

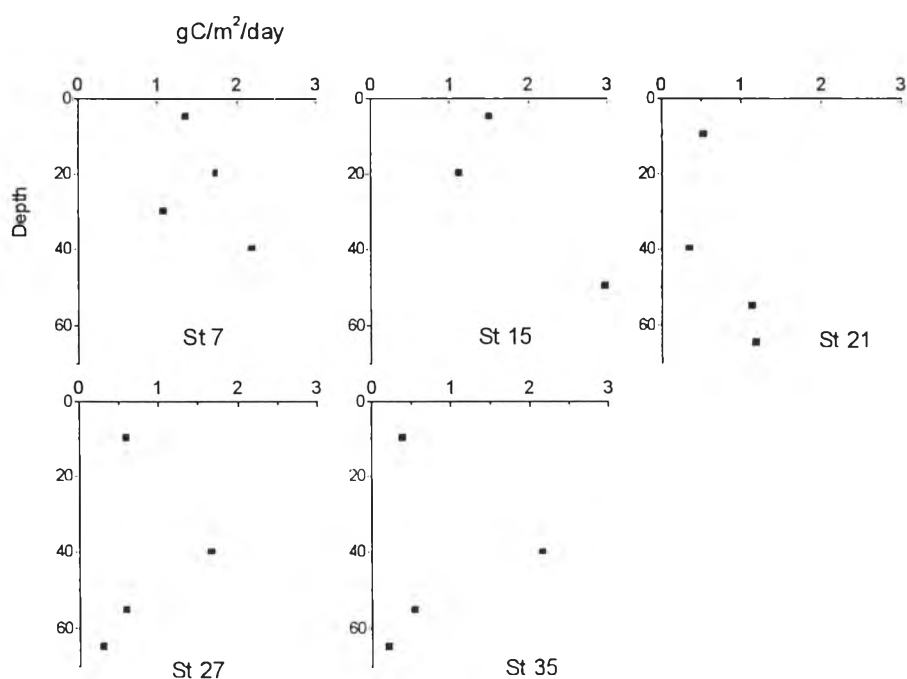
บทที่ 3

ผลการศึกษา

จากการศึกษาการหมุนเวียนของคาร์บอนในอ่าวไทย ในช่วงก่อนฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ. 2538 และ ตุลาคม 2539 นั้น ได้ผลการศึกษาดังนี้

ผลผลิตขั้นต้น

1. อัตราของผลผลิตขั้นต้นในพื้นที่ที่ศึกษาที่วิเคราะห์ตามวิธีคำนวณของ Parsons *et al.*, (1984) ในบทที่ 2 ชั้นตอน 2.3.1 นั้นมีค่า 0.2-2.19 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร/วัน โดยค่าสูงสุดพบที่ความลึก 40 เมตรของสถานีที่ 7 และค่าต่ำสุดพบที่ความลึก 65 เมตรของสถานีที่ 35 (รูปที่ 2) ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 ปริมาณผลผลิตขั้นต้นในน้ำที่วัดได้ (มิลลิกรัมคาร์บอน/ลูกบาศก์เมตร/วัน) ที่สถานีที่ 5, 15, 21, 27 และ 35 ในเดือนตุลาคม 2539

2. สมการต่าง ๆ สำหรับการหาผลผลิตขั้นต้นในน้ำ ตามบทที่ 2 ชั้นตอน 2.3.2 ซึ่งจากการศึกษาในพื้นที่อ่าวไทยครั้งนี้ มีรูปแบบสมการความสัมพันธ์เป็น 3 สมการเป็นดังต่อไปนี้

2.1 สมการความเข้มแสงต่อความลึก (Light intensity–depth curve) ซึ่งนำความเข้มแสงกับความลึกที่แสงส่องถึงมาสร้างความสัมพันธ์ เนื่องจากการแบ่งชั้นน้ำ และปริมาณคลอโรฟิลล์ที่สูงกลางน้ำ (subpycnocline chlorophyll maximum) ซึ่งโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 40 เมตร มีอิทธิพลต่อตัวแปรทั้งสอง จึงมีผลทำให้ความสัมพันธ์แบ่งเป็น 2 แบบ (รูปที่ 3) ดังนี้

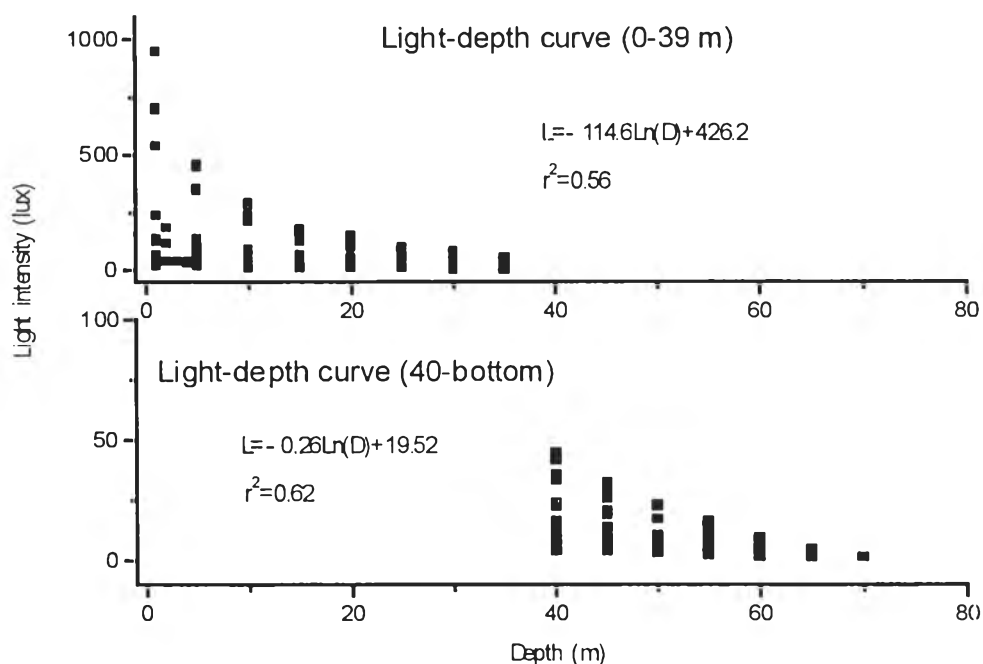
- ความสัมพันธ์จากระดับผิวน้ำทะเลถึงความลึก 39 เมตร มีสมการคือ

$$L = -114.65 \ln(D) + 426.16 \quad r^2 = 0.5628,$$

- ความสัมพันธ์จากความลึก 40 เมตรถึงระดับน้ำชั้นล่างสุด มีสมการคือ

$$L = -0.2633(D) + 19.524 \quad r^2 = 0.6242,$$

โดยที่ L คือ ความเข้มแสง (ลักซ์), D คือ ความลึกในน้ำทะเล (เมตร)



รูปที่ 3 สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับความลึกของพื้นที่ที่ศึกษา ในระหว่างเดือน กันยายน-ตุลาคม 2538 โดยแบ่งเป็น 2 สมการ ที่ระดับความลึกน้ำ 40 เมตร (L คือ ความเข้มแสงเป็นลักซ์ และ D คือ ความลึกเป็นเมตร)

2.2 สมการความเข้มแสงต่อเวลา (Light – time curve) มีความสัมพันธ์แบ่งได้เป็น 2 สมการ (รูปที่ 4) เนื่องจากความเข้มแสงที่แปรเปลี่ยนไปในช่วงวันไม่เท่ากัน

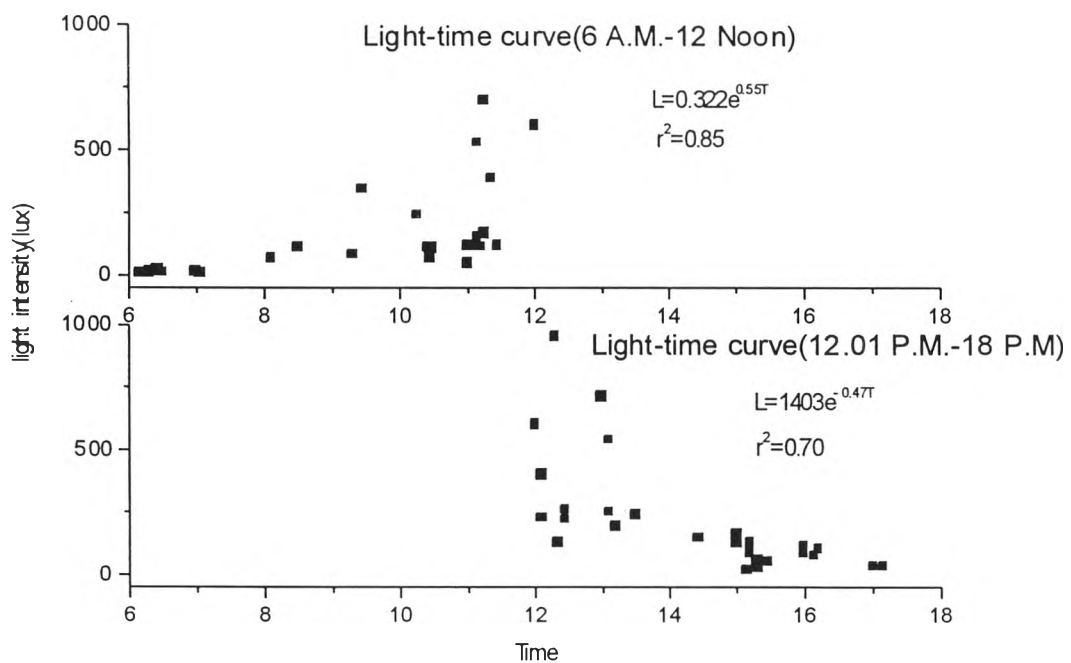
- ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา 6 นาฬิกาถึง 12 นาฬิกา คือ

$$L = 0.3217 e^{0.5489t} \quad r^2 = 0.8512,$$

- ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหลังจาก 12 นาฬิกาถึง 18 นาฬิกา คือ

$$L = 140282 e^{-0.4737t} \quad r^2 = 0.7038,$$

โดยที่ L คือความเข้มแสง (ลักซ์), t คือ เวลาระหว่างวัน



รูปที่ 4 สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับเวลาของพื้นที่ที่ศึกษา
ในระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2538 โดยแบ่งเป็น 2 สมการ
ที่เวลา 12.00 น. (L คือ ความเข้มแสงเป็นลักซ์ , t คือ เวลาในระหว่างวัน)

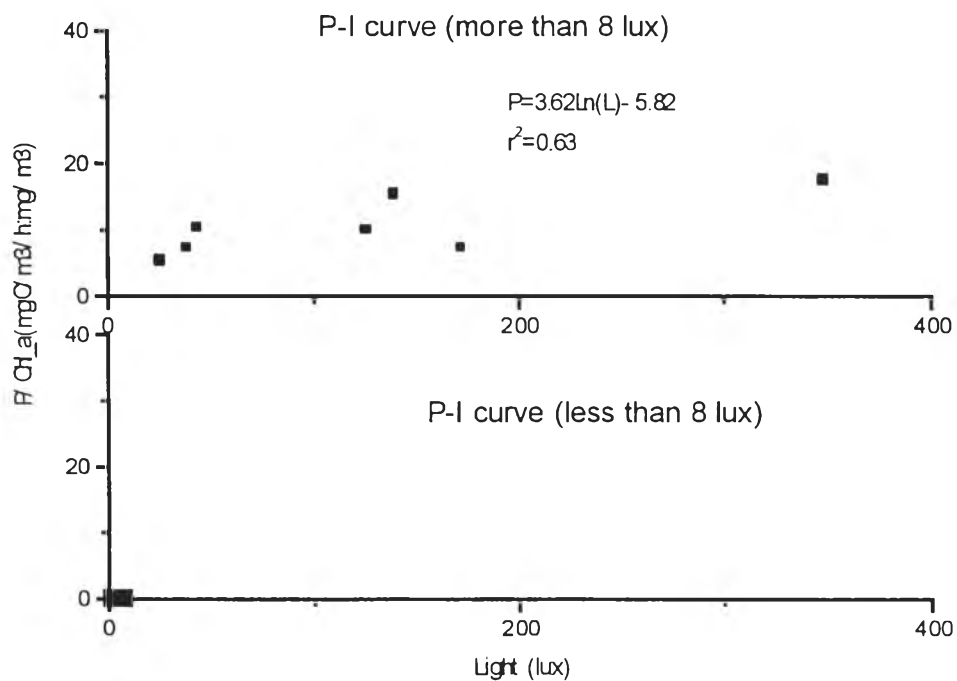
2.3 สมการผลผลิตขั้นต้นต่อความเข้มแสง (P-I curve) พบความสัมพันธ์เพียงสมการเดียวตามสมการ (รูปที่ 5) ดังนี้

- ความสัมพันธ์ที่มีความเข้มแสงมากกว่า 8 ลักซ์ คือ

$$P = 3.6216 \ln(L) - 5.8195 \quad r^2 = 0.6336,$$

โดยที่ P คือ สัดส่วนระหว่างผลผลิตขั้นต้นต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (มิลลิกรัมคาร์บอน/ลูกบาศก์เมตร/วัน : มิลลิกรัมคาร์บอน/ลูกบาศก์เมตร), L คือความเข้มแสง (ลักซ์)

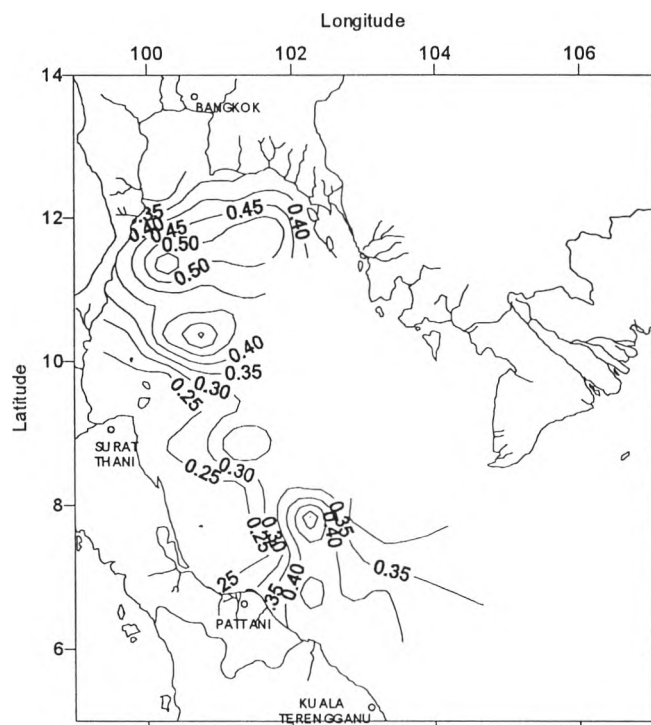
สำหรับที่ความเข้มแสงน้อยประมาณ 8 ลักซ์ จากการพลอตกราฟความสัมพันธ์ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบผลผลิตขั้นต้น ดังนั้นในการศึกษาผลผลิตขั้นต้นในอ่าวไทยครั้งนี้ จึงกำหนดให้มีผลผลิตขั้นต้นในมวลน้ำที่มีความเข้มแสงมากกว่า 8 ลักซ์



รูปที่ 5 สมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของผลผลิตขั้นต้นกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ต่อความเข้มแสง ของอ่าวไทยในระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2538 มี 1 สมการ ที่ความเข้มแสงมากกว่า 8 ลักซ์ (P คือ สัดส่วนของผลผลิตขั้นต้นกับคลอโรฟิลล์ เอ เป็นมิลลิกรัมคาร์บอน/ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง : มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร, L คือ ความเข้มแสงเป็นลักซ์)

3. การกระจายของผลผลิตขั้นต้น (Distribution of primary production)

จากวิธีการคำนวณตามบทที่ 2 ขั้นตอนที่ 2.3.3 โดยใช้สมการที่ศึกษาได้ในข้อ 2 (บทที่ 3) พบผลผลิตขั้นต้นรวม (Depth integrated primary production) ในอ่าวไทยมีค่าอยู่ในช่วง 0.20 – 0.605 กรัมคาร์บอน/ ตารางเมตร/ วัน (ตารางที่ 1) จากการศึกษาความแตกต่างค่าเฉลี่ยในทางสถิติ โดยใช้แบบทดสอบสถิติ-Z ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าผลผลิตขั้นต้นรวมที่พบกระจายในบริเวณที่ศึกษานี้ มีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ค่าของผลผลิตขั้นต้นรวมนี้พบแนวโน้มมีค่าสูง (0.5-0.6 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร/วัน) บริเวณนอกฝั่ง จ.ประจวบคีรีขันธ์ และชุมพร (สถานีที่ 6, 7, 10, 11 และ 19 : ตารางที่ 1 และ รูปที่ 6) และพบแนวโน้มมีค่าต่ำของผลผลิตขั้นต้นรวม (0.2-0.3 กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร/วัน) บริเวณนอกฝั่ง จ. นครศรีธรรมราช และสงขลา (สถานีที่ 30 – 42 ยกเว้นสถานีที่ 36 ดังแสดงค่าไว้ในรูปที่ 6 และตารางที่ 1



รูปที่ 6 ผลผลิตขั้นต้นรวมทั้งหมดของอ่าวไทย (มิลลิกรัมคาร์บอน/ลูกบาศก์เมตร/วัน) ในระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2538

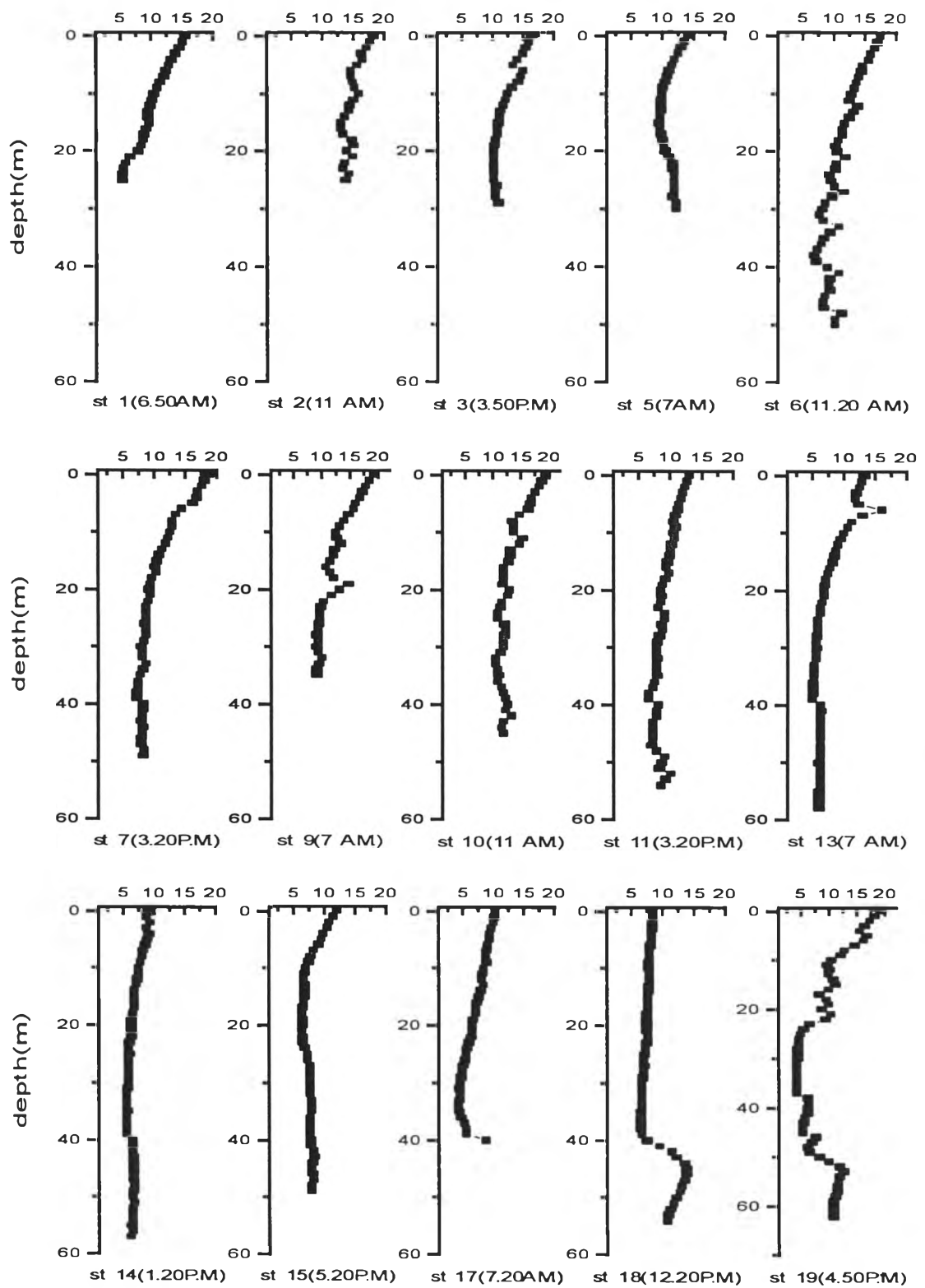
ตารางที่ 1 ผลผลิตขั้นต้นรวมทั้งหมด (Depth integrated primary production)
บริเวณสถานีต่าง ๆ ในอ่าวไทยในระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2538
(กรัมคาร์บอน/ตารางเมตร/วัน)

Station	P(gC/m ² /day)	Station	P(gC/m ² /day)
1	0.26	25	0.25
2	0.39	26	0.29
3	0.36	28	0.42
5	0.35	30	0.25
6	0.56	31	0.23
7	0.52	32	0.24
9	0.45	34	0.31
10	0.61	35	0.29
11	0.50	36	0.56
13	0.44	38	0.22
14	0.39	39	0.20
15	0.39	40	0.21
17	0.28	42	0.25
18	0.47	43	0.43
19	0.58	45	0.31
21	0.33	46	0.31
22	0.34	49	0.41
23	0.24	50	0.38
		51	0.49

สำหรับผลผลิตขั้นต้นในน้ำทะเลตามระดับความลึก มีค่าประมาณ 0.18-19.64 มิลลิกรัมคาร์บอน/ลูกบาศก์เมตร/วัน (ภาคผนวกตารางที่ 6) ยกเว้นสถานีที่ 30 พบค่ามากที่สุดที่ระดับน้ำลึก 23 เมตร ในอัตราถึง 28.31 มิลลิกรัมคาร์บอน/ลูกบาศก์เมตร/วัน สำหรับในสถานีที่อยู่ใกล้ฝั่ง เช่นสถานีที่ 5, สถานีที่ 9 และสถานีที่ 23 (รูปที่ 7) ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความลึกไม่เกิน 35 เมตรนั้น ผลผลิตขั้นต้นในน้ำจะมีค่าค่อนข้างสูงที่บริเวณผิวน้ำ ส่วนสถานีที่อยู่ห่างฝั่งซึ่งเป็นบริเวณที่ความลึกน้ำมากกว่า 40 เมตร จะพบผลผลิตขั้นต้นในน้ำ มีค่าค่อนข้างสูงในบริเวณกลางน้ำ เช่นสถานีที่ 18, สถานีที่ 28 และสถานีที่ 36 (รูปที่ 7) เนื่องจากสถานีดังกล่าวมีปริมาณคลอโรฟิลล์สูงที่บริเวณกลางน้ำ (subpycnocline chlorophyll maximum, ภาคผนวก ก.1)

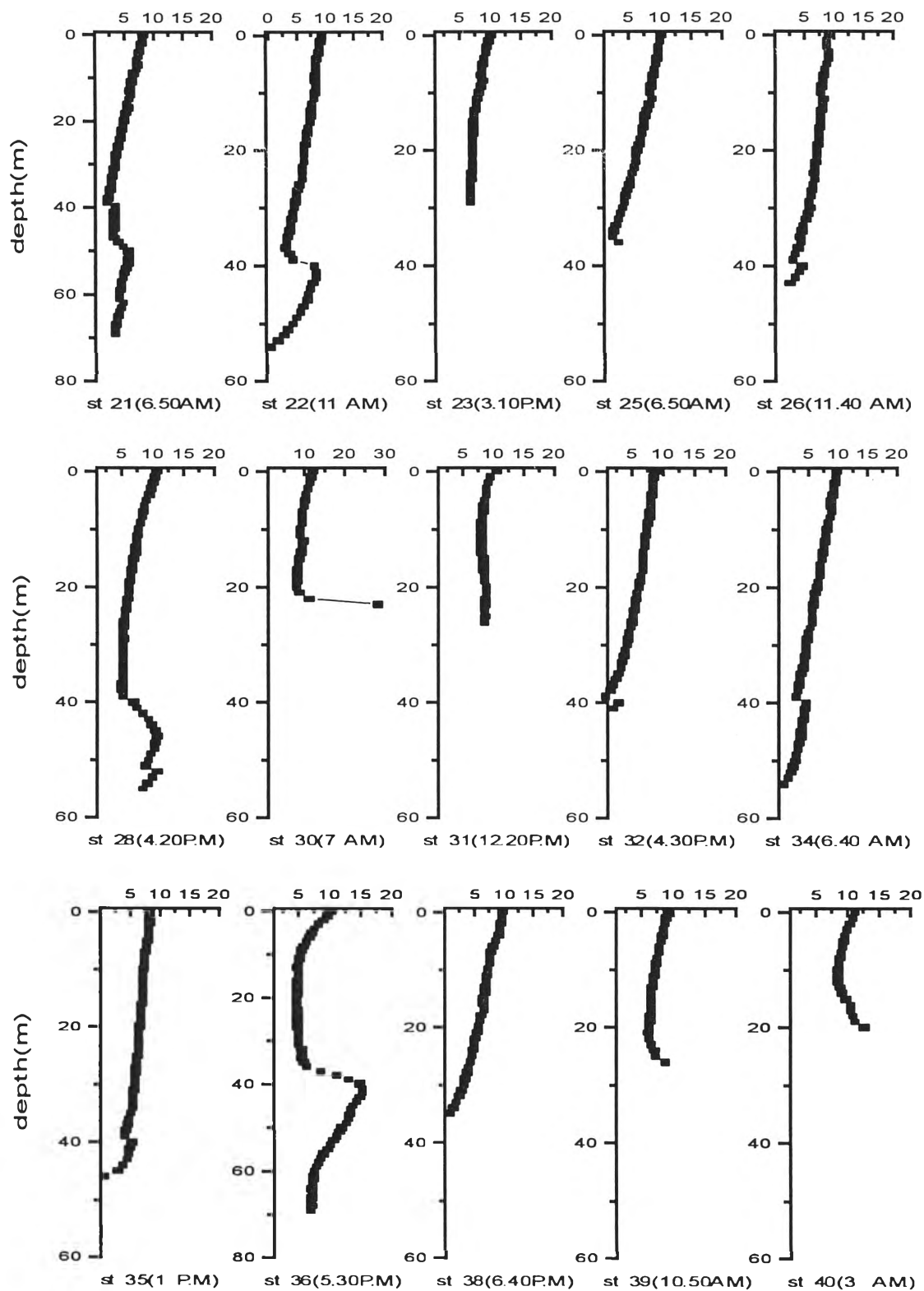
ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้แบบทดสอบสถิติ-Z ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทดสอบแบบสองข้าง ใช้ค่าความน่าจะเป็นแบบปกติตามตารางของ กัลยา วาณิชย์บัญชา (2540) พบว่าระหว่างผลผลิตขั้นต้นบริเวณผิวน้ำ (จากผิวน้ำถึง 10 เมตร)และบริเวณกลางน้ำ (ประมาณ 35 ถึง 50 เมตร) ซึ่งพบผลผลิตขั้นต้นในน้ำสูงนั้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่บางสถานีผลผลิตขั้นต้นในน้ำที่บริเวณผิวน้ำและบริเวณกลางน้ำ จะมีแนวโน้มที่จะแตกต่างจากระดับอื่นๆ โดยเฉพาะสถานีที่ 9, 19, 21, 22, 28, 34, 36, 43 และ 51 (รูปที่ 7)

อ่าวไทยบริเวณพื้นที่ที่ศึกษามีผลผลิตขั้นต้นรวมทั้งหมดในปริมาณ $1.01E+12$ โมลคาร์บอน/ปี (หรือ $1.21E+13$ กรัมคาร์บอน/ปี, คำนวณจากค่าเฉลี่ยของผลผลิตขั้นต้นรวม (Depth integrated primary production) ในอ่าวไทย โดยใช้พื้นที่ของสถานีรวม 51 สถานี 184,000 ตารางกิโลเมตร และข้อมูลผลผลิตขั้นต้นจากเดือนกันยายน-ตุลาคม 2538 เท่านั้น, วิธีการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก.3)

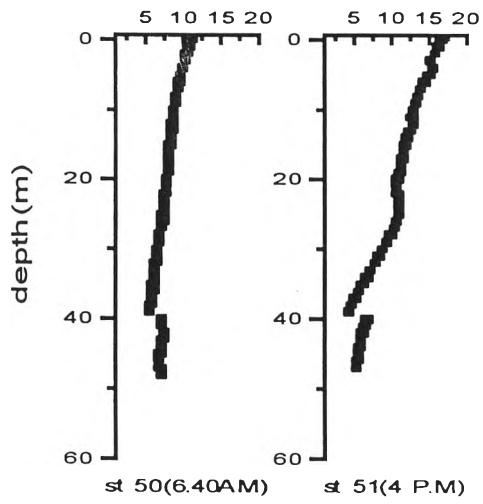
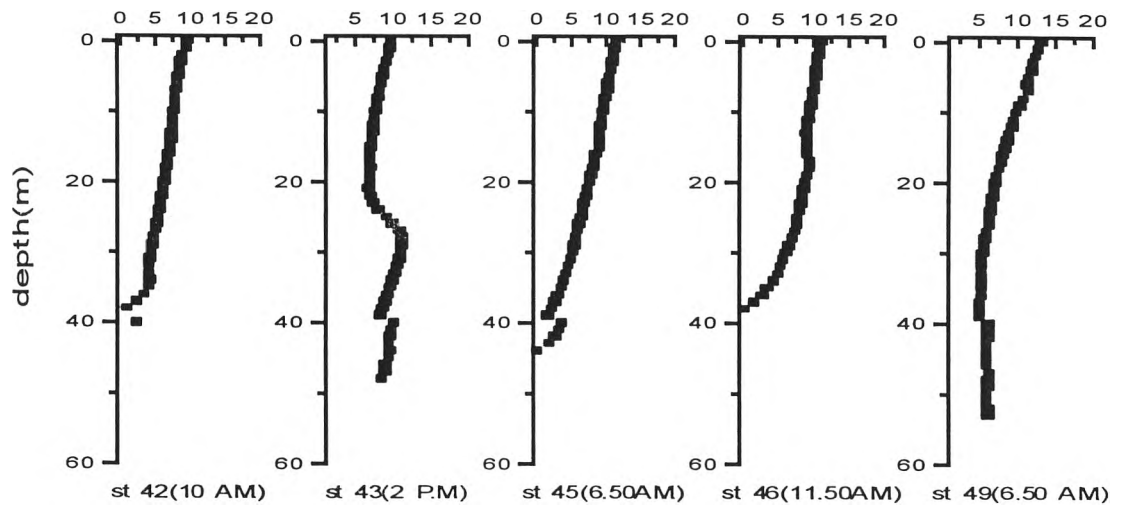


รูปที่ 7 ผลผลิตชั้นต้นรวมทั้งหมดของอ่าวไทย (มิลลิกรัมคาร์บอน/ลูกบาศก์เมตร/วัน)

ในระหว่างเดือนกันยายน-ตุลาคม 2538



รูปที่ 7 (ต่อ)

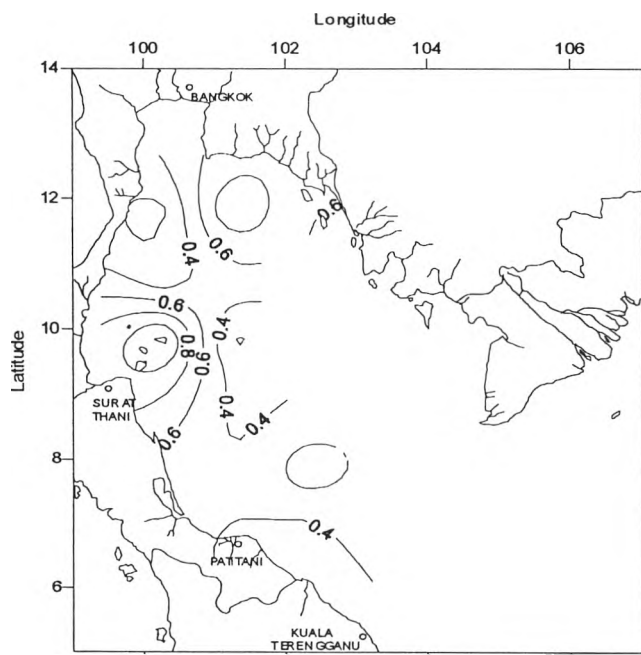


รูปที่ 7 (ต่อ)

อินทรีย์คาร์บอนในตะกอน

จากการศึกษาพบว่าอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนมีค่าประมาณ 0.051 – 1.28% (ตารางที่ 2) สำหรับที่ระดับ 0-2 เซนติเมตรจะมีค่าสูงกว่าระดับอื่น โดยอินทรีย์คาร์บอนที่ผิวตะกอนมีค่าประมาณ 0.15-1.28 % โดยค่าที่มากกว่า 1% พบบริเวณผิวตะกอนที่สถานีที่ 7 และสถานีที่ 23 บริเวณนอกฝั่งอ่าวบ้านดอน จ. สุราษฎร์ธานี (รูปที่ 8) ส่วนอินทรีย์คาร์บอนในดินชั้นล่างจะมีปริมาณน้อยกว่าที่ผิวตะกอนเมื่อระดับความลึกเพิ่มขึ้น (รูปที่ 9) และพบค่าความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (1-WAY ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของอินทรีย์คาร์บอนในชั้นต่อตะกอนระหว่างชั้นบนสุด (0-2 ซม) กับชั้นล่างลงไปในการศึกษาครั้งนี้ อินทรีย์คาร์บอนในตะกอนที่บริเวณผิวมีค่าสูงกว่าในชั้นดินระดับล่างลงไป ยกเว้นสถานีที่ 21 (รูปที่ 9) หากพิจารณาเฉพาะอินทรีย์คาร์บอนที่ผิวตะกอนของแต่ละสถานี พบค่าความแตกต่างทางสถิติตลอดในพื้นที่ที่ศึกษา แต่ถ้าแบ่งพื้นที่ออกเป็นสถานีใกล้ฝั่ง (สถานีที่ 9, 15, 23, 30, 38 และ 51) และสถานีไกลฝั่ง (สถานีที่ 7, 13, 21, 28, 36 และ 49) พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติของอินทรีย์คาร์บอนของตะกอนที่ชั้นบนสุด ระหว่างสถานีใกล้ฝั่งและสถานีไกลฝั่ง (ตารางที่ 3 และ 4)

อัตราการสะสมของอินทรีย์คาร์บอนในตะกอนทั้งหมดของพื้นที่ที่ศึกษาเท่ากับ $4.14E+10$ โมลคาร์บอน/ปี ค่านี้คำนวณจากค่าเฉลี่ยของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ผิวตะกอนจากเดือนกันยายน-ตุลาคม 2538 เท่านั้น, อัตราการตกตะกอนของอ่าวไทยของบริเวณที่ศึกษาเฉลี่ย 107 มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร/ปี (Srisuksawad *et al.*, 1997) และพื้นที่ของสถานีรวม 51 สถานี 184,000 ตารางกิโลเมตร (วิธีการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก.5)



รูปที่ 8 อินทรีย์คาร์บอนที่ผิวตะกอน (เปอร์เซ็นต์) บริเวณพื้นที่ที่ศึกษากันยายน-ตุลาคม 2538

ตารางที่ 2 การกระจายของอินทรีย์คาร์บอนในตะกอน (เปอร์เซ็นต์) ที่สถานีต่าง ๆ ของอ่าวไทยเดือนกันยายน-ตุลาคม (Interval คือช่วงของตะกอนมีหน่วยเป็นเซนติเมตร)

Interval	st5	st7	st9	st13	st15	st21	st23
0-2	0.619	1.004	0.151	0.549	0.202	0.168	1.280
2-4	0.615	0.919	0.313	0.516	0.049	0.156	0.963
4-6	0.562			0.586	0.320	0.213	1.023
6-8	0.214	0.691	0.144	0.485	0.099	0.150	1.089
8-10	0.175	0.682	0.068	0.337	0.215	0.118	0.855
10-13	0.242	0.691	0.066	0.403		0.208	0.996
13-16		0.692		0.394	0.176	0.324	0.918
16-19	0.056	0.837		0.200	0.058	0.560	0.961
19-22		0.638		0.476		0.745	0.806
22-25		0.553		0.389	0.189	0.924	0.820
25-28		0.630		0.298			
28-31		0.565		0.218			
31-34				0.480			

Interval	st28	st30	st36	st38	st49	st51
0-2	0.351	0.394	0.716	0.397	0.464	0.316
2-4	0.504	0.180	0.510	0.113	0.420	0.273
4-6	0.038	0.088	0.474	0.116	0.390	0.056
6-8	0.027	0.124	0.537	0.199	0.476	0.048
8-10	0.159	0.359	0.428	0.329	0.363	0.171
10-13	0.231	0.478	0.562	0.190	0.555	0.274
13-16	0.027	0.119	0.644	0.206	0.341	0.042
16-19	0.135	0.179	0.310	0.119	0.360	0.075
19-22	0.039	0.151	0.368	0.385	0.360	0.167
22-25	0.092	0.087	0.476	0.270	0.419	0.074
25-28		0.257	0.357	0.250	0.383	0.051
28-31		0.233	0.235		0.336	0.051
31-34						

ตารางที่ 3 อินทรีย์คาร์บอนที่ผิวตะกอน (เปอร์เซ็นต์) ของกลุ่มสถานีใกล้ฝั่ง และสถานีไกลฝั่ง

สถานีใกล้ฝั่ง	สถานีไกลฝั่ง
สถานี 9, 0.151	สถานี 7, 1.004
สถานี 15, 0.202	สถานี 13, 0.549
สถานี 23, 1.280	สถานี 21, 0.168
สถานี 30, 0.394	สถานี 28, 0.351
สถานี 38, 0.397	สถานี 36, 0.716
สถานี 51, 0.316	สถานี 49, 0.464

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยอินทรีย์คาร์บอน ระหว่างสถานีใกล้ฝั่ง กับสถานีไกลฝั่งโดยใช้การวิเคราะห์แบบมีปัจจัยเดียว (1-WAY ANOVA)

สรุป

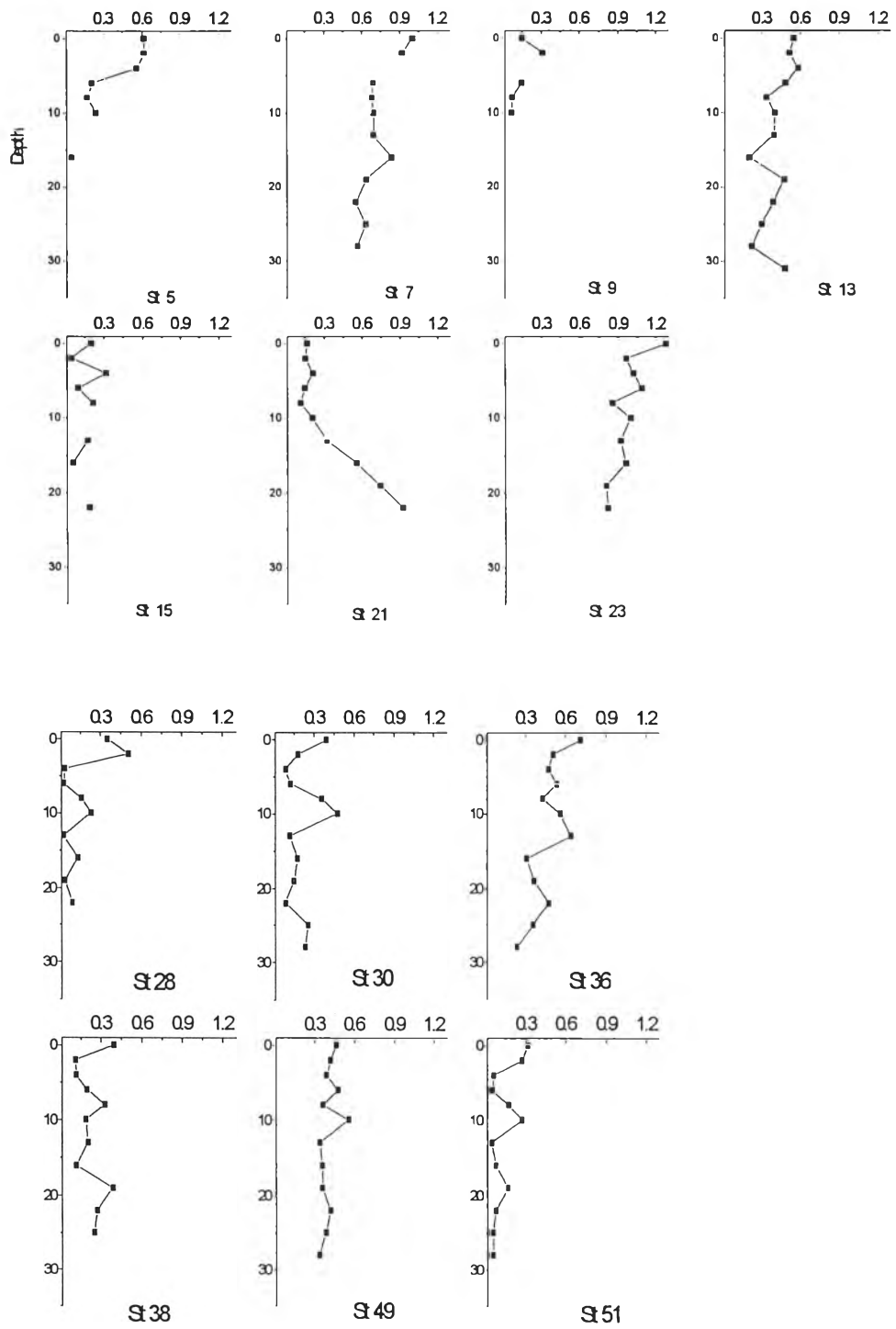
กลุ่ม	จำนวน	ผลบวก	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
สถานีใกล้ฝั่ง	6	2.7394	0.4566	0.1728
สถานีไกลฝั่ง	6	3.2524	0.5421	0.0852

ANOVA

แหล่งความแปรปรวน	SS	องศาอิสระ	MS	F	P-value	F crit
ระหว่างกลุ่ม	0.0219	1	0.0219	0.1700	0.6888	4.9646
ภายในกลุ่ม	1.2901	10	0.1290			
ผลรวม	1.312004	11				

จากตารางพบว่า $F_{crit} = 4.9646$

เนื่องจาก $F = 0.1700 < 4.9646$ นั่นคือ อินทรีย์คาร์บอนที่ผิวตะกอนของกลุ่มสถานีใกล้ฝั่งไม่แตกต่างจากกลุ่มของสถานีไกลฝั่งอย่างมีนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$

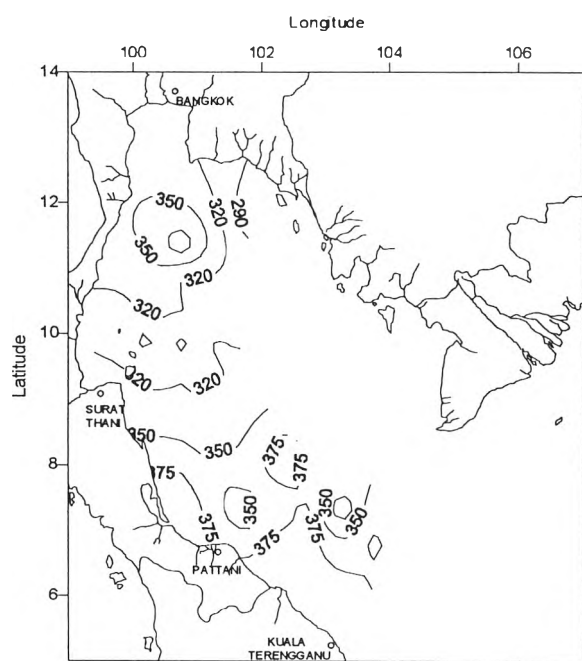


รูปที่ 9 อินทรีย์คาร์บอนในตะกอน (%) เดือนกันยายน-ตุลาคม 2538

อนินทรีย์คาร์บอนในน้ำทะเล

1. Partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ ($p\text{CO}_2$)

จากการศึกษาครั้งนี้ อยู่ในช่วง 268.4–524.4 μatm ในปี พ.ศ. 2538 ระดับของ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีค่าประมาณ 360 μatm (Cai and Wang, 1998) เมื่อนำค่าในบรรยากาศมาเปรียบเทียบกับ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณผิวน้ำทะเลซึ่งมีค่าในช่วง 268.4 – 399.3 μatm นั้น ค่าน้อยที่สุดของ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำอยู่ที่สถานีที่ 6 (น้อยกว่าบรรยากาศ 90 μatm) และมีค่าสูงสุดอยู่ที่สถานีที่ 40 (มากกว่าบรรยากาศประมาณ 40 μatm) ดังที่แสดงไว้ใน รูปที่ 10 และตารางที่ 5



รูปที่ 10 ระดับ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ ($p\text{CO}_2$) ที่ผิวน้ำทะเล (μatm) บริเวณพื้นที่ที่ศึกษา กันยายน-ตุลาคม 2538

ตารางที่ 5 partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ (μatm) ที่ผิวน้ำทะเล
 ที่สถานีต่าง ๆ ของพื้นที่ที่ศึกษากันยายน-ตุลาคม 2538
 โดยแบ่งเป็นกลุ่มสถานีทางเหนือและทางใต้ของพื้นที่ที่ศึกษา

สถานี ทางเหนือ	$p\text{CO}_2$ μatm	สถานี ทางใต้	$p\text{CO}_2$ μatm
6	268.43	31	352.08
7	332.78	32	340.36
10	352.82	33	354.21
11	392.15	34	384.74
12	340.77	35	372.01
14	319.25	36	380.70
15	342.46	37	365.65
17	304.68	38	349.11
18	325.75	39	377.58
19	322.05	40	399.33
20	297.14	42	324.00
21	324.37	43	357.77
22	280.85	44	379.41
23	322.53	45	292.55
24	312.35	46	375.28
25	319.03	47	351.01
26	316.65	48	381.49
28	317.05	49	352.35
		50	385.70
		51	383.90

จากตารางที่ 5 นี้พิจารณาความแตกต่าง partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่
 ละลายน้ำของสถานีในบริเวณทางเหนือของพื้นที่ที่ศึกษา (เหนือเส้นรุ้งที่ 9° N, รูปที่ 10) และ
 สถานีในบริเวณทางใต้ (ใต้เส้นรุ้งที่ 9° N, รูปที่ 10) โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมี
 ปัจจัยเดียว (1-WAY ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6 ดังนี้

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ ระหว่างกลุ่มสถานีทางเหนือกับสถานีทางใต้ โดยใช้การวิเคราะห์แบบมีปัจจัยเดียว (1-WAY ANOVA)

สรุปผล				
กลุ่ม	จำนวน	ผลบวก	ค่าเฉลี่ย	ความแปรปรวน
สถานีทางเหนือ	18	5791.108	321.7282	730.6277
สถานีทางใต้	20	7259.245	362.9623	620.5925

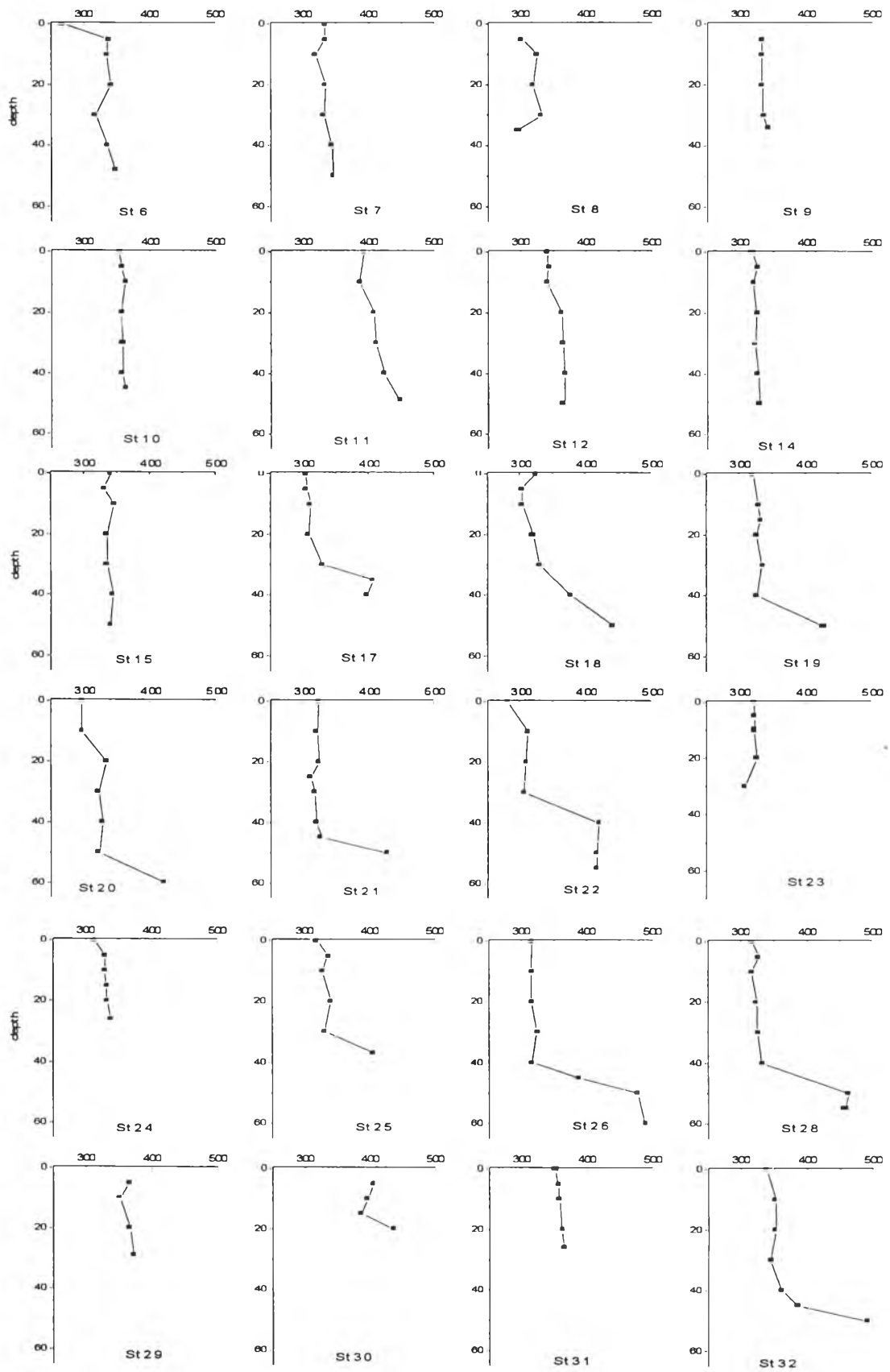
ANOVA						
แหล่งความแปรปรวน	SS	องศาอิสระ	MS	F	P-value	F crit
ระหว่างกลุ่ม	16107.59	1	16107.59	23.9499	2.08E-05	4.1132
ภายในกลุ่ม	24211.93	36	672.5535			
ผลรวม	40319.52	37				

จากตารางพบว่า $F_{crit} = 4.1132$

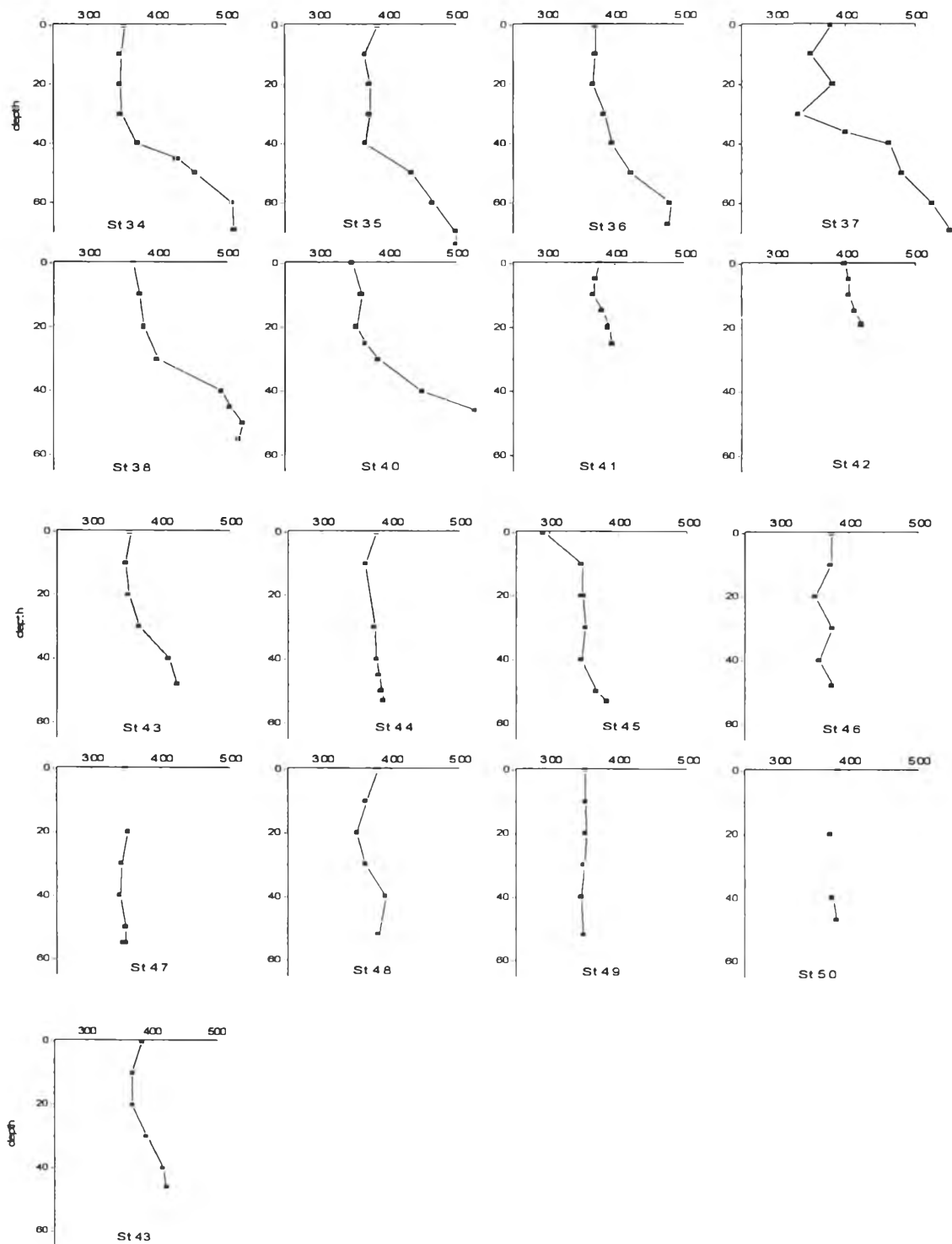
เนื่องจาก $F = 23.9499 > 4.1132$ นั่นคือ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ของกลุ่มสถานีทางเหนือแตกต่างจากกลุ่มของสถานีทางใต้อย่างมีนัยสำคัญที่ $\alpha = 0.05$ นั่นคือ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำของสถานีในบริเวณทางเหนือ มีค่าน้อยกว่าจากสถานีในบริเวณทางใต้ และน้อยกว่า partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ในขณะที่สถานีเฉพาะทางใต้ มีค่า partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทะเลบริเวณผิวน้ำ โดยเฉลี่ย $360.77 \mu\text{atm}$ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติกับ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ($360 \mu\text{atm}$)

ถ้าพิจารณาเป็นรายสถานี จะพบว่า สถานีในทางเหนือ (เหนือ จ. สุราษฎร์ธานี) ส่วนมากจะมีค่า partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ ($p\text{CO}_2$) น้อยกว่าบรรยากาศ (undersaturated with the atmosphere) ยกเว้นบริเวณสถานีที่ 11 และ 20 (รูปที่ 10) ส่วนทางใต้ (ใต้ จ. สุราษฎร์ธานี และบริเวณ จ. นครศรีธรรมราช และสงขลา) partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ ($p\text{CO}_2$) มีค่าใกล้เคียงกับบรรยากาศ (equilibrium with the atmosphere) หรือมากกว่าบรรยากาศเล็กน้อย (supersaturated with the atmosphere)

การกระจายของปริมาณ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ละลายน้ำในแนวตั้งของพื้นที่ที่ศึกษานั้น พบว่ามีแนวโน้มมากขึ้นตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 11) ปริมาณ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำที่พบในชั้นน้ำชั้นล่างที่ลึกมากกว่า 40 เมตร มีค่ามากกว่า 400 ถึง $550 \mu\text{atm}$ และพบค่ามากที่สุดที่สถานีที่ 36 ในระดับน้ำลึกประมาณ 70 เมตร



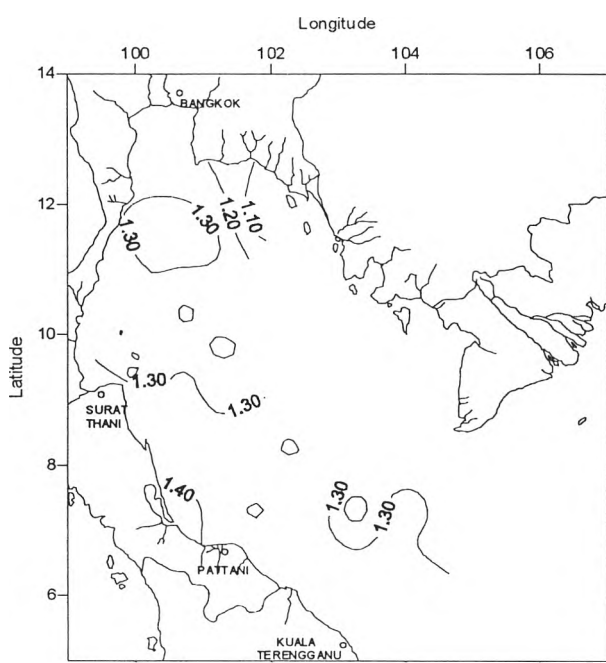
รูปที่ 11 Partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำทะเล (uatm) เดือนกันยายน-ตุลาคม 2538



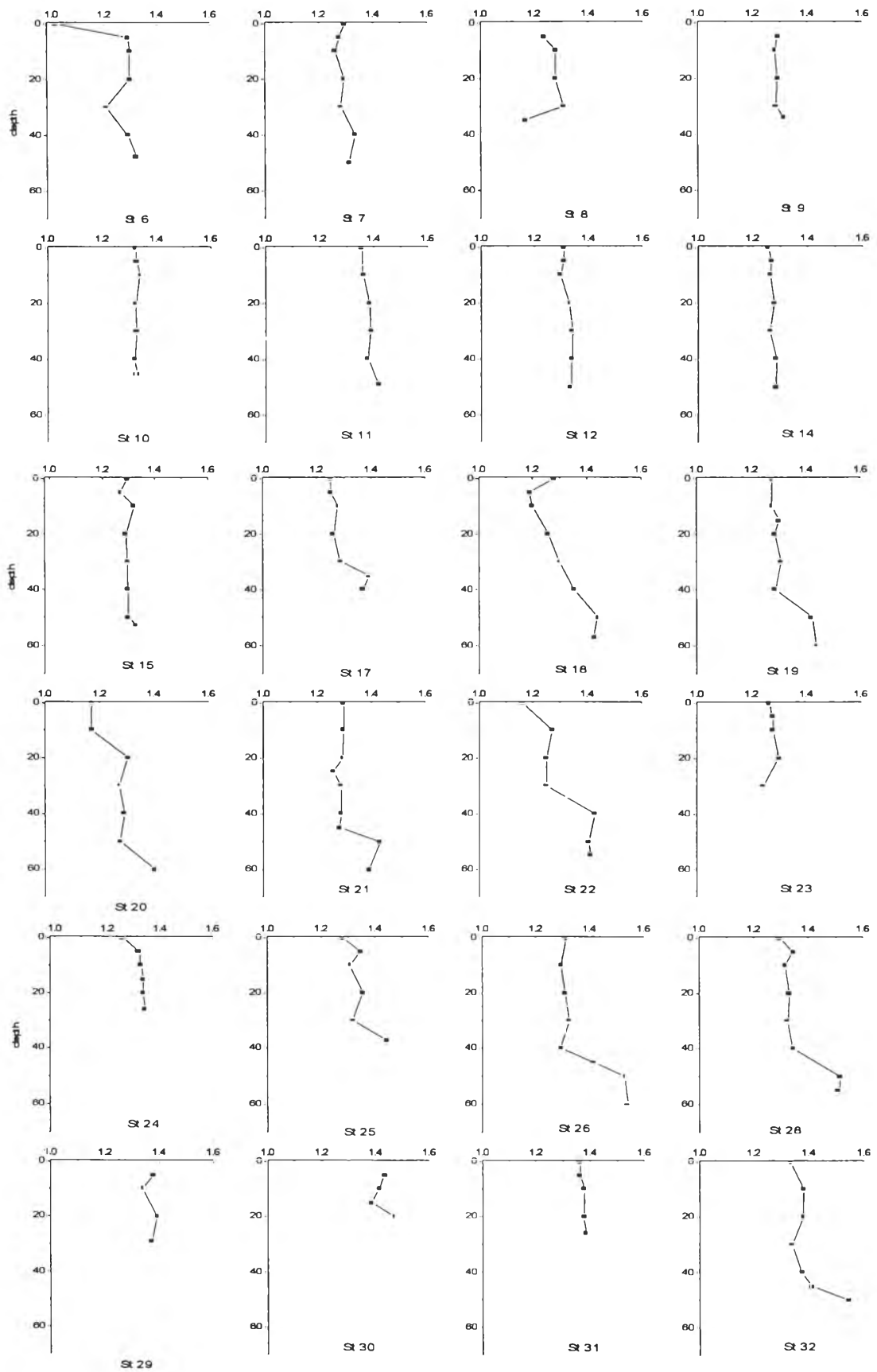
รูปที่ 11 (ต่อ)

2. ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-), คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) และอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (Dissolved inorganic carbon)

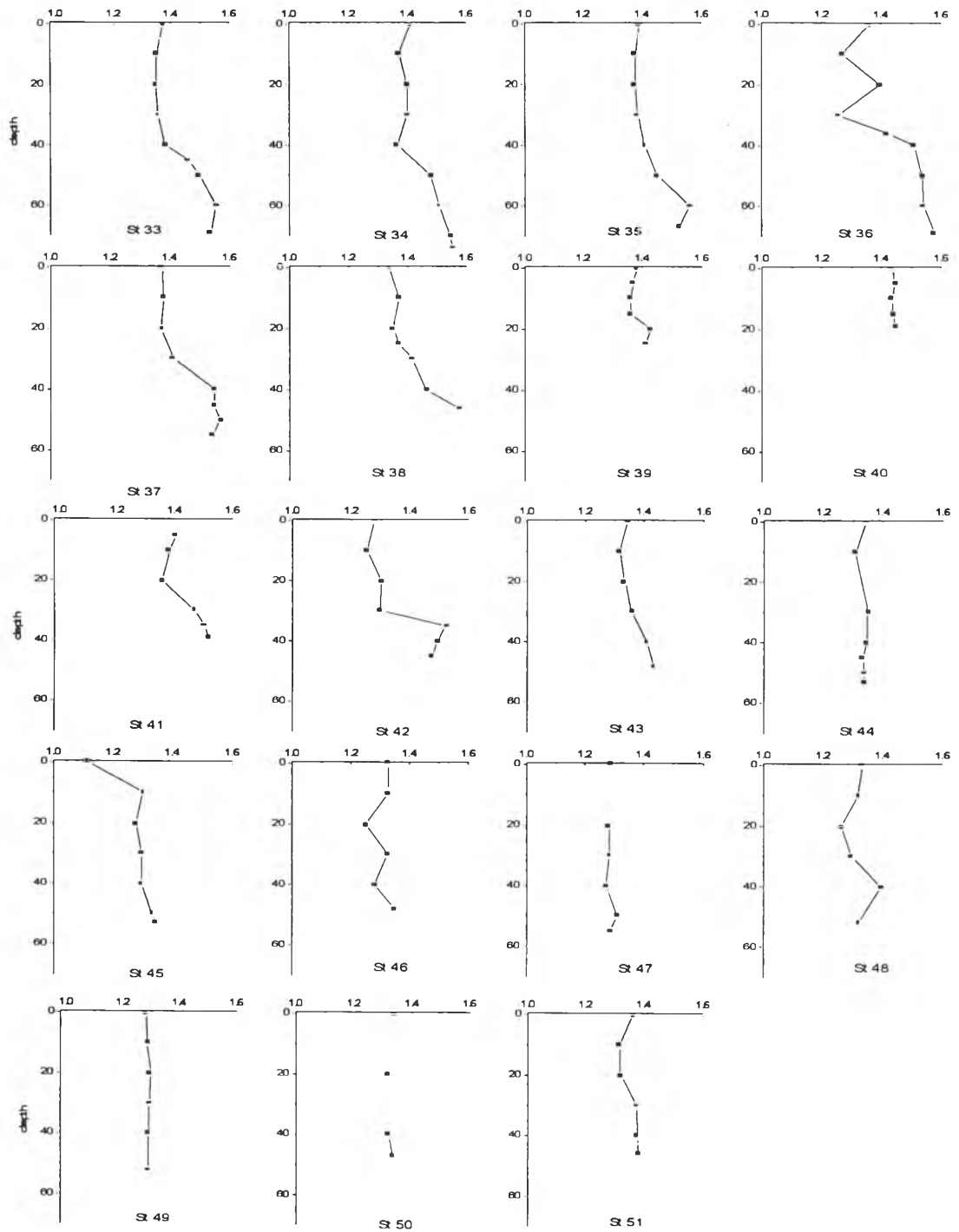
ไบคาร์บอเนตในน้ำทะเลปริมาณที่พบในการศึกษาครั้งนี้มีค่าระหว่าง 1.01- 1.57 มิลลิโมล/ลิตร (รูปที่ 12 และ รูปที่ 13) พบน้อยที่สุดที่บริเวณผิวน้ำสถานีที่ 6, 22, 45 ค่ามากพบที่ สถานีที่ 33, 34, 35, 36, 37 และ 38 (ลึกกว่า 45 เมตร, รูปที่ 13) สารละลายไบคาร์บอเนตนั้น พบว่าการกระจายตามแนวตั้งมีแนวโน้มเหมือนกับ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำ คือ ปริมาณจะพบมากขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น (รูปที่ 10, รูปที่ 13) ไบคาร์บอเนตเป็นรูปแบบของอนินทรีย์คาร์บอน ที่พบมากที่สุดตามธรรมชาติของน้ำทะเล โดยเฉลี่ยพบเป็น 90.14 เปอร์เซ็นต์ของอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำทั้งหมด



รูปที่ 12 ปริมาณไบคาร์บอเนต (มิลลิโมล/ลิตร) ที่ผิวน้ำทะเลบริเวณพื้นที่ที่ศึกษา กันยายน-ตุลาคม 2538

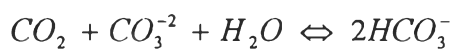


รูปที่ 13 สารละลายไบคาร์บอเนตในน้ำทะเล (mmol/l) เดือนกันยายน-ตุลาคม 2538

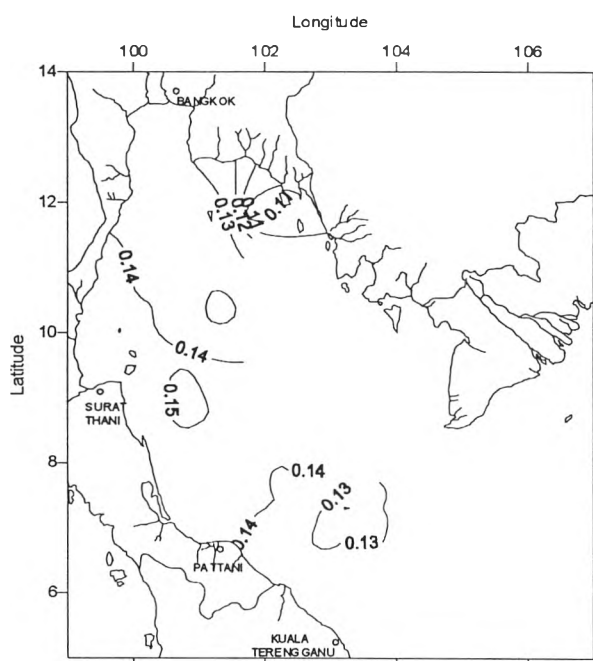


รูปที่ 13 (ต่อ)

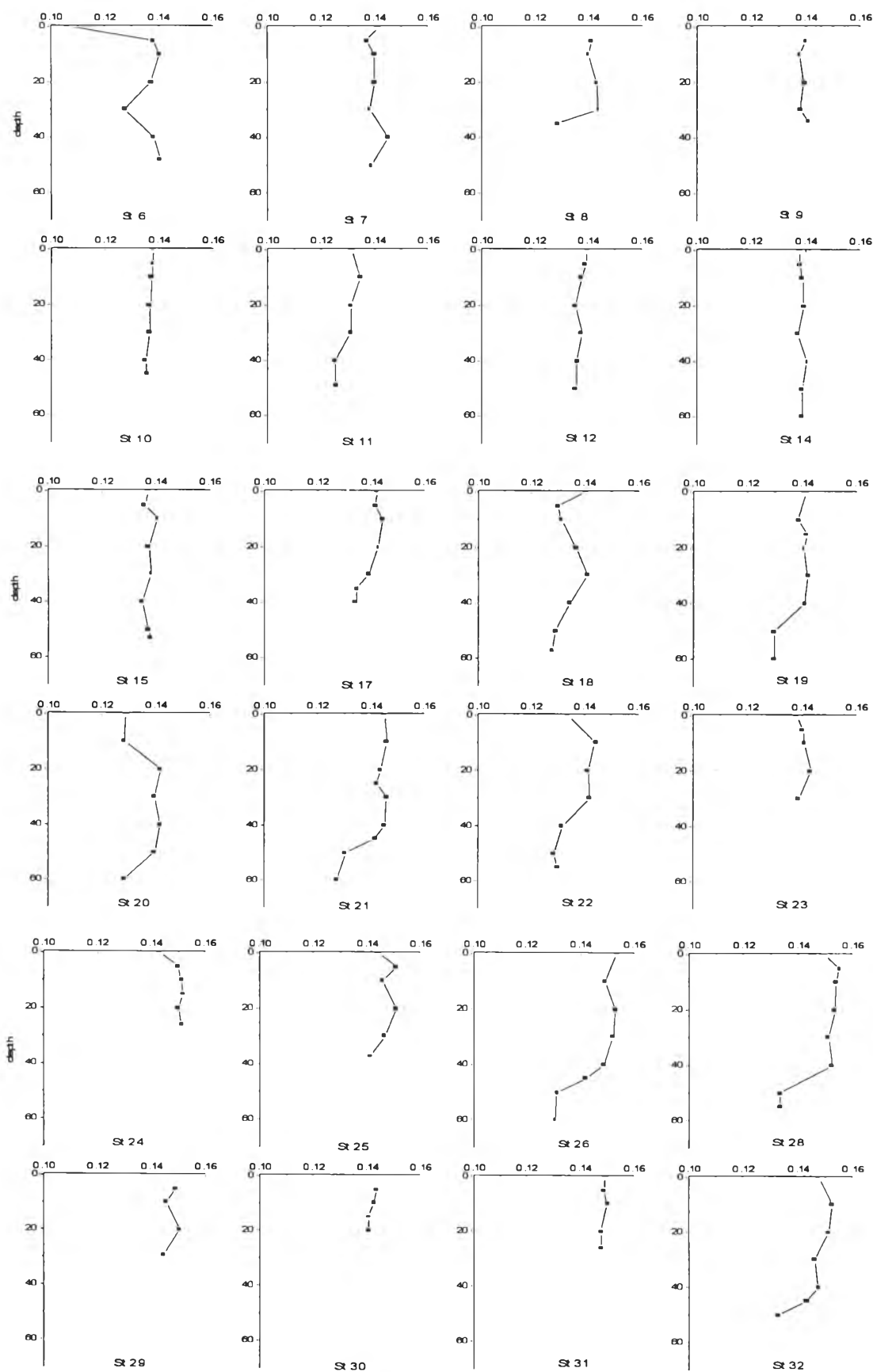
คาร์บอนเนตมีค่าประมาณ 0.11 – 0.16 มิลลิโมล/ลิตร (รูปที่ 14 และ รูปที่ 15) พบน้อยที่สุดที่ผิวน้ำสถานีที่ 6 และ 45 มากสุดพบที่สถานีที่ 26 และ 28 บริเวณน้ำชั้นบน (0-20 เมตร) สารละลายคาร์บอนเนตมีการกระจายในน้ำตามแนวดิ่งมีแนวโน้มตรงกันข้ามกับระดับ partial pressure ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายน้ำและสารละลายไบคาร์บอนเนต (รูปที่ 15) โดยจะพบมากบริเวณผิวน้ำแล้วปริมาณลดน้อยลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากปฏิกิริยา :



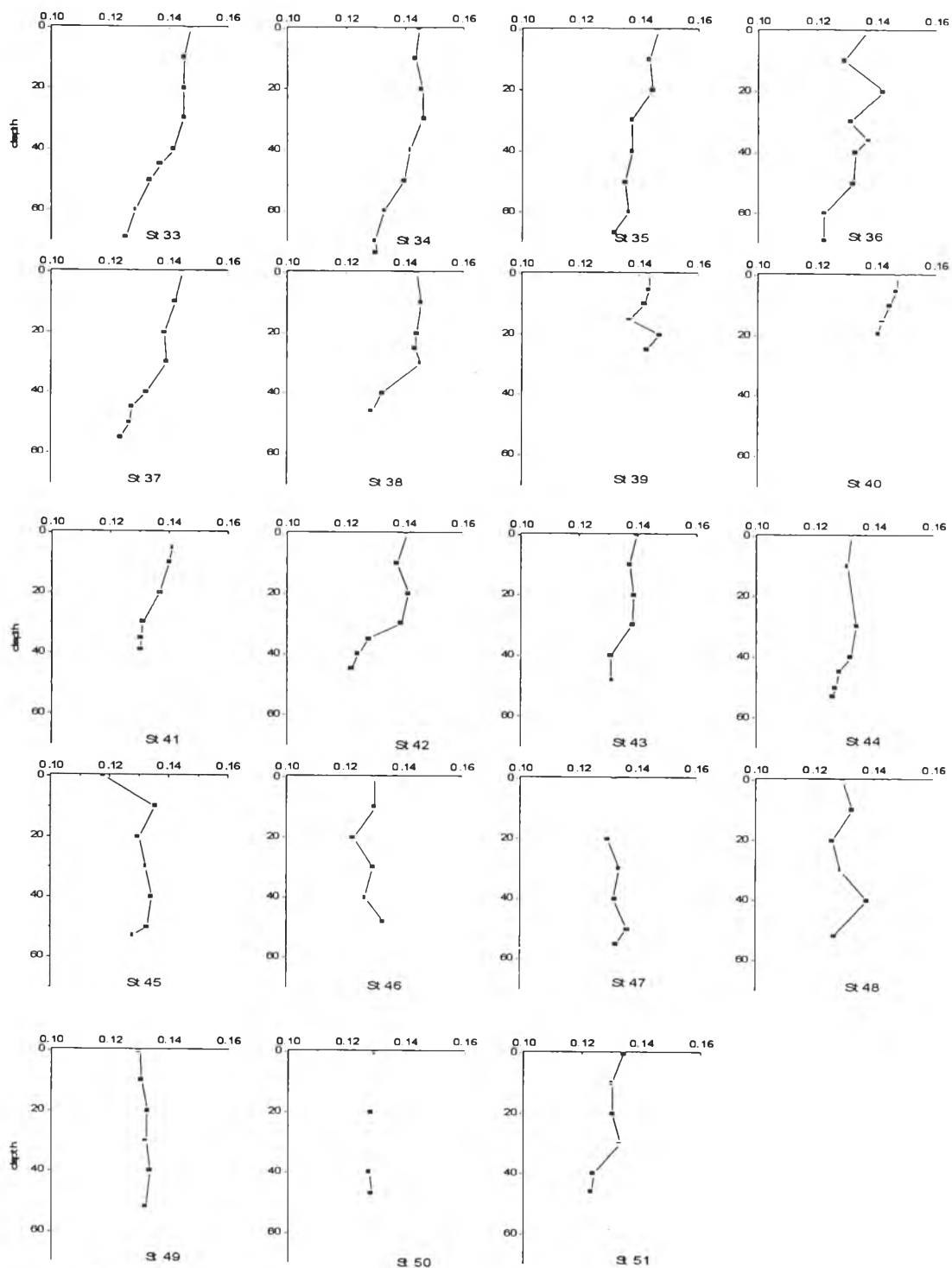
สำหรับคาร์บอนเนตที่พบในการศึกษาครั้งนี้พบเป็น 9.2 เปอร์เซ็นต์ของอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำทั้งหมด



รูปที่ 14 ปริมาณคาร์บอนเนต (มิลลิโมล/ลิตร) ที่ผิวน้ำทะเลบริเวณพื้นที่ที่ศึกษากันยายน-ตุลาคม 2538

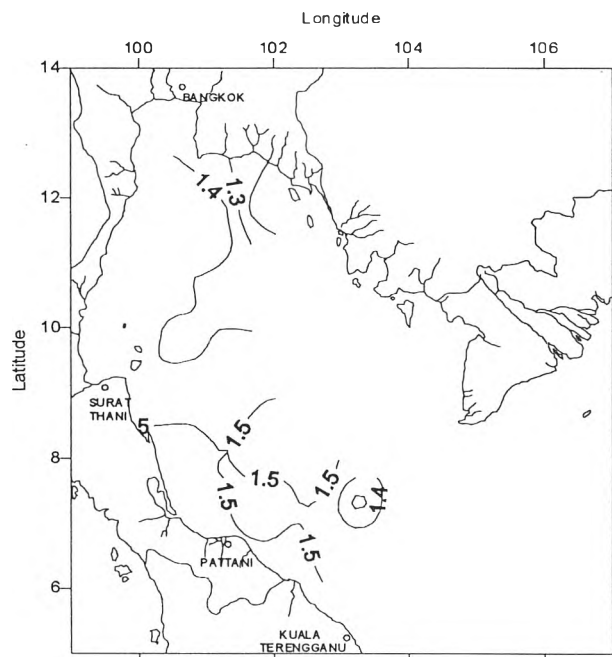


รูปที่ 15 สารละลายคาร์บอเนตในน้ำทะเล (mmol/l) เดือนกันยายน-ตุลาคม 2538

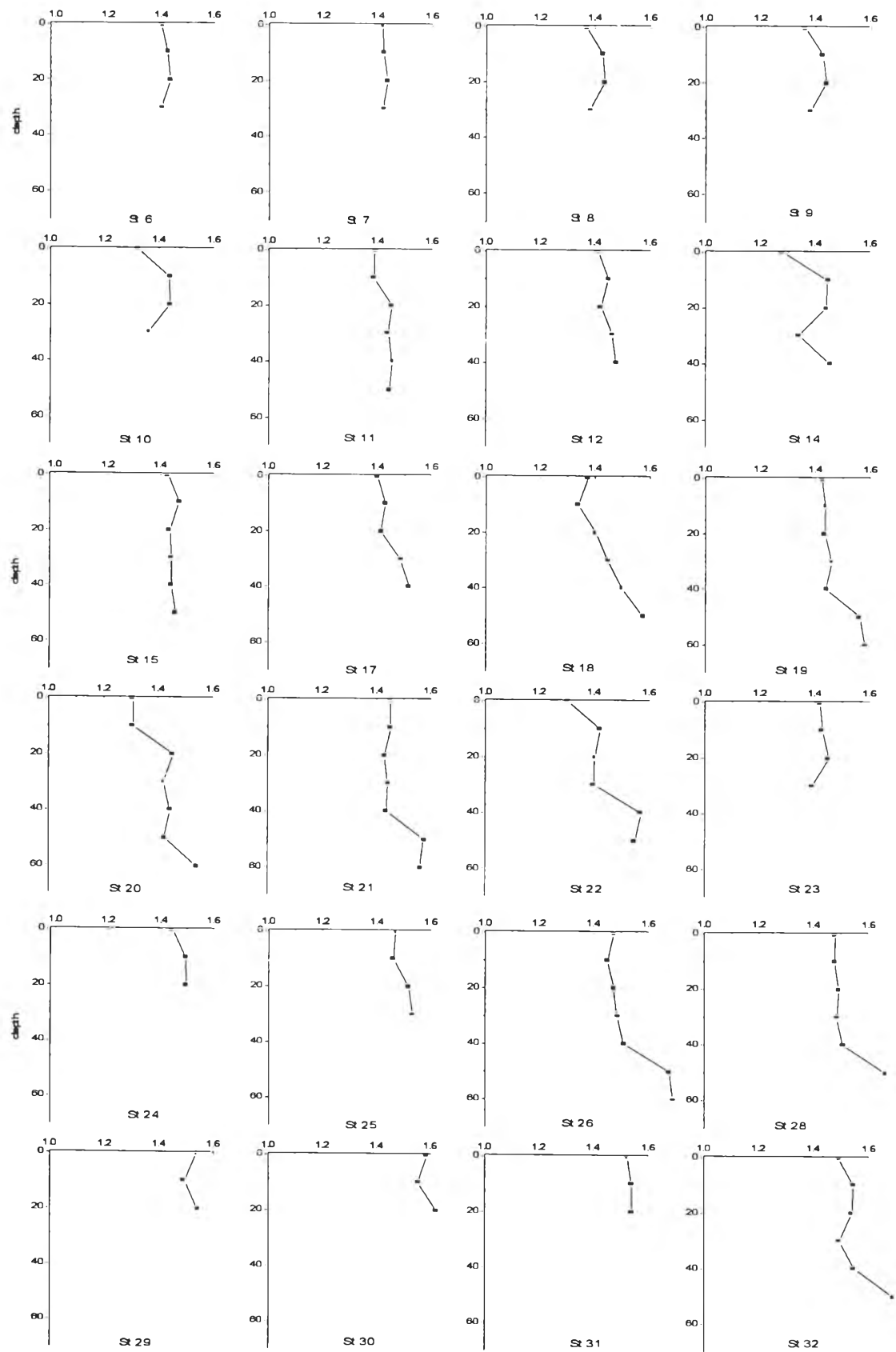


รูปที่ 15 (ต่อ)

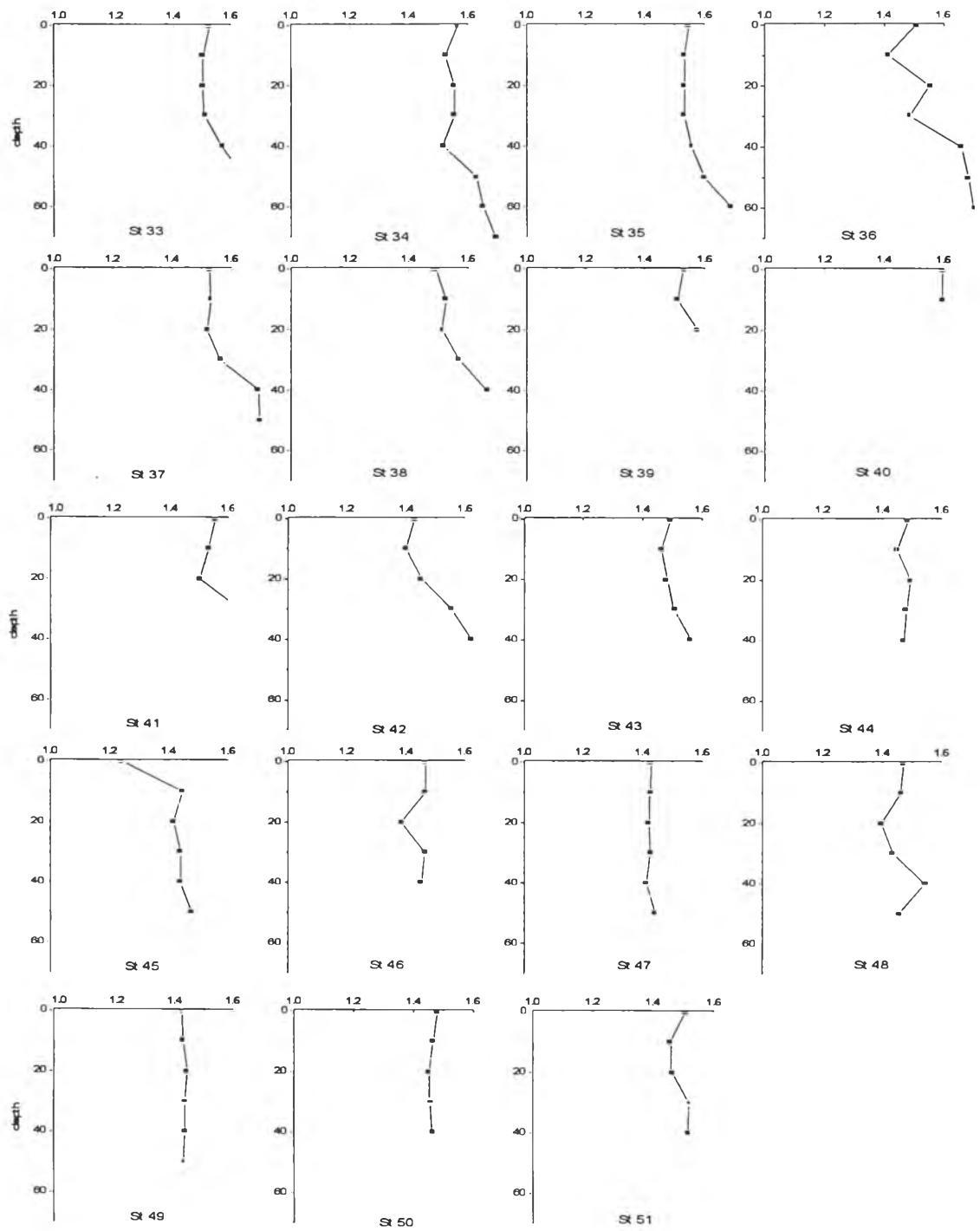
อนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำที่บริเวณผิวน้ำมีค่าในช่วง 1.13 – 1.59 มิลลิโมล/ ลิตร (รูปที่ 16) และพบในน้ำโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 1.13 – 1.72 มิลลิโมล/ ลิตร (รูปที่ 17) และอนินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำ (Dissolved inorganic carbon) ในพื้นที่ที่ศึกษามีปริมาณทั้งหมด $6.83E+12$ โมลคาร์บอน (คำนวณจากค่าเฉลี่ยของอนินทรีย์คาร์บอนที่ละลายน้ำ ในเดือนกันยายน-ตุลาคม 2538 และปริมาตรน้ำในบริเวณที่ศึกษารวมทั้งหมด $4.57E+12$ ลูกบาศก์เมตร, วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ก.7)



รูปที่ 16 ปริมาณอนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (มิลลิโมล/ลิตร) ที่ผิวน้ำทะเล บริเวณพื้นที่ที่ศึกษากันยายน-ตุลาคม 2538



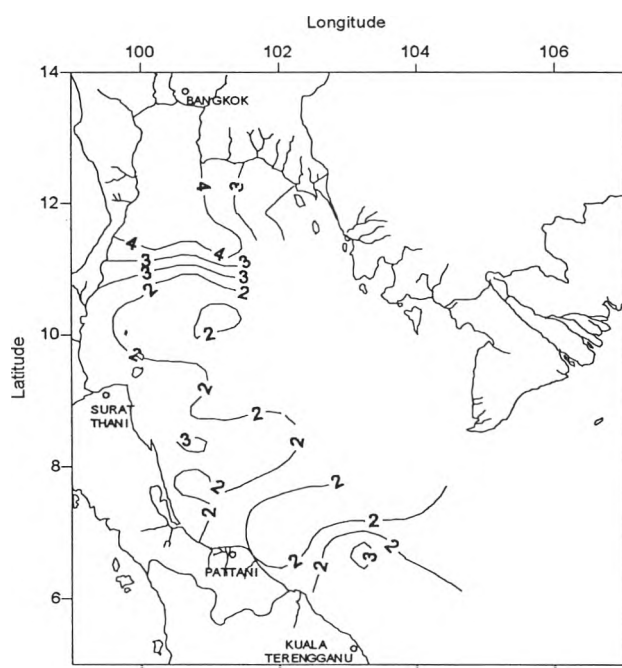
รูปที่ 17 อนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (mmol/l) เดือนกันยายน-ตุลาคม 2538



รูปที่ 17 (ต่อ)

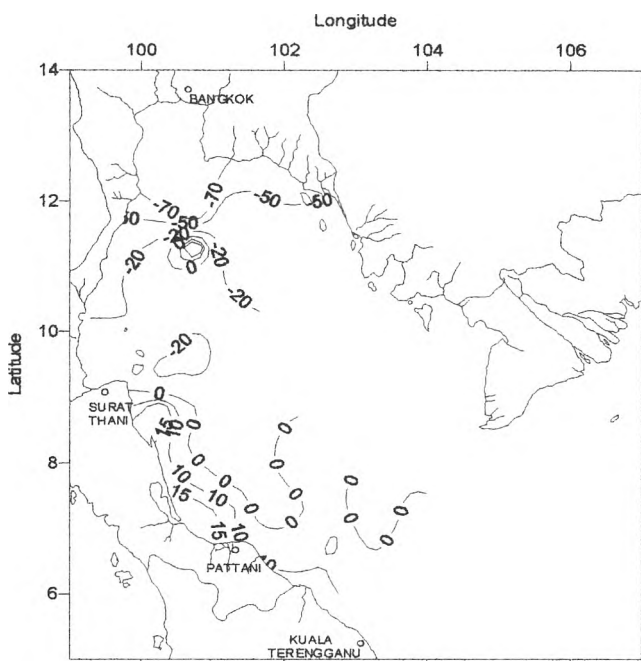
ฟลักซ์ของคาร์บอนไดออกไซด์

ฟลักซ์ของคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณผิวน้ำทะเลขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทของแก๊ส (gas exchange coefficient, k ; ภาคผนวก ข.10) และค่าความเร็วลม (รูปที่ 18; ภาคผนวก ข.9) โดยค่าความเร็วลมที่มากกว่า 3 เมตรต่อวินาที พบที่สถานีที่ 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ซึ่งเป็นสถานีทางเหนือของอ่าวทั้งหมด



รูปที่ 18 ความเร็วลม (เมตร/วินาที) บริเวณพื้นที่ที่ศึกษา กันยายน-ตุลาคม 2538
 เหนือผิวน้ำทะเลขึ้นไป 10 เมตร โดยใช้ข้อมูลลม Weather Chart ที่ 600
 เมตร มาคำนวณโดยใช้โปรแกรม Seawatch 3D จะได้เป็นความเร็วลมที่
 สถานีนั้นและเป็นเวลาเดียวกับขณะเก็บตัวอย่างน้ำ

การแลกเปลี่ยนของคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างผิวน้ำทะเลกับบรรยากาศของบริเวณที่ศึกษา ในเดือนกันยายน-ตุลาคม 2538 นั้น มีค่าในช่วง -99.42 ถึง $+34.91$ มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน (ตารางที่ 7, รูปที่ 19) โดยฟลักซ์ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถ่ายเทจากน้ำทะเลขึ้นสู่บรรยากาศ (เครื่องหมายบวก, +) ส่วนมากเกิดบริเวณชายฝั่งทางใต้ของอ่าวนครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี สำหรับบริเวณนอกฝั่งทางใต้ของอ่าวนั้นสมดุลกับบรรยากาศ ส่วนฟลักซ์ที่ถ่ายเทจากบรรยากาศลงสู่น้ำทะเลทั้งหมดของพื้นที่ที่ศึกษา (เครื่องหมายลบ, -) จะเกิดทางเหนือของอ่าวเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นที่สถานีที่ 11 นั้นกลับพบว่าฟลักซ์ของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถ่ายเทจากน้ำสู่บรรยากาศ ดังนั้นค่าฟลักซ์สุทธิของคาร์บอนไดออกไซด์ในบริเวณผิวน้ำทะเลทั้งหมด ที่ถ่ายเทจากบรรยากาศสู่น้ำทะเลมีค่าเฉลี่ย 3.49 โมล/ตารางเมตร/ปี หรือค่าฟลักซ์สุทธิของคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งอ่าวมีค่าประมาณ $3.22E+11$ โมล/ปี (คำนวณจากค่าฟลักซ์สุทธิของคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ยในพื้นที่ที่ศึกษา โดยใช้พื้นที่ของสถานีรวม 51 สถานี 184,000 ตารางกิโลเมตร, (วิธีการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก.9)



รูปที่ 19 ฟลักซ์คาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถ่ายเทระหว่างผิวน้ำทะเลกับบรรยากาศ ในพื้นที่ที่ศึกษา กันยายน-ตุลาคม 2538 (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน)
 - คือ ถ่ายเทจากบรรยากาศลงสู่น้ำทะเล,
 0 คือ เกิดสมดุลระหว่างน้ำทะเลกับบรรยากาศ,
 + คือ ถ่ายเทจากน้ำทะเลขึ้นสู่บรรยากาศ

ตารางที่ 7 ฟลักซ์คาร์บอนไดออกไซด์ (มิลลิโมล/ตารางเมตร/วัน) ที่ถ่ายเทผ่านผิวน้ำทะเลที่ สถานีต่าง ๆ ของพื้นที่ที่ศึกษา กันยายน-ตุลาคม 2538 (+ มีทิศทางจากน้ำทะเลขึ้นสู่บรรยากาศ, - มีทิศทางจากบรรยากาศลงสู่น้ำทะเล)

Station	Flux	Station	Flux
6	-47.56	30	23.08
7	-21.99	31	-5.15
8	-99.42	32	-10.80
9	-63.45	33	-3.15
10	-11.22	34	10.08
11	34.91	35	3.93
12	-45.04	36	6.96
14	-13.35	38	-5.32
15	-7.52	39	5.83
17	-21.40	40	17.98
18	-13.42	41	12.50
19	-12.73	42	-9.74
20	-16.50	43	-0.58
21	-13.49	44	4.24
22	-24.58	45	-14.89
23	-12.76	46	4.28
24	-24.01	47	-3.55
25	-21.43	48	7.95
26	-13.84	49	-4.42
28	-16.74	50	11.51
29	1.63	51	5.44

สมดุลมวล (Mass balance) ของคาร์บอน

จากการศึกษาอัตราเร็วของกระบวนการต่าง ๆ (ตารางที่ 8) และการหมุนเวียนคาร์บอน (รูปที่ 20) โดยใช้ข้อมูลจากเดือนกันยายน-ตุลาคม 2538 และ 2539 พบว่า แพลงก์ตอนพืชใช้อินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำสร้างเป็นผลผลิตขั้นต้นในรูปอินทรีย์คาร์บอนในอัตรา $1.01E+12$ โมลคาร์บอน/ปี มีอัตราการตกตะกอนเหลือเป็นปริมาณของอินทรีย์คาร์บอนในตะกอน $4.14E+10$ โมลคาร์บอน/ปี ดังนั้นอัตราการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนในระบบเท่ากับ $9.68E+11$ โมลคาร์บอน/ปี (โดยให้การย่อยสลายนี้เปลี่ยนไปเป็นสารอนินทรีย์โดยสมบูรณ์)

อนินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำของบริเวณที่ศึกษาทั้งหมด $6.83E+12$ โมล เกิดปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ Calcium carbonate precipitation $1.53E+11$ โมล/ปี และการสะสมของแคลเซียมคาร์บอเนตในตะกอนมีอัตราประมาณ $1.53E+11$ โมล/ปี (วิธีการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ก.10) โดยที่อัตราการแลกเปลี่ยนของคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศลงสู่พื้นทะเลโดยกระบวนการทางฟิสิกส์ $3.22E+11$ โมล/ปี

ตารางที่ 8 อัตราเร็วของกระบวนการต่าง ๆ ของคาร์บอนในพื้นที่ที่ศึกษา
เดือนกันยายน-ตุลาคม 2538

ผลผลิตขั้นต้น ในน้ำ	อินทรีย์คาร์บอน สะสมในตะกอน	แคลเซียมคาร์บอเนต สะสมในตะกอน	คาร์บอนไดออกไซด์ จากบรรยากาศสู่ พื้นทะเล
$1.01E+12$ โมล/ปี	$4.14E+10$ โมล/ปี	$1.53E+11$ โมล/ปี	$3.22E+11$ โมล/ปี

การศึกษาการหมุนเวียนของคาร์บอนภายในพื้นที่ที่ศึกษาครั้งนี้ ไม่ได้ศึกษาในส่วนของอินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำ (dissolved organic carbon), สารอินทรีย์คาร์บอนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (particulate organic carbon) รวมทั้งคาร์บอนที่มาจากแผ่นดิน; Terrestrial source) จึงสมมติให้ฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องกับส่วนเหล่านี้มีค่าเท่ากับศูนย์ทั้งหมด

ดังนั้นมีการนำอินทรีย์คาร์บอนเข้าสู่ระบบโดย

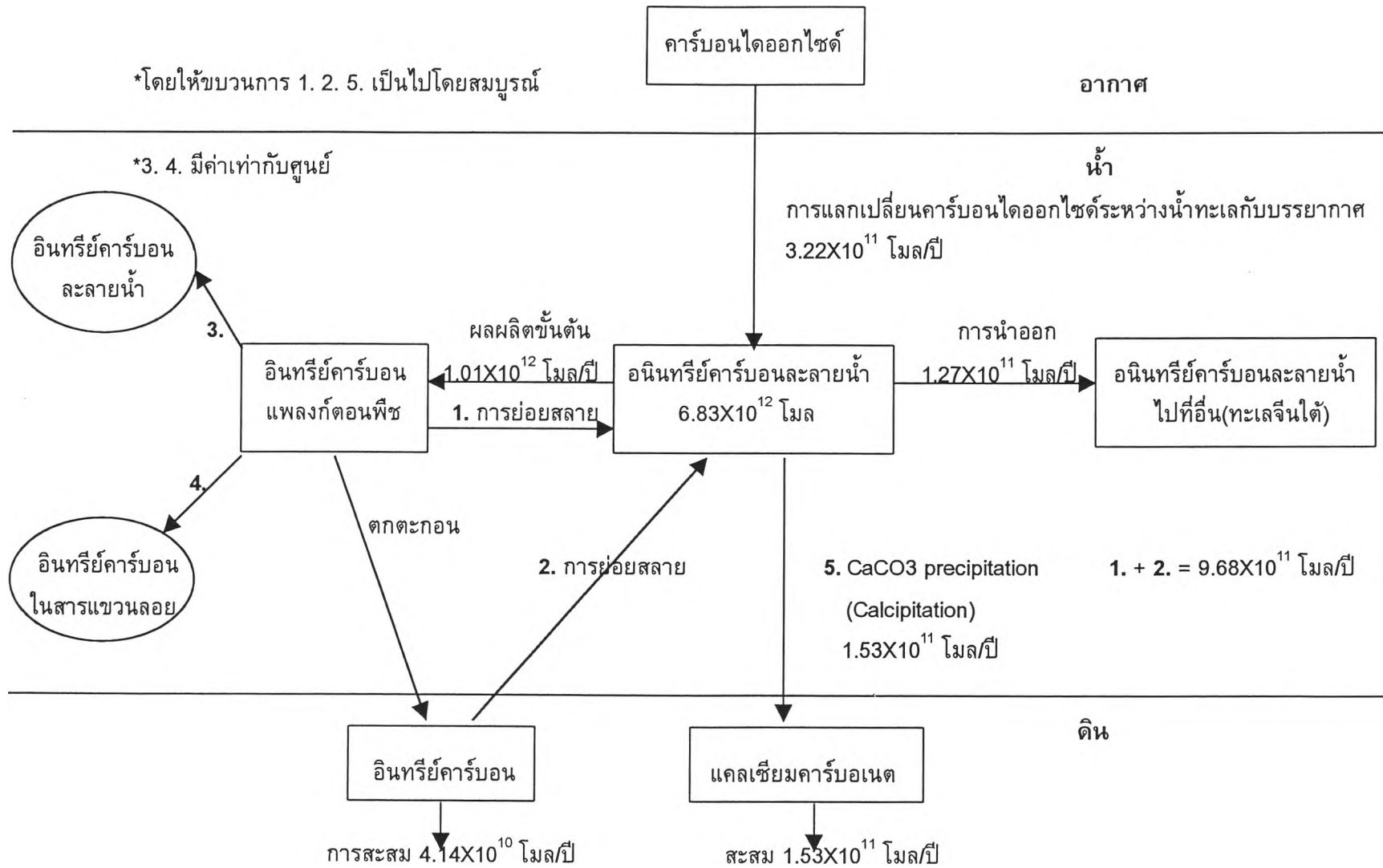
กระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างทะเลกับบรรยากาศ $3.22E+11$ โมล/ปี

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ $9.68E+11$ โมล/ปี

และการนำอินทรีย์คาร์บอนในน้ำออกไปสู่พื้นตะกอน โดย

Calcium carbonate precipitation $1.53E+11$ โมล/ปี

เมื่อพิจารณาสมดุลมวล (Mass balance) ของคาร์บอนในพื้นที่ที่ศึกษานั้น จะมีการถ่ายเทคาร์บอนในรูปของอนินทรีย์คาร์บอน ออกไปจากพื้นที่ที่ศึกษา (Export) โดยคาดว่าอนินทรีย์คาร์บอนถ่ายเทออกไปสู่ทะเลเงินได้ เท่ากับ $1.27E+11$ โมล/ปี



รูปที่ 20 การหมุนเวียนของคาร์บอนภายในอ่าวไทย โดยใช้ข้อมูลลมเดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ. 2538 ช่วงก่อนฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ