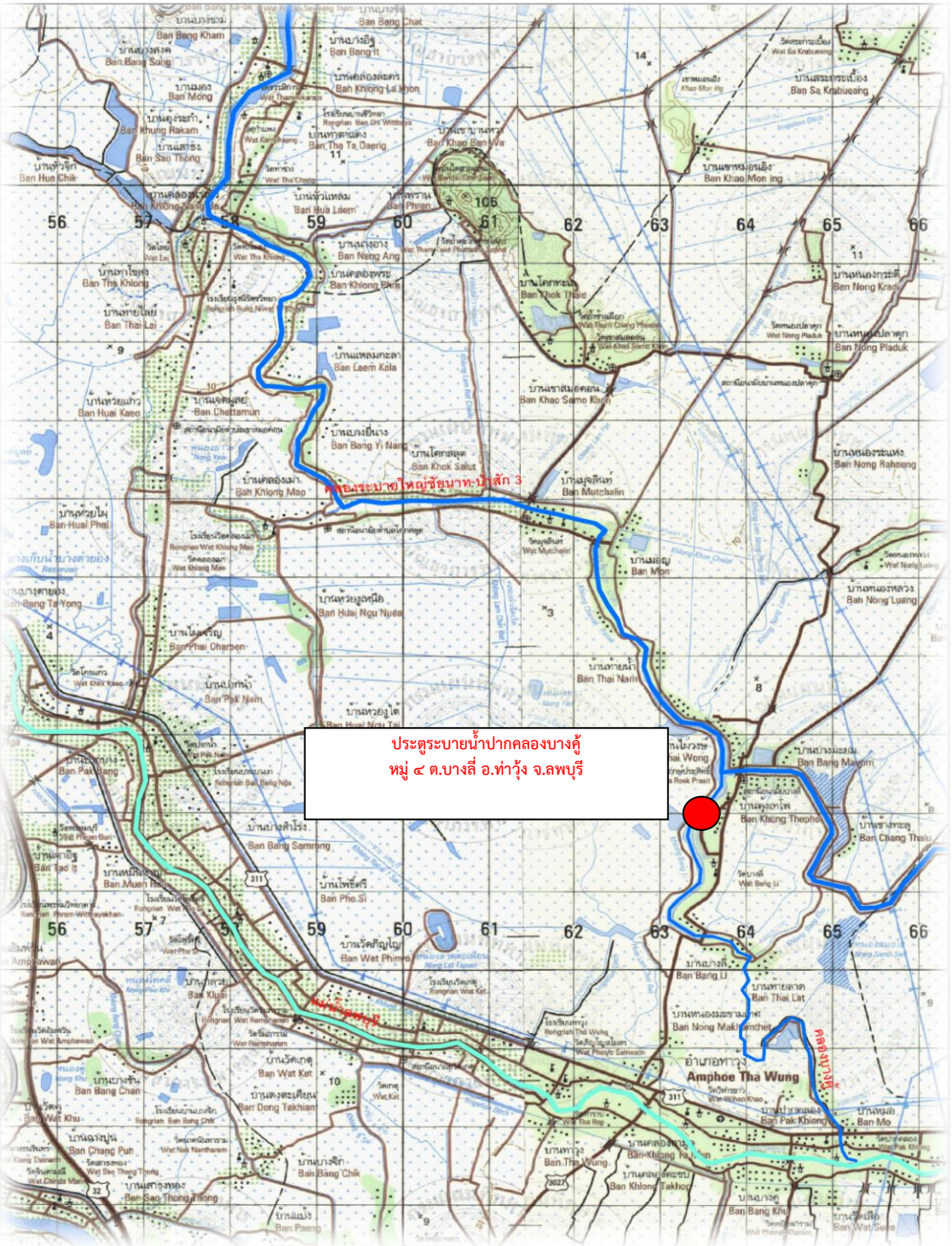
ในการออกแบบประตูระบายน้ำปากคลองบางคู้นี้ ลักษณะและขนาดของตัวทำนบดิน จะต้องมีความกว้างที่เหมาะสมมีระยะพ้นน้ำและระดับสันทำนบที่ถูกต้องรวมทั้งจะต้องเผื่อการทรุดตัวอันเนื่องมาจากน้ำหนักของตัวทำนบเอง

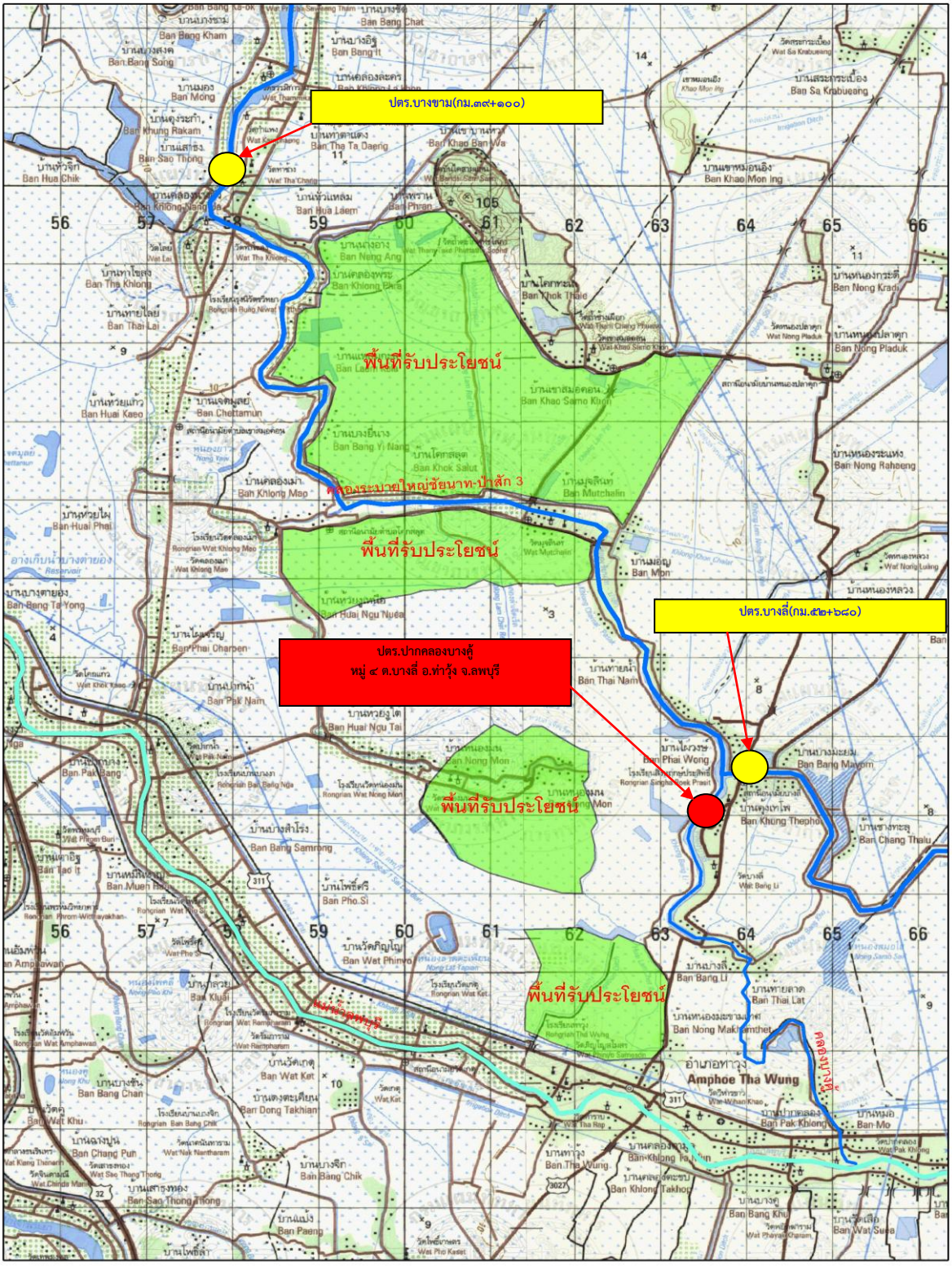
ความลาดของทำนบทั้งด้านหน้าและด้านหลังต้องทำการวิเคราะห์ความมั่นคง (SLOPE STABILITY ANALYSIS) เพื่อที่จะกำหนดค่าความลาดของทำนบ ให้มีความปลอดภัยจากการพังทลายทุกกรณี โดยมีค่าความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่มั่นใจอย่างเพียงพอ

ข้อเสนอแนะ

ในการที่จะได้ข้อมูลในการออกแบบที่ดีนั้น ผู้ออกแบบจะต้องออกไปดูงานในภาคสนาม ตั้งแต่ได้รับผลสำรวจทางภูมิศาสตร์ เพื่อที่จะกำหนดตำแหน่งที่ ตั้งของอาคาร กำหนดหลุมเจาะทางธรณี รวมทั้งจะได้ทราบถึงสภาพภูมิประเทศที่แท้จริง สภาพลำน้ำทั้งทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ และสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่จะมีผลกระทบต่อการคำนวณออกแบบ พร้อมกันนั้นควรให้ประชาชนในพื้นที่มีส่วนร่วมในการดำเนินการ เพื่อที่จะให้ประชาชนในพื้นที่ได้ทราบประโยชน์ของโครงการ ผลกระทบที่จะเกิด ร่วมกันหาทางออกที่ดี ซึ่งจะทำให้ลดปัญหาเรื่องที่ดินและเรื่องอื่นๆ ในการก่อสร้างอาคารต่างๆ

ถ้ามีโอกาสผู้ออกแบบควรที่จะได้ไปดูงานในสนามระหว่างมีการก่อสร้าง อาคารประตูระบายน้ำ และอาคารประกอบต่างๆที่ออกแบบไว้ เพื่อที่จะได้ทราบถึงผลงานที่ผู้ออกแบบได้คำนวณไว้ว่าถูกต้องตามหลักวิชาการหรือไม่ จะต้องมีการทบทวน เพิ่มเติม หรือปรับปรุงการคำนวณออกแบบให้ดียิ่งขึ้นต่อไป


ประตูระบายน้ำปากคลองบางคู้
หมู่ ๔ ต.บางลี่ อ.ท่าวุ้ง จ.ลพบุรี
คลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก 3
อำเภอท่าวุ้ง
Amphoe Tha Wung


ปตร.บางขาม(กม.๓๙+๑๐๐)
พื้นที่รับประโยชน์
คลองระบายใหญ่ชัยนาท-ป่าสัก 3
พื้นที่รับประโยชน์
ปตร.บางลี่(กม.๕๒+๖๘๐)
ปตร.ปากคลองบางคู้
หมู่ ๔ ต.บางลี่ อ.ท่าวุ้ง จ.ลพบุรี
พื้นที่รับประโยชน์
พื้นที่รับประโยชน์
แม่น้ำน้อย
Amphoe Tha Wung
ทล.๓๑๑