

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ที่มาของปัญหา

อ่าวไทยตอนบนบริเวณชายทะเลบางขุนเทียนกรุงเทพมหานคร มีความยาวชายฝั่งประมาณ 4.7 กิโลเมตร เดิมนี้เป็นพื้นที่ป่าชายเลนที่มีความอุดมสมบูรณ์ แต่ปัจจุบันกำลังประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 1.1 สาเหตุเกิดจากคลื่นลมแรงในฤดูมรสุมที่จัดได้ว่าเป็นกระบวนการทางธรรมชาติ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากมนุษย์ ได้แก่ การตัดไม้เผาถ่าน การขุดบ่อเลี้ยงกุ้ง การลักลอบขุดหน้าดินขาย ฯลฯ ส่งผลให้ระบบนิเวศป่าชายเลนเสื่อมโทรม และเกิดการสูญเสียพื้นดินในบริเวณดังกล่าว ในอัตราเฉลี่ย 5 เมตรต่อปี (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551 )



รูปที่ 1.1 การพังทลายของป่าชายเลนและปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง

ในปัจจุบันทั้งทางภาครัฐและภาคเอกชน รวมถึงชุมชนในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวได้ตระหนักถึงปัญหานี้ และได้พยายามที่จะแก้ไข โดยเสนอวิธีแก้ปัญหาคือด้วยโครงสร้างทางวิศวกรรม เช่น การใช้ไม้กรอกทราย กองหินทิ้ง หรือโครงสร้างกำแพงกันคลื่นแบบต่างๆ และวิธีการลองผิดลองถูกแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน ได้แก่ การปักไม้ไผ่เป็นแนวป้องกันคลื่นดังแสดงในรูปที่ 1.2 แต่ก็ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าแนวทางไหนเป็นแนวทางที่ดีที่สุดเนื่องจาก การแก้ปัญหาโดยภาครัฐนั้นไม่เป็นที่ยอมรับของชาวบ้าน ถึงกระนั้นวิธีการปักแนวไม้ไผ่ที่ชาวบ้านยอมรับ ก็ยังไม่มียุทธสรุปว่าสามารถช่วยแก้ปัญหาได้จริงหรือไม่ เนื่องจากไม่ได้มีการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสลายพลังงานพลังงานคลื่น ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง รวมถึงไม่ได้มีการศึกษาลักษณะสภาพทางชลศาสตร์ของชายฝั่ง ผลจากปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลง สภาพคลื่นลม และสภาพทางสมุทรศาสตร์ของพื้นที่ นอกจากนี้ ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งยังขึ้นอยู่กับตัวแปรทางธรรมชาติจำนวนมาก และการเลือกวิธีการในการ

แก้ปัญหานี้ยังต้องอาศัยปัจจัยภายนอกที่ไม่ใช่ทั้งทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ แต่กลับต้องศึกษาถึงผลกระทบทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมด้วย



รูปที่ 1.2 การปักไม้ไผ่เป็นแนวกันคลื่น

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเป็นการนำเสนอแนวทางเลือกในการป้องกันปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพในการสลายพลังงานคลื่นของโครงสร้างชุดแท่งทรงกระบอก ด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ซึ่งแนวทางในการศึกษารุ่งนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหานในพื้นที่ได้ โดยจะนำผลการศึกษาที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ไปทำการเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในภาคสนาม

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของโครงสร้างชุดแท่งทรงกระบอกเพื่อใช้สลายพลังงานคลื่น
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสลายพลังงานคลื่น
3. เพื่อศึกษาผลของมาตราส่วนที่ใช้ในแบบจำลองต่อความถูกต้องทางชลศาสตร์

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการศึกษาด้วยการทดสอบในรางทดสอบคลื่นขนาด กว้าง 1 เมตร สูง 1 เมตร และยาว 27 เมตร ด้วยแบบจำลองมาตราส่วน 1:5 และ 1:10 ระดับน้ำนิ่งในรางทดสอบคลื่นในช่วง 60-80 เซนติเมตร

2. ทำการทดสอบโดยใช้คลื่นแบบ Regular wave ความสูงคลื่นในช่วง 10.0-15.0 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบโดยใช้มาตราส่วน 1:5 และ ความสูงคลื่นในช่วง 5.0-10.0 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบด้วยแบบจำลองมาตราส่วน 1:10 เพื่อจำลองลักษณะของคลื่นให้มีความคล้ายกับคลื่นในบริเวณที่มีการเก็บวัดในภาคสนาม
3. แบบจำลองแท่งทรงกระบอก จำลองจากไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 เซนติเมตร สูง 60.0 เซนติเมตร สำหรับแบบจำลองมาตราส่วน 1:5 และ ไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เซนติเมตร สูง 30.0 เซนติเมตร สำหรับแบบจำลองมาตราส่วน 1:10
4. การเก็บวัดค่าความสูงและความเร็วคลื่นทำโดยใช้กล้องถ่ายภาพแบบต่อเนื่องที่มีความละเอียดสูง ทำการเก็บวัด 2 ตำแหน่ง ได้แก่ หน้าโครงสร้างชุดแท่งทรงกระบอก และ ด้านหลังโครงสร้างชุดแท่งทรงกระบอก
5. ความสูงคลื่นและคาบคลื่นสามารถวัดได้โดยการใช้วิธีการประมวลผลด้วยภาพถ่าย (Image Processing) จากภาพที่บันทึกไว้โดยกล้องถ่ายภาพแบบต่อเนื่องที่มีความละเอียดสูงทั้งตำแหน่งหน้าโครงสร้างชุดแท่งทรงกระบอก และหลังโครงสร้างชุดแท่งทรงกระบอก

## บทที่ 2

### การศึกษาที่ผ่านมา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาที่ผ่านมา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ โดยศึกษาการสลายพลังงานคลื่นด้วยโครงสร้างรูปแบบแท่งทรงกระบอก เพราะหากทำการเปรียบเทียบแล้วโครงสร้างเขื่อนไม้ไผ่ จะมีความคล้ายกับพีชที่เติบโตอยู่ในป่าชายเลน ได้แก่ ต้น โกงกาง ต้น แสม ต้น ลำพู หรือ พีชในตระกูลป่าชายเลนอื่นๆ โดยลักษณะที่สำคัญที่มีความคล้ายคลึงกับโครงสร้างเขื่อนไม้ไผ่คือ ต้น ไม้ที่เป็นป่าชายเลน มีลักษณะลำต้นที่เป็นทรงกระบอก มีรากที่ใช้ในการค้ำจุนลำต้นที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ดังนั้นในบทนี้จะจึงขอกล่าวถึงการศึกษาในส่วนของ การสลายพลังงานคลื่นด้วย ป่าชายเลน และการสลายพลังงานคลื่นด้วยโครงสร้างรูปแบบอื่นๆ รวมถึงกระบวนการและสาเหตุของการกัดเซาะชายฝั่งตลอดจนสถานการณ์การกัดเซาะชายฝั่งทั้งฝั่งทะเลอันดามันและฝั่งอ่าวไทย ดังต่อไปนี้

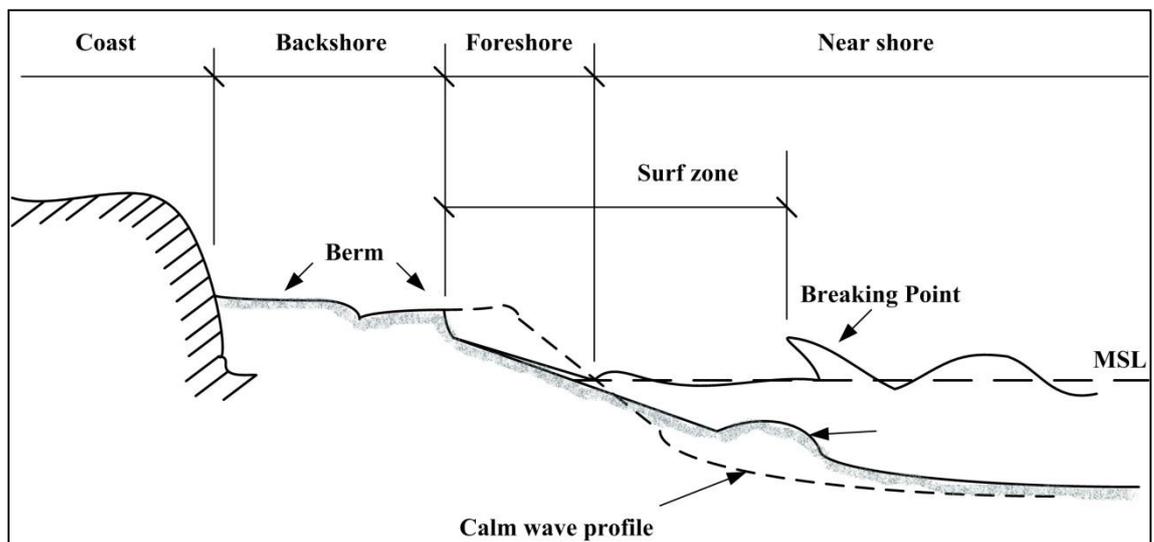
#### 2.1 สถานการณ์การกัดเซาะชายฝั่งทะเลฝั่งอ่าวไทยและฝั่งทะเลอันดามัน

การกัดเซาะชายฝั่งทะเลฝั่งอ่าวไทยเกิดขึ้นทั้งในบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงบริเวณป่าชายเลน และหาดทรายที่จะเกิดขึ้นในบริเวณที่เป็นสถานที่ท่องเที่ยว ท่าเรือ หรือนิคมอุตสาหกรรมจากการสำรวจของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งพบว่า ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวไทยที่เกิดขึ้นในจังหวัดที่มีการกัดเซาะรุนแรงโดยมีอัตราการกัดเซาะชายฝั่งอยู่ที่ 5 เมตรต่อปี ได้แก่พื้นที่จังหวัด จันทบุรี ระยอง ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ กรุงเทพมหานคร เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส ระยะทางรวม 180.9 กิโลเมตร แนวชายฝั่งที่มีการกัดเซาะในระดับปานกลางคือเกิดการกัดเซาะในอัตรา 1-5 เมตรต่อปี เกิดขึ้นใน 14 จังหวัด ได้แก่จังหวัด ตราด จันทบุรี ชลบุรี ระยอง สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส ระยะทางรวม 305.1 กิโลเมตร และในบางพื้นที่ที่จัดได้ว่าการกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรงมากโดยมีอัตราการกัดเซาะชายฝั่งมากกว่า 25 เมตรต่อปี ได้แก่พื้นที่บริเวณอ่าวไทยตอนบนตั้งแต่ปากแม่น้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทราไปจนถึงปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดชายฝั่งทะเลทางฝั่งอันดามันจะมีปัญหาเรื่องการกัดเซาะชายฝั่งน้อยกว่าชายฝั่งทะเลฝั่งอ่าวไทย และยังพบว่าปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นบริเวณหาดทรายมากกว่าหาดเลน เนื่องจากชายฝั่งทะเลฝั่งอันดามันส่วนใหญ่เป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง เช่น จังหวัดภูเก็ต กระบี่ ตรัง เป็นต้น และพบว่าบริเวณที่มีพื้นที่ถูกกัดเซาะรุนแรงด้วยอัตรา 5 เมตรต่อปี มีอยู่ 5 พื้นที่ ได้แก่

พื้นที่จังหวัดระนอง กระบี่ ภูเก็ต สตูล และ จังหวัดตรัง ระยะทางรวม 23 กิโลเมตรถ้าเปรียบเทียบกับปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลฝั่งอ่าวไทยแล้วถือว่าน้อยกว่ามาก

## 2.2 รูปทรงสัณฐานของชายฝั่ง

พื้นที่ชายฝั่งเป็นเขตน้ำตื้น ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลอยู่ตลอดเวลาอันเนื่องมาจากอิทธิพลของคลื่นและกระแสน้ำ จนทำให้ชายฝั่งอยู่ในสภาวะ สมดุลพลวัต (Dynamic Equilibrium) (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551) รูปร่างของชายหาดจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่เรียกว่า หลังหาด (Backshore) หน้าหาดหรือชายหาด (Foreshore or beach) และส่วนที่เป็นพื้นทะเลบริเวณชายฝั่ง ส่วนที่เรียกว่าหลังหาดจะมีลักษณะเป็นสันทราย (Berm) ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากคลื่น ลำดับต่อมาส่วนที่เรียกว่า หน้าหาดหรือชายหาด เป็นส่วนที่ได้รับอิทธิพลของคลื่นโดยตรงเนื่องจากคลื่นจะเกิดการ Run-up หรือการม้วน ไกลขึ้นสู่ชายฝั่ง และในส่วนที่เรียกว่าเป็นบริเวณพื้นชายฝั่งในบริเวณนี้อาจมีสันคอนไต้มน้ำ (Sand Bar) เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้ามาในพื้นที่บริเวณชายฝั่งจะเกิดการแตกตัวขึ้น ซึ่งจุดที่คลื่นแตกตัวนั้นเรียกว่า Breaking Point รูปทรงสัณฐานของชายหาดจะแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สัณฐานของชายฝั่ง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sorensen, 2006

## 2.3 สาเหตุของการกัดเซาะชายฝั่งและแนวทางการแก้ไข

สาเหตุของปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งเกิดจากปัจจัยหลักๆ 2 ปัจจัยได้แก่ การกระทำของมนุษย์ และ ผลจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

### 2.3.1 สาเหตุการกัดเซาะชายฝั่งจากการกระทำของมนุษย์

การกระทำของมนุษย์ถือได้ว่าเป็นสาเหตุให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งได้ ส่วนมากจะเกิดจากกิจกรรมที่ดำเนินไปเพื่อผลประโยชน์ของมนุษย์โดยมิได้คำนึงถึง ผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นตามมาภายหลัง กิจกรรมดังกล่าวสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

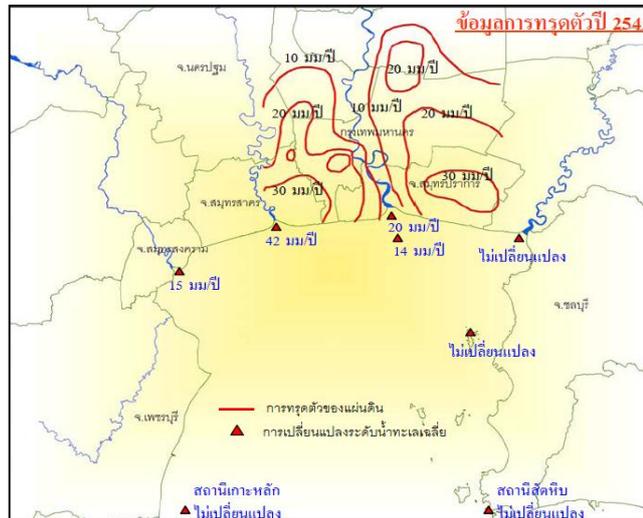
1. การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ชายฝั่งผิดประเภทและไม่เหมาะสม มนุษย์เป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยรวมกันเป็นกลุ่มเป็นชุมชน เมื่อประชากรมีมากขึ้นความต้องการทรัพยากรก็มากขึ้นตามไปด้วยในขณะเดียวกันก็ต้องการพื้นที่สำหรับอยู่อาศัยที่มากขึ้น ในกรณีของพื้นที่ชายฝั่งทะเล เมื่อเกิดการขยายตัวของสังคมมนุษย์ ก็ย่อมเกิดการลุกล้ำพื้นที่ชายฝั่ง และมักจะเกิดการนำทรัพยากรที่มีอยู่เดิมมาใช้ เช่น กรณีของป่าชายเลน มักจะเกิดการตัดต้นไม้ไปใช้ประโยชน์ โดยเผาถ่าน หรือ ทำข้าวของเครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น บางแห่งเกิดการพัฒนาเป็นสถานที่ท่องเที่ยว เมื่อมีจำนวนนักท่องเที่ยวมากขึ้นความต้องการทางด้านที่พักอาศัยก็เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้พื้นที่ป่าชายเลน หรือพื้นที่ของชายหาดกลายเป็น รีสอร์ท โรงแรม หรือ บ้านพักต่างอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ทำให้เกิดการเสียสมดุลภาพของชายฝั่ง หรือบางที่เกิดการแปลงสภาพที่ดินจากป่าชายเลนให้กลายเป็นบ่อเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น

2. การพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเล บ่อยครั้งโครงการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลส่วนใหญ่ทำให้เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งตามมาไม่ว่าจะเป็นการ สร้างท่าเรือน้ำลึก การสร้างโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง ซึ่งการกระทำดังกล่าวจะเป็นการทำให้กระบวนการทางชายฝั่งเสียสมดุลไป การสร้างสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่อาจจะไปปิดขวางทิศทางการกระแสน้ำในทะเล ส่งผลให้ตะกอนไม่สามารถหรือมวลทรายไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ ส่งผลให้เกิดสภาวะขาดสมดุลและเกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลตามมา

3. การก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง โครงสร้างป้องกันชายฝั่งทะเลบางประเภท เช่น รอดักทราย (Groin) และ เจตตี้ (Jetty) เป็นโครงสร้างที่มีการกีดขวางการหมุนเวียนของกระแสน้ำในทะเล ส่งผล

ให้การหมุนเวียนของตะกอนทรายถูกกีดขวาง ส่งผลให้ชายหาดเสียดสภาวะสมดุลจึงเกิดปัญหาชายฝั่งถูกกัดเซาะจากคลื่นในทะเล กรณีนี้เกิดขึ้นที่บริเวณหาดจอมเทียน ซึ่งได้มีการก่อสร้างรอดักทรายเพื่อตัดตะกอนไม่ให้ปีดร่องน้ำ จึงส่งผลให้หาดจอมเทียนมีอัตราการกัดเซาะชายฝั่งที่สูงขึ้น

4.การทรุดตัวของแผ่นดิน การทรุดตัวของแผ่นดิน จากการสูบน้ำบาดาลมาใช้ในปริมาณมากเพื่อการอุปโภค-บริโภค การเกษตรและอุตสาหกรรม เนื่องจากน้ำในดินจะเป็นตัวช่วยในการรับน้ำหนักที่กดทับจากบริเวณผิวดิน ดังนั้นเมื่อมีการสูบน้ำบาดาลออกไปก็จะส่งผลให้ดินต้องรับน้ำหนักมากขึ้นทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดินตามมา ในปัจจุบันพบว่าพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบนมีอัตราการทรุดตัวอยู่ที่ 30 มม.ต่อปี และระดับน้ำทะเลมีอัตราเพิ่มขึ้นประมาณ 42 มม.ต่อปี (กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง,2551) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทรุดตัวของพื้นดินและการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

ที่มา : รายงานสรุป “โครงการจัดทำแผนหลักและแผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณอ่าวไทยตอนบน” กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง , 2551

### 2.3.2 สาเหตุการกัดเซาะชายฝั่งจากกระบวนการทางธรรมชาติ

นอกจากการกระทำของมนุษย์แล้วธรรมชาติเองก็มีกระบวนการการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ ในกรณีของชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงอาจเกิดได้จากอิทธิพลของคลื่น-ลม อิทธิพลของกระแสน้ำ พายุ หรือแม้แต่ปรากฏการณ์น้ำขึ้น-น้ำลง ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยให้เกิดการเคลื่อนตัวของตะกอนและเกิดกระบวนการกัดเซาะและทับถมของตะกอนบริเวณชายฝั่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. อิทธิพลของคลื่น คลื่นในทะเลฝั่งอ่าวไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนกุมภาพันธ์ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ครอบคลุมในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือน กันยายน โดยที่คลื่นในอ่าวไทยจะประกอบไปด้วยคลื่นขนาดเล็กที่มีความสูงคลื่นไม่เกิน 2 เมตร และคลื่นที่มีความสูงมากกว่า 2 เมตร ซึ่งมักจะเกิดบริเวณอ่าวไทยตอนล่างฝั่งตะวันออกเพราะพื้นที่มีลักษณะเปิดออกสู่ทะเลกว้าง

2. อิทธิพลของน้ำขึ้น-น้ำลง ลักษณะการขึ้น-ลง ของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยสามารถเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ น้ำเคียว น้ำผสมชนิดน้ำจืด และน้ำผสมชนิดน้ำเคียว โดยที่ระดับความต่างของระดับน้ำขึ้น-ลง เฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 เมตร (กระทรวงทรัพยากรทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551) ในกรณีของทะเลฝั่งอันดามันเป็นลักษณะของน้ำผสมชนิดจืด และมีค่าความแตกต่างระหว่างระดับน้ำขึ้น-ลงแต่ละแห่งไม่แตกต่างกัน ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างระดับน้ำขึ้น-ลง จะส่งผลต่อการสะสมตะกอน

3. อิทธิพลของลมพายุ บ่อยครั้งพบว่าพายุที่ก่อตัวในทะเลจีนใต้เคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าวไทยส่งผลทำให้คลื่นมีขนาดความสูงและทวีความรุนแรงมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งที่มากขึ้น โดยที่พายุที่ก่อตัวในทะเลจีนใต้นี้จะเคลื่อนตัวผ่านอ่าวไทยและไปสลายตัวทางชายฝั่งทะเลอันดามัน นอกจากนั้นทะเลฝั่งอ่าวไทยยังได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงเดือนพฤศจิกายน – เดือนกุมภาพันธ์ ก็ส่งผลให้เกิดคลื่นที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและส่งผลต่อทิศทางการไหลวนของกระแสน้ำทำให้ตะกอนเกิดการเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของกระแสน้ำ จากนั้นช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ซึ่งเป็นช่วงของลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ อิทธิพลของลมมรสุมนี้จะทำให้เกิดกระแสน้ำในทิศทางตรงกันข้ามกับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ตะกอนเกิดการพัดพากลับเข้าสู่ชายฝั่ง

4. สภาวะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกและการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล อุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งในอนาคตได้มีการคาดการณ์กันว่าอุณหภูมิของโลกจะสูงขึ้นอีก 2-4 องศาเซลเซียส ภายในปี พ.ศ. 2552-2562 และระดับน้ำทะเลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ย 30-60 เซนติเมตร (ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล 2550)

### 2.3.3 แนวทางในการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง

แนวทางในการแก้ไขหรือบรรเทาปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งสามารถทำได้ใน 2 รูปแบบด้วยกัน ได้แก่ วิธีการแก้ปัญหาโดยใช้โครงสร้างหรือมาตรการแบบแข็ง(Hard Solution) และวิธีการแก้ปัญหาโดยไม่ใช้โครงสร้างหรือมาตรการแบบอ่อน ( Soft Solution ) วิธีการแก้ปัญหาโดยใช้โครงสร้างหรือมาตรการแบบแข็งเป็นการสร้างโครงสร้างทางวิศวกรรมเพื่อใช้ในการลดความรุนแรงของคลื่นที่เคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งและใช้ในการดักตะกอนไม่ให้เคลื่อนตัวไปยังบริเวณอื่นหรือเพื่อดักตะกอนที่เคลื่อนตัวมาจากบริเวณอื่นให้มาทับถมในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างโครงสร้าง รูปแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมที่สร้างขึ้นมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ และพิจารณาถึงปัจจัยภายนอกอื่น ๆ อีก เช่น การยอมรับของสังคม งบประมาณ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ฯลฯ รูปแบบโครงสร้างที่ใช้ได้แก่

1. เขื่อนกันคลื่น (Breakwater)
2. กำแพงกันคลื่น (Seawall)
3. เจตตี (Jetty)
4. รอดักทราย (Groin)
5. ไส้กรอกทราย (Sand Sausage)

วิธีการแก้ปัญหาแบบไม่ใช้โครงสร้างหรือมาตรการแบบอ่อนเป็นวิธีการแก้ปัญหาโดยที่ไม่ใช้โครงสร้างทางวิศวกรรม แต่ใช้กระบวนการแก้ปัญหาโดยวิธีทางธรรมชาติ และวิธีการแก้ปัญหาแบบไม่ใช้โครงสร้างนี้ส่วนใหญ่จะได้รับการยอมรับจากสังคม และมักจะไม่ค่อยส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์หรือสิ่งแวดล้อมซึ่งต่างจากการวิธีการแก้ปัญหาแบบใช้โครงสร้าง การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถดำเนินการได้หลายอย่างเช่น

1. การเติมทรายเข้าสู่ชายหาดที่ถูกกัดเซาะ (Beach Nourishment)
2. การปลูกป่าชายเลน ( Mangrove Afforestation )
3. จัดทำระบบการบริหารจัดการชายฝั่ง (Coastal Zone management )
4. ทำการจัดระเบียบหรือออกกฎหมายควบคุมไม่ให้เกิดการขุดดินหรือทรายออกนอกบริเวณชายฝั่ง

ซึ่งแต่ละแนวทางก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน และในการตัดสินใจว่าจะเลือกใช้วิธีใดในการแก้ปัญหานั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างอันได้แก่ งบประมาณ ความเหมาะสมทางวิศวกรรม ความเหมาะสมทางภูมิศาสตร์ รวมถึงการยอมรับของคนในชุมชนที่อาศัยในบริเวณที่ประสบปัญหา และนอกจากนั้นยังต้องศึกษาถึงผลกระทบของแต่ละวิธีการที่อาจจะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ข้างเคียงอีกด้วย

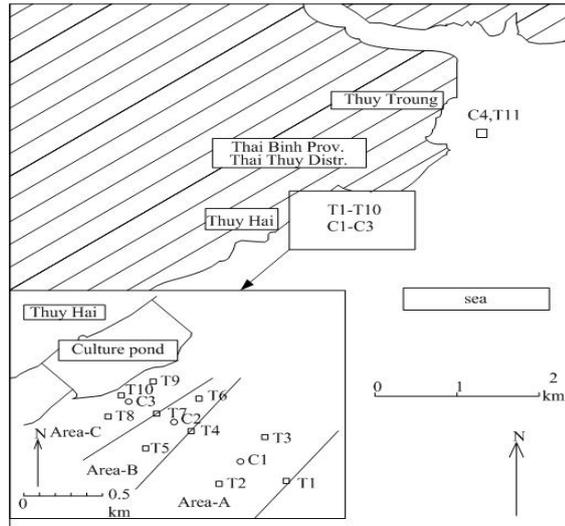
## 2.4 งานวิจัยเกี่ยวกับการป้องกันชายฝั่งด้วยป่าชายเลน

Dalrymple, et al. (1984) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “Wave diffraction due to areas of energy dissipation” ซึ่งได้อธิบายว่าคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านส่วนที่ปกคลุมด้วยพืชพลังงานคลื่นส่วนหนึ่งจะถูกสลายไป ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์โดยเริ่มต้นจากสมการอนุพันธ์พลังงาน จากนั้นตั้งสมมุติฐานว่าการสลายพลังงานคลื่นเกิดขึ้นจากแรงดูดอย่างเฉื่อยเท่านั้น โดยที่ค่าความเร็วของกลุ่มคลื่นคงที่เนื่องจากค่าระดับน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้ได้สมการการสลายพลังงานคลื่นเนื่องจากแรงดูดที่เกิดจากต้นพืช ดังสมการที่ 2.1

$$\varepsilon_v = \frac{2}{3\pi} \rho C_d b_v N_v \left( \frac{kg}{2\sigma} \right)^3 \frac{\sinh^3 k\alpha h + 3 \sinh k\alpha h}{3k \cosh^3 kh} H^3 \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\varepsilon_v$  คือ ค่าระยะเวลาเฉลี่ยการสลายพลังงานคลื่นต่อหนึ่งหน่วยระยะทางเหนือความสูงของต้นไม้  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ  $C_d$  คือ สัมประสิทธิ์แรงดูด  $b_v$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น  $N_v$  คือ ค่าความหนาแน่นของต้นไม้  $k$  คือ เวฟนัมเบอร์ (Wave Number)  $\sigma$  คือ ความถี่เชิงมุมของคลื่น (Angular wave frequency)  $\alpha h$  คือ ค่าความสูงเฉลี่ยของต้นไม้  $h$  คือ ค่าความลึกของระดับน้ำ และ  $H$  คือ ความสูงคลื่น

Mazda, et al.(1997) ได้ทำการศึกษาการป้องกันชายฝั่งด้วยป่าชายเลนที่มีการปลูกขึ้นใหม่ ในบริเวณพื้นที่ Thong King Delta ประเทศเวียดนาม ทำการศึกษาโดย แบ่งพื้นที่การศึกษาออกเป็น 3 พื้นที่โดยพื้นที่แรก (Area-A) เป็นป่าชายเลนที่มีอายุประมาณ 6 เดือน พื้นที่ที่ 2 (Area-B) เป็นพื้นที่ป่าชายเลนที่มีอายุ ประมาณ 2-3 ปี และพื้นที่สุดท้าย (Area-C) เป็นพื้นที่ป่าชายเลนที่มีอายุประมาณ 5-6 ปี จากนั้นทำการวัดค่าระดับน้ำที่สถานีต่างๆ 11 สถานี (T1-T11) และทำการเก็บวัดค่าความเร็วกระแสแนวด้วยเครื่องมือวัดความเร็วกระแสแนวแบบ อิเล็กทรอนิกส์ ณ สถานีต่างๆอีก 4 สถานี (C1-C4) ดังรูปที่

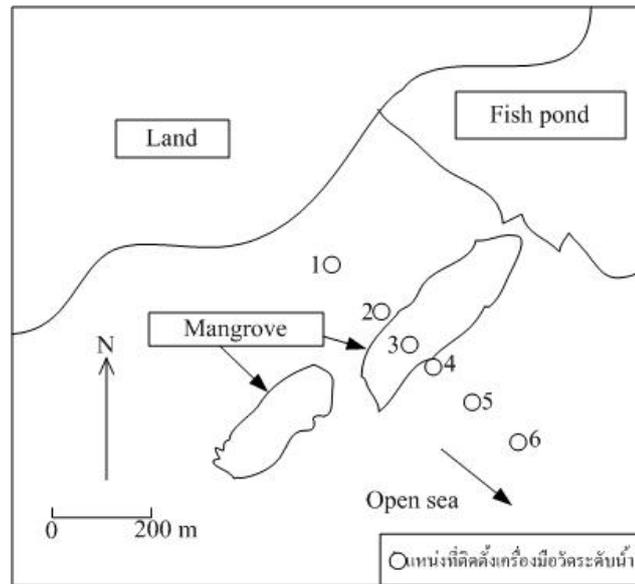


รูปที่ 2.3 ตำแหน่งพื้นที่ทำการศึกษและการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำและความเร็วกระแสน้ำ  
ที่มา: คัดแปลงจาก Mazda et al, 1997

ทำการเก็บวัดข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 30 วัน จากผลการศึกษาพบว่า ป่าชายเลนสามารถลดการกระเพื่อมของคลื่นที่เข้ามาปะทะและสามารถใช้เป็นแนวป้องกันชายฝั่งได้ และในกรณีของป่าชายเลนที่มีอายุประมาณ 6 ปี ใน Area-C สามารถลดความสูงคลื่นจาก 1.00 เมตร ลดลงเหลือ 0.50 เมตร เมื่อทำการพิจารณาค่าความหนาแน่นของต้นไม้ที่เพิ่มขึ้น พบว่าค่า Wave reduction ยังคงที่ ถึงแม้ว่าค่าระดับน้ำจะมีค่ามากขึ้นก็ตาม ถึงกระนั้นการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาโดยพิจารณาคลื่นที่มีคาบคลื่น 5-8 วินาทีเท่านั้น และยังไม่ได้มีการพิจารณาถึงชนิดของต้นไม้ในป่าโกงกาง ค่าของคาบคลื่นที่มีขนาดอื่นๆ และระยะห่างและความหนาแน่นของต้นไม้

Burger (2005) ทำการศึกษาเรื่อง “Wave Attenuation in Mangrove Forests Numerical modeling of wave attenuation by implementation of a physical description of vegetation in SWAN” โดยใช้ข้อมูลภาคสนามจากการศึกษาของ Mazda et al., 1997 และ Mazda et al., 2006 (ทำการเก็บวัดข้อมูลจากปี 1995) มาเป็นข้อมูลนำเข้าและปรับแก้ในแบบจำลอง โดยผลการศึกษาพบว่า สมการของ Dalrymple (Dalrymple, 1984) ดังสมการที่ 2-1 มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายถึงปรากฏการ Wave Attenuation in Mangrove Forests มากที่สุด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงดูดเป็นตัวแปรเพียงตัวเดียวที่ต้องทำการปรับแก้ในสมการของ Dalrymple 1984 จากการปรับแก้ในการศึกษาจากชุดข้อมูลจากการเก็บวัด โดย Mazda et al., 1997 และ 2006 พบว่ามีค่าระหว่าง 0.01 และ 0.10 สำหรับข้อมูลทั้ง 2 ชุด

Mazda, et al. (2006) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp.” พื้นที่ทำการศึกษานั้นเป็นทางตอนเหนือของประเทศเวียดนาม ทำการศึกษาโดยการนำข้อมูลที่ได้มีการเก็บวัดข้อจากภาคสนามในปี ค.ศ. 1995 มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งการศึกษาในครั้งนั้น ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าระดับน้ำไว้ที่ตำแหน่ง 1-6 ด้วยเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบ RMD-Type ดังรูปที่ 2.4

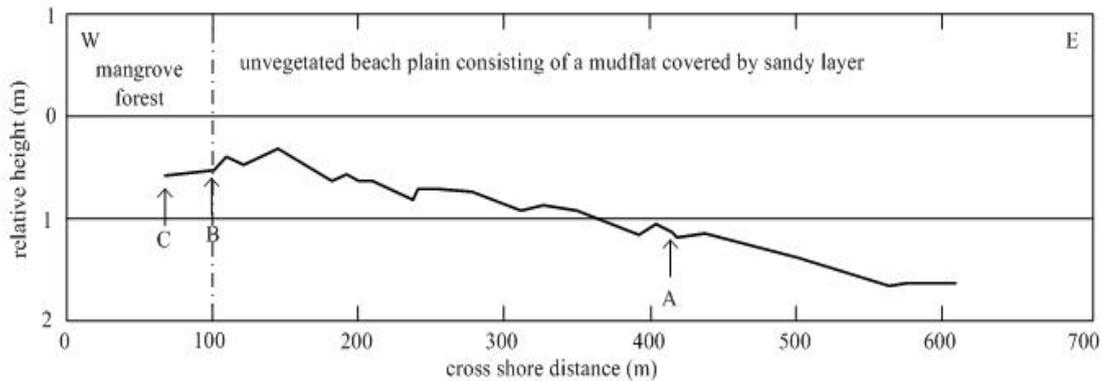


รูปที่ 2.4 ตำแหน่งที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าระดับน้ำ

ที่มา: คัดแปลงจาก Mazda et al., 2006

จากผลการศึกษาพบว่า ในเขตน้ำตื้นค่า Wave reduction ที่เกิดจากแรงจุดเนื่องจากรากของต้นลำพู (*Sonneratia*) จะมิต่ำลงเมื่อค่าระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้น ถึงกระนั้นเมื่อค่าระดับน้ำเพิ่มสูงขึ้นจนถึงระดับที่ท่วมถึง กิ่ง ก้าน และใบของต้นไม้พบว่าค่า Wave reduction จะมีค่ามากขึ้นแปรผันตรงกับค่าระดับน้ำ ดังนั้นจากการศึกษานี้จึงสรุปได้ว่าแนวป่าชายเลนสามารถช่วยป้องกันชายฝั่งจากคลื่นได้

Quartel, et al. (2006) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “Wave attenuation in coastal mangroves in the Red River Delta, Vietnam” โดยการเก็บข้อมูลภาคสนาม ที่บริเวณ Red River Delta ประเทศเวียดนาม ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำและเครื่องมือวัดความเร็วกระแส น้ำบนอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นขา 3 ขา ทำการติดตั้งเครื่องมือดังกล่าว 3 ตำแหน่ง (A, B and C) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ช่วงเวลาที่ทำการเก็บวัดข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 19 มิถุนายน ค.ศ. 2000 ถึง 13 สิงหาคม ค.ศ.2000

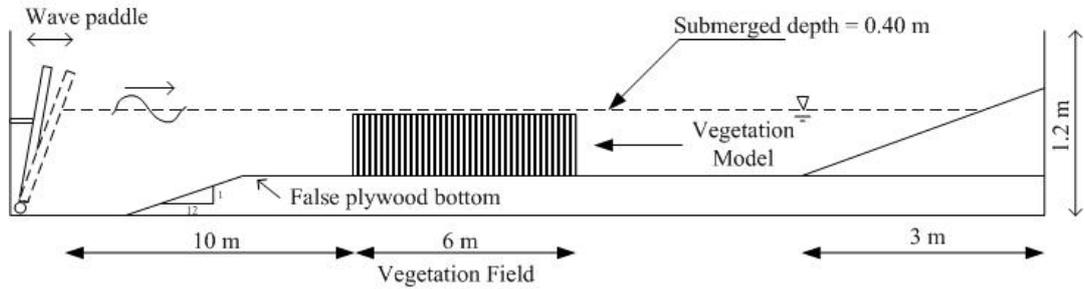


รูปที่ 2.5 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือและรูปตัดขวางของชายหาด

ที่มา: คัดแปลงจาก Quartel et al., 2006

จากผลการศึกษาพบว่า คลื่นที่เคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งมีค่าความสูงคลื่นลดลงเนื่องจากการสลายพลังงานจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ ซึ่งการลดลงของความสูงคลื่นนี้แปรผกผันกับค่าระดับน้ำที่สูงขึ้นในเขตป่าชายเลนพบว่า การสลายพลังงานคลื่นเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำมีค่ามากกว่าการสลายพลังงานเนื่องจากแรงจุดและ สำหรับกรณีของต้นรังกะแท้ (*Kandelia candel*) ค่าสัมประสิทธิ์แรงจุดสามารถคำนวณได้จาก  $C_D = 0.6e^{0.15A}$  (เมื่อ  $A$  คือ ภายของภาพตัดขวางของสิ่งกีดขวางใต้น้ำ) และพื้นที่ไม่มีต้นไม้อีกคลุม  $C_D = 0.6$

Augustin, et al. (2008) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation” โดยทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ในรางทดสอบคลื่นขนาด 0.9x1.2 เมตร ยาว 30.5 เมตร เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของ ค่าระดับน้ำ คาบคลื่น และความหนาแน่นของต้นไม้ที่มีผลต่อ wave attenuation โดยแบบจำลองของต้นไม้สร้างจากแท่งไม้รูปทรงกระบอกในกรณีที่ไม่พิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของต้นไม้ และใช้โพลีเอทิลีนเป็นแบบจำลองในกรณีที่พิจารณาการเคลื่อนที่ของต้นไม้ แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณีด้วยกัน กรณีแรกทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองที่ทำจากโพลีเอทิลีนโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างต้นมีค่าเท่ากับ 10.2 เซนติเมตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 97 ต้นต่อตารางเมตร กรณีที่ 2 ทำการทดสอบโดยใช้แบบจำลองมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า จากกรณีแรก ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 194 ต้นต่อตารางเมตร และการทดสอบในกรณีที่ 3 จะใช้แบบจำลองที่ทำจากแท่งไม้รูปทรงกระบอกโดยใช้ค่าความหนาแน่นที่มากที่สุด โดยที่การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Augustin et al.,2008

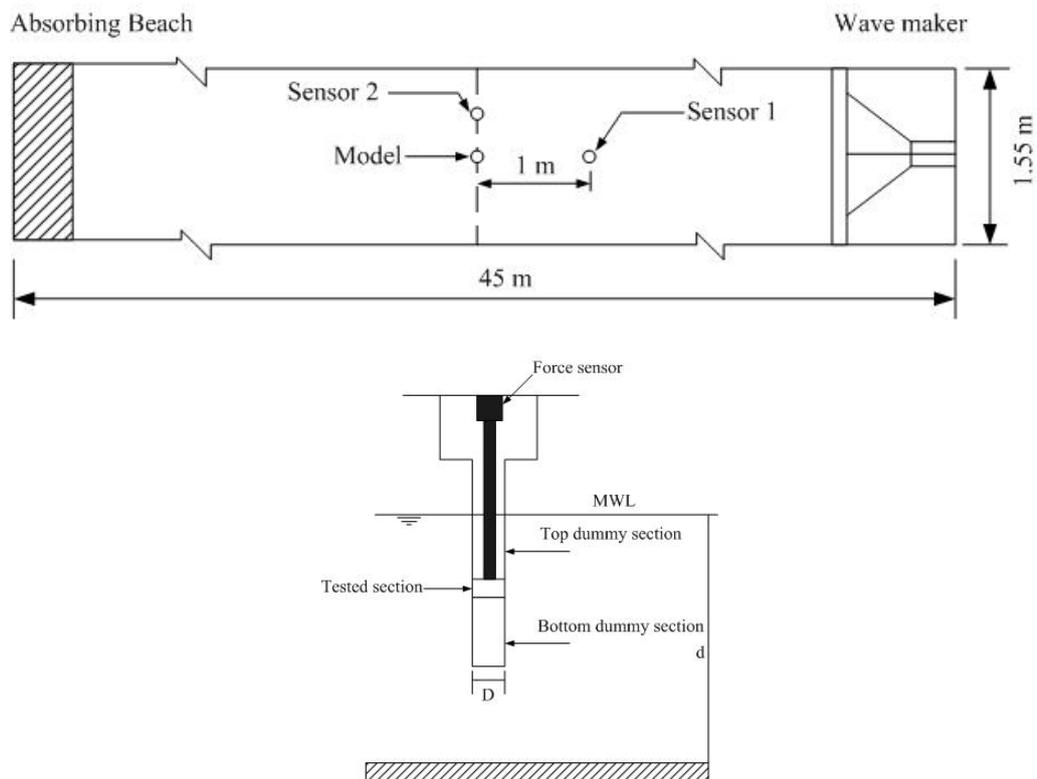
จากผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงจุดในการทดสอบแบบ emergent (แบบจำลองโครงสร้าง โพล์พื้นน้ำ ค่าระดับน้ำเท่ากับ 0.30 m) จะแปรผันตรงกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ แต่ในการทดสอบกรณีที่เป็น submerge (แบบจำลองโครงสร้างจมอยู่ใต้น้ำ ค่าระดับน้ำเท่ากับ 0.40 m) ค่าของสัมประสิทธิ์แรงจุดจะสัมพันธ์กับค่า Keulegan–Carpenter number (KC number) และพบว่าในกรณี emergent ปรากฏการณ์ wave attenuation จะมีค่ามากกว่ากรณีของ submerge เนื่องจากความเร็วอนุภาคสูงสุดของคลื่นจะอยู่ที่ตำแหน่งใกล้กับสันคลื่น ซึ่งในกรณีของ emergent ความเร็วในส่วนนี้จะปะทะกับ ส่วนใบของต้นโกงกางทำให้ความเร็วมีค่าลดลงแต่ในกรณีของ submerge จะตรงกันข้ามเนื่องจากไม่มี ส่วนของต้นไม่ไปปะทะกับความเร็วอนุภาคในตำแหน่งสันคลื่น ในส่วนของแบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยใช้แบบจำลอง COULWAVE พบว่าค่าของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.19 ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของต้นไม้กับค่าระดับน้ำ และให้ผลสอดคล้องกับ แบบจำลองทางกายภาพ

## 2.5 แรงจากคลื่นที่กระทำต่อโครงสร้างทรงกระบอก

Venugopal, et al. (2006) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “Wave force coefficients for horizontally submerged rectangular cylinders” ศึกษาโดยใช้รางทดสอบคลื่นขนาด กว้าง 4.6 เมตร ลึก 2.7 เมตร และยาว 77 เมตร ใช้เครื่องกำเนิดคลื่นแบบ Flap type ที่สามารถให้กำเนิดคลื่นแบบ Regular wave และแบบ Random wave แห่งทรงกระบอกติดตั้งโดยยึดกับโครงด้านบนของรางทดสอบคลื่น เพื่อทำการหาค่าแรงที่กระทำต่อโครงสร้างแห่งทรงกระบอกในแนวราบและแนวตั้ง ที่กระทำบนหน้าตัดขนาด 100 ตารางมิลลิเมตร ของแห่งทรงกระบอก ที่มีการใช้เป็น Pontoon สำหรับโครงสร้างนอกชายฝั่ง ทำการวัดค่าโดยใช้เครื่องมือวัดความสูงคลื่นแบบ Resistance และทำการติดตั้ง Load Cell ที่ด้านบนของ โครงสร้างเพื่อใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงจุดและสัมประสิทธิ์แรงเฉื่อย จากผลการศึกษา

พบว่า ที่ค่า Keulegan–Carpenter number (KC number) น้อยๆจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงจุดจะมีค่ามากและค่าสัมประสิทธิ์แรงจุดมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อค่า KC นัมเบอร์มีค่าสูงขึ้นโดยค่า KC ที่ใช้ในการศึกษานี้มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 5.0 ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉื่อยจะมีค่าลดลงในกรณีที่ KC นัมเบอร์มีค่ามากขึ้นแต่การลดลงจะน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีของค่าสัมประสิทธิ์แรงจุด

Yuan และ Huang (2010) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “An experimental study of inertia and drag coefficients for a truncated circular cylinder in regular waves” ทำการทดสอบในรางทดสอบคลื่นที่มีขนาด กว้าง 1.55 เมตร ลึก 1.55 เมตร และยาว 45 เมตร ใช้เครื่องกำเนิดคลื่นแบบ Piston type ให้กำเนิดคลื่นแบบ Regular wave ที่มีค่าความสูงคลื่นในช่วง 6-14 เซนติเมตร ที่ค่าระดับน้ำคงที่เท่ากับ 1.00 เมตร ทำการวัดความสูงคลื่น 2 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งด้านหน้าของทรงกระบอกที่ระยะ 1.00 เมตร และตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งเดียวกับแท่งทรงกระบอก โดยใช้ Ultralab ULS 40D sensor และที่ส่วนปลายด้านบนของแท่งทรงกระบอกได้ทำการติดตั้ง force sensor เพื่อใช้คำนวณหา ค่าสัมประสิทธิ์แรงจุด และสัมประสิทธิ์แรงเฉื่อย จาก Morison Equation และทำการหาความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ดังกล่าวกับ KC number การติดตั้งเครื่องมือทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การติดตั้งอุปกรณ์ในรางทดสอบและการติดตั้ง Force sensor  
ที่มา: ดัดแปลงจาก Yuan and Huang, 2010

จากผลการศึกษาเบื้องต้นสรุปว่า ค่าสัมประสิทธิ์แรงจุดจะมีค่าลดลงเมื่อความยาวของแท่งทรงกระบอกลดลง ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉื่อยจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในกรณีที่มีความยาวของแท่งทรงกระบอกสั้นลง

## 2.6 การศึกษาโดยการทดสอบในรางทดสอบคลื่นและการเก็บวัดข้อมูลภาพถ่าย

Huang (2007) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “An experimental study of the surface drift currents in a wave flume” ทดสอบในรางทดสอบคลื่นขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ลึก 50 เซนติเมตร และยาว 15 เมตร ใช้เครื่องกำเนิดคลื่นแบบ Flap Type ทำการเก็บวัดค่าความเร็วคลื่นด้วยการใช้ภาพถ่ายวิดีโอจากกล้องดิจิทัลที่ติดตั้งอยู่เหนือรางทดสอบคลื่นถ่ายลงมาตั้งฉากกับผิวน้ำ และใช้คอมพิวเตอร์ประมวลผลไปยังรางทดสอบคลื่นเพื่อให้เกิดภาพสะท้อนของอนุภาคที่อยู่ในน้ำ จากนั้นทำการแบ่งความเร็วออกเป็น 2 ทิศทางได้แก่ ทิศทางในแกน x และ y การวิเคราะห์ผลความเร็วทำได้โดยวิธี Particle Tracking Method ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยการวัดระยะทางของ Particle ที่เคลื่อนที่ไปในขณะที่เวลาผ่านไปเท่ากับ  $\Delta t$  ของภาพที่ 1 กับภาพที่ 2 เมื่อทราบระยะทางและเวลาที่จะสามารถหาความเร็ว

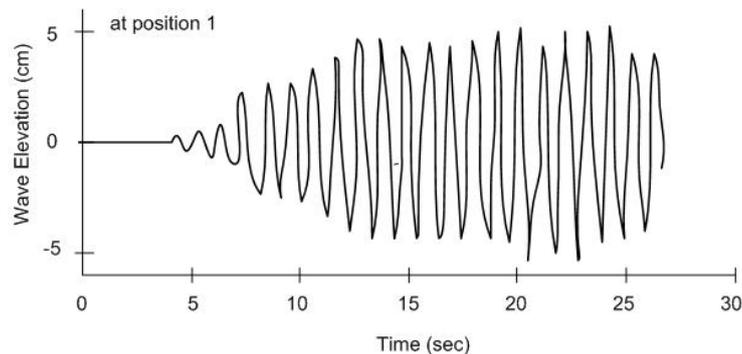
ได้โดยการนำระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่หารด้วยเวลา ซึ่งความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่วัดได้สามารถทำได้โดยความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\left| \frac{\Delta u}{u} \right| \leq \left| \frac{\delta x}{\Delta x} \right| + \left| \frac{\delta t}{\Delta t} \right| \quad (2.2)$$

เมื่อ  $\delta x$  และ  $\delta t$  คือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากระยะทางและเวลาในช่วงการวัดค่า  $\Delta x$  และ  $\Delta t$  ตามลำดับ โดยที่  $\delta x$  จะขึ้นอยู่กับค่าความละเอียดของกล้องที่ใช้ เช่น 1 mm/pixel ค่า  $\delta x$  ก็จะมีค่าประมาณ 1-2 mm. ในกรณีของ  $\delta t$  ก็จะขึ้นอยู่กับจำนวนเฟรมต่อวินาที เช่น จากการศึกษาที่ใช้จำนวนเฟรมต่อวินาทีเท่ากับ 25 ดังนั้น  $\delta t$  ก็จะมีค่าเท่ากับ 1/25 และเมื่อทำการแทนค่าลงในสมการที่ 2.2 แล้ว ข้อมูลที่วัดได้จะมีความน่าเชื่อถือเมื่อ ค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10

Rageh และ Koraim (2010) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “Hydraulic performance of vertical walls with horizontal slots used as breakwater” ด้วยการทดสอบในรางทดสอบคลื่นขนาด กว้าง 1 เมตร ลึก 1 เมตร และยาว 15 เมตร ทำการเก็บวัดค่าความสูงคลื่นด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โดยใช้กล้อง Sony MVC-CD 500 Digital Still Camera ด้วยการบันทึกภาพวิดีโอโดยที่การทดสอบในแต่ละครั้งจะใช้ระยะเวลาในการบันทึกค่ามากกว่า 2.5 เท่าของระยะเวลาที่คลื่นเดินทางจากเครื่องกำเนิดคลื่นมาถึงจุดที่ทำการสังเกตเพื่อให้ครอบคลุมปรากฏการณ์ทั้งหมด จากนั้น ใช้เทคนิคการ slow ภาพ ด้วยโปรแกรม

Adobe Premier เพื่อทำการเขียนเส้นระดับผิวน้ำที่เวลาต่างๆ ซึ่งค่าระยะทางระหว่างจุดสูงสุดและต่ำสุดจะแสดงถึงค่าความสูงคลื่น และค่าเวลาจากสันคลื่นลูกหนึ่งไปยังสันคลื่นอีกลูกหนึ่งจะแสดงถึงค่าคาบคลื่น ทำการบันทึกค่าความสูงคลื่น 3 ตำแหน่ง โดยที่ 2 ตำแหน่งแรกอยู่บนน้ำโครงสร้างกำแพงที่ระยะ 0.2L และ 0.6L เมื่อ L คือค่าความยาวคลื่น เพื่อศึกษาผลของการ Reflect ของคลื่น และตำแหน่งที่ 2 ทำการวัดที่ระยะ 1.5 เมตร ห่างจากโครงสร้างกำแพงตัวอย่างของข้อมูลที่ได้จากการเก็บวัดด้วยกล้องถ่ายภาพแสดงไว้ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างข้อมูลที่เก็บวัดโดยภาพถ่าย

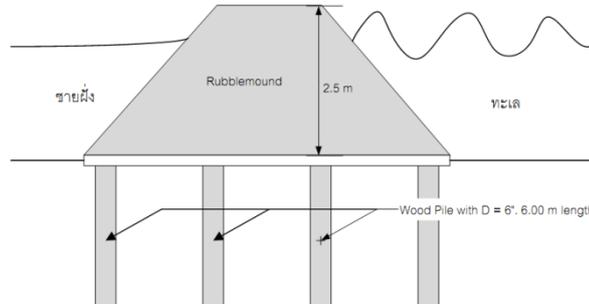
ที่มา: ดัดแปลงจาก Rageh และ Koraim, 2010

และในปีต่อมา Koraim, et al.( 2011) ได้ทำการศึกษาเรื่อง “Hydrodynamic characteristics of double permeable breakwater under regular waves” ด้วยการทดสอบในรางทดสอบคลื่นโดยใช้วิธีการเก็บค่าความสูงคลื่นด้วยวิธีเดียวกันกับ Rageh และ Koraim ในปี 2010 โดยเพิ่มในส่วนของการ Calibration ด้วยวิธีทางสถิติในทุกครั้งที่ทำการทดสอบและพบว่าค่า Standard derivation มีค่าน้อยกว่า 1

## 2.7 รูปแบบโครงสร้างที่ใช้สำหรับการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณหาดโคลน

เนื่องด้วยลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน ที่มีลักษณะชายหาดเป็นดินโคลนหรือดินเลน ทำให้การก่อสร้างโครงสร้างป้องกันชายฝั่งที่มีน้ำหนักมากและเป็นที่ยอมรับใช้สำหรับการแก้ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งบนพื้นที่ที่เป็นหาดทราย เช่น กำแพงกันคลื่น (Sea Wall) เขื่อนป้องกันคลื่น (Breakwater) รอดักทราย (Groin) เขื่อนกันทรายและกันคลื่น (Jetty) ดังนั้น กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2551) จึงได้ศึกษาและนำเสนอรูปแบบของโครงสร้างป้องกัน โดยมีแนวคิดในการออกแบบที่สำคัญอยู่ 2 ข้อ ได้แก่ โครงสร้างที่ออกแบบต้องมีความสูงเพียงพอต่อการสลายพลังงานคลื่นครอบคลุมถึงกรณีที่ระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุด และ โครงสร้างต้องไม่ทรุดตัวมากต่อเนื่องในระยะยาวซึ่งจะส่งผลให้โครงสร้างชายเสถียรภาพและจมหายไปโคลน ซึ่งจากแนวคิด

ดังกล่าวได้มีการสรุปออกมาเป็นรูปแบบโครงสร้างที่มีการเสริมเสาเข็มเพื่อลดปัญหาการทรุดตัวและมีความสูงประมาณ 2.50 เมตร เพื่อไม่ให้เกิดน้ำหนักรวมของโครงสร้างที่มากเกินไปเนื่องจากจะมีผลต่อการทรุดตัวของโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาพตัดขวาง โครงสร้างป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งที่มีการเสริมเสาเข็มที่ฐานราก  
ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง, 2551

นอกจากโครงสร้างที่มีการเสริมเสาเข็มที่ฐานรากดังที่กล่าวมาแล้วนั้นยังมีที่พบว่านำมาใช้แก้ปัญหาในพื้นที่ดังกล่าวอีกเช่น การปักไม้ไผ่เป็นแนวเชื่อมกันคลื่น การปักเสาเข็มคอนกรีตเป็นแนวกันคลื่น ใ้สักรอกทราย และการปลูกป่าชายเลนทดแทนในบริเวณที่ก่อสร้างเขื่อนไม้ไผ่ ดังรูปที่ 2.10(ก.)-(ง.)



(ก.) เขื่อนไม้ไผ่สลายนพลังงานคลื่น



(ข.) เสาเข็มคอนกรีตสลายนพลังงานคลื่น



(ค.) ใ้สักรอกทรายสลายนพลังงานคลื่น



(ง.) การปลูกป่าชายเลนทดแทน

รูปที่ 2.10 โครงสร้างที่ใช้สำหรับการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งบริเวณหาดโคลน

เมื่อทำการพิจารณาข้อดี-ข้อเสีย ของ โครงสร้างแต่ละประเภท โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพและการเป็นที่ยอมรับของคนในชุมชนจะสามารถสรุปเป็น ข้อดี-ข้อเสีย ของ โครงสร้างรูปแบบต่างๆ ได้ดังตารางต่อไป

ตารางที่ 2.1 สรุปข้อดี-ข้อเสีย ของ โครงสร้างที่ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งบนหาดโคลน

รูปแบบ โครงสร้าง	ข้อดี	ข้อเสีย
เขื่อนกัน คลื่น/กำแพง กันคลื่น	<ul style="list-style-type: none"> <li>-สามารถสลายพลังงานคลื่นได้เกือบหมด</li> <li>- เป็น โครงสร้างแบบถาวร</li> <li>ต้องการการดูแลรักษาน้อยกว่า โครงสร้างแบบอื่น</li> <li>-เกิดการทับถมของตะกอนบริเวณหลังเขื่อน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ไม่สามารถสร้างให้สูงกว่า 1.5-2.0 เมตรได้</li> <li>เนื่องจากเกิดการทรุดตัว หรือต้องการปรับปรุงฐานรากซึ่งต้องใช้งบประมาณสูง</li> <li>-ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางของกระแสน้ำชายฝั่งอาจทำให้ระบบนิเวศถูกทำลาย หรือเกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย</li> <li>-ทำให้ทัศนียภาพชายฝั่งสูญเสีย</li> </ul>
เขื่อนไม้ไผ่	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ชุมชนสามารถดำเนินการก่อสร้างได้ด้วยตัวเอง</li> <li>-เกิดการตกตะกอนบริเวณหลังแนวเขื่อนไม้ไผ่</li> <li>-ใช้งบประมาณน้อยกว่า โครงสร้างรูปแบบอื่น</li> <li>-เกิดผลกระทบต่อชายหาดข้างเคียงน้อยกว่า โครงสร้างรูปแบบอื่น</li> <li>-เป็นที่ยอมรับของคนในชุมชน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-อายุการใช้งานน้อยเพียง 3 - 5 ปี</li> <li>-ต้องการการบำรุงรักษามากกว่าโครงสร้างอื่น เช่น อาจต้องมีการปักไม้ไผ่แซมบางต้นที่หักลง</li> <li>-ต้องใช้ไม้ไผ่เป็นจำนวนมากในการก่อสร้างอาจทำให้เกิดการขาดแคลนได้</li> </ul>
เสาเข็ม คอนกรีต	<ul style="list-style-type: none"> <li>-สามารถใช้เป็นแนวกันคลื่นนอกชายฝั่ง</li> <li>-ต้องการการบำรุงรักษาน้อยกว่าเขื่อนไม้ไผ่</li> <li>-อายุการใช้งานยาวนาน</li> <li>-ไม่เกิดปัญหาการทรุดตัวของโครงสร้าง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ใช้งบประมาณสูง ขึ้นอยู่กับรูปแบบ จำนวน และความยาวของเข็ม รวมถึงการก่อสร้างต้องใช้เครื่องจักรกลหนักทำให้ใช้งบประมาณสูง</li> <li>-เป็นอันตรายต่อการสัญจรทางน้ำในกรณีที่เสาเข็มจมอยู่ใต้น้ำ</li> <li>-ทำลายทัศนียภาพของชายฝั่ง</li> </ul>

ตารางที่ 2.1 สรุปข้อดี-ข้อเสีย ของโครงสร้างที่ใช้ในการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งบนหาดโคลน (ต่อ)

รูปแบบ โครงสร้าง	ข้อดี	ข้อเสีย
ไส้กรอก ทราย	<ul style="list-style-type: none"> <li>-สามารถสลายพลังงานคลื่นได้ดี</li> <li>-สามารถใช้เป็นโครงสร้างนอกชายฝั่ง</li> <li>-เป็นโครงสร้างแบบกึ่งถาวรสามารถรื้อถอนได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-มีการรั่วไหลของทรายทำให้เกิดการทำลายระบบนิเวศป่าชายเลน</li> <li>-ใช้งบประมาณการก่อสร้างสูง</li> <li>-เป็นอันตรายต่อการสัญจรองน้ำในกรณีที่เสาเข็มจมอยู่ใต้น้ำ</li> <li>-อาจเกิดผลกระทบต่อชายฝั่งข้างเคียง</li> </ul>

### บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในครั้งนี้ต้องการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการสลายพลังงานคลื่น โดยใช้โครงสร้างชุดแห่ง ทรงกระบอกด้วยการทดสอบในรางทดสอบคลื่น ดังนั้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในครั้งนี้ จึง ต้องกล่าวถึงทฤษฎีของคลื่น ทฤษฎีของแบบจำลอง ทฤษฎีของการสลายพลังงานคลื่น รวมถึงค่า สัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสลายพลังงานคลื่น รวมถึงทฤษฎีของบ็อกกิงแฮม-π ที่เป็นการนำพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาจัดกลุ่มและได้ผลลัพธ์อยู่ในรูปแบบกลุ่มตัวแปรที่ไร้มิติ

#### 3.1 คลื่น (Waves)

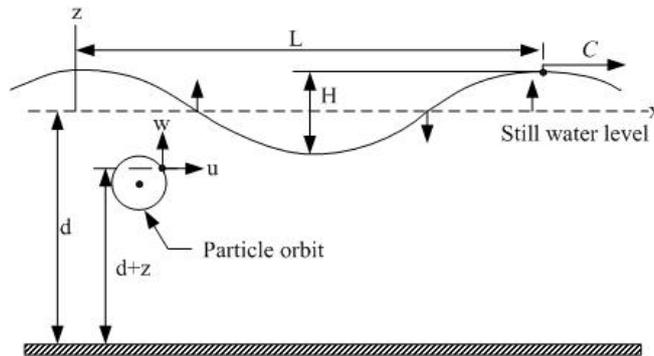
คลื่นถือได้ว่าเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่สามารถเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น เกิดจาก กระแสลมเรียกว่า “คลื่นลม” เกิดจากแผ่นดินไหวใต้ท้องทะเลเรียกว่า “คลื่นสึนามิ” และคลื่นที่เกิด จากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงระหว่าง โลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ “น้ำ ขึ้น-น้ำลง”

##### 3.1.1 ทฤษฎีคลื่น

ทฤษฎีคลื่นที่เป็นที่รู้จักและใช้เป็นพื้นฐานในการอธิบายลักษณะของคลื่นน้ำได้แก่ ทฤษฎีคลื่นเชิงเส้น (Linear wave theory) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Airy wave theory ที่คิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1845 โดยมี สมมุติฐานดังต่อไปนี้ (Airy, 1845)

- ค่าความลึกของน้ำคงที่
- พิจารณาการเคลื่อนที่ใน 2 มิติ
- คลื่นมีลักษณะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา
- ของเหลวมีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่อัดตัวไม่ได้ (Incompressible fluid)
- ไม่พิจารณาอิทธิพลของ ความหนืด แรงตึงผิว และการไหลแบบปั่นป่วน
- ค่าความสูงคลื่น (H) มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับค่าความยาวคลื่น (L) และค่าความลึกของน้ำ (d)

ลักษณะของคลื่นแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะคลื่นและตัวแปรต่างๆ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sorensen, 2006

สมการควบคุมหรือ Governing equation (Sorensen, 2006) สำหรับคลื่นใน 2 มิติ แสดงดังสมการที่ 3.1

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \tag{3.1}$$

เมื่อ  $\phi$  คือ ศักย์ความเร็ว

พบว่าสมการที่ 3.1 เป็นสมการที่ติดอยู่ในรูปแบบสมการของ ลาปลาซ ซึ่งการแก้สมการต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเพื่อช่วยในการแก้ปัญหา

โดยกำหนดให้

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) \tag{3.2}$$

เมื่อ  $k = \frac{2\pi}{L} \tag{3.2a}$

และ  $\sigma = \frac{2\pi}{T} \tag{3.2b}$

ที่ตำแหน่ง  $z = -d$  พบว่าค่าความเร็วในแนวดิ่ง  $w = \frac{\partial \phi}{\partial z}$

ที่ตำแหน่ง  $z = \eta$  พบว่า  $w = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} \tag{3.2c}$

สมการ Bernoulli สำหรับการไหลแบบ unsteady flow สามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{1}{2}(u^2 + w^2) + gz + \frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \quad (3.3)$$

เมื่อใช้เงื่อนไขขอบเขตตั้งที่กล่าวมาข้างต้นร่วมกับวิธีการแก้ปัญหาสมการที่ติดอยู่ในรูปของสมการลาปลาซ ก็จะสามารหาค่าศักย์ความเร็วได้มีค่าเท่ากับ

$$\phi = \frac{gH}{2\sigma} \frac{\cosh(d+z)}{\cosh kd} \sin(kx + \sigma t) \quad (3.4)$$

จึงทำให้สามารถคำนวณหาค่า ความเร็วยอดคลื่น  $C$  และ ความยาวคลื่น  $L$  ได้

$$\text{โดยที่} \quad C = \frac{L}{T} \quad \text{หรือ} \quad C = \frac{\sigma}{k} \quad (3.4a)$$

$$\text{และ} \quad L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (3.4b)$$

### 3.1.2 พลังงานคลื่นและกำลังงาน

พลังงานคลื่นประกอบไปด้วยพลังงาน 2 ชนิด ได้แก่ พลังงานศักย์ และ พลังงานจลน์

โดยที่พลังงานรวมหรือพลังงานคลื่นทั้งหมดเท่ากับ

$$E = E_p + E_k \quad (3.5)$$

โดยที่

$E$  ค่าพลังงานคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของสันคลื่น

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 L \quad (3.5a)$$

$E_p$  ค่าพลังงานศักย์ต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของสันคลื่นสำหรับความยาวคลื่น 1 ค่า

$$E_p = \frac{1}{16} \rho g H^2 L \quad (3.5b)$$

$E_k$  ค่าพลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของสันคลื่นสำหรับความยาวคลื่น 1 ค่า

$$E_k = \frac{1}{16} \rho g H^2 L \quad (3.5c)$$

เมื่อทำการพิจารณาค่าพลังงานรวมของคลื่นพบว่าหากเกิดกรณีที่คลื่นเคลื่อนเคลื่อนตัวผ่าน โครงสร้างและ มีผลทำให้ค่าความสูงคลื่นลดลงร้อยละ 29 จะพบว่าค่าพลังงานคลื่นจะลดลงถึงร้อยละ 50 จึงอาจกล่าวได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานคลื่นมากที่สุดคือ ค่าความสูงคลื่น

ค่ากำลังงานของคลื่นคือค่าพลังงานคลื่นต่อหนึ่งหน่วยเวลา สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของแรงที่กระทำ ระบายในแนวตั้งที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น ค่ากำลังงานของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความ กว้างของสันคลื่นมีค่าเท่ากับ

$$P = \frac{\rho g H^2 L}{16T} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (3.6)$$

หรือ

$$P = \frac{E}{T} \left[ \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \right] \quad (3.7)$$

กำหนดให้

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (3.8)$$

ดังนั้นค่ากำลังงานของคลื่นในสมการที่ 3.6 สามารถเขียนได้เป็น

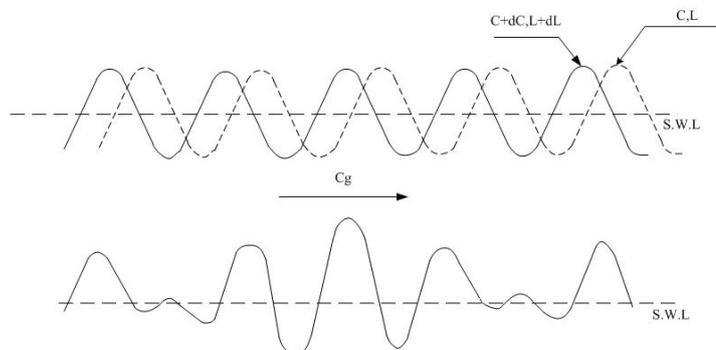
$$p = \frac{nE}{T} \tag{3.9}$$

ค่า  $n$  มีค่าเท่ากับ 0.5 ในเขตนํ้าลึกและมีค่าเท่ากับ 1.0 ในเขตนํ้าตื้น หากตั้งสมมุติฐานว่าไม่พิจารณาการสูญเสียพลังงานคลื่นในขณะที่เคลื่อนที่ จะพบว่าค่ากำลังของคลื่นมีค่าคงที่สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3.10

$$p = \left(\frac{nE}{T}\right)_1 = \left(\frac{nE}{T}\right)_2 = \text{Constant} \tag{3.10}$$

### 3.1.3 ความเร็วของกลุ่มคลื่น

ลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้นจริงนั้นมีลักษณะเป็นขบวนคลื่นที่เคลื่อนที่ต่ออย่างเนื่อง หากพิจารณาคลื่นที่เคลื่อนตัวในรางทดสอบคลื่นจะพบว่า ความสูงคลื่นลูกแรกของกลุ่มคลื่นจะค่อยๆลดลง ถ้าหากรางทดสอบที่ใช้มีความยาวมากพอจะพบว่า การที่ค่าความสูงคลื่นลูกแรกลดลงจะทำให้คลื่นลูกที่เคลื่อนที่ติดมามีความสูงเพิ่มขึ้น และเมื่อคลื่นลูกนี้เคลื่อนที่ต่อมาความสูงคลื่นก็จะค่อยๆลดลงทำให้คลื่นลูกถัดมามีค่าความสูงคลื่นมากขึ้นพิจารณารูปที่ 3.2 ลักษณะเช่นนี้จะเกิดขึ้นแบบต่อเนื่องส่งผลให้ค่าความเร็วของยอดคลื่นที่เคลื่อนตัวเป็นกลุ่มคลื่น มีค่าน้อยกว่าค่าความเร็วคลื่นของคลื่นลูกเดี่ยว



รูปที่ 3.2 การเคลื่อนที่ของกลุ่มคลื่น  
ที่มา: คัดแปลงจาก Sorensen, 2006

โดยที่ค่าความเร็วของกลุ่มคลื่น  $C_g$  สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.11

$$C_g = C - L \left( \frac{dC}{dL} \right) \quad (3.11)$$

เมื่อแทนค่า  $C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}}$  ลงในสมการที่ 3.11 และจัดรูปใหม่จะได้

$$C_g = \frac{C}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (3.12)$$

หรือ

$$C_g = nC \quad (3.13)$$

เมื่อ  $n$  มีค่าเท่ากับ 0.5 ในเขตนํ้าลึก และ 1.0 ในเขตนํ้าตื้น และ  $C$  ความเร็วคลื่นลูกเดี่ยว

### 3.1.4 คลื่นแตกตัว

คลื่นที่เคลื่อนตัวจากบริเวณนํ้าลึกเข้าสู่บริเวณนํ้าตื้น จะมีการยกตัวสูงขึ้นเนื่องจากค่าระดับนํ้ามีค่าลดลงเนื่องจากคาบคลื่นคงที่ดังนั้นคลื่นจึงต้องยกตัวสูงขึ้น เมื่อคลื่นมีค่าความสูงที่เพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ค่าเสถียรภาพ หรืออัตราส่วน  $H/L$  มีค่าลดลง ณ ตำแหน่งที่คลื่นไม่สามารถรักษาเสถียรภาพไว้ได้ เรียกตำแหน่งนี้ว่าตำแหน่งที่คลื่นแตกตัว

ในปี 1944 Miche (Miche, 1944) ได้ทำการศึกษาถึงข้อจำกัดของอัตราส่วน  $H/L$  ที่ทำให้คลื่นเกิดการแตกตัวซึ่งได้ความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการที่ 3.14

$$\left( \frac{H}{L} \right)_{Max} = \frac{1}{7} \tanh \left( \frac{2\pi d}{L} \right) \quad (3.14)$$

ต่อมาในปี 1952 Danel (Danel, 1953) ได้ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทดสอบในรางทดสอบคลื่นพบว่าในเขตนํ้าลึกสมการที่ 3.14 สามารถเขียนอยู่ในรูป

$$\left(\frac{H_0}{L_0}\right)_{Max} = \frac{1}{7} \tag{3.15}$$

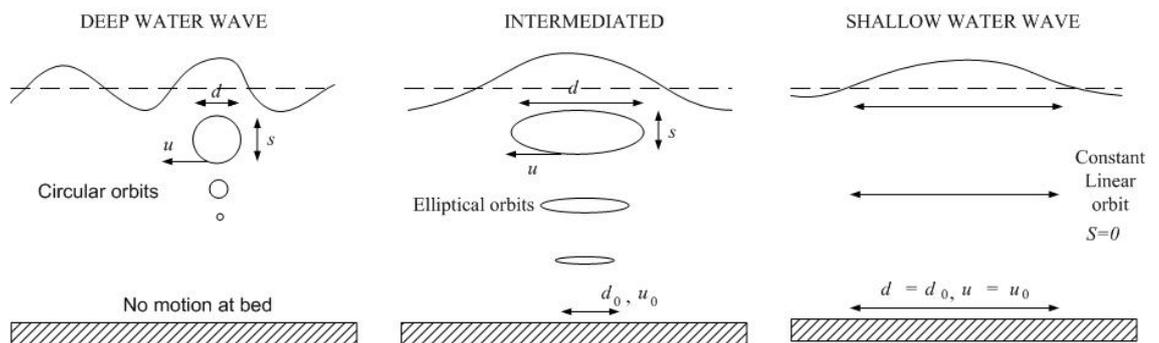
จากสมการที่ 3.15 อธิบายว่าในเขตน้ำลึกคลื่นจะแตกตัวเมื่อค่าความสูงคลื่นมีค่าเท่ากับ เศษหนึ่งส่วนเจ็ด ของค่าความยาวคลื่น

### 3.1.5 การแยกประเภทของคลื่น

การแบ่งประเภทของคลื่นว่าเป็น คลื่นน้ำลึก คลื่นน้ำตื้น หรือคลื่นในช่วงเปลี่ยนแปลง(Intermediate) สามารถแบ่งได้โดยพิจารณา อัตราส่วนระหว่างค่าความลึกของระดับน้ำกับความยาวคลื่น ดังตารางที่ 3.1 และลักษณะของคลื่นประเภทต่างๆ ดังรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 การแยกประเภทของคลื่น

$d/L$	Type of wave
0 to 1/20	Shallow water
1/20 to 1/2	Intermediate depth wave
1/2 to $\infty$	Deep water wave



รูปที่ 3.3 การเคลื่อนตัวของคลื่นในแต่ละประเภท  
ที่มา:ดัดแปลงจาก Young, 1999

### 3.2 การสลายพลังงานคลื่น

หากกล่าวถึงการสลายพลังงานคลื่นนั้น โดยปกติแล้วคลื่นจะถูกสลายพลังงานด้วยตัวมันเองเมื่อคลื่นแตกตัว แต่หากกล่าวถึงการสลายพลังงานคลื่นด้วยการเคลื่อนตัวผ่านสิ่งกีดขวางนั้น พลังงานคลื่นจะถูกสลายไปจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของโครงสร้าง ซึ่งรูปแบบของโครงสร้างที่ต่างกันมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นที่แตกต่างกัน โดยสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่นสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของความสูงคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าสู่โครงสร้าง กับค่าความสูงคลื่นหลังจากที่เคลื่อนตัวผ่านโครงสร้าง นอกจากนั้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านโครงสร้างก็จะเกิดแรงดูดและแรงเฉื่อย ที่โครงสร้างกระทำกับคลื่นส่งผลให้ค่าความสูงคลื่นมีค่าลดลง (Burger, 2005)

ในการคำนวณหาการสลายพลังงานคลื่นอาศัยหลักการของสมมูลพลังงาน เนื่องจากการคำนวณค่าพลังงานคลื่นนั้นตัวแปรที่มีผลต่อพลังงานคลื่นมากที่สุดคือค่าความสูงคลื่น จากสมการที่ 3.5a ซึ่งการสลายพลังงานคลื่นบนหาดโคลนนั้นสามารถพิจารณาได้จากใน 2 ปัจจัย ได้แก่ 1.การสลายพลังงานคลื่นเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ (Bed friction approach) 2.การสลายพลังงานคลื่นเนื่องจากทรงกระบอก (Cylinder approach) ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นการศึกษาในกรณีของคัน โกงกางแต่ในการวิจัยครั้งนี้ศึกษาโดยใช้โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก ซึ่งเปรียบเสมือนรากและลำต้นของคัน โกงกาง และเนื่องจากการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับคัน โกงกางได้มีการจำลองป่าโกงกางโดยใช้โครงสร้างที่มีลักษณะที่เป็นแท่งทรงกระบอก เช่น การศึกษาเรื่อง Wave Attenuation in mangrove forest (Burger, 2005) การศึกษาเรื่อง Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation (Augustin et al.,2008) จึงนำเอาผลจากการศึกษาเหล่านี้มาใช้อ้างอิงในการศึกษาครั้งนี้

#### 3.2.1 การสลายพลังงานคลื่นเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ (Bed friction approach)

คลื่นในช่วงเปลี่ยนแปลง (Intermediate) และคลื่นที่เป็นคลื่นน้ำตื้น ในขณะที่เคลื่อนที่จะได้รับผลกระทบเนื่องจากค่าแรงเสียดทานที่ท้องน้ำทำให้คลื่นเกิดการสูญเสียพลังงาน โดยการสูญเสียพลังงานจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ค่าความขรุขระของพื้นผิว ค่าความลึกของระดับน้ำ ค่าความเร็วของอนุภาคคลื่นในแนวระนาบ จากการศึกษาของ Mazda ในปี 1997 (Mazda, 1997) ที่ทำการศึกษา Wave attenuation บนหาดเลน โดยเปรียบเทียบกรณีที่คลื่นเคลื่อนตัวในพื้นที่ที่ไม่มีป่าโกงกาง กับกรณีที่คลื่นเคลื่อนที่ในกรณีที่มีป่าโกงกางพบว่า ค่าความเร็วอนุภาคในแนวระนาบของคลื่นมีค่าลดลงอย่างมากในกรณีที่คลื่นเคลื่อนตัวผ่านป่าโกงกาง ถึงกระนั้นการศึกษานี้ได้สรุปว่าการ

สลายพลังงานคลื่นเนื่องจากค่าแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ มีค่าน้อยกว่าการสลายพลังงานคลื่นที่เกิดเนื่องจากแรงจุดผลการศึกษาในเรื่องการสลายพลังงานคลื่นเนื่องจากแรงเสียดทานที่มักจะนำไปใช้ได้แก่ ผลการศึกษาของ Van Rijn ในปี 1989 (Van Rijn, 1989) การศึกษาของ Collins ในปี 1972 (Collins, 1972)

การสลายพลังงานคลื่นเนื่องจากแรงเสียดทาน โดย Van Rijn 1989 ได้นำเสนอ  $D_f$  คือ ค่าเฉลี่ยของงานที่กระทำที่เกิดจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำ โดยที่

$$D_f = \frac{1}{T} \int_0^T \tau_b u_x dt \quad (3.16)$$

เมื่อ  $T$  คือ คาบคลื่น  $\tau_b$  คือ ค่าความเค้นเฉือนที่ท้องน้ำ  $u_x$  คือ ค่าความเร็วอนุภาคในแนวระนาบ

โดยที่ 
$$\tau_b = \frac{1}{2} \rho f_w u_{x,Mac}^2 \sin^2(\omega t) \quad (3.17)$$

และ 
$$u_x = u_{x,Mac} \sin^2(\omega t) \quad (3.18)$$

เมื่อ  $u_{x,mac}$  คือ ความเร็วอนุภาคในแนวระนาบที่มีค่าสูงสุด  $f_w$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน เมื่อแทนค่าต่างๆลงในสมการที่ 3-16 และทำการอินทิเกรต จะได้ค่า  $D_f$  ดังสมการที่ 3.19

$$D_f = \frac{4}{3\pi} \rho f_w u_{x,Max}^3 \quad (3.19)$$

จากสมการที่ 3-19 พบว่า การสลายพลังงานคลื่นเนื่องจากแรงเสียดทานที่ท้องน้ำมีค่าขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน  $f_w$  และค่าของ  $u_{x,Max}^3$

การสลายพลังงานคลื่นเนื่องจากแรงเสียดทานจากการศึกษาโดย Collins ในปี 1972 ได้นำเสนอสมการที่พัฒนามาจากการทำนายคลื่นแบบสุ่ม (Random wave) การสลายพลังงานคลื่นสามารถคำนวณจากสมการ conventional bottom friction formula

$$C_{bottom} = C_g g u_x \quad (3.20)$$

เมื่อ  $C_g$  คือ ค่าแรงเสียดทานของ Collins มีค่าเท่ากับ 0.015

### 3.2.2 การสลายพลังงานคลื่นเนื่องจากทรงกระบอก (Cylinder approach)

การสลายพลังงานเนื่องจากการที่คลื่นเคลื่อนตัวผ่านสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกพบว่า การสลายพลังงานคลื่นเป็นไปตามสมการของ Morison (Morison, 1950) โดยสมการของ Morison ได้กล่าวถึงแรงที่กระทำต่อโครงสร้างเนื่องจากคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่าน ประกอบด้วยแรง 2 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ แรงเฉื่อย และแรงดูดสมการของ Morison ได้แสดงไว้ในสมการที่ 3.21

$$F = C_i \frac{1}{4} \pi D^2 \rho \frac{du_{x,\max}}{dt} + C_d D \frac{1}{2} \rho u_{x,\max} |u_{x,\max}| \quad (3.21)$$

เมื่อ  $C_i$  คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเฉื่อย  $C_d$  คือค่าสัมประสิทธิ์แรงดูด  $u_{x,\max}$  คือค่าความเร็วสูงสุดของอนุภาคในแนวระนาบ

## 3.3 ทฤษฎีแบบจำลอง

การศึกษาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติเป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากผู้ทำการศึกษาไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆที่เกิดขึ้นได้ และบางครั้งไม่สามารถทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรใดๆได้ เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างทั้งภายในและภายนอก หลายๆครั้งจึงพบว่า การเก็บวัดค่าจริงในภาคสนามจึงล้มเหลวไม่สามารถนำข้อมูลมาใช้ได้ ดังนั้นวิธีที่ง่ายกว่าคือ การศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาตินั้นด้วยการสร้างแบบจำลอง ไม่ว่าจะเป็นแบบจำลองย่อส่วน แบบจำลองขยายส่วน หรือแบบจำลองที่มีขนาดเท่ากับของจริง ซึ่งการเลือกมาตราส่วนของแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับการศึกษาประมาณและความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือที่ใช้บันทึกค่า

### 3.3.1 หลักการของความคล้าย (Principles of Similitude)

หลักสำคัญในการศึกษาด้วยแบบจำลองคือ ต้องสามารถอธิบายได้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นมีความเหมือนกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงอย่างไรซึ่งหลักการของความคล้ายระหว่างต้นแบบกับแบบจำลองมีอยู่ 4 ลักษณะด้วยกัน ได้แก่ ความคล้ายโดยการปรับแก้ (Similitude by Calibration) ความคล้ายโดยสมการอนุพันธ์ (Similitude by Differential Equations) ความคล้ายโดยการวิเคราะห์มิติ (Similitude by Dimensional Analysis) และ ความคล้ายโดยมาตราส่วน (Similitude by Scale Series) (Hughes, 1993)

### 3.3.2 เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง

การศึกษาโดยแบบจำลองนั้นมีเงื่อนไขที่สำคัญ อยู่ 4 เงื่อนไขได้แก่ มาตรฐาน ความเหมือนในเชิงเรขาคณิต ความเหมือนในเชิงจลน์ศาสตร์ และความเหมือนเชิงพลศาสตร์ ซึ่งเงื่อนไขต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้ มาตรฐาน คือ อัตราส่วนระหว่างขนาดของต้นแบบที่ทำการศึกษากับขนาดของแบบจำลองที่ใช้ศึกษา ซึ่งมีความสำคัญมากในการศึกษาด้วยแบบจำลองเพราะถ้าเลือกมาตรฐานที่ไม่เหมาะสมกับสิ่งที่ทำการศึกษา ย่อมเกิดความผิดพลาดได้มาก แต่ขนาดของมาตรฐานที่ใช้ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น สถานที่ งบประมาณ และข้อจำกัดของเครื่องมือที่ทำการเก็บวัดค่า มาตรฐานที่ใช้ในการศึกษาสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 3.22

$$N_x = \frac{N_p}{N_M} \quad (3.22)$$

เมื่อ  $N_x$  มาตรฐานที่ใช้ศึกษา  $N_p$  คือขนาดของต้นแบบ และ  $N_M$  คือขนาดของแบบจำลอง เช่น ต้องการศึกษากาโรไลนแม่น้ำซึ่งมีความยาวช่วงที่ศึกษา ( $N_p$ ) เท่ากับ 25 เมตร แต่เนื่องจากเนื่องจากมีพื้นที่จำกัดทำให้สามารถสร้างแบบจำลองของแม่น้ำในห้องทดสอบ ( $N_M$ ) เพียง 1 เมตร ดังนั้นมาตรฐาน ( $N_x$ ) ที่ใช้คือ 25

ความเหมือนเชิงเรขาคณิต คือ การจำลองขนาดของสิ่งที่ทำการศึกษาไม่ว่าจะเป็นการย่อขนาดหรือขยายขนาดโดยใช้แบบจำลอง โดยที่แบบจำลองกับของจริงต้องมีลักษณะเหมือนกัน โดยใช้มาตรฐานที่เหมาะสม ในกรณี 2 มิติ ถ้ามาตรฐานที่ใช้มีขนาดเท่ากันทั้งในแนวดิ่งและในแนวระดับ เรียกแบบจำลองประเภทนี้ว่า แบบจำลองไม่บิดเบี้ยว (Undistorted model) แต่ถ้ามาตรฐานที่ใช้ในแบบจำลองมีมาตรฐานที่ต่างกันเรียกแบบจำลองชนิดนี้ว่า แบบจำลองแบบบิดเบี้ยว (Distorted model) ในกรณีของแบบจำลองใน 3 มิติก็เช่นเดียวกัน

ความเหมือนเชิงจลน์ศาสตร์ คือ ความเหมือนที่พิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของระบบ หรือความเหมือนที่กล่าวถึงการเคลื่อนที่ระหว่างต้นแบบ และแบบจำลอง Hudson และคณะ (Hudson et al. 1979) ได้กล่าวว่า ความเหมือนเชิงจลน์จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วนระหว่างองค์ประกอบของเวกเตอร์ในการเคลื่อนที่ของต้นแบบมีอัตราส่วนเดียวกันกับแบบจำลองในช่วงเวลาเดียวกัน เช่น การศึกษาความคล้ายเชิงจลน์ ของการเคลื่อนที่ของคลื่น

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (3.23)$$

เมื่อ  $L$  คือ ความยาวคลื่น  $g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง  $T$  คือ คาบคลื่น  $d$  คือ ความลึกของน้ำ  
พิจารณาเทอม  $\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$  ซึ่งเป็นเทอมที่อยู่ในรูปกลุ่มตัวแปรไร้มิติ ซึ่ง  $L$  เป็นความยาวในแนวราบ และ  
 $d$  เป็นความลึกในแนวระดับ เมื่อใช้มาตราส่วนของแบบจำลองแบบไม่บิดเบี้ยว ดังนั้น มาตรฐาน  
ระหว่างความยาวคลื่นของต้นแบบ กับแบบจำลองสามารถเขียนได้เป็น

$$\frac{\left[ L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \right]_p}{\left[ L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \right]_m} \quad (3.24)$$

ค่าของ  $\tanh$  ของต้นแบบมีค่าเท่ากับในแบบจำลองเนื่องจากเป็นแบบจำลองแบบไม่บิดเบี้ยว ดังนั้น  
อัตราส่วนระหว่างต้นแบบต่อแบบจำลองจึงลดรูปเหลือ

$$\frac{L_p}{L_m} = \left(\frac{g_p}{g_m}\right) \cdot \left(\frac{T_p}{T_m}\right)^2 \quad \text{หรือ} \quad N_L = N_g N_T^2 \quad (3.25)$$

แต่เนื่องจากอัตราส่วนแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า

$$N_T = \sqrt{N_L} \quad (3.26)$$

จากสมการที่ 3.26 สามารถสรุปได้ว่ามาตรฐานของคาบคลื่นมีค่าเท่ากับรากที่สองของมาตรฐาน  
ความยาวคลื่น เช่น ใช้มาตรฐานของความยาวคลื่นเท่ากับ 25 จะได้มาตรฐานของความยาวคลื่น  
เท่ากับ 5

ความเหมือนเชิงพลศาสตร์ คือ จากความเหมือนเชิงจลน์ที่พิจารณาถึงการเคลื่อนที่ของต้นแบบกับแบบจำลอง ในส่วนของความเหมือนเชิงพลศาสตร์จะพิจารณาถึงความเหมือนของแรง ในปี 1950 Warnock (Warnock, 1950) ได้กล่าวเกี่ยวกับความเหมือนเชิงพลศาสตร์ว่าอัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำต่อแบบต้นแบบและแบบจำลองต้องมีมาตราส่วนเดียวกัน นั่นคือ

$$F_i = F_g + F_\mu + F_\sigma + F_e + F_{pr} \quad (3.27)$$

เมื่อ  $F_i$  คือ แรงเนื่องจากความเฉื่อย  $F_g$  คือ แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก  $F_\mu$  คือ แรงเนื่องจากความหนืด  $F_\sigma$  คือ แรงเนื่องจากแรงตึงผิว  $F_e$  คือ แรงอัดยืดหยุ่น (Elastic compression force)  $F_{pr}$  คือ แรงเนื่องจากความดัน ดังนั้นจากข้อกำหนดที่ว่า อัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำต่อแบบต้นแบบและแบบจำลองต้องมีมาตราส่วนเดียวกัน ดังนั้น

$$N_{Fi} = N_{Fg} = N_{F\mu} = N_{F\sigma} = N_{Fe} = N_{Fpr} \quad (3.28)$$

### 3.3.3 เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynolds number)

เรย์โนลด์นัมเบอร์ คือ อัตราส่วนระหว่างแรงเนื่องจากความเฉื่อยกับแรงเนื่องจากความหนืด เพื่อใช้บอกถึงสถานะ การไหลของของเหลวว่าอยู่ในสถานะ การไหลแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน หลักการนี้คิดค้นขึ้นโดย George Gabriel Stokes ในปี 1851 (Stokes, 1851) แต่มาเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในภายหลังโดยใน Osborne Reynolds ในปี 1883 (Reynolds, 1883) อัตราส่วนระหว่างแรงเนื่องจากความเฉื่อยกับแรงเนื่องจากความหนืดสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3.29

$$\frac{\text{inertia force}}{\text{viscous force}} = \frac{\rho L^2 V^2}{\mu VL} = \frac{\rho LV}{\mu} \quad (3.29)$$

เมื่อ  $L$  คือ ความยาวหรือเส้นผ่านศูนย์กลาง  $V$  คือ ความเร็วของของไหล  $\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหล  $\mu$  คือ ค่าความหนืดของของไหล

พิจารณาถึงความคล้ายระหว่างต้นแบบกับแบบจำลองโดยเรย์โนลด์นัมเบอร์ พบว่าค่าของ เรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เกิดจากต้นแบบ ต้องมีค่าเท่ากับค่าของเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองมิฉะนั้นแบบจำลองที่ได้จะถือว่าไม่มีความถูกต้อง ซึ่งความสัมพันธ์ที่กล่าวถึงได้แสดงไว้ในสมการที่ 3-30

$$\left(\frac{\rho LV}{\mu}\right)_P = \left(\frac{\rho LV}{\mu}\right)_m \quad (3.30)$$

หรือ

$$\left(\frac{V_P}{V_m}\right) \cdot \left(\frac{L_P}{L_m}\right) \cdot \left(\frac{\rho_P}{\rho_m}\right) = \frac{\mu_P}{\mu_m} \quad (3.31)$$

สุดท้ายจะได้ความสัมพันธ์ของเรย์โนลด์นัมเบอร์ระหว่างต้นแบบกับแบบจำลองจะต้องมีค่าเท่ากับ

$$\frac{N_V N_L N_P}{N_\mu} = 1 \quad \text{หรือ} \quad N_{Re} = 1 \quad (3.32)$$

### 3.3.4 ฟรูดนัมเบอร์ (Froude number)

ฟรูดนัมเบอร์เป็นอัตราส่วนระหว่างรากที่สองของแรงเนื่องจากความเฉื่อยกับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นตัวเลขที่ใช้บอกสภาวะการไหลของของเหลวว่าเป็นการไหลในสภาวะเหนือวิกฤติ สภาวะใต้วิกฤติ หรือการไหลในสภาวะวิกฤติ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แสดงไว้ในสมการที่ 3.33

$$\frac{\sqrt{\text{inertia force}}}{\sqrt{\text{gravity force}}} = \sqrt{\frac{\rho L^2 V^2}{\rho L^3 g}} = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (3.33)$$

เช่นเดียวกับกรณีของเรย์โนลด์นัมเบอร์ แบบจำลองจะมีความถูกต้องก็ต่อเมื่อค่าฟรูดนัมเบอร์ที่เกิดขึ้นในต้นแบบต้องมีค่าเท่ากับค่าฟรูดนัมเบอร์ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองดังสมการที่ 3.34

$$\left(\frac{V}{\sqrt{gL}}\right)_P = \left(\frac{V}{\sqrt{gL}}\right)_m \quad (3.34)$$

หรือ

$$\frac{V_P}{V_m} = \sqrt{\left(\frac{g_P}{g_m}\right) \left(\frac{L_P}{L_m}\right)} \quad (3.35)$$

และสุดท้ายจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างต้นแบบกับแบบจำลองมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{N_V}{\sqrt{N_g N_L}} = 1 \text{ หรือ } N_{Fr} = 1 \quad (3.36)$$

### 3.4 การวิเคราะห์มิติ

การวิเคราะห์มิติ เป็นวิธีการที่ใช้ในการจัดกลุ่มพารามิเตอร์ที่ได้จากการศึกษาทดสอบทั้งในงานภาคสนามและงานในห้องปฏิบัติการเพื่อให้พารามิเตอร์เหล่านั้นอยู่ในรูปแบบตัวแปรไร้มิติ โดยจะทำการพิจารณาหน่วยของตัวแปรนั้นๆ ให้อยู่ในมิติ M คือ มิติของมวล L คือ มิติของความยาว และ T คือ มิติของเวลา ซึ่งการพิจารณามิติของตัวแปรในระบบนี้เรียกว่าระบบ MLT นอกจากนี้ยังมีอีกระบบหนึ่งเรียกว่าระบบ FLT โดยที่ F คือ มิติของแรง L คือ มิติของความยาว และ T คือ มิติของเวลา นอกจากนี้การวิเคราะห์มิติของตัวแปรยังเป็นการลดจำนวนของตัวแปรที่ต้องพิจารณาในการศึกษามีจำนวนลดลงด้วย ยกตัวอย่างเช่น ฟรูดนัมเบอร์และเรย์โนลด์นัมเบอร์ เป็นกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $V$  ความเร็ว  $g$  ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก  $L$  ความยาว และ  $\mu$  ความหนืด

#### 3.4.1 ทฤษฎี Buckingham- $\pi$

ทฤษฎี Buckingham- $\pi$  เป็นวิธีที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เป็นทฤษฎีที่นำเสนอการวิเคราะห์มิติ โดยการพิจารณาจำนวนตัวแปรที่มีความสำคัญทั้งหมด  $N$  ตัวแปร และมิติของตัวแปรทั้งหมด  $M$  มิติ จากนั้นนำ  $N-M$  ก็จะได้จำนวนของ  $\pi$  เทอม เช่น ในการศึกษาพฤติกรรมการไหลผ่านอาคารชลศาสตร์ในทางน้ำเปิดแห่งหนึ่ง มีจำนวนตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 5 ตัวแปร ได้แก่  $X_1, X_2, X_3, X_4$ , และ  $X_5$  ( $N=5$ ) และมีมิติของตัวแปรเท่ากับ 3 มิติ ดังนั้น สามารถเขียนความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้ จากทฤษฎี Buckingham- $\pi$  จำนวน  $\pi$  เทอมเท่ากับ  $N-M = 5-3 = 2$  ไพเทอม จากนั้นทำการเลือกตัวแปรซ้ำเท่ากับจำนวนของมิติ โดยหลักการในการเลือกตัวแปรซ้ำมีดังต่อไปนี้

- เลือกตัวแปรซ้ำที่เป็นตัวแทนของรูปทรงเรขาคณิต
- เลือกตัวแปรซ้ำที่เป็นตัวแทนของทอมจลน์ศาสตร์
- เลือกตัวแปรซ้ำที่เป็นตัวแทนของทอมพลศาสตร์

$$\pi_1 = f\{(x_1)^x (x_2)^y (x_3)^z x_4\} \quad (3.37)$$

โดยที่

$$(x_1)^x (x_2)^y (x_3)^z x_4 = M^0 L^0 T^0 \quad (3.38)$$

จากนั้นทำการหาค่าของตัวเลขยกกำลัง  $x$ ,  $y$ , และ  $z$  ก็จะได้กลุ่มของตัวแปรไร้มิติในไพทอมที่ 1 และดำเนินการเช่นเดียวกันในการหาค่า  $\pi$  ทอมที่ 1 กับค่าไพทอมที่เหลือ ก็จะได้ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งหมดดังสมการที่ 3.39

$$\psi = f(\pi_1, \pi_2) \quad (3.39)$$

ดังนั้นสมการรูปแบบพื้นฐานของทฤษฎีบักกิงแฮม- $\pi$

$$\psi = f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_n) \quad (3.40)$$

เพื่อเป็นการง่ายต่อการพิจารณามิติของตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ที่สนใจ จึงได้ทำการสรุปมิติของพารามิเตอร์ต่างๆ ไว้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 มิติของตัวแปรต่างๆในระบบ MLT และ FLT

ตัวแปร	สัญลักษณ์	มิติ	
		MLT	FLT
Length	L	L	L
Area	A	L <sup>2</sup>	L <sup>2</sup>
Volume	V	L <sup>3</sup>	L <sup>3</sup>
Velocity	$V$	LT <sup>-1</sup>	LT <sup>-1</sup>
Acceleration	$a$	LT <sup>-2</sup>	LT <sup>-1</sup>
Volume flow	Q	L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>	L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>
Mass flow	$\dot{m}$	MT <sup>-1</sup>	FTL <sup>-1</sup>
Pressure, stress	$p$	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>	FL <sup>-2</sup>
Angular velocity	$\omega$	-	-
Viscosity	$\mu$	ML <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup>	FTL <sup>-2</sup>
Kinematic viscosity	$\nu$	L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup>	L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup>
Surface tension	Y	ML <sup>-2</sup>	FL <sup>-1</sup>
Force	F	MLT <sup>-2</sup>	F
Power	P	ML <sup>-2</sup> T <sup>-3</sup>	FLT <sup>-1</sup>
Work, energy	W,E	ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup>	FL
Density	$\rho$	ML <sup>-3</sup>	FT <sup>2</sup> L <sup>-4</sup>
Temperature	T	-	-
Specific weight	$\gamma$	ML <sup>-2</sup> T <sup>-2</sup>	FL <sup>-3</sup>

