

เอกสารอ้างอิง

Abt, Steven R., and Ruff, James F., "Estimating Culvert Scour in Cohesive Material" Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.108, No.HY1, January, 1982.

American Association of State Highway Officials. "Standard Specifications for Highway Bridges", Tenth edition, 1969.

Baker, C.J., "New Design Equations for scour around Bridge Piers" Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.107, No.HY4, April, 1981.

BATA, C., 1960, "Erezija eke novesadskeg mostovskog stube" (Scour around bridgepiers): Institut za vodoprivredner, Iaroslav Cerai Beozrad Yugoslavia English translation by Markovic field at Colorado State University, Civil Engineering Department Fort Collins Colorado.

Benedict Barry A., Christensen, Bent A., 1972, "Hydrodynamic lift on a stream bed", Sedimentation (Einstein), chapter 5, Edited and Plublished by H.W. Shen, Fort Collins, Colorado U.S.A.

Blaisdell, Fred W., Anderson, Clayton L., Hebaus, George G., "Ultimate Dimension of Local scour", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.107, No.HY3, March, 1981.

- Blaisdell, Fred W., Anderson, Clayton L., "Scour Around Bridge Piers at High Flow Velocities", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.107, No.HY3, March, 1981.
- Breusers, H.N.C., 1965, "Scour around drilling platforms" Bulletin, Hydraulic Research 1964 and 1965, International Association for Hydraulic Research, vol.19, P.276
- Bust, L.G. du 1816, "Principes d'Hydraulique, Paris, p.94
- Carstens, Marion R., "Similarity laws for localized scour", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.92, No.HY3, May, 1966.
- Chabert, J. and Engeldinger P., 1956 "Study of scour around bridge piers" Laboratoire National d'Hydraulique, 6 Quai Watier, Chatou (S. et O.) France.
- Chen, A-Han, 1980 "Local scour around circular piers", Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Chow, V.T., 1959, "Open-channel hydraulics", Mc Graw-Hill Company, Chapter 17
- Christensen, B.A.1973; "Design of scour-free channels on mild slopes", Sediment transportation Proceeding Vol.I, Chapter A-64, International Symposium on river mechanics.
- Coleman, N.L., 1973, "The velocity Defect Law and the Sediment Transfer Coefficient in an open channel" Sediment transportation Proceeding Vol.I, Chapter 28, International

Symposium on river mechanics.

- Einstein, H.A., 1950, "The bed-load function for sediment transportation in open channel flows "U.S.Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Tech. Bulletin No.1026
- Graf, W.H., 1971, "Hydraulics of Sediment Transport", Lehigh University, Mc Graw-Hill book Company.
- G. Lacey, 1930, "Stable Channels in Alluvium", Min. Proc. Inst. Civ. Eng., 1930. Vol.229, P.271.
- Inglis, C.C., Tomas, A.R., and Togleker, D.V.; 1942 "The protection of bridge piers against scour" India Central Irrigation and Hydrodynamic Research Station, Poona, Research Pub. No. 5
- Jain, Subhrash C.C., "Maximum clear-water scour around circular piers", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.107, No.HY5, May, 1981.
- Keutner, C. 1932, "The flow around bridge piers of different shapes and its effects on the river bed" Die Baut ecknik, Vol.10, No.12, March 15 (Translated from the German by E.F. Wilsey, April 22, 1937, U.S.Bureau of Reclamation Report HYD-19, Translation No.40)
- Kikkawa, H., Fukuoka, S., and Sogawa, H., 1973, "Study on localized scour around a bridge pier and its prevention", Sediment transportation Proceeding Vol. I, Chapter 10,

International Symposium on river mechanics.

Larras, J., 1963, "Maximum depth of erosion in shifting beds around river piles "Annales des ponts et chaussees, Vol. 133, No.4, PP.411-424.

Lambe, T.W., and Whitman, Robert V., 1969, "Soil Mechanics"

Laursen, E.M. and Tock, A., 1956, Bulletin No.4, Iowa Highway Research Board, May, 1956.

Laursen, Emmett M., "Scour at bridge crossings", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol.86, No.HY2, February, 1960

Laursen, Emmett M., "An analysis of relief bridge scour", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 89, No.HY3, May, 1963.

Leleavsky, S., 1955, "Introduction to Fluvial Hydraulics" Chapter 5,8.

Liu, H.K., Chang, F.M., Skinner, M.M., 1961, "Effect of bridge construction on scour and backwater", Colorado State University, Fort Collins, Colorado U.S.A.

Maza Alvarez, J.A., Achavarria Alfaro, F.J., 1973, "Contribution to the study of general scour", Sediment transportation Proceeding Vol.I, Chapter 68, International Symposium on river mechanics.

Mirtskhoulava, T.E. 1973, "Scour in river basin and its bed Mechanism forecast", Sediment transportation Proceeding Vol.I, Chapter 8, International Symposium on river mechanics.

- Neil, C.R., 1973 "Guide to bridge hydraulics" Road and Transportation Association of Canada, University of Toronto Press.
- Neill, C.R., 1964 "River-bed scour" Tech. Pub. No.623, Canadian Good Roads Association, Ottawa, Canada.
- Palmer, H., 1970, "Wave-induced scour around natural and artificial objects", University Microfilms International, Ann Arbor, Michigan U.S.A., London, England.
- Posey, C.J., 1949, "Why bridges fail in floods" Civil Engineering, Vol.19, Feb., PP. 42-90.
- Roper, A.T., Schneider, V.R., and Shen, H.W. 1967, "Analytical approach to local scour" Pre-Congress Vol.3 Proc. Paper No. C18, June. for XII Congress of IAHR, Fort Collins, Colorado.
- Schoklitsch, A., Der Wasserbau, V.I., P.126.
- Schwind, R.G., 1962 "The three-dimensional boundary layer near a strut" Gas Turbine Laboratory Report No.67, Massachusetts Institute of Technology.
- Selim Yalin M., and Finlayson, Graham D., 1972, "On the velocity distribution of the flow carrying sediment in suspension" Sedimentation (Einstein), Chapter 8, Edited and Published by H.W. Shen, Fort Collins, Colorado U.S.A.

- Shen, H.W., 1971, "Scour near piers", River mechanics, Chapters, 23
Edited and Published by H.W. Shen, Fort Collins, Colorado
U.S.A., Vol. II
- Shen, H.W., Schneider, V.R., and Karaki, S., 1966 "Mechanics of
local scour" Colorado State University, CER 66 HWS-VRS-
SK 22.
- Shield, A., 1936, "An analysis of Sediment Transportation in the
Light of Fluid Turbulence " by H. Rouse, Sedimentation Div.,
U.S.D.A., Washington, D.C.
- Simons, D.B. and Stevens, M.A., 1971, "Scour Control in Rock Basin
at Culverts Outlets", River mechanics, Chapter 24, Edited
and Published by H.W. Shen, Fort Collins, Colorado U.S.A.
Vol. II
- Simons, D.B., 1971, "River and Canal Morphology" River mechanics
Chapter 20, Edited and Published by H.W. Shen, Fort col-
lins, Colorado U.S.A., Vol. II
- Simons, D.B., Fuat Senturk, 1977, "Sediment transport technology"
Fort Collins, Colorado U.S.A.
- Tison, L.J. 1940, "Scour around bridge piers in rivers" Annales
des Travaux Publics de Belgique (Brussels)
- Victor, D.J. 1973, "Essentials of bridge engineering", Oxford &
IBIT Publishing, INDIA.
- Yaroslavtsiev, see Bata, 1960.

Yen, B.C., 1972, "Spiral Motion in Curved Channels", Sedimentation (Einstein) chapter 22, Edited and Published by H.W. Shen, Fort Collins, Colorado U.S.A.

Yuan S.W., 1976, "Foundations of fluid mechanics" New Delhi, INDIA.

Zhdankus N.T., 1973, "Scouring capacity of flow in narrow open channels" Sediment transportation Proceeding Vol. I, Chapter A-71, International Symposium on river mechanics.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างกรณีศึกษาสะพานข้ามลำแม่กก

ศูนย์วิทยพัธพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

กรณีศึกษาการกัดเซาะของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ามลำน้ำกก

(ตัวอย่างกัดเซาะ A)

ก.1 ลักษณะโครงการและปัญหาการกัดเซาะ

ก.1.1 ลักษณะโครงการ

ตัวอย่างกัดเซาะ A เป็นโครงการสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ามลำน้ำแม่กก ซึ่งเป็นสะพานข้ามแม่น้ำกก บนถนนสายที่เชื่อมระหว่างหมู่บ้านในเวียงของอำเภอเชียงแสนและหมู่บ้านแขวงของอำเภอเวียงของโครงการก่อสร้างอยู่ในเขตอำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย ทางภาคเหนือของประเทศไทย ภูมิประเทศบริเวณก่อสร้างเป็นจุดที่แม่น้ำกกไหลลงบรรจบแม่น้ำโขง ซึ่งอยู่ห่างจากสะพานประมาณ 500 เมตร ทางด้านต้นน้ำเป็นช่วงที่แม่น้ำมีความคดเคี้ยวมาก โดยเฉพาะจุดที่ตั้งสะพานอยู่บนปลายส่วนโค้ง แต่เป็นส่วนโค้งที่มีริศมีมาก เดิมเป็นโครงการในความรับผิดชอบของสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท ต่อมาได้โอนมอบให้กรมทางหลวงแผ่นดินเป็นผู้ดูแลรักษา ส่วนรายละเอียดของโครงการได้แสดงไว้ในตาราง ก-1 และในรูป ก-1

ก.1.2 ปัญหาการกัดเซาะ

ก.1.2.1 ลำดับเหตุการณ์การกัดเซาะ

1. เกิดการกัดเซาะทางฝั่งซ้ายของสะพาน (ตอม่อตัม G) ในเดือนพฤษภาคม 2518
2. หน่วยงานผู้รับผิดชอบได้ทำการแก้ไขโดยตอกเสาเข็มล้อมรอบตอม่อริมตลิ่ง (ตัม G) และถมด้วยดินในเดือนมกราคม 2519
3. ที่ดินใหญ่เพิ่มเติมบริเวณริมตลิ่ง เพิ่มการป้องกันกัดเซาะโดยใช้จ่ายเงินงบประมาณ 2.6 ล้านบาท

<p>ชื่อโครงการ สถานที่ตั้ง</p>	<p>สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ามลำน้ำแม่กก เส้นทาง : บ้านในเวียง - บ้านแซว</p>
<p>รายละเอียดโครงสร้าง</p>	<p>อำเภอ : เชียงแสน จังหวัด : เชียงราย ภาค : เหนือ</p>
<p>รายละเอียดโครงสร้าง</p>	<p>ประเภท : สะพานทางรถวิ่งคู่ มีทางเท้า 2 ข้าง ความกว้าง : ช่วงผิวจราจร 7.0 เมตร ทางเท้ากว้าง ข้างละ 1.50 เมตร ความยาว : การก่อสร้างเดิม 150 เมตร หลังเกิดอุบัติเหตุทาง โครงสร้างได้ซ่อมแซม 60 เมตร ก่อสร้างเพิ่ม เดิม 50.0 เมตร รวมความยาวทั้งสิ้น 210 ม. ลักษณะการก่อสร้าง : คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อ ณ ที่ก่อสร้าง จำนวนตอม่อ : ตอม่อเข็มตอก 14 ตับ หลังต่อเติมแล้วเป็น 18 ตับ จำนวนพื้น : พื้น Slab 10 ช่วง พื้นระบบคาน (Girder) 7 ช่วง</p>
<p>ระยะเวลาก่อสร้าง</p>	<p>เริ่มก่อสร้างเมื่อ 23 เมษายน 2514 ก่อสร้างแล้วเสร็จ เมื่อ 16 กุมภาพันธ์ 2516 ซ่อมแซมและก่อสร้างเพิ่มเติม ระหว่าง 23 พฤษภาคม 2520 ถึง 19 กันยายน 2521</p>
<p>งบประมาณค่าก่อสร้าง</p>	<p>การก่อสร้างครั้งแรก วงเงินงบประมาณ 2.5 ล้านบาท การ ซ่อมแซมและก่อสร้างเพิ่มเติมประมาณ 9 ล้านบาท ค่าตีเข็มพืด และทิ้งหินป้องกันกัดเซาะประมาณ 2.6 ล้านบาท รวมงบประมาณ ทั้งสิ้นประมาณ 7 ล้านบาท</p>
<p>รายละเอียดลำน้ำ</p>	<p>ระดับน้ำต่ำสุด : ที่ระดับ 92.06 ม.(รสม.) ระดับน้ำสูงสุด : - ม.(รสม.) ระดับหลังพื้นสะพาน : 99.0 ม.(รสม.) ระดับท้องน้ำ : - ม.(รสม.) ปริมาณน้ำไหล : ขณะเกิดน้ำหลาก ก่อนเกิดอุบัติเหตุทางโครงสร้าง สำรวจโดยการพลังงานแห่งชาติเป็นข้อมูลดิบ 744 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที</p>
<p>รายละเอียดดินท้องน้ำ</p>	<p>ความกว้างลำน้ำ : ขณะที่มึระดับน้ำสูงสุด 104.30 เมตร ความสูงน้ำ : ขณะเกิดน้ำหลากสูงสุด 4.70 เมตร ประเภท : ดิน SM หรือ Fine sand มีควมหนา 1.5 เมตร ชั้นต่อไปเป็น GM หรือกรวดขนาดเล็กมีความ หนา 2.0 เมตร ต่อจากนั้นเป็นกรวดและหินแข็ง ขนาด : ขนาดทรายท้องน้ำอยู่ระหว่าง 0.1 มม. ถึง 10 มม. เฉลี่ย 5.05 มม.</p>

4. กระแสน้ำรุนแรงขึ้น กัดเขาะเสาเข็มที่ตอกล้อมรอบคอม่อริมฝั่งจนหลุดหายหมด
5. กระแสน้ำกัดเขาะทั้งแนวราบและแนวตั้ง เริ่มจากตำแหน่งระหว่างคอม่อดับ J และ K ลึกเข้าไปจนถึงดับริมฝั่ง (ดับ F) ในรายละเอียดความลึกตามที่แสดงไว้ในรูป ก-6
6. ในเดือนกุมภาพันธ์ 2520 เสาเข็มคอม่อสะพานถูกกัดเขาะจนอยู่ในสภาพที่ไม่อาจรับน้ำหนักได้
7. ขณะเดียวกัน ด้านเหนือน้ำได้มีการกัดเขาะตลิ่ง เริ่มจากจุดที่ห่างจากสะพาน 100 เมตร ลึกเข้าไปในตลิ่ง 50 เมตร ในเดือนกุมภาพันธ์ 2520

ก.1.2.2 ลำดับการแก้ไข

1. การแก้ไขขั้นต้น ได้ซ่อมสร้างคอม่อเดิมที่ถูกกัดเขาะ 5 ดับ คือคอม่อดับ F' - J' มีความยาวรวม 50 ม. โดยทำการสร้างแซมเป็นคอม่อดับ F', G', H', I', J' มีความยาว 60 เมตร ใช้งบประมาณ 1.9 ล้านบาท
2. ก่อสร้างเพิ่มเติมจากเดิมให้ลึกเข้าไปในตลิ่งอีก 50 เมตร โดยเพิ่มคอม่อดับ A' - E' ฉะนั้นรวมความยาวสะพานครั้งสุดท้ายจะมีความยาว 210 เมตร
3. ทิ้งหินตลิ่งฝั่งซ้ายมือ ด้านอำเภอเชียงแสนตลอดแนวทางเหนือน้ำ รวมความยาว 340 เมตร

ก.2 ข้อมูลสำหรับการศึกษา

ข้อมูลในที่นี้แบ่งออกเป็นข้อมูลด้านโครงสร้าง ข้อมูลด้านอุทกวิทยาและข้อมูลทางปฐพีศาสตร์ ส่วนหลักฐานที่เป็นสิ่งบ่งชี้หรือร่องรอยการกัดเขาะ มักได้แก่รูปถ่ายและข้อมูลสำรวจ (Surveying data) แหล่งที่มาของข้อมูลแยกออกตามประเภทข้อมูลคือ

ก.2.1 ข้อมูลด้านโครงสร้าง

ข้อมูลโครงสร้างแบ่งออกเป็นข้อมูล 2 ชุด ชุดหนึ่งเป็นข้อมูลโครงสร้างเดิม ซึ่งค่อนข้างหาได้ยากเนื่องจากก่อสร้างมานาน อีกชุดหนึ่งเป็นข้อมูลการซ่อมสร้างต่อเติมสะพานหลังเกิดการกัดเซาะและเกิดวิบัติทางโครงสร้าง เนื่องจากเป็นช่วงระยะที่ไม่แน่นอนเกินไปนัก หลักฐานหลาย ๆ อย่างจึงสามารถตรวจสอบได้ เช่น บันทึกการตอกเสาเข็ม โดยเฉพาะตัก G ซึ่งเป็นตักที่อยู่ในกลุ่มที่เกิดการกัดเซาะและได้แสดงรายละเอียดประกอบไว้ในรูป ก-8

ก.2.2 ข้อมูลทางอุทกศาสตร์

ข้อมูลทางอุทกศาสตร์ นอกจากข้อมูลบางประการ เช่นระดับน้ำสูงสุด ระดับน้ำต่ำสุด และอื่น ๆ ที่เป็นข้อมูลสำรวจไว้แต่เดิมก่อนการก่อสร้างโครงการ ข้อมูลขณะเกิดวิกฤตการณ์ช่วงน้ำหลากไม่สามารถเสาะหาหลักฐานเกี่ยวกับระดับน้ำในบริเวณนั้นที่แน่นอนได้ เนื่องจากไม่ได้สำรวจไว้ ต้องอาศัยการสอบถามชาวบ้านบริเวณใกล้เคียงประกอบพร้อมหลักฐานอื่นแล้วประเมินระดับน้ำออกมา พอเชื่อกันได้ว่าระดับน้ำอยู่ใกล้ท้องคาน ส่วนอัตราน้ำไหล (Q) ใช้สถิติจากการบันทึกของสำนักงานพลังงานแห่งชาติ ณ สถานีวัดน้ำบ้านท่ากก ตั้งอยู่ทางเหนือห่างจากที่ตั้งสะพานประมาณ 10 กม. ดังแสดงไว้ในรูป ก-7 ส่วนหลักฐานที่ได้จากรูปถ่าย พอสรุปได้ว่าขณะเกิดการกัดเซาะมีเศษสวะกิ่งไม้ ติตรอบบริเวณฐานรากและเสาเข็ม

ก.2.3 ข้อมูลด้านปฐพีศาสตร์

หลังการกัดเซาะได้มีการเจาะตรวจสอบชั้นดิน เพื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้างดินท้องถิ่น โดยเฉพาะจุดกัดเซาะ และได้สรุปเป็นรูป ก-8 ซึ่งแสดงชนิดและความหนาชั้นดินบริเวณกัดเซาะไว้

ก.3 การวิเคราะห์การกัดเซาะ

ข้อสมมุติฐานในตัวแปรเพื่อการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. การก่อสร้างสะพานข้ามแม่น้ำแม่กก เดิมไม่ได้รวบรวมหลักฐานไว้แต่จากคำบอกเล่าของผู้เกี่ยวข้องพอสรุปได้ว่าระยะความยาวของเสาเข็มที่ฝังลึกอยู่ในระดับผิวดินประมาณ 9.0 เมตร เมื่อมีการซ่อมสร้าง ความยาวเสาเข็มที่ตอกได้ฝังลึกอยู่ในดินเฉลี่ยประมาณ 5.0 เมตร ตามรูป ก-8 ซึ่งตรงกับข้อเท็จจริงที่ได้มีการสำรวจในเวลาต่อมาว่าความลึกกัดเซาะมีค่าประมาณ

ตาราง ก-2 รายละเอียดโครงสร้างสะพานน้ำกก เมื่อสร้างเสร็จครั้งแรกในปี 2516

ดอม่อ	ตำแหน่งที่	ระดับดินเดิม ม.(รสม.)	ระดับดินใหม่ ม.(รสม.)	ช่วงคาน (ม.)	ประเภท โครงสร้างพื้น	ประเภทโครงสร้างดอม่อ	ประเภทฐานราก	หมายเหตุ
F	0/000	93.2	89.26	10.0	Slab	ดอม่อริมฝั่ง	ฐานเข็มกลุ่ม	ระดับและตำแหน่ง กม. เป็นค่า สมมุติเฉพาะโครงการเกิดการ กัดเซาะที่ดอม่อดับ F-J
G	0/010	93.4	89.06	10.0	Slab	ดอม่อเสาธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
H	0/020	93.0	89.56	10.0	Slab	ดอม่อเสาธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
I	0/030	93.4	89.26	10.0	Slab	ดอม่อเสาธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
J	0/040	93.2	89.76	10.0	Slab	ดอม่อเสาธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
K	0/050	94.712	94.712	15.0	T-Girder	ดอม่อกำแพงกันขุ่น	ฐานเข็มกลุ่ม	
L	0/065	94.791	94.791	20.0	T-Girder	ดอม่อกำแพงกันขุ่น	ฐานเข็มกลุ่ม	
M	0/085	95.182	95.182	15.0	T-Girder	ดอม่อกำแพงกันขุ่น	ฐานเข็มกลุ่ม	
N	0/100	95.694	95.694	10.0	Slab	ดอม่อเสาธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
O	0/110	96.143	96.143	10.0	Slab	ดอม่อเสาธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
P	0/120	96.582	96.582	10.0	Slab	ดอม่อเสาธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
Q	0/130	96.802	96.802	10.0	Slab	ดอม่อเสาธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
R	0/140	97.823	97.823	10.0	Slab	ดอม่อเสาธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
S	0/150	99.213	99.213	10.0	Slab	ดอม่อริมฝั่ง	ฐานเข็มกลุ่ม	

ตาราง ก-3 รายละเอียดโครงสร้างสะพานน้ำกก (เมื่อมีการซ่อมสร้างภายหลังการกักเขาะเมื่อปี 2521)

ตอม่อ	ตำแหน่งที่	ระดับดินเดิม (ม.)	ระดับดินใหม่ (ม.)	ช่วงคาน (ม.)	ประเภท โครงสร้างพื้น	ประเภทโครงสร้างตอม่อ	ประเภทฐานราก	หมายเหตุ
A	-0/060	98.569	98.569	10.0	Slab	ตอม่อริมฝั่ง	ฐานเข็มตอก	ช่วงตอม่อ A - F ต่อเติม หลังกักเขาะ
B	-0/050	98.337	98.337			ตอม่อธรรมดา	ฐานเข็มตอก	
C	-0/040	98.390	98.390			ตอม่อธรรมดา	ฐานเข็มตอก	
D	-0/030	98.578	98.578			ตอม่อธรรมดา	ฐานเข็มตอก	
E	-0/020	98.652	98.652			ตอม่อธรรมดา	ฐานเข็มตอก	
F	-0/010	99.011	99.011			ตอม่อธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
G	0/005	93.2	89.06	15.0	T-Girder	ตอม่อกำแพงกันสูง	ช่วงตอม่อ F - K ทำการ ซ่อมสร้างหลังกักเขาะ	
H	0/020	93.0	89.56		T-Girder	ตอม่อกำแพงกันสูง		ฐานเข็มกลุ่ม
I	0/035	93.5	89.46	15.0	T-Girder	ตอม่อกำแพงกันสูง		ฐานเข็มกลุ่ม
K	0/050	94.712	94.712		T-Girder	ตอม่อกำแพงกันสูง		ฐานเข็มกลุ่ม
L	0/065	94.791	94.791	20.0	T-Girder	ตอม่อกำแพงกันสูง		ฐานเข็มกลุ่ม
M	0/085	95.182	95.182		T-Girder	ตอม่อกำแพงกันสูง		ฐานเข็มกลุ่ม
N	0/100	95.694	95.694	10.0	Slab	ตอม่อกำแพงกันสูง	ฐานเข็มกลุ่ม	
O	0/110	96.143	96.143			ตอม่อธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
P	0/120	96.582	96.582	10.0	Slab	ตอม่อธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
Q	0/130	96.802	96.802			ตอม่อธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
R	0/140	97.823	97.823	10.0	Slab	ตอม่อธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
S	0/150	99.213	99.213			ตอม่อริมฝั่ง	ฐานเข็มกลุ่ม	



ตาราง ก-4 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับความกว้างผิวน้ำของลำน้ำแม่กก
ณ จุดที่ตั้งสะพาน

ความสูงระดับน้ำ (ม.)	ความกว้างลำน้ำ (ม.)	หมายเหตุ
0.0	-	ระดับท้องน้ำอยู่ที่ระดับ
1.0	76.0	91.00 ม. (รสม.)
2.0	96.0	
3.0	120.0	
4.0	129.0	
5.0	142.0	
6.0	146.0	
7.0	152.0	
8.0	160.0	

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.0 เมตร

2. ตามแผนที่แสดงที่ตั้งสะพานจะพบว่า สะพานข้ามแม่น้ำแม่กก ตั้งอยู่บนส่วนโค้งของลำน้ำ ซึ่งเป็นโค้งสุดท้ายก่อนไหลลงสู่แม่น้ำโขง คอม่อริมฝั่งดับ F (เดิม) ตั้งอยู่บนคานนอกของส่วนโค้ง ฉะนั้น กระแสน้ำจึงกัดเซาะคานคอม่อดับ F, G, H ดังปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจนโครงสร้างวิบัติ ฐานรากของคอม่อเหล่านี้เป็นฐานรากเข็มกลุ่มจำนวน 8 ต้น หลักฐานสำคัญประการหนึ่งที่ได้ตรวจสอบพบเห็นในรูปถ่ายคือสวะและเศษกิ่งไม้พันรอบกลุ่มเสาเข็ม ฐานรากและคอม่อด้วยความแรงของกระแสน้ำ ทำให้สวะอัดแน่นอยู่ในกลุ่มเสาเข็มจนกลายเป็นก้อนวัสดุตัน เป็นเหตุผลที่ทำให้ตั้งสมมุติฐานในความกว้างของคอม่อหรือค่า "b" เป็นความกว้างของกลุ่มเสาเข็มซึ่งมีค่าเป็น 1.15 เมตร

3. ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ ก.2.2 ว่าระดับน้ำขณะเกิดน้ำหลากไม่ได้มีการบันทึกไว้ แต่พอสรุปได้ว่าอยู่ใกล้เคียงกับคานรับพื้นตามหลักการออกแบบสะพาน จะกำหนดระดับสะพานให้มีระดับท้องคานรับพื้นอยู่เหนือระดับน้ำสูงสุดประมาณ 0.50 เมตร ในกรณีนี้จึงตั้งสมมุติฐานว่าระดับน้ำหลากเท่ากับระดับน้ำสูงสุด และได้ค่าความสูงน้ำ (h) เป็น 4.7 เมตร พื้นที่หน้าตัดและความกว้างผิวน้ำเป็น 394.92 ตารางเมตรและ 104.30 เมตร ตามลำดับ

สำหรับรายละเอียดของข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณวิเคราะห์และการคำนวณวิเคราะห์ได้สรุปไว้ในตาราง ก-5 และ ก-6 ตามลำดับ

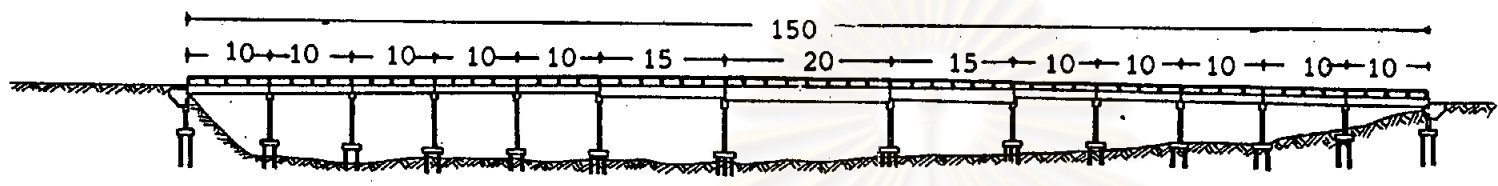
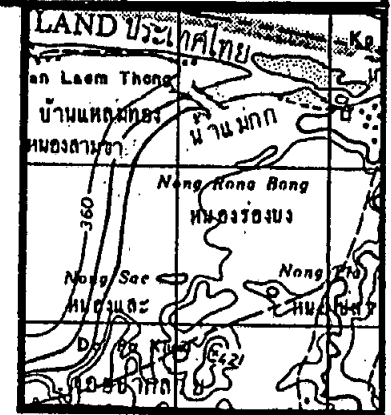
ก.4 สรุปการวิเคราะห์

การกัดเซาะที่เกิดขึ้นต่อสะพานข้ามลำน้ำแม่กก เป็นปัญหาที่กัดเซาะเกิดขึ้นบนโค้งลำน้ำ ทำให้ความเสียหายแก่ตลิ่งฝั่งส่วนโค้งคานนอกและคอม่อริมฝั่งที่ตั้งอยู่ริมตลิ่งด้วย วัชพืชของปฏิกิริยาเกิดขึ้นในระยะ 50-60 เมตรจากตลิ่ง ผลการสำรวจในเวลาต่อมาพบว่า ระดับท้องน้ำต่างจากระดับเดิมประมาณ 4.30 เมตร โดยเฉลี่ย แต่ผลจากการคำนวณให้ค่าความลึกกัดเซาะ 3.478 เมตร น้อยกว่าค่าความลึกกัดเซาะที่วัดไว้จริง อย่างไรก็ตามจากรายละเอียดในรูป ก-8 ชั้นดินที่สำรวจไว้ในภายหลังขณะทำการตอกเสาเข็มช่วงซ่อมสร้าง ได้แสดงชั้นดินทรายละเอียดที่ทับถมอยู่ชั้นบนสุดของท้องน้ำช่วงกัดเซาะ มีความหนาชั้นดินประมาณ 0.8-1.0 เมตร แสดงบริเวณดังกล่าวมีโอกาสถูกกัดเซาะเพิ่มขึ้นอีก 0.8-1.0 เมตร เมื่อมีกระแสน้ำที่รุนแรงเพียงพอหรือความหนาชั้นดินดังกล่าวอาจทับถมขึ้นหลังการกัดเซาะสูงสุดได้ผ่านพ้นไปแล้ว ข้อสังเกตประการต่อมาคือเนื่องจากระยะ

เวลาที่วัสดุย่อยตัวในมวลน้ำและตกตะกอน เป็นช่วงเวลาที่มีอัตราการไหลน้อยและความเร็วการไหลต่ำ มวลวัสดุตกกระจายทั่วไปไม่ได้เฉพาะเจาะจงเหมือนขณะเกิดการกัดเซาะ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีอัตราและความเร็วการไหลสูงและสภาพการไหลที่ปั่นป่วนมาก ค่าความสึกกร่อนจากการคำนวณให้ค่าน้อยกว่าความสึกกร่อนที่น้ำจะเป็นจริงแต่ก็ไม่มากนัก หากจะสรุปว่าการคำนวณคาดคะเนความสึกกร่อนสามารถให้ค่าคลาดเคลื่อนได้ ± 20% ได้



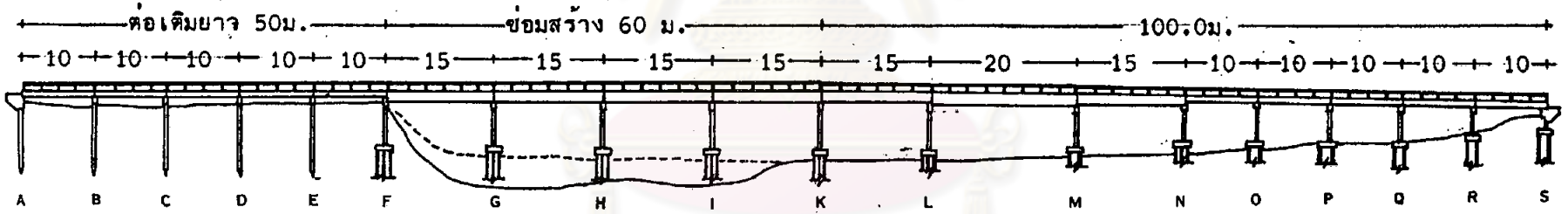
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



F
ช่วงสะพานที่เรือล่นออกและ
สร้างทดแทน

สะพานเดิมยาว 150 เมตร

สะพานหลังซ่อมสร้างยาว 210 ม.

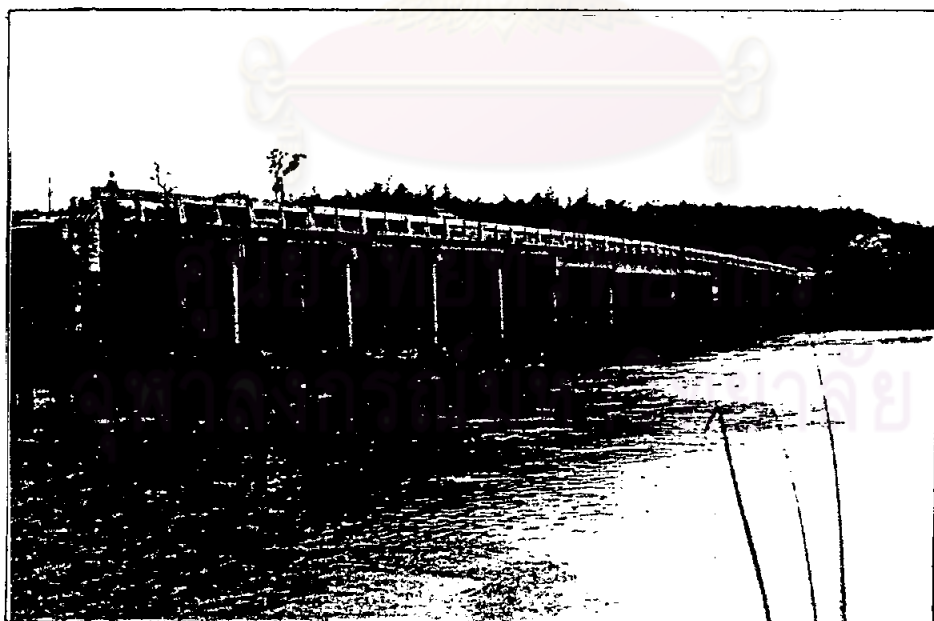


ดินเดิม	97.869	97.440	97.652		91.2	91.0	91.50	91.620	91.212	91.782	92.894	94.832	96.223
	97.387	97.526	98.011								93.653	94.482	99.015
ดินใหม่					87.06	87.56	87.46						

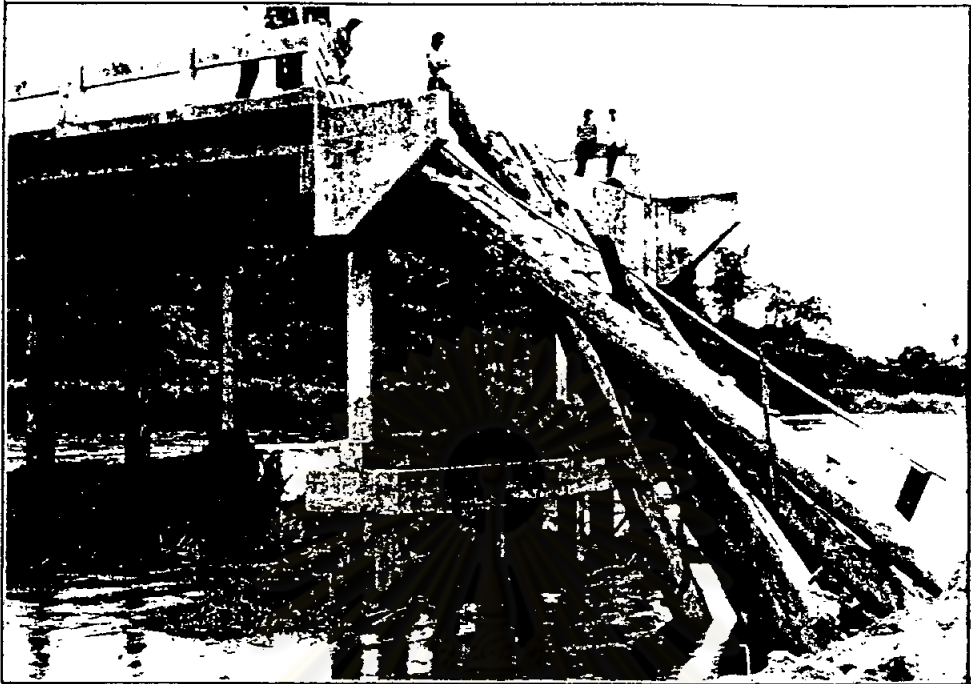
รูป ก-1 ลักษณะสะพานข้ามลำน้ำแม่กกเมื่อก่อสร้างครั้งแรก(2516) และหลังจากการซ่อมแซมต่อเติม(2521)



รูป ก-2 ทศนิยมภาพสะพานข้ามลำน้ำแม่กก และลักษณะตอม่อ



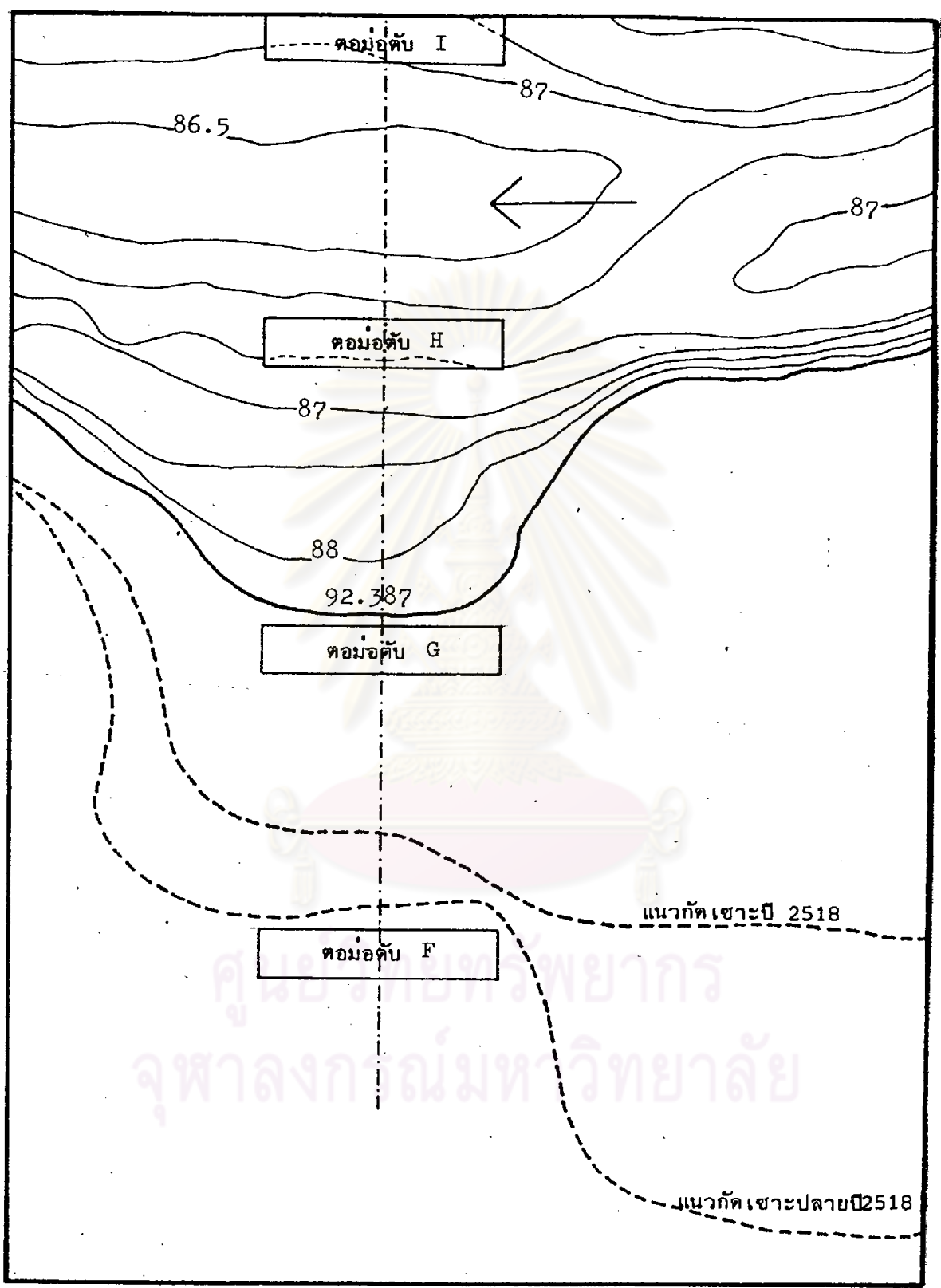
รูป ก-3 ภาพสะพานข้ามลำน้ำแม่กกทั้งโครงการในสภาพเดิม



รูป ก-4 ตอม่อริมฝั่งตပ် F หลังถูกกระแสน้ำกัดเซาะและจะสังเกตุเห็นส่วะติดตามตอม่อ



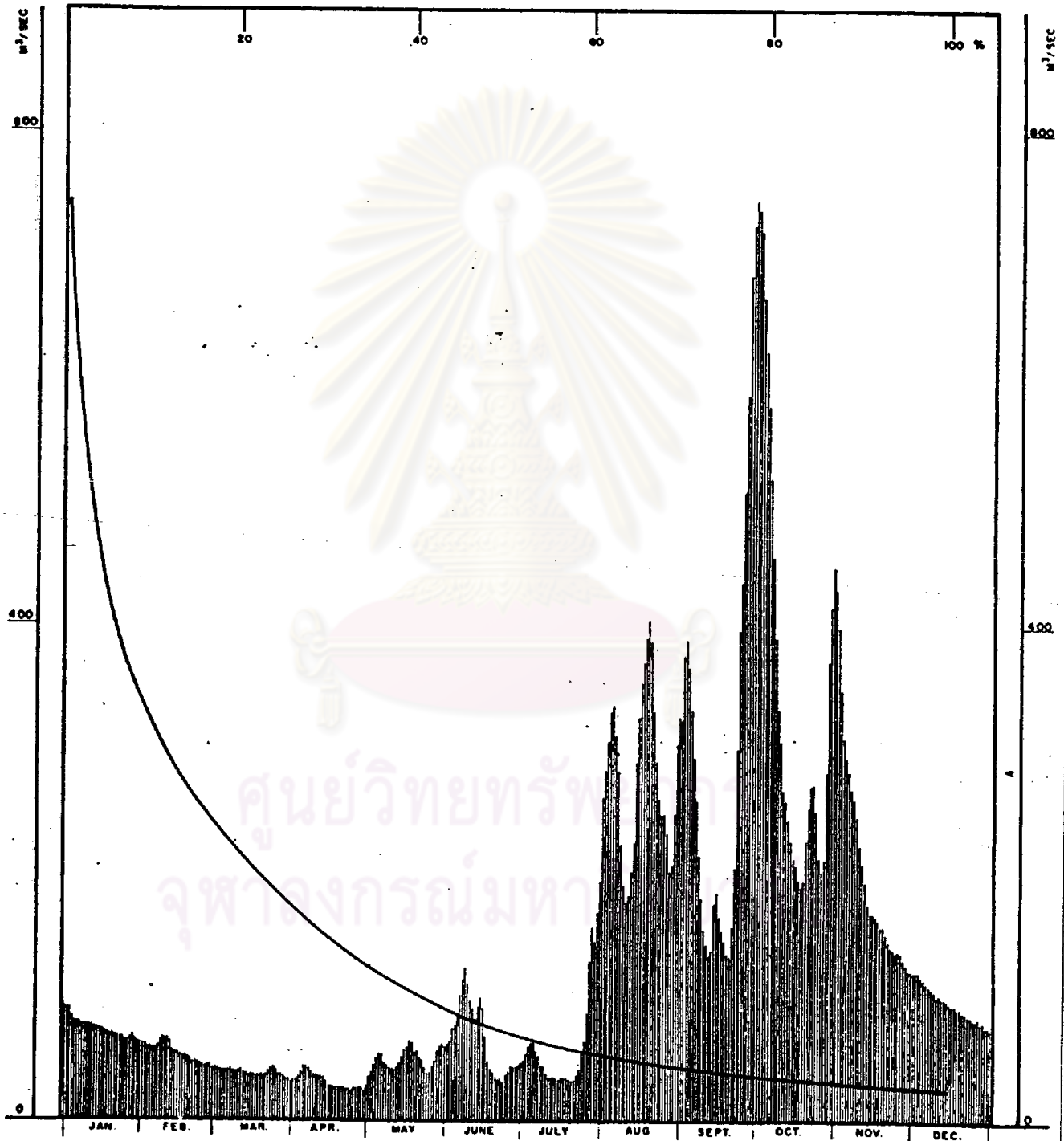
รูป ก-5 การขนถ่ายสินค้าเกษตรต้องขงัก รถยนต์วิ่งผ่านสะพานไม้ได้ต้องใช้วิธีขนถ่ายด้วยแรงคน



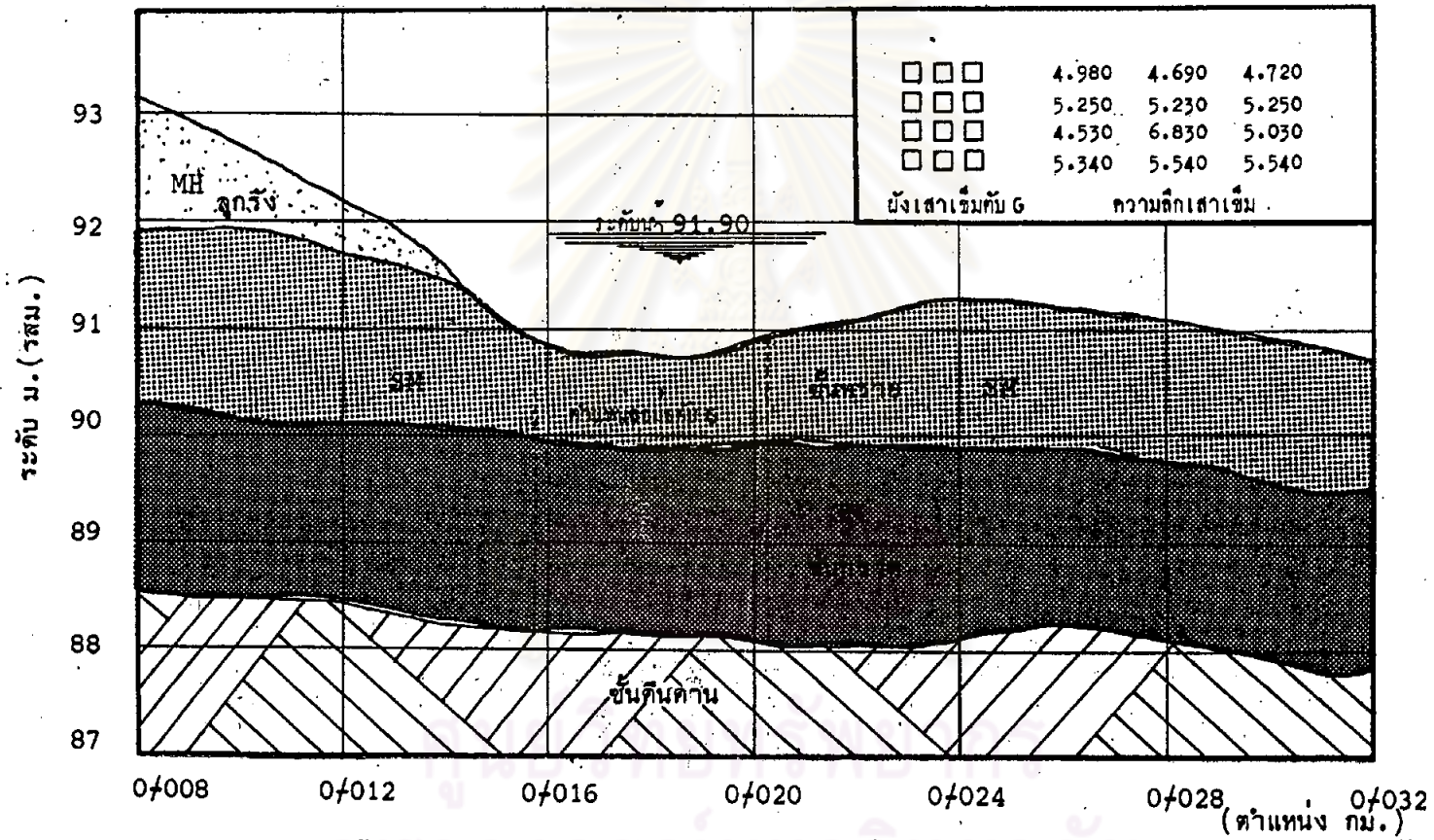
รูป ก-6 รูปักัดเขาปะสะพานข้ามลำน้ำแม่กก ป 2518

NAM MAE KOK AT BAN THA KOK

1976

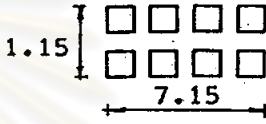


รูป ก-7 อัตราการไหลในลำน้ำแม่กก ปี 2519 วัดที่สถานีบ้านท่ากกโดยสำนักงาน
พลังงานแห่งชาติ



รูป ก-8 แสดงชั้นดินตามขวางของลำน้ำช่วงตำแหน่งที่ถูกกักเขาะ (ต่อมอดับ G) สสำรวจปี 2520

ตาราง ก-5 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์

รายการคำนวณ ตัวอย่าง A : ข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณ		
ลำดับ	ตัวแปร	ที่มาข้อมูล
1	$b = 1.15$ เมตร $l = 7.15$ เมตร	- ความกว้างตอม่อ 0.54 เมตร - ความกว้างเสาเข็ม 0.35 เมตร - ความกว้างฐานราก 1.60 เมตร - ความกว้างของกลุ่มเสาเข็ม 1.15 เมตร  <p>เนื่องจากมีหลักฐานว่าขณะเกิดการวิบัติทางโครงสร้างมีสวะพื้นเสาเข็มโดยรอบและอยู่ใกล้ชิดพื้นดิน จึงใช้ $b = 1.15$ เมตร</p>
2	$D = 5.05$ mm.	- ค่าเฉลี่ยของวัสดุลำน้ำ
3	$Q = 744$ m ³ /sec	- จากสถิติน้ำไหลของการพลังงานแห่งชาติ
4	Drainage area = 10,300 km ² ถึงจุดสะพาน = 10,361 km ² .	ตามรายละเอียดในรูป ก-7 - จากการประเมินในพื้นที่
5	$B = 104.30$ เมตร	- จากการวัดในแบบแปลนในระดับน้ำสูงสุดที่ระบุไว้
6	$h = 4.7$ เมตร	- เหมือนข้อ 5
7	$A = 394.92$ ม. ²	- จากการวัดในแบบแปลน
8	$\alpha = 0^\circ$	- ตอม่อวางขนานกระแสน้ำ
9	$B' = 97.82$ เมตร	- $B - 12 \times$ (ความกว้างตอม่อ)
10	$\gamma_s = 2.64$	

ตาราง ก-6 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะกรณีสะพานข้ามลำน้ำแม่กก

รายการคำนวณ ตัวอย่าง A : การคำนวณ

ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
1	$Q_{(data)} = 748.4 \text{ m}^3/\text{sec}$	จากข้อมูลตัวแปรอันดับที่ 3 $Q_2 = \frac{Q_1 \times A_2}{A_1}$
2.	$V = 1.89 \text{ m/sec}$	- $V = Q/A$ $A = 394.92 \text{ m}^2$
3	$q_{(data)} = 77.22 \text{ ft}^3/\text{sec}/\text{ft}$	- $q = Q/B$
4	$\sigma = 0.938$	- $\sigma = B'/B$
5	$F_r = 0.278$	- $F_r = V/\sqrt{gh}$
6	$h^* = h_3 = 0.35 \text{ ft}$ $= 0.107 \text{ m.}$	- จาก Chart ในรูป จ-5
7	$K_A = 0.96$	จากตารางที่ 2.1
8	$Q_{design} = 1051.098 \text{ m}^3/\text{sec}$	จากสมการ 2.20
9	$V_{competent} = 1.65 \text{ m/sec}$	- จาก Chart ในรูป จ-2
10	Safe. $V_{comp.} = 1.815 \text{ m/sec}$	- เพิ่ม 10% ของ $V_{comp.}$
11	$h' = 6.0 \text{ m}$	- จาก Chart ในรูป จ-2
12	General Scour $= 1.3 \text{ m.}$	- $h'-h$
13	Max. scour depth of Inglis $S_m' = 26.95 \text{ ft.}$ $= 8.22 \text{ m.}$ $S_m = 3.52 \text{ m.}$	- $S_m'/b = 1.7 (q^{2/3}/b)^{0.78}$ $q_{design} = 115.6 \text{ ft}^3/\text{sec}/\text{ft}$ - $S_m'-h$
14	Equilibrium Scour depth for Chitala formula $S_e = 1.315 \text{ m.}$	- $S_e/b = -0.51 + 6.65Fr - 5.49Fr^2$ $A' = 364.464 \text{ m}^2$ $V' = 2.88 \text{ m/sec}$ $F' = 0.42$

ตาราง ก-6 (ต่อ)

ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
15	Max. scour depth for Breusen formular $S_m = 1.61 \text{ m.}$	- $S_m = 1.4b$
16	Equilibrium Scour depth for Carsten formula $N_s = 10.10$ $S_e = 0.65 \text{ m.}$	- $S_e/b = 0.546 \left[\frac{(N_s^2 - 1.64)}{N_s^2 - 5.02} \right]^{5/6}$ - $N_s = V/\sqrt{(\gamma_s/\gamma - 1)g}$
17	Maximum Scour depth for Larras formula $S_m = 2.21 \text{ m.}$	- $S_m \approx 1.42 K b^{0.75}$ - $K = 1.40$
18	Equilibrium Scour depth for Liu et al formula $S_e = 1.42 \text{ m.}$	- $S_e/h = 1.1 (b/h)^{0.4} F^{0.33}$
19	Average Eq ^m scour depth $S_e = 1.128 \text{ m.}$	จากค่าเฉลี่ยของค่า S_e ในข้อลำดับที่ 14, 16 และ 18
20	เปลี่ยนจาก S_e เป็น S_m $S_m = 1.37$	- $S_m/S_e = 2.27 - 0.45 \log(b/d)$
21	Average Max. scour depth $S_m = 2.178 \text{ m.}$	ค่าเฉลี่ยของค่า S_m จากข้ออันดับที่ 13, 15, 17 และ 20
22	Total scour depth $S_m = 3.478 \text{ m.}$	- General scour + Local scour



ภาคผนวก ข

ตัวอย่างกรณีศึกษาสะพานข้ามลำน้ำว่า

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

กรณีศึกษาการกักเขาะของสะพานข้ามลำน้ำว่า

(ตัวอย่างกักเขาะ B)

ข.1 ลักษณะโครงการและปัญหาการกักเขาะข.1.1 ลักษณะโครงการ

ตัวอย่างกักเขาะ B เป็นโครงการสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กใช้เป็นสะพานข้ามลำน้ำว่าบนถนนที่เชื่อมระหว่างบ้านท่าลี่เพื่อออกสู่ถนนทางหลวงแผ่นดินบริเวณอำเภอสาวเพื่อคมนาคมและขนส่งผลผลิตเกษตรออกสู่ตลาด เดิมถนนสายนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประชาชนในเขตพื้นที่ จากรูป 5-6 จะเห็นได้ว่าถนนสายที่ตัดผ่านบ้านท่าลี่ลึกเข้าไปยังหมู่บ้านอื่น ๆ เป็นถนนทางหลวงแผ่นดินสองข้างทางมีหมู่บ้านตั้งอยู่หลายหมู่บ้านและถนนสายนี้จะตัดข้ามแม่น้ำว่าน ซึ่งขณะนั้นกรมทางหลวงยังไม่ได้ทำการก่อสร้างสะพานข้ามแม่น้ำว่าน ประชาชนจึงต้องอาศัยเส้นทางที่แยกจากหมู่บ้านท่าลี่ข้ามแม่น้ำว่านออกไปยังอำเภอสาวและอำเภอเมือง จังหวัดน่าน สะพานข้ามลำน้ำว่านจึงเป็นสะพานหลักที่อำนวยความสะดวกแก่ประชาชนในเขตพื้นที่ดังกล่าว ลักษณะลำน้ำว่ามีขนาดคดเคี้ยวตลอดสายไหลบรรจบแม่น้ำว่านที่อำเภอสาว ตำแหน่งที่ตั้งสะพาน ซึ่งยึดถือหมู่บ้านท่าลี่เป็นหลัก ตั้งอยู่บนส่วนโค้งหนึ่งในหลาย ๆ โค้ง เนื่องจากชั้นดินในพื้นที่ส่วนใหญ่มีชั้นหินรองรับทั่วไปในความลึกที่ไม่มากนัก ดั้งฝั้งส่วนโค้งนอกจึงปรากฏชั้นหินเห็นได้ชัด เป็นเหตุให้ริมตลิ่งมีความลาดชันสูงและเชื่อว่ามีผลต่อการเบี่ยงเบนทิศทางกระแสน้ำได้ไม่มากนักน้อย ในขณะที่เดียวกัน ชั้นดินดังกล่าวเป็นต้นเหตุให้โครงสร้างสะพานถูกกำหนดให้ก่อสร้างฐานรากเป็นเสาเข็มตอกชนิดที่มีเหล็กยื่นออกมาทางปลายเสาเข็มเพื่อยึดเกาะกับชั้นหินนี้ รายละเอียดโครงสร้างอื่น ๆ ได้แสดงไว้ในตาราง ข-1

ข.1.2 ปัญหาการกักเขาะข.1.2.1 ลำดับเหตุการณ์การกักเขาะ

1. การตกลงข่าวของทางราชการเกี่ยวกับการเกิดอุทกภัยในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียง

ตาราง ข-1 ลักษณะโครงการ ตัวอย่างกักเขาะ B สะพานข้ามลำน้ำว่า

กรณีศึกษา B : สะพานข้ามลำน้ำว่า	
ชื่อโครงการ สะพานที่ตั้ง	สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ามลำน้ำว่า เส้นทาง : บ้านท่าสี่ - ทางหลวง อำเภอ : ส่า จังหวัด : น่าน ภาค : เหนือ
รายละเอียดโครงสร้าง	ประเภท : สะพานทางรถวิ่งคู่ มีทางเท้า 2 ข้าง ความกว้าง : ช่วงผิวจราจร 7.0 เมตร ทางเท้ากว้างข้างละ 1.50 เมตร ความยาว : 130.00 เมตร เทคนิคการก่อสร้าง : คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อ ณ ที่ก่อสร้าง เสาเข็มออกแบบมีปลายเป็นเหล็กยื่นยาว 0.50 เมตร ดอกจิกลึกเข้าไปในชั้นดิน จำนวนตอม่อ : ตอม่อฐานเสาเข็ม 7 ตับ ตอม่อฐานแผ่นบนชั้นหิน 3 ตับ รวม 10 ตับ จำนวนพื้น : พื้นSlab4 ช่วง รวม 40 เมตร พื้นระบบคาน(Girder)5 ช่วง รวม 90 เมตร
ระยะเวลาก่อสร้าง	เริ่มก่อสร้างเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2521 ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2522 รวมเวลา 360 วัน
งบประมาณค่าก่อสร้าง	3,030,000 บาท
รายละเอียดลำน้ำ	ระดับน้ำต่ำสุด : 85.450 ม.(รสม.) ระดับน้ำสูงสุด(2506) : 95.45 ม.(รสม.) ระดับน้ำสูงสุดทั่วไป : 94.05 ม.(รสม.) ระดับท้องน้ำ : 83.45 ม.(รสม.) ระดับหลังสะพาน : 98.420 ม.(รสม.) ระดับน้ำอุทกภัย : 98.72 ม.(รสม.)
รายละเอียดดินท้องน้ำ	ปริมาณน้ำไหล : จากข้อมูลสำรวจโดยกรมชลประทานเมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม 2524 วัดได้ 22.6 cms. วันที่ 5 กรกฎาคม 2524 วัดได้ 1,350 cms. ความกว้างลำน้ำ : ขณะที่เกิดน้ำหลาก 112 เมตร ความสูงน้ำ : ขณะเกิดน้ำหลาก 13.85 เมตร จากการเจาะดินเพื่อการก่อสร้างถนนสายดังกล่าว ท้องทลสอบดินของจังหวัดมีข้อมูลของดินท้องคลองเป็นทรายปนกรวดโดยเป็นทรายละเอียดมีขนาดเฉลี่ย 0.6 มม.

เจียงเหนือ ซึ่งเกิดขึ้นในเดือนกรกฎาคม 2524 ซึ่งครั้งนั้น สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบทสรุปว่า เฉพาะภาคเหนือมีถนนได้รับความเสียหาย 60 สาย สะพานเสียหาย 16 แห่ง ฝ่ายน้ำล้น 7 แห่ง สูญเสียบประมาณเป็นค่าซ่อมแซมประมาณ 11.16 ล้านบาท ในจำนวนนี้รวมสะพานข้ามลำน้ำว่า จังหวัดน่านด้วย

2. จากการสอบถามปากคำชาวบ้านในบริเวณก่อสร้างสะพาน พอสรุปได้ว่าสถิติระดับน้ำที่ปรากฏนั้น คาดว่ามีระดับสูงสุดในรอบ 50-60 ปี

3. ระดับน้ำสูงสุดที่ปรากฏ อยู่ในระดับ 98.72 ม.(รสม.) สูงกว่าระดับพื้นสะพาน (ค่าระดับน้ำนี้เป็นค่าที่ได้ประมาณจากคำบอกเล่าของผู้เห็นเหตุการณ์)

4. หลังน้ำลดแล้วได้มีการตรวจสอบความเสียหาย ปรากฏว่าพื้นสะพานมีลักษณะพลิกคว่ำจากตอม่อและลอยห่างออกไปจากจุดเดิมเล็กน้อย (ดูรูป ข-4 ถึง ข-17)

5. ตอม่อสะพานถูกกระแทกและหักพับอยู่กับที่ที่จุดต่อระหว่างตอม่อและฐานราก มีสระกิ่งไม้เกาะเต็มและตอม่อที่ยังคงเหลือให้เห็นนี้คือตอม่อดับ G และ H (ดูรูป ข-2)

6. ตอม่อที่เสียหายและไม่ปรากฏหลักฐานไว้ได้แก่ตอม่อดับ E, F และ I, J

7. ช่วงสะพานที่ยังคงอยู่ในสภาพเดิมได้แก่ช่วง A - D รวมความยาว 35 เมตร ฉะนั้นช่วงสะพานส่วนที่เสียหายมีความยาว 95 เมตร

ข.1.2.2 ลำดับการแก้ไข

1. ขณะที่น้ำยังมีระดับสูง การสำรวจสาเหตุและความเสียหายยังดำเนินการได้ไม่สะดวก

2. ในฤดูแล้งของปีต่อมาได้มีการสำรวจ พิจารณากันอีกครั้งหนึ่งและจากผลการตรวจสอบ พิจารณากันแล้วสรุปว่าจะไม่ทำการซ่อมสร้างสะพานแห่งนี้เนื่องจากประชาชนสามารถใช้สายทางอื่นได้ ขณะเดียวกันกรมทางหลวงแผ่นดินได้มีการก่อสร้างสะพานแห่งใหม่ในบริเวณใกล้เคียง

ข.2 ข้อมูลสำหรับการศึกษา

ลักษณะของโครงสร้างหลังเกิดอุบัติเหตุ คงเหลือแต่ตอม่อดับ A ถึง D นอกนั้นได้พังทลายลงมา บางส่วนลอยพลิกคว่ำห่างจากตอม่อออกไป บางส่วนวางตะแคงข้างตอม่อบ้าง ส่วนฐานรากกลางน้ำ

ตาราง ข-2 รายละเอียดองค์ประกอบโครงสร้างสะพานข้ามลำน้ำว่า

ตอม่อ -	ตำแหน่งที่	ระดับดินเดิม ม.(รสม.)	ระดับดินใหม่ ม.(รสม.)	ช่วงคาน (ม.)	ประเภท โครงสร้างขึ้น	ประเภทโครงสร้างตอม่อ	ประเภทฐานราก	หมายเหตุ
A	0/065	97.62	97.62	10.0	Slab	ตอม่อริมฝั่ง	ฐานแผ่	- ตำแหน่งและระดับเป็นค่า สมมุติเฉพาะโครงการ
B	0/750	97.82	97.82	10.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	ฐานแผ่	
C	0/850	95.22	-	15.0	T-Girder	ตอม่อเสาธรรมดา	ฐานแผ่	- การกัดเซาะเกิดขึ้นที่ตอม่อ E, F
D	0/100	90.22	-	20.0	T-Girder	ตอม่อกำแพงกันซุง	ฐานเข็มกลุ่ม	
E	0/120	84.42	-	20.0	T-Girder	ตอม่อกำแพงกันซุง	ฐานเข็มกลุ่มและเอียง	- ตอม่อ E-J หักหลายเสียหาย
F	0/140	85.62	-	20.0	T-Girder	ตอม่อกำแพงกันซุง	ฐานเข็มกลุ่มและเอียง	
G	0/160	88.82	-	15.0	T-Girder	ตอม่อกำแพงกันซุง	ฐานเข็มกลุ่ม	- ตอม่อริมฝั่งมีหินเรียงยาแนว ป้องกันดินถล่ม
H	0/175	92.62	-	10.0	Slab	ตอม่อกำแพงกันซุง	ฐานเข็มกลุ่ม	
I	0/185	93.62	-	10.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
J	0/195	93.42	-		Slab	ตอม่อริมฝั่ง	-	

ตาราง ข-3 เปรียบเทียบสถิติน้ำฝนเดือนกรกฎาคม ปี 2520-2524

จำนวนน้ำฝน(มม.) ประจำปี ในเขตอำเภอเมืองน่าน					
วันที่	2520	2521	2522	2523	2524
1	0.6	55.6	15.6	0	0
2	5.4	48.9	0.9	0	0
3	8.1	1.8	0	0	4.3
4	0.2	16.2	0	23.1	8.6
5	1.9	6.3	0	0	155.2
6	1.1	0	0	0	49.2
7	10.4	11.5	0	0.2	-
8	5.1	20.1	0	0	3.6
9	3.3	12.0	0.9	0	22.7
10	0	2.9	1.7	0	7.9
11	0	1.6	12.1	0	-
12	16.6	2.8	3.0	0	4.8
13	21.5	17.0	0	0	-
14	25.4	1.3	-	2.4	0
15	0.9	0	0	0.1	3.7
16	44.8	0.7	0	0	-
17	0.3	1.2	0	0.4	39.2
18	0	0	0	9.9	27.2
19	-	0.1	0	28.0	3.1
20	10.8	-	0	12.3	-
21	55.2	0	0.6	3.2	-
22	11.2	-	13.3	13.0	0
23	6.7	41.8	0	7.3	7.5
24	0.6	0	0	15.2	24.3
25	-	0.9	0	12.2	0.5
26	7.4	6.7	-	10.3	10.5
27	0.1	7.1	9.1	46.5	3.6
28	18.5	6.5	0	4.1	11.0
29	52.7	3.6	0	10.4	37.2
30	15.5	0.8	0	12.6	4.4
31	-	-	1.9	41.7	4.7

มุมสะท้อนของกระแสน้ำพอดิ จึงไม่เป็นปัญหาว่าตอม่อสะพานจะต้องถูกกัดเซาะทั้ง ๆ ที่อยู่ด้านในของ ส่วนโค้ง

นอกจากหลักฐานด้านภูมิประเทศแล้ว สถิติน้ำฝนซึ่งเป็นข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา ดังที่ แสดงไว้ในตาราง ข-3 เปรียบเทียบย้อนหลัง 5 ปี ในเดือนกรกฎาคมของทุกปี ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับวันที่สะพานพังหลายนั้น มีสถิติน้ำฝนมากถึง 155.2 มม. ต่างกับสถิติน้ำฝนของปี อื่น ๆ อย่างมาก และเป็นน้ำฝนที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันโดยเห็นได้จากสถิติน้ำฝนในเดือนเดียวกัน ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนต่างกันอย่างมากเช่นกัน สถิติน้ำฝนดังกล่าวตรงกับสถิติน้ำท่าที่ทำการบันทึกโดย กรมชลประทานในลำน้ำเดียวกันแสดงไว้ในรูป 5-9 กราฟที่ปรากฏพุ่งสูงเด่นอยู่เพียงจุดเดียว

ข.3 การวิเคราะห์การกัดเซาะ

ข้อสมมุติฐานในคำแปรเพื่อการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. ดังกล่าวมาแล้วในหัวข้อ ข.2.3 กระแสน้ำถูกเบี่ยงเบน ตอม่อสะพานที่อยู่ใน ทิศทางกระทำของกระแสน้ำอันเกิดจากการเบี่ยงเบนได้แก่ตอม่อดับ E, F และ G ตอม่อทั้ง 3 ดับ เป็นฐานรากเข็มกลุ่ม ขณะกัดเซาะมีสวะมาติดพันรอบฐานจนหนาแน่น ทำให้ความกว้างของตอม่อ ต้องขยายเป็นค่ารวมของกลุ่มเสาเข็ม ความลึกหลุมกัดเซาะเท่าที่ปรากฏเป็นหลักฐาน เฉลี่ยประมาณ 3.17 เมตร แต่ไม่ได้มีการสำรวจชั้นความลึกของดินแต่ละชั้นไว้ สันนิษฐานว่าปลายเสาเข็มจะ นั่งอยู่บนชั้นหินพอดิ

2. การกัดเซาะสำหรับสะพานน้ำว่านี่เกิดขึ้นในลักษณะฉับพลัน ตามหลักฐานสถิติน้ำฝน และน้ำท่าต่างกับตัวอย่าง A ซึ่งเกิดการกัดเซาะอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลปริมาณน้ำไหลจึงเป็นสิ่งสำคัญ สำหรับกรณีนี้จากข้อมูลของกรมชลประทานวัดได้ 1,350 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แหล่งที่ตั้งสถานี วัดน้ำอยู่ทาง เหนือน้ำของสะพานไม่มากนัก จึงถือว่า ค่าปริมาณน้ำไหลนี้เป็นค่าสำหรับการคำนวณ

3. เนื่องจากขณะเกิดน้ำหลาก ระดับความสูงน้ำเท่าที่ตรวจสอบได้จากปากคำของบุคคล ที่เห็นเหตุการณ์และหลักฐานอื่น ๆ พบว่าอยู่สูงกว่าระดับพื้นสะพาน ซึ่งพอจะสรุปได้ว่าขณะน้ำท่วมนั้น จะมีแรงลอยตัวกระทำต่อโครงสร้างสะพาน ขณะเดียวกันดินห่อหุ้มเสาเข็มถูกกัดเซาะออกไป ทำให้ แรงโมเมนต์จากกระแสน้ำทางด้านต้นน้ำของสะพาน เพิ่มขึ้นและโมเมนต์ต้านทานอัน เกิดจากน้ำหนัก

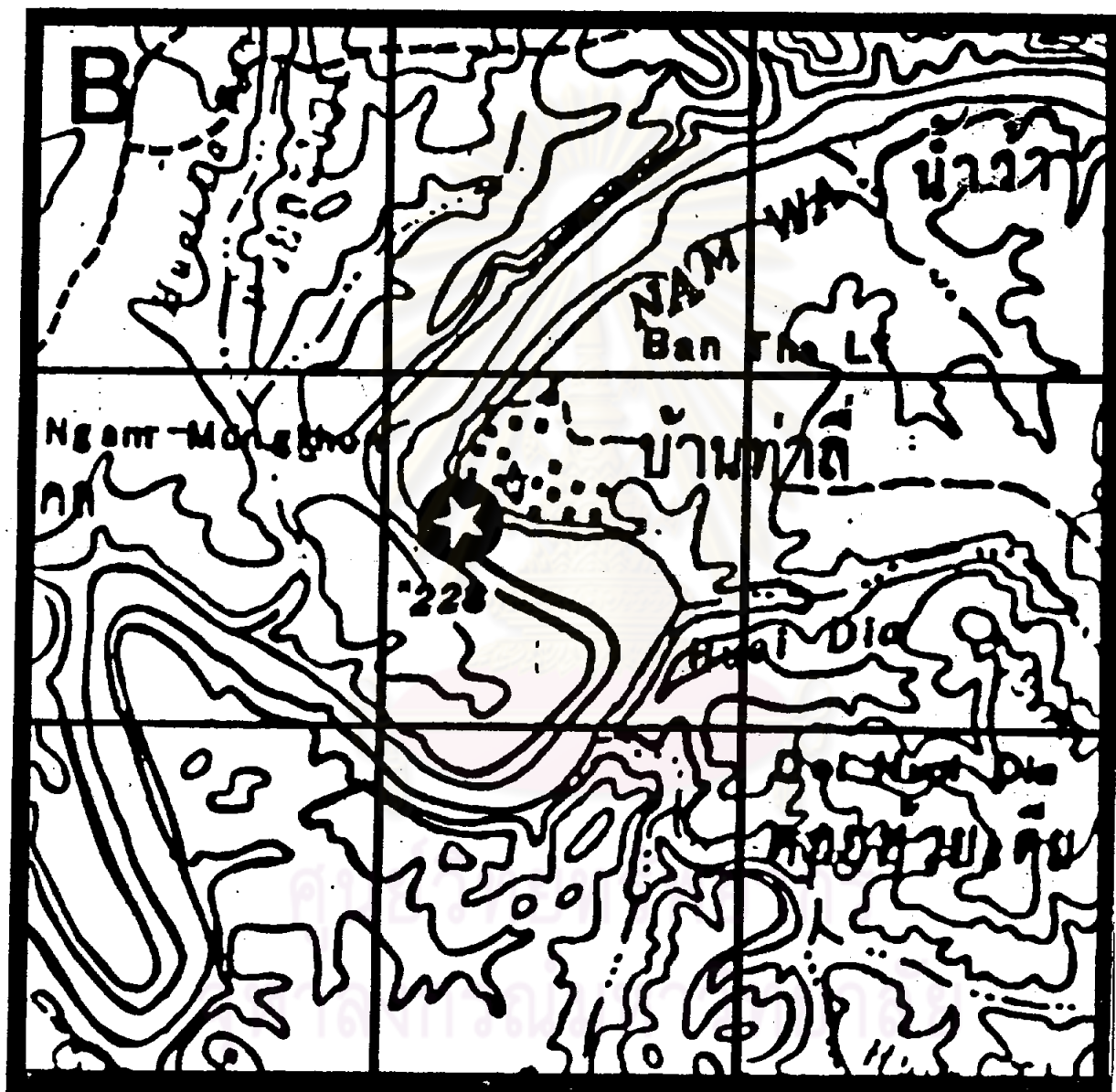
สะพานในแนวตั้งลดลงพร้อม ๆ กัน จึงเกิดแรงที่ทำให้ชิ้นส่วนสะพานหลุดลอยไปในลักษณะพลิกคว่ำ และกระทบกระเทือนต่อตอม่อจนเกิดการหักพังในที่สุด

สำหรับรายละเอียดของข้อมูลตัวแปรต่าง ๆ สำหรับการคำนวณวิเคราะห์ ได้สรุปไว้ใน ตาราง ข-4 และการคำนวณวิเคราะห์ได้สรุปไว้ในตาราง ข-5

ข.4 สรุป

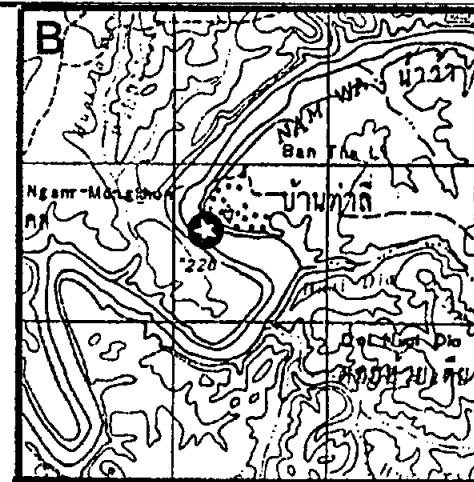
ตัวอย่างสะพาน เป็นสะพานเดี่ยวในตัวอย่างทั้งหมดที่ไม่สามารถระบุค่าความลึกกัก เขาะที่เกิดขึ้นจริงอย่างชัดเจนได้เพราะหลังจากเกิดวิกฤตทางโครงสร้าง ระดับน้ำในลำน้ำไม่ ลดลงหรือลดลงบ้างแต่ยังอยู่ในระดับสูงกว่าที่จะทำการสำรวจได้ อีกสาเหตุหนึ่งคือทางหน่วยงาน เจ้าของโครงการไม่สนใจที่จะทำการก่อสร้างสะพานทดแทนหรือสืบสาวต้นเหตุการพังทลายเหมือน สะพานอื่น ๆ จึงได้ทิ้งทุกสิ่งทุกอย่างไว้เป็นซากในสถานที่เดิม ความลึกกักเขาะในสนามจริงจึง คาดว่าอยู่ในอัตรา 2.0 เมตร จากผิวดินเดิมเมื่อผลจากการคำนวณให้ความลึกกักเขาะเป็น 2.608 เมตร ซึ่งใกล้เคียงกันมาก ให้ผลเป็นที่น่าพอใจและคาดคะเนเหตุการณ์ จึงดำเนิน ไปอย่างใกล้เคียงความจริงที่สุด

อนึ่ง การพังทลายของโครงสร้างนั้น ในค่าความลึกกักเขาะ 2.608 เมตร จะไม่มีผล ในทันทีที่จะทำให้เสาเข็มค้ำยันทานน้ำหนักบรรทุกไม่ได้ โดยเฉพาะเหตุการณ์เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน ในระยะเวลาสั้นไ้หลังเวลาการเกิดน้ำหลาก น้ำหนักจรและน้ำหนักบรรทุกอื่น ๆ ไม่มีผลทำให้ สะพานพังทลายได้ แต่ความลึกจากการคำนวณนี้เพียงพอที่จะเพิ่มโมเมนต์ของแรงกระทำจากกระแส น้ำจน เป็นผลให้สะพานถูกผลักพลิกคว่ำได้อย่างแน่นอน

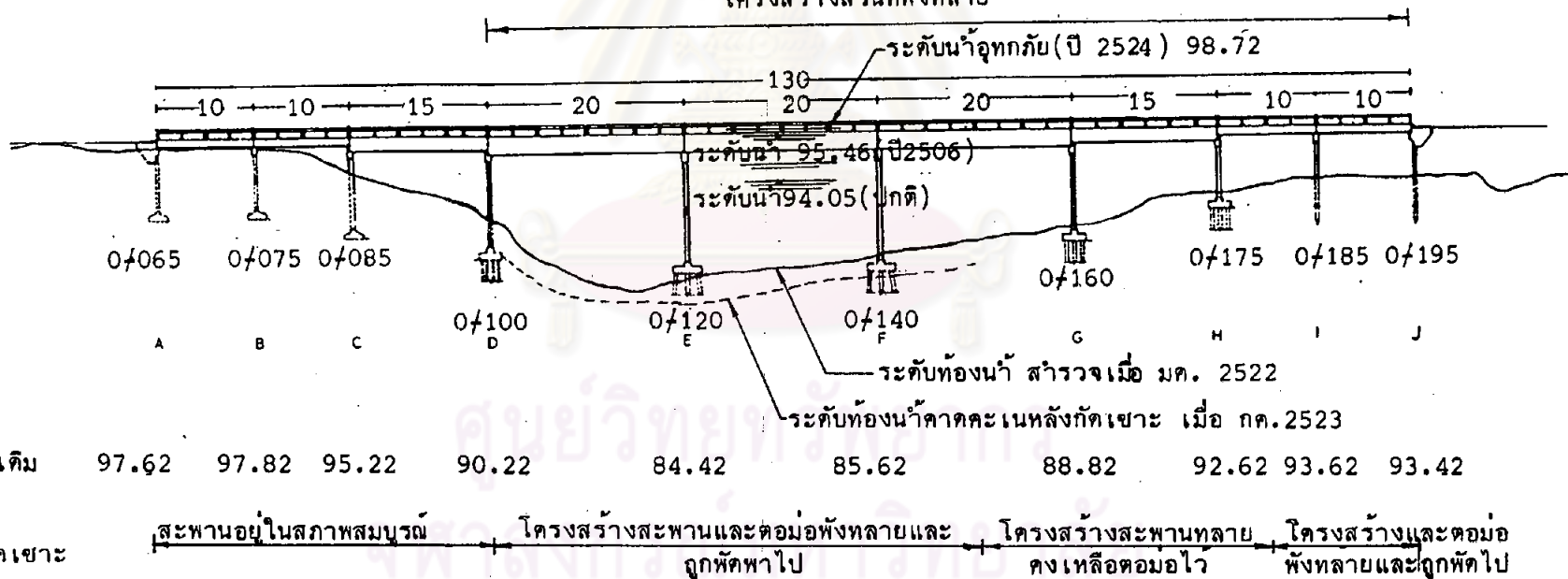


รูป ข-1 สถานที่ตั้งสะพานข้ามลำน้ำว่า

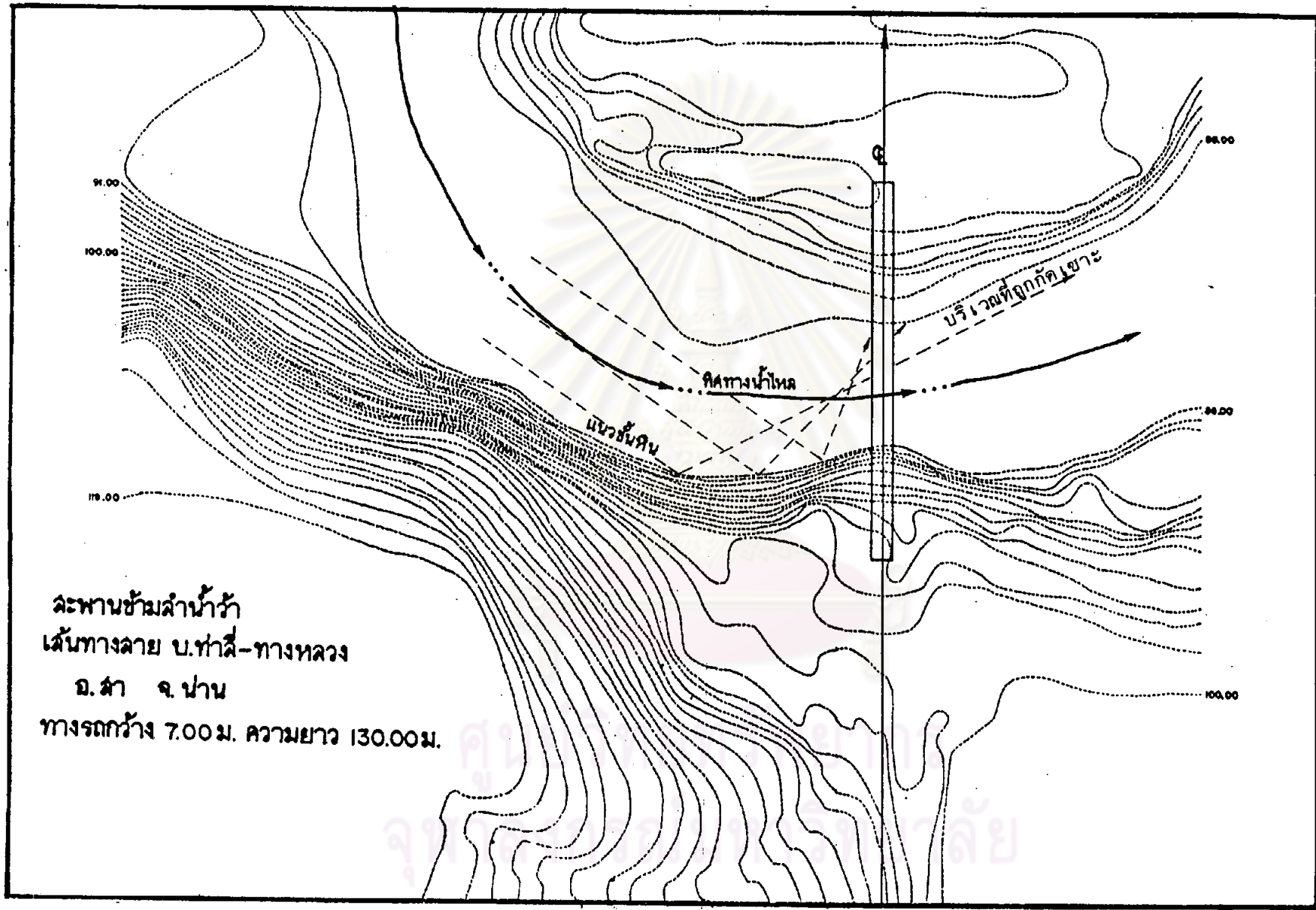
สะพานข้ามลำน้ำว้า
 เส้นทางสาย บ้านท่าลี่-ทางหลวง
 อ.ลา จ.น่าน
 ทางรถกว้าง 7.00 ม. ความยาว 130.00 ม.



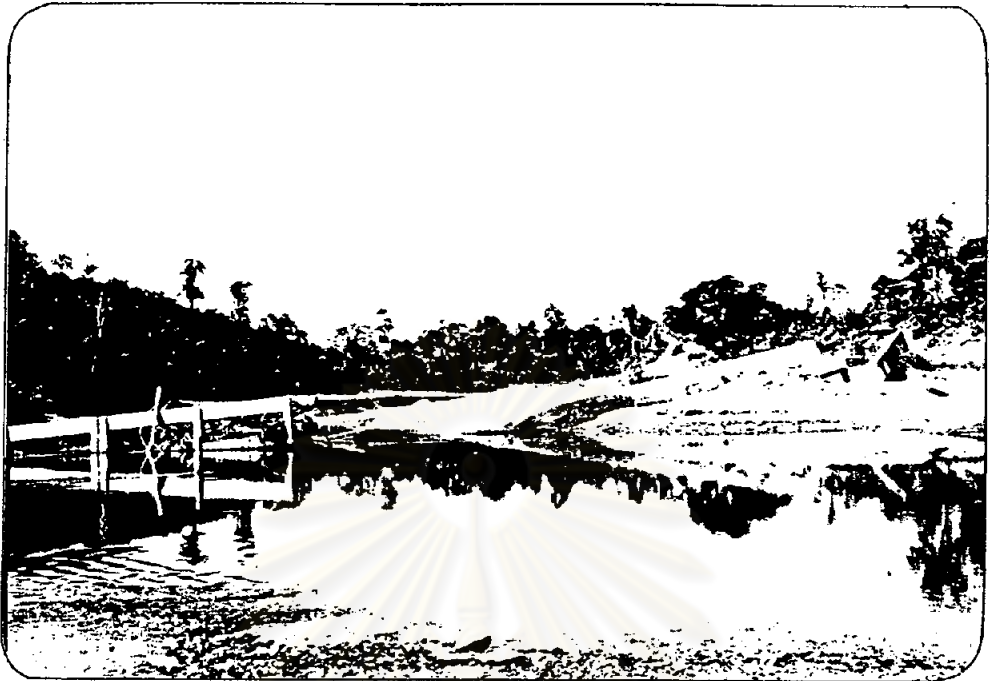
โครงสร้างส่วนที่พังทลาย



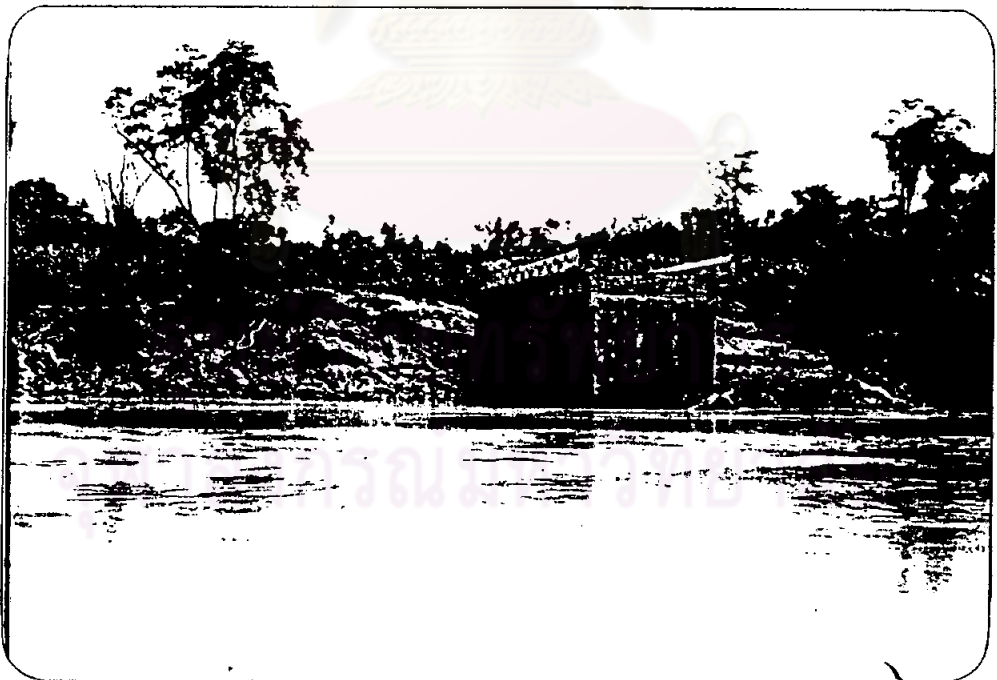
รูป ข-2 ลักษณะสะพานข้ามลำน้ำว้า



รูป ข-3 แบบแสดงเส้นระดับผิวดินบริเวณที่ตั้งสะพานข้ามลำน้ำว้า



รูป ข-4 สภาพทั่วไปบริเวณที่ตั้งสะพานข้ามลำน้ำว่า มองจากด้านท้ายน้ำ



รูป ข-5 โครงสร้างสะพานส่วนที่เหลือนอยู่ทางด้านส่วนโค้งนอกของลำน้ำ



รูป ข-6 ส่วนต่างๆของโครงสร้างสะพาน กระจายอยู่ด้านท้ายน้ำ และ
ส่วนใหญ่อยู่ด้านส่วนโค้งในของลำนน้ำ



รูป ข-7 โครงสร้างส่วนพื้นวางตะแคงฝังอยู่ในดินตอมน้ำ



รูป ข-8 อีกมุมหนึ่งของโครงสร้างส่วนพื้น ซึ่งไม่ปรากฏรอยแตกร้าว



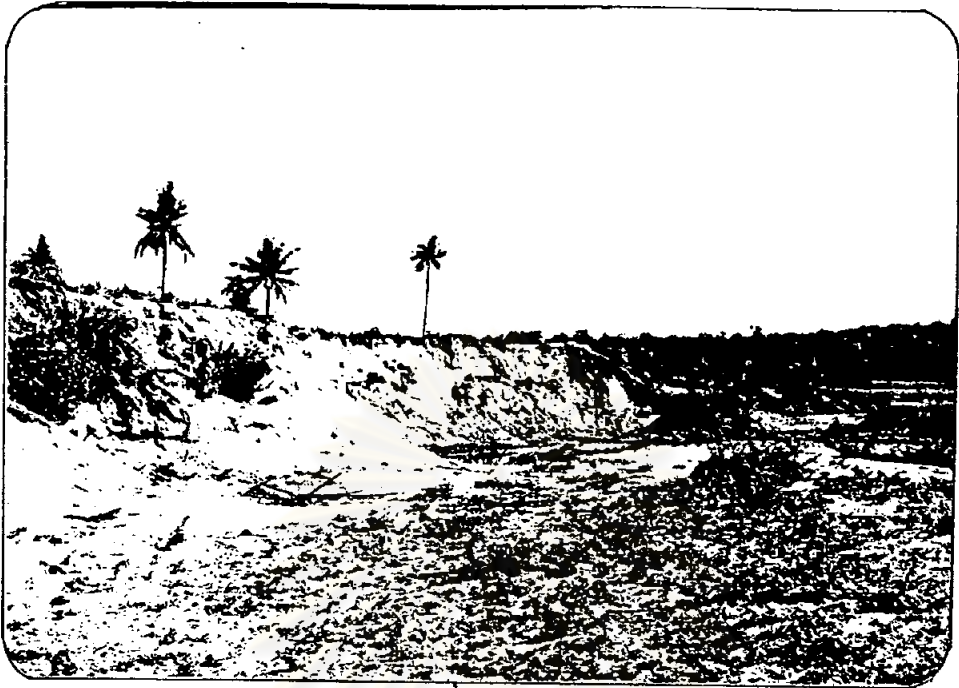
รูป ข-9 ตอม่อแตกหักพิบอยู่บนฐานราก ปริมาณสวะ กิ่งไม้ที่ติดอยู่สามารถ
ทำให้ตอม่อกลายเป็นแผ่นทึบ และถูกแรงน้ำกระทำ



รูป ข-10 ภาพมุมใกล้ ทำให้เห็นเสาเข็มที่แตก แต่ยังคงอยู่ที่เดิม



รูป ข-11 ส่วนของฐานรากที่ถูกกัดเซาะ เดิมนั้นฝังอยู่ใต้ระดับท้องน้ำ
ประมาณ 1.50 เมตร



รูป ข-12 ริมฝั่งตลิ่งที่ถูกกัดเซาะ ห่างจากสะพานไปทางท้ายน้ำประมาณ 50 เมตร คาดว่าเกิดจากกระแสน้ำเบี่ยงเบนจากแนวหินฝั่งตรงข้าม (ปี 2525)



รูป ข-13 ริมฝั่งตลิ่งทางต้นน้ำก่อนถึงสะพานมีสภาพถูกกัดเซาะเช่นกัน (ปี 2525)



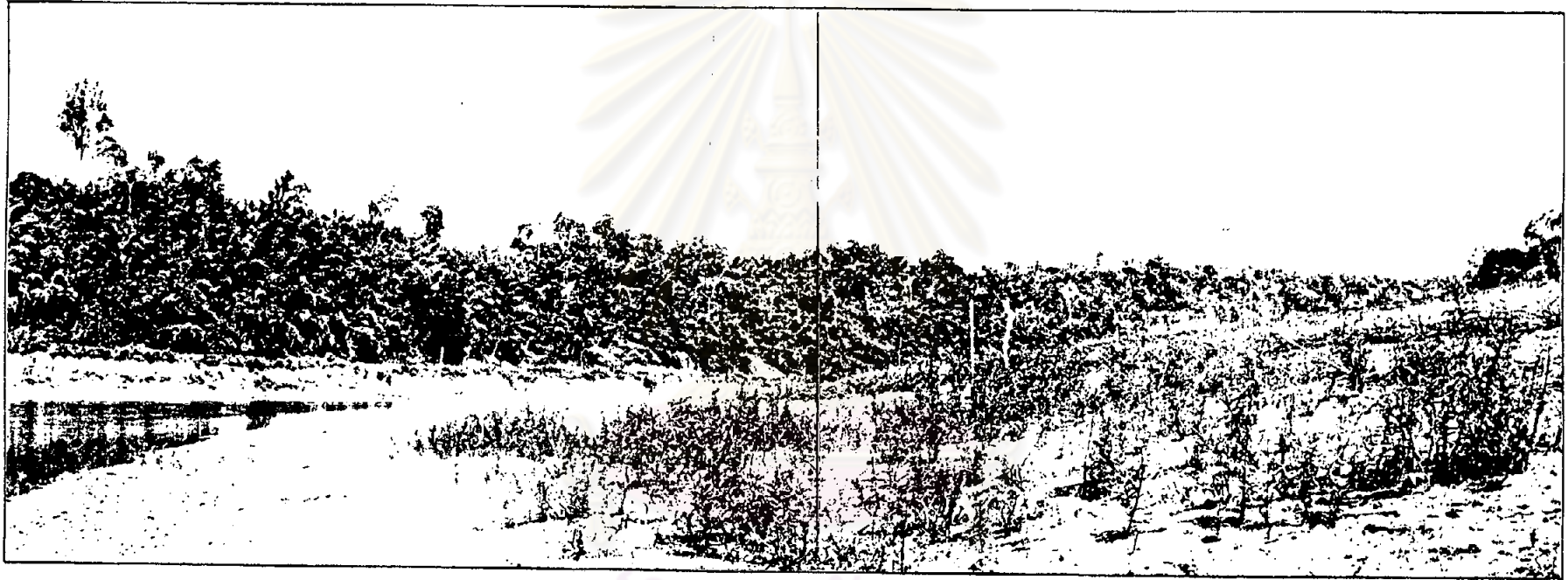
รูป ข-14 แนวชั้นหินด้านต้นน้ำของสะพาน ห่างจากสะพานประมาณ 50 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ข-15 แนวชั้นหินดานท้ายน้ำของสะพาน ห่างจากสะพานประมาณ 50 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ข-16 ส ภาพภูมิประเทศทั่วไปด้านต้นน้ำของสะพาน(ปี 2525)

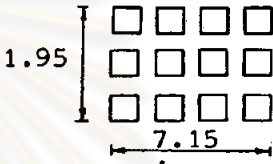
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูป ข-17 สภาพภูมิประเทศทั่วไปด้านท้ายน้ำของสะพาน(ปี 2525)

ตาราง ข-4 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์

รายการคำนวณตัวอย่าง B: ข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณ		
ลำดับ	ตัวแปร	ที่มาข้อมูล
1	$b = 1.95$ เมตร $l = 7.15$ เมตร	<ul style="list-style-type: none"> - ความกว้างตอม่อ = 0.54 เมตร - ความกว้างเสาเข็ม = 0.35 เมตร - ความกว้างฐานราก = 2.40 เมตร - ความกว้างกลุ่มฐานราก = 1.95 เมตร  <p>เนื่องจากมีหลักฐานว่าขณะเกิดการวิบัติทางโครงสร้าง มีสระพันรอบเสาเข็มและอยู่จุดใกล้ผิวพื้นดิน จึงใช้ $b = 1.95$ เมตร</p>
2	$D_{50} = 0.6$ mm.	- ขนาดดินจากห้องทดลอง
3	$\gamma_s = 2.68$	- น้ำหนักดินจากห้องทดลอง
4	$Q = 1350$ m ³ /sec	- อัตราการไหลของน้ำหลากจากสถิติวัดน้ำที่ N 42 ของกรมชลประทาน ณ วันที่ 5 กรกฎาคม 2524
5	$B = 112$ m.	- ความกว้างทางน้ำประเมินจากแบบแปลน
6	$h = 13.85$ m.	- ความลึกการไหลจากข้อมูลในสนามและประเมินจากแบบแปลน
7	$A = 572$ m ²	- พื้นที่หน้าตัดลำน้ำวัดจากแบบแปลน
8	$\alpha = 0^\circ$	- ตอม่อวางขนานลำน้ำ
9	$B' = 108.22$ m.	- $B' = B - 7x$ (ความกว้างตอม่อ)

ตาราง ข-5 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะกรณีสะพานข้ามลำน้ำว่า

รายการคำนวณตัวอย่าง B: การคำนวณ		
ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
1	$V = 2.36 \text{ m/sec}$	$V = Q/A$
2	$q = 129.72 \text{ ft}^3/\text{sec/ft}$	$q = Q/B$
3	$\sigma = 0.97$	$\sigma = B'/B$
4	$Fr = 0.20$	$Fr = V/\sqrt{gh}$
5	$A' = 519.65 \text{ m}^2$	พื้นที่หน้าตัดลำน้ำหักคานพื้นที่ตอม่อ ณ สะพาน
6	$V' = 2.60 \text{ m/sec}$	$V' = Q/A'$
7	$q' = 134.32 \text{ ft}^3/\text{sec/ft.}$	$q' = Q/B'$
8	$Fr' = 0.22$	$Fr' = V'/\sqrt{gh}$
9	$V_{\text{comp.}} = 2.0 \text{ m/sec}$	จาก Chart ในรูป จ-2
10	Safe $V_{\text{comp.}} = 2.2 \text{ m/sec}$	เพิ่ม 10% ของ $V_{\text{comp.}}$
11	$h' = 14.1 \text{ m}$	จาก Chart ในรูป จ-2
12	General scour = 0.25 m.	$h' - h$
13	Max. scour depth by Inglis $S_m' = 9.97 \text{ m.}$ $S_m = -3.88 \text{ m.}$	$S_m'/b = 1.7 (q^{2/3}/b)^{0.78}$ $S_m = S_m' - h$
14	Equilibrium Scour depth by Chitala formular $S_e = 1.34 \text{ m.}$	$S_e = -0.51 + 6.65Fr - 5.49Fr^2$
15	Maximum Scour depth by Breusen formular $S_m = 2.73 \text{ m.}$	$S_m = 1.4b$

ตาราง ข-5 (ต่อ)

ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
16	Equilibrium Scour depth by Carsten formula $N_s = 26.15$ $S_e = 1.069 \text{ m.}$	$- S_e/b = 0.546 \left[\frac{N_s^2 - 1.64}{N_s^2 - 5.02} \right]^{15/6}$ $- N_s = v/\sqrt{(\gamma_s/\gamma-1)gd}$
17	Maximum Scour depth by Larras formula $S_m = 3.28 \text{ m.}$	$- S_m = 1.42 Kb^{0.75}$ $K = 1.40$
18	Equilibrium Scour depth by Liu et al formula $S_e = - \text{ m.}$	$- S_e/h = 1.1 (b/h)^{0.4} Fr^{0.33}$
19	Average Eq ^m scour depth $S_e = 1.2045 \text{ m.}$	- จากค่าเฉลี่ยของค่า S_e ในข้อลำดับที่ 14, และ 16
20	แปลงค่า S_e เป็น S_m $S_m = 0.83 \text{ m.}$	$- S_m/S_e = 2.27 - 0.45 \log (b/d)$
21	Average Max. scour depth $S_m = 2.28 \text{ m.}$	- จากค่าเฉลี่ยของค่า S_m ในข้อลำดับที่ 15, 17 และ 20
22	Total scour depth $S_m = 2.53 \text{ m.}$	- Generalscour + Local scour



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างกรณีศึกษาสะพานข้ามลำน้ำเลย

ศูนย์วิทยพัธพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

กรณีศึกษาการกัดเซาะของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ามลำน้ำเลย

(ตัวอย่างกัดเซาะ C)

ค.1 ลักษณะโครงการและปัญหาการกัดเซาะ

ค.1.1 ลักษณะโครงการ

ตัวอย่างกัดเซาะ C เป็นโครงการสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้เป็นสะพานข้ามลำน้ำเลย บนถนนที่เชื่อมระหว่างหมู่บ้านน้ำพร ซึ่งเป็นหมู่บ้านทางใต้ของอำเภอเชียงคานใกล้กับอำเภอท่าลี่กับตัวอำเภอเชียงคาน ภูมิประเทศบริเวณใกล้เคียงเป็นภูเขาและที่ราบสูง ทอดเป็นแนวยาวไปกับลำน้ำและเทือกเขาจนถึงแถบที่ราบใกล้ริมฝั่งแม่น้ำโขงและตัดข้ามน้ำเลยที่บ้านปากเลย ซึ่งเป็นจุดที่ลำน้ำเลยไหลลงสู่แม่น้ำโขง ข้อดีของภูมิประเทศตามธรรมชาติคือลำน้ำเลยช่วงที่ตั้งโครงการจากปากลำน้ำไปประมาณ 1 กิโลเมตร จะมีแนวลำน้ำค่อนข้างตรงแต่เนื่องจากเป็นพื้นที่แถบภูเขาทำให้ระดับท้องน้ำมีความลาดเอียงมากเป็นตัวแปรสำคัญในข้อมูลทางอุทกศาสตร์ ตัวอย่างสะพาน C จึงมีประวัติการกัดเซาะอย่างต่อเนื่องมาทุกปีและเริ่มรุนแรงขึ้นในปี 2521 ต่อมาเกิดอุทกภัยในปี 2523 สะพานไม่สามารถต้านทานการกัดเซาะได้และพังทลายลงในที่สุด ในลักษณะที่แตกต่างไปจากตัวอย่างสะพาน B โดยทุกชิ้นส่วนของโครงสร้างหลุดจมลงในน้ำตกทอดลงเป็นแนวในตำแหน่งใกล้เคียงกับแนวสะพานเดิม แสดงให้เห็นชัดว่าจุดวิกฤตินั้นอยู่ที่การทรุดตัวของตอม่อ ตารางที่ ค-1 ได้แสดงรายละเอียดของโครงสร้างและลักษณะโครงการไว้

ค.1.2 ปัญหาการกัดเซาะ

ค.1.2.1 ลำดับเหตุการณ์การกัดเซาะ

1. สะพานข้ามลำน้ำเลย มีร่องรอยของการกัดเซาะให้เห็นมากบ้าง น้อยบ้าง หลังฤดูน้ำหลากในปี 2521 โครงสร้างปรากฏรอยแตกร้าวแต่ไม่ถึงกับพังทลายลงมา
2. จากการสำรวจความเสียหายที่เกิดขึ้นในเดือนธันวาคม 2521 มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง ค-1 ลักษณะโครงการศึกษา C - สะพานข้ามลำน้ำเลย

ชื่อโครงการ สถานที่ตั้ง	สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ามลำน้ำเลย เส้นทาง : บ้านน้ำพร - เชียงคาน อำเภอ : เชียงคาน จังหวัด : เลย ภาค : ตะวันออกเฉียงเหนือ
รายละเอียดของโครงสร้าง	ประเภท : สะพานทางรถวิ่งคู่ มีทางเท้า 2 ข้าง ความกว้าง : ช่วงผิวจราจร 7.0 เมตร ทางรถกว้าง ข้างละ 1.50 เมตร ความยาว : สะพานเดิมก่อสร้างราว 105.0 เมตร หลัง จากสะพานพังลงมา ได้มีการก่อสร้างใหม่ห่างจาก ตำแหน่งเดิมประมาณ 50 เมตร โดยก่อสร้าง เป็นสะพานที่มีความยาว 145 เมตร ทดแทน สะพานเดิม ลักษณะก่อสร้าง : คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อ ณ ที่ก่อสร้าง จำนวนตอม่อ : มีตอม่อรวม 10 ตับ แยกเป็นเข็มตอก 6 ตับ และตอม่อฐานเข็มกลุ่ม 4 ตับ จำนวนพื้น : พื้น Slab 6 ช่วง รวมความยาว 55 เมตร พื้นระบบคาน(Girder) 3 ช่วง รวมความยาว 50 เมตร
ระยะเวลาก่อสร้าง	เริ่มก่อสร้างเมื่อ 1 พฤษภาคม 2516 แล้วเสร็จเมื่อ 25 เมษายน 2517 รวมเวลาก่อสร้าง 360 วัน
งบประมาณค่าก่อสร้าง	1,778,000.00 บาท
รายละเอียดลำน้ำ	ระดับน้ำสูงสุดปกติ ระดับ 95.50 ม.(รสม.) ระดับน้ำสูงสุด(เฉลี่ย) ระดับ 97.00 ม.(รสม.) ระดับน้ำสูงสุดอุทกภัย(ปี 2521) ระดับ 98.00 ม.(รสม.) ระดับน้ำต่ำสุด(ปกติ) ระดับ 83.20 ม.(รสม.) ระดับท้องลำน้ำ ระดับ 82.20 ม.(รสม.) ระดับหลังสะพาน ระดับ 101.80 ม.(รสม.) ความลาดเอียงของลำน้ำ : จากแผนที่ 1:50,000 ประมาณ ได้ 0.0002825
รายละเอียดดินท้องน้ำ	ความสูงน้ำขณะเกิดน้ำหลาก : 16.30 เมตร เป็นทราย มีขนาดเฉลี่ย 0.1 มม.(D 50) มีค่า Specific gravity = 2.71

(รูป ก-2)

ก. ตอม่อเกิดการทรุดตัวและเอียงไปจากเดิม 30 ซม.

ข. ฐานรากตอม่อ G เคลื่อนตัวไปทางกลางน้ำ 16 ซม. หัวเสาเข็มที่อยู่ติดฐาน มีรอยร้าวรอบอันเกิดจากแรงเฉือน

ค. พื้นช่วง EF เคลื่อนห่างจากพื้นช่วง FG 3 ซม. และพื้นช่วง FG เคลื่อนห่างออกจากพื้นช่วง GH 2.0 ซม.

ง. ระดับพื้นช่วง FG และ GH ต่างกัน 1.75 ซม.

จ. ฐานรับพื้น (Cap beam) ตอม่อตอม่อ D, F, G เกิดรอย Crack

ฉ. เสาขาวและเสาช่วง EF มีรอย Crack

ช. ตอม่อตอม่อ E ทรุดจากระดับเดิม 26 ซม. และเกิดรอยแตกรอบหัวเสาเข็ม
ทุกต้น

3. ในบริเวณใต้สะพาน มีชาวบ้านมาวางระเบิดเพื่อจับปลาเป็นประจำ อาจจะมีผลต่อดินต่อน้ำไม่มากนัก

4. ก่อน 10 พฤศจิกายน 2523 มีขุม สวะ มาติดที่ฐานรากตอม่อสะพานและเกิดการกัดเซาะดินต่อน้ำขึ้นและสะพานได้พังหลายลงเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2523

5. จากการสำรวจภายหลังจากน้ำลดแล้ว พบว่า

ก. ตอม่อหลักที่ถูกกระแสน้ำกัดเซาะคือตอม่อตอม่อ E และ F ความลึกของหลุมกัดเซาะที่วัดได้จากตอม่อตอม่อ E มีความลึกประมาณ 4.0 เมตร

ข. ตอม่อที่ถูกกัดเซาะรองลงมาได้แก่ตอม่อตอม่อ E ซึ่งวัดความลึกหลุมกัดเซาะได้ 2.0 เมตร (ที่ตอม่อนี้ ความลึกที่เสาเข็มฝังอยู่ในดินเหลือประมาณ 2.50 เมตร)

ค. การพังทลายของตอม่ออยู่ในลักษณะตอม่อพังทับทับกับที่และพื้นสะพานตกอยู่ใน
ตำแหน่งเดิม

- ง. พื้นสะพานพังลงมาทั้งหมด 6 ช่วง ตั้งแต่ตอม่อดับ B ถึง H
 จ. ตอม่อที่พังพังลงมา มี 5 ดับ ได้แก่ดับ D ถึง H รวมความยาว 80 เมตร

ค.1.2.2 ลำดับการแก้ไข

1. มีการเลือกที่ตั้งสะพานใหม่ห่างจากตำแหน่งเดิมประมาณ 50 เมตร โดยเพิ่มความยาวขึ้นเป็น 145 เมตร (เดิยาว 105 เมตร)
2. การออกแบบสะพานใหม่ ได้เน้นความแข็งแรงต้านโครงสร้างโดยเฉพาะฐานรากเป็นพิเศษ

ค.2 ข้อมูลสำหรับการศึกษา

ตัวอย่างสะพาน C เป็นหนึ่งในสองสะพานที่เกิดการวิบัติถึงขั้นพังทลายลงมา หลักฐานสำคัญจึงอยู่ตามซากสลักหักพังซึ่งให้ทราบถึงทิศทางการพังลงของตอม่อ หลักฐานสำคัญอีกชิ้นหนึ่งคือข้อมูลการสำรวจความเสียหายของโครงสร้างที่เกิดขึ้นในปี 2521 แสดงให้เห็นการทรุดตัวของตอม่ออันเนื่องจากการกัดเซาะ อย่างไรก็ตามรายละเอียดของหลักฐานและข้อมูลสำคัญ ๆ พอสรุปลและแยกไว้ ดังนี้

ค.2.1 ข้อมูลโครงสร้าง

ข้อมูลโครงสร้างคงเหมือนกับตัวอย่าง A และ B ซึ่งต้องอาศัยแบบแปลนเดิม ดังได้สรุปส่วนที่สำคัญ ๆ ไว้ในตาราง ค-2 ข้อมูลที่ตรวจสอบพบเห็นจากที่เกิดเหตุ ได้พบสวะติดอยู่ตามฐานรากดังจะเห็นจากรูป ค-9 นอกจากนี้สิ่งที่กระทำต่อโครงสร้างก่อนปรากฏการณ์พังทลายเกิดขึ้น จากปากคำของชาวบ้านบริเวณใกล้เคียงได้ความว่าบริเวณใต้สะพานแห่งนี้เป็นที่ชุมนุมของปลานานาชนิด ชาวบ้านจะมาทำการจับปลาใต้สะพานเป็นประจำด้วยวิธีการต่าง ๆ วิธีหนึ่งที่สร้างความเสียหายและเป็นอันตรายต่อโครงสร้างสะพานได้แก่การใช้ระเบิด ในอีกด้านหนึ่งโครงสร้างสะพานได้รับการกัดเซาะอย่างต่อเนื่องจนตอม่อทรุดและโครงสร้างส่วนบนแตกร้าว จากข้อมูลการสำรวจในปี 2521 พอสรุปลได้ว่าตอม่อต้นที่ทรุดตัวอย่างมากได้แก่ตอม่อดับ E ซึ่งทรุดลงถึง 26 ซม. ในขณะที่ตอม่อดับ G เบี่ยงเบนออกจากจุดเดิม 16 ซม.

ตาราง ค-2 รายละเอียดโครงสร้างสะพานข้ามลำน้ำเลย

ตอม่อ	ตำแหน่งที่	ระดับดินเดิม ม.(รสม.)	ระดับดินใหม่ ม.(รสม.)	ช่วงคาน (ม.)	ประเภท โครงสร้างพื้น	ประเภทโครงสร้างตอม่อ	ประเภทฐานราก	หมายเหตุ
A	18+695.5	100.495	-			ตอม่อริมฝั่ง	-	ตำแหน่งและระดับเป็นค่าสมมุติ เฉพาะโครงการ
B	18+703	95.995	-	7.5	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
C	18+713	94.795	-	10.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
D	18+723	92.295	-	10.5	Slab	ตอม่อกำแพงกันขุ่น	ฐาน เข็มกลุ่ม	
E	18+758	81.567	-	15.0	T-Girder	ตอม่อกำแพงกันขุ่น	ฐาน เข็มกลุ่ม	
F	18+758	83.345	-	20.0	T-Girder	ตอม่อกำแพงกันขุ่น	ฐาน เข็มกลุ่ม	
G	18+773	88.085	-	15.0	T-Girder	ตอม่อกำแพงกันขุ่น	ฐาน เข็มกลุ่ม	
H	18+783	93.795	-	10.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
I	18+793	95.595	-	10.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
J	18+800.5	100.495	-	7.5	Slab	ตอม่อริมฝั่ง	-	

ทั้งสองประการนี้ทำให้เกิดรอยแตกร้าวตามคานรับพื้นของตอม่อดับ D ถึงดับ G และพื้นสะพานแยกตัวออกจากกันจนเกิดการต่างระดับระหว่างพื้นแต่ละช่วงขึ้น

ค.2.2 ข้อมูลทางฐานราก

จากปรากฏผลความเสียหายของโครงสร้างสะพาน ทำให้ต้องมีการศึกษาคุณสมบัติดิน ท่อน้ำเพื่อประกอบการออกแบบสะพานใหม่ ก่อสร้างทดแทนสะพานเดิม จากการเจาะสำรวจในจำนวนทั้งหมด 4 หลุม พบว่า ท่อน้ำเป็นดินประเภททรายละเอียด ความหนาประมาณ 7.0 เมตร ส่วนดินที่สูงขึ้นไปทางฝั่งตลิ่งทั้ง 2 ข้างเป็นดินเหนียว มีความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 5.0 เมตร ชั้นดินส่วนล่างสุดเป็นหินทราย ยาวตลอดเป็นรูปกะทะ ทรายละเอียดคุณสมบัติทางกายภาพของดินได้แสดงไว้ในตาราง ค-4 ถึง ค-6 และรูป ค-3, ค-4

ค.2.3 ข้อมูลทางอุทกศาสตร์

ตัวอย่างสะพาน C เป็นตัวอย่างสะพานแห่งแรกในจำนวนตัวอย่างเท่าที่กล่าวมาแล้วที่ตั้งอยู่บนช่วงตรงของลำน้ำ นอกจากเป็นตำแหน่งที่ลำน้ำเลยไหลลงบรรจบกับแม่น้ำโขงที่บ้านปากเลยแล้ว ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยาสำหรับตัวอย่างแห่งนี้ก็ไม่มีข้อมูลใดที่เด่นเป็นพิเศษ แต่อิทธิพลของภูมิประเทศเป็นผลข้างเคียงต่อข้อมูลทางอุทกวิทยา นั่นคือความลาดเอียงของพื้นที่ จากหลักฐานที่ปรากฏในแผนที่ มาตราส่วน 1:50,000 แสดงให้เห็นความลาดเอียงที่มีค่า 0.0002825 ม./ม. ขณะเดียวกันจากภูมิประเทศที่บริเวณรอบนอกเป็นภูเขา จึงเป็นลัทธิแปรสำคัญในการกำหนดน้ำท่าในลำน้ำเลย

ค.3 การวิเคราะห์การกัดเซาะ

ข้อมูลพื้นฐานในตัวแปรเพื่อการวิเคราะห์ มีดังนี้

1. กระแสน้ำในลำน้ำเลย ได้กัดเซาะตอม่อสะพานเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เกิดจากความลาดเอียงในพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งเป็นตัวกำหนดความเร็วกระแสน้ำและปริมาณน้ำไหล การกัดเซาะจึงเป็นไปอย่างต่อเนื่องจนเกิดการทรุดตัวของฐานรากขึ้นในปี 2521 และตอม่อดับที่ได้รับแรงกระทำมากได้แก่ตอม่อช่วงกลางน้ำตั้งแต่ตอม่อดับ D ถึงดับ G

ตาราง ก-3 แสดงความสัมพันธ์ของระดับน้ำกับความกว้างผิวน้ำ

ความสูงน้ำจาก ระดับท้องน้ำ (เมตร)	ความกว้างผิวน้ำ (เมตร)	หมายเหตุ
1.0	20.57	ระดับน้ำต่ำสุดปกติ
2.0	27.71	
3.0	34.57	
4.0	39.43	
5.0	44.28	
6.0	47.71	
7.0	50.71	
8.0	52.29	
9.0	53.86	
10.0	55.43	
11.0	58.00	
12.0	61.14	
13.0	66.86	
13.8	72.86	
14.0	73.57	อุทกภัย
14.8	95.57	
15.0	96.57	
15.8	98.80	
16.0	99.60	

ที่มา : จากแบบแปลนสะพาน

ตาราง ก-4 แสดงชั้นความหนาของดิน

ความหนา(ม.)	ชนิดดิน	หมายเหตุ
0 - 6.0	SM	เฉพาะส่วนกลางน้ำ
6.0 ขึ้นไป	Shale	
0 - 10	ML	ฝั่งซ้ายของลำน้ำ
0 - 6.0	CL	ฝั่งขวาลำน้ำ
-	หินดินดาน	ปรากฏทั่วไประดับ 10 เมตร ด้านฝั่งซ้ายของลำน้ำ

ตาราง ก-5 แสดง Sieve analysis ของดินท้องน้ำ

Sieve No.	Weight Retained	Percent Retained (individual)	Percent Retained (acc.)	หมายเหตุ
3/8"	-	-	-	น้ำหนักตัวอย่างดิน
No. 4	-	-	-	ทั้งหมด 1000 กรัม
No. 8	19.30	1.93	1.93	
No. 16	152.60	15.26	17.19	
No. 30	451.80	45.18	62.37	
No. 50	286.40	28.64	91.01	
No. 100	81.00	8.10	99.11	
Pan	8.90	0.89	100.00	

2. การพังทลายของโครงสร้าง เกิดจากการทรุดตัวของฐานรากโดยตรง เนื่องจากลักษณะของพื้นและตอม่อได้พังทับลง ณ ตำแหน่งเดิม แสดงว่าไม่มีแรงกระทำทางด้านข้าง ผลต่อการใด

3. จากสวะและกิ่งไม้แห้งที่พบตามฐานรากและเสาเข็ม เป็นเหตุให้ค่า "b" คือความกว้างของตอม่อ สำหรับการคำนวณต้องใช้ค่ารวมของกลุ่มเสาเข็ม ค่าความลึกกักเขาะที่วัดได้หลังวิกฤติการณ์ผ่านพ้นไปแล้ว ได้ค่าประมาณ 4.0 เมตร

4. การวางระเบิดของประชาชนเพื่อจับปลาได้สะพาน แรงระเบิดอาจมีโอกาไปเพิ่มความลึกของหลุมกักเขาะได้ อย่างไรก็ตามไม่มีหลักฐานใด ๆ ที่สามารถพิสูจน์ผลที่เกิดจากแรงกระทำส่วนนี้ได้

ค.4 สรุปการวิเคราะห์

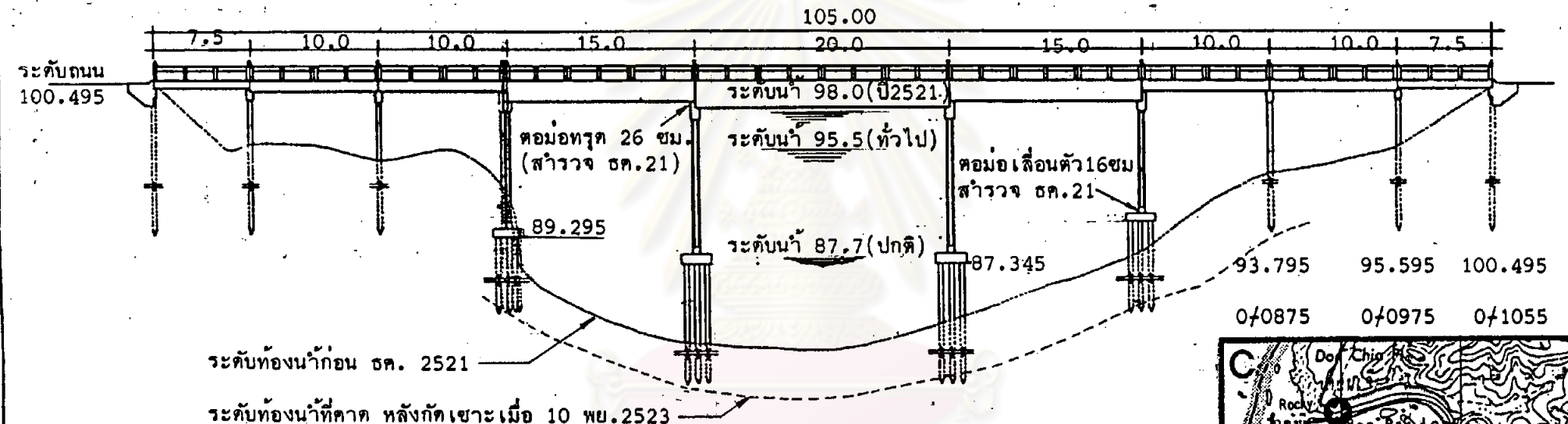
ค่าความลึกกักเขาะ 4.0 เมตร ที่สรุปจากสนามเป็นผลจากการคาดคะเนจากหลักฐาน ร่องรอยที่ปรากฏจากซากสลักหักพัง ถึงแม้จะไม่ถูกต้องแน่นอนทีเดียวแต่สะพานแห่งนี้ การพังทลายได้เหลือซากของฐานรากไว้บางฐานสำหรับเปรียบเทียบหาค่าความลึกได้ ฉะนั้น ถึงแม้ค่าที่ได้จะเป็นการคาดคะเนก็ให้ค่าที่พอเชื่อถือได้เมื่อเปรียบเทียบจากค่าที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงคือ 3.99 เมตร

สำหรับ ตัวอย่างสะพาน C เป็นสะพานที่ได้รับการกระทำจากกระแสน้ำติดต่อกัน เป็นเวลานานและต่อเนื่อง ปัญหาการวิบัติจึงไม่ใช่เกิดขึ้นฉับพลันแต่เป็นการสะสมความวิบัติทางโครงสร้างจนถึงจุดวิกฤตที่สะพานทรุดตัวอยู่ไม่ได้ การพังทลายของโครงสร้างนี้ จึงเป็นการพังทลายเพราะการกัดเขาะโดยตรงแบบต่อเนื่องเพียงอย่างเดียว



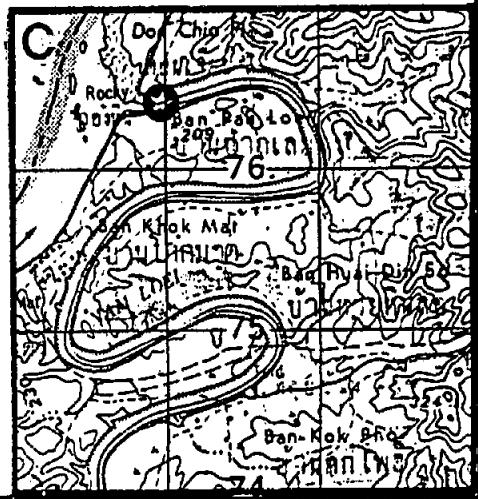
รูป ค-1 แสดงที่ตั้งสะพาน คสล.ข้ามลำน้ำเลย มาตรฐาน 1 : 20,000

สะพานข้ามลำน้ำเลย
เส้นทางสาย สายน้ำพร-อ.เมืองปาน
อ.เมืองปาน จ.เลย
พาดยาว 7.00 ม. ความยาว 105.00 ม.

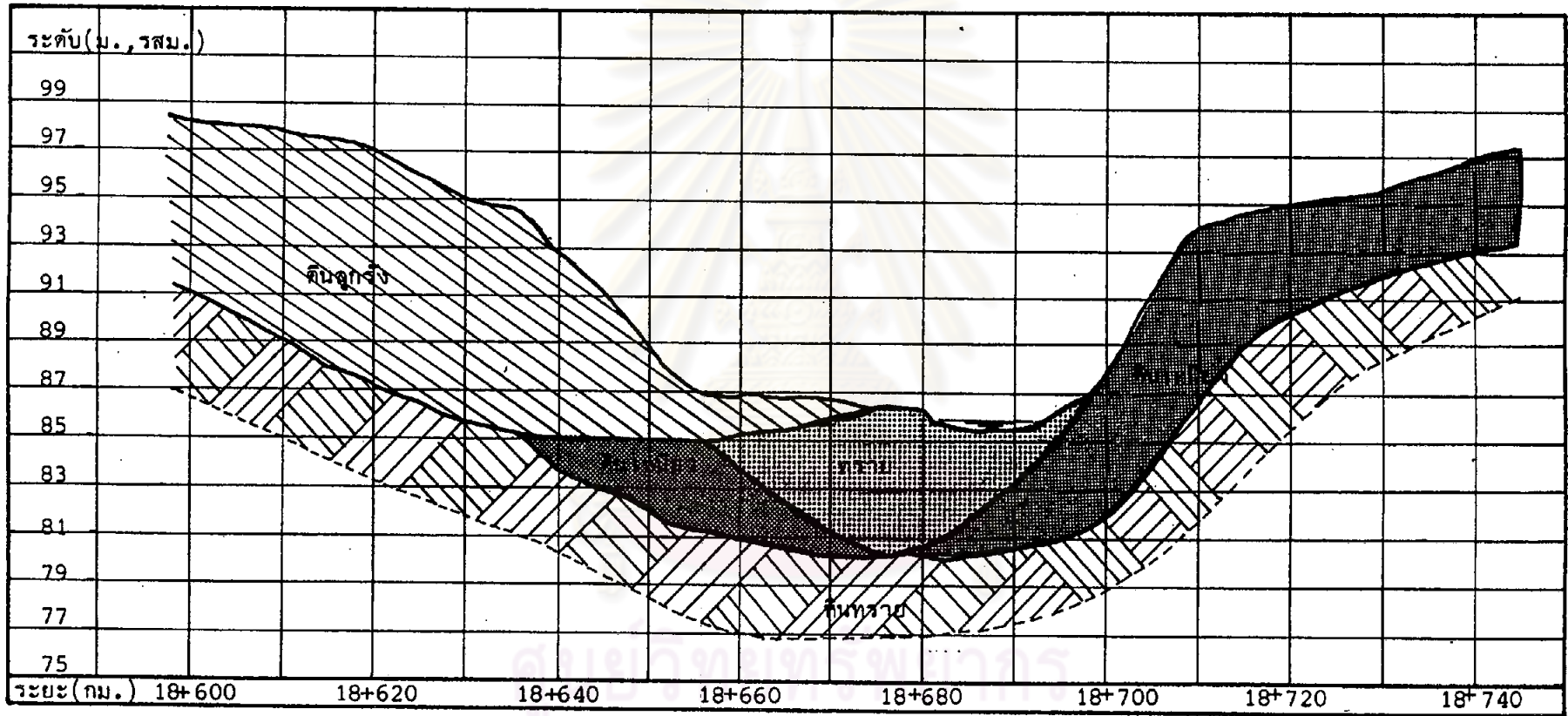


ระดับท้องน้ำก่อน ๕ค. 2521
 ระดับท้องน้ำที่คาด หลังกักเขาะเมื่อ 10 พย. 2523

	A	B	C	D	E	F	G
ระดับดินเดิม	100.495	95.995	94.795	95.295	81.567	83.345	88.085
ตำแหน่ง	0+000	0+0075	0+0175	0+0275	0+0425	0+0625	0+0775



รูป ค-2 ลักษณะสะพานข้ามลำน้ำเลย และระดับท้องน้ำที่คาดคะเนหลังการกักเขาะ เมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2523



รูป ค-3 ระดับชั้นดินบริเวณก่อสร้างสะพาน คสล.ข้ามลำน้ำเลย(สำรวจปี 2524)

โครงการ ศึกษาสภาพแวดล้อม, คุณภาพน้ำใน อ. เชียงใหม่ จ. เชียงใหม่

วันที่ ๒๑/๒/๕๕

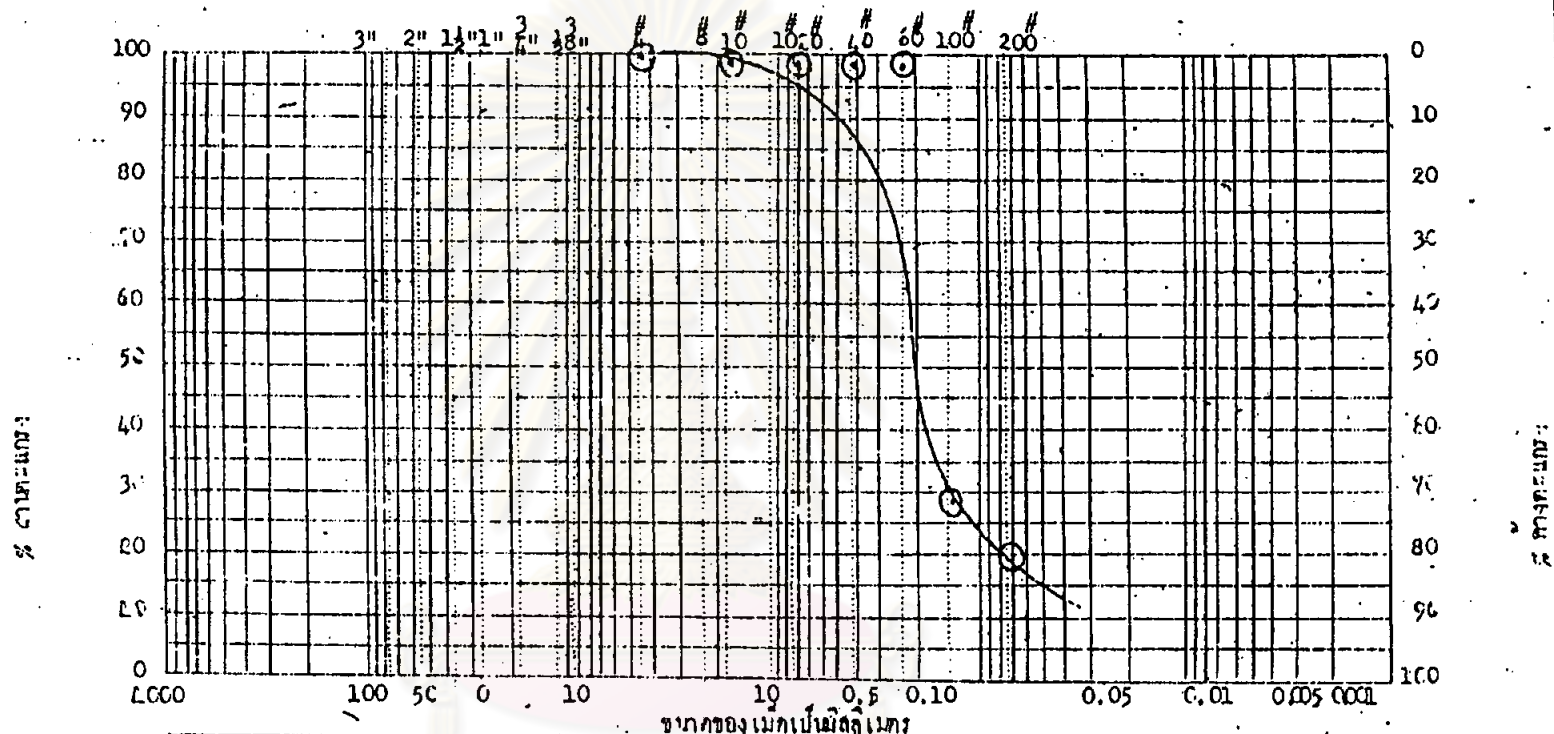
ตัวอย่างที่	% ผ่านตะแกรง (เบอร์)							L.L.	P.I.	ประเภทของวัสดุ	ความเค็มสูงสุด, ไม่น้ำกรวด/ลิตร	ค่าความขุ่นสูงสุด	C.B.R.	พบบท
	4	10	20	40	60	100	๕๐๐							
1 Sta.18+631	-	99.74	98.80	97.78	96.72	95.56	93.88	35.80	10.70	ML				ลึก 0.50-9.50
2/1 18+656	-	-	99.98	99.94	99.88	98.54	98.26	-	MP	HL				0.30-1.90
2/2 18+656	-	-	99.98	99.76	99.12	77.66	65.58	50.10	29.43	CL				1.90-6.00
3 18+678	-	99.98	99.96	99.94	99.16	29.68	20.12		MP	SH				0.30-6.20
4 18+701	-	99.94	99.82	99.52	99.42	99.30	98.82	40.50	16.36	CL				0.00-6.00

นายอรุณ วัฒน...
 ภาควิเคราะห์วัสดุ
 กองสำรวจและออกแบบ
 บ กบ ๒๑

ตาราง ค-6 สรุปผลการทดสอบดินท้องถิ่นในลำน้ำเลย (จากสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท)

กราฟการเรียงเม็ด

ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน



ก่อนขึ้น	กรวด		ทราย		ชนิด หรือ ชนิดละเอียด
	หยาบ	ละเอียด	หยาบ	ปานกลาง	

ชนิดของวัสดุ: ดินเหนียว ขนาด 0.75 - 6.20
 ชื่อของทาง: STA 18+678
 โครงการ: ข. กว. ๓.๖๖ รั้วพื้นที่ ๑๖๐
 สถานที่: จ. เชียงใหม่ - ม. ห้วยทราย อ. ฝายหลวง จ. เชียงใหม่
 หมายเหตุ: [Signature]
 วิศวกร/นายช่างควบคุม: [Signature]
 วันที่: 18/2/24

แบบทอรวม วส. ๑๓ ฝ่ายวิศวกรรมโยธา กองสำรวจและออกแบบ ๑๔ ม. ค. ๒๔

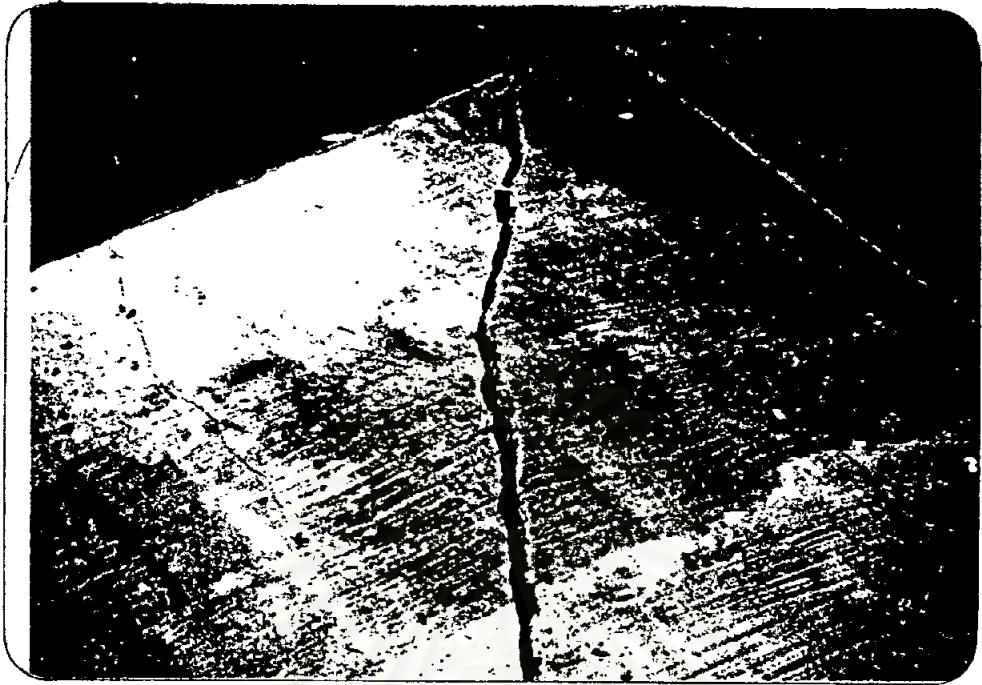
รูป ค-4 กราฟแสดงการทดสอบการเรียงเม็ด ดินท้องถิ่นลำน้ำเลย (จากสำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท)



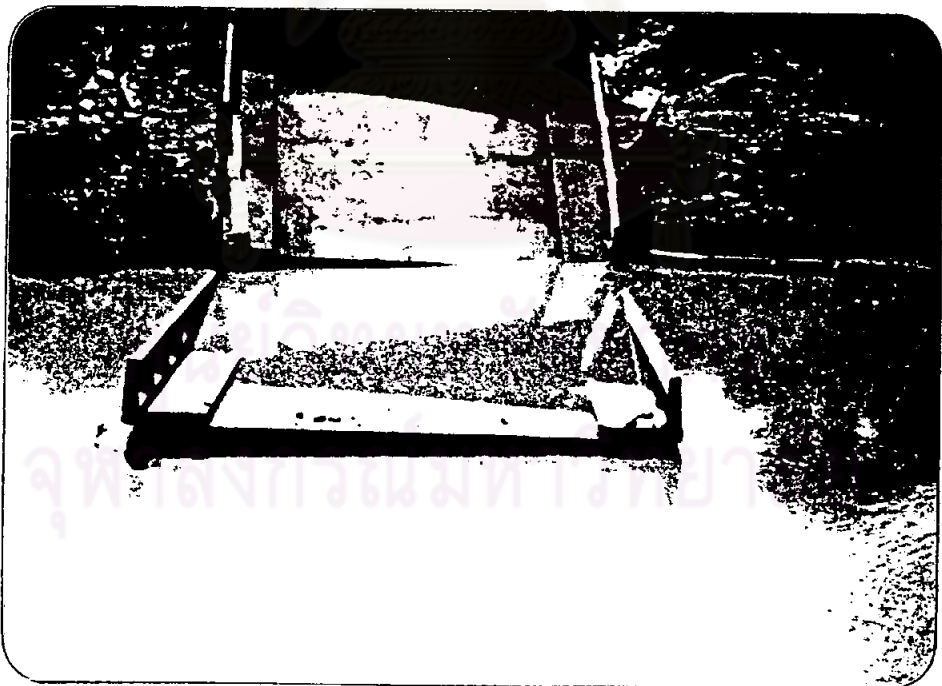
รูป ค-5 ทศนิยมภาพบริเวณที่ตั้งสะพาน หลังจากสะพานพังทลายแล้ว



รูป ค-6 สภาพความเสียหายของสะพานด้านฝั่งหมู่บ้านน้ำพร



รูป ค-7 สภาพพื้นสะพานที่ได้รับความเสียหาย (สำรวจปี 2523)



รูป ค-8 พื้นสองข้างที่วางอยู่ในแนวเดิม สภาพปกติ



รูป ค-9 สภาพความเสียหายของตอม่อตัมบ์ สังเกตเห็นสวะพันแน่น
อยู่กับฐานราก



รูป ค-10 ตำแหน่งและ
ระดับของพื้นสองช่วงที่
หลุดออกจากกัน สามารถ
คาดการณ์ลักษณะการพัง
ทลายได้

ตาราง ค-7 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์ (ข้อมูลปี 2521)

รายการคำนวณ ตัวอย่าง C : ข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณ (ปี 2521)		
ลำดับ	ตัวแปร	ที่มาข้อมูล
1	$b = 1.95$ เมตร	เหตุผลเช่นเดียวกับตัวอย่าง B
	$l = 7.15$ เมตร	
2	$D = 0.1$ มม.	-ขนาดของเม็ดวัสดุหิน D_{50} จากการทดสอบ
	$\gamma_s = 2.64$ T/m ³	-น้ำหนักหินจากการทดสอบ
3	$S = 0.0002825$ m/m	-ตรวจสอบจากแผนที่ 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ฯ
4	$n = 0.035$	-สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning)
5	$B = 99.6$ เมตร	-ประเมินจากข้อมูลในสนามและแบบแปลน
6	$h = 16.3$ เมตร	-ความลึกการไหลข้อมูลจากการสำรวจท้องที่จริงในปี 2521
7	$A = 884.375$ ม. ²	-พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ จากการวัดโดยใช้แบบแปลนก่อสร้าง
8	$P = 110$ เมตร	-เส้นรอบรูปส่วนเปียกน้ำ จากการวัดในแบบแปลน
9	$\alpha = 0^\circ$	-ตอม่อวางขนานกับกระแสน้ำ
10	$B' = 95.28$ เมตร	- $B - 8 \times$ (ความกว้างตอม่อ)

ตาราง ค-8 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะกรณีสะพานข้ามลำน้ำเลย (ปี 2521)

รายการคำนวณ ตัวอย่าง C : การคำนวณ (การกัดเซาะในปี 2521)		
ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
1	$R = 8.0398$ เมตร	- $R = A/P$
2	$V = 1.934$ m/sec	- $V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$
3	$Fr = 0.15$	- $Fr = V/\sqrt{gh}$
4	$\sigma = 0.96$	- $\sigma = B'/B$
5	$h^* = h_3 = 0.25$ ft. = 0.076 m.	- จาก Chart ที่จ-5
6	$K_A = 0.96$	- จากตารางที่ 2.1
7	$Q'_{design} = 3410$ m ³ /sec	- จากสมการ 2.20 (Manning Formula)
8	$A' = 813.959$ m ²	$A - 8x$ (พื้นที่ตอม่อ)
9	$V' = 4.19$ m/sec	$V' = Q'/A'$
10	$Fr' = 0.33$	$Fr' = V'/\sqrt{gh}$
11	$q' = 385.04$ ft ³ /sec/ft.	$q' = Q'/B'$
12	General scour depth = 0	เนื่องจากความลึกของน้ำมีมาก
13	Maximum Scour depth for Inglis formula $S_m' = 17.26$ m. $S_m = 0.96$ m.	$S_m'/b = 1.7 (q'^{2/3}/b)^{0.78}$ $S_m' - h$
14	Equilibrium Scour depth for Chitala formula $S_e = 1.087$ m.	$S_e/b = -0.51 + 6.65 Fr - 5.49 Fr^2$
15	Maximum Scour depth for Breusen formula $S_m = 2.73$ m.	$S_m = 1.4 b$

ตาราง ค-8 (ต่อ)

ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
16	Equilibrium Scour depth for Carsten formula $N_s = 104.46$ $S_e = 1.065 \text{ m.}$	$N_s = V/\sqrt{(\gamma_s/\gamma-1)gd}$ $S_e/b = 0.546 \left[\frac{N_s^2 - 1.64}{N_s^2 - 5.04} \right]^{5/6}$
17	Maximum Scour depth for Larras formula $S_m = 3.28 \text{ m.}$	$S_m = 1.42 Kb^{0.75}$ $K = 1.40$
18	Equilibrium Scour depth by Liu et al formula $S_e = - \text{ m.}$	$S_e/h = 1.1 (b/h)^{0.4} Fr^{0.33}$ เนื่องจากเป็นตอม่อกลางน้ำ
19	Average Eq ^m scour depth $S_e = 1.076 \text{ m.}$	จากค่าเฉลี่ยของค่า S_e ในข้อลำดับที่ 14,16 และ 18
20	Average Max. scour depth $S_m = 2.32 \text{ m.}$	จากค่าเฉลี่ยของค่า S_m ในข้อลำดับที่ 13,15 และ 17
21	Total scour depth $S = 1.698 \text{ m.}$	General Scour + Local scour General scour = 0

ตาราง ก-9 'สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์เพิ่มเติมจากปี 2521

รายการคำนวณ ตัวอย่าง C : ข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณกักเขาะปี 2523		
ลำดับ	ตัวแปร	ที่มาข้อมูล
1	$h = 17.952 \text{ m.}$	ความลึกเดิมรวมกับความลึกกักเขาะในปี 2521
2	$A = 953.125 \text{ m.}^2$	จากการวัดตามข้อมูลที่สำรวจ
3	$P = 112 \text{ m.}$	สำรวจเพิ่มเติม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ตาราง ค-10 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะกรณีสะพานข้ามลำน้ำเลย (ปี 2523)

รายการคำนวณ ตัวอย่าง C: การคำนวณ (การกัดเซาะในปี 2523)		
ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
1	$R = 8.51 \text{ m.}$	$R = A/P$
2	$V = 2.008 \text{ m/sec}$	$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$
3	$Fr = 0.15$	$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$
4	$h^* = h_3 = 0.075 \text{ m.}$	จาก Chart ที่ จ-5
5	$K_A = 0.96$	จากตารางที่ 2.1
6	$Q' = 3859.02 \text{ m}^3/\text{sec}$	จากสมการ 2.20
7	$A' = 875.57 \text{ m}^2$	$A = 8x$ (พื้นที่ตอม่อ)
8	$V' = 4.41 \text{ m/sec}$	$V' = Q'/A'$
9	$Fr' = 0.33$	$Fr' = \frac{V'}{\sqrt{gh}}$
10	$q' = 435.74 \text{ ft}^3/\text{sec/ft}$	$q' = Q'/B'$
11	Maximum Scour depth for Inglis formula $S_m' = 18.40 \text{ m.}$ $S_m = 0.458 \text{ m.}$	$S_m'/b = 1.7 (q^{2/3}/b)^{0.78}$ $S_m' - h$
12	Equilibrium Scour depth by Chitala $S_e = 2.11 \text{ m.}$	$S_e/b = -0.51 + 6.65Fr - 5.49Fr^2$
13	Maximum Scour depth for Breusen formula $S_m = 2.73 \text{ m.}$	$S_m = 1.4 b$
14	Equilibrium Scour depth for Carsten formula $N_s = 109.94$ $S_e = 1.065 \text{ m.}$	$N_s = V \sqrt{(\gamma/\gamma-1)gD}$ $S_e/b = 0.546 \left[\frac{N_s^2 - 1.64}{N_s^2 - 5.02} \right]^{5/6}$



ตาราง ก-10(ต่อ)

ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
15	Maximum Scour depth for Liu et al formula $S_m = 3.28 \text{ m.}$	$S_m = 1.42 K b^{0.75}$ $K = 1.40$
16	Eq ^m scour depth for Liu et formula $S_e = - \text{ m.}$	$S_e/h = 1.1 (b/h)^{0.4} Fr^{0.33}$
17	Average Equilibrium Scour $S_e = 1.5875 \text{ m.}$	จากค่าเฉลี่ยของค่า S_e ในข้อลำดับที่ 12, 14 และ 16
18	Average Maximum Scour depth $S_m = 3.005 \text{ m.}$	จากค่าเฉลี่ยของค่า S_m ในข้อลำดับที่ 13, 15
19	Total scour = 2.296 m.	General Scour = 0
20	Total scour for 2521 and 2523 $S_m = 3.994 \text{ m.}$	$S_m (2521) + S_m (2523)$



ภาคผนวก ง

ตัวอย่างกรณีศึกษาสะพานข้ามคลองตรอน

ศูนย์วิทยพัทพยาบาล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

กรณีศึกษาการกัดเซาะของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ามคลองตรอน
(ตัวอย่างกัดเซาะ D)

ง.1 ลักษณะโครงการและปัญหากัดเซาะ

ง.1.1 ลักษณะโครงการ

ตัวอย่างกัดเซาะ D เป็นโครงการสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ใช้เป็นสะพานข้ามคลองตรอน บนถนนที่เชื่อมระหว่างบ้านป่าขนุนในอำเภอตรอนกับอำเภอพิชัย อำเภอพิชัยเป็นอำเภอที่มีรถไฟวิ่งผ่านและตรงไปยังอำเภอเมือง มีความสำคัญต่อการขนส่งและคมนาคม ถนนสายนี้จึงมีอิทธิพลต่อเศรษฐกิจในพื้นที่แถบใกล้เคียงและได้รับการยกระดับเป็นทางหลวงแผ่นดินโดยกรมทางหลวงแผ่นดิน รับโอนไปดูแลรักษา เนื่องจากบริเวณที่ตั้งโครงการอยู่ในหมู่บ้านแก่ง ซึ่งมีประชากรหนาแน่น การก่อสร้างจึงถูกจำกัดในทิศทางและแนวทาง สะพานถูกก่อสร้างในส่วนโค้งของลำน้ำซึ่งเป็นลำน้ำที่มีความแคบและตื้นเขินตลอดทั้งสาย อีกประการหนึ่งดินท้องน้ำเป็นดินปนทรายละเอียดง่ายต่อการถูกกัดเซาะ ในพื้นที่บริเวณหมู่บ้านจึงมีประวัติกัดเซาะเป็นประจำ ประชาชนบนสองฝั่งตลิ่งต้องถอนย้ายบ้านเรือนเป็นประจำเนื่องจากดินถูกกัดเซาะออกไป การกัดเซาะมีความรุนแรงจนคุกคามต่อความมั่นคงในโครงสร้างของถนนช่วงที่อยู่ในบริเวณสะพาน หลักฐานอีกประการหนึ่งที่ยืนยันการกัดเซาะ ได้แก่ การก่อสร้างแผ่นกัน ป้องกันการกัดเซาะตลิ่งทางท้ายน้ำของสะพานซึ่งกรมชลประทานเป็นผู้ก่อสร้างไว้ สำหรับตัวอย่างสะพานD นั้น จากผลการติดตามสำรวจของกรมทางหลวงแผ่นดินพบว่ามีการกัดเซาะตลอดเวลาและต่อเนื่อง โดยเฉพาะในปี 2521 และปี 2523 ความเสียหายของสะพานเป็นผลมาจากการทรุดตัวของฐานราก และต้องทำการก่อสร้างเพิ่มเติมความยาวของสะพานจาก 80 เมตร เป็น 110 เมตร รายละเอียดอื่น ๆ ของโครงการได้แสดงไว้ในตาราง ง-1

ง.1.2 ปัญหาการกัดเซาะ

ง.1.2.1 ลำดับเหตุการณ์กัดเซาะ

ตาราง ง-1 ลักษณะโครงการการศึกษา D - สะพานข้ามคลองตรอน

ชื่อโครงการ สถานที่ตั้ง	สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กข้ามคลองตรอน เส้นทาง : ทางหลวงแผ่นดินสายป่าขนุน - อ.พิชัย อำเภอ : ตรอน จังหวัด : อุดรธานี ภาค : เหนือ
รายละเอียดโครงสร้าง	ประเภท : สะพานทางรถวิ่งคู่ ยกกระต๊อ มีทางเท้า 2 ข้าง ความกว้าง : ช่วงจราจร 7.0 เมตร ทางเท้ากว้างข้างละ 1.50 เมตร ความยาว : การก่อสร้างเดิมได้ก่อสร้างในความยาวทั้งหมด 80 เมตร ต่อมาได้มีการโอนความรับผิดชอบระหว่างหน่วยงานจาก รพช. ไปให้กรมทางหลวง ในปี 2521 เกิดการกักเขาะตลิ่งจนต้องก่อสร้างเพิ่มความยาวเป็น 110.00 เมตร ลักษณะก่อสร้าง : คอนกรีตเสริมเหล็กหล่อ ณ ที่ก่อสร้างและยก ระดับเป็นส่วนโค้ง จำนวนตอม่อ : เดิมมีตอม่อทั้งหมด 6 ตับ ต่อมาในปี 2521 ได้ซ่อมสร้างโดยทุบตอม่อริมฝั่งออกและเพิ่มตอม่อใหม่อีก 5 ตับ รวมตอม่อขั้นสุดท้าย 10 ตับ จำนวนพื้น : แบ่งเป็นพื้น Slab 3 ช่วง และ T-Girder 3 ช่วง ต่อมาแก้ไขและเปลี่ยนแปลงพื้น Slab เป็น 7 ช่วง
ระยะเวลาก่อสร้าง	มีหลักฐานปรากฏว่าได้เริ่มก่อสร้างช่วงกลางปี 2514 แต่ไม่สามารถตรวจสอบเวลาที่แน่นอนได้ ส่วนช่วงต่อเติมนั้นได้ก่อสร้างแล้วเสร็จเมื่อ 27 มีนาคม 2523
งบประมาณก่อสร้าง รายละเอียดลำน้ำ	- ระดับน้ำสูงสุด : 100.033 ม.(รสม.) ระดับน้ำต่ำสุด : 94.232 ม.(รสม.) ระดับท้องน้ำ : 88.252 ม.(รสม.) ระดับหลังสะพาน : จุดส่วนโค้งบน 101.264 ม.(รสม.) จุดส่วนโค้งล่าง 98.378 ม.(รสม.) ความลาดเอียงท้องน้ำ : 0.0004520 ม./ม. ความสูงน้ำ : 8.8 เมตร ความกว้างลำน้ำ : 68 เมตร
รายละเอียดดินท้องน้ำ	เป็นดินปนทราย

1. ในฤดูน้ำหลากประมาณปี 2521 กระแสน้ำได้กัดเซาะริมตลิ่ง 2 ฟังลำน้ำและได้กัดเซาะคอสะพานทางดับ G จนต้องทำการต่อเติมสะพาน เพิ่มความยาวจาก 80 เมตรเป็น 110 เมตร

2. ในฤดูน้ำหลากประมาณเดือนกันยายน 2523 เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงจนตอม่อดับ F หรุกลง 27 ซม. ดินหุ้มรอบ ๆ เสาค้ำเติมถูกกัดเซาะจนเสาค้ำที่ปรากฏให้เห็นด้วยตาเปล่าวัดความยาวได้ 7.20 เมตร

ง.1.2.2 ลำดับการแก้ไข

1. ในปี 2521 กรมทางหลวงแผ่นดินได้ก่อสร้างสะพานเพิ่มเติมจากเดิมอีก 30 เมตร โดยได้ซ่อมสร้างสะพานเดิมช่วงหนึ่ง

2. ในปี 2523 ตำแหน่งที่ทรุดตัวได้ใช้สะพานเบรลีย์ทอคข้ามเพื่อทดแทนชั่วคราว

3. ได้มีการศึกษาแก้ไขปัญหาโดยมีโครงการจะหุบสะพานออกตั้งแต่ตอม่อดับ F ถึงดับ K และทำการก่อสร้างใหม่ ปัจจุบันอยู่ในระหว่างเก็บข้อมูล (ปี 2524)

ง.2 ข้อมูลสำหรับการศึกษา

ข้อมูลดั้งเดิมของตัวอย่างสะพานแห่งนี้ค่อนข้างจะหายากเนื่องจากได้ก่อสร้างมาเป็นเวลานาน หลักฐานต่าง ๆ ได้สูญหายไปหมด ที่มาของข้อมูลโดยเฉพาะข้อมูลโครงสร้างต้องอาศัยการบอกเล่าของผู้เกี่ยวข้องและการศึกษาจากรูปถ่าย ส่วนข้อมูลอื่น ๆ หาได้ค่อนข้างน้อย พอสรุปได้ดังนี้

ง.2.1 ข้อมูลด้านโครงสร้าง

เนื่องจากข้อมูลเดิมรวมทั้งแบบแปลนสำหรับการก่อสร้างได้สูญหายไป หลักฐานด้านเอกสารจึงไม่สามารถถูกหยิบยกมาอ้างอิงกันได้ อาศัยความทรงจำของผู้เกี่ยวข้องให้ข้อมูลเท่าที่จะทำได้ และการตรวจสอบจากสถานที่จริงประกอบพอสรุปได้ว่าสะพานเดิมได้ก่อสร้างในความยาว 80 เมตร รายละเอียดของโครงสร้างได้แสดงไว้ในตาราง ง-2 ต่อมาในปี 2521 ตลิ่งฝั่งบ้านแก่งได้ถูกกัดเซาะอย่างมาก จนตอม่อดับริมฝั่งอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ กรมทางหลวงแผ่นดินต้องทำการรื้อถอนตอม่อดับริมและทั้งพื้น 1 ช่วง ในความยาว 10 เมตร ออก ก่อสร้างเพิ่มเติมอีก 40 เมตร รวมเป็นความยาว 110 เมตร ตามรายละเอียดในตาราง ง-3

ตาราง ง-2 รายละเอียดโครงสร้างสะพานข้ามคลองตรอน (ก่อนก่อสร้างเพิ่มเติม)

ตอม่อ	ตำแหน่งที่	ระดับดิน เดิม ม.(รสม.)	ระดับดิน ใหม่ ม.(รสม.)	ช่วงคาน ม.	ประเภท โครงสร้างพื้น	ประเภทโครงสร้างตอม่อ	ประเภทฐานราก	หมายเหตุ
A	29/312.57	98.76	98.76	10.0	Slab	ตอม่อริมฝั่ง	-	
B	29/322.57	96.97	96.97	10.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
C	29/332.57	95.55	93.57	15.0	T-Girder	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
D	29/347.57	92.78	92.15	20.0	T-Girder	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
E	29/367.57	90.89	90.59	15.0	T-Girder	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
F	29/382.57	96.45	87.38	10.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
G	29/392.57	97.90	91.12			ตอม่อริมฝั่ง	-	

ถูกรื้อออกและต่อเติมภายหลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-3 รายละเอียดโครงสร้างสะพานข้ามคลองตรอน (หลังก่อสร้างเพิ่มเติม)

ตอม่อ	ตำแหน่งที่	ระดับดินเดิม ม.(รสม.)	ระดับดินใหม่ ม.(รสม.)	ช่วงคาน (ม.)	ประเภท โครงสร้างพื้น	ประเภทโครงสร้างตอม่อ	ประเภทฐานราก	หมายเหตุ
A	29/312.57	98.76	98.76	10.0	Slab	ตอม่อริมฝั่ง	-	เพิ่มเติมก่อสร้างตอม่อจากตอม่อ G-K รวม 5 ตอม่อ และก่อสร้างพื้นช่วง F-K
B	29/322.57	96.97	96.97	10.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
C	29/322.57	95.55	93.57	15.0	T-Girder	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
D	29/347.57	92.78	92.15	20.0	T-Girder	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
E	29/367.57	90.89	90.59	15.0	T-Girder	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
F	29/382.57	96.45	87.38	8.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	ฐานเข็มกลุ่ม	
G	29/390.57	97.69	90.45	8.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
H	29/398.57	98.42	95.02	8.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
I	29/406.57	98.72	98.72	8.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
J	29/414.57	98.63	98.63	8.0	Slab	ตอม่อเสาธรรมดา	-	
K	29/422.57	97.96	97.96	8.0	Slab	ตอม่อริมฝั่ง	-	

ง.2.2 ข้อมูลด้านอุทกศาสตร์

ข้อมูลทางด้านอุทกศาสตร์สำหรับสะพานข้ามคลองตรอน กรมชลประทานได้ทำการสำรวจไว้ทางใต้น้ำของสะพานเนื่องจากตำแหน่งที่ทำการสำรวจข้อมูลดังกล่าวอยู่ห่างจากตำแหน่งที่ตั้งสะพานมาก จึงไม่สามารถนำมาใช้การได้ ต้องอาศัยการตรวจสอบความลาดเอียงของพื้นที่ท้องน้ำจากแผนที่มาคำนวณหาอัตราน้ำไหลอีกทีหนึ่ง

ง.2.3 ข้อมูลด้านฐานราก

ข้อมูลด้านฐานรากเช่นเดียวกับข้อมูลด้านอุทกศาสตร์ ข้อมูลต่าง ๆ โดยตรงของคุณสมบัติดินท้องน้ำไม่ได้มีการสำรวจไว้ คงมีแต่รายงานของกรมทางหลวงแผ่นดินว่าเป็นดินปนทราย อย่างไรก็ตามข้อมูลดังกล่าวได้ใช้คุณสมบัติของดินอ้างอิงกับผลการทดลองของห้องปฏิบัติการ รพช. ในหลุมที่เจาะใกล้ตำแหน่งสะพานมากที่สุด หลักฐานสำคัญเพียงอย่างเดียวที่ได้มีการสำรวจไว้ได้แก่ ระดับดินท้องน้ำหลายปีติดต่อกันและเป็นหลักฐานในการหาความลึกกักเขาะที่เกิดขึ้นจริงได้ตามที่แสดงไว้ในรูป ง-2

ง.3 การวิเคราะห์การกักเขาะ

1. การกักเขาะไม่ได้เกิดขึ้นช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง แต่ได้กักเขาะอย่างต่อเนื่อง การกักเขาะได้ดำเนินการตามด้านนอกของส่วนโค้งลำน้ำ เป็นที่ตั้งตอม่อแถบค้ำยัน ตามรูป ง-2 ซึ่งได้รับแรงกักเขาะกระทำอย่างต่อเนื่องและเกิดความรุนแรงขึ้นในช่วงปี 2521-2523
2. แม้จะไม่มีหลักฐานแสดงรายละเอียดของตอม่อริมฝั่งแต่จากรายงานของกรมทางหลวงแผ่นดินระบุว่าเสาเข็มอยู่ในสภาพที่รับน้ำหนักไม่ได้แสดงว่าการกักเขาะได้เกิดขึ้นอย่างรุนแรง
3. ไม่มีหลักฐานใด ๆ จากรูปถ่ายหรือจากพยานบุคคลบอกได้ว่ามีสระและกิ่งไม้แห้งมาติดพันฐานรากหรือไม่ แต่จากการตรวจสอบสถานที่จริงแล้วสามารถสรุปได้ว่าฐานรากและเสาเข็มจะมีสภาพที่ไม่ต่างจากฐานและเสาเข็มของตัวอย่างสะพานอื่น ๆ จึงใช้ค่า 'b' ตามระยะรวมของกลุ่มเสาเข็ม

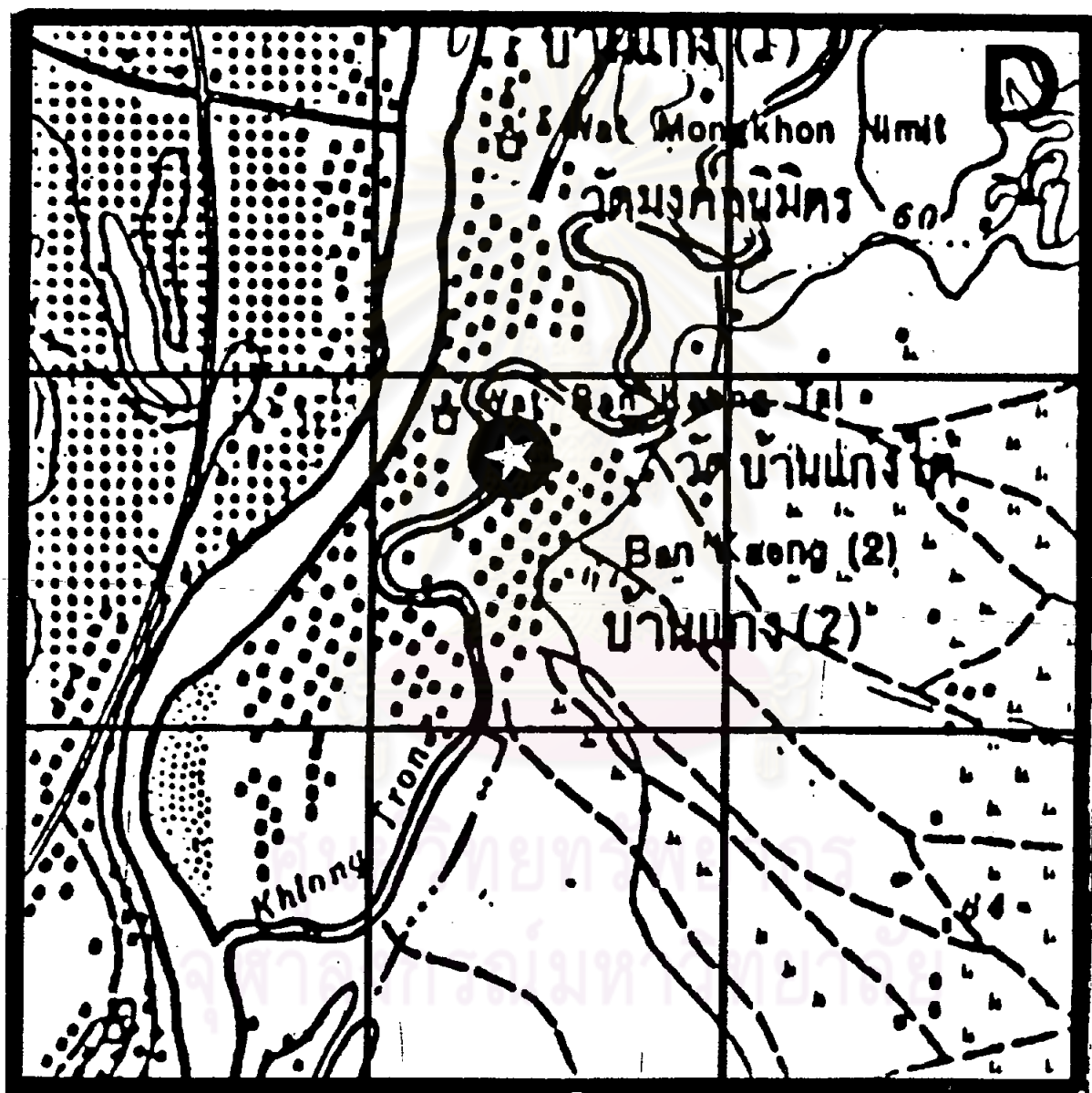
ง.4 สรุปการวิเคราะห์

ลักษณะกักเขาะของตัวอย่างสะพาน D มีลักษณะเดียวกับตัวอย่างสะพาน A คือถูกกักเขาะ

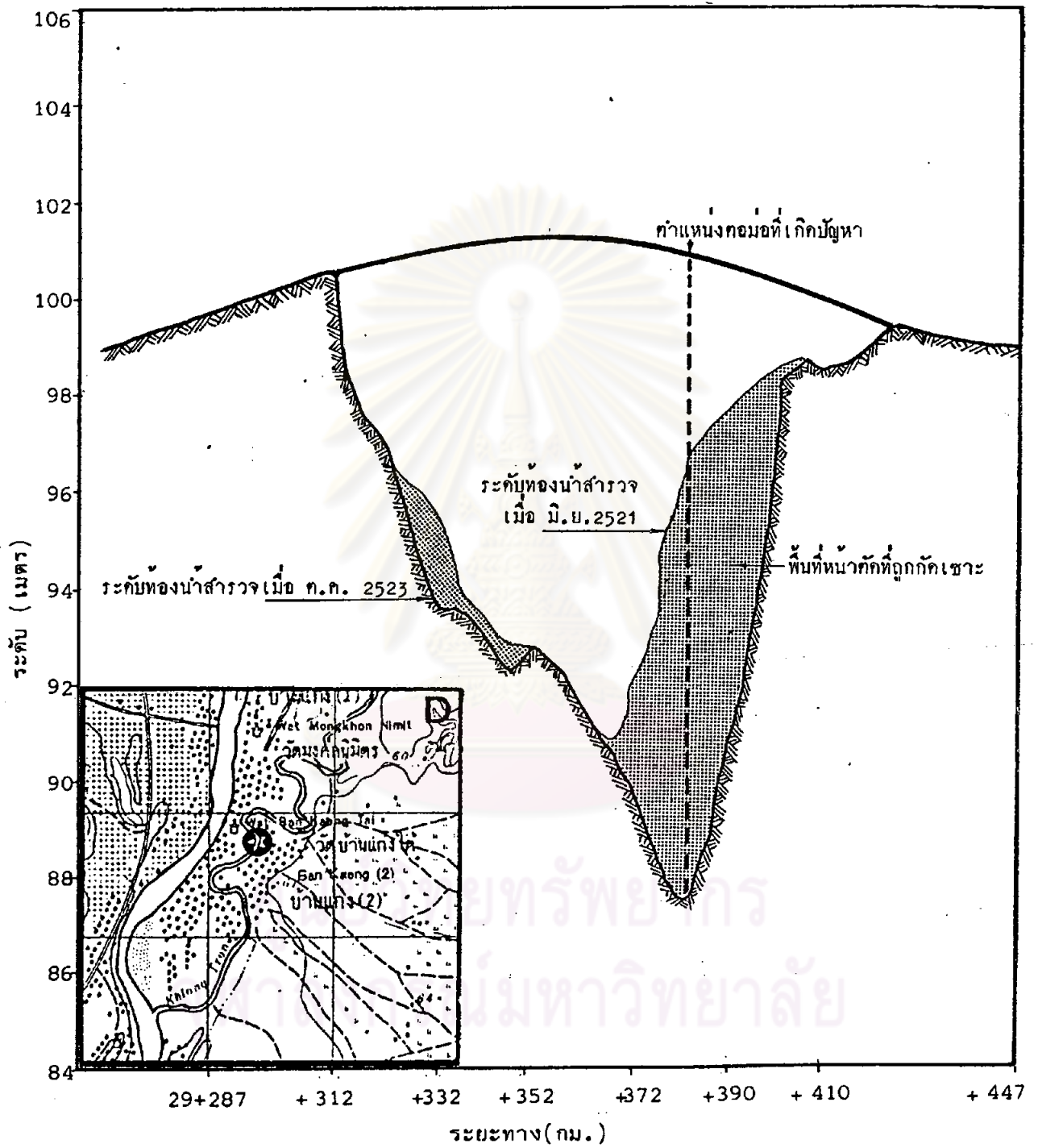
ในตอม่อที่มีตำแหน่งอยู่ด้านนอกของส่วนโค้งลำน้ำ ทั้งสองสะพานมีความแตกต่างเพียงลักษณะดิน
 ท้องน้ำ ซึ่งตัวอย่างสะพาน D มีดินท้องน้ำที่ละเอียดกว่าและมีส่วนผสมของดินเหนียว (Clay)
 ปะปนอยู่มากกว่า จากสถิติการสำรวจรูปตัดขวางระดับท้องน้ำติดต่อกันหลาย ๆ ปี ทำให้เห็นว่
 การกัดเซาะจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันตั้งแต่ช่วงปี 2521 ถึงปี 2523 ซึ่งจากข้อมูลการ
 สำรวจอย่างละเอียดของกรมทางหลวงแผ่นดิน จะพบว่าตำแหน่งดินท้องน้ำที่ถูกกัดเซาะมากที่สุดถึง
 9.10 เมตร ตรงกับตอม่อที่เกิดการทรุดตัวพอดี (พิจารณารูปที่ ง-2, ง-5, ง-6 ประกอบ) ตาม
 ความทรงจำของผู้เกี่ยวข้องให้ข้อมูลว่าเสาเข็มของตอม่อตบดังกล่าวฝังลึกจากผิวดิน (ขณะทำการ
 ก่อสร้าง) ประมาณ 10.0 เมตร ฉะนั้น ความยาวเสาเข็มที่เหลืออยู่ในดินอีกประมาณ 0.9
 เมตร ย่อมรับน้ำหนักจรในขณะนั้นไม่ได้ จึงทรุดตัวลง ปัจจุบันตอม่อตบดังกล่าวังไม่ได้มีการซ่อมแซม
 และยังสามารถใช้งานอยู่ได้ เพราะได้มีดินไปทับถมกลับคืนได้ระดับหนึ่งแล้ว

ค่าความลึก 9.10 เมตร ตามที่กรมทางหลวงแผ่นดินได้สำรวจไว้เป็นค่าที่น่าเชื่อถือ
 อย่างมากเพราะการสำรวจได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องและติดตามเหตุการณ์อย่างใกล้ชิด จากการ
 คำนวณให้ค่าความลึกกัดเซาะ 9.01 เมตร ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการสำรวจที่สุดเมื่อเทียบกับ
 สะพานอื่น ๆ ลักษณะการคำนวณระหว่างสะพาน A, B และ C, D มีข้อแตกต่างอยู่ประการหนึ่งคือค่า
 ปริมาณน้ำไหล (Q) ซึ่งสะพาน D ได้ใช้ค่าความลาดเอียงของท้องน้ำ (Slope) กับค่าความสูง
 ระดับน้ำ (H.W.L.) ขณะเกิดน้ำหลากมาหาค่าความเร็วน้ำในขณะค่าความเร็วกระแสน้ำ (V)
 ของสะพาน A เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณของค่า Q ที่วัดได้ในลำน้ำเดียวกันแต่ต่างสถานที่ ผล
 คำนวณจึงน่าจะได้รับการพิจารณาเป็นพิเศษ เพื่อใช้เป็นขบวนการสำหรับการคาดคะเนหาค่ากัดเซาะ
 ต่อไป

ศูนย์วิทยพัทยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



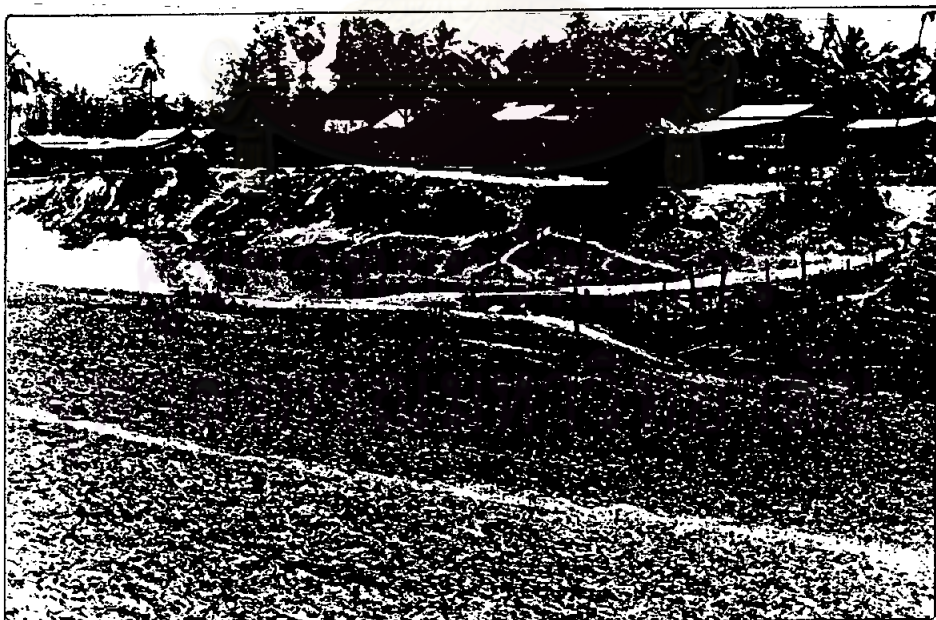
รูป ง-1 ที่ตั้งสะพานหมู่บ้านแก่ง จ.อุดรธานี
 มาตราส่วน 1 : 20,000



รูป ง-2 แสดงการกัดเซาะสะพานคลองตรอนในตำแหน่งตอม่อที่ทรุดตัว และเปรียบเทียบระดับท้องน้ำที่ถูกกัดเซาะระหว่าง ปี 2521 และ 2523



รูป ง-3 สภาพต้นน้ำของสะพานก่อนการก่อสร้างสะพาน ซึ่งอยู่ในตำแหน่งใกล้ส่วนโค้งของลำน้ำมาก (ปี 2514)



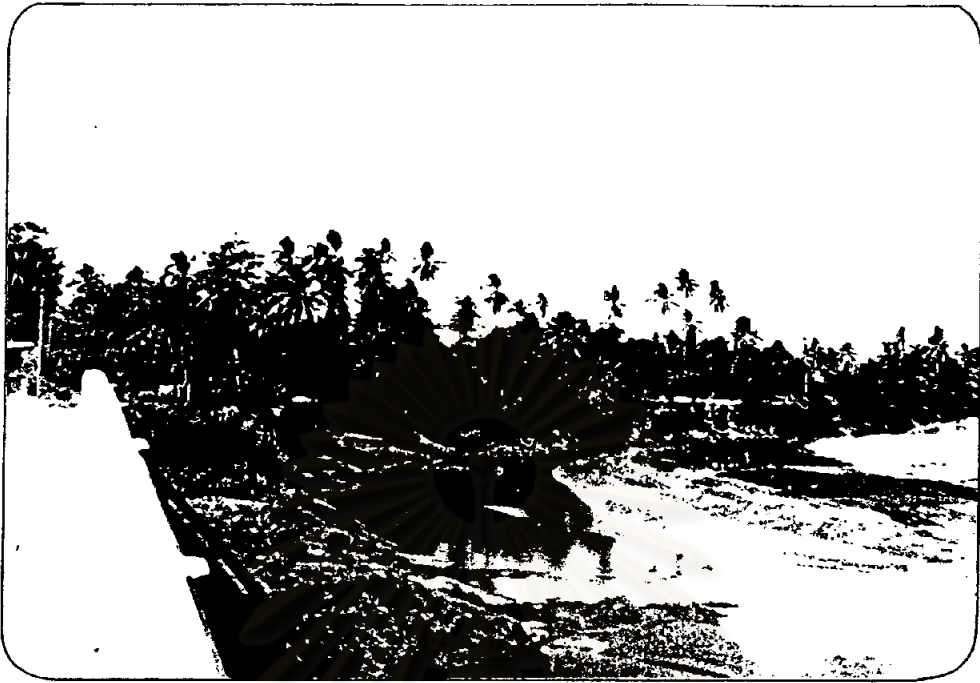
รูป ง-4 สภาพ ณ จุดก่อสร้างสะพานก่อนเริ่มโครงการก่อสร้าง (ปี 2514)



รูป ง-5 ตอม่อสะพานค้ำที่ทรุดลง จะเห็นได้ชัดทางด้านข้างของสะพาน แต่พื้นและตอม่อไม่ปรากฏรอยแตกร้าว (ปี 2525)



รูป ง-6 ระดับการทรุดตัวของตอม่อที่ปรากฏ เมื่อมองเปรียบเทียบกับระดับทางเท้าและราวสะพาน (ปี 2525)



รูป ง-7 สภาพทางต้นน้ำของสะพาน หลังจากที่ได้มีการกัดเซาะหลายๆปี
(ปี 2525)



รูป ง-8 สภาพท้ายน้ำของสะพาน (ปี2525)

ตาราง ง-4 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์

รายการคำนวณ ตัวอย่าง D : ข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณ (ปี 2521)		
ลำดับ	ตัวแปร	ที่มาข้อมูล
1.	b = 1.95 เมตร	เหตุผลเดียวกับตัวอย่าง B
	l = 7.15 เมตร	
2.	D = 0.04 mm.	ขนาดเม็ดวัสดุหิน D 50 จากการทดลอง
	s = 1.91 T/m ³	น้ำหนักดิน จากการทดลอง
3.	S = 0.0004520 m/m	ความลาดเอียงท้องน้ำประมาณตรวจสอบจากแผนที่ 1:50,000
4.	n = 0.035	Manning Roughness ประเมินจากการสำรวจสภาพท้องที่จริง
5.	B = 68 เมตร	ความกว้างลำน้ำประเมินจากแบบแปลนก่อสร้าง
6.	h = 8.80 เมตร	ความลึกการไหลข้อมูลสำรวจและการประเมินจากแบบแปลน
7.	A = 461.60 ม. ²	พื้นที่หน้าตัดการข้อมูลสำรวจและประเมินจากแบบแปลน
8.	P = 42.4 เมตร	เส้นรอบรูปส่วนเปียกน้ำ วัดจากแบบแปลน
9.	B' = 65.30 เมตร	B - 6x (ความกว้างตอม่อ)
10.	$\alpha = 0^\circ$	ตอม่อวางขนานกับกระแสน้ำ

ตาราง ง-5 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะกรวดสะพานข้ามคลองตรอน (ปี 2521)

รายการคำนวณ ตัวอย่าง D : การคำนวณ(การกัดเซาะในปี 2521)		
ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
1.	$R = 10.887 \text{ m.}$	$R = A/P$
2.	$V = 2.995 \text{ m/sec}$	$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$
3.	$Fr = 0.32$	$Fr = V/\sqrt{gh}$
4.	$\sigma = 0.96$	$\sigma = B'/B$
5.	$h^* = 0.12 \text{ m.}$	จากกราฟที่ ง-5
6.	$K_A = 0.96$	จากตารางที่ 2.1
7.	$Q' = -1856.41 \text{ m}^3/\text{sec}$	จากสมการ 2.20
8.	$A' = 437.84 \text{ m}^2$	A-6x (พื้นที่ตอม่อ)
9.	$V' = 4.24 \text{ m/sec}$	$V' = Q'/A'$
10.	$Fr' = 0.456$	$Fr' = V'/\sqrt{gh}$
11.	$q' = 305.85 \text{ ft}^3/\text{sec}/\text{ft}$	$q' = Q'/B'$
12.	$V_{\text{comp}} = 1.585 \text{ m/sec}$	จากกราฟ ง-2
13.	Safe $V_{\text{comp}} = 1.74 \text{ m/sec}$	$V_{\text{comp}} + 10\% \times V_{\text{comp}}$
14.	$h' = 10 \text{ m}$	จากกราฟ ง-2
15.	General scour = 1.20 m	$h' - h$
16.	Maximum Scour depth for Inglis formula $S_m' = 15.31 \text{ m}$ $S_m = 6.5 \text{ m}$	$S_m'/b = 1.7(q^{2/3}/b)^{0.78}$ $S_m = S_m' - h$
17.	Equation scour depth for Chitala formula $S_e = 2.69 \text{ m}$	$S_e/b = -0.51 + 6.65Fr - 5.49Fr^2$

ตาราง ง-5 (ต่อ)

ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
18	Maximum Scour depth for Breusen formula $S_m = 2.73 \text{ m.}$	$S_m = 1.4 b$
19	Equilibrium Scour depth by Carsten formula $N_s = 224.38$ $S_e = 1.065 \text{ m.}$	$N_s = V/\sqrt{(\gamma_s/\gamma-1) gD}$ $S_e/b = 0.54b \left[\frac{N_s^2 - 1.64}{N_s^2 - 5.02} \right]^{5/6}$
20	Maximum Scour depth for Larras formula $S_m = 3.28 \text{ m.}$	$S_m = 1.42 K b^{0.75}$ $K = 1.40$
21	Equilibrium Scour depth by Liu et al formula $S_e = 2.59 \text{ m.}$	$S_e/h = 1.1 (b/h)^{0.4} Fr^{0.33}$
22	Average E_{q^m} scour depth $S_e = 2.115 \text{ m.}$	จากค่าเฉลี่ยของค่า S_e ในข้อลำดับที่ 17, 19 และ 21
23	Average Max. scour depth $S_m = 4.17 \text{ m.}$	จากค่าเฉลี่ยของค่า S_m ในข้อลำดับที่ 16, 18, 20
24	Total scour = 3.315 m.	General scour + Equilibrium scour

ตาราง ง-6 สรุปข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณวิเคราะห์ที่เปลี่ยนแปลงจากปี 2521

รายการคำนวณ ตัวอย่าง D : ข้อมูลตัวแปรเพื่อการคำนวณกักเขาะปี 2523		
ลำดับ	ตัวแปร	ที่มาข้อมูล
1	$h = 12.115 \text{ m.}$	ความลึกเดิมรวมกับความลึกกักเขาะในปี 2521
2	$A = 705.92 \text{ m}^2$	พื้นที่หน้าตัดลำน้ำประเมินจากการสำรวจ
3	$P = 44 \text{ m.}$	เส้นรอบเปียกจากการสำรวจและแบบแปลน
4	$B = 98 \text{ m.}$	ความกว้างลำน้ำ จากการสำรวจ
5	$B' = 94.85 \text{ m.}$	$B-7 \times$ (ความกว้างตอม่อ)

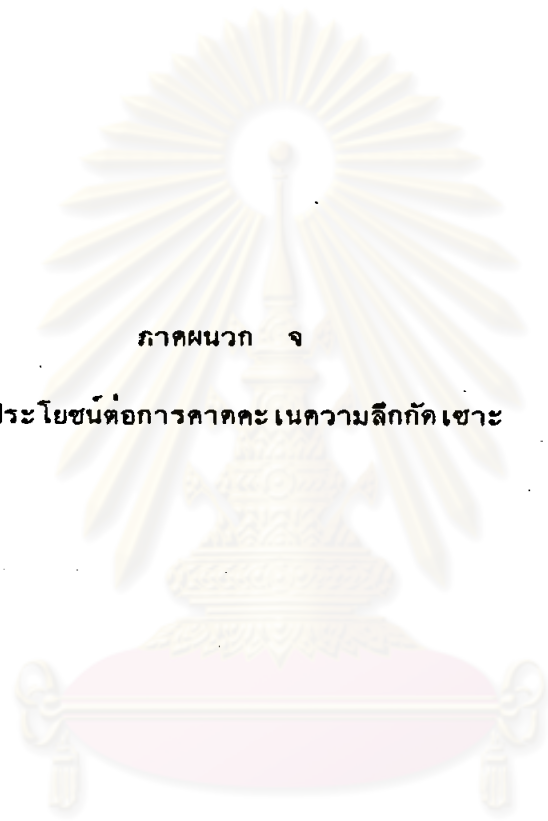
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-7 การคำนวณวิเคราะห์การกัดเซาะสะพานข้ามคลองตรอน (ปี 2523)

รายการคำนวณ ตัวอย่าง D : การคำนวณ (การกัดเซาะในปี 2523)		
ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
1	$R = 16.04 \text{ m.}$	$R = A/P$
2	$V = 3.879 \text{ m/sec}$	$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$
3	$Fr = 0.36$	$Fr = V/\sqrt{gh}$
4	$\sigma = 0.97$	$\sigma = B'/B$
5	$h^* = 0.45 \text{ ft.}$ $= 0.137 \text{ m.}$	จาก Chart ที่ ง-5
6	$K_A = 0.96$	จากตารางที่ 2.1
7	$Q' = 4646.05 \text{ m}^3/\text{sec}$	จากสมการ 2.2 (Manning Formula)
8	$A' = 667.76 \text{ m}^2$	A-7 (พื้นที่ตอม่อ)
9	$V' = 6.96 \text{ m/sec}$	$V' = Q'/A'$
10	$Fr' = 0.64$	$F' = V/\sqrt{gh}$
11	$q' = 510.04 \text{ ft}^3/\text{sec}/\text{ft.}$	$q' = Q'/B'$
12	Maximum Scour depth for Inglis formula $S_m' = 19.98 \text{ m.}$ $S_m = 7.865 \text{ m.}$	$S_m'/b = 1.7 (q^{2/3}/b)^{0.78}$ $S_m' - h$
13	Equilibrium Scour depth by Chitala formula $S_e = 2.92 \text{ m.}$	$S_e/b = -0.51 + 6.65 Fr - 5.49 Fr^2$
14	Maximum Scour depth by Breusen formula $S_m = 2.73 \text{ m.}$	$S_m = 1.4 b$

ตาราง ง-7 (ต่อ)

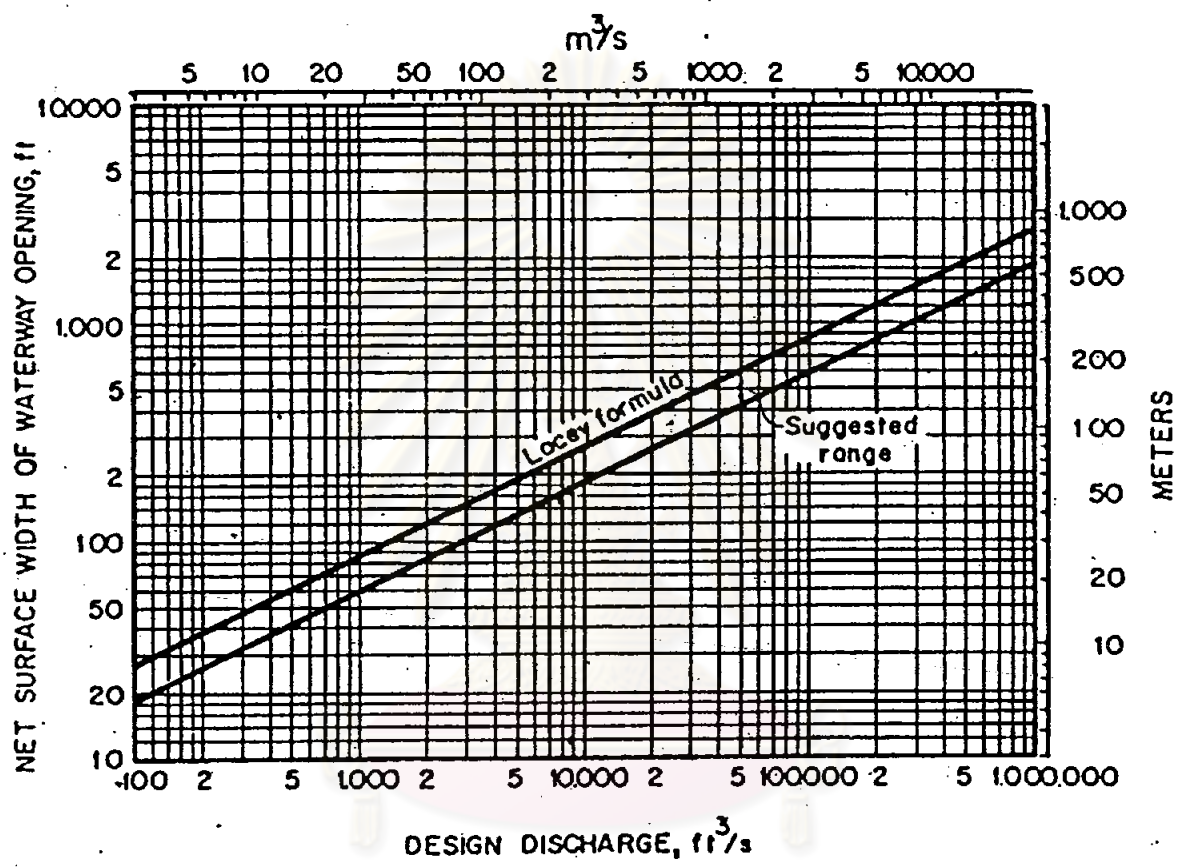
ลำดับ	การคำนวณ	ที่มาและเหตุผล
15	Equilibrium Scour depth by carston formula $N_s = 368.32$ $S_e = 1.065 \text{ m.}$	$N_s = V/\sqrt{(\gamma_s/\gamma-1) gD}$ $S_e/b = 0.546 \left[\frac{N_s^2 - 1.64}{N_s^2 - 5.02} \right]^{5/6}$
16	Maximum Scour depth for Larras formula $S_m = 3.28 \text{ m.}$	$S_m = 1.42 K_b^{0.75}$
17	Equilibrium Scour depth by Liu et al formula $S_e = 3.35 \text{ m.}$	$S_e/h = 1.1 (b/h)^{0.4} Fr^{0.33}$
18	Average Eq ^m scour depth $S_e = 2.445 \text{ m.}$	จากค่าเฉลี่ยของค่า S_e ในข้อลำดับที่ 13, 15 และ 17
19	Average Max. scour depth $S_m = 4.625 \text{ m.}$	จากค่าเฉลี่ยของค่า S_m ในข้อลำดับที่ 12, 14, 16
20	$V_{comp.} = 1.9 \text{ m/sec}$	จาก Chart ง-2
21	Safe $V_{comp.} = 2.09 \text{ m/sec}$	เพิ่ม 10% ของ $V_{comp.}$
22	$h' = 16.5 \text{ m.}$	จาก Chart ง-2
23	General scour = 4.385 m.	$h' - h$
24	Total scour = 9.01 m.	General scour + Max. scour depth



ภาคผนวก จ

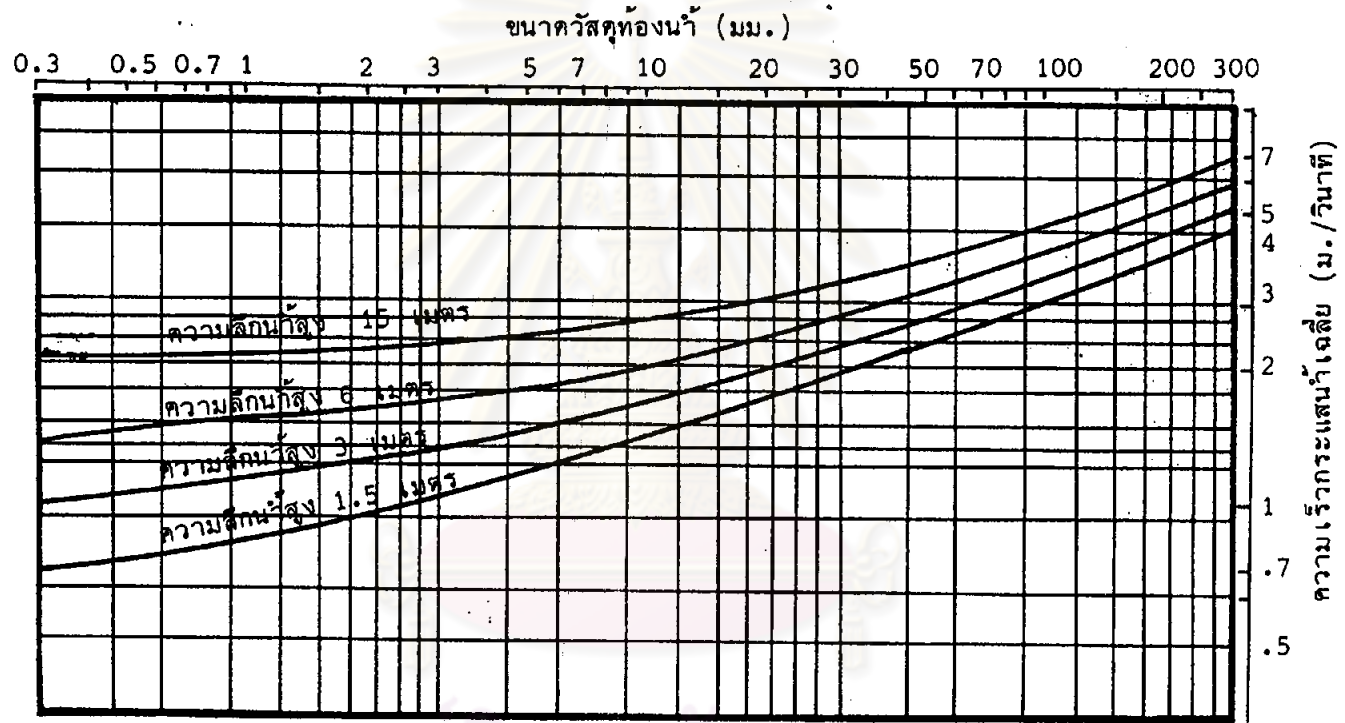
กราฟที่มีประโยชน์ต่อการคาดคะเนความลึกกักเขาะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

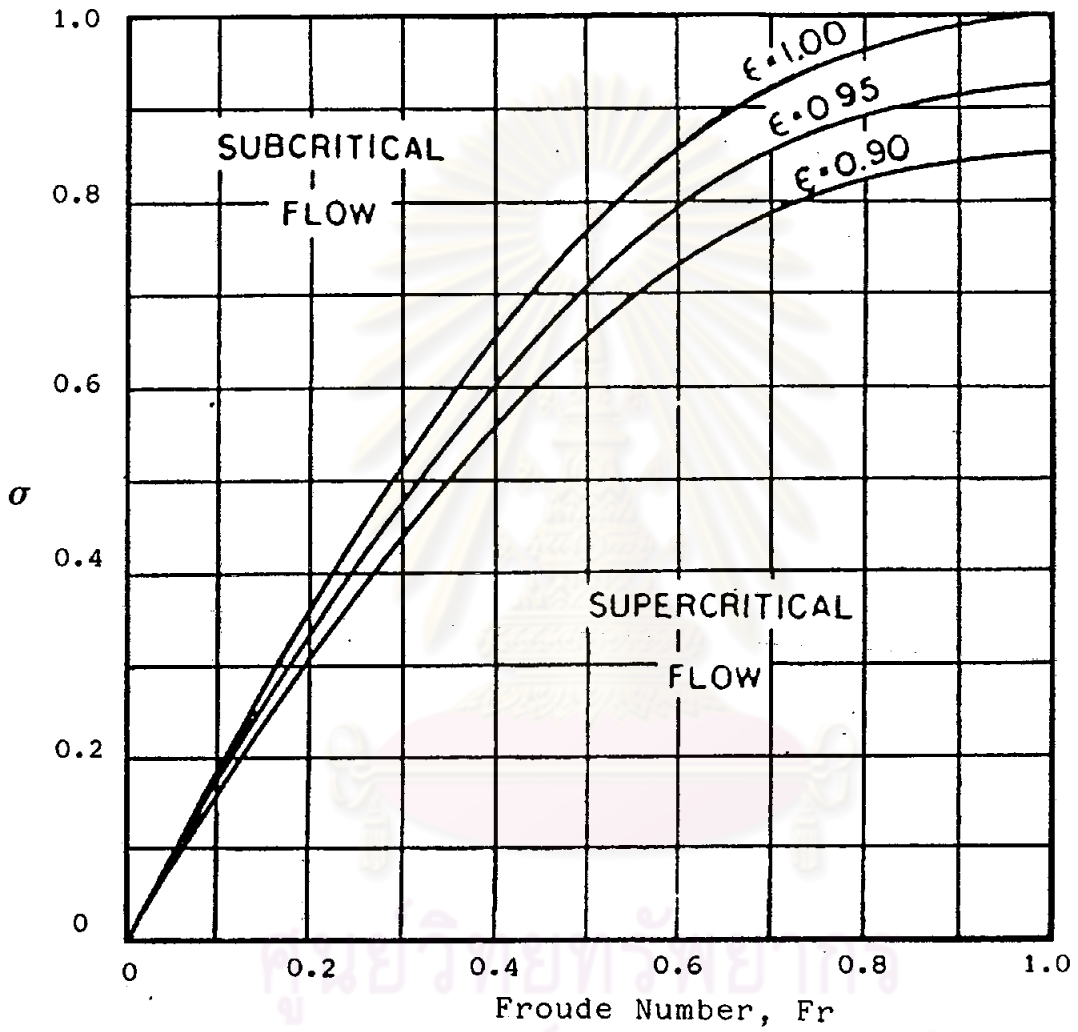


รูป ง-1 Chart for selecting a trial pier opening width (Lacey, 1931)

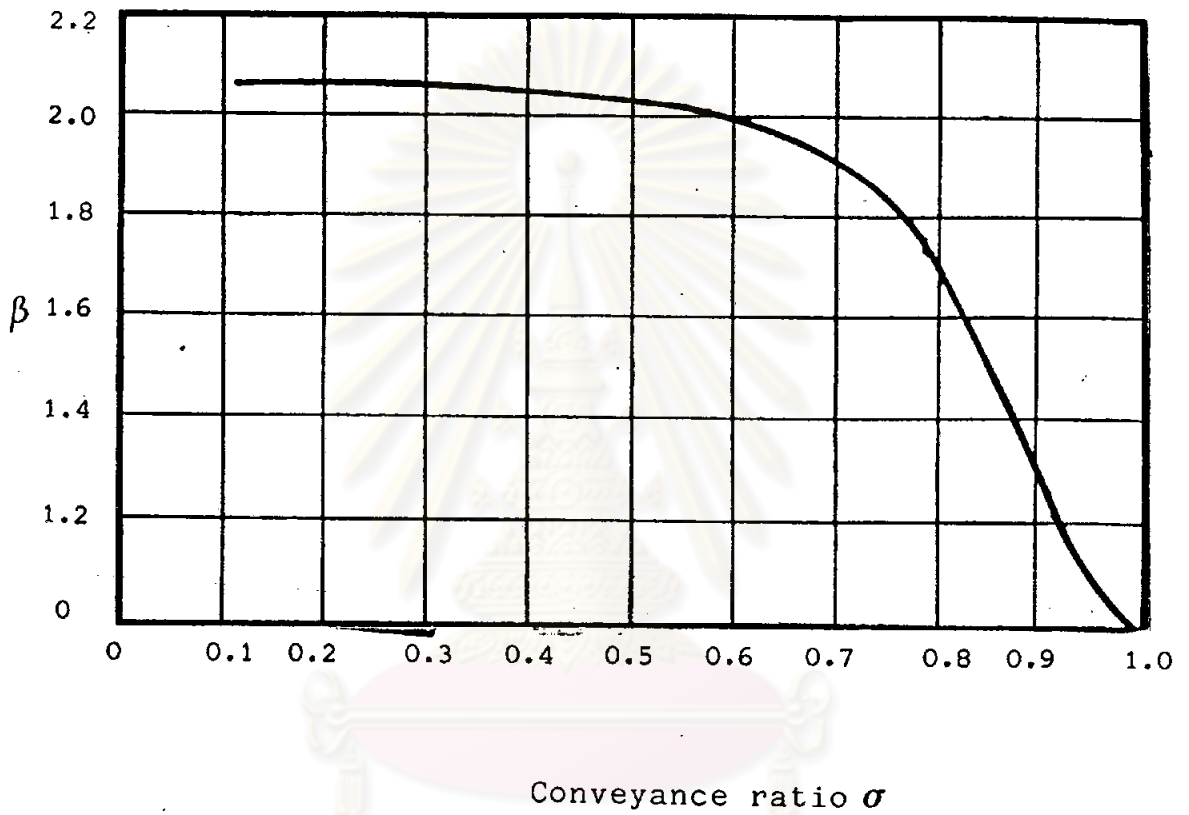
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป จ-2 Chart ของ Neil (1973) ทาค่า Competent mean velocity สำหรับ Cohesionless material

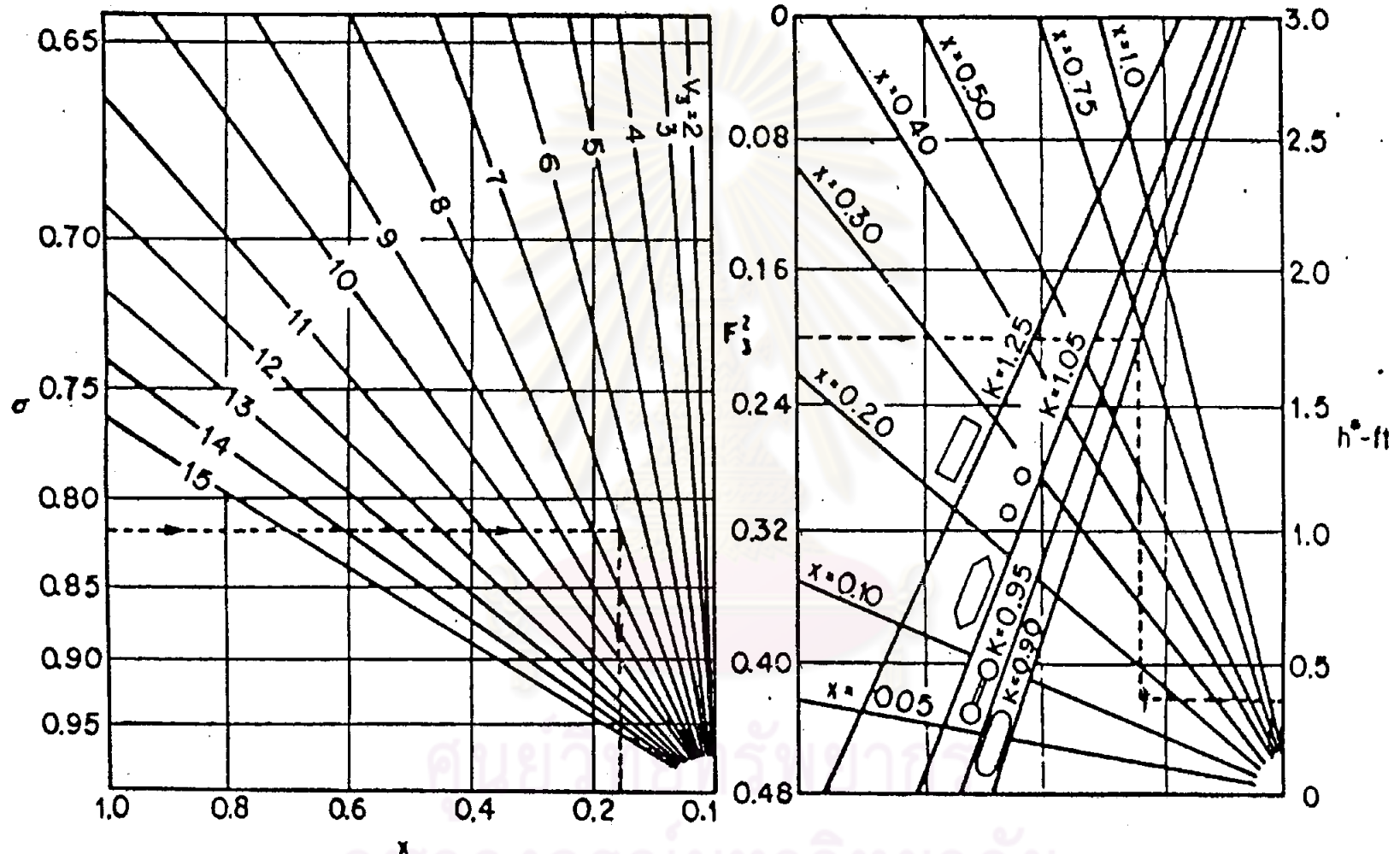


รูป จ.-3 Chart แสดงค่าความสัมพันธ์ของ Conveyance ratio และ Froude Number (Chow, 1959)



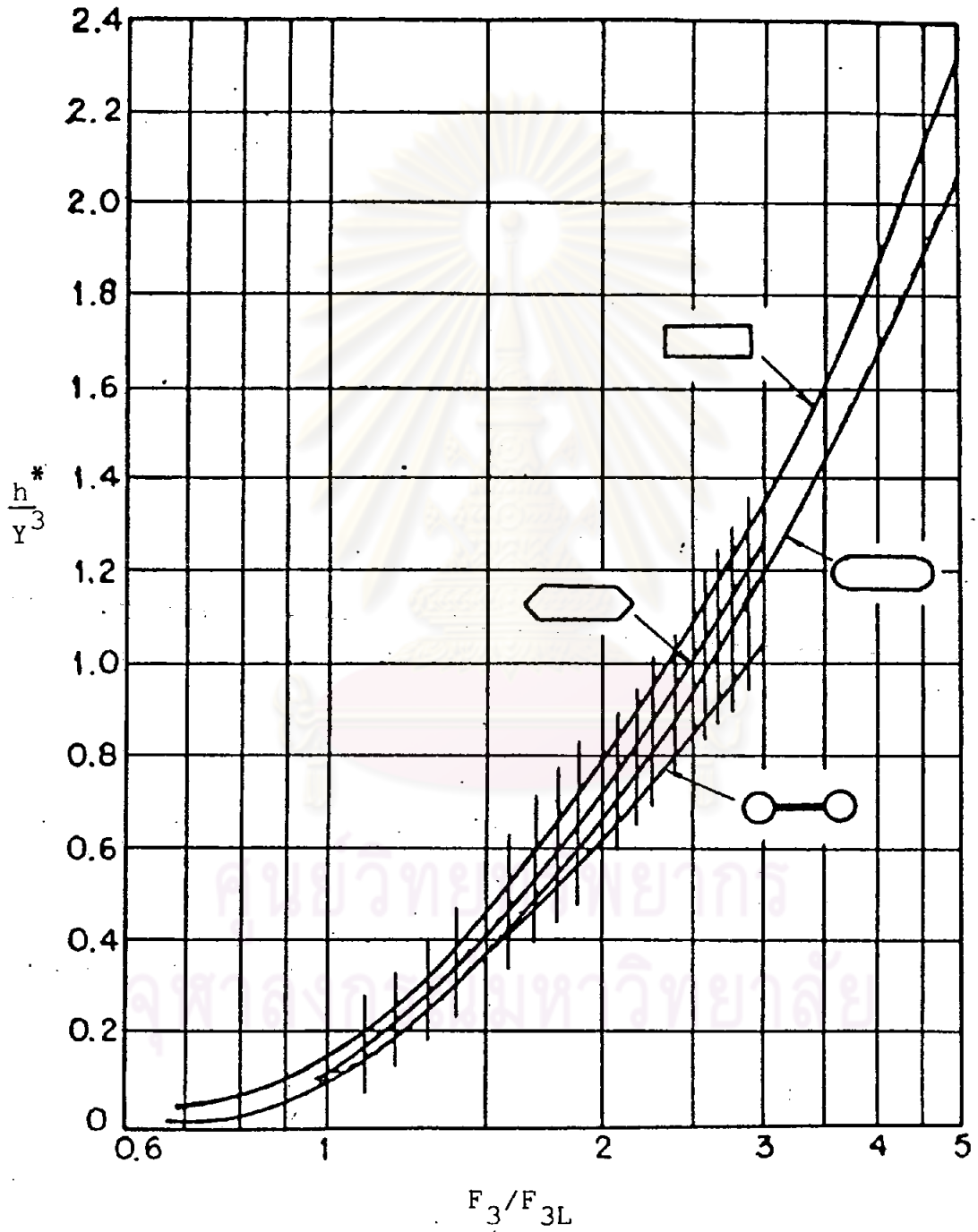
รูป จ-4 Chart แสดงความสัมพันธ์ของ β และ σ
(Chow, 1959)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



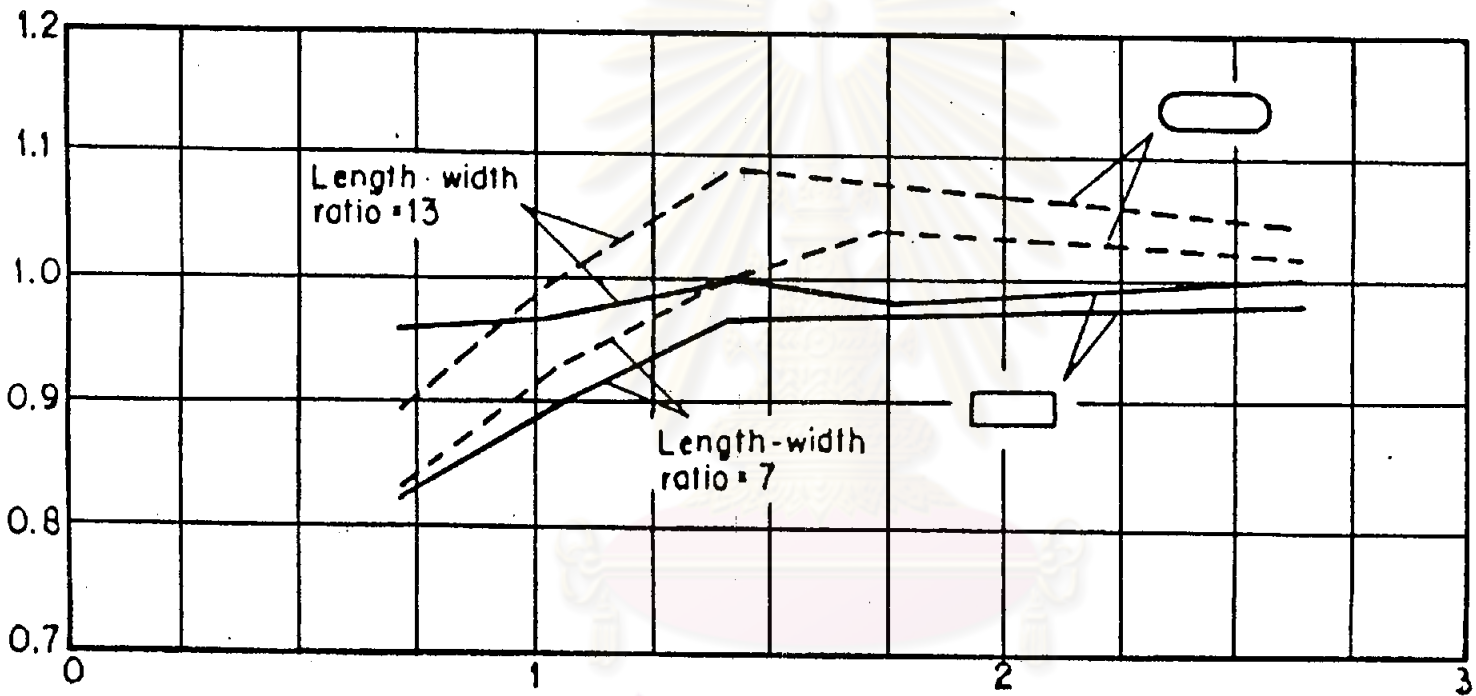
รูป จ-5 กราฟสำหรับหา back water ของน้ำที่ผ่านตอม่อสะพานในสภาวะการไหลแบบ

Subcritical flow (Chow, 1959)

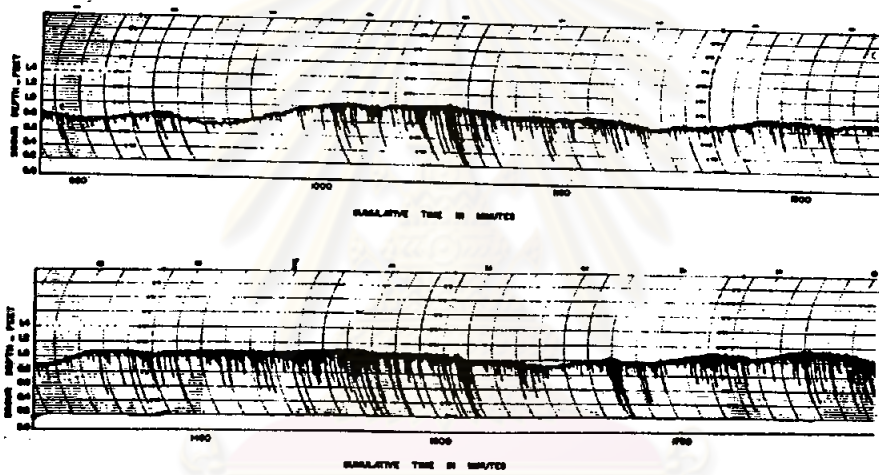


รูป จ- 6 กราฟสำหรับหา back water ของน้ำที่ผ่านตอม่อสะพานใน
 สถานะการไหลแบบ Supercritical flow
 (Chow, 1959)

h_3/Y_3 for indicated pier length-width ratio to h_3/Y_3 for length-width ratio of 4



รูป ๑-7 Effect of increase in length of bridge piers (Chow, 1959)

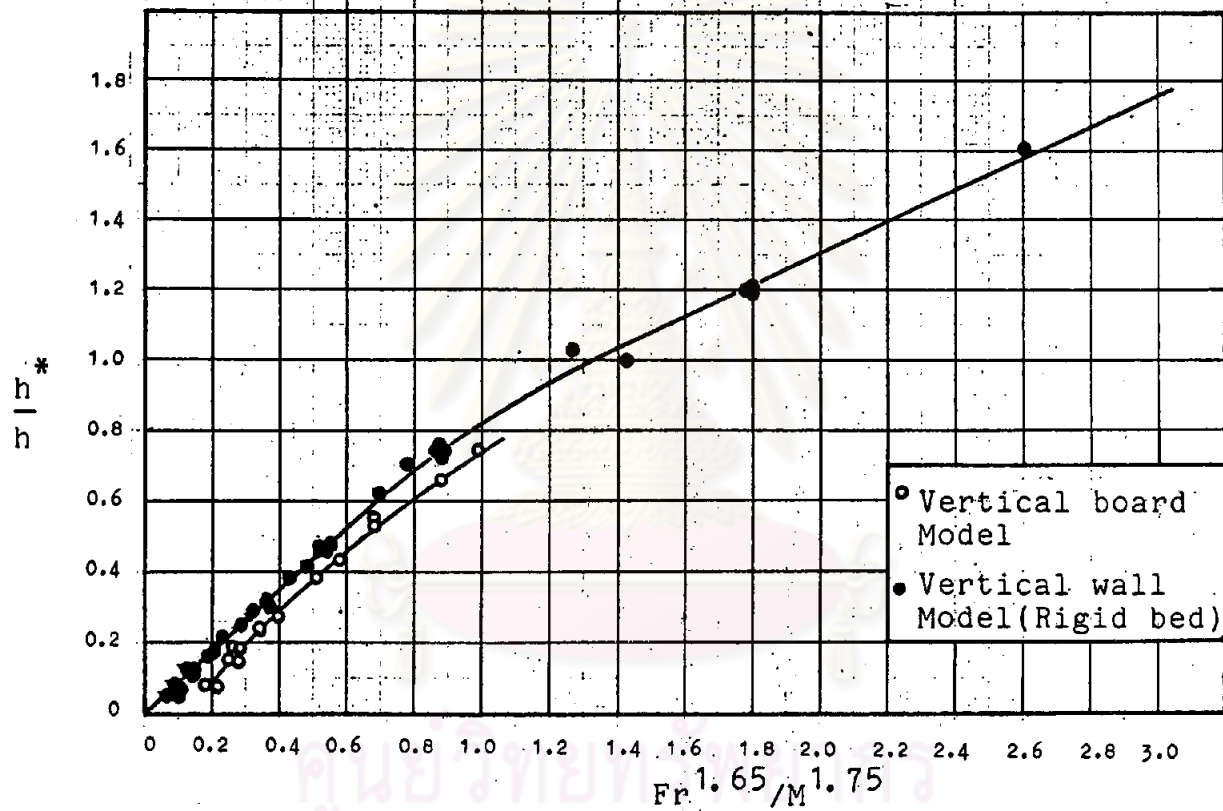


รูป จ-๘ บันทึกประวัติการกักเขาะด้วยเครื่อง

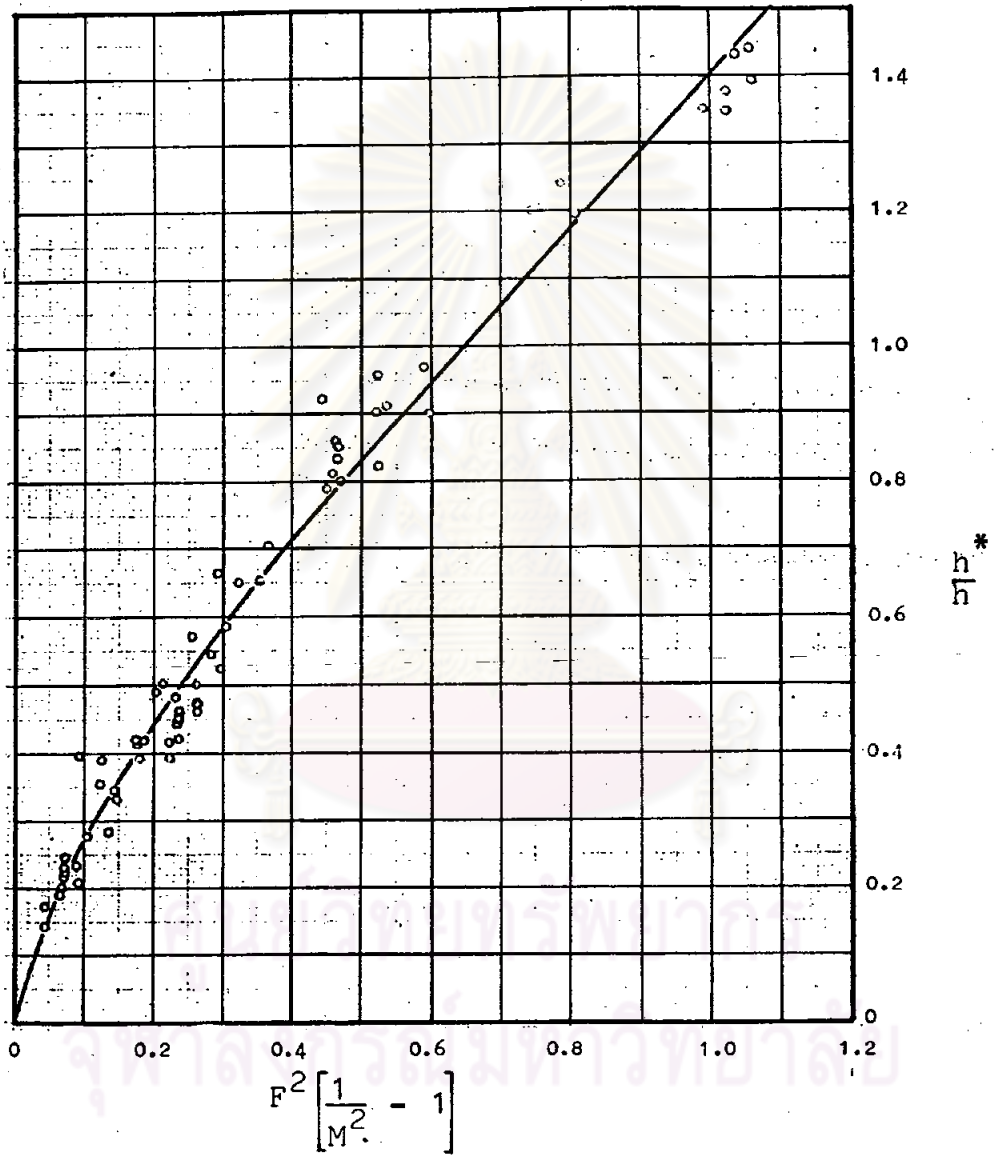
Sonic Depth Sounder

(Liu et al, 1961)

ศูนย์วิทยุโทรสมุทร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

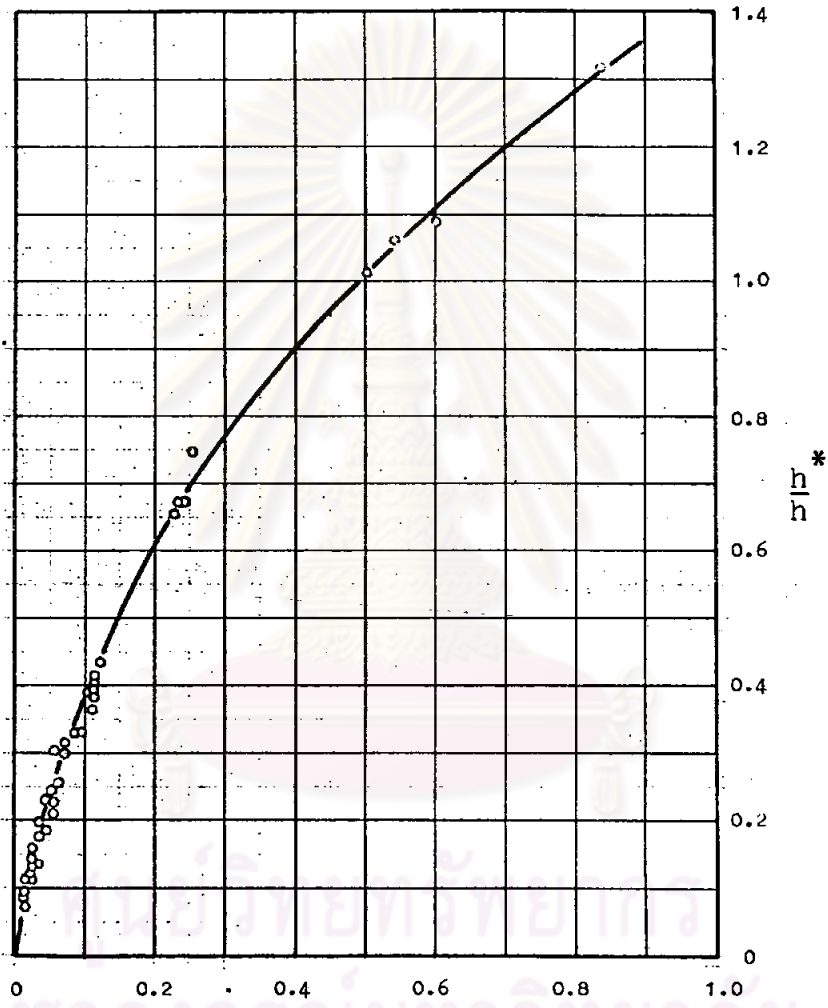


รูป จ-9 ระดับน้ำสูงสุดของ Backwater ใน Rigid channel
(Liu et al , 1961)



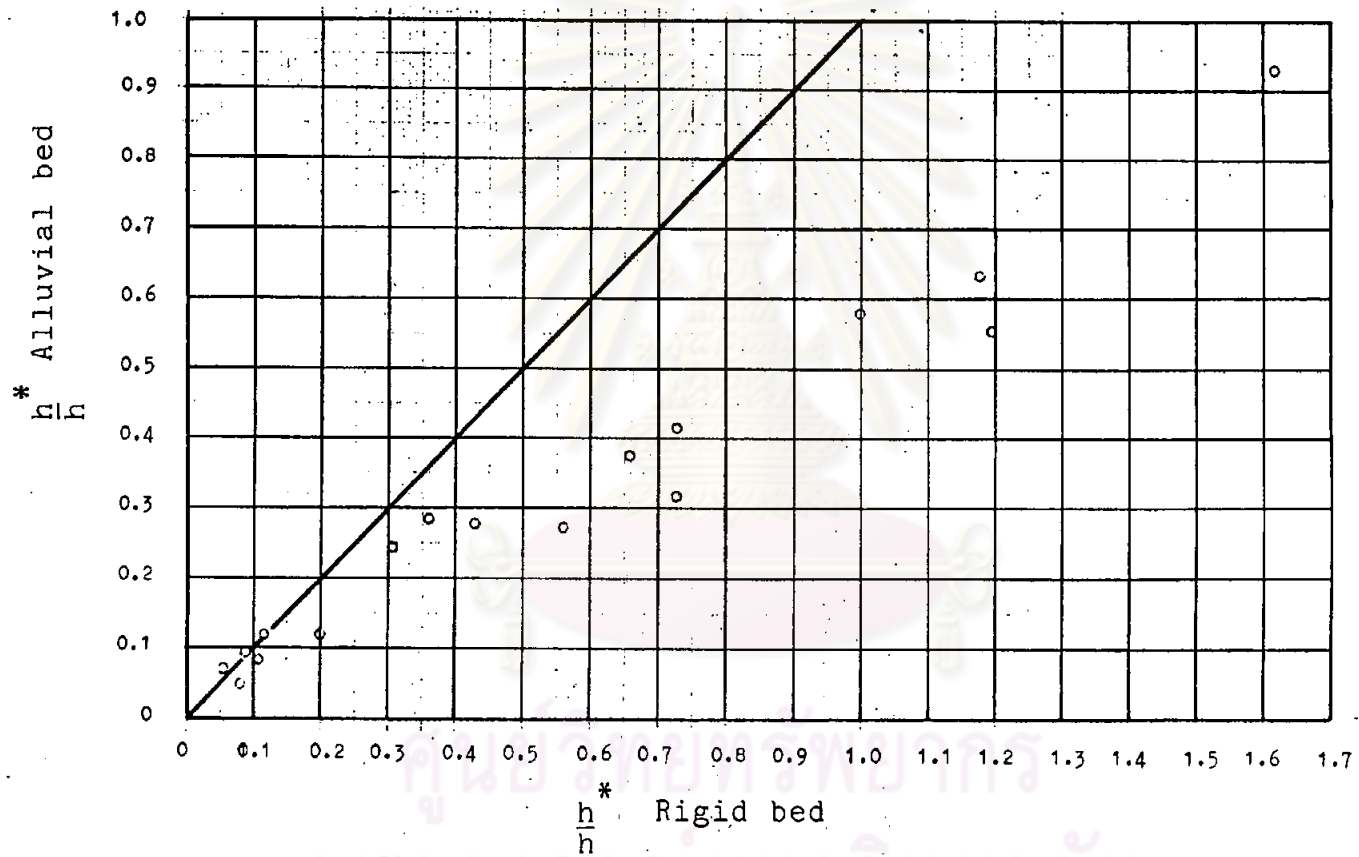
รูป จ-10 ระดับน้ำของBackwater ในRigid channel

(Liu et al ,1961)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ จ-11 ระดับน้ำของ Backwater ใน Rigid Channel (Liu et al, 1961)



รูป จ-12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของ $\frac{h^*}{h}$ ใน Rigid bed และ Alluvial Bed (Liu et al, 1961)



ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ : นายสมรักษ์ ต่อวงศ์ไพชยนต์
- วุฒิการศึกษา : สำเร็จมัธยมศึกษาตอนปลาย (มศ. 5) จากโรงเรียนอัสสัมชัญ กรุงเทพฯ พ.ศ. 2513 สำเร็จวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี พ.ศ. 2518 เข้าศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2522
- ประวัติการทำงาน : ปฏิบัติงานในตำแหน่งวิศวกรโยธา ฝ่ายควบคุมการก่อสร้างสะพานและอาคาร กองควบคุมการก่อสร้างและบำรุงรักษา สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท กระทรวงมหาดไทย(พ.ศ. 2518-พ.ศ. 2522)

ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย