

## พลวัตการกระจายขนาดตะกอนชายหาดบางแสนระหว่างปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2557

เพชฌุโชค จินตเศรณี<sup>1</sup> และ จิระเดช มาจันแดง<sup>2\*</sup>

### Sediment Grain–Size Distribution Dynamics at Bangsaen Beach Between 2005 and 2014

Pachoenchoke Jintasaeranee<sup>1</sup> and Jiradech Majandang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, 20131

<sup>2</sup> Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Science, Mahasarakham University, Mahasarakham, 44150

\* Corresponding author: jiradech.m@msu.ac.th

Received: 20 May 2025; Revised: 19 July 2025; Accepted: 13 August 2025

#### บทคัดย่อ

การศึกษาพลวัตการกระจายขนาดตะกอนชายหาดบางแสน ในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 เปรียบเทียบกับในรอบปี พ.ศ. 2557 พบขนาดตะกอนบริเวณชายฝั่งเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยตามฤดูกาลในรอบปี ในปี พ.ศ. 2548–2549 พบทรายละเอียดมีปริมาณมากกว่าตะกอนขนาดอื่นอย่างมาก ในขณะที่พบทรายหยาบมากปริมาณมากปนด้วยทรายหยาบและพบทรายละเอียดและทรายขนาดกลางปริมาณน้อยในปี พ.ศ. 2557 พื้นที่ด้านนอกชายฝั่งพบทรายละเอียดปริมาณมากกว่าตะกอนขนาดอื่นอย่างมากและมากกว่าชายฝั่งในทุกฤดูเช่นเดียวกันทั้งสองรอบปี การเปลี่ยนแปลงขนาดและการกระจายตะกอนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 9 ปี อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของขนาดคลื่นและทิศทางกระแสน้ำตามฤดูกาล การถดถอยเชิงเส้นระหว่างการตัดขนาดตะกอนและค่ากลางขนาดตะกอนมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดลึนใจเพิ่มมากขึ้นในช่วงระยะเวลาที่ศึกษาที่อาจบ่งชี้ว่าเชื่อมกันคลื่นบริเวณด้านทิศใต้ของชายหาดส่งผลทำให้ทิศทางและความเร็วของกระแสน้ำไหลเลียบฝั่งและกระแสน้ำตามฤดูกาลเกิดการเปลี่ยนแปลง และส่งผลโดยตรงต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนที่มีขนาดแตกต่างกันผ่านไป-มาระหว่างฤดูฝนและฤดูหนาว จึงทำให้พบตะกอนหลายขนาดคละกันดี โดยเฉพาะชายฝั่งตอนกลางใกล้วงเวียนบางแสนพบตะกอนคละขนาดและเรียงลำดับขนาดตะกอนพอประมาณ ผลการศึกษาบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงการกระจายขนาดตะกอนบริเวณชายหาดบางแสนในช่วงเวลาหนึ่ง ควรต้องมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความลาดชัน รวมถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานของชายหาดตามหลักวิชาการในระยะยาวเพื่อให้ชายหาดบางแสนยังคงสมดุลตามธรรมชาติและเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของภาคตะวันออก

**คำสำคัญ:** ชายหาดบางแสน, การกระจายตะกอน, ขนาดอนุภาคตะกอน

<sup>1</sup> ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

<sup>2</sup> ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

## Abstract

A study of the sediment size distribution dynamics at Bangsaen Beach during 2005–2006 compared to 2014 revealed significant seasonal variations in coastal sediment size. In 2005–2006, Fine sand was significantly more abundant than other sediment sizes, while Very Coarse sand was abundant, interspersed with Coarse sand, and Fine and Medium sand were less abundant in 2014. Offshore Fine sand was significantly more abundant than other sediment sizes and more abundant than the shoreline in all seasons. The changes in sediment size and distribution over the nine-year period may be due to seasonal influences of wave size and current direction. The linear regression between values of sediment sorting and median size of sediment had a higher coefficient of determination during the study period, suggesting that the breakwater on the southern side of the beach affected the direction and speed of long-shore currents and seasonal currents and directly affected the movement of different sizes of sediments back and forth between the rainy and winter seasons, resulting in a sorting of different sizes of sediment. In particular, the central coast near Bangsaen Circle found sediments of moderately sorted sediments. Although this study indicates changes in sediment grain-size distribution at Bangsaen Beach over one time period, however, long-term and sustainable studies of sediment distribution, slope changes, and beach morphology are still needed to ensure that Bangsaen Beach remains equilibrium naturally and remains an important tourist attraction in the eastern region.

**Keywords:** Bangsaen beach, Sediment distribution, Sediment grain-sizes

## Introduction

การเกิดน้ำขึ้น-น้ำลง และลมที่กระทำในอ่าวไทยตอนบนส่งผลให้เกิดการไหลเวียนของมวลน้ำในอ่าวไทยตอนใน จากอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในฤดูหนาวระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ระหว่างฤดูกลางทั้งสองมีช่วงเปลี่ยนฤดูลมมรสุมในฤดูร้อนในระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ผลักดันให้มวลน้ำไหลเข้า-ออกอ่าวไทยตอนใน (Sojisuporn et al., 1976) โดยสามารถคาดการณ์การไหลเวียนได้จากผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และแสดงการไหลเวียนของกระแสน้ำในอ่าวไทยตอนบนเนื่องจากลม (Chaiongkam & Sojisuporn, 2012)

การเปลี่ยนแปลงความลาดชันของชายหาดส่วนมากถูกควบคุมโดยสภาพอากาศ ความแปรปรวนของระดับน้ำ กระแสน้ำใกล้ชายฝั่ง ลักษณะของตะกอน และการกระจายตัวของตะกอนตลอดแนวชายฝั่ง (Nidoroda et al., 1995; Stive & de Vriend, 1994; Pedrozo-Acuña et al., 2006) ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคตะกอนและความสมดุลของการเคลื่อนย้ายมวลตะกอนจากชายฝั่งและ/หรือการขนส่งตะกอนในแนวขนานชายฝั่ง (Garrison, 1993; Ingmanson & Wallace, 1995; Plummer et al., 2001) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลวัตทางสัณฐานวิทยาของชายหาดที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาและขนาดพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงความลาดชันของหาดทรายในแง่ของรูปร่างและแนวความลาดเทขึ้นอยู่กับแรงอุทกพลศาสตร์ มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างหาดที่มีอนุภาคตะกอนขนาดเล็กกับหาดที่มีทรายเม็ดหยาบและ/หรือหาดทรายผสมกรวด (Larson & Kraus, 1995; Pontee et al., 2004; Karunarathna et al., 2012)

ชายหาดบางแสนตั้งอยู่ทางชายฝั่งด้านตะวันออกของอ่าวไทยตอนบน พื้นที่ชายฝั่งด้านทิศเหนือติดกับหาดแหลมแท่นและด้านทิศใต้ติดกับหาดวอนนภา ชายหาดได้รับตะกอนขนาดเล็กมีขนาดอนุภาคทรายแป้ง (Silt) และดินเหนียว (Clay) จากแม่น้ำบางปะกงและเคลื่อนตัวของตะกอนตามแนวชายฝั่ง (Long-shore transport) รวมทั้งจากการชะล้างหน้าดิน ทำให้ตะกอนชายฝั่งมักเป็นอนุภาคทราย บางบริเวณที่มีเปลือกและโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตจะพบตะกอนจากสิ่งมีชีวิตที่ผู้กร่อนจนมีขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังมีตะกอนอินทรีย์จากขบวนการเคมีชีวภาพในน้ำทะเล (Department of Mineral Resources, 2012; Sojisupom et al., 1976) ส่งผลให้พื้นของชายหาดมีลักษณะเป็นทรายและทรายเนื้อละเอียด ประมาณปี พ.ศ. 2547 มีการสร้างเขื่อนกันคลื่นและวางก้อนหินขนาดใหญ่ตลอดแนวหาดถัดจากวงเวียนบางแสนจนถึงหาดวอนนภาเพื่อรักษาสภาพแวดล้อมของชายหาดไว้ สิ่งก่อสร้างอาจส่งผลให้ทิศทางและความเร็วของกระแสน้ำไหลเลียบฝั่ง (Long-shore current) และกระแสน้ำตามฤดูกาล (Seasonal currents) เกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเคลื่อนย้ายตะกอน การตกตะกอน และการกระจายอนุภาคตะกอนขนาดแตกต่างกัน และอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความลาดชัน (Poate et al., 2013) และการเปลี่ยนแปลงพลวัตทางสัณฐานวิทยา (Morphodynamics) ของชายหาด โดยมีการศึกษาการกระจายตะกอนชายหาดบางแสนตามฤดูกาลในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 เพื่อศึกษาชายหาดบางแสนในสภาพใกล้เคียงกับธรรมชาติหลังการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่น และมีการตรวจสอบติดตามคุณภาพของหาดบางแสนอีกครั้งในรอบปี พ.ศ. 2557 อย่างไรก็ตามเขื่อนกันคลื่นนี้ยังอาจส่งผลกระทบระยะยาวต่อการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมทั้งทางกายภาพและเศรษฐกิจของประชาชนในท้องถิ่น โดยเฉพาะปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ถึงแม้หน่วยงานท้องถิ่นที่เกี่ยวข้องได้มีการแก้ไขปัญหการกัดเซาะชายหาดบางแสนโดยการเสริมทรายชายหาด (Beach Nourishment) แล้วก็ตาม แต่เพื่อให้เป็นการแก้ไขปัญหาตามหลักวิชาการในระยะยาวอย่างยั่งยืนและประหยัดงบประมาณ จึงควรมีการศึกษาติดตามตรวจสอบสภาพแวดล้อมของชายหาดอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาสภาพธรรมชาติของชายหาดบางแสนซึ่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของภาคตะวันออกที่ได้รับความนิยมต่อไป

## Objectives

เพื่อศึกษาการกระจายขนาดตะกอนเชิงพื้นที่บริเวณชายหาดบางแสนตามฤดูกาลในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 และ พ.ศ. 2557

## Methodology

กำหนดสถานีเก็บตัวอย่างตะกอนพื้นที่ชายหาดบางแสน ในปี พ.ศ. 2548–2549 จำนวน 5 สถานี ได้แก่ สถานี A, B, C, D และ E และปี พ.ศ. 2557 จำนวน 3 สถานี ได้แก่ สถานี N, M และ L ในแต่ละสถานีกำหนดจุดเก็บตัวอย่างตะกอนในแนวตั้งฉากกับแนวชายฝั่งครอบคลุมพื้นที่เขตน้ขึ้น-น้ำลง (Inter Tidal Zone) โดยแบ่งย่อยเป็น 3 พื้นที่ ได้แก่ (1) เขตน้ขึ้นสูง (High Tide) กำหนดจุดเก็บตัวอย่างตะกอนที่แนวชายฝั่ง ระยะ 0 เมตร พื้นที่ฝั่งด้านทิศเหนือ (A0 และ N0) ชายฝั่งตอนกลาง (B0, C0, D0 และ M0) และชายฝั่งด้านทิศใต้ (E0 และ L0) (2) เขตระหว่างน้ำขึ้นสูง-น้ำลงต่ำ (Middle Tide) ระยะ 20–40 เมตร จากแนวชายฝั่ง พื้นที่ใกล้ฝั่งด้านทิศเหนือ (A20, A40 และ N20, N40) ใกล้ฝั่งตอนกลาง (B20, C20, D20, B40, C40, D40 และ M20, M40) และใกล้ฝั่งด้านทิศใต้ (E20, E40 และ L20, L40) และ (3) เขตน้าลงต่ำ (Low Tide) ระยะ 75–95 เมตร และระยะ 60 เมตร จากแนวชายฝั่ง พื้นที่ห่างฝั่งด้านทิศเหนือ (A75, A95 และ N60) ห่างฝั่งตอนกลาง (B75, C75, D75, B95, C95, D95 และ M60) และพื้นที่ห่างฝั่งด้านทิศใต้ (E75, E95 และ L60) (Figure 1)

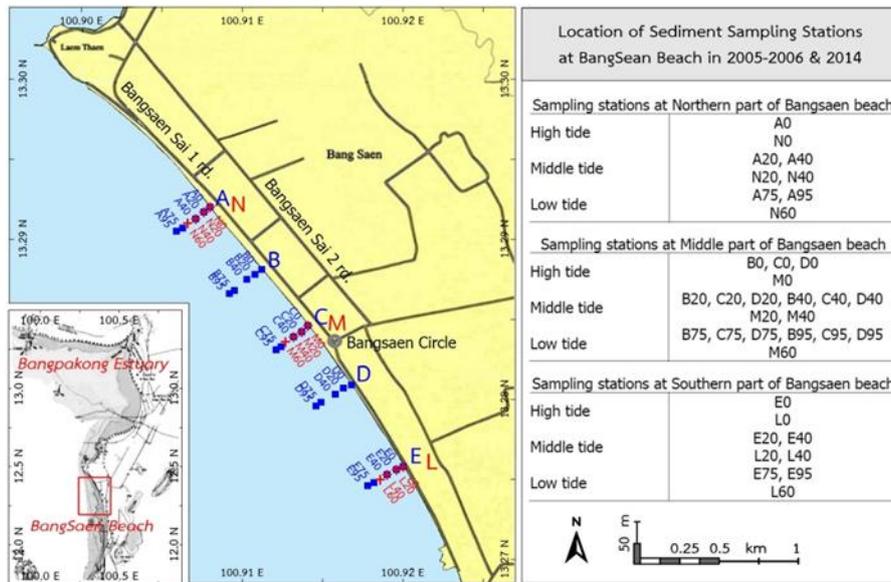


Figure 1 Sampling station and position of sediment sampling at Bangsaen Beach during 2005–2006 (■) and 2014 (+)

ดำเนินการเก็บตัวอย่างตะกอนจากทุกจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดในวันเดียวกันในช่วงเวลาน้ำลงเต็มที่ขดต่ำ (Lower Low Water) ตามฤดูกาลในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 รวมทั้งสิ้น 12 ครั้ง ในฤดูร้อน (กุมภาพันธ์–เมษายน 2549) ฤดูฝน (กรกฎาคม–ตุลาคม 2548 และพฤษภาคม–มิถุนายน 2549) และฤดูหนาว (พฤศจิกายน–ธันวาคม 2548 และ มกราคม 2549) และเก็บตัวอย่างตามฤดูกาลในรอบปี พ.ศ. 2557 ตามแผนการตรวจติดตามคุณภาพของหาดบางแสน ของเทศบาลแสนสุข ทุก 2 เดือน รวมทั้งสิ้น 6 ครั้ง ในฤดูร้อน (มีนาคม) ฤดูฝน (พฤษภาคม กรกฎาคม และกันยายน) และฤดูหนาว (มกราคมและพฤศจิกายน)

ใช้ท่อพลาสติกใสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร เก็บตัวอย่าง ตะกอนลึกจากผิวหน้าประมาณ 10 เซนติเมตร จากจุดเก็บตัวอย่างใส่ในถุงพลาสติกปิดผนึก และเก็บตัวอย่างตะกอน จุดละ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ขนาดตะกอน (Grain-size analysis) (Pitty, 1971; Briggs, 1977) ทำโดยชั่งน้ำหนักเปียกของ ตะกอนในหน่วยกรัม แล้วนำตะกอนเปียกที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปอบในเตาอบ (oven) ที่อุณหภูมิ 103–105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตะกอนที่ผ่านการอบแล้วมาใส่ไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตะกอนออกจากโถดูดความชื้นมา ชั่งน้ำหนักแห้งในหน่วยกรัม และนำตะกอนแห้งที่ชั่งน้ำหนักแล้วไปร่อนผ่านตะแกรงร่อน (Dry sieve) เป็นเวลา 15 นาที ด้วยเครื่อง Sieve Shaker ตราสินค้า Retsch รุ่น AS200 ประเทศเยอรมัน ตะแกรงร่อนประกอบด้วย 6 ชั้น แต่ละชั้นมี ขนาดรูกรอง (mesh sizes) 1 มิลลิเมตร (millimeter, mm) เพื่อใช้แยกทรายหยาบมาก (Very Coarse Sand) ขนาดรูกรอง 500 ไมโครเมตร (micrometer, μm) แยกทรายหยาบ (Coarse Sand) ขนาดรูกรอง 250 μm แยกทรายขนาดกลาง (Medium Sand) ขนาดรูกรอง 125 μm แยกทรายละเอียด (Fine Sand) และขนาดรูกรอง 63 μm แยกทรายละเอียดมาก (Very Fine Sand) ส่วนตะกอนที่ผ่านตะแกรงร่อนอยู่ในภาชนะรองรับมีขนาดตะกอนทรายแป้งและดินเหนียว (Silt & Clay) ตามลำดับ ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ค้างอยู่บนตะแกรงร่อนแต่ละชั้นด้วยเครื่องชั่ง ตราสินค้า METLER TOLEDO รุ่น AG285 ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์ บันทึกค่าน้ำหนักตะกอนแห้งที่ค้างบนตะแกรงร่อนแต่ละขนาด คำนวณค่าร้อยละตะกอนที่ค้างบน ตะแกรงร่อนแต่ละขนาด (The Individual Percentage Retained on any sieve, IPR)

การวิเคราะห์ขนาดตะกอน (Udden, 1914; Wentworth, 1922) โดยทั่วไปมีการแปลผลตามค่าพิสัยของขนาดตะกอนที่มีช่วงชั้นแตกต่างกันมาก ได้แก่ **ทราย (Sand)** มีขนาดระหว่าง 2 mm ถึง 63  $\mu\text{m}$  จำแนกย่อยเป็นทรายหยาบมาก (Very coarse sand) ขนาดระหว่าง 2–1 mm ทรายหยาบ (Coarse sand) ขนาด 1 mm–500  $\mu\text{m}$  ทรายขนาดกลาง (Medium sand) ขนาด 500–250  $\mu\text{m}$  ทรายละเอียด (Fine sand) ขนาด 250–125  $\mu\text{m}$  และทรายละเอียดมาก (Very fine sand) ขนาด 125–63  $\mu\text{m}$ , **ทรายแป้ง (Silt)** มีขนาดระหว่าง 63–4  $\mu\text{m}$  จำแนกย่อยเป็นทรายแป้งหยาบมาก (Very coarse silt) ขนาดระหว่าง 63–31  $\mu\text{m}$  ทรายแป้งหยาบ (Coarse silt) ขนาด 31–16  $\mu\text{m}$  ทรายแป้งขนาดกลาง (Medium silt) ขนาด 16–8  $\mu\text{m}$  และทรายแป้งละเอียด (Fine silt) ขนาด 8–4  $\mu\text{m}$  และ**ดินเหนียว (Clay)** มีขนาดเล็กกว่า 4  $\mu\text{m}$  ตามลำดับ และเพื่อให้ผลการวิเคราะห์เห็นความแตกต่างของขนาดตะกอนและแปลผลให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น Krumbein (1934) จึงเสนอให้ใช้วิธีการคำนวณขนาดตะกอนด้วยมาตราส่วนลอการิทึม (Logarithmic scale) หรือค่า  $\Phi$  แสดงดัง Equation 1

$$\Phi = -\log_2 D \quad (\text{Equation 1})$$

D คือขนาดตะกอนในหน่วยมิลลิเมตร

การคำนวณตาม Equation 1 แปลผลตามค่าพิสัยของขนาดตะกอนที่มีช่วงชั้นไม่แตกต่างกัน ได้แก่ **ทราย (Sand)** มีค่า  $\Phi$  ระหว่าง -1–4 จำแนกย่อยเป็นทรายหยาบมาก (Very coarse sand,  $-1 < \Phi < 0$ ) ทรายหยาบ (Coarse sand,  $0 < \Phi < 1$ ) ทรายขนาดกลาง (Medium sand,  $1 < \Phi < 2$ ) ทรายละเอียด (Fine sand,  $2 < \Phi < 3$ ) และทรายละเอียดมาก (Very fine sand,  $3 < \Phi < 4$ ), **ทรายแป้ง (Silt)** มีค่า  $\Phi$  ระหว่าง 4–8 จำแนกย่อยเป็นทรายแป้งหยาบมาก (Very coarse silt,  $4 < \Phi < 5$ ) ทรายแป้งหยาบ (Coarse silt,  $5 < \Phi < 6$ ) ทรายแป้งขนาดกลาง (Medium silt,  $6 < \Phi < 7$ ) ทรายแป้งละเอียด (Fine silt,  $7 < \Phi < 8$ ) และ**ดินเหนียว (Clay)** มีค่า  $\Phi$  มากกว่า 8 ตามลำดับ (Krumbein, 1934; Folk & Ward, 1957; Blott & Pye, 2001)

นำผลการคำนวณตาม Equation 1 มาคำนวณคุณลักษณะของตะกอน ได้แก่ ค่ากลางขนาดตะกอน (Mean,  $M_z$ ) แสดงดัง Equation 2 ผลการคำนวณค่ากลางขนาดตะกอน (Mean,  $M_z$ ) แสดงขนาดเฉลี่ยของการกระจายทั้งหมดของตะกอน ถูกจัดกลุ่มเป็นทรายหยาบมาก (-1–0  $\Phi$ ) ทรายหยาบ (0–1  $\Phi$ ) ทรายขนาดกลาง (1–2  $\Phi$ ) ทรายละเอียด (2–3  $\Phi$ ) และทรายละเอียดมาก (3–4  $\Phi$ ) (Folk & Ward, 1957) การแสดงภาพการกระจายตะกอนเชิงพื้นที่ด้วยแผนที่รหัสสี (Color code map) เพื่อศึกษาการกระจายขนาดตะกอนบริเวณชายหาดบางแสนใช้วิธี Kriging Interpolation ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งของการประมาณค่าโดยการหาความสัมพันธ์ในช่วงเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) โดยการประมาณค่าจากระยะทางหรือทิศทางระหว่างจุดตัวอย่างจากค่าน้ำหนักแสดงดัง Equation 3 (Somboon, 2018; Wimala et al., 2025)

$$\text{Mean } (M_z) = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3} \quad (\text{Equation 2})$$

$\Phi_{16}$ ,  $\Phi_{50}$ ,  $\Phi_{84}$  คือขนาดตะกอนที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์สะสมของช่วงชั้นที่ 16, 50, และ 84 ตามลำดับ

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n Z_i W_i \quad (\text{Equation 3})$$

$Z_0$  = ค่าประมาณที่ต้องการ (Desired estimated value)

$Z_i$  = ค่าของจุด (Value at the point)

$W_i$  = น้ำหนักที่มีความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่ต้องการประมาณค่ากับจุดที่ทราบค่าแล้ว

n = จำนวนจุดที่ทราบค่าที่จะใช้ในการประมาณค่า

และคำนวณคุณลักษณะอื่นของตะกอน ได้แก่ การคัดขนาดตะกอน (Sorting,  $\sigma_1$ ) สัดส่วนขนาดตะกอน (Kurtosis,  $K_G$ ) และระดับความสมมาตรหรือความเบ้ (Skewness,  $Sk_1$ ) ที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์สะสมของแต่ละช่วงชั้นแสดงดัง Equation 4, 5 and 6 (Folk & Ward, 1957; Pitty, 1971; Blott & Pye, 2001; Switzer, 2013)

$$\text{Sorting } (\sigma_1) = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (\text{Equation 4})$$

$$\text{Kurtosis } (K_G) = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44 (\phi_{75} - \phi_{25})} \quad (\text{Equation 5})$$

$$\text{Skewness } (Sk_1) = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2 (\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2 (\phi_{95} - \phi_5)} \quad (\text{Equation 6})$$

$\phi_5, \phi_{16}, \phi_{25}, \phi_{50}, \phi_{75}, \phi_{84}, \phi_{95}$ , คือขนาดตะกอนที่ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์สะสมของช่วงชั้นที่ 5, 16, 25, 50, 75, 84 และ 95 ตามลำดับ

การคำนวณการคัดขนาดตะกอน (Sorting,  $\sigma_1$ ) ตาม Equation 4 แสดงการมีหรือไม่มีของสัดส่วนตะกอนหยาบหรือตะกอนละเอียด และเป็นคุณสมบัติที่สะท้อนให้เห็นถึงสถานะพลังงานของการสะสม (Frank & Friedman, 1973) ตามการจำแนกประเภทตะกอนของ Folk & Ward (1957) ประกอบด้วย (1) ตะกอนคัดขนาดดีมาก (Very well sorted,  $<0.35 \phi$ ) ตะกอนเกือบทั้งหมดมีขนาดเท่ากันและมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตะกอนน้อยที่สุด ตะกอนถูกเคลื่อนย้ายและสะสมภายใต้สถานะพลังงานต่ำ ทำให้มีการเรียงลำดับขนาดตะกอนที่ใกล้เคียงกัน (2) ตะกอนคัดขนาดดี (Well sorted,  $0.35-0.5 \phi$ ) ตะกอนส่วนใหญ่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกัน ช่วงขนาดตะกอนแคบหรือความสม่ำเสมอของขนาดตะกอนมักบ่งบอกว่าตะกอนเดินทางไกลจากแหล่งกำเนิด ตะกอนขนาดเล็กกว่าและขนาดใหญ่กว่ามีแนวโน้มที่จะแยกออกจากกันระหว่างการถูกเคลื่อนย้ายในสถานะพลังงานต่ำ (3) ตะกอนคัดขนาดปานกลาง (Moderately well sorted หรือ Moderately sorted,  $0.5-1 \phi$ ) ตะกอนขนาดหนึ่งมีปริมาณมากกว่าขนาดอื่นอย่างมาก เนื่องจากตะกอนถูกพัดพาในสถานะพลังงานปานกลาง หรือตะกอนมีขนาดหลากหลาย ตะกอนขนาดหนึ่งมีปริมาณมากกว่าขนาดอื่น การกระจายขนาดตะกอนที่ผสมกันค่อนข้างสม่ำเสมอเกิดขึ้นในสถานะที่มีพลังงานสูง ส่งผลให้ตะกอนที่เหลือมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้น (4) ตะกอนคัดขนาดไม่ดี (Poorly sorted,  $1-2 \phi$ ) พบขนาดตะกอนตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็กภายในชั้นเดียวกัน ตะกอนส่วนใหญ่ที่มีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกันมักตกตะกอนอย่างรวดเร็วกว่าตะกอนขนาดเล็ก แสดงถึงการสะสมตะกอนในสถานะที่มีพลังงานสูง และ (5) ตะกอนมีการคัดขนาดไม่ดีมาก (Very Poorly sorted,  $2-4 \phi$ ) พบตะกอนมีขนาดหลากหลายและช่วงขนาดตะกอนกว้างภายในชั้นเดียว

การคำนวณสัดส่วนขนาดตะกอน (Kurtosis,  $K_G$ ) ตาม Equation 5 เป็นตัวชี้วัดอัตราส่วนของการเรียงลำดับตะกอนในทางของเส้นโค้งสะสมของตะกอนและการเรียงลำดับในส่วนกลาง ถูกจัดกลุ่มเป็น (1) Very Platykurtic ( $<0.67 \phi$ ) สัดส่วนอนุภาคตะกอนใกล้เคียงกัน ตะกอนขนาดเล็กปริมาณมากยังอยู่ปะปนกับตะกอนขนาดหยาบกว่า (2) Platykurtic ( $0.67-0.9 \phi$ ) ตะกอนมีหลายขนาด เนื่องจากตะกอนขนาดเล็กถูกพัดพาให้ยังอยู่ปะปนกับตะกอนขนาดใหญ่กว่า (3) Mesokurtic ( $0.9-1.11 \phi$ ) การเรียงลำดับขนาดตะกอนพอประมาณหรือปกติ (4) Leptokurtic ( $1.11-1.5 \phi$ ) ระหว่างการสะสมตะกอน ตะกอนขนาดเล็กกว่าและตะกอนขนาดใหญ่กว่าถูกนำออก ส่งผลให้ตะกอนที่เหลือมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้น (5) Very Leptokurtic ( $1.5-3 \phi$ ) สัดส่วนอนุภาคตะกอนชนิดใดชนิดหนึ่งมีมากกว่าขนาดอื่น

อย่างชัดเจน และ (6) Extremely Leptokurtic ( $>3 \sigma$ ) การกระจายขนาดตะกอนมีจุดสูงสุดที่สูงมากและหางค่อนข้างบาง ซึ่งหมายถึงตะกอนมีความเข้มข้นสูงรอบตะกอนขนาดใหญ่มากหรือขนาดเล็กมาก

การคำนวณระดับความสมมาตรหรือความเบ้ (Skewness,  $Sk_1$ ) ตาม Equation 6 เป็นการวัดความสมมาตรของการกระจายขนาดตะกอนหรือความไม่สมดุลของการกระจายขนาดตะกอน เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในสภาพแวดล้อมที่กำหนดไว้ เนื่องจากมีความไวต่อการผสมของตะกอนย่อย ถูกจัดกลุ่มเป็น (1) Very fine skewed (0.3–1.0  $\sigma$ ) หางกราฟเบ้ซ้ายมากแสดงถึงการกระจายตะกอนละเอียดมากกว่าตะกอนหยาบอย่างเห็นได้ชัดเจน การกระจายขนาดตะกอนเบ้ไปทางตะกอนละเอียดอย่างมีนัยสำคัญด้วยค่าความเบ้เชิงบวก บ่งชี้ว่าส่วนใหญ่เป็นตะกอนขนาดเล็กที่ทับถมในที่มีพลังงานต่ำ (2) Fine skewed (0.1–0.3  $\sigma$ ) หางกราฟเบ้ซ้ายแสดงถึงการกระจายของตะกอนละเอียดกว่ามากขึ้นเมื่อเทียบกับตะกอนหยาบ การกระจายขนาดตะกอนไม่สมดุลโดยมีสัดส่วนของอนุภาคที่เล็กกว่า เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอนุภาคหยาบกว่า บ่งบอกถึงแนวโน้มไปทางตะกอนขนาดเล็ก (3) Symmetrical (0.1 ถึง  $-0.1 \sigma$ ) การกระจายตะกอนขนาดเท่า ๆ กัน แสดงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ระลอกตะกอนสมมาตร (symmetrical ripples) หรือการกระจายขนาดตะกอนในภาพรวมเมื่อตกตะกอน (4) Coarse skewed ( $-0.1$  ถึง  $-0.3 \sigma$ ) การกระจายขนาดตะกอนหยาบที่มีปริมาณสูงกว่าอย่างไม่เป็นสัดส่วนเมื่อเทียบกับอนุภาคที่ละเอียดกว่า ตะกอนที่สะสมมีตะกอนหยาบปริมาณมากเมื่อเทียบกับตะกอนละเอียด บ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมที่พลังงานสูงซึ่งตะกอนหยาบถูกเคลื่อนย้ายและตกตะกอน และ (5) Very coarse skewed ( $-0.3$  ถึง  $-1.0 \sigma$ ) หางกราฟเบ้ขวามาก แสดงถึงการกระจายขนาดตะกอนมีนัยไปสู่อุณหภูมิที่หยาบกว่า ตะกอนหยาบมากมีสัดส่วนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับตะกอนละเอียดกว่า

## Results

การวิเคราะห์ขนาดตะกอนเชิงพื้นที่ตามระยะห่างจากชายฝั่งของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง ตามฤดูกาลในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 และรอบปี พ.ศ. 2557 รวมทั้งสิ้น 111 ตัวอย่าง พบตะกอนชายหาดบางแสนตามฤดูกาลในรอบปีหลายขนาด ตั้งแต่ทรายหยาบมากคิดเป็น 6% ทรายขนาดกลาง 19% ทรายละเอียด 74% และทรายละเอียดมาก 1% ของพื้นที่ และพบการคัดขนาดตะกอน ( $Sk_1 > 0.3$  Very Fine Skewness) บ่งบอกว่าพื้นที่ชายหาดบางแสนมีการกระจายตะกอนละเอียดมากกว่าตะกอนหยาบอย่างชัดเจน

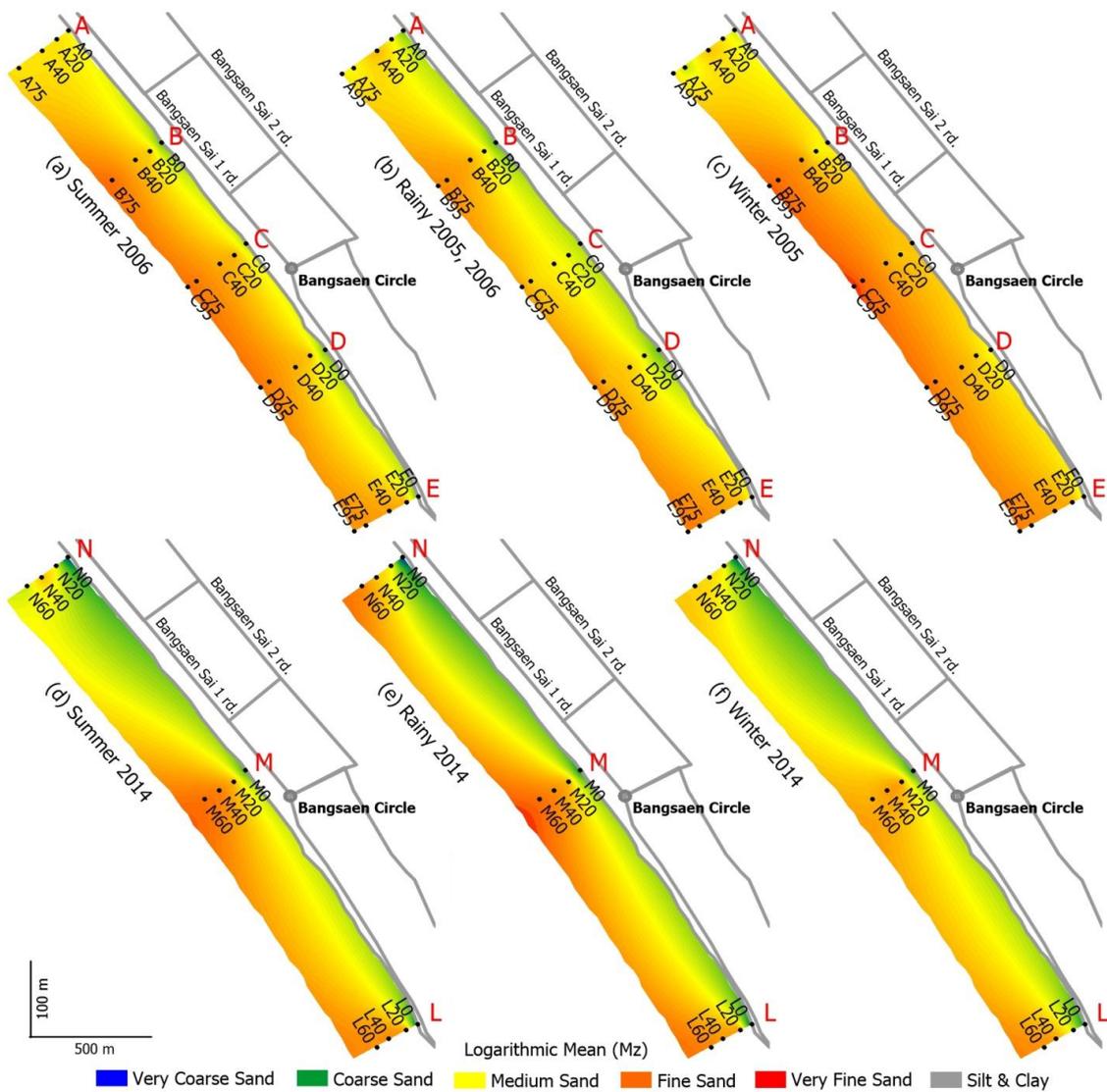
ผลการคำนวณค่ากลางขนาดตะกอน (Mean,  $M_z$ ) มีขนาดเฉลี่ยในช่วงทรายละเอียด (2–3  $\sigma$ ) เมื่อพิจารณาค่าสถิติของข้อมูลค่ากลางขนาดตะกอนพบค่าเฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 ดังนี้ (ฤดูร้อน  $2.31 \pm 0.05$  ฤดูฝน  $2.21 \pm 0.59$  และฤดูหนาว  $2.39 \pm 0.37$ ) และในรอบปี พ.ศ. 2557 พบค่าเฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ฤดูร้อน  $2.05 \pm 0.82$  ฤดูฝน  $2.08 \pm 0.92$  และฤดูหนาว  $1.98 \pm 0.77$ ) และยังพบความแปรปรวนของข้อมูล (Variance) ในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 (ฤดูร้อน 0.37 ฤดูฝน 0.80 และฤดูหนาว 0.87) เมื่อเปรียบเทียบกับในรอบปี พ.ศ. 2557 ที่พบความแปรปรวนของข้อมูลมีค่าดังนี้ (ฤดูร้อน 1.02 ฤดูฝน 1.84 และฤดูหนาว 1.09) แสดงให้เห็นว่าในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 ตะกอนส่วนใหญ่ที่มีขนาดใกล้เคียงกันและมีการกระจายขนาดรอบค่าเฉลี่ยน้อยหรือข้อมูลถูกจัดกลุ่มอย่างแน่นหนารอบค่าเฉลี่ย จึงมีความแปรปรวนของข้อมูลน้อยกว่าในรอบปี พ.ศ. 2557 ที่แสดงว่าตะกอนมีขนาดแตกต่างกันมากกว่าและมีการกระจายขนาดรอบค่าเฉลี่ยมากกว่าหรือข้อมูลถูกจัดกลุ่มไม่แน่นหนารอบค่าเฉลี่ย จึงทำให้ข้อมูลมีความแปรปรวนสูงกว่า

การกระจายตะกอนเชิงพื้นที่บริเวณชายหาดบางแสน (Figure 2) และคุณลักษณะของตะกอนแสดงการคัดขนาด ( $\sigma$ ) และความโค้ง ( $K_0$ ) (Table 1 and 2) แสดงพลวัตการกระจายขนาดตะกอนชายหาดบางแสนในช่วงเวลา 9 ปี โดยในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 (Figure 2a–c) พื้นที่ชายฝั่งในทุกฤดู พบทรายละเอียดมากกว่าตะกอนชนิดอื่นใน

ปริมาณเพิ่มขึ้นจากด้านทิศเหนือไปด้านทิศใต้ปนด้วยทรายขนาดกลางที่พบปริมาณลดลงจากทิศเหนือไปทางทิศใต้ ชายฝั่งด้านทิศเหนือพบทรายหยาบมากในปริมาณน้อย ในขณะที่ชายฝั่งตอนกลางและชายฝั่งด้านทิศใต้พบทรายหยาบ ปริมาณมากขึ้นและยังพบตะกอนโคลนขนาดมากขึ้น โดยเฉพาะชายฝั่งตอนกลางใกล้วงเวียนบางแสนที่พบตะกอนตั้งแต่ ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็กภายในชั้นเดียวกันที่มีการเรียงลำดับขนาดตะกอนพอประมาณ ตะกอนขนาดเล็กกว่าและ ใหญ่กว่ามีแนวโน้มที่จะแยกออกระหว่างการถูกเคลื่อนย้ายในสภาวะพลังงานปานกลาง (Poorly sorted, Mesokurtic) **พื้นที่ใกล้ฝั่ง**ในทุกฤดูยังคงพบทรายละเอียดมากกว่าตะกอนขนาดอื่นและยังพบมีปริมาณมากกว่าที่ชายฝั่ง อีกทั้งพบ ทรายละเอียดมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากด้านทิศเหนือไปด้านทิศใต้ ปนด้วยทรายขนาดกลางที่พบปริมาณมากที่สุดทางด้าน ทิศเหนือและปริมาณลดลงไปทางทิศใต้ ในฤดูร้อนตะกอนคัดขนาดปานกลาง ตะกอนขนาดหนึ่งที่มีปริมาณมากกว่า ขนาดอื่นอย่างมาก ตะกอนขนาดเล็กกว่าและขนาดใหญ่กว่าถูกนำออกในสภาพแวดล้อมที่มีพลังงานสูงในระหว่าง การตกตะกอน ตะกอนที่เหลือจึงมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้นและมีการกระจายขนาดตะกอนที่ผสมกันค่อนข้างสม่ำเสมอ (Moderately well sorted, Leptokurtic) และตะกอนคัดขนาดปานกลาง ตะกอนขนาดหนึ่งที่มีปริมาณมากกว่าขนาดอื่น อย่างมากและมีสัดส่วนมากกว่าขนาดอื่นอย่างชัดเจน บ่งชี้การสะสมตะกอนในสภาพแวดล้อมที่มีพลังงานสูง (Moderately well sorted, Very Leptokurtic) ในฤดูฝนที่พื้นที่ใกล้ฝั่งตอนกลางพบตะกอนคัดขนาดปานกลาง ตะกอน ขนาดหนึ่งที่มีปริมาณมากกว่าขนาดอื่นอย่างมาก ตะกอนขนาดเล็กกว่าและขนาดใหญ่กว่าถูกนำออกในสภาพแวดล้อม ที่มีพลังงานสูงในระหว่างการตกตะกอน ตะกอนที่เหลือจึงมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้นและมีการกระจายขนาดตะกอนที่ ผสมกันค่อนข้างสม่ำเสมอ (Moderately well sorted, Leptokurtic) โดยเฉพาะใกล้วงเวียนบางแสน **พื้นที่ห่างฝั่ง**ในทุกฤดู พบทรายละเอียดมากกว่าตะกอนขนาดอื่นโดยพบปริมาณเพิ่มขึ้นจากด้านทิศเหนือไปด้านทิศใต้ ปนด้วยทรายละเอียด มากที่มีปริมาณลดลงจากด้านทิศเหนือไปทางทิศใต้ แต่ที่พื้นที่ด้านทิศเหนือจุด A75 และ A95 พบทรายละเอียดปริมาณ มากปนด้วยทรายขนาดปานกลางปริมาณมาก ตะกอนขนาดเล็กกว่าและขนาดใหญ่กว่าถูกนำออกในสภาพแวดล้อมที่มี พลังงานสูงในระหว่างการสะสมตะกอน ส่งผลให้ตะกอนที่เหลือมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้นและมีการกระจายขนาด ตะกอนที่ผสมกันค่อนข้างสม่ำเสมอ (Moderately sorted, Leptokurtic)

และในรอบปี พ.ศ. 2557 (Figure 2d-f) **พื้นที่ชายฝั่ง**ในทุกฤดูส่วนใหญ่พบทรายหยาบมากในปริมาณมาก บริเวณด้านทิศเหนือและมีปริมาณลดลงไปทางทิศใต้ ปนด้วยทรายหยาบที่มีปริมาณน้อยกว่าในด้านทิศเหนือและมี ปริมาณเพิ่มมากขึ้นไปทางทิศใต้ แต่พบทรายละเอียดและทรายขนาดกลางในปริมาณน้อย ชายฝั่งด้านทิศเหนือตะกอน คัดขนาดไม่ตี พบตะกอนตั้งแต่ขนาดใหญ่อันจนถึงขนาดเล็กภายในชั้นเดียวกัน เนื่องจากตะกอนขนาดเล็กถูกพัดพาให้ยัง อยู่ปะปนกับตะกอนขนาดใหญ่กว่า (Poorly sorted, Platykurtic) และยังคงพบว่าชายฝั่งตอนกลางใกล้วงเวียนบางแสน และชายฝั่งด้านทิศใต้ในฤดูฝนและฤดูหนาวพบขนาดตะกอนตั้งแต่ใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็กภายในชั้นเดียวกันและสัดส่วน อนุภาคตะกอนใกล้เคียงกัน บ่งชี้ว่าตะกอนขนาดเล็กปริมาณมากถูกพัดพาให้ยังอยู่ปะปนกับตะกอนขนาดใหญ่กว่า ในสภาวะพลังงานต่ำ (Poorly sorted, Very Platykurtic) เช่นเดียวกับที่พบในปี พ.ศ. 2548-2549 **พื้นที่ใกล้ฝั่งที่ระยะ 20 เมตร** ในทุกฤดูพบทรายละเอียด (54-82%) ปริมาณเพิ่มขึ้นจากด้านทิศเหนือไปด้านทิศใต้ และมีปริมาณมากกว่า ตะกอนขนาดอื่นอย่างมากและมากกว่าชายฝั่ง และมีสัดส่วนมากกว่าขนาดอื่นอย่างชัดเจน บ่งชี้การสะสมตะกอนใน สภาพแวดล้อมที่มีพลังงานสูง (Moderately well sorted, Very Leptokurtic) แต่พื้นที่ด้านทิศเหนือจุด N20 พบทราย ละเอียดปริมาณมากปนด้วยทรายขนาดปานกลางปริมาณมาก มีการเรียงลำดับขนาดตะกอนพอประมาณ ตะกอนขนาด เล็กกว่าและใหญ่กว่ามีแนวโน้มที่จะแยกออกระหว่างการถูกเคลื่อนย้ายโดยสภาวะพลังงานปานกลาง (Moderately sorted, Mesokurtic) **พื้นที่ใกล้ฝั่งที่ระยะ 40 เมตรและพื้นที่ห่างฝั่ง** ในทุกฤดูพบทรายละเอียด (51-83%) ปริมาณ เพิ่มขึ้นจากด้านทิศเหนือไปด้านทิศใต้ มีปริมาณมากกว่าตะกอนขนาดอื่นอย่างมากปนด้วยทรายละเอียดมาก แต่พื้นที่

ด้านทิศเหนือที่จุด N40 และ N60 พบทรายละเอียดปริมาณมากปนด้วยทรายขนาดกลาง ตะกอนขนาดเล็กกว่าและใหญ่กว่ามีแนวโน้มที่จะแยกออกระหว่างการถูกเคลื่อนย้ายโดยสภาวะพลังงานปานกลาง (Poorly sorted, Mesokurtic) ในฤดูฝนมีคลื่นสูงที่มีพลังงานสูงและกระแสน้ำสุทธิใกล้ฝั่งบริเวณแหลมแท่นที่อยู่ทางตอนเหนือของชายหาดมีทิศทางสวนกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรืออาจไหลไปทางเหนือตามทิศทางลมมรสุมเช่นเดียวกับกระแสน้ำสุทธิบริเวณหาดวอนนภาที่อยู่ทางด้านใต้ของชายหาดบางแสน ที่อาจส่งผลทำให้ตะกอนขนาดเล็กกว่าและขนาดใหญ่กว่าถูกนำออกในระหว่างการสะสมตะกอน จึงพบตะกอนขนาดใหญ่ที่หลงเหลืออยู่ มีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้นและมีการกระจายขนาดตะกอนที่ผสมกันในปริมาณค่อนข้างสม่ำเสมอที่บริเวณด้านทิศเหนือของชายหาด (Leptokurtic) ในฤดูหนาวเป็นช่วงที่ลมพัดออกจากฝั่งของชายหาด ลมจึงเบาและมีคลื่นต่ำที่มีพลังงานต่ำเนื่องจากทิศทางและความเร็วลมในแต่ละฤดูฤดูกาล บริเวณชายหาดบางแสนและกระแสน้ำสุทธิบริเวณแหลมแท่นไหลขึ้นไปทางทิศเหนือในขณะที่กระแสน้ำสุทธิบริเวณหาดวอนนภาไหลไปทางทิศใต้ที่มีพัดพาตะกอนขนาดเล็กให้ยังอยู่ปะปนกับตะกอนขนาดใหญ่กว่าที่บริเวณด้านทิศใต้ของชายหาด (Platykurtic)



**Figure 2** Sediment grain-size distribution dynamics at Bangsaen Beach in 2005–2006 (a–c) and 2014 (d–f) (station names are shown in red letters and sediment sampling positions are shown as solid black dots)

**Table 1** Sorting ( $\sigma$ ) and kurtosis (KG) of sediment size distributions according to distance from shore at each sampling location and season in 2005–2006 (ND means no data)

Summer 2006		Station A	Station B	Station C	Station D	Station E
0 m	$\sigma$ , $K_G$	0.7, 0.8	1.2, 0.8	1.2, 1.1	0.9, 1.2	1.3, 0.8
20 m	$\sigma$ , $K_G$	0.6, 1.0	0.6, 1.2	0.5, 1.5	0.7, 1.7	0.5, 1.4
40 m	$\sigma$ , $K_G$	0.7, 1.1	0.7, 1.5	0.7, 1.8	0.7, 1.8	0.6, 1.5
75 m	$\sigma$ , $K_G$	0.7, 1.0	0.9, 1.2	0.7, 1.1	0.6, 1.1	0.7, 1.5
95 m	$\sigma$ , $K_G$	ND	ND	0.8, 1.1	0.8, 1.1	0.7, 1.5
Rainy 2005, 2006		Station A	Station B	Station C	Station D	Station E
0 m	$\sigma$ , $K_G$	0.9, 1.0	1.1, 1.0	1.0, 1.1	1.0, 1.0	0.9, 1.2
20 m	$\sigma$ , $K_G$	0.7, 0.9	0.8, 1.3	0.8, 1.4	0.9, 1.3	0.6, 1.4
40 m	$\sigma$ , $K_G$	0.7, 1.1	0.7, 1.4	0.7, 1.0	0.8, 1.5	0.6, 1.2
75 m	$\sigma$ , $K_G$	0.8, 1.0	0.8, 1.2	0.8, 1.0	0.7, 1.2	0.6, 1.1
95 m	$\sigma$ , $K_G$	0.7, 1.0	0.8, 1.1	0.9, 1.2	0.8, 1.2	0.6, 0.9
Winter 2005		Station A	Station B	Station C	Station D	Station E
0 m	$\sigma$ , $K_G$	0.7, 0.9	0.8, 1.1	0.6, 1.7	1.0, 1.2	1.1, 0.9
20 m	$\sigma$ , $K_G$	0.6, 0.9	0.8, 1.1	0.7, 1.4	0.8, 1.7	0.6, 1.6
40 m	$\sigma$ , $K_G$	0.8, 1.2	0.7, 1.5	0.7, 1.7	0.7, 1.8	0.6, 1.5
75 m	$\sigma$ , $K_G$	0.7, 1.1	0.9, 1.1	0.7, 0.9	0.8, 1.5	0.6, 1.1
95 m	$\sigma$ , $K_G$	0.6, 1.0	0.8, 1.0	0.8, 1.0	0.7, 0.9	0.7, 1.0

**Table 2** Sorting ( $\sigma$ ) and kurtosis (KG) of sediment size distributions according to distance from shore at each sampling location and season in 2014 (ND means no data)

Summer 2014		Station N	Station M	Station L
0 m	$\sigma$ , $K_G$	1.2, 0.8	1.2, 0.7	1.3, 0.7
20 m	$\sigma$ , $K_G$	0.8, 1.0	0.6, 1.7	0.5, 1.1
40 m	$\sigma$ , $K_G$	0.6, 1.7	0.6, 0.9	0.5, 1.1
60 m	$\sigma$ , $K_G$	1.1, 1.0	0.6, 0.8	0.6, 1.3
Rainy 2014		Station N	Station M	Station L
0 m	$\sigma$ , $K_G$	1.1, 0.9	1.3, 0.6	1.3, 0.9
20 m	$\sigma$ , $K_G$	0.7, 1.0	0.6, 1.6	0.6, 1.3
40 m	$\sigma$ , $K_G$	1.0, 1.6	0.6, 1.1	0.8, 1.5
60 m	$\sigma$ , $K_G$	0.7, 1.0	0.8, 1.1	0.6, 1.0
Winter 2014		Station N	Station M	Station L
0 m	$\sigma$ , $K_G$	1.3, 0.8	1.4, 0.6	1.4, 0.6
20 m	$\sigma$ , $K_G$	0.9, 1.2	0.5, 1.1	1.0, 0.8
40 m	$\sigma$ , $K_G$	0.9, 1.8	0.6, 1.3	0.4, 0.9
60 m	$\sigma$ , $K_G$	0.8, 1.4	0.7, 1.9	0.6, 1.2

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination,  $r^2$ ) ที่มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างตัวแปรตาม (dependent variable) คือการคัดขนาดตะกอน (Sorting,  $\sigma$ ) กับตัวแปรต้น (independent variable) เป็นค่ากลางขนาดตะกอน (Mean,  $M_z$ ) ในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 ค่าการคัดขนาดตะกอน (Sorting,  $\sigma$ ) 0.5–1.25 บ่งชี้ช่วงตะกอนมีการคัดขนาดปานกลาง–ไม่ดี และค่ากลางขนาดตะกอน (Mean,  $M_z$ ) 1.35–3.02 บ่งชี้ตะกอนมีขนาดช่วงทรายขนาดกลาง–ทรายละเอียดมาก พบว่ามีความสัมพันธ์กันน้อยในทุกฤดู (ฤดูร้อน  $r^2$  0.49 ฤดูฝน  $r^2$  0.49 และฤดูหนาว  $r^2$  0.09) และในรอบปี พ.ศ. 2557 ค่าการคัดขนาดตะกอน 0.45–1.45 บ่งชี้ช่วงตะกอนคัดขนาดได้ดี–ไม่ดี และค่ากลางขนาดตะกอน 0.36–2.86 บ่งชี้ตะกอนมีขนาดช่วงทรายหยาบ–ทรายละเอียด พบว่ามีความสัมพันธ์กันมากกว่า (ฤดูร้อน  $r^2$  0.90 ฤดูฝน  $r^2$  0.75 และฤดูหนาว  $r^2$  0.89)

## Conclusion and Discussion

การวิเคราะห์การกระจายขนาดตะกอนเชิงพื้นที่ชายหาดบางแสนตามฤดูกาลโดยใช้การคำนวณคุณสมบัติตะกอนด้วยมาตราส่วนลอการิทึม (Logarithmic scale) ร่วมกับวิธี Kriging Interpolation แสดงว่าปี พ.ศ. 2548–2549 พื้นที่ชายฝั่งมีช่วงการเปลี่ยนแปลงขนาดตะกอนมากที่สุดทุกฤดูในรอบปี ส่วนใหญ่พบทรายละเอียดมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากด้านทิศเหนือไปด้านทิศใต้ปนด้วยทรายขนาดกลางมีปริมาณลดลงจากด้านทิศเหนือไปทางทิศใต้ ชายฝั่งด้านทิศเหนือพบทรายหยาบมากในปริมาณน้อย ในขณะที่ชายฝั่งตอนกลางและชายฝั่งด้านทิศใต้พบทรายหยาบปริมาณมากขึ้นและตะกอนละเอียดมากขึ้น พื้นที่ใกล้ฝั่งและพื้นที่ห่างฝั่งในทุกฤดูยังคงพบทรายละเอียดมากกว่าตะกอนขนาดอื่นและยังพบมีปริมาณมากกว่าที่ชายฝั่ง ส่วนในรอบปี พ.ศ. 2557 พบว่าพื้นที่ชายฝั่งในทุกฤดูส่วนใหญ่พบทรายหยาบมากในปริมาณมากบริเวณด้านทิศเหนือและมีปริมาณลดลงไปทางทิศใต้ ปนด้วยทรายหยาบที่มีปริมาณน้อยกว่าในด้านทิศเหนือและมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นไปทางทิศใต้ แต่พบทรายละเอียดและทรายขนาดกลางในปริมาณน้อย พื้นที่ใกล้ฝั่งที่ระยะ 20–40 เมตร และพื้นที่ห่างฝั่ง ในทุกฤดูพบทรายละเอียดในทุกฤดูพบทรายละเอียดปริมาณเพิ่มขึ้นจากด้านทิศเหนือไปด้านทิศใต้และมีปริมาณมากกว่าตะกอนขนาดอื่นอย่างมากปนด้วยทรายละเอียดมาก

ในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 พบการคัดขนาดตะกอนและค่ากลางขนาดตะกอนมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นน้อย ( $r^2$  0.09–0.49) ตรงกันข้ามกับในรอบปี พ.ศ. 2557 ในทุกฤดู ที่ส่วนใหญ่พบทรายหยาบมากมีปริมาณลดลงจากด้านทิศเหนือไปทางทิศใต้ปนด้วยทรายหยาบ แต่กลับพบทรายละเอียดและทรายขนาดกลางในปริมาณน้อย พื้นที่ใกล้ฝั่งและพื้นที่ห่างฝั่งในทุกฤดูพบทรายละเอียดปริมาณมากกว่าตะกอนขนาดอื่นอย่างมากและมากกว่าชายฝั่งเช่นเดียวกันกับในรอบปี และพบการคัดขนาดตะกอนและค่ากลางขนาดตะกอนมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นมากขึ้น ( $r^2$  0.75–0.90) โดยเฉพาะชายฝั่งตอนกลางใกล้วงเวียนบางแสนที่พบตะกอนตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็กที่มีการเรียงลำดับขนาดตะกอนพอประมาณ และพบการคัดขนาดตะกอนและค่ากลางขนาดตะกอนมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นมากขึ้นในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 ( $r^2$  0.20–0.62) และในรอบปี พ.ศ. 2557 ( $r^2$  0.84–0.98) บ่งชี้ในรอบปี พ.ศ. 2548–2549 ขนาดตะกอนชายหาดบางแสนมีส่วนในการคัดขนาดร้อยละ 9–49 และในรอบปี พ.ศ. 2557 ขนาดตะกอนมีส่วนในการคัดขนาดตะกอนสูงถึงร้อยละ 75–90 และโดยเฉพาะชายฝั่งตอนกลางใกล้วงเวียนบางแสนที่พบว่าขนาดตะกอนมีส่วนสำคัญในการคัดขนาดตะกอนรอบปี พ.ศ. 2548–2549 สูงถึงร้อยละ 20–60 และสูงมากขึ้นถึงร้อยละ 84–98 ในรอบปี พ.ศ. 2557 อย่างไรก็ตาม ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดของจำนวนจุดเก็บตัวอย่างที่ไม่เท่ากันและเก็บตัวอย่างที่ระยะห่างที่แตกต่างกัน ข้อจำกัดนี้อาจส่งผลต่อความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างข้อมูลการคัดขนาดตะกอนกับค่ากลางขนาดตะกอน และโดยเฉพาะส่งผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่อาจทำให้การแปลผลการวิเคราะห์ข้อมูลไม่สมบูรณ์ ซึ่งควรต้องมีการเก็บตัวอย่างตะกอนที่จุดเดิมในปีอื่นมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

การกระจายตะกอนชายหาดบางแสนในรอบปี พ.ศ. 2557 สอดคล้องกับขนาดคลื่นและทิศทางการกระแสน้ำตามฤดูกาลที่ถูกตรวจวัดในปี พ.ศ. 2557-2558 (Buranapratheprat et al., 2015; 2017) โดยในฤดูฝนที่คลื่นมีพลังงานสูงและกระแสน้ำสุทธิใกล้ฝั่งบริเวณด้านทิศเหนือของชายหาดมีทิศทางสวนกับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้หรืออาจไหลขึ้นไปทางเหนือเช่นเดียวกับกระแสน้ำสุทธิบริเวณด้านทิศใต้ของชายหาดบางแสน อาจทำให้ตะกอนขนาดเล็กกว่าและขนาดใหญ่กว่าถูกนำออกในระหว่างการตกตะกอน และส่งผลทำให้ตะกอนขนาดใหญ่ที่เหลือมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้นและมีการกระจายขนาดตะกอนค่อนข้างสม่ำเสมอที่บริเวณด้านทิศเหนือของชายหาด ในฤดูหนาวเป็นช่วงที่คลื่นมีพลังงานต่ำและลมเบาพัดออกจากฝั่ง และกระแสน้ำสุทธิบริเวณด้านทิศเหนือไหลขึ้นไปทางทิศเหนือในขณะที่กระแสน้ำสุทธิบริเวณด้านทิศใต้ไหลไปทางทิศใต้และพัดพาตะกอนขนาดเล็กให้ยังอยู่ปะปนกับตะกอนขนาดใหญ่กว่าที่บริเวณด้านทิศใต้ของชายหาด ที่อาจบ่งชี้ว่าการวางก้อนหินขนาดใหญ่บริเวณหาดวนภมาในลักษณะของเขื่อนกันคลื่นส่งผลทำให้ทิศทางและความเร็วของกระแสน้ำไหลเลียบฝั่ง (Long-shore current) และกระแสน้ำตามฤดูกาลเกิดการเปลี่ยนแปลง และส่งผลโดยตรงต่อการเคลื่อนย้ายตะกอนที่มีขนาดแตกต่างกันผ่านไป-มาระหว่างฤดูฝนและฤดูหนาว ผ่านชายฝั่งตอนกลางใกล้วงเวียนบางแสนจึงทำให้พบตะกอนหลายขนาดคละกันดี อย่างไรก็ตาม แม้การศึกษาการกระจายตะกอนบริเวณชายหาดบางแสนนี้จะบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงการกระจายขนาดตะกอนบริเวณชายหาดในระยะเวลา 9 ปีก็ตาม แต่กลับมีการตรวจวัดขนาดคลื่นและทิศทางของกระแสน้ำตามฤดูกาลในพื้นที่และเวลาเดียวกันเพียง 1 ครั้งในปี พ.ศ. 2557 อาจส่งผลต่อการแปลผลการกระจายตะกอนเนื่องจากการกระทำของคลื่นและกระแสน้ำเลียบฝั่ง อีกทั้งการศึกษาดังกล่าวการกระจายตะกอนชายฝั่งยังต้องการข้อมูลสิ่งแวดล้อมในพื้นที่มาวิเคราะห์ร่วมด้วย จึงควรต้องมีการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงการกระจายตะกอน การตรวจวัดคลื่นและกระแสน้ำ รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะฐานและเปลี่ยนแปลงความลาดชันของชายหาด และโดยเฉพาะปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งได้มีการแก้ไขปัญหาการกัดเซาะชายหาดบางแสนแล้วโดยการเสริมทรายชายหาด (Beach Nourishment) อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เป็นการแก้ไขปัญหาด้านหลักวิชาการในระยะยาวอย่างยั่งยืนและประหยัดงบประมาณ เพื่อรักษาสภาพธรรมชาติของชายหาดบางแสนซึ่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญของภาคตะวันออกที่ได้รับความนิยมต่อไป จึงควรมีการศึกษาติดตามสภาพแวดล้อมของชายหาดอย่างต่อเนื่อง

การศึกษาดังกล่าวการกระจายขนาดตะกอนเชิงพื้นที่ชายหาดบางแสนตามฤดูกาลโดยใช้วิธีภูมิสารสนเทศร่วมกับการคำนวณขนาดตะกอนด้วยมาตราส่วนลอการิทึม (Logarithmic scale) ด้วยชุดสมการที่ใช้ในการคำนวณคุณสมบัติของตะกอนเดียวกันกับการศึกษาของ Wang et al., (2020) และ Perera et al., (2023) ซึ่งได้ผลการศึกษาในครั้งนี้พบการกระจายตะกอนได้รับอิทธิพลจากสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ ได้แก่ คลื่นและกระแสน้ำเลียบชายฝั่ง สอดคล้องกับการกระจายตะกอนชายหาดศรีลังกา (Perera et al., 2023) ที่พบการกระจายของทรายขนาดกลางที่ตกตะกอนเนื่องจากคลื่นหรือสภาพแวดล้อมที่มีพลังงานต่ำจากฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออกของชายฝั่งศรีลังกา และสอดคล้องกับกับการศึกษาดังกล่าวการกระจายตะกอนชายฝั่งจังหวัดจันทบุรี (Wang et al., 2020) พบทรายและทรายแป้งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่เนื่องจากการเคลื่อนย้ายตะกอนระหว่างทิศตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือร่วมกับอิทธิพลจากน้ำขึ้น-น้ำลงและเอนทูรีที่มีสภาพเกี่ยวกับอุทกพลศาสตร์แตกต่างกัน รวมถึงสภาพภูมิศาสตร์ท้องถิ่นด้วย

## References

- Blott, S. J. & Pye, K. (2001). GRADISTAT: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surface Process and Landforms*, 26, 1237–1248.
- Briggs, D. (1977). *Sources and method of geography: sediment*. London: Butterworth.
- Buranapratheprat, A., Jintasaeranee, P., Khoksalung, K., Tong-u-dom, S., & Yuenyong, S. (2017). Water Circulation at Bangsaen Beach, Chonburi Province in 2014 – 2015. *Burapha Science Journal*, 22(1), 38–48. (in Thai)
- Buranapratheprat, A., Sojisuporn, P., Suwannarach, T., & Jintasaeranee, P. (2015). Wave Analysis at Bangsaen Beach, Chonburi Province. *Burapha Science Journal*, 20(2), 131–139. (in Thai)
- Chaiongkam, P., & Sojisuporn, P. (2012). Characteristics of Seasonal Wind and Wind-driven Current in the Gulf of Thailand. *Bulletin of Earth Sciences of Thailand*, 5(1), 58–67. (in Thai)
- Department of Mineral Resources. (2012). *Physical geology of the seafloor of the upper Gulf of Thailand*. Bangkok: Geotechnology Division. (in Thai)
- Folk, R. L. & Ward, W. C. (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3–26.
- Frank, W. M. & Friedman, G. M. (1973). Continental Shelf Sediments off New Jersey. *Journal of Sedimentary Petrology*, 43, 224–237.
- Garrison, T. (1993). *Oceanography: an introduction to marine science*. California: Wadsworth.
- Ingmanson, D. E. & Wallace, W. J. (1995). *Oceanography an introduction*. California: Wadsworth.
- Karunaratna, H., Horrillo-Caraballo, J. M., Ranasinghe, R., Short, A. D. & Reeve, D. E. (2012). An Analysis of the Cross-Shore Beach Morphodynamics of a Sandy and a Composite Gravel Beach. *Marine Geology*, 299–302, 33–42.
- Krumbein, W. C. (1934). Size frequency distributions of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 4, 65–77.
- Larson, M. & Kraus, N. C. (1995). Prediction of Cross-Shore Sediment Transport at Different Spatial and Temporal Scales. *Marine Geology*, 126, 111–127.
- Niodoroda, A. W., Reed, C. W., Swift, D. J. P., Arato, H. & Hoyanagi, K., (1995). Modelling Shore-Normal Large-Scale Coastal Evolution. *Marine Geology*, 126, 181–199.
- Pedrozo-Acuña, A., Simmonds, D. J., Otta, A. K. & Chadwick, A. J. (2006). On the cross-shore profile change of gravel beaches. *Coastal Engineering*, 53, 335–347.
- Perera, U. L. H. P., Ratnayake, A. S., Weerasingha, W. A. D. B., Subasinghe, H. C. S. & Wijewardhana, T. D. U. (2023). Grain size distribution of modern beach sediments in Sri Lanka. *Anthropocene Coasts*, 6(10). Form doi.org/10.1007/s44218-023-00025-7.
- Pitty, A. F. (1971). *Introduction to geomorphology*. London: Methuen.
- Plummer, C. C., McGearry, D. & Carlson, D. H. (2001). *Physical geology*. Boston: Mc Graw-Hill.
- Poate, T., Masselink, G., Davidson, M., McCall, R., Russell, P. & Turner, I. (2013). High Frequency In-situ Field Measurements of Morphological Response on a Fine Gravel Beach during Energetic Wave Conditions. *Marine Geology*, 342, 1–13.

- Pontee, N. I., Pye, K. & Blott, S. J. (2004). Morphodynamic Behaviour and Sedimentary Variation of Mixed Sand and Gravel Beaches, Suffolk, UK. *Journal of Coastal Research*, 20(1), 256–276.
- Sojisuporn, P., Chuchuai, T., & Kooptasin, J. (1976). Grain–Size Distribution of Surface Sediment in the Inner Gulf of Thailand. *Burapha Science Journal*, 24(3), 958–977. (in Thai)
- Somboon, T. (2018). *Spatial rainfall analysis from ground–based rainfall data and satellite imagery, combined with topographic data: A case study of the southern region of Thailand*. Royal Irrigation Department. (in Thai)
- Stive, M. J. & de Vriend, H. G. (1995). Shear stresses and mean flow in shoaling and breaking waves. *Coastal Engineering*, 1994, 594–608.
- Switzer, A. D. (2013). Measuring and analyzing particle size in a geomorphic context. In *Treatise on Geomorphology* (pp. 224–242). San Diego, CA: Academic Press.
- Udden, J. A. (1914). Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, 25, 655–744.
- Wang, C., Chen, M., Qi, H., Intasen, W. & Kanchanapant, A. (2020). Grain–Size Distribution of Surface Sediments in the Chanthaburi Coast, Thailand and Implications for the Sedimentary Dynamic Environment. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(242). Form doi:10.3390/jmse8040242.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, 377–392.
- Wimala, S., Jirakajohnkool, S., Konisranukul, W., & Nakhapakorn, K. (2025). Comparison of Spatial Rainfall Interpolation by Using Statistical Methods at Thailand’s Eastern Coast Basin. *Suranaree Journal of Social Science*, 19(1), e253620.