

การพยากรณ์ความสูงคลื่นซัดบนกำแพงกันคลื่นด้วยสมการเชิงสถิติ กรณีศึกษากำแพงกันคลื่นหาดวอนนภา  
ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

A Forecast of Wave Run-up on Seawall with a Statistical Equation : A Case Study of the Seawall of  
Wonnapa Beach , Chonburi Province

นายศรุต ทัดทอง

ST000๖๘2๐

โครงการทางวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา

ปีการศึกษา 2556

A Forecast of Wave Run-up on Seawall with a Statistical Equation : A Case Study of the Seawall of  
Wonnapa Beach , Chonburi Province

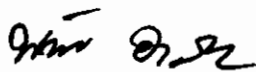
Mr. Sarut Tudtong

มหาวิทยาลัยบูรพา  
Burapha University

An Engineering Project Submitted in Partial fulfillment of Requirements  
for the Degree of Bachelor of Engineering  
Department of Civil Engineering  
Burapha University  
2013

หัวข้อโครงการ การพยากรณ์ความสูงคลื่นซัดบนกำแพงกันคลื่น บริเวณหาดวอนนภา  
ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี  
โดย นายศรุต ทัดทอง  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา 2556  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชรรมนูญ รัศมีมาสเมือง

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติโครงการทาง  
วิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



.....หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

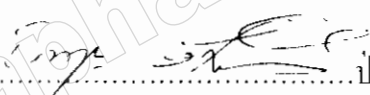
(ดร. พัทธพงษ์ อาสนจินดา)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

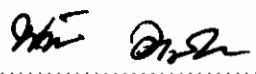
(ดร.ชรรมนูญ รัศมีมาสเมือง)

คณะกรรมการสอบโครงการ



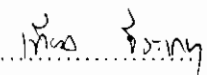
.....ประธานกรรมการ

(ดร.ชรรมนูญ รัศมีมาสเมือง)



.....กรรมการ

(ดร. พัทธพงษ์ อาสนจินดา)



.....กรรมการ

(อาจารย์เที่ยง ชีวะเกตุ)

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการพยากรณ์ความสูงคลื่นระดับบนกำแพงกันคลื่นบริเวณหาดวอนนภา จ.ชลบุรี ในรูปแบบไฟล์ภาพและไฟล์วิดีโอความยาว 1 นาที ตั้งแต่วันที่ 12 กันยายน 2554 ถึง วันที่ 14 ธันวาคม 2556 จำนวนข้อมูลทั้งหมด 820 ค่า นำมาหาความสัมพันธ์เพื่อพยากรณ์ระดับความสูงคลื่นซัด โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ กับตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้น ได้แก่ ค่าระดับน้ำ (Water Level) รายชั่วโมงจากสถานีเกาะสีชัง กรมอุตุนิยมวิทยา กองทัพเรือ, ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (Significant Wave Height) และความเร็วมที่มีอิทธิพล (Influential Wind Speed) ที่ได้จากการประยุกต์ค่าความเร็วมกับค่าระยะที่ลมพัดเหนือน้ำ

จากผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรอิสระที่มีผลต่อสเกลความสูงคลื่นซัดในรูปแบบเชิงเส้น โดยทำการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (ปรับแก้)  $R_{adj}^2 = 0.463$  ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนตัดแทน  $Y$  และของตัวแปรต่างๆ  $\beta_0 = -2.857$ ,  $\beta_{I_1} = 1.580$ ,  $\beta_{I_2} = -1.823$ ,  $\beta_{I_3} = -0.725$  นำสร้างเป็นสมการเชิงเส้นเพื่อพยากรณ์ความสูงคลื่นซัด แล้วเมื่อทดสอบสมการกับข้อมูลความสูงคลื่นซัดที่ทำการประเมินไว้ได้ค่าความแม่นยำของการพยากรณ์เท่ากับร้อยละ 66.89 ในช่วงความคลาดเคลื่อน 1 สเกล

## Abstract

This research studies the forecast for wave run-up scales on a seawall at Wonnapha Beach in Chonburi Province. The wave run-up data were observed by using photo and video camera and then were evaluated into 5 scales. The data was collected from 12 September 2011 to 14 December 2013, totally 255 cases. Degree of correlation among parameters and multiple linear regression were analyzed by using SPSS software. Independent variables that were associated with wave run-up scale are: hourly water level ( $LV$ ) at Koh Si Chang station derived from Hydrologic Department of the Royal Thai Navy; 3 hourly significant wave height ( $HS$ ) and influential wind speed ( $IW$ ) obtained by multiplying the wind speed and the fetch that is the distance that the wind blows over water surface, of each direction.

From the analysis, the above-mentioned independent variables give a significant influence on the wave run-up scale. The multiple coefficients of determination (adjusted)  $R_{adj}^2 = 0.463$ , the regression coefficients for  $Y$  intercept and Independent parameter  $\beta_0 = -2.857$ ,  $\beta_{LV} = 1.580$ ,  $\beta_{HS} = 1.823$ ,  $\beta_{IW} = 0.725$  to create a linear equation for predicting the wave run-up scale on the seawall. From the results of the formula verification, it is found that the value of forecasting capability (FC) was 66.89 percent in the range of one scale error.

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานโครงการเรื่องการพยากรณ์ความสูงคลื่นซัดบนกำแพงกันคลื่น บริเวณหาดวอนนภา ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรีนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความเมตตาช่วยเหลืออย่างยิ่งจากท่านอาจารย์ ดร.ธรรมนุญ รัชมีมาสเมือง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำ เสนอแนะ การแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการ ท่าน ดร.วัฒนา กันบัว หัวหน้าฝ่ายวิชาการและผู้อำนวยการศูนย์อุดมศึกษาทะเล ด้วยการกรุณาให้ข้อมูลที่สำคัญ พร้อมทั้งให้คำชี้แนะเกี่ยวกับการทำโครงการนี้ ท่านอาจารย์ ดร.พัทธพงษ์ อาสนจินดา คณะกรรมการประเมินโครงการ ท่านอาจารย์ ดร.เที่ยง ชีวะเกตุ คณะกรรมการประเมินโครงการ จึงขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านที่ได้ให้คำแนะนำและประเมินโครงการนี้จนกระทั่งการศึกษาครั้งนี้ว่าโครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีและขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องโพรเจกในการศึกษาและจัดทำโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณท่านอาจารย์และเจ้าหน้าที่ รวมถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาและศูนย์อุดมศึกษาทะเล ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือแก่ทางคณะผู้จัดทำโครงการทางวิศวกรรมด้วยดีเสมอมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากโครงการนี้ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่าน คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญกราฟ	ช
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ฅ
สารบัญสัญลักษณ์	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 กำหนดการทำงาน	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 คลื่นน้ำ (Water Waves)	4
2.2 สถิติเบื้องต้นของคลื่น (Introduce to Representative Wave Parameter)	19
2.3 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการแตกตัวของคลื่น	22
2.4 การส่งผ่านและการสะท้อนของคลื่น (Wave transformation)	36
2.5 การพยากรณ์ความสูงคลื่นซัด (Forecast of wave run-up)	40
<b>บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง</b>	<b>42</b>
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล	42
3.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล	44
3.3 ปัญหา-แนวทางแก้ไข และข้อสนอแนะในการเก็บข้อมูล	48

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 วิเคราะห์ข้อมูล</b>	50
4.1 การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics)	50
4.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient)	54
4.3 การนำเสนอพารามิเตอร์ตัวใหม่ ความเร็วลมที่มีอิทธิพล (Influence Wind Speed, FU)	58
4.4 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)	60
4.5 การทดสอบสมการ	63
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	67
5.1 สรุปข้อมูลจากการทดลอง	67
5.2 ข้อเสนอแนะ	68
บรรณานุกรม	69
ประวัติผู้จัดทำ	70



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	กำหนดการดำเนินงาน	3
2.1	บัวฟอร์ดสเกลแสดงสภาพลมและคลื่น (Kamphuis, 2000)	6
2.2	สมการในการคำนวณค่าต่างๆของคลื่น (Kamphuis, 2000)	13
2.3	ตารางคลื่น (Kamphuis, 2000)	14
2.4	แสดงความสูงและระยะเวลาของคลื่น จากการอ่านจากรูปที่ 2.13	21
2.5	แสดงสมการทำนายความสูงคลื่นซัด	38
4.1	แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์เชิงสถิติพรรณนา	53
4.2	แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน	56
4.3	ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน	60
4.4	ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยเชิงพหุคูณ	61
4.5	ผลรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยเชิงพหุคูณที่ได้ทำมาทั้งหมด	62

## สารบัญกราฟ

กราฟที่		หน้า
4.1	แสดงค่าความถี่ของข้อมูล ณ สถานีชลบุรี	54
4.2	แสดงค่าความถี่ของข้อมูล ณ สถานีชลบุรี	54
4.3	เปรียบเทียบค่าระหว่างสเกลความสูงคลื่นจากการสำรวจกับการทำนาย	64
4.4	แสดงค่ากลางของความคลาดเคลื่อนความสูงคลื่น	65

มหาวิทยาลัยบูรพา  
Burapha University

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ภาพบริเวณหาดวอนนภา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี	2
2.1	ส่วนประกอบของคลื่น (Kamphuis, 2000)	5
2.2	การจำแนกคลื่นโดยความถี่ (Kamphuis, 2000)	5
2.3	ค่าระดับน้ำและเวลาในการเกิดคลื่น (Kamphuis, 2000)	7
2.4	รูปแบบที่ตัดกันของคลื่น (Kamphuis, 2000)	7
2.5	การแบ่งแยกคลื่นซีและคลื่นสเวด (Kamphuis, 2000)	8
2.6	ความสามารถในการประยุกต์ใช้ของทฤษฎีคลื่นต่างๆ (Kamphuis, 2000)	11
2.7	คลื่นในรูปแบบคงที่ (Kamphuis, 2000)	12
2.8	วงโคจรของอนุภาค (Kamphuis, 2000)	17
2.9	กลุ่มคลื่น (Kamphuis, 2000)	17
2.10	รูปร่างคลื่นและค่ากึ่งกลางของระดับคลื่น (Kamphuis, 2000)	18
2.11	คลื่นของน้ำที่เกิดโดยลม (Kamphuis, 2000)	19
2.12	ตัวอย่างของกรับันที่กข้อมูลของคลื่น (Kamphuis, 2000)	20
2.13	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวเข้าสู่หน้าดินของคลื่น (Kamphuis, 2000)	25
2.14	แสดงการหักเหของสันคลื่นที่ไปในแนวตรง (Kamphuis, 2000)	26
2.15	แผนภาพแสดงถึงกระบวนการหักเหของคลื่นเมื่อเข้าใกล้ชายฝั่ง (Kamphuis, 2000)	27
2.16	แผนภาพแสดงให้เห็นกระบวนการหักเหทั้ง 2 ชนิด (Kamphuis, 2000)	28
2.17	นิยามการหักเหของคลื่น (Kamphuis, 2000)	29
2.18	แสดงตำแหน่งที่มากที่สุดของการแตกตัว (Kamphuis, 2000)	30
2.19	แสดงชนิดการแตกตัวของคลื่น (Kamphuis, 2000)	32
2.20	แสดงการเลี้ยวเบน (Kamphuis, 2000)	34
2.21	แสดงการเลี้ยวเบนที่กำแพงคลื่นเดี่ยว (Kamphuis, 2000)	35
2.22	แสดงการเลี้ยวเบนที่ช่องว่างระหว่างกำแพงคลื่น (Kamphuis, 2000)	36
2.23	เชื่อมกันคลื่นแบบจมน้ำ (www.refbeach.com)	36
2.24	เชื่อมกันคลื่นแบบพ้นน้ำ (www.refbeach.com)	37
2.25	แสดงตัวอย่างการตั้งค่าเกรบ้นที่กความสูงคลื่นชัด	39
2.26	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่่างสมกลล ามสูงคลื่นชัดจ กับการสำรวจกับก่ เนาข	41
2.27	แสดงค่ากลางของความคลาดเคลื่อนความสูงคลื่นชัด	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	กล้องดิจิทัลยี่ห้อ Olympus รุ่น Mu Tough-3000 (3-m Water proof)	42
3.2	ขาตั้งกล้อง	43
3.3	ตารางบันทึกการเก็บข้อมูล	43
3.4	ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีเกาะสีชัง (ชลบุรี)	44
3.5	การตั้งกล้องเพื่อเก็บข้อมูล	45
3.6	ภาพที่ได้จากการเก็บข้อมูล	46
3.7	ตัวอย่างชื่อไฟล์ข้อมูล	46
3.8	ตัวอย่างชื่อไฟล์ข้อมูล	47
3.9	การบันทึกข้อมูลตอนกลางคืนในคอมพิวเตอร์	47
4.1	ลักษณะเส้นโค้งความแปรแบบต่างๆ	52
4.2	ลักษณะเส้นโค้งแสดงความโค้งของข้อมูล	53
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางลม (wind direction) ระยะ fetch และคลื่น	58
4.4	ระยะ Fetch ของบริเวณหาดวนนนภา	59

## สารบัญสัญลักษณ์

$A$	รัศมีวงโคจรแอมพลิจูดในแนวราบ
$a$	แอมพลิจูดของคลื่น
$B$	รัศมีวงโคจรแอมพลิจูดในแนวตั้ง
$b$	ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการทดลอง
$C$	ความเร็วในการเคลื่อนตัวของคลื่น
$C_g$	กลุ่มเวกเตอร์ความเร็วของคลื่น
$d$	ค่าความลึกของน้ำ
$d_b$	ความลึกคลื่นแตกตัว
$E$	ความหนาแน่นของพลังงานของคลื่น หน่วยเป็น จูลล์/ตารางเมตร
$f$	ความถี่คลื่น
$g$	ค่าแรงโน้มถ่วงโลก
$H$	ความสูงของคลื่น
$\bar{H}$	ค่าเฉลี่ยความสูงของคลื่น
$H/L$	อัตราส่วนของความสูงคลื่นและความยาวคลื่น
$H_b$	ความสูงของคลื่นที่จุดแตกตัว
$H_c$	คลื่นที่มีความสูงที่สุดคลื่นกระจายลงช่วงสั้นๆ
$H_1$	ค่าความสูงของคลื่นก่อนเคลื่อนที่ปะทะกับเขื่อนกันคลื่น
$H_2$	ค่าความสูงของคลื่นหลังเคลื่อนที่ปะทะกับเขื่อนกันคลื่น
$H_{st}$	ความสูงของคลื่นที่จุดแตกตัวจากทฤษฎี
$H_{max}$	ความสูงคลื่นสูงสุด
$HS$	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ
$HX$	ความสูงคลื่นสูงสุด
$k$	เวกเตอร์เลขของจำนวนคลื่น
$K_p$	ตัวประกอบตอบสนองต่อความดัน
$K_d$	ค่าสัมประสิทธิ์การเลี้ยวเบนของคลื่น
$K_r$	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแบบจมน้ำ
$K_{ru}$	ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแบบพื้นน้ำ
$K_s$	ค่าสัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่น
$K_v$	ค่าสัมประสิทธิ์ความดัน
$L$	ความยาวคลื่น

## สารบัญสัญลักษณ์ (ต่อ)

$LV$	ค่าระดับน้ำ
$L_{bp}$	ความยาวคลื่นที่จุดแตกตัวสูงสุด
$MD$	ค่ากลางของทิศทางการคลื่น
$MF$	ค่ากลางของความถี่คลื่น
$m$	ความลาดชันของหาด
$n$	ตัวแปรของการเปลี่ยนแปลงการไหล
$\eta$	ระดับผิวน้ำ
$P$	ตำแหน่งสันคลื่น เป็นตำแหน่งสูงสุดของคลื่น หน่วยเป็น วัตต์/เมตร
$PM$	ค่ากลางของคาบคลื่น
$PP$	คาบคลื่นสูงสุด
$Q$	ตำแหน่งท้องคลื่น เป็นตำแหน่งต่ำสุดของคลื่น หน่วยเป็น วัตต์/เมตร
$R$	สเกลพยากรณ์ความสูงคลื่นซัด
$RS$	ค่าความสูงคลื่นซัด
$\beta_0$	ส่วนตัดแกน $Y$
$\beta_{LV}$	สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของระดับน้ำ
$X_{LV}$	ข้อมูลระดับน้ำ
$\beta_{HS}$	สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของความสูงคลื่นนัยสำคัญ
$X_{HS}$	ข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญ
$\beta_{MD}$	สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของทิศทางการคลื่น
$X_{MD}$	ข้อมูลทิศทางการคลื่น
$\beta_{Mv}$	สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของความเร็วลมที่มีอิทธิพล
$X_{Mv}$	ข้อมูลความเร็วลมที่มีอิทธิพล
$R_{adj}^2$	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุปรามภ์
$r$	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน
$S$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$T$	คาบคลื่น หน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ
$\bar{T}$	ค่าเฉลี่ยระยะเวลาของคลื่น
$T_p$	ความยาวคลื่นแตกตัว
$T_{max}$	ระยะเวลาของคลื่นสูงสุด
$t$	เวลา

### สารบัญสัญลักษณ์ (ต่อ)

$U_B$	ค่าความเร็วของการเคลื่อนย้ายมวลที่กั้นทะเล
$u$	ค่าความเร็วของการโคจรในแนวราบ
$w$	ความเร็วของการโคจรในแนวตั้ง
$WS$	ความเร็วลม
$WD$	ทิศทางลม
$x$	ระยะทางในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น
$\bar{X}$	ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระ
$X_i$	ค่าตัวแปรอิสระ
$\tan \theta$	ความลาดชันของหาด
$\omega$	ความถี่เชิงมุมของคลื่น
$\xi$	สัมประสิทธิ์การแตกตัวของคลื่น
$\lambda$	ความยาวของคลื่น
$\lambda_g$	ความยาวคลื่นน้ำลึก
$\rho$	ความหนาแน่นของน้ำ
$\alpha$	มุมระหว่างเส้นรังสีคลื่น
SWL	ระดับน้ำนิ่ง
MWL	ค่ากลางของระดับน้ำ

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

ความสูงคลื่นซัด (Wave run-up) คือ ระดับในแนวตั้งที่คลื่นซัดขึ้นไปบนชายหาดหรือโครงสร้างชายฝั่งทะเลโดยวัดจากระดับน้ำนิ่ง ซึ่งมีระดับความสูงที่แตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เช่น ระดับความสูงของน้ำ ความเร็วลมและทิศทางของลม เป็นต้น ความสูงคลื่นซัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการก่อให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ความสูงคลื่นซัดอาจสามารถก่อให้เกิดการกัดเซาะโดยตรงและทำลายวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างหรือทำลายบริเวณแนวชายฝั่งและบริเวณใกล้กับชายฝั่ง

หาดวอนนภา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรีเป็นสถานที่ท่องเที่ยวริมชายทะเลที่มีกำแพงป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง มีปัญหาการรบกวนจากคลื่นน้ำทะเลที่ซัดเข้าสู่ชายฝั่งซึ่งทำให้ไม่สะดวกต่อการทำกิจกรรมบริเวณริมชายฝั่ง ซึ่งอาจเกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อยู่ในบริเวณนั้น ดังนั้นการพยากรณ์ความสูงคลื่นซัดที่แม่นยำสามารถช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวได้

การพยากรณ์ของความสูงคลื่นซัด ส่วนมากจะเป็นผลการศึกษาจากห้องปฏิบัติการ แล้วนำมาสร้างสมการเชิงประพจน์ ซึ่งการจะใช้สมการพวกนั้นต้องทราบถึงลักษณะคลื่นที่กำลังจะพัดเข้าฝั่ง ซึ่งในกรณีนั้นจะเป็นไปได้ยาก

เราจึงทำ การพัฒนาสมการเชิงสถิติในการพยากรณ์สเกลความสูงคลื่นซัดบนกำแพงกันคลื่นที่มีความแม่นยำ เพื่อช่วยเตือนภัยและเป็นตัวช่วยตัดสินใจในการทำกิจกรรมบริเวณ หาดวอนนภา ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี





รูปที่ 1.1 ภาพบริเวณหาดวอนนภา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาสมการเชิงสถิติในการพยากรณ์สเกลความสูงคลื่นซัดบนกำแพงกันคลื่นบริเวณหาดวอนนภา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ทำการเก็บข้อมูลคลื่นซัด ใช้ข้อมูลวิธีโอความสูงคลื่นซัดตั้งแต่วันที่ 12 กันยายน 2554 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2556 โดยเป็นข้อมูลเดิมตั้งแต่วันที่ 12 กันยายน 2554 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2556 และได้ทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม ตั้งแต่วันที่วันที่ 1 กรกฎาคม 2556 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2556 ณ บริเวณกำแพงกันคลื่น หาดวอนนภา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี รวมมีข้อมูลทั้งหมด 24 เดือน 18 วัน และใช้ข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยทางทะเล คือ ข้อมูลพยากรณ์ระดับน้ำทะเล (เกาะสีชัง) ข้อมูลคลื่นพยากรณ์ จากกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ ข้อมูลทิศทางและความเร็วลม จากกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย ในการสร้างสมการเชิงสถิติ



## บทที่ 2

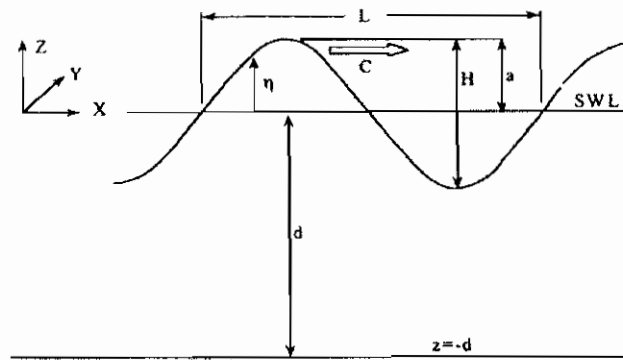
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 คลื่นน้ำ (Water Waves)

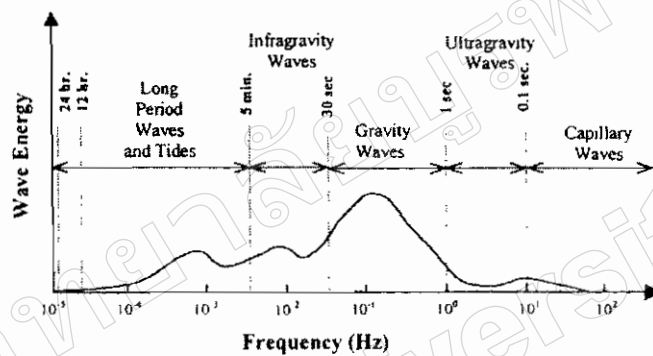
##### 2.1.1 บทนำเกี่ยวกับคลื่นน้ำ

(ก) ลักษณะของคลื่น คลื่นน้ำ คือ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำพร้อมกับกระแสน้ำ ความเร่ง และแรงดัน ซึ่งมีรูปแบบพื้นฐาน คือ คลื่นรูปไซน์ (Sinusoidal waveform) ดังรูปที่ 2.1 โดยจะนำมาใช้เพื่ออธิบายลักษณะพื้นฐานของคลื่น ดังนี้ จุดที่สูงที่สุดของคลื่น เรียกว่า ยอดคลื่น (Crests) จุดที่ต่ำสุดของคลื่น เรียกว่า ท้องคลื่น (Trough) ระยะในแนวตั้งระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่น คือ ความสูงคลื่น (Wave height,  $H$ ) ระยะระหว่างจุดที่คลื่นมีรูปแบบเกิดขึ้นซ้ำ คือ ความยาวคลื่น (Wave length,  $L$ ) ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น (Velocity of propagation,  $C$ ) เวลาที่คลื่นใช้เพื่อเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบ คือ คาบคลื่น (Wave period,  $T$ ) และส่วนกลับของคาบคลื่น คือ ความถี่คลื่น (Wave frequency,  $f$ )

ปรากฏการณ์ของคลื่นน้ำเริ่มจากรูปแบบคลื่นคาปิลลารี (Capillary waves) ซึ่งมีขนาดคาบคลื่นสั้นมาก (ประมาณ 0.1 วินาที) ไปจนถึงปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง (Tide), คลื่นสึนามิ (Tsunami) คือ คลื่นที่เกิดจากแผ่นดินไหว และคลื่นเซซ (Seiches) ที่เกิดขึ้นจากการแกว่งของระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและทะเลสาบ ซึ่งคาบคลื่นใช้เวลาเป็นนาทีหรือชั่วโมง คลื่นแต่ละชนิดยังมีความสูงที่แตกต่างกัน เช่น คลื่นคาปิลลารีมีความสูงไม่กี่มิลลิเมตร แต่สำหรับคลื่นชนิดอื่นๆ ที่มีคาบคลื่นยาวจะมี ความสูงคลื่นมากกว่าสิบเมตร การจำแนกคลื่นตามความเร็วของคลื่นแต่ละชนิดแสดงในรูปที่ 2.2 ในช่วงกลางของกราฟ คือ คลื่นที่เกิดจากลมหรือแรงโน้มถ่วง (Gravity or wind-generated waves) คาบคลื่นมีขนาดประมาณ 1-30 วินาที มีขนาดความสูงคลื่นไม่เกิน 10 เมตร คลื่นชนิดนี้เกิดขึ้นจากแรงกระทำของลมกับแรงโน้มถ่วงโลกที่ต้องการทำให้ระดับน้ำคืนสู่ระดับน้ำนิ่ง (Still water level : SWL) ซึ่งคลื่นชนิดนี้ถือได้ว่าเป็นพลังงานรวมของคลื่นส่วนใหญ่เนื่องจากมีปริมาณที่มาก



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของคลื่น (Kamphuis, 2000)



รูปที่ 2.2 การจำแนกคลื่นโดยความถี่ (Kamphuis, 2000)

ลักษณะของผิวน้ำที่ถูกกระทำโดยลมนั้นจะไม่เหมือนกับรูปที่ 2.1 แต่จะมีความซับซ้อนมากกว่าซึ่งอธิบายได้ยาก แม้แต่ช่วงกระแสลมที่บางเบา (Puff) กระแทกกับผิวน้ำที่ราบเรียบแล้วเกิดการบิดเบือนทำให้ไม่เป็นเส้นตรงก็ไม่สามารถวิเคราะห์ให้ถูกต้องแม่นยำได้ เมื่อระลอกคลื่นลูกแรกที่เกิดตัวขึ้น โดยกระแสลมที่บางเบาและความสูงเพิ่มขึ้น โดยแรงลมที่ปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดคลื่นที่เรียกว่า คลื่นซี (Sea) คลื่นก่อตัวขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีความซับซ้อนมากขึ้น เราจึงต้องทำความเข้าใจความซับซ้อนเหล่านี้ และนำทฤษฎีที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้กับสภาพคลื่นทะเล เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นและสามารถนำไปใช้ในกรออกแบบได้

(ข) ลมและคลื่น โดยทั่วไปความเร็วลมและลักษณะของคลื่นมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก และยังมีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความลึกของน้ำ ระยะเวลาของลม และระยะของลมที่พัดเหนือหน้า (Fetch) แต่ในทางนี้จะศึกษาเพียงผลกระทบจากลม โดยสมมุติระดับน้ำ ชั่วคราวของลม และระยะของลมที่พัดเหนือหน้ามีค่าไม่จำกัด ซึ่งเรียกคลื่นที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้ว่า full developed sea โดยเป็นสภาพของคลื่นในทะเลเปิดที่ระดับน้ำลึก

ความสัมพันธ์ระหว่างลมและคลื่นในทะเลเปิดมีการคาดการณ์มานานกว่าศตวรรษ โดยใช้รูปวาดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลมและคลื่น บัฟฟอร์ดสเกล (Beaufort scale) ในตารางที่ 2.1 เป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพของทะเลและความเร็วลมอย่างเป็นทางการ สามารถใช้เพื่อประมาณสภาพคลื่นในทะเลเปิดเมื่อทราบความเร็วลม กระดาษเรือใช้แนวคิดนี้ในทางกลับกันเพื่อประมาณความเร็วลมจากสภาพของทะเล

(ก) คลื่นซี (Sea) และคลื่นสเวด (Swell) คลื่นที่ถูกสร้างขึ้นโดยลม เรียกว่า คลื่นซี (Sea) ซึ่งประกอบด้วยคลื่นหลายๆ ลูกที่มีขนาดความสูงและคาบคลื่นที่ต่างกัน แสดงในรูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของคลื่นชนิดนี้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับทิศทางลม คลื่นก่อตัวขึ้น โดยการเคลื่อนที่ตัดกันของคลื่นสองขบวน โดยทำมุมเล็กน้อยห่างออกไปจากทิศทางลม ดังรูปที่ 2.4 จุดสูงสุดของระดับน้ำเกิดขึ้นเมื่อคลื่นสองขบวนรวมกันและระดับน้ำที่มีอยู่เดิมถูกแทนที่ ผลก็คือรูปแบบคลื่นที่ไม่ราบเรียบ ดังรูปที่ 2.3 ที่ตำแหน่งเฉพาะใดๆ

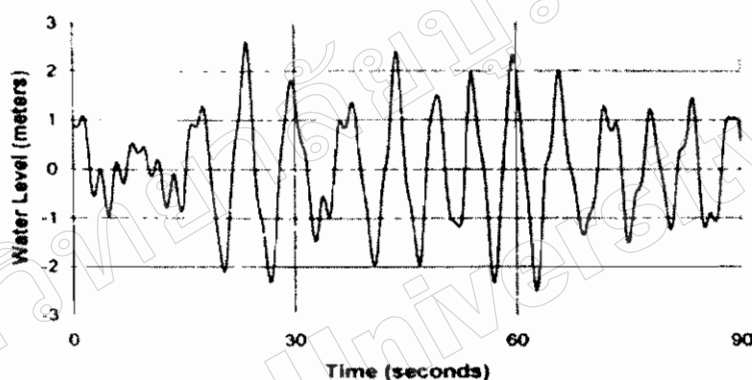
ตารางที่ 2.1 บัฟฟอร์ดสเกลแสดงสภาพลมและคลื่น (Kamphuis, 2000)

สเกลลม (บัฟฟอร์ด)	ความเร็วลม (นอต)	คำอธิบายสภาพลม	ลักษณะสภาพทะเล	ค่าประมาณความสูงคลื่น H <sub>s</sub> (เมตร)	ค่าประมาณคาบคลื่น T <sub>s</sub> (วินาที)
0	0-1	สงบ	ทะเลราบเรียบคล้ายกระจก	0	1
1	1-3	ลมเบา	ระลอกคลื่นก่อตัวขึ้น	0.025	2
2	4-6	ลมอ่อน	มีคลื่นเล็กน้อยลักษณะเห็นแต่เห็นคลื่นชัด ยอดคลื่นปรากฏขึ้นแต่ไม่แตกฟอง	0.1	3
3	7-10	ลมเฉื่อย	ยอดคลื่นเริ่มแตกตัวเห็นฟองขนาดเล็ก อดย	0.4	4
4	11-17	ลมปานกลาง	คลื่นเริ่มใหญ่ขึ้น เห็นฟองขาวชัดเจน	1	5
5	17-21	ลมกระโชก	มีคลื่นปานกลางก่อตัวเป็นคลื่นขาว เจนฟองสีขาวแตกตัวเป็นละออง	2	6
6	22-27	ลมแรง	คลื่นถูกใหญ่ขึ้นยอดคลื่นแตกตัวเป็นฟองขาวจำนวนมากฟองขาวพุ่งขึ้นไปทั่ว (อาจพัดเป็นส่ายอง)	4	8
7	28-33	พายุปานกลาง	มีทะเลเขวส่ายสูงชันยอดฟองขาวจำนวนมากฟองขาวพุ่งขึ้นไปในทิศทางของลม	7	10
8	34-40	พายุ ไรท์	คลื่นมีลมเขวเพิ่มขึ้นขนาดของยอดคลื่นเขว	11	13
9	41-47	พายุรุนแรง	คลื่นมีขนาดใหญ่มาก มีฟองสีขาวจำนวนมากฟองสีขาวพุ่งขึ้นไปในทิศทางของลม	18	16
10	48-55	พายุจัด	คลื่นมีความสูงมากมากเห็นฟองสีขาวเป็นฟองสีขาวจำนวนมากฟองสีขาวพุ่งขึ้นไปในทิศทางของลม	25	18
11	56-63	พายุแรง	คลื่นได้ ความสูงมากมากฟองสีขาวเป็นฟองสีขาวจำนวนมากฟองสีขาวพุ่งขึ้นไปในทิศทางของลม	35	20
12	64-71	พายุรุนแรง	มีลักษณะที่อันตรายมากฟองสีขาวเป็นฟองสีขาวจำนวนมากฟองสีขาวพุ่งขึ้นไปในทิศทางของลม	40	22

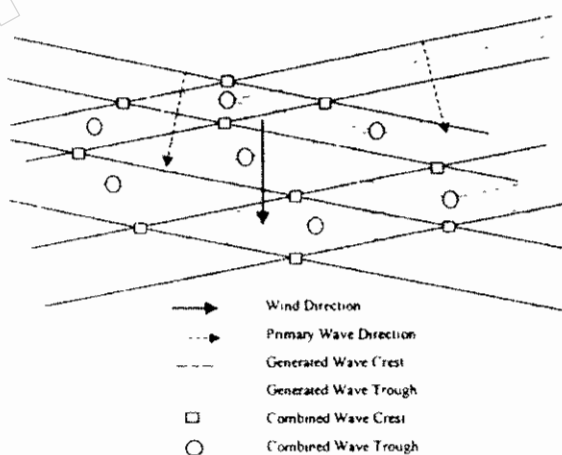
หมายเหตุ - ใช้สูตร  $H_s = 1.84 U_{10}^{-0.73}$  และ  $T_s = 0.83 U_{10}^{-0.16}$  เมื่อ  $U_{10}$  คือความเร็วลม 10 เมตร (33 ฟุต) ในวินาที

ในอนุภาคน้ำขนาดใหญ่ คลื่นจะเคลื่อนที่ไกลออกไปจากบริเวณที่มันเกิดขึ้น ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่เป็นระยะทางไกล พลังงานของคลื่นในส่วนของแต่ละลูกก็ค่อยๆ ลดลงโดยแรงต้านทานภายใน และพลังงานของคลื่นจะลดความถี่ลง ผลก็คือคลื่นจะมีความเป็นระเบียบมากขึ้นกว่าช่วงแรกที่คลื่นเริ่มก่อตัว มีคาบคลื่นที่ยาวขึ้น (10 - 20 วินาที) ความสูงคลื่นลดลง และเห็นเป็นกลุ่มคลื่น ชัดเจน คลื่นที่เกิดขึ้นในระยะทางที่ห่างออกไป ซึ่งเรียกว่า คลื่นสเวล (Swell) ความแตกต่างระหว่าง คลื่นซี และคลื่นสเวลแสดงในรูปที่ 2.5

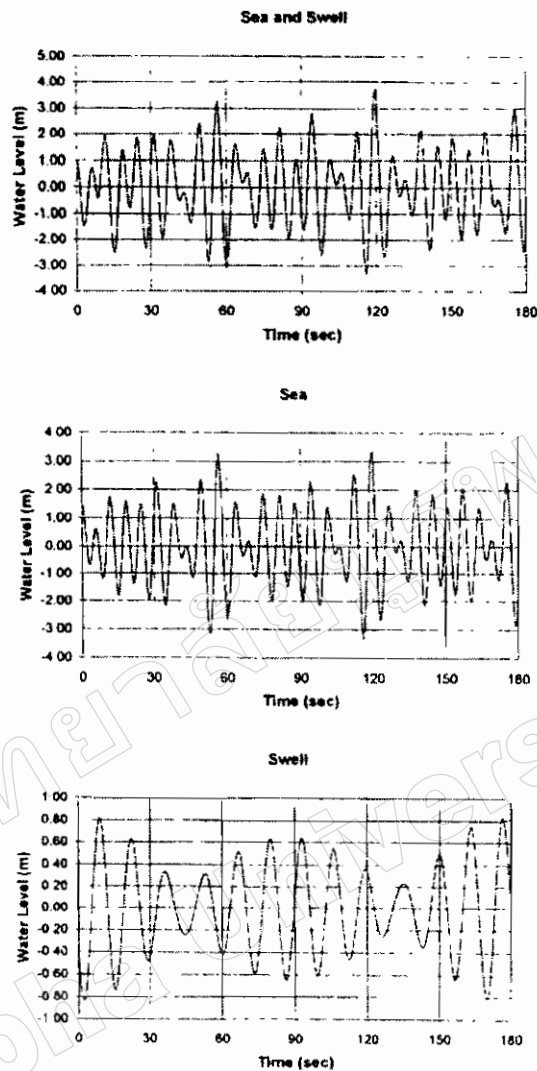
ในชายฝั่งส่วนใหญ่ คลื่นซีและคลื่นสเวลเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ยกเว้นแหล่งน้ำที่มีลักษณะปิดล้อม เช่น ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำและทะเลน้ำจืด ซึ่งคลื่นสเวลไม่สามารถก่อตัวขึ้นได้ เนื่องจากระยะทางไม่มากพอ



รูปที่ 2.3 ค่าระดับน้ำ และเวลาในการเกิดคลื่น (Kamphuis, 2000)



รูปที่ 2.4 รูปแบบที่ตัดกันของคลื่น (Kamphuis, 2000)



รูปที่ 2.5 การแบ่งแยกคลื่นซีและคลื่นสเวล (Kamphuis, 2000)

(ง) บทนำของทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้เพื่อแสดงการเคลื่อนไหวกว้างของคลื่นในเบื้องต้น เรียกว่า ทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย (Small amplitude wave theory) เมื่อเริ่มแรก การคิดค้นทฤษฎีที่สามารถแสดงตำแหน่งที่ก่อดำของคลื่นซีอย่างเพียงพอ นั้นคล้ายจะทำได้ แต่เมื่อเวลาผ่านไป พบว่าไม่มีความจำเป็นต้องแบ่งแยกความแตกต่างระหว่างคลื่นซี และคลื่นสเวล หรือใช้ทฤษฎีคลื่นที่มีความซับซ้อน เพราะทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งคลื่นซีและคลื่นสเวลอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะโดยพื้นฐานทฤษฎีนี้มีความสอดคล้องกันกับการพิจารณาเพื่อออกแบบอื่นๆ ด้วยความไม่แน่นอนของข้อมูลคลื่น ที่ได้มาจากการ

ประมาณซึ่งไม่สมบูรณ์ และวิธีการออกแบบที่ซึ่งทฤษฎีคลื่นที่ใช้นั้นมีความสัมพันธ์ที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงใดๆ

พื้นฐานของทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย คือ คลื่นรูปไซน์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งใช้ฟังก์ชันของระบบมือขวา โดยให้จุดกำเนิดอยู่ที่ระดับน้ำนิ่งและ กำหนดให้เป็นผิวน้ำในกรณีที่ไม่มีผลกระทบของคลื่น แกน  $x$  คือ เส้นแนวราบและขนานกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของคลื่น ซึ่งสมมุติว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางแกน  $y$  ที่ตั้งฉากกับแกน  $x$  และแกน  $z$  คือ แนวตั้งเหนือผิวน้ำขึ้นไป ดังนั้นตำแหน่งของพื้นที่ได้แกน  $z = -d$  และผิวน้ำเป็นศูนย์กลางรอบแกน  $z = 0$  ผิวน้ำรูปไซน์สามารถอธิบายได้ดังนี้

$$\eta = a \cos(kx - \omega t) = a \cos\left(\frac{2\pi x}{L} - \frac{2\pi t}{T}\right) \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\eta$  คือ ระดับผิวน้ำ

$a$  คือ แอมพลิจูดของคลื่น

$k$  คือ จำนวนคลื่น

$x$  คือ ระยะทางในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น

$\omega$  คือ ความถี่เชิงมุมของคลื่น

$t$  คือ เวลา

$L$  คือ ความยาวคลื่น

$T$  คือ คาบคลื่น

และ

$$k = \frac{2\pi}{L}; \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.2)$$

ระยะมากสุดในแนวตั้งระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่นคือความสูงคลื่น  $H$  (เท่ากับ  $2a$ ) อัตราส่วนของความสูงคลื่นและความยาวคลื่น ( $H/L$ ) เรียกว่า ความชันคลื่น (Wave steepness) ลูกคลื่นเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น

$$C = \frac{L}{T} \quad (2.3)$$

ค่ากลางของระดับน้ำ (Mean water level : MWL) หมายถึง ระดับกึ่งกลางระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่น ในทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย (รูปที่ 2.1) เป็นค่าเดียวกับระดับน้ำนิ่ง แต่สำหรับทฤษฎี



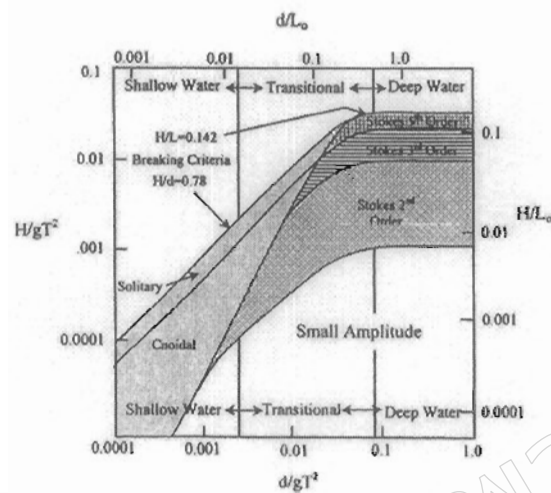
คลื่นชั้นสูงระดับนี้จะอยู่เหนือระดับน้ำนิ่งขึ้นไป สามารถแบ่งประเภทของคลื่นได้เป็น คลื่นที่มียอดคลื่นยาวและคลื่นที่มียอดคลื่นสั้น ซึ่งหมายถึงความยาวของยอดคลื่นในทิศแกน  $y$  โดยปกติคลื่นสวเวล หมายถึง คลื่นที่มียอดคลื่นยาว (มียอดคลื่นเดี่ยว ความยาวมากกว่ารัศมีเมตรขึ้นไป) และคลื่นซี หมายถึง คลื่นที่มียอดคลื่นสั้น ก่อตัวขึ้นตามรูปที่ 2.4 เมื่อค่าของ  $d/L > 0.5$  หมายถึง คลื่นอยู่ในระดับน้ำลึก และเมื่อค่าของ  $d/L < 0.05$  หมายถึง คลื่นอยู่ในระดับน้ำตื้น ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อที่ 2.1.3 ทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย

### 2.1.2 ทฤษฎีคลื่น (Wave Theories)

คลื่นที่เกิดจากลมได้มีการอธิบายไว้โดยทฤษฎีที่หลากหลาย โดยส่วนมากวิธีทั่วไปใช้สมการของการเคลื่อนที่ที่มีความต่อเนื่องกันและไร้แรงเสียดทาน (สภาวะอุดมคติ) โดยเงื่อนไขขอบเขตที่เหมาะสมจะใช้ ทฤษฎีคลื่นสโต๊ค (Stokes Wave Theory) ถ้าสมมุติฐานต่อไปทำให้ความสูงคลื่นน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวที่กำหนดคืออื่นๆ เช่น ความยาวคลื่นและความลึกของน้ำจะเปลี่ยนมาใช้ทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย ดังนั้นทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อยถือว่าการประมาณอันดับที่ 1 ของทฤษฎีสโต๊ค แต่ถ้าแอมพลิจูดของคลื่นมีขนาดใหญ่ขึ้น จะนำการประมาณค่าในทฤษฎีสโต๊คมาใช้เพื่ออธิบายคลื่นแอมพลิจูดเพราะมีความแม่นยำกว่า

นอกจากนี้ยังมีวิธีการทางทฤษฎีอื่นๆ เช่น ทฤษฎีการหมุนของคลื่น ซึ่งไม่ค่อยจะใช้ใน ปัจจุบัน ทฤษฎีคลื่น Cnoidal, ทฤษฎีคลื่นเดี่ยว (Solitary wave theory) เป็นต้น

จากสมมุติฐานที่การไหลไร้แรงเสียดทาน ซึ่งจะปรากฏในทฤษฎีคลื่นสโต๊ค โดยส่วนมากจะเป็นประโยชน์ในน้ำลึก ทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อยจะสมารถใช้ได้กับคลื่นลูกเล็กที่อยู่ในน้ำลึก ขณะที่การประมาณอันดับสูงของทฤษฎีสโต๊คจะสามารถใช้ได้กับคลื่นที่ขนาดใหญ่กว่าในน้ำลึก ในน้ำที่ตื้นควรใช้ทฤษฎีคลื่น Cnoidal สำหรับอธิบายการบิดเบือนของรูปร่างคลื่นที่เกิดจากการรบกวนจากกันทะเล การประยุกต์ใช้ทฤษฎีคลื่นต่างๆ สรุปไว้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ความสามารถในการประยุกต์ใช้ของทฤษฎีคลื่นต่างๆ (Kamphuis, 2000)

สมมติฐานที่ทำให้เข้าใจง่ายขึ้นจำนวนมากจำเป็นต้องทำให้อยู่ในรูปสมการ หรือการวิเคราะห์คำตอบเพื่ออธิบายคลื่นได้อย่างถูกต้อง และยังมีสูตรที่เป็นตัวเลขทำให้สามารถที่จะระบุรูปแบบคลื่นที่ซับซ้อนต่างๆ เช่น คลื่นที่ไม่ใช่รูปแบบคลื่นชานน์ เป็นต้น โดยเป็นสมการเชิงตัวเลขต่างๆ และการจำลองคลื่นในระดับน้ำตื้น ด้วยงานวิจัยล่าสุดนี้ยังสามารถใช้สมการเหล่านี้ในน้ำลึกได้ ดังนั้นแม้ว่าคลื่นจะไม่เป็นสั่นตรงทฤษฎีคลื่นเชิงตัวเลขก็สามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำ

### 2.1.3 ทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย

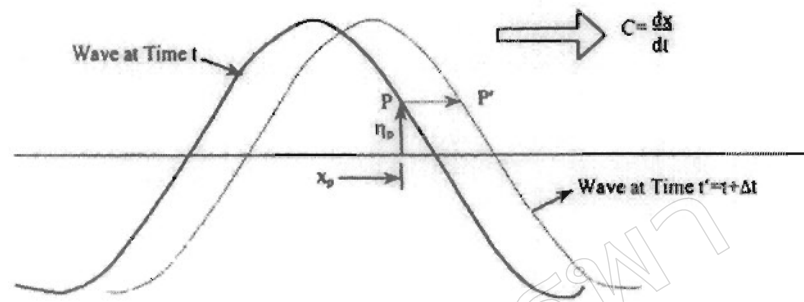
สมการจากทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อยสรุปลงในตารางที่ 2.2 สามสมการสุดท้าย (สมการที่ 14, 15 และ 16) ให้มาเพิ่มเติมซึ่งได้มาจากทฤษฎีคลื่นอื่นๆ สมการที่ 1 จากตารางที่ 2.2 อธิบายเกี่ยวกับความผันผวนของผิวน้ำตามรูปที่ 2.1 สมการที่ 2 คำนวณความเร็วของการเคลื่อนที่ของคลื่นโดยสมมุติว่าคลื่นยังคงมีค่าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ค่าของ  $\tanh$  ในสมการที่ 2 มีค่าลู่เข้าสองค่า สำหรับระดับน้ำลึกมาก ( $kd$  มีค่ามาก)

$$\tanh kd = \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \rightarrow 1 \quad (2.4)$$

สำหรับระดับน้ำตื้นน้อย

$$\tanh kd = \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \rightarrow \left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2.5)$$

ดังนั้นจึงสามารถกำหนดให้ระดับความตื้นและลึกของน้ำ เป็นค่าคู่เข้าของ  $C$  ดังตารางที่ 2.2 โดยในระบับน้ำลึกกำหนดให้มีค่า  $d/L > 0.5$  ( $\tanh kd = 0.996$ ) และในระบับน้ำตื้น  $d/L < 0.05$  ( $kd = 0.312$  เมื่อ  $\tanh kd = 0.302$ )



รูปที่ 2.7 คลื่นในรูปแบบคงที่ (Kamphuis, 2000)

มหาวิทยาลัยบูรพา  
Burapha University

ตารางที่ 2.2 สมการในการคำนวณค่าต่างๆของคลื่น (Kamphuis, 2000)

สมการ	ระดับน้ำลึก ( $d/L > 0.5$ )	ระดับน้ำตื้น ( $d/L < 0.05$ )
1. ระดับผิวน้ำ (เมตร)	$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$	
2. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่น (เมตร/วินาที)	$C = \frac{L}{T} = \frac{\omega}{k} = \frac{gT}{2\pi} \tanh kd$ $= \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh kd}$	$C_o = \frac{gT}{2\pi}$ $C = \sqrt{gd}$
3. ความยาวคลื่น (เมตร)	$L = CT = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kd$	$L_o = \frac{gT^2}{2\pi}$
4. ความเร็วในการโคจรของอนุภาค ในแนวราบ (เมตร/วินาที)	$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd} \cos(kx - \omega t)$	$u_o = \frac{\pi H_o}{T} e^{kz} \cos(k_o x - \omega t)$
5. ความเร็วในการโคจรของอนุภาค ในแนวตั้ง (เมตร/วินาที)	$w = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh k(z+d)}{\sinh kd} \sin(kx - \omega t)$	$w_o = \frac{\pi H_o}{T} e^{kz} \sin(k_o x - \omega t)$
6. รัศมีวงโคจรของอนุภาคใน แนวราบ (เมตร)	$A = \frac{\pi H}{2} \frac{\cosh k(z+d)}{\sinh kd}$	$A_o = \frac{H_o}{2} e^{kz}$
7. รัศมีวงโคจรของอนุภาคใน แนวตั้ง (เมตร)	$B = \frac{\pi H}{2} \frac{\sinh k(z+d)}{\sinh kd}$	$B_o = A_o$
8. ความดัน (เมตรของน้ำ)	$\frac{p}{\rho g} = -z + K_p \eta$	
9. ตัวประกอบตอบสนองต่อความดัน	$K_p = \frac{\cosh k(z+d)}{\cosh kd}$	$K_p = e^{kz}$
10. พลังงานความหนาแน่น (จูลส์/ตารางเมตร)	$E = \frac{1}{8} \rho g H^2; KE = PE = \frac{E}{2}$	
11. กำลังคลื่น (วัตต์/เมตร)	$P = EC_o$	$P_o = \frac{EC_o}{2}$ $P = EC$
12. ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่กลุ่มคลื่น (เมตร/วินาที)	$C_g = nC$	$(C_g)_o = \frac{C_o}{2}$ $C_g = C$
13. ตัวประกอบความเร็วในการ เคลื่อนที่กลุ่มคลื่น	$n = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right]$	$n_o = \frac{1}{2}$ $n = 1$
14. ความเร็วการเคลื่อนที่ข้ามเวลาที่ ทะเล (เมตร/วินาที)	$U_B = \frac{5}{4} \frac{a^2 k \omega}{\sinh^2 kd}$	
15. เกณฑ์การแบ่งประเภทการแตกตัว ของคลื่น	$\left( \frac{H}{L} \right)_{\max} = 0.142 \tanh kd$	$\left( \frac{H}{L} \right)_{\max} = 0.142$ $\left( \frac{H}{d} \right)_{\max} = 0.78$
16. ค่ากลางของระดับน้ำ - ระดับน้ำนิ่ง MWL-SWL (เมตร)	$\Delta_{11} = \frac{H^2 k}{8} \coth kd$	$\Delta_{11} = \frac{H^2 k}{8}$

ตารางที่ 2.3 ตารางคลื่น (Kamphuis, 2000)

$d/L_o$	$\tanh kd$	$d/L$	$kd$	$\sinh kd$	$\cosh kd$	$n$
0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	1.00	1.000
0.002	0.112	0.0179	0.112	0.113	1.01	0.996
0.004	0.158	0.0253	0.159	0.160	1.01	0.992
0.006	0.193	0.0311	0.195	0.197	1.02	0.998
0.008	0.222	0.0360	0.226	0.228	1.03	0.983
0.010	0.248	0.0403	0.253	0.256	1.03	0.979
0.015	0.302	0.0496	0.312	0.317	1.05	0.969
0.020	0.347	0.0576	0.362	0.370	1.07	0.959
0.025	0.386	0.0648	0.407	0.418	1.08	0.949
0.030	0.420	0.0713	0.448	0.463	1.10	0.939
0.035	0.452	0.0775	0.487	0.506	1.12	0.929
0.040	0.480	0.0833	0.523	0.548	1.14	0.919
0.045	0.507	0.0888	0.558	0.588	1.16	0.910
0.050	0.531	0.0942	0.592	0.627	1.18	0.900
0.055	0.554	0.0993	0.624	0.665	1.20	0.891
0.060	0.575	0.104	0.655	0.703	1.22	0.880
0.065	0.595	0.109	0.686	0.741	1.24	0.872
0.070	0.614	0.114	0.716	0.779	1.26	0.863
0.075	0.632	0.119	0.745	0.816	1.29	0.853
0.080	0.649	0.123	0.774	0.854	1.31	0.845
0.085	0.665	0.128	0.803	0.892	1.34	0.836
0.090	0.681	0.132	0.831	0.929	1.37	0.827
0.095	0.695	0.137	0.858	0.968	1.39	0.819
0.10	0.709	0.141	0.886	1.01	1.42	0.810
0.11	0.735	0.150	0.940	1.08	1.48	0.794
0.12	0.759	0.158	0.994	1.17	1.54	0.778
0.13	0.780	0.167	1.05	1.25	1.60	0.762
0.14	0.800	0.175	1.10	1.33	1.67	0.747
0.15	0.818	0.183	1.15	1.42	1.74	0.733
0.16	0.835	0.192	1.20	1.52	1.82	0.718
0.17	0.850	0.200	1.26	1.61	1.90	0.705
0.18	0.864	0.208	1.31	1.72	1.99	0.692

ตารางที่ 2.3 ตารางคลื่น (ต่อ) (Kamphuis, 2000)

0.20	0.888	0.225	1.41	1.94	2.18	0.668
0.21	0.899	0.234	1.47	2.05	2.28	0.656
0.22	0.909	0.242	1.52	2.18	2.40	0.646
0.23	0.918	0.251	1.57	2.31	2.52	0.635
0.24	0.926	0.259	1.63	2.45	2.65	0.626
0.25	0.933	0.268	1.68	2.60	2.78	0.616
0.26	0.940	0.277	1.74	2.75	2.93	0.608
0.27	0.956	0.285	1.79	2.92	3.09	0.599
0.28	0.952	0.294	1.85	3.10	3.25	0.592
0.29	0.957	0.303	1.90	3.28	3.43	0.585
0.30	0.961	0.312	1.96	3.48	3.62	0.578
0.31	0.965	0.321	2.02	3.69	3.83	0.571
0.32	0.969	0.330	2.08	3.92	4.05	0.566
0.33	0.972	0.339	2.13	4.16	4.28	0.560
0.34	0.975	0.349	2.19	4.41	4.53	0.555
0.35	0.978	0.358	2.25	4.68	4.79	0.550
0.36	0.980	0.367	2.31	4.97	5.07	0.546
0.37	0.983	0.377	2.37	5.28	5.37	0.542
0.38	0.984	0.386	2.43	5.61	5.70	0.538
0.39	0.986	0.395	2.48	5.96	6.04	0.535
0.40	0.988	0.405	2.54	6.33	6.41	0.531
0.41	0.989	0.415	2.60	6.72	6.80	0.529
0.42	0.990	0.424	2.66	7.15	7.22	0.526
0.43	0.991	0.434	2.73	7.60	7.66	0.523
0.44	0.992	0.443	2.79	8.07	8.14	0.521
0.45	0.993	0.453	2.85	8.59	8.64	0.519
0.46	0.994	0.463	2.91	9.13	9.18	0.517
0.47	0.995	0.472	2.97	9.71	9.76	0.516
0.48	0.995	0.482	3.03	10.3	10.4	0.514
0.49	0.996	0.492	3.09	11.0	11.0	0.513
0.50	0.996	0.502	3.15	11.7	11.7	0.512
0.75	1.000	0.746	4.69	54.5	54.5	0.501
1.0	1.000	0.981	6.16	269.5	269.5	0.500

(ก) ตารางคลื่น เพื่อแก้สมการที่ 2 และสมการอื่นๆ ในตารางที่ 2.2 จำเป็นที่จะต้องทราบค่าความสูงคลื่น  $L$  ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 อย่างไรก็ตาม สมการที่ 3 สามารถแก้ได้โดยวิธีทางตัวเลขเท่านั้น จึงได้มีการคำนวณค่าของตัวแปรที่ได้จากวิธีการทดลองแทนค่าในสมการที่ 3 แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างเป็นตาราง เรียกว่า ตารางคลื่น (Wave table) แสดงในตารางที่ 2.3 เพื่อใช้ในการหาค่า  $L$  รวมทั้งค่าอื่นๆ ที่สำคัญของคลื่น ในการใช้ตารางคลื่น ชั้นแรกจะต้องทำการคำนวณความยาวคลื่นในน้ำลึกก่อน ตามสมการที่ 3 ในตารางที่ 2.2

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.6)$$

จากนั้นจะใช้ค่าความลึกของน้ำ ( $d$ ) เพื่อคำนวณค่า  $d/L_o$  และจะสามารถคำนวณผลตัวแปรที่เหลืออยู่ทั้งหมดจากตารางที่ 2.3 ได้

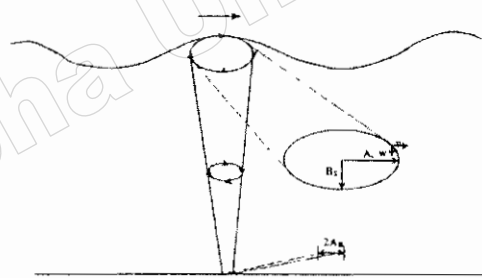
(ข) ลักษณะของแอมพลิจูดน้อย คลื่นเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $C$  แต่ในคลื่นแต่ละลูกอนุภาคน้ำจะไม่เคลื่อนที่ไปด้วย แต่จะเคลื่อนที่ในวงโคจรอนุภาค ดังรูปที่ 2.8 ในทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย วงโคจรอนุภาคดังกล่าวเป็นรูปวงรี ในระดับน้ำที่ลึกลงไปวงโคจรอนุภาคจะเปลี่ยนเป็นรูปวงกลม โดยมีขนาดลดลงตามความลึก ค่าความเร็วของการโคจรในแนวราบ ( $u$ ) ความเร็วของการโคจรในแนวตั้ง ( $w$ ) รัศมีวงโคจรแอมพลิจูดในแนวราบ ( $A$ ) และรัศมีวงโคจรแอมพลิจูดในแนวตั้ง ( $B$ ) ให้มาในสมการที่ 4 ถึงสมการที่ 7 ในตารางที่ 2.2

ความผันผวนของความดันที่จุดใดๆ ใต้ผิวน้ำมีความเกี่ยวข้องกับความผันผวนของระดับ น้ำที่ผิวน้ำ ถ้าคลื่นมีความยาวมาก ระดับน้ำจะเป็นแนวราบที่เวลาใดๆ และจะไม่มีกระเคลื่อนไหวของอนุภาค ความผันผวนของความดันจะมีค่าเท่ากับค่าความดันน้ำสถิตย (Hydrostatic) ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $pgH$  เมื่อ  $p$  คือความหนาแน่นของน้ำ และ  $g$  คือค่าแรงโน้มถ่วงโลก สำหรับคลื่นที่มีความยาวน้อย ความผันผวนของความดันจะมีค่าน้อยกว่า  $pgH$  อัตราส่วนของความผันผวนของความดันที่กระทำต่อ  $pgH$  เรียกว่า ตัวประกอบตอบสนองต่อความดัน (Pressure response factor,  $K_p$ ) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่นหรือคาบคลื่น กับความลึกใต้ผิวน้ำ สำหรับคลื่นที่มีความยาวมากหรืออยู่ใกล้กับผิวน้ำ ค่าตัวประกอบตอบสนองต่อความดันจะมีค่าเข้าใกล้ 1 ส่วนคลื่นที่มีความยาวสั้น หรืออยู่ไกลจากผิวน้ำ ค่าตัวประกอบตอบสนองต่อความดันจะมีค่าเข้าใกล้ 0 โดยใช้สมการที่ 8 และสมการที่ 9 ของตารางที่ 2.2 ในการหาค่าของความดัน และตัวประกอบตอบสนองต่อความดัน

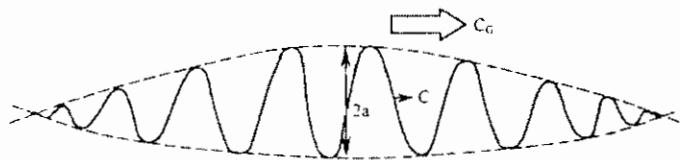
สมการที่ 10 แสดงค่าพลังงานคลื่นต่อหน่วยพื้นที่ผิว หรือความหนาแน่นของพลังงาน ( $E$ ) ในหน่วย จูลล์ ต่าระเบมตร ถูกสร้างขึ้นจากครึ่งหนึ่งของพลังงานแผ่และพลังงานที่เคลื่อนที่ สมการที่ 11 สำหรับหาค่าลังคลื่น ( $P$ ) ที่มาถึงตำแหน่งใดๆ มีหน่วยเป็น วัตต์/เมตร ของสันคลื่น

สมการที่ 2 ในตารางที่ 2.2 บ่งชี้ว่าคลื่นที่มีคาบยาวจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าคลื่นที่มีคาบสั้น คลื่นขบวนตามรูปที่ 2.3 ที่มีค่าคาบคลื่นที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะเกิดการกระจายตัว โดยคลื่นที่ยาวที่สุดจะนำหน้าและเคลื่อนที่ต่อไป ขณะที่คลื่นที่สั้นที่สุดจะเคลื่อนที่ช้าอยู่ข้างหลัง ด้วยเหตุนี้สมการที่ 2 จึงเรียกว่า สมการการกระจาย (Dispersion equation) และยังมีหมายถึงพื้นที่การสร้างคลื่น กลุ่มคลื่นที่มีแนวโน้มคาบคลื่นเหมือนกันที่เดินทางไปด้วยกัน จากสมการฟิสิกส์พื้นฐานทำให้ทราบว่า คลื่นที่เกิดติดต่อกันและมีคาบใกล้เคียงกันจะก่อตัวเป็นกลุ่มคลื่น การแสดงออกตามทฤษฎีของรูปแบบการรบกวนของคลื่นที่เกิดติดต่อกันและมีคาบใกล้เคียงกันแสดงดังรูปที่ 2.9

ส่งผลให้คลื่นประกอบด้วยคลื่นสองลูกที่ซ้อนทับกัน ลูกหนึ่งเกี่ยวข้องกับค่าเฉลี่ย  $k$  และ  $\omega$  ของสิ่งรบกวนคลื่น และอีกลูกหนึ่งซึ่งมีความยาวมาก เรียกว่า กลุ่มคลื่น (Wave group) โดยเกี่ยวข้องกับผลต่างของ  $k$  และ  $\omega$  มีค่าความเร็วคลื่นสองค่าที่เกี่ยวข้องกัน ( $\omega/k$ ) ค่าหนึ่งสำหรับคลื่นสั้น  $C = (\omega_1 + \omega_2)/(k_1 + k_2)$  และอีกค่าหนึ่งสำหรับกลุ่มคลื่น  $C_g = (\omega_1 - \omega_2)/(k_1 - k_2)$  ความเร็วของกลุ่มคลื่นสัมพันธ์กับ  $C$  โดยตัวประกอบ  $n$  ในสมการที่ 13 (ตารางที่ 2.2) ที่ระดับน้ำลึก  $n \rightarrow 1/2$  และระดับน้ำตื้น  $n \rightarrow 1$  ดังนั้น  $C_g < C$  แต่ในระดับน้ำตื้นมาก  $C_g \rightarrow C$  ดังรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มคลื่นประกอบด้วยชุดของคลื่นเดี่ยวที่มีขนาดเพิ่มขึ้นและจากนั้นลดลง เมื่อคลื่นแต่ละลูกเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มคลื่นหลังของกลุ่มคลื่นจะมีขนาดเล็ก จากนั้นจะเพิ่มขนาดและเมื่อผ่านจุดกึ่งกลางของกลุ่มคลื่นจะลดขนาดลงและหายไปในที่สุดที่ข้างหน้ากลุ่ม



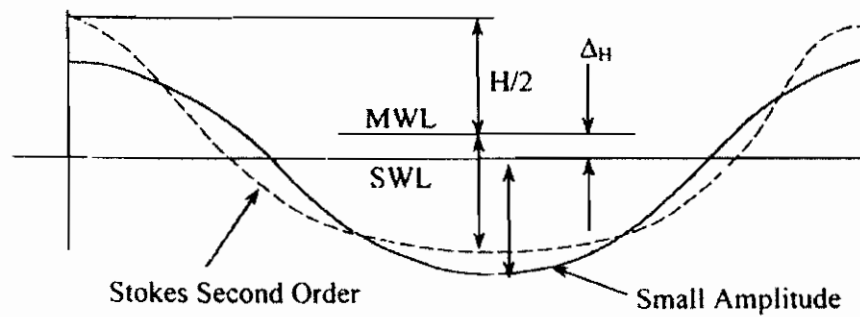
รูปที่ 2.8 รางโคจรของอนุภาค (Kamphuis, 2000)



$$\eta_t = 2a \cos \left[ \frac{k_1 + k_2}{2} x + \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \right] \cos \left[ \frac{k_1 - k_2}{2} x + \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \right]$$

รูปที่ 2.9 กลุ่มคลื่น (Kamphuis, 2000)





รูปที่ 2.10 รูปร่างคลื่นและค่ากึ่งกลางของระดับคลื่น (Kamphuis, 2000)

สมการที่ 14, 15 และ 16 ในตารางที่ 2.2 เป็นผลที่ได้มาจากทฤษฎีอื่นๆ ส่วนมากถูกใช้เป็นส่วนเพิ่มเติมของทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย ตามทฤษฎีขั้นสูง วงโคจรของอนุภาคในรูปที่ 2.8 จะไม่เป็นวงปิด โดยจะมีช่องว่างเล็กๆ เพื่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำในทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น เรียกว่า การเคลื่อนย้ายมวล (Mass transport) สมการที่ 14 ใช้คำนวณค่าความเร็วของการเคลื่อนย้ายมวลที่ก้นทะเล ( $U_B$ ) ซึ่งมีความสำคัญต่อการคำนวณการเคลื่อนย้ายของตะกอน สมการที่ 15 คือ เกณฑ์การแบ่งประเภทการแตกตัวของคลื่น ซึ่งมีเกณฑ์ที่แบ่งความสูงของคลื่น ในน้ำตื้นจะมีค่าของอัตราส่วน ( $H/L$ ) ลดลง เรียกว่า ดัชนีการแตกตัว (Breaking index) ทฤษฎีคลื่นเดี่ยวกำหนดไว้ที่ 0.78 เป็นค่าที่ได้มาจากการทดลอง ถึงแม้ว่าในทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย ล้นคลื่นและท้องคลื่นมีระยะเท่ากัน ( $H/2$ ) จากระดับนี้หนึ่ง แต่ทฤษฎีคลื่นขั้นสูงคาดการณ์ว่ายอดคลื่นสูงกว่าและท้องคลื่นจะตื้นกว่า ทฤษฎีคลื่นแอมพลิจูดน้อย (รูปที่ 2.10) การหาค่าความถี่ระหว่างค่ากึ่งกลางของระดับน้ำกับยอดคลื่นและท้องคลื่นและระดับน้ำนิ่งให้มาในสมการที่ 16

(ก) การคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ การคำนวณข้างล่างนี้สามารถใช้ตารางคลื่นได้ถ้าเป็นการคำนวณในปริมาณน้อย แต่ในกรณีที่ต้องการคำนวณสมการเป็นจำนวนมากและใช้คอมพิวเตอร์ ค่า  $L$  หรือ  $C$  อาจต้องคำนวณโดยใช้เทคนิคการสมการถดถอย แต่ถ้าการใช้เทคนิคนี้จำเป็นต้องกลับสมการ เพื่อให้การคำนวณเร็วขึ้น อาจต้องใช้การประมาณ เช่น

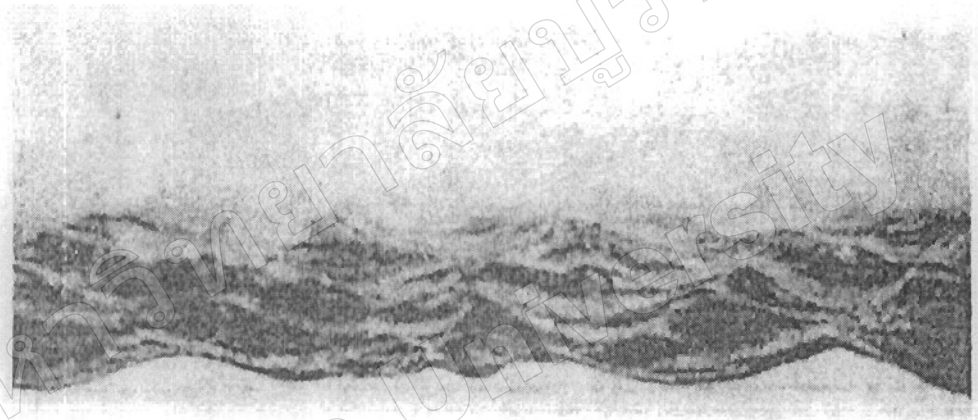
$$\frac{C}{gd} = \left[ y_n + \left( 1 + 0.6522y_n + 0.4622y_n^2 + 0.0864y_n^3 + 0.0675y_n^4 \right)^2 \right]^{-1} \quad (2.7)$$

ซึ่ง

$$y_n = \frac{2\pi d}{L} \quad (2.8)$$

## 2.2 สถิติเบื้องต้นของคลื่น (Introduce to Representative Wave Parameter)

จากรายละเอียดในรูปที่ 2.11 เราสามารถสังเกตเห็นคลื่นจำนวน 4 ลูกในระยะเวลาที่ยาวนาน เราจะทราบถึงรายละเอียดของลูกคลื่นในลักษณะไม่สม่ำเสมอ ในทางกลับกันจากการวัดและบันทึกแถบคลื่นในทะเลจะแสดงผลของคลื่นอยู่ในรูปที่ 2.11 ซึ่งในตัวอย่างนี้แกนในแนวนอนจะบ่งบอกถึงเวลาที่ผ่านไปของการบันทึกข้อมูลตั้งแต่เริ่มต้น ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากที่จะกำหนดรูปร่างของคลื่นที่ปรากฏ โดยเฉพาะในคลื่นที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ในความเป็นจริงไม่มีวิธีการที่แน่นอนในการนิยาม

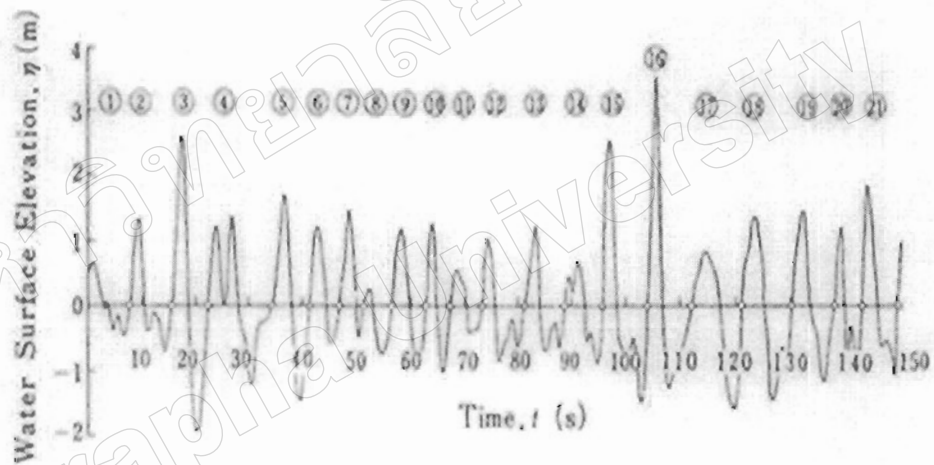


รูปที่ 2.11 คลื่นของน้ำที่เกิดโดยลม (Kamphuis, 2000)

อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์คลื่นโดยใช้วิธีการอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น วิธี zero-upcrossing หรือวิธี zero-downcrossing เป็นเทคนิคมาตรฐานที่ใช้สำหรับการกำหนดคลื่น เราจะอธิบายสั้นๆ เกี่ยวกับวิธีการเหล่านี้ ก่อนที่จะหาค่าระดับเฉลี่ยของพื้นผิวที่เป็นน้ำ จากพื้นผิวที่บันทึกและกำหนดเป็นเส้นศูนย์ ต่อไปก็จะเป็นการหารายละเอียดสำหรับจุดที่อยู่เหนือเส้นศูนย์ขึ้นไปข้างบน จุดที่ยึดเป็นจุดหนึ่งของการเริ่มต้นของแต่ละคลื่น ต่อไปก็จะอธิบายเกี่ยวกับการขึ้นและลงของรายละเอียดของพื้นผิวที่ผิดปกติ การค้นหาจะเป็นไปอย่างต่อเนื่องเพื่อหาจุด zero-upcrossing ที่ถัดจากรายละเอียดของพื้นผิวเมื่อเส้นศูนย์ข้างล่างได้หายไป

ต่อไปเมื่อมีการพบจุด zero-upcrossing แล้วก็จะมีการกำหนดจุดสิ้นสุดของคลื่นลูกแรกและการเริ่มต้นของคลื่นลูกที่สอง ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดที่ติดกันจุด zero-upcrossing จะถูกกำหนด

ระยะเวลาและพิกัดของคลื่น ขณะที่ความยาวคลื่นที่ชัดเจนจะมีการกำหนดพิกัดระยะทางในแนวนอน ระยะทางในแนวตั้งระหว่างจุดสองสูงสุดและจุดต่ำสุดที่ติดกันระหว่างจุด zero-upcrossing จะมีการกำหนดเป็นความสูงของคลื่น โดยไม่คำนึงถึงความโค้งขนาดเล็กที่ไม่ข้ามเส้นศูนย์ ในกรณีวิธีการของ zero-downcrossing ที่จรรยาละเอียดของพื้นผิวที่ข้ามเส้นศูนย์ลงมา จะถูกนำมาใช้เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของแต่ละคลื่น ความแตกต่างระหว่างสองค่าจำกัดความที่เป็นความคิดส่วนใหญ่ ไม่ว่าจะ เป็นความสูงของคลื่นจะถูกกำหนดโดยใช้ยอดคลื่นและท้องคลื่น หรือการใช้ยอดคลื่นและท้องคลื่น ก่อนหน้านี้ ในทางสถิติพวกเขาจะให้ลักษณะของคลื่นที่เท่ากันยกเว้นในแถบคลื่นที่ชัดแจ้ง ที่เห็น ได้ชัดเจนคือจะมีรายละเอียดของการเอียงไปข้างหน้าของพื้นผิว และมีแนวโน้มจะให้ผลในช่วงคลื่น zero-downcrossing และจะมีระยะเวลาที่สั้นกว่าคลื่น zero-upcrossing เล็กน้อย อย่างไรก็ตามก็จะไม่แตกต่างระหว่างความสูงของคลื่น zero-upcrossing และ zero-downcrossing



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างของการบันทึกข้อมูลของคลื่น (Kamphuis, 2000)

ในการประยุกต์ใช้วิธี zero-upcrossing ของตัวอย่างที่บันทึกในรูปที่ 2.11 จะมีผลของคลื่น ทั้งหมด 21 คลื่น ความสูงและระยะเวลาของคลื่นจะอ่านจากการจดบันทึกที่แสดงในตารางที่ 2.4 ใน คอลัมน์ที่สี่ จะแสดงถึงจุดเริ่มต้นและระดับความสูงของคลื่นในการสังเกตคลื่นในสนาม ขึ้นตอนที่ เป็นมาตรฐานคือทำการบันทึกคลื่น 100 ครั้งติดต่อกัน ทำรายการความยาวหนึ่งในร้อยละของความ สูงของคลื่นและระยะเวลาที่คล้ายคลึงกันในตารางที่ 2.4 และจะต้องทำการอ่านค่านี้จากการบันทึกค่า จากแถบของกราฟ ในปัจจุบันข้อมูลเกือบทั้งหมดจะถูกบันทึกในรูปแบบดิจิทัล และกระบวนการ

ดังกล่าวจะถูกดำเนินการโดยคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ยาวนานดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาและความสูง ทั้งสี่ประเภทดังกล่าวจะเป็นตัวแทนของคลื่นที่มีการกำหนดไว้

ตารางที่ 2.4 แสดงความสูงและระยะเวลาของคลื่น จากการอ่านจากรูปที่ 2.12

Wave number	Wave height H (m)	Wave period T (s)	Order number (m)
1	0.54	4.2	21
2	2.05	8.0	12
3	4.52	6.9	2
4	2.58	11.9	8
5	3.20	7.3	4
6	1.87	5.4	17
7	1.90	4.4	16
8	1.00	5.2	20
9	2.05	6.3	13
10	2.37	4.3	10
11	1.03	6.1	19
12	1.95	8.0	15
13	1.97	7.6	14
14	1.62	7.0	18
15	4.08	8.2	3
16	4.89	8.0	1
17	2.43	9.0	9
18	2.83	9.2	7
19	2.94	7.9	6
20	2.23	5.3	11
21	2.98	6.9	5

(ก) คลื่นสูงสุด ( $H_{max}, T_{max}$ ) หมายถึง คลื่นที่มีความสูงและระยะเวลาของแต่ละคลื่นที่สูงที่สุดมากในการบันทึก ปริมาณที่แสดงเป็น  $H_{max}$  และ  $T_{max}$  ตามลำดับ ในกรณีที่ข้อมูลในตารางที่ 2.4 คลื่นลำดับที่ 16 เป็นคลื่นที่มีความสูงที่สุด  $H_{max} = 4.9 \text{ m}$  และ  $T_{max} = 8.0 \text{ s}$

(ข) ความสูงของคลื่น 1 ใน 10 ( $H_{1/10}, T_{1/10}$ ) การบันทึกคลื่นที่มีการนับและเลือกในการเรียงลำดับลงมา จากความสูงของคลื่นสูงสุด จนกระทั่งถึง 1 ใน 10 ของจำนวนของคลื่นทั้งหมด หมายถึงความสูงและระยะเวลาจะถูกเฉลี่ยและแสดงเป็น  $H_{1/10}$  และ  $T_{1/10}$  ตามลำดับ ในตัวอย่างจากตารางที่ 2.4 คลื่นในลำดับที่ 16 และ 3 จะถูกนำมาใช้ค่าที่ได้  $H_{1/10} = 4.7 \text{ m}$  และ  $T_{1/10} = 7.5 \text{ s}$  คลื่นที่สมมุติขึ้นที่มีความสูงและระยะเวลาของ  $H_{1/10}$  และ  $T_{1/10}$  จะมีการกำหนดเป็นคลื่นสูงสุด 1 ใน 10

(ค) คลื่นนัยยะสำคัญ คือ คลื่นที่สูงสุด 1 ใน 3 ( $H_{1/3}, T_{1/3}$ ) สำหรับคลื่นที่เป็นตัวแทนนี้ ในการบันทึกที่มีการนับและเลือกใช้จากคลื่นที่มีความสูงของคลื่นสูงสุดจนกระทั่งถึง 1 ใน 3 ของจำนวนทั้งหมดของคลื่น วิธีคำนวณหาความสูงและระยะเวลาจะแสดงเป็น  $H_{1/3}$  และ  $T_{1/3}$  ตามลำดับ ในตัวอย่างของตารางที่ 2.1 คลื่นในลำดับที่ 16, 3, 15, 5, 21, 19 และ 18 จะถูกนำมาใช้จะได้ค่า  $H_{1/3} = 3.6 \text{ m}$  และ  $T_{1/3} = 7.8 \text{ s}$  คลื่นที่สมมุติขึ้นที่มีความสูงและระยะเวลาของ  $H_{1/3}$  และ  $T_{1/3}$  จะมีการกำหนดเป็นคลื่นสูงสุด 1 ใน 3 ความสูง  $H_{1/3}$  มักจะเรียกว่าความสูงของคลื่นนัยยะสำคัญ และระยะเวลา  $T_{1/3}$  จะเรียกว่าระยะเวลาที่สำคัญของคลื่น

(ง) ค่าเฉลี่ยของคลื่น ( $\bar{H}, \bar{T}$ ) หมายถึง ความสูงและระยะเวลาในการบันทึกจะถูกคำนวณและแสดงเป็น  $\bar{H}$  และ  $\bar{T}$  ตามลำดับในตัวอย่างตารางที่ 2.4 จะมีค่าเฉลี่ย  $\bar{H} = 2.4 \text{ m}$  และ  $\bar{T} = 7.0 \text{ s}$  คลื่นที่สมมุติขึ้นที่มีความสูงและระยะเวลาของ  $\bar{H}$  และ  $\bar{T}$  ที่กำหนดเป็นค่าเฉลี่ยของคลื่นในความหมายขั้นต้นของคลื่นที่เป็นตัวแทนที่มีความสำคัญ คือ คลื่นที่ใช้บ่อยที่สุด ความสูงของคลื่นและระยะเวลายาวของคลื่นที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากลม รวมไปถึงผลของคลื่น hindcasting มักจะหมายถึงคลื่นที่มีความสำคัญนอกจากระเบิด

## 2.3 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและการแตกตัวของคลื่น (Wave Transformation and Breaking)

### 2.3.1 สมการการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของคลื่น

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของคลื่นได้อธิบายถึงสิ่งที่เกิดขึ้นกับคลื่น เมื่อคลื่นเดินทางจากน้ำลึกเข้าสู่ตื้น จะถูกกำหนดโดยสมการเวกเตอร์สองสมการ

$$\nabla \times \mathbf{k} = 0 \quad (2.9)$$

และสมการอนุรักษ์พลังงานของการไหล

$$\nabla \cdot (E \mathbf{C}_g) = 0 \quad (2.10)$$

เวกเตอร์  $\mathbf{k}$  คือ เวกเตอร์เลขของจำนวนคลื่น แสดงถึงทิศทางของคลื่นและโมดูลัสของจำนวนคลื่น

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.11)$$

ตามทฤษฎีของคลื่น  $\lambda$  คือ ความยาวของคลื่นซึ่งหาได้จาก

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kh) = \lambda_0 \tanh(kh) \quad (2.12)$$

โดยที่  $T$  คือ คาบของคลื่น

$\lambda_0$  คือ ความยาวคลื่นน้ำลึก

$h$  คือ ระดับความลึกของน้ำ

$E$  คือ ความหนาแน่นของพลังงานของคลื่น

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (2.13)$$

และ  $\mathbf{C}_g$  คือ เวกเตอร์ความเร็วของกลุ่มคลื่น ทิศทางของ  $\mathbf{C}_g$  คือ ทิศทางของคลื่น ซึ่งหาได้จาก

$$\mathbf{C}_g = n \mathbf{c} \quad (2.14)$$

เมื่อ  $\mathbf{c}$  คือ ความเร็วในการเคลื่อนตัวของคลื่น

$$c = \frac{\lambda}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh kh = c_0 \tanh kh \quad (2.15)$$

และ

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \quad (2.16)$$

รูปแบบของสมการที่ 2.10 เมื่อนำมาเขียนทิศทางการเคลื่อนตัวของคลื่น (ทิศทาง  $s$ ) ก็จะกลายเป็นสมการเชิงอนุพันธ์เบื้องต้น

$$\frac{d}{ds}(EC_g) = 0 \quad (2.17)$$

ในการออกแบบส่วนใหญ่จะมีวิธีการที่เรียบง่าย การเปลี่ยนแปลงรูปของคลื่นจะเกี่ยวข้องกับ การเปลี่ยนแปลงของ  $H, \lambda, C$  และ  $\alpha$  ระยะเวลาที่คลื่น  $T$  ตลอดกระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปของคลื่นแบ่งออกเป็น การหักเห การเลี้ยวเบน โดยที่การหักเหของคลื่นคือการเปลี่ยนแปลงที่มีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความลึกของน้ำ ส่วนการเลี้ยวเบนจะไม่เกี่ยวข้องกับความลึกของน้ำแต่เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากสาเหตุอื่น เช่น อุปสรรค สิ่งกีดขวางของการเปลี่ยนรูป การคำนวณที่เกี่ยวกับการหักเหของคลื่นส่วนใหญ่จะเริ่มโดยการคำนวณการเปลี่ยนแปลงเชิงลึกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดคลื่นที่พัดเข้าใกล้ฝั่งในแนวตั้งฉาก เรียกว่า การเคลื่อนตัวเข้าสู่ฝั่งของคลื่น

### 2.3.2 การเคลื่อนตัวเข้าสู่ฝั่งของคลื่น

เมื่อคลื่นตั้งฉากเข้าใกล้แนวชายฝั่งโดยตรง  $\alpha = 0$  จะได้สมการจากสมการที่ 2.17 เป็น

$$EC_g = nCE = \text{const} \quad (2.18)$$

จากสมการที่ 2.13 สามารถเขียนได้เป็น

$$nCH^2 = n_1 C_1 H_1^2 = n_2 C_2 H_2^2 = n_0 C_0 H_0^2 = \text{const} \quad (2.19)$$

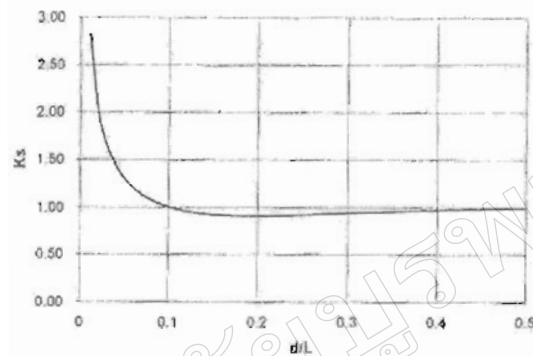
จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถเขียนเชื่อมโยงความสูงของคลื่นที่ทุกๆ ความลึกของน้ำ 2 ตำแหน่งได้เป็น

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{n_1 C_1}{n_2 C_2}} \quad (2.20)$$

และ  $H$  ที่ตำแหน่งใดๆ สามารถบอกถึงความสูงของคลื่นที่ระดับน้ำลึก  $H_0$  ได้เป็น

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 C_0}{n C}} = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{n \tanh(kd)}} = \frac{H}{H_0} = K, \quad (2.21)$$

เมื่อ  $H_0'$  คือ ความสูงของคลื่นที่ระดับน้ำลึก สำหรับ  $\alpha = 0$  และ  $K_s = \frac{H}{H_0}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวเข้าสู่หน้าดินของคลื่นเป็น 1.0 จากนั้นค่าความลึกของน้ำจะลดลงไปที่ 0.91 ต่อจากนั้นจะเพิ่มขึ้นไปแบบไม่มีขอบเขตเมื่อระดับความลึกของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 2.13

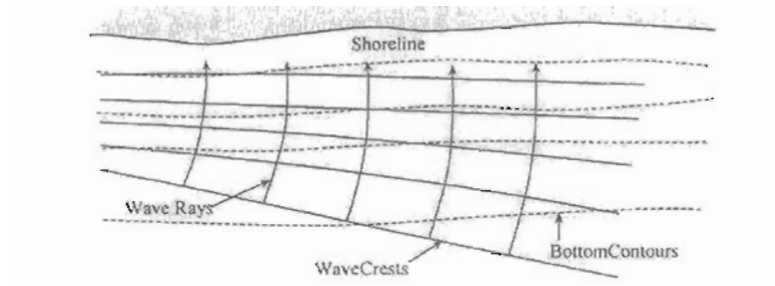


รูปที่ 2.13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเคลื่อนตัวเข้าสู่หน้าดินของคลื่น (Kamphuis, 2000)

### 2.3.3 การหักเหของคลื่น

(ก) สมการ เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งในทิศทางดังรูปที่ 2.14 การหักเหของคลื่นจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวเข้าสู่หน้าดินของคลื่นเพิ่มมากขึ้น ในระหว่างการหักเหของคลื่นจะเคลื่อนที่เป็นแถวเดียวกันกับเส้นโครงร่างของพื้นน้ำ และทิศทางของคลื่นจะตั้งฉากเข้าหาชายฝั่ง เพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการหักเหของคลื่น ลองจินตนาการถึงสันคลื่นยาวออกพุ่งตรงเข้าใกล้ฝั่งในทิศทางดังรูปที่ 2.14 ความลึกของระดับน้ำเพิ่มขึ้นจากฝั่งออกไปที่สันคลื่น ความเร็วของคลื่นเปลี่ยนไปตามความลึก ซึ่งเป็นไปตามกับสมการที่ 2.15 นอกจากนี้ความเร็วของสันคลื่นที่เคลื่อนที่ไปยังที่ที่ลึกกว่าก็เพิ่มขึ้นด้วย และทำให้สันคลื่นโน้มตัวขนานกับเส้นโครงร่างของพื้นน้ำ กระบวนการนี้ยังคงเข้าสู่ฝั่ง แสดงดังในรูปที่ 2.14





รูปที่ 2.14 แสดงการหักเหของสันคลื่นที่เป็นแนวตรง (Kamphuis, 2000)

ตอนนี้เราสามารถวาดเส้นรังสีคลื่น (เส้นที่แสดงถึงทิศทางของการเคลื่อนตัวของคลื่น) ที่ตั้งฉากกับสันคลื่น และเส้นรังสีคลื่นเหล่านี้หักเหแสดงดังรูปที่ 2.14 สำหรับการคำนวณการหักเหของคลื่นมักจะสันนิษฐานว่าคลื่นไม่มีการตัดรังสีคลื่น สมมติฐานนี้เป็นจริงสำหรับรูปทรงที่แตกต่างกันน้อยๆ ถ้ามีอุปสรรค สิ่งกีดขวางระหว่างการเดินทางของคลื่น หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลาในเส้นโครงร่างของพื้นน้ำ พลังงานของคลื่นจะถูกถ่ายทอดข้ามผ่านรังสีคลื่น เรียกว่า การเลี้ยวเบน (Diffraction)

เมื่อเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างรังสีคลื่นแล้ว จากสมการที่ 2.17 จะได้สมการเป็น

$$nCEb_d = \text{const} \tag{2.22}$$

เมื่อ  $b$  คือ ระยะทางระหว่างช่องรังสีคลื่น เมื่อนำสมการที่ 2.13 ไปแทนค่าลงในสมการที่ 2.22 จะได้

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{n_1 C_1}{n_2 C_2}} \sqrt{\frac{b_1}{b_2}} \tag{2.23}$$

เพื่อหาความสัมพันธ์ของความสูงของคลื่นที่ตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง ความสูงของคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ สามารถเกี่ยวข้องกับความลึกของน้ำ เป็น

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 C_0}{n C}} \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{n} \frac{1}{\tanh(kd)}} \sqrt{\frac{b_0}{b}} = K_s K_r \tag{2.24}$$

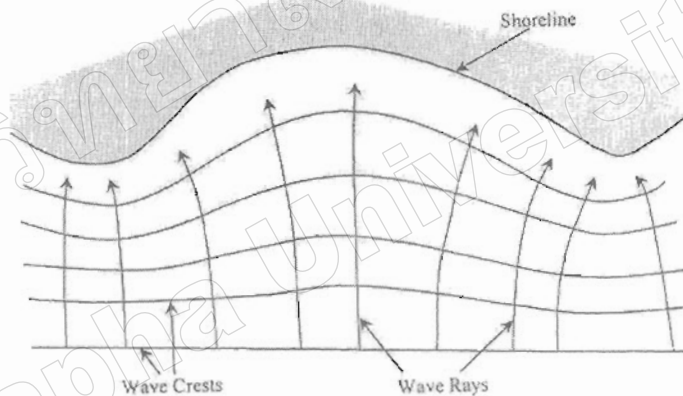
เมื่อ

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} \tag{2.25}$$

เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การหักเห

(ข) แผนภาพกระบวนการหักเห ก่อนอื่นจะอภิปรายเกี่ยวกับการคำนวณด้วยแผนภูมิที่เรียกว่า Huygen's method บนแผนที่ที่สามารถวาดเส้นสันคลื่นในเขตน้ำลึกโดยตรง ดังกับรูปที่ 2.14 และสามารถคำนวณค่า  $C$  ในหลายๆตำแหน่งตามสันคลื่นและวาด  $L = CT$  (ที่มีส่วนโค้งของวงกลม) ที่ตำแหน่งแต่ละแห่ง การวาดแผนภาพต่อเนื่องของสันคลื่นเข้าสู่ชายฝั่ง สุดท้ายเส้นรังสีคลื่นก็ถูกวาดในทิศทางที่ตั้งฉากกับสันคลื่น สมการที่ 2.23 สมการที่ 2.24 สามารถนำไปเพื่อใช้เปลี่ยนระยะระหว่างรังสีคลื่น เพื่อไปคำนวณความสูงของคลื่นและในปัจจุบันได้มีการวาดเส้นแผนภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์แทน

เมื่อค่า  $K$  ในสมการที่ 2.09 คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น อาจคำนวณได้โดยการแก้สมการที่ 2.09 วิธีการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณทำให้มีรายละเอียดมาก การแก้ปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้นของกระบวนการหักเห การเลี้ยวเบน และสามารถเกิดขึ้นพร้อมกันได้ โดยใช้สมการ Mild Slope



รูปที่ 2.15 แผนภาพแสดงถึงกระบวนการหักเหของคลื่นเมื่อเข้าใกล้ชายฝั่ง (Kamphuis, 2000)

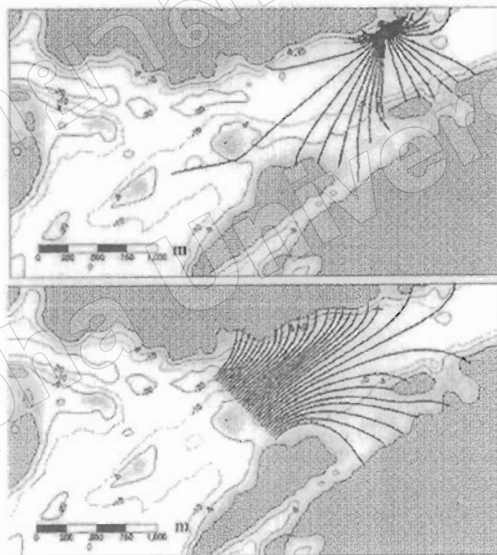
รูปที่ 2.15 แสดงแผนภาพการหักเหของคลื่นใกล้ชายฝั่งที่มีความซับซ้อนมาก เช่น อ่าว แหลม จากสมการที่ 2.23 และสมการที่ 2.24 รูปที่ 2.15 แสดงให้เห็นว่าคลื่นมีความสูงแหลม เนื่องจากเส้นรังสีของคลื่นเบนเข้าหากันและความสูงจะลดลงในบริเวณอ่าวเนื่องจากรังสีคลื่นเบนเข้าหากัน และความสูงจะลดลงในบริเวณอ่าว เนื่องจากความแตกต่างของรังสีของคลื่น

คลื่นในรูปเป็นการวาดเพื่อประกอบการอธิบายเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องวาดยอดคลื่นเพื่อที่จะกำหนดรูปแบบการหักเหของคลื่น การเคลื่อนตัวจากที่น้ำลึกไปที่น้ำตื้นของเส้นรังสีคลื่นดังรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15 เรียกว่า การลู่เข้า (Convergence) สันนิษฐานทิศทางของคลื่นในน้ำลึกเคลื่อนตัวเข้ามา

ตามเส้นรังสีคลื่นเข้าไปหาฝั่ง การวิเคราะห์การหักเหของคลื่นที่สมบูรณ์ต้องประกอบไปด้วยแผนภาพอีกทั้งยังต้องคำนวณการถู้ออกของเส้นรังสีคลื่น

ติดตามย้อนหลังของเส้นรังสีคลื่นที่มุมที่แตกต่างกัน ด้วยวิธีการเตรียมข้อมูล สถานที่ ตำแหน่งของชายฝั่งที่เราสนใจ แต่ไว้ในแต่ละแผนภาพประกอบด้วยมุมหลายมุมที่เราสนใจ แต่จะมีเพียงแผนภาพเดียวเท่านั้นที่เราต้องการในแต่ละคาบเวลา รูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นแผนภาพของกระบวนการหักเหทั้งสองประเภท ในรูปด้านบน รังสีคลื่นหันเข้าสู่ทะเลจากจุดที่เราสนใจ รูปร่างรังสีคลื่นถู้ออกน้ำตื้น จากตำแหน่งจากทิศทางทำให้ทราบว่าสถานที่รูปด้านบนนั้นเป็นสิ่งสำคัญ และภูมิประเทศด้านล่างนั้นมีความซับซ้อน

จากการศึกษากระบวนการหักเหของคลื่นต้องประกอบด้วยแผนภาพของการหักเหของคลื่นในแบบต่างๆ เพื่อนำมาเป็นตัวกำหนด ความสูงของคลื่นและทิศทางของคลื่น ในจุดที่เราสนใจจึงจะทำให้เกิดรายละเอียดและความถูกต้องเพียงพอ



รูปที่ 2.16 แผนภาพแสดงให้เห็นกระบวนการหักเหทั้ง 2 ชนิด (Kamphuis, 2000)

(ก) กฎของสเนล (Snell's Law) สำหรับปัญหาในแนวทางปฏิบัติเราสามารถสันนิษฐานได้ว่าแนวชายฝั่งและความลึกของเส้น โครงร่างค่อนข้างตรง อาจมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้ คำนิยามที่เกี่ยวข้องจะแสดงในรูปที่ 2.17 สมการที่ 2.09 ซึ่งใช้ในการคำนวณทิศทางของการเคลื่อนตัวของคลื่น อาจเขียนในรูปของพิกัด x-y (Cartesian coordinate) ได้เป็น

$$\frac{\partial}{\partial x}(k \sin \alpha) + \frac{\partial}{\partial y}(k \cos \alpha) = 0 \quad (2.26)$$

โดยที่แกน  $x$  มีทิศทางตั้งฉากกับฝั่ง ส่วนแกน  $y$  มีทิศทางขนานกับฝั่ง และ  $\alpha$  คือ มุมระหว่างเส้นรังสีคลื่นกับแกน  $x$  สำหรับแนวชายฝั่งและเส้นโครงร่างตรง รูปที่สองสมการที่ 2.26 มีค่าเป็น 0 และมีการเปลี่ยนแปลง เราจะได้

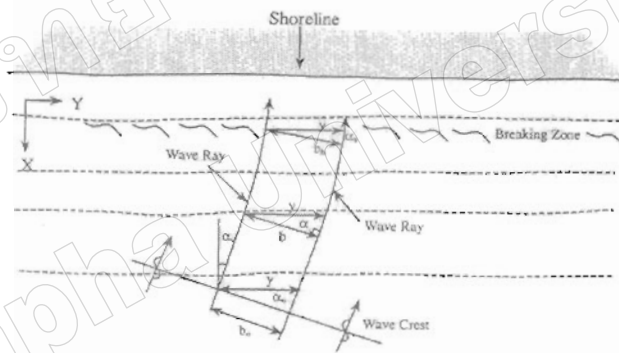
$$k \sin \alpha = \text{const} \tag{2.27}$$

เมื่อ  $T$  คงที่กระบวนการหักเหในสมการที่ 2.21, 2.22 และ 2.25 จะได้

$$\frac{c}{\sin \alpha} = \text{const} \tag{2.28}$$

นี่คือกฎของสเนล (Snell's Law) ใช้ในการคำนวณมุมหักเหของคลื่น ได้เป็น

$$\frac{\sin \alpha_2}{\sin \alpha_1} = \frac{c_2}{c_1} \text{ and } \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0} = \frac{c}{c_0} = \tanh \left( \frac{2\pi d}{L} \right) \tag{2.29}$$



รูปที่ 2.17 นิยามการหักเหของคลื่น (Kamphuis, 2000)

เนื่องจากคลื่นรังสีทุกเส้นใน รูปที่ 2.17 มีลักษณะการหักเหไปในทางเดียวกัน ระยะขนานระหว่างฝั่งกับรังสีคลื่น ( $y$ ) ยังคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะได้

$$\frac{b}{\cos \alpha} = \text{const} \tag{2.30}$$

จากที่กล่าวข้างต้นเรา จะได้

$$\sqrt{\frac{b_1}{b_2}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_1}{\cos \alpha_2}} \tag{2.31}$$

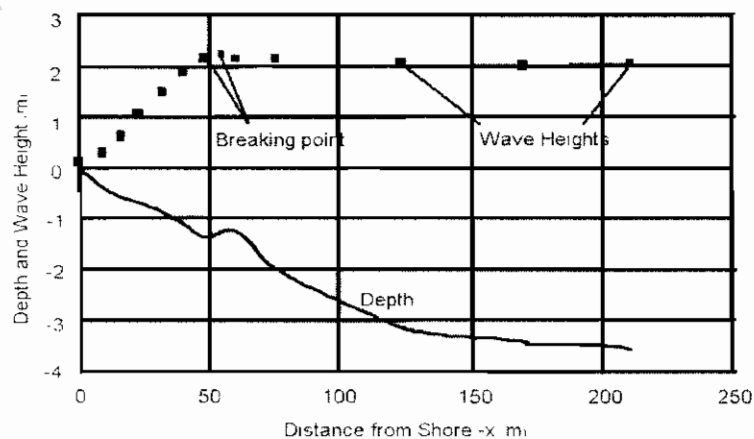
และค่าสัมประสิทธิ์การหักเหจะประมาณค่าได้จาก

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha}} \quad (2.32)$$

### 2.3.4 การแตกตัวของคลื่น

การเคลื่อนตัวเข้าสู่แผ่นดินของคลื่นทำให้ความสูงของคลื่นเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีขอบเขต เมื่อคลื่นเกิดการแตกตัวก็จะทำให้เกิดการกระจายของพลังงาน ความสูงของคลื่นขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำดังแสดงในรูปที่ 2.18 การเคลื่อนตัวเข้าสู่แผ่นดินของคลื่น การหักเหและการเลี้ยวเบน เปลี่ยนรูปจากน้ำลึกไปยังจุดที่มันแตกตัวหลังจากนั้นความสูงของคลื่นก็จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากพลังงานหายไ้ การลดลงอย่างฉับพลันของความสูงของคลื่นถูกใช้ในการอธิบายในเรื่องของการแตกตัวและกำหนดตัวแปรต่างๆ ของการแตกตัว ( $H_b$ ,  $d_b$  และ  $x_b$ )

จุดลดทอนคลื่นดังแสดงในรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นตำแหน่งการทำลายของคลื่นที่มีค่าสูงสุด แต่การเคลื่อนที่ของคลื่นที่มีความสูงที่สุดจะกระจายความสูงของคลื่นให้ลดลงเป็นช่วงสั้นๆ ตัวแปรนี้คือ  $H$  ดังแสดงในรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นค่าความสูงของคลื่นทั้งหมด บทนิยามอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการลดทอนคลื่นได้แก่ White-capping begins หรือความลาดเอียงของจุดลดทอนคลื่นเป็นแนวตั้ง ที่กล่าวมา มีความสอดคล้องกับการทดลองทางชลศาสตร์ เนื่องจากคลื่นที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างไม่สามารถเปลี่ยนแปลง  $H$  ได้มาก เท่ากับนอกจุดลดทอนคลื่นแสดงดังรูป 2.19 ค่า  $H_b$  คงที่ แต่  $X_b$  และ  $d_b$  ไม่คงที่



รูปที่ 2.18 แสดงตำแหน่งที่มากที่สุดของการแตกตัว (Kamphuis, 2000)

จุดแตกตัวในรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นถึงตำแหน่งที่มากที่สุดของการแตกตัว การอธิบายจุดแตกตัวจะเริ่มขึ้นเมื่อเกิดคลื่นฟองขาวหรือความชันของกราฟขึ้นไปถึงจุดยอด การแตกตัวของคลื่นมีหลายรูปร่างดังรูปที่ 2.19 ชนิดของการแตกตัวขึ้นอยู่กับความลาดชันของหาด  $m$  และสัดส่วนของ  $\frac{H}{L}$  เมื่อนำมารวมกันในอัตราส่วนเราก็จะได้ค่าของลักษณะของการแตกตัว

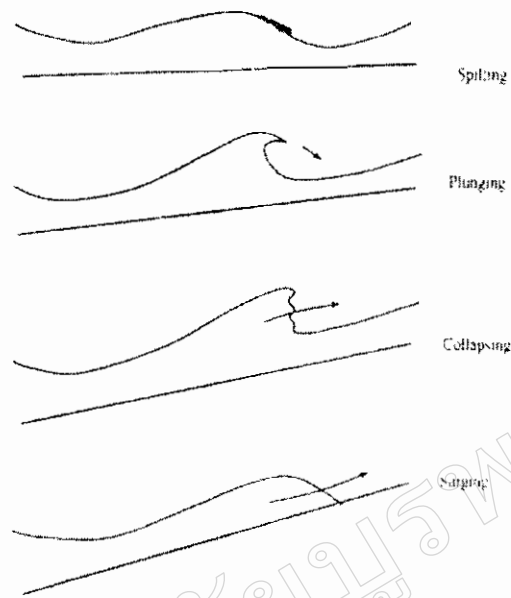
$$\xi_b = \frac{m}{\sqrt{H_b / L_0}} \quad (2.33)$$

การแตกตัวแบบสั่นทะเลัก (Spilling) จะเกิดขึ้นเมื่อ  $\xi < 0.4$  จะเกิดขึ้นบนหาดที่ความชันไม่มากและคลื่นที่สูงชันหรือทั้งสองอย่าง เพราะฉะนั้นการแตกตัวแบบสั่นทะเลักจะพบบนหาดที่ราบเรียบ

การแตกตัวแบบกระโจน (Plunging) เกิดขึ้นบนหาดที่สูงชันขึ้นหรือราบเรียบ เมื่อ  $0.42 < \xi < 2.0$  มีความหมายว่าสันคลื่นเคลื่อนที่นำหน้าส่วนหลักของคลื่นและกระโจนไปข้างหน้าอย่างรุนแรง

การแตกตัวแบบกรหักพับ (Collapsing) เกิดขึ้นที่ความชันของหาดเมื่อ  $\xi > 2.0$  คลื่นเหล่านี้จะมีลักษณะพิเศษเฉพาะ โดยที่ส่วนหน้าคลื่นจะไม่แตกกระจายออกมา

การแตกตัวแบบกระเพื่อม (Surging) เกิดขึ้นบนหาดที่มีความชันมากๆ คลื่นจะกระเพื่อมขึ้นลงอย่างชัดเจนและคลื่นจะเกิดการแตกตัวน้อยมากหรือไม่มีการแตกตัว การกระเพื่อมและการหักพับเรายังมักจะเรียกว่าการสะท้อนกลับของหาด



รูปที่ 2.19 แสดงชนิดการแตกตัวของคลื่น (Kamphuis, 2000)

ในทฤษฎีของการแตกตัวและอธิบายถึงเวลา และวิธีการแตกตัวของคลื่น ซึ่งขึ้นอยู่กับขอบเขตของอัตราส่วน ( $H_b / L_b$ ) ยังมีดัชนีของการแตกตัว ( $H_d / d_b$ ) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาอีกด้วย เกณฑ์เหมือนกับอัตราส่วนแต่ในการคำนวณหลายๆ ครั้งเรานักเรียนมาใช้เนื่องจากง่ายต่อการคำนวณ ทฤษฎีของ (Miche, 1944) ระบุไว้ถึงการแตกตัวของคลื่น

$$\frac{H_b}{L_b} = 0.14 \tanh\left(\frac{2\pi d_b}{L_b}\right) \quad (2.34)$$

หลักเกณฑ์ของทฤษฎีคลื่น (McConwan, 1894) และ (Munk, 1949)

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.78 \quad (2.35)$$

อธิบายถึงทฤษฎีการแตกตัวของคลื่นที่ได้จากการสังเกต (CERC, 1984)

$$\frac{H_n}{d_n} = \left( c_1 - c_2 \frac{H_n}{gT^2} \right) \quad (2.36)$$

เมื่อ

$$c_1 = 43.75 [1 - e^{-19m}]; c_2 = \frac{1.56}{[1 + e^{-19.5m}]} \quad (2.37)$$

จากที่กล่าวมาข้างต้นเมื่อ  $\tan \theta$  คือความลาดชันของหาด (Goda, 1970)

$$\frac{H_b}{d_b} = 0.17 \frac{L_0}{d_b} \left[ 1 - e^{-\frac{2\pi d_b}{L_0} \tan^2 \theta} \right] \quad (2.38)$$

ทฤษฎีของการแตกตัวเบื้องต้นได้ถูกพัฒนาสำหรับคลื่นที่มีความสม่ำเสมอ คลื่นทุกคลื่นมีความสูงและคาบเวลาเดียวกัน (Kamphuis, 2000) ได้เสนอสองทฤษฎีไว้สำหรับการหาข้อเท็จจริงที่มีความเหมาะสมของคลื่นที่ไม่สม่ำเสมอ ทฤษฎีนี้เป็นพื้นฐานของแบบทดสอบจำลองและใช้  $H_s$  มาอธิบายถึงความสูงของคลื่นเมื่อเกิดการแตกตัว

$$H_{sb} = 0.095 e^{4.0m} L_{hp} \tanh \left( \frac{2\pi d_b}{L_{hp}} \right) \quad (2.39)$$

และจากสมการที่ 2.34 เราสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{H_{sb}}{d_b} = 0.56 e^{4.0m} \quad (2.40)$$

สมการที่ 2.40 เป็นสมการเพิ่มเติมจากสมการที่ 2.35 สมการนี้รวมอิทธิพลของความลาดชันของหาดเราต้องทราบความสูงคลื่นนัยยะสำคัญ  $m$  เพราะ  $H_s$  ถูกวัดเทียบกับความลึก ความยาวคลื่นแตกตัวจะหาได้จาก  $d_b$  และ  $T_p$

ลักษณะการแตกตัวของคลื่นสามารถคำนวณได้จากการรวมการหักเหคลื่น และการตีตัวของคลื่น รวมทั้งเกณฑ์การแตกตัวดังกล่าวข้างต้นสมการใดสมการหนึ่ง

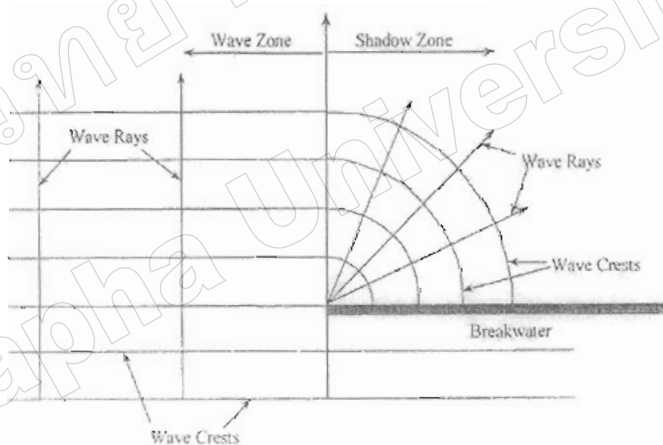
### 2.3.5 การเลี้ยวเบนของคลื่น

การเลี้ยวเบนของคลื่นเกี่ยวข้องกับกระบวนการเคลื่อนตัวของพลังงานคลื่นขวางรังสีคลื่นปรากฏการณ์นี้ถูกแยกออกจากการหักเหของคลื่น การหักเหและการเลี้ยวเบนสามารถเกิดขึ้นได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นความแตกต่างในเบื้องต้นเป็นการแยกแยะลักษณะของระบบที่มีความใกล้เคียงกัน

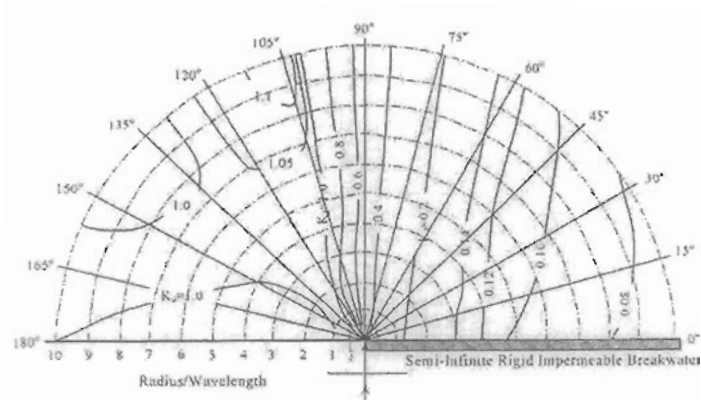


ให้แยกจากกันได้ ในปัจจุบันมีวิธีการเดี่ยวเท่านั้นที่สามารถคำนวณการหักเหและการเลี้ยวเบนด้วยกันได้ คือ การใช้คอมพิวเตอร์กับสมการที่ 2.1 และสมการที่ 2.2 อย่างไรก็ตามเราสามารถอธิบายถึงวิธีการหักเหและเลี้ยวเบนได้ การหักเหมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงความระดัปลึก เหตุที่คลื่นเข้าฝั่ง สันคลื่น และทิศทางการหันของรังสีคลื่น ส่วนการเลี้ยวเบนจะไม่เจาะจงเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความลึก แต่จะหาคำตอบสำหรับการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของคลื่น การขัดขวางการเดินทางของคลื่นซึ่งเป็นสาเหตุให้พลังงานคลื่นถูกบังคับให้ตัดผ่านรังสีคลื่น

ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนของการเลี้ยวเบนก็คือ การขัดขวางการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วยสิ่งกีดขวาง เรียกว่า เขื่อนกันคลื่น (Breakwater) ในรูปที่ 2.20 เขื่อนกันคลื่นแยกออกเป็นพื้นที่ในส่วนของคลื่นและพื้นที่ในส่วนของปกป้องกันคลื่น ในกรณีนี้จะอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานคลื่นข้ามผ่านรังสีคลื่น สันคลื่นจะทะลักเข้ามาในพื้นที่ป้องกัน สันนิษฐานให้ค่าความลึกไม่มีการเปลี่ยนแปลง การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของคลื่นคำนวณได้จากพลังงานที่ลอดเข้ามาในส่วนของพื้นที่ป้องกัน



รูปที่ 2.20 แสดงการเลี้ยวเบน (Kamphuis, 2000)

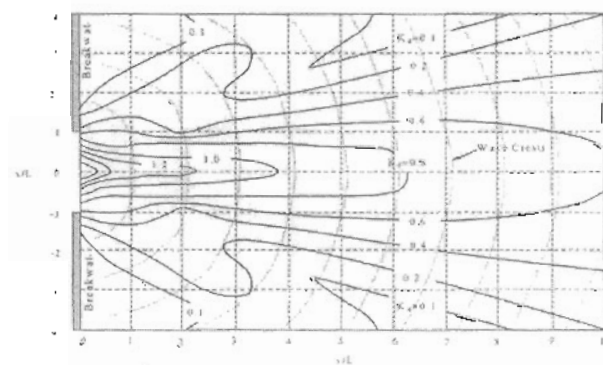


2.21 แสดงการเลี้ยวเบนที่กำแพงคลื่นเดี่ยว (Kamphuis, 2000)

รูปที่ 2.21 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์ของการเลี้ยวเบน  $K_d$  แผนภาพนำเสนอในรูปของความยาวของคลื่นทะเล (สันนิษฐานให้ความลึกคงที่) รั้งคลื่นจะถูกแยกออกด้วยพื้นที่การป้องกัน ในพื้นที่ของคลื่นความสูงของคลื่นจะประมาณครึ่งของความสูงของการเกิดคลื่นปกติ (Goda, 2000) พัฒนาลักษณะการสังเกตการณ์เดี่ยวเบนสำหรับคลื่นที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทำให้มีค่า  $K_d \approx 0.7$  ตามแนวชายฝั่งเข้าไปจนถึงพื้นที่ป้องกันซึ่งอยู่ข้างหลังเขื่อนกันคลื่น ความสูงของคลื่นจะลดลง

เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวชายฝั่งการหักเหและการเลี้ยวเบนจะเกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน ความสูงของคลื่นอาจคำนวณได้จาก

$$\frac{H}{H_0} = K_s K_r K_d \tag{2.41}$$

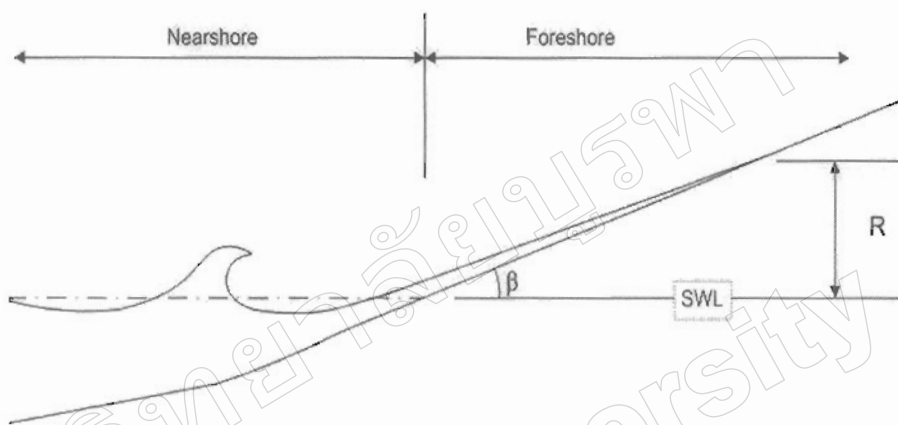


รูปที่ 2.22 แสดงการเลี้ยวเบนที่ช่องว่างระหว่างกำแพงคลื่น (Kamphuis, 2000)

## 2.4 ความสูงคลื่นซัด (Wave Runup)

### 2.4.1 คำจำกัดความ

ความสูงคลื่นซัด คือ ระดับในแนวตั้งที่คลื่นซัดขึ้นไปบนชายหาดหรือโครงสร้างชายฝั่งทะเล โดยวัดจากระดับน้ำนิ่ง ดังรูปที่ 2.23

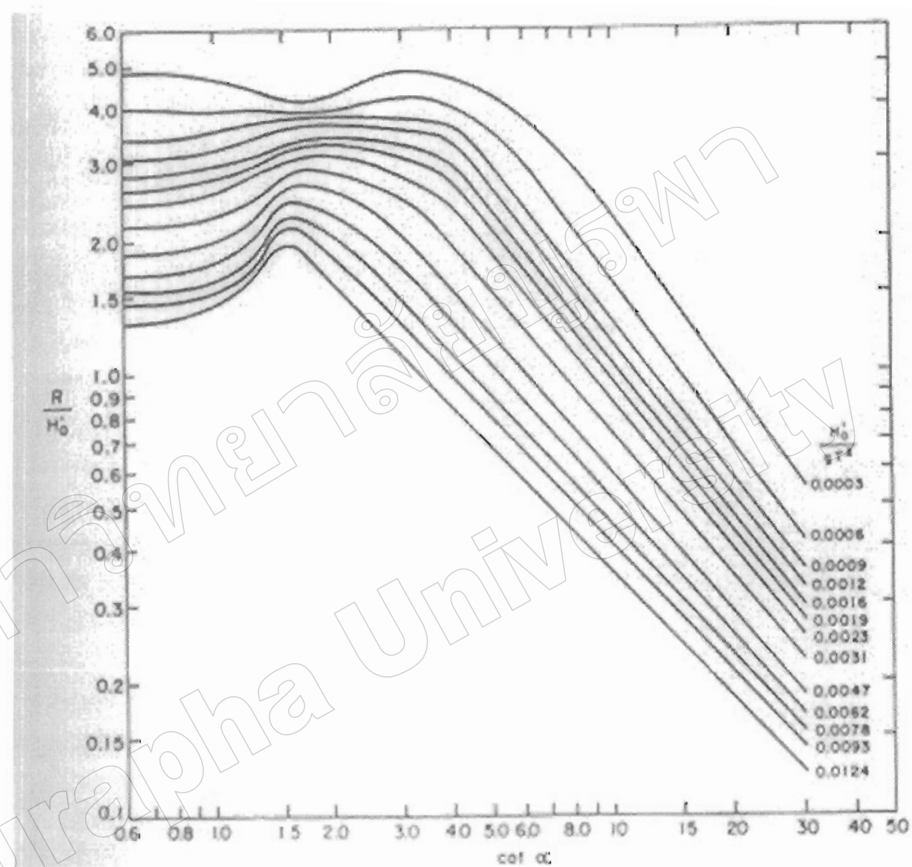


รูปที่ 2.23 ความสูงคลื่นซัด (Kamphuis, 2000)

ความสูงคลื่นซัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการก่อให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งทะเล ความสูงคลื่นซัดอาจสามารถก่อให้เกิดการกัดเซาะโดยตรงและทำลายวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างหรือทำลายบริเวณแนวชายฝั่งและบริเวณใกล้เคียงชายฝั่ง ความสูงคลื่นซัดก่อให้เกิดการกัดเซาะขึ้นได้โดยพัดพาเศษวัสดุให้หลุดออกจากสิ่งก่อสร้างนั้นๆ โดยตรง ตัวอย่างเช่น การกระทบเล็กๆ ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการยกตัวขึ้นของระดับน้ำอาจสามารถพัดพาเอาวัสดุให้ลงไปยังฐานราก หากวัตถุนั้นยังคงอยู่ที่ฐานรากมันอาจส่งผลที่ความเสถียรภาพของฐานรากได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าหาก ความสูงคลื่นซัด พัดพาเอาวัตถุไป ค่าความเสถียรของคลื่นกระทบฝั่งนั้นก็จะมีแนวโน้มที่จะลดต่ำลง

### 2.4.2 การคำนวณหาค่าความสูงคลื่นซัด

การคำนวณหาค่าความสูงคลื่นซัดมีด้วยกัน 5 สูตร ดังแสดงตามตารางที่ 2.5 พร้อมข้อเสนอแนะถึงความแตกต่างของแต่ละสูตร



รูปที่ 2.24 CERC wave runup chart solution (Sorensen, 1997)

ตารางที่ 2.5. แสดงสมการที่นายความสูงคลื่นจัด

Method	Source	Setting	Waves	Slope	Equations	Comment
Hunt	Hunt, 1915 Barter, 1974	Laboratory	Regular	Smooth, Impermeable, continuous	$\frac{R}{H} = \frac{\tan \theta}{\sqrt{H \cdot L}} = \frac{L}{H}$	$0.11 < \frac{L}{H} < 0.3$
CERC	CERC Shore Protection Manual, 1984	Laboratory	Regular	Smooth, Impermeable, continuous	Chart Solution, see figure 2.13	$\frac{d_s}{H_0} = 2.0$
Mare	Mare, 1959	Laboratory	Irregular	Smooth, Impermeable, Continuous, Gentle $\phi = 19^\circ - 113^\circ$	$\frac{R}{H} = a' \frac{L'}{H}$ $R_{2.5} : a' = 1.86, b' = 0.71$ $\bar{R} : a' = 0.88, b' = 0.69$	$0.007 = \frac{H_0}{L_0} = 0.07$
Nielsen And Hendson	Nielsen and Hendson, 1991	Field	Irregular	Natural Sand Beaches $\phi = 15^\circ - 108^\circ$ and Mean grain size $= 0.15 - 0.8 \text{ mm}$	$R = C \cdot L'$ $R_{2.5} : C = 1.98, \bar{R} : C = 0.89$ $\tan \theta \geq 0.1, L' = 0.6(H_0 L_0)^{0.5} \tan \theta$ $\tan \theta < 0.1, L' = 0.05(H_0 L_0)^{0.5} \tan \theta$	d in mm. $W_{57}$ in cm's $W_{57}$ for fresh water and $0.15 \leq d_{57} \leq 0.85 \text{ mm}$
Abram And Seelig	Abram and Seelig, 1996	Laboratory and Field	Irregular	Sand and Gravel Beaches	$\frac{R_{2.5}}{H} = \frac{4.1}{N} \sqrt{\frac{d_m}{d_{57}}}$ $N = \frac{H}{W_{57} T} ; W_{57} = 14.5(d_{57})^{1.1}$	

### 2.4.3 การคำนวณวัดค่าความสูงคลื่นซัด

ความสูงคลื่นซัดได้ถูกวัดในภาคสนามเพื่อใช้ในการพิจารณาหาค่าความสูงคลื่นซัดที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการศึกษามีการใช้กล้องวิดีโอบันทึกภาพในส่วนของความสูงคลื่นซัดในสถานที่ศึกษาเป็นส่วนใหญ่ สำหรับในสถานะสงบนิ่ง จะต้องทำการตอกหมุดเป็นเส้นตรงแนวตั้ง ดังรูปที่ 2.26 พื้นที่ราบเรียบชายฝั่งใช้ เครื่องวัดความลาดเอียง (Inclinometer) ในการวัด กล้องวิดีโอที่ใช้บันทึกความสูงคลื่นซัดจะทำการบันทึกเพื่อหาค่าสูงสุดของความสูงคลื่นซัดของคลื่นแต่ละลูก การคำนวณหา ความสูงคลื่นซัดจะต้องทราบถึงระยะตามแนวหาดที่คลื่นซัด (WRL) และมุมมองสายของชายฝั่ง

$$R_i = (WRL)_i \sin \theta \quad (2.42)$$

โดย

$i$  คือค่า จำนวนของแต่ละคลื่น



รูปที่ 2.25 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าการบันทึกความสูงคลื่นซัด

ตัวอย่างการตั้งค่าการบันทึกความสูงคลื่นซัด (ในสถานะสงบนิ่ง) ตั้งกล้องบันทึกภาพไว้ด้านหลังของหมุดสี่เหลี่ยมที่ตอกในแนวตั้งเป็นระยะที่ห่างกัน 0.3 เมตร

ในภาวะที่เกิดพายุ (Storm) จะต้องทำพิจารณาหาสูตรที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำมาคำนวณหาค่าประมาณการของความสูงคลื่นซัดในระหว่างที่เกิดพายุขึ้น ด้วยวิธีการเดียวกันกับการบันทึกระยะ

ตามแนวทางของคลื่นซัดในช่วงคลื่นสงบ ระยะเวลาแนวทางของคลื่นซัดในช่วงพายุจะถูกถอดข้อมูลออกจากข้อมูลภาพที่บันทึกได้ ยกเว้น ในกรณีที่ระยะดังกล่าวถูกวัดโดยตรง

#### 2.4.4 การพิจารณาค่าความสูงคลื่นซัดที่เหมาะสม

ในการคำนวณหาค่าความสูงคลื่นซัดในที่นี่จะทำการเปรียบเทียบกับสูตร ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากว่าเป็นวิธีการคำนวณที่ก่อให้เกิดค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด ค่าเฉลี่ยของความสูงคลื่นซัด ได้ถูกคำนวณเพื่อหาข้อมูลความสูงคลื่นซัดและค่าความสูงคลื่นซัด 2 เปอร์เซนต์ จะนำไปคำนวณจากค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้นของความสูงคลื่นซัด

#### 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ความสูงคลื่นซัดในภาคสนาม

บริเวณหาดวนนภา ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี จะถูกกั้นโดยโครงสร้างกำแพงกันคลื่นลักษณะเป็นหินเรียงด้านบนของเป็นทางเดิน ซึ่งมีนักท่องเที่ยวและผู้คนที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นมาทำกิจกรรมต่างๆ แต่เมื่อมีระดับน้ำสูงขึ้นประกอภกับลมที่พัดเข้าฝั่งมีกำลังแรงทำให้เกิดคลื่นซัดสูงข้ามกำแพงกันคลื่นทำให้นักท่องเที่ยวและผู้อยู่อาศัยบริเวณนั้นเกิดความไม่สะดวกในการทำกิจกรรมและอาจจะเป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จะเป็นสิ่งจำเป็นต่อการจัดการและเตือนภัยบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลเพื่อลดความเสียหาย

ซึ่งในงานวิจัยนี้เราได้ทำการศึกษาต่อจากของ วณิชย์ ชื่นใจ มนต์รินทร์ และ พุฒิพงศ์ พรหมเทพ โดยการเก็บบันทึกข้อมูลความสูงคลื่นซัดต้องอาศัยข้อมูลระดับน้ำทะเลซึ่งได้จากกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือแบ่งเป็นรายชั่วโมงเพื่อความสะดวกสบายในการเลือกเวลาในการไปเก็บข้อมูล ทำการเก็บข้อมูลจากภาคสนามด้วยกล้องดิจิทัลเป็นไฟล์วีดีโอนาน 1 นาทีและไฟล์ภาพถ่าย 1 รูป ในตำแหน่งเดิมทุกวัน แล้วย่านมาบันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์เป็นสเกลความสูงคลื่นซัด

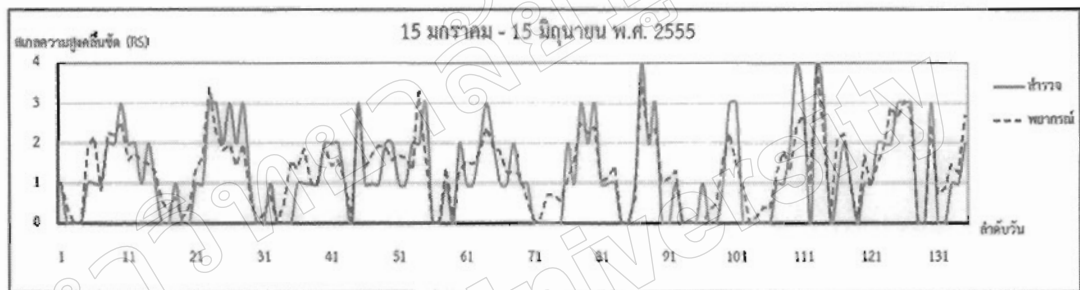
สเกลความสูงคลื่นซัดที่ใช้ในการศึกษานี้ถูกพิจารณาจากไฟล์วีดีโอและภาพถ่าย โดยแบ่งเป็น 5 สเกล ดังนี้ ระดับ 0 คือระดับคลื่นซัดสูงสุดอยู่บริเวณเชิงกำแพงหรือต่ำกว่า ระดับ 1 คือระดับคลื่นซัดสูงสุดอยู่บริเวณ  $\frac{1}{4}$  ของกำแพง, ระดับ 2 คือระดับคลื่นซัดสูงสุดอยู่บริเวณ  $\frac{1}{2}$  ของกำแพง, ระดับ 3 คือระดับคลื่นซัดสูงสุดอยู่บริเวณ  $\frac{3}{4}$  ของกำแพง, ระดับ 4 คือระดับคลื่นซัดสูงสุดเท่ากับหรือสั้นข้ามกำแพง

แล่นนำข้อมูลข้างต้นมาวิเคราะห์ทางสถิติ เริ่มจากใช้ข้อมูลอุณิยมวิทยาทางทะเลเบื้องต้นมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation:  $r$ ) ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นระหว่างตัวแปร 2 ตัว หลังจากนั้นจะเป็นการทดสอบสมมติฐาน

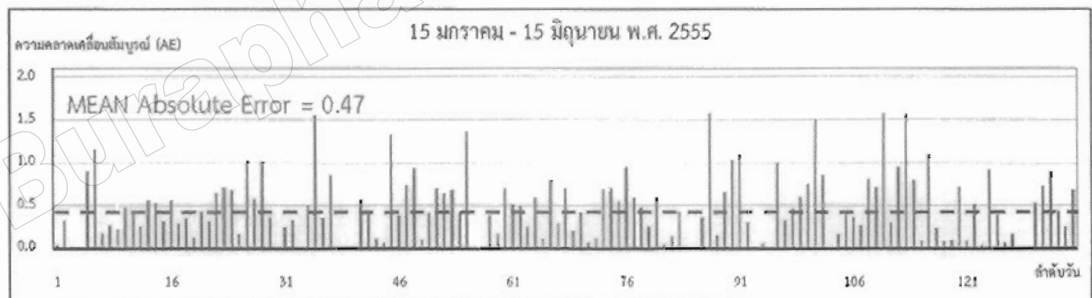
นัยสำคัญ ซึ่งจะเป็นการเลือกตัวแปรอิสระที่มีค่าระดับนัยสำคัญของการทดสอบมากพอเท่านั้น ซึ่งจะได้สมการดังนี้

$$RS = -2.00 + 1.17LV + 0.69LVHS + 0.52LVIW \quad (2.43)$$

เมื่อนำค่าตัวแปรต่างๆ มาแทนลงในสมการที่ 2.43 จะได้ค่า  $RS$  ซึ่งก็คือสเกลพยากรณ์ความสูงคลื่นซัด แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าสเกลความสูงคลื่นซัดจากการประมาณเพื่อเป็นการทดสอบความแม่นยำในการพยากรณ์ความสูงคลื่นซัดของสมการว่าสามารถนำไปใช้ได้จริงหรือไม่ รูปที่ 2.26 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างสเกลความสูงคลื่นซัดจากการสำรวจกับการทำนาย และรูปที่ 2.27 แสดงค่ากลางของความคลาดเคลื่อนความสูงคลื่นซัดจากกราฟที่ 2.26 มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.47 จะได้ความสามารถในการทำนายสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.26 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าระหว่างสเกลความสูงคลื่นซัดจากการสำรวจกับการทำนาย



รูปที่ 2.27 แสดงค่ากลางของความคลาดเคลื่อนความสูงคลื่นซัด



## บทที่ 3

### วิธีการศึกษา

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล

##### 3.1.1 กล้องดิจิทัล

เลือกใช้กล้องที่สามารถบันทึกภาพเคลื่อนไหวได้ และมีคุณสมบัติกันน้ำ เนื่องจากมีโอกาสที่จะสัมผัสกับละอองน้ำทะเล ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้กล้องดิจิทัลยี่ห้อ Olympus รุ่น Mu Tough-3000 (3-m Water proof) ดังรูปที่ 3.1

##### 3.1.2 ขาตั้งกล้อง

ใช้ตั้งกล้องแทนการถือเพื่อลดการสั่นของรูป ดังรูปที่ 3.2 และสามารถปรับระดับความสูงเพื่อให้ตำแหน่งและระยะของภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกอยู่ในจุดเดิม

##### 3.1.3 ตารางบันทึกการเก็บข้อมูล

สำหรับบันทึกวันที่ เวลา และหมายเหตุในการเก็บข้อมูล ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 กล้องดิจิทัลยี่ห้อ Olympus รุ่น Mu Tough-3000 (3-m Water proof)



ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีเกาะสี่ซัง (ชลบุรี) ซึ่งเป็นสถานีที่ใกล้เคียงกับหาดวนนภามากที่สุด

70 เกาะสี่ซัง (ชลบุรี) Ko Si Chang (Chon Buri) ละติจูด (Lat) 13 ° 09' 30" N.(N) ลองจิจูด (Long) 100 ° 48' 41" E.(E) ตุลาคม ๒๕๕๔ October 2011																								
วันที่ DATE	HOURS																							
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	HEIGHTS OF WATER IN METERS																							
1	0.9	0.7	0.9	1.3	1.8	2.4	2.9	3.3	3.4	3.5	3.1	2.7	2.5	2.3	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2	3.1	2.9	2.5	2.0	1.4
2	1.0	0.7	0.7	0.9	1.3	1.9	2.4	2.9	3.2	3.3	3.3	3.1	2.8	2.6	2.5	2.6	2.7	2.9	3.1	3.1	3.0	2.7	2.2	1.7
3	1.2	0.9	0.7	0.7	1.0	1.4	1.9	2.4	2.9	3.1	3.3	3.2	3.1	2.9	2.8	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.0	2.8	2.5	2.0
4	1.6	1.2	0.9	0.8	0.9	1.1	1.5	2.0	2.4	2.8	3.1	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	2.9	2.6	2.3	1.8
5	1.9	1.6	1.3	1.0	1.0	1.1	1.3	1.7	2.1	2.4	2.8	3.0	3.1	3.2	3.1	3.1	3.0	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.5
6	2.2	1.9	1.7	1.4	1.3	1.2	1.3	1.5	1.8	2.1	2.5	2.8	3.0	3.1	3.2	3.1	3.1	3.0	2.8	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5
7	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.5	1.5	1.6	1.9	2.2	2.5	2.8	3.0	3.2	3.2	3.1	3.0	2.8	2.7	2.5	2.4	2.4	2.4
8	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.6	1.8	2.0	2.3	2.6	2.9	3.1	3.2	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.2	2.2	2.2
9	2.3	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	1.9	1.8	1.7	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.2	3.2	3.1	2.9	2.6	2.3	2.0	1.9	1.9
10	2.1	2.3	2.6	2.7	2.8	2.7	2.5	2.3	2.0	1.9	1.8	1.9	2.2	2.5	2.9	3.1	3.2	3.1	2.9	2.6	2.2	1.8	1.7	1.6
11	1.8	2.1	2.4	2.8	3.0	3.0	2.9	2.6	2.5	2.1	1.9	1.9	2.0	2.4	2.7	3.0	3.2	3.1	2.9	2.6	2.2	1.8	1.7	1.4
12	1.5	1.8	2.2	2.7	3.0	3.2	3.2	3.0	2.7	2.4	2.3	2.0	2.0	2.2	2.5	2.9	3.1	3.1	3.0	2.7	2.3	1.8	1.4	1.2
13	1.2	1.5	1.9	2.4	2.9	3.2	3.3	3.2	3.0	2.7	2.5	2.1	2.1	2.2	2.4	2.7	3.0	3.1	3.0	2.7	2.3	1.8	1.4	1.1
14	1.0	1.2	1.6	2.1	2.7	3.1	3.3	3.4	3.2	2.9	2.6	2.3	2.2	2.3	2.4	2.6	2.9	3.0	3.0	2.8	2.4	1.9	1.5	1.1
15	1.0	1.0	1.3	1.8	2.4	2.9	3.2	3.4	3.4	3.1	2.9	2.6	2.4	2.3	2.4	2.6	2.8	3.0	3.0	2.9	2.5	2.1	1.6	1.3
16	0.9	0.9	1.1	1.5	2.0	2.6	3.0	3.3	3.4	3.3	3.1	2.8	2.6	2.4	2.4	2.6	2.8	2.9	3.0	2.9	2.7	2.3	1.8	1.4
17	1.0	0.9	0.9	1.2	1.7	2.2	2.7	3.0	3.1	3.3	3.2	3.0	2.8	2.6	2.6	2.6	2.7	2.9	3.0	2.9	2.7	2.4	2.0	1.6
18	1.2	1.0	0.9	1.1	1.4	1.9	2.4	2.8	3.1	3.3	3.3	3.2	3.0	2.8	2.7	2.7	2.8	2.9	2.9	2.8	2.5	2.2	1.8	1.4
19	1.4	1.1	1.0	1.0	1.3	1.6	2.1	2.5	2.8	3.1	3.3	3.2	3.1	3.0	2.9	2.8	2.8	2.9	2.9	2.8	2.6	2.3	2.0	1.6
20	1.7	1.4	1.3	1.1	1.2	1.5	1.4	2.2	2.6	2.9	3.1	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.7	2.5	2.2
21	1.9	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4	1.6	2.0	2.3	2.6	2.9	3.1	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.8	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4
22	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.6	1.8	2.1	2.4	2.7	2.9	3.1	3.2	3.2	3.1	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4
23	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7	1.7	1.9	2.1	2.4	2.7	3.0	3.2	3.2	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.3	2.2	2.2	2.3	2.3
24	2.4	2.5	2.3	2.3	2.3	2.2	2.0	1.9	1.9	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0	3.2	3.2	3.1	2.9	2.6	2.2	2.0	1.8	1.8	2.0
25	2.2	2.5	2.7	2.8	2.8	2.7	2.5	2.3	2.0	2.0	2.0	2.2	2.5	2.9	3.1	3.2	3.1	2.9	2.6	2.2	1.8	1.5	1.4	1.5
26	1.8	2.2	2.6	3.0	3.1	3.1	3.0	2.7	2.4	2.2	2.1	2.1	2.4	2.7	3.0	3.2	3.2	3.0	2.6	2.2	1.7	1.5	1.4	1.1
27	1.3	1.8	2.3	2.8	3.2	3.4	3.4	3.2	2.9	2.5	2.5	2.3	2.3	2.5	2.8	3.1	3.2	3.1	2.9	2.5	2.0	1.4	0.9	0.8
28	0.9	1.2	1.8	2.4	3.0	3.4	3.6	3.5	3.3	3.0	2.7	2.4	2.3	2.5	2.7	3.0	3.1	3.1	2.9	2.5	2.0	1.4	1.0	0.7
29	0.6	0.8	1.2	1.9	2.3	3.1	3.5	3.6	3.6	3.4	3.1	2.8	2.6	2.6	2.7	2.9	3.1	3.1	3.0	2.7	2.3	1.7	1.2	0.8
30	0.5	0.5	0.8	1.3	2.0	2.6	3.1	3.3	3.6	3.6	3.4	3.1	2.9	2.7	2.7	2.8	3.0	3.1	3.1	2.9	2.5	2.0	1.5	1.0
31	0.7	0.5	0.6	0.9	1.5	2.1	2.6	3.1	3.4	3.6	3.5	3.1	3.1	2.9	2.8	2.8	2.9	3.0	3.0	3.0	2.7	2.3	1.9	1.4

รูปที่ 3.4 ข้อมูลระดับน้ำรายชั่วโมงจากสถานีเกาะสี่ซัง (ชลบุรี)

### 3.2. ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

#### 3.2.1 ก่อนทำการเก็บข้อมูล

(ก) ตรวจสอบดูตารางค่าระดับน้ำรายชั่วโมง ในการเก็บข้อมูลจะเลือกใช้ค่าระดับน้ำที่มีค่ามากที่สุดที่จะสามารถอ่านค่าได้ คือค่าระดับน้ำต้องสูงถึงระดับต่ำสุดของกำแพงกันคลื่น และเลือกใช้ค่าระดับน้ำให้มีความแตกต่างกันไปในแต่ละวันเพื่อความครอบคลุมของค่าพยากรณ์

(ข) ตรวจสอบสภาพของเครื่องมือ ให้มีความพร้อมการเก็บข้อมูล ได้แก่ กล้องดิจิทัลและขาตั้งกล้อง

### 3.2.2 การเก็บข้อมูล

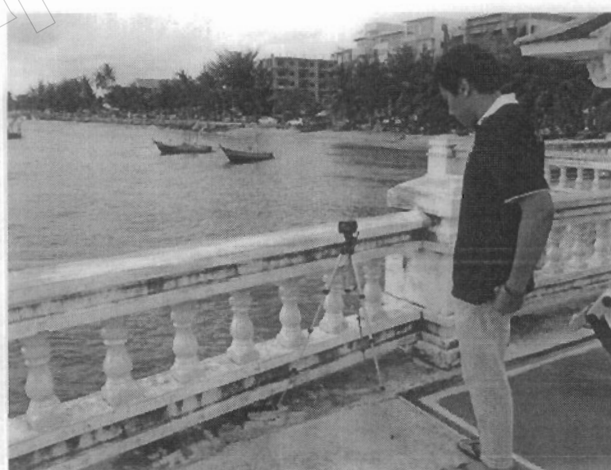
(ก) ทำการตั้งค่าต่างๆ ของกล้อง ดังนี้ ตั้งค่าโหมดการถ่ายภาพเป็น โหมดซีน (Scene mode) ซึ่งเป็นโหมดที่เหมาะสมกับสภาพแสงอัตโนมัติ ตั้งค่ารูรับแสง (Filter) เท่ากับศูนย์ ตั้งค่าขนาดของรูปให้สูงสุด (3264 x 2448 พิกเซล) และใช้เป็นค่าเดียวกันนี้ทุกครั้งที่ทำกรเก็บข้อมูล

(ข) ทำการตั้งกล้อง ณ บริเวณศาลาเอนกประสงค์ หาดวอนนภา โดยทำการโฟกัสภาพให้กำแพงกันคลื่นอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของเฟรมภาพ จักระยะการซูม โดยกำหนดให้เป็นจุดเดียวกัน ทุกครั้งที่ทำการเก็บข้อมูล อาจจำสิ่งก่อสร้าง เช่น อาคารหรือต้นไม้ เป็นสัญลักษณ์เพื่อให้ได้ภาพที่อยู่ในบริเวณเดียวกันทุกครั้ง การตั้งกล้องแสดงในรูปที่ 3.5

(ค) ทำการบันทึกข้อมูล เป็นภาพถ่าย จำนวน 1 ไฟล์ และภาพเคลื่อนไหวความยาว 1 นาที จำนวน 1 ไฟล์ ทำการบันทึกวัน เวลา ที่ทำการเก็บข้อมูลลงในตารางบันทึกการเก็บข้อมูล ตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายแสดงในรูปที่ 3.6

(ง) ข้อมูลเวลากลางคืน เป็นข้อมูลที่ได้จากการจดบันทึกในเวลากลางคืนที่กล้องดิจิทัลไม่สามารถบันทึกได้เนื่องจากแสงไม่เพียงพอในการบันทึกภาพและวิดีโอ เราจึงทำการเก็บข้อมูลโดยการจดบันทึกค่าระดับน้ำตามสเกลที่เรากำหนดโดยอ้างอิงจากรูปภาพที่ถ่ายก่อนน้ำขึ้นเป็นจำนวน 3 ครั้ง แสดงในรูปที่ 3.7

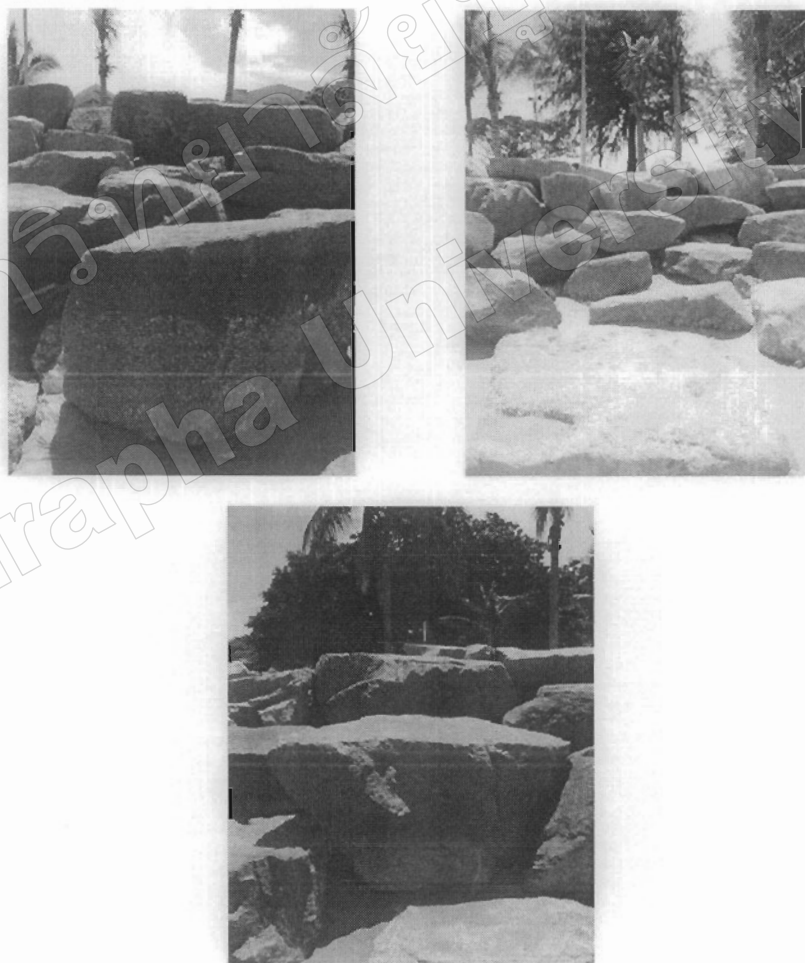
(จ) การตรวจสอบ เพื่อการตรวจสอบสมการของเรากับสมการพยากรณ์ความสูงคลื่นอื่นๆ โดยที่เราต้องไปเก็บข้อมูลความกว้างและความสูงของกำแพงกันคลื่นบริเวณหาดวอนนภา ต.แสนสุข อ.เมือง จังหวัดชลบุรี



รูปที่ 3.5 การตั้งกล้องเพื่อเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.6 ภาพที่ได้จากการเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งและระดับก่อนน้ำขึ้น ได้แก่ตำแหน่ง A, B และ C ตามลำดับ

### 3.2.3 หลังการเก็บข้อมูล

(ก) นำไฟล์ข้อมูลบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ และทำการตั้งชื่อไฟล์เป็นแบบ “YYMMDD\_HHMM” โดยที่ YY = ปีที่ (ค.ศ.), MM = เดือนที่, DD = วันที่, HH = ชั่วโมงที่, MM = นาทีที่ (ความละเอียด 10 นาที) เช่น ไฟล์ของวันที่ 15 ก.ย. 54 เวลา 16.10 น. ให้ตั้งชื่อไฟล์เป็น 110915\_1610 ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างชื่อไฟล์ข้อมูล

(ข) นำข้อมูลที่บันทึกได้ในตอนกลางคืนมาบันทึกใส่คอมพิวเตอร์ โดยคอลัมน์แรกเป็นวัน เวลาในการบันทึกซึ่งเราจะใช้วันเวลาตามชื่อไฟล์ในข้อ (ก) คอลัมน์ที่ 2, 3 และ 4 เป็นตำแหน่งในการเก็บข้อมูล ดังรูปที่ 3.9

Date_Time	A	B	C
130715_2110	3	3	4
130716_2130	2	2	2
130717_2200	1	1	1
130718_2040	2	3	2
130726_2245	1	1	1
130728_2000	3	2	3

รูปที่ 3.9 การบันทึกข้อมูลตอนกลางคืนในคอมพิวเตอร์

(ค) นำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบ โดยเปรียบเทียบสมการของเราที่ได้จากการคำนวณข้อมูลข้างต้นกับสมการพยากรณ์ความสูงคลื่นอื่นๆที่มีอยู่

### 3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

#### 3.3.1 การกำหนดสเกล RS

สเกลระดับการซัดที่ใช้ในการศึกษานี้ถูกพิจารณาจากไฟล์วิดีโอและภาพถ่าย โดยแบ่งเป็น 5 สเกล ดังนี้

- (ก) ระดับ 0 คือระดับคลื่นซัดสูงสุดอยู่บริเวณเชิงกำแพงหรือต่ำกว่า
- (ข) ระดับ 1 คือระดับคลื่นซัดสูงสุดอยู่บริเวณ  $\frac{1}{4}$  ของกำแพง
- (ค) ระดับ 2 คือระดับคลื่นซัดสูงสุดอยู่บริเวณ  $\frac{1}{2}$  ของกำแพง
- (ง) ระดับ 3 คือระดับคลื่นซัดสูงสุดอยู่บริเวณ  $\frac{3}{4}$  ของกำแพง
- (จ) ระดับ 4 คือระดับคลื่นซัดสูงสุดเท่ากับหรือสั้นข้ามกำแพง

#### 3.3.2 การกำหนดสเกลความสูงคลื่นซัด

สเกลความสูงคลื่นซัดที่ใช้ในการศึกษานี้ถูกพิจารณาจากไฟล์วิดีโอและภาพถ่าย จะแบ่งเป็น 5 สเกล ตั้งแต่ 0 ถึง 4 โดยการวัดความสูงเฉพาะความสูงของคลื่น โดยที่ไม่สนใจระดับน้ำ ซึ่งจะมีความคล้ายคลึงกับการกำหนดสเกลระดับการซัด คือ ต่อ 1 ระดับสเกลจะมีความสูงอยู่ที่  $\frac{1}{4}$  ของกำแพงนั่นเอง

#### 3.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ

ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทางทะเลเบื้องต้นที่ได้จากกรมพยากรณ์โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือและกรมอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ระดับน้ำทะเล ( $L1$ ), ความสูงคลื่นนัยสำคัญ ( $H_S$ ), ทิศทางคลื่นเฉลี่ย ( $MD$ ), คาบคลื่นเฉลี่ย ( $MP$ ), ความเร็วลม ( $WS$ ) และทิศทางลม ( $WD$ )

#### 3.3.4 การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้น โดยอธิบายหรือบรรยายลักษณะของข้อมูลที่เก็บรวบรวม และสรุปเฉพาะลักษณะที่สำคัญของข้อมูลของกลุ่มที่ศึกษา โดยแบ่งชนิดของตัวแปรเป็น ตัวแปรเชิงปริมาณ (Scale) คือ ข้อมูลที่สามารถจัดได้ว่ามีค่ามากหรือน้อยซึ่งแสดงเป็นตัวเลข เช่น

ความถี่รวม ( $WS$ ), ความสูงคลื่นนัยสำคัญ ( $HS$ ), ค่าระดับน้ำทะเล ( $LV$ ) เป็นต้น และ ตัวแปรเชิงกลุ่ม (Nominal และ Ordinal) คือ ข้อมูลที่แบ่งแยกเป็นกลุ่มโดยไม่มีการเรียงลำดับของข้อมูล โดยถือว่าแต่ละกลุ่มมีค่าเท่าเทียมกัน เช่น ข้อมูลทิศทางลม ( $WD$ ) เป็นต้น การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย การวัดค่ากลางของข้อมูล (Central Tendency), การวัดค่าการกระจายของข้อมูล (Dispersion) และ การแสดงการแจกแจงของข้อมูลเชิงปริมาณ (Distribution)

### 3.3.5 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

การวิเคราะห์ทางสถิติเริ่มจากใช้ข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยทางทะเลเบื้องต้นมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's correlation:  $r$ ) ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นระหว่างตัวแปร 2 ตัว หลังจากนั้นจะเป็นการทดสอบสมมติฐานนัยสำคัญ ซึ่งจะเป็นการเลือกตัวแปรอิสระที่มีค่าระดับนัยสำคัญของการทดสอบมากพอเท่านั้น เพื่อการพัฒนาสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณอย่างง่าย

### 3.3.6 การเปรียบเทียบผลการทำนายของสมการ

โดยจะทำเปรียบเทียบผลการทำนายของสมการ ดัชนีความสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี กับผลการทำนายของสมการ เรขาคณิตความสูงคลื่นชนิดอื่นๆ ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ความแม่นยำและความสามารถในการใช้จริงของสมการ เรขาคณิตความสูงคลื่นชนิดบริเวณหาดวอนนภา



## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลแล้วก็ถึงขั้นตอนในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เชิงสถิติ โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS for Windows ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยข้อมูลที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ได้แก่ ตัวแปรตาม (Independent Variable,  $Y$ ) ได้แก่ สเกลค่าระดับการซัด (Run-up Elevation Scale,  $RS$ ) กับค่าความสูงคลื่นซัด (Wave Run-up Scale,  $WR$ ) และตัวแปรอิสระ (Independent Variable,  $X$ ) คือ ปัจจัยต่างๆ ที่ก่อให้เกิดความสูงคลื่นซัด ได้แก่ ค่าระดับน้ำ (Water Level (m),  $LV$ ) ความเร็วลม (Wind Speed (m/s),  $WS$ ) ทิศทางลม (Wind Direction (degree),  $WD$ ) ความสูงคลื่นนัยสำคัญ (Significant Wave Height (m),  $HS$ ) ค่ากลางของทิศทางคลื่น (Mean Wave Direction (degree),  $MD$ ) ความสูงคลื่นสูงสุด (Maximum Wave Height,  $HM$ ) ค่ากลางของความถี่คลื่น (Mean Wave Frequency (Hz),  $MF$ ) ค่ากลางของคาบคลื่น (Mean Wave Period (sec),  $PM$ ) และคาบคลื่นสูงสุด (Wave Peak Period (sec),  $PP$ ) ซึ่งเมื่อได้ผลการวิเคราะห์แล้วจะนำเสนอในรูปแบบของสมการความถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เพื่อพยากรณ์ค่าความสูงคลื่นซัดแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าความสูงคลื่นซัดที่ได้จากการเก็บข้อมูล หลักในการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

#### 4.1 การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics)

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเบื้องต้น โดยอธิบายหรือบรรยายลักษณะของข้อมูลที่เก็บรวบรวม และสรุปเฉพาะลักษณะที่สำคัญของข้อมูลของกลุ่มที่ศึกษา โดยแบ่งชนิดของตัวแปรเป็น ตัวแปรเชิงปริมาณ (Scale) คือ ข้อมูลที่สามารถจัดได้ว่ามีค่ามากหรือน้อยซึ่งแสดงเป็นตัวเลข เช่น ลมเร็ว ลม ความสูงคลื่น ค่าระดับน้ำ เป็นต้น และ ตัวแปรเชิงกลุ่ม (Nominal และ Ordinal) คือ ข้อมูลที่แบ่งแยกเป็นกลุ่มโดยไม่มีการเรียงลำดับของข้อมูล โดยถือว่าแต่ละกลุ่มมีค่าเท่าเทียมกัน เช่น ข้อมูลทิศทางลม เป็นต้น การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนาประกอบด้วย

#### 4.1.1 การวัดค่ากลางของข้อมูล (Central Tendency)

ค่ามัธยฐาน (Median) : ค่ากลางของข้อมูลที่แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน

ฐานนิยม (Mode) : ค่าของข้อมูลที่มีความถี่สูงสุด

✓ ค่าเฉลี่ย (Mean,  $\bar{X}$ ) : ค่ากลางของข้อมูล คำนวณโดยใช้สูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่าง

#### 4.1.2 การวัดค่าการกระจายของข้อมูล (Dispersion)

พิสัย (Range) : ค่าสูงสุดของข้อมูล - ค่าต่ำสุดของข้อมูล

ค่าสูงสุด (Maximum) : ค่าที่มากที่สุดในช่วงข้อมูล

ค่าต่ำสุด (Minimum) : ค่าที่น้อยที่สุดในชุดข้อมูล

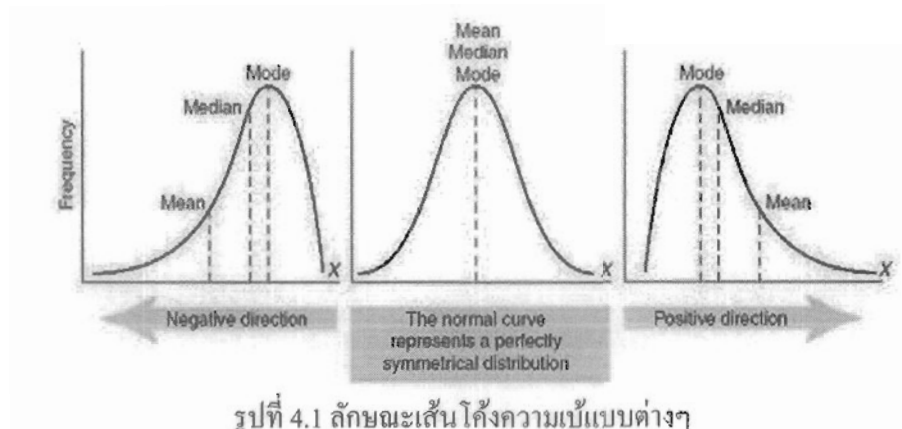
ค่าแปรปรวน (Variance) : เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลโดยพิจารณาจากความแตกต่าง ระหว่างข้อมูลแต่ละค่ากับค่าเฉลี่ย มีหน่วยเป็นหน่วยของข้อมูลยกกำลังสอง

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) : ค่าที่ใช้วัดการกระจายที่นิยมใช้กันมาก

ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard Error of Mean: S.E. mean) : เป็นการสุ่มข้อมูลบางส่วนหรือที่เรียกข้อมูลตัวอย่าง กรณีที่เป็นข้อมูลเชิงปริมาณจะสามารถหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลได้

#### 4.1.3 การแสดงการแจกแจงของข้อมูลเชิงปริมาณ (Distribution)

ความเบ้ (Skewness) : เป็นค่าที่ใช้วัดลักษณะของเส้นโค้งหรือลักษณะของข้อมูลว่าเบ้หรือไม่ เส้นโค้งปกติมีความสมมาตร จะมีความเบ้เป็นศูนย์ นั่นคือ มีการแจกแจงแบบปกติ ถ้าความเบ้เป็นบวก เส้นโค้งจะเบ้ไปทางขวา ถ้าความเบ้เป็นลบ เส้นโค้งจะเบ้ไปทางซ้าย ดังรูปที่ 4.1 แสดงเส้นโค้งของค่าเบ้ของข้อมูลแบบต่างๆ



รูปที่ 4.1 ลักษณะเส้นโค้งความเบ้แบบต่างๆ

สมการคำนวณค่าความเบ้ของข้อมูล

$$\text{Skewness} = \frac{n \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \quad (4.2)$$

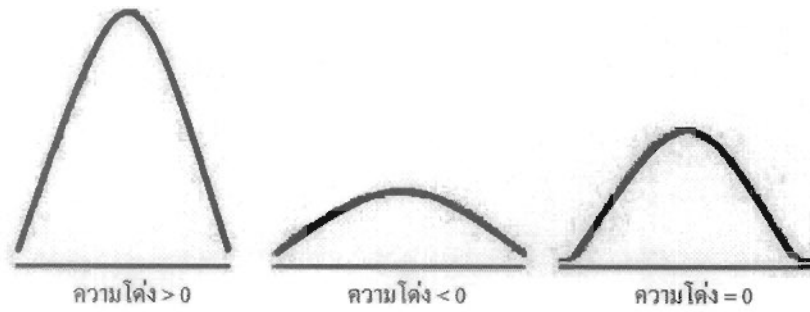
เมื่อ  $n$  คือ จำนวนข้อมูล  
 $\bar{X}$  ค่าเฉลี่ยตัวแปรอิสระ  
 $X_i$  ค่าตัวแปรอิสระ  
 $S$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความโค้ง (Kurtosis) : เป็นค่าที่ใช้วัดความโค้งของกราฟของข้อมูลเชิงปริมาณ ถ้าค่าความโค้งเป็นศูนย์ กราฟจะมีความโค้งปกติ ถ้าค่าความโค้งเป็นลบ หมายถึง ข้อมูลมีการแจกแจงที่ค่อนข้างป้าน หรือ โค้งน้อย ถ้าค่าความโค้งเป็นบวก หมายถึง ข้อมูลมีการแจกแจงที่มียอดสูง หรือ โค้งมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.2

สมการคำนวณค่าความโค้งของข้อมูล

$$\text{Kurtosis} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^4 n(n+1)/(n-1) - 3 \left[ \sum (X_i - \bar{X})^2 \right]^2}{s^4 (n-2)(n-3)} - 3 \quad (4.3)$$

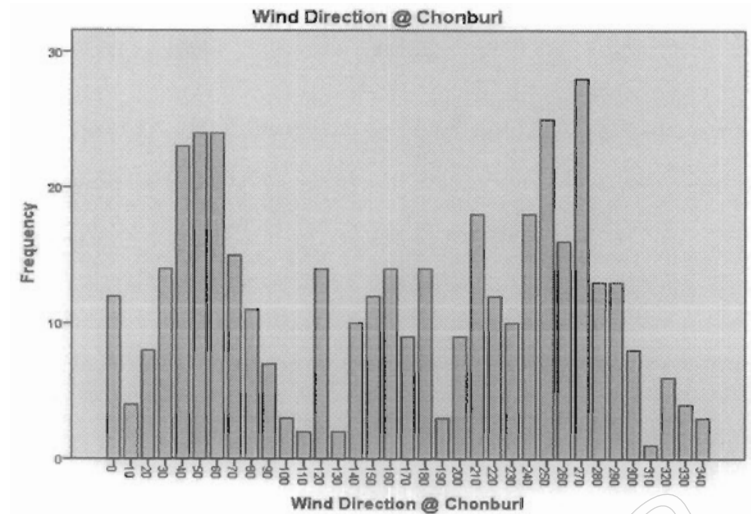
ในการวิเคราะห์เชิงสถิติพรรณนาด้วยโปรแกรม SPSS จะใช้คำสั่ง Frequencies ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้ได้ทั้งกับตัวแปรเชิงกลุ่มและตัวแปรเชิงปริมาณเพื่อคำนวณค่าสถิติเบื้องต้นต่างๆ แล้วแสดงผลข้อมูลในรูปตาราง กราฟแท่ง และกราฟวงกลมสำหรับข้อมูลเชิงกลุ่ม ขั้นตอนใช้คำสั่ง Frequencies จะต้องเปิดแฟ้มข้อมูลแล้วใช้คำสั่ง Analyze → Descriptive Statistics → Frequencies... ผลลัพธ์ที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1



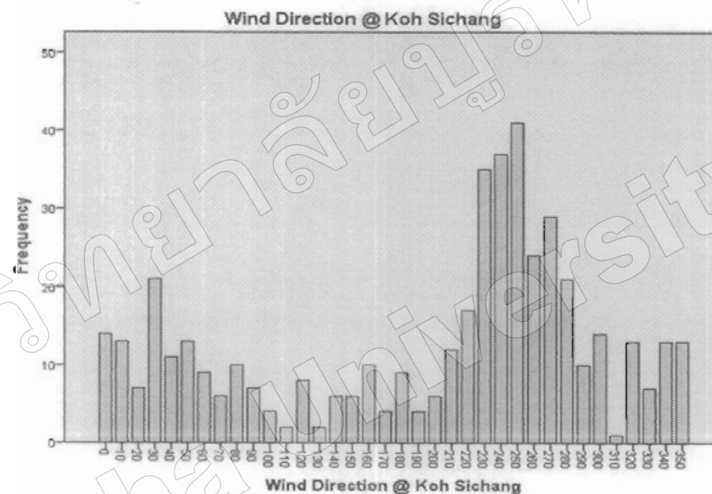
รูปที่ 4.2 ลักษณะเส้นโค้งแสดงความโค้งของข้อมูล

ตารางที่ 4.1 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์เชิงสถิติพรรณนา

	Statistics										
N	671	671	671	671	671	671	671	671	671	671	671
Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	1.75	2.704	1.107	3.305	4.364	192.20	1.989	155.30	1.272	106.65	122.250
Std. Error of Mean	.051	.01840	.00750	.01441	.00663	6.100	.06437	.03352	.04915	4.719	1.045012
Median	1.00	2.000	1.00	1.000	1.310	311.00	2.050	190.00	1.020	50.00	500
Mode	1	254	10	19	431	351	00	00	00	00	500
Std. Deviation	1.913	1.148	.6940	3.7517	5.6875	100.067	1.66746	146.401	1.36065	122.250	14945.012
Variances	1.724	1.318	.479	13.99	32.151	35637.000	2.780	21331.65	1.851	500	10239
Range	4	4	1.20	2.26	6.68	309	8.22	600	10.19	500	16319
Minimum	0	0	0.00	0.00	1.43	0	0.00	0	0.00	0	0
Maximum	4	4	1.20	2.26	6.68	309	8.22	600	10.19	500	16319



กราฟที่ 4.1 แสดงค่าความถี่ของข้อมูลลม ณ สถานีชลบุรี



กราฟที่ 4.2 แสดงค่าความถี่ของข้อมูลลม ณ สถานีเกาะสีชัง

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ เช่น จากกราฟที่ 4.1 และกราฟที่ 4.2 แสดงถึงทิศทางของลมที่พัดผ่านบริเวณจุดที่ทำการศึกษาร่วมใหญ่ท่ามูม 30 ถึง 60 และ 230 ถึง 270 องศาทิศทางเหนือ (0 องศา) ซึ่งก็คือทิศทางของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่พัดผ่านประเทศไทยในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาวนั่นเอง

เมื่อได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเชิงพรรณนาแล้วจึงนำตัวแปรอิสระเหล่านี้มาหาความสัมพันธ์แบบตัวต่อตัวกับสเกลพยากรณ์ความสูงคลื่นซัด เพื่อเป็นการทดสอบว่าตัวแปรแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กับสเกลพยากรณ์ความสูงคลื่นซัดในรูปเชิงเส้นหรือไม่ โดยใช้การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient)

#### 4.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด ถ้า  $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์กันมากแสดงว่า ค่าของ  $X$  ที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลกระทบต่อค่าของ  $Y$  เป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถใช้ความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้นี้มาประมาณหรือพยากรณ์ค่า  $Y$  ได้ในอนาคต การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันจะใช้คำสั่ง Bivariate Correlation เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว และให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient,  $r$ ) ค่าการทดสอบสมมติฐานนัยสำคัญ (Test of significance, Sig.) ซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะทำการทดสอบแบบด้านเดียวหรือสองด้าน โดยการศึกษาครั้งนี้จะเลือกการทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (Two-tailed Test) ซึ่งใช้ทดสอบในกรณีที่ค่าความสัมพันธ์ของ  $X$  และ  $Y$  มีความเป็นไปได้ทั้งสองทิศทาง

การใช้คำสั่งของ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันจะใช้คำสั่ง Analyze→Correlate→Bivariate... โดยผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จะแสดงในรูปแบบตาราง ซึ่งแสดงค่า Pearson's Correlation พร้อมทั้งค่า Sig. ของการทดสอบแบบสองด้าน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยทดสอบจากสมมติฐานเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน ดังนี้

##### 4.2.1 การทดสอบสมมติฐานค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน

จะพิจารณาจากค่า Pearson's Correlation ( $r$ ) ที่ได้จากรายการคำนวณได้จากสูตร

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.4)$$

ตารางที่ 4.2 แสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพ็ชรสัน

Correlations												
	Runup Elevation Scale	Wave Runup Scale	Water Level	Significant Wave Height	Mean Frequency	Mean Wave Period	Wave Peak Period	Mean Wave Direction	Wind Speed @ Koh Sichang	Wind Direction @ Koh Sichang	Wind Speed @ Chonburi	Wind Direction @ Chonburi
Runup Elevation Scale	1	.917**	.442**	.331**	-.071	.053	.050	-.245**	.010	.088	-.014	.143**
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.000 671	.000 671	.000 671	.065 671	.171 671	.194 671	.000 671	.790 671	.011 671	.722 671	.000 671
Wave Runup Scale	.917**	1	.423**	.361**	-.067	.046	.056	-.280**	.015	.090	.007	.166**
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.000 671	.000 671	.000 671	.082 671	.231 671	.145 671	.000 671	.693 671	.020 671	.849 671	.000 671
Water Level	.442**	.423**	1	-.021	.423	.284	.884	.302	.709	.702	.052	.183
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.000 671	.000 671	.590 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671
Significant Wave Height	.331**	.361**	-.021	1	.358**	.229	.268	-.007	.027	.027	.051	.170**
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.000 671	.590 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671
Mean Frequency	.071	.067	.423	.358**	1	.258**	.268	-.007	.027	.027	.051	.170**
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.082 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671
Mean Wave Period	.053	.046	.423	.229	.258**	1	.268	-.007	.027	.027	.051	.170**
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671
Wave Peak Period	.050	.056	.005	.268	.890**	.909**	1	.077	.056	.013	.058	.016
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.145 671	.894 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.046 671	.147 671	.739 671	.131 671	.665 671
Mean Wave Direction	-.245**	-.280**	.040	-.607**	-.039	.079	.077	1	.112**	.011	.081	-.125**
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.000 671	.302 671	.000 671	.458 671	.040 671	.046 671	.000 671	.004 671	.779 671	.036 671	.001 671
Wind Speed @ Koh Sichang	.010	.015	.014	-.007	.042	-.028	-.056	.112**	1	.564**	.326**	.140**
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.893 671	.709 671	.856 671	.275 671	.474 671	.147 671	.004 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671
Wind Direction @ Koh Sichang	.088	.090	-.015	.027	-.037	.014	.013	.011	.564**	1	.122**	.184**
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.020 671	.702 671	.488 671	.349 671	.723 671	.739 671	.011 671	.000 671	.000 671	.001 671	.000 671
Wind Speed @ Chonburi	-.014	.007	.052	.051	-.073	.086	.081	.081	.326**	.122**	1	.582**
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.849 671	.183 671	.188 671	.058 671	.131 671	.036 671	.000 671	.000 671	.000 671	.001 671	.000 671
Wind Direction @ Chonburi	.143**	.165**	-.061	.170**	-.032	.002	.016	-.125**	.140**	.184**	.582**	1
Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N		.000 671	.113 671	.000 671	.575 671	.954 671	.895 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671	.000 671

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ถ้า  $r$  นั้นไม่มีหน่วย มีขอบเขตอยู่ระหว่าง 1 ถึง -1 ซึ่งค่า  $r$  จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของค่า  $X$  และ  $Y$  ดังนี้

(ก) ถ้าค่า  $r$  เป็นบวก และมีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง  $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์กันมาก และสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือ ถ้า  $X$  เพิ่ม  $Y$  จะเพิ่ม แต่ถ้า  $X$  ลด  $Y$  จะลดลงด้วย

(ข) ถ้าค่า  $r$  เป็นลบ และมีค่าเข้าใกล้ -1 หมายถึง  $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์กันมาก และสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม คือ ถ้า  $X$  เพิ่ม  $Y$  จะลด แต่ถ้า  $X$  ลด  $Y$  จะเพิ่ม

(ค) ถ้า  $r$  เข้าใกล้ 0 แสดงว่า  $X$  และ  $Y$  มีความสัมพันธ์กันน้อย

(ง) ถ้า  $r = 0$  แสดงว่า  $X$  และ  $Y$  ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

#### 4.2.2 การทดสอบสมมติฐานนัยสำคัญ

โดยมีการสร้างเขตสมมติฐานคือ

$$H_0 : r = 0 \quad \text{หรือ} \quad H_0 : X \text{ และ } Y \text{ ไม่มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้น}$$

$$H_1 : r \neq 0 \quad H_1 : X \text{ และ } Y \text{ มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้น}$$

ซึ่งพิจารณาจากค่า Sig. (2-tailed) จากตารางที่ 4.2 หมายถึง ค่าระดับนัยสำคัญของการทดสอบแบบสองด้าน ในการทดสอบสมมติฐานนัยสำคัญโดยทั่วไปกำหนดให้ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ ( $\alpha$ ) = .05 หรือ 5% หมายถึง ระดับความเชื่อมั่น  $(1-\alpha)100\% = 95\%$  นั่นคือ จะปฏิเสธ  $H_0$  (ยอมรับ  $H_1$ ) ถ้าค่า Sig. (2-tailed) น้อยกว่า  $\alpha$

จากตารางที่ 4.2 ซึ่งแสดงผลลัพธ์ค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน พร้อมทั้งค่าระดับนัยสำคัญของการทดสอบแบบสองด้าน แสดงให้เห็นว่า สเกลพยากรณ์ความสูงคลื่นซัด หรือ  $Y$  มีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระต่างๆ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่าง  $Y$  กับ ค่าระดับน้ำ ได้ค่า  $r = 0.442$  และค่า Sig. (2-tailed) = .000 แสดงว่าปฏิเสธ  $H_0$  ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 นั่นคือ สเกลพยากรณ์ความสูงคลื่นซัดมีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้นกับค่าระดับน้ำ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือ ถ้าระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น สเกลความสูงคลื่นซัดก็จะมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากค่า  $r$  มีค่าเป็นบวก

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ตัวแปรแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับสเกลความสูงคลื่นซัดในรูปเชิงเส้น ได้แก่ ระดับน้ำ, ความสูงคลื่นนัยสำคัญ, ทิศทางคลื่น และความสูงคลื่นสูงสุด จะเห็นว่าตัวแปรความสูงคลื่นนัยสำคัญและความสูงคลื่นสูงสุดนั้นให้ค่า  $r$  และค่า Sig. (2-tailed) เท่ากันถือเป็นตัวแปรตัวเดียวกัน จึงเลือกใช้ค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญเพียงตัวเดียว

จุดที่สนใจคือค่าความสัมพันธ์ระหว่างสเกลพยากรณ์ความสูงคลื่นซัดกับตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้องกับลม จะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าผลลัพธ์จากตารางที่ 4.2 มาพิจารณาพบว่าไม่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันในรูปเชิงเส้น ซึ่งคิดจกที่คาดการณ์ไว้ว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลมจะมีผลต่อค่าสเกลความ

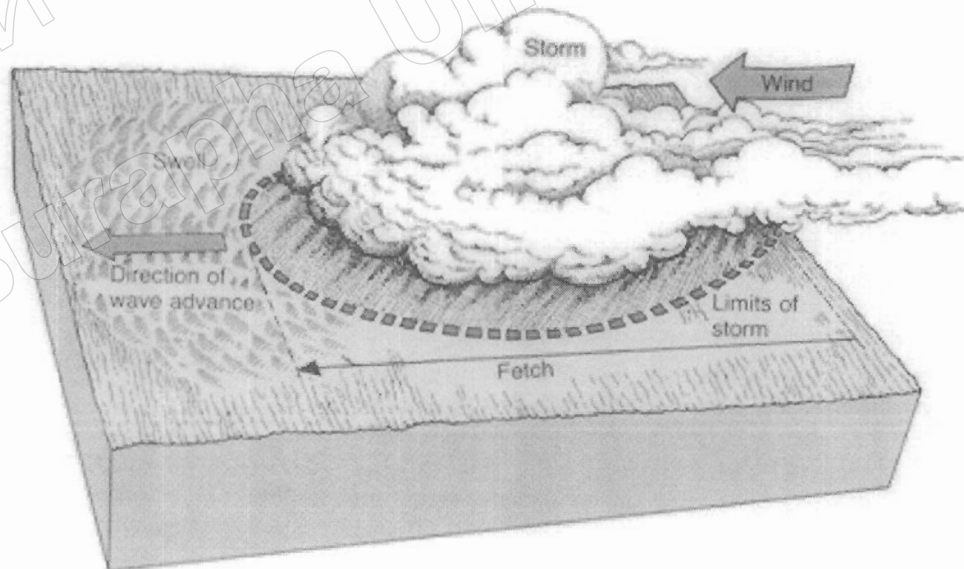


สูงคลื่นซัด เนื่องจากลมนั้นเป็นปัจจัยหลักอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดคลื่นในทะเล ดังนั้นจึงทำการคิดตัวแปรขึ้นมาใหม่โดยใช้ความเร็วลมนำมาคูณกับค่าระยะทางที่ลมพัดเหนือน้ำ (Fetch) เพื่อเพิ่มความสัมพันธ์กับค่าพยากรณ์ เรียกตัวแปรนี้ว่า ความเร็วลมที่มีอิทธิพล

#### 4.3 การนำเสนอพารามิเตอร์ตัวใหม่ ความเร็วลมที่มีอิทธิพล (Influential Wind Speed, $IW$ )

ลมเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดคลื่น พลังงานจากลมพัดจะถูกถ่ายเทไปที่ผิวน้ำ ทำให้เกิดแรงเฉือนและเกิดคลื่นขึ้น คลื่นในทะเลที่เกิดจากลม (Wind-generated waves) มีคาบคลื่นไม่ถี่สปีวินาทีเท่ากัน แต่คลื่นที่เกิดจากลมเหล่านี้เองที่เป็นพลังงานส่วนใหญ่ของคลื่นทั้งหมดในทะเล ปัจจัยที่จะมีผลต่อการเพิ่มของพลังงานที่คลื่นจะได้รับ คือ ความเร็วลม (wind speed) ช่วงเวลา (duration) จะต้องนานพอสมควร และ ระยะทางที่ลมพัดเหนือน้ำ (Fetch) ยิ่งระยะ Fetch ยาว คลื่นที่เกิดขึ้นยังมีความสูงมาก ในทำนองเดียวกับความเร็วลม ลมยิ่งพัดแรง คลื่นยิ่งสูง เป็นต้น รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางลม (wind direction) ระยะ fetch และคลื่น

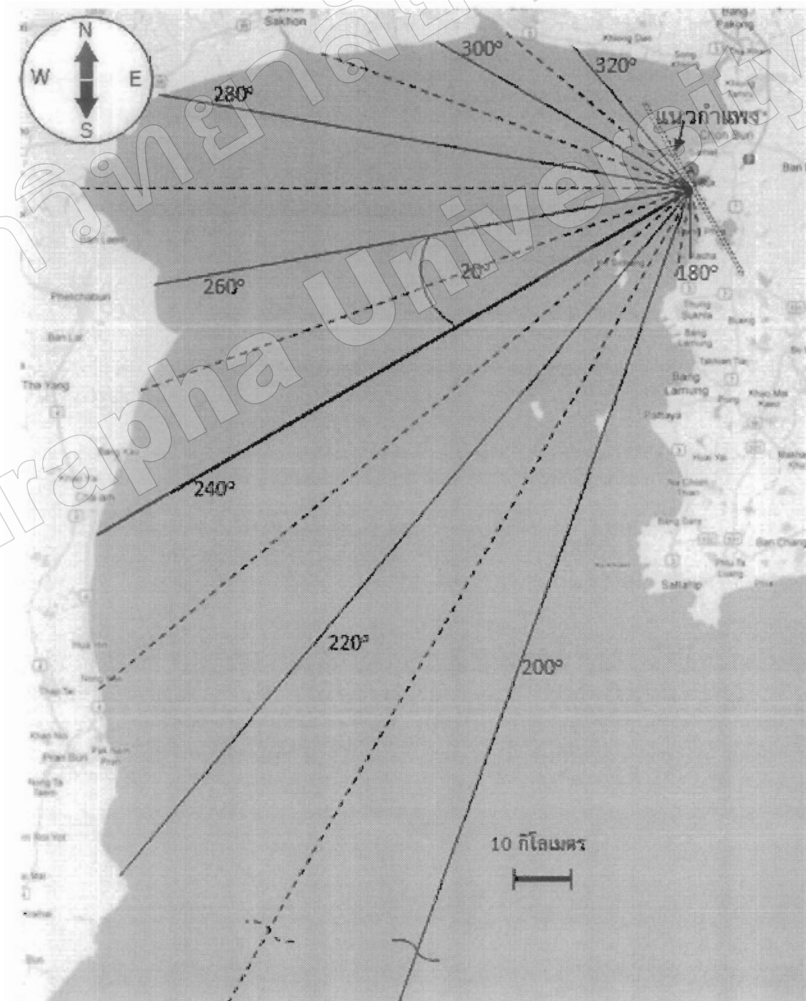
ในประเทศไทยมีสถานีตรวจวัดความเร็วลมของกรมอุตุนิยมวิทยาติดตั้งอยู่ทั่วประเทศ ถึงแม้ว่าจะมีสถานีการตรวจวัดลมหลายแห่ง แต่บางครั้งข้อมูลที่เก็บมาก็มีความคลาดเคลื่อนอยู่ไม่น้อย ในด้านวิศวกรรมชายฝั่งการคำนวณคลื่นจะนำข้อมูลลมมาใช้ ดังนั้นข้อมูลลมที่ถูกต้องจึงมีความสำคัญมาก



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางลม (wind direction) ระยะทางที่ลมพัด (fetch) และคลื่น

การนำข้อมูลลมมาวิเคราะห์ความสูงคลื่นนั้นจำเป็นต้องนำความเร็วลมกับระยะทางที่ลมพัด (fetch) ในแต่ละทิศทางมาทำการคูณกัน ซึ่งระยะทางที่ลมพัด (fetch) หาได้จากการเทียบอัตราส่วนจากแผนที่ (รูปที่ 4.5) แต่ก่อนการคูณต้องทำการหาค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ลมพัด (fetch) ของทิศทางที่ใกล้เคียงอีกจำนวน 2 ทิศทาง แล้วจึงทำการแตกมุมของระยะทางที่ลมพัด (fetch) ให้ตั้งฉากกับกำแพงคลื่นซึ่งในการศึกษานี้มุมที่ตั้งฉากกับกำแพงคลื่นคือมุม 240 องศา แล้วจึงจะเริ่มการคูณ

ยกตัวอย่าง เช่น ในวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2556 มีความเร็วลม 2.57 เมตร/วินาที ที่มุม 250 องศา ทำการวัดระยะทางที่ลมพัด (fetch) ได้ 102,000 เมตร มาทำการหาค่าเฉลี่ยกับระยะทางที่ลมพัด (fetch) ของมุม 240 องศา และ 260 องศา จะได้  $(102,000 + 119,900 + 94,900) / 3 = 112,875$  เมตร หลังจากนั้นทำการแตกมุมคือ  $112,875 \cos 10 = 103,996$  เมตร จากนั้นเมื่อได้ระยะ fetch ที่ต้องการแล้วจึงนำมาคูณกับความเร็วลม และจะได้ค่า ความเร็วลมที่มีอิทธิพล (Influential Wind Speed, *IW*) เท่ากับ  $103,996 \times 2.57 = 267,269.72$  ตารางเมตร/วินาที หลังจากนั้นจะทำการปรับค่า *IW* ให้มีค่าใกล้เคียงกับตัวแปรอื่นๆ โดยการหารด้วย 1,000,000 สุดท้ายจะได้ค่า *IW* เท่ากับ 0.27



รูปที่ 4.4 ระยะ Fetch ของบริเวณหาดวอนนภา

และเมื่อนำมาทดสอบหาค่าความสัมพันธ์กับค่าความสูงคลื่นซัดโดยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (ตารางที่ 4.3) พบว่า ตัวแปรความเร็วลมที่มีอิทธิพลที่สร้างขึ้นมาใหม่นี้ มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับค่าความสูงคลื่นซัดในรูปเชิงเส้น ดังนั้นจึงได้ตัวแปรที่จะนำไปวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณเพิ่มอีก 1 ตัว

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน

		Correlations			
		Wave Runup Scale	Water Level (m)	Significant Wave Height (m)	Fetch*Wind Speed (km*m/s)
Wave Runup Scale	Pearson Correlation	1	.615**	.244**	.073
	Sig. (2-tailed)		.000	.000	.292
	N	212	212	212	212
Water Level (m)	Pearson Correlation	.615**	1	-.072	-.061
	Sig. (2-tailed)	.000		.295	.375
	N	212	212	212	212
Significant Wave Height (m)	Pearson Correlation	.244**	-.072	1	.077
	Sig. (2-tailed)	.000	.295		.267
	N	212	212	212	212
Fetch*Wind Speed (km*m/s)	Pearson Correlation	.073	-.061	.077	1
	Sig. (2-tailed)	.292	.375	.267	
	N	212	212	212	212

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

#### 4.4 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)

ถ้ามีตัวแปรอิสระ  $k$  ตัว ( $X_1, X_2, \dots, X_k$ ) ที่มีความสัมพันธ์กับ  $Y$  โดยที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น จะได้สมการความถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $Y$  และ  $X_1, X_2, \dots, X_k$  ดังสมการที่ 4.5

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (4.5)$$

โดย  $\beta_0$  คือ ส่วนตัดแกน  $Y$  เมื่อกำหนดให้  $x_1 = x_2 = \dots = x_k = 0$

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  คือ สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน (Partial Regression Coefficient,  $\beta$ ) เป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม  $Y$  เมื่อตัวแปรอิสระ  $X_i$  เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ตัวแปรอิสระ  $X$  ตัวอื่นๆ มีค่าคงที่ เช่น ถ้า  $X_1$  เปลี่ยนไป 1 หน่วย ค่า  $Y$  จะเปลี่ยนไป  $\beta_1$  หน่วย โดยที่  $X_2, X_3, \dots, X_k$  มีค่าคงที่

#### 4.4.1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (Multiple Coefficient of Determination, $R^2$ )

เป็นส่วนที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงของ  $Y$  ได้ กล่าวคือเป็นเปอร์เซ็นต์ของความผันแปร  $Y$  ที่มีสาเหตุเนื่องจากความผันแปรของ  $X_1, X_2, \dots, X_k$  โดยที่  $0 \leq R^2 \leq 1$  ถ้า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 จะหมายถึง  $X_1, X_2, \dots, X_k$  มีความสัมพันธ์กับค่า  $Y$  มาก แต่ถ้าเข้าใกล้ 0 หมายถึง ค่า  $X_1, X_2, \dots, X_k$  มีความสัมพันธ์กับค่า  $Y$  น้อย และในกรณีที่มีตัวแปรอิสระหลายตัวจะพิจารณาค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุปรับแก้ ( $Adjusted R^2, R_{adj}^2$ ) มากกว่า โดยการปรับแก้ค่า  $R^2$  นั้นใช้สมการที่ 4.6

$$R_{adj}^2 = 1 + \frac{(n-1)}{(n-k-1)}(R^2 - 1) \quad (4.6)$$

เมื่อนำข้อมูลที่เตรียมไว้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยเชิงพหุคูณ โดยใช้คำสั่ง Analyze → Regression → linear... จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยเชิงพหุคูณ

Model Summary					
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	
1	.686 <sup>a</sup>	.470	.463	.975	

Coefficients <sup>a</sup>						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-2.868	.365		-7.850	.000
	Water Level (m)	1.586	.125	.641	12.654	.000
	Significant Wave Height (m)	1.789	.320	.284	5.598	.000
	Fetch*Wind Speed (km*m/s)	.693	.390	.090	1.779	.077

a. Dependent Variable: Wave Runup Scale

ความหมายของผลลัพธ์จากค่า  $R_{adj}^2$  มีค่าเท่ากับ 0.463 หมายความว่า ตัวแปรอิสระเหล่านี้ อธิบายการเปลี่ยนแปลงของสเกลความสูงคลื่นซัดได้ 46.3% ส่วนอีก 53.7% ที่เหลือเกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณา และมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าพยากรณ์ (Standard Error of the estimate) เท่ากับ 0.975 (มีหน่วยเดียวกับตัวแปรตาม) อีกตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน ( $\beta$ ) และการทดสอบนัยสำคัญ ดังนั้นจึงได้สมการความถดถอยเชิงเส้นพหุคูณดังสมการที่ 4.7

$$RS = \beta_0 + \beta_{LV} X_{LV} + \beta_{HS} X_{HS} + \beta_{IW} X_{IW} \quad (4.7)$$

เมื่อ	$RS$	คือ	สเกลพยากรณ์ความสูงคลื่นซัด
	$\beta_0$		ส่วนตัดแกน $Y$
	$\beta_{LV}$		สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของระดับน้ำ
	$X_{LV}$		ข้อมูลระดับน้ำ
	$\beta_{HS}$		สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของความสูงคลื่นนัยสำคัญ
	$X_{HS}$		ข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญ
	$\beta_{IW}$		สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของความเร็วลมที่มีอิทธิพล
	$X_{IW}$		ข้อมูลความเร็วลมที่มีอิทธิพล

และเมื่อแทนค่า  $\beta$  จากตารางที่ 4.4 จะได้สมการพยากรณ์ความสูงคลื่นซัด

$$RS = -2.868 + 1.586X_{LV} + 1.789X_{HS} + 0.693X_{IW} \quad (4.8)$$

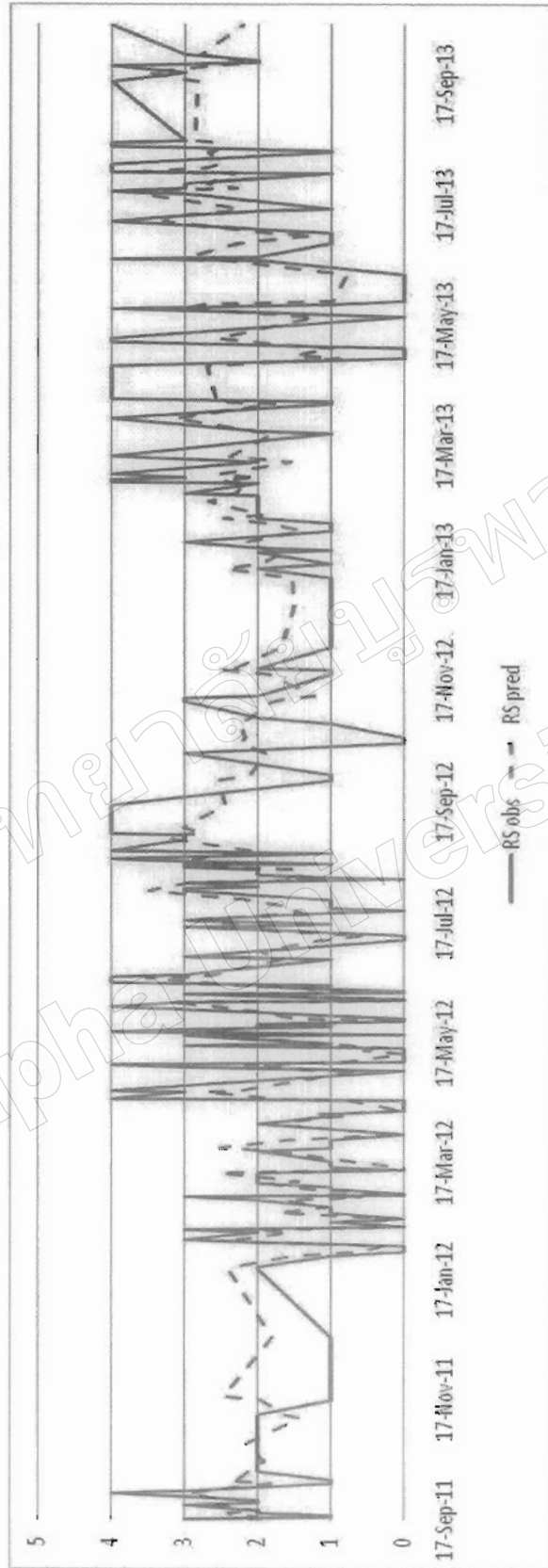
ซึ่งจะต้องทำการทดสอบต่อไปว่าสมการที่ 4.8 มีความแม่นยำเพียงใด

#### 4.4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยเชิงพหุคูณที่ได้ทำมาทั้งหมด

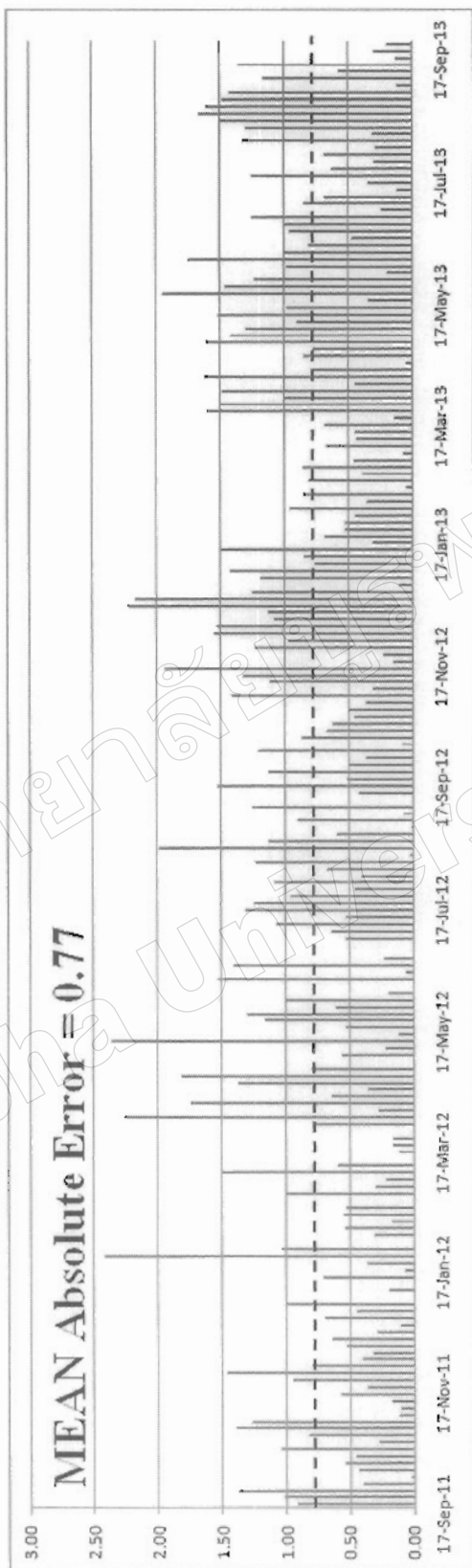
ในการศึกษาที่เราได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ถดถอยเชิงพหุคูณทั้งหมด 22 กรณี ซึ่งแต่ละกรณีจะมีรายละเอียดปลีกย่อยที่แตกต่างกันออกไป โดยรายละเอียดแต่ละกรณี และตัวเลขต่าง ๆ ดังนี้

$RS$	คือ	สเกลค่าระดับการซัด
$WR$	คือ	สเกลความสูงคลื่นซัด
$LV$	คือ	ระดับน้ำ (เมตร)
$LV\_Scale$	คือ	ระดับน้ำ (สเกล)
$HS$	คือ	ความสูงคลื่นนัยสำคัญ
$IW$	คือ	ความเร็วลมที่มีอิทธิพล
$IV$	คือ	ความสูงคลื่นที่มีอิทธิพล





กราฟที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าระหว่างสเกลความสูงคลื่นซัดจากการสำรวจกับการทำนาย



กราฟที่ 4.4 แสดงค่ากลางของความคลาดเคลื่อนความสูงคลื่นซัด



ซึ่งจะใช้ค่ากลางความคลาดเคลื่อนนี้เป็นเกณฑ์ในการวัดความแม่นยำในการพยากรณ์ หรือความเป็นไปได้ในการทำนายสเกลความสูงคลื่นซัด (Probability of RS Predict) โดยดูจากกราฟที่ 4.3 เป็นเกณฑ์ หากมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่ากลางของความคลาดเคลื่อน จะถือว่าผลการทำนายถูกต้อง ดังนั้นเมื่อคิดเป็นสัดส่วนร้อยละของข้อมูลการพยากรณ์ทั้งหมดจะได้ว่า มีความเป็นไปได้ในการทำนายสเกลความสูงคลื่นซัดอยู่ร้อยละ 0.38 และถ้าให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 1.0 สมการจะมีความเป็นไปได้ในการทำนายสเกลความสูงคลื่นซัดเท่ากับร้อยละ 0.67

มหาวิทยาลัยบูรพา  
Burapha University

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปข้อมูลจากการทดลอง

การศึกษานี้เกิดขึ้นจากแนวคิดในการพัฒนาสมการเพื่อช่วยเตือนภัยประชาชนที่อาศัยและมาท่องเที่ยวบริเวณหาดวอนนภา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี เพื่อลดความเสียหายและเพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการออกมาทำกิจกรรม จึงได้ทำการพัฒนาสมการเชิงสถิติในการพยากรณ์สเกลความสูงคลื่นซัดบนกำแพงกันคลื่น บริเวณหาดวอนนภา ตำบลแสนสุข อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี ที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

โดยใช้ข้อมูลในรูปแบบไฟล์ภาพและไฟล์วิดีโอความยาว 1 นาที ตั้งแต่วันที่ 12 กันยายน 2554 ถึง วันที่ 14 ธันวาคม 2556 จำนวนข้อมูลทั้งหมด 820 ข้อมูล นำมาหาความสัมพันธ์เพื่อพยากรณ์ระดับความสูงคลื่นซัด โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุคูณ กับตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์ในรูปเชิงเส้น

จากการศึกษาตัวแปรอิสระที่มีผลต่อสเกลความสูงคลื่นซัดในรูปแบบเชิงเส้น โดยทำการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน  $\beta_0 = -2.868$ ,  $\beta_{I_1} = 1.586$ ,  $\beta_{H_1} = 1.789$ ,  $\beta_{H_2} = -0.693$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ (ปรับแก้)  $R_{adj}^2 = 0.463$  สร้างเป็นสมการเชิงเส้นเพื่อพยากรณ์ความสูงคลื่นซัด ดังสมการที่ 5.1

$$RS = -2.868 + 1.586X_{I_1} + 1.789X_{H_1} + 0.693X_{H_2} \quad (5.1)$$

เมื่อ	$Y$	คือ	สเกลพยากรณ์ความสูงคลื่นซัด
	$\beta_0$		ส่วนตัดแกน $Y$
	$\beta_{I_1}$		สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของระดับน้ำ
	$X_{I_1}$		ข้อมูลระดับน้ำ
	$\beta_{H_1}$		สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของความสูงคลื่นนัยสำคัญ
	$X_{H_1}$		ข้อมูลความสูงคลื่นนัยสำคัญ
	$\beta_{H_2}$		สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วนของความเร็วลมที่มีอิทธิพล
	$X_{H_2}$		ข้อมูลความเร็วลมที่มีอิทธิพล

ซึ่งผลการทดสอบได้ค่าความเป็นไปได้ในการทำนายสเกลความสูงคลื่นซัดอยู่ร้อยละ 38 และถ้าให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 1.0 สมการจะมีความเป็นไปได้ในการทำนายสเกลความสูงคลื่นซัดเท่ากับร้อยละ 67

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเลือกข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาและศูนย์อุตุนิยมวิทยาทะเลอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเป็นข้อมูลราย 3 ชั่วโมง จึงควรเลือกใช้ข้อมูลที่มีความสอดคล้องกับช่วงเวลาและควรหลีกเลี่ยงการใช้ข้อมูลที่ให้ค่าเป็นศูนย์เพราะอาจมีผลกระทบต่อกรคำนวณในสมการ

5.2.2 พัฒนาการเก็บข้อมูลให้มีความแน่นอนและเที่ยงตรงมากขึ้น เพื่อเพิ่มความละเอียดในการอ่านสเกล เช่น การมีตำแหน่งหรือฐานตั้งกล้องในการเก็บข้อมูลที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ หรือมีแนวที่เป็นตัวชี้วัดความแม่นยำที่แน่นอน

5.2.3 พัฒนาสมการไม่เชิงเส้น หรือใช้กระบวนการและวิธีการศึกษาอื่นมาช่วยในการเปรียบเทียบ เช่น Artificial Neural Network เป็นต้น

### บรรณานุกรม

1. รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา วาณิชย์บัญชา การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล พิมพ์ครั้งที่ 20 กรุงเทพฯ : บริษัท ธรรมสาร จำกัด, 2555
2. ยุทธ ไกยวรรณีย์ หลักสถิติวิจัยและการใช้โปรแกรม SPSS พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.เชิดวงศ์ งามแสงศุกวานิช. Wind wave generation. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :[http://www.imc.src.ku.ac.th/personnel/file\\_subject/201211584701.pdf](http://www.imc.src.ku.ac.th/personnel/file_subject/201211584701.pdf) (วันที่ค้นข้อมูล : 14 เมษายน 2555).

## ประวัติผู้จัดทำ

นายศรุต หัตถทอง

ปัจจุบันศึกษา ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

การศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนปราชญ์ราษฎร์อำนวยการ

ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนปราชญ์ราษฎร์อำนวยการ

ระดับประถมศึกษา จากโรงเรียนอนุบาลปราจีนบุรี

ที่อยู่ 12/2 ซอยบ้านบัวลาย ต.หน้าเมือง อ.เมือง จังหวัดชลบุรี 25000

E-mail sarut\_tent@hotmail.com

ความสนใจ การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows

และคลื่นน้ำบริเวณแนวกำแพงกันคลื่น

มหาวิทยาลัยบูรพา  
Burapha University