

บทที่ 6

การวิเคราะห์ข้อมูลและผลการศึกษา

6.1 บทนำ

การวิเคราะห์การกักเขาะที่เกิดขึ้นต่อตัวอย่างสะพานและท่อลอด อันได้หยิบยกมาเป็นกรณีศึกษานี้ ได้แยกพิจารณาออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่สามารถวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีและสูตรใดสูตรหนึ่งหรือวิเคราะห์ด้วยสูตรหลาย ๆ สูตรรวมกันประกอบกับข้อมูลจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากภาพถ่าย กลุ่มกรณีศึกษาที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้เป็นตัวอย่างกรณีศึกษาของสะพานทั้งหมด ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งได้แก่กลุ่มที่ไม่สามารถวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีและสูตรโดยตรงเนื่องจากไม่มีข้อมูลเพียงพอ แต่สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยสภาพการณ์ที่เกิดขึ้นจากภาพถ่ายโดยอ้างอิงหลักวิชาการ ด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ ตัวอย่างกรณีศึกษาที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้เป็นตัวอย่างกรณีศึกษาของท่อลอดทั้งหมด อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ภาพให้ความจำกัดทางด้านข้อมูล การวิเคราะห์คำนวณจึงเป็นไปได้อย่างหยاب ๆ ซึ่งเพียงพอต่อการสรุปถึงสาเหตุของการวิบัติทั้งสะพานและท่อ

6.2 การวิเคราะห์การกักเขาะโดยทฤษฎีและสูตร

การวิเคราะห์การกักเขาะของกรณีตัวอย่างศึกษาสะพานด้วยทฤษฎีและสูตร ระดับความถูกต้องขึ้นอยู่กับมูลเหตุ 2 ประการคือ ประการแรกเกี่ยวกับตัวบททฤษฎีที่อ้างถึงและสูตรที่นำมาใช้ เพราะทฤษฎีหรือสูตรเกี่ยวกับการกักเขาะตั้งอยู่บนพื้นฐานของการสมมติและทดลอง ซึ่งมีเงื่อนไขเฉพาะการทดลองนั้น ๆ ประการที่สอง ข้อมูลที่นำมาเป็นตัวแปรของแต่ละสูตร ก็เป็นข้อมูลที่คาดคะเนจากการสมมุติสาเหตุของเหตุการณ์

6.2.1 การคำนวณ

การคำนวณการกักเขาะในกรณีศึกษาทั้ง 4 กรณี ได้ใช้วิชาการที่คล้ายคลึงกัน แตกต่างกันเฉพาะส่วนที่มีเงื่อนไขแตกต่างกันเท่านั้น เป้าหมายของการคำนวณอยู่ที่ความลึกการกักเขาะอาศัยสูตรหลายสูตรที่มีเงื่อนไขไม่ขัดแย้งกับความเป็นจริงมาใช้ร่วมกันและหาค่าเฉลี่ย รายละเอียด

การคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก, ข, ค และ ง ก่อนการคำนวณความลึกกัดเซาะต้องนำ ข้อมูลต่าง ๆ มาวิเคราะห์และหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการคำนวณความลึกกัดเซาะต่อไป เช่น ปริมาณน้ำไหล ความเร็วกระแสน้ำและ Froude number (F_r) ดังที่ได้แสดงไว้ใน ตาราง 6 - 3

6.2.2 การดำเนินการวิเคราะห์

1. สะพานข้ามลำน้ำแม่กก

สะพานข้ามลำน้ำแม่กก ตามแผนที่แสดงว่าโครงการตั้งอยู่ปลายส่วนโค้งลำน้ำก่อน ไหลลงแม่น้ำโขง ตามปกติการกัดเซาะสูงสุดจะเกิดขึ้นทางคานนอกของส่วนโค้ง ตามที่ได้แสดงไว้ในรูป 2-5(ข) ริมตลิ่งฝั่งส่วนโค้งนอกของสะพานจึงถูกกัดเซาะตั้งแต่ฤดูน้ำหลาก ปี 2518 ตามรูป ก-6 และต่อเนื่องถึงปี 2520 บริเวณที่ถูกกัดเซาะกว้างประมาณ 50 เมตร และลึกประมาณ 4.30 เมตร (ดูรูป ก-1 ประกอบ) จากข้อมูลการฝังลึกของเสาเข็มซึ่งไม่ได้รับการยืนยัน พบว่าเสาเข็มเดิมฝังอยู่ในดินประมาณ 9 เมตร หากเป็นเช่นนั้นจริง อย่างน้อยที่สุดน้ำหนักที่เสาเข็มรับได้จะลดลงไป 50% ซึ่งไม่ปลอดภัยสำหรับการใช้งานต่อไป ตามข้อมูลคุณสมบัติดินท้องน้ำสามารถต้านทานแรงกัดเซาะจากกระแสน้ำในความเร็ววิกฤต 1.65 เมตร/วินาที แต่เนื่องจากความเร็วเฉลี่ยในฤดูน้ำหลาก (Flood stage flow) มีค่าระหว่าง 1.82 - 3.048 เมตรต่อวินาที (Simons, 1971) แสดงว่าโอกาสที่ดินท้องน้ำจะถูกกัดเซาะในเวลาปกติมีน้อยมากและความเร็วกระแสน้ำที่คำนวณได้จากปริมาณน้ำไหลสูงสุดในปี 2519 ตามตาราง 6-3 ได้ 1.89 เมตร/วินาที ดินท้องน้ำก็จะถูกกัดเซาะในช่วงฤดูน้ำหลากอย่างแน่นอน จากการตรวจสอบข้อมูลความลึกกัดเซาะด้วยการคำนวณตามผลเปรียบเทียบที่ได้แสดงไว้ในตาราง 6-7 ได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เป็นผลยืนยันว่าสะพานได้รับอิทธิพลทางชลศาสตร์ ปัญหาการกระจายความเร็ว การไหลในหน้าตัดลำน้ำนี้ ความเร็วน้ำที่ใช้ในการออกแบบ ตลอดจนขนาดการป้องกันที่เหมาะสม

2. สะพานข้ามลำน้ำว้า

สะพานข้ามลำน้ำว้า ได้ฟังลงในลักษณะที่โครงสร้างส่วนบนพลิกคว่ำ ต่อม่อถูกกระ กระแทกและหักพัง คงเหลือไว้เพียง 3 ช่วงริมฝั่งตลิ่ง เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นฉับพลันในช่วงเกิด อุทกภัยวันที่ 4-5 กรกฎาคม (ดูรูป ข-18 ประกอบ) และมีรายงานจากผู้พบเห็นว่ารระดับน้ำได้สูงกว่าระดับหลังพื้นสะพาน จากรูป ข-2 จะเห็นได้ว่าตอม่อดับ A, B, C, D มีฐานรากอยู่ในระดับที่

มันคง ต่อม่อดับอื่น ๆ อยู่ในลักษณะที่ไม่มันคงนักเพราะได้ระดับท้องน้ำไม่มากจะเป็นระดับขึ้นหิน ต่อม่อทุกดับจึงตั้งอยู่บนชั้นหิน โดยเฉพาะต่อม่อดับ E และ F มีความหนาชั้นทรายห่อหุ้มเสาเข็ม อยู่เพียง 3.17 เมตร โดยประมาณ ตามที่ได้แสดงไว้ในตาราง 6-1 และปลายเสาเข็มเป็น เหล็กตึ๊กอยู่บนชั้นหิน เมื่อเกิดอุทกภัยในวันที่ 4-5 กรกฎาคม ซึ่งกรมชลประทานวัดปริมาณน้ำ ในบริเวณใกล้เคียงได้ 1,350 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ทำให้คำนวณความเร็วกระแสหน้าขณะนั้น ได้ 2.6 เมตร/วินาที ในขณะที่ดินท้องน้ำสามารถต้านทานความเร็วกระแสหน้าได้ถึงความเร็ววิกฤต 2.0 เมตร/วินาที ตามที่ได้แสดงไว้ในตาราง 6-3 จะพิจารณาได้ว่าค่าความเร็วกระแสหน้า วิกฤตนี้อยู่ในช่วงความเร็วกระแสน้ำหลาก (Flood stage flow) คือ 1.82-3.048 เมตร/วินาที (Simons, 1971) เมื่อเกิดภาวะน้ำหลากธรรมดา ทรายท้องคลองยังคงอยู่ได้ โดยไม่ถูกกัดเซาะ แต่เมื่อความเร็วน้ำมีมากถึง 2.6 เมตร/วินาที จึงเกิดการกัดเซาะต่อม่อ และความลึกกัดเซาะที่คำนวณได้จากสูตรในตาราง 6-7 ซึ่งลึก 2.53 เมตร ก็แสดงว่าขณะที่สะพานแห่งนี้ไม่มีหินห่อหุ้มเสาเข็มอยู่เลย ทำให้ปลายเสาเข็มสัมผัสกับชั้นหินเป็นจุดปลายเล็ก เมื่อแรงกระทำจากแรงดันน้ำด้านข้างเพิ่มขึ้น เนื่องจากแขนโมเมนต์เพิ่มขึ้น ในขณะที่แรงกดจาก น้ำหนักสะพานลดลง เนื่องจากแรงลอยตัวของคอนกรีตที่แช่อยู่ในน้ำ (Submerge) สาเหตุทั้งหมดนี้ทำให้สะพานพังทลายลงมา

เนื่องจากสะพานน้ำว่านี่ตั้งอยู่บนส่วนโค้ง เช่นกันและส่วนโค้งนอก เป็นแนวชั้นหิน (ดูรูป ข-3 ประกอบ) แทนที่สะพานจะถูกกัดเซาะในต่อม่อดับ A, B, C, D ซึ่งอยู่ส่วนโค้ง นอกตามหลักการที่กล่าวมาในข้อ 1 แนวชั้นหินนี้กลับเป็นแผ่นทึบที่ทำหน้าที่หักเหกระแสน้ำไป กัดเซาะฝั่งตรงข้ามทำให้ต่อม่อที่อยู่ฝั่งส่วนโค้งในถูกกัดเซาะและพังทลาย รวมทั้งบริเวณใกล้เคียง ตามที่ได้แสดงไว้ในรูป ข-12 ผลที่ปรากฏจึงเป็นผลลัพธ์ของอิทธิพลด้าน อุทกวิทยาที่มากผิดปกติอย่างน้อยก็รอบ 5 ปี ตามข้อมูลสถิติน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาในตาราง ข-3 และด้านธรณีวิทยา ที่มีผลเมื่อแรงน้ำมากระทบรุนแรงเท่านั้น

3. สะพานข้ามลำน้ำเลย

สะพานข้ามลำน้ำเลย จากข้อมูลการสำรวจในปี 2521 โครงสร้างได้รับความเสียหายหลายแห่งเช่น เสาเข็มมีรอยแตกร้าว คานแตกร้าว พื้นแตกร้าว สาเหตุทั้งหมดมาจาก ต่อม่อดับ E ซึ่งทรุดลง 26 ซม. และต่อม่อดับ G ซึ่งโยไป 16 ซม. รอยแตกต่าง ๆ จึง เกิดขึ้น เมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2523 สะพานได้พังลงในลักษณะที่ทับลงในที่เดิม

(รูป ก-6) ผลการสำรวจความเสียหายในเวลาต่อมาพบว่าที่ตอม่อดับ E มีหลุมกักเขาะลึกถึง 4 เมตร และตอม่อดับ F มีหลุมกักเขาะลึก 2.0 เมตร การพังของตอม่อดับ G อยู่ในลักษณะพับลง ดังจะเห็นได้ชัดจากรูป ก-9 ส่วนพื้นสะพานก็อยู่ในลักษณะหลุดจากคานรับพื้น (รูป ก-10) จากข้อมูลต่าง ๆ นี้สรุปได้ว่า ตอนเริ่มต้นนั้นบริเวณท้องน้ำถูกกักเขาะทั้งตอม่อดับ E และดับ F จากรูปตัดแสดงความลึกชั้นดินในรูป ก-3 แสดงให้เห็นว่าเฉพาะท้องน้ำช่วงกลางน้ำเท่านั้นที่เป็นทรายละเอียด ส่วนดิน 2 ผัง เดิมเป็นดินเหนียว เมื่อดินท้องน้ำถูกกักเขาะออกไป ดินเหนียวก็เกิดเคลื่อนตัว (Slide failure) แรงเคลื่อนตัวของดินเหนียวทำให้ตอม่อดับ G เกิดการเคลื่อนตัวด้วยในปี 2521 เมื่อถึงปี 2523 การกักเขาะอาจรุนแรงขึ้นหรืออาจกักเขาะในอัตราเดิม แต่การเคลื่อนตัวของดินริมฝั่ง เข้าแทนที่ทรายกลางน้ำที่ถูกกักเขาะ ยังคงดำเนินการต่อไป แรงเคลื่อนตัวนี้อาจมากระทำต่อตอม่อดับ E และ F ด้วย เมื่อตอม่อดับ E หลุดลงจากเดิมอีกและตอม่อดับ G เคลื่อนตัวมากขึ้น โครงสร้างส่วนบนที่ตั้งบนตอม่อในลักษณะ Free end bearing ก็จะถูกออกและพังลงกระแทกตอม่อหักไป จากตาราง 6-3 ความเร็วกระแสน้ำที่คำนวณจากข้อมูลในคุณสมบัติของทางน้ำได้ 4.19 เมตร/วินาที ซึ่งเป็นความเร็วกระแสน้ำที่ค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับผลการสำรวจของ USGS อยู่ในกลุ่มต่ำกว่า 1% ของจำนวนข้อมูลสำรวจ 2,950 แห่ง (Simons ,1971) ฉะนั้น หากการออกแบบได้มีข้อมูลคุณสมบัติทางน้ำนี้ก่อนและทราบชนิดชั้นดินที่ แท้จริงก็จะช่วยลดความรุนแรงลงได้ สะพานอาจไม่เกิดการพังทลาย

4. สะพานข้ามคลองตรอน

สะพานข้ามคลองตรอน เป็นสะพานที่ตั้งอยู่ในสภาพพื้นที่คล้ายคลึงกับสะพานข้ามลำน้ำกก ตอม่อดับที่มีปัญหาเป็นตอม่อริมฝั่งด้านส่วนโค้งนอกของลำน้ำการกักเขาะทำให้ตอม่อริมฝั่งทรุดตัว หลังจากที่สะพานได้รับการซ่อมสร้างเพื่อต่อให้สะพานมีความยาวเพิ่มขึ้น ลึกเข้าไปในตลิ่ง การกักเขาะก็ยังคงเกิดขึ้นและดำเนินการต่อไปในจุดเดิม ทำให้ตอม่อดับ F ซึ่งเป็นตอม่อดับที่อยู่ใกล้ตอม่อริมฝั่งเดิมทรุดตัว วัดได้ 27 ซม. แต่ไม่มีความเสียหายอื่น ๆ เกิดขึ้น จากการเปรียบเทียบดินระดับท้องคลองที่สำรวจในปี 2521 และปี 2523 ตามที่ได้แสดงไว้ในรูป ง-2 จะพบว่าจุดในตำแหน่งที่ตั้งของตอม่อดับ F ถูกกักเขาะถึง 9.10 เมตร ในขณะที่ความลึกเสาเข็มที่ฝังอยู่ใต้ระดับดินเดิมมีความยาวเพียง 10 เมตร ตามที่ได้แสดงไว้ในตาราง 6-1 เมื่อเป็นเช่นนี้จะคงเหลือความยาวเสาเข็มส่วนที่จะฝังอยู่ในดินเพียง 0.90 เมตร ตอม่อจึง

ตาราง 6-1 รายละเอียดขนาดโครงสร้างค่อมและเสาเข็มแต่ละโครงการ

โครงการ	ความลึกเสาเข็ม (เมตร)	ขนาดค่อม (เมตร)	หมายเหตุ
ตัวอย่าง A	9.0	1.15	ค่อมส่วนที่อยู่เหนือฐานมีความกว้าง 0.54 ม. และเสาเข็มแต่ละต้นมีขนาด 0.35 ม. แต่เนื่องจากมีสวะมาพันเสาเข็มทำให้ต้องใช้ขนาดความกว้างของกลุ่มเสาเข็มเป็นค่า b ความลึกเสาเข็มวัดจากผิวดินขณะก่อสร้าง
ตัวอย่าง B	3.17	1.95	
ตัวอย่าง C	10.0	1.95	
ตัวอย่าง D	10.0	1.95	

ตาราง 6-2 คุณสมบัติของดินท้องน้ำที่โครงการตั้งอยู่

โครงการ	D_{50} (mm.)	ประเภทดิน	ความหนาชั้นดิน	r_s
ตัวอย่าง A	5.05	ทรายละเอียด	3.0	2.64
ตัวอย่าง B	0.6	ทรายละเอียด	-	2.68
ตัวอย่าง C	0.1	ทรายละเอียด	7.0	2.71
ตัวอย่าง D	0.04	ดินปนทราย	-	1.91

ตาราง 6-3 ข้อมูลตัวแปรทางชลศาสตร์ในการคำนวณความลึกการกักเขาะ

ข้อมูล	สัญลักษณ์	หน่วย	ตัวอย่างสะพาน				แหล่งข้อมูลหรือการคำนวณและหมายเหตุ
			A	B	C	D	
1. คุณสมบัติทางน้ำ							
- ความลาดท้องน้ำ	S	-	-	-	0.0002825	0.000452	จากแผนที่ 1 : 50,000 ช่องกรมแผนที่ วิเคราะห์และคำนวณจากระดับน้ำช่วง ภาวะวิกฤต, ระดับดินท้องน้ำ ความกว้างผิวน้ำในภาวะน้ำหลากหลัง ก่อสร้างสะพาน คำนวณจากข้อมูลในช่วงภาวะน้ำหลาก
- ความลึกการไหล	h	m	4.7	13.85	16.3	8.8	
- พื้นที่หน้าตัด	A	m ²	394.92	572	884.375	461.60	
- ความกว้างทางน้ำ	B ₁	m	104.30	112.0	99.6	68.0	
- ความกว้างทางน้ำ	B ₂	m	97.82	108.22	95.28	65.30	
- ความลึกชลศาสตร์	D	m	-	5.107			
2. คุณสมบัติการไหล							
- อัตราการไหล (ข้อมูล)	Q	m ³ /s	748.4	1350	-	-	สถานีวัดน้ำ-ขป/สพข. ผลการคำนวณจากข้อมูลคุณสมบัติทางน้ำ คำนวณจากข้อมูลคุณสมบัติทางน้ำและคุณสมบัติการไหล ค่าความเร็ววิกฤตสำหรับดินท้องน้ำแต่ละสะพาน ค่าจากการคำนวณ
- อัตราการไหล (คำนวณ)	Q	m ³ /s	1051.098	1350	3410	1856.41	
- ความเร็วการไหล (ข้อมูล)	V	m/s	1.89	2.60	4.19	4.24	
- ความเร็วการไหล (คำนวณ)	V	m/s	1.65	2.0	-	1.585	
- Froude Number	F _r	-	0.278	0.22	0.33	0.456	

ตาราง 6-4 ตารางแสดงสูตรต่าง ๆ เกี่ยวกับความลึกกัดเซาะ

ลำดับ	เจ้าของสูตร	สมการ	หมายเหตุ
1	Inglis	$S_m/b = 1.70(q/b)^{0.78}$	S_m = Maximum scour depth below water surface
2	Chitala, S.V.	$S_e/b = -0.51 + 6.65F_r - 5.49F_r^2$	S_e = Equilibrium scour depth below river bed F_r = Approach Froude number
3	Laursen	$h_2/h_1 = (B_1/B_2)^{6/7} (V^2/120h_1^{1/3} D_{50}^{2/3})^{3/7} - 1$	หาความลึกกัดเซาะในลำน้ำที่นิ่งตัว
4	Maza Alvarez & Sanchez	$S_e/b = K_1 K_2 V^2/gb - 30D_g/b$	
5	Breusers	$S_m = 1.4b$	
6	Carsten, M.R.	$S_e/b = 0.546 [(N_s^2 - 1.64)/(N_s^2 - 5.02)]^{5/6}$	$N_s = V/\sqrt{(r_s/r-1)gD_g}$
7	Larras	$S_m = 1.42 Kb^{0.75}$	$K = 1.4$ สำหรับตอม่อเหลี่ยม
8	Liu et al	$S_e/h = 1.1(b/h)^{0.4} F_r^{0.33}$	
9	Chen, A-Han	$S_m/S_e = 2.27 - 0.45 \log(b/D_{50})$	$b/D_{50} \leq 650$

ตาราง 6-5 แสดงตัวแปรที่ต้องใช้ในแต่ละสูตรการคำนวณ

ลำดับ	สูตร	b	Q	V	B	B'	h	γ_s	D	g
1	Inglis	*	*		*		*			
2	Chitala, S.V.	*		*			*			*
3	Laurson			*	*	*	*		*	
4	Maza Alvarez and Sanchez	*		*			*		*	*
5	Breusers	*								
6	Carsten, M.R.	*		*				*	*	*
7	Larras	*								
8	Liu et al	*		*			*			*

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 6-6 สรุปค่าความลึกกัดเซาะ

โครงการ	ความลึกกัดเซาะสมมูลย์ (เมตร)			ความลึกกัดเซาะสูงสุด (เมตร)			ค่าเฉลี่ย		General scour depth	Total scour depth
	Chitala	Carsten	Liu etal	Inglis	Breusers	Larras	S_e	S_m		
ตัวอย่าง A	1.315	0.65	1.42	3.52	1.61	1.42	1.128	2.178	1.3	3.478
ตัวอย่าง B	1.34	1.069	-	-	2.73	3.28	1.205	2.28	0.25	2.53
ตัวอย่าง C	1.087	1.065	-	0.96	2.73	3.28	1.076	2.32	-	-
	2.11	1.065	-	0.458	2.73	3.28	1.58	2.296	-	3.994
ตัวอย่าง D	2.69	1.065	2.59	6.5	2.73	3.28	2.115	4.17	1.20	3.315
	2.92	1.065	3.35	7.865	2.73	3.28	2.445	4.625	4.385	9.01

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 6-7 เปรียบเทียบความลึกก้นเขาที่ได้จากการคำนวณกับที่วัดได้จริง

โครงการ	ความลึกก้นเขา (เมตร)		ความลึกเสาเข็ม (เมตร)
	ค่าที่วัดจริง	ค่าจากการคำนวณ	
ตัวอย่าง A	4.16	3.478	5.24
ตัวอย่าง B	2.67	2.53	3.17
ตัวอย่าง C	4.0	3.99	10.0
ตัวอย่าง D	9.10	9.01	10.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 6-8 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะและสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุของสะพาน

โครงการ	ลักษณะการเกิดอุบัติเหตุ	สาเหตุจากการวิเคราะห์
สะพานข้ามลำน้ำแม่กก	<ul style="list-style-type: none"> - คอม่อริมฝั่งถูกกัดเซาะ เสาค้ำไม่อยู่ในสภาพใช้งานได้ - ดิ่งถูกกัดเซาะ คอสะพานขาด 	<ul style="list-style-type: none"> - สะพานตั้งอยู่บนส่วนโค้งลำน้ำ จุดกัดเซาะอยู่ตรงกับจุดที่มีความเร็วกระแสน้ำสูงสุด - การศึกษาข้อมูลชลศาสตร์ไม่เพียงพอ
สะพานข้ามลำน้ำว้า	<ul style="list-style-type: none"> - โครงสร้างส่วนบนพลิกคว่ำ - คอม่อส่วนล่างถูกกระแทกหักและถอนออก - ริมตลิ่งถูกกัดเซาะ 	<ul style="list-style-type: none"> - เกิดภาวะน้ำหลากสูงสุดในรอบ 5 ปี - การออกแบบพื้นที่รับน้ำไม่เพียงพอ - สภาพทางธรณีวิทยาของที่ตั้งสะพาน เอื้ออำนวยการกัดเซาะ
สะพานข้ามลำน้ำเลย	<ul style="list-style-type: none"> - คอม่อกลางน้ำทรุดตัวและคอม่อริมฝั่ง เคลื่อนตัวในช่วงแรก - โครงสร้างส่วนบนหลุดจากการรองรับSupport ของคอม่อ - สะพานพังทับอยู่ในแนวเดิม 	<ul style="list-style-type: none"> - การศึกษาคุณสมบัติทางน้ำไม่เพียงพอจนเกิดปัญหาด้านชลศาสตร์ - การศึกษาคุณสมบัติชั้นดินในสถานที่ตั้งสะพานไม่เพียงพอ
สะพานข้ามคลองตรอน	<ul style="list-style-type: none"> - คอม่อริมฝั่งทรุดตัวจนใช้งานไม่ได้ 	<ul style="list-style-type: none"> - การศึกษาคุณสมบัติทางน้ำไม่เพียงพอจนเกิดปัญหาด้านชลศาสตร์

ศูนย์วิทยพัชร์ยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกิดการทรุดตัวและใช้งานไม่ได้ หากวิเคราะห์ตามข้อมูลคุณสมบัติทางน้ำ จะคำนวณความเร็ว กระแสน้ำได้ 4.24 เมตรต่อวินาที มากกว่าความเร็วกระแสน้ำที่เกิดขึ้นในลำน้ำเลย ซึ่งเป็น ความเร็วกระแสน้ำที่ค่อนข้างมากในขณะที่ความเร็ววิกฤตของกระแสน้ำที่หินท้องน้ำด้านทานได้ เพียง 1.58 เมตร/วินาที การกัดเซาะจึงเกิดขึ้นค่อนข้างมากและสำหรับสะพานนี้เป็นผล กระทบจากคุณสมบัติทางน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาด้านชลศาสตร์โดยตรง ไม่มีสาเหตุอื่นปะปน

6.2.3 สรุปผลการวิเคราะห์

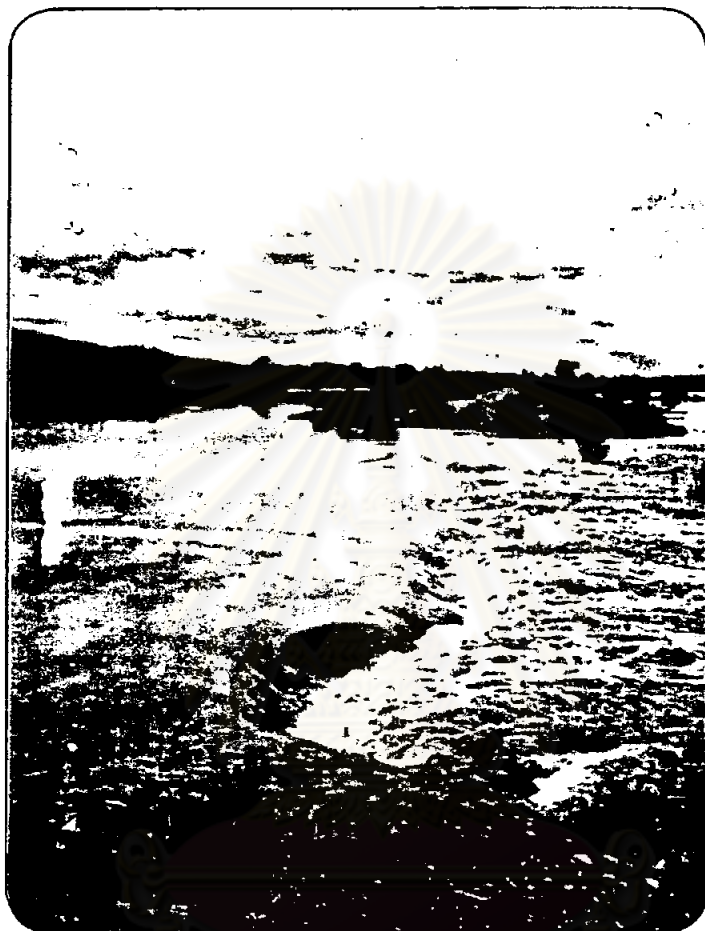
จากการวิเคราะห์ปัญหาการเกิดอุบัติเหตุทั้ง 4 สะพาน เป็นผลกระทบจากอิทธิพล ด้านชลศาสตร์ ปัญหาการศึกษาข้อมูลอุทกวิทยาและปัญหาดำเนินการที่ดึงสะพานตงแสดงรายละเอียด ไว้ในตาราง 6-8

6.3 การวิเคราะห์การกัดเซาะตัวอย่างตลอด

การกัดเซาะตลอดมีขบวนการที่ซับซ้อนและยังไม่มีควมศึกษาเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์ ใด ๆ ที่จะมาบ่งชี้ชัดถึงกลศาสตร์การกัดเซาะตลอดได้หรืออาจกล่าวได้ว่ายังไม่มีหลักการใด ๆ นำมาใช้พิสูจน์พฤติกรรมกัดเซาะที่ปรากฏอย่างถูกต้องได้ จากการพิจารณาลักษณะตัวอย่างปรากฏ การณ์กัดเซาะตลอดที่เกิดขึ้นทั่วไป สามารถแบ่งแยกพฤติกรรมกัดเซาะได้หลายลักษณะ ที่สำคัญ ๆ มี 4 ลักษณะด้วยกันที่ก่อผลเสียหายแก่ตลอดในหลาย ๆ ท้องที่ดังนี้

1. ลักษณะกัดเซาะด้านท้ายน้ำของกระแสน้ำที่ไหลล้นข้ามถนน สาเหตุเพราะการ ออกแบบต่อมีความสามารถในการระบายน้ำไม่เพียงพอต่อปริมาณน้ำหลาก ทำให้ระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น เรื่อย ๆ ทางต้นน้ำ จนไหลล้นข้ามผิวจราจร มีลักษณะคล้ายในรูป 6-1 ลักษณะเช่นนี้จะเริ่ม กัดเซาะจากขอบผิวจราจรด้านท้ายน้ำและลึกลงเรื่อย ๆ ตามโครงสร้างถนนในขณะเดียวกันก็ กัดลึกเข้าไปในผิวจราจรส่วนใน ผลที่สุดถนนจะขาดใช้สัญจรไม่ได้ สภาพหลังการกัดเซาะที่ ปรากฏนั้น พื้นที่ที่ถูกกัดเซาะจะมีบริเวณกว้าง ถนนขาดเป็นช่วงยาว นับว่าเป็นลักษณะกัดเซาะที่ ค่อนข้างรุนแรง จากตัวอย่างตลอดที่ได้รับความเสียหายในหลาย ๆ ท้องที่ จำนวน 57 ตัวอย่าง ปรากฏว่ามีท้องที่ได้รับความเสียหายจากการกัดเซาะประเภทนี้ 20 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 34.5 ของตัวอย่างท้องทั้งหมด

2. ลักษณะกัดเซาะด้านท้ายน้ำอันเกิดจากแรงลำน้ำที่พุ่งออกจากปากทางออก



รูป 6-1 ลักษณะน้ำไหลล้นข้ามถนน และกีดขวางด้านท้าย
น้ำ เป็นเหตุให้ถนนขาด สาเหตุมาจากการออกแบบพื้นที่รับน้ำไม่เพียงพอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 6-2 การกีดเขาะปากทางน้ำออกของท่อ ทำให้ดินรองรับท่อหาย ท่อทรุด และถนนขาด



รูป 6-3 น้ำกีดเขาะตามรอยต่อของท่อ เริ่มต้นจากจุดเล็ก และขยายจนกลายเป็นหลุมใหญ่

(Outlet) ของท่อ เป็นลักษณะกัดเซาะที่พบมากที่สุด เริ่มกัดเซาะจากจุดใต้ท่อและขยายใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ จนดินที่รองรับท่อถูกกัดเซาะออกไปด้วย เมื่อการกัดเซาะดำเนินไปในช่วงระยะเวลาหนึ่งท่อที่ดินรองรับน้อยจนไม่อาจอยู่ในสภาวะสมดุลจะแยกออกและตกในบริเวณใกล้เคียง ผิวจราจรที่อยู่ส่วนบนจะยุบตัวลง เป็นเช่นนี้เรื่อยไปจนถนนขาด สภาพหลังการกัดเซาะ จะสังเกตเห็นท่อเรียงรายอยู่ในแนวเดิม มีดินผิวจราจรทับถมอยู่เป็นบางส่วน พื้นที่กัดเซาะน้อย ช่วงถนนที่ขาดมักมีความยาวใกล้เคียงกับผลรวมของความกว้างท่อในจุดนั้น ๆ ดังแสดงไว้ในรูป 6-2 จากตัวอย่างท่อลอดที่ได้รับความเสียหายจากการกัดเซาะประเภทนี้มี 35 ตัวอย่างในจำนวนตัวอย่างท่อทั้งหมด 57 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 60.35 ของตัวอย่างท่อทั้งหมด

3. ลักษณะกัดเซาะที่ปรากฏจุดกัดเซาะช่วงกลางของท่อ ส่วนใหญ่จะเป็นไปตามรอยต่อระหว่างท่อ อาจเนื่องมาจากการบดอัดที่ไม่ดีพอหรือการอุดรอยต่อที่ไม่พิถีพิถัน จนมีน้ำซึมออกตามรอยต่อ เมื่อเวลาผ่านไปดินบริเวณนั้นจะอ่อนตัวและรอยร้าวขยายตัวเพิ่มขึ้นพร้อมกัน ผิวจราจรที่จุดนั้นจะยุบตัวลงในที่สุดและกัดเซาะต่อจนเป็นร่องยาว ดังที่ได้แสดงไว้ในรูป 6-3 ลักษณะความเสียหายจะไม่รุนแรงนัก อาจปรากฏเพียงหลุมบนผิวจราจรเท่านั้น การกัดเซาะลักษณะนี้มีน้อย โดยจะเห็นได้จากข้อมูลตัวอย่างท่อ จะพบมีเพียงร้อยละ 5.15 ของตัวอย่างท่อทั้งหมดเท่านั้น

4. ลักษณะกัดเซาะที่น้ำซึมไปตามผิวต่อระหว่างท่อทับดินถม ซึ่งผิวทั้งสองเป็นเนื้อวัสดุต่างชนิดกัน แรงยึดเหนี่ยวแทบจะไม่มี หากการบดอัดบริเวณนี้ไม่ดีพอและเมื่อแรงน้ำแทรกซึมเข้าไปทำให้เม็ดดินที่อยู่ตรงรอยต่อถูกแรงน้ำเซาะออกค่อย ๆ ขยายออกเป็นช่องใหญ่จนทำให้ท่อเสียหายในที่สุด

6.3.1 การวิเคราะห์

การวิเคราะห์การกัดเซาะของน้ำต่อท่อลอดในตัวอย่างกรณีศึกษาได้อาศัยลักษณะการกัดเซาะตามที่แบ่งไว้ในหัวข้อ 6.3 และนำภาพถ่ายของแต่ละตัวอย่างมาพิจารณาประกอบ ซึ่งจะวิเคราะห์ได้ว่าโครงการท่อสามารถได้รับความเสียหายอันเกิดจากปัญหาด้านอุทกวิทยา ตามลักษณะการกัดเซาะท่อประเภท 1 ปัญหาด้านชลศาสตร์ตามลักษณะการกัดเซาะท่อประเภท 2 และปัญหาด้านการปฏิบัติตามลักษณะการกัดเซาะท่อประเภท 3 และ 4 ความเสียหายของท่อประเภทต่าง ๆ มีสาเหตุที่ชัดเจน การแก้ไขก็สามารถกระทำได้ตามสาเหตุนั้น

6.3.2 สรุปผลการวิเคราะห์

จากกรณีตัวอย่างศึกษาของท่อ จำนวน 57 ตัวอย่าง ตามที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในตาราง 5-2 สรุปได้ว่าตัวอย่างท่อที่ได้รับความเสียหายจากการกัดเซาะประเภทที่น้ำไหลล้นผิวจราจรและกัดเซาะท่อที่มีจำนวน 20 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 34.5 ของจำนวนท่อทั้งหมด ตัวอย่างท่อที่ได้รับความเสียหายจากการกัดเซาะที่ขายน้ำมีจำนวน 35 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 60.35 ของจำนวนท่อทั้งหมด ตัวอย่างท่อที่ได้รับความเสียหายจากการกัดเซาะของน้ำตามรอยต่อมีจำนวน 3 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 5.15 ของจำนวนท่อทั้งหมด ส่วนท่อที่ได้รับความเสียหายจากการกัดเซาะของน้ำระหว่างผิวท่อกับดิน ไม่ปรากฏหลักฐานที่ชัดเจนจึงไม่สามารถสรุปจำนวนร้อยละได้

จากผลสรุปดังกล่าวจะเห็นได้ว่า กรณีท่อที่ได้รับความเสียหายจากการกัดเซาะที่ขายน้ำ เป็นกรณีที่เกิดขึ้นมากที่สุด รองลงมาได้แก่กรณีการกัดเซาะเนื่องจากน้ำล้นผิวจราจร แต่ผลเสียหายทั้ง 2 กรณี สามารถจะป้องกันได้หากได้เข้าใจถึงคุณสมบัติทางด้านวัสดุศาสตร์และอุทกวิทยาในสถานที่ก่อสร้างอย่างเพียงพอ ตามที่ได้สรุปไว้ในตาราง 6-9

ตาราง 6-9 สรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะและสาเหตุการเกิดวัชพืชของท่อลอด

ประเภท	ลักษณะการเกิดวัชพืช	%ที่เกิด	สาเหตุจากการวิเคราะห์
1	น้ำไหลล้นข้ามถนน เกิดการกัดเซาะผิวจราจรและท่อ ถนนขาดเป็นช่วงยาว	34.5	เนื่องจากการออกแบบพื้นที่ระบายน้ำไม่เพียงพอเป็นผลจากการขาดการศึกษาข้อมูลด้านอุทกวิทยา
2	กระแสน้ำกัดเซาะท้ายน้ำ ดินรองรับท่อถูกกัดเซาะออก และท่อแตกแต่ผิวจราจรอาจไม่ขาด	60.35	เป็นปัญหาด้านชลศาสตร์ ซึ่งสามารถป้องกันได้
3	เกิดการกัดเซาะตามรอยต่อของท่อทำให้ดินรอบรอยต่อหายไป เกิดหลุมบนผิวจราจร	5.15	เป็นปัญหาด้านการปฏิบัติการต่อท่อไม่ดี และการบดอัดถนนไม่เพียงพอ
4	เกิดการกัดเซาะระหว่างรอยต่อของผิวท่อกับดินถม	-	เกิดจากการบดอัดดินถมรอบท่อไม่หนาแน่นพอ