

การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบนโดยใช้ทุ่นลอย



นายธีระพงษ์ บุญชุม

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล

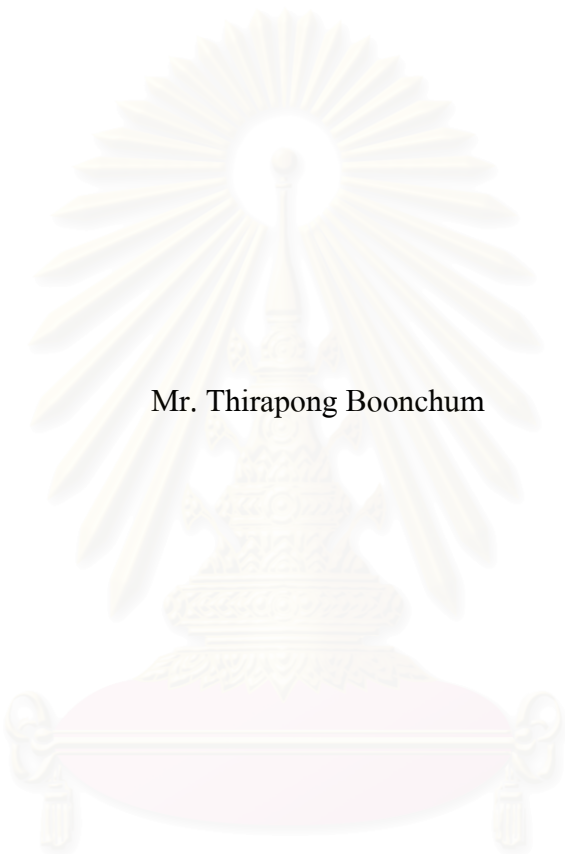
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-3265-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ESTIMATION OF HORIZONTAL DIFFUSION COEFFICIENT FOR THE UPPER LAYER  
IN THE UPPER GULF OF THAILAND BY FLOATING BUOYS



Mr. Thirapong Boonchum

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Marine Science

Department of Marine Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-14-3265-8



ธีระพงษ์ บุญชุม : การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทย  
ตอนบนโดยใช้ทุ่นลอย. (ESTIMATION OF HORIZONTAL DIFFUSION COEFFICIENT FOR  
THE UPPER LAYER IN THE UPPER GULF OF THAILAND BY FLOATING BUOYS)  
อาจารย์ที่ปรึกษา : ศศ. ดร. ปราโมทย์ โสจิสูตร, 144 หน้า. ISBN 974-14-3265-8.

สัมประสิทธิ์การแพร่เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถในการแพร่ของมวลสารในน้ำและเป็นค่าที่สำคัญในแบบจำลองเชิงตัวเลข ในการศึกษาครั้งนี้จะประมาณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่บริเวณจุดสำรวจ 5 แห่ง ในอ่าวไทยตอนบนโดยใช้ทุ่นลอย ในการทดลองแต่ละครั้งทำการปล่อยกลุ่มทุ่นลอยจำนวน 4 - 8 ทุ่น ในรูปแบบที่แตกต่างกันครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 0.2 ตารางกิโลเมตร หรือขนาดพื้นที่กว้างประมาณ 500 เมตรเป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง ทุ่นแต่ละตัวจะมีเครื่องหาทิศทางด้วยดาวเทียมติดตั้งอยู่เพื่อบันทึกตำแหน่งของทุ่นทุกๆ 5 นาที นำข้อมูลตำแหน่งของทุ่นมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ด้วยวิธีของ Richardson และวิธีของผู้วิจัยที่คำนวณจากแนวทางเดินของกลุ่มทุ่น โดยตรวจสอบความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่ได้โดยใช้สูตรของ Hirano และ Sugiyara นอกจากนี้ได้คำนวณหาสัดส่วนของขนาดความปั่นป่วนของกระแสน้ำกับขนาดของกลุ่มทุ่นเพื่อหาเกณฑ์ในการใช้งานผลการแพร่กับการแพร่กระจาย

ผลการทดลองได้สัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยตามแนวทางเดินของกลุ่มทุ่นเท่ากับ  $2.09 \text{ m}^2/\text{s}$  และสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเฉลี่ยตามแนวทางเดินของกลุ่มทุ่นเท่ากับ  $0.32 \text{ m}^2/\text{s}$  เมื่อกำหนดว่าการแพร่เกิดขึ้นเมื่อขนาดของกลุ่มทุ่นใหญ่กว่าขนาดความปั่นป่วน 30 เท่าขึ้นไป และการกระจายเกิดขึ้นเมื่อขนาดกลุ่มทุ่นไม่ถึง 30 เท่าของขนาดความปั่นป่วน

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล  
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล  
ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อผู้คิด..... ธีระพงษ์ บุญชุม  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....



# # 4672284423 : MARINE SCIENCE

KEY WORD: DIFFUSION COEFFICIENT / DISPERSION COEFFICIENT / FLOATING BUOYS / UPPER GULF OF THAILAND / TURBULENT

THIRAPONG BOONCHUM : ESTIMATION OF HORIZONTAL DIFFUSION COEFFICIENT FOR THE UPPER LAYER IN THE UPPER GULF OF THAILAND BY FLOATING BUOYS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PRAMOTE SOJISUPORN, Ph.D. 144 pp. ISBN 974-14-3265-8.

Horizontal diffusion coefficient indicates how fast the dissolved or suspended substances disperse in the water. In this study, the horizontal dispersion coefficient for the upper layer of 5 locations in the Upper Gulf of Thailand was estimated using floating buoys. At each experiment, 4 - 8 buoys in different arrangements were deployed covering the area of about 0.2 km<sup>2</sup> or about 500 m wide. The experiments lasted for about 1 - 2 hr. Each buoy was equipped with a small GPS which was set to record the buoy position every 5 min. The horizontal dispersion coefficient was then computed from the buoy positions using Richardson and mean trajectory methods. Then, the dispersion coefficient values were verified by using the Hirano's and Sugiura's empirical formula. In addition, this study tried to delineate diffusion from the dispersion processes using the ratio of the turbulent scale and the size of the group of buoys.

The mean diffusion coefficient computed from the experiment was 2.09 m<sup>2</sup>/s and the mean dispersion coefficient was 0.32 m<sup>2</sup>/s. Diffusion process occurred when the ratio of the size of the group of buoys over the turbulent scale was over 30, and dispersion process occurred when the ratio was less than 30.

Department Marine Science

Field of study Marine Science

Academic year 2005

Student's signature... *ธีรพงษ์ บุญชุม*

Advisor's signature... *Pramot Sojisuorn*

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เป็นเพราะส่วนหนึ่งได้รับความช่วยเหลือ และคำแนะนำจากอาจารย์รวมทั้งบุคคลที่ควรกล่าวถึงดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. ปราโมทย์ โสจิศุภกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำและเอื้อเฟื้อเอกสารสำหรับใช้ค้นคว้าเพื่อเขียนวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ Dr. Yutaka Michida ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการศึกษาได้แก่ ทุ่นลอย GPS logger และเรือสำรวจ

ขอขอบคุณ อาจารย์สุริยัณฑ์ สาระมูล ที่ให้คำแนะนำรวมทั้งข้อซักถามและช่วยแก้ปัญหาในวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตปริญญาโทภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลทุกท่านที่เป็นห่วง และคอยให้คำแนะนำ

ขอขอบคุณญาติพี่น้องทุกท่านที่เป็นห่วงและคอยให้กำลังใจมาตลอด

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณปัญญา - คุณจำเนียร บุญชุม บิดามารดา ของผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนการศึกษามาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ญ
สัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	1
1.4 สมมติฐาน.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน โดยย่อ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎีการแพร่.....	5
2.1.1 ความปั่นป่วนแบบพัคคา.....	5
2.1.2 ความปั่นป่วนแบบกระจาย.....	6
2.1.3 ความปั่นป่วนแบบแพร่.....	6
2.2 วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ.....	6
2.2.1 การเฝ้าติดตามสารที่ย้อมลงในน้ำ.....	6
2.2.2 การเฝ้าติดตามคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ.....	7
2.2.3 การเฝ้าตรวจวัดด้วยอุปกรณ์เสริม.....	8
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X, Y และแนวราบ G โดยใช้หุ่นลอย.....	11
2.5 การหาพิกัดหุ่นบนแนวทางเดิน.....	12
2.6 การหาสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดินของกลุ่มหุ่น โดยใช้หุ่นลอย.....	12

2.7 การจำแนกปรากฏการณ์การแพร่.....	16
2.7.1 สัมประสิทธิ์ความหนืดเนื่องจากความปั่นป่วน.....	16
2.7.2 ขนาดความปั่นป่วน.....	19
2.7.3 ขนาดของกลุ่มปั่น.....	19
2.8 ผลจากการทดลองกับผลจากสูตรเอมไพริกัล.....	19
2.9 การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวคิ่ง.....	21
2.10 การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวคิ่ง.....	23
2.11 ระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System).....	23
2.12 การหาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่อง GPS logger.....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	25
3.1 การกำหนดพื้นที่การศึกษา.....	25
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	25
3.3 การติดตั้ง GPS logger.....	27
3.4 การปล่อยหุ่นลอย.....	27
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	28
3.5.1 การแปลงค่าพิกัดหุ่นและจัดกลุ่มหุ่น.....	28
3.5.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X, Y และแนวราบ G ด้วยวิธีของ Richardson.....	32
3.5.3 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดินของกลุ่มหุ่น.....	36
3.5.4 การจำแนกปรากฏการณ์การแพร่.....	44
3.5.5 การตรวจสอบความถูกต้องของสัมประสิทธิ์การแพร่ ด้วยสูตรเอมไพริกัล.....	48
3.5.6 การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ.....	49
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	51
4.1 ผลการคำนวณของกลุ่มหุ่นที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ที่สุด 14 กลุ่มจากรอบที่ 1 – 5.....	51
4.2 ภาพรวมผลการทดลองแต่ละรอบ.....	66
4.3 สัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยของหุ่นทุกกลุ่มจากรอบที่ 1 – 5.....	70
4.4 การจำแนกการแพร่กับการกระจาย.....	72
4.5 สัมประสิทธิ์การแพร่กับสัมประสิทธิ์การกระจาย.....	72
4.5.1 การแพร่.....	72
4.5.2 การกระจาย.....	74

4.6 สัมผัสพิธีการแพร่ในแนวราบที่คำนวณจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ.....75

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา ปัญหา และข้อเสนอแนะ.....77

    5.1 สรุปผลการศึกษา.....77

    5.2 ข้อจำกัด.....80

    5.3 ข้อเสนอแนะ.....80

รายการอ้างอิง.....81

ภาคผนวก.....83

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....128



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 พิกัดของสถานีทดลอง.....2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จากการศึกษาอื่น.....10

ตารางที่ 3.1 วันที่ออกภาคสนามทำการทดลองและตำแหน่งสถานีในแต่ละรอบ.....25

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างผลการแปลงพิกัดภูมิศาสตร์เป็นพิกัดฉากของทุ่นตัวที่ 4 วันที่ 6 ก.พ. 2548.....28

ตารางที่ 3.3 รหัสกลุ่มทุ่นทั้งหมดที่ทำการคำนวณ.....29

ตารางที่ 3.4 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X ของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678....33

ตารางที่ 3.5 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน Y ของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678....34

ตารางที่ 3.6 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ G ของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678....35

ตารางที่ 3.7 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678 ในแนวแกน X .....36

ตารางที่ 3.8 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678 ในแนวแกน Y .....37

ตารางที่ 3.9 พิกัดใหม่ของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678 ในแนวแกน X' .....38

ตารางที่ 3.10 พิกัดใหม่ของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678 ในแนวแกน Y' .....39

ตารางที่ 3.11 พิกัด x'' ของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678 บนแนวทางเดิน H.....40

ตารางที่ 3.12 พิกัด y'' ของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678 บนแนวทางเดิน H.....41

ตารางที่ 3.13 ระยะกระจัด  $h_{it}$  ของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678 บนแนวทางเดิน H.....42

ตารางที่ 3.14 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678.....43

ตารางที่ 3.15 การหาขนาดของความปั่นป่วนและขนาดกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678  
 ในแนวแกน X .....44

ตารางที่ 3.16 ผลจากการทดลองปล่อยทุ่น ( $C_H$ ) กับผลจากสูตรเอมไพริกัล ( $C'_H$ )  
 ของกลุ่มทุ่น 480729B1234 โดยใช้  $K_H = 2.09 \text{ m}^2/\text{s}$  .....48

ตารางที่ 3.17 สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง ( $K_{z,x}$ ) เนื่องจากความปั่นป่วนในแนวแกน X  
 และสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X ( $K''_x$ ) ที่คำนวณจากสัมประสิทธิ์การแพร่  
 ในแนวตั้ง.....50

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณของกลุ่มทุ่น 470512B12345 (รอบที่ 1).....52

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณของกลุ่มทุ่น 470513B1234 (รอบที่ 1).....53

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณของกลุ่มทุ่น 470514B1234 (รอบที่ 1).....54

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณของกลุ่มทุ่น 471007B23456 (รอบที่ 2).....55

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณของกลุ่มทุ่น 471008B1235 (รอบที่ 2).....56



ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณของกลุ่มทุน 471009B1234 (รอบที่ 2).....57

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณของกลุ่มทุน 471020B1234 (รอบที่ 3).....58

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณของกลุ่มทุน 480205B(2)123456 (รอบที่ 4).....59

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณของกลุ่มทุน 480206B135 (รอบที่ 4).....60

ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณของกลุ่มทุน 480206B(2)45678 (รอบที่ 4).....61

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณของกลุ่มทุน 480517B123468 (รอบที่ 5).....62

ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณของกลุ่มทุน 480517B(2)123468 (รอบที่ 5).....63

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณของกลุ่มทุน 480518B123456 (รอบที่ 5).....64

ตารางที่ 4.14 ผลการคำนวณของกลุ่มทุน 480518B(2)123456 (รอบที่ 5).....65

ตารางที่ 4.15 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ย ( $K$ ) และอัตราส่วน ( $\frac{\sigma}{L}$ )  
 ของกลุ่มทุนจากรอบที่ 1 – 5.....70

ตารางที่ 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ย ( $K$ ) ของแต่ละกลุ่มจากรอบที่ 1 – 5.....73

ตารางที่ 4.17 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายเฉลี่ย ( $K'$ ) ของแต่ละกลุ่มจากรอบที่ 1 – 5.....74

ตารางที่ 4.18 สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ ( $K''$ ) ที่คำนวณจาก  
 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ.....75

ตารางที่ 5.1 ขนาดของความปั่นป่วนในอ่าวไทยตอนบน.....77

ตารางที่ 5.2 สัมประสิทธิ์การกระจายในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบน.....78

ตารางที่ 5.3 สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบน.....78

ตารางที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบที่คำนวณจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ.....80

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 สถานีที่ทำการทดลองในอ่าวไทยตอนบน.....	2
รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน โดยย่อ.....	3
รูปที่ 2.1 การจำแนกปรากฏการณ์ด้วยขนาดของความปั่นป่วนกับขนาดของกลุ่มอนุภาค.....	6
รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับระยะห่างจากศูนย์กลางความเข้มข้น.....	9
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่กับความกว้างของพื้นที่ที่ศึกษา.....	9
รูปที่ 2.4 ตำแหน่งของหุ่นบนแนวแกน X และแกน Y ที่นำมาคำนวณหาความแปรปรวน.....	12
รูปที่ 2.5 แนวทางเดินของจุดศูนย์กลางกลุ่มหุ่นที่กำหนดให้ผ่านจุด (h , k).....	14
รูปที่ 2.6 การฉายตำแหน่งของหุ่นในพิกัดใหม่ลงบนแนวทางการเดิน H.....	15
รูปที่ 2.7 ตำแหน่งของหุ่นบนเส้นทางเดิน H ที่นำมาคำนวณหาความแปรปรวน.....	15
รูปที่ 2.8 วัสดุหนา D ถูกแรงเฉือน F กระทำ ทำให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว $u_p$ .....	17
รูปที่ 2.9 ความหนาแน่น อุณหภูมิ ความเค้ม และอัตราเร็วที่ความลึกหุ่นและที่พื้นทะเล.....	22
รูปที่ 3.1 หุ่นลอยที่ใช้ทดลอง.....	26
รูปที่ 3.2 เครื่องบันทึกข้อมูลทางตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS logger).....	26
รูปที่ 3.3 การติดตั้ง GPS logger ไว้กับหุ่น.....	27
รูปที่ 3.4 ลักษณะกลุ่มหุ่นในแต่ละสถานีที่ปล่อยให้เป็นรูปเรขาคณิตแบบปิด.....	27
รูปที่ 3.5 การจัดกลุ่มหุ่นออกเป็นกลุ่มย่อยเพื่อให้ได้ขนาดที่แตกต่างกัน.....	29
รูปที่ 3.6 การทดลองของกลุ่มหุ่น 480206B(2)45678.....	32
รูปที่ 3.7 พิกัดจุดศูนย์กลางของกลุ่มหุ่น ความชันและค่าตัดแกน Y ของแนวทางการเดินกลุ่มหุ่น.....	37
รูปที่ 3.8 เปรอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มหุ่นกับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มหุ่น	
ต่อขนาดความปั่นป่วนในแนวแกน X .....	45
รูปที่ 3.9 เปรอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มหุ่นกับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มหุ่น	
ต่อขนาดความปั่นป่วนในแนวแกน.....	46
รูปที่ 3.10 เปรอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มหุ่นกับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มหุ่น	
ต่อขนาดความปั่นป่วนบนแนวทางการเดิน H.....	47
รูปที่ 3.11 กราฟความหนาแน่นเชิงเส้นของผลการทดลองปล่อยหุ่นกับผลจากสูตรเอ็มไพริกัล	
ของกลุ่มหุ่น 480729B1234.....	49
รูปที่ 4.1 การทดลองของกลุ่มหุ่น 470512B12345 (รอบที่ 1).....	52
รูปที่ 4.2 การทดลองของกลุ่มหุ่น 470513B1234 (รอบที่ 1).....	53
รูปที่ 4.3 การทดลองของกลุ่มหุ่น 470514B1234 (รอบที่ 1).....	54
รูปที่ 4.4 การทดลองของกลุ่มหุ่น 471007B23456 (รอบที่ 2).....	55

รูปที่ 4.5 การทดลองของกลุ่มท่อน 471008B1235 (รอบที่ 2).....	56
รูปที่ 4.6 การทดลองของกลุ่มท่อน 471009B1234 (รอบที่ 2).....	57
รูปที่ 4.7 การทดลองของกลุ่มท่อน 471020B1234 (รอบที่ 3).....	58
รูปที่ 4.8 การทดลองของกลุ่มท่อน 480205B(2)123456 (รอบที่ 4).....	59
รูปที่ 4.9 การทดลองของกลุ่มท่อน 480206B135 (รอบที่ 4).....	60
รูปที่ 4.10 การทดลองของกลุ่มท่อน 480206B(2)45678 (รอบที่ 4).....	61
รูปที่ 4.11 การทดลองของกลุ่มท่อน 480517B123468 (รอบที่ 5).....	62
รูปที่ 4.12 การทดลองของกลุ่มท่อน 480517B(2)123468 (รอบที่ 5).....	63
รูปที่ 4.13 การทดลองของกลุ่มท่อน 480518B123456 (รอบที่ 5).....	64
รูปที่ 4.14 การทดลองของกลุ่มท่อน 480518B(2)123456 (รอบที่ 5).....	65
รูปที่ 4.15 การทดลองรอบที่ 1.....	67
รูปที่ 4.16 การทดลองรอบที่ 2.....	67
รูปที่ 4.17 การทดลองรอบที่ 3.....	68
รูปที่ 4.18 การทดลองรอบที่ 4 (ครั้งที่ 1).....	68
รูปที่ 4.19 การทดลองรอบที่ 4 (ครั้งที่ 2).....	69
รูปที่ 4.20 การทดลองรอบที่ 4 (ครั้งที่ 3).....	69
รูปที่ 4.21 การทดลองรอบที่ 5.....	70
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ สัมประสิทธิ์การกระจายกับรัศมีการแพร่.....	79

## สัญลักษณ์

A	พื้นที่ที่ถูกล้อม โดยท่อน
C	ความเข้มข้น
$C_0$	ความเข้มข้นตอนเริ่มต้นของสีที่ข้อมลงไปในทะเล
$C_{x,0}$	ความหนาแน่นเชิงเส้นตอนเริ่มต้นของกลุ่มท่อนในแนวแกน X
$C_{x,t}$	ความหนาแน่นเชิงเส้นของผลการทดลองของกลุ่มท่อนในแนวแกน X ณ เวลา t
$C'_{x,t}$	ความหนาแน่นเชิงเส้นของผลเฉลยเชิงตัวเลขของกลุ่มท่อนในแนวแกน X ณ เวลา t
D	ความลึกท่อน
F	แรงที่กระทำต่อมวลน้ำ
H	แนวเส้นทางเดิน (แนว H)
K	สัมประสิทธิ์การแพร่
$K_G$	สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ
$K'_G$	สัมประสิทธิ์การกระจายแนวราบ
$K_b$	ค่าคงที่ ( $1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ )
$K_H$	สัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน H
$K'_H$	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายบนแนวทางเดิน H
$K''_H$	สัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน H ที่คำนวณจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง
$K_{H,t}$	สัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน H ณ เวลา t
$K_x$	สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X
$K'_x$	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวแกน X
$K''_x$	สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X ที่คำนวณจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง
$K_{x,t}$	สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X ณ เวลา t
$K_y$	สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน Y
$K'_y$	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแนวแกน Y
$K''_y$	สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน Y ที่คำนวณจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง
$K_{y,t}$	สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน Y ณ เวลา t
$K_{z,x}$	สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งเนื่องจากความปั่นป่วนในแนวแกน X
L	ขนาดความปั่นป่วน

$L_H$	ขนาดความปั่นป่วนบนแนวทางเดิน H
$L_x$	ขนาดความปั่นป่วนในแนวแกน X
$L_{x,t}$	ขนาดความปั่นป่วนในแนวแกน X ณ เวลา t
N	จำนวนท่อน
Ri	ค่าของ Richardson
S	ความเค็ม
S.D. <sub>H</sub>	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความคลาดเคลื่อนของ GPS logger บนแนวทางเดิน H
S.D. <sub>x</sub>	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความคลาดเคลื่อนของ GPS logger ในแนวแกน X
S.D. <sub>y</sub>	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความคลาดเคลื่อนของ GPS logger ในแนวแกน Y
T	อุณหภูมิ
U	อัตราเร็วกระแส น้ำบนแนวทางเดิน H
V	ปริมาตรของน้ำบนพื้นที่ A และลึก 5 เมตร
X	แนวตะวันออก – ตะวันตก (แนวแกน X)
X'	แนวตะวันออก – ตะวันตก (แนวแกน X')
Y	แนวตะวันออก – ตะวันตก (แนวแกน Y)
Y'	แนวตะวันออก – ตะวันตก (แนวแกน Y')
a	ความเร่งของมวลน้ำปริมาตร V ที่ถูกแรง F กระทำ
c	ค่าตัดแกน Y
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
h	ระยะทางจากจุดกำเนิดใหม่กับจุดกำเนิดเดิมตามแนวแกน X
$h_{i,t}$	พิกัดของท่อนตัวที่ i ณ เวลา t บนแนวทางเดิน H
i	เลขประจำท่อน
k	ระยะทางจากจุดกำเนิดใหม่กับจุดกำเนิดเดิมตามแนวแกน Y
m	ความชันของเส้นทางเดิน H ในระบบพิกัดฉาก
n	จำนวนข้อมูลที่เป็นจุดศูนย์กลางท่อน
r	รัศมีของโอกาสที่จะพบท่อนขณะเริ่มต้น = 3σ
t	เวลา
u	อัตราเร็วกระแสน้ำในแนวแกน X
$u_D$	อัตราเร็วกระแสน้ำที่ความลึกท่อนในแนวแกน X
$u_z$	อัตราเร็วกระแสน้ำที่พื้นทะเลในแนวแกน X
v	อัตราเร็วกระแสน้ำในแนวแกน Y

$x$	พิกัดแนวตะวันออก – ตะวันตก (แนวแกน X)
$x_{i,t}$	พิกัดของหุ่นตัวที่ $i$ ณ เวลา $t$ ในแนวแกน X
$x'_{i,t}$	พิกัดของหุ่นตัวที่ $i$ ณ เวลา $t$ ในแนวแกน X'
$x''_{i,t}$	พิกัดของหุ่นตัวที่ $i$ ณ เวลา $t$ ในแนวแกน X' ที่ฉายลงบนแนวทางเดิน H
$x_t$	พิกัดของ GPS logger ในแนวแกน X ที่ติดตั้งไว้กับที่ ณ เวลา $t$
$\bar{x}_t$	พิกัดของจุดศูนย์กลางกลุ่มหุ่นในแนวแกน X ณ เวลา $t$
$\bar{x}_{t+1}$	พิกัดของจุดศูนย์กลางกลุ่มหุ่นในแนวแกน X ณ เวลาถัดจาก $t$ ไปหนึ่งเวลา
$\bar{x}_{t-1}$	พิกัดของจุดศูนย์กลางกลุ่มหุ่นในแนวแกน X ณ เวลาก่อนหน้า $t$ อยู่หนึ่งเวลา
$y$	พิกัดแนวเหนือ - ใต้ (แนวแกน Y)
$y_{i,t}$	พิกัดของหุ่นตัวที่ $i$ ณ เวลา $t$ ในแนวแกน Y
$y'_{i,t}$	พิกัดของหุ่นตัวที่ $i$ ณ เวลา $t$ ในแนวแกน Y'
$y''_{i,t}$	พิกัดของหุ่นตัวที่ $i$ ณ เวลา $t$ ในแนวแกน Y' ที่ฉายลงบนแนวทางเดิน H
$y_t$	พิกัดของ GPS logger ในแนวแกน Y ที่ติดตั้งไว้กับที่ ณ เวลา $t$
$\bar{y}_t$	พิกัดของจุดศูนย์กลางกลุ่มหุ่นในแนวแกน Y ณ เวลา $t$
$z$	ความลึกน้ำ
$\alpha$	ค่าคงที่ไร้หน่วย = 5
$\mu$	ความหนืดสมบูรณ์ของของไหล
$v$	สัมประสิทธิ์ความหนืดเนื่องจากความปั่นป่วน
$v_x$	สัมประสิทธิ์ความหนืดเนื่องจากความปั่นป่วนในแนวแกน X
$v_{x,t}$	สัมประสิทธิ์ความหนืดเนื่องจากความปั่นป่วนในแนวแกน X ณ เวลา $t$
$\rho$	ความหนาแน่นของน้ำ
$\rho_D$	ความหนาแน่นของน้ำที่ความลึกหุ่น
$\rho_z$	ความหนาแน่นของน้ำที่พื้นทะเล
$\sigma_G^2$	ความแปรปรวนร่วมในแนวแกน X และแกน Y
$\sigma_{H,t}$	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ขนาดของกลุ่มหุ่น) บนแนวทางเดิน H ณ เวลา $t$
$\sigma_{x,t}$	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ขนาดของกลุ่มหุ่น) ในแนวแกน X ณ เวลา $t$
$\sigma_{y,t}$	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ขนาดของกลุ่มหุ่น) ในแนวแกน Y ณ เวลา $t$



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริเวณโดยรอบชายฝั่งอ่าวไทยตอนบนนั้น มีการปล่อยของเสียจากกิจกรรมของมนุษย์ลงสู่ทะเลอยู่เป็นจำนวนมาก ทั้งจากโรงงานอุตสาหกรรม จากแหล่งชุมชน หรือจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง หลายครั้งที่ของเสียที่ปล่อยออกมานั้นก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำขึ้น และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งต่อสิ่งมีชีวิตในทะเลและต่อมนุษย์เอง ทั้งนี้หากรวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ในทะเลกลางอ่าวไทย เช่น การลักลอบปล่อยน้ำมันเครื่องจากเรือลงสู่ทะเล การรั่วไหลของน้ำมันจากเรือขนส่ง ของเสียจากการขุดเจาะน้ำมันกลางอ่าวไทย หรือจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเอง เช่น ปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี ด้วยแล้วจึงเป็นที่น่าคิดว่าของเสียเหล่านี้มีอัตราการกระจายตัวอย่างไร และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากแค่ไหน ดังนั้นถ้าหากเราทราบถึงลักษณะการกระจายตัวหรืออัตราการแพร่แล้วเราจะสามารถคาดการณ์ถึงผลกระทบที่จะตามมาได้

จากสมการพื้นฐานการแพร่ของ Fick หากเราจะหาอัตราการแพร่ในบริเวณใดแล้ว เราต้องทราบค่าคงที่ของการแพร่หรือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของบริเวณนั้นก่อน ส่วนวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่นั้นมีอยู่หลายวิธีแต่ละวิธีก็มีข้อเด่นข้อด้อยแตกต่างกัน ส่วนการศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกวิธีหุ่นลอย (Lagrangian movement หรือ Floating buoys) เพราะมีข้อดีคือ เป็นวิธีที่วัดการแพร่ของน้ำโดยตรง วัสดุที่ใช้ไม่ก่อมลพิษ สามารถนำกลับมาใช้ได้หลายครั้ง ง่ายและประหยัดต่อการเตรียมการศึกษา ใช้ได้กับทุกช่วงเวลาทุกสถานที่ทั้งพื้นที่กว้างพื้นที่แคบน้ำลึกน้ำตื้น แถบชายฝั่งหรือกลางมหาสมุทร ข้อมูลมีความต่อเนื่อง และไม่มีปัญหาเรื่องความนำไฟฟ้าอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ ความเค็ม หรือความหนาแน่นของไอออนในน้ำ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

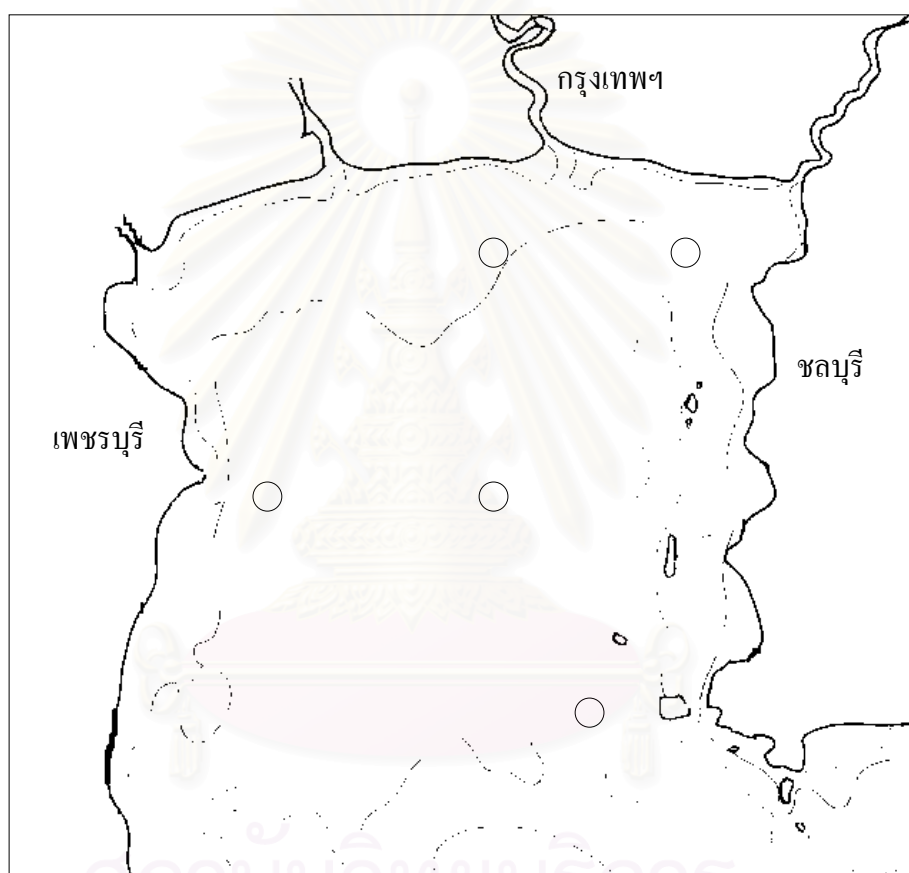
เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบน

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาวิธีคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบน โดยใช้หุ่นลอยที่มีความลึก 5 เมตร สถานีทดลอง 5 สถานี แต่ละสถานีครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 0.2 ตารางกิโลเมตร หรือกว้างประมาณ 500 เมตร เป็นเวลา 1 – 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 พิกัดของสถานีทดลอง

สถานี	ละติจูดเหนือ	ลองจิจูดตะวันออก
A	13 <sup>0</sup> 20' 00"	100 <sup>0</sup> 50' 00"
B	13 <sup>0</sup> 00' 00"	100 <sup>0</sup> 10' 00"
C	12 <sup>0</sup> 40' 00"	100 <sup>0</sup> 40' 00"
D	13 <sup>0</sup> 00' 00"	100 <sup>0</sup> 30' 00"
E	13 <sup>0</sup> 20' 00"	100 <sup>0</sup> 30' 00"

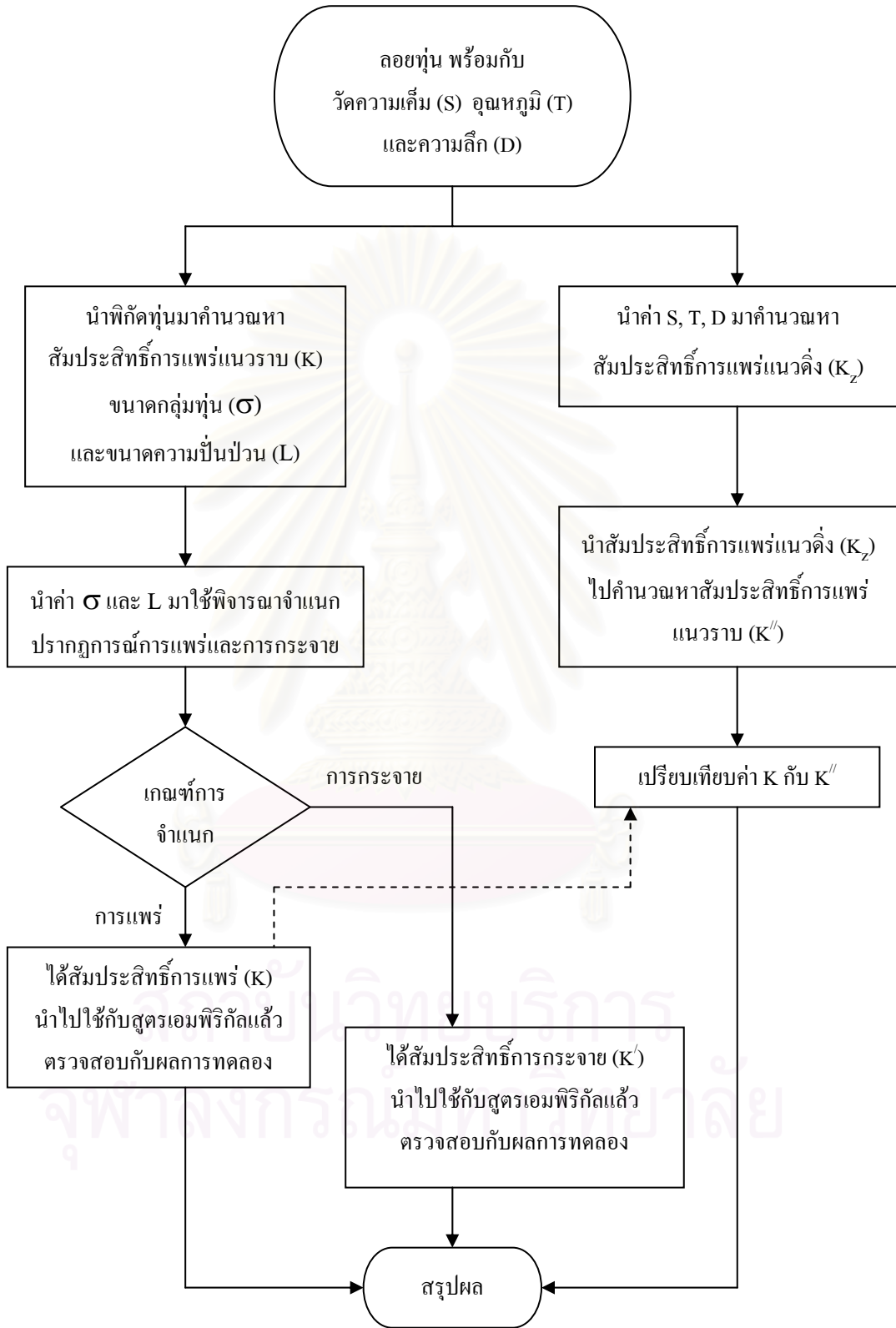


รูปที่ 1.1 สถานีที่ทำการทดลองในอ่าวไทยตอนบน

#### 1.4 สมมติฐาน

การศึกษาวิธีคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบนโดยใช้ทุ่นลอยนี้ ทำการทดลองโดยติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลทางตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS logger) ไว้กับทุ่นลอยแล้วปล่อยให้เคลื่อนที่ไปตามกระแสน้ำ แล้วนำข้อมูลทางตำแหน่งที่บันทึกได้มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงสมมติให้อัตราเร็วกระแสน้ำที่พื้นทะเลเป็นศูนย์ และสมมติว่าทุ่นลอยเป็นส่วนหนึ่งของมวลน้ำไม่ได้รับอิทธิพลจากคลื่นและลม

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานโดยย่อ



รูปที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานโดยย่อ

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

นำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบที่ได้มาใช้กับแบบจำลองเชิงตัวเลข เพื่อช่วยให้คาดคะเนอัตราการแพร่ในแนวราบของสารที่ถูกปล่อยลงสู่น้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบนได้แม่นยำมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ใช้ทำนายอัตราการแพร่ในแนวราบ ของสารเคมีที่ถูกปล่อยจากโรงงาน น้ำหล่อเย็นจากโรงไฟฟ้า น้ำมันที่รั่วไหลจากเรือ การเคลื่อนย้ายตะกอนสารแขวนลอย ปრაกฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีการแพร่

สัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion coefficient) คือ ความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารจากที่ที่มีความเข้มข้นสูงไปยังที่ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ซึ่งเมื่อคูณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่นี้กับเกรเดียนต์ความเข้มข้น (Concentration gradient) แล้วจะได้อัตราการแพร่ (Diffusion rate) ดังนั้นถ้าหากทราบว่าน้ำบริเวณนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เป็นเท่าใดแล้วก็สามารถคำนวณอัตราการแพร่ของสารใดๆที่ถูกปล่อยลงสู่ในบริเวณนั้นได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงการพัดพาของกระแส น้ำ ดังสมการพื้นฐานการแพร่ของ Fick 's law

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \dots\dots\dots 2.1$$

โดย  $\frac{\partial C}{\partial t}$  คือ อัตราการแพร่  $\frac{\partial C}{\partial x}$  คือ เกรเดียนต์ความเข้มข้น และ K คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ การแพร่แบ่งได้ 2 ระดับคือ 1) การแพร่ระดับโมเลกุล (Molecular diffusion) เกิดจากการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (Brownian motion) ของอนุภาคน้ำเข้าชนกับอนุภาคของสาร ทำให้สารแพร่ออก อัตราการแพร่ระดับโมเลกุลนี้ชี้วัดด้วยสัมประสิทธิ์การแพร่ระดับโมเลกุล (Molecular diffusion coefficient) และ 2) การแพร่ระดับปั่นป่วน (Turbulent diffusion) เกิดจากน้ำถูกกวนให้เกิดความปั่นป่วน ทำให้อนุภาคน้ำสัมผัสกับสารได้มากขึ้น อัตราการแพร่จึงเด่นชัดขึ้น อัตราการแพร่ระดับปั่นป่วนนี้ชี้วัดด้วยสัมประสิทธิ์การแพร่ระดับปั่นป่วน (Turbulent diffusivity หรือ Turbulent diffusion coefficient) ดังนั้นในทะเลจึงมักพบการแพร่ระดับปั่นป่วนเพราะน้ำถูกกวนอยู่ตลอดเวลาและมีความเด่นชัดกว่าการแพร่ระดับโมเลกุล

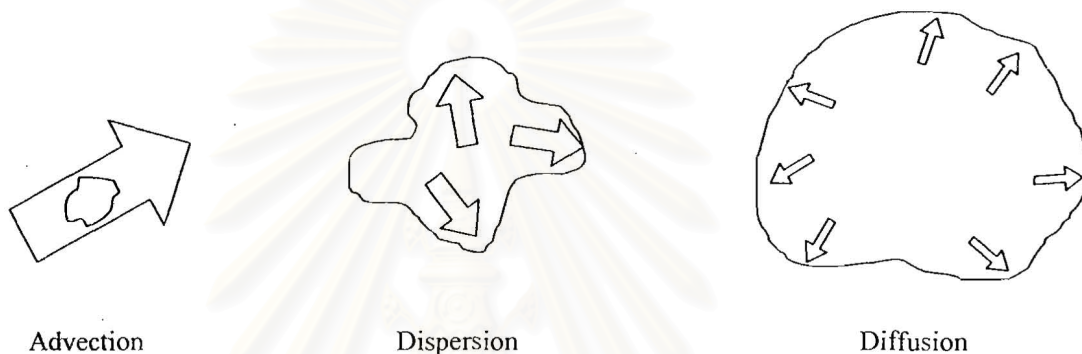
Richardson กล่าวไว้ในเชิงคุณภาพว่า การกระจายตัวของกลุ่มอนุภาคที่ถูกกระทำโดยความปั่นป่วนมี 3 ชนิด ดังรูปที่ 2.1 (Lewis, 1997) ได้แก่

2.1.1 ความปั่นป่วนแบบพัดพา (Advective Turbulent, Advection) เป็นปรากฏการณ์ที่ขนาดของความปั่นป่วนมีขนาดเท่ากันกับหรือใหญ่กว่ากลุ่มอนุภาค ทำให้รูปร่างของกลุ่มอนุภาคที่ถูกพัดพาไปคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง



2.1.2 ความปั่นป่วนแบบกระจาย (Dispersive Turbulent) เป็นปรากฏการณ์ที่กลุ่มอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของความปั่นป่วนไม่มากนักทำให้รูปร่างของกลุ่มอนุภาคบิดเบี้ยวและเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว (ต่อไปนี้จะขอเรียกว่าการกระจาย Dispersion และชี้วัดด้วยสัมประสิทธิ์การกระจาย Dispersion coefficient)

2.1.3 ความปั่นป่วนแบบแพร่ (Diffusive Turbulent) เป็นปรากฏการณ์ที่กลุ่มอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของความปั่นป่วนมาก ทำให้รูปร่างของกลุ่มอนุภาคมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไปดูราบเรียบกว่าการกระจาย (ต่อไปนี้จะขอเรียกว่าการแพร่ Diffusion และชี้วัดด้วยสัมประสิทธิ์การแพร่ Diffusion coefficient)



รูปที่ 2.1 การจำแนกปรากฏการณ์ด้วยขนาดของความปั่นป่วนกับขนาดของกลุ่มอนุภาค (โดยลูกศรแสดงขนาดความปั่นป่วนและรูปไม่มีทรงแสดงเป็นกลุ่มอนุภาค)

แต่ Richardson ไม่ได้ชี้ชัดว่ากลุ่มอนุภาคต้องมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของความปั่นป่วนเท่าใดจึงจะเรียกว่าเป็นการแพร่หรือการกระจาย มีเพียงคำกล่าวของ Yanagi ที่ว่าอัตราการกระจายจะมากกว่าอัตราการแพร่อยู่ 10 - 100 เท่า (Tetsuo, 1999) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีการพิจารณาเกณฑ์การจำแนกการแพร่และการกระจายที่เหมาะสมไว้ด้วย

## 2.2 วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ

วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำ สามารถจำแนกตามเทคโนโลยีที่ใช้ได้ 3 แบบ (Roy, 1997) คือ

### 2.2.1 การเฝ้าติดตามสารที่ย้อมลงในน้ำ (Dye Tracers)

2.2.1.1 การเฝ้าติดตามสารเรืองแสงที่ปล่อยลงในน้ำ (Fluorescent tracer dyes) โดยปล่อยสี Rhodamine-B (อาจใช้ Rhodamine-WT หรือ Lissamine-FF แทนได้ ซึ่งมีราคาสูงกว่า) ลงสู่น้ำด้วยวิธี Mariotte bottle (Lewis, 1997 อ้างตาม Bowden and Lewis, 1973) แล้ววัดหาความเข้มข้นของ Rhodamine-B ที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า Photomultiplier ซึ่งความเข้มข้นของ



Rhodamine-B ที่ปล่อยออกไปมีค่าประมาณ  $1200 \text{ kg/m}^3$  และสามารถติดตามตรวจวัดได้จนถึงค่าต่ำสุดประมาณ  $10^{-4} \text{ kg/m}^3$

### 2.2.1.2 การเฝ้าติดตามอัตราการสลายของสารกัมมันตภาพที่ปล่อยลงในน้ำ

(Radioactive tracers) โดยปล่อย Bromine-82 หรือ Tritium ที่มีค่าความเข้มรังสีเริ่มต้นประมาณ 500 mCi ลงสู่น้ำแล้วทิ้งไว้นาน 4 ชั่วโมงระหว่างนั้นก็ทำการวัดความเข้มรังสีด้วยหัววัด Submersible Scintillation counter ซึ่งสามารถวัดได้ต่ำสุดประมาณ 0.1 mCi/l (Lewis, 1997 อ้างตาม Uncles, 1979)

### 2.2.1.3 การเฝ้าติดตามอัตราการตายของแบคทีเรียที่ปล่อยลงในน้ำ (Bacterial tracers)

โดยปล่อยแบคทีเรียที่ชื่อ *Serratia marcesens* ลงสู่น้ำด้วยความเข้มข้น 20 coliforms/ml แล้วติดตามตรวจวัดอัตราการตายที่สามารถวัดได้ต่ำสุดคือ 1 coliforms/ml ซึ่งอัตราการตายในเวลากลางวันมีมากกว่าเวลากลางคืน เพราะในเวลากลางคืนไม่มีแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ทำให้แบคทีเรียตายลง (Lewis, 1997 อ้างตาม Jensen and Kristenden, 1989)

## 2.2.2 การเฝ้าติดตามคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ (Natural Tracers)

### 2.2.2.1 การเฝ้าติดตามอัตราความเค็ม (Salinity Tracers) วิธีนี้มักใช้ในบริเวณ

ชายฝั่งที่มีน้ำจืดไหลมาผสมกับน้ำทะเล โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความเค็มของน้ำ ณ จุดใดๆ เทียบกับความเค็มของน้ำทะเล แต่วิธีนี้ไม่เหมาะกับบริเวณที่มีรอบของน้ำขึ้นน้ำลงหลายครั้ง เพราะความเค็มมีค่าต่ำ เครื่องมือที่ใช้วัดความเค็ม จะวัดจากความนำไฟฟ้าในน้ำที่มีไอออนของโซเดียมคลอไรด์ผสมอยู่ โดยความนำไฟฟ้านั้นแปรผกผันกับอุณหภูมิซึ่งอาจทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนได้

### 2.2.2.2 การเฝ้าติดตามอุณหภูมิของมวลน้ำ (Temperatures Tracers) ใช้หลักการที่

น้ำในแต่ละระดับความลึกมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน โดยน้ำชั้นบนมีอุณหภูมิสูงกว่าน้ำชั้นล่าง และในแต่ละบริเวณรูปแบบอุณหภูมิของน้ำตามความลึกก็ต่างกันไป ทำให้เฝ้าติดตามการเคลื่อนย้ายมวลของน้ำได้ ซึ่งเหมาะกับการศึกษาในบริเวณมหาสมุทรที่กว้างและลึก

### 2.2.2.3 การเฝ้าติดตามคุณสมบัติทางเคมีของน้ำ (Chemicals Tracers) สารเคมีที่อยู่

ในธรรมชาติ เช่น สารอาหารต่างๆ แอมโมเนีย ไนเตรท หรือ ไฮโดรเจนไอออน จะถูกวัดออกมาเป็นค่า pH ซึ่งวิธีธรรมดาวัดได้อย่างต่ำเพียง 1 mg/l หากค่าที่น้อยกว่านี้ให้ใช้วิธี Shipboard autoanalyser (Lewis, 1997 อ้างตาม Staples et al., 1993) สามารถวัดได้ ต่ำสุดถึง  $0.1 \mu\text{mol/l}$  และมีความคลาดเคลื่อน 0.1 pH

### 2.2.3 การเฝ้าตรวจวัดด้วยอุปกรณ์เสริม (Ancillary Observations)

2.2.3.1 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Current meters) โดยติดตั้งไว้กับที่แล้วเครื่องอ่านค่าอัตราการหมุนของใบพัดเพื่อคำนวณอัตราเร็วของกระแสไฟฟ้า ส่วนทิศทางของกระแสอ่านจากเข็มทิศที่มีในเครื่อง ส่วนข้อมูลที่ได้นั้นอาจจะอ่านจากเครื่องโดยตรงหรือเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำแล้วจึงนำไปวิเคราะห์ภายหลังนั้นแล้วแต่ความสามารถของเครื่องวัดนั้นๆ

2.2.3.2 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบส่งสัญญาณเสียง (Acoustic Doppler current profilers, ADCP) ทำงานโดยส่งสัญญาณเสียงที่มีความถี่ค่าหนึ่งออกไปกระทบกับวัตถุขนาดเล็กหรือเปล่งก่ตอในน้ำ แล้วสะท้อนสัญญาณเสียงกลับมาเป็นอีกความถี่หนึ่ง จากนั้นนำค่าความถี่ที่เปลี่ยนแปลงมาคำนวณหาความเร็วของกระแสไฟฟ้า (Lewis, 1997 อ้างตาม Cheng, 1990)

2.2.3.3 การเฝ้าตรวจวัดจากระยะไกล (Remote Sensing) มีสองแบบคือศึกษาจากภาพถ่ายดาวเทียม และภาพถ่ายทางอากาศจากเครื่องบิน โดยดาวเทียมจะถ่ายภาพลักษณะการแพร่ของมวลน้ำแล้วส่งสัญญาณภาพลงมายังสถานีภาคพื้นดินเพื่อวิเคราะห์ต่อไป วิธีนี้เหมาะกับการศึกษาในขนาดพื้นที่กว้างประมาณ 1 - 2 กิโลเมตร และช่วงเวลาที่ยาวนานเพราะดาวเทียมโคจรผ่านไม่บ่อยนัก แต่ถ้าต้องการศึกษามนพื้นที่ที่เล็กลงมาในระดับ 200 - 1000 เมตร ต้องใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากเครื่องบิน โดยเครื่องบินต้องบินวนซ้ำทางเดิมและที่ความสูงเดิม

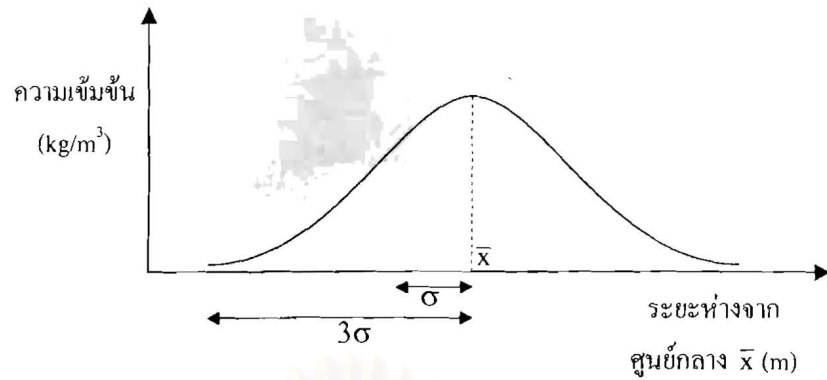
2.2.3.4 การเฝ้าตรวจวัดการเคลื่อนที่โดยตรง (Lagrangian movement หรือ Floating buoys) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในงานศึกษานี้

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ.2517 Okubo ได้เปรียบเทียบข้อมูลและทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ใน 3 บริเวณได้แก่ ชายฝั่งตะวันออกของสหรัฐอเมริกา ชายฝั่งแคลิฟอร์เนีย และตอนใต้ของทะเลเหนือ ด้วยวิธีเฝ้าติดตามสารเรืองแสงที่ปล่อยลงในน้ำโดยใช้ Rhodamine-B ขนาด 2000 กิโลกรัม ย้อมลงไปใต้น้ำทั้งหมดครั้งเดียว แล้วติดตามตรวจวัดความเข้มข้นเป็นระยะๆ จากศูนย์กลางความเข้มข้นทั้งแนวตะวันออก - ตะวันตก (แนวแกน X) และแนวเหนือ - ใต้ (แนวแกน Y) เป็นเวลานาน 3 สัปดาห์ แล้วนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับระยะห่างจากศูนย์กลางความเข้มข้น ดังรูปที่ 2.2 เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตามแนวแกน X และแกน Y ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ) แล้วหาความแปรปรวนร่วม ( $\sigma_G^2$ ) จาก  $\sigma_G^2 = 2\sigma_x \sigma_y$  แล้วนำไปหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ

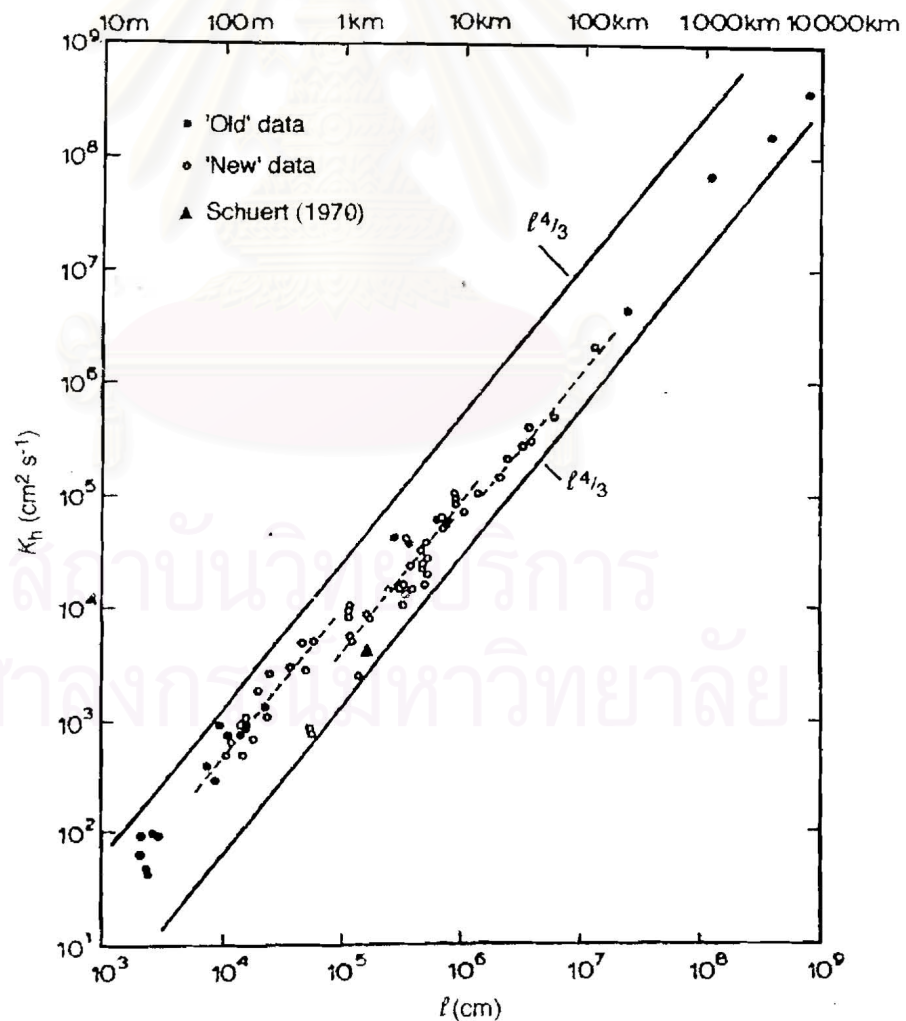
( $K_G$ ) จาก  $K_{G,t} = \frac{1}{4} \frac{d\sigma_G^2}{dt}$  เมื่อ  $t$  เป็นเวลาที่ทำให้เกิด  $\sigma_G^2$  แต่ละค่าโดยมีระยะการแพร่หรือ

ความกว้างของพื้นที่ที่ศึกษาเป็น  $l = 3\sigma$



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับระยะห่างจากศูนย์กลางความเข้มข้น

จากนั้น Okubo ได้นำข้อมูลการหาสัมประสิทธิ์การแพร่ทั้งเก่าและใหม่มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่กับความกว้างของพื้นที่ที่ศึกษา ดังรูปที่ 2.3 และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่นั้นจะมีค่าเป็นสัดส่วนกับกำลัง (4/3) ของระยะการแพร่ ดังสมการ  $K_G = 2.05 \times 10^{-4} \ell^{4/3}$  (Lewis, 1997 อ้างตาม Okubo, 1974)



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่กับความกว้างของพื้นที่ที่ศึกษา



นอกจากนี้ยังมีผู้วิจัยหลายท่านที่ศึกษาหาสัมประสิทธิ์การแพร่ด้วยวิธีวิธีการต่างๆ ในพื้นที่ศึกษาที่ต่างกันและผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จากการศึกษาอื่น

ลำดับ	ผู้ศึกษา	สถานที่ที่ศึกษา	วิธีการศึกษา	ความกว้างพื้นที่ที่ศึกษา	$K_x$ (m <sup>2</sup> /s)	$K_y$ (m <sup>2</sup> /s)
1	(Callaway, 1972)	Depoe, Oregon	Current meters	10 km	11.2	23.7
2	(Lewis, 1997 อ้างตาม Talbot and Talbot, 1974)	Fal estuary	Fluorescent tracer dyes	(ไม่ได้ระบุ)	1.6	0.2
3	( Mahunnop ,1988)	Ao Phai, Thailand	Current meters	7 km	5 – 7	5 – 7
4	(Monton ,1995)	Inland Sea, Japan	Current meters	20 m	1.8	1.2
5	(Lewis, 1997 อ้างตาม Elliott, 1997)	Kinsale	Fluorescent tracer dyes	(ไม่ได้ระบุ)	2.85	0.22
6	( Sudermeyer, 2001)	Atlantic Ocean	Floating buoys	10 km	$1.5 \times 10^3$	$0.7 \times 10^3$
7	(Michida, 2003)	Otsuchi, Japan	Floating buoys	100 m	0.1-0.2	0.1-0.2

จากตารางที่ 2 เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ไปเปรียบเทียบกับกราฟในรูปที่ 2.3 แล้วพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จากการศึกษาลำดับที่ 1, 4 และ 6 จากตาราง มีค่าใกล้เคียงแต่อยู่นอกช่วงกราฟ  $l^3$  ส่วนการศึกษาลำดับที่ 2 และ 5 นั้นไม่ได้ระบุระยะการแพร่ไว้จึงไม่ทราบว่าจะใกล้เคียงหรือไม่ และการศึกษาลำดับที่ 3 และ 7 ได้ค่าใกล้เคียงและอยู่ในช่วงกราฟ  $l^3$  ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำวิธี ทุ่นลอย (Floating buoys) มาใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบนได้เช่นกัน

2.4 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X, Y และแนวราบ G โดยใช้หุ่นลอย

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยใช้พิกัดของหุ่นลอย ( $x_{i,t}, y_{i,t}$ ) ซึ่งเป็นพิกัดตำแหน่งของหุ่นตัวที่  $i$  ในหุ่นจำนวน  $N$  ตัว ณ เวลา  $t$  ของทั้งแกน X และแกน Y ดังรูปที่ 2.4 ด้วยวิธีของ Richardson (Lewis, 1997)

$$\sigma_{x,t}^2 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_{i,t}^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_{i,t} \right)^2}{N(N-1)} \dots\dots\dots 2.2 a$$

$$\sigma_{y,t}^2 = \frac{N \sum_{i=1}^N y_{i,t}^2 - \left( \sum_{i=1}^N y_{i,t} \right)^2}{N(N-1)} \dots\dots\dots 2.2 b$$

$$K_{x,t} = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_{x,t}^2}{dt} \quad \text{หรือ} \quad K_{x,t} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{x,t+1}^2 - \sigma_{x,t-1}^2}{2\Delta t} \dots\dots\dots 2.3 a$$

$$K_{y,t} = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_{y,t}^2}{dt} \quad \text{หรือ} \quad K_{y,t} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{y,t+1}^2 - \sigma_{y,t-1}^2}{2\Delta t} \dots\dots\dots 2.3 b$$

เมื่อ  $\sigma_{x,t}^2$  และ  $\sigma_{y,t}^2$  คือความแปรปรวน (Variant) ของกลุ่มหุ่นในแนวแกน X และแกน Y ณ เวลา  $t$  ตามลำดับ, ( $m^2$ )

$K_{x,t}$  และ  $K_{y,t}$  คือสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X และแกน Y ณ เวลา  $t$  ตามลำดับ, ( $m^2/s$ )

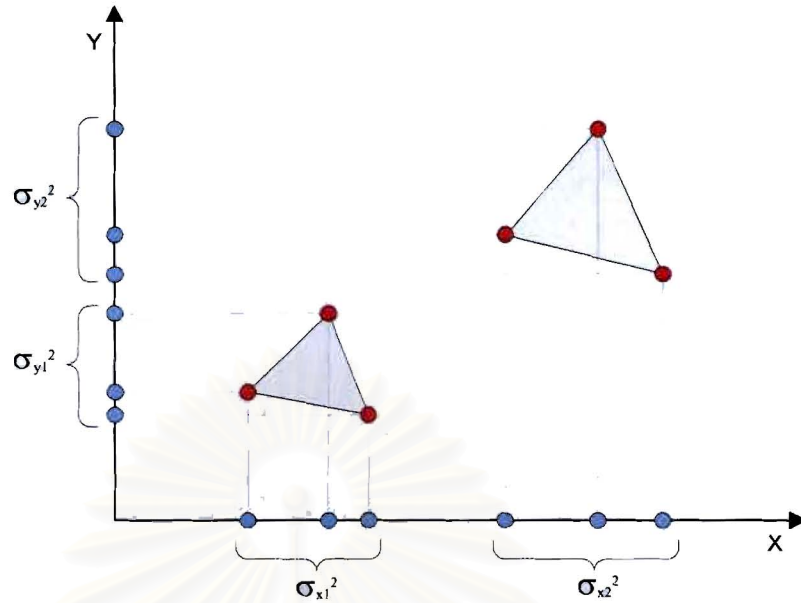
จากนั้นคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ ( $K_G$ ) จากสมการ

$$\sigma_{G,t}^2 = 2 \sigma_{x,t} \sigma_{y,t} \dots\dots\dots 2.4$$

และ 
$$K_{G,t} = \frac{1}{4} \frac{d\sigma_{G,t}^2}{dt} \quad \text{หรือ} \quad K_{G,t} = \frac{1}{4} \frac{\sigma_{G,t+1}^2 - \sigma_{G,t-1}^2}{2\Delta t} \dots\dots\dots 2.5$$

เมื่อ  $\sigma_G^2$  คือความแปรปรวนร่วมของแนวแกน X และแกน Y, ( $m^2$ )

$K_G$  คือสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ, ( $m^2/s$ )



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งของหุ่นบนแนวแกน X และแกน Y ที่นำมาคำนวณหาความแปรปรวน

2.5 การหาพิกัดหุ่นบนแนวทางเดิน

การหาพิกัดหุ่นบนแนวทางเดินเพื่อนำพิกัดดังกล่าวไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน ( $K_H$ ) รวมทั้งขนาดของกลุ่มหุ่น ( $\sigma$ ) ขนาดความปั่นป่วนกระแสน้ำ ( $L$ ) และตรวจสอบสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดินกับสูตรเอมไพริกัล เมื่อการทดลองเกิดขึ้นในเวลาที่ยาวนาน 1 - 2 ชั่วโมง การเคลื่อนที่ของกลุ่มหุ่นจึงมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนั้นจึงหาสมการแนวทางเดินของกลุ่มหุ่นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) เพื่อหาความชัน ( $m$ ) และค่าตัดแกน  $Y$  ( $c$ ) ของแนวทางเดินด้วยสมการ

$$\sum \bar{y}_t = m \sum \bar{x}_t + nc \dots\dots\dots 2.6 a$$

และ  $\sum \bar{x}_t \bar{y}_t = m \sum \bar{x}_t^2 + c \sum \bar{x}_t \dots\dots\dots 2.6 b$

โดย  $\bar{x}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{i,t} \dots\dots\dots 2.7 a$

และ  $\bar{y}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{i,t} \dots\dots\dots 2.7 b$

เมื่อ  $\bar{x}_t, \bar{y}_t =$  จุดศูนย์กลางของกลุ่มหุ่น ณ เวลา  $t$

$N =$  จำนวนหุ่น



$n$  = จำนวนข้อมูลที่เป็นจุดศูนย์กลางของกลุ่มท่อน

$m$  = ความชันของแนวทางเดินในพิกัดฉาก

$c$  = ค่าตัดแกน Y ของแนวทางเดิน

จากสมการ 2.6 ใช้กฎของคราเมอร์ (Cramer's rule) จะได้ 
$$\begin{bmatrix} \sum \bar{y}_t \\ \sum \bar{x}_t \bar{y}_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m \\ c \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum \bar{x}_t & n \\ \sum \bar{x}_t^2 & \sum \bar{x}_t \end{bmatrix}$$

ดังนั้น 
$$m = \frac{\begin{vmatrix} \sum \bar{y}_t & n \\ \sum \bar{x}_t \bar{y}_t & \sum \bar{x}_t \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum \bar{x}_t & n \\ \sum \bar{x}_t^2 & \sum \bar{x}_t \end{vmatrix}} \quad \text{และ} \quad c = \frac{\begin{vmatrix} \sum \bar{x}_t & \sum \bar{y}_t \\ \sum \bar{x}_t^2 & \sum \bar{x}_t \bar{y}_t \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum \bar{x}_t & n \\ \sum \bar{x}_t^2 & \sum \bar{x}_t \end{vmatrix}}$$

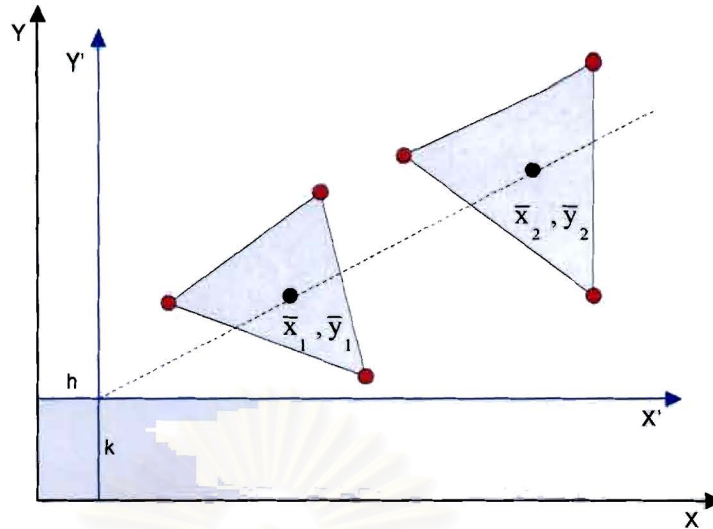
หรือ 
$$m = \frac{\sum \bar{x}_t \sum \bar{y}_t - n \sum \bar{x}_t \bar{y}_t}{(\sum \bar{x}_t)^2 - n \sum \bar{x}_t^2} \dots\dots\dots 2.8 a$$

และ 
$$c = \frac{\sum \bar{x}_t \sum \bar{x}_t \bar{y}_t - \sum \bar{x}_t^2 \sum \bar{y}_t}{(\sum \bar{x}_t)^2 - n \sum \bar{x}_t^2} \dots\dots\dots 2.8 b$$

จากนั้นทำการเลื่อนแกนพิกัดไปที่จุดกำเนิดใหม่ ( $h$ ,  $k$ ) และให้จุดกำเนิดใหม่อยู่บนแนวทางเดิน ด้วยการกำหนดค่า  $h$  ขึ้นมาให้มีค่าน้อยกว่า  $\bar{x}$  ที่น้อยที่สุดอยู่ประมาณ 500 เมตร เพื่อให้ท่อนทุกตัวอยู่ในจัตุภาคเดียวกันทั้งหมด เมื่อได้ค่า  $h$  ที่เหมาะสมแล้วให้แทนค่า  $h$  ลงในสมการ  $k = mh + c$  เพื่อหาค่า  $k$  แล้วจึงได้จุดกำเนิดใหม่ ( $h$ ,  $k$ ) ที่อยู่บนแนวทางเดิน ดังรูปที่ 2.5

$h$  = ระยะทางจากจุดกำเนิดใหม่กับจุดกำเนิดเดิมตามแนวแกน X

$k$  = ระยะทางจากจุดกำเนิดใหม่กับจุดกำเนิดเดิมตามแนวแกน Y



รูปที่ 2.5 แนวทางเดินของจุดศูนย์กลางกลุ่มท่อนที่กำหนดให้ผ่านจุด (h, k)

ต่อมาให้เปลี่ยนข้อมูลตำแหน่งของท่อนทุกตัวทุกเวลาไปอยู่ในแกนพิกัดใหม่ที่มีจุด (h, k) เป็นจุดกำเนิดด้วยสมการ  $x'_{i,t} = x_{i,t} - h$  และ  $y'_{i,t} = y_{i,t} - k$

เมื่อ  $(x'_{i,t}, y'_{i,t}) =$  พิกัดใหม่ของท่อนแต่ละตัว ณ เวลา t ที่มีจุด (h, k) เป็นจุดกำเนิด

$(x_{i,t}, y_{i,t}) =$  พิกัดเดิมของท่อนแต่ละตัว ณ เวลา t

และกำหนดให้สมการแนวทางเดินคือ  $y'' = mx''$  หรือ  $mx'' - y'' = 0$ ..... 2.9 a

แล้วฉายตำแหน่งท่อนทุกตัวทุกเวลาในแกนพิกัดใหม่ให้ไปอยู่บนแนวทางเดิน ดังรูปที่ 2.6 โดยใช้

สมการ  $y' - y'' = (-\frac{1}{m})(x' - x'')$  ที่เขียนใหม่เป็น  $(\frac{1}{m})x'' + y'' = (\frac{x'}{m} + y')$ ..... 2.9 b

เมื่อ  $(x'_{i,t}, y'_{i,t}) =$  พิกัดของท่อนแต่ละตัว ณ เวลา t ที่ต้องการฉายลงบนแนวทางเดิน

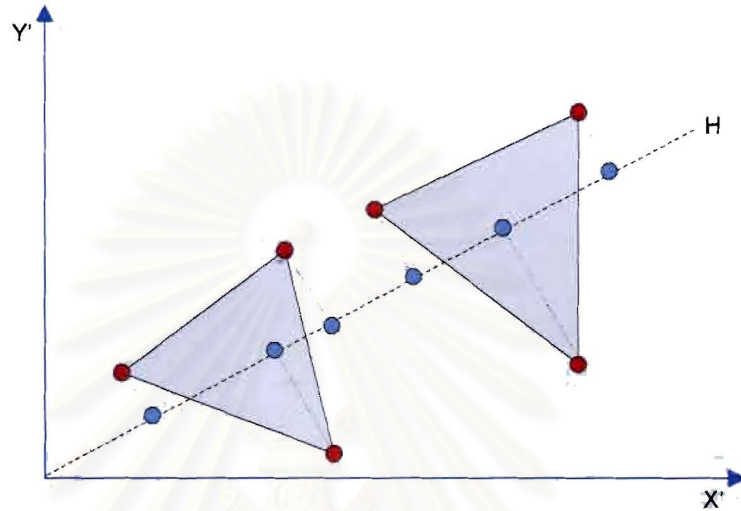
$(x''_{i,t}, y''_{i,t}) =$  พิกัดของท่อนแต่ละตัวที่ฉายลงบนแนวทางเดินแล้ว

จากสมการที่ 2.9 ใช้กฎของคราเมอร์จะได้  $\begin{bmatrix} m & -1 \\ \frac{1}{m} & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x'' \\ y'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{x'}{m} + y' \end{bmatrix}$

แล้ว  $x'' = \frac{\begin{vmatrix} 0 & -1 \\ \frac{x'}{m} + y' & 1 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} m & -1 \\ \frac{1}{m} & 1 \end{vmatrix}}$  และ  $y'' = \frac{\begin{vmatrix} m & 0 \\ \frac{1}{m} & \frac{x'}{m} + y' \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} m & -1 \\ \frac{1}{m} & 1 \end{vmatrix}}$

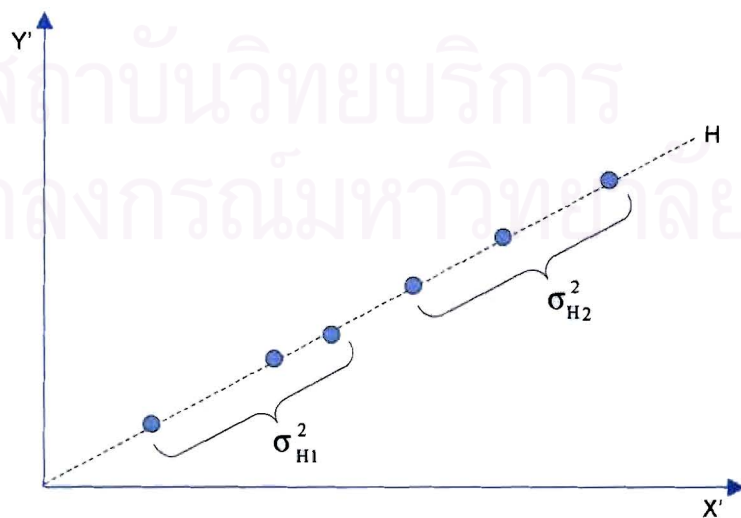
ดังนั้น  $x''_{i,t} = \frac{x'_{i,t}/m + y'_{i,t}}{m+1/m}$  ..... 2.10 a

และ  $y''_{i,t} = \frac{x'_{i,t} + my'_{i,t}}{m+1/m}$  ..... 2.10 b



รูปที่ 2.6 การฉายตำแหน่งของหุ้นในพิกัดใหม่ลงบนแนวทางเดิน H

จากนั้นหาระยะกระจัดของหุ้นทุกตัวบนแนวทางเดินจากจุดกำเนิด ด้วยสมการ  $h_{i,t} = \sqrt{x''_{i,t}^2 + y''_{i,t}^2}$  แล้วนำไปคำนวณหาความแปรปรวนบนแนวทางเดิน ( $\sigma_H^2$ ) ดังรูปที่ 2.7 เพื่อใช้หาสัมประสิทธิ์การแปรผันบนแนวทางเดิน ( $K_H$ ) ขนาดของกลุ่มหุ้น ( $\sigma_H$ ) และขนาดความปั่นป่วนของกระแสเงินสด ( $L_H$ ) บนแนวทางเดิน H ต่อไป



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งของหุ้นบนเส้นทางเดิน H ที่นำมาคำนวณหาความแปรปรวน

### 2.6 การหาลัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดินของกลุ่มท่อนโดยใช้ท่อนสอย

การคำนวณหาค่าลัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดินนั้นใช้สมการเดียวกับการหาลัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X และแกน Y เพียงแต่ใช้พิกัดบนแนวทางเดินของกลุ่มท่อน ( $h_{i,t}$ ) มาคำนวณ และเปลี่ยนสมการที่ 2.2 และ 2.3 เป็น

$$\sigma_{H,t}^2 = \frac{N \sum_{i=1}^N h_{i,t}^2 - \left( \sum_{i=1}^N h_{i,t} \right)^2}{N(N-1)} \dots\dots\dots 2.11$$

$$K_{H,t} = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_{H,t}^2}{dt} \quad \text{หรือ} \quad K_{H,t} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{H,t+1}^2 - \sigma_{H,t-1}^2}{2\Delta t} \dots\dots\dots 2.12$$

เมื่อ  $\sigma_{H,t}^2$  = ความแปรปรวนของกลุ่มท่อนบนแนวทางเดิน H ณ เวลา t

$K_{H,t}$  = ลัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน H ณ เวลา t

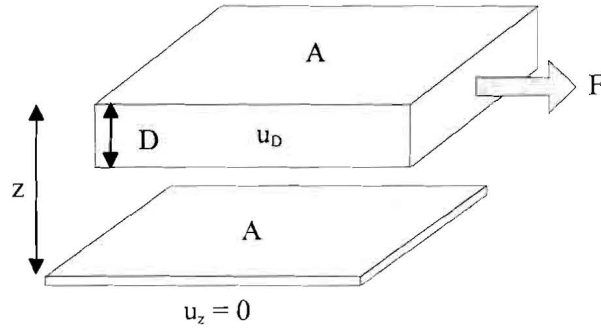
### 2.7 การจำแนกปรากฏการณ์การแพร่

จากที่ Richardson กล่าวไว้ในเชิงคุณภาพว่าการแพร่ของกลุ่มอนุภาคที่ถูกกระทำโดยความปั่นป่วนมี 3 ชนิดนั้น แต่ไม่ได้ชี้ชัดว่ากลุ่มอนุภาคต้องมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของความปั่นป่วนเท่าใดจึงจะเรียกว่าเป็นการแพร่หรือการกระจาย ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้นำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มท่อน ( $\sigma$ ) ที่กำหนดให้เป็นขนาดของกลุ่มท่อน มาเปรียบเทียบกับขนาดของความปั่นป่วน (L) เพื่อแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของกลุ่มท่อน ( $\frac{|\Delta\sigma|}{\sigma}$ ) กับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มท่อนต่อขนาดความปั่นป่วน ( $\frac{\sigma}{L}$ ) โดยต้องหาค่าต่อไปนี้

#### 2.7.1 ลัมประสิทธิ์ความหนืดเนื่องจากความปั่นป่วน ( $\nu$ )

ลัมประสิทธิ์ความหนืดเนื่องจากความปั่นป่วนสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของความเค้นเฉือน ( $\frac{F}{A}$ ) ที่กระทำต่อวัสดุสองแผ่นที่มีของไหลหนา (dz) อยู่ระหว่างแผ่นวัสดุทั้งสอง (ซาญู ถนัดงาน, 2523) ดังรูปที่ 2.8 ทำให้เกิดความแตกต่างของอัตราเร็ว (du) ระหว่างแผ่นวัสดุทั้งสอง โดยเป็นตามสมการ

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dz} \dots\dots\dots 2.13$$



รูปที่ 2.8 วัสดุหนา  $D$  ถูกแรงเฉือน  $F$  กระทำ ทำให้เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว  $u_D$

เมื่อ  $F =$  แรงเฉือนที่กระทำต่อแผ่นวัสดุด้านบน, (N หรือ  $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ )

$A =$  พื้นที่ของแผ่นวัสดุที่ถูกแรงกระทำ, ( $\text{m}^2$ )

$\mu =$  ความหนืดสมบูรณ์ของของไหล (Absolute viscosity), ( $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ )

$u_D =$  อัตราเร็วของแผ่นวัสดุด้านบน, ( $\text{m}/\text{s}$ )

$u_z =$  อัตราเร็วของแผ่นวัสดุด้านล่าง โดย ( $u_z = 0$ ), ( $\text{m}/\text{s}$ )

$du =$  ความแตกต่างของอัตราเร็วระหว่างแผ่นวัสดุด้านบนกับด้านล่าง หรือ ( $u_D - u_z = u_D$ ), ( $\text{m}/\text{s}$ )

$D =$  ความหนาของแผ่นวัสดุด้านบน, ( $\text{m}$ )

$z =$  ความหนาของแผ่นวัสดุด้านบนรวมกับของไหล, ( $\text{m}$ )

$dz =$  ความหนาของของไหลระหว่างแผ่นวัสดุด้านบนกับด้านล่าง  $|D - z|$ , ( $\text{m}$ )

เมื่อสัมพันธ์กับความหนืดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนืดสมบูรณ์ ตามสมการ  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

จากสมการ 2.13 จะได้  $\frac{F}{A} = \nu \rho \frac{du}{dz}$  เขียนใหม่เป็น  $\nu = \frac{F}{\rho A} \frac{dz}{du}$

จากกฎข้อที่สองของนิวตัน  $F = ma$  จะได้  $\nu = \frac{ma}{\rho A} \frac{dz}{du}$

จาก  $m = \rho V$  จะได้  $\nu = \frac{\rho Va}{\rho A} \frac{dz}{du}$  เขียนใหม่เป็น  $\nu = \frac{Va}{A} \frac{dz}{du}$



จาก  $V = DA$  จะได้  $v = \frac{DAa}{A} \frac{dz}{du}$

เขียนใหม่ได้เป็น  $v = Da \frac{dz}{du}$  ..... 2.14

เมื่อ  $v_{x,t}$  = สัมประสิทธิ์ความหนืดเนื่องจากความปั่นป่วน (Turbulent viscosity) ในแนวแกน X ณ เวลา  $t$ , ( $m^2/s$ )

$D$  = ความลึกของท่อน ( $D = 5$ ), (m)

$V$  = ปริมาตรของน้ำบนพื้นที่  $A$  และลึก 5 เมตร, ( $m^3$ )

$z$  = ความลึกน้ำ ณ บริเวณที่ปล่อยท่อน, (m)

$dz$  = ความแตกต่างระหว่างความลึกท่อนกับความลึกน้ำ  $|D - z|$ , (m)

$\bar{x}_{t+1}$  = ตำแหน่งจุดศูนย์กลางกลุ่มท่อน ณ เวลาถัดจาก  $t$  ไปหนึ่งช่วงเวลา, (m)

$\bar{x}_t$  = ตำแหน่งจุดศูนย์กลางกลุ่มท่อน ณ เวลา  $t$ , (m)

$\bar{x}_{t-1}$  = ตำแหน่งจุดศูนย์กลางกลุ่มท่อน ณ เวลาก่อนหน้า  $t$  อยู่หนึ่งช่วงเวลา, (m)

$a$  = ความเร่งของมวลน้ำปริมาตร  $V$ , ( $m/s^2$ )

$$a = \frac{|\bar{x}_{t+1} - 2\bar{x}_t + \bar{x}_{t-1}|}{\Delta t^2}$$

$du$  = ความแตกต่างของอัตราเร็วน้ำที่ความลึกท่อนกับที่พื้นทะเล ( $u_D - u_z = u_D$ ), (m/s)

$$du = u_D = \frac{|\bar{x}_{t+1} - \bar{x}_{t-1}|}{2\Delta t}$$

ดังนั้นในการศึกษานี้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดเนื่องจากความปั่นป่วนได้โดยแทนค่า

ต่างๆลงในสมการ 2.14 จะได้  $v_{x,t} = \left| \frac{10(5-z)}{\Delta t} \times \frac{\bar{x}_{t+1} - 2\bar{x}_t + \bar{x}_{t-1}}{\bar{x}_{t+1} - \bar{x}_{t-1}} \right|$  ..... 2.15



2.7.2 ขนาดความปั่นป่วน (L)

ขนาดของความปั่นป่วนในแนวแกน X ณ เวลา t ( $L_{x,t}$ ) หาได้จากสมการของ

$$\text{Sutton (Lewis, 1997 อ้างตาม Sutton, 1953) คือ } L_{x,t} = \sqrt{v_{x,t} / \left| \frac{du}{dz} \right|} \dots\dots\dots 2.16$$

เมื่อ  $L_{x,t}$  = ขนาดของความปั่นป่วนในแนวแกน X ณ เวลา t, (m)

$v_{x,t}$  = สัมประสิทธิ์ความหนืดเนื่องจากความปั่นป่วน (Turbulent viscosity) ในแนวแกน X ณ เวลา t, ( $m^2/s$ )

2.7.3 ขนาดของกลุ่มทุ่น (σ)

ขนาดของกลุ่มทุ่น ( $\sigma_{xt}$ ) หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวแกน X ณ เวลา t สามารถ

คำนวณจากสมการที่ 2.2 ที่เขียนใหม่ได้เป็น

$$\sigma_{x,t} = \sqrt{\frac{N \sum_{i=1}^N x_{i,t}^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_{i,t} \right)^2}{N(N-1)}} \dots\dots\dots 2.17$$

ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มทุ่น ( $\frac{\Delta\sigma}{\sigma}$ ) หาจากสมการ  $\frac{\Delta\sigma}{\sigma} = \frac{|\sigma_{t+1} - \sigma_t|}{\sigma_t}$

การคำนวณในแนวแกน Y และแนวทางเดิน H สามารถกระทำได้เช่นเดียวกับแนวแกน X

2.8 ผลจากการทดลองกับผลจากสูตรอมไพริกัล

สารที่ถูกปล่อยลงสู่ทะเลนั้นปกติวัดเป็นหน่วยของความเข้มข้น โดยเมื่อเวลาผ่านไป ความเข้มข้นของสารก็เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย เช่นเดียวกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกขนาดของกลุ่มทุ่นหรือขณะเดียวกันก็บ่งบอกถึงการกระจายตัวของทุ่นจากจุดศูนย์กลางด้วย ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปขนาดกลุ่มทุ่นก็เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน เราจึงใช้หน่วยของความหนาแน่นเชิงเส้นมาแทนหน่วยของความเข้มข้น (Lewis, 1997 อ้างตาม Richardson, 1926) โดยความหนาแน่นเชิงเส้นในแต่ละเวลาหาได้จาก

$$C_{x,t} = \frac{1000N}{\sigma_{x,t}} \dots\dots\dots 2.18$$

เมื่อ  $C_{x,t}$  = ความหนาแน่นเชิงเส้นของผลการทดลองของกลุ่มหุ่นในแนวแกน X ณ เวลา t,  
(points/km)

N = จำนวนหุ่นในแต่ละกลุ่ม, (points)

$\sigma_{x,t}$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มหุ่นในแนวแกน X ณ เวลา t, (m)

แล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลจากสูตรเอมไพริคัลของ Hirano และ Sugiura (Tetsuo, 1999) ที่นำสมการที่ 2.1 มาดำเนินการหาผลเฉลยจนได้เป็น

$$C'_{x,t} = \frac{C_{x,0}}{\left(1 + \frac{4K_x t}{r^2}\right)} e^{\left[-\frac{x^2}{r^2} \left/ \left(1 + \frac{4K_x t}{r^2}\right)\right.\right]} \dots\dots\dots 2.19$$

เมื่อ  $C'_{x,t}$  = ความเข้มข้นของสีที่ย้อมลงไปในทะเล ณ เวลา t ที่ระยะทาง x

$C_{x,0}$  = ความเข้มข้นตอนเริ่มต้นของสีที่ย้อมลงไปทะเล ณ เวลา t = 0

r = รัศมีตอนเริ่มต้นของกลุ่มสีที่ย้อมลงไป, (m)

x = ระยะทางที่กลุ่มสีเคลื่อนที่ไปได้ในแนวแกน X, (m)

$K_x$  = สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X, (m<sup>2</sup>/s)

t = เวลาที่ผ่านไปนับจากเริ่มปล่อยสีย้อม, (s)

แต่เนื่องจากการทดลองของเราให้หุ่นลอยจึงไม่มีการสลายดังนั้นสมการที่ 2.19 จะเหลือเพียง

$$C'_{x,t} = \frac{C_{x,0}}{\left(1 + \frac{4K_x t}{r^2}\right)} \dots\dots\dots 2.20$$

โดย  $C'_{x,t}$  = ความหนาแน่นเชิงเส้นจากสูตรเอมไพริคัลของกลุ่มหุ่นในแนวแกน X ณ เวลา t,  
(points/km)

$C_{x,0}$  = ความหนาแน่นเชิงเส้นตอนเริ่มต้นของกลุ่มหุ่นในแนวแกน X, (points/km)



$$C_1 = 12.06 \text{ kg/m}^3$$

$$C_2 = 7.25 \times 10^{-2} \text{ kg/(m}^3 \text{ - psu)}$$

$$C_3 = 1.15 \times 10^{-2} \text{ kg/(m}^3 \text{ - psu}^3)$$

$$C_4 = -8.7625 \times 10^{-1} \text{ kg/(m}^3 \text{ - } ^\circ\text{C)}$$

$$C_5 = 1.1125 \times 10^{-1} \text{ kg/(m}^3 \text{ - } ^\circ\text{C}^2)$$

$$C_6 = 5.10625 \times 10^{-2} \text{ kg/(m}^3 \text{ - psu - } ^\circ\text{C)}$$

$$C_7 = -8.4375 \times 10^{-4} \text{ kg/(m}^3 \text{ - psu}^2 \text{ - } ^\circ\text{C)}$$

$$C_8 = -9.6875 \times 10^{-4} \text{ kg/(m}^3 \text{ - psu - } ^\circ\text{C}^2)$$

$$C_9 = 1.5625 \times 10^{-5} \text{ kg/(m}^3 \text{ - psu}^2 \text{ - } ^\circ\text{C}^2)$$

ให้นำค่า  $R_i$  มาหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งด้วยสมการของ Jone (Tetsuo, 1999 อ้างตาม Jone, 1973)

$$K_{z,x} = K_b + \frac{v_x}{(1 + \alpha R_i)} \dots\dots\dots 2.23$$

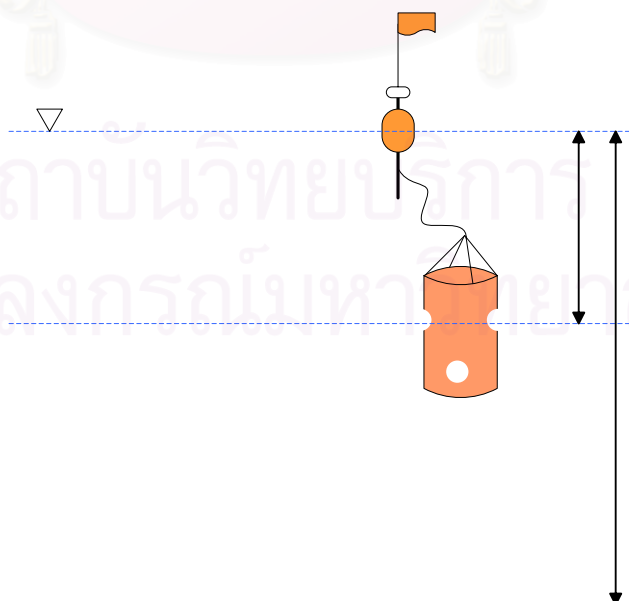
เมื่อ  $K_{z,x}$  = สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งเนื่องจากความปั่นป่วนในแนวแกน X

$$K_b = 1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\alpha = 5 \text{ (เป็นค่าคงที่ไร้หน่วย)}$$

$$v_x \text{ หาได้จากสมการที่ 2.15 : } v_{x,t} = \left| \frac{10(5-z)}{\Delta t} \times \frac{\bar{x}_{t+1} - 2\bar{x}_t + \bar{x}_{t-1}}{\bar{x}_{t+1} - \bar{x}_{t-1}} \right|$$

การคำนวณในแนวแกน Y และแนวทางเดิน H สามารถกระทำได้เช่นเดียวกับแนวแกน X



รูปที่ 2.9 ความหนาแน่น อุณหภูมิ ความเค็ม และอัตราเร็วที่ความลึกทุ่นและที่พื้นทะเล

## 2.10 การหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง

เมื่อได้สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งเนื่องจากความปั่นป่วนในแนวราบแล้ว สามารถนำมาใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบได้โดยใช้สมการ

$$K_x'' = \frac{1}{800} \times \frac{(u_D/2)^2 (D-z)^2}{K_{z,x}} \dots\dots\dots 2.24$$

เมื่อ  $K_x''$  = สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X เนื่องจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง  $K_{z,x}$ ,  
( $m^2/s$ )

$u_D$  = อัตราเร็วกระแสที่ความลึกของท่อน (5 เมตร), ( $m/s$ )

$z$  = ความลึกน้ำ ณ บริเวณที่ทดลอง, ( $m$ )

$D$  = ความลึกของท่อน ( $D = 5$ ), ( $m$ )

(Lewis, 1997 อ้างตาม Bowden, 1965)

## 2.11 ระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System)

ดาวเทียมเริ่มเข้ามามีบทบาทในงานรังวัดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2510 เมื่อรัฐบาลสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้เอกชนใช้ประโยชน์จากดาวเทียมระบบ Transit ได้ จากนั้นงานรังวัดดาวเทียมก็ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วควบคู่กับการพัฒนาทางอิเล็กทรอนิกส์ ระบบดาวเทียมเพื่องานรังวัดที่รู้จักกันมี 2 ระบบคือระบบ Transit และระบบ GPS ระบบ Transit ได้รับการพัฒนาโดยห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ของมหาวิทยาลัยจอห์นฮอปกินส์ ตั้งแต่ต้นยุคอวกาศเรื่อยมาจนถึงปี พ.ศ. 2538 ส่วนระบบ GPS ได้พัฒนาขึ้นโดยอาศัยความรู้และประสบการณ์จากระบบ Transit เมื่อปี พ.ศ. 2532 จึงได้เริ่มส่งดาวเทียมขึ้นไป และทยอยส่งไปเรื่อยๆ จนครบตามที่ได้ออกแบบไว้ในปลายปี พ.ศ. 2534

แนวคิดในการออกแบบระบบดาวเทียม GPS คือ ให้ประโยชน์ต่อผู้ใช้จำนวนมาก ทั้งฝ่ายทหารและพลเรือน อุปกรณ์เครื่องรับใช้งานง่ายและราคาถูก ใช้ได้ตลอด 24 ชั่วโมงไม่ขึ้นกับสภาพภูมิอากาศและสถานที่ (เพียงแต่ต้องอยู่ในที่โล่งเหนือพื้นดิน) ให้ความถูกต้องทางตำแหน่งตามเงื่อนไขที่ฝ่ายทหารกำหนด จากแนวคิดดังกล่าว ระบบดาวเทียม GPS จึงประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง แต่ละดวงโคจรรอบโลกวันละ 2 รอบ ทำให้มีดาวเทียมอยู่บนฟ้าอย่างน้อย 4 ดวงไม่ว่าจะอยู่ที่ใดบนพื้นโลก ดาวเทียมเหล่านี้ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีข้อมูลและรหัสอื่นๆลงมาด้วย ทำ



ให้สามารถนำข้อมูลสัญญาณไปคำนวณหาตำแหน่งได้ตลอด 24 ชั่วโมงทุกสภาพอากาศและทุกที่เหนือพื้นโลกขึ้นไป ระบบดาวเทียม GPS เปิดให้พลเรือนเข้ามาใช้ประโยชน์อย่างสมบูรณ์ตั้งแต่กลางปี พ.ศ. 2536 เป็นต้นมา

## 2.12 การหาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่อง GPS logger

สาเหตุที่ทำให้ข้อมูลพิกัดคลาดเคลื่อนได้แก่ สภาพอากาศ วงโคจรของดาวเทียม และเครื่องรับสัญญาณ ฯ โดยรวมแล้วเราสามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวได้โดยติดตั้ง GPS logger ไว้กับที่ในบริเวณโล่งแจ้ง และให้บันทึกตำแหน่งทุก 15 นาทีเป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วนำข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้มาคำนวณหาความคลาดเคลื่อนตามแนวแกน X แกน Y และความคลาดเคลื่อนรวมจาก

$$S.D._x = \sqrt{\frac{N \sum_{t=1}^N x_t^2 - \left( \sum_{t=1}^N x_t \right)^2}{N^2}} \dots\dots\dots 2.25 a$$

$$S.D._y = \sqrt{\frac{N \sum_{t=1}^N y_t^2 - \left( \sum_{t=1}^N y_t \right)^2}{N^2}} \dots\dots\dots 2.25 b$$

$$S.D._H = \sqrt{S.D._x^2 + S.D._y^2} \dots\dots\dots 2.26$$

เมื่อ  $S.D._x$ ,  $S.D._y$  และ  $S.D._H$  คือค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่อง GPS logger ในแนวแกน X แกน Y และความคลาดเคลื่อนรวมตามลำดับ, (m)

$x_t, y_t$  คือตำแหน่งที่บันทึกได้ ณ เวลา t, (m)

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการศึกษา

##### 3.1 การกำหนดพื้นที่การศึกษา

การศึกษานี้ทำการทดลองในอ่าวไทยตอนบน 5 บริเวณหลัก เพื่อให้ครอบคลุมบริเวณชายฝั่งและกลางอ่าวไทย ซึ่งเป็นบริเวณที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยออกภาคสนามทำการทดลอง 7 รอบ ดังตารางที่ 3.1 แต่ละรอบสามารถทำการทดลองประมาณ 2 ถึง 4 สถานี

ตารางที่ 3.1 วันที่ออกภาคสนามทำการทดลองและตำแหน่งสถานีในแต่ละรอบ

ออกภาคสนามทำการทดลอง	(วัน เดือน ปี) ที่ทำการทดลอง	สถานี
รอบที่ 1	12 - 13 พ.ค. 2547	A, C, D
รอบที่ 2	7 - 9 ต.ค. 2547	A, C
รอบที่ 3	20 ต.ค. 2547	B
รอบที่ 4	5 - 6 ก.พ. 2548	A
รอบที่ 5	17 - 18 พ.ค. 2548	A, E
รอบที่ 6	26 - 29 ก.ค. 2548	A, C, D, E
รอบที่ 7	23 - 25 พ.ย. 2548	C

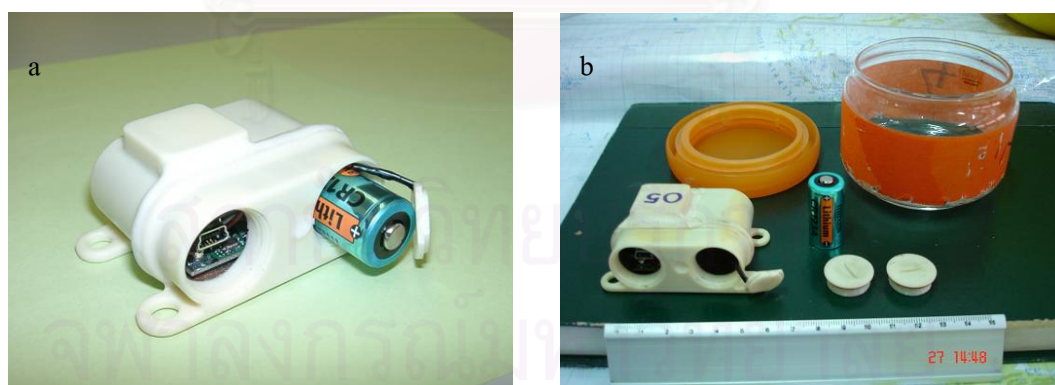
##### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

- 1) ทุ่นลอย (Buoys) จำนวน 8 ชุด (รูปที่ 3.1) แต่ละชุดประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ
  - 1.1) ส่วนที่ลอยน้ำทำจากโฟมโดยร้อยอยู่กับแกนที่ถ่วงน้ำหนักที่ปลายด้านล่าง ส่วนปลายด้านบนเป็นที่ติดตั้ง GPS logger
  - 1.2) ส่วนที่จมน้ำทำจากผ้าใบที่เย็บเป็นรูปทรงระบอกปลายเปิดทั้งสองข้าง และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm โดยรอบจำนวน 6 รู
- 2) เครื่องบันทึกข้อมูลทางตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS logger) 8 เครื่อง แต่ละเครื่องมีขนาด  $45 \times 70 \times 30 \text{ mm}^3$  ใช้พลังงานจาก battery lithium CR123A เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย USB port สามารถบันทึกได้ในช่วงเวลา 1 นาที - 24 ชั่วโมงต่อครั้ง และเก็บบันทึกข้อมูลได้ 1 - 600 ครั้งต่อวัน (รูปที่ 3.2)

- 3) เครื่องวัดความลึก อุณหภูมิ และความเค็ม
- 4) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 1 เครื่อง
- 5) โปรแกรม SMS 8.1 (ใช้เป็นเครื่องมือในการแปลงพิกัดภูมิศาสตร์เป็นพิกัดฉาก)
- 6) โปรแกรม ตารางคำนวณ (Excel)



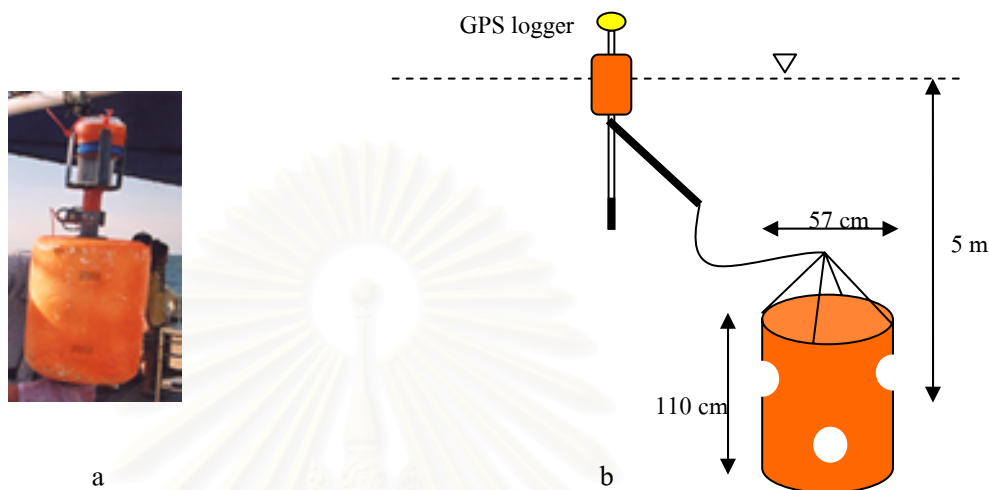
รูปที่ 3.1 ท่อนลอยที่ใช้ทดลอง



รูปที่ 3.2 เครื่องบันทึกข้อมูลทางตำแหน่งบนพื้น โลก (GPS logger)

### 3.3 การติดตั้ง GPS logger

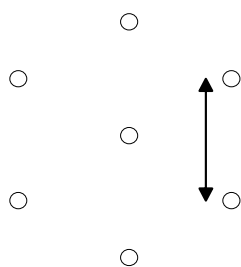
บนทุ่นแต่ละตัวมี GPS logger อยู่ 1 เครื่อง โดยบรรจุไว้ในขวดแก้วกันน้ำขนาดเล็ก แล้วติดตั้งให้อยู่เหนือระดับน้ำดังรูปที่ 3.3 และกำหนดให้บันทึกพิกัดทุกๆ 5 นาที (300 วินาที)



รูปที่ 3.3 การติดตั้ง GPS logger ไว้กับทุ่น

### 3.4 การปล่อยทุ่นลอย

ในแต่ละสถานีปล่อยทุ่นประมาณ 4 ถึง 8 ทุ่น (ตามแต่สภาพการใช้งานได้ในขณะนั้น) ให้เป็นรูปเรขาคณิตแบบปิด ดังรูปที่ 3.4 โดยมีระยะห่างแต่ละทุ่นประมาณ 200 เมตรเพื่อความสะดวกในการปล่อยและเก็บทุ่นกลับคืนและแบ่งเป็นกลุ่มย่อย เมื่อปล่อยทุ่นครบทุกตัวแล้วให้จดบันทึกเวลาปล่อย จากนั้นทำการวัดความเค็มน้ำ อุณหภูมิน้ำที่ความลึกทุ่น ( $S_{D1}$ ,  $T_{D1}$ ,  $D_1$ ) และที่พื้นทะเล ( $S_{z1}$ ,  $T_{z1}$ ,  $z_1$ ) แล้วคอยเฝ้าทุ่นนาน 1 – 2 ชั่วโมง ตามแต่สภาพอากาศและท้องทะเลจะเอื้ออำนวย และจดบันทึกเวลาอีกครั้งเมื่อเริ่มวัดความเค็มน้ำ อุณหภูมิน้ำที่ความลึกทุ่น ( $S_{D2}$ ,  $T_{D2}$ ,  $D_2$ ) และที่พื้นทะเล ( $S_{z2}$ ,  $T_{z2}$ ,  $z_2$ ) ครั้งที่สอง สุดท้ายจึงเก็บทุ่นทุกตัวขึ้นมา (การบันทึกเวลาปล่อยและเก็บนั้นเพื่อความสะดวกในการเลือกข้อมูลของช่วงที่ทำการทดลอง เพราะจำนวนข้อมูลตำแหน่งที่ได้จาก GPS logger นั้นมีมากทั้งขณะเดินทางและทำการทดลองรวมอยู่ด้วยกัน)



รูปที่ 3.4 ลักษณะกลุ่มทุ่นในแต่ละสถานีที่ปล่อยให้เป็นรูปเรขาคณิตแบบปิด

### 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

#### 3.5.1 การแปลงค่าพิกัดทูนและจัดกลุ่มทูน

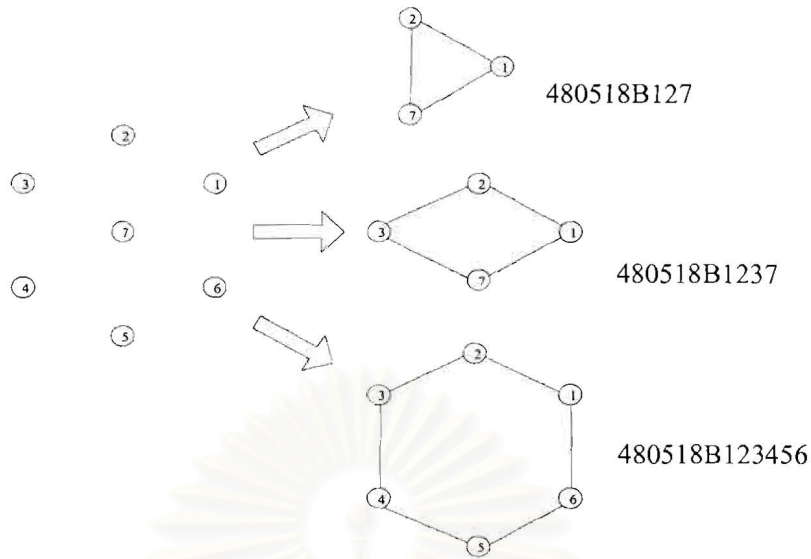
เมื่อนำข้อมูลตำแหน่งออกจาก GPS logger แต่ละตัวแล้ว ต้องทำการแปลงพิกัดตำแหน่งจากระบบพิกัดภูมิศาสตร์ไปเป็นระบบพิกัดฉาก (UTM : Universal Transverse Mercator) ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.2 เพราะระบบพิกัดฉากมีหน่วยเป็นเมตรสะดวกต่อการนำมาคำนวณกว่าระบบพิกัดภูมิศาสตร์ ซึ่งการแปลงนั้นทำได้หลายวิธีแต่ในงานศึกษานี้จะเลือกใช้โปรแกรม SMS 8.1 เป็นเครื่องมือในการแปลง (ส่วนวิธีการแปลงนั้นสามารถศึกษาได้จากโปรแกรม SMS 8.1)

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างผลการแปลงพิกัดภูมิศาสตร์เป็นพิกัดฉากของทูนตัวที่ 4 วันที่ 6 ก.พ. 2548

ตองจิจูด	ละติจูด	พิกัดแกน X	พิกัดแกน Y
100.8347467	13.25528000	698788.275	1466101.943
100.8347167	13.25476000	698785.446	1466044.386
100.8346550	13.25424333	698779.179	1465987.173
100.8346117	13.25371000	698774.920	1465928.131
100.8345617	13.25316833	698769.941	1465868.160
100.8345483	13.25265333	698768.907	1465811.170
100.8345233	13.25212833	698766.624	1465753.064
100.8344550	13.25162833	698759.627	1465697.690
100.8343583	13.25109333	698749.581	1465638.421
100.8342933	13.25055000	698742.978	1465578.255
100.8342333	13.25000833	698736.915	1465518.277
100.8341317	13.24946000	698726.349	1465457.529
100.8340917	13.24891667	698722.454	1465397.383
100.8340250	13.24836167	698715.676	1465335.925
100.8339550	13.24788000	698708.480	1465282.578
100.8338717	13.24733000	698699.898	1465221.659
100.8338083	13.24678500	698693.469	1465161.310

จากนั้นนำข้อมูลที่แปลงเป็นระบบพิกัดฉากแล้วมาเขียนกราฟแสดงรูปร่างของกลุ่มทูนในขณะเริ่มปล่อย เพื่อแบ่งเป็นกลุ่มย่อยให้ได้ขนาดของกลุ่มทูนที่แตกต่างกันสำหรับนำไปใช้จำแนกปรากฏการณ์การแพร่กับการกระจาย (จะกล่าวถึงในภายหลัง) ซึ่งหากไม่แบ่งเป็นกลุ่มย่อยแล้วข้อมูลที่ใช้จำแนกอาจมีน้อยเกินไป จากนั้นในแต่ละกลุ่มย่อยจะถูกตั้งรหัสของกลุ่มขึ้นเพื่อความสะดวกต่อการจัดเรียงและประมวลผล ตัวอย่างเช่นการทดลองวันที่ 18 พฤษภาคม 2548 ปล่อยทูนทั้งหมด 7 ทูน ดังรูปที่ 3.5





รูปที่ 3.5 การจัดกลุ่มหุ่นออกเป็นกลุ่มย่อยเพื่อให้ได้ขนาดที่แตกต่างกัน

ความหมายของรหัสกลุ่มหุ่นเป็นดังนี้ 480518B1237

เลขสองตัวแรก “48” คือปี พ.ศ. 2548

เลขสองตัวถัดมา “05” คือ เดือนพฤษภาคม

เลขสองตัวหน้าอักษรB “18” คือ วันที่ 18

อักษรB ย่อมาจาก Buoy

เลขหลังอักษรB “1237” คือ หุ่นหมายเลข 1 2 3 และ 7

และหากหลังอักษรB มี (2) อยู่ด้วยแสดงว่าเป็นการทดลองครั้งที่ 2 ของวันเดียวกัน

การออกภาคสนามทำการทดลองมีทั้งหมด 7 รอบรวมทั้งสิ้น 22 ครั้ง (มี 1 ครั้งที่มีข้อมูลไม่ถูกต้องคือ การทดลองครั้งที่ 2 ของวันที่ 5 ก.พ. 2548 จึงมีข้อมูลที่ใช้ได้ 21 ครั้ง) แบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ 57 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีจำนวนหุ่นระหว่าง 2 – 8 หุ่น ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รหัสกลุ่มหุ่นทั้งหมดที่ทำการคำนวณ

ลำดับที่	รอบที่	สถานีที่	รหัสกลุ่มหุ่น	เวลา
1	1	A	470512B12345	13:25
2	1	C	470513B14	16:20
3	1	C	470513B1234	16:20
4	1	D	470514B15	14:50
5	1	D	470514B1234	14:50

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

ลำดับที่	รอบที่	สถานที่	รหัสกลุ่มทุน	เวลา
6	2	A	471007B134	12:30
7	2	A	471007B23456	12:30
8	2	A	471008B16	16:15
9	2	A	471008B23	16:15
10	2	A	471008B456	16:15
11	2	A	471008B1235	16:15
12	2	C	471009B567	17:00
13	2	C	471009B1234	17:00
14	3	B	471020B56	11:05
15	3	B	471020B1234	11:05
16	4	A	480205B(2)78	15:45
17	4	A	480205B(2)186	15:45
18	4	A	480205B(2)123456	15:45
19	4	A	480206B23	11:15
20	4	A	480206B35	11:15
21	4	A	480206B135	11:15
22	4	A	480206B(2)256	15:10
23	4	A	480206B8(2)427	15:10
24	4	A	480206B(2)45678	15:10
25	5	E	480517B57	11:45
26	5	E	480517B123468	11:45
27	5	E	480517B(2)347	14:55
28	5	E	480517B(2)123468	14:55
29	5	A	480518B567	9:35
30	5	A	480518B123456	9:35
31	5	A	480518B(2)347	12:30
32	5	A	480518B(2)2347	12:30
33	5	A	480518B(2)123456	12:30
34	6	A	480726B25	11:55
35	6	A	480726B257	11:55
36	6	A	480726B1627	11:55
37	6	A	480726B164387	11:55
38	6	A	480726B(2)24	15:00
39	6	A	480726B(2)632	15:00

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

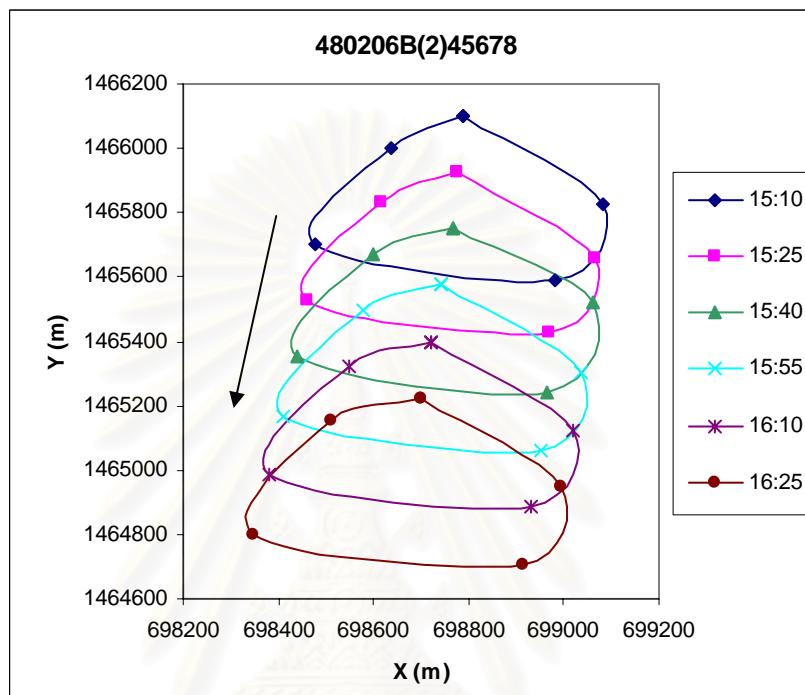
ลำดับที่	รอบที่	สถานีที่	รหัสกลุ่มท่อน	เวลา
40	6	A	480726B(2)3854	15:00
41	6	A	480726B(2)163857	15:00
42	6	C	480727B15	17:00
43	6	C	480727B523	17:00
44	6	C	480727B15234	17:00
45	6	D	480729B1234	7:15
46	6	E	480729B(2)13	11:00
47	6	E	480729B(2)172	11:00
48	6	E	480729B(2)1724	11:00
49	6	E	480729B(2)24567	11:00
50	7	C	481123B47	9:20
51	7	C	481123B234	9:20
52	7	C	481123B2347	9:20
53	7	C	481123B12356	9:20
54	7	C	481123B(2)37	12:50
55	7	C	481123B(2)127	12:50
56	7	C	481123B(2)1756	12:50
57	7	C	481123B(2)123456	12:50

โดยคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่จากกลุ่มท่อนลำดับที่ 1 – 33 (รอบที่ 1 – 5) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จากนั้นจึงนำสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยที่ได้ไปตรวจสอบความถูกต้องจากสูตรเอมไพริกัลกับผลการทดลองของกลุ่มท่อนลำดับที่ 34 – 57 (รอบที่ 6 และ 7)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.5.2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X, Y และแนวราบ G ด้วยวิธีของ Richardson

นำข้อมูลตำแหน่งท่อนของแต่ละกลุ่มมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแต่ละช่วงเวลาด้วยวิธีของ Richardson



รูปที่ 3.6 การทดลองของกลุ่มท่อน 480206B(2)45678

โดยเริ่มจากหาความแปรปรวนในแนวแกน X ด้วยสมการที่ 2.2 a : 
$$\sigma_{x,t}^2 = \frac{N \sum_{i=1}^N x_{i,t}^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_{i,t} \right)^2}{N(N-1)}$$

เมื่อ  $N = 5$  แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X ด้วยสมการที่ 2.3 a :

$$K_{x,t} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{x,t+1}^2 - \sigma_{x,t-1}^2}{2\Delta t} \text{ เมื่อ } \Delta t = 300 \text{ ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.4}$$

ตารางที่ 3.4 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X ของกลุ่มหุ่น 480206B(2)45678

เวลา	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$\sigma_x^2 (m^2)$	$K_x (m/s^2)$
15:10	698788	698637	698479	698982	699082	60493	
15:15	698785	698630	698473	698975	699075	60400	0.47
15:20	698779	698624	698468	698970	699074	61060	0.83
15:25	698775	698618	698462	698970	699067	61398	0.75
15:30	698770	698615	698455	698966	699064	61957	1.38
15:35	698769	698606	698450	698963	699063	63057	2.48
15:40	698767	698598	698441	698963	699061	64931	1.44
15:45	698760	698592	698432	698959	699049	64788	1.21
15:50	698750	698583	698419	698957	699043	66380	2.00
15:55	698743	698576	698411	698952	699038	67193	1.05
16:00	698737	698567	698404	698944	699033	67642	1.45
16:05	698726	698557	698392	698938	699027	68930	1.80
16:10	698722	698549	698381	698932	699020	69807	1.81
16:15	698716	698538	698369	698928	699011	71107	1.49
16:20	698708	698525	698360	698919	699004	71600	1.60
16:25	698700	698512	698345	698912	698994	73027	2.38
16:30	698693	698501	698335	698910	698986	74452	
						เฉลี่ย	1.48

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



และหาความแปรปรวนในแนวแกน Y ด้วยสมการที่ 2.2 b : 
$$\sigma_{y,t}^2 = \frac{N \sum_{i=1}^N y_{i,t}^2 - \left( \sum_{i=1}^N y_{i,t} \right)^2}{N(N-1)}$$

เมื่อ  $N = 5$  แล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน Y ด้วยสมการที่ 2.3 b :

$$K_{y,t} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{y,t+1}^2 - \sigma_{y,t-1}^2}{2\Delta t} \text{ เมื่อ } \Delta t = 300 \text{ ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.5}$$

ตารางที่ 3.5 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน Y ของกลุ่มหุ้น 480206B(2)45678

เวลา	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$	$y_8$	$\sigma_y^2$	$K_y$
15:10	1466102	1465999	1465700	1465590	1465824	44050	
15:15	1466044	1465946	1465641	1465536	1465768	43997	0.57
15:20	1465987	1465885	1465584	1465471	1465716	44738	-1.07
15:25	1465928	1465830	1465525	1465431	1465655	42716	-0.06
15:30	1465868	1465777	1465469	1465357	1465598	44662	2.22
15:35	1465811	1465723	1465407	1465299	1465543	45380	0.57
15:40	1465753	1465670	1465353	1465241	1465520	45349	0.76
15:45	1465698	1465610	1465293	1465179	1465423	46292	0.56
15:50	1465638	1465552	1465230	1465125	1465369	46026	0.25
15:55	1465578	1465496	1465169	1465063	1465304	46598	1.12
16:00	1465518	1465438	1465108	1465000	1465242	47368	0.77
16:05	1465458	1465382	1465049	1464940	1465185	47525	0.03
16:10	1465397	1465325	1464988	1464883	1465121	47399	0.09
16:15	1465336	1465266	1464926	1464822	1465068	47635	1.05
16:20	1465283	1465212	1464866	1464765	1465006	48663	1.49
16:25	1465222	1465155	1464801	1464703	1464948	49418	1.22
16:30	1465161	1465100	1464741	1464642	1464880	50126	
						เฉลี่ย	0.82

จากผลการทดลองในตารางที่ 3.5 พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่บางช่วงเวลามีค่าเป็นลบที่แสดงถึงการลู่เข้า (Convergence) ของกลุ่มหุ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับลักษณะการแพร่ของกลุ่มหุ้นที่ต้องลู่ออก (Divergence) ดังนั้นค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การแพร่ในตารางจึงนำเฉพาะค่าที่เป็นบวกมาคำนวณเท่านั้น

ส่วนสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ ( $K_G$ ) เริ่มจากการหาความแปรปรวนร่วม ( $\sigma_G^2$ ) ในแนวแกน X และแกน Y ของแต่ละช่วงเวลาจากสมการที่ 2.4 :  $\sigma_{G,t}^2 = 2\sigma_{x,t}\sigma_{y,t}$  แล้วนำมาคำนวณหา

สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบในแต่ละช่วงเวลาจากสมการที่ 2.5 :  $K_{G,t} = \frac{1}{4} \frac{\sigma_{G,t+1}^2 - \sigma_{G,t-1}^2}{2\Delta t}$

เมื่อ  $\sigma_x, \sigma_y$  มาจากตารางที่ 3.4 และ 3.5 โดย  $\Delta t = 300$  ได้ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ G ของกลุ่มหุ่น 480206B(2)45678

เวลา	$\sigma_x^2 (m^2)$	$\sigma_x (m)$	$\sigma_y^2 (m^2)$	$\sigma_y (m)$	$\sigma_G^2 (m^2)$	$K_G (m)$
15:10	60493	246	44050	209.88	103242	
15:15	60400	246	43997	209.76	103101	0.54
15:20	61060	247	44738	211.51	104532	-0.28
15:25	61398	248	42716	206.68	102424	0.28
15:30	61957	249	44662	211.33	105207	1.90
15:35	63057	251	45380	213.03	106986	1.38
15:40	64931	255	45349	212.95	108527	1.06
15:45	64788	255	46292	215.16	109530	0.84
15:50	66380	258	46026	214.54	110548	0.99
15:55	67193	259	46598	215.87	111911	1.11
16:00	67642	260	47368	217.64	113209	1.07
16:05	68930	263	47525	218.00	114471	0.76
16:10	69807	264	47399	217.71	115045	0.80
16:15	71107	267	47635	218.26	116399	1.25
16:20	71600	268	48663	220.60	118055	1.56
16:25	73027	270	49418	222.30	120148	1.72
16:30	74452	273	50126	223.89	122180	
					เฉลี่ย	1.09

จากผลการทดลองในตารางที่ 3.6 พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่บางช่วงเวลามีค่าเป็นลบที่แสดงถึงการลู่เข้า (Convergence) ของกลุ่มหุ่น ซึ่งไม่สอดคล้องกับลักษณะการแพร่ของกลุ่มหุ่นที่ต้องลู่ออก (Divergence) ดังนั้นค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การแพร่ในตารางจึงนำเฉพาะค่าที่เป็นบวกมาคำนวณเท่านั้น

### 3.5.3 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแปรผันบนแนวทางเดินของกลุ่มทุน

#### 3.5.3.1 การหาพิสัยกลางบนแนวทางเดิน

เริ่มจากหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มทุน  $(\bar{x}_t, \bar{y}_t)$  ในแต่ละเวลาจากสมการที่ 2.7 a :

$$\bar{x}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{i,t} \text{ เมื่อ } N = 5 \text{ ได้ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.7}$$

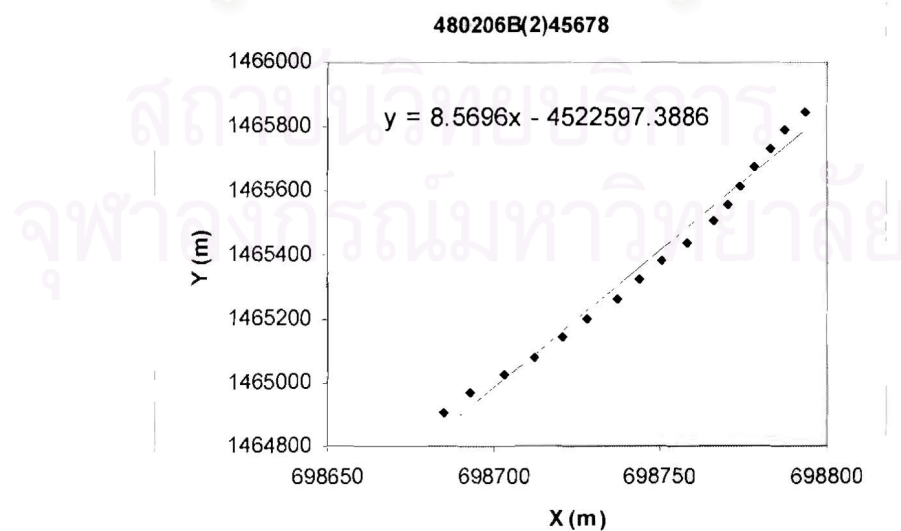
ตารางที่ 3.7 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มทุน 480206B(2)45678 ในแนวแกน X

เวลา	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$\bar{x}$
15:10	698788	698637	698479	698982	699082	698794
15:15	698785	698630	698473	698975	699075	698787
15:20	698779	698624	698468	698970	699074	698783
15:25	698775	698618	698462	698970	699067	698778
15:30	698770	698615	698455	698966	699064	698774
15:35	698769	698606	698450	698963	699063	698770
15:40	698767	698598	698441	698963	699061	698766
15:45	698760	698592	698432	698959	699049	698758
15:50	698750	698583	698419	698957	699043	698750
15:55	698743	698576	698411	698952	699038	698744
16:00	698737	698567	698404	698944	699033	698737
16:05	698726	698557	698392	698938	699027	698728
16:10	698722	698549	698381	698932	699020	698721
16:15	698716	698538	698369	698928	699011	698712
16:20	698708	698525	698360	698919	699004	698703
16:25	698700	698512	698345	698912	698994	698693
16:30	698693	698501	698335	698910	698986	698685

และจากสมการที่ 2.7 b :  $\bar{y}_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{i,t}$  เมื่อ  $N = 5$  ได้ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การคำนวณหาจุดศูนย์กลางของกลุ่มหุ่น 480206B(2)45678 ในแนวแกน Y

เวลา	$y_4$	$y_5$	$y_6$	$y_7$	$y_8$	$\bar{y}$
15:10	1466102	1465999	1465700	1465590	1465824	1465843
15:15	1466044	1465946	1465641	1465536	1465768	1465787
15:20	1465987	1465885	1465584	1465471	1465716	1465728
15:25	1465928	1465830	1465525	1465431	1465655	1465674
15:30	1465868	1465777	1465469	1465357	1465598	1465614
15:35	1465811	1465723	1465407	1465299	1465543	1465556
15:40	1465753	1465670	1465353	1465241	1465520	1465508
15:45	1465698	1465610	1465293	1465179	1465423	1465441
15:50	1465638	1465552	1465230	1465125	1465369	1465383
15:55	1465578	1465496	1465169	1465063	1465304	1465322
16:00	1465518	1465438	1465108	1465000	1465242	1465261
16:05	1465458	1465382	1465049	1464940	1465185	1465203
16:10	1465397	1465325	1464988	1464883	1465121	1465143
16:15	1465336	1465266	1464926	1464822	1465068	1465084
16:20	1465283	1465212	1464866	1464765	1465006	1465026
16:25	1465222	1465155	1464801	1464703	1464948	1464966
16:30	1465161	1465100	1464741	1464642	1464880	1464905



รูปที่ 3.7 พิกัดจุดศูนย์กลางของกลุ่มหุ่น ความชันและค่าตัดแกน Y ของแนวทางการเดินกลุ่มหุ่น



จากนั้นหาความชัน ( $m$ ) และค่าตัดแกน  $Y$  ( $c$ ) ของแนวทางเดินของกลุ่มท่อน 480206B(2)45678 จาก

$$\text{สมการที่ 2.8 a : } m = \frac{\sum \bar{x}_t \sum \bar{y}_t - n \sum \bar{x}_t \bar{y}_t}{(\sum \bar{x}_t)^2 - n \sum \bar{x}_t^2} \quad \text{และ 2.8 b : } c = \frac{\sum \bar{x}_t \sum \bar{x}_t \bar{y}_t - \sum \bar{x}_t^2 \sum \bar{y}_t}{(\sum \bar{x}_t)^2 - n \sum \bar{x}_t^2}$$

เมื่อ  $n = 17$  ได้ความชัน ( $m = 8.5696$ ) และ ค่าตัดแกน  $Y$  ( $c = -4522597$ ) ดังรูปที่ 3.7 แล้วหาจุดกำเนิด ( $h, k$ ) จากการเลือกค่า  $h = 698100$  (เพราะมีค่าน้อยกว่า  $\bar{x}$  ที่น้อยที่สุดอยู่ประมาณ 500 เมตร) และจากสมการ  $k = mh + c$  ทำให้ได้ค่า  $k = 1459840$  และได้จุดกำเนิดใหม่บนแนวทางเดินเป็น  $(698100, 1459840)$  ต่อมาให้เปลี่ยนตำแหน่งของทุกท่อนทุกเวลาไปอยู่ในแกนพิกัดใหม่ที่มีด้วยสมการ  $x'_{i,t} = x_{i,t} - h$  เมื่อ  $h = 698100$  ได้ตามตัวอย่างในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 พิกัดใหม่ของกลุ่มท่อน 480206B(2)45678 ในแนวแกน  $X'$

เวลา	$x'_4$	$x'_5$	$x'_6$	$x'_7$	$x'_8$
15:10	688	537	379	882	982
15:15	685	530	373	875	975
15:20	679	524	368	870	974
15:25	675	518	362	870	967
15:30	670	515	355	866	964
15:35	669	506	350	863	963
15:40	667	498	341	863	961
15:45	660	492	332	859	949
15:50	650	483	319	857	943
15:55	643	476	311	852	938
16:00	637	467	304	844	933
16:05	626	457	292	838	927
16:10	622	449	281	832	920
16:15	616	438	269	828	911
16:20	608	425	260	819	904
16:25	600	412	245	812	894
16:30	593	401	235	810	886



และด้วยสมการ  $y'_{i,t} = y_{i,t} - k$  เมื่อ  $k = 1459840$  ได้ตามตัวอย่างในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 พิกัดใหม่ของกลุ่มหุ่น 480206B(2)45678 ในแนวแกน  $Y'$

เวลา	$y'_4$	$y'_5$	$y'_6$	$y'_7$	$y'_8$
15:10	6262	6159	5859	5750	5983
15:15	6204	6106	5801	5696	5928
15:20	6147	6044	5743	5630	5876
15:25	6088	5990	5684	5590	5815
15:30	6028	5937	5629	5517	5758
15:35	5971	5882	5567	5458	5702
15:40	5913	5829	5513	5401	5680
15:45	5857	5769	5453	5338	5583
15:50	5798	5712	5390	5285	5529
15:55	5738	5655	5329	5223	5464
16:00	5678	5598	5267	5160	5402
16:05	5617	5541	5208	5100	5344
16:10	5557	5484	5148	5043	5281
16:15	5496	5426	5086	4982	5227
16:20	5442	5372	5025	4924	5166
16:25	5381	5315	4961	4863	5108
16:30	5321	5260	4900	4802	5040

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากนั้นฉายพิกัดของทุกท่อนทุกเวลาในแกนพิกัดใหม่ให้ไปอยู่บนแนวทางเดิน H โดยใช้สมการที่

$$2.10 \text{ a : } x''_{i,t} = \frac{x'_{i,t}/m + y'_{i,t}}{m+1/m} \text{ เมื่อ } m = 8.5696 \text{ ได้ตามตัวอย่างในตารางที่ 3.11}$$

ตารางที่ 3.11 พิกัด  $x''$  ของกลุ่มท่อน 480206B(2)45678 บนแนวทางเดิน H

เวลา	$x''_4$	$x''_5$	$x''_6$	$x''_7$	$x''_8$
15:10	730	716	680	674	702
15:15	723	710	673	667	696
15:20	717	703	666	660	690
15:25	710	697	659	655	682
15:30	703	690	653	647	676
15:35	696	684	646	640	669
15:40	690	678	639	633	667
15:45	683	671	632	626	655
15:50	676	664	625	620	649
15:55	669	657	618	613	642
16:00	662	651	610	605	634
16:05	655	644	604	598	628
16:10	648	637	596	592	620
16:15	641	631	589	585	614
16:20	635	624	582	578	607
16:25	628	617	574	571	600
16:30	621	611	567	564	592

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และสมการที่ 2.10 b,  $y''_{i,t} = \frac{x'_{i,t} + my'_{i,t}}{m+1/m}$  เมื่อ  $m = 8.5696$  ได้ตามตัวอย่างในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 พิกัด  $y''$  ของกลุ่มหุ้น 480206B(2)45678 บนแนวทางเดิน H

เวลา	$y''_4$	$y''_5$	$y''_6$	$y''_7$	$y''_8$
15:10	6257	6138	5824	5774	6016
15:15	6200	6085	5766	5720	5960
15:20	6142	6023	5708	5655	5909
15:25	6084	5969	5650	5615	5848
15:30	6024	5917	5594	5542	5792
15:35	5968	5862	5532	5484	5737
15:40	5910	5808	5478	5428	5714
15:45	5855	5748	5418	5366	5617
15:50	5795	5691	5354	5312	5563
15:55	5735	5634	5293	5251	5499
16:00	5675	5577	5231	5188	5437
16:05	5614	5520	5172	5128	5379
16:10	5554	5462	5111	5071	5316
16:15	5493	5403	5048	5010	5262
16:20	5439	5348	4988	4953	5200
16:25	5378	5291	4923	4891	5142
16:30	5318	5235	4861	4831	5074

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และสุดท้ายหารระยะกระจัดของ  $(x''_{i,t}, y''_{i,t})$  บนแนวทางเดิน H จากจุดกำเนิด (698100 , 1459840)

ด้วยสมการ  $h_{i,t} = \sqrt{x''_{i,t}{}^2 + y''_{i,t}{}^2}$  ได้ตามตัวอย่างในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ระยะกระจัด  $h_{i,t}$  ของกลุ่มหุ่น 480206B(2)45678 บนแนวทางเดิน H

เวลา	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$h_7$	$h_8$
15:10	6299	6180	5864	5813	6057
15:15	6242	6126	5805	5759	6001
15:20	6184	6064	5747	5693	5949
15:25	6125	6009	5688	5653	5888
15:30	6065	5957	5632	5580	5831
15:35	6008	5901	5570	5522	5776
15:40	5950	5848	5515	5465	5753
15:45	5894	5787	5455	5402	5655
15:50	5834	5729	5390	5348	5601
15:55	5774	5672	5329	5286	5536
16:00	5713	5614	5267	5223	5474
16:05	5652	5557	5207	5162	5416
16:10	5592	5499	5146	5105	5352
16:15	5530	5440	5083	5044	5298
16:20	5476	5385	5022	4986	5236
16:25	5415	5327	4956	4924	5177
16:30	5354	5271	4894	4863	5109

ซึ่งระยะกระจัด  $h_{i,t}$  ที่ได้คือพิกัดของหุ่นในกลุ่มหุ่น 480206B(2)45678 บนแนวทางเดิน H

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.5.3.2 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ บนแนวทางเดิน

หาสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน H ด้วยพิกัดของท่อน  $h_{i,t}$  บนแนวทางเดิน

$$\text{โดยหาความแปรปรวนบนแนวทางเดิน H จากสมการที่ 2.11 : } \sigma_{H,t}^2 = \frac{N \sum_{i=1}^N h_{i,t}^2 - \left( \sum_{i=1}^N h_{i,t} \right)^2}{N(N-1)} \text{ เมื่อ}$$

$N = 5$  แล้วคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน H ด้วยสมการที่ 2.12 :

$$K_{H,t} = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{H,t+1}^2 - \sigma_{H,t-1}^2}{2\Delta t} \text{ เมื่อ } \Delta t = 300 \text{ ได้ตามตัวอย่างในตารางที่ 3.14}$$

ตารางที่ 3.14 การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบของกลุ่มท่อน 480206B(2)45678

เวลา	$h_4$	$h_5$	$h_6$	$h_7$	$h_8$	$\sigma_H^2 (m^2)$	$K_H (m^2/s)$
15:10	6299	6180	5864	5813	6057	56337	
15:15	6242	6126	5805	5759	6001	56408	0.80
15:20	6184	6064	5747	5693	5949	57296	-1.32
15:25	6125	6009	5688	5653	5888	54829	-0.19
15:30	6065	5957	5632	5580	5831	57069	2.71
15:35	6008	5901	5570	5522	5776	58080	0.72
15:40	5950	5848	5515	5465	5753	57932	0.83
15:45	5894	5787	5455	5402	5655	59075	0.78
15:50	5834	5729	5390	5348	5601	58866	0.36
15:55	5774	5672	5329	5286	5536	59507	1.33
16:00	5713	5614	5267	5223	5474	60464	0.89
16:05	5652	5557	5207	5162	5416	60571	0.03
16:10	5592	5499	5146	5105	5352	60496	0.23
16:15	5530	5440	5083	5044	5298	60850	1.43
16:20	5476	5385	5022	4986	5236	62211	2.00
16:25	5415	5327	4956	4924	5177	63249	1.44
16:30	5354	5271	4894	4863	5109	63945	
						เฉลี่ย	1.04

จากผลการคำนวณในตารางที่ 3.14 พบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่บางช่วงเวลามีค่าเป็นลบที่แสดงถึงการลู่เข้า (Convergence) ของกลุ่มท่อน ซึ่งไม่สอดคล้องกับลักษณะการแพร่ของกลุ่มท่อนที่ต้องลู่ออก (Divergence) ดังนั้นค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การแพร่ในตารางจึงนำเฉพาะค่าที่เป็นบวกมาคำนวณเท่านั้น



### 3.5.4 การจำแนกปรากฏการณ์การแพร่

เริ่มจากหาอัตราเร็ว (u) จากสมการ  $u = \frac{|\bar{x}_{t+1} - \bar{x}_{t-1}|}{2\Delta t}$  หาสัมประสิทธิ์ความหนืด

(v) จากสมการที่ 2.15 :  $v_{x,t} = \left| \frac{10(5-z)}{\Delta t} \times \frac{\bar{x}_{t+1} - 2\bar{x}_t + \bar{x}_{t-1}}{\bar{x}_{t+1} - \bar{x}_{t-1}} \right|$  เมื่อ  $z = 13.8$  เมตร จากนั้นหาขนาด

ความปั่นป่วน (L) จากสมการที่ 2.16 :  $L_{x,t} = \sqrt{v_{x,t} / \left| \frac{du}{dz} \right|}$  แล้วนำมาเปรียบเทียบกับขนาดของ

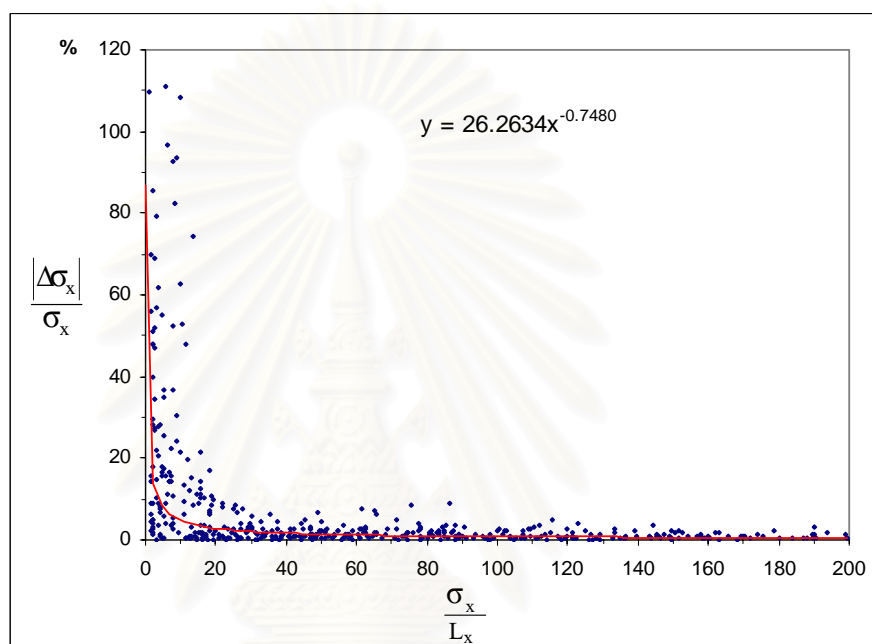
กลุ่มท่อน (σ) ที่ได้มาจากสมการที่ 2.17 :  $\sigma_{x,t} = \sqrt{\frac{N \sum_{i=1}^N x_{i,t}^2 - \left( \sum_{i=1}^N x_{i,t} \right)^2}{N(N-1)}}$  ได้เป็นอัตราส่วน  $\frac{\sigma}{L}$

สุดท้ายหาอัตราการเปลี่ยนแปลงขนาดของกลุ่มท่อน  $\frac{|\Delta\sigma|}{\sigma}$  จาก  $\frac{|\sigma_{t+1} - \sigma_t|}{\sigma_t}$  ได้ดังตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 การหาขนาดของความปั่นป่วนและขนาดกลุ่มท่อน 480206B(2)45678 ในแนวแกน X

เวลา	$\bar{x}$	u (m/s)	$v_x$ (m <sup>2</sup> /s)	$L_x$ (m)	$\sigma_x$ (m)	$\frac{\sigma_x}{L_x}$	$\frac{ \Delta\sigma_x }{\sigma_x}$
15:10	698794				245.95		
15:15	698787	0.017	0.048	4.93	245.77	49.83	0.54%
15:20	698783	0.015	0.011	2.57	247.10	96.16	0.28%
15:25	698778	0.015	0.009	2.32	247.79	106.88	0.45%
15:30	698774	0.013	0.029	4.38	248.91	56.81	0.88%
15:35	698770	0.013	0.029	4.40	251.11	57.05	1.48%
15:40	698766	0.020	0.074	5.74	254.82	44.41	0.11%
15:45	698758	0.026	0.008	1.75	254.54	145.51	1.22%
15:50	698750	0.024	0.029	3.27	257.64	78.87	0.61%
15:55	698744	0.022	0.007	1.77	259.22	146.12	0.33%
16:00	698737	0.026	0.037	3.57	260.08	72.90	0.95%
16:05	698728	0.027	0.024	2.82	262.55	93.19	0.63%
16:10	698721	0.026	0.014	2.18	264.21	121.46	0.93%
16:15	698712	0.029	0.015	2.20	266.66	121.37	0.35%
16:20	698703	0.033	0.019	2.28	267.58	117.19	0.99%
16:25	698693	0.030	0.046	3.68	270.23	73.38	0.97%
16:30	698685				272.86		
เฉลี่ย		0.023	0.027	3.19	257.47	95.09	

แล้วนำข้อมูลในช่วง  $1 < \frac{\sigma}{L} < 200$  (เพราะข้อมูลช่วงที่ไม่เกิน 1 เท่าได้ถูกนิยามไว้ว่าเป็นการตัดพาด ส่วนข้อมูลในช่วงตั้งแต่ 200 เท่าขึ้นไปนั้นขนาดของกลุ่มท่อนเปลี่ยนแปลงน้อยจนไม่แตกต่างจาก ช่วงที่เลือก) ของทุกเวลาทุกกลุ่มท่อนในรอบที่ 1 - 5 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกลุ่มท่อน  $\frac{|\Delta\sigma|}{\sigma}$  กับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มท่อนต่อขนาด ความปั่นป่วน  $\frac{\sigma}{L}$  ได้ดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 3.8 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนกับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มท่อนต่อขนาด ความปั่นป่วนในแนวแกน X

ต่อจากนั้นจึงใช้โปรแกรม Excel สร้างเส้นแนวโน้มและหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนกับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มท่อนต่อขนาดความปั่นป่วน ได้สมการ เป็น  $y = 26.2634 x^{-0.7480}$  (เมื่อ  $y$  คือ  $\frac{|\Delta\sigma_x|}{\sigma_x}$  และ  $x$  คือ  $\frac{\sigma_x}{L_x}$ ) แล้วหาจุดหักเหของเส้นแนวโน้มที่คาดว่า เป็นจุดแบ่งของปรากฏการณ์การแพร่กับการกระจาย โดยหาอนุพันธ์ของ  $y = 26.2634 x^{-0.7480}$

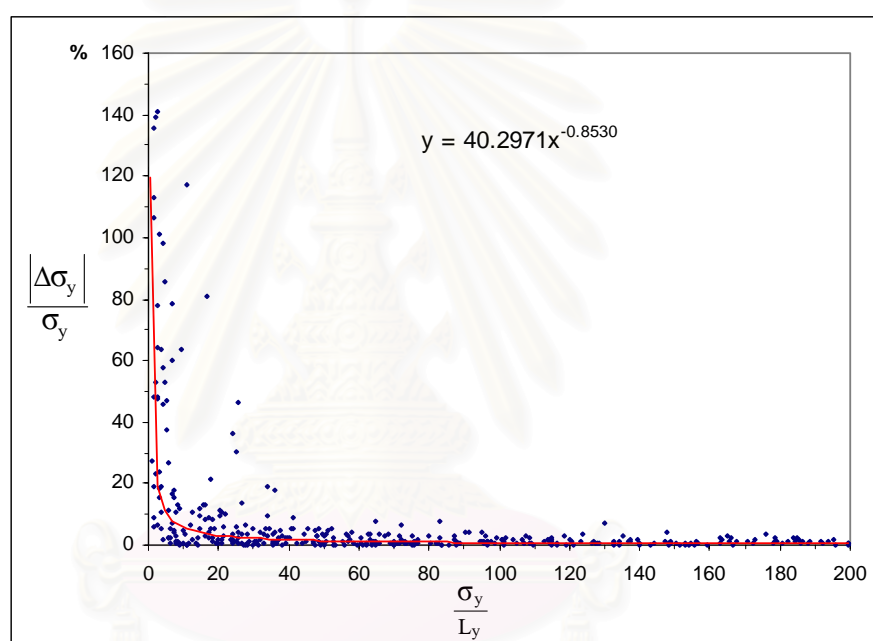
ได้เป็น  $y' = -0.7480 \times 26.2634 x^{-1.7480}$  แล้วกำหนดให้  $y' = -1$  (เพราะจากรูปที่ 3.8 ความชันที่จุดหักเหของเส้นแนวโน้มควรมีค่าเป็น -1) เขียนสมการได้ใหม่เป็น  $-1 = -0.7480 \times 26.2634 x^{-1.7480}$  หรือ

$$x = \left( \frac{1}{0.7480 \times 26.2634} \right)^{\frac{-1}{-1.7480}} \quad \text{ได้ค่า } x = \frac{\sigma_x}{L_x} = 5.49$$

5.49 เท่าของความปั่นป่วนในแนวแกน X เป็นค่าที่แบ่งปรากฏการณ์การแพร่กับการกระจาย โดย

ขนาดของกลุ่มท่อนที่ไม่เกิน 5.49 เท่าของความปั่นป่วนคือการกระจาย แต่หากขนาดของกลุ่มท่อนมากกว่า 5.49 เท่าของความปั่นป่วนคือการแพร่ และเมื่อแทนค่า  $x = 5.49$  ลงใน  $y = 26.2634 x^{-0.7480}$  แล้วได้ค่า  $y = \frac{|\Delta\sigma_x|}{\sigma_x} = 22.73\%$  หมายความว่ากลุ่มท่อนที่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนตั้งแต่ 22.73% ขึ้นไปคือการกระจาย แต่หากกลุ่มท่อนมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนน้อยกว่า 22.73% คือการแพร่

ส่วนการจำแนกปรากฏการณ์ในแนวแกน Y และบนแนวทางเดิน H ของกลุ่มท่อนนั้นสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับในแนวแกน X และเมื่อนำข้อมูลมาสร้างกราฟทำให้ได้ดังรูปที่ 3.9 และ 3.10 ดังนี้



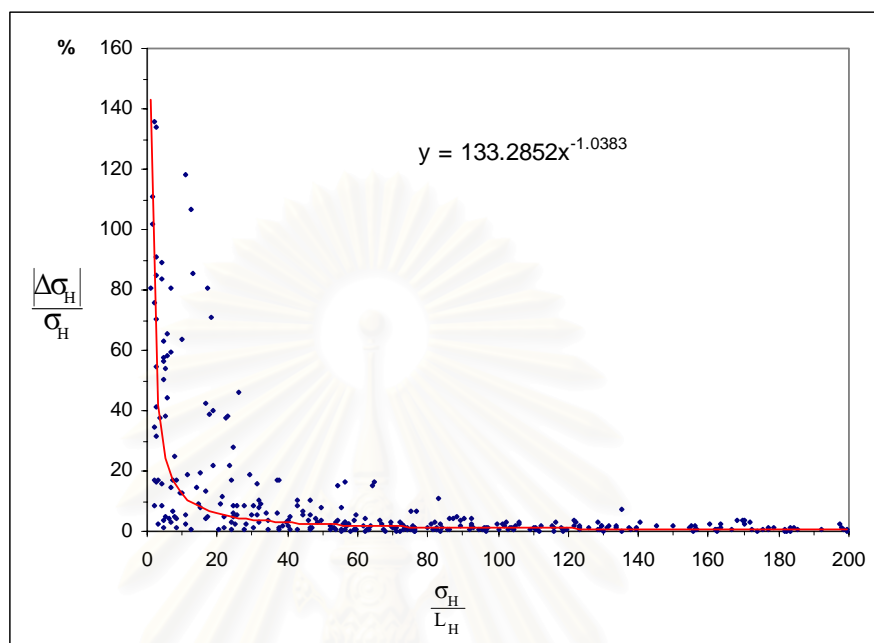
รูปที่ 3.9 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนกับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มท่อนต่อขนาดความปั่นป่วนในแนวแกน

จากรูปที่ 3.9 สมการเส้นแนวโน้มคือ  $y = 40.2971 x^{-0.8530}$  มีจุดหักเหของเส้นแนวโน้มที่  $\frac{\sigma_y}{L_y} = 6.75$

และ  $\frac{|\Delta\sigma_y|}{\sigma_y} = 18.36\%$  หมายความว่าที่ขนาดของกลุ่มท่อนเป็น 6.75 เท่าของความปั่นป่วนใน

แนวแกน Y เป็นค่าที่แบ่งปรากฏการณ์การแพร่กับการกระจาย โดยขนาดของกลุ่มท่อนที่ไม่เกิน 6.75 เท่าของความปั่นป่วนคือการกระจาย แต่หากขนาดของกลุ่มท่อนมากกว่า 6.75 เท่าของความปั่นป่วนคือการแพร่ และเมื่อแทนค่า  $x = 6.75$  ลงใน  $y = 40.2971 x^{-0.8530}$  แล้วได้ค่า  $y = \frac{|\Delta\sigma_y|}{\sigma_y} = 18.36\%$

หมายความว่ากลุ่มท่อนที่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนตั้งแต่ 18.36 % ขึ้นไปคือการกระจาย แต่หากกลุ่มท่อนมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนน้อยกว่า 22.73 % คือการแพร่



รูปที่ 3.10 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนกับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มท่อนต่อขนาดความปั่นป่วนบนแนวทางเดิน H

จากรูปที่ 3.10 สมการเส้นแนวโน้มคือ  $y = 133.2852 x^{-1.0383}$  มีจุดหักเหของเส้นแนวโน้มที่  $\frac{\sigma_H}{L_H} = 11.23$  และ  $\frac{|\Delta\sigma_H|}{\sigma_H} = 10.82\%$  หมายความว่าที่ขนาดของกลุ่มท่อนเป็น 11.23 เท่าของความปั่นป่วนในแนวทางเดิน H เป็นค่าที่แบ่งปรากฏการณ์การแพร่กับการกระจาย โดยขนาดของกลุ่มท่อนที่ไม่เกิน 11.23 เท่าของความปั่นป่วนคือการกระจาย แต่หากขนาดของกลุ่มท่อนมากกว่า 11.23 เท่าของความปั่นป่วนคือการแพร่ และเมื่อแทนค่า  $x = 11.23$  ลงใน  $y = 133.2852 x^{-1.0383}$  แล้วได้ค่า  $y = \frac{|\Delta\sigma_y|}{\sigma_y} = 10.82\%$  หมายความว่ากลุ่มท่อนที่มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนตั้งแต่ 10.82 % ขึ้นไปคือการกระจาย แต่หากกลุ่มท่อนมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนน้อยกว่า 10.82 % คือการแพร่

กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มท่อนกับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มท่อนต่อขนาดความปั่นป่วนทั้ง 3 รูปนี้สามารถใช้จำแนกปรากฏการณ์การแพร่กับการกระจายเพียงสองปรากฏการณ์เท่านั้น ส่วนการพัดพาได้ถูกนิยามไว้ว่าขนาดของกลุ่มท่อนจะไม่เปลี่ยนแปลง

### 3.5.5 การตรวจสอบความถูกต้องของสัมประสิทธิ์การแพร่ด้วยสูตรเอมไพริกัล

เริ่มจากหาความหนาแน่นเชิงเส้นของผลการทดลองปล่อยหุ่นลอยด้วยสมการที่

$$2.18 : C_{x,t} = \frac{1000N}{\sigma_{x,t}} \text{ และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยจากการทดลองปล่อยหุ่นรอบที่ 1 - 5}$$

(จากตารางที่ 4.16) มาหาความหนาแน่นเชิงเส้นของสูตรเอมไพริกัลด้วยสมการที่ 2.20 :

$$C'_{x,t} = \frac{C_{x,0}}{\left(1 + \frac{4K_x t}{r^2}\right)} \text{ แล้วนำมาเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นเชิงเส้นจากผลการทดลอง}$$

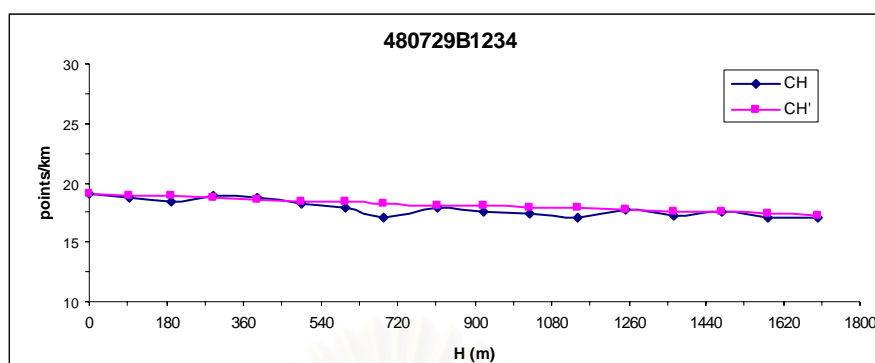
กับผลจากสูตรเอมไพริกัล ดังตัวอย่างของกลุ่มหุ่น 480729B1234 ซึ่งเป็นการทดลองรอบที่ 6 มีจำนวนหุ่น  $N = 4$  และใช้  $K_H = 2.09 \text{ m}^2/\text{s}$  ได้ผลตามตารางที่ 3.16 และกราฟรูปที่ 3.11

ตารางที่ 3.16 ผลจากการทดลองปล่อยหุ่น ( $C_H$ ) กับผลจากสูตรเอมไพริกัล ( $C'_H$ ) ของกลุ่มหุ่น

480729B1234 โดยใช้  $K_H = 2.09 \text{ m}^2/\text{s}$

เวลา	ระยะทาง (เมตร)	$\sigma_H$ (m)	$C_H$ (points /km)	$C'_H$ (points/km)	Error
15:10	0.00	209.83	19.06	19.06	0.00%
15:15	93.86	213.25	18.76	18.94	0.99%
15:20	189.41	217.25	18.41	18.82	2.24%
15:25	290.82	211.69	18.90	18.71	-0.99%
15:30	391.45	214.37	18.66	18.59	-0.36%
15:35	493.44	219.62	18.21	18.48	1.46%
15:40	600.05	222.75	17.96	18.37	2.28%
15:45	685.88	235.45	16.99	18.25	7.45%
15:50	815.68	223.90	17.87	18.14	1.56%
15:55	922.62	227.77	17.56	18.04	2.70%
16:00	1026.86	230.07	17.39	17.93	3.12%
16:05	1140.24	233.66	17.12	17.82	4.11%
16:10	1250.84	226.62	17.65	17.72	0.38%
16:15	1366.29	231.15	17.30	17.61	1.79%
16:20	1476.68	227.99	17.54	17.51	-0.19%
16:25	1587.25	235.45	16.99	17.41	2.48%
16:30	1703.26	233.78	17.11	17.31	1.17%





รูปที่ 3.11 กราฟความหนาแน่นเชิงเส้นของผลการทดลองปล่อยทุ่นกับผลจากสูตรเอมไพริคัลของกลุ่มทุ่น 480729B1234

### 3.5.6 การหาสัมประสิทธิ์การแพร่จากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ

จากหัวข้อที่ 3.4 ขณะปล่อยทุ่นเราได้ทำการวัดความเค็มและอุณหภูมิน้ำที่ความลึกทุ่น ( $S_D, T_D, D$ ) กับที่พื้นทะเล ( $S_z, T_z, z$ ) สองครั้ง คือเมื่อปล่อยทุ่นและเก็บทุ่น เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วจึงนำไปคำนวณหาความหนาแน่นน้ำที่ความลึกทุ่น ( $\rho_D$ ) และที่ท้องน้ำ ( $\rho_z$ ) ด้วยสมการที่ 2.22 ดังตัวอย่างจากข้อมูลของกลุ่มทุ่น 480206B(2)45678

$$\text{เมื่อ } \bar{T}_D = 28.04 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad \bar{S}_D = 31.89 \text{ psu} \quad \text{แล้ว } \rho_D = 1020.05 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{และ } \bar{T}_z = 27.62 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad \bar{S}_z = 32.20 \text{ psu} \quad \text{แล้ว } \rho_z = 1020.42 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ได้ } \rho = 1020.24 \text{ kg/m}^3, \quad d\rho = -0.37 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{เมื่อความลึกทุ่น } D = 5 \text{ m}, \quad \text{ความลึกน้ำ } z = 13.8 \text{ m}, \quad \text{แล้ว } dz = 8.8 \text{ m}$$

$$\text{อัตราเร็วเฉลี่ยในแนวแกน X ตลอดการทดลอง } u = du = 0.023 \text{ m/s} \quad \text{และ } g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{แล้วนำมาคำนวณหาค่า Richardson Number (Ri) จากสมการที่ 2.21 : } Ri = \frac{g}{\rho} \times \frac{(d\rho/dz)}{(du/dz)^2} \quad \text{ได้}$$

$$Ri = 60.9328 \quad \text{จากนั้นนำค่า Ri มาคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง } (K_{z,x}) \quad \text{ด้วยสมการที่}$$

$$2.23 : K_{z,x} = K_b + \frac{v_x}{(1 + \alpha Ri)} \quad \text{เมื่อ } \alpha = 5, \quad K_b = 1.0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{ส่วน } v_x \quad \text{ได้มาจากตารางที่ 3.15 และ}$$

สุดท้ายนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง ( $K_{z,x}$ ) ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ใน

แนวแกน X ( $K_x''$ ) ด้วยสมการที่ 2.24 :  $K_x'' = \frac{1}{800} \times \frac{(u_D/2)^2 (D-z)^2}{K_{zx}}$  เมื่อ  $u_D$  ได้มาจากตารางที่

3.15 เช่นกัน ซึ่งตัวอย่างผลการคำนวณของกลุ่มท่อน 480206B(2)45678 แสดงในตารางที่ 3.17

ตารางที่ 3.17 สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง ( $K_{z,x}$ ) เนื่องจากความปั่นป่วนในแนวแกน X และ สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X ( $K_x''$ ) ที่คำนวณจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง

เวลา	$u_D$ (m/s)	$V_x$ (m <sup>2</sup> /s)	$K_{z,x}$ (m <sup>2</sup> /s)	$K_x''$ (m <sup>2</sup> /s)
15:15	0.017	0.048229	$1.68 \times 10^{-4}$	0.0439
15:20	0.015	0.011383	$4.72 \times 10^{-5}$	0.1179
15:25	0.015	0.009328	$4.05 \times 10^{-5}$	0.1393
15:30	0.013	0.029328	$1.06 \times 10^{-4}$	0.0413
15:35	0.013	0.029628	$1.07 \times 10^{-4}$	0.0410
15:40	0.020	0.074194	$2.53 \times 10^{-4}$	0.0377
15:45	0.026	0.008912	$3.92 \times 10^{-5}$	0.4060
15:50	0.024	0.029131	$1.05 \times 10^{-4}$	0.1326
15:55	0.022	0.007953	$3.60 \times 10^{-5}$	0.3323
16:00	0.026	0.037946	$1.34 \times 10^{-4}$	0.1242
16:05	0.027	0.024654	$9.07 \times 10^{-5}$	0.1994
16:10	0.026	0.014144	$5.63 \times 10^{-5}$	0.2976
16:15	0.029	0.015996	$6.23 \times 10^{-5}$	0.3302
16:20	0.033	0.019520	$7.39 \times 10^{-5}$	0.3556
16:25	0.030	0.046709	$1.63 \times 10^{-4}$	0.1366
		เฉลี่ย	$9.88 \times 10^{-5}$	0.1824

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

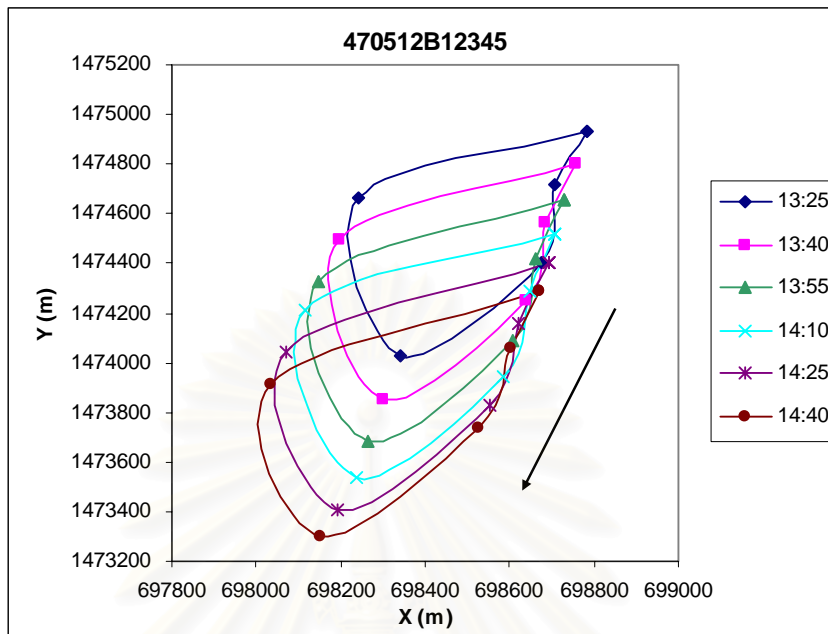
### ผลการศึกษาและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการคำนวณของกลุ่มท่อนที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ที่สุด 14 กลุ่มจากรอบที่ 1 – 5

รูปที่ 4.1 – 4.14 และตารางที่ 4.1 – 4.14 เป็นผลการคำนวณการเคลื่อนที่ของกลุ่มท่อนที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ที่สุด (ประมาณ  $500 \times 500 \text{ m}^2$ ) 14 กลุ่มจากการทดลองในรอบที่ 1 – 5 โดยอัตราเร็วของกลุ่มท่อนคำนวณจากการเคลื่อนตำแหน่งพิกัดของจุดศูนย์กลางท่อน ( $\bar{x}_t, \bar{y}_t$ ) ต่อเวลา ( $\Delta t$ ) สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\nu$ ) และความปั่นป่วน ( $L$ ) คำนวณจากตำแหน่งพิกัดของจุดศูนย์กลางท่อน ( $\bar{x}_t, \bar{y}_t$ ), เวลา ( $\Delta t$ ), และความลึกน้ำ ( $z$ ) และถ้ามีข้อมูลความเค็ม ( $S$ ) อุณหภูมิ ( $T$ ) ที่ความลึก ( $z$ ) ด้วยแล้วก็สามารถคำนวณหาค่า Richardson Number ( $Ri$ ) พร้อมทั้งสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง ( $K_z$ ) และสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ ( $K''$ ) ที่คำนวณมาจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง

การที่แสดงเฉพาะกลุ่มท่อนที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ที่สุดของแต่ละการทดลอง เพื่อให้ได้ทราบปริมาณต่างๆ โดยรวมและครอบคลุมพื้นที่ที่ศึกษา ส่วนกลุ่มท่อนที่มีพื้นที่ขนาดเล็กลงไปนั้นมีปริมาณต่างๆ ใกล้เคียงหรือเกือบเท่ากับกลุ่มท่อนที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ ยกเว้นขนาดของกลุ่มท่อน ( $\sigma$ ) และสัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $K$ ) ที่มีขนาดเล็กกว่า เพราะกลุ่มท่อนที่มีพื้นที่ขนาดเล็กบางกลุ่มเป็นปรากฏการณ์การกระจาย

การทดลองของกลุ่มท่อน 470512B12345 ที่พิกัด  $13^{\circ} 12' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 40' 00''\text{E}$

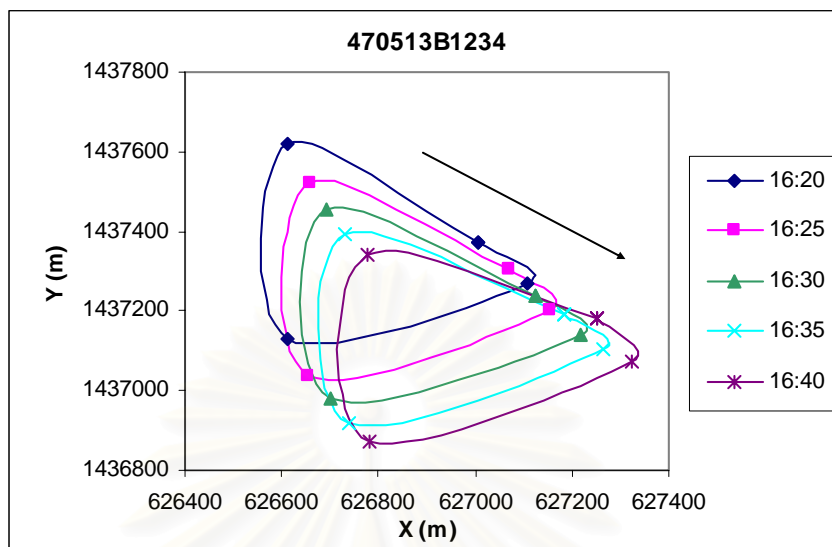


รูปที่ 4.1 การทดลองของกลุ่มท่อน 470512B12345 (รอบที่ 1)

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณของกลุ่มท่อน 470512B12345 (รอบที่ 1)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.03	0.15	0.16
$v$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0169	0.0186	0.0141
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	1.54	0.82	0.79
$\sigma$ ขนาดกลุ่มท่อน (m)	262.94	368.00	393.16
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มท่อนต่อความปั่นป่วน	170.74	448.78	497.67
$K$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	2.54	5.02	4.75
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	2.92

การทดลองของกลุ่มหุ่น 470513B1234 ที่พิกัด  $13^{\circ} 00' 00'' \text{N}$ ,  $100^{\circ} 10' 00'' \text{E}$



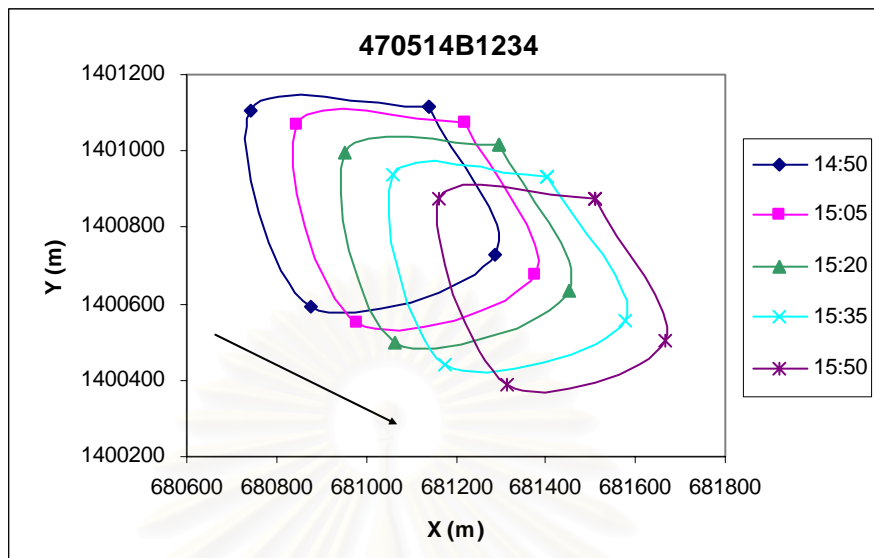
รูปที่ 4.2 การทดลองของกลุ่มหุ่น 470513B1234 (รอบที่ 1)

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณของกลุ่มหุ่น 470513B1234 (รอบที่ 1)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.05	0.06	0.08
$\nu$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0455	0.0339	0.0183
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	2.76	2.36	2.12
$\sigma$ ขนาดกลุ่มหุ่น (m)	277.67	198.94	245.84
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มหุ่นต่อความปั่นป่วน	100.61	84.30	115.96
K สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	2.70	0.29	0.60
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	0.80



การทดลองของกลุ่มท่อน 470514B1234 ที่พิกัด  $12^{\circ} 40' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 40' 00''\text{E}$

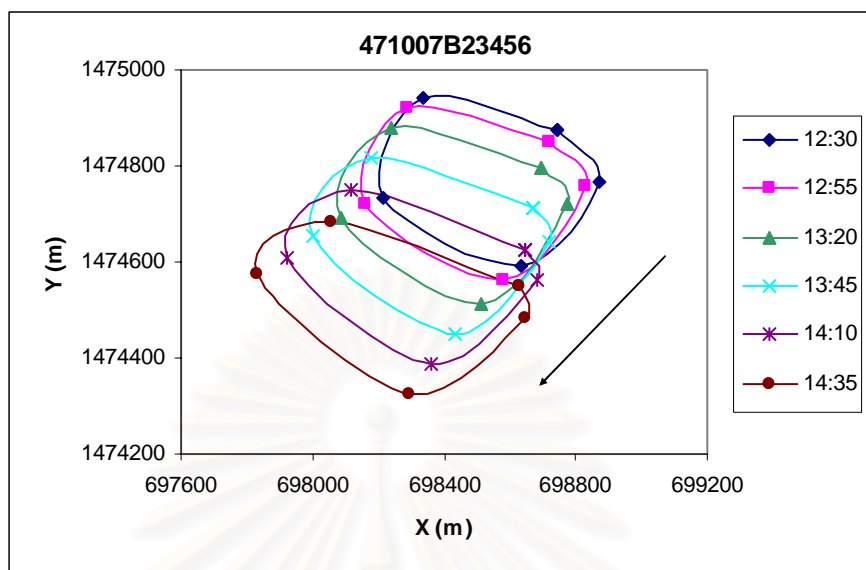


รูปที่ 4.3 การทดลองของกลุ่มท่อน 470514B1234 (รอบที่ 1)

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณของกลุ่มท่อน 470514B1234 (รอบที่ 1)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.11	0.06	0.13
$\nu$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.1350	0.0903	0.0191
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	5.92	6.23	5.05
$\sigma$ ขนาดกลุ่มท่อน (m)	232.74	262.11	262.82
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มท่อนต่อความปั่นป่วน	39.31	42.07	52.04
$K$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	1.21	1.12	3.04
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	0.88

การทดลองของกลุ่มหุ่น 471007B23456 ที่พิกัด  $13^{\circ} 20' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 50' 00''\text{E}$

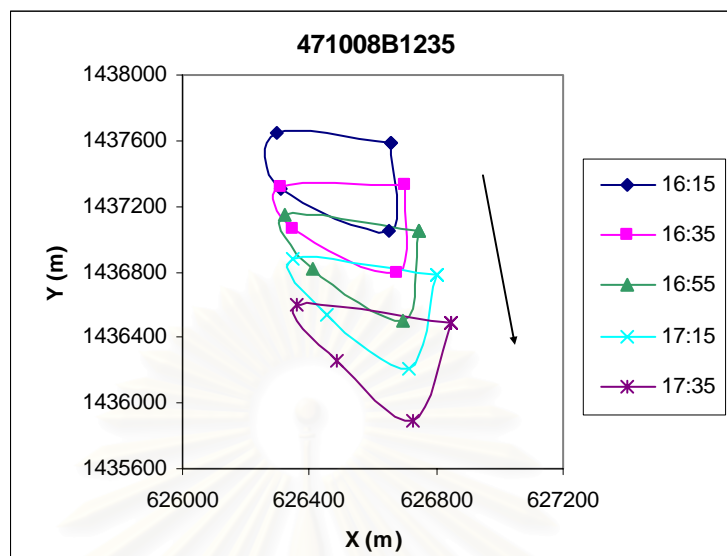


รูปที่ 4.4 การทดลองของกลุ่มหุ่น 471007B23456 (รอบที่ 2)

ตารางที่ 4.4 ผลการคำนวณของกลุ่มหุ่น 471007B23456 (รอบที่ 2)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.04	0.03	0.05
$\nu$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0254	0.0341	0.0203
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	2.60	3.63	2.03
$\sigma$ ขนาดกลุ่มหุ่น (m)	286.42	135.54	214.73
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มหุ่นต่อความปั่นป่วน	110.16	37.34	105.78
K สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	3.48	0.15	0.85
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	0.71
Richardson Numbers	26.85	29.38	14.03
$K_z$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวตั้ง ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$1.98 \times 10^{-4}$	$2.40 \times 10^{-4}$	$2.95 \times 10^{-4}$
$K''$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจาก $K_z$	0.57	0.70	0.83

การทดลองของกลุ่มท่อน 471008B1235 ที่พิกัด  $13^{\circ} 00' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 10' 00''\text{E}$

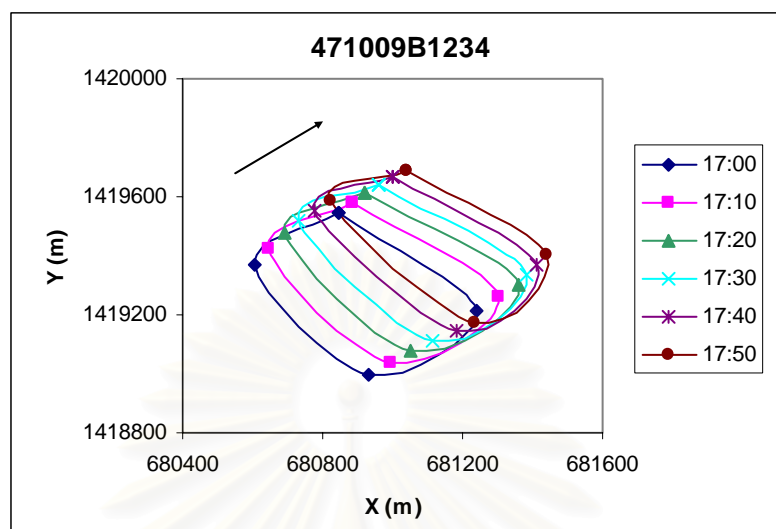


รูปที่ 4.5 การทดลองของกลุ่มท่อน 471008B1235 (รอบที่ 2)

ตารางที่ 4.5 ผลการคำนวณของกลุ่มท่อน 471008B1235 (รอบที่ 2)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.03	0.23	0.23
$\nu$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0367	0.0374	0.0364
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	4.34	1.10	1.06
$\sigma$ ขนาดกลุ่มท่อน (m)	211.68	292.10	299.89
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มท่อนต่อความปั่นป่วน	48.77	265.55	282.92
K สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	1.14	3.60	3.72
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	2.02

การทดลองของกลุ่มหุ่น 471009B1234 ที่พิกัด  $12^{\circ} 50' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 40' 00''\text{E}$

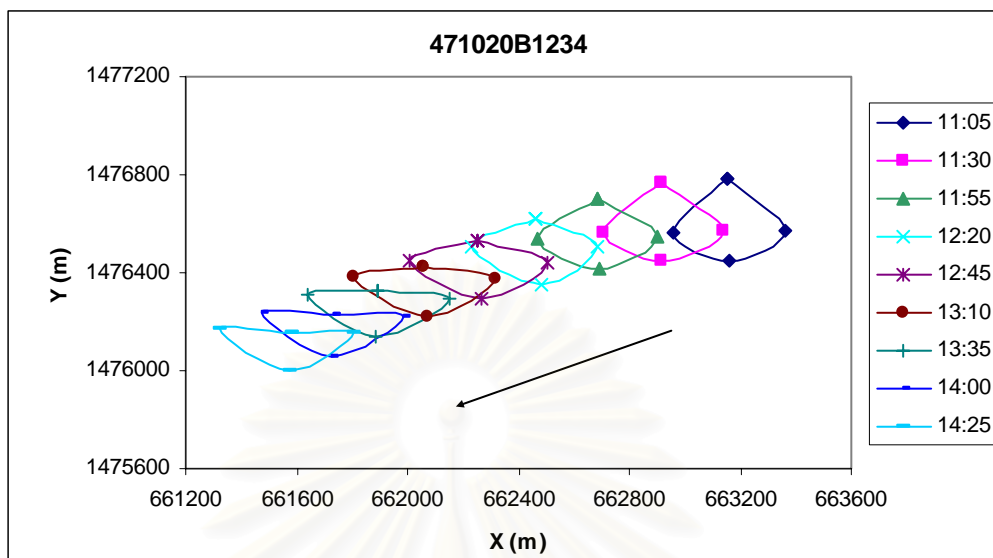


รูปที่ 4.6 การทดลองของกลุ่มหุ่น 471009B1234 (รอบที่ 2)

ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณของกลุ่มหุ่น 471009B1234 (รอบที่ 2)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.07	0.06	0.10
$v$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0288	0.0184	0.0212
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	2.84	2.25	2.10
$\sigma$ ขนาดกลุ่มหุ่น (m)	270.08	229.45	185.29
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มหุ่นต่อความปั่นป่วน	95.10	101.98	88.23
$K$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	2.98	0.10	-
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	1.13
Richardson Numbers	26.07	40.32	15.83
$K_z$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวตั้ง ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$2.29 \times 10^{-4}$	$1.01 \times 10^{-4}$	$2.74 \times 10^{-4}$
$K''$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจาก $K_z$	4.17	11.29	6.07

การทดลองของกลุ่มหุ่น 471020B1234 ที่พิกัด  $13^{\circ} 20' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 30' 00''\text{E}$



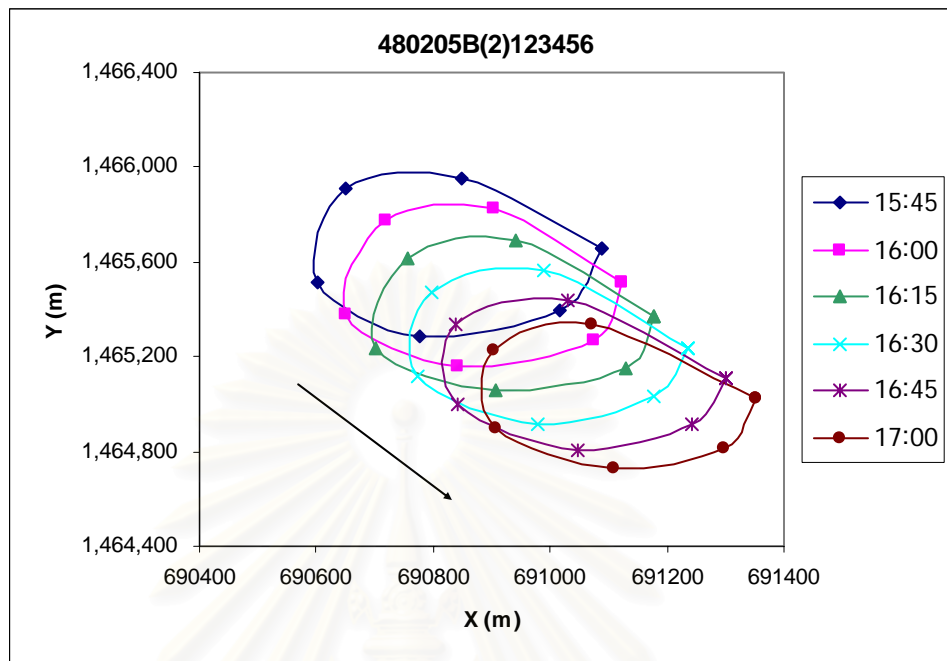
รูปที่ 4.7 การทดลองของกลุ่มหุ่น 471020B1234 (รอบที่ 3)

ตารางที่ 4.7 ผลการคำนวณของกลุ่มหุ่น 471020B1234 (รอบที่ 3)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.13	0.04	0.14
$v$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0068	0.0283	0.0061
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	0.55	2.42	0.50
$\sigma$ ขนาดกลุ่มหุ่น (m)	192.75	102.24	184.43
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มหุ่นต่อความปั่นป่วน	350.45	42.25	368.86
$K$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	1.25	0.21	1.11
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	0.33
Richardson Numbers	0.23	2.47	0.21
$K_z$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวตั้ง ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$3.20 \times 10^{-3}$	$2.13 \times 10^{-3}$	$3.03 \times 10^{-3}$
$K''$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจาก $K_z$	0.19	0.19	0.93



การทดลองของกลุ่มหุ่น 480205B(2)123456 ที่พิกัด  $13^{\circ} 15' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 45' 00''\text{E}$

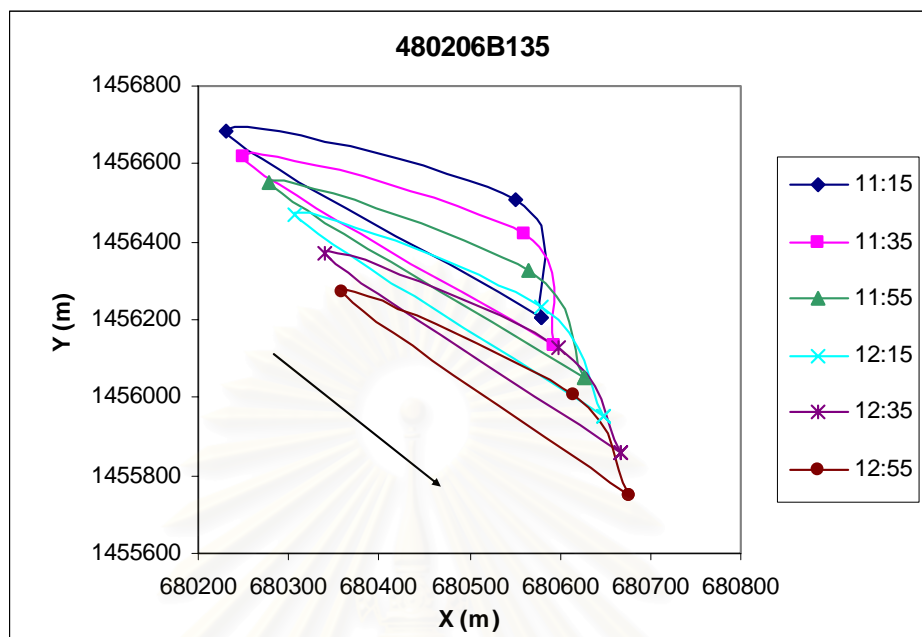


รูปที่ 4.8 การทดลองของกลุ่มหุ่น 480205B(2)123456 (รอบที่ 4)

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณของกลุ่มหุ่น 480205B(2)123456 (รอบที่ 4)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.06	0.14	0.15
$v$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0369	0.0182	0.0190
$L$ ขนาดความปั่นป่วน (m)	2.92	1.32	1.31
$\sigma$ ขนาดกลุ่มหุ่น (m)	218.04	257.64	261.66
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มหุ่นต่อความปั่นป่วน	74.67	195.18	199.74
$K$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	0.68	0.28	0.71
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	0.72
Richardson Numbers	22.49	4.54	3.78
$K_z$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวตั้ง ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$3.35 \times 10^{-4}$	$7.79 \times 10^{-4}$	$9.67 \times 10^{-4}$
$K''$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจาก $K_z$	1.84	9.67	8.22

การทดลองของกลุ่มหุ่น 480206B135 ที่พิกัด  $13^{\circ} 10' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 50' 00''\text{E}$

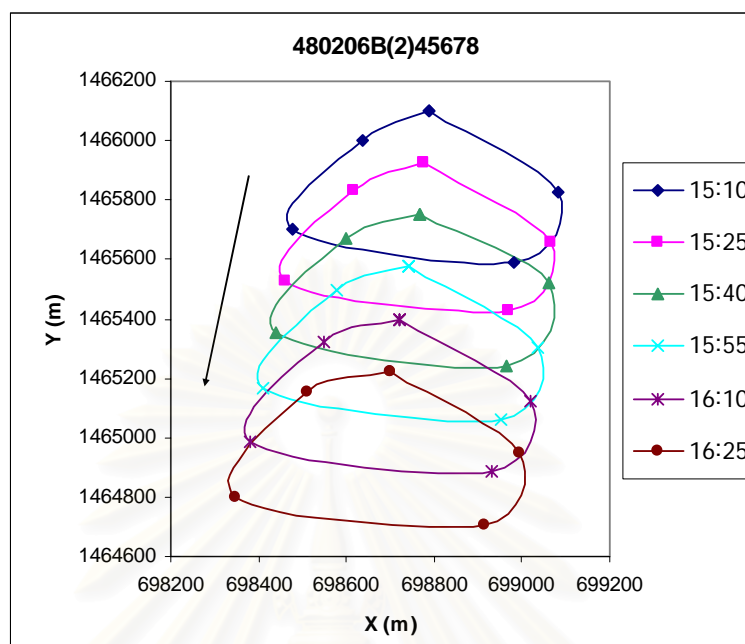


รูปที่ 4.9 การทดลองของกลุ่มหุ่น 480206B135 (รอบที่ 4)

ตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณของกลุ่มหุ่น 480206B135 (รอบที่ 4)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.02	0.08	0.08
$\nu$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0833	0.0162	0.0261
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	9.07	1.69	2.65
$\sigma$ ขนาดกลุ่มหุ่น (m)	180.11	253.85	199.34
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มหุ่นต่อความปั่นป่วน	19.86	150.21	75.22
K สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	1.13	1.45	1.35
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	0.45
Richardson Numbers	43.89	1.69	1.50
$K_z$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวตั้ง ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$3.88 \times 10^{-4}$	$1.73 \times 10^{-3}$	$3.09 \times 10^{-3}$
$K''$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจาก $K_z$	0.12	1.12	0.03

การทดลองของกลุ่มหุ่น 480206B(2)45678 ที่พิกัด  $13^{\circ} 10' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 50' 00''\text{E}$

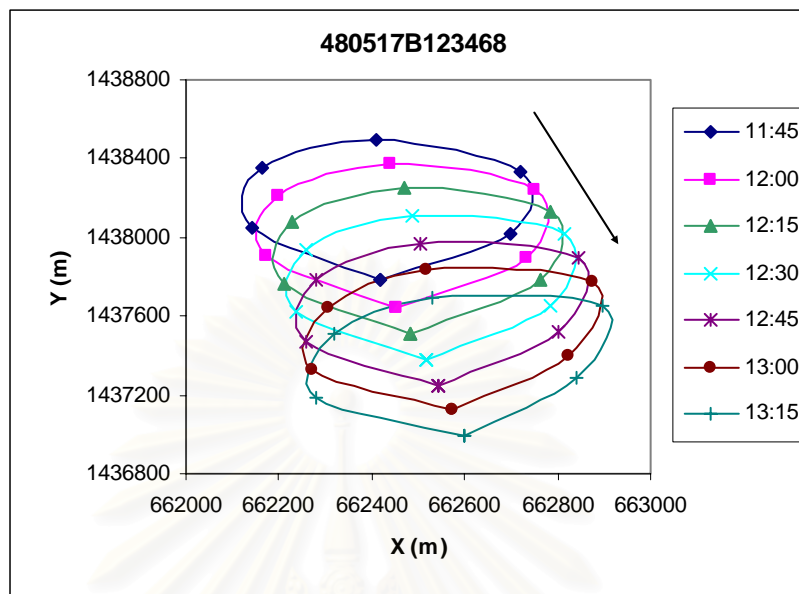


รูปที่ 4.10 การทดลองของกลุ่มหุ่น 480206B(2)45678 (รอบที่ 4)

ตารางที่ 4.10 ผลการคำนวณของกลุ่มหุ่น 480206B(2)45678 (รอบที่ 4)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.02	0.20	0.20
$v$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0271	0.0105	0.0079
$L$ ขนาดความปั่นป่วน (m)	3.19	0.59	0.56
$\sigma$ ขนาดกลุ่มหุ่น (m)	257.47	215.24	243.35
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มหุ่นต่อความปั่นป่วน	80.71	364.81	434.55
$K$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	1.48	0.82	1.04
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	1.09
Richardson Numbers	60.93	0.82	0.81
$K_z$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวตั้ง ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$9.88 \times 10^{-5}$	$2.09 \times 10^{-3}$	$1.58 \times 10^{-3}$
$K''$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจาก $K_z$	0.18	3.75	1.07

การทดลองของกลุ่มท่อน 480517B123468 ที่พิกัด  $13^{\circ} 20' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 30' 00''\text{E}$

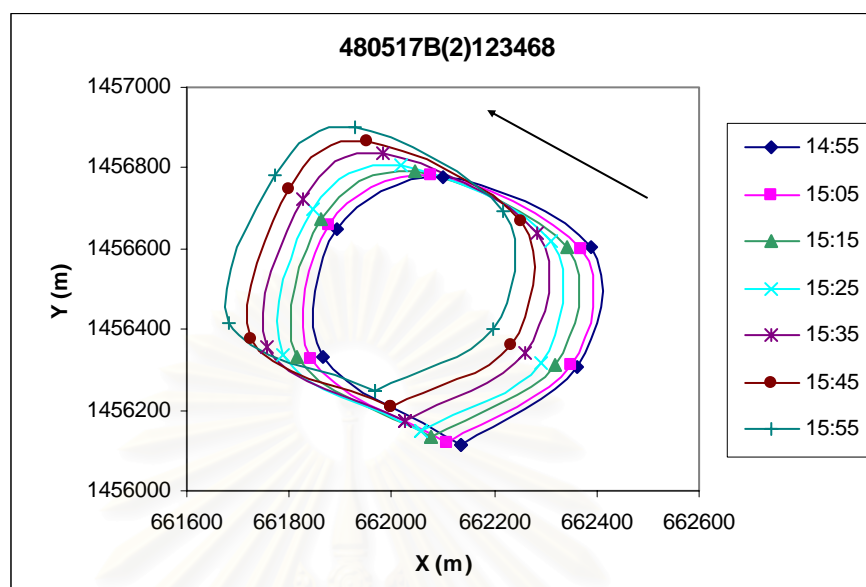


รูปที่ 4.11 การทดลองของกลุ่มท่อน 480517B123468 (รอบที่ 5)

ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณของกลุ่มท่อน 480517B123468 (รอบที่ 5)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.03	0.15	0.15
$\nu$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0389	0.0082	0.0026
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	4.35	0.87	0.85
$\sigma$ ขนาดกลุ่มท่อน (m)	250.12	275.95	270.87
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มท่อนต่อความปั่นป่วน	57.50	317.18	318.67
$K$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	0.75	1.07	0.74
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	0.55

การทดลองของกลุ่มท่อน 480517B(2)123468 ที่พิกัด  $13^{\circ} 10' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 30' 00''\text{E}$



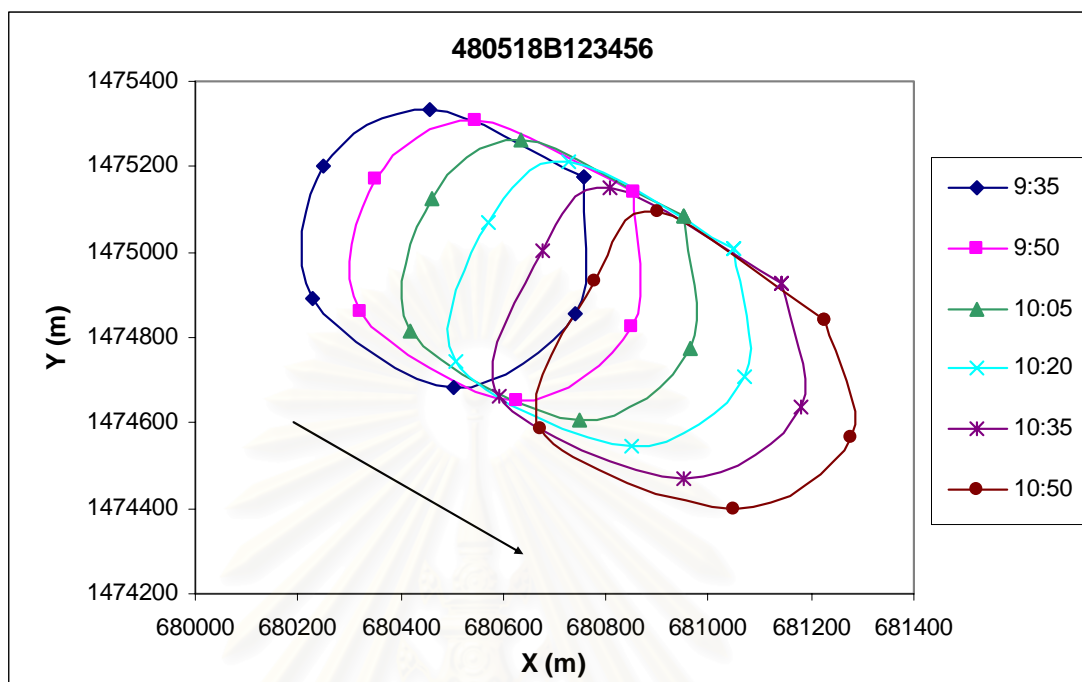
รูปที่ 4.12 การทดลองของกลุ่มท่อน 480517B(2)123468 (รอบที่ 5)

ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณของกลุ่มท่อน 480517B(2)123468 (รอบที่ 5)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.04	0.03	0.05
$v$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0159	0.0519	0.0108
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	1.79	5.13	2.22
$\sigma$ ขนาดกลุ่มท่อน (m)	219.58	256.10	241.35
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มท่อนต่อความปั่นป่วน	122.67	49.92	108.72
$K$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	0.37	0.76	0.50
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	0.30



การทดลองของกลุ่มท่อน 480518B123456 ที่พิกัด  $13^{\circ} 20' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 40' 00''\text{E}$

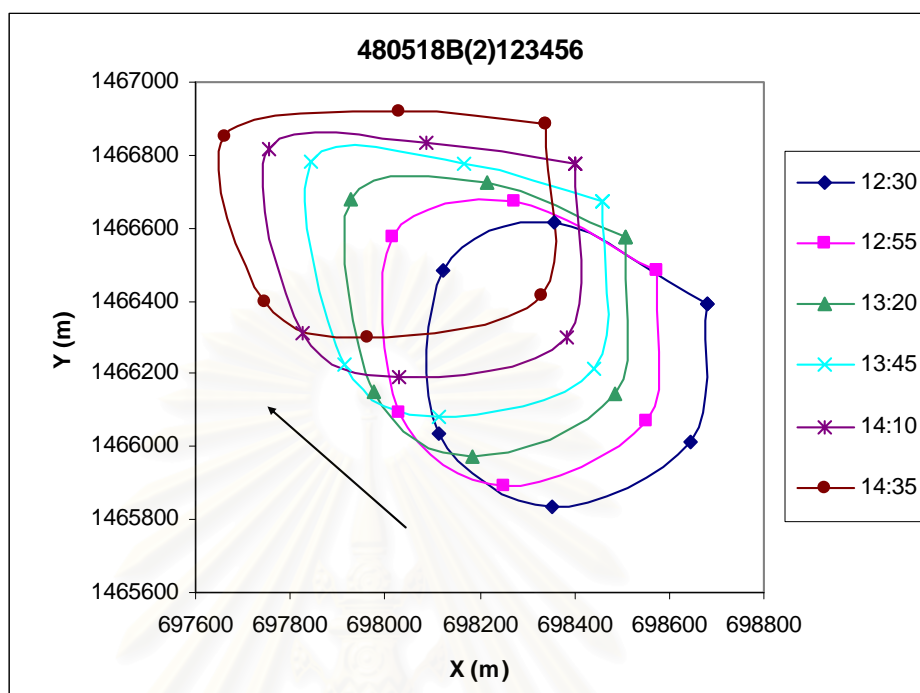


รูปที่ 4.13 การทดลองของกลุ่มท่อน 480518B123456 (รอบที่ 5)

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณของกลุ่มท่อน 480518B123456 (รอบที่ 5)

ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.11	0.06	0.13
$\nu$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0050	0.0176	0.0024
L ขนาดความปั่นป่วน (m)	0.64	1.64	0.59
$\sigma$ ขนาดกลุ่มท่อน (m)	236.75	254.10	196.84
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มท่อนต่อความปั่นป่วน	369.92	154.94	333.63
$K$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	0.93	0.73	1.31
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	0.79

การทดลองของกลุ่มหุ่น 480518B(2)123456 ที่พิกัด  $13^{\circ} 10' 00''\text{N}$ ,  $100^{\circ} 50' 00''\text{E}$



รูปที่ 4.14 การทดลองของกลุ่มหุ่น 480518B(2)123456 (รอบที่ 5)

ตารางที่ 4.14 ผลการคำนวณของกลุ่มหุ่น 480518B(2)123456 (รอบที่ 5)

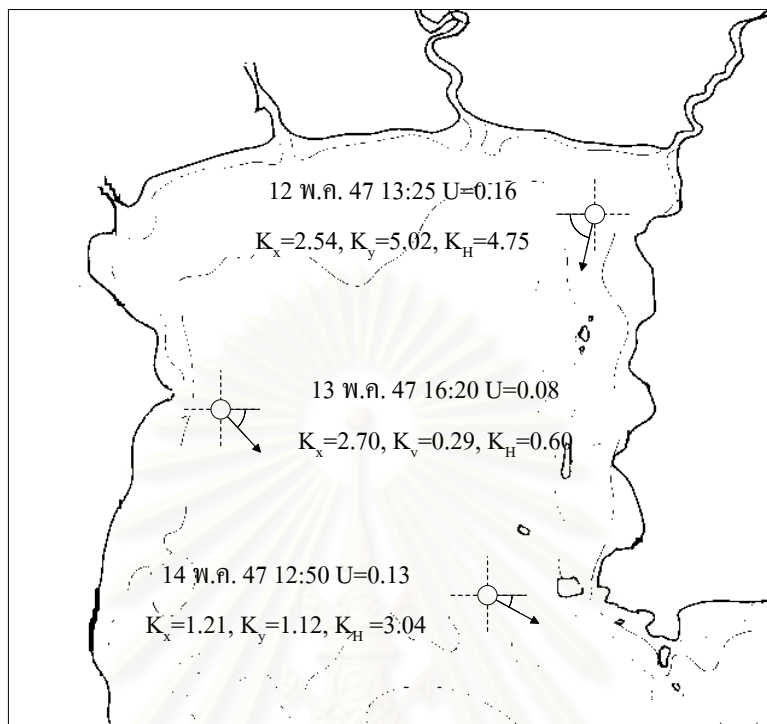
ค่าเฉลี่ย	X	Y	H
อัตราเร็ว (m/s)	0.05	0.05	0.07
$v$ สัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	0.0152	0.0068	0.0054
$L$ ขนาดความปั่นป่วน (m)	1.42	0.84	0.81
$\sigma$ ขนาดกลุ่มหุ่น (m)	258.62	308.95	292.12
$\frac{\sigma}{L}$ ขนาดกลุ่มหุ่นต่อความปั่นป่วน	182.13	367.80	360.64
$K$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12	1.80	1.25	0.94
$K_G$ สัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5	-	-	0.72

เมื่อพิจารณาผลการคำนวณจากตารางที่ 4.1 – 4.14 พบว่าสัมประสิทธิ์ความหนืด ( $\nu$ ) และขนาดความปั่นป่วน ( $L$ ) มีความสัมพันธ์กันแบบปฏิภาคกับอัตราเร็วกระแส น้ำ โดยเมื่ออัตราเร็วกระแสน้ำมีค่ามากขึ้นแล้วสัมประสิทธิ์ความหนืดกับขนาดความปั่นป่วนมีค่าลดลง ส่วนสัมประสิทธิ์การแพร่ ( $K$ ) มีได้ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณข้างต้นแต่อย่างใด และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน ( $K_H$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.12 (วิธีคำนวณจากพิกัดบนแนวทางเดิน) กับสัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $K_G$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.5 (วิธีของ Richardson) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคือ ( $K_H$  มีค่า  $0.50 - 4.75 \text{ m}^2/\text{s}$   $K_G$  มีค่า  $0.30 - 2.92 \text{ m}^2/\text{s}$ ) ดังนั้นเราสามารถหาสัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบด้วยวิธีใดก็ได้ หากต่างกันว่าวิธีของ Richardson มีความรวดเร็วกว่า แต่ไม่มีข้อมูลเพียงพอที่นำมาหาความหนาแน่นเชิงเส้นเพื่อใช้ตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กับสูตรอีมไพร์กัลบนแนวทางเดินได้ ต่อจากนั้นเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $K$ ) ที่คำนวณจากสมการที่ 2.3 และ 2.12 (วิธีคำนวณจากพิกัดบนแนวแกน X, Y และแนวทางเดิน H) กับสัมประสิทธิ์การแพร่แนวราบ ( $K''$ ) ที่คำนวณจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งตามสมการที่ 2.23 ยังพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงเช่นกัน

#### 4.2 ภาพรวมผลการทดลองแต่ละรอบ

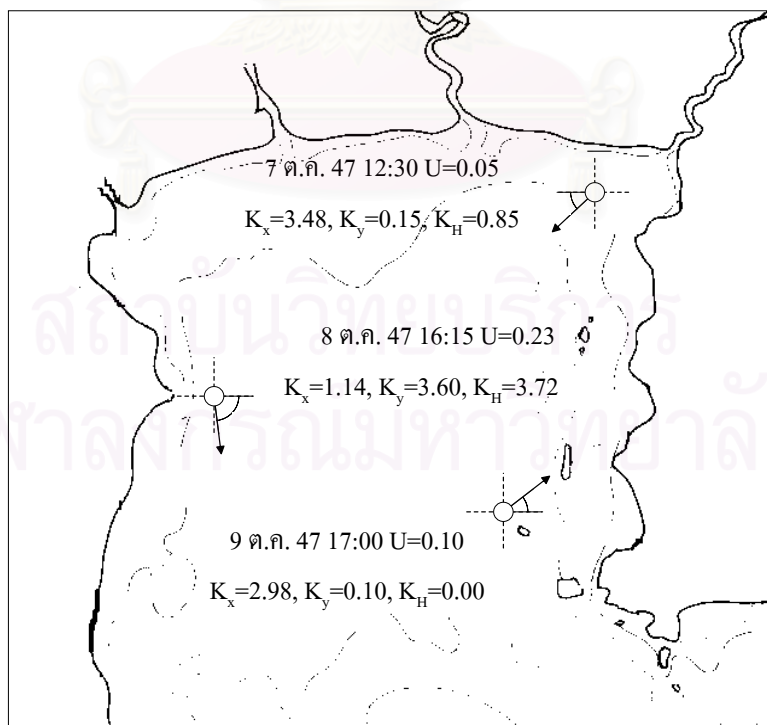
รูปที่ 4.15 – 4.21 แสดงภาพรวมของทิศทางของกระแสน้ำที่มีอัตราเร็วเฉลี่ย  $0.12 \text{ m/s}$  และการแพร่ของกลุ่มหุ่นที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่คำนวณจากตำแหน่งพิกัดของกลุ่มหุ่นด้วยสมการที่ 2.3 และ 2.12 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่อยู่ในช่วง  $0.1 - 5.02 \text{ m}^2/\text{s}$  และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยเป็น  $1.59 \text{ m}^2/\text{s}$  นอกจากนี้ยังพบว่าสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน  $K_H \neq \sqrt{K_x^2 + K_y^2}$  เพราะ 1) สัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน ( $K_H$ ) มีวิธีการคำนวณเฉพาะที่ต่างไปแนวแกน X และแกน Y และ 2) สัมประสิทธิ์การแพร่เป็นเพียงปริมาณสเกลาร์ จึงไม่สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดิน ( $K_H$ ) ด้วยวิธีแบบเวกเตอร์ได้

รอบที่ 1



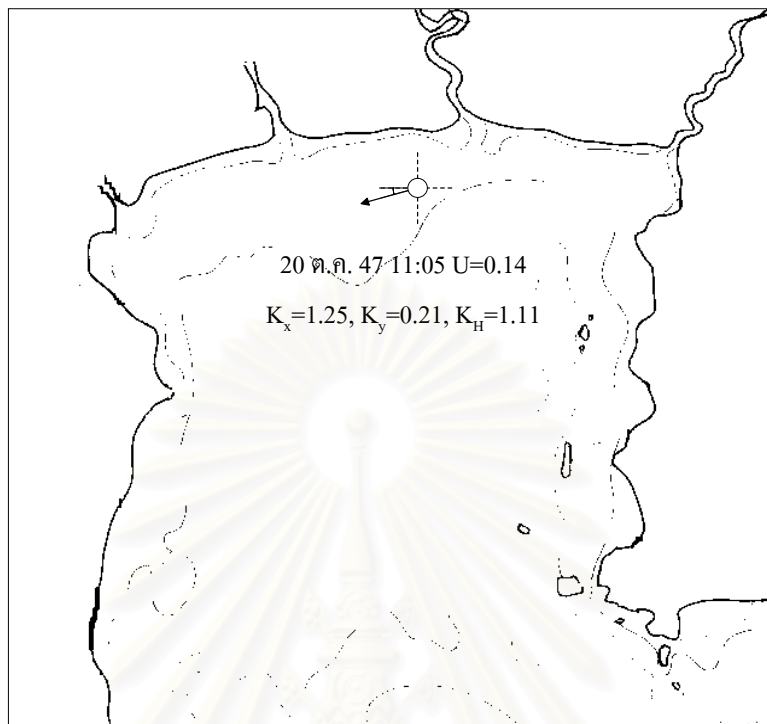
รูปที่ 4.15 การทดลองรอบที่ 1

รอบที่ 2



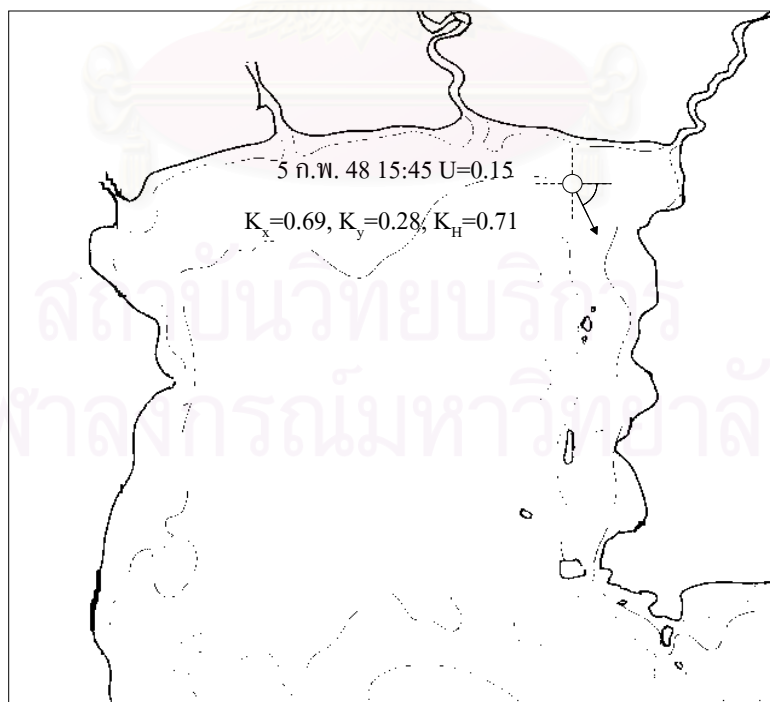
รูปที่ 4.16 การทดลองรอบที่ 2

## รอบที่ 3



รูปที่ 4.17 การทดลองรอบที่ 3

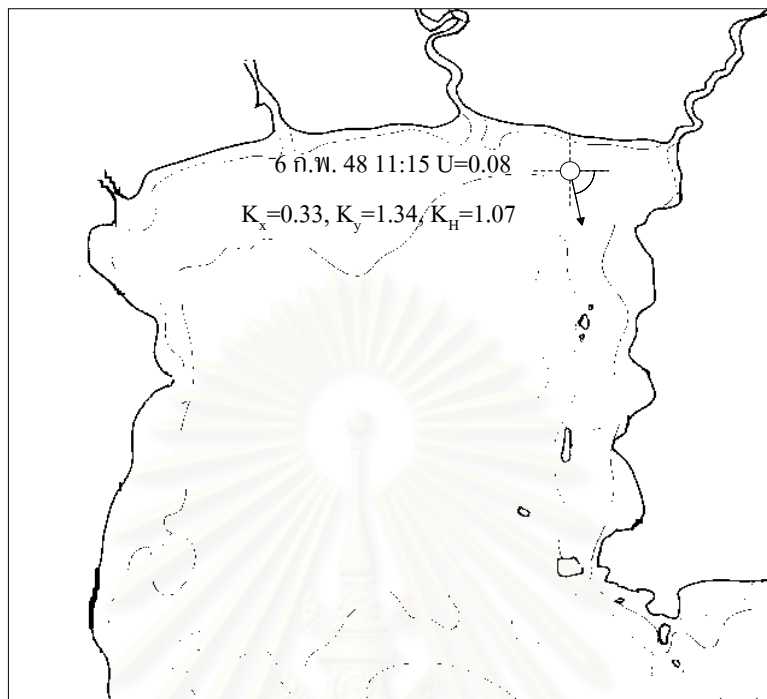
## รอบที่ 4 (ครั้งที่ 1)



รูปที่ 4.18 การทดลองรอบที่ 4 (ครั้งที่ 1)



รอบที่ 4 (ครั้งที่ 2)



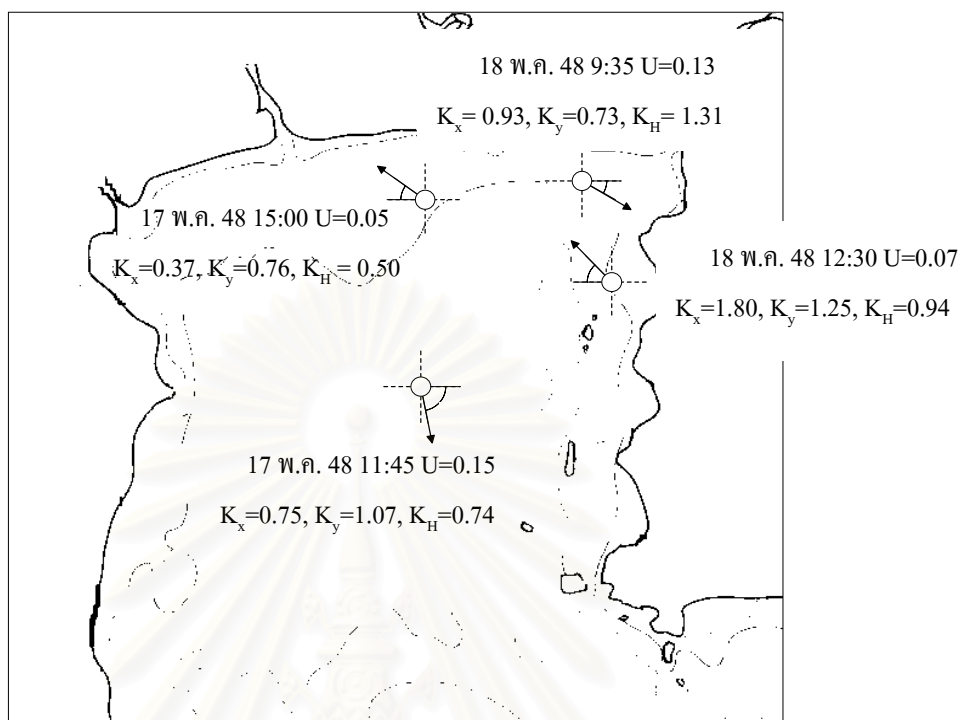
รูปที่ 4.19 การทดลองรอบที่ 4 (ครั้งที่ 2)

รอบที่ 4 (ครั้งที่ 3)



รูปที่ 4.20 การทดลองรอบที่ 4 (ครั้งที่ 3)

## รอบที่ 5



รูปที่ 4.21 การทดลองรอบที่ 5

จากการทดลองในแต่ละรอบพบว่า ทิศทางของกลุ่มท่อนหรือทิศทางการแพร่เป็นไปตามอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง ส่วนสัมประสิทธิ์การแพร่ ( $K$ ) นั้นมีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงประมาณ  $1.50 \text{ m}^2/\text{s}$  แม้จะมีทิศทางหรืออัตราเร็วกระแสน้ำที่แตกต่างกัน

## 4.3 สัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยของกลุ่มท่อนจากรอบที่ 1 - 5

สัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยและอัตราส่วนของขนาดกลุ่มท่อนต่อความปั่นป่วนของ 33 กลุ่มท่อนโดยคำนวณจากตำแหน่งพิกัดของกลุ่มท่อนตามสมการที่ 2.3 และ 2.12 ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ย ( $K$ ) และอัตราส่วน ( $\frac{\sigma}{L}$ ) ของกลุ่มท่อนจากรอบที่ 1 - 5

กลุ่มท่อน	$\frac{\sigma_x}{L_x}$	$K_x \text{ (m}^2/\text{s)}$	$\frac{\sigma_y}{L_y}$	$K_y \text{ (m}^2/\text{s)}$	$\frac{\sigma_H}{L_H}$	$K_H \text{ (m}^2/\text{s)}$
470512B12345	171	2.54	449	5.02	498	4.75
470513B14	18	0.28	16	0.79	31	0.58
470513B1234	101	2.70	84	0.29	116	0.60
470514B15	15	0.17	7	0.92	20	0.64
470514B1234	39	1.21	42	1.12	52	3.04

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

กลุ่มทุน	$\frac{\sigma_x}{L_x}$	$K_x$ (m <sup>2</sup> /s)	$\frac{\sigma_y}{L_y}$	$K_y$ (m <sup>2</sup> /s)	$\frac{\sigma_H}{L_H}$	$K_x$ (m <sup>2</sup> /s)
471007B134	51	1.42	23	0.03	60	0.59
471007B23456	110	3.48	37	0.15	106	0.85
471008B16	8	0.96	53	9.72	53	9.06
471008B23	10	0.82	147	3.86	153	3.98
471008B456	3	0.06	93	7.82	94	7.83
471008B1235	49	1.14	266	3.60	283	3.72
471009B567	4	0.03	1	0.01	2	0.01
471009B1234	95	2.98	102	0.10	88	-
471020B56	5	0.01	15	0.30	22	0.07
471020B1234	350	1.25	42	0.21	369	1.11
480205B(2)78	3	0.10	3	0.05	4	0.12
480205B(2)186	23	-	57	1.85	61	1.93
480205B(2)123456	75	0.68	195	0.28	200	0.71
480206B23	1	0.02	6	0.03	6	0.05
480206B35	22	0.45	94	1.82	122	1.92
480206B135	20	0.33	150	1.34	75	1.07
480518B(2)347	104	2.12	170	3.28	211	3.27
480206B(2)256	48	1.13	530	1.45	533	1.35
480206B8(2)8427	31	0.26	348	0.95	131	1.10
480206B(2)45678	81	1.48	365	0.82	435	1.04
480517B57	1	0.03	13	0.78	14	0.82
480517B123468	57	0.75	317	1.07	319	0.74
480517B(2)347	49	0.35	33	0.37	56	0.60
480517B(2)123468	123	0.37	50	0.76	109	0.50
480518B567	194	1.40	109	3.91	269	1.75
480518B123456	370	0.93	155	0.73	334	1.31
480518B(2)2347	99	1.60	171	0.90	191	1.96
480518B(2)123456	182	1.80	368	1.25	361	0.94

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่ไม่มีในตารางที่ 4.15 เป็นเพราะกลุ่มทุนมีลักษณะลู่ออก สัมประสิทธิ์การแพร่คำนวณได้เป็นค่าลบจึงไม่ได้นำเสนอไว้ในตาราง

#### 4.4 การจำแนกการแพร่กับการกระจาย

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกลุ่ม  
 ทุ่น ( $\frac{|\Delta\sigma|}{\sigma}$ ) กับจำนวนเท่าของขนาดกลุ่มทุ่นต่อขนาดความปั่นป่วน ( $\frac{\sigma}{L}$ ) ทั้งแนวแกน X, Y และ  
 แนวราบ H ดังรูปที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 พบว่าในแนวแกน X เกิดปรากฏการณ์การแพร่เมื่อขนาดของ  
 กลุ่มทุ่นต่อขนาดความปั่นป่วนคือ  $\frac{\sigma_x}{L_x} > 5.49$  สำหรับในแนวแกน Y คือ  $\frac{\sigma_y}{L_y} > 6.75$  และแนวทาง  
 เคน H คือ  $\frac{\sigma_H}{L_H} > 11.23$  แต่เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าที่  $\frac{\sigma}{L} \leq 30$  ขนาดกลุ่มทุ่นยังมีการเปลี่ยนแปลงมาก  
 ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับผลการทดลองทั้ง 3 แนวจึงควรกำหนดให้ปรากฏการณ์การแพร่ที่ขนาด  
 ของกลุ่มทุ่น ( $\sigma$ ) ใหญ่กว่าขนาดความปั่นป่วน ( $L$ ) 30 เท่าขึ้นไป ( $\frac{\sigma}{L} > 30$ ) เป็นการแพร่  
 (Diffusion) และสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ( $K$ ) ได้ในกรณีนี้ และให้ปรากฏการณ์การแพร่  
 ที่ขนาดของกลุ่มทุ่น ( $\sigma$ ) ใหญ่กว่าขนาดความปั่นป่วน ( $L$ ) ตั้งแต่ 10 เท่าลงมา ( $\frac{\sigma}{L} \leq 10$ ) เป็นการ  
 กระจาย (Dispersion) และสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ( $K'$ ) ได้จากกรณีนี้เช่นกัน ส่วน  
 ในช่วง  $10 < \frac{\sigma}{L} \leq 30$  ที่อยู่ระหว่างการกระจายกับการแพร่ (Intermediate) นั้นอาจถือว่าเป็นการ  
 กระจายได้เพราะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดกลุ่มทุ่นมากเช่นกัน

#### 4.5 สัมประสิทธิ์การแพร่กับสัมประสิทธิ์การกระจาย

เมื่อเราได้เกณฑ์ในการจำแนกปรากฏการณ์การแพร่แล้ว ให้ทำการจำแนกกลุ่มทุ่น  
 จากการทดลองในรอบที่ 1 – 5 ออกเป็น 2 ปรากฏการณ์คือปรากฏการณ์การแพร่เพื่อหาสัมประสิทธิ์  
 การแพร่เฉลี่ย ( $\bar{K}$ ) และปรากฏการณ์การกระจายเพื่อหาสัมประสิทธิ์การกระจายเฉลี่ย ( $\bar{K}'$ ) โดย  
 พิจารณาอัตราส่วน  $\frac{\sigma}{L}$  เมื่อกลุ่มทุ่นที่มี  $\frac{\sigma}{L} > 30$  คือการแพร่ และกลุ่มทุ่นที่มี  $\frac{\sigma}{L} \leq 30$  คือการกระจาย

##### 4.5.1 การแพร่

เลือกสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยของกลุ่มทุ่นที่มี  $\frac{\sigma}{L} > 30$  จากตารางที่ 4.15 แล้ว  
 นำมาหาค่าเฉลี่ยได้เป็นสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ย ( $\bar{K}$ ) ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ย (K) ของแต่ละกลุ่มจากรอบที่ 1 – 5

กลุ่มหุ่น	$K_x$ (m <sup>2</sup> /s)	$K_y$ (m <sup>2</sup> /s)	$K_H$ (m <sup>2</sup> /s)
470512B12345	2.54	5.02	4.75
470513B1234	2.70	0.29	0.60
470514B15	-	-	0.64
470514B1234	1.21	1.12	3.04
471007B134	1.42	0.03	0.59
471007B23456	3.48	0.15	0.85
471008B16	-	9.72	9.06
471008B23	-	3.86	3.98
471008B456	-	7.82	7.83
471008B1235	1.14	3.60	3.72
471009B1234	2.98	0.10	-
471020B56	-	0.30	0.07
471020B1234	1.25	0.21	1.11
480205B(2)186	-	1.85	1.93
480205B(2)123456	0.68	0.28	0.71
480206B35	-	1.82	1.92
480206B135	-	1.34	1.07
480206B(2)256	1.13	1.45	1.35
480206B8(2)8427	0.26	0.95	1.10
480206B(2)45678	1.48	0.82	1.04
480517B123468	0.75	1.07	0.74
480517B(2)347	0.35	0.37	0.60
480517B(2)123468	0.37	0.76	0.50
480518B567	1.40	3.91	1.75
480518B123456	0.93	0.73	1.31
480518B(2)347	2.12	3.28	3.27
480518B(2)2347	1.60	0.90	1.96
480518B(2)123456	1.80	1.25	0.94
มากที่สุด	3.48	9.72	9.06
น้อยที่สุด	0.26	0.03	0.07
รวมเฉลี่ย	1.48	1.96	2.09

ค่าที่ไม่มีในตารางเป็นค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย



#### 4.5.2 การกระจาย

เลือกสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยของกลุ่มท่อนที่มี  $\frac{\sigma}{L} \leq 30$  จากตารางที่ 4.15 แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยได้เป็นประสิทธิ์การกระจายเฉลี่ย ( $\bar{K}'$ ) ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายเฉลี่ย ( $K'$ ) ของแต่ละกลุ่มจากรอบที่ 1 – 5

กลุ่มท่อน	$K'_x$ (m <sup>2</sup> /s)	$K'_y$ (m <sup>2</sup> /s)	$K'_H$ (m <sup>2</sup> /s)
470513B14	0.28	0.79	0.58
470514B15	0.17	0.92	-
471008B16	0.96	-	-
471008B23	0.82	-	-
471008B456	0.06	-	-
471009B567	0.03	0.01	0.01
471020B56	0.01	-	-
480205B(2)78	0.10	0.05	0.12
480205B(2)186	-	-	-
480206B23	0.02	0.03	0.05
480206B35	0.45	-	-
480206B135	0.33	-	-
480517B57	0.03	0.78	0.82
มากที่สุด	0.96	0.92	0.82
น้อยที่สุด	0.01	0.01	0.01
รวมเฉลี่ย	0.27	0.43	0.32

ค่าที่ไม่มีในตารางเป็นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

ผลจากการคำนวณพบว่าเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่เฉลี่ยจากการทดลองรอบที่ 1 - 5 มาคำนวณหาความหนาแน่นเชิงเส้นจากสูตรเอมไพริกัลแล้วได้ผลลัพธ์สอดคล้องกับความหนาแน่นเชิงเส้นจากผลการทดลองในรอบที่ 1 – 5 และ รอบที่ 6 – 7 เป็นอย่างดี

#### 4.6 สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบที่คำนวณจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ

การคำนวณสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบวิธีนี้วัดจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำคือความเค็ม (S) อุณหภูมิ (T) และความลึก จากนั้นนำมาหาความหนาแน่น ( $\rho$ ), ค่า Richardson Number แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง ( $K_z$ ) สุดท้ายจึงนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ ( $K''$ ) ได้ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.18 สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ ( $K''$ ) ที่คำนวณจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ

กลุ่มท่อน	$K''_x$	$K''_y$	$K''_H$
471007B134	0.45	0.56	0.58
471007B23456	0.57	0.70	0.83
471009B1234	4.17	11.29	6.07
471020B56	0.35	0.05	0.30
471020B1234	0.19	0.19	0.93
480205B(2)186	0.84	3.47	1.32
480205B(2)123456	1.84	9.67	8.22
480206B35	0.13	1.38	1.67
480206B135	0.12	1.12	0.30
480206B(2)256	0.19	7.78	5.52
480206B8(2)8427	0.18	1.42	1.41
480206B(2)45678	0.18	3.75	1.07
480726B25	0.18	1.43	1.63
480726B257	0.22	1.16	1.16
480726B1627	0.16	1.79	4.07
480726B164387	0.13	0.56	0.57
480726B(2)632	0.59	0.96	1.59
480726B(2)3854	0.41	0.75	0.72
480726B(2)163857	0.58	0.92	1.47
480727B523	0.19	0.40	0.40
480727B15234	0.19	0.67	0.68
480729B1234	0.07	4.43	3.59
480729B(2)172	3.36	2.04	1.90
480729B(2)1724	2.43	4.10	1.32
480729B(2)24567	5.50	3.49	3.86

ตารางที่ 4.18 (ต่อ)

481123B47	0.10	0.23	0.23
481123B234	0.72	1.66	1.56
481123B2347	0.21	0.54	0.54
481123B12356	0.48	5.65	7.52
มากที่สุด	5.50	11.29	8.22
น้อยที่สุด	0.07	0.05	0.23
รวมเฉลี่ย	0.85	2.49	2.10

เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยในแนวราบที่คำนวณจากหุ่นลอยดัง ตารางที่ 4.16 กับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยในแนวราบที่คำนวณจากคุณสมบัติทางกายภาพของ น้ำดังตารางที่ 4.19 แล้วพบว่ามีความใกล้เคียงกัน โดยวิธีคำนวณจากหุ่นลอยได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ( $K_x, K_y, K_s$ ) เป็น (1.48, 1.96, 2.09) ตามลำดับ ส่วนวิธีคำนวณจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ( $K_x'', K_y'', K_s''$ ) เป็น (0.85, 2.49, 2.10) ตามลำดับเช่นกัน ดังนั้นนอกจาก วิธีหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบโดยใช้หุ่นลอยแล้วเรายังสามารถหาสัมประสิทธิ์การแพร่ใน แนวราบจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้ง (โดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ) ได้ ในทาง กลับกันเราอาจหาสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบโดยใช้หุ่น ลอยได้เช่นกัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา ปัญหา และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{|\Delta\sigma|}{\sigma}$  กับ  $\frac{\sigma}{L}$  ดังรูปที่ 3.8, 3.9 และ 3.10 พบว่าหากขนาดของกลุ่มท่อนที่ปล่อยลงสู่ทะเลมีขนาดใหญ่กว่าความปั่นป่วนตั้งแต่ 10 เท่าลงมา ( $\frac{\sigma}{L} \leq 10$ ) เป็นปรากฏการณ์การกระจาย (Dispersion) แต่หากขนาดของกลุ่มท่อนใหญ่กว่าความปั่นป่วน 30 เท่าขึ้นไป ( $\frac{\sigma}{L} > 30$ ) เป็นปรากฏการณ์การแพร่ (Diffusion) ส่วนค่าที่อยู่ระหว่าง  $10 > \frac{\sigma}{L} \geq 30$  ให้เป็นการกระจายได้เพราะขนาดกลุ่มท่อนมีการเปลี่ยนแปลงมาก โดยขนาดของความปั่นป่วนเฉลี่ยในอ่าวไทยตอนบนที่คำนวณได้เป็นดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ขนาดของความปั่นป่วนในอ่าวไทยตอนบน

	$L_x$	$L_y$	$L_H$
มากที่สุด	9.38	7.48	5.05
น้อยที่สุด	0.55	0.34	0.34
เฉลี่ย	3.68	2.50	1.84

จากตารางที่ 5.1 พบว่าขนาดความปั่นป่วนในอ่าวไทยตอนบนมีค่าประมาณ 2 - 5 เมตร ดังนั้นกลุ่มสารที่ถูกปล่อยลงสู่ทะเลในอ่าวไทยตอนบนที่มีความกว้างประมาณไม่เกิน 100 เมตร จะเรียกว่าเป็นปรากฏการณ์การกระจาย และถ้ากลุ่มสารนั้นมีความกว้างประมาณมากกว่า 100 เมตรแต่ไม่เกิน 500 เมตร แล้วจะเรียกว่าเป็นปรากฏการณ์การแพร่ ซึ่งถ้าเป็นปรากฏการณ์การกระจายเราสามารถหาอัตราการกระจายจากแบบจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย ( $K'$ ) และถ้าเป็นปรากฏการณ์การแพร่ก็สามารถหาอัตราการแพร่จากแบบจำลองเชิงตัวเลขร่วมกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ ( $K$ ) ได้เช่นกัน

สัมประสิทธิ์การกระจายในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบนสำหรับพื้นที่ที่มีความกว้างประมาณหรือน้อยกว่า 100 เมตร มีค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สัมประสิทธิ์การกระจายในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบน

	$K'_x$ (m <sup>2</sup> /s)	$K'_y$ (m <sup>2</sup> /s)	$K'_H$ (m <sup>2</sup> /s)
มากที่สุด	0.96	0.92	0.82
น้อยที่สุด	0.01	0.01	0.01
เฉลี่ย	0.27	0.43	0.32

จากตารางที่ 5.2 พบว่าค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การกระจายในแนวราบบนพื้นที่ที่มีความกว้างประมาณ 100 เมตร มีค่าใกล้เคียงกับกราฟของ Okubo ที่มีประมาณ 0.01 - 0.20 m<sup>2</sup>/s

สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบนสำหรับพื้นที่ที่มีความกว้างประมาณมากกว่า 100 เมตรแต่ไม่เกิน 500 เมตร มีค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 5.3

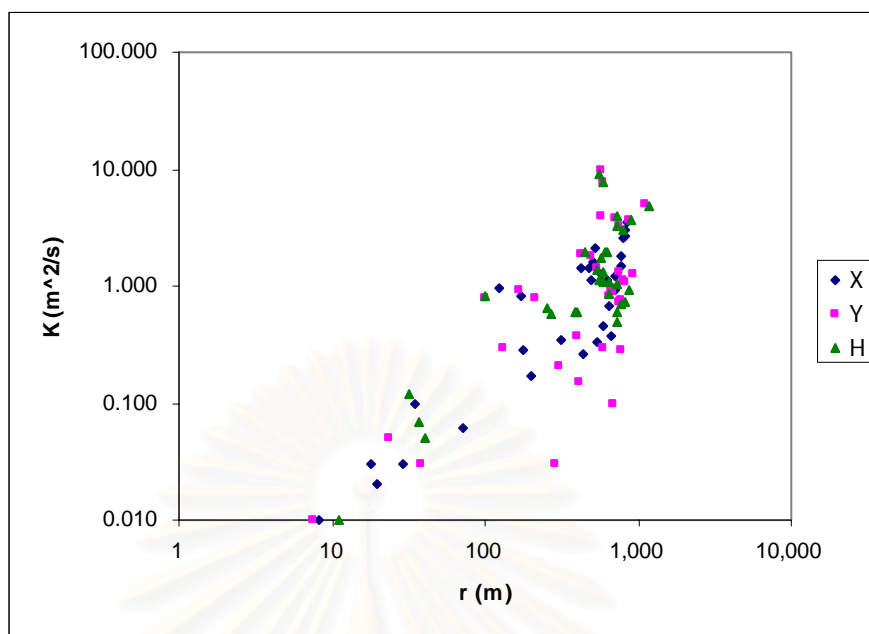
ตารางที่ 5.3 สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบของน้ำชั้นบนในอ่าวไทยตอนบน

	$K_x$ (m <sup>2</sup> /s)	$K_y$ (m <sup>2</sup> /s)	$K_H$ (m <sup>2</sup> /s)
มากที่สุด	3.48	9.72	9.06
น้อยที่สุด	0.26	0.03	0.07
เฉลี่ย	1.48	1.96	2.09

จากตารางที่ 5.3 พบว่าค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบบนพื้นที่ที่มีความกว้างประมาณมากกว่า 100 เมตรแต่ไม่เกิน 500 เมตร มีค่าใกล้เคียงกับกราฟของ Okubo ที่มีประมาณ 0.10 - 2.00 m<sup>2</sup>/s เช่นกัน

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยและสัมประสิทธิ์การกระจายเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มหุ้จากผลการทดลองรอบที่ 1 – 5 ตามตารางที่ 4.15 มาเขียนกราฟเทียบกับรัศมีการแพร่ ( $r = 3\sigma$ ) ในช่วง 10 – 1,000 เมตร ดังรูปที่ 5 แล้วได้ผลสอดคล้องกับกราฟของ Okubo ช่วง 10 – 1,000 เมตร ในรูปที่ 2.3 เช่นกัน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ สัมประสิทธิ์การกระจายกับรัศมีการแพร่

และเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่เฉลี่ยได้จากการทดลองในรอบที่ 1 – 5 ไปใช้ในสูตรเอมไพริกัลเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นเชิงเส้น แล้วเปรียบเทียบกับความหนาแน่นเชิงเส้นจากผลการทดลองตั้งแต่วงที่ 1 – 5 และรอบที่ 6 - 7 นั้นปรากฏว่าให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันแม้ว่าการทดลองจะได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงที่แตกต่างกัน ดังนั้นต่อไปหากต้องการหาอัตราการแพร่หรืออัตราการกระจายในแนวราบบริเวณอ่าวไทยตอนบนที่มีขนาดของกลุ่มสารไม่เกิน 500 เมตร ให้มีความแม่นยำแล้วจึงควรใช้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่และสัมประสิทธิ์การกระจายที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ โดยใช้สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวแกน X ( $K_x$ ) และแกน Y ( $K_y$ ) ในแบบจำลองเชิงตัวเลข ส่วนสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ ( $K_G$ ) กับสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดินของกลุ่มหุ่น ( $K_H$ ) แม้มีวิธีการคำนวณที่ต่างกันแต่ค่าที่ได้ไม่น่าแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ ( $K_G$ ) หรือสัมประสิทธิ์การแพร่บนแนวทางเดินของกลุ่มหุ่น ( $K_H$ ) มาใช้คำนวณหาอัตราการแพร่อย่างคร่าวๆ ได้ด้วยสูตรเอมไพริกัล เมื่อทราบขนาดและทิศทางของกระแสน้ำ



สัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบที่คำนวณจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมีค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบที่คำนวณจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ

	$K_x''$	$K_y''$	$K_H''$
มากที่สุด	5.50	11.29	8.22
น้อยที่สุด	0.07	0.05	0.23
รวมเฉลี่ย	0.85	2.49	2.10

เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบที่คำนวณจากหุ่นลอย ในตารางที่ 5.3 กับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบที่คำนวณจากคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ ในตารางที่ 5.4 พบว่าให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน จึงยังเป็นการสนับสนุนค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่คำนวณจากหุ่นลอยให้น่าเชื่อถือมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วยังทำให้เราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งโดยอาศัยคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำ และในทางกลับกันเราอาจหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวตั้งจากสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบโดยใช้หุ่นลอยได้เช่นกัน

## 5.2 ข้อจำกัด

เป็นเรื่องยากหากใช้หุ่นลอยที่ติดตั้ง GPS logger มาศึกษาปรากฏการณ์การพัดพาหรือการกระจายที่กลุ่มหุ่นมีขนาดเล็กกว่า 8 - 10 เมตร เพราะค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่อง GPS logger นั้นมีค่าประมาณ 5 - 8 เมตร เช่นกัน โดยส่งผลให้การวัดขนาดปรากฏการณ์ให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

1) หากเป็นการทดลองหาสัมประสิทธิ์การแพร่ที่มีระยะเวลานาน เส้นทางเดินของกลุ่มหุ่นอาจเป็นเส้นโค้ง ดังนั้นควรหาความชันของเส้นทางเดิน ณ เวลาใดๆมาใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนวราบ จึงจะเหมาะสมกว่า

2) ควรเพิ่มเวลาทดลองให้นานขึ้นเพื่อศึกษาปรากฏการณ์การแพร่ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยมีสมมติฐานว่าขนาดของกลุ่มหุ่นจะขยายใหญ่ขึ้นตามเวลา

3) สำหรับการคำนวณหาอัตราการแพร่หรืออัตราการกระจายนั้น ถ้าพบว่าเป็นตอนเริ่มต้นเป็นปรากฏการณ์การกระจายก็ควรใช้สัมประสิทธิ์การกระจายในการคำนวณก่อน หลังจาก

นั้นหากตรวจสอบแล้วว่าเปลี่ยนเป็นปรากฏการณ์การแพร่ ก็ควรเปลี่ยนไปใช้สัมประสิทธิ์การแพร่ ในการคำนวณต่อไป

4) การศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการคำนวณที่สลับซับซ้อน ดังนั้นต่อไปหากมีการศึกษาปรากฏการณ์การแพร่อีกอาจต้องสร้างโปรแกรมสำเร็จรูปขึ้นมาใช้เพื่อความสะดวกและรวดเร็ว ต่อการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่และค่าอื่นๆด้วย

5) การลู่เข้าของกลุ่มท่อนอาจเป็นเพราะกระแสน้ำหมุนวน (Eddy current) ที่ทำให้ท่อนบางตัวมีการเคลื่อนที่เข้ามา และเป็นสิ่งที่ควรศึกษาต่อไป



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

ชาญ ถนัดงาน. 2523. กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพมหานคร: 23 บิ๊กเซนเตอร์.

### ภาษาอังกฤษ

Callaway, R.J. 1972. Subsurface Horizontal Dispersion of Pollutants in Open Coastal Waters.

Oregon : Coastal pollution Branch, Pacific Northwest Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency.

Lewis, R. 1997. Dispersion in Estuaries and Coastal Waters. New York : John Wiley & Sons.

Michida Yutaka. 2003. Development of GPS tracked drifters and application for observation of coastal circulation. In JSPS Seminar, Chiangmai 14 - 16 December. Ocean Research Institute, The University of Tokyo.

Mahunnop Bunpaong. 1988. Statistical Estimation of Diffusion Coefficient from Current Meter Data. Oceanographic Workshop on Methodology for Oceanographic Measurement and Analysis for impact Assessment Study in Coastal Area. 24 – 28 February. Chonburi.

Monton Anongponyoskun. 1995. Autocorrelation Power Spectrum Analysis and Eddy Viscosity Coefficient of Tidal Current. Nal. Sci. 29 : 536 – 543.

Sudermeyer, Miles A. 2001. Studies of Lateral Dispersion in the Ocean. Department of Physical Oceanography Massachusetts Institute of Technology / Wood Hole Oceanographic Institution Joint Program.

Tetsuo Yanagi. 1999. Coastal Oceanography. London : Terra Scientific.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลจากการทดลอง

วันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 ตั้งแต่เวลา 13:25 ถึง 14:40 สถานี A ความลึกน้ำเฉลี่ย 11.4 เมตร

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
698782.842	1474928.893	698244.122	1474664.714	698342.740	1474024.245
698775.818	1474901.548	698228.810	1474610.569	698327.081	1473968.622
698767.915	1474846.351	698214.406	1474555.323	698314.311	1473912.098
698755.444	1474799.418	698196.983	1474493.603	698302.656	1473852.816
698747.901	1474745.330	698177.510	1474440.902	698290.125	1473788.734
698739.944	1474697.508	698160.999	1474377.343	698275.751	1473729.248
698729.980	1474652.993	698147.125	1474323.577	698264.882	1473685.279
698718.574	1474558.674	698134.946	1474285.314	698252.661	1473627.653
698717.197	1474598.312	698122.846	1474236.357	698242.364	1473579.629
698708.781	1474515.818	698114.369	1474210.477	698235.456	1473536.243
698704.916	1474477.248	698098.212	1474148.765	698217.747	1473488.165
698699.432	1474436.268	698083.616	1474095.916	698204.877	1473446.578
698691.029	1474400.431	698070.628	1474044.002	698191.605	1473409.598
698685.518	1474364.614	698059.391	1474001.320	698180.303	1473374.293
698679.504	1474323.630	698047.257	1473956.973	698167.058	1473333.625
698669.077	1474291.835	698034.563	1473915.017	698153.210	1473301.251

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวที่ 4	
X	Y
698676.181	1474406.775
698663.388	1474353.570
698648.430	1474299.981
698637.071	1474249.000
698628.252	1474196.008
698620.181	1474140.072
698609.201	1474086.328
698594.421	1474033.478
698588.046	1473991.385
698583.508	1473945.617
698573.505	1473906.264
698563.669	1473869.125
698552.041	1473829.759
698542.704	1473797.050
698530.323	1473762.658
698525.290	1473734.038

ตัวที่ 5	
X	Y
698704.966	1474714.032
698701.318	1474671.038
698692.887	1474613.992
698682.766	1474565.602
698676.132	1474510.229
698669.260	1474463.707
698662.372	1474417.738
698654.607	1474393.707
698651.547	1474342.971
698647.074	1474288.353
698635.722	1474236.634
698632.774	1474219.094
698623.094	1474160.933
698612.526	1474124.710
698607.913	1474089.084
698603.258	1474059.175

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



วันที่ 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 ตั้งแต่เวลา 16:20 ถึง 17:25 สถานี C ความลึกน้ำเฉลี่ย 15.2 เมตร

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
627006.845	1437371.944	626611.274	1437618.078	626612.970	1437129.928
627030.463	1437347.349	626629.321	1437585.347	626626.310	1437096.991
627052.080	1437323.668	626643.198	1437553.517	626639.088	1437070.872
627070.981	1437303.476	626660.333	1437523.363	626655.502	1437039.423
627091.515	1437279.422	626675.980	1437500.575	626666.812	1437016.432
627109.859	1437260.149	626686.584	1437475.368	626680.466	1436995.478
627125.140	1437239.204	626692.840	1437452.353	626699.163	1436979.526
627142.228	1437219.372	626702.008	1437423.452	626713.170	1436959.680
627158.749	1437204.885	626712.569	1437407.647	626722.337	1436933.360
627184.468	1437192.651	626729.632	1437390.764	626738.842	1436919.978
627208.722	1437187.785	626747.797	1437372.413	626756.107	1436901.622
627231.153	1437182.911	626757.627	1437357.526	626769.539	1436888.964
627251.772	1437180.610	626776.504	1437340.099	626782.438	1436874.275
627272.564	1437180.890	626789.563	1437330.757	626796.006	1436872.125

ตัวที่ 4	
X	Y
627109.465	1437267.890
627123.479	1437246.754
627143.340	1437213.478
627152.246	1437203.748
627182.024	1437174.574
627190.404	1437161.339
627217.255	1437138.973
627231.401	1437129.083
627239.751	1437122.485
627266.059	1437102.511
627285.660	1437085.826
627294.899	1437081.628
627325.113	1437075.499
627338.334	1437070.952

วันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 ตั้งแต่เวลา 14:50 ถึง 15:50 สถานี D ความลึกน้ำเฉลี่ย 35.8 เมตร

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
681139.048	1401117.825	680744.253	1401106.087	680874.795	1400594.698
681163.188	1401108.945	680793.064	1401088.513	680909.135	1400575.742
681189.558	1401089.383	680834.410	1401078.083	680942.724	1400560.468
681220.082	1401072.430	680846.246	1401068.570	680979.917	1400548.904
681233.019	1401060.713	680865.331	1401056.890	681006.455	1400532.110
681253.035	1401044.430	680922.732	1401026.096	681039.178	1400511.114
681294.311	1401016.115	680950.457	1400994.927	681065.872	1400498.747
681341.624	1400979.724	680993.466	1400979.345	681100.240	1400475.364
681375.638	1400953.943	681015.161	1400955.329	681131.509	1400456.020
681402.035	1400931.986	681061.454	1400935.711	681174.525	1400439.330
681435.295	1400911.916	681088.402	1400912.281	681219.535	1400421.733
681475.433	1400891.706	681123.834	1400892.410	681269.669	1400396.238
681508.866	1400873.666	681159.963	1400875.676	681315.709	1400387.498

ตัวที่ 4		ตัวที่ 5	
X	Y	X	Y
681286.001	1400730.448	681286.001	1400730.448
681316.313	1400717.920	681316.313	1400717.920
681345.243	1400695.610	681345.243	1400695.610
681377.045	1400677.744	681377.045	1400677.744
681406.849	1400659.864	681406.849	1400659.864
681442.102	1400640.914	681442.102	1400640.914
681453.555	1400633.611	681453.555	1400633.611
681500.067	1400606.989	681500.067	1400606.989
681528.256	1400588.546	681528.256	1400588.546
681575.002	1400554.365	681575.002	1400554.365
681612.963	1400534.879	681612.963	1400534.879
681650.206	1400515.572	681650.206	1400515.572
681666.221	1400503.321	681666.221	1400503.321

วันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2547 ตั้งแต่เวลา 12:30 ถึง 14:35 สถานี A ความลึกน้ำเฉลี่ย 16.3 เมตร ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1019.76 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1020.08 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
698439.347	1474760.571	698741.334	1474876.029	698334.346	1474942.548
698429.948	1474761.239	698740.645	1474871.045	698328.404	1474940.106
698423.280	1474760.269	698735.779	1474869.718	698317.592	1474937.077
698420.378	1474761.537	698731.307	1474864.891	698307.349	1474930.178
698414.456	1474756.515	698727.027	1474857.667	698298.173	1474925.684
698398.044	1474753.074	698722.013	1474851.360	698288.109	1474919.524
698384.715	1474748.920	698715.736	1474845.966	698277.314	1474914.097
698372.119	1474742.372	698710.949	1474833.943	698271.068	1474904.461
698364.059	1474733.460	698704.697	1474823.755	698261.915	1474896.833
698352.571	1474724.894	698696.512	1474808.204	698251.691	1474887.353
698344.155	1474714.320	698692.443	1474795.818	698241.104	1474877.317
698334.488	1474702.815	698686.997	1474776.230	698226.934	1474865.225
698323.930	1474690.197	698682.959	1474759.603	698212.394	1474853.316
698312.068	1474682.549	698678.565	1474744.265	698200.928	1474840.508
698300.764	1474672.691	698670.908	1474729.086	698192.709	1474828.091
698292.740	1474658.802	698667.974	1474711.177	698180.333	1474816.567
698281.635	1474646.918	698660.668	1474696.923	698167.954	1474805.595
698271.782	1474635.596	698656.985	1474682.143	698157.923	1474795.009
698259.257	1474619.460	698653.520	1474662.755	698140.893	1474778.472
698251.959	1474605.576	698650.759	1474644.846	698127.269	1474764.356
698238.344	1474590.169	698646.946	1474624.164	698114.929	1474748.038
698224.710	1474578.820	698643.445	1474608.279	698094.455	1474732.765
698213.603	1474565.829	698637.473	1474586.475	698084.977	1474720.524
698202.687	1474553.209	698632.341	1474571.315	698076.563	1474709.582
698198.637	1474538.242	698628.121	1474555.793	698065.812	1474698.254
698183.730	1474527.620	698626.915	1474548.961	698058.526	1474682.710

ตัวที่ 4		ตัวที่ 5		ตัวที่ 6	
X	Y	X	Y	X	Y
698215.458	1474731.628	698636.53	1474590.894	698873.979	1474765.81
698209.14	1474730.29	698620.285	1474589.851	698864.742	1474769.429
698201.784	1474724.335	698611.456	1474588.126	698852.996	1474769.527
698190.593	1474724.068	698600.128	1474581.588	698843.084	1474767.794
698178.693	1474721.583	698591.161	1474572.117	698837.172	1474761.48
698161.186	1474719.794	698581.119	1474563.007	698826.723	1474757.53
698144.411	1474717.089	698566.722	1474556.815	698815.183	1474754.679
698129.273	1474712.92	698554.318	1474549.163	698806.02	1474748.341
698119.034	1474705.469	698542.278	1474540.591	698794.527	1474740.696
698101.014	1474699.804	698527.034	1474525.726	698781.774	1474730.458
698085.539	1474692.867	698514.127	1474512.906	698771.927	1474719.874
698068.6	1474687.394	698497.642	1474495.819	698758.847	1474705.393
698052.236	1474678.975	698479.312	1474483.696	698747.764	1474690.559
698034.95	1474672.209	698464.419	1474471.232	698735.208	1474678.664
698017.126	1474664.886	698448.414	1474461.155	698725.05	1474660.332
697998.954	1474654.794	698432.085	1474447.941	698716.507	1474643.303
697981.11	1474650.237	698415.736	1474436.019	698712.849	1474625.204
697968.768	1474634.103	698399.391	1474423.543	698704.813	1474612.974
697957.648	1474624.246	698386.483	1474410.723	698694.824	1474596.672
697940.934	1474613.243	698375.909	1474400.319	698686.291	1474578.352
697922.894	1474610.345	698360.66	1474386.191	698679.903	1474562.999
697900.573	1474601.513	698337.662	1474370.715	698671.552	1474543.574
697879.883	1474590.48	698326.194	1474358.09	698664.995	1474527.666
697863.12	1474586.301	698313.271	1474347.3	698659.831	1474516.748
697847.265	1474580.836	698301.795	1474337.257	698650.02	1474501.37
697829.431	1474574.804	698290.871	1474324.267	698644.899	1474484.735

วันที่ 8 ตุลาคม พ.ศ. 2547 ตั้งแต่เวลา 9:15 ถึง 10:45 สถานี C ความลึกน้ำเฉลี่ย 19.4 เมตร ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น 1017.92 m<sup>3</sup>/kg และที่ท้องน้ำเป็น 1020.22 m<sup>3</sup>/kg

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
626654.078	1437586.382	626298.750	1437650.752	626310.613	1437309.944
626665.192	1437527.994	626301.935	1437585.137	626322.076	1437253.401
626675.805	1437460.755	626304.389	1437522.839	626330.500	1437190.023
626689.803	1437404.961	626305.413	1437457.952	626341.079	1437129.974
626698.266	1437333.473	626309.096	1437323.763	626349.884	1437061.805
626708.891	1437263.653	626309.692	1437392.712	626364.765	1437009.702
626718.262	1437190.325	626311.727	1437263.124	626378.605	1436948.008
626730.143	1437123.276	626314.899	1437202.672	626391.393	1436879.304
626742.756	1437052.728	626324.567	1437142.619	626409.210	1436818.550
626757.507	1436989.010	626331.528	1437083.843	626421.648	1436748.186
626771.560	1436921.235	626338.520	1437018.430	626435.331	1436680.592
626783.270	1436851.235	626342.619	1436952.268	626448.296	1436613.548
626800.753	1436783.106	626344.923	1436882.410	626454.581	1436543.709
626812.298	1436711.447	626351.561	1436813.679	626463.945	1436472.039
626825.814	1436640.350	626355.504	1436743.643	626469.885	1436399.434
626836.466	1436564.631	626359.804	1436671.398	626477.800	1436329.048
626848.365	1436493.527	626361.056	1436596.927	626483.563	1436254.781
626863.341	1436421.147	626364.809	1436525.601	626493.650	1436183.854
626875.967	1436347.833	626370.393	1436452.624	626502.481	1436109.969

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวที่ 4		ตัวที่ 5		ตัวที่ 6	
X	Y	X	Y	X	Y
626686.578	1436963.613	626652.175	1437055.262	626666.624	1437374.253
626692.690	1436893.773	626659.546	1436985.243	626673.697	1437288.932
626702.193	1436832.059	626665.974	1436924.622	626682.010	1437131.904
626712.948	1436771.643	626672.414	1436859.207	626684.328	1437061.677
626717.058	1436703.267	626676.878	1436793.968	626684.557	1437208.051
626722.626	1436633.793	626681.711	1436723.937	626688.446	1436991.459
626727.308	1436558.968	626684.758	1436650.764	626690.761	1436919.388
626734.312	1436488.580	626691.444	1436574.106	626695.080	1436845.669
626741.339	1436415.793	626697.553	1436502.606	626704.793	1436776.030
626749.460	1436340.616	626703.501	1436428.524	626710.346	1436709.873
626755.395	1436267.088	626709.807	1436354.260	626715.188	1436637.815
626759.906	1436191.710	626712.495	1436279.058	626718.049	1436567.406
626761.326	1436118.529	626714.293	1436203.852	626721.031	1436428.052
626764.390	1436041.670	626715.547	1436126.615	626721.238	1436501.240
626768.898	1435964.448	626717.521	1436050.857	626722.454	1436354.318
626773.785	1435885.200	626722.030	1435973.635	626726.406	1436282.440
626776.126	1435807.599	626725.640	1435896.040	626731.256	1436208.907
626778.660	1435727.972	626726.721	1435818.619	626736.115	1436135.558
626781.011	1435648.160	626728.716	1435738.436	626739.531	1436059.991

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



วันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2547 ตั้งแต่เวลา 10:00 ถึง 10:55 สถานี D ความลึกน้ำเฉลี่ย 26.3 เมตร  
ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1019.42 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1020.13 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
680847.096	1419544.052	680603.582	1419371.737	680933.855	1418996.798
680866.141	1419563.721	680625.300	1419399.351	680963.014	1419020.404
680883.583	1419580.981	680647.384	1419425.860	680993.112	1419039.775
680902.822	1419599.175	680672.178	1419452.942	681025.543	1419061.004
680921.004	1419614.413	680694.094	1419476.684	681054.024	1419077.047
680941.563	1419624.871	680712.602	1419497.086	681083.572	1419095.861
680960.458	1419640.667	680733.455	1419517.504	681113.518	1419110.068
680979.378	1419652.774	680755.060	1419534.054	681145.981	1419126.320
680998.471	1419664.882	680777.742	1419551.901	681180.072	1419142.766
681019.395	1419675.897	680798.255	1419569.367	681211.263	1419159.194
681037.775	1419687.448	680821.109	1419589.243	681233.598	1419175.381
681051.630	1419698.785	680845.419	1419607.102	681245.615	1419192.238

ตัวที่ 4		ตัวที่ 5		ตัวที่ 6	
X	Y	X	Y	X	Y
681239.300	1419216.905	680861.996	1419254.292	680866.704	1419253.216
681272.447	1419239.799	680884.502	1419270.847	680890.464	1419272.177
681302.165	1419260.827	680907.725	1419289.068	680915.321	1419289.486
681330.987	1419279.268	680931.865	1419304.713	680939.102	1419305.313
681359.447	1419300.104	680957.821	1419319.999	680964.872	1419320.783
681379.041	1419318.670	680981.076	1419333.057	680988.669	1419334.028
681384.356	1419336.221	681005.079	1419343.169	681012.482	1419344.877
681394.194	1419354.171	681035.392	1419356.088	681038.477	1419354.080
681408.742	1419370.860	681063.176	1419368.991	681064.287	1419364.941
681422.206	1419387.173	681087.522	1419381.318	681092.238	1419378.951
681440.007	1419404.253	681107.716	1419391.037	681116.415	1419388.881
681464.502	1419422.113	681122.851	1419400.907	681132.281	1419398.018

ตัวที่ 7	
X	Y
680870.735	1419245.866
680898.444	1419268.725
680921.851	1419286.947
680949.058	1419305.192
680976.104	1419319.749
681002.967	1419333.937
681029.483	1419346.461
681056.737	1419357.333
681082.878	1419370.778
681106.858	1419384.393
681129.753	1419397.818
681145.942	1419412.488

วันที่ 20 ตุลาคม พ.ศ. 2547 ตั้งแต่เวลา 11:05 ถึง 14:40 สถานี B ความลึกน้ำเฉลี่ย 11.5 เมตร ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1019.63 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1019.69 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
663152.891	1476782.625	662957.633	1476560.369	663161.076	1476446.366
663101.262	1476781.206	662907.777	1476564.675	663110.835	1476453.436
663052.198	1476774.823	662857.940	1476566.032	663062.266	1476454.616
663003.476	1476770.840	662809.565	1476563.711	663015.157	1476452.486
662956.915	1476767.976	662757.940	1476563.398	662962.994	1476449.773
662913.063	1476764.760	662707.042	1476561.062	662915.521	1476448.747
662867.405	1476761.164	662654.706	1476556.320	662869.852	1476446.811
662817.850	1476746.298	662608.866	1476554.198	662825.665	1476439.905
662777.296	1476735.174	662557.424	1476552.228	662779.662	1476434.095
662729.177	1476721.237	662510.893	1476544.202	662732.410	1476425.327
662684.503	1476705.295	662466.150	1476539.691	662688.952	1476417.873
662634.388	1476691.716	662415.454	1476532.562	662645.687	1476407.102
662588.085	1476676.501	662369.275	1476527.120	662603.853	1476397.998
662542.122	1476664.238	662326.684	1476523.175	662560.946	1476387.229

ตัวที่ 1 (ต่อ)		ตัวที่ 2 (ต่อ)		ตัวที่ 3 (ต่อ)	
X	Y	X	Y	X	Y
662514.981	1476643.792	662280.158	1476514.413	662520.434	1476369.100
662461.892	1476616.735	662230.769	1476502.498	662480.631	1476353.739
662423.553	1476597.513	662184.619	1476490.604	662430.836	1476347.907
662384.846	1476578.288	662139.204	1476477.054	662397.345	1476333.138
662333.086	1476569.863	662093.220	1476468.296	662365.441	1476324.464
662290.949	1476551.723	662047.430	1476457.694	662307.251	1476304.384
662250.091	1476531.748	662003.790	1476448.027	662266.880	1476291.602
662212.452	1476514.926	661962.879	1476436.718	662227.251	1476277.903
662172.686	1476493.482	661918.741	1476421.702	662187.424	1476264.572
662132.744	1476470.562	661883.426	1476409.320	662149.052	1476250.697
662093.350	1476446.725	661841.433	1476397.820	662109.432	1476235.523
662059.358	1476425.131	661807.748	1476384.526	662070.705	1476219.432
662021.217	1476403.513	661771.901	1476370.482	662032.712	1476203.900
661985.412	1476382.646	661737.865	1476356.264	661993.452	1476186.331
661951.595	1476362.529	661716.624	1476346.917	661953.327	1476165.070
661920.304	1476342.059	661674.488	1476328.595	661916.941	1476150.469
661890.444	1476323.258	661639.369	1476314.186	661886.516	1476135.536
661859.873	1476303.714	661606.055	1476298.682	661850.510	1476119.093
661827.662	1476284.897	661573.471	1476284.289	661819.003	1476103.968
661795.638	1476267.556	661541.786	1476268.058	661781.715	1476089.915
661765.598	1476248.016	661513.547	1476251.662	661757.438	1476073.913
661734.471	1476230.866	661476.611	1476238.534	661728.813	1476060.466
661706.038	1476215.945	661453.912	1476230.285	661698.012	1476048.480
661678.691	1476199.001	661428.345	1476218.147	661670.104	1476036.327
661645.926	1476184.054	661398.268	1476206.534	661638.760	1476024.708
661614.595	1476170.221	661348.557	1476186.692	661608.490	1476014.569
661579.843	1476154.156	661320.476	1476172.879	661577.878	1476001.663
661550.513	1476139.045	661286.074	1476159.766	661548.172	1475987.840
661521.705	1476125.228	661257.987	1476146.876	661519.910	1475973.288
661493.809	1476111.232	661220.129	1476137.614	661490.023	1475958.912

ตัวที่ 4	
X	Y
663364.305	1476574.455
663316.264	1476577.850
663273.830	1476578.513
663226.907	1476576.200
663185.391	1476573.551
663138.279	1476572.158
663089.181	1476571.123
663042.652	1476562.912
662996.990	1476559.870
662948.471	1476552.753
662902.454	1476549.340
662855.554	1476543.155
662808.669	1476532.915
662764.841	1476525.642
662725.556	1476514.341
662684.814	1476503.769
662648.765	1476494.516
662612.550	1476482.313
662575.801	1476469.000
662542.841	1476455.893
662501.591	1476439.787
662465.891	1476432.011
662428.078	1476415.373
662392.251	1476399.853
662354.589	1476386.904
662318.220	1476371.564
662284.002	1476356.791
662249.781	1476342.756
662215.939	1476326.696
662183.339	1476313.223
662149.500	1476296.824
662120.530	1476281.315
662079.632	1476265.949

ตัวที่ 5	
X	Y
663131.222	1476574.698
663081.373	1476577.897
663034.770	1476581.856
662987.467	1476583.228
662941.611	1476581.844
662895.038	1476580.824
662848.289	1476580.172
662803.175	1476576.026
662759.141	1476572.624
662717.663	1476565.552
662674.742	1476556.995
662626.985	1476543.983
662581.366	1476533.934
662537.182	1476526.476
662497.344	1476515.172
662470.146	1476505.789
662402.286	1476501.322
662359.739	1476491.846
662319.196	1476478.879
662278.104	1476467.015
662238.267	1476455.527
662201.152	1476443.503
662161.501	1476431.648
662123.490	1476419.065
662081.343	1476402.585
662041.349	1476388.331
662005.676	1476375.947
661968.017	1476362.445
661933.077	1476348.959
661900.654	1476336.594
661867.683	1476325.333
661835.066	1476314.627
661795.764	1476305.908

ตัวที่ 6	
X	Y
663137.070	1476564.223
663086.156	1476564.467
663039.027	1476565.841
662992.453	1476564.820
662948.419	1476561.419
662903.309	1476556.536
662848.819	1476551.780
662805.165	1476546.169
662760.080	1476537.414
662716.641	1476524.982
662672.847	1476512.179
662625.431	1476501.935
662582.175	1476489.688
662538.371	1476478.545
662495.325	1476462.059
662450.799	1476450.358
662409.517	1476439.414
662365.712	1476428.456
662322.295	1476414.181
662279.593	1476399.909
662239.044	1476387.865
662197.578	1476376.920
662158.838	1476364.886
662117.942	1476351.180
662079.928	1476337.306
662040.296	1476322.132
662000.844	1476307.882
661965.721	1476294.210
661929.516	1476280.164
661893.139	1476266.116
661859.266	1476253.374
661826.489	1476240.455
661794.263	1476226.063

ตัวที่ 4 (ต่อ)		ตัวที่ 5 (ต่อ)		ตัวที่ 6 (ต่อ)	
X	Y	X	Y	X	Y
662047.766	1476251.007	661766.065	1476290.980	661766.015	1476209.299
662012.659	1476234.754	661733.096	1476279.349	661735.231	1476194.548
661986.941	1476218.743	661702.459	1476270.684	661705.707	1476181.095
661943.937	1476195.252	661671.617	1476265.704	661672.860	1476177.947
661901.566	1476185.224	661638.987	1476257.027	661639.735	1476163.366
661856.699	1476170.757	661605.805	1476250.189	661608.924	1476153.040
661830.737	1476164.701	661573.013	1476239.666	661556.090	1476141.106
661804.977	1476155.695	661539.841	1476231.170	661540.402	1476137.878
661765.340	1476141.443	661505.236	1476221.375	661508.577	1476116.114
661728.958	1476126.290	661473.174	1476210.119	661475.995	1476101.352
661695.992	1476114.107	661442.696	1476204.035	661442.487	1476089.166

วันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 15:45 ถึง 17:00 สถานี A ความลึกน้ำเฉลี่ย 21.5 เมตร  
ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1019.94 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1020.48 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
691087.877	1465657.574	690848.627	1465952.037	690649.139	1465908.956
691098.886	1465607.310	690869.172	1465906.450	690677.459	1465864.346
691108.636	1465557.222	690884.630	1465866.174	690694.587	1465817.812
691121.784	1465511.029	690901.735	1465822.776	690718.740	1465773.911
691136.969	1465458.766	690913.441	1465776.574	690735.539	1465721.659
691151.741	1465412.769	690926.574	1465733.885	690745.316	1465667.698
691177.330	1465371.459	690942.597	1465690.295	690757.587	1465618.180
691198.430	1465324.217	690956.999	1465646.140	690769.459	1465574.560
691219.516	1465280.478	690976.236	1465607.736	690785.894	1465523.228
691236.446	1465235.972	690990.079	1465565.973	690798.345	1465474.265
691262.059	1465191.159	691004.293	1465522.187	690810.241	1465425.667
691278.256	1465147.570	691019.767	1465479.699	690822.499	1465377.993
691300.583	1465107.713	691030.349	1465439.205	690839.405	1465338.281
691323.059	1465071.360	691047.066	1465400.230	690858.281	1465298.951
691344.960	1465039.612	691066.812	1465366.623	690880.933	1465263.706
691353.355	1465026.579	691070.068	1465339.907	690903.216	1465228.458

ตัวที่ 4		ตัวที่ 5		ตัวที่ 6	
X	Y	X	Y	X	Y
690601.877	1465516.031	690776.885	1465289.711	691016.746	1465396.327
690622.769	1465473.582	690795.968	1465247.064	691038.726	1465353.332
690635.916	1465427.389	690819.408	1465201.498	691056.517	1465314.180
690649.637	1465376.590	690843.191	1465159.437	691075.966	1465272.089
690665.330	1465328.941	690873.671	1465114.474	691095.764	1465231.107
690682.099	1465282.590	690895.254	1465077.192	691111.943	1465191.575
690700.114	1465237.722	690905.478	1465061.221	691128.493	1465150.201
690723.330	1465199.161	690923.348	1465012.480	691144.294	1465111.957
690750.888	1465158.233	690956.044	1464960.709	691161.019	1465071.875
690774.487	1465116.172	690979.482	1464916.987	691178.807	1465033.276
690800.949	1465078.556	691000.325	1464881.545	691196.968	1464993.942
690825.227	1465043.137	691018.070	1464849.031	691219.475	1464953.163
690842.145	1465000.291	691047.990	1464808.304	691241.764	1464918.653
690859.952	1464960.401	691073.514	1464774.554	691263.171	1464880.264
690881.347	1464923.487	691099.047	1464739.697	691281.474	1464845.357
690907.185	1464896.008	691108.357	1464725.933	691298.704	1464810.627

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตัวที่ 7	
X	Y
690834.939	1465638.272
690859.244	1465598.981
690883.887	1465562.643
690906.401	1465520.758
690923.840	1465480.682
690944.905	1465439.893
690965.064	1465398.545
690988.647	1465358.695
691015.985	1465324.405
691040.620	1465289.173
691071.738	1465256.753
691099.045	1465226.889
691123.665	1465193.870
691144.840	1465162.118
691166.734	1465131.292
691189.885	1465102.136

ตัวที่ 8	
X	Y
690814.789	1465678.514
690860.592	1465612.268
690889.272	1465567.475
690898.969	1465549.473
690936.150	1465476.527
690953.767	1465437.373
690978.446	1465395.873
691011.252	1465354.614
691038.991	1465315.716
691050.492	1465298.647
691092.431	1465242.701
691123.167	1465213.782
691140.943	1465193.593
691175.781	1465154.776
691192.167	1465136.636
691211.656	1465115.013

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 11:15 ถึง 13:05 สถานี A ความลึกน้ำเฉลี่ย 22.1 เมตร  
ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1020.89 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1020.95 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
680579.152	1456202.811	680557.619	1456481.285	680551.102	1456509.269
680581.276	1456183.280	680565.503	1456462.897	680553.608	1456486.052
680588.419	1456168.760	680568.554	1456439.316	680555.571	1456463.016
680589.081	1456150.694	680567.430	1456417.550	680559.512	1456440.915
680592.994	1456132.834	680569.212	1456393.960	680560.752	1456417.505
680599.280	1456110.195	680572.617	1456370.933	680561.981	1456395.571
680605.027	1456088.844	680574.596	1456345.500	680561.588	1456373.072
680613.480	1456068.063	680576.553	1456323.386	680564.247	1456352.992
680625.693	1456050.812	680576.326	1456301.995	680565.141	1456327.735
680633.982	1456027.080	680578.102	1456279.511	680567.463	1456304.517
680636.888	1455997.596	680578.628	1456255.728	680569.789	1456280.746
680641.562	1455974.394	680580.394	1456234.535	680572.820	1456258.456
680647.664	1455953.414	680582.896	1456210.396	680579.489	1456233.791
680649.062	1455933.877	680590.655	1456184.817	680581.103	1456209.462
680655.718	1455911.057	680600.137	1456172.341	680588.684	1456182.776
680659.838	1455888.220	680604.453	1456147.661	680596.236	1456160.514
680666.709	1455860.791	680609.343	1456119.666	680598.457	1456126.417
680670.315	1455835.184	680612.601	1456091.107	680605.714	1456094.749
680672.842	1455807.358	680618.770	1456059.985	680608.432	1456065.817
680673.955	1455776.757	680622.041	1456029.398	680613.335	1456034.318
680677.039	1455746.536	680621.889	1455998.235	680616.034	1456009.813
680681.389	1455718.353	680626.069	1455968.022	680617.552	1455970.548
680684.123	1455687.025	680625.223	1455932.060	680619.393	1455938.106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวที่ 5	
X	Y
680231.937	1456683.987
680234.399	1456667.408
680240.100	1456651.220
680245.621	1456636.136
680250.975	1456619.945
680256.133	1456603.937
680263.107	1456588.679
680268.821	1456570.646
680277.618	1456551.897
680285.166	1456531.848
680295.416	1456511.448
680300.439	1456489.539
680307.444	1456468.011
680315.193	1456443.907
680323.100	1456423.676
680332.127	1456398.105
680340.055	1456373.081
680350.342	1456348.625
680355.747	1456323.214
680357.006	1456296.855
680358.258	1456271.417
680360.948	1456246.726
680363.125	1456219.082

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 15:10 ถึง 16:30 สถานี A ความลึกน้ำเฉลี่ย 13.8 เมตร  
ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1020.05 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1020.42 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 2		ตัวที่ 4		ตัวที่ 5	
X	Y	X	Y	X	Y
698786.261	1465735.690	698788.275	1466101.943	698636.747	1465999.221
698780.386	1465675.160	698785.446	1466044.386	698629.724	1465946.059
698779.011	1465615.954	698779.179	1465987.173	698624.398	1465884.612
698772.944	1465556.531	698774.920	1465928.131	698617.568	1465830.160
698768.902	1465492.880	698769.941	1465868.160	698614.888	1465777.399
698768.088	1465431.096	698768.907	1465811.170	698606.433	1465722.752
698764.194	1465370.950	698766.624	1465753.064	698598.151	1465669.766
698761.045	1465308.227	698759.627	1465697.690	698592.273	1465609.605
698752.630	1465248.233	698749.581	1465638.421	698583.482	1465552.189
698746.058	1465183.641	698742.978	1465578.255	698576.124	1465495.706
698739.990	1465124.401	698736.915	1465518.277	698567.332	1465438.291
698733.223	1465061.283	698726.349	1465457.529	698557.450	1465381.789
698726.613	1465002.039	698722.454	1465397.383	698548.839	1465324.743
698720.184	1464943.166	698715.676	1465335.925	698537.888	1465266.204
698715.782	1464878.221	698708.480	1465282.578	698525.464	1465211.897
698708.814	1464818.974	698699.898	1465221.659	698511.963	1465155.000
698706.003	1464758.837	698693.469	1465161.310	698500.985	1465100.150

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวที่ 6		ตัวที่ 7		ตัวที่ 8	
X	Y	X	Y	X	Y
698479.074	1465699.689	698982.068	1465590.338	699081.510	1465823.795
698472.630	1465641.368	698974.521	1465536.251	699074.875	1465768.054
698467.634	1465583.612	698970.484	1465470.571	699073.630	1465716.226
698462.473	1465524.747	698969.694	1465430.548	699067.033	1465655.322
698455.110	1465469.002	698965.542	1465356.938	699064.027	1465598.317
698449.961	1465407.003	698963.434	1465298.649	699062.625	1465542.799
698440.598	1465353.455	698963.140	1465241.296	699060.621	1465520.471
698431.651	1465293.457	698959.437	1465178.753	699048.870	1465423.385
698419.468	1465229.930	698956.950	1465124.887	699042.765	1465369.308
698410.883	1465169.381	698951.799	1465063.257	699038.007	1465304.361
698403.748	1465107.551	698944.316	1465000.318	699033.216	1465242.364
698391.889	1465048.639	698938.429	1464939.972	699026.964	1465184.597
698380.592	1464988.254	698931.984	1464883.312	699019.658	1465121.292
698368.939	1464926.207	698928.284	1464821.876	699011.381	1465067.567
698359.626	1464865.837	698918.948	1464764.825	699003.520	1465006.101
698345.466	1464801.374	698912.356	1464702.999	698993.648	1464948.123
698334.714	1464740.625	698910.093	1464642.127	698985.843	1464880.388

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 11:45 ถึง 13:15 สถานี E ความลึกน้ำเฉลี่ย 20.5 เมตร

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
662416.941	1437779.835	662142.183	1438047.775	662165.368	1438348.257
662429.678	1437735.291	662153.497	1437999.167	662175.574	1438303.514
662442.061	1437689.454	662164.074	1437952.951	662188.875	1438255.102
662454.425	1437646.753	662173.579	1437904.517	662196.721	1438212.189
662466.252	1437603.309	662185.411	1437860.152	662210.712	1438169.496
662473.374	1437560.577	662197.070	1437814.311	662220.196	1438124.749
662484.848	1437515.657	662209.283	1437766.630	662229.876	1438077.422
662496.143	1437470.367	662222.235	1437716.188	662237.931	1438029.531
662504.166	1437428.192	662232.648	1437667.021	662250.853	1437984.251
662515.823	1437382.721	662238.183	1437617.272	662258.562	1437933.779
662528.736	1437339.100	662246.235	1437570.120	662265.920	1437881.459
662534.251	1437292.854	662253.208	1437521.854	662272.339	1437835.219
662542.291	1437247.915	662257.844	1437471.364	662279.311	1437787.323
662552.479	1437206.306	662262.988	1437426.774	662286.836	1437737.217
662563.584	1437162.674	662269.060	1437377.952	662295.614	1437689.700
662573.407	1437121.801	662270.792	1437329.287	662304.734	1437645.135
662585.948	1437079.837	662273.965	1437281.552	662308.446	1437598.141
662595.433	1437035.090	662275.699	1437232.519	662313.787	1437550.789
662598.937	1436992.705	662278.840	1437190.316	662317.294	1437507.850

ตัวที่ 4		ตัวที่ 5		ตัวที่ 6	
X	Y	X	Y	X	Y
662408.566	1438496.634	662397.622	1438205.627	662719.232	1438332.342
662419.293	1438455.581	662411.572	1438170.124	662727.198	1438299.754
662426.216	1438415.982	662424.649	1438129.085	662736.604	1438268.282
662437.683	1438371.983	662439.030	1438081.786	662749.438	1438238.120
662451.097	1438335.372	662447.499	1438055.839	662762.466	1438205.563
662459.291	1438294.673	662463.550	1438001.174	662775.338	1438168.948
662468.240	1438248.633	662468.604	1437971.888	662784.607	1438129.915
662477.360	1438204.436	662483.011	1437920.164	662794.416	1438091.623
662482.882	1438156.900	662497.899	1437878.768	662804.577	1438054.623
662485.691	1438109.901	662502.956	1437848.929	662813.670	1438015.037



ตัวที่ 4 (ต่อ)	
X	Y
662493.204	1438062.007
662499.268	1438014.659
662506.039	1437970.081
662510.470	1437923.828
662514.720	1437877.576
662518.962	1437832.429
662523.219	1437785.069
662526.581	1437736.046
662528.279	1437693.280

ตัวที่ 5 (ต่อ)	
X	Y
662508.145	1437827.203
662514.079	1437802.162
662522.187	1437776.029
662531.016	1437750.453
662543.420	1437701.113
662552.239	1437677.197
662562.328	1437652.550
662569.123	1437603.915
662577.960	1437576.864

ตัวที่ 6 (ต่อ)	
X	Y
662826.752	1437973.260
662837.278	1437935.895
662846.727	1437897.232
662856.185	1437856.909
662866.024	1437813.455
662873.688	1437770.910
662881.889	1437729.104
662891.178	1437686.938
662895.927	1437648.063

ตัวที่ 7	
X	Y
662401.297	1438226.297
662414.030	1438182.492
662426.592	1438136.840
662438.634	1438087.683
662449.378	1438043.681
662461.598	1437994.893
662469.806	1437951.983
662481.083	1437909.643
662493.439	1437868.416
662505.067	1437828.106
662514.119	1437795.341
662527.431	1437745.269
662533.653	1437701.794
662546.180	1437662.227
662556.176	1437622.645
662568.529	1437581.971
662579.632	1437538.708
662588.012	1437497.273
662607.423	1437455.350

ตัวที่ 8	
X	Y
662696.163	1438013.238
662710.844	1437976.449
662723.546	1437937.805
662732.462	1437897.479
662744.619	1437859.386
662754.081	1437818.510
662763.165	1437780.398
662771.374	1437737.303
662776.671	1437697.509
662785.794	1437652.576
662795.632	1437609.306
662798.047	1437567.651
662803.724	1437524.725
662811.744	1437482.920
662818.130	1437442.580
662824.688	1437403.530
662832.521	1437362.830
662836.020	1437321.366
662839.684	1437282.669

วันที่ 17 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 14:55 ถึง 16:00 สถานี B ความลึกน้ำเฉลี่ย 15.7 เมตร

ตัวที่ 1	
X	Y
662136.237	1456115.246
662120.854	1456119.395
662108.038	1456117.476
662092.456	1456124.757
662078.144	1456131.310
662066.351	1456139.537
662056.000	1456148.325
662039.664	1456160.950
662025.494	1456173.957
662010.420	1456187.143
661996.932	1456206.975
661981.644	1456225.691
661967.052	1456248.836
661954.112	1456267.749

ตัวที่ 2	
X	Y
661865.753	1456330.097
661854.203	1456327.999
661841.021	1456326.631
661823.676	1456326.712
661816.244	1456330.909
661803.043	1456332.674
661785.845	1456338.472
661772.967	1456346.877
661756.843	1456354.341
661743.242	1456362.741
661723.654	1456375.531
661706.213	1456391.653
661682.592	1456414.191
661664.600	1456431.785

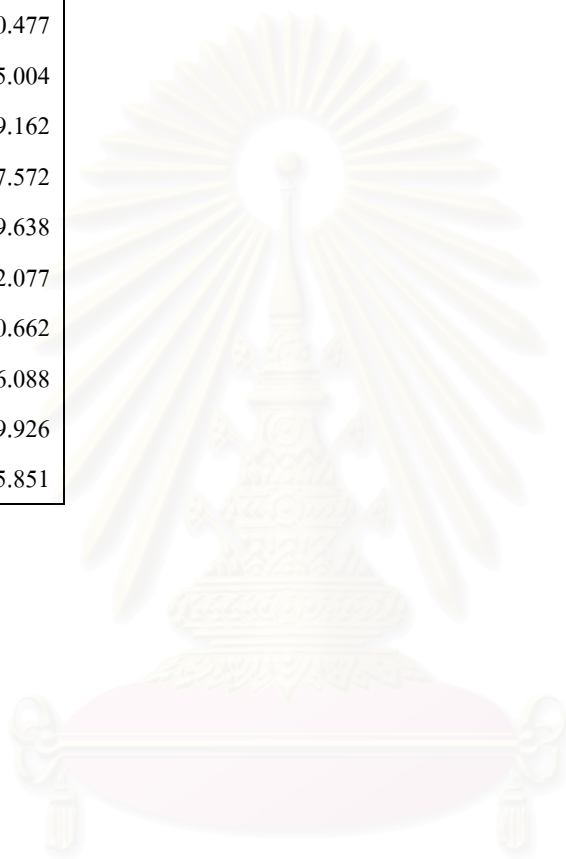
ตัวที่ 3	
X	Y
661892.213	1456650.885
661886.389	1456658.041
661876.980	1456660.382
661868.282	1456664.755
661862.093	1456672.462
661853.711	1456684.397
661844.608	1456695.958
661832.421	1456709.899
661825.118	1456722.761
661812.039	1456734.669
661799.122	1456749.710
661783.866	1456763.079
661773.105	1456779.978
661754.015	1456800.146

ตัวที่ 4	
X	Y
662101.750	1456779.535
662088.202	1456779.085
662074.987	1456783.431
662058.888	1456786.839
662046.574	1456791.559
662033.523	1456798.672
662019.552	1456808.546
662004.635	1456825.789
661983.781	1456838.755
661966.160	1456854.691
661953.256	1456867.706
661939.229	1456887.166
661927.391	1456902.952
661916.464	1456917.452

ตัวที่ 6	
X	Y
662387.186	1456602.021
662379.062	1456600.866
662367.883	1456597.111
662355.925	1456602.756
662341.468	1456603.408
662328.063	1456609.228
662312.657	1456617.433
662295.775	1456630.792
662283.436	1456639.569
662268.545	1456652.386
662253.460	1456667.230
662235.679	1456680.031
662218.603	1456695.417
662198.405	1456719.635

ตัวที่ 7	
X	Y
662110.972	1456505.053
662090.926	1456503.459
662074.821	1456507.788
662063.016	1456518.043
662053.604	1456520.937
662045.417	1456530.475
662029.774	1456548.082
662017.958	1456560.181
662005.234	1456573.012
661998.855	1456582.562
661978.469	1456607.700
661969.146	1456626.083
661955.629	1456650.893
661943.379	1456675.158

ตัวที่ 8	
X	Y
662360.036	1456307.040
662358.240	1456305.185
662349.175	1456310.478
662332.899	1456313.147
662317.918	1456310.477
662304.160	1456315.004
662290.223	1456319.162
662278.248	1456327.572
662261.013	1456339.638
662244.497	1456352.077
662230.895	1456360.662
662220.686	1456376.088
662198.502	1456399.926
662179.074	1456415.851



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 9:35 ถึง 10:50 สถานี A ความลึกน้ำเฉลี่ย 15.2 เมตร

ตัวที่ 1	
X	Y
680758.146	1475176.596
680792.512	1475168.344
680822.947	1475153.429
680852.822	1475141.275
680883.650	1475121.199
680917.531	1475104.647
680950.695	1475086.615
680984.617	1475063.978
681017.091	1475040.779
681049.613	1475010.388
681083.748	1474983.512
681115.355	1474955.512
681142.820	1474924.904
681170.289	1474895.217
681198.473	1474865.535
681224.483	1474838.604

ตัวที่ 2	
X	Y
680456.099	1475332.777
680488.271	1475328.568
680518.667	1475319.552
680545.999	1475308.488
680575.882	1475295.043
680607.776	1475279.031
680635.883	1475260.780
680668.123	1475246.430
680695.675	1475230.203
680727.214	1475212.160
680755.511	1475192.989
680781.115	1475171.587
680809.415	1475151.862
680840.976	1475130.685
680871.419	1475114.663
680900.982	1475095.685

ตัวที่ 3	
X	Y
680250.599	1475200.848
680284.058	1475192.221
680315.719	1475183.398
680351.919	1475169.996
680388.274	1475160.835
680423.414	1475145.397
680462.353	1475127.404
680498.927	1475113.083
680535.167	1475093.595
680571.252	1475071.341
680606.792	1475048.162
680642.530	1475024.431
680674.809	1475002.704
680707.998	1474981.169
680739.571	1474958.148
680776.395	1474934.055

ตัวที่ 4	
X	Y
680229.210	1474889.263
680260.139	1474881.541
680290.183	1474871.601
680322.394	1474861.675
680357.700	1474847.529
680385.604	1474832.042
680416.973	1474813.629
680446.386	1474789.486
680476.698	1474765.534
680506.462	1474742.501
680533.358	1474717.418
680561.162	1474691.052
680590.051	1474664.510

ตัวที่ 5	
X	Y
680503.249	1474683.657
680544.995	1474678.590
680584.076	1474666.866
680627.679	1474654.620
680665.680	1474642.521
680706.797	1474622.882
680748.800	1474606.938
680783.956	1474587.628
680815.515	1474566.819
680851.242	1474543.273
680887.331	1474520.650
680917.835	1474495.593
680950.505	1474470.735

ตัวที่ 6	
X	Y
680740.787	1474857.845
680778.949	1474849.066
680816.405	1474837.332
680851.507	1474826.136
680888.998	1474809.240
680928.127	1474790.510
680965.996	1474772.141
681001.523	1474750.990
681035.074	1474730.379
681070.980	1474707.572
681107.058	1474684.949
681142.635	1474657.898
681179.078	1474635.832

ตัวที่ 4 (ต่อ)	
X	Y
680618.561	1474641.098
680644.189	1474616.008
680673.987	1474587.996

ตัวที่ 5 (ต่อ)	
X	Y
680983.699	1474448.463
681016.537	1474426.003
681049.041	1474398.378

ตัวที่ 6 (ต่อ)	
X	Y
681213.697	1474615.966
681246.540	1474592.769
681276.318	1474567.893

ตัวที่ 7	
X	Y
680471.529	1475078.970
680502.657	1475067.377
680533.072	1475055.411
680567.472	1475042.182
680604.412	1475026.572
680636.133	1475009.083
680669.127	1474989.021
680702.683	1474966.013
680733.909	1474941.330
680762.061	1474916.441
680793.675	1474887.334
680824.022	1474859.879
680850.205	1474832.949
680878.005	1474807.137
680905.435	1474781.691
680905.435	1474781.691



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 12:30 ถึง 14:45 สถานี A ความลึกน้ำเฉลี่ย 12.0 เมตร

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
698679.377	1466393.248	698358.901	1466617.167	698120.726	1466481.356
698646.938	1466406.472	698339.478	1466630.487	698094.217	1466500.341
698627.646	1466426.984	698319.377	1466637.347	698075.316	1466516.430
698610.874	1466446.962	698301.410	1466648.833	698056.205	1466536.207
698592.677	1466466.006	698286.856	1466661.819	698037.109	1466553.770
698574.666	1466483.394	698273.775	1466672.051	698017.448	1466574.465
698556.288	1466500.593	698258.519	1466683.372	697998.510	1466594.243
698542.252	1466518.378	698247.599	1466694.541	697981.020	1466614.584
698531.291	1466535.079	698234.705	1466704.405	697961.554	1466633.805
698517.801	1466552.314	698221.969	1466716.298	697942.608	1466656.164
698509.876	1466573.278	698215.032	1466726.759	697927.439	1466679.288
698503.774	1466592.413	698207.923	1466735.558	697908.491	1466701.832
698495.840	1466614.668	698198.999	1466744.898	697894.086	1466719.798
698484.161	1466631.732	698190.775	1466757.930	697874.267	1466738.463
698474.796	1466652.502	698180.429	1466764.678	697862.010	1466759.028
698460.917	1466672.500	698168.974	1466774.920	697843.068	1466780.833
698452.816	1466693.833	698154.085	1466786.429	697822.745	1466792.856
698438.389	1466714.750	698137.383	1466796.818	697805.899	1466799.188
698425.932	1466738.816	698116.683	1466811.420	697785.797	1466806.233
698414.584	1466758.096	698099.074	1466824.384	697768.406	1466813.113
698399.800	1466778.825	698086.341	1466835.908	697754.111	1466815.959
698389.164	1466801.614	698070.518	1466850.545	697730.803	1466816.710
698377.261	1466822.550	698065.346	1466865.629	697712.865	1466824.324
698359.202	1466846.575	698051.511	1466881.203	697693.663	1466832.667
698350.024	1466866.977	698041.246	1466900.674	697679.861	1466842.340
698337.771	1466886.988	698029.920	1466918.479	697662.108	1466849.770
698325.524	1466907.736	698016.636	1466931.291	697645.064	1466857.944
698310.766	1466924.963	698006.430	1466944.124	697629.538	1466857.277



ตัวที่ 4		ตัวที่ 5		ตัวที่ 6	
X	Y	X	Y	X	Y
698111.540	1466033.544	698354.704	1465833.765	698643.154	1466012.361
698096.091	1466047.445	698335.280	1465847.269	698624.981	1466026.611
698081.537	1466060.433	698315.491	1465860.218	698601.401	1466039.347
698063.747	1466072.842	698292.664	1465869.271	698583.415	1466053.230
698042.888	1466083.939	698273.432	1465881.669	698569.635	1466061.243
698027.817	1466095.077	698252.016	1465894.790	698552.209	1466072.733
698017.234	1466109.015	698236.729	1465910.168	698537.125	1466084.056
698009.045	1466117.253	698221.279	1465922.779	698523.105	1466099.628
697991.270	1466127.634	698207.797	1465938.909	698508.362	1466114.825
697984.499	1466139.018	698197.024	1465955.058	698497.758	1466131.529
697975.377	1466151.860	698185.707	1465970.096	698487.175	1466146.942
697964.989	1466164.324	698171.837	1465990.281	698475.694	1466160.689
697955.691	1466176.058	698158.862	1466009.732	698469.098	1466173.364
697941.495	1466190.523	698143.516	1466033.225	698460.472	1466190.820
697931.415	1466209.812	698127.611	1466059.110	698449.720	1466204.203
697912.866	1466226.642	698114.446	1466080.773	698440.779	1466215.939
697897.382	1466245.338	698098.222	1466101.309	698431.099	1466230.805
697878.837	1466261.799	698076.727	1466125.309	698420.699	1466244.929
697857.737	1466280.640	698057.965	1466147.670	698409.551	1466261.998
697837.769	1466294.508	698039.222	1466165.789	698393.501	1466284.009
697826.245	1466314.156	698028.572	1466188.947	698383.624	1466300.717
697814.413	1466326.978	698015.724	1466217.621	698373.897	1466320.562
697797.301	1466344.556	698004.739	1466237.640	698364.367	1466340.225
697780.923	1466361.033	697990.660	1466259.851	698352.818	1466363.191
697764.888	1466379.542	697975.335	1466280.577	698339.457	1466386.513
697747.776	1466398.595	697963.269	1466300.221	698331.323	1466412.271
697727.779	1466414.861	697954.140	1466313.985	698310.076	1466427.605
697711.962	1466428.761	697943.017	1466327.734	698298.350	1466449.649

ตัวที่ 7	
X	Y
698357.770	1466205.189
698341.979	1466215.399
698341.773	1466218.349
698331.947	1466228.050
698321.375	1466240.512
698280.563	1466263.449
698277.621	1466271.542
698256.903	1466288.540
698244.507	1466302.833
698235.752	1466314.387
698226.267	1466327.963
698224.580	1466336.249
698213.463	1466349.077
698201.037	1466369.086
698186.091	1466386.865
698173.137	1466404.841
698158.557	1466421.516
698140.007	1466438.530
698123.649	1466452.241
698108.725	1466468.360
698096.295	1466487.448
698086.987	1466500.472
698080.031	1466513.515
698074.512	1466527.121
698068.802	1466541.647
698060.730	1466559.107
698051.063	1466572.314
698042.328	1466581.101



สำนักวิทยบริการ  
 วิทยาลัยการน้อมมหาวิทยาลัย

วันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 11:55 ถึง 13:30 สถานี A ความลึกน้ำเฉลี่ย 9.8 เมตร  
ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1019.01 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1020.23 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
698754.723	1464470.592	698577.077	1464528.485	698440.161	1464723.325
698750.169	1464377.063	698568.712	1464437.326	698435.802	1464627.769
698747.098	1464278.566	698563.802	1464343.241	698428.665	1464541.598
698744.124	1464191.503	698556.890	1464250.986	698418.693	1464447.845
698740.894	1464089.869	698550.529	1464157.628	698413.764	1464356.158
698738.644	1464002.628	698544.488	1464069.805	698406.815	1464268.880
698737.325	1463911.335	698536.548	1464019.218	698396.621	1464180.843
698731.678	1463819.273	698525.195	1463892.077	698391.650	1464094.872
698727.242	1463734.228	698516.623	1463804.420	698382.708	1464008.319
698724.991	1463647.170	698507.480	1463720.816	698379.722	1463922.731
698722.534	1463563.246	698501.232	1463636.496	698373.400	1463848.552
698714.848	1463478.177	698495.704	1463552.548	698364.850	1463757.944
698710.742	1463397.376	698490.877	1463471.558	698361.662	1463675.122
698705.787	1463309.376	698484.915	1463397.565	698352.649	1463598.157
698703.292	1463230.615	698478.583	1463324.863	698348.867	1463571.943
698702.412	1463153.525	698478.224	1463250.358	698340.374	1463448.696
698701.283	1463085.655	698475.509	1463176.944	698338.219	1463372.888
698700.376	1463012.253	698475.323	1463103.731	698333.336	1463299.458
698702.898	1462939.246	698476.054	1463077.920	698330.338	1463240.056
698701.569	1462873.955	698476.237	1463052.841	698327.403	1463196.698

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวที่ 4		ตัวที่ 5		ตัวที่ 6	
X	Y	X	Y	X	Y
698552.241	1464762.135	698544.231	1464524.003	698787.047	1464669.255
698541.159	1464672.061	698533.855	1464436.149	698778.170	1464574.218
698531.911	1464578.129	698520.656	1464339.052	698766.225	1464478.607
698519.395	1464486.570	698508.562	1464239.014	698757.225	1464375.640
698512.823	1464397.269	698498.976	1464141.944	698743.856	1464277.252
698506.635	1464304.834	698485.016	1464050.006	698734.446	1464180.921
698494.768	1464223.238	698472.473	1463961.951	698722.129	1464086.782
698486.907	1464137.062	698456.891	1463869.448	698711.539	1464003.535
698475.977	1464050.862	698443.785	1463784.340	698698.831	1463913.266
698468.118	1463964.501	698427.805	1463696.628	698687.561	1463824.114
698459.836	1463886.805	698417.207	1463614.305	698676.839	1463734.227
698456.793	1463808.777	698407.718	1463528.669	698664.676	1463643.593
698451.440	1463725.569	698395.845	1463447.627	698656.999	1463557.234
698452.198	1463646.832	698384.879	1463366.037	698651.398	1463532.666
698445.853	1463575.788	698378.410	1463287.247	698640.530	1463413.274
698440.060	1463503.273	698372.668	1463207.910	698634.579	1463313.096
698433.217	1463426.324	698364.166	1463135.190	698631.939	1463229.539
698425.958	1463356.565	698354.233	1463060.617	698624.184	1463153.690
698424.287	1463288.689	698347.319	1462993.072	698623.825	1463079.370
698423.697	1463221.191	698344.035	1462923.342	698622.896	1463008.920

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวที่ 7		ตัวที่ 8	
X	Y	X	Y
698571.970	1464362.479	698349.623	1464530.138
698561.779	1464274.073	698345.485	1464478.474
698553.962	1464182.180	698342.016	1464360.058
698546.334	1464088.997	698335.176	1464258.029
698542.102	1464000.819	698331.402	1464205.814
698534.274	1463910.401	698323.251	1464085.335
698527.065	1463834.002	698316.762	1464034.022
698516.346	1463743.563	698308.087	1463985.090
698505.237	1463656.994	698299.438	1463784.390
698497.768	1463566.764	698299.450	1463758.019
698491.601	1463496.089	698293.150	1463705.601
698484.764	1463418.219	698286.834	1463655.211
698477.014	1463341.632	698281.870	1463444.580
698469.628	1463264.679	698283.467	1463399.227
698464.959	1463186.825	698280.668	1463361.956
698462.665	1463105.299	698278.325	1463336.490
698461.135	1463042.773	698270.272	1463128.418
698456.768	1462973.034	698268.233	1463085.990
698455.245	1462909.402	698268.237	1463036.014
698452.120	1462842.808	698268.059	1462986.223

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 15:00 ถึง 16:00 สถานี A ความลึกน้ำเฉลี่ย 10.2 เมตร  
ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1017.40 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1019.56 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
698830.963	1474892.366	698675.738	1475028.605	698676.976	1475227.778
698848.225	1474902.452	698691.948	1475034.442	698681.972	1475235.929
698867.075	1474917.528	698706.173	1475040.080	698687.150	1475243.897
698881.754	1474934.972	698718.734	1475050.684	698695.231	1475250.043
698888.003	1474944.608	698732.397	1475059.083	698703.284	1475259.876
698912.292	1474981.116	698748.499	1475079.487	698712.768	1475271.564
698930.687	1475008.914	698760.995	1475099.128	698724.192	1475289.721
698945.828	1475037.056	698775.256	1475124.128	698732.543	1475308.039
698960.951	1475067.781	698794.589	1475147.138	698749.340	1475332.136
698980.957	1475097.435	698814.416	1475176.606	698760.145	1475360.616
698994.834	1475125.568	698834.045	1475208.285	698772.208	1475389.842
699012.465	1475158.892	698851.687	1475240.134	698786.604	1475421.114
699032.079	1475192.600	698874.402	1475269.809	698803.700	1475453.513

ตัวที่ 4		ตัวที่ 5		ตัวที่ 6	
X	Y	X	Y	X	Y
698668.480	1475033.346	698458.718	1474949.735	698844.512	1475087.204
698680.931	1475034.545	698470.798	1474952.221	698858.255	1475109.067
698692.277	1475038.686	698481.438	1474954.329	698878.645	1475135.588
698706.859	1475044.879	698490.046	1474962.506	698892.419	1475153.210
698720.678	1475056.599	698502.421	1474974.031	698904.760	1475169.345
698738.437	1475072.589	698510.458	1474986.077	698914.185	1475189.146
698756.907	1475090.061	698524.429	1475001.671	698931.517	1475213.985
698771.889	1475115.436	698535.814	1475024.806	698947.407	1475238.630
698792.994	1475143.069	698553.371	1475043.930	698965.259	1475266.423
698809.412	1475169.377	698569.465	1475065.440	698984.704	1475298.655
698832.851	1475198.871	698585.731	1475087.875	699005.584	1475332.188
698855.900	1475232.236	698601.619	1475112.887	699028.431	1475368.317
698878.782	1475263.571	698617.480	1475141.403	699047.495	1475403.312



ตัวที่ 7		ตัวที่ 8	
X	Y	X	Y
698671.865	1474795.113	698508.015	1475170.286
698694.132	1474812.059	698513.598	1475172.170
698708.687	1474821.940	698518.798	1475177.373
698719.268	1474831.791	698526.368	1475179.273
698729.075	1474848.830	698529.390	1475185.749
698741.923	1474869.579	698541.031	1475198.744
698756.022	1474892.365	698550.692	1475210.987
698773.843	1474924.339	698560.672	1475229.132
698786.141	1474946.251	698571.736	1475246.918
698805.767	1474978.669	698585.090	1475272.650
698824.132	1475010.339	698598.429	1475300.225
698843.550	1475046.258	698613.740	1475329.844
698862.747	1475087.709	698630.484	1475361.133

วันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 10:00 ถึง 10:55 สถานี B ความลึกน้ำเฉลี่ย 17.6 เมตร  
ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1020.70 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1020.86 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
626436.505	1419761.298	626447.140	1420049.665	626180.075	1419946.330
626424.368	1419845.121	626436.621	1420135.708	626168.843	1420030.342
626414.196	1419934.484	626424.041	1420237.779	626153.597	1420121.894
626406.155	1420032.704	626412.206	1420334.877	626143.559	1420221.949
626403.233	1420118.965	626404.858	1420439.552	626139.109	1420285.897
626400.070	1420218.499	626399.850	1420547.189	626134.672	1420347.265
626396.897	1420320.244	626398.671	1420648.021	626130.499	1420550.765
626393.145	1420429.914	626397.743	1420773.189	626127.862	1420613.800
626387.941	1420540.867	626400.446	1420895.608	626125.034	1420679.415
626377.912	1420678.529	626396.974	1421023.160	626120.508	1420920.890
626370.674	1420799.060	626390.085	1421146.642	626114.862	1421009.534
626360.555	1420916.996	626383.352	1421275.471	626108.856	1421138.182

ตัวที่ 4	
X	Y
626503.368	1419495.772
626493.952	1419577.763
626481.255	1419665.639
626472.315	1419762.566
626467.507	1419825.776
626461.599	1419892.114
626460.586	1419956.262
626457.920	1420185.946
626458.899	1420249.182
626459.141	1420315.733
626455.807	1420533.247
626454.236	1420640.530

ตัวที่ 5	
X	Y
626458.014	1419764.898
626441.367	1419846.120
626427.572	1419936.756
626420.235	1420039.220
626414.946	1420128.788
626416.460	1420234.243
626415.990	1420338.028
626414.088	1420438.488
626406.871	1420554.594
626401.097	1420671.444
626394.036	1420792.897
626386.232	1420918.772

วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 7:15 ถึง 8:35 สถานี C ความลึกน้ำเฉลี่ย 25.3 เมตร ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น 1021.22 m<sup>3</sup>/kg และที่ท้องน้ำเป็น 1021.23 m<sup>3</sup>/kg

ตัวที่ 1	
X	Y
680727.949	1420118.202
680718.983	1420217.897
680706.357	1420323.838
680697.849	1420408.417
680689.019	1420514.936
680681.966	1420626.629
680672.766	1420734.436
680670.424	1420844.868
680663.413	1420949.740
680659.417	1421064.218
680657.090	1421172.254
680653.620	1421289.318
680647.147	1421395.114
680639.877	1421512.153

ตัวที่ 2	
X	Y
680744.698	1419766.315
680738.670	1419859.207
680726.744	1419968.656
680719.027	1420070.941
680709.476	1420177.271
680701.929	1420281.032
680694.367	1420387.374
680691.131	1420412.246
680684.131	1420627.564
680680.974	1420724.163
680674.684	1420829.592
680670.402	1420960.110
680665.408	1421060.938
680661.355	1421184.267

ตัวที่ 3	
X	Y
681088.035	1419637.067
681078.937	1419728.648
681069.649	1419821.888
681062.878	1419917.726
681058.981	1420016.717
681052.006	1420115.872
681047.382	1420215.412
681047.801	1420318.302
681047.472	1420425.061
681039.365	1420531.399
681034.360	1420633.886
681030.584	1420741.913
681024.344	1420867.256
681016.979	1420971.018

ตัวที่ 1 (ต่อ)	
X	Y
680635.208	1421618.699
680631.516	1421742.030
680627.900	1421853.560

ตัวที่ 2 (ต่อ)	
X	Y
680654.487	1421295.224
680641.648	1421406.141
680631.118	1421523.713

ตัวที่ 3 (ต่อ)	
X	Y
681010.086	1421085.478
681006.495	1421192.953
680994.542	1421306.643

ตัวที่ 4	
X	Y
681196.641	1419881.162
681184.840	1419971.066
681176.053	1420042.920
681166.759	1420164.740
681165.634	1420254.714
681160.149	1420347.241
681154.539	1420459.128
681153.496	1420564.406
681149.282	1420656.389
681147.302	1420766.456
681143.936	1420867.109
681138.961	1420964.802
681138.429	1421074.878
681133.328	1421191.931
681127.556	1421300.867
681119.672	1421400.570
681105.147	1421520.327



สำนักงานวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 11:00 ถึง 12:00 สถานี D ความลึกน้ำเฉลี่ย 21.0 เมตร  
ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1020.34 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1021.12 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
662497.346	1438249.172	662550.102	1438562.183	662492.269	1438251.540
662484.527	1438245.963	662542.341	1438559.925	662481.444	1438247.788
662469.912	1438241.082	662525.382	1438553.924	662468.820	1438242.367
662457.472	1438235.110	662505.851	1438554.915	662456.207	1438235.102
662442.147	1438228.014	662486.708	1438551.300	662439.238	1438230.762
662426.485	1438216.674	662467.397	1438545.655	662422.847	1438220.340
662415.509	1438207.575	662440.486	1438540.887	662405.753	1438206.411
662383.257	1438188.948	662419.920	1438533.391	662381.233	1438194.836
662370.111	1438180.021	662393.966	1438519.779	662353.840	1438179.925
662329.937	1438155.631	662368.050	1438499.714	662324.658	1438161.869
662303.473	1438136.486	662345.918	1438481.699	662299.253	1438146.970
662283.856	1438121.436	662327.238	1438460.939	662275.130	1438129.497
662268.247	1438100.879	662304.422	1438436.284	662257.510	1438112.800

ตัวที่ 4		ตัวที่ 5		ตัวที่ 6	
X	Y	X	Y	X	Y
662235.310	1438444.728	662248.502	1438076.609	662770.131	1438040.039
662208.603	1438436.089	662231.901	1438071.165	662751.351	1438036.241
662190.545	1438432.480	662220.174	1438067.039	662730.594	1438030.403
662176.644	1438429.079	662195.629	1438059.521	662706.401	1438024.729
662164.541	1438427.349	662179.767	1438051.314	662680.783	1438015.360
662144.163	1438418.564	662164.661	1438037.582	662659.314	1438007.673
662115.354	1438398.482	662146.676	1438021.621	662639.874	1437992.994
662095.561	1438382.510	662128.520	1438003.814	662623.348	1437974.643
662086.201	1438375.448	662106.205	1437986.167	662603.048	1437952.767
662063.745	1438351.164	662087.903	1437962.460	662589.620	1437930.378
662039.677	1438324.288	662068.870	1437940.039	662572.591	1437905.572
662026.992	1438298.401	662056.337	1437919.131	662566.884	1437892.079
662011.957	1438272.501	662032.989	1437892.813	662544.173	1437849.724

ตัวที่ 7	
X	Y
662790.460	1438394.527
662770.943	1438393.122
662750.910	1438387.103
662733.759	1438382.762
662716.993	1438374.734
662699.348	1438362.462
662684.808	1438344.676
662666.846	1438324.842
662646.350	1438305.362
662625.865	1438284.038
662607.519	1438267.889
662586.657	1438249.330
662563.979	1438231.865

วันที่ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 9:20 ถึง 10:20 สถานี C ความลึกน้ำเฉลี่ย 16.0 เมตร  
ความหนาแน่นน้ำเฉลี่ย ที่ความลึก 5 เมตรเป็น  $1019.27 \text{ m}^3/\text{kg}$  และที่ท้องน้ำเป็น  $1019.53 \text{ m}^3/\text{kg}$

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
625815.146	1436983.781	625539.309	1436673.450	625496.898	1436324.945
625796.055	1436888.754	625531.099	1436556.459	625485.000	1436198.060
625776.460	1436785.061	625515.913	1436441.909	625469.665	1436071.896
625757.465	1436668.835	625504.248	1436298.986	625451.996	1435941.665
625741.385	1436547.828	625493.097	1436166.942	625442.165	1435837.280
625725.530	1436416.684	625479.086	1436027.510	625421.913	1435678.832
625710.278	1436272.270	625461.830	1435886.221	625404.271	1435542.887
625696.633	1436132.471	625442.779	1435741.974	625383.298	1435383.699
625679.610	1435979.568	625425.167	1435599.393	625364.034	1435219.633
625671.983	1435828.184	625400.345	1435451.801	625347.523	1435059.821
625654.022	1435683.019	625386.374	1435303.521	625320.737	1434906.690
625643.483	1435535.678	625363.600	1435142.666	625306.460	1434745.874
625624.707	1435370.784	625344.789	1434985.148	625295.007	1434680.010

ตัวที่ 4	
X	Y
625902.548	1436250.470
625869.209	1436108.185
625856.650	1436007.658
625839.369	1435911.902
625819.564	1435814.660
625813.354	1435788.823
625781.476	1435603.407
625755.619	1435484.937
625733.164	1435374.042
625708.948	1435254.683
625682.667	1435147.985
625661.425	1435020.841
625639.334	1434896.890

ตัวที่ 5	
X	Y
626282.889	1436201.509
626264.324	1436084.178
626245.401	1435992.839
626229.716	1435905.017
626204.501	1435763.875
626191.643	1435650.625
626169.184	1435540.098
626148.370	1435427.919
626121.190	1435322.532
626096.361	1435177.336
626075.995	1435042.852
626045.696	1434907.771
626038.769	1434880.457

ตัวที่ 6	
X	Y
626273.457	1436618.464
626264.925	1436479.969
626258.288	1436377.266
626249.683	1436229.972
626242.061	1436104.974
626237.849	1435983.771
626228.313	1435855.237
626214.674	1435714.331
626209.733	1435687.579
626193.612	1435417.249
626172.745	1435275.390
626159.854	1435128.932
626144.969	1434983.623

ตัวที่ 7	
X	Y
625854.406	1436540.047
625842.964	1436432.704
625837.664	1436326.126
625833.626	1436299.930
625811.474	1436082.667
625794.281	1435967.739
625773.802	1435859.802
625762.164	1435834.677
625728.435	1435618.836
625715.509	1435519.413
625692.809	1435382.708
625670.659	1435244.346
625663.913	1435217.031



วันที่ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548 ตั้งแต่เวลา 12:50 ถึง 14:25 สถานี C ความลึกน้ำเฉลี่ย 14.6 เมตร

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
X	Y	X	Y	X	Y
624646.968	1431685.118	624356.590	1431644.180	624290.474	1431307.817
624621.034	1431461.204	624327.248	1431413.430	624272.490	1431124.680
624609.691	1431248.968	624297.161	1431227.841	624248.148	1430900.261
624590.440	1431026.558	624266.658	1431013.862	624230.683	1430689.249
624575.169	1430803.245	624247.144	1430808.779	624203.411	1430480.262
624547.909	1430592.229	624226.014	1430641.483	624174.872	1430271.269
624530.833	1430367.802	624202.261	1430413.707	624149.950	1430102.480
624508.146	1430145.009	624172.381	1430221.668	624123.392	1429854.782
624489.961	1429925.923	624149.043	1430022.285	624096.162	1429635.841
624470.657	1429714.205	624121.452	1429803.341	624065.826	1429424.075
624449.075	1429486.440	624096.205	1429626.255	624040.038	1429205.693
624423.482	1429265.846	624071.366	1429398.107	624014.052	1428991.366
624405.805	1429054.136	624046.563	1429202.403	623983.894	1428779.601
624386.745	1428828.041	624015.107	1428998.191	623961.663	1428574.508
624362.603	1428606.163	623987.254	1428796.760	623934.066	1428356.119
624342.966	1428387.624	623959.827	1428580.768	623907.603	1428138.642
624323.306	1428174.247	623935.635	1428409.771	623879.370	1427928.743
624294.099	1427952.163	623914.736	1428189.751	623855.860	1427706.571
624271.153	1427745.223	623887.114	1427976.339	623829.415	1427492.172
624244.265	1427530.338	623865.367	1427783.969	623805.454	1427268.638

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวที่ 4		ตัวที่ 5		ตัวที่ 6	
X	Y	X	Y	X	Y
624460.701	1430886.241	624737.591	1431234.610	624838.142	1431511.584
624434.645	1430648.501	624719.769	1431015.895	624819.414	1431333.973
624411.973	1430422.205	624700.321	1430796.986	624807.871	1431086.158
624394.401	1430187.267	624683.598	1430575.141	624778.481	1430866.837
624371.223	1429952.490	624660.327	1430361.562	624769.625	1430664.752
624347.104	1429725.818	624636.810	1430162.546	624754.386	1430434.618
624323.509	1429502.837	624607.470	1429931.242	624742.166	1430216.849
624303.744	1429273.053	624581.278	1429723.734	624729.043	1429998.522
624280.515	1429048.782	624557.553	1429490.244	624703.107	1429774.239
624248.054	1428827.052	624533.095	1429258.595	624689.283	1429550.748
624226.958	1428611.272	624506.012	1429047.764	624664.794	1429326.472
624203.476	1428403.224	624481.155	1428824.039	624645.902	1429103.696
624181.691	1428179.328	624456.293	1428601.605	624632.629	1428878.179
624162.989	1427953.236	624437.586	1428377.355	624610.853	1428653.178
624145.948	1427719.777	624413.461	1428151.791	624588.895	1428428.360
624121.681	1427484.442	624386.453	1427923.449	624574.120	1428214.819
624104.968	1427258.358	624363.086	1427689.592	624547.318	1427981.132
624089.177	1427028.038	624335.521	1427464.197	624525.272	1427775.855
624067.070	1426794.557	624318.448	1427237.927	624498.335	1427531.659
624055.557	1426578.083	624298.897	1426999.663	624471.492	1427307.004

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

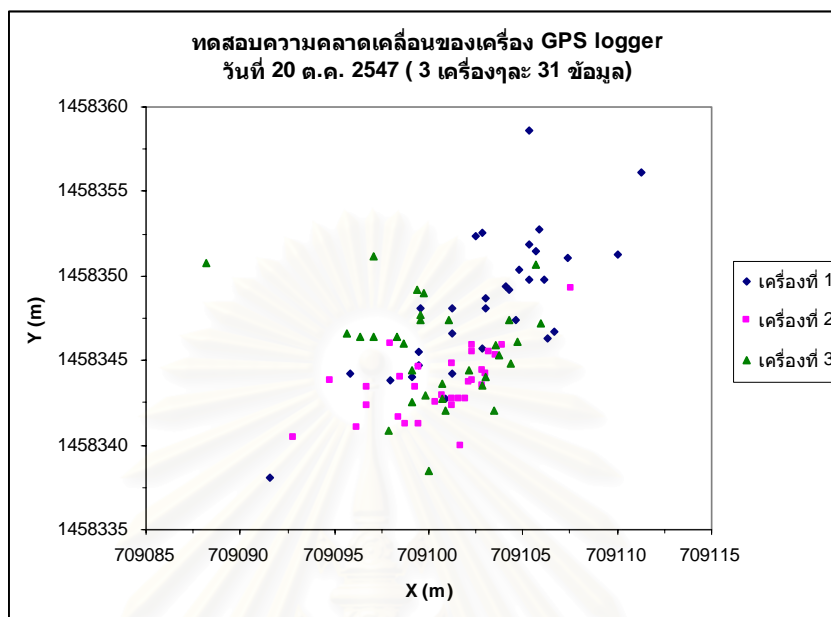
ตัวที่ 7	
X	Y
624480.019	1431336.136
624456.406	1431118.315
624423.507	1430914.464
624388.193	1430725.165
624366.255	1430496.291
624341.698	1430286.763
624329.765	1430084.665
624289.346	1429863.820
624259.565	1429649.660
624244.258	1429433.352
624208.808	1429232.993
624179.934	1429017.731
624149.531	1428820.712
624120.490	1428602.131
624098.117	1428388.374
624073.193	1428179.029
624040.000	1427958.217
624014.697	1427752.374
623985.502	1427527.156
623967.249	1427321.529



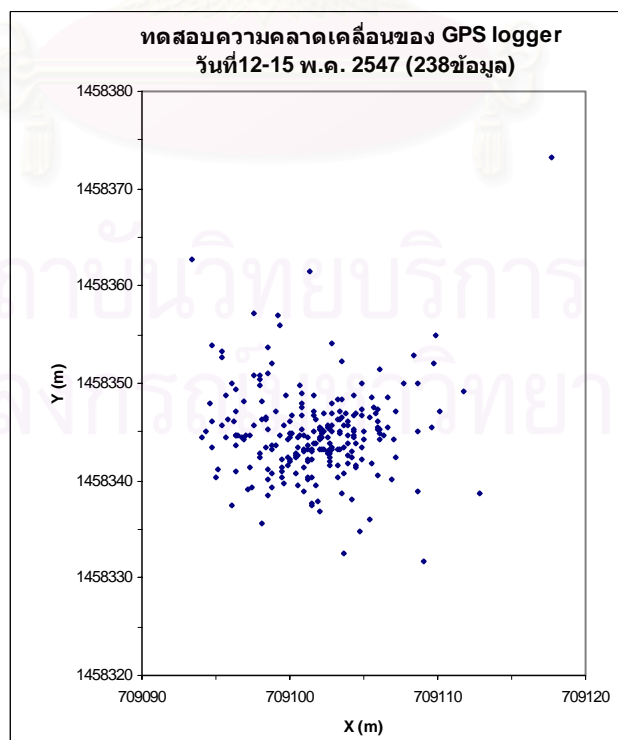
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข

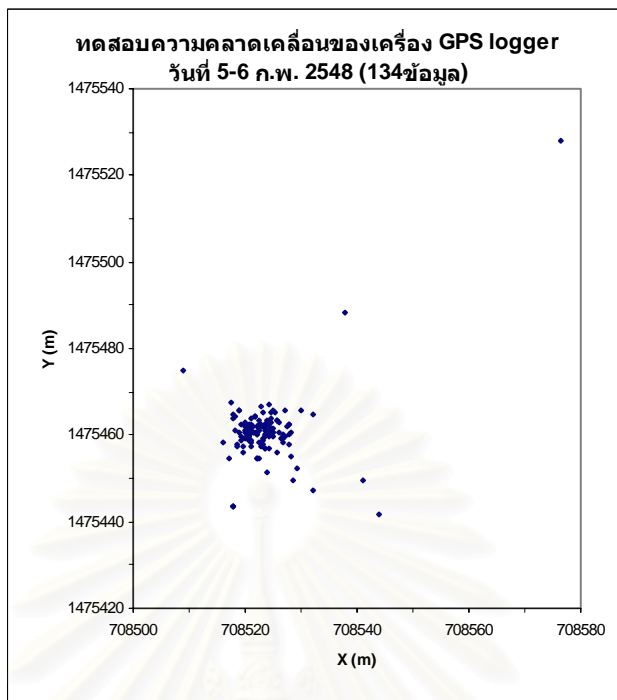
## ผลการทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่อง GPS logger



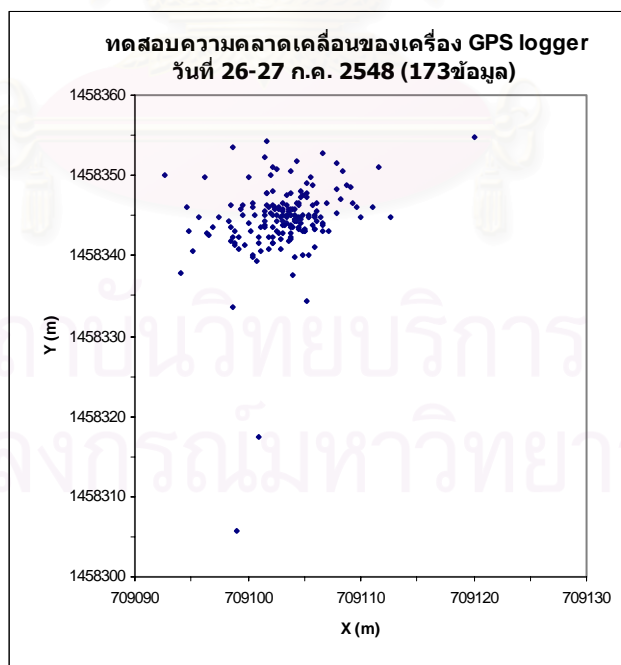
	S.D. <sub>x</sub>	S.D. <sub>y</sub>	S.D. <sub>H</sub>
เครื่องที่ 1	3.96	4.08	5.69
เครื่องที่ 2	2.98	1.92	3.55
เครื่องที่ 3	3.53	2.93	4.59



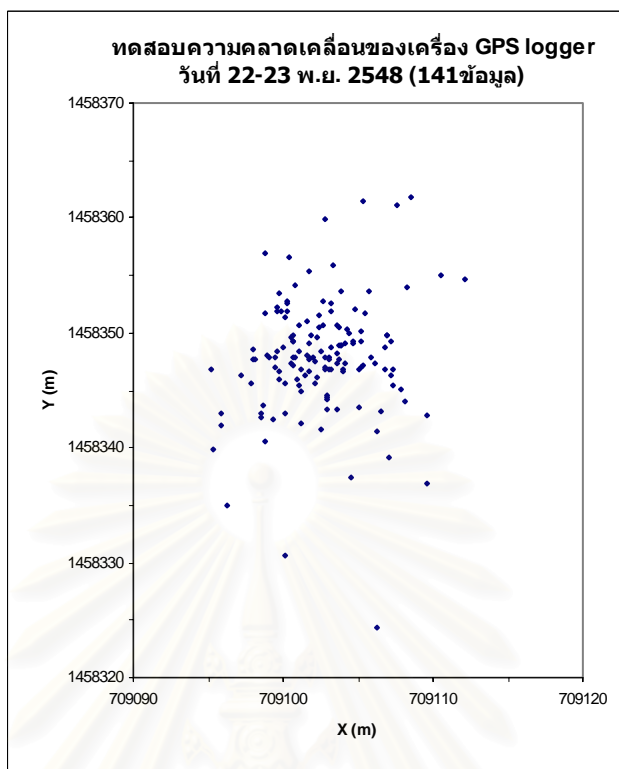
S.D.<sub>x</sub> = 3.74 m , S.D.<sub>y</sub> = 4.64 m , S.D.<sub>H</sub> = 5.96 m



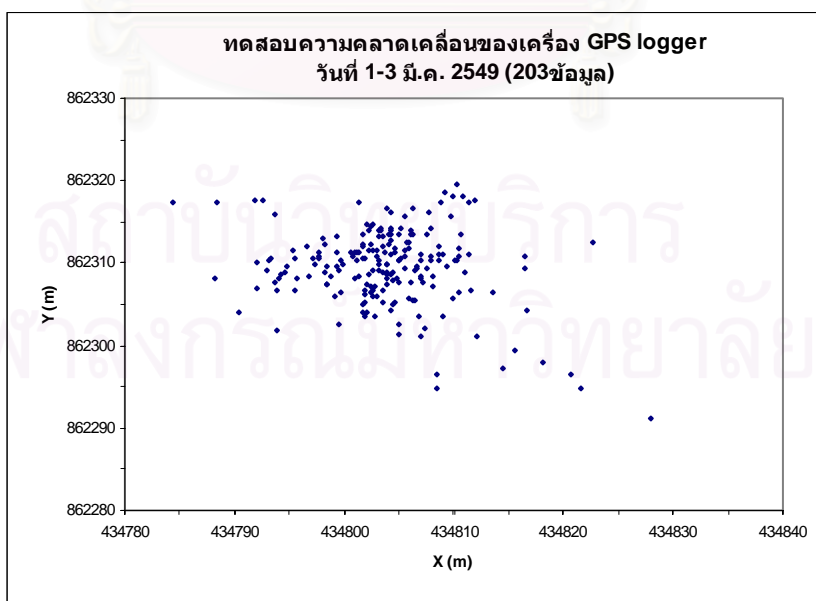
S.D.<sub>x</sub> = 6.28 m , S.D.<sub>y</sub> = 7.84 m , S.D.<sub>H</sub> = 10.04 m



S.D.<sub>x</sub> = 3.57 m , S.D.<sub>y</sub> = 4.86 m , S.D.<sub>H</sub> = 6.03 m



$S.D._x = 3.19 \text{ m}$  ,  $S.D._y = 5.03 \text{ m}$  ,  $S.D._H = 5.96 \text{ m}$



$S.D._x = 6.20 \text{ m}$  ,  $S.D._y = 4.64 \text{ m}$  ,  $S.D._H = 7.74 \text{ m}$



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีระพงษ์ บุญชุม เกิดเมื่อวันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2520 ที่โรงพยาบาลพิจิตร จังหวัดพิจิตร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์) ในปี พ.ศ. 2543 จาก คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(วิทยาศาสตร์ทางทะเล) ในปี พ.ศ. 2546 ที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย