ตารางที่ · ค่าฝนเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของแต่ละสถานีในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

	Station	Station Code	Mean Monthly Rainfall (mm)												Mean Annual Rainfall (mm)
			Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	
1	A. Hatya	58021	93.9	150.7	93.7	103.6	112.9	134.4	258.3	385.1	326.7	88.2	16.1	32.9	1797.3
2	A.Sadao	58102	124.7	149.1	99.1	96.1	106.8	158.0	262.4	263.3	136.1	49.0	15.1	54.6	1515.0
3	Kho Hong Rubber Station A. Hat Ya.	58112	97.0	155.5	97.6	111.2	110.7	2136.6	242.1	399.3	329.3	90.5	17.7	37.3	1824.3
4	Ton Nga Chang (X.14., A. Hat Ya.	58141	120.9	179.4	118.9	127.5	162.2	148.2	315.4	412.6	340.4	127.1	36.7	96.0	2184.6
5	Khlong Lam at X.113 A. Sadao	58221	164.9	160.4	142.4	104.0	181.7	199.9	236.2	191.5	184.9	7.4	47.7	65.4	1686.3

Source: Feasibility Study Khlong Sadao Dam Project, RID,1989

ตารางที่ 2 สถานีอุทกวิทยาในลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

Station Code	River	Location At	Amphoe	Changwat	Drainange Area (Km 2)	Period of Record	Mean Annual Yield mcm	mm	cu.m/s/km^2
X. 14	Khlong Wat	Ton Nga Chang	Hat yai	Songkhla	15	1954-1970	25.78	1719	0.0545
NEA.1	Khlong Wat	Ton Nga Chang	Hat yai	Songkhla	14	1980-1985	24.69	1764	0.0559
X. 44	Khlong U-Taphao	Khok Samet Chum	Hat yai	Songkhla	1740	1967-1986	791.94	455	0.0144
X. 71	Khlong Tam	Khuan Lang	Hat yai	Songkhla	127	1967-1986	90.11	710	0.0225
X. 90	Khlong U-Taphao	Bang Sala	Hat yai	Songkhla	1562	1971-1986	644.91	413	0.0131
X. 111	Khlong Sadao	Ban Phrai	Sadao	Songkhla	256	1979-1987	121.96	476	0.0151
X. 112	Khlong Lam	Ban Phrik I	Sadao	Songkhla	493	1979-1986	215.01	436	0.0138
X. 113	Khlong Lam	Ban Thung Prap	Sadao	Songkhla	129	1979-1986	46.60	351	0.0115
X. 42	Khlong Na Thawi	Ban Pa Kan	Na Thawi	Songkhla	443	1976-1986	158.61	358	0.0114
X. 67	Khlong Rattaphum	Ban Kamphaeng-Phet	Rattaphum	Songkhla	272	1967-1986	165.87	610	0.0193
X. 69	Khlong Phru Pho	Ban Phru Pho	Rattaphum	Songkhla	88	1967-1986	72.24	821	0.0260

Source: Feasibility Study Khlong Sadao Dam Project, RID,1989

ตารางที่ 3 รายละเอียดทางอุทกวิทยาของสถานีวัดน้ำและตะกอน

(Reference Note No. 2 of Utaphao Basin, AIT 1994)

สถานี X112 วัดสภาพทางชลศาสตร์ของคลองลำ ตั้งอยู่ที่บ้านปริก บริเวณลวนโค้งของแม่น้ำ insenstitive ที่อัตราการไหลต่ำๆ ความลึกของลำน้ำเท่ากับ 7 ม. ความสามารถระบายน้ำสูงสุดเท่ากับ 100 $ม^3$/วินาที ร่องน้ำบกคลุมด้วยต้นไม้ มีค่า datum เท่ากับ 19.677 MSL การวัดความเร็วและตะกอนกระทำที่สะพาน Rating curve มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในแต่ละปี ข้อจำกัดของ Rating curve คือ ที่อัตราการไหลสูง ค่าจากการคำนวณต่ำกว่าค่าจริงที่วัดได้

สถานี X173 วัดสภาพทางชลศาสตร์ของคลองอูตะเภา ตั้งอยู่ที่บ้านคลองแงะ มีค่า datum เท่ากับ 11.995 m MSL การวัดความเร็วกระทำที่สะพาน ยังไม่การวัดค่าจริงของที่อัตราการไหลสูง ๆ เพื่อเปรียบเทียบกับ Rating curve

สถานี X90 วัดสภาพทางชลศาสตร์ของคลองอูตะเภา ตั้งอยู่ที่บ้านบางศาลา บริเวณลวนตรงของลำน้ำ ความลึกของลำน้ำเท่ากับ 9 ม. ความสามารถระบายน้ำสูงสุดเท่ากับ 300 $ม^3$/วินาที น้ำหลากล้นตลิ่งเป็นครั้งคราว มีค่า datum เท่ากับ 0.680 m MSL การวัดความเร็วและตะกอนกระทำที่สะพาน ที่อัตรการไหลสูง ค่าอัตราการไหลจริง ให้ค่าสูงกว่าที่คำนวนได้จาก Rating curve

สถานี X44 วัดสภาพทางชลศาสตร์ของคลองอูตะเภา ตั้งอยู่ที่อำเภอหาดใหญ่ insenstitive ที่อัตราการไหลต่ำๆ เพราะได้รับอิทธิพลจากทะเล ไม่มีการไหลที่ระดับน้ำล็ก 2 ม. ความสามารถระบายน้ำสูงสุดเท่ากับ 300 $ม^3$/วินาที มีค่า datum เท่ากับ -0.980 m MSL Rating Cuver ถูกกระทำที่ 200 เมตรห่างจากสะพาน ส่วนตะกอนนั้นวัดที่สะพาน หน้าตัดการไหลวัดที่บริเวณสะพาน เนื่องจากมีการขุดเลอกคลองในปี 1989 และยังไม่มีการทำ Rating curve ทำให้ค่า Rating Curve มีค่าความเชื่อถือต่ำ ค่าอัตราการไหลสูง ๆ ยังไม่เป็นที่น่าเชื่อถือนัก

ตารางที่ 4 ตะกอนแขวนและค่าเฉลี่ยรายปี

No.	River and Station	Station Code	Location: Amphoe	Changwat	Record Period	Drainage Area (km.2)	Mean Annual Suspended sediments (tons)
1	Khlong -Taonao at Ban Bang Sala	X.90	Hat Ya	Songkhla	1978-1985	1,562	54,580.0
2	Khlong Sadao at Ban Phra	X.111	Sada	Songkhla	1979-1985	256	7,218.0
3	Khlong Lam at Ban Thung Prap	X.113	Sadao	Songkhla	1979-1985	129	5,689.0
4	Khlong Wat at Ton Nga Chang Falls	NEA1	Hat Ya	Songkhla	1980-1984	14	2,158.4

Source: Feasibility Study Khlong Sadao Dam Project, RID.1989

ตารางที่ 5 ค่าปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนและรายปีของลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำคลองอุดะมะ

Unit : MCM

Station Code	River and Station	Drainage Area (km.2)	Record Period	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
X.14	K. Wat at Ton Nga-Chang	15	1954-1970	1.10	1.34	1.10	1.14	1.34	1.42	2.16	3.87	5.27	3.81	1.75	1.41	35.79
NEA.1	K. Wat at Ton Nga-Chang Phalia	14	1980-1988	1.21	1.39	1.10	1.26	1.87	1.85	1.66	3.52	5.58	2.40	1.63	1.42	24.69
X.44	K. U-Ta Phao at Ban Knok Samet Chum	1740	1967-1986	23.6	26.4	17.1	16.9	14.8	23.5	63.6	202.7	256.4	90.9	30.3	27.0	791.9
X.71	K. Tam at Ban Khuan Lang	127	1967-1986	0.71	2.02	1.12	0.93	1.08	1.58	6.11	28.51	34.75	11.87	0.74	0.69	90.11
X.90	K.U-Ta Phao at Ban Bang Sala	1562	1971-1986	10.8	29.5	22.5	19.6	17.1	29.1	71.9	172.8	196.0	58.5	10.5	6.1	644.9
X.111	K.Sado at Ban Phrai	256	1979-1987	4.04	7.10	4.69	5.85	4.85	10.08	22.43	30.62	22.50	4.25	2.91	2.67	121.98
X.112	K.Liam at Ban Prik	499	1970-1986	6.32	13.86	8.15	9.64	8.82	15.31	41.75	58.67	41.31	5.83	2.84	2.50	215.01
X.113	K. Lam at Ban Thung Prai	129	1979-1986	2.47	3.70	1.73	2.37	3.46	4.67	8.49	10.11	6.35	1.23	1.18	0.84	46.60
X.42	K.Na Thawi at Ban Pa Kan	443	1976-1988	6.48	10.34	5.79	4.91	4.55	6.66	22.77	44.75	37.17	7.67	3.82	3.70	158.61
X.67	K.Rattaphum at Ban Kamphaeng Phet	272	1967-1986	3.48	6.55	4.27	5.24	4.43	6.08	10.72	39.00	55.83	18.87	6.23	5.20	165.87
X.69	K.Phru Pho at Ban Phru Pho, A. Rattaphum	88	1967-1986	1.19	2.68	2.05	1.64	1.64	1.89	4.01	17.50	24.42	9.87	3.35	2.00	72.24

Source: Feasibility Study Khlong Sadao Dam Project, RID,1989

ตารางที่ 6 ค่าระดับน้ำเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL จากการสำรวจเมื่อปี 1994

Sta	ระดับสมุทร	ระดับเมื่อเทียบกับ MSL
X44	0.000	-0.980
X90	0.000	0.680
X173	0.000	19.677
X112	0.000	11.995

(Reference: Note No. 1 of Utaphao Basin, AIT 1994)

ตารางที่ 7 ระดับตลิ่งของลำน้ำคลองอู่ตะเภา

Location	Chainage (km)	Bankfull level (m MSL)
X172	0.00	44.00-45.00
	3.75	38.50-39.50
	5.60	36.50-37.50
	10.55	29.00-30.00
	15.05	25.00-26.00
A. Sadao (X111)	17.15	28.00-29.00
X112	24.35	25.00-26.00
	29.50	22.00-23.00
	35.40	18.50-19.00
Khlong-Ngae (X173)	40.10	16.00-17.00
	44.35	15.50-16.50
	49.25	13.00-14.00
	55.70	10.00-11.00
	61.50	9.00-10.00
Ban Bangsala (X90)	70.55	8.00-9.00
	74.95	5.00-6.00
	77.99	5.00-6.00
A. Hatyai (X44)	84.05	5.00-6.00

(Reference: Note No. 1 of Utaphao Basin, AIT 1994)

CENTRAL LIBRARY
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

ตารางที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับอัตราการไหล (SEDIMENT RATING RELATIONSHIPS

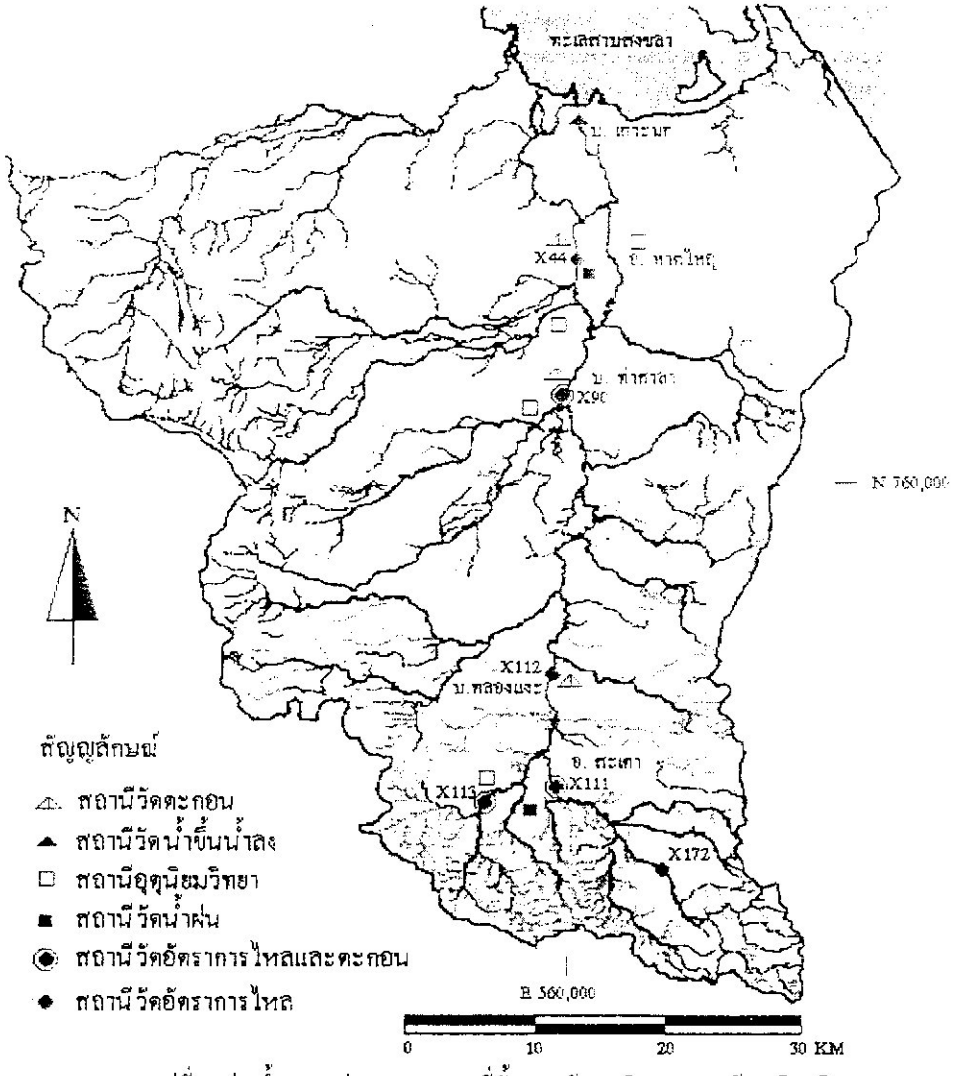
บ้านปริก 1	X112	$Q = 0.43 (H - 19.55)^{2.23}$	$19.55 < H < 25.20$
		$Q = 2.17 (H - 23.23)^{3.23}$	$H > 25.20$
คลองแงะ	X173	$Q = 3.68 (H - 11.79)^{1.5}$	$11.79 < H < 16.80$
		$Q = 2.93 (H - 14.52)^{3.18}$	$H > 16.80$
บางศาลา	X90	$Q = 0.66 (H - 0.09)^{3.29}$	$0.09 < H < 1.90$
		$Q = 1.69 (H - 0.09)^{2.11}$	$1.90 < H < 8.00$
		$Q = 3.19(H - 4.53)^{3.03}$	$H > 8.00$
หาดใหญ่	X44	$Q = 26.77(H - 0.33)^{1.32}$	$-0.33 < H < 4.23$
		$Q = 35.58(H - 0.31)^{1.31}$	$H > 4.23$

(Reference: Note No. 1 of Utaphao Basin, AIT 1994)

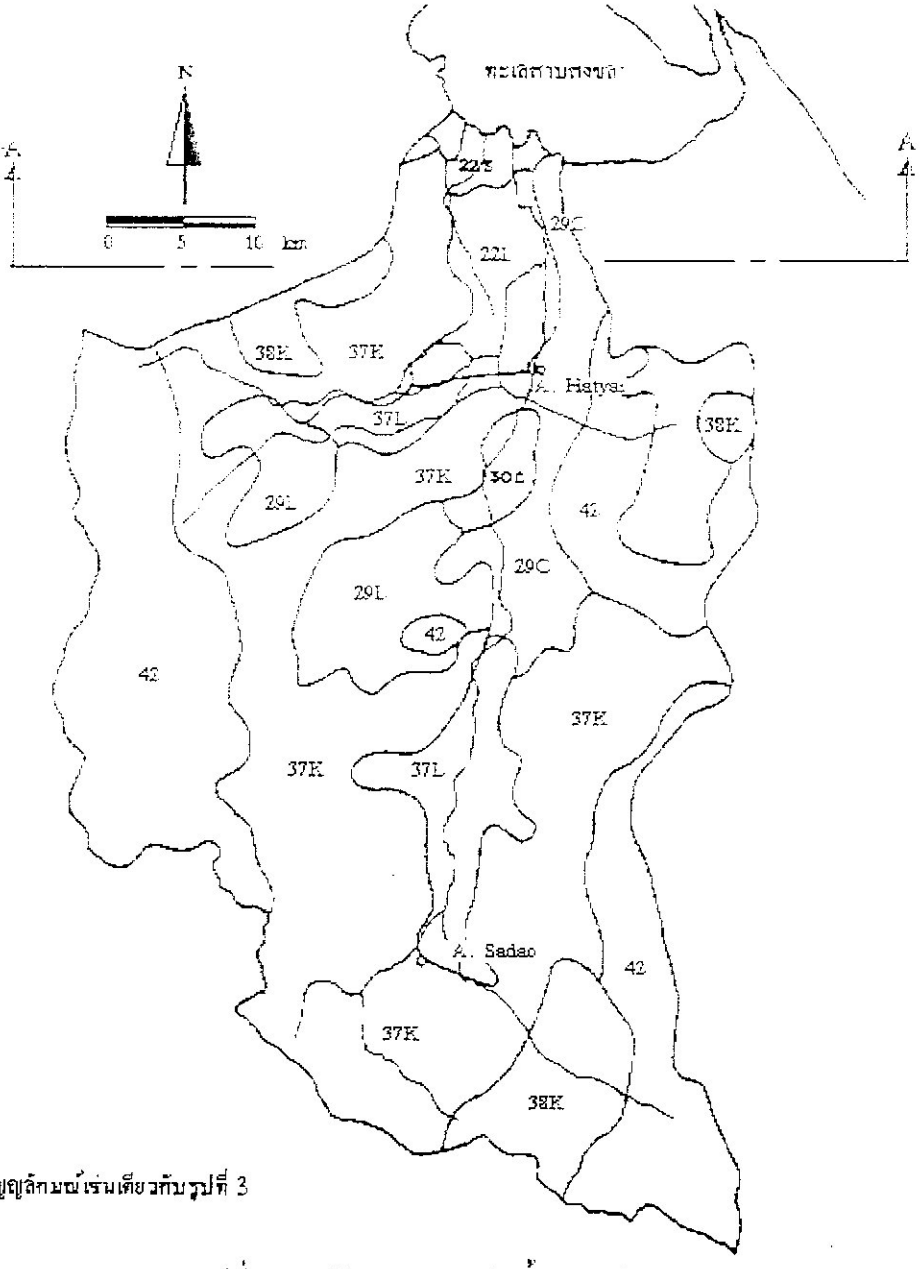
ตารางที่ 9 ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายเดือนเฉลี่ยสำหรับลุ่มน้ำย่อยต่าง ๆ ในทะเลสาบสงขลาและคลองอู่ตะเภา

สถานี	ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายเดือนเฉลี่ย,ตัน												
วัดตะกอน	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย	ตค.	พย.	ธค.	มค.	กพ	มีค.	รายปีเฉลี่ย
อ.สทิงพระ	58	69	78	47	113	103	308	1642	5225	552	105	73	8374
เกาะแก้ง	26	29	48	23	53	71	268	922	4108	207	68	34	5856
x.90	628.2	2074.9	1356.4	1913.8	1474.2	2484.4	6260.1	16023.3	18338.8	1816.2	414.6	290.6	53075.5
x.111	184.8	399.8	287.6	358.8	236.3	522.9	1084.5	2087.6	1236.2	159.3	123.9	99.4	6783.1
x.113	315.4	673.3	231.2	533.4	670	552.9	1248.3	1654.1	757.6	66	114.5	59.1	6875.8
DEDP.1	39.9	50.7	37.8	40	66.8	62.1	89	205.9	581.1	128.7	58.5	34.7	1395.2

Reference: การศึกษาและออกแบบโครงการคันน้ำเค็ม ทะเลสาบสงขลา, RID, 2536



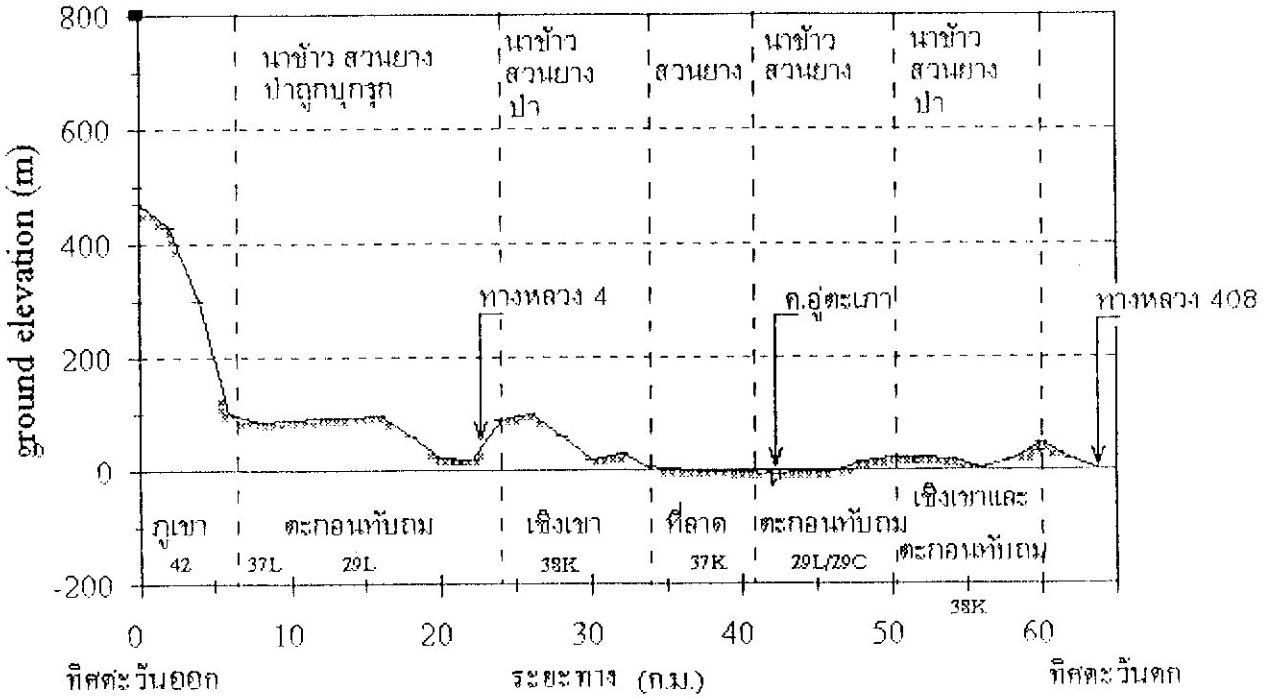
รูปที่ 1 ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา แสดงที่ตั้งสถานีอุทกวิทยา สถานีอุตุนิยมวิทยา สถานีวัดตะกอนและน้ำขึ้นน้ำลงของโครงการวิจัย



สัญญลักษณ์เช่นเดียวกับรูปที่ 3

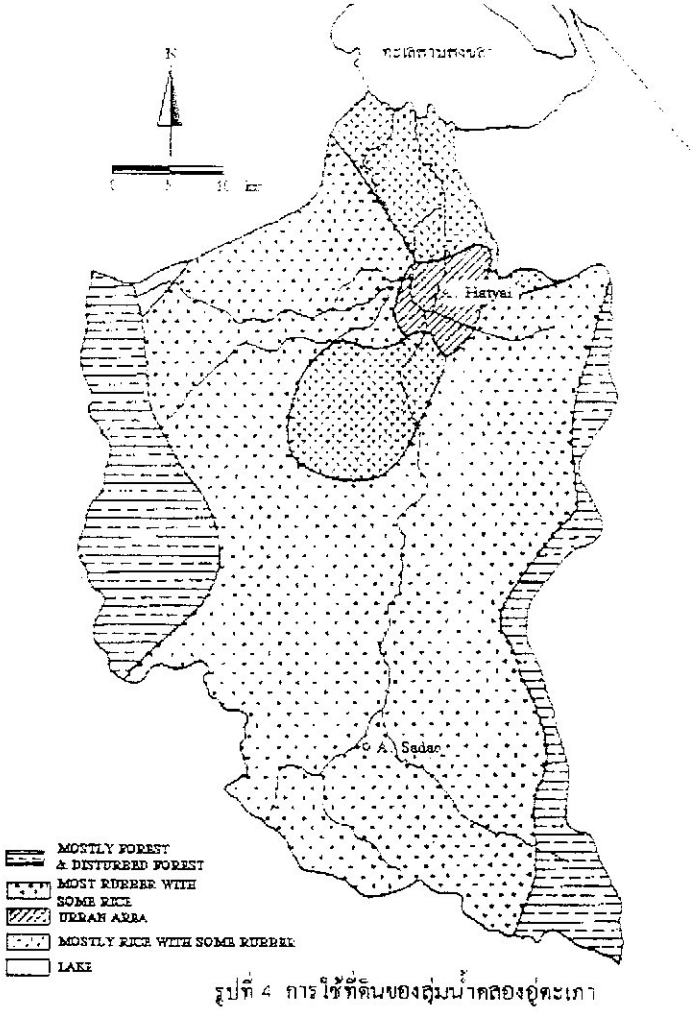
รูปที่ 2 ธรณีสันฐานของลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

(Reference: Note no. 1 on Utaphao Basin)



รูปที่ 3 ธรณีสัณฐานแนวทิศตะวันออก - ตก ลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

(Reference: Note no. 1 on Utaphao Basin)

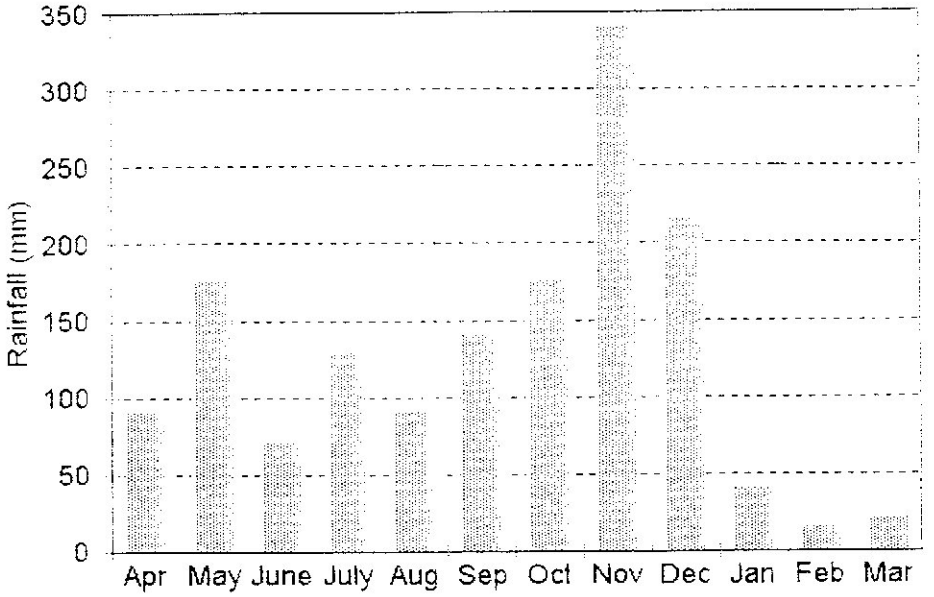


รูปที่ 4 การใช้ที่ดินของลุ่มน้ำคลองอู่ตะเภา

(Reference: Note no. 1 on Utaphao Basin)

รูปที่ 5 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ อ หาดใหญ่ (รห 58210)

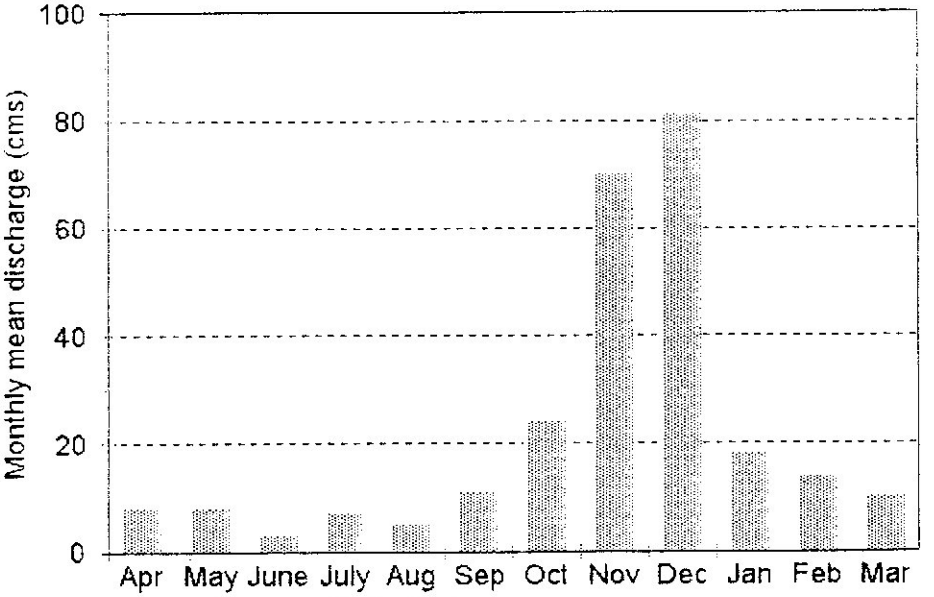
1985-92



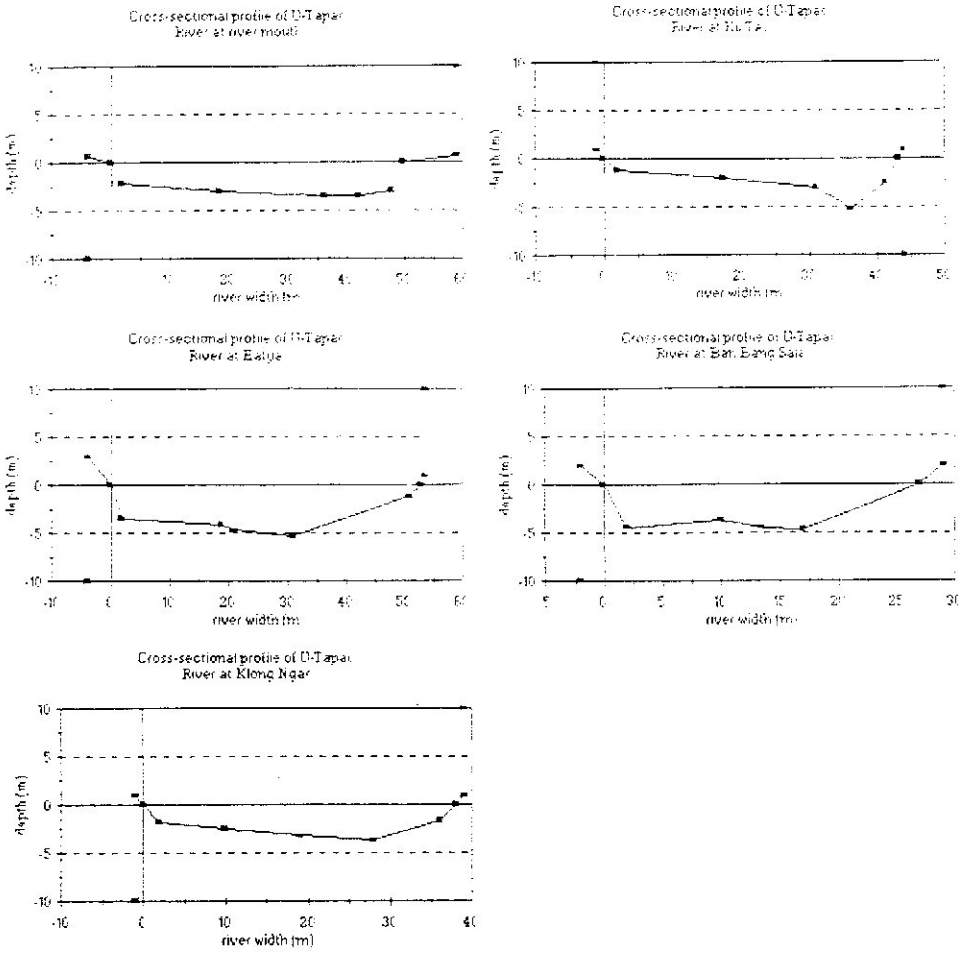
(Reference: Note no. 1 on Utaphao Basin)

รูปที่ 6 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่ อ หาดใหญ่ (X44)

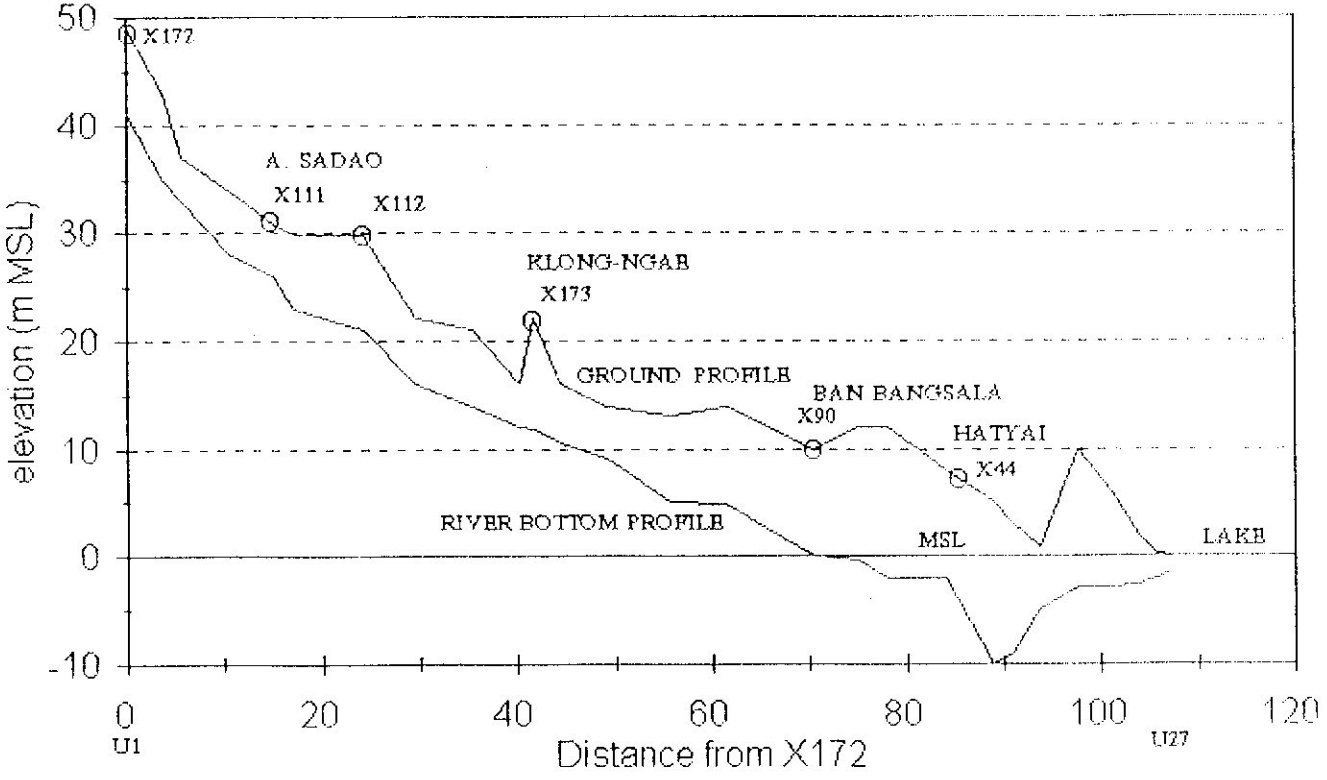
1985-92



(Reference: Note no. 1 on Utaphao Basin)



รูปที่ 7 หน้าตัดการไหลของลำน้ำคลองอู่ตะเภา (ปีพ.ศ. 2533)



รูปที่ 8 รูปตัดภูมิประเทศของลำน้ำคลองอู่ตะเภา

(Reference: Note no. 1 on Utaphao Basin)

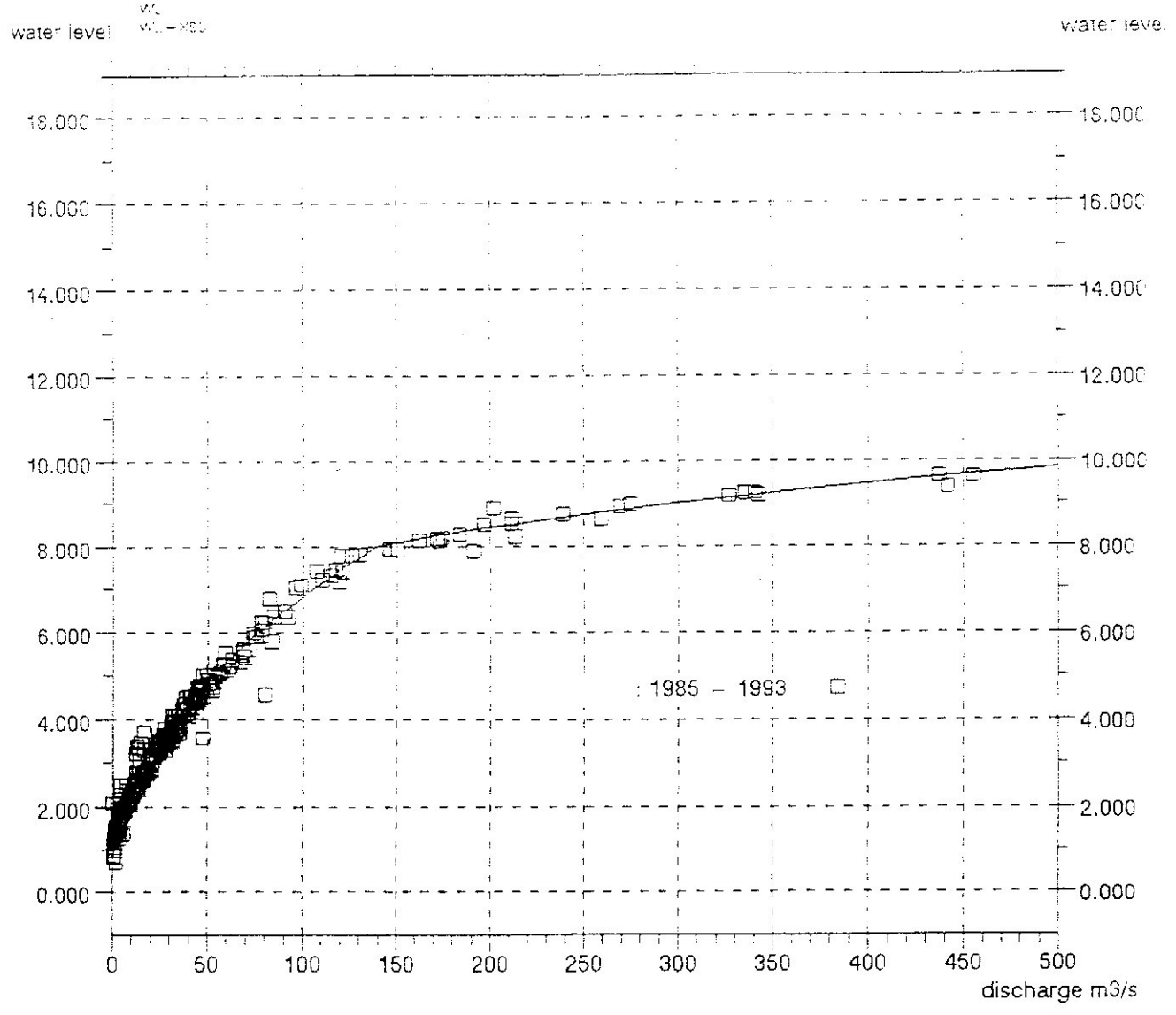


Fig. 9a Rating curve by HIS at station X90

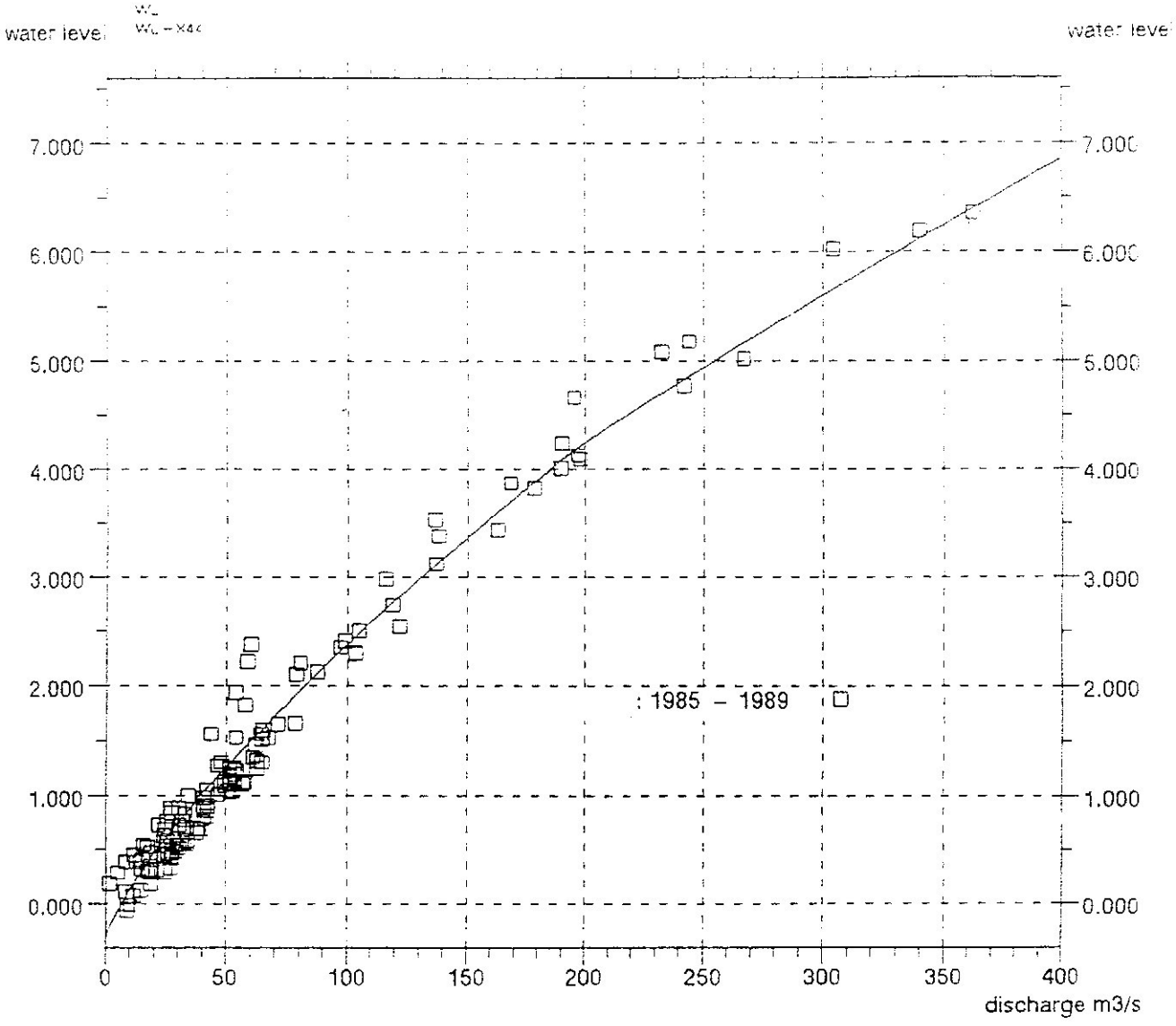
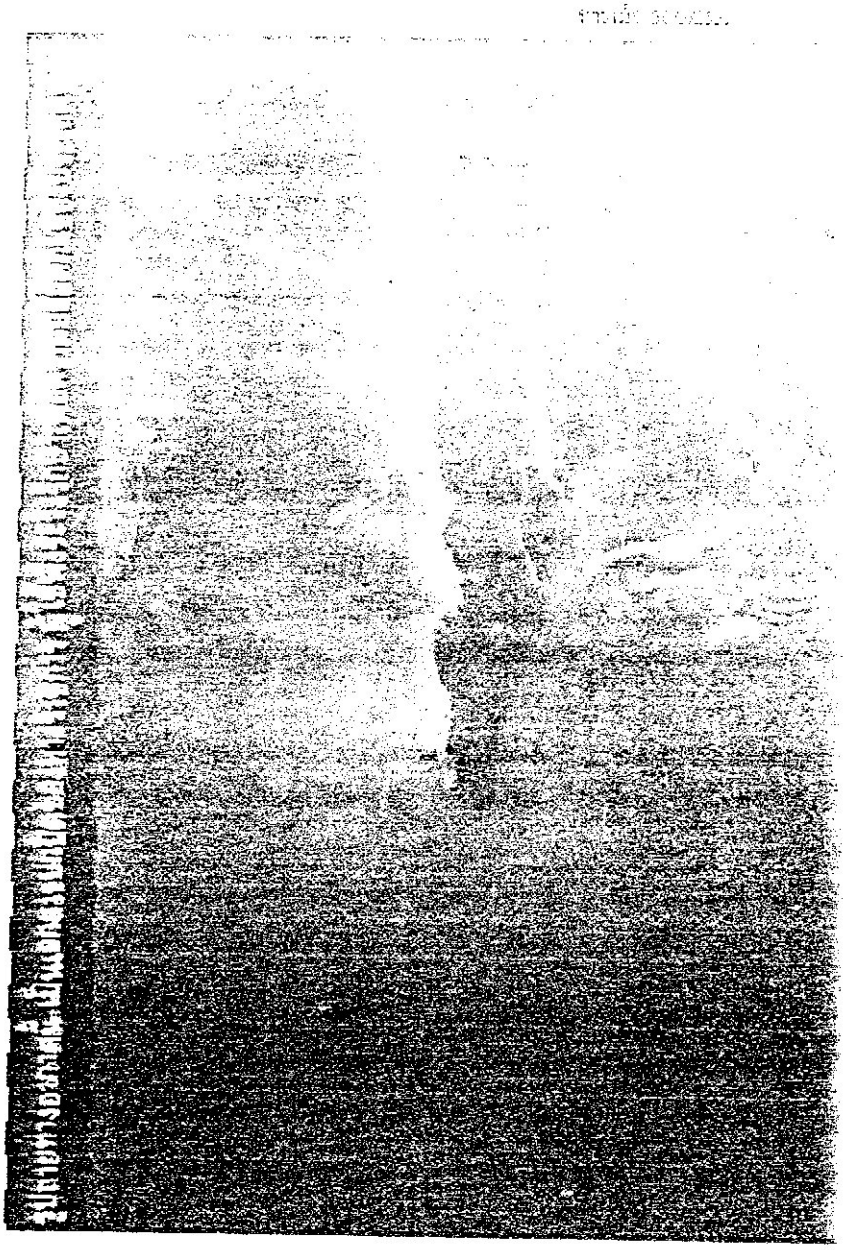


Fig 9b Rating curve by HIS at station X44



รูปที่ 11 ภาพถ่ายทางอากาศของบริเวณปากแม่น้ำคลองอู่ตะเภา
แสดงการกระจายตัวของตะกอนในทะเลสาบสงขลา

Fig. 12 Suspended solid at X44

Haryai (Mar-July, 1995)

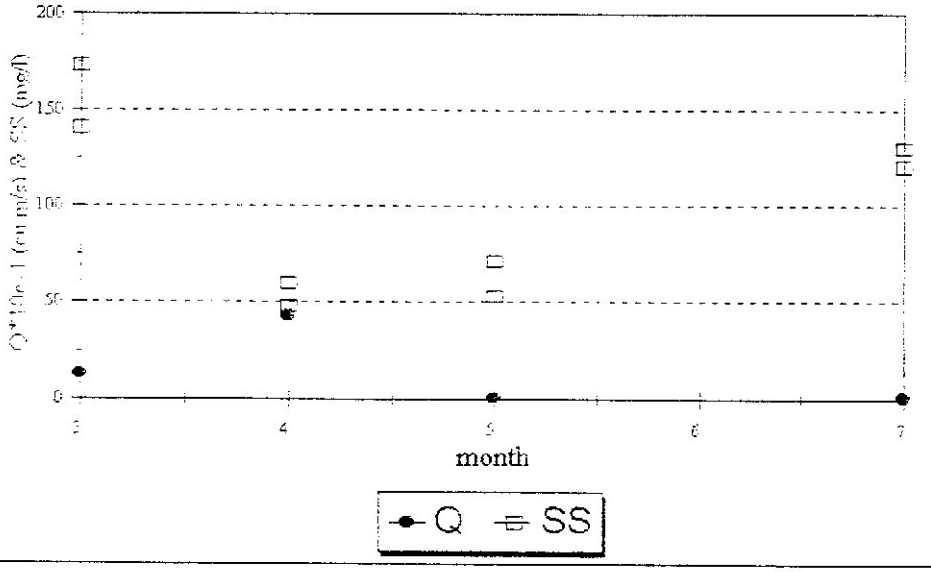


Fig. 13 Suspended solid at X90

Ban Bang Sala (Mar-July, 95)

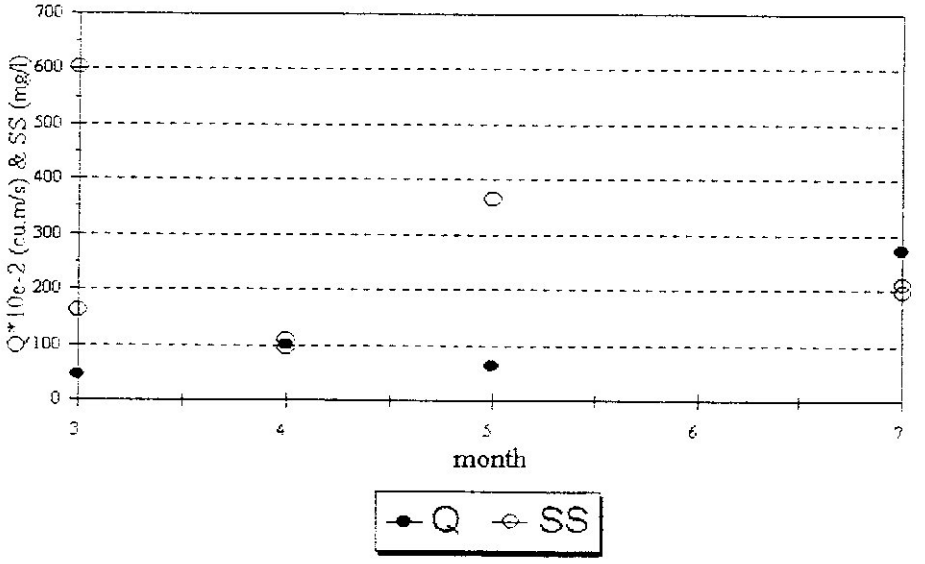


Figure 14 a. Tide at Ko Nok (March-April 1995)

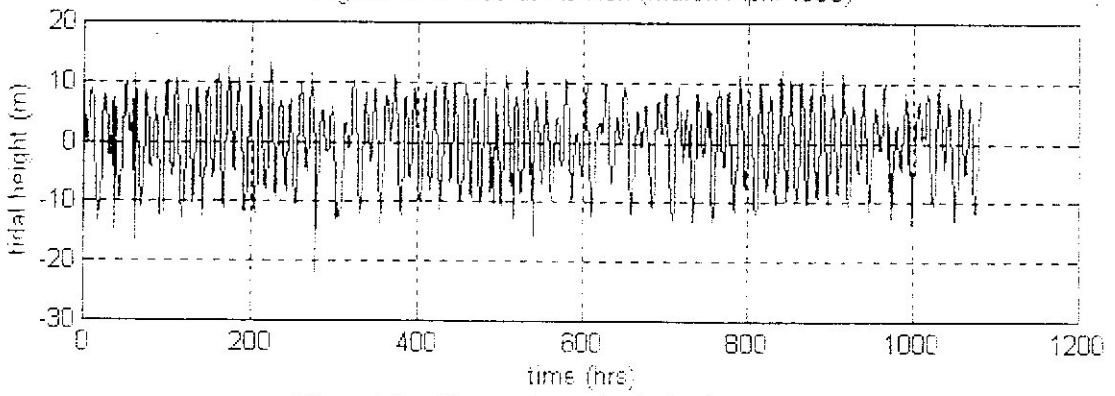


Figure 14 b Harmonic analysis for tide at Ko Nok

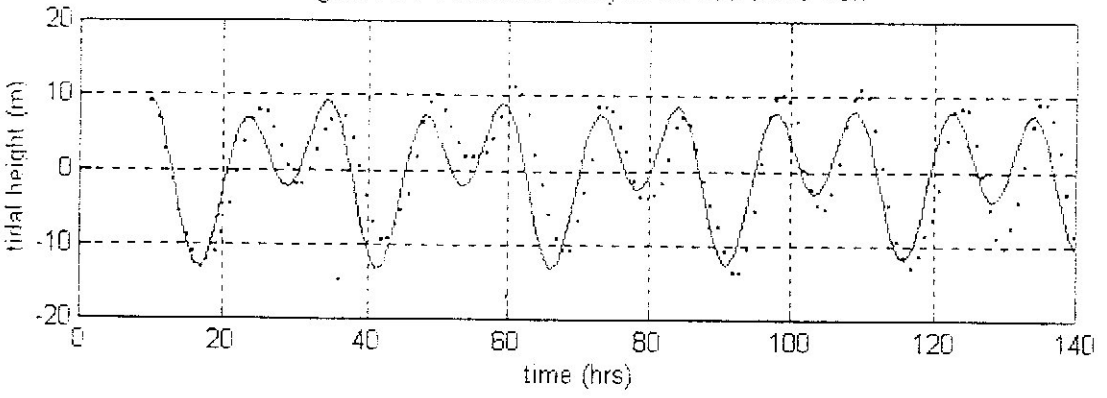


Figure 15 Distribution of riverine sediment

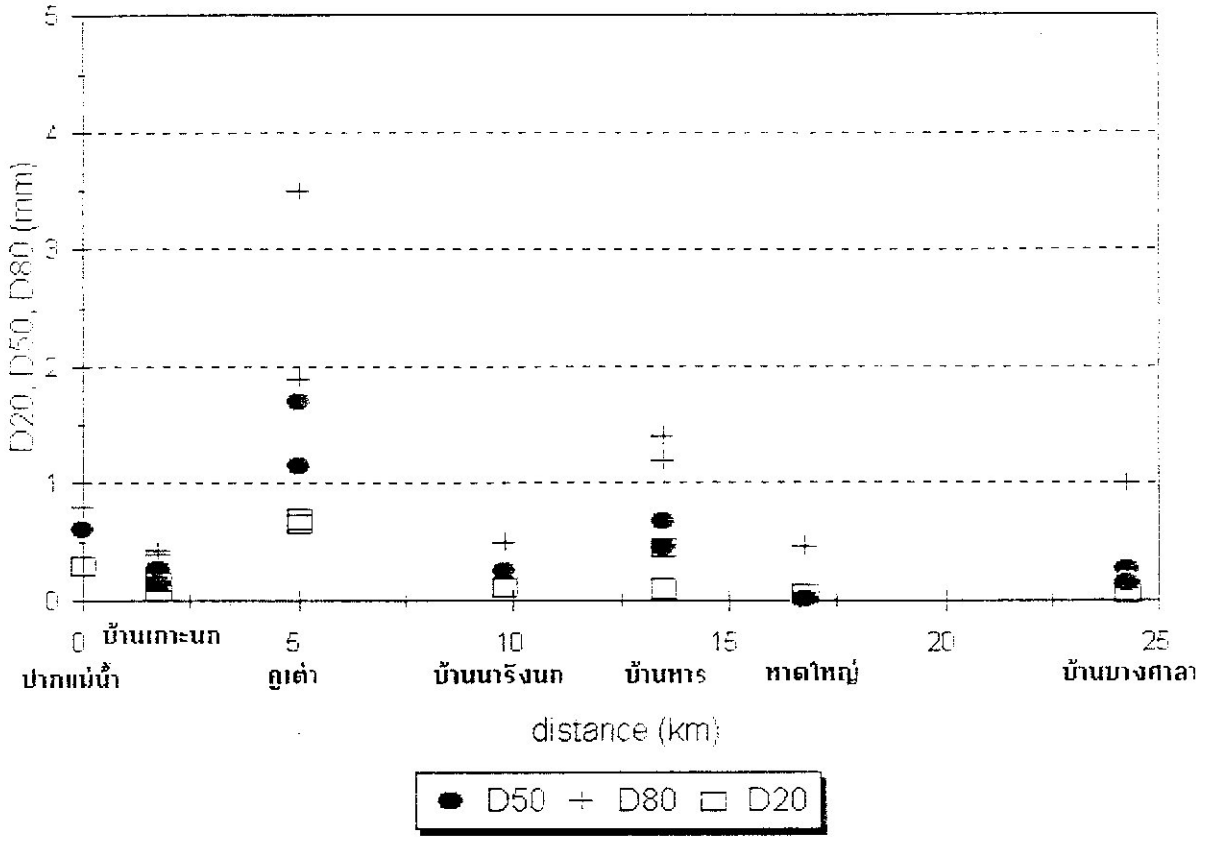
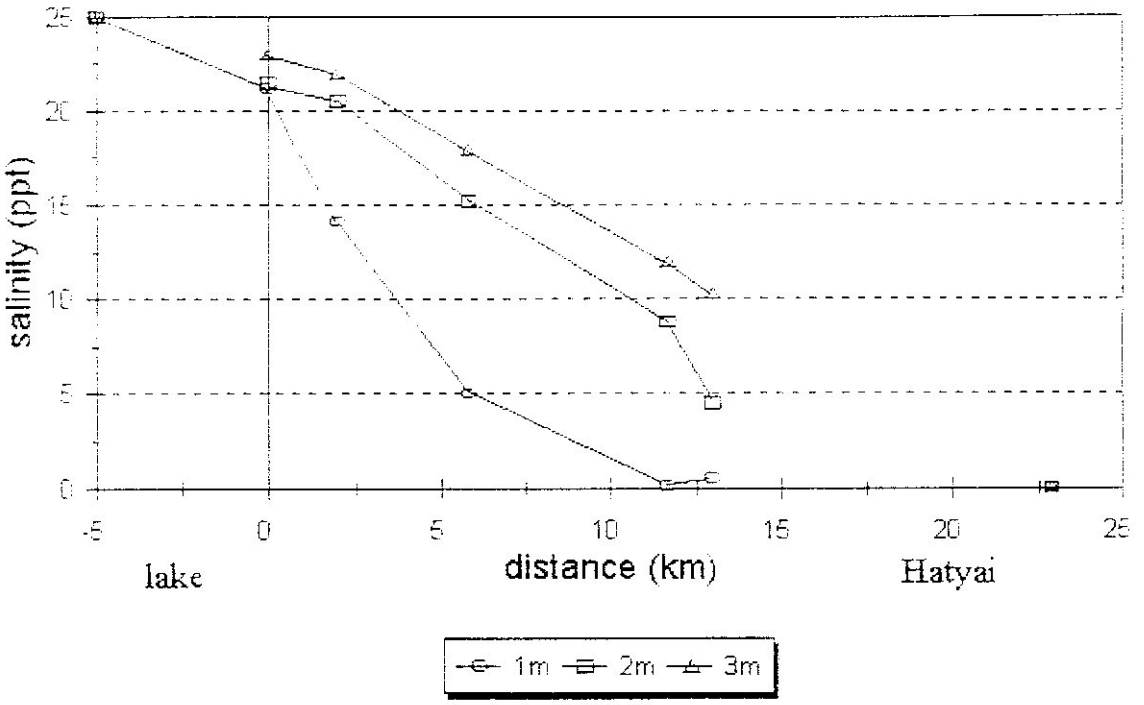
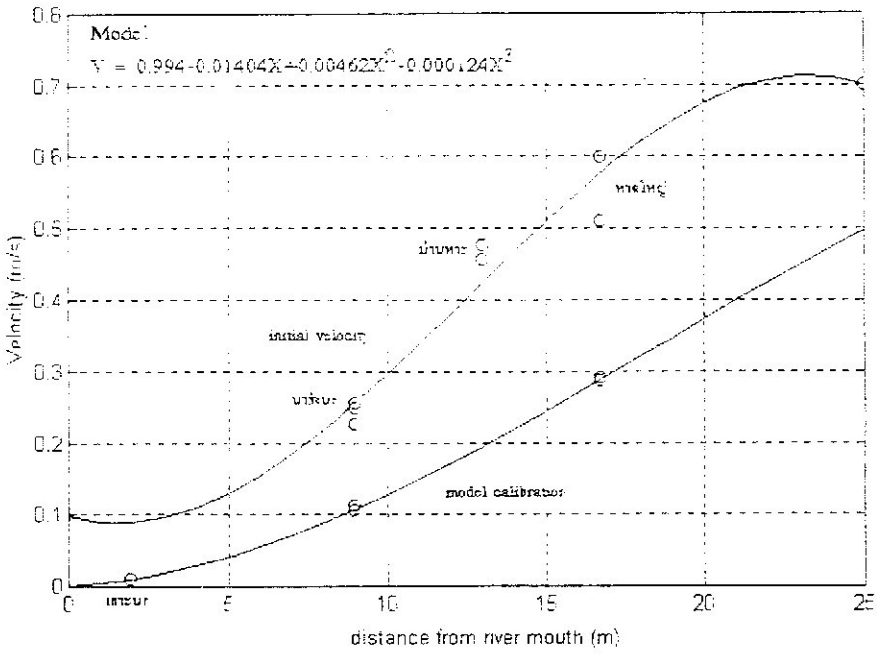


Figure 16 Longitudinal profile of salinity at different depth

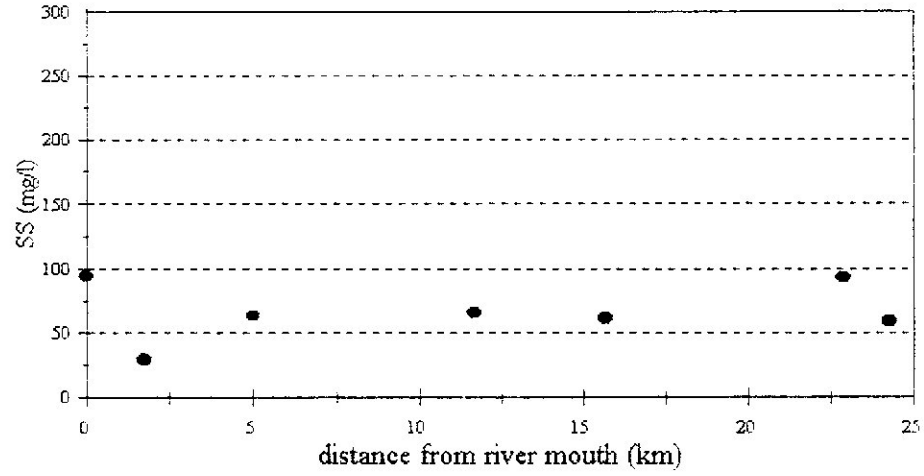
Hat Yai - Songkla Lake



รูปที่ 19a ข้อมูลความเร็วการไหลเริ่มต้นสำหรับแบบจำลอง



รูปที่ 19b ข้อมูลตะกอนแขวนลอยเริ่มต้นสำหรับแบบจำลอง



รูปที่ 17a ข้อมูลอัตราการไหลที่บ้านบางสะกาสำหรับแบบจำลอง

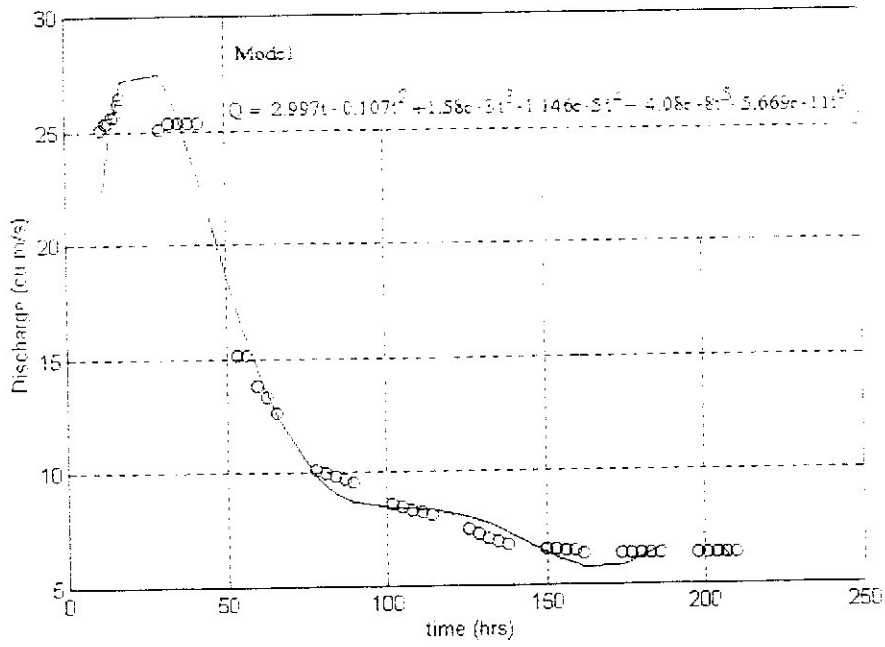
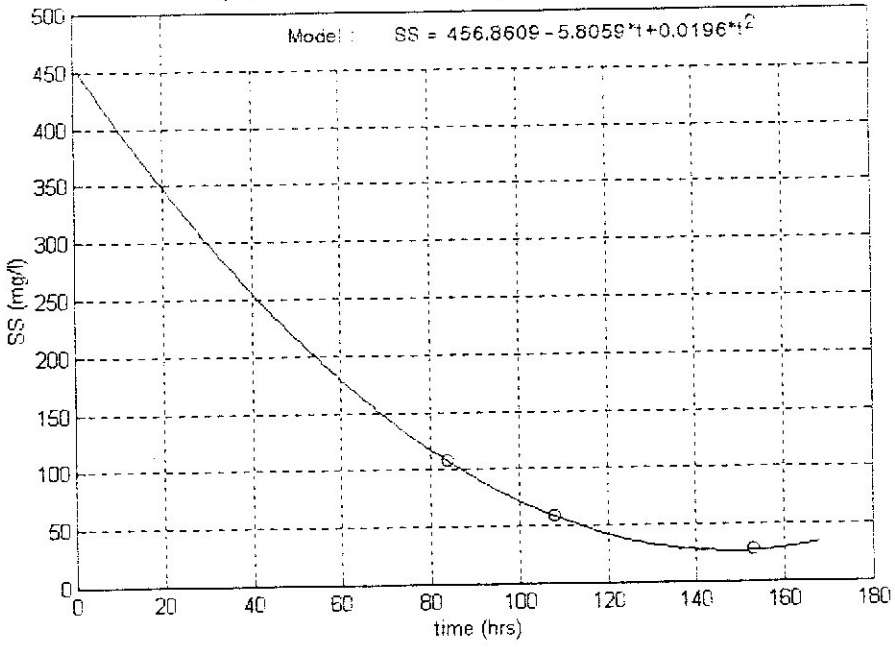
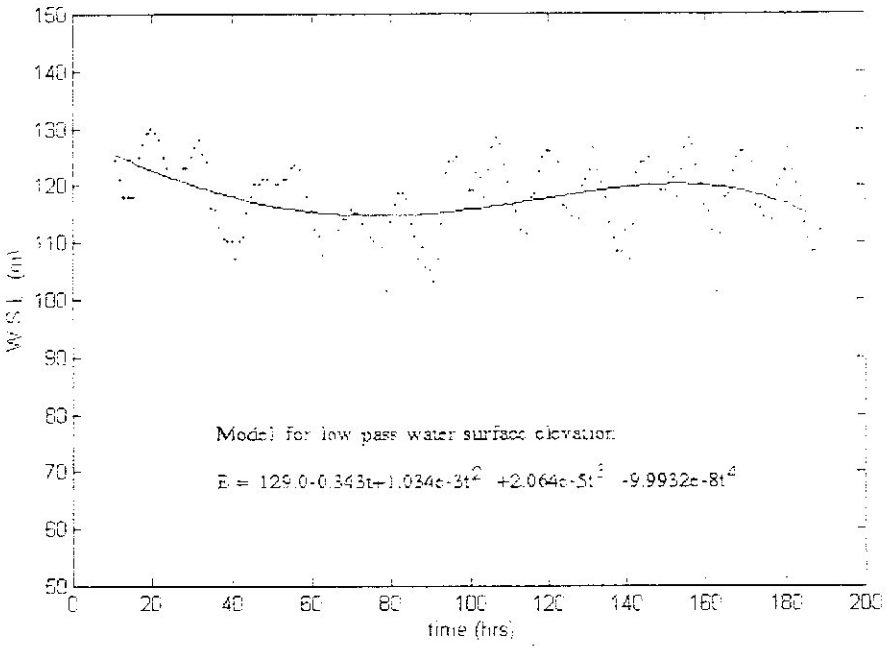


Figure 17b SS for River boundary input at Ban Bang Sala

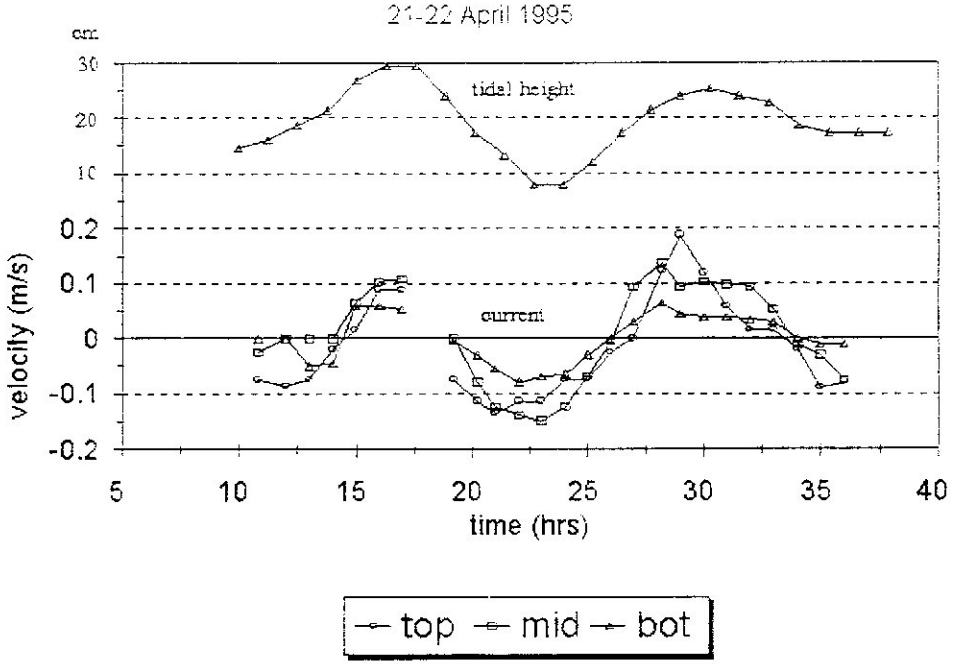


รูปที่ 18a ข้อมูลระดับน้ำที่บ้านเกาะนก (กม 2) สำหรับแบบจำลอง

(19-25 มีนาคม 2538)



รูปที่ 18b Tidal characteristic of Utapao Estuary



รูปที่ 20a ระดับน้ำที่ทางใหญ่สำหรับ Model Calibration
19-25 August 1995

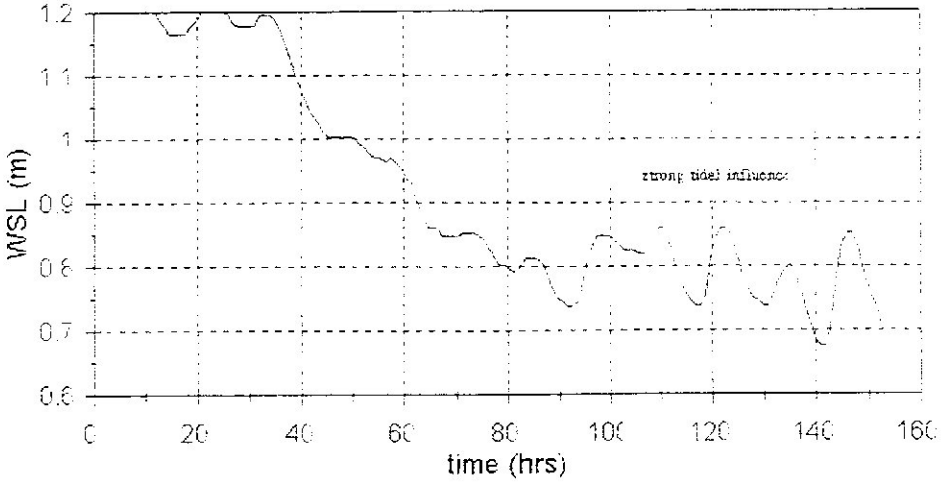
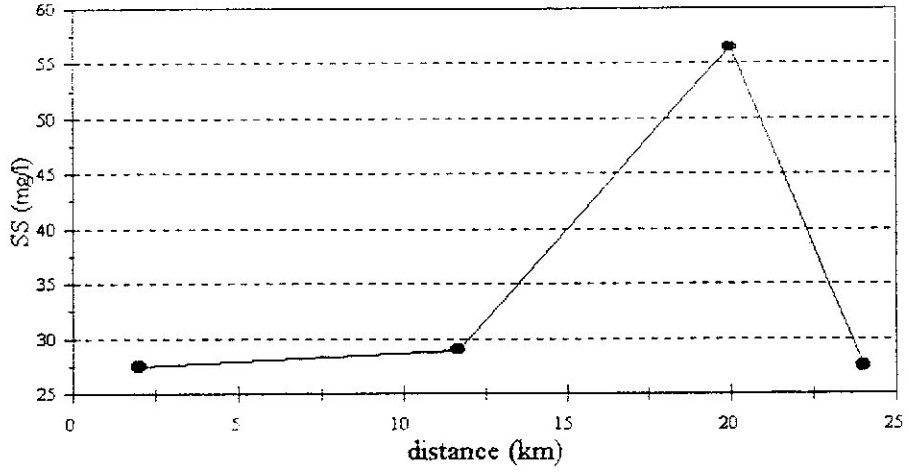
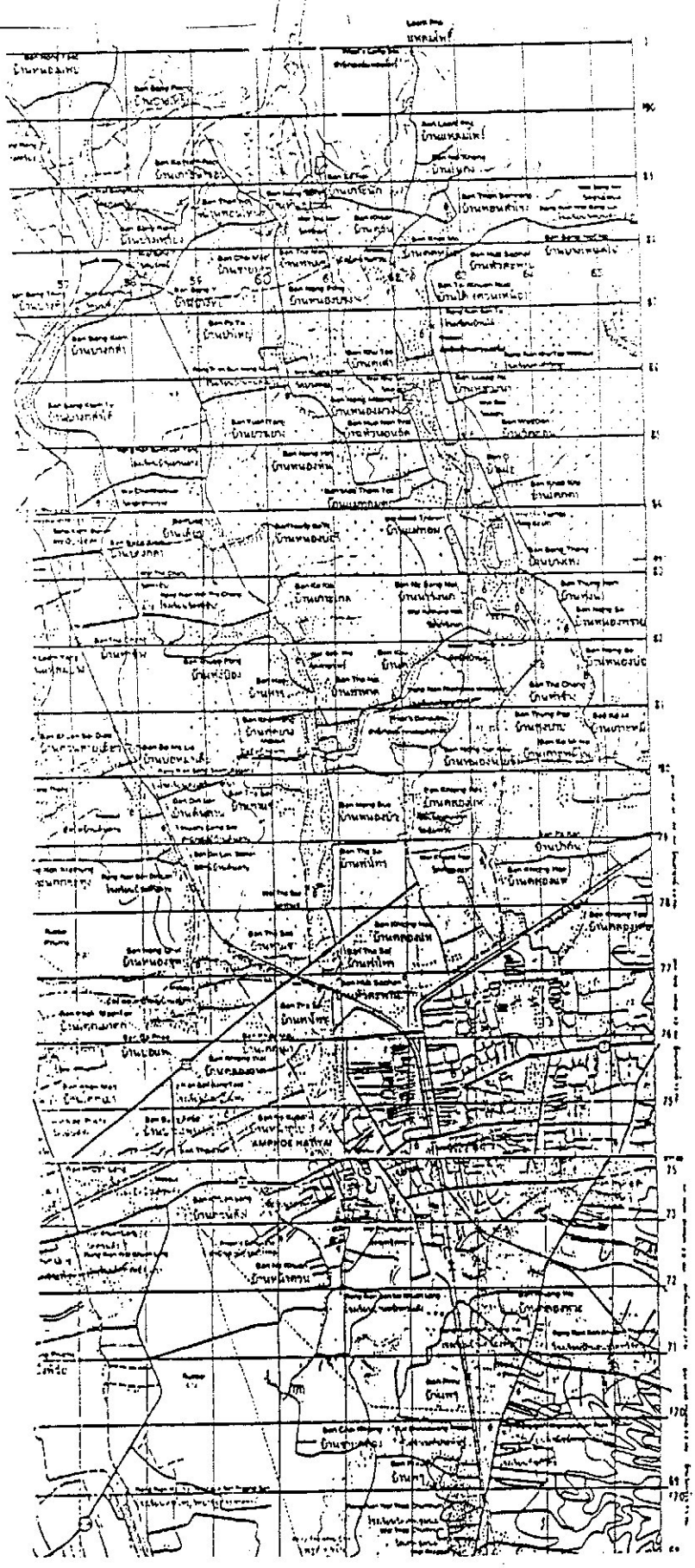
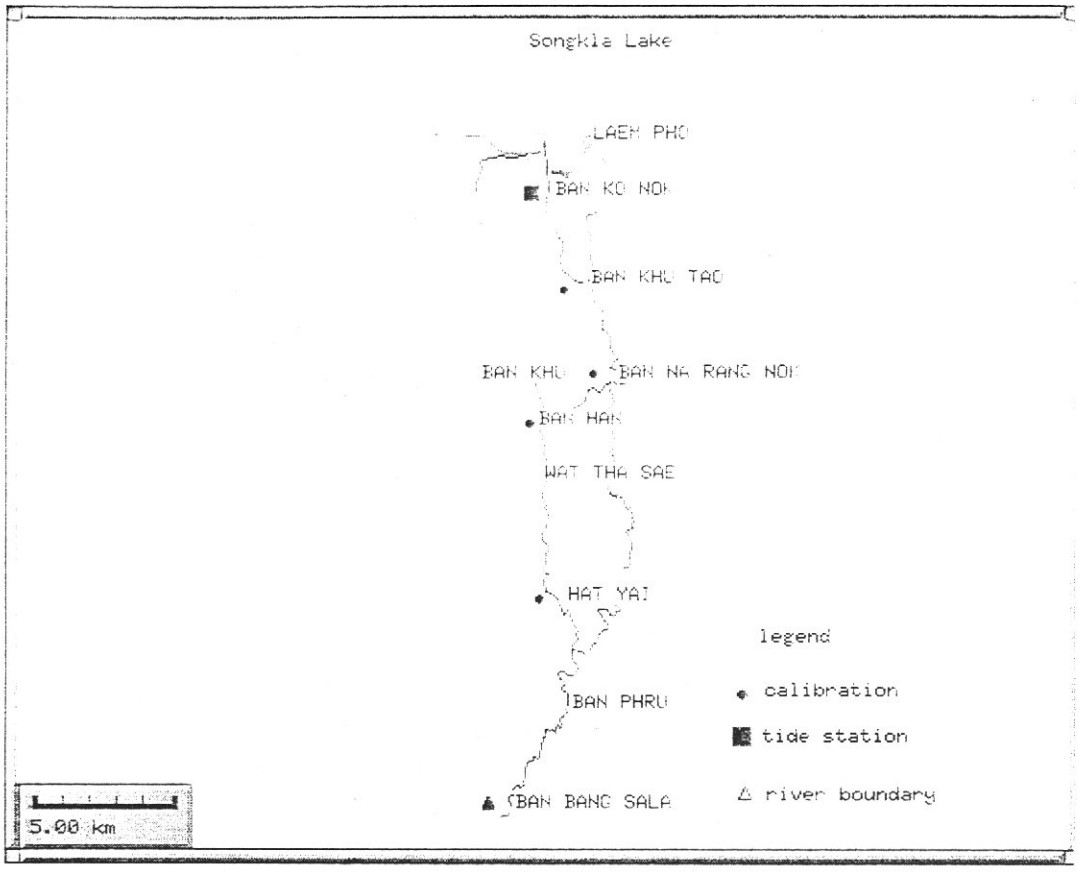


Fig. 20b SS for model calibration
(Aug. 25, 95)

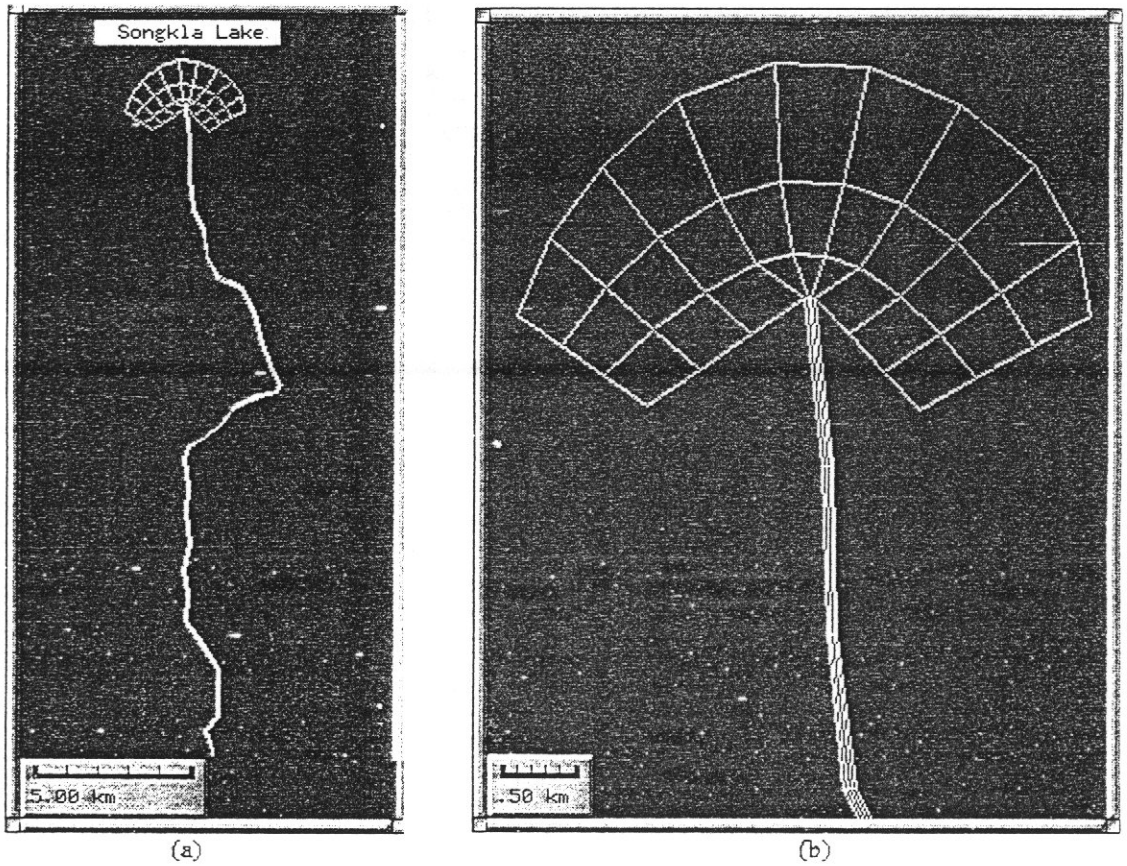




รูปที่ 21a ขอบเขตการศึกษาการตกตะกอนด้วยแบบจำลอง แสดงแนวลำน้ำคลองอู่ตะเภา
ตั้งแต่บ้านบางศาลาถึงปากแม่น้ำ



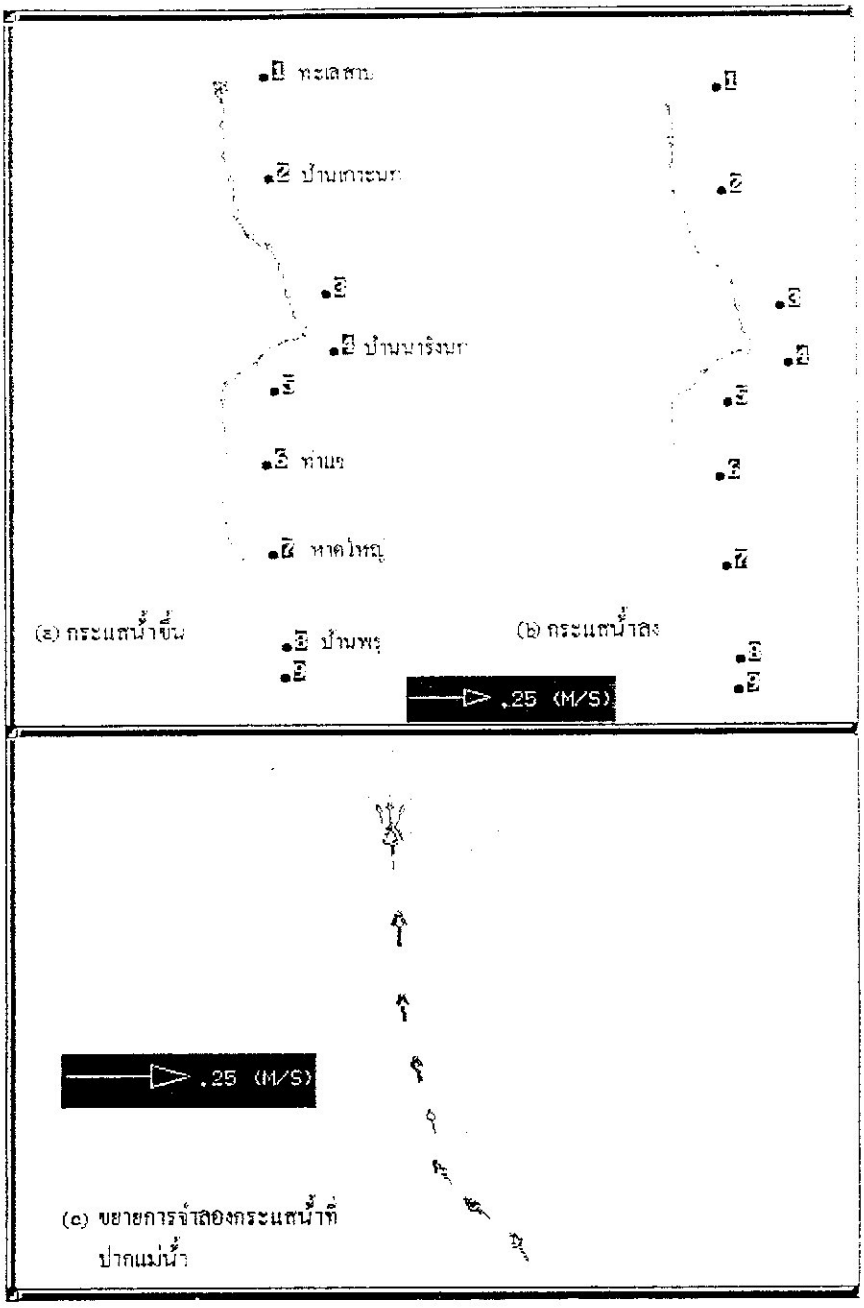
รูปที่ 21b ขอบเขตทดลองอู่ตะเภาสำหรับแบบจำลองฯ



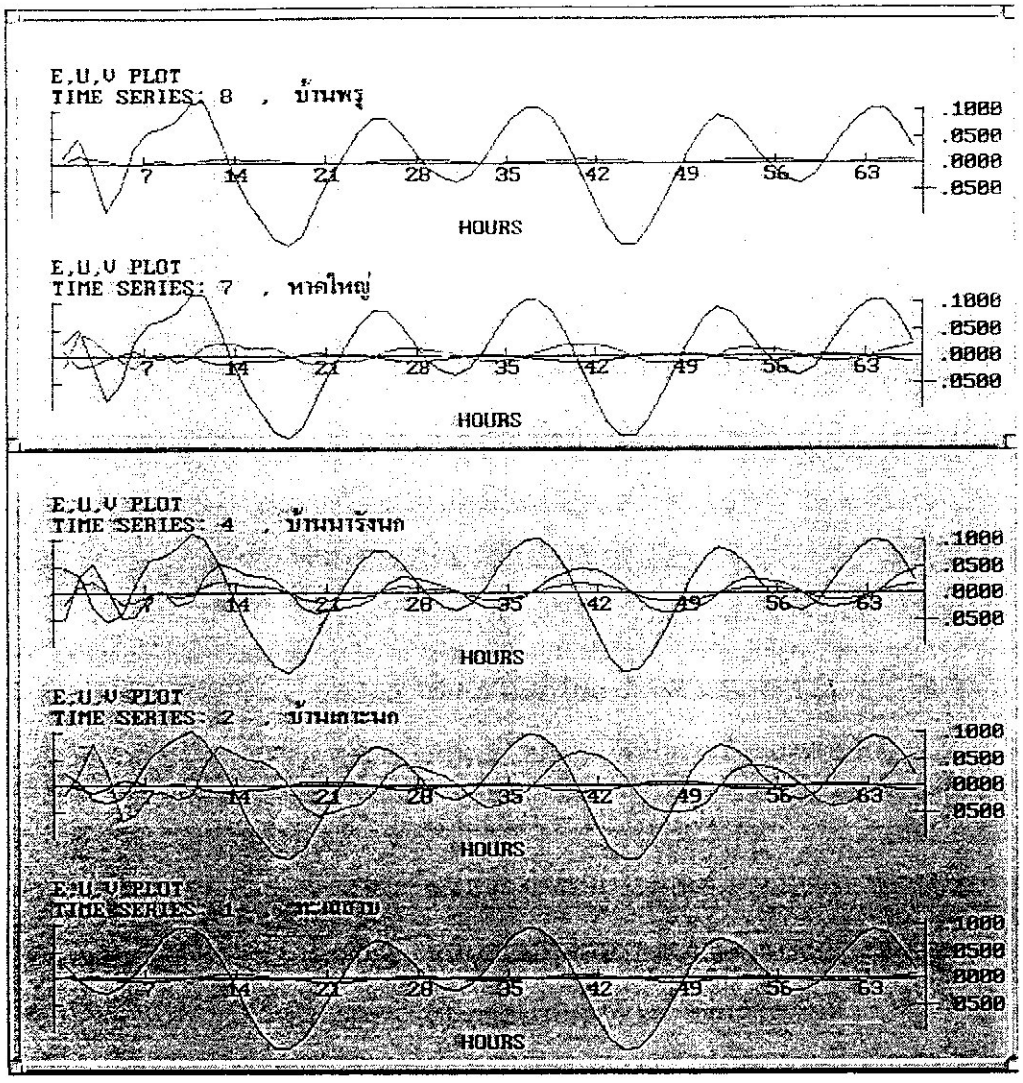
(a) (b)

รูปที่ 22 การแบ่งกริดการคำนวนสำหรับแบบจำลอง (a) และรูปขยายกริดปากแม่น้ำ (b)

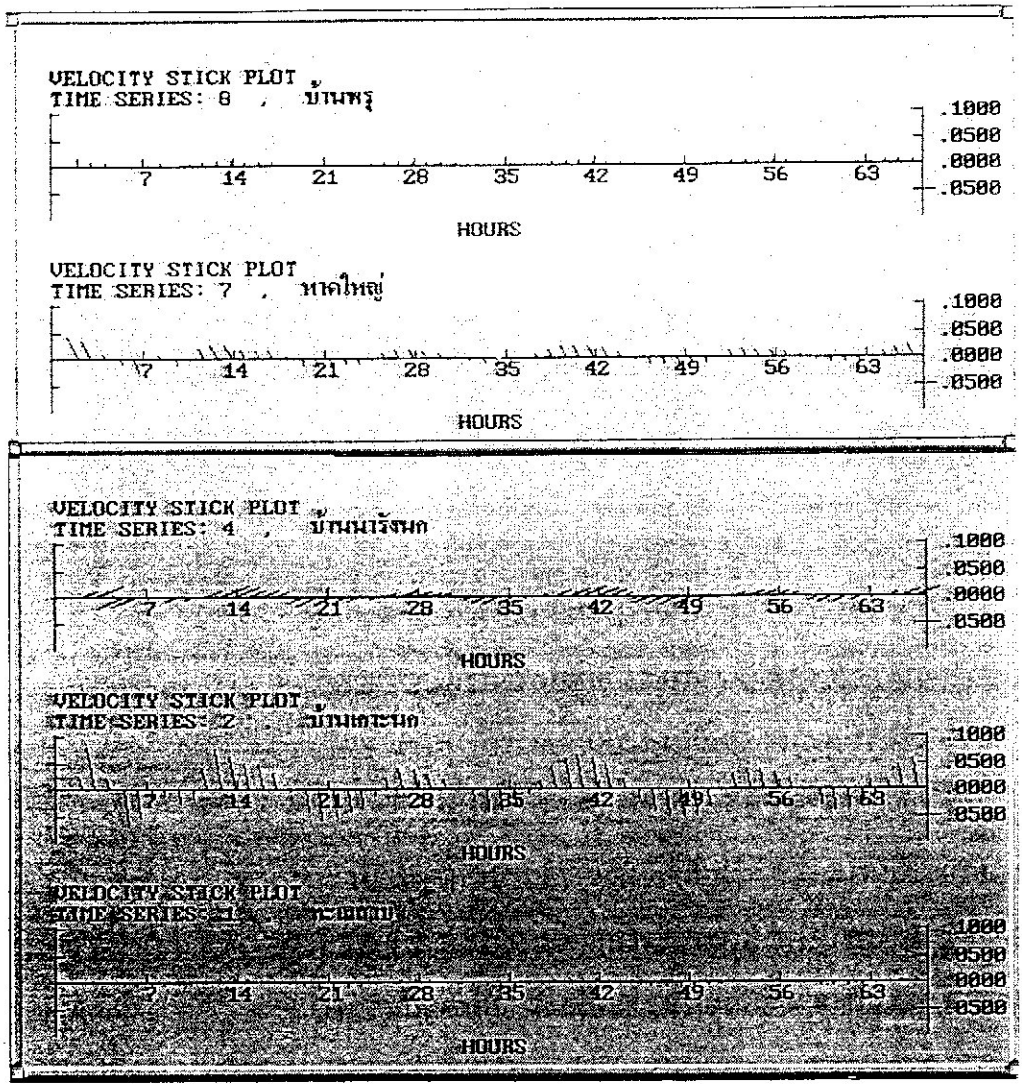
รูปที่ 25 ผลการจำลองกระแสน้ำด้วยแบบจำลอง

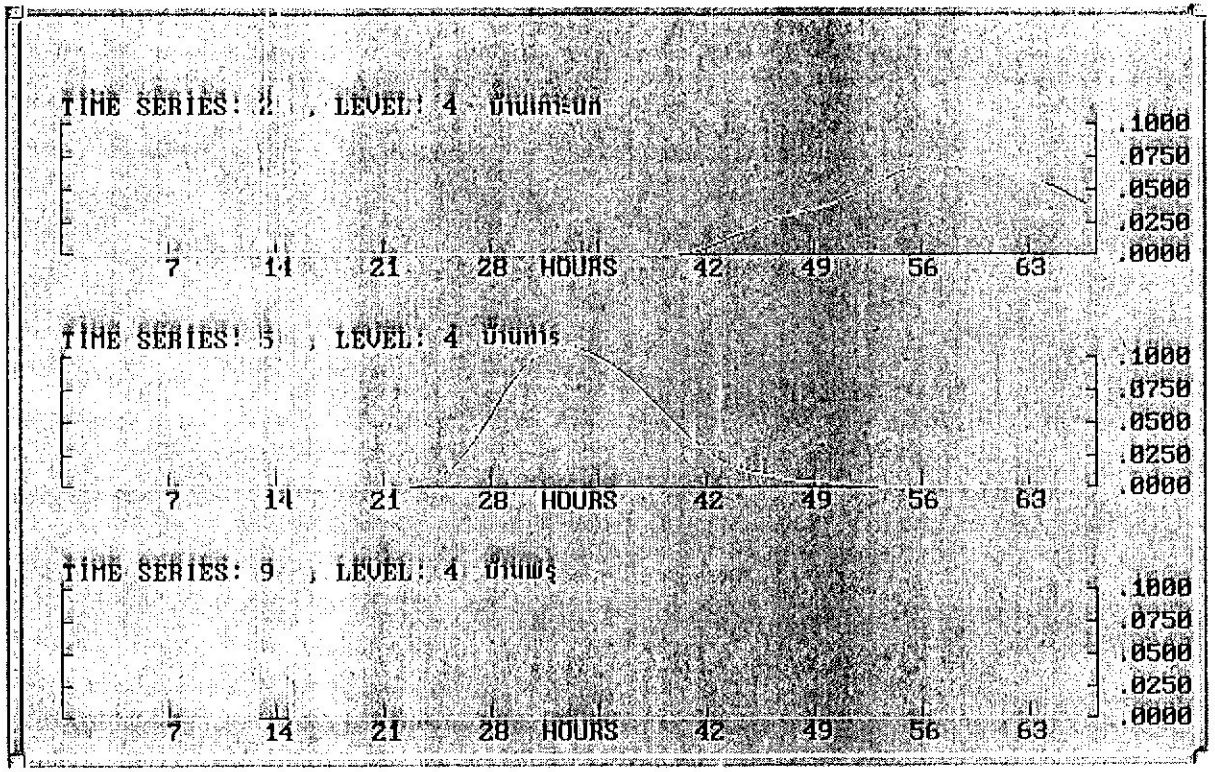


รูปที่ 2-6 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำและกระแสน้ำจากแบบจำลอง

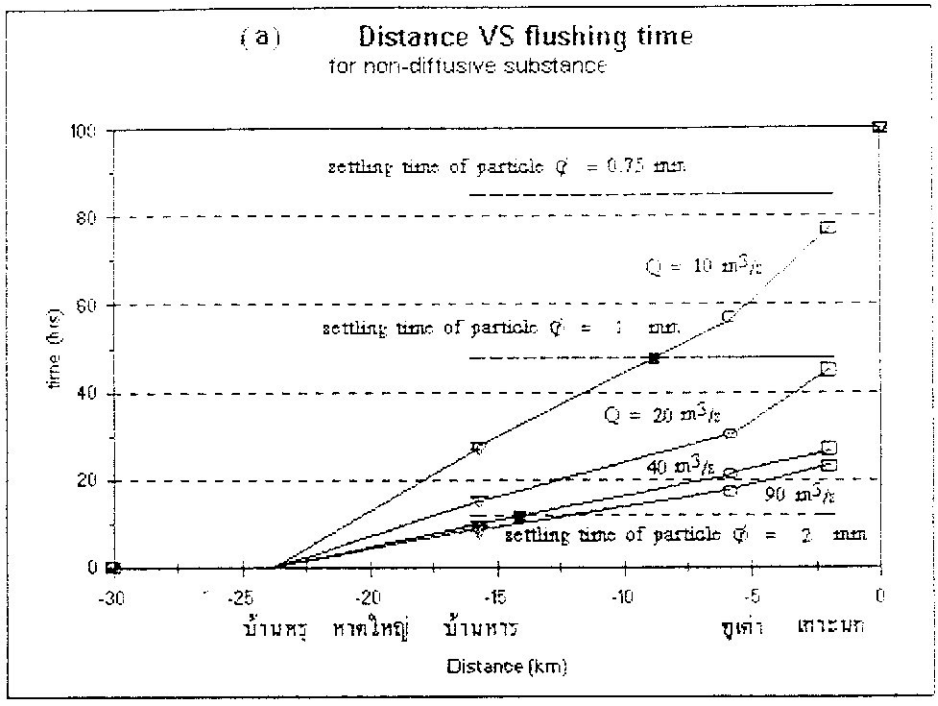


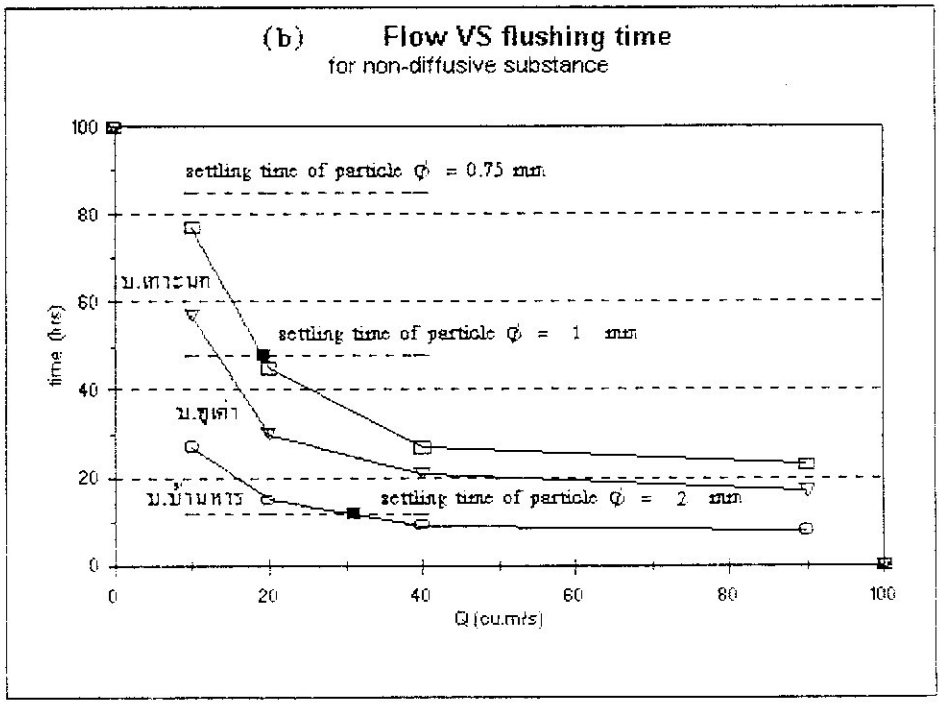
รูปที่ 24 ข ทิศทางกระแสน้ำจากแบบจำลอง



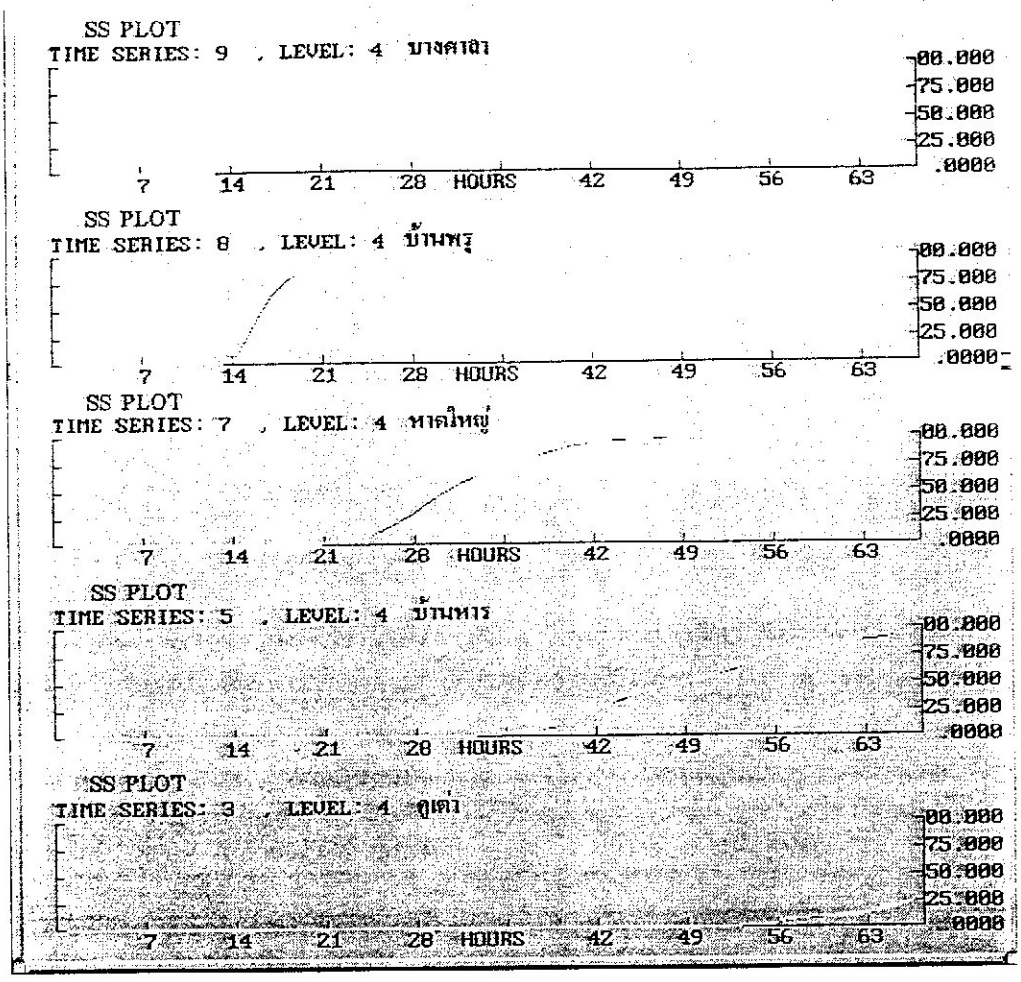

TIME SERIES: 2 , LEVEL: 4
.1000
.0750
.0500
.0250
.0000
7
14
21
28
HOURS
42
49
56
63
TIME SERIES: 5 , LEVEL: 4
.1000
.0750
.0500
.0250
.0000
7
14
21
28
HOURS
42
49
56
63
TIME SERIES: 9 , LEVEL: 4
.1000
.0750
.0500
.0250
.0000
7
14
21
28
HOURS
42
49
56
63

รูปที่ 26 การจำลองการเคลื่อนที่ของ bed load ที่อัตราการไหลต่างๆ

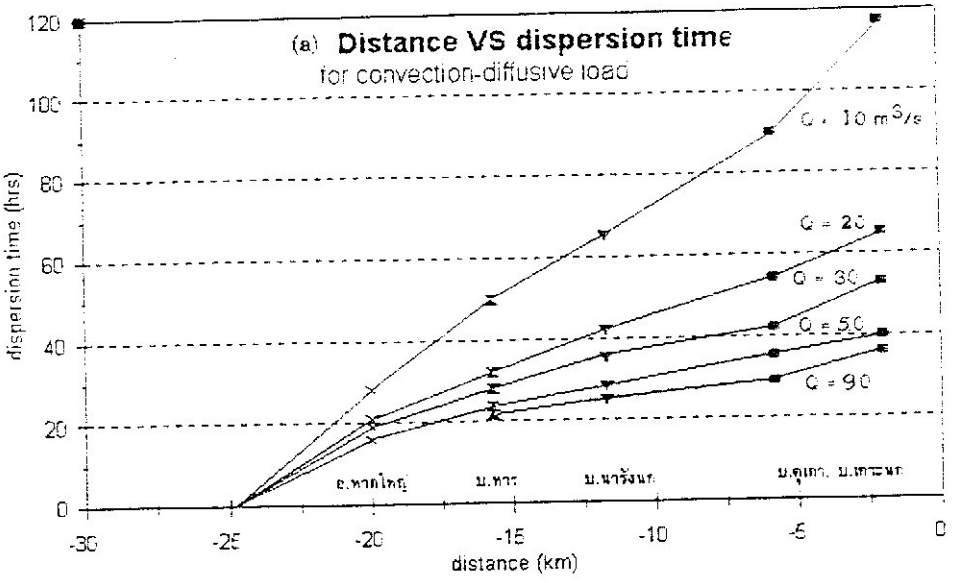


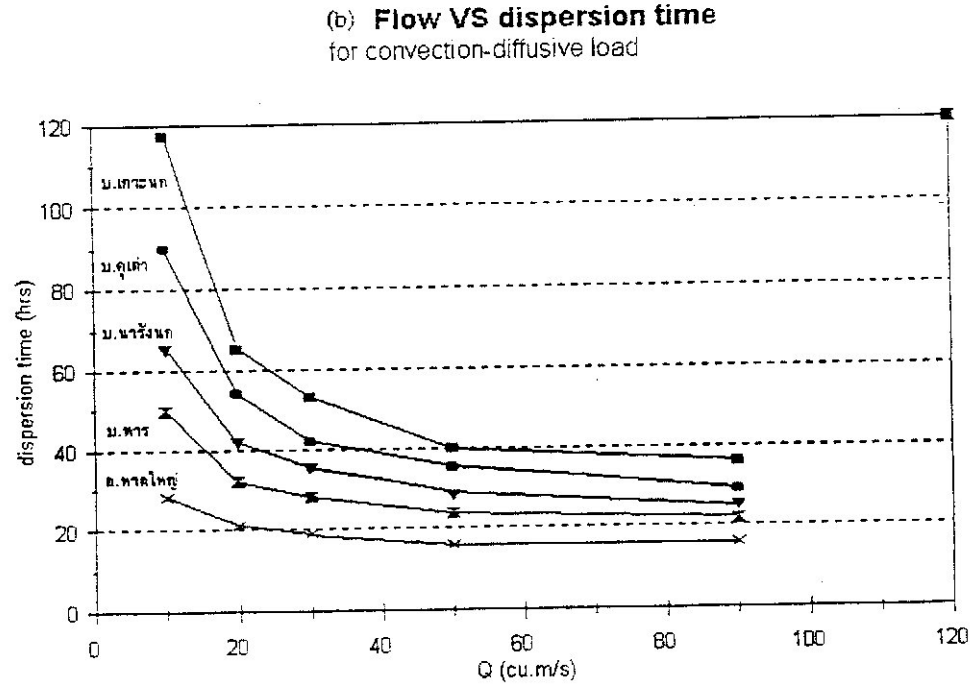


รูปที่ 27 การแพร่ของตะกอนแขวนลอยสำหรับอัตราการไหล 10 ลบ.ม/วินาที



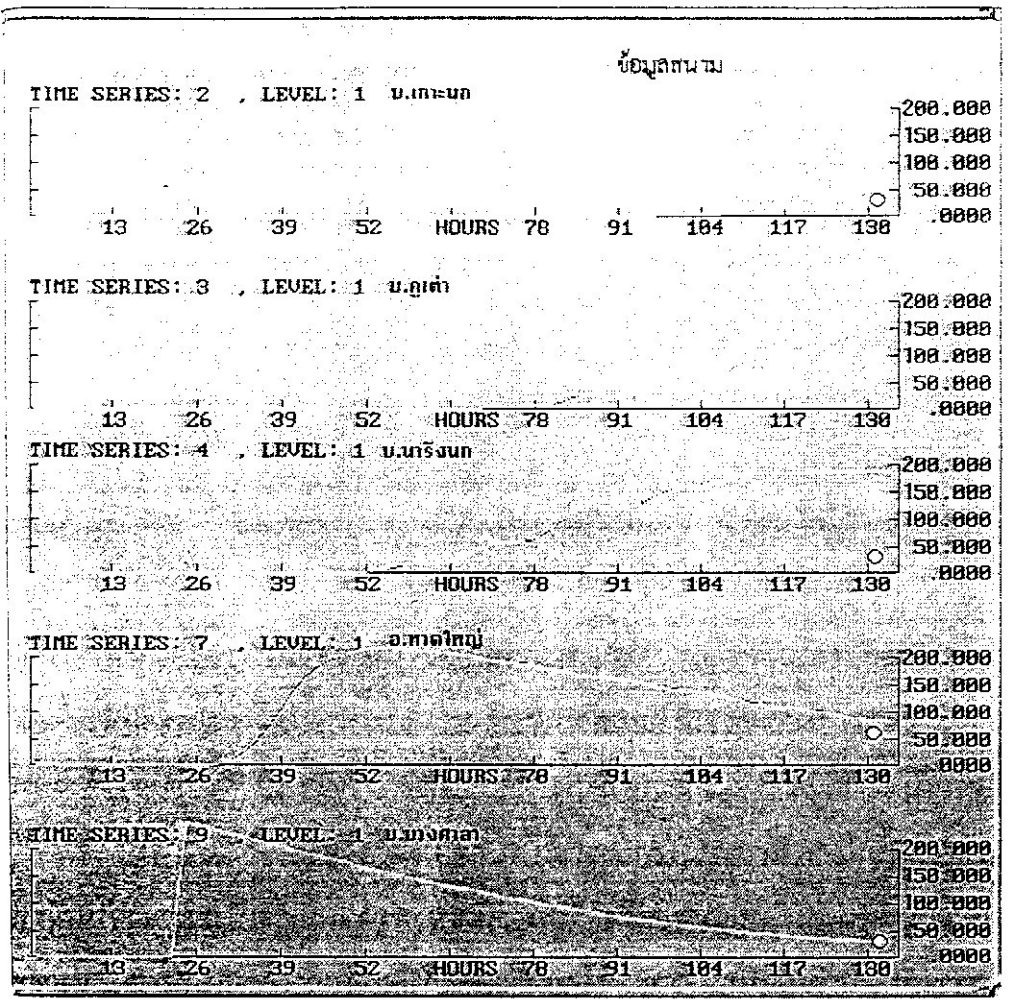
รูปที่ 28 การจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอยที่อิตราการไหลต่าง ๆ





รูปที่ 29 ผลการจำลองการแพร่ของตะกอนแขวนลอยวันที่ 22-25 ธันวาคม 2538

ระหว่างบ้านบางศาลา ถึงปากแม่น้ำ



ภาคผนวก

Table A1 I Approximations and features used in three-dimensional numerical estuarine models

Features or Approximations*	Abbreviations
Advaction:	
Nonlinear:	AN
Neglected:	AL
Bottom friction:	
Quadratic: Drag coefficient:	BFD
Turbulent boundary layer	BFT
Linearized:	BFL
Density:	
Homogenous (constant density):	CD
Stratified:	
Baroclinic, diagnostically.	BD
Baroclinic, coupled:	BC
Turbulence models:	
Constant or empirical	CE
One-equation model	T1
Two-equation model	T2
σ-transformation:	ZT
No transformation:	ZNO
x,y transformation:	
No transformation:	XYNO
Algebraic:	XYA
Curvilinear orthogonal:	XYCO
Boundary fitted:	XYBF
Treatment of z-variable:	
Ekman Dynamics:	ZEK
Eigenfunction expansion:	ZEF
Galerkin:	ZG
Numerical, finite difference:	ZNFD
Numerical, finite element:	ZNFE
Treatment of time variable:	
Time stepping:	TSP
Internal-external mode splitting:	TMS
Spectral:	SPL
Wetting and drying:	
Allowed:	YWD
Not allowed:	NWD

* Common approximations include: Incompressible flowq
Hydrostatic approximation
Boussinesq approximation

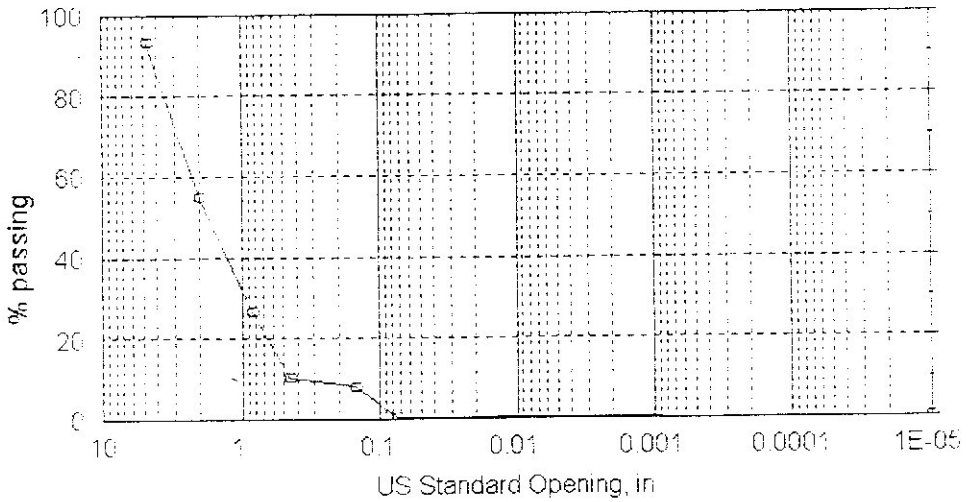
Table A1 II. Examples of three-dimensional numerical estuarine models

Models:	Features *
Backhaus (1980) Duwe et al. (1983)	AN, BFD, BC, CE, ZT, XYNO, ZNFD, XYFD, YWD, TMS
Blumberg and Herring (1987)	AN, BFT, BC, T2, 2T, XYCO, ZNFD, XYFD, NWD, TMS
Blumberg and Mellor (1987) Oey et al. (1985A, B,C)	AN, BFT, BC, T2, ZT, XYNO, ZNFD, XYFD, NWD, TMS
Capon: (1976)	AN, BFD, BC, CE, ZNO, XYNO, ZNFD, TSP, XYFD, NWD
Davies (1980)	AL, BFD, CD, CE, 2T, XYNO, ZEK, XYFD
Davies (1983)	AL, BFL, BC, CE, 2T, XYNO, ZG, ZEF,XYFD, NWD
Feng (1977)	AL, BFT, CD, CE, ZNO, XYNO, ZEK, XYFD, SPL, NWD
Gordon and Spaulding (1987)	AN, BFD, CD, CE, 2T, XYNO, ZG, XYFD, TMS, NWD
Heaps (1972, 1973)	AL, BFL, CD, CE, ZNO, XYNO, ZEF, XYFD, TSP, NWD
Kawahara et al. (1983)	AN, BFT, CD, CE, ZNO, XYNO, ZNFE, XYFE, TSP, NWD
King (1985)	AN, CD, CE, ZT, XYNO, ZNFE, TSP, NWD
Leendertse and Liu (1975) Liu and Leenderste (1978)	AN, BFD, BC, T2, ZNO, XYNO, ZNFD, TSP, XYFD, NWD
Lynch and Werner (1987)	AL, BFL, CD, CE, ZT, XYNO, ZNFE, XYFE, SPL, NWD
Owen (1980)	AN, BFD, BC, CE, ZT, XYNO, ZG, XYFD, TSP, NWD
Sheng (1987)	AN, BFT, BC, CE, ZT, XYA, XYBF, ZNFD, XYFD, TMS, NWD
Stephens (1986)	AN, BFD, BC, BD, CE, ZT, XYNO, ZNFD, XYFD, TSP, YWD
Tee (1987)	AL, BFD, CD, CE, ZNO, XYNO, ZEK, XYFD, SPL, NWD,

* Referred to Table I for abbreviations.

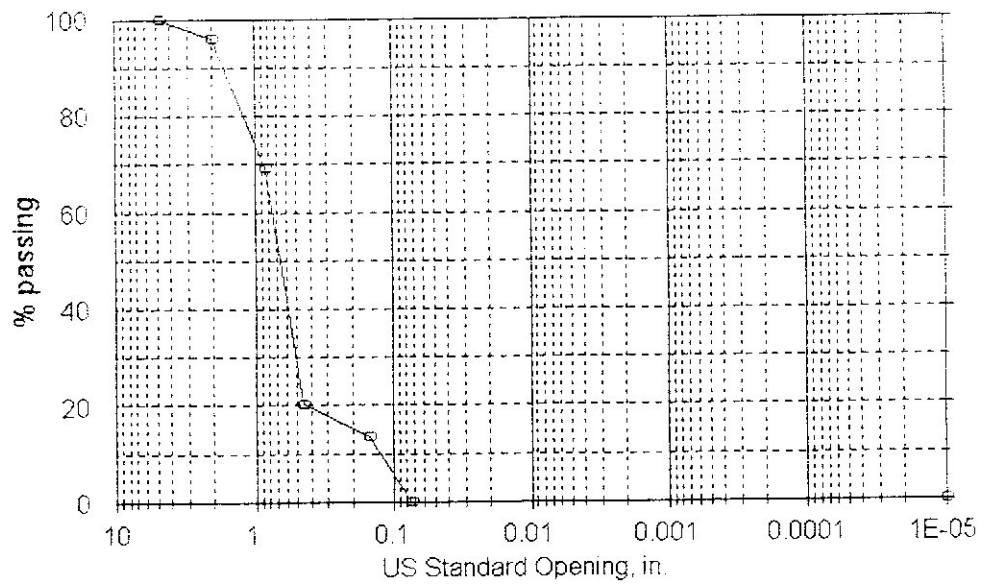
Sieve analysis for Ku Tao

19 August 1995



Sieve analysis for Ban Harn #1

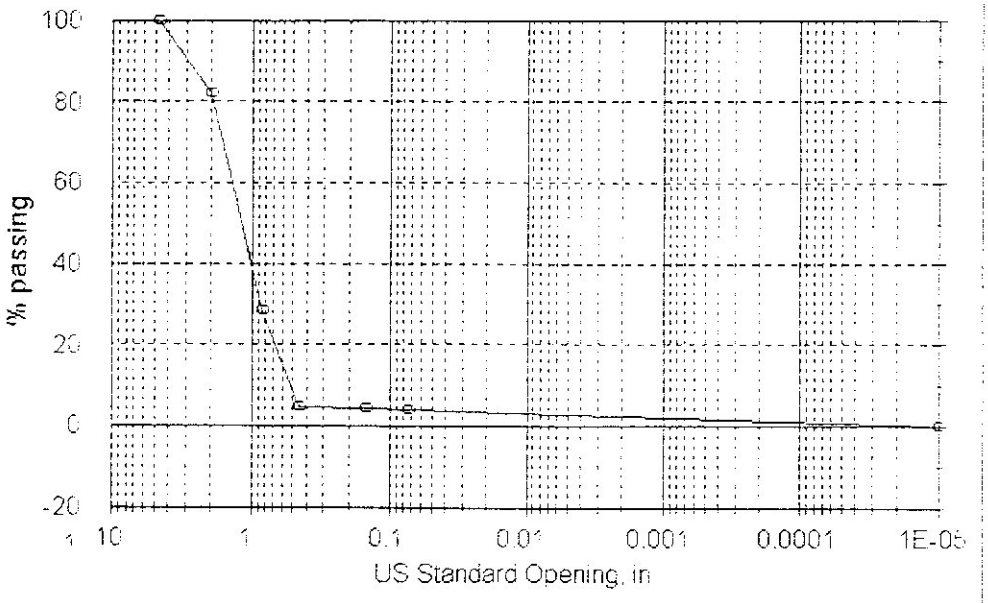
19 August 1995



ภาคผนวก A2 Grain size distribution ของดินท้องคลองอู่ตะเภา 19 สิงหาคม 2536

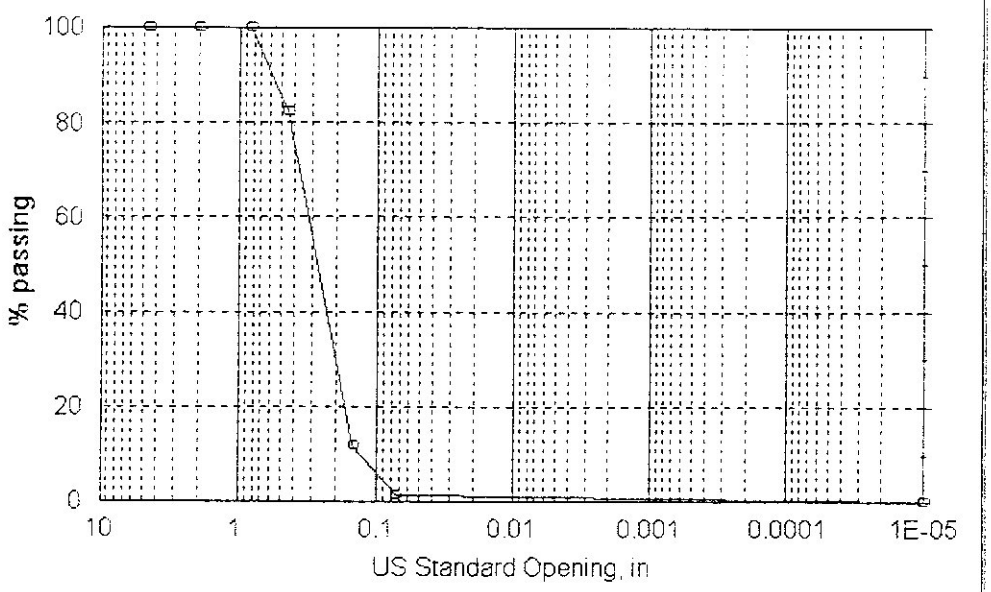
Sieve analysis for Ku Tao

1995



Sieve analysis for Ban Ko Nok

1995



ภาคผนวก A3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 3 มิติทางอุทกศาสตร์และการแพร่ของตะกอน (3D model of hydrodynamics and sediment transport)

ในการศึกษานี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 3 มิติทางอุทกศาสตร์และการแพร่ของตะกอน เพื่อคำนวณและจำลองกระแสน้ำในคลองอู่ตะเภาระหว่างบ้านพรุ ถึงปากแม่น้ำ สมการที่ใช้ในการคำนวณคือ Continuity equation และ Momentum equations และ Conservation of substance ในแกน X แกน Y และแกน Z ซึ่งแสดงได้ดังนี้

Continuity Equation :

$$\frac{\partial}{\partial x}u + \frac{\partial}{\partial y}v + \frac{\partial}{\partial z}w = 0 \qquad (1)$$

Momentum Equations in X, Y and Z Directions:

X.

$$\frac{\partial}{\partial t}(u) + u\frac{\partial}{\partial x}(u) + v\frac{\partial}{\partial y}(u) = -g\frac{\partial}{\partial x}\eta + \nu\frac{\partial^2}{\partial z^2}(u) \qquad (2)$$

Y

$$\frac{\partial}{\partial t}(v) + u\frac{\partial}{\partial x}(v) + v\frac{\partial}{\partial y}(v) = -g\frac{\partial}{\partial Y}\eta + \nu\frac{\partial^2}{\partial z^2}(v) \qquad (3)$$

Z.

$$0 = -g\frac{\partial}{\partial z}\eta \qquad (4)$$

ตัวแปรในสมการมีความหมายดังต่อไปนี้

u, v, w	=	velocities in x , y and z direction respectively
t	=	Time
g	=	Gravitational acceleration
ν	=	Dynamic viscosity of water

สมการที่ (1)-(4) เป็น non-linear ที่แก้สมการได้ด้วยวิธี finite difference technique รายละเอียดของการคำนวณดูได้จาก *Swanson and Spaulding (1988)* โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาเป็นกริด ค่าความลึกท้องน้ำกำหนดไว้ที่จุดกึ่งกลางของกริด