

ภาคผนวก E5

ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำขึ้น-น้ำลง (Tide)

ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำขึ้น-น้ำลง (Tide)

ลักษณะน้ำขึ้น-น้ำลงในท้องทะเลบริเวณอำเภอจะนะจะมีปรากฏการณ์คล้ายคลึงกับลักษณะน้ำขึ้น-น้ำลงที่สถานีสงขลา ซึ่งจัดเป็นประเภท *Semi-diurnal Tide* องค์ประกอบ (Tidal components) ที่ควบคุมลักษณะการขึ้นลงมี 4 องค์ประกอบหลัก คือ K_1 -Tide, O_1 -Tide, M_2 -Tide และ S_2 -Tide จากผลการบันทึกสภาพระดับน้ำขึ้น-น้ำลงรายชั่วโมง จำนวน 3 ครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 บันทึกกระดับน้ำขึ้น-น้ำลงรายชั่วโมงติดต่อกันเป็นเวลา 7 วัน เมื่อวันที่ 17-24 กันยายน 2542 เพื่อใช้ในการคำนวณลักษณะของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงชนิดต่างๆ เช่น ความสูงคลื่น (Tidal height) และมุมเฟส (Phase)

ครั้งที่ 2 บันทึกกระดับน้ำขึ้น-น้ำลงรายชั่วโมงติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน เพื่อตรวจสอบข้อมูลในช่วงน้ำตาย (Neap tide) โดยจะทำหลังจากเก็บข้อมูลครั้งแรกประมาณ 4 เดือน หรือประมาณ วันที่ 12-14 มกราคม 2543

ครั้งที่ 3 บันทึกกระดับน้ำขึ้น-น้ำลงรายชั่วโมงติดต่อกันเป็นเวลา 3 วัน เพื่อตรวจสอบข้อมูลในช่วงน้ำเกิด (Spring tide) โดยจะทำหลังจากเก็บข้อมูลครั้งแรกประมาณ 4 เดือน เช่นเดียวกับครั้งที่ 2 ได้เลือกทำในช่วงวันที่ 19-21 มกราคม 2543

ผลการบันทึกลักษณะการขึ้น-ลงของน้ำ แสดงให้เห็นชัดเจนว่าลักษณะของน้ำขึ้น-น้ำลงในท้องทะเลของพื้นที่โครงการมีลักษณะเป็นแบบ “Semi-diurnal Tide” โดยองค์ประกอบ (Tidal Components) หลักทั้ง 4 องค์ประกอบ คือ K_1 -Tide, O_1 -Tide, M_2 -Tide และ S_2 -Tide มีค่าคาบของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลง [Vongvisessomjai, 1994; Vongvisessomjai et al., 1966; Yin-Fuh, 1977] ดังแสดงในตาราง E5.1

ตาราง E5.1 ค่าคาบของคลื่นควบคุมลักษณะน้ำขึ้น-น้ำลงแบบ Semi-diurnal Tide และ Diurnal Tide ที่ท้องทะเลบริเวณอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Tidal Component	Tidal Period (hours)	Feature : Type
K_1 -Tide	23.9346	Luni-solar declination diurnal tide : <i>Diurnal Tide</i>
O_1 -Tide	25.8194	Lunar declination diurnal tide : <i>Diurnal Tide</i>
M_2 -Tide	12.4206	Lunar declination semi-diurnal tide : <i>Semi-diurnal Tide</i>
S_2 -Tide	12.0000	Solar diurnal tide : <i>Semi-diurnal Tide</i>

จากผลการบันทึกข้อมูลครั้งที่ 1 สามารถคำนวณหาค่าความสูงคลื่นและมุมเฟสของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงชนิดต่างๆ ได้ โดยการสมมุติให้องค์ประกอบของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงมีเพียง 4 องค์ประกอบหลักดังที่กล่าวข้างต้นและองค์ประกอบต่างๆ มีค่าคาบดังแสดงในตาราง E5.1

ในการคำนวณค่าความสูงคลื่น (Tidal Ranges) และมุมเฟส (Phases) ของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงชนิดต่างๆ สามารถทำได้จากการรวมผลของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงองค์ประกอบต่าง ๆ เข้าด้วยกัน แม้ว่าคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงแต่ละองค์ประกอบจะเป็นอิสระจากกัน แต่คลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงแต่ละองค์ประกอบสามารถที่จะคำนวณได้ด้วยสมการพื้นฐานอันเดียวกัน ด้วยสมการการเคลื่อนที่ที่เรียกว่า **Simple Harmonic Motion** โดยแต่ละองค์ประกอบของคลื่นจะมีการขึ้นลงและเคลื่อนที่แบบซ้ารอยเต็มด้วยคาบที่คงที่

ระดับน้ำ $\eta_r(t)$ ที่เวลา t ต่างๆ สามารถบรรยายด้วยความสัมพันธ์

$$\eta_r(t) = \Delta h + \sum_{i=1}^N a_i \sin\left[\frac{2\pi t}{T_i} + \delta_i\right] \quad (E5-1)$$

เมื่อ Δh คือ ค่าระดับน้ำเฉลี่ย (Mean Water Level)

a_i คือ แอมพลิจูด (Amplitude) ของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงองค์ประกอบที่ i

N คือ จำนวนองค์ประกอบของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลง

T_i คือ คาบของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงองค์ประกอบที่ i (ตาราง E5.1) และ

δ_i คือ ค่ามุมเฟสของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงองค์ประกอบที่ i

ซึ่งจะขึ้นกับตำแหน่งจุดวัด/ทำนายระดับน้ำบนพื้นโลก

โดยที่ค่า Δh , a_i และ δ_i สามารถหาได้จาก

$$\Delta h = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \eta_r(j) \quad (E5-2)$$

$$a_i = 2 \left[\left\{ \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \eta_r(j) \sin\left[\frac{2\pi j}{T_i}\right] \right\}^2 + \left\{ \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \eta_r(j) \cos\left[\frac{2\pi j}{T_i}\right] \right\}^2 \right]^{1/2} \quad (E5-3)$$

$$\delta_i = \tan^{-1} \left[\frac{\sum_{j=1}^M \eta_r(j) \cos\left[\frac{2\pi j}{T_i}\right]}{\sum_{j=1}^M \eta_r(j) \sin\left[\frac{2\pi j}{T_i}\right]} \right] \quad (E5-4)$$

โดยที่ค่า $\eta_r(j)$ คือ ค่าระดับน้ำที่เวลา j ณ จุดที่ทำการบันทึกข้อมูล และ M คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ทำการบันทึก

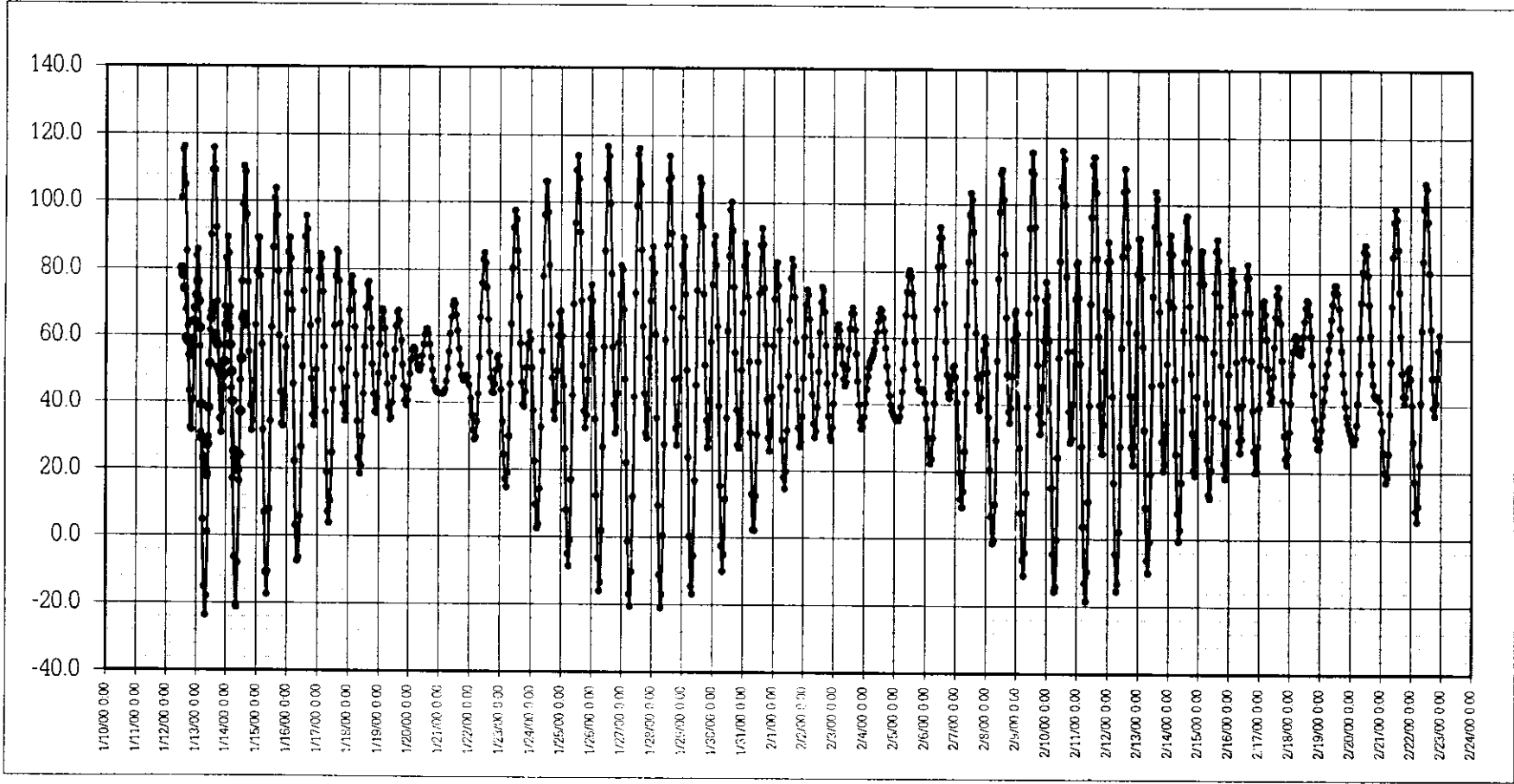
จากข้อมูลที่ได้จากสังเกตระดับน้ำขึ้น-น้ำลง ที่ท้องทะเลบริเวณบ้านตลิ่งชัน ณ จุดพิกัด (773000N, 700000E) ซึ่งห่างจากชายฝั่งประมาณ 3,500 เมตร ถ้านำมาคำนวณหาค่าตัวแปรต่าง ๆ คือ ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (Δh) แอมพลิจูด (a_i) และค่ามุมเฟส (δ_i) ของคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงทั้ง 4 องค์ประกอบ จะได้ค่าต่างๆ สรุปได้ดังตาราง E5.2

ตาราง E5.2 ค่าตัวแปรต่างๆ ของคลื่นควบคุมลักษณะน้ำขึ้น-น้ำลง จำนวน 4 องค์ประกอบ ที่ท้องทะเลบริเวณอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

Tidal Component	Tidal Amplitude (cm)	Phase (degree)	Tidal Period (hours)
K_1 -Tide	7.53	286	23.9346
O_1 -Tide	11.50	207	25.8194
M_2 -Tide	23.07	289	12.4206
S_2 -Tide	4.90	30	12.0000

ถ้านำค่าคุณสมบัติขององค์ประกอบทั้ง 4 ส่วนมาคำนวณระดับน้ำขึ้น-น้ำลงที่วันเวลาต่างๆ ณ ท้องทะเลบริเวณพื้นที่โครงการ จะได้ดังรูป E5.1

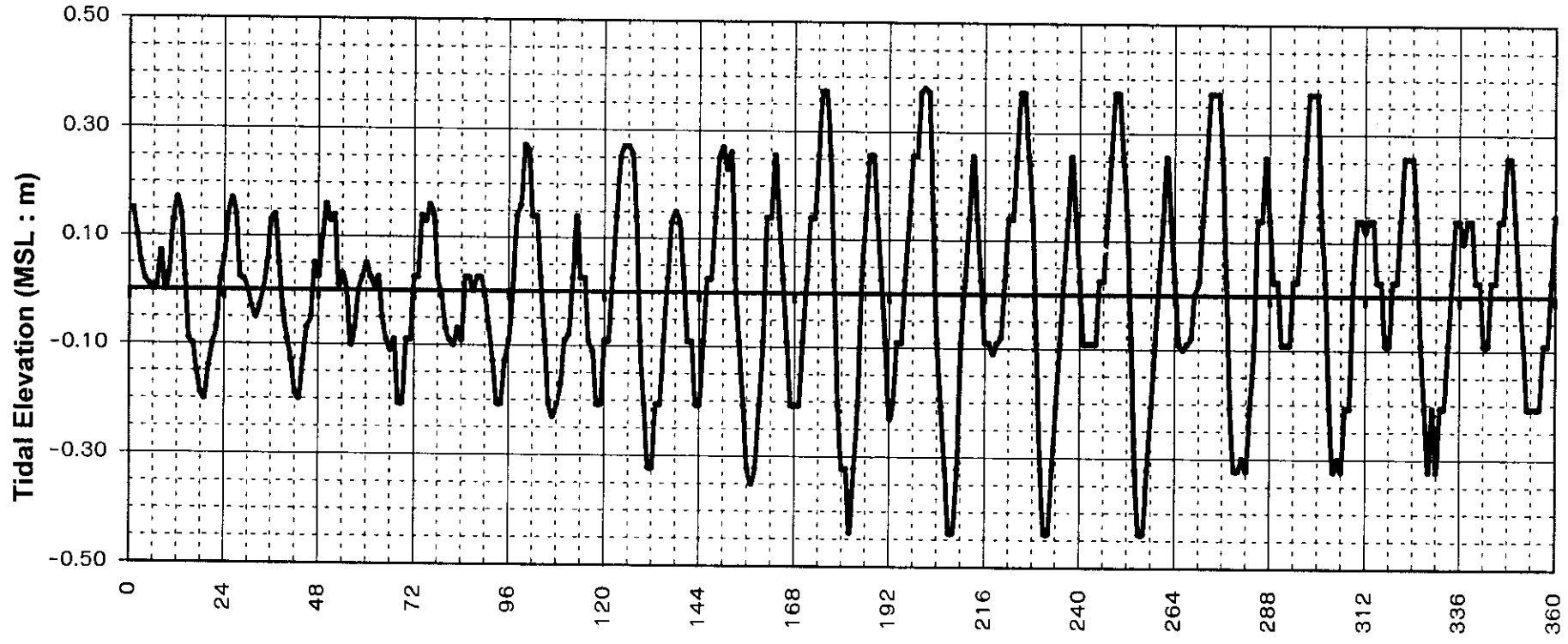
อย่างไรก็ตาม ผลที่จะได้จากการคำนวณบนพื้นฐานของสมมุติฐานดังกล่าวนี้ อาจไม่สามารถทำนายค่าระดับน้ำที่เวลาต่าง ๆ ในระยะยาวได้ถูกต้องร้อยเปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากยังมีองค์ประกอบคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงอื่น ๆ อีกมากมายที่ยังไม่ได้นำมาคิดผล เช่น คลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงชนิด Over Tides ทั้ง 3 ชนิด (มีคาบประมาณ 4 ถึง 8 ชั่วโมง) คลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงชนิด Compound Tides ทั้ง 4 ชนิด (มีคาบประมาณ 3 ถึง 8 ชั่วโมง) และคลื่นน้ำขึ้น-น้ำลงชนิด Long Period Tide ทั้ง 5 ชนิด (มีคาบประมาณ 300 ถึง 9000 ชั่วโมง) องค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้อาจทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นหรือต่ำกว่าค่าระดับน้ำที่คำนวณได้เนื่องจากการคิดผลเพียง 4 องค์ประกอบดังกล่าวถึง 20 ถึง 40 เซนติเมตร แต่การที่จะนำผลเนื่องจากองค์ประกอบทุกชนิดมาคิดคำนวณจะต้องมีใช้ข้อมูลภาคสนามจำนวนมากและต้องใช้เวลาเก็บข้อมูลร่วมปีจึงไม่เหมาะสมต่อการศึกษาลักษณะสิ่งแวดล้อมครั้งนี้



รูป E5.1 ผลการทำนายระดับน้ำใกล้ชายฝั่งที่เวลาต่าง ๆ บริเวณพื้นที่โครงการ
ชายฝั่งเขตอำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

โดยที่เห็นว่าปัจจัยหลักที่ควบคุมพฤติกรรมของน้ำขึ้น-น้ำลงในบริเวณพื้นที่การศึกษา อันได้แก่ องค์ประกอบหลัก 4 ตัว ได้แก่ M_2 , S_2 , K_1 และ O_1 มีคาบเท่ากับ 12.42 ชั่วโมง, 12.00 ชั่วโมง, 23.93 ชั่วโมง และ 25.82 ชั่วโมง ตามลำดับ (ตาราง E5.1) กล่าวคือ องค์ประกอบ 2 ตัวแรก คือ M_2 และ S_2 มีคาบประมาณครึ่งวัน ส่วน K_1 และ O_1 มีคาบประมาณหนึ่งวัน ดังนั้นในการสำรวจข้อมูลภาคสนามจึงได้ทำการวัดข้อมูลคลื่นรายชั่วโมง เป็นเวลาติดต่อกันเพียง 7 วัน แล้วจึงทำการประมวลหาค่าแอมพลิจูด (Amplitudes) ขององค์ประกอบทั้งสิ้น

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ขึ้น ผู้ศึกษาได้ทำการตรวจวัดกระแสน้ำ (Tidal current) และน้ำขึ้น-น้ำลง (Tide) เพิ่มขึ้นเป็นการตรวจวัดรายชั่วโมงต่อเนื่องเป็นเวลา 15 วัน เพื่อให้ครอบคลุม ช่วงน้ำเกิดและน้ำตาย (Spring & Neap tide) ผลการตรวจวัดข้อมูลดังกล่าวแสดงไว้ในรูป E5.2 และตาราง E5.3 พบว่าแม้จะทำการสำรวจเพิ่มมากขึ้นจาก 7 วันเป็น 15 วัน แต่ก็พบว่าค่าช่วงน้ำเกิดไม่ได้เพิ่มขึ้นมากนัก โดยพบว่า ค่าช่วงน้ำเกิดสูงสุด (Maximum tidal height) ที่ได้จากการสำรวจในช่วง 7 วัน มีค่าเท่ากับ 0.815 เมตร ส่วนค่าช่วงน้ำเกิดสูงสุดที่ได้จากการสำรวจในช่วง 15 วัน มีค่าเท่ากับ 0.820 เมตร ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนเพียง 0.6% เท่านั้น



รูป E5.2 กราฟแสดงระดับน้ำชายฝั่งอำเภอจะนะ

ตาราง E5.3 ข้อมูลระดับน้ำชายฝั่งอำเภอจะนะ

No	Date	Time	Tidal Elevation	Tidal Elevation	Remark
			(from Bottom : m)	(MSL : m)	
1	2-Jan-01	15.00	7.40	0.15	-
2	2-Jan-01	16.00	7.35	0.10	-
3	2-Jan-01	17.00	7.30	0.05	-
4	2-Jan-01	18.00	7.27	0.02	-
5	2-Jan-01	19.00	7.26	0.01	-
6	2-Jan-01	20.00	7.25	0.00	-
7	2-Jan-01	21.00	7.26	0.01	-
8	2-Jan-01	22.00	7.32	0.07	-
9	2-Jan-01	23.00	7.25	0.00	-
10	3-Jan-01	00.00	7.28	0.03	-
11	3-Jan-01	01.00	7.38	0.13	-
12	3-Jan-01	02.00	7.42	0.17	-
13	3-Jan-01	03.00	7.39	0.14	-
14	3-Jan-01	04.00	7.28	0.03	-
15	3-Jan-01	05.00	7.16	-0.09	-
16	3-Jan-01	06.00	7.15	-0.10	-
17	3-Jan-01	07.00	7.10	-0.15	-
18	3-Jan-01	08.00	7.06	-0.19	-
19	3-Jan-01	09.00	7.05	-0.20	-
20	3-Jan-01	10.00	7.11	-0.14	-
21	3-Jan-01	11.00	7.15	-0.10	-
22	3-Jan-01	12.00	7.18	-0.07	-
23	3-Jan-01	13.00	7.27	0.02	-
24	3-Jan-01	14.00	7.31	0.06	-
25	3-Jan-01	15.00	7.39	0.14	-
26	3-Jan-01	16.00	7.42	0.17	-
27	3-Jan-01	17.00	7.39	0.14	-
28	3-Jan-01	18.00	7.28	0.03	-
29	3-Jan-01	19.00	7.27	0.02	-
30	3-Jan-01	20.00	7.25	0.00	-
31	3-Jan-01	21.00	7.22	-0.03	-
32	3-Jan-01	22.00	7.20	-0.05	-
33	3-Jan-01	23.00	7.22	-0.03	-
34	4-Jan-01	00.00	7.25	0.00	-
35	4-Jan-01	01.00	7.30	0.05	-
36	4-Jan-01	02.00	7.38	0.13	-
37	4-Jan-01	03.00	7.39	0.14	-
38	4-Jan-01	04.00	7.30	0.05	-
39	4-Jan-01	05.00	7.21	-0.04	-
40	4-Jan-01	06.00	7.16	-0.09	-
41	4-Jan-01	07.00	7.12	-0.13	-
42	4-Jan-01	08.00	7.06	-0.19	-
43	4-Jan-01	09.00	7.05	-0.20	-
44	4-Jan-01	10.00	7.12	-0.13	-
45	4-Jan-01	11.00	7.18	-0.07	-
46	4-Jan-01	12.00	7.20	-0.05	-
47	4-Jan-01	13.00	7.30	0.05	-
48	4-Jan-01	14.00	7.28	0.03	-
49	4-Jan-01	15.00	7.35	0.10	-
50	4-Jan-01	16.00	7.41	0.16	-
51	4-Jan-01	17.00	7.38	0.13	-
52	4-Jan-01	18.00	7.39	0.14	-
53	4-Jan-01	19.00	7.26	0.01	-
54	4-Jan-01	20.00	7.28	0.03	-
55	4-Jan-01	21.00	7.25	0.00	-
56	4-Jan-01	22.00	7.15	-0.10	-
57	4-Jan-01	23.00	7.18	-0.07	-
58	5-Jan-01	00.00	7.25	0.00	-
59	5-Jan-01	01.00	7.28	0.03	-
60	5-Jan-01	02.00	7.30	0.05	-
61	5-Jan-01	03.00	7.28	0.03	-

ตาราง E5.3 ข้อมูลระดับน้ำชายฝั่งอำเภอจะนะ (ต่อ)

62	5-Jan-01	04.00	7.26	0.01	-
63	5-Jan-01	05.00	7.28	0.03	-
64	5-Jan-01	06.00	7.20	-0.05	-
65	5-Jan-01	07.00	7.16	-0.09	-
66	5-Jan-01	08.00	7.14	-0.11	-
67	5-Jan-01	09.00	7.16	-0.09	-
68	5-Jan-01	10.00	7.04	-0.21	-
69	5-Jan-01	11.00	7.04	-0.21	-
70	5-Jan-01	12.00	7.16	-0.09	-
71	5-Jan-01	13.00	7.16	-0.09	-
72	5-Jan-01	14.00	7.28	0.03	-
73	5-Jan-01	15.00	7.28	0.03	-
74	5-Jan-01	16.00	7.39	0.14	-
75	5-Jan-01	17.00	7.38	0.13	-
76	5-Jan-01	18.00	7.41	0.16	-
77	5-Jan-01	19.00	7.39	0.14	-
78	5-Jan-01	20.00	7.28	0.03	-
79	5-Jan-01	21.00	7.24	-0.01	-
80	5-Jan-01	22.00	7.18	-0.07	-
81	5-Jan-01	23.00	7.16	-0.09	-
82	6-Jan-01	00.00	7.15	-0.10	-
83	6-Jan-01	01.00	7.18	-0.07	-
84	6-Jan-01	02.00	7.16	-0.09	-
85	6-Jan-01	03.00	7.28	0.03	-
86	6-Jan-01	04.00	7.28	0.03	-
87	6-Jan-01	05.00	7.25	0.00	-
88	6-Jan-01	06.00	7.28	0.03	-
89	6-Jan-01	07.00	7.28	0.03	-
90	6-Jan-01	08.00	7.24	-0.01	-
91	6-Jan-01	09.00	7.18	-0.07	-
92	6-Jan-01	10.00	7.12	-0.13	-
93	6-Jan-01	11.00	7.04	-0.21	-
94	6-Jan-01	12.00	7.04	-0.21	-
95	6-Jan-01	13.00	7.12	-0.13	-
96	6-Jan-01	14.00	7.16	-0.09	-
97	6-Jan-01	15.00	7.25	0.00	-
98	6-Jan-01	16.00	7.39	0.14	-
99	6-Jan-01	17.00	7.41	0.16	-
100	6-Jan-01	18.00	7.52	0.27	-
101	6-Jan-01	19.00	7.51	0.26	-
102	6-Jan-01	20.00	7.39	0.14	-
103	6-Jan-01	21.00	7.39	0.14	-
104	6-Jan-01	22.00	7.28	0.03	-
105	6-Jan-01	23.00	7.16	-0.09	-
106	7-Jan-01	00.00	7.04	-0.21	-
107	7-Jan-01	01.00	7.02	-0.23	-
108	7-Jan-01	02.00	7.04	-0.21	-
109	7-Jan-01	03.00	7.08	-0.17	-
110	7-Jan-01	04.00	7.16	-0.09	-
111	7-Jan-01	05.00	7.17	-0.08	-
112	7-Jan-01	06.00	7.28	0.03	-
113	7-Jan-01	07.00	7.39	0.14	-
114	7-Jan-01	08.00	7.28	0.03	-
115	7-Jan-01	09.00	7.28	0.03	-
116	7-Jan-01	10.00	7.16	-0.09	-
117	7-Jan-01	11.00	7.14	-0.11	-
118	7-Jan-01	12.00	7.04	-0.21	-
119	7-Jan-01	13.00	7.04	-0.21	-
120	7-Jan-01	14.00	7.16	-0.09	-
121	7-Jan-01	15.00	7.16	-0.09	-
122	7-Jan-01	16.00	7.28	0.03	-
123	7-Jan-01	17.00	7.39	0.14	-
124	7-Jan-01	18.00	7.50	0.25	-

ตาราง E5.3 ข้อมูลระดับน้ำชายฝั่งอำเภอจะนะ (ต่อ)

125	7-Jan-01	19.00	7.52	0.27	-
126	7-Jan-01	20.00	7.52	0.27	-
127	7-Jan-01	21.00	7.51	0.26	-
128	7-Jan-01	22.00	7.39	0.14	-
129	7-Jan-01	23.00	7.16	-0.09	-
130	8-Jan-01	00.00	7.04	-0.21	-
131	8-Jan-01	01.00	6.93	-0.32	-
132	8-Jan-01	02.00	6.93	-0.32	-
133	8-Jan-01	03.00	7.04	-0.21	-
134	8-Jan-01	04.00	7.04	-0.21	-
135	8-Jan-01	05.00	7.16	-0.09	-
136	8-Jan-01	06.00	7.28	0.03	-
137	8-Jan-01	07.00	7.38	0.13	-
138	8-Jan-01	08.00	7.40	0.15	-
139	8-Jan-01	09.00	7.38	0.13	-
140	8-Jan-01	10.00	7.28	0.03	-
141	8-Jan-01	11.00	7.16	-0.09	-
142	8-Jan-01	12.00	7.16	-0.09	-
143	8-Jan-01	13.00	7.04	-0.21	-
144	8-Jan-01	14.00	7.04	-0.21	-
145	8-Jan-01	15.00	7.16	-0.09	-
146	8-Jan-01	16.00	7.28	0.03	-
147	8-Jan-01	17.00	7.28	0.03	-
148	8-Jan-01	18.00	7.39	0.14	-
149	8-Jan-01	19.00	7.50	0.25	-
150	8-Jan-01	20.00	7.52	0.27	-
151	8-Jan-01	21.00	7.48	0.23	-
152	8-Jan-01	22.00	7.51	0.26	-
153	8-Jan-01	23.00	7.28	0.03	-
154	9-Jan-01	00.00	7.16	-0.09	-
155	9-Jan-01	01.00	7.04	-0.21	-
156	9-Jan-01	02.00	6.93	-0.32	-
157	9-Jan-01	03.00	6.90	-0.35	-
158	9-Jan-01	04.00	6.93	-0.32	-
159	9-Jan-01	05.00	7.04	-0.21	-
160	9-Jan-01	06.00	7.16	-0.09	-
161	9-Jan-01	07.00	7.39	0.14	-
162	9-Jan-01	08.00	7.39	0.14	-
163	9-Jan-01	09.00	7.51	0.26	-
164	9-Jan-01	10.00	7.39	0.14	-
165	9-Jan-01	11.00	7.28	0.03	-
166	9-Jan-01	12.00	7.16	-0.09	-
167	9-Jan-01	13.00	7.04	-0.21	-
168	9-Jan-01	14.00	7.04	-0.21	-
169	9-Jan-01	15.00	7.04	-0.21	-
170	9-Jan-01	16.00	7.16	-0.09	-
171	9-Jan-01	17.00	7.28	0.03	-
172	9-Jan-01	18.00	7.39	0.14	-
173	9-Jan-01	19.00	7.39	0.14	-
174	9-Jan-01	20.00	7.51	0.26	-
175	9-Jan-01	21.00	7.62	0.37	-
176	9-Jan-01	22.00	7.62	0.37	-
177	9-Jan-01	23.00	7.51	0.26	-
178	10-Jan-01	00.00	7.28	0.03	-
179	10-Jan-01	01.00	7.04	-0.21	-
180	10-Jan-01	02.00	6.93	-0.32	-
181	10-Jan-01	03.00	6.93	-0.32	-
182	10-Jan-01	04.00	6.81	-0.44	-
183	10-Jan-01	05.00	6.93	-0.32	-
184	10-Jan-01	06.00	7.04	-0.21	-
185	10-Jan-01	07.00	7.28	0.03	-
186	10-Jan-01	08.00	7.39	0.14	-
187	10-Jan-01	09.00	7.51	0.26	-

ตาราง E5.3 ข้อมูลระดับน้ำชายฝั่งอำเภอจะนะ (ต่อ)

188	10-Jan-01	10.00	7.51	0.26	-
189	10-Jan-01	11.00	7.39	0.14	-
190	10-Jan-01	12.00	7.28	0.03	-
191	10-Jan-01	13.00	7.16	-0.09	-
192	10-Jan-01	14.00	7.02	-0.23	-
193	10-Jan-01	15.00	7.05	-0.20	-
194	10-Jan-01	16.00	7.16	-0.09	-
195	10-Jan-01	17.00	7.16	-0.09	-
196	10-Jan-01	18.00	7.28	0.03	-
197	10-Jan-01	19.00	7.39	0.14	-
198	10-Jan-01	20.00	7.51	0.26	-
199	10-Jan-01	21.00	7.51	0.26	-
200	10-Jan-01	22.00	7.62	0.37	-
201	10-Jan-01	23.00	7.63	0.38	-
202	11-Jan-01	00.00	7.62	0.37	-
203	11-Jan-01	01.00	7.39	0.14	-
204	11-Jan-01	02.00	7.16	-0.09	-
205	11-Jan-01	03.00	7.04	-0.21	-
206	11-Jan-01	04.00	6.93	-0.32	-
207	11-Jan-01	05.00	6.81	-0.44	-
208	11-Jan-01	06.00	6.81	-0.44	-
209	11-Jan-01	07.00	6.93	-0.32	-
210	11-Jan-01	08.00	7.16	-0.09	-
211	11-Jan-01	09.00	7.28	0.03	-
212	11-Jan-01	10.00	7.39	0.14	-
213	11-Jan-01	11.00	7.51	0.26	-
214	11-Jan-01	12.00	7.39	0.14	-
215	11-Jan-01	13.00	7.28	0.03	-
216	11-Jan-01	14.00	7.16	-0.09	-
217	11-Jan-01	15.00	7.16	-0.09	-
218	11-Jan-01	16.00	7.14	-0.11	-
219	11-Jan-01	17.00	7.16	-0.09	-
220	11-Jan-01	18.00	7.17	-0.08	-
221	11-Jan-01	19.00	7.28	0.03	-
222	11-Jan-01	20.00	7.39	0.14	-
223	11-Jan-01	21.00	7.39	0.14	-
224	11-Jan-01	22.00	7.51	0.26	-
225	11-Jan-01	23.00	7.62	0.37	-
226	12-Jan-01	00.00	7.62	0.37	-
227	12-Jan-01	01.00	7.51	0.26	-
228	12-Jan-01	02.00	7.39	0.14	-
229	12-Jan-01	03.00	7.16	-0.09	-
230	12-Jan-01	04.00	6.93	-0.32	-
231	12-Jan-01	05.00	6.81	-0.44	-
232	12-Jan-01	06.00	6.81	-0.44	-
233	12-Jan-01	07.00	6.93	-0.32	-
234	12-Jan-01	08.00	7.04	-0.21	-
235	12-Jan-01	09.00	7.16	-0.09	-
236	12-Jan-01	10.00	7.28	0.03	-
237	12-Jan-01	11.00	7.39	0.14	-
238	12-Jan-01	12.00	7.51	0.26	-
239	12-Jan-01	13.00	7.39	0.14	-
240	12-Jan-01	14.00	7.28	0.03	-
241	12-Jan-01	15.00	7.16	-0.09	-
242	12-Jan-01	16.00	7.16	-0.09	-
243	12-Jan-01	17.00	7.16	-0.09	-
244	12-Jan-01	18.00	7.16	-0.09	-
245	12-Jan-01	19.00	7.28	0.03	-
246	12-Jan-01	20.00	7.28	0.03	-
247	12-Jan-01	21.00	7.39	0.14	-
248	12-Jan-01	22.00	7.51	0.26	-
249	12-Jan-01	23.00	7.62	0.37	-
250	13-Jan-01	00.00	7.62	0.37	-

ตาราง E5.3 ข้อมูลระดับน้ำชายฝั่งอำเภอจะนะ (ต่อ)

251	13-Jan-01	01.00	7.51	0.26	-
252	13-Jan-01	02.00	7.39	0.14	-
253	13-Jan-01	03.00	7.16	-0.09	-
254	13-Jan-01	04.00	6.93	-0.32	-
255	13-Jan-01	05.00	6.81	-0.44	-
256	13-Jan-01	06.00	6.81	-0.44	-
257	13-Jan-01	07.00	6.93	-0.32	-
258	13-Jan-01	08.00	7.04	-0.21	-
259	13-Jan-01	09.00	7.16	-0.09	-
260	13-Jan-01	10.00	7.28	0.03	-
261	13-Jan-01	11.00	7.39	0.14	-
262	13-Jan-01	12.00	7.51	0.26	-
263	13-Jan-01	13.00	7.39	0.14	-
264	13-Jan-01	14.00	7.28	0.03	-
265	13-Jan-01	15.00	7.16	-0.09	-
266	13-Jan-01	16.00	7.15	-0.10	-
267	13-Jan-01	17.00	7.16	-0.09	-
268	13-Jan-01	18.00	7.17	-0.08	-
269	13-Jan-01	19.00	7.25	0.00	-
270	13-Jan-01	20.00	7.28	0.03	-
271	13-Jan-01	21.00	7.39	0.14	-
272	13-Jan-01	22.00	7.51	0.26	-
273	13-Jan-01	23.00	7.62	0.37	-
274	14-Jan-01	00.00	7.62	0.37	-
275	14-Jan-01	01.00	7.62	0.37	-
276	14-Jan-01	02.00	7.51	0.26	-
277	14-Jan-01	03.00	7.28	0.03	-
278	14-Jan-01	04.00	7.04	-0.21	-
279	14-Jan-01	05.00	6.93	-0.32	-
280	14-Jan-01	06.00	6.93	-0.32	-
281	14-Jan-01	07.00	6.95	-0.30	-
282	14-Jan-01	08.00	6.93	-0.32	-
283	14-Jan-01	09.00	7.04	-0.21	-
284	14-Jan-01	10.00	7.16	-0.09	-
285	14-Jan-01	11.00	7.39	0.14	-
286	14-Jan-01	12.00	7.39	0.14	-
287	14-Jan-01	13.00	7.51	0.26	-
288	14-Jan-01	14.00	7.39	0.14	-
289	14-Jan-01	15.00	7.28	0.03	-
290	14-Jan-01	16.00	7.28	0.03	-
291	14-Jan-01	17.00	7.16	-0.09	-
292	14-Jan-01	18.00	7.16	-0.09	-
293	14-Jan-01	19.00	7.16	-0.09	-
294	14-Jan-01	20.00	7.28	0.03	-
295	14-Jan-01	21.00	7.28	0.03	-
296	14-Jan-01	22.00	7.39	0.14	-
297	14-Jan-01	23.00	7.51	0.26	-
298	15-Jan-01	00.00	7.62	0.37	-
299	15-Jan-01	01.00	7.62	0.37	-
300	15-Jan-01	02.00	7.62	0.37	-
301	15-Jan-01	03.00	7.39	0.14	-
302	15-Jan-01	04.00	7.28	0.03	-
303	15-Jan-01	05.00	7.04	-0.21	-
304	15-Jan-01	06.00	6.93	-0.32	-
305	15-Jan-01	07.00	6.95	-0.30	-
306	15-Jan-01	08.00	6.93	-0.32	-
307	15-Jan-01	09.00	7.04	-0.21	-
308	15-Jan-01	10.00	7.04	-0.21	-
309	15-Jan-01	11.00	7.28	0.03	-
310	15-Jan-01	12.00	7.39	0.14	-
311	15-Jan-01	13.00	7.39	0.14	-
312	15-Jan-01	14.00	7.37	0.12	-
313	15-Jan-01	15.00	7.39	0.14	-

ตาราง E5.3 ข้อมูลระดับน้ำชายฝั่งอำเภอจะนะ (ต่อ)

314	15-Jan-01	16.00	7.39	0.14	-
315	15-Jan-01	17.00	7.28	0.03	-
316	15-Jan-01	18.00	7.28	0.03	-
317	15-Jan-01	19.00	7.16	-0.09	-
318	15-Jan-01	20.00	7.16	-0.09	-
319	15-Jan-01	21.00	7.28	0.03	-
320	15-Jan-01	22.00	7.28	0.03	-
321	15-Jan-01	23.00	7.39	0.14	-
322	16-Jan-01	00.00	7.51	0.26	-
323	16-Jan-01	01.00	7.51	0.26	-
324	16-Jan-01	02.00	7.51	0.26	-
325	16-Jan-01	03.00	7.39	0.14	-
326	16-Jan-01	04.00	7.16	-0.09	-
327	16-Jan-01	05.00	7.04	-0.21	-
328	16-Jan-01	06.00	6.93	-0.32	-
329	16-Jan-01	07.00	7.04	-0.21	-
330	16-Jan-01	08.00	6.93	-0.32	-
331	16-Jan-01	09.00	7.04	-0.21	-
332	16-Jan-01	10.00	7.04	-0.21	-
333	16-Jan-01	11.00	7.16	-0.09	-
334	16-Jan-01	12.00	7.28	0.03	-
335	16-Jan-01	13.00	7.39	0.14	-
336	16-Jan-01	14.00	7.39	0.14	-
337	16-Jan-01	15.00	7.35	0.10	-
338	16-Jan-01	16.00	7.39	0.14	-
339	16-Jan-01	17.00	7.39	0.14	-
340	16-Jan-01	18.00	7.28	0.03	-
341	16-Jan-01	19.00	7.28	0.03	-
342	16-Jan-01	20.00	7.16	-0.09	-
343	16-Jan-01	21.00	7.16	-0.09	-
344	16-Jan-01	22.00	7.28	0.03	-
345	16-Jan-01	23.00	7.28	0.03	-
346	17-Jan-01	00.00	7.39	0.14	-
347	17-Jan-01	01.00	7.39	0.14	-
348	17-Jan-01	02.00	7.51	0.26	-
349	17-Jan-01	03.00	7.51	0.26	-
350	17-Jan-01	04.00	7.39	0.14	-
351	17-Jan-01	05.00	7.28	0.03	-
352	17-Jan-01	06.00	7.16	-0.09	-
353	17-Jan-01	07.00	7.04	-0.21	-
354	17-Jan-01	08.00	7.04	-0.21	-
355	17-Jan-01	09.00	7.04	-0.21	-
356	17-Jan-01	10.00	7.04	-0.21	-
357	17-Jan-01	11.00	7.16	-0.09	-
358	17-Jan-01	12.00	7.16	-0.09	-
359	17-Jan-01	13.00	7.28	0.03	-
360	17-Jan-01	14.00	7.40	0.15	-
361	17-Jan-01	15.00	7.39	0.14	-

Max	7.63	0.38
Min	6.81	-0.44
Height	0.82	0.82
Avg	7.25	0.00

ภาคผนวก E6

อัตราส่วนร้อยละการผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ ของตะกอนชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษา

อัตราส่วนร้อยละการผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆ ของตะกอนชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษา

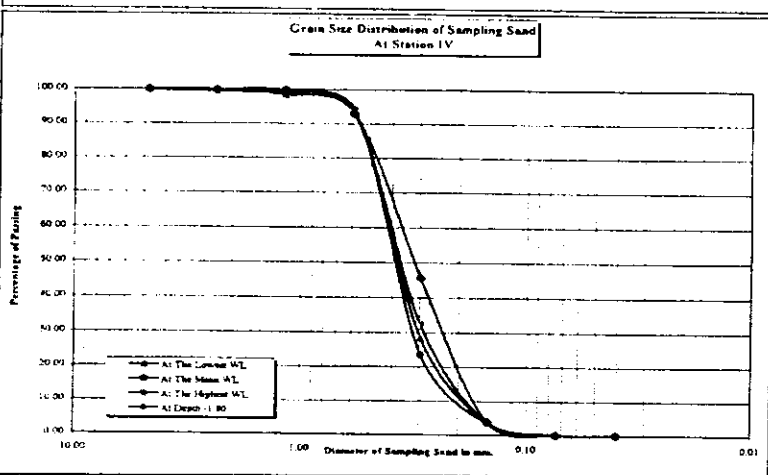
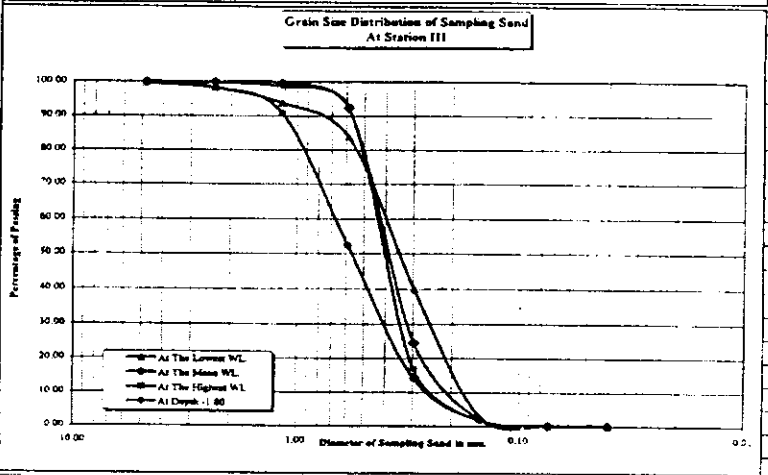
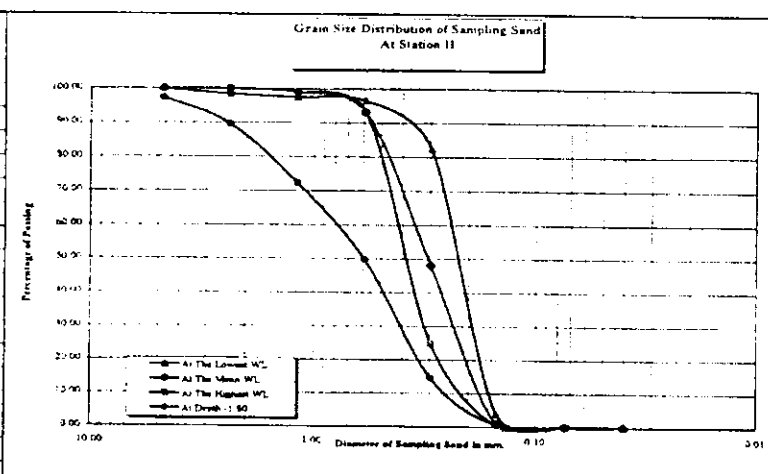
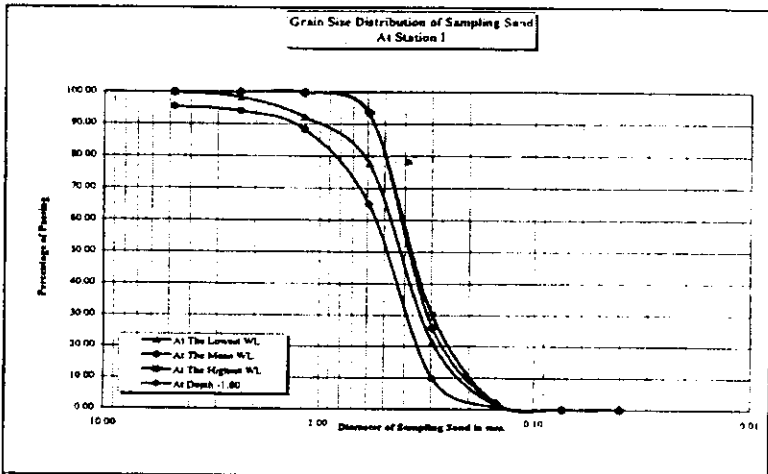
Station	Position	Sieve No. and Sieve Opening								พิกัดของตำแหน่ง (N,E)
		#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	Pan	
		4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.59mm	0.297mm	0.149mm	0.074mm	0.000mm	
I	MLWL	99.85	98.31	92.04	77.81	21.24	1.37	0.01	0.00	(774450 , 693600)
	MSL	95.32	93.97	88.30	65.03	9.75	0.62	0.01	0.00	(774150 , 693300)
	MHWL	99.97	99.96	99.90	98.26	30.11	1.02	0.03	0.00	(773980 , 693100)
	Depth 1.80	100.00	99.97	99.79	98.37	25.92	0.93	0.04	0.00	(773980 , 693100)
II	MLWL	99.89	98.49	97.43	96.50	82.45	3.83	0.09	0.00	(773900 , 694200)
	MSL	97.30	89.61	72.34	49.75	14.55	0.53	0.00	0.00	(773600 , 693900)
	MHWL	100.00	100.00	99.97	99.35	24.83	0.36	0.00	0.00	(773350 , 693800)
	Depth 1.80	100.00	99.99	99.95	99.20	48.10	0.95	0.04	0.00	(773350 , 693800)
III	MLWL	99.56	98.13	93.76	83.93	39.95	1.69	0.02	0.00	(773150 , 694950)
	MSL	99.92	98.25	90.75	52.23	13.92	0.41	0.00	0.00	(772850 , 694600)
	MHWL	100.00	99.73	98.46	92.56	16.60	1.19	0.10	0.00	(772650 , 694400)
	Depth 1.80	99.95	99.92	99.58	92.37	24.46	0.34	0.01	0.00	(772650 , 694400)
IV	MLWL	99.72	99.38	98.39	92.89	28.45	0.77	0.01	0.00	(772500 , 695600)
	MSL	100.00	99.90	98.93	96.16	23.55	0.47	0.04	0.00	(772200 , 695350)
	MHWL	99.81	99.81	99.75	98.25	32.33	0.72	0.03	0.00	(771980 , 695180)
	Depth 1.80	99.95	99.87	99.79	99.06	45.66	0.85	0.02	0.00	(771980 , 695180)
V	MLWL	99.48	97.62	92.04	77.87	31.17	1.11	0.03	0.00	(771900 , 696325)
	MSL	100.00	99.94	99.61	97.99	35.12	0.66	0.01	0.00	(771600 , 696010)
	MHWL	100.00	99.99	99.90	98.37	28.55	0.52	0.00	0.00	(771290 , 695820)
	Depth 1.80	99.34	95.16	88.88	85.36	59.11	2.52	0.15	0.00	(771290 , 695820)
VI	MLWL	100.00	99.93	99.02	97.59	83.77	6.24	0.22	0.00	(771220 , 697020)
	MSL	99.95	99.95	99.57	85.65	5.15	0.04	0.00	0.00	(770980 , 696800)
	MHWL	99.99	99.93	99.49	93.05	60.45	1.44	0.03	0.00	(770700 , 696590)
	Depth 1.80	99.99	99.77	98.79	91.72	30.91	0.66	0.03	0.00	(770700 , 696590)
VII	MLWL	99.79	99.05	96.22	92.54	57.61	4.40	0.13	0.00	(770680 , 697950)
	MSL	100.00	99.98	99.71	98.75	37.41	0.94	0.06	0.00	(770300 , 697710)
	MHWL	100.00	99.94	96.33	83.75	46.51	2.09	0.07	0.00	(770080 , 697480)
	Depth 1.80	99.99	99.97	97.94	71.50	10.11	0.26	0.01	0.00	(770080 , 697480)
VIII	MLWL	100.00	99.58	98.33	94.53	69.69	3.41	0.06	0.00	(770120 , 698800)
	MSL	100.00	99.64	98.30	85.69	9.62	1.30	0.02	0.00	(769780 , 698500)
	MHWL	100.00	99.99	99.59	96.97	42.55	0.96	0.02	0.00	(769670 , 698420)
	Depth 1.80	99.70	99.19	97.59	95.57	56.12	2.43	0.07	0.00	(769670 , 698420)
IX	MLWL	99.92	99.37	96.59	88.62	25.59	0.63	0.02	0.00	(769690 , 699650)
	MSL	99.46	96.24	90.94	67.53	5.37	0.03	0.00	0.00	(769280 , 699420)
	MHWL	100.00	99.97	99.01	95.58	50.76	1.12	0.03	0.00	(769025 , 699275)
	Depth 1.80	99.96	99.93	99.72	98.23	59.65	2.15	0.07	0.00	(769025 , 699275)
X	MLWL	99.73	99.19	96.21	83.95	55.75	4.94	0.21	0.00	(769170 , 700420)
	MSL	99.13	95.78	73.32	36.82	5.23	0.07	0.00	0.00	(768720 , 700290)
	MHWL	100.00	99.80	98.16	96.16	79.07	0.97	0.05	0.00	(768520 , 700180)
	Depth 1.80	99.63	99.01	95.32	87.66	31.02	1.15	0.03	0.00	(768520 , 700180)

หมายเหตุ : MSL = Mean sea level ; MHWL = Mean highest water level ; Mean Lowest water level

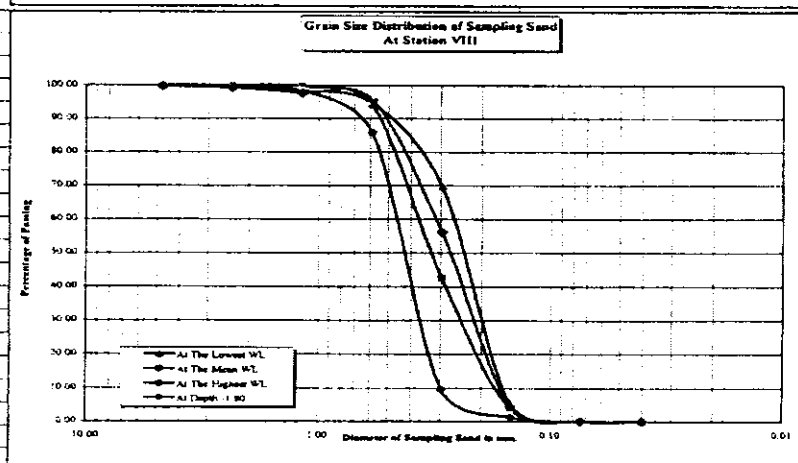
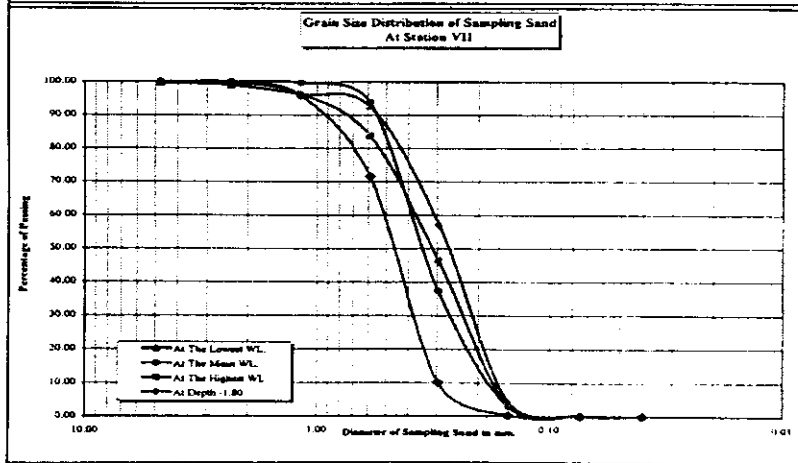
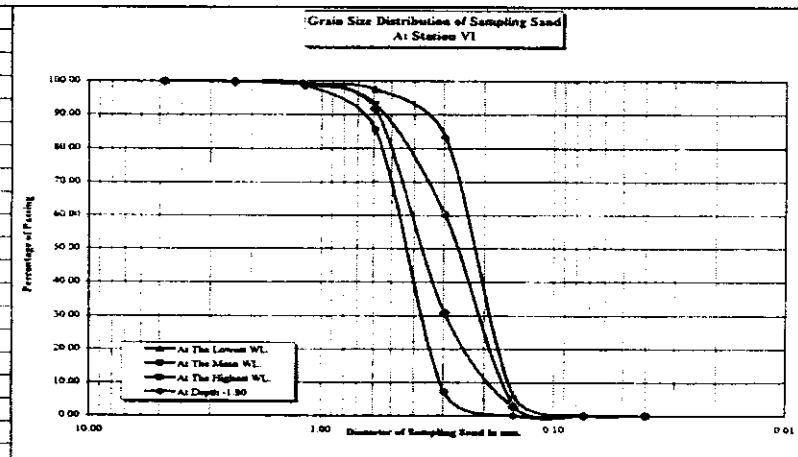
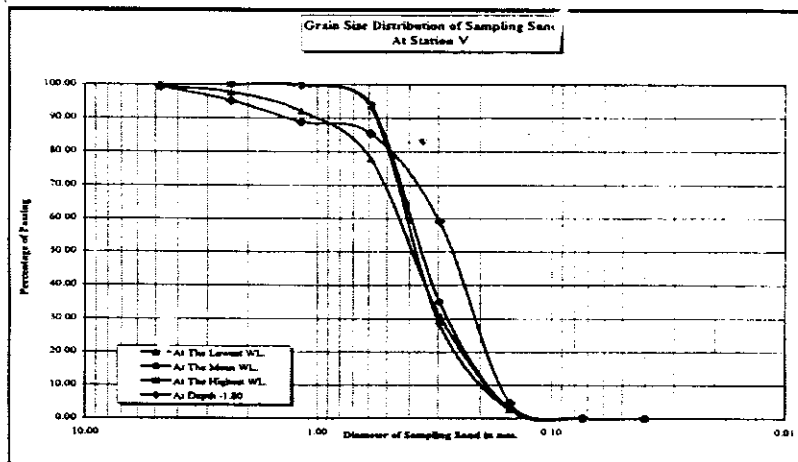
ภาคผนวก E7

กราฟแสดงการกระจายขนาดของตะกอนชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษา

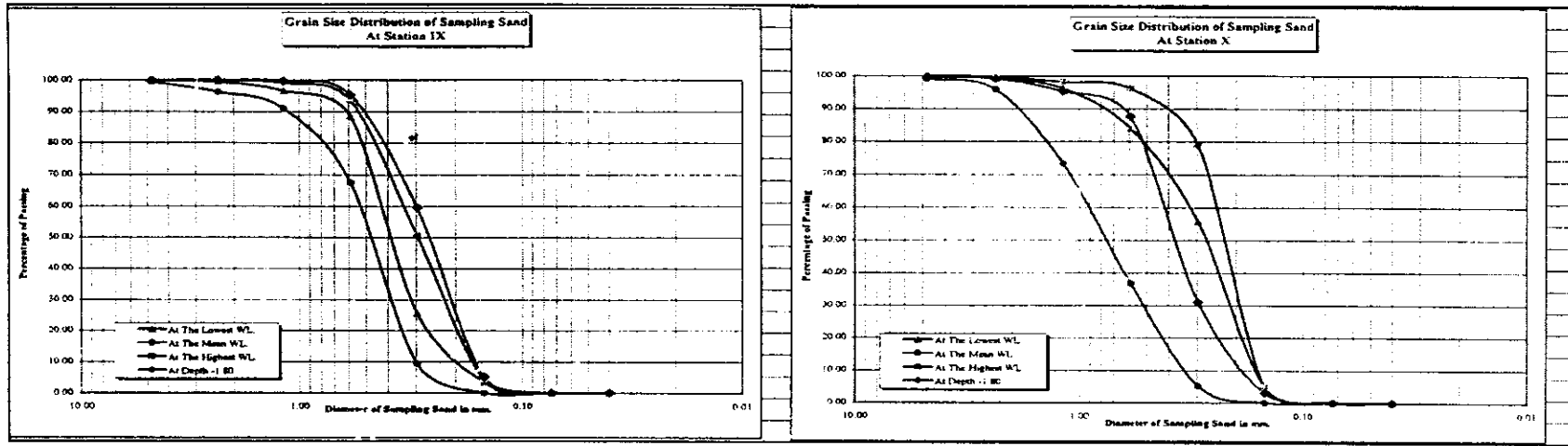
กราฟแสดงการกระจายขนาดของตะกอนชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษา



กราฟแสดงการกระจายขนาดของตะกอนชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษา (ต่อ)



กราฟแสดงการกระจายขนาดของตะกอนชายฝั่งบริเวณพื้นที่ศึกษา (ต่อ)



ภาคผนวก E8

การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง ที่จะใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมชายฝั่งที่เกิดจากการวางท่อส่งก๊าซในทะเล ได้แบ่งการคำนวณออกเป็น 3 หมวดหลัก คือ

- (1) ลักษณะของคลื่นบริเวณชายฝั่ง (Nearshore wave characteristics)
- (2) การพัดพาตะกอนชายฝั่ง (Coastal sediment transport)
- (3) การกัดเซาะและการทับถมชายฝั่ง (Coastal erosion and deposition)

เนื่องจากผลการคำนวณในหมวดต่างๆ มีลักษณะที่เกี่ยวข้องกัน ดังนั้นในการคิดคำนวณงานทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งจึงไม่สามารถที่จะแยกออกจากกันได้อย่างอิสระ เช่น การคำนวณหาตัวแปรบางค่าอาจเป็นไปได้ที่จะต้องใช้ข้อมูลดิบหรือผลการวิเคราะห์ในหมวด (2) มาใช้ในการคำนวณต่อในหมวด (1) เป็นต้น

ทฤษฎีและสมมติฐานที่จะใช้ในการคำนวณ พร้อมรายละเอียดการคำนวณต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การคำนวณลักษณะของคลื่นบริเวณชายฝั่ง (Nearshore wave characteristics)

หลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพคลื่นลม ลักษณะของท้องทะเล และลักษณะของตะกอนชายฝั่งแล้ว การประมวลผลที่เกี่ยวกับคลื่น คือ การคำนวณหาบริเวณที่คลื่นเกิดการแตกตัว พร้อมทั้งมุมที่แนวสันคลื่น (Wave crest) กระทำกับแนวชายฝั่ง ณ บริเวณที่คลื่นเกิดการแตกตัว เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณปริมาณของการกัดเซาะและการทับถมชายฝั่ง โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ทฤษฎีคลื่นที่เรียกว่า “Linear wave theory” ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณด้วยวิธีนี้เป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะสำหรับการคำนวณเกี่ยวกับ “คลื่นสั้น” (Short-wave) เป็นวิธีที่มีความแม่นยำอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และการคิดคำนวณไม่ยุ่งยากเกินไป

เมื่อคลื่นจากท้องทะเลลึกเคลื่อนที่เข้าใกล้บริเวณชายฝั่ง ลักษณะของคลื่น เช่น ความสูงคลื่น ทิศทางการเคลื่อนที่ และกระแสหน้าที่เกิดจากคลื่น ก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย กระบวนการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่น (Wave transformation) ซึ่งประกอบด้วย การเลี้ยวเบนของคลื่น การหักเหของคลื่น และการสะท้อนของคลื่น รวมถึงกระบวนการเคลื่อนตัวของคลื่นเข้าสู่หน้าที่ตื้นกว่า กระบวนการเหล่านี้สามารถที่จะคำนวณได้ด้วยทฤษฎีและหลักการทางด้านกลศาสตร์ของคลื่น (Wave mechanics) และผลงานวิจัยทางทะเลต่างๆ

ลักษณะต่างๆ ของคลื่นขณะเคลื่อนที่และคลื่นที่ตำแหน่งอ้างอิงต่างๆ สามารถอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้

• การเคลื่อนที่ของคลื่น

สมการการเคลื่อนที่ของคลื่นในท้องทะเลที่มีความลาดชันตื้นน้ำน้อย (Mild slope) ได้เสนอขึ้นโดย Berkhoff [1976] มีความสัมพันธ์ว่า

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(C C_g \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(C C_g \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + \sigma^2 \frac{C_g}{C} \phi = 0 \quad (\text{E8-1})$$

เมื่อ x, y คือระยะจากแกนอ้างอิง y และแกน x ที่ตั้งฉากกัน

$C(x, y)$ คือความเร็วคลื่น (Wave Celerity) ซึ่งหาได้จาก

$$C(x, y) = \frac{\sigma}{k}$$

σ คือความถี่เชิงมุมของคลื่น (Angular Wave Frequency) ซึ่งหาได้จาก

$$\sigma = \frac{2\pi}{T}$$

k คือค่าเชิงตัวเลขของคลื่น (Wave Number) ซึ่งมีความสัมพันธ์ในรูป

$$\sigma^2 = kg \tanh(kh)$$

T คือคาบของคลื่น (Wave Period)

C_g คือความเร็วกลุ่มของคลื่น (Group Velocity) ซึ่งหาได้จาก

$$C_g = \frac{\partial \sigma}{\partial k}$$

$\phi(x, y)$ คือฟังก์ชันที่เรียกว่า "Complex Velocity Potential"

g คือความเร่งเนื่องจากสนามโน้มถ่วงของโลก

$h(x, y)$ คือความลึกของน้ำนิ่งที่พิกัด (x, y)

สำหรับค่า $\phi(x, y)$ สำหรับคลื่นแบบ "Linear Wave" อาจเขียนได้ในรูปฟังก์ชันจำนวนเชิงซ้อนที่ว่า

$$\phi = ae^{i\sigma t} \quad (\text{E8-2})$$

เมื่อ $a(x, y)$ คือฟังก์ชันของแอมพลิจูดของคลื่น (Wave Amplitude Function) ซึ่งหาได้จาก

$$a = \frac{gH(x, y)}{2\sigma}$$

$H(x, y)$ คือความสูงของคลื่น (Wave Height) ที่พิกัด (x, y)

$s(x, y)$ คือฟังก์ชันของเฟสของคลื่น (Wave Phase Function)

ถ้าแทนค่า $\phi(x, y)$ จากสมการ E8-1 ลงในสมการ E8-2 ก็จะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$\frac{1}{a} \left\{ \frac{\partial^2 a}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 a}{\partial y^2} + \frac{1}{(CC_x)} [\nabla a \cdot \nabla (CC_x)] \right\} + k^2 - |\nabla s|^2 = 0 \quad (E8-3)$$

หรือ จะได้ว่า

$$\nabla \cdot (a^2 CC_x \nabla s) = 0 \quad (E8-4)$$

เมื่อ ∇ คือการกระทำทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า "Gradient"

สำหรับค่าฟังก์ชันของเฟสของคลื่น หรือ $s(x, y)$ มีความสัมพันธ์ว่า

$$\nabla s = |\nabla s| \cos \theta \vec{i} + |\nabla s| \sin \theta \vec{j} \quad (E8-5)$$

เมื่อ \vec{i} และ \vec{j} คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยของทิศทางในแนวแกน x และ y ตามลำดับ

การหักเหของทิศทางคลื่นสามารถคำนวณได้จากหลักการหักเหของ Snell ซึ่งได้แก่

$$\frac{\sin \theta}{C} = \frac{\sin \theta_0}{C_0} \quad (E8-6)$$

เมื่อ C_0 คือค่าความเร็วของคลื่นในน้ำลึก ซึ่งมีความสัมพันธ์ว่า

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi}$$

θ_0 คือมุมที่คลื่นจากน้ำลึกกระทำกับแกนอ้างอิง

θ คือมุมที่ตำแหน่งใดๆ

ส่วนค่าความสูงคลื่น H ที่พิกัด (x, y) ต่างๆ จะขึ้นความสูงของคลื่นในน้ำลึก (H_0) และสัมประสิทธิ์ 2 ตัว คือ k_S และ k_R โดยที่ค่าความสูงคลื่นสามารถหาได้จาก

$$H = k_S k_R H_0 \quad (\text{E8-7})$$

เมื่อ k_S คือ สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่เข้าสู่หาด (Shoaling Coefficient) ซึ่งหาได้จาก

$$k_S = \left[\frac{1}{\left(1 + \frac{2kh}{\sin(2kh)}\right) \tan(kh)} \right]^{1/2}$$

k_R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (Refraction Coefficient) ซึ่งหาได้จาก

$$k_R = \left[\frac{\cos \theta_0}{\cos \theta} \right]^{1/2}$$

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าใกล้ชายฝั่งมากขึ้น ความหนาแน่นของพลังงานคลื่นก็จะเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งเข้าสู่บริเวณที่เรียกว่า "Surf Zone" ซึ่งคลื่นจะมีหน้าคลื่นที่ลาดชันสูง และในที่สุดคลื่นก็จะแตกตัวเนื่องจากความลึกของน้ำที่ลดลงอย่างมาก จากการศึกษาข้อมูลในสนามและการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีพบว่าเงื่อนไขของการแตกตัวของคลื่น จะเกิดเมื่อ

$$H_b = 0.78 h_b \quad (\text{E8-8})$$

และ

$$H_b = 0.142 L_b \tanh\left(\frac{2\pi h_b}{L_b}\right) \quad (\text{E8-9})$$

จากเงื่อนไขดังกล่าว Komar และ Gaughan [1972] ได้เสนอความสัมพันธ์ขึ้นมาใหม่ว่า

$$H_b = k^* g^{1/3} (TH_0^2) \quad (\text{E8-10})$$

เมื่อ k^* คือค่าสัมประสิทธิ์ไร้มิติ มีค่าเท่ากับ 0.39

สมการที่ใช้บรรยายเงื่อนไขการแตกตัวของคลื่น นอกจากสมการ E8-8, E8-9 และ E8-10 แล้ว ยังมีอีกหลายสมการ สมการที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น

- สมการของ Le Mehaute และ Koh [1967] มีความสัมพันธ์ว่า

$$H_b = 0.76H_0 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-1/4} m^{1/7} \quad (\text{E8-11})$$

- สมการของ Goda [1970] มีความสัมพันธ์ว่า

$$H_b = 0.17L_0 \left(1 - \exp \left[-1.5\pi \frac{h_b}{L_0} (1+15m)^{1/3} \right] \right) \quad (\text{E8-12})$$

- สมการของ Weggel [1972] มีความสัมพันธ์ว่า

$$H_b = \frac{\bar{b} h_b}{1 + \frac{\bar{a} \bar{b}}{gT^2}} \quad (\text{E8-13})$$

$$\text{เมื่อ } \bar{a} = 43.75 [1 - e^{(-19m)}]$$

$$\bar{b} = \frac{1.56}{\{1 + e^{(-19.5m)}\}}$$

- และ L_0 คือความยาวของคลื่นในน้ำลึก
 m คือความลาดชันท้องทะเล
 h_b คือความลึกของน้ำ ณ จุดที่คลื่นแตกตัว
 H_b คือความสูงของคลื่น ณ จุดที่คลื่นแตกตัว
 L_b คือความยาวคลื่น ณ จุดที่คลื่นแตกตัว

จะเห็นได้ว่า ขั้นตอนของการคำนวณการเปลี่ยนแปลงลักษณะของคลื่นจากน้ำลึกเข้าสู่หน้าตื้นมีความซับซ้อนมาก โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการคำนวณระบบการเคลื่อนที่ของคลื่นในพื้นที่ขนาดกว้างโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจะมีสูงขึ้น การใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลเป็นแนวทางที่ดีที่สุดสำหรับปัจจุบัน ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาลักษณะการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ของคลื่นในบริเวณพื้นที่ศึกษา

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เลือกใช้ คือ RCPWAVE Model (Regional Coastal Process Wave Model) ซึ่งใช้สำหรับ คลื่นชนิด “Linear Wave” ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย กรมทหารช่างของอเมริกา (Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers) การคำนวณจะทำการแปลงสมการการเคลื่อนที่ของคลื่นที่อยู่ในรูปของ “Partial Differential Equations” ให้เป็น “Finite Differential Equations” แล้วแก้ปัญหาโดยกระบวนการทาง “Numerical Solution” โปรแกรมการคำนวณนี้ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง นอกจากจะได้รับการพิสูจน์ผลกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory experiments) แล้ว ยังได้รับการตรวจสอบจากการใช้งานจริงกับโครงการทางทะเลขนาดใหญ่อีกหลายแห่ง ทั้งในประเทศอเมริกาเอง และในประเทศญี่ปุ่น ดังนั้นการใช้โปรแกรม RCP WAVE Model ในการคิดคำนวณจึงเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือวิธีหนึ่ง¹

ในการคำนวณตัวแปรที่ต้องใส่ (Input Data) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

ตัวแปรชุดที่ 1 เป็นคุณลักษณะที่ต้องการจะให้คำนวณ ซึ่งประกอบด้วย

- จำนวนและขนาดของกริด (Grids) ที่กำหนด
- ระดับน้ำที่ต้องการจะคำนวณ (เช่น ผลของน้ำขึ้น-น้ำลง)
- จำนวนกรณี (Cases) ของคลื่นที่ต้องการจะคำนวณ พร้อมด้วยเงื่อนไขของกรณีต่างๆ เช่น ความสูงและคาบของคลื่น มุมของคลื่นในน้ำลึก
- การควบคุมส่วนแสดงผล (Output)

¹ โปรแกรม RCP WAVE Model ได้รับการตรวจสอบค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ทดลองในห้องปฏิบัติการ ทั้งยังได้ทดลองเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับข้อมูลที่ได้จากการวัดในสนาม โดยเฉพาะโครงการขนาดใหญ่หลายโครงการ เช่น Duck Pier (ที่ North Carolina), Homer Spit (ที่ Alaska) นอกจากนี้ ยังมีการใช้ในประเทศอื่นๆ อีกมากมาย เช่น ประเทศญี่ปุ่น ประเทศอินเดีย ประเทศจีน และประเทศอินโดนีเซีย

สำหรับในประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ชายฝั่งอ่าวไทย ก็มีโครงการที่มีการประยุกต์ใช้โปรแกรม RCP Wave Model ในการศึกษาออกแบบและการวิจัยมากมายหลายโครงการ เช่น

- โครงการสำรวจออกแบบก่อสร้าง เขื่อนกันทรายและคลื่นร่อนน้ำท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช, โดย บ. ซีเทค เสนอ กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม, 2536
- โครงการสำรวจออกแบบก่อสร้าง เขื่อนกันทรายและคลื่นร่อนน้ำคลองเทพา จังหวัดสงขลา, โดย บ. ซีเทค เสนอ กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม, 2537
- โครงการสำรวจออกแบบก่อสร้าง เขื่อนกันทรายและคลื่นร่อนน้ำคลองนาทับ จังหวัดสงขลา, โดย บ. ซีเทค เสนอ กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม, 2538
- โครงการสำรวจออกแบบก่อสร้าง เขื่อนกันทรายและคลื่นร่อนน้ำคลองสะกอม จังหวัดสงขลา, โดย บ. ซีเทค เสนอ กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม, 2538
- โครงการสำรวจออกแบบก่อสร้าง ระบบป้องกันกัดเซาะชายฝั่งและตลิ่ง จังหวัดนราธิวาส, โดย บ. ซีเทค เสนอ กรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม, 2540
- การศึกษาวิจัย เรื่อง “Coastal Erosion on East Coast of the Southern Peninsular” Md. Anisul Huq, 1990 (AIT Research)
- โครงการศึกษาวิจัย เรื่อง “Application of RCP WAVE for Morphological Computation”, Tuong T.N. 1993 (AIT Research)
- วิทยานิพนธ์ เรื่อง “Control of Coastal Erosion near Sonkhla Deep-sea Port” Payom Rattanamanee, 1995 (AIT Research)

ตัวแปรชุดที่ 2 เป็นตัวแปรของลักษณะภูมิประเทศของท้องทะเล ได้แก่

- ความลึกของน้ำทะเลเฉลี่ยที่จุดศูนย์กลางของกริด (Grids) ต่าง ๆ

พื้นที่ในส่วนที่ต้องการจะคำนวณผล ซึ่งประกอบด้วยกริดขนาด 50 x 98 โดยแต่ละช่องย่อยเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 100.0x100.0 ตารางเมตร และได้กำหนดให้แกน x เป็นแกนที่ตั้งฉากกับชายฝั่ง ส่วนแกน y จะเป็นแกนที่ขนานกับชายฝั่ง ดังแสดงรูป E8.1² ในการประมวลผลได้กำหนดเงื่อนไขของการประมวลเป็น 3 กรณี ดังนี้

(1) สภาวะคลื่นตัวแทนรายปี (Annual representative wave) ที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (MSL) ซึ่งจะได้ค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- ความสูงคลื่น = 0.766 เมตร
- คาบของคลื่น = 5.543 วินาที
- ในทิศทาง α = 23.141 องศา
- ค่าปรับแก้ระดับน้ำ = 0.00 เมตร

(2) สภาวะคลื่นตัวแทนรายปี (Annual representative wave) ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยสูงสุด (High Water Level) ให้ค่าตัวแปรต่างๆ เป็นดังนี้

- ความสูงคลื่น = 0.766 เมตร
- คาบของคลื่น = 5.543 วินาที
- ในทิศทาง α = 23.141 องศา
- ค่าปรับแก้ระดับน้ำ = 0.750 เมตร

(3) สภาวะคลื่นตัวแทนในช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ (Representative NE-Wave) ที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (MSL) ซึ่งจะได้ค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- ความสูงคลื่น = 1.140 เมตร
- คาบของคลื่น = 6.84 วินาที
- ในทิศทาง α = 20.0 องศา
- ค่าปรับแก้ระดับน้ำ = 0.00 เมตร

ค่าตัวแปรทั้ง 4 ค่า คือ ค่าความสูงคลื่น ค่าคาบของคลื่น ทิศทาง (α) และค่าปรับแก้ระดับน้ำ ได้จากการวิเคราะห์การพัดพาตะกอน แล้วจึงหาค่าตัวแทนคลื่นที่เหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

จากการประมวลผลโดยโปรแกรม RCPWAVE Model ได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

² เส้นชั้นความสูงในรูป E8.1 ต่อมามากหลังจากได้มีการตรวจวัดใหม่ ซึ่งได้ค่าที่แตกต่างกันบ้าง แต่ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ในภาคผนวกนี้ อย่างมีนัยสำคัญ

- เมื่อทำการคำนวณตามเงื่อนไขที่ 1 โดยใช้ค่าสภาวะคลื่นตัวแทนรายปีที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย พบว่าความสูงคลื่นแตกตัวมีค่าประมาณ 0.60-0.80 เมตร ที่ระดับน้ำลึกประมาณ 0.80-1.20 เมตร ซึ่งห่างจากชายฝั่งเพียงประมาณ 25-75 เมตร ที่จุดนี้แนวสันคลื่น (Wave Crest) ทำมุมกับแนวชายฝั่ง (แกน y) ประมาณ 4.0 องศา
- เมื่อทำการคำนวณตามเงื่อนไขที่ 2 โดยใช้ค่าสภาวะคลื่นตัวแทนรายปีที่เหนือระดับน้ำทะเลเฉลี่ย 0.75 เมตร พบว่าความสูงคลื่นแตกตัวไม่แตกต่างกับกรณีแรกมากนัก โดยความสูงคลื่นแตกตัวมีค่าประมาณ 0.70-0.90 เมตร ที่ระดับน้ำปรกติลึกประมาณ 1.00-1.40 เมตร ซึ่งห่างจากชายฝั่งประมาณ 25-100 เมตร ที่จุดนี้แนวสันคลื่น (Wave crest) ทำมุมกับแนวชายฝั่ง (แกน y) ประมาณ 4.5 องศา
- เมื่อทำการคำนวณตามเงื่อนไขที่ 3 โดยใช้ค่าสภาวะคลื่นช่วงฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ ที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย พบว่าความสูงคลื่นแตกตัวเพิ่มมากขึ้นเป็น 1.20-1.50 เมตร ที่ระดับน้ำปรกติลึกประมาณ 0.75-2.50 เมตร ซึ่งห่างจากชายฝั่งประมาณ 50-400 เมตร ที่จุดนี้แนวสันคลื่น (Wave crest) ทำมุมกับแนวชายฝั่ง (แกน y) ประมาณ 3.5 องศา

2. การพัดพาตะกอนชายฝั่ง (Coastal sediment transport rate)

ปัจจัยทางธรรมชาติที่สำคัญอีกอย่างที่ควบคุมการเปลี่ยนแปลงลักษณะของชายฝั่ง (Beach morphology) และควบคุมรูปแบบของการกัดเซาะหรือการทับถมแนวชายฝั่ง คือ การพัดพาตะกอนชายฝั่ง ซึ่งลักษณะของการพัดพาตะกอนชายฝั่งอาจแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การพัดพาตะกอนตามแนวขนานกับชายฝั่ง (Longshore sediment transport) และการพัดพาตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (Cross-shore sediment transport)

ปริมาณของการพัดพาตะกอนตามแนวขนานกับชายฝั่งจะขึ้นกับขนาดของคลื่นและมุมที่คลื่นกระทบแนวชายฝั่ง สำหรับการพัดพาตะกอนชายฝั่งประเภทนี้ ยังแบ่งย่อยได้เป็น 2 ส่วน คือ การพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งทั้งหมด (Gross longshore transport) และการพัดพาตะกอนชายฝั่งสุทธิ (Net longshore transport)

การพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งทั้งหมด (Q_g) คือ ผลรวมของการเคลื่อนย้ายตะกอนชายฝั่งทั้งตะกอนที่เคลื่อนย้ายไปทางขวามือ (Q_r) และไปทางซ้ายมือ (Q_l) ผ่านแนวตั้งฉากกับชายฝั่งใดๆ ที่กำหนดในช่วงเวลาที่พิจารณา สมการแสดงความสัมพันธ์ของการหาค่า Q_g คือ

$$Q_g = Q_r + Q_l \quad (E8-14)$$

การพัดพาตะกอนชายฝั่งสุทธิ (Q_n) คือ ผลต่างของปริมาณการเคลื่อนย้ายตะกอนชายฝั่งที่มีทิศทางไปทางขวามือ (Q_r) กับปริมาณการพัดพาตะกอนไปทางซ้ายมือ (Q_l) ผ่านแนวตั้งฉากกับชายฝั่งใดๆ ที่กำหนดในช่วงเวลาที่พิจารณา สมการแสดงความสัมพันธ์ของการหาค่า Q_n คือ

$$Q_n = Q_r - Q_l \quad (E8-15)$$

โดยทั่วไปการระบุปริมาณการพัดพาตะกอน นิยมใช้หน่วย “ปริมาตรตะกอนต่อหนึ่งหน่วยเวลา” ซึ่งค่าปริมาตรของทรายที่ใช้ คือ ค่าปริมาตรทั้งหมดที่เรียกว่า “Actual Volume” ที่รวมปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดทรายเข้าไปด้วย (มีค่าประมาณ 40% ของปริมาตรทั้งหมด) ในบางครั้งอาจใช้หน่วย “น้ำหนักของตะกอนต่อหน่วยเวลา” ค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของ “แรงต่อหน่วยเวลา” ซึ่งจะแทนด้วย I_l ซึ่งหาได้จาก

$$I_l = (\rho_s - \rho)ga'Q \quad (E8-16)$$

- เมื่อ ρ_s คือ ค่าความหนาแน่นของทราย (mass density of sand)
 ρ คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (mass density of water)
 g คือ ความเร่งเนื่องจากสนามโน้มถ่วงของโลก
 a' คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของทรายต่อปริมาตรทั้งหมด $\cong 0.6$

สำหรับปริมาณการพัดพาตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (Cross-shore/On-offshore sediment transport) เป็นตัวแปรที่จะบอกว่า ชายฝั่งนั้นจะถูกตะกอนทับถมให้สูงขึ้นหรือชายฝั่งนั้นจะถูกกัดเซาะให้ขาดหายไป ช่วงฤดูกาลของคลื่นลมเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมลักษณะของการพัดพาตะกอนชนิดนี้ ขนาดความสูงคลื่นและคาบของคลื่นจะเป็นตัวควบคุมลักษณะของท้องทะเลบริเวณใกล้ชายฝั่ง

สำหรับการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมในครั้งนี้ จะไม่ทำการคำนวณผลเนื่องจากการพัดพาตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง ทั้งนี้เนื่องจากการก่อสร้างจริงจะมีผลกระทบจากการพัดพาตะกอนประเภทนี้ค่อนข้างน้อยมาก โดยเฉพาะในกรณีที่สิ่งก่อสร้างถูกจัดให้วางตัวในแนวที่ตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง ปริมาณการกัดเซาะหรือทับถมจะถูกปรับให้สมดุลโดยตามธรรมชาติเอง ในสถานะการจริงพบว่า ในช่วงที่คลื่นลมรุนแรง คลื่นจะโถมขึ้นบนฝั่งพร้อมด้วยการพัดพาเม็ดทรายลงสู่ทะเล จะเกิดผลให้แนวชายฝั่งถอยเข้าสู่พื้นดิน (Shoreline recession) หลังจากฤดูคลื่นลมรุนแรงคลื่นก็จะค่อยๆ พัดพาเม็ดทรายกลับขึ้นมาทับถมบนฝั่งอีกครั้ง (Shoreline advance) กระบวนการเช่นนี้จะเกิดขึ้นหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง

• การคำนวณการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่ง (Computation of longshore transport rate)

วิธีการคำนวณการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งมีหลายวิธี แต่วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือการคำนวณโดยใช้หลักการของ “ทฤษฎีการไหลของพลังงานคลื่น” (Theory of wave energy flux) โดยจะคิดค่าการไหลผ่านของพลังงานของคลื่นต่อหน่วยความยาวคลื่นหรือค่าหน่วยการไหลพลังงาน (\bar{P}) ในทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่น โดยค่า \bar{P} หาได้จากความสัมพันธ์

$$\bar{P} = \bar{E} C_g = \frac{1}{8} \rho g H C_g \quad (E8-17)$$

โดยที่ค่า \bar{E} คือ ค่าพลังงานเฉลี่ยต่อหน่วยความยาวคลื่น และเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าหาชายฝั่งทำมุมเอียง ขนาด α กับแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง จะได้ค่าการไหลผ่านของพลังงานต่อหน่วยความยาวของแนวชายฝั่ง ดังนี้

$$\bar{P} \cos \alpha = \frac{1}{8} \rho g H C_g \cos \alpha \quad (\text{E8-18})$$

และสามารถหาค่าประกอบในแนวขนานกับชายฝั่ง (Longshore component) ได้จาก

$$\begin{aligned} P_l &= \bar{P} \cos \alpha \sin \alpha = \frac{1}{8} \rho g H C_g \cos \alpha \sin \alpha \\ &= \frac{1}{16} \rho g H C_g \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (\text{E8-19})$$

ตามแนวที่คลื่นเกิดการแตกตัว (Breaking line) สมการข้างบนจะเปลี่ยนรูปใหม่เป็น

$$P_b = \frac{1}{16} \rho g H_b^2 C_b \sin 2\alpha_b \quad (\text{E8-20})$$

ในกรณีที่คลื่นถูกสมมุติให้เป็นคลื่นชนิด “Linear wave” ถ้าคลื่นเคลื่อนที่ในเขตน้ำตื้น จะได้ว่าค่าความเร็วกลุ่มคลื่น (C_g) มีค่าประมาณความเร็วของคลื่น (C) นั้นเอง ทำให้สมการข้างต้นเขียนใหม่เป็น

$$P_b = \frac{1}{16} \rho g H_b^2 C \sin 2\alpha_b \quad (\text{E8-21})$$

เมื่อ H_b คือ ความสูงคลื่น ณ จุดแตกตัว (Breaking height of wave)

α_b คือ มุมที่ทิศทางการแตกตัวกระทำกับแนวตั้งฉากแนวชายฝั่ง

C_b คือ ความเร็วของคลื่นที่จุดแตกตัว (Wave speed at the breaking point)

C คือ ความเร็วคลื่นที่จุดใดๆ (Local wave speed) ซึ่งหาได้จาก

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

โดยค่า d , L และ T คือ ค่าความลึกของน้ำนิ่ง,

ความยาวคลื่น และคาบของคลื่นที่จุดใดๆ

ข้อมูลความสูงคลื่นที่ได้จากการบันทึกหรือการสังเคราะห์คลื่นจากข้อมูลลม มักแสดงความสูงคลื่นในรูปของความสูงนัยสำคัญของคลื่น (Significant Wave Heights: H_s) ซึ่งเป็นค่าความสูงที่สามารถจะนำมาใช้ในการคิดคำนวณได้โดยตรง และถ้านำมาแทนค่าลงในสมการข้างต้นก็จะได้ว่า

$$P_{fs} = \frac{1}{16} \rho g H_{sb}^2 C_{gb} \sin 2\alpha_b \quad (\text{E8-22})$$

เมื่อ ค่า P_{fs} เป็นค่าที่เรียกว่า “Longshore Flux Energy Factor”

สมการของการทำนายปริมาณการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งที่นิยมใช้กันมาก คือ สมการการพัดพาตะกอนที่เสนอโดย CERC' 84 (Coastal Engineering Research Center) และสมการการพัดพาตะกอนของ Hanson [1991] ในการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม จะเลือกใช้วิธีการคำนวณที่ได้เสนอโดย CERC'84 ทั้งนี้เนื่องจากสมการการพัดพาตะกอนของ Hanson [1991] มีสัมประสิทธิ์หลายตัวที่ต้องคำนวณ ทั้งยังมีค่าคงที่อีก 2 ชุดที่จะต้องทำการตรวจสอบกับที่ได้จากการวัดในสนาม

แม้กระทั่งวิธีการคำนวณจะแตกต่างกัน แต่จากการศึกษาพบว่าผลการคำนวณที่ได้มีค่าที่สอดคล้องกันค่อนข้างดีมาก

• สมการการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งของ CERC'84

สมการของการคำนวณปริมาณการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งของ CERC'84 คือ

$$Q(\alpha_0, H_0) = (2.03 * 10^6)(f_i)(H_{0i})^{\frac{5}{2}} F(\alpha_0) \quad (\text{E8-23})$$

จะได้ค่าของปริมาตรรวมของตะกอนเป็นลูกบาศก์เมตรต่อช่วงเวลาหนึ่งปี หรือ

$$Q = 169,300(f_i)(H_{0i})^{\frac{5}{2}} F(\alpha_0) \quad (\text{E8-24})$$

จะได้ค่าของปริมาตรรวมของตะกอนเป็นลูกบาศก์เมตรต่อช่วงเวลาหนึ่งเดือน

เมื่อ f_i คือ ค่าสัดส่วนความถี่ของการเกิดคลื่นลำดับที่ i
ต่อปริมาณคลื่นทั้งหมด

H_{0i} คือ ค่าความสูงคลื่นน้ำลึกลำดับที่ i

α_{0i} คือ มุมที่สันคลื่นน้ำลึกลำดับที่ i กระทำกับแนวชายฝั่ง

เนื่องจากทิศทางของคลื่นจากน้ำลึกที่ได้จากการบันทึกข้อมูลคลื่นหรือการสังเคราะห์ข้อมูลคลื่นจากสมมาตรจะแสดงเพียงในทิศทางหลักเท่านั้น เช่น ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (NE) ทิศตะวันออก (E) เป็นต้น ดังนั้นตัวแปรที่ขึ้นกับค่ามุมจะต้องเป็นค่าเฉลี่ยที่เหมาะสม ดังนั้นการหาค่าพจน์ $F(\alpha_0)$ ซึ่งที่มุม α_0 หาได้จาก

$$F(\alpha_0) = (\cos \alpha_0)^{\frac{1}{4}} * \sin(2\alpha_0) \quad (E8-25)$$

ดังนั้นสำหรับช่วงระหว่างทิศทางหลักใด ๆ หรือช่วงมุมใด ๆ สามารถหาได้ในรูปของค่าเฉลี่ยโดยกระบวนการอินทิเกรต ดังนี้

$$\begin{aligned} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} F(\alpha_0) &= 2 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} (\cos \alpha_0)^{\frac{5}{4}} \sin(\alpha_0) d\alpha_0 \\ &= \left(-\frac{8}{9}\right) (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)^{\frac{9}{4}} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ย $F(\alpha_0)$ หาได้จาก

$$F(\alpha_0) = \left(-\frac{8}{9}\right) \frac{(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)^{\frac{9}{4}}}{(\alpha_1 - \alpha_2) \left(\frac{180}{\pi}\right)} \quad (E8-26)$$

โดยที่ค่ามุม α จะต้องแทนด้วยค่ามุมในหน่วย “องศา”

- การคำนวณการพัดพาตะกอนตามแนวชายฝั่งโดยวิธีของ CERC'84

แนวของชายฝั่งบริเวณพื้นที่โครงการฯ มีลักษณะทะแยงแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทำมุมกับทิศเหนือโดยเฉลี่ยประมาณ 50 องศา ดังแสดงในรูป E8.2

- การคำนวณค่า $F(\alpha_0)$

ค่าของ $F(\alpha_0)$ ที่แสดงในสมการ E8-26 สามารถหาได้จากขนาดและทิศทางของมุมที่ครอบคลุมทิศทางหลักที่มีในการบันทึกข้อมูลคลื่น ผลการคำนวณค่า $F(\alpha_0)$ ได้แสดงในตาราง E8.1

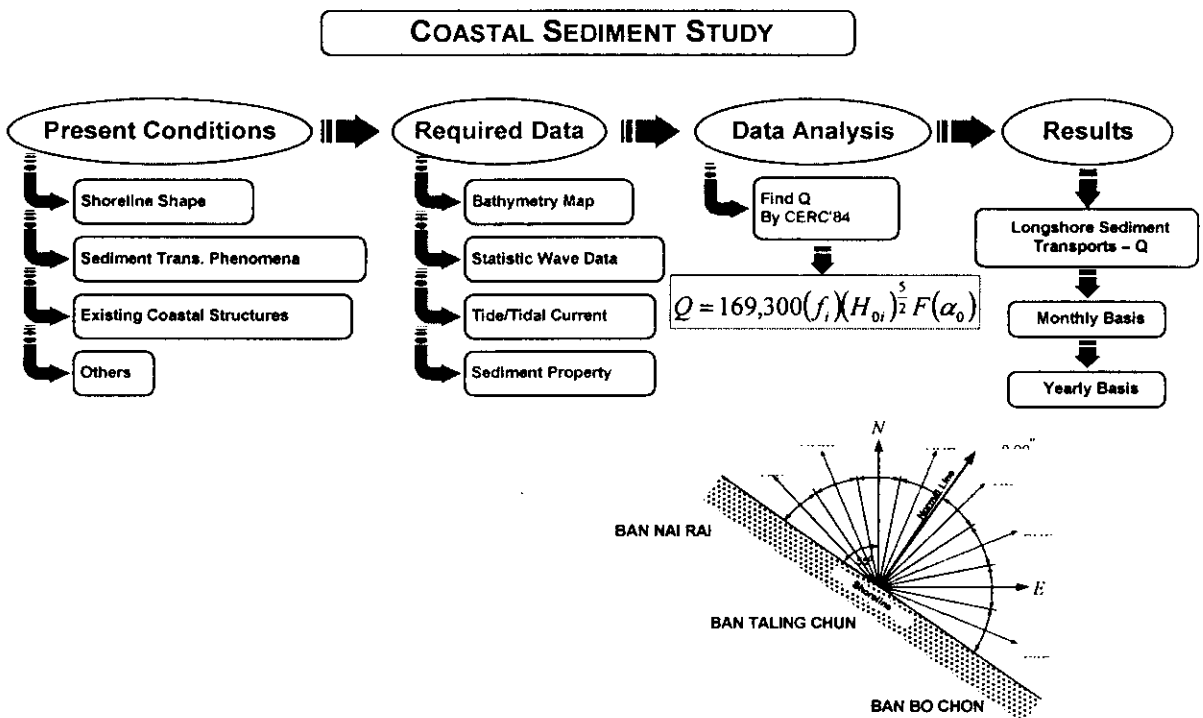
- การคำนวณค่า f_i

สำหรับค่า f_i ซึ่งเป็นค่าเศษส่วนความถี่ของการเกิดคลื่นลำดับที่ i สามารถคำนวณได้จากข้อมูลคลื่น ค่า f_i สำหรับการคำนวณปริมาณการพัดพาตะกอนรายปี ได้แสดงในตาราง E8.2 ส่วนค่า f_i สำหรับการคำนวณปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่งรายเดือน ได้แสดงในภาคผนวก E9

ส่วนความถี่ “ทุก 2 วัน” นั้น โดยนัย หากเป็นเรือชุดก็หมายถึง การติดตามตรวจสอบทุกขณะที่เรือชุดแล่นไป เพราะเรือชุดจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 2-4 กิโลเมตรต่อวัน แต่การระบุเป็นจำนวนวันเพื่อไว้สำหรับกิจกรรมอื่นที่อาจดำเนินการบริเวณพื้นที่ท้องทะเล ทั้งนี้ปรัชญาของการ “monitor” คือเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงาน (ในประเด็นของการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม) หลังจากที่ได้กำหนดมาตรการลดผลกระทบอื่นๆ ไปแล้ว

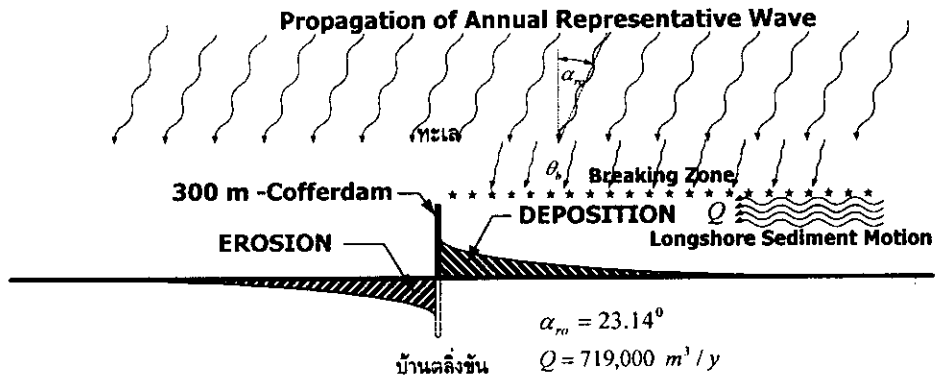
แผนการศึกษาตะกอนชายฝั่ง เพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ อธิบายได้ดังรูป E8.2 การคำนวณประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมข้อมูลลักษณะชายฝั่งและลักษณะของท้องทะเล
- ขั้นตอนที่ 2 การรวบรวมข้อมูลคลื่นลมและคุณลักษณะของตะกอน
- ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูลการพัดพาตะกอนชายฝั่ง
- ขั้นตอนที่ 4 การสรุปผลการคำนวณและประเมินผลที่ได้



รูป E8.2 แผนการศึกษาการพัดพาตะกอนชายฝั่ง
บริเวณบ้านตลิ่งชัน อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

จากนั้นจึงนำผลการคำนวณปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่งที่ได้ ไปใช้ในการประเมินผลการทบสิ่งแวดลอมทางกายภาพ ดังแสดงในรูป E8.3



รูป E8.3 การนำผลที่ได้จากการศึกษาปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่ง เพื่อใช้ในการประเมินผลการทบสิ่งแวดลอม

การคำนวณปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่ง ได้ทำโดยใช้สมการของ CERC' 84³ ซึ่งถือว่าเป็นสมการที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย สมการดังกล่าวได้จากการวิเคราะห์ตามหลักการทางวิศวกรรมทุกประการ อีกทั้งยังได้รับการพิสูจน์ทั้งจากผลที่ได้ในห้องปฏิบัติการและข้อมูลภาคสนาม ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเห็นว่าไม่มีความจำเป็นเลยที่จะต้องทำการตรวจวัดปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่ง

การตรวจสอบผลการคำนวณในขั้นตอน Data analysis (รูป E8.2) เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของค่าปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่งอาจทำได้โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ กับผลได้เสนอในรายงานการศึกษาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง ในบริเวณใกล้เคียงกับโครงการ

ตาราง E8.1 สรุปผลการศึกษาปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่ง บริเวณท่าเรือน้ำลึกสงขลา (ซึ่งอยู่ไม่ไกลจากพื้นที่โครงการมากนัก) โดย de Silva (1994)⁴ โดยนำมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้

แม้ว่าผลการศึกษาของ de Silva (1994) และผลการศึกษาครั้งนี้ จะมีค่าการพัดพาตะกอนชายฝั่งรายเดือนต่างกันบ้าง แต่โดยภาพรวมแล้วจะเห็นว่า ผลการคำนวณทั้งสองให้ค่าปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่งรายปี (Annual longshore sediment transport) ที่สอดคล้อง

³ CERC = Coastal Engineering Research Center

⁴ de Silva, M. S., "Siltation of Fishery Harbors and Coastal Erosion in Southern Thailand," MEng Thesis, AIT, Bangkok, 1994.

กันมาก ค่าปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่งที่แตกต่างกันนี้ เกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะของชายฝั่งและท้องทะเลของที่บริเวณท่าเรือน้ำลึกสงขลา มีความแตกต่างกับพื้นที่โครงการ นั้นเอง

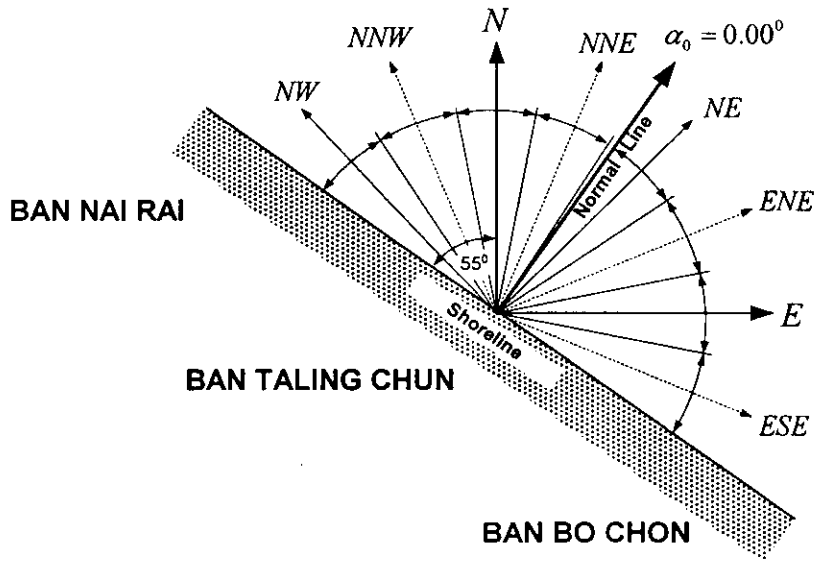
ตาราง E8.1 เปรียบเทียบค่าปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่งสุทธิรายเดือน (Net Longshore Sediment Transport) ที่ได้จากผลการศึกษาของ de Silva (1994) กับผลการศึกษาครั้งนี้

หน่วย : ลูกบาศก์เมตร

No	Month	ผลจากการศึกษา ของ de Silva (1994)	ทิศทาง	ผลจากการศึกษา ครั้งนี้	ทิศทาง
1	January	191,027	To NW	174,100	To NW
2	February	103,582	To NW	162,000	To NW
3	March	99,235	To NW	150,400	To NW
4	April	-1,892	To SE	74,900	To NW
5	May	-133	To SE	21,400	To NW
6	June	1661	To NW	2,300	To NW
7	July	-4,193	To SE	- 5,580	To SE
8	August	-549	To SE	4,900	To NW
9	September	-5,292	To SE	13,000	To NW
10	October	-386	To SE	21,200	To NW
11	November	92,550	To NW	- 4,000	To SE
12	December	132,836	To NW	105,400	To NW
Annual Sediment		608,446	To NW	720,000	To NW

นอกจากได้เปรียบเทียบค่าปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่งกับรายงานการวิจัยต่างๆ แล้ว ผู้ศึกษายังได้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชายฝั่งกับพื้นที่โครงการอื่นๆ ที่ได้ก่อสร้างเสร็จสิ้นแล้ว ถึง 3 โครงการ ดังนั้นจึงเชื่อได้ว่าผลการศึกษาและการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในครั้งนี้ น่าจะมีความถูกต้องและเหมาะสมในระดับที่ยอมรับได้

อนึ่ง การตรวจวัดปริมาณตะกอนชายฝั่งภาคสนาม เพื่อที่จะตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องการที่จะประเมินว่าแบบจำลองที่ใช้มีความแม่นยำเพียงไร จะต้องทำการวัดทั้งขนาดความสูงคลื่น ความยาวคลื่น มุมที่จุดที่คลื่นแตกตัว ที่เวลาต่างๆ เป็นเวลาที่ยาวนาน พร้อมๆ กับการวัดปริมาณการพัดพาตะกอนและกระแสน้ำชายฝั่ง เหมาะที่จะเป็นงานวิจัยในเชิงลึกมากกว่าที่จะเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเช่นนี้ อีกทั้งได้พิจารณาเห็นแล้วว่า สมการของ CERC' 84 เป็นสมการที่ได้รับการพิสูจน์แล้ว



รูป E8.4 ลักษณะของชายฝั่งบริเวณพื้นที่โครงการ

ตาราง E8.2 ค่า $F(\alpha_0)$ ในทิศทางต่าง ๆ ของพื้นที่ศึกษา

Direction	Effective Segment (deg)	$F(\alpha_0)$
NW	-90.00 -70.00	-0.2278
NNW	-70.00 -47.50	-0.7342
N	-47.50 -25.00	-0.8774
NNE	-25.00 -2.50	-0.4446
NE1	-2.50 0.00	-0.0436
NE2	0.00 20.00	0.3326
ENE	20.00 42.50	0.8278
E	42.50 65.00	0.8142
ESE	65.00 90.00	0.2934

• การคำนวณปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่ง Q

ค่าปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่งรายปีและรายเดือน บริเวณท้องทะเลใกล้ชายฝั่งของพื้นที่โครงการ ได้สรุปดังแสดงในตาราง E8.4 และ ตาราง E8.5 ซึ่งแสดงในรูปกราฟการพัดพาตะกอนชายฝั่งได้ดังรูป E8.5

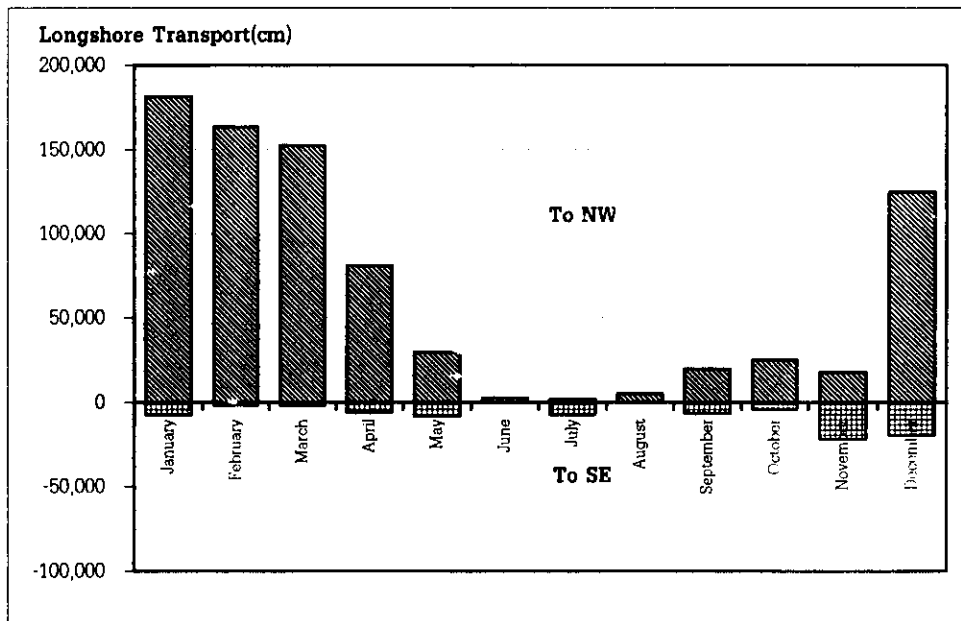
ตาราง E8.4 แสดงค่าปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่งรายปีในทิศทางต่างๆ บริเวณพื้นที่ศึกษา
อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

DIRECTION	HO(M)	F(%)	F(A)	Q(M ³ /YEAR)	DIRECTION	HO(M)	F(%)	F(A)	Q(M ³ /YEAR)	
NW	0.00	0.000	-0.228	0.00	NE	0.25	1.383	0.333	291.82	
NNW	0.25	0.188	-0.734	-87.66		0.75	1.355	0.333	4,455.28	
	0.75	0.060	-0.734	-434.81		1.25	2.570	0.333	30,305.96	
	1.25	0.125	-0.734	-3,267.01		1.75	0.185	0.333	5,070.34	
N	0.25	0.699	-0.877	-388.93		2.25	0.023	0.333	1,169.70	
	0.75	0.251	-0.877	-2,177.65		2.75	0.009	0.333	724.40	
	1.25	0.348	-0.877	-10,826.48		3.25	0.011	0.333	1,466.55	
NNE	0.25	1.283	-0.445	-361.97	ENE	0.25	1.971	0.828	1,034.84	
	0.75	0.973	-0.445	-4,275.80		0.75	2.242	0.828	18,349.43	
	1.25	1.172	-0.445	-18,481.06		1.25	7.341	0.828	215,491.63	
	1.75	0.026	-0.445	-938.53		1.75	0.742	0.828	50,479.53	
	2.25	0.011	-0.445	-781.86		2.25	0.046	0.828	5,822.68	
	2.75	0.011	-0.445	-1,291.22		2.75	0.000	0.828	0.00	
NE	0.25	1.383	-0.044	-38.26	E	0.25	2.398	0.814	1,238.79	
	0.75	1.355	-0.044	-584.08		0.75	3.066	0.814	24,683.82	
	1.25	2.570	-0.044	-3,973.05		1.25	11.120	0.814	321,054.67	
	1.75	0.185	-0.044	-664.71		1.75	1.169	0.814	78,294.22	
	2.25	0.023	-0.044	-153.35		2.25	0.014	0.814	1,789.69	
	2.75	0.009	-0.044	-94.97		ESE	0.25	4.706	0.293	875.75
	3.25	0.011	-0.044	-192.26			0.75	1.988	0.293	5,766.79
Longshore Sed. Trans. to South				-49,013.66	Longshore Sed. Trans. to North				768,365.89	

Conclusion: (1) Gross Longshore Sediment Transport = 817,379.55 m³/year
(2) Net Longshore Sediment Transport (Northward) = 719,352.23 m³/year

ตาราง E8.5 สรุปค่าปริมาณการพัดพาตะกอนชายฝั่งรายเดือนบริเวณพื้นที่ศึกษา

No	Month	To North	To South	Gross	Net	Remark
		(m ³ /month)	(m ³ /month)	(m ³ /month)	(m ³ /month)	
1	January	181,433.72	7,305.89	188,739.61	174,127.83	To NW
2	February	163,548.83	1,588.54	165,137.37	161,960.29	To NW
3	March	152,487.09	2,065.17	154,552.25	150,421.92	To NW
4	April	80,933.34	6,053.82	86,987.16	74,879.52	To NW
5	May	29,650.22	8,251.87	37,902.09	21,398.34	To NW
6	June	2,660.73	384.58	3,045.31	2,276.16	To NW
7	July	1,833.60	7,413.93	9,247.53	- 5,580.33	To SE
8	August	5,279.47	383.97	5,663.44	4,895.50	To NW
9	September	19,667.02	6,682.29	26,349.31	12,984.73	To NW
10	October	25,292.71	4,066.22	29,358.23	21,225.78	To NW
11	November	17,841.37	21,854.52	39,695.89	- 4,013.14	To SE
12	December	124,970.00	19,578.93	144,548.93	105,391.06	To NW
SUM		805,597.39	85,629.72	891,227.11	719,967.66	To NW



รูป E8.5 ปริมาณการพัดพาตะกอนรายเดือนในทิศตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ บริเวณพื้นที่ศึกษา

ภาคผนวก E9

การวิเคราะห์การพัดพาของตะกอนในทะเลโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์การพัดพาของตะกอนในทะเลโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์

1. INTRODUCTION

BBMT (Thailand) Co., Ltd. (BBMT) have commissioned BMT Marine Information Systems Ltd. (BMT) to conduct a modelling study of the dispersion of sediment disturbed during the laying of a pipeline in Songkhla Bay off the east coast of Thailand. The pipeline is to be laid in the proximity of several sensitive sites and therefore an indication of the extent of disturbed sediment transport and deposition is required. The method of pipe-laying varies along the pipeline and results in different quantities of sediment being disturbed at different locations.

Three different locations along the pipeline were of interest, two were chosen due to their proximity to vulnerable coral outcrops, the third was at a point during a pipe-laying phase where most material would be disturbed. The BMT PROTEUS model was used to model dispersion of sediment disturbed at each of the three locations to give an indication of deposition during a typical day of pipe-laying. This was then used to predict deposition along the length of the pipeline.

This report presents in detail, an overview of the data collation and processing, description of the model used, definition of model input data, full results from the model and discussion of the model outputs. Model results are provided in graphical formats.

2. MODEL DATA

BBMT have provided specific information regarding the proposed pipeline-laying programme. The method of laying the pipeline will vary along its length and therefore so will the amount of material that is disturbed. For location A, which is located near the coast at the beginning of the pipeline, the sediment will be removed using a grab and placed into a barge. As the grab is lifted through the water column some material will be lost, and it is this that will be modelled. For location B, which is further offshore and along the pipeline to the north-east of location A, the pipe will be laid by jetting the seabed to create a trench into which the pipe will be laid. This method disturbs considerably larger volumes than that at location A. For location C which is even further along the pipeline to the east of location B, the pipeline will be dropped onto the seabed creating a small disturbance of seabed sediment as the pipeline hits the seabed.

Location A was chosen to be a point on the pipeline in shallow water close to the coral outcrop Ko Kham. Location B was chosen to be at a point on the pipeline where jetting would be used, and Location C was chosen to be at a point on the pipeline close to the coral outcrop Ko Losin.

Approximate positions of model locations;

Location A: 701000E, 773200N

Location B: 744000E, 792000N

Location C: 834000E, 800500N

A map showing the planned pipeline route, and location of these modelling scenarios is shown in Figure E9.1.

For each location, BBMT provided data on the volumes of sediment disturbed, durations of disturbance, sediment particle size distributions and densities.

Particle size distributions for locations A, B and C are given in Figure E9.2. The sediment settling velocities were derived analytically from these size distributions and densities, using well-established theories developed by Dyer (1986) and Sleath (1984), detailed in Bryden & Carles (1998).

The data for each location is given in Table E9.1.

2.1 Environmental Input Data

2.1.1 Water Depth and Eddy Diffusivity Coefficients

The water depth was considered uniform in the area of the discharge and was set to 10 m at location A, 20 m at location B and 50 m at location C. Sediment was released at the sea surface to represent a worst case scenario.

Average diffusivities of $0.025 \text{ m}^2/\text{s}$ in the vertical direction and $0.25 \text{ m}^2/\text{s}$ in the horizontal direction (Copeland, 1996) were used in the modelling.

2.1.2 Hydrodynamics

The model uses three-dimensional information to drive the advection and dispersion of discharges. Tidal currents in the Songkhla Bay area are semi-diurnal in nature, and there is also significant, seasonally varying, residual currents.

Measured Current Meter Data

Current meter data was supplied by BBMT at three depths through the shallow water column (up to 8 m). This data had been recorded between 12:00, 20th August – 14:00, 24th August 1999, at a location close to the shore, near the modelled Location A. It was not possible to filter this data in order to obtain the residual and tidal components, as the time series was too short. The tidal currents could therefore not be analysed to produce tidal constituents for re-prediction. The meter data was therefore used as a reference to validate and scale the current data used in the model.

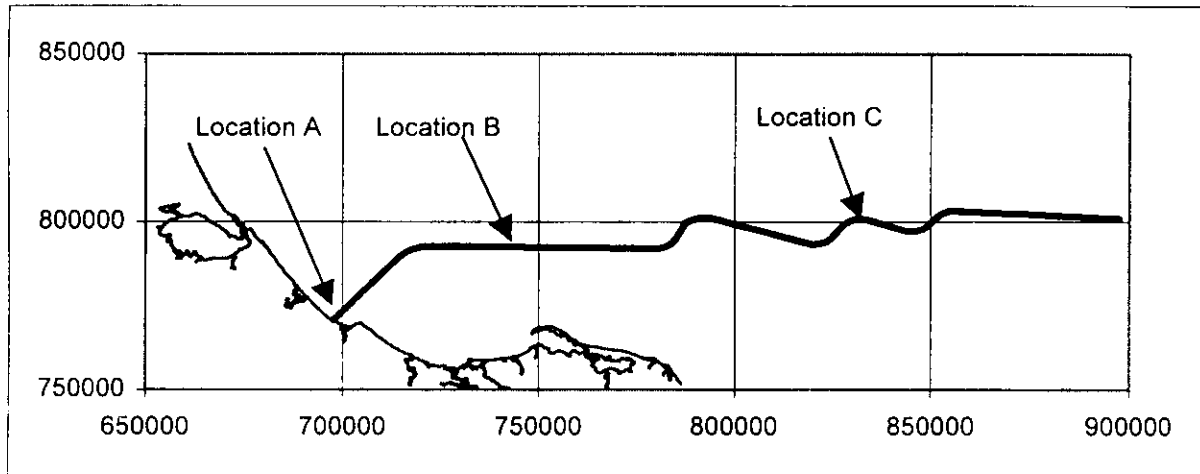
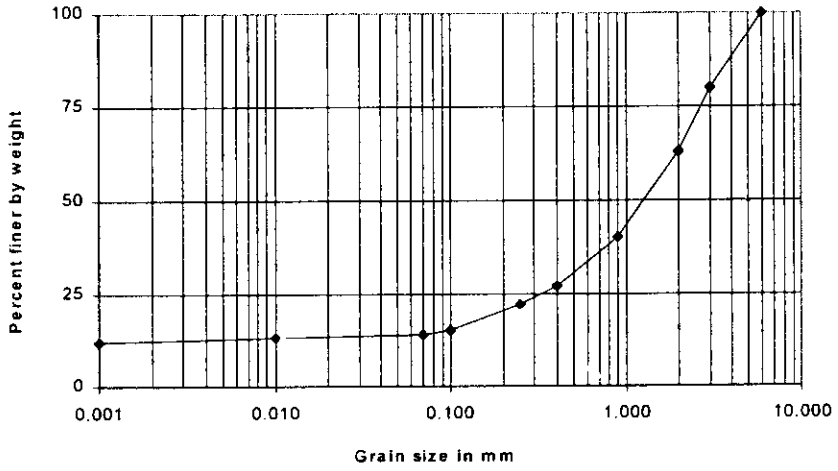
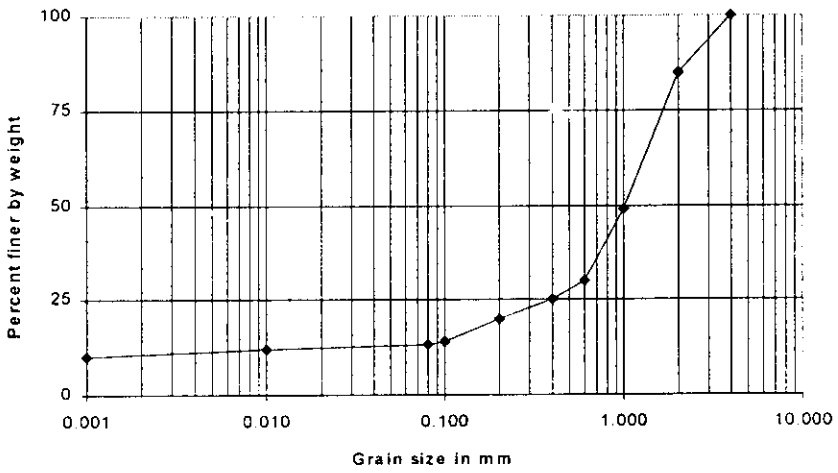


Figure E9.1 Map showing planned pipeline route, and location of the modelling scenarios

(a) Location A



(b) Location B



(c) Location C

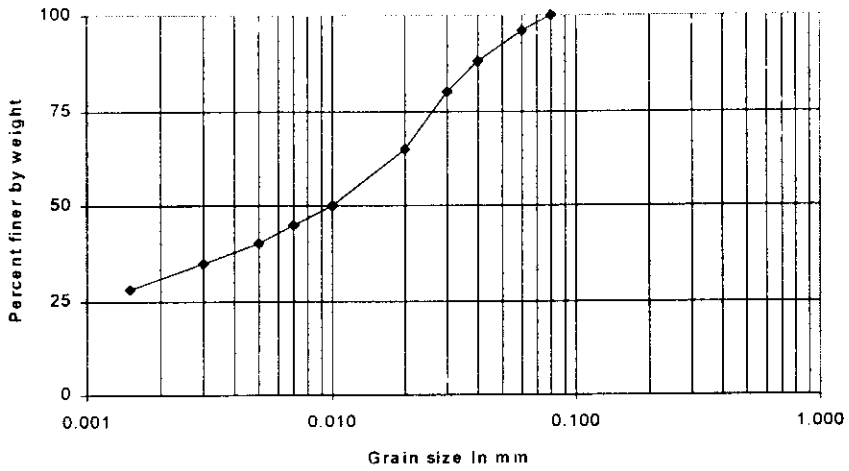


Figure E9.2 Particle size distributions for; (a) Location A ; (b) Location B; (c) Location C.

Table E9.1 Model input data for each location

Location	Position	Volume disturbance rate (m ³ /day)	Water depth (m)
A	701000 E, 773200 N	461	10
B	744000 E, 792000 N	4,500	20
C	834000 E, 800500 N	24	50

Hydrodynamic Model Data

The data used in the model was obtained from two sources. The first of these was from the Thai government's national data collection programme; Seawatch. Buoys at seven locations have collected oceanographic and meteorological data over several years, providing speed and direction of surface currents and wind. The Songkhla buoy, located at approximately 7.27° N, 101.144° E during 1993 and 1994 was located close to a section of the proposed pipeline route (near Location B). Although the data set is extensive, it should be noted that it is not continuous, and the location of the buoy varies slightly over time.

This data was filtered to separate the tidal and residual current components, after interpolating over any gaps in the data. The tidal currents were then analysed to obtain tidal constituents and these were used to predict tidal currents during the two principal monsoon seasons. The average residual component for each season was also determined.

The second source used was BMT's existing current database for the Gulf of Thailand, taken from Mouchel's (1997) numerical model. This provides tidal surface currents, on a 2.5 km grid close to the coast, and on a 50 km grid in the open ocean. Residual currents are also provided, but these are on the 50km grid throughout the Gulf.

For each of the proposed model locations, the tidal and residual current components from both sources were validated against each other, against the current meter data provided by BBMT, and against the UK Admiralty Pilot (1982) for the region. The best combination of data was used for each location.

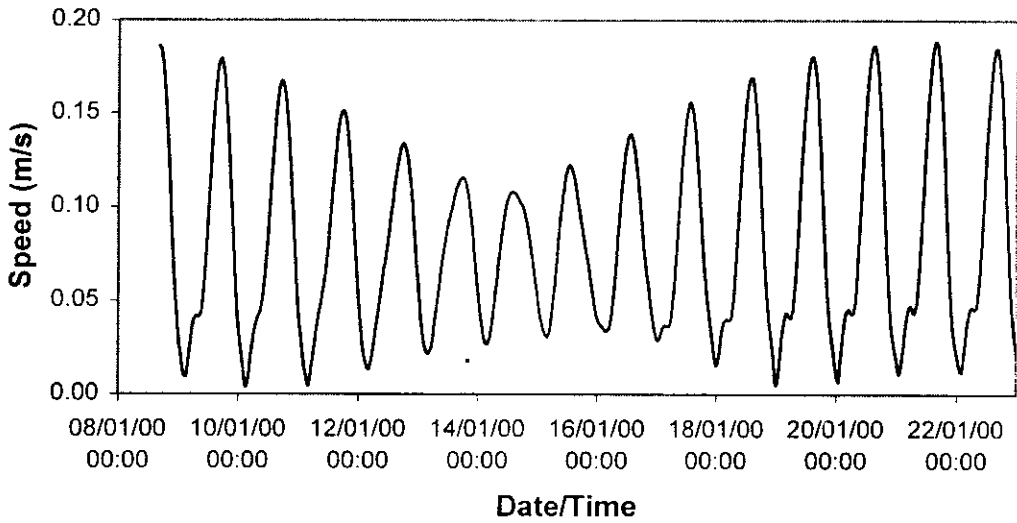
The resolution of residual currents from BMT's existing database is rather coarse, and it was thought this would not be representative of the current regime at the coastal locations of A and B. However, it was felt suitable for use at Location C, in the open waters of the Gulf.

The tidal component derived from the Songkhla buoy, which was close to location B, was not adequate for use at the other two locations, A and C, which were both over 50 km away.

Therefore, at Location A, BMT's existing tidal database was used together with the Songkhla buoy residual component, although this was scaled down, as the location was so close to the shore.

At Location B, the tidal and residual components derived from the Songkhla buoy data were used, and at Location C, BMT's existing current database was used for both the tidal and residual components.

(a)



(b)

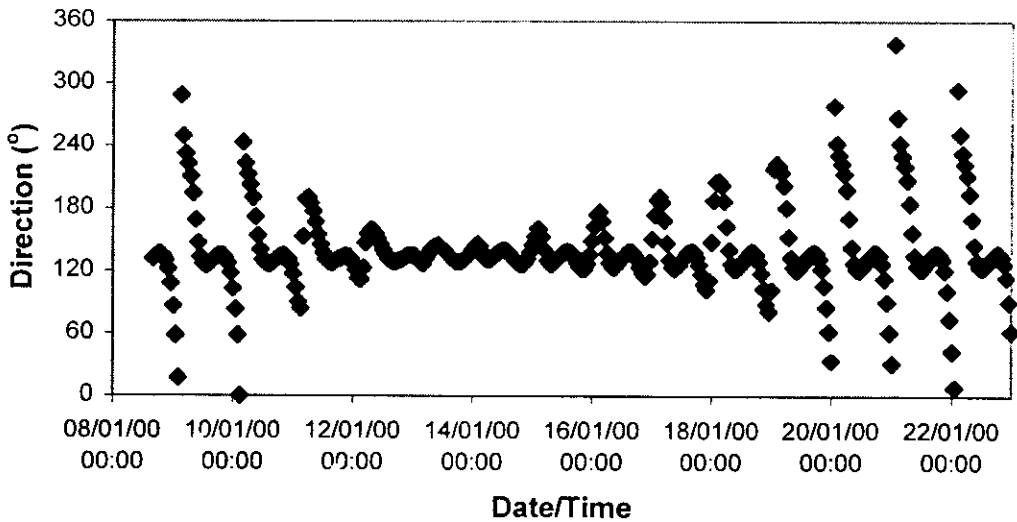
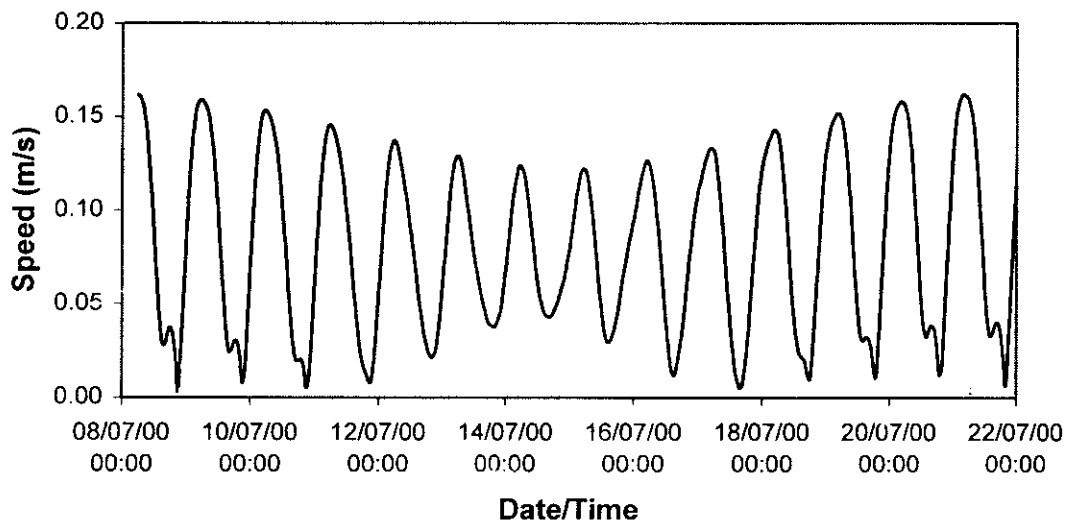


Figure E9.3 Resultant current (a) speed and (b) direction for Location A in January (NE monsoon)

(a)



(b)

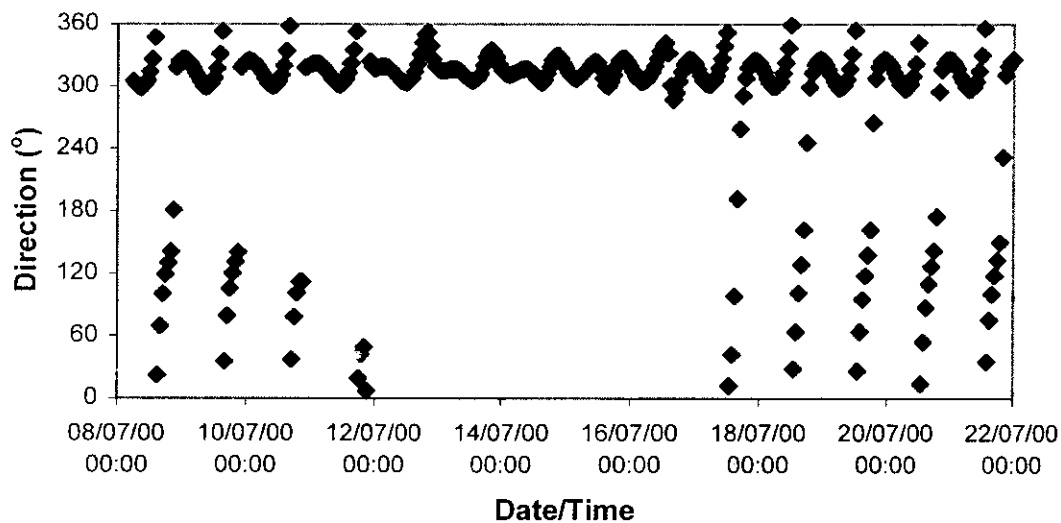
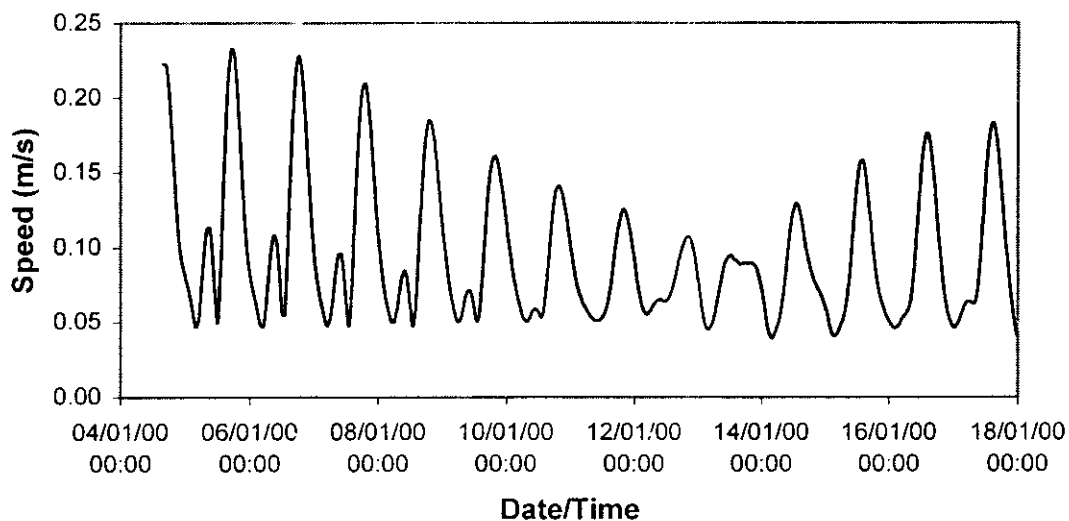


Figure E9.4 Resultant current (a) speed and (b) direction for Location A in July (SW monsoon)

(a)



(b)

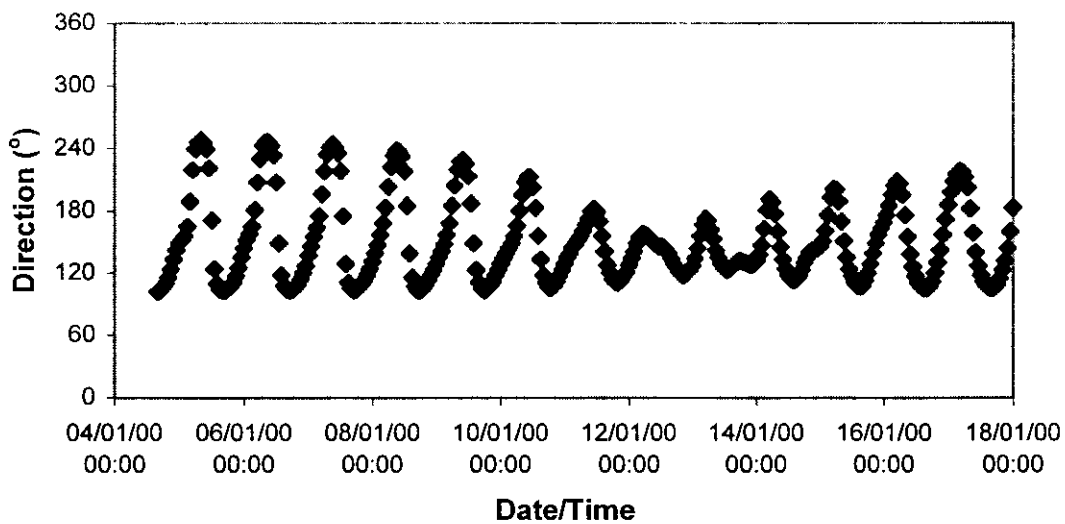
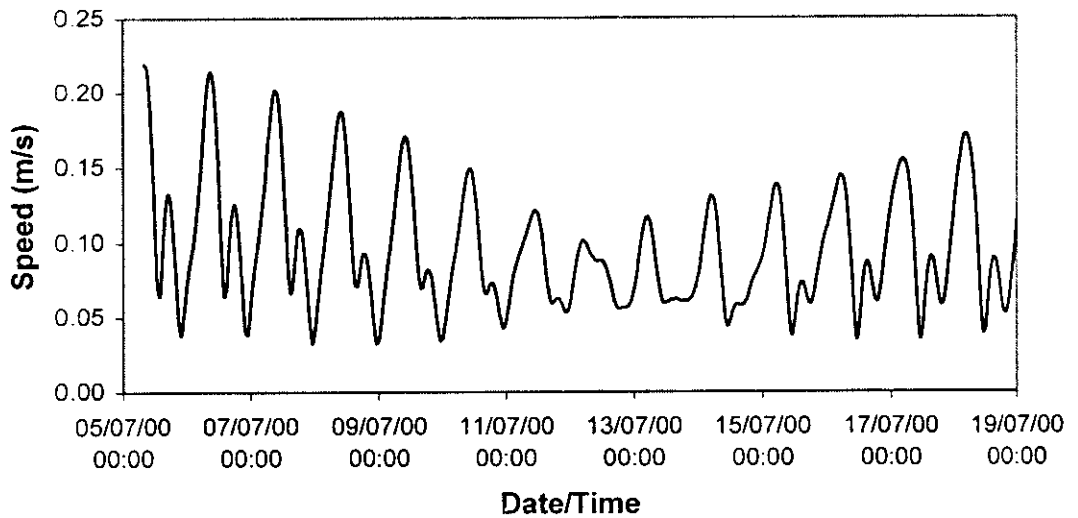


Figure E9.5 Resultant current (a) speed and (b) direction for Location B in January (NE monsoon)

(a)



(b)

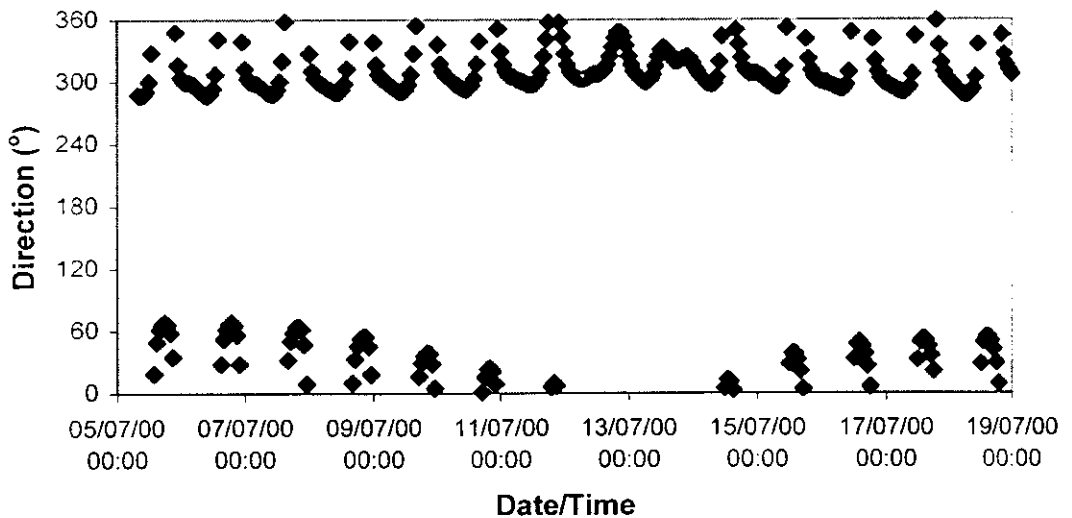
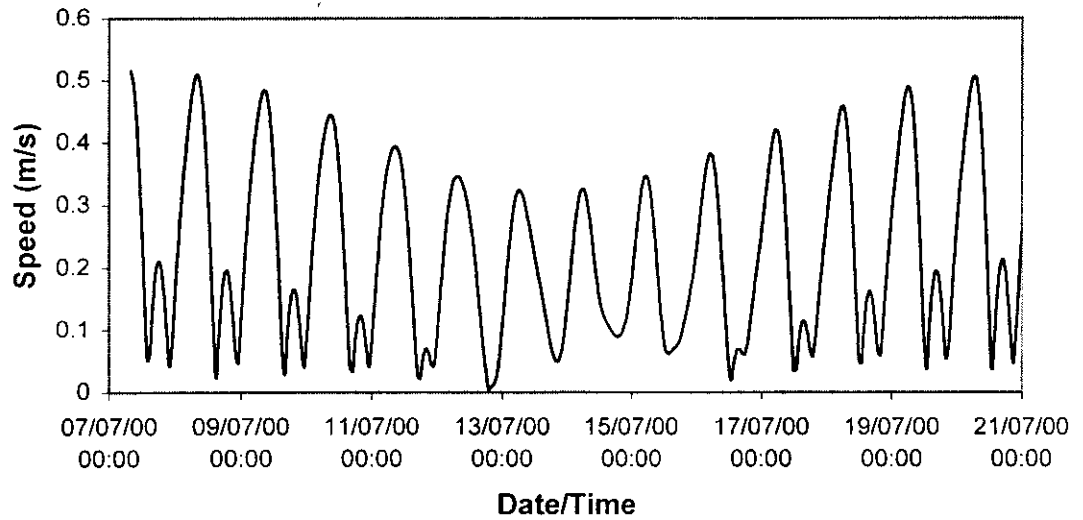


Figure E9.6 Resultant current (a) speed and (b) direction for Location B in July (SW monsoon)

(a)



(b)

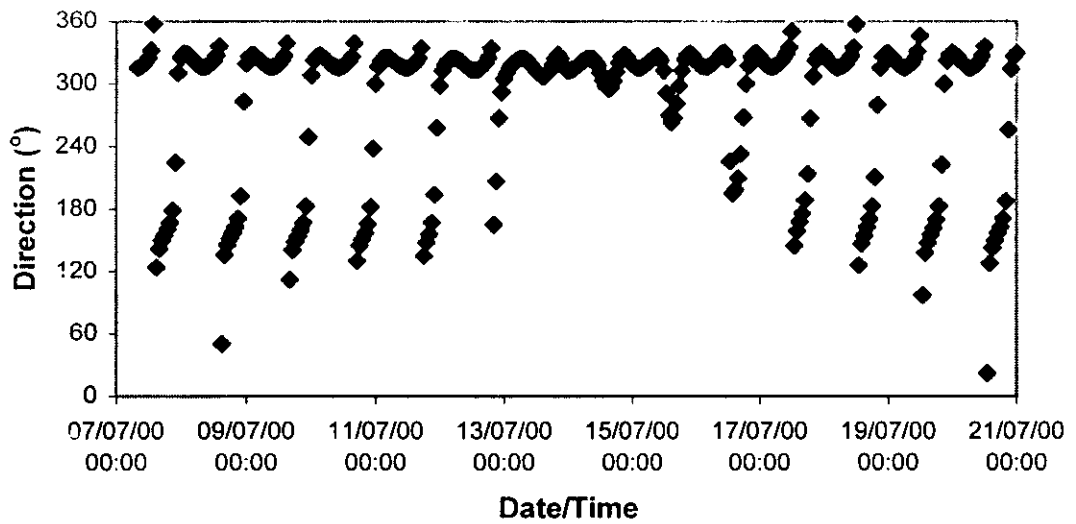


Figure E9.7 Resultant current (a) speed and direction for Location C in July (SW monsoon)

3. DISPERSION MODELLING

The dispersion of sediment disturbed at each location was modelled using the BMT PROTEUS model. A full description of the model is given in below. The total sediment volume at each location was represented by 30,000 random particles. The model was run for one day of sediment disturbance in each case and then allowed to run for sufficient extra time to allow all the sediment to settle. This was to provide an indication of the extent of sediment deposition over a typical day of pipe-laying. For locations A and B, the model was run for both NE and SW monsoons, for location C it was run for SW monsoon only.

The model's particle tracking computational time step was set at 90 seconds. During discharge periods, particles were released every 15 minutes. The horizontal grid of the model had a cell size of 20 m x 20 m. The quantity of sediment deposited on the seabed during the disturbance was determined by computing the number of deposited particles in each 20 m x 20 m cell. The volume of each particle was determined from the total discharge volume; the combined volume of the particles in the grid cell was divided by the cell area (in this case 400 m²) to give the *average* thickness over the area. As this gives an average thickness, it should be noted that there will be areas that have a larger and smaller thickness of deposited material within the cell. In some cases, the average thickness may even be less than the minimum particle size.

3.1 THE PROTEUS MODEL

The Pollution Risk Offshore Technical Evaluation System (PROTEUS) has been developed by BMT to predict the fate and impact of discharged drilling mud, cuttings and produced waters in the marine environment. It is based on a discrete particle representation concept which considers the physical, geo-chemical and biological mechanisms from which the fate and impact of drilling discharges can be predicted.

Development of PROTEUS has been sponsored by a consortium of oil companies and the UK Government under the 'Managing Impacts on the Marine Environment' (MIME) programme. The model is based on research conducted at world-leading institutions in the fields of dispersion physics, geochemistry and ecotoxicology. PROTEUS's core models are being used on a consultancy basis and in this study, the drill mud and cuttings physical dispersion model has been used.

- **Theory**

The drilling mud and cuttings model uses a particle-tracking approach. The discharge is represented by the release of a discrete number of particles during each time step of the model simulation. Each particle has an individual size and density, determined by the model from input density distribution data. The model is provided with hydrodynamic data which is used in the simulation of particle advection and dispersion in three dimensions. The particles' size and density are used to determine the settling characteristics of the mud and cuttings.

(1) Particle advection

The model can consider advection of particles by tidal and wind-induced currents. As well as advecting the particles, current shear through the water column acts to disperse particles. Current shear is calculated by the model using well-established equations described by van Veen, and as quoted in Bowden (1965), (see also van Dam and Louwersheir (1992)).

(2) Particle diffusion

Turbulent diffusion processes (in this case dispersion processes other than current shearing) are simulated using a random walk technique. At each time step, $\delta\tau$, individual particles are subject to a three dimensional random displacement, $\delta\mathcal{F}$. The scale of displacement in each dimension at each time step is determined by the following equation:

$$\delta\mathcal{F} = \sqrt{2E\delta\tau}$$

where E is the diffusivity coefficient.

The direction in which particles move is determined using a random number generator subroutine based on Schrage's algorithm (Bratley *et al*, 1983). The random seeds used in Schrage's algorithm are altered at each time step.

(3) Particle settling

In theory, particle settling is a function of a few quantifiable parameters, such as particle density, particle size and water density. The rate at which particles settle is termed the settling velocity. The distribution of particle sizes and densities within the discharged mud and cuttings is used to determine the distribution of particle settling velocities within the discharged material. At each model time step when discharge is occurring, the model releases a set of particles with a range of settling velocities in proportion to this distribution.

However, the settling of material in seawater is more complex than this theoretical approach. Experimental observations suggest that the mud dispersion is actually subject to very complicated flow phenomena which can make calculation of settling velocities more difficult. For instance, as discharge particle concentration increases, inter-particle collisions occur more frequently and cause enhanced flocculation and aggregation. This enhanced aggregation of particles may accelerate the descent of mud and cuttings discharges. Therefore, the settling speed is often multiplied by an acceleration factor, F , which is given by the following empirical formula:

$$F = 0.013.C^\varepsilon$$

where C is the local concentration of the fine particles. ε takes an empirical value of approximately 1.3. The factor is restricted to values between 1 and 100 according to Bowers and Goldenblatt (1978) and Brandsma *et al* (1992).

Where water-based muds (WBM) are discharged it is assumed that separation of the mud from the cuttings will occur fairly readily upon contact with the sea-water, and aggregation will be minimal. In this case the acceleration factor F , is not included. If synthetic oil-based muds (SOBM) are discharged, it is assumed that they will not disaggregate, and will therefore remain attached to the cuttings particles, settling at the same velocity as the cuttings to which they are attached.

(4) Boundary Conditions

Mud and cuttings particles are assumed stationary once they reach the seabed. Re-suspension can be considered only when information on erosion and sedimentation mechanisms at the seabed including critical hydrodynamic shear stresses around the discharge area is known. Thus, particle re-suspension is not considered in this study.

A symmetric reflection boundary condition is applied to particles which reach the sea surface. This boundary condition usually applies to fine particles which reach the surface through the random walk process.

- **Model Output**

The model predicts the deposition pattern of particles on the seabed. The number of particles per unit area is calculated and particle volume information is then used to determine the seabed thickness of drilling discharge.

4. RESULTS

As mentioned in the previous section, the model was run for 1 day to evaluate the extent of sediment disturbed in a typical day of pipe-laying. This could then be used to approximate the extent of sediment disturbed over the length of the pipeline.

Figures E7.8 to E7.12 show the results of the dispersion modelling. The plots illustrate the predicted seabed deposition pattern of disturbed sediment that has settled, displayed as contours of sediment thickness on the seabed. In order to show the extent of sediment deposition, the minimum contour band has been set to a value smaller than the majority of sediment sizes.

Figures E9.8 and E9.9 show the seabed thickness deposition of re-settled sediment from Location A during the SW and NE monsoons respectively. Disturbed material settles over an area of approximately 1000 m x 400 m (to a thickness of 0.01 mm) with a maximum thickness of 786mm and 798 mm at the point of the disturbance during SW and NE monsoons respectively. During the SW monsoon sediment is carried to the north-west of the pipeline, and during the NE monsoon it is carried to south-east but to a lesser extent making thicknesses greater and the deposition area smaller. At thicknesses of 0.01 mm, material is deposited sparsely, the bulk being deposited around the 1mm contour.

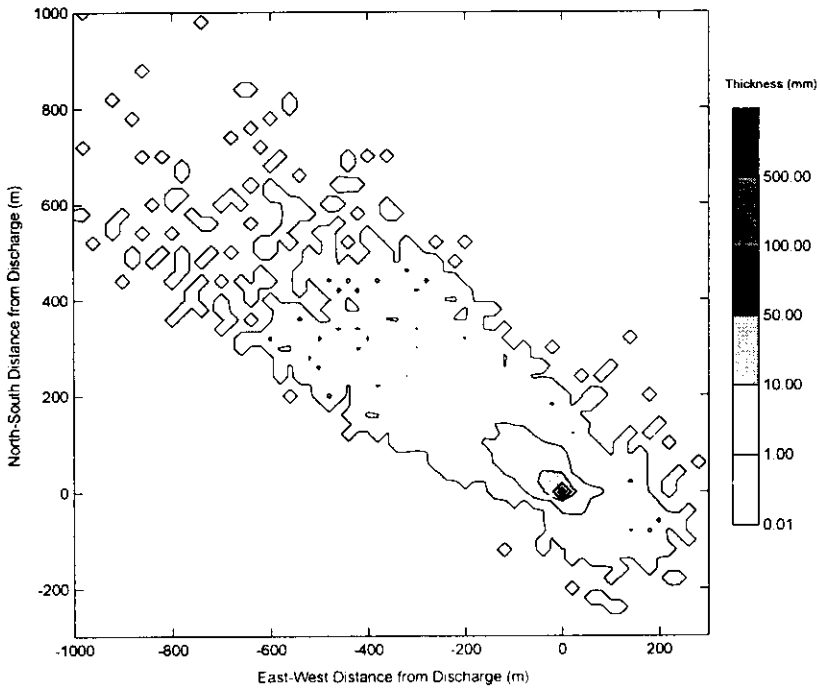


Figure E9.8 Seabed thickness of re-settled sediment from Location A during SW monsoon.

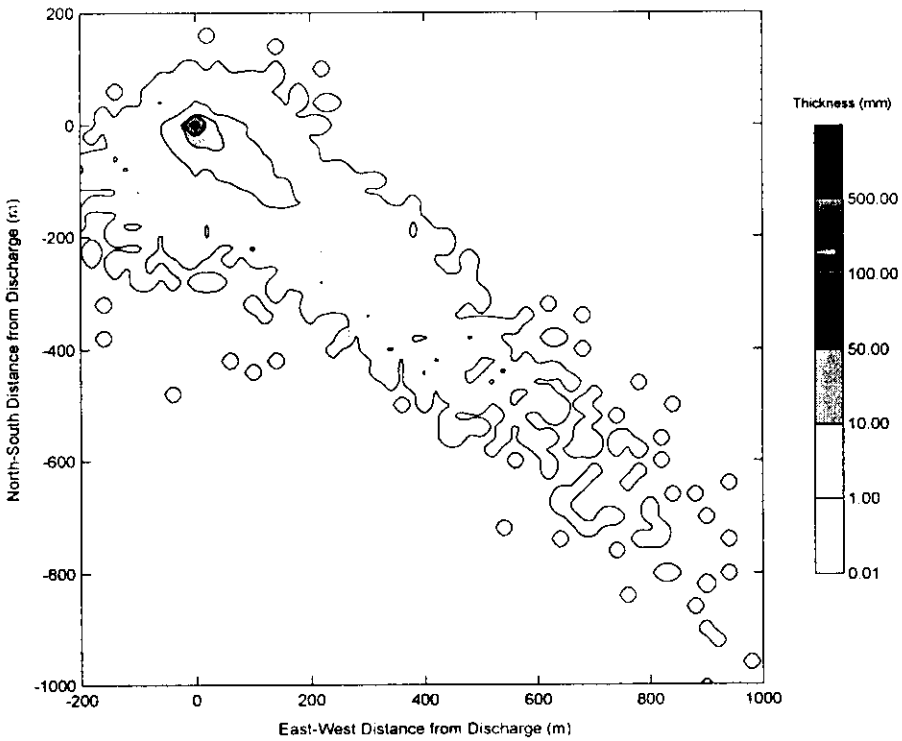


Figure E9.9 Seabed thickness of re-settled sediment from Location A during NE monsoon.

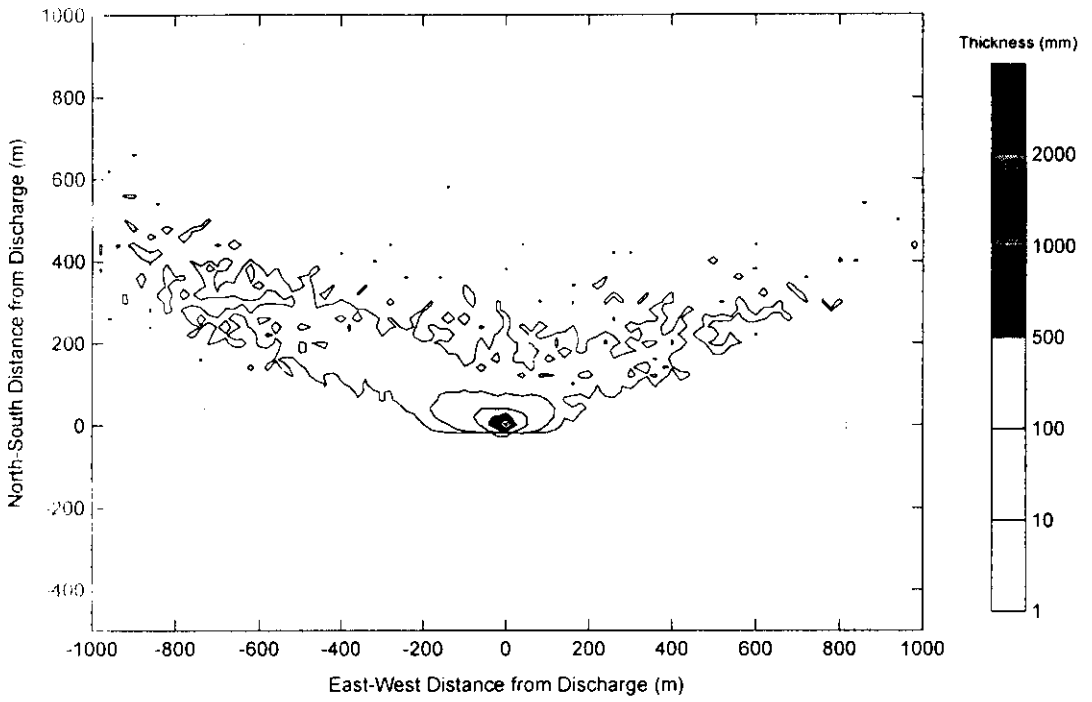


Figure E9.10 Seabed thickness of re-settled sediment from Location B during SW monsoon.

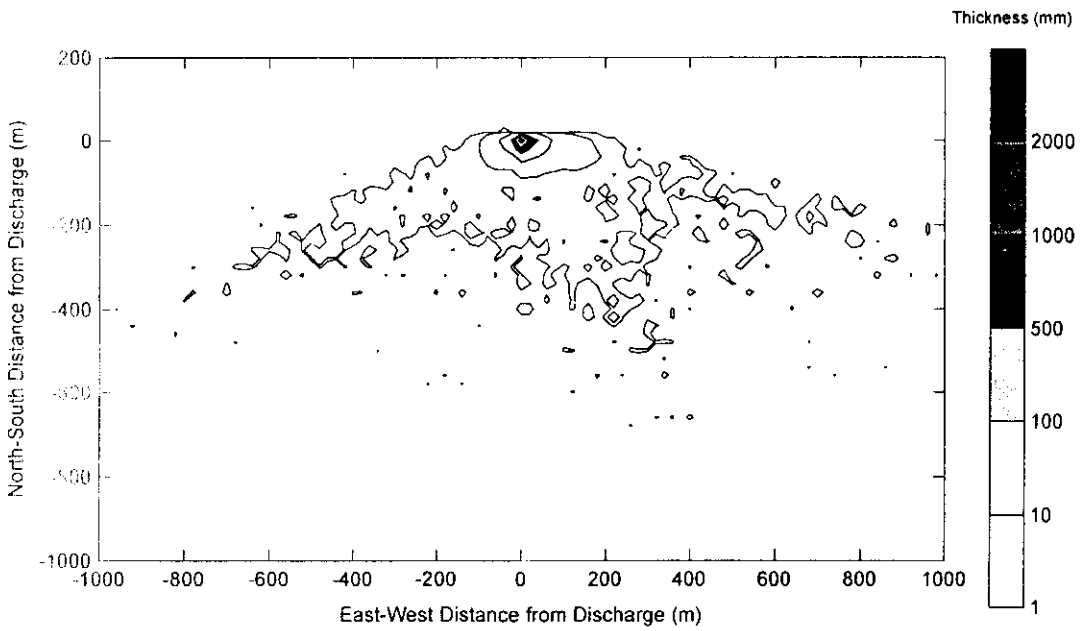


Figure E9.11 Seabed thickness of re-settled sediment from Location B during NE monsoon.

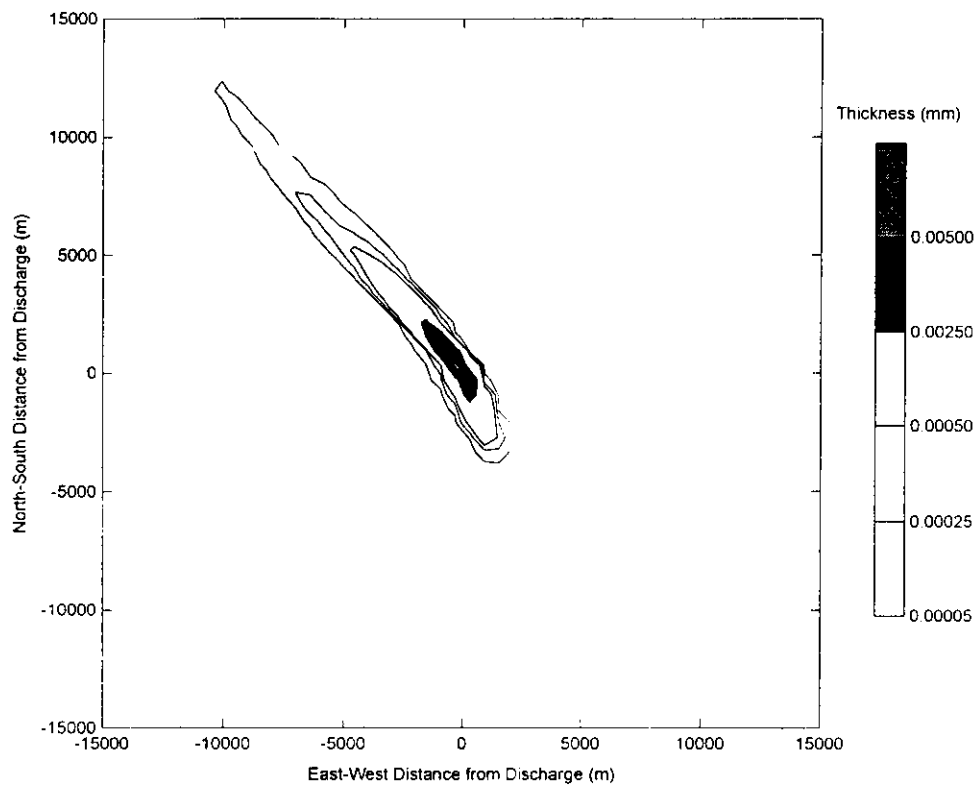


Figure E9.12 Seabed thickness of re-settled sediment from Location C during SW monsoon.

Figures E9.10 and E9.11 show the seabed thickness deposition of re-settled sediment from Location B during the SW and NE monsoons respectively. Disturbed material settles over an area of approximately 1600m x 200m (to a thickness of 1mm) with a maximum thickness of 2158mm and 2485mm at the point of the disturbance during SW and NE monsoons respectively. During the SW monsoon sediment is carried to the north of the pipeline, and during the NE monsoon it is carried to south but to a lesser extent making thicknesses greater and the deposition area smaller. At thicknesses of 1mm, material is deposited sparsely, the bulk being deposited around the 10 mm contour.

Figure E9.12 shows the seabed thickness deposition of re-settled sediment from Location C during the SW monsoon. Disturbed material settles to the north of the pipeline over an area of approximately 10.5 km x 2.5 m (to a thickness of 0.00005mm) with a maximum thickness of 0.02 mm at the point of the disturbance. From the plot of sediment particle sizes for location C, shown in Figure E9.2 (c), it can be seen that the minimum particle size for is approximately 0.001mm. Therefore the minimum thickness contour of 0.0005mm is unrealistic, but is shown in order to indicate the sparseness of particles reaching these extents.

Figures E9.13 to E9.15 show the extent of deposition along the pipeline in the vicinity of each location obtained by extending the minimum thickness contour. Figure E9.13 shows the extent of sediment deposited during both monsoon seasons to a thickness of 0.01mm (shown in red) and 1mm (shown in gold) for location A. It can be seen that Ko Kham lies well outside these extents.

Figure E9.14 shows the extent of sediment deposition during both monsoon seasons to a thickness of 0.01mm for location B. It can be seen that although the volumes disturbed during the jetting phase at location B are much greater than for that of locations A and C, disturbed sediment does not settle near any vulnerable areas.

Figure E9.15 shows the extent of sediment deposition during SW monsoon to a thickness of 0.00005 mm (the 0.01 mm thickness contour lies approximately 500 m north of the pipeline, and therefore could not be shown clearly at this scale). Although Ko Losin is contained within the deposition area, material is deposited very sparsely at this point to thicknesses of 0.00025mm, where the minimum sediment size at location C as shown in Figure E9.2 (c) is approximately 0.001mm.

It should be noted that the model did not consider the affects of re-suspension of the disturbed sediment after deposition. This is extremely difficult to predict, especially at Location A, where the affect of wash or breaking waves is likely to occur. However, a qualitative assessment of the likelihood of re-suspension has been undertaken at each location, using the critical erosion velocities for different sediment types, as quoted by Heathershaw, Sternberg [1972] and Raudkivi [1990], and subsequently described by Copeland [1996]. Current shear velocities were calculated 1m above the seabed at each location, using the 1/7th power law. It was assumed that at Locations A and B, the sediment ranged from fine to coarse sand, and at C it was predominantly clay and fine silt.

At all three locations, owing to the fairly weak currents (maximum of 0.2 m/s (A), 0.24 m/s (B) and 0.5 m/s (C)), it is extremely unlikely that re-suspension will occur. There may be some exceptions, especially at Location A where the shallower water may lead to increased wave activity (which is not considered in the critical shear velocity studies), but these are not likely to be significant.

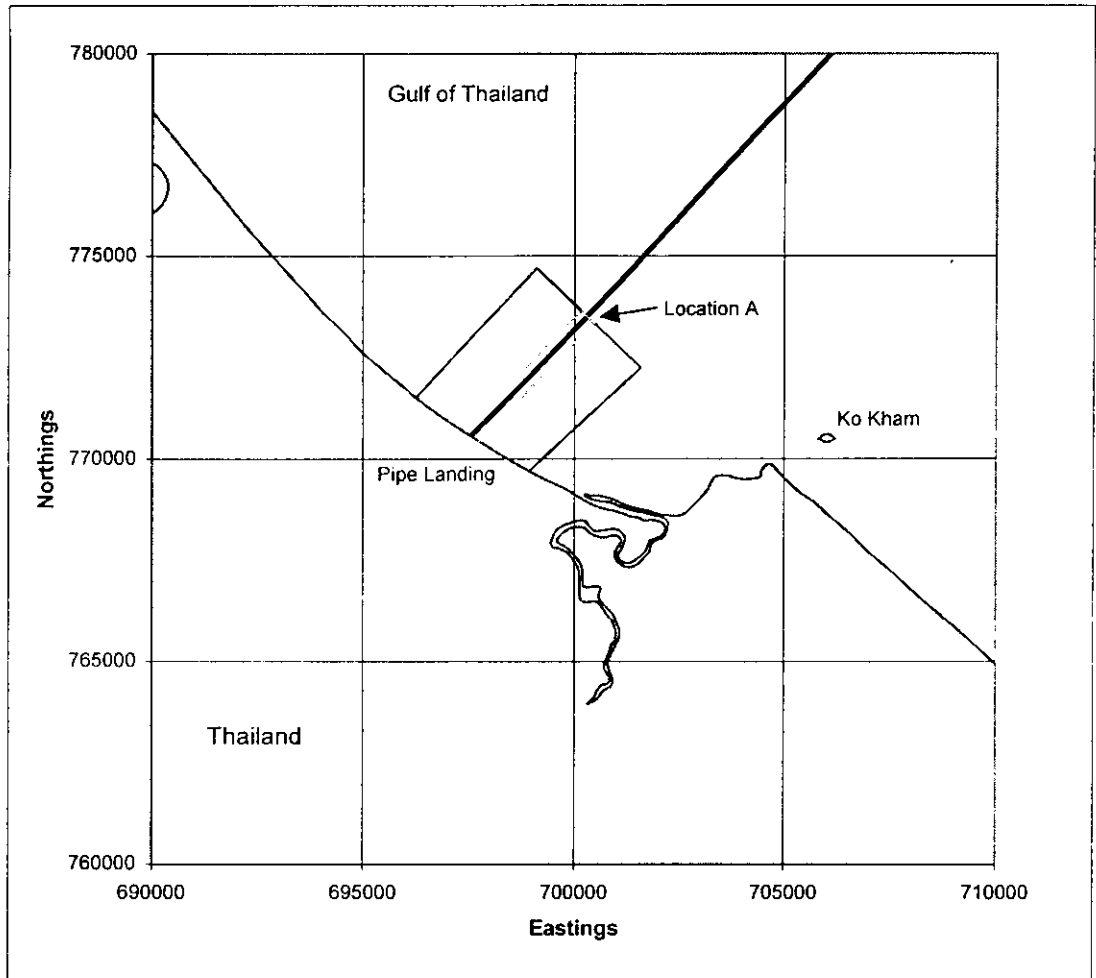


Figure E9.13 Plot showing the extent of deposited sediment to a thickness of 1 mm (Gold) and 0.01 mm (Red) during both monsoon seasons at location A

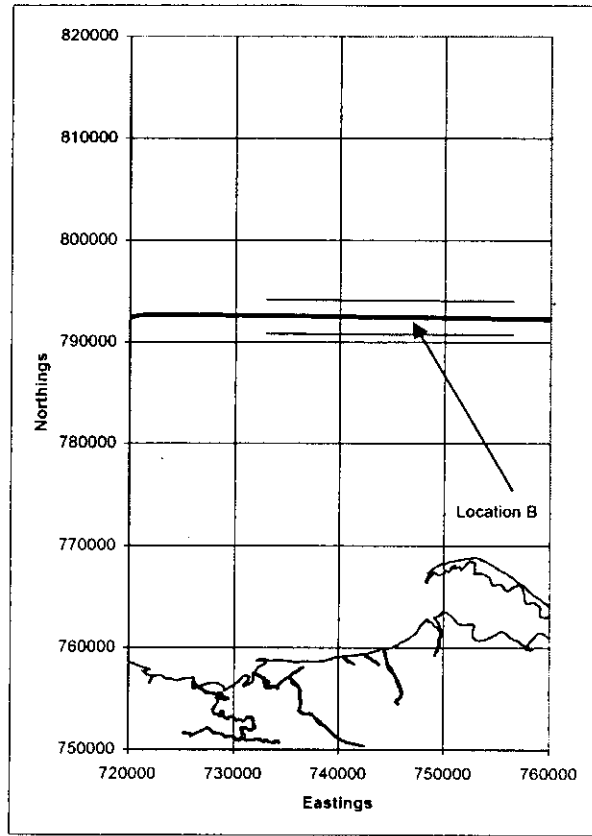


Figure E9.14 Plot showing the extent of deposited sediment to a thickness of 0.01mm during both monsoon seasons at location B

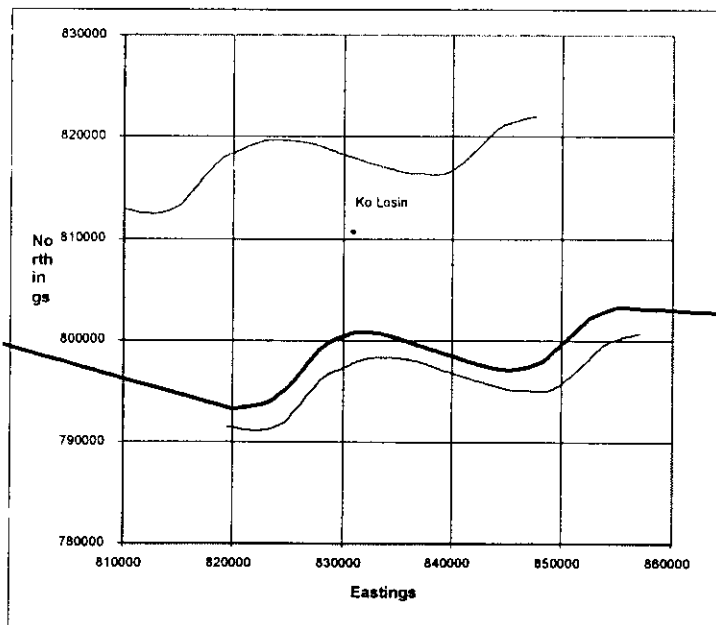


Figure E9.15 Plot showing the maximum extents of deposited sediment during the SW Monsoon at location C

5. CONCLUSION

BMT have conducted a modelling study of the dispersion of sediment disturbed during the laying of a pipeline in Songkhla Bay off the east coast of Thailand. Three different locations were modelled due to their proximity to vulnerable sites and different volumes of sediment disturbed. The conclusions of this study are as follows:

(1) At location A disturbed sediment settled over an area of approximately 1000m x 400 m (to a thickness of 0.01 mm) with a maximum thickness of 786 mm and 798 mm at the point of the disturbance during SW and NE monsoons respectively. During the SW monsoon sediment was carried to the north-west of the pipeline, and during the NE monsoon it was carried to south-east. At the extents of the deposition area furthest away from the disturbance point, material was distributed very sparsely and did not reach the coral outcrop Ko Kham.

(2) At location B disturbed sediment settled over an area of approximately 1600m x 200 m (to a thickness of 1mm) with a maximum thickness of 2158 mm and 2485 mm at the point of the disturbance during SW and NE monsoons respectively. During the SW monsoon sediment was carried to the north of the pipeline, and during the NE monsoon it was carried to south. Although the volumes disturbed during this phase of pipe-laying were much greater, settled sediment did not reach any vulnerable areas.

(3) At location C disturbed sediment settled to the north of the pipeline over an area of approximately 10.5 km x 2.5 m (to a thickness of 0.00005 mm) with a maximum thickness of 0.02 mm at the point of the disturbance. Although Ko Losin was contained within the deposition area, material was deposited very sparsely at this point to thicknesses of 0.00025 mm, where the minimum sediment size at location C was 0.001 mm.

(4) Although re-suspension was not modelled, a qualitative assessment was undertaken at each location, and it is considered that re-suspension is unlikely to occur under normal conditions.

REFERENCES

- Brandsma, M.G., Smith, J. P., O'Reilly, J. E., and Ayers, Jr., R. C., *Modelling Offshore Discharges of Produced Water, in Produced Water*. (Ed. J. P. Ray and F. R. Engelhart), Plenum Press, New York, 1992.
- Bratley, P., Fox, B.L. and Schrage, E.L., *A guide to simulation*. (New York, Springer-Verlag), 1983.
- Bowden, K. F., *Horizontal mixing in the sea due to a shearing current*. J. Fluid Mech., Vol. 21 Part 2, 1965.
- Bowers, G. W. and Goldenblatt, M. K., *Calibration of a predictive model for instantaneously discharged material*. U.S. E.P.A. Report No. EPA-600/3-78-089, 1978.
- Bryden, I. G., Carles, L. J., *Predicting the Behaviour of Drilled Cuttings Released into Sea Water*. Proceedings of the Eighth (1998) International Offshore and Polar Engineering Conference. Monireal, Canada, May 24-29, 1998.
- Copeland, G., *UK Seminar on current research on data rich models of tidal flow and effluent dispersion*. University of Strathclyde, Department of Civil Engineering Report. Glasgow. 1996.
- van Dam, G.C and Louwersheimer, *A three dimensional transport model for dissolved and suspended matter in estuarine and coastal seas*. In Prandle. D. (Ed.), Dynamics and exchange in estuaries and the coastal zone. Coastal and estuaries studies, Washington, D.C., 1992.
- Dyer, K.R., *Coastal and estuarine sediment dynamics*. A Wiley-Interscience publication, 1986.
- Heathershaw, A.D. *Sediment transport in the sea, on beaches and in rivers: Part 2 – sediment movement*. J.N.S Vol. 14 No. 4 ,
- Mouchel Consulting Ltd., *Gulf of Thailand. Current Data for BMT*. Internal Report, 1997.
- Raudkivi, A.J.), *Loose Boundary Hydraulics*. 3rd Edn, Pergamon Press, 1990.
- Sleath, J.F.A., *Seabed Mechanics*. A Wiley-Interscience publication, 1984.
- Strenberg, R.W., *Predicting initial motion and bedload transport of sediment particles in the shallow marine environment*. In: Shelf Sediment Transport: Process and Pattern (Ed. Swift *et al.*) Hutchinson and Ross Inc., 1972.
- UK Admiralty, *China Sea Pilot Vol. II*. 4th Edn, Published by the Hydrographer of the Navy, Taunton, UK Table 1. Model input data for each location, 1982.
- Van Dam, G.C and Louwersheimer.), *A three dimensional transport model for dissolved and suspended matter in estuarine and coastal seas*. In Prandle. D. (Ed.), Dynamics and exchange in estuaries and the coastal zone. Coastal and estuaries studies, Washington, D.C., 1992.