เนินทรายชายฝั่งทะเล: กระบวนการและสัณฐาน
Coastal Dunes: Process and Form

ไพฑูรย์ ปิยะปกรณ์[1]
Paitoon Piyapakorn

บทคัดย่อ

เนินทรายชายฝั่งทะเล เป็นบทความที่ประมวลบนพื้นฐานระบบหาด-เนินทราย หาดสลายพลังงานคลื่นจะมีเงื่อนไขปัจจัยที่จำเป็นต่อการก่อตัวเนินทรายชายฝั่ง มากกว่าหาดสะท้อนพลังงานคลื่นและหาดที่อยู่ระหว่างกลางสองประเภท การพัฒนาเนินทรายชายฝั่งทะเลมีลำดับเริ่มจากมีการทับถมตะกอนทรายบนหน้าหาดโดยคลื่น ตะกอนทรายหาดถูกพัดพาไปด้านหลังหาดโดยลมประจำที่พัดเข้าสู่ชายทะเล และเกิดความมั่นคงโดยพืชพรรณ ระบบเนินทรายชายฝั่งทะเลจะประกอบด้วยเนินทราย 3 โซน ได้แก่ เนินทรายส่วนนอกที่กำลังก่อตัว เนินทรายส่วนนอก และเนินทรายด้านหลัง

คำสำคัญ: หาดสลายพลังงานคลื่น ลมประจำ ระบบเนินทรายชายฝั่งทะเล

Abstract

This paper reviews the coastal dunes based on beach-dune systems. Dissipative beaches provide the necessary conditions for the formation of coastal dunes more than the reflective and intermediate beaches. The developmental sequence of coastal dune starts from sand deposition on beach face by waves, sand transportation to the back of the beach by prevailing onshore winds, and dune stabilization by vegetation. Coastal dune systems consist of three zones: incipient foredune, foredune and hind dunes.

Keywords: Dissipative beaches, Prevailing wind, Coastal dune systems

---

[1]*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ*
Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Education, Ramkhamhaeng University, Bangkok.
Corresponding e-mail : piyapakorn.p@gmail.com

บทนำ

เนินทรายชายฝั่งทะเล(coastal dunes) เป็นลักษณะทางธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเลประเภทที่จะก่อตัวเกิดขึ้นในบริเวณสภาพสิ่งแวดล้อมชายฝั่งที่มีอิทธิพลคลื่นเด่น และอยู่ด้านหลังหาดสลายพลังงานคลื่น (Bird, 2000; Masselink, Hughes and Knight, 2011) มีความแตกต่างจากลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเลอื่นๆ เพราะการก่อตัวเกิดขึ้นของเนินทราย (dune formation) เกิดจากกระบวนการกระทำของลมมากกว่ากระบวนการน้ำ (Pethick, 1984) เนินทรายชายฝั่งทะเลส่วนใหญ่จะเกิดสะสมก่อตัวขึ้นอยู่ด้านหลังหาดทราย และอยู่เหนือระดับน้ำทะเลขึ้นสูงสุดของแนวชายฝั่งทะเลมหาสมุทร ทะเลสาบ และชะวากทะเล รวมถึงเกาะสันดอนชายฝั่ง (Davis and Fitzgerald, 2004; Martinez, Psuty and Lubke, 2008) เงื่อนไขโดยรวมบริเวณชายฝั่งทะเลที่เนินทรายก่อตัวเกิดขึ้น จะประกอบด้วย มีแหล่งป้อนตะกอนทรายที่กว้างใหญ่ มีความชื้นและน้ำฟ้าต่ำ มีหน้าหาดกว้าง มีชายฝั่งค่อนข้างราบถึงที่ราบ มีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงแตกต่างกันปานกลางถึงมาก และมีลมประจำพัดเข้าสู่ชายทะเลที่แรง สามารถเหนี่ยวนำพัดพาตะกอนทรายเกิดขึ้นจำนวนมากอย่างมีนัยสำคัญ (Goldsmith, 1985; Viles and Spencer, 1995; Masselink, Hughes and Knight, 2011)

ที่ตั้งและการก่อตัวเนินทรายชายฝั่งทะเล

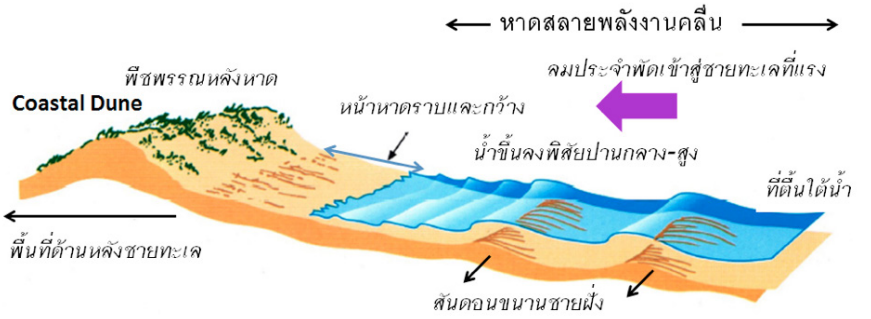
เนินทรายชายฝั่งทะเลจะพบกระจายตัวเกิดขึ้นตามแนวชายทะเลตั้งแต่เขตละติจูดสูงถึงบริเวณเขตศูนย์สูตร ทั้งซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ (Martinez, Psuty and Lubke, 2008) ระบบหาด-เนินทราย (dune-beach system) เป็นองค์ประกอบที่จะพบมีอยู่อย่างทั่วไป ก่อตัวไปตามยาวชายทะเล (Psuty, 2008) เนินทรายชายฝั่งจะมีลำดับการก่อตัวเริ่มจากมีการทับถมทรายโดยคลื่นบนหาด ตะกอนทรายหาดที่ทับถมจะถูกพัดพาเข้าในแผ่นดินโดยลม และก่อตัวเป็นเนินทรายเกิดความมั่นคงโดยพืชพรรณ (Venugopol, Bhalla and Anbarashan, 2009) ดังนั้นลักษณะธรณีสัณฐานเนินทรายชายฝั่งทะเลส่วนใหญ่ที่พบ จะก่อตัวเกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งที่มีอิทธิพลคลื่นเด่น อยู่ด้านหลังหาดสลายพลังงานคลื่น (dissipative beaches) มากกว่าด้านหลังหาดสะท้อนพลังงานคลื่นกลับและหาดที่อยู่ระหว่างกลางสองประเภท (reflective and intermediate beaches) เพราะหาดสลายพลังงานคลื่นจะเป็นหาดที่ค่อนข้างราบและกว้าง มีพิสัยระดับน้ำขึ้นน้ำลงแตกต่างกันปานกลาง มีที่ตื้นใต้น้ำ มีเขตคลื่นหัวแตกกว้าง มีสันดอน

เกิดขึ้นหลายแนวขนานกับชายฝั่ง มีตะกอนทรายหาดที่อุดมสมบูรณ์ และตะกอนทรายหาดประกอบด้วยอนุภาคทรายละเอียดเป็นส่วนใหญ่ (Bird, 2000; Woodroffe, 2002; Hesp, 2012) ดังภาพที่ 1 ส่วนหาดสะท้อนพลังงานคลื่นกลับ จะมีตะกอนทรายหาดหยาบ มีหน้าหาดแคบและลาดชัน ไม่มีเขตคลื่นหัวแตก และไม่มีสันดอนใกล้ชายทะเล (Short and Hesp, 1982; Short, 2012) ในการก่อตัวเกิดขึ้นของเนินทรายชายฝั่งทะเล จะพบว่ามีปฏิสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับหาด ที่มีขนาดตะกอนทรายเม็ดละเอียดบนหาด มีลักษณะหน้าตัดหาดที่โผล่แห้งออกไปถึงระดับน้ำลงต่ำสุดกว้าง มีลมประจำที่แรงพัดพาตะกอนทรายจากหาดไปด้านหลังหาด และก่อตัวสะสมอยู่เหนือแนวระดับน้ำขึ้นสูงสุด โดยตะกอนทรายจะทับถมก่อตัวเกิดขึ้นในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางต่างๆที่คลื่นพัดพามา หรือที่มีพืชพรรณชายฝั่งหลังหาด (Goldsmith, 1985; Carter and Wilson, 1990) สำหรับพืชพรรณชายฝั่งหลังหาด นั้นจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในกระบวนการก่อตัวเนินทรายชายฝั่ง โดยจะมีบทบาทที่สำคัญคือเป็นกับดักตะกอนทราย ตรึงตะกอนทรายให้อยู่กับที่ และทำให้เกิดการสะสมพอกพูนตะกอนทรายขึ้น (trapping, fixing and accumulating sediments) (Carter, Nordstrom, and Psuty, 1990; Davis and Fitzgerald, 2004) นอกจากนั้นพืชพรรณชายฝั่งยังมีบทบาทหยุดยั้งการเคลื่อนไหว (baffle) โดยลดแรงเค้นเฉือน เพิ่มความไม่ราบเรียบทางพื้นผิว เพิ่มความหนาของชั้นลมที่สงบ และดูดซับพลังงานเม็ดทรายที่เคลื่อนที่เป็นช่วง ทำให้เกิดมีการทับถมตะกอนทรายเพิ่มขึ้นเป็นสาเหตุให้เนินทรายก่อตัวเติบโตสูงขึ้นทางตั้ง (Goldsmith, Rosen and Gertner, 1990; Viles and Spencer, 1995) ดังนั้นการปฏิสัมพันธ์แลกเปลี่ยนอย่างสม่ำเสมอของวัสดุตะกอนทรายระหว่างหาดทรายกับเนินทรายเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะจะเป็นการป้อนทรายใหม่และธาตุอาหารพืชใหม่ไปซ่อมแซมหรือค้ำจุนการเติบโตของพืช และเพิ่มขนาดความแตกต่างของสัณฐานเนินทรายชายฝั่ง(Carter, Nordstrom and Psuty, 1990)

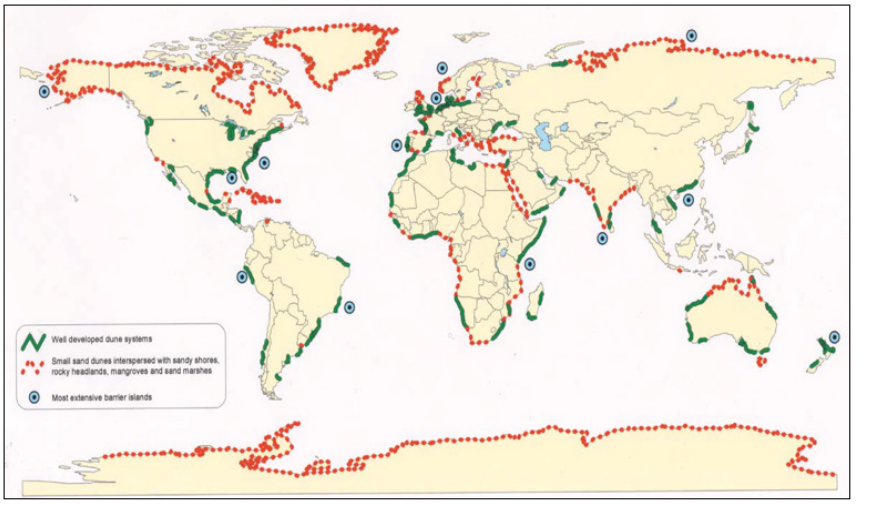
มูลเหตุที่พบเนินทรายชายฝั่งทะเลขนาดใหญ่จำนวนมากก่อตัวเกิดขึ้นอย่างกว้างขวางตามชายฝั่งทะเลในเขตละติจูดกลาง เนื่องจากด้านหลังหาดนั้นมีลมประจำพัดเข้าสู่ชายทะเลที่แรง (strong onshore prevailing winds) และมีพลังงานคลื่นปานกลางถึงสูง (Woodroffe, 2002)

ดังภาพที่ 2 จึงเป็นเงื่อนไขทางปัจจัยที่มีอิทธิพลเด่น ชายฝั่งทะเลในเขตละติจูดสูงและละติจูดต่ำโดยทั่วไปเนินทรายชายฝั่งจะก่อตัวเกิดขึ้นน้อย (Davies, 1980) เนื่องจากชายฝั่งทะเลในเขตละติจูดสูงจะขาดแคลนตะกอนทราย มีตะกอนหยาบประเภทเศษหินแตกหักและ

กรวดที่เกิดจากการผุพังอยู่กับที่ทางกายภาพ น้ำในดินเป็นน้ำแข็ง และมีทะเลเป็นน้ำแข็ง (Masselink, Hughes and Knight, 2011; Short, 2012) ส่วนชายฝั่งทะเลในบริเวณละติจูดต่ำที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จะมีเนินทรายชายฝั่งก่อตัวเกิดขึ้นน้อย (Woodroffe, 2002) เนื่องจากชายฝั่งเขตร้อนชื้น



ภาพที่ 1 ปัจจัยที่เป็นเงื่อนไขในการก่อตัวของเนินทรายชายฝั่งทะเล
ที่มา : ดัดแปลงจาก Hesp, 2012



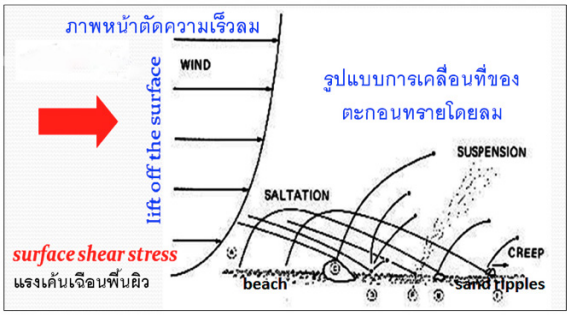
ภาพที่ 2 การกระจายของระบบเนินทรายชายฝั่งทะเล ในบริเวณชายฝั่งหาดทรายที่มีอิทธิพลคลื่นเด่นของโลก
ที่มา : Martines, Psuty and Lubke, 2008

จะมีเงื่อนไขที่หลากหลายของปัจจัยทั้งส่งเสริมและขัดขวางการก่อตัวของเนินทรายที่แตกต่างกัน เช่น มีพลังคลื่นที่ค่อนข้างต่ำ มีความเร็วลมประจำต่ำ มีพืชพรรณหลังหาดหนาแน่น หาดทรายส่วนใหญ่เป็นหาดสะท้อนพลังงานคลื่น ตะกอนทรายหาดมีความชื้นสูงที่ต่อเนื่อง ชายฝั่งหาดบางบริเวณมีเกลือสะสมอยู่ที่พื้นผิว และขาดพืชพรรณที่เป็นกับดักตะกอนทรายที่เหมาะสม (Pethick, 1984; Hesp, 2008; Masselink, Hughes and Knight 2011)

การพัดพาตะกอนทรายโดยลม

วัสดุทรายที่ก่อตัวเป็นเนินทรายชายฝั่งทะเลในบริเวณต่างๆ จากการศึกษาทบทวนของ Bird (2000) พบว่าตะกอนทรายส่วนใหญ่จะมีขนาดอนุภาคเม็ดละเอียด(fine grained) มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.1- 0.3 มิลลิเมตร มีลักษณะอนุภาคกลมและมีการคัดขนาดอย่างดี (well rounded and well sorted) ซึ่งรูปร่างและขนาดของอนุภาคเม็ดตะกอนทรายดังกล่าวจะเป็นสิ่งที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อศักยภาพการพัดพาเคลื่อนที่โดยลม (Sherman and Hotta, 1990) เนื่องจากขนาดอนุภาคตะกอนทรายที่ละเอียดจะเป็นสิ่งที่มีลักษณะเฉพาะ จะเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วลมที่ขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold wind velocity) 4-8 เมตรต่อวินาที (14-29 กม.ต่อชั่วโมง) และเป็นที่คาดว่าจะไม่เกิดการพัดพาตะกอนทรายถ้าความเร็วลมที่ขีดเริ่มเปลี่ยนน้อยกว่า 4 เมตรต่อวินาที (<14 กม.ต่อชั่วโมง) (Masselink, Hughes and Knight, 2011) ฉะนั้นเมื่อใดก็ตามที่ความเร็วลมที่ขีดเริ่มเปลี่ยนของการเคลื่อนที่สูงกว่าเกณฑ์ดังกล่าวอนุภาคของทรายแห้งที่ละเอียดก็จะถูกพัดพาเคลื่อนที่จากแหล่งตะกอนทรายบนหน้าหาดไปด้านหลังหาดในรูปแบบต่างๆ

จากการประมวลรูปแบบการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายโดยกระบวนการลมตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วลม ในงานของ Pethick (1984), Viles and Spencer (1995), Bird (2000), Woodroffe (2002), Davidson-Arnott (2010) และ Masselink, Hughes and Knight (2011) สามารถจำแนกออกได้ 4 รูปแบบ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เกิดแรงเค้นเฉือนที่พื้นผิวและความเร็วลมจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสูงขึ้นจากพื้นผิว กับรูปแบบการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายโดยลม
ที่มา: ดัดแปลงจาก Mai (1998)

รูปแบบที่หนึ่ง การเคลื่อนที่แบบการคืบตัว (creep) อนุภาคตะกอนทรายขนาดกลางถึงใหญ่ที่พื้นหน้าหาด จะเคลื่อนที่ในลักษณะแบบขยับตัวกลิ้งหมุน และไถลเลื่อนไป

รูปแบบที่สอง การเคลื่อนที่แบบริ้วคลื่นทราย หรือแบบการเลื้อย (sand ripples or reptation) เป็นการเคลื่อนที่ของเม็ดทรายขนาดเล็ก ที่ถูกลมพัดให้กระดอนขึ้นจากพื้นหาดทรายเบาๆ แล้วเคลื่อนที่ไปคล้ายกับลูกคลื่นของริ้วทราย หรือแบบตะกอนทรายเลื้อย

รูปแบบที่สาม การเคลื่อนที่เป็นช่วง (saltation) เมื่อมีความเร็วลมที่เร็วขึ้น จะทำให้เม็ดทรายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นถูกพัดพาให้กระดอนสูงขึ้นและตกกลับลงไปที่พื้นหาดทราย แรงกระแทกจากวิถีความแรงที่พุ่งของเม็ดทรายตกกลับจะมีพลังงานในตัวเอง ดีดเม็ดทรายที่พื้นให้กระดอนขึ้นเคลื่อนที่ข้ามไปเป็นช่วงๆ ส่วนใหญ่ประมาณ ¾ หรือประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของตะกอนทรายที่ลมพัดพาเคลื่อนที่ไปทั้งหมด จะเกิดขึ้นในรูปแบบนี้

รูปแบบที่สี่ การเคลื่อนที่แบบการแขวนลอย (suspension) เป็นลักษณะที่ทรายเม็ดละเอียดถูกลมพัดพาปลิวฟุ้งกระจายแขวนลอยไปในอากาศ จะมีระยะทางการพัดพาไปได้ไกลและทับถมบนยอดเนินทราย

ถ้าตะกอนทรายเปียกชื้นจะไม่สามารถเคลื่อนที่โดยการพัดพาของลม แต่ลมที่แรงและอุณหภูมิที่สูงในบริเวณชายทะเลจะมีผลทำให้ตะกอนทรายหาด ที่อยู่ส่วนบนสุดของพื้นผิวหน้าหาดลึกลงไปประมาณ 20-30 มิลลิเมตร แห้งเร็วและเคลื่อนที่ไปโดยการพัดพาของลมได้ (Komar, 1998; mrstevennewman.com, 2010)

จากการศึกษาเนินทรายชายฝั่งทะเลในฟินแลนด์ พบว่าเนินทรายชายฝั่งบางพื้นที่จะมีอนุภาคตะกอนทรายที่ลมพัดพามาขนาดทรายกลาง (median size) มีพิสัยขนาด 0.25-0.56 มิลลิเมตร เกิดจากมีลมพัดเข้าสู่ชายฝั่งที่รุนแรงโดยเฉพาะลมจากพายุ ทำให้มีขนาดเม็ดตะกอนทราย ที่ถูกลมพัดพามาทับถมก่อตัวเป็นเนินทรายชายฝั่ง จะมีขนาดใหญ่กว่าที่ถูกพัดพามาโดยลมประจำ (Hellemaa, 1998) นอกจากนั้นตะกอนทรายหาดและเนินทรายชายฝั่งในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนมักจะพบ ตะกอนทรายจะประกอบด้วยเศษแตกหักจากพืดหินปะการังและเปลือก หอยที่ตาย(coral reef detritus and shells) ตะกอนเหล่านี้เรียกว่าตะกอนคาร์บอเนต บางหาดทรายมีแนวโน้มเป็นตะกอนที่มีลักษณะเด่น (Short, 2012) แต่อนุภาคของตะกอนทรายเนินทรายชายฝั่งส่วนใหญ่ ประมาณ 99.7 % เป็นอนุภาคของควอตซ์ (Komar, 1998; mrstevennewman.com, 2010)

การวัดและทำนายอัตราการพัดพาตะกอนทรายโดยลมเชิงปริมาณ ได้มีการนำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีที่หลากหลาย ทั้งหลักฐานประจักษ์และการทดลองในอุโมงลม พบว่าแบบจำลองที่มีแนวคิดคลาสสิกเกี่ยวกับการไหลของลมและการพัดพาตะกอน ที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวางมากที่สุดเป็นแบบจำลองของ Bangnold (1941) และแบบจำลองของ Leattau and Leattau (1977) ที่ปรับปรุงมาจากแบบจำลองการพัดพาทรายโดยลมของ Bangnold โดยเพิ่มปัจจัยความเร็วลมที่ขีดเริ่มเปลี่ยนเข้าไป (Sherman,

Jackson, Namikas and Wang , 1998) เมื่อประมวลพิจารณาแบบจำลองการพัดพาทราย โดยลมต่างๆ พบว่า อัตราการพัดพาตะกอนทรายจะผันแปรเป็นปฏิภาคกับความเร็วลมเฉือนที่ขีดเริ่มเปลี่ยนที่พื้นล่างกำลังสาม ($q \alpha u3$) ความเร็วลมเฉือนที่ขีดเริ่มเปลี่ยนนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคทรายกับความหนาแน่นสัมพัทธ์ นัยนี้ก็คือ ทันทีที่ตะกอนทรายถูกพัดพาเคลื่อนที่ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดอัตราการพัดพาตะกอนทรายเพิ่มขึ้นจำนวนมาก ถ้าความเร็วลมเพิ่มขึ้นประมาณ 25% จะเหนี่ยวนำให้เกิดอัตราการพัดพาตะกอนทรายเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (Masselink, Hughes and Knight, 2011) แต่ในสภาพเป็นจริงบนหาดทรายตามธรรมชาติชายฝั่งทะเล มิติทางพื้นที่กับเวลาจะมีผลต่อความผันแปรการไหลของลม (wind flow) ที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทั้งทิศทางและความเร็วลม รวมถึงมีปัจจัยควบคุมต่าง ๆจำนวนมากที่ยับยั้งการพัดพาตะกอนทราย โดยเฉพาะเงื่อนไขทางธรรมชาติ เช่น ความชื้นทรายที่พื้นผิวหาด พื้นผิวชายฝั่งปกคลุมด้วยกรวดกลาง พืชพรรณชายฝั่ง ความลาดเทของชายฝั่ง และหน้าหาดที่แคบจะทำให้มีพื้นที่ลมพัดบนหาดทรายที่จำกัด (Goldsmith, Rosen and Gertner, 1990; Woodroffe, 2002; Davidson-Arnott, 2010)

สัณฐานเนินทรายชายฝั่งทะเล

เนินทรายชายฝั่งทะเลที่ก่อตัวเกิดขึ้น ถ้ามีการจำแนกประเภทสัณฐานเนินทรายชายฝั่งบนหลักพื้นฐานทางแนวคิดที่ต่างกัน ประเภทสัณฐานเนินทรายที่จำแนกก็จะแตกต่างกัน

Carter, Nordstrom, and Psuty (1990), Viles and Spencer (1995), Davidson -Arnott, (2010), Masselink, Hughes and Knight (2011) และ Sloss, Shepherd and Hesp (2012) ได้จำแนกประเภทเนินทรายชายฝั่งบนพื้นฐาน ระบบกระบวนการการตอบสนอง (process-response system) ที่บูรณาการหลักทางธรณีสัณฐานต่างๆ ได้แก่ สัณฐานโครงสร้าง ตำแหน่งสัมพัทธ์ อายุ และพลวัตสัณฐานแนวชายทะเล จำแนกประเภทเนินทรายชายฝั่งทะเลออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ เนินทรายชายฝั่งทะเลปฐมภูมิ และเนินทรายชายฝั่งทะเลทุติยภูมิ (primary and secondary coastal dunes) โดยเนินทรายชายฝั่งปฐมภูมิจะเป็นเนินทรายที่ก่อตัวเกิดขึ้นอยู่ติดต่อกับหาด ได้รับอิทธิพลจากกระบวนการคลื่นสูง เป็นเนินทรายไม่เคลื่อนที่ และมีวิวัฒนาการอายุที่น้อย ประกอบด้วยเนินทรายสองประเภทคือ สัณฐานเนินทรายที่กำลังก่อตัวขนาดเล็ก กับเนินทรายส่วนนอก (small incipient dunes and foredune) ส่วนเนินทรายชายฝั่งทุติยภูมิประเภทที่สอง เป็นเนินทรายที่อยู่ด้านหลังเนินทรายส่วนนอกเข้าไปด้านในแผ่นดินชายฝั่งทั้งหมด ส่วนใหญ่มีสถานะเป็นเนินทรายเคลื่อนที่

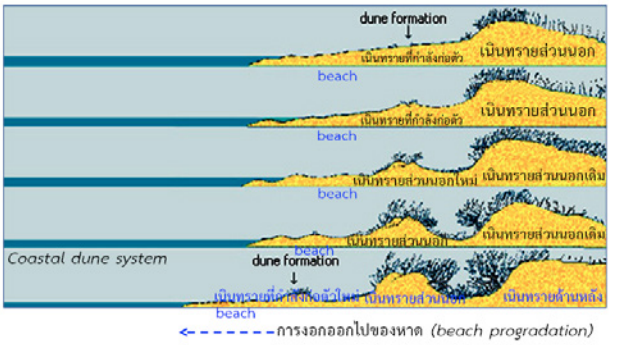
มีสัณฐานเนินทรายที่แปรเปลี่ยน และไม่ได้รับอิทธิพลจากกระบวนการคลื่นเนื่องจากการงอกออกไปของชายฝั่ง ประกอบด้วยรูปลักษณ์สัณฐานเนินทรายที่แตกต่างกันหลายประเภท ได้แก่ สัณฐานเนินทรายรูปโค้ง (parabolic dunes) สัณฐานเนินทรายตามขวาง (transverse dunes) สัณฐานเนินทรายแนวยาว (linear dunes) สัณฐานเนินทรายแบบขนาน (parallel dunes) สัณฐานแอ่งลมหอบ (blowout dunes) และสัณฐานแผ่นทรายบุกรุก (transgressive sand sheets) เนินทรายชายฝั่งทุติยภูมินี้ในภาพรวมทางธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเล จะเรียกว่า ทุ่งเนินทราย (dune fields)

จากรายงานการศึกษาของนักธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเลปัจจุบันส่วนใหญ่ ทั้งกลุ่มชาวออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา ยุโรปและอื่นๆ จะจำแนกประเภทสัณฐานเนินทรายชายฝั่งทะเลออกเป็น 3 โซนหลัก ประกอบด้วย (Psuty, 2008; mrstevennewman.com, 2010; Davidson-Arnott, 2010; Sloss, Shepherd and Hesp, 2012) ดังภาพที่ 4-6

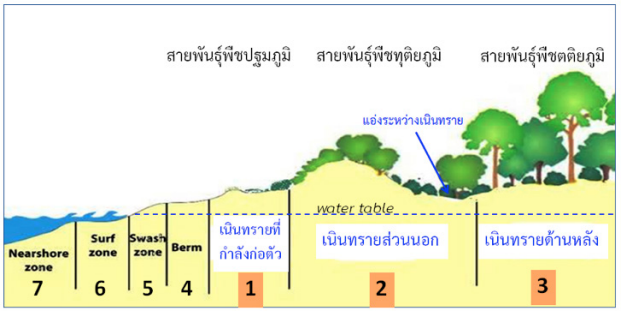
1. โซนสัณฐานเนินทรายส่วนนอกที่กำลังก่อตัว (incipient foredune or embryo dunes zone) ตะกอนทรายสะสมก่อตัวอยู่เหนือระดับน้ำขึ้นสูงสุด หรือหลังชานหาด หรือส่วนปลายความลาดด้านหน้าของเนินทรายส่วนนอก ที่มีสิ่งกีดขวางจากคลื่นพัดพามา หรือที่หญ้าและไม้เลื้อยขึ้นอยู่หลังหาด ได้รับการป้อนตะกอนทรายโดยตรงจากหาด วางตัวขนานกับเนินทรายส่วนนอกทั้งต่อเนื่องและเป็นหย่อมเนินไม่ต่อเนื่อง ส่วนใหญ่เนินทรายจะมีขนาดเล็กและก่อตัวออกไปทางทะเลจึงถูกกัดเซาะทำลายจากคลื่นในช่วงน้ำขึ้นสูงเป็นประจำ อาจมีแนวร่องหรือแอ่งตื้นๆ (swale) ด้านหลังเนินทรายที่กำลังก่อตัวเป็นแนวแบ่งแยกจากเนินทรายส่วนนอก บนแนวชายทะเลที่คงสภาพและที่ถูกกัดเซาะ (stable and eroding shoreline) เนินทรายที่กำลังก่อตัวจะมีลักษณะเกิดขึ้นอยู่ชั่วคราวก็จะถูกคลื่นทำลาย แต่ชายฝั่งที่มีการงอกออกไปของหาด (beach progradation) เนินทรายที่กำลังก่อตัวสามารถจะสะสมตะกอนทรายจากหาดที่มีลมประจำพัดพาไปหลังหาด ก่อตัวพัฒนาไปเป็นเนินทรายส่วนนอกใหม่ได้

2. โซนสัณฐานเนินทรายส่วนนอก (foredune or frontal dune zone) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเฉพาะหลักอย่างหนึ่งของระบบเนินทราย คือมีสัณฐานก่อตัวเกิดขึ้นเป็นแนวยาวต่อเนื่องขนานไปกับหาด ได้รับการป้อนตะกอนทรายโดยลมจากหาด ด้านหน้าเนินทรายส่วนนอกที่ลาดเทออกไปทางทะเลส่วนใหญ่ในช่วงน้ำขึ้นสูง หรือมีพายุคลื่นแรงจะถูกคลื่นกัดเซาะเกิดเป็นแนวหน้าผาเนินทราย (dune cliff) และมีชายทะเลส่วนใน (backshore) แบ่งแยกเนินทรายส่วนนอกออกจากหาด จะมีร่องหรือแอ่งตื้น(swale)อยู่ด้านหลังเนินทรายส่วนนอก สัณฐานและทิศทางของเนินทรายส่วนนอกจะสะท้อนให้เห็นถึงหาดที่เป็นแหล่งตะกอนทรายและผลที่เกิดจากการกระทำของคลื่น ดังนั้นโครงสร้างภายใน (internal structures) เนินทรายส่วนนอก จะมีการบันทึกเรื่องราวต่างๆเกี่ยวกับการพลวัต เช่นการกัดเซาะจากการกระทำของคลื่น ของพายุ และคลื่นซัดฝั่ง ไม่ได้มีเฉพาะบันทึกการสะสมตะกอนทรายจากกระบวนการลมเท่านั้น สัณฐานเนินทรายส่วนนอกจะอยู่ภายใต้อิทธิพลจากทะเลเพราะมีที่ตั้งอยู่ใกล้กับทะเล

มากที่สุด และมีสังคมพืชพรรณขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นที่สุด จึงเป็นกับดักตะกอนทรายที่ลมพัดพามาและเป็นกันชนทางธรรมชาติ ที่ช่วยปกป้องและสนับสนุนโซนเนินทรายด้านหลังจากอิทธิพลทะเล ทำให้เกิดความซับซ้อนและความหลากหลายของสังคมพืชเนินทรายชายฝั่งขึ้น ตามแบบจำลองอย่างง่ายของระบบเนินทรายชายฝั่งทะเล ถ้ามีการงอกออกไปของหาดทราย (beach progradation) เนินทรายที่กำลังก่อตัวจะก่อตัวสะสมตะกอนทรายเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป ในที่สุดแล้วจะพัฒนากลายเป็นสัณฐานเนินทรายส่วนนอกใหม่ (new foredune) การเติบโตของพืชพรรณบนเนินทรายส่วนนอกใหม่จะเป็นกับดักตะกอนทรายจากหาดทั้งหมดเอาไว้ เป็นการตัดการป้อนตะกอนทรายไปยังเนินทรายส่วนนอกเก่า (old foredune) และเนินทรายส่วนนอกเก่าจะถูกจัดจำแนกประเภทไปเป็นส่วนหนึ่งของโซนสัณฐานเนินทรายด้านหลังสัณฐานเนินทรายส่วนนอก



ภาพที่ 4 พัฒนาการกับการก่อตัวเนินทรายชายฝั่งทะเล ที่มีการงอกออกไปของหาด
ที่มา: ดัดแปลงจาก Ecomare encyclopedia (2015)

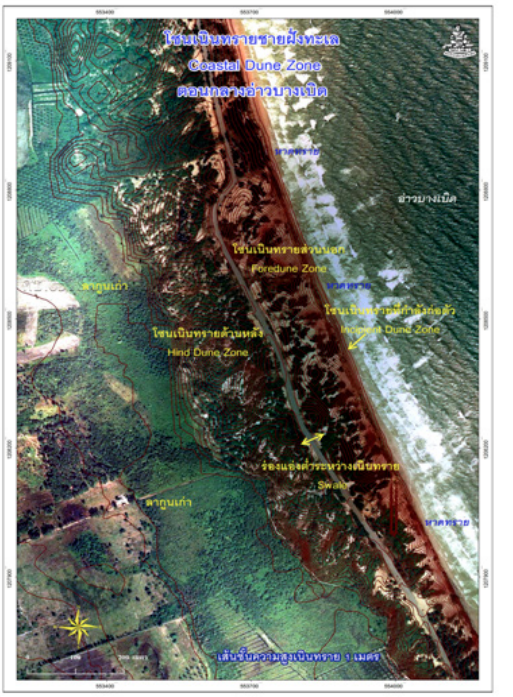


ภาพที่ 5 โซนประเภทรูปลักษณ์ธรณีสัณฐานเนินทรายชายฝั่งทะเล ตอนกลางอ่าวบางเบิด บ้านน้ำพุ จังหวัดชุมพร (1) โซนเนินทรายที่กำลังก่อตัวใหม่ (2) โซนเนินทรายส่วนนอก (3) โซนเนินทรายด้านหลัง (4) โซนชานหาด (5) โซนคลื่นซัดฝั่ง (6) โซนคลื่นหัวแตก (7) โซนชายทะเลใกล้ฝั่ง
ที่มา: ไพฑูรย์ ปิยะปกรณ์ (2557)

ตอนกลางอ่าวบางเบิด บ้านน้ำพุ จังหวัดชุมพร ปกติโดยทั่วไปจะมีความสูงอยู่ที่ประมาณ 5-20 เมตรจากหาด กว้างประมาณ 30-50 เมตร แต่ในพื้นที่ชายฝั่งที่มีลมประจำพัดเข้าสู่ชายทะเลที่รุนแรงและมีแหล่งป้อนตะกอนทรายขนาดใหญ่ เนินทรายส่วนนอกอาจก่อตัวมีความสูงมากกว่า 108 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล กว้างมากกว่า 500 เมตร ดังเช่น เนินทรายไพลา (Pyla or Pilat dune) บริเวณชายฝั่งตะวันตกเฉียงใต้ของฝรั่งเศส

3. โซนสัณฐานเนินทรายด้านหลัง (hind dunes or backdunes zone) จะเป็นสัณฐานเนินทรายชายฝั่งทั้งหมดที่อยู่ด้านหลังเนินทรายส่วนนอกเข้าไปในแผ่นดิน มีวิวัฒนาการก่อตัวเป็นเนินทรายที่มีอายุมากที่สุดของระบบเนินทรายชายฝั่ง จะมีรูปลักษณ์สัณฐานเนินทรายที่แตกต่างกันหลายประเภท ประกอบด้วยเนินทรายบุกรุก เนินทรายรูปโค้ง เนินทรายแบบขนาน เนินทรายตามขวาง และแอ่งลมหอบ สัณฐานเนินทรายประเภทต่างๆ เหล่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงรูปลักษณ์ได้ เช่น ถ้าความลาดของเนินทรายส่วนนอกที่อยู่ด้านอับลมยังมีพลัง (active lee slope) สัณฐานเนินทรายบุกรุกจะมีการพัฒนารูปลักษณ์เปลี่ยนเป็นเนินทรายรูปโค้ง นอกจากนั้นพืชพรรณบนสัณฐานเนินทรายโซนนี้จะมีพัฒนาการเปลี่ยนแปลงแทนที่ ตามความชื้นในดิน ธาตุอาหารพืชหรืออินทรีย์วัตถุ และดินที่มีการพัฒนามากขึ้น เป็นป่าไม้เนินทรายชายฝั่งทะเลที่มีความหลากหลายทางชีวะ ในภาพรวมทางธรณีสัณฐานเนินทรายชายฝั่งทะเลโซนนี้ อาจจะจำแนกเรียกที่แตกต่างกัน เช่นเรียก ทุ่งเนินทราย (dune field) หรือทุ่งเนินทรายส่วนนอกที่ตกทอดมา (relic foredune field) หรือเนินทรายตติยภูมิ (tertiary dunes) ทุ่งเนินทรายชายฝั่งทะเลมุยเน่ (Mui Ne coastal dune field) ในเวียดนาม เป็นตัวอย่างเนินทรายชายฝั่งทะเลตติยภูมิ ในบริเวณสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจะมีรูปลักษณ์สัณฐานเนินทรายหลายรูปแบบ เช่น เนินทรายสีแดง เนินทรายสีขาว แอ่งน้ำระหว่างเนินทราย และแอ่งลมหอบ ส่วนทุ่งเนินทรายชายฝั่งทะเลในยุโรปที่อยู่ในเขตละติจูดกลาง จะมีสัณฐานเนินทรายประกอบด้วยเนินทรายสีเหลือง เนินทรายสีเทา แอ่งระหว่างเนินทราย (dune slack : มีน้ำหรือไม่มีน้ำ ขึ้นอยู่กับระดับน้ำใต้ดิน) ฮีทเนินทราย(dune heath : จะมีไม้พุ่มเล็กๆ ขึ้นปกคลุม) และเนินทรายมัชฌิมวัย (Doody, 2008)

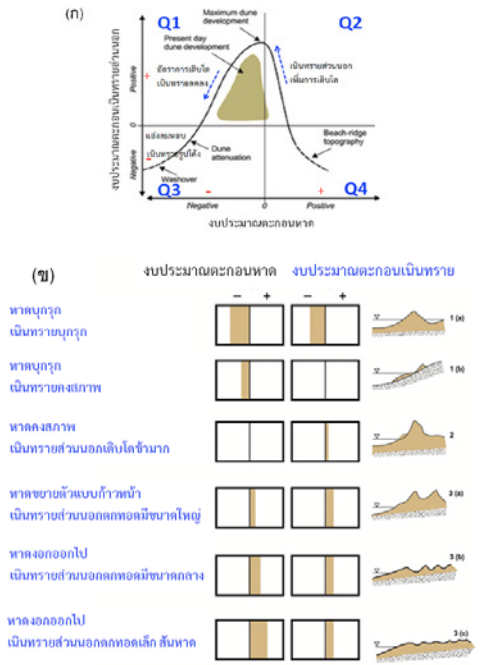
เนินทรายชายฝั่งทะเลที่จำแนกประเภทบนหลักการปฏิสัมพันธ์หาดกับเนินทราย (beach-dune interaction) Psuty (1988) เสนอแบบจำลองพื้นฐานการพัฒนาเนินทรายชายฝั่งทะเลส่วนนอกบนความสัมพันธ์ระหว่างงบประมาณตะกอนหาด กับงบประมาณตะกอนเนินทรายส่วนนอก (beach and foredune sediment budgets) ในทางบวกกับทางลบ (positive and negative)



ภาพที่ 6 โซนเนินทรายชายฝั่งทะเล เส้นชั้นความสูง 1 เมตร และพืชพรรณที่ขึ้นปกคลุม ตอนกลางอ่าวบางเบิด จังหวัดชุมพร (ภาพถ่ายทางอากาศออร์โทสี ปี 2545)
ที่มา : ไพฑูรย์ ปิยะปกรณ์ (2557)

ด้วยการสร้างแผนภาพแบ่งออกเป็นสี่ส่วน ประกอบด้วยส่วนการพัฒนาเนินทรายส่วนนอก (Q1) ส่วนภูมิประเทศสันเนินทราย (Q2) ส่วนการถูกพัดพาทรายเข้าไปภายใน (Q3) และส่วนภูมิประเทศสันหาด(Q4) ดังภาพที่ 7 ก ถ้างบประมาณตะกอนหาดเป็นบวก จะมีการป้อนตะกอนทรายไปยังเนินทราย แต่ถ้ามีงบประมาณตะกอนทรายเนินทรายส่วนนอกเป็นบวกสูงและมีงบประมาณตะกอนทรายหาดเป็นบวกด้วย เนินทรายส่วนนอกจะมีการพัฒนาเติบโตสูงที่สุด (maximum foredune development) และถ้ามีทั้งงบประมาณตะกอนทรายหาดและเนินทรายส่วนนอกเป็นลบ เนินทรายส่วนนอกจะถูกลมกัดเซาะพัดพาทรายออกไป เกิดแอ่งลมหอบและเนินทรายรูปโค้ง (parabolic dunes and blowouts) Nickling and Davidson-Arnott ได้แสดงความสัมพันธ์การพัฒนารูปลักษณ์สัณฐานเนินทรายชายฝั่งส่วนนอก บนพื้นฐานงบประมาณตะกอนทรายหาดกับเนินทรายในทางบวกกับทางลบของ Psuty จะมีการพัฒนารูปลักษณ์สัณฐานชายฝั่งทะเลต่างๆที่ประกอบด้วย ดังภาพที่ 7 ข มีสัณฐานหาดคงสภาพเนินทรายส่วนนอกจะเติบโตช้ามาก (stablebeach, slowly growing foredune : b, d+) จะเกิดขึ้นกับชายฝั่งที่มีงบประมาณตะกอนหาดเป็นกลางและมีงบประมาณตะกอนเนินทราย

ส่วนนอกเป็นบวกเล็กน้อย สัณฐานหาดที่ขยายตัวออกไปแบบก้าวหน้าจะมีเนินทรายส่วนนอกที่ตกทอดขนาดใหญ่ (progressive beach, large relic foredune : b+, d+) เกิดขึ้นกับชายฝั่งที่มีงบประมาณตะกอนเนินทรายส่วนนอกตกทอดเป็นบวกสูงมากกว่า งบประมาณตะกอนหาดที่เป็นบวก สัณฐานหาดงอกออกไปจะมีเนินทรายส่วนนอกที่ตกทอดขนาดกลาง (prograding beach, medium relic foredune : b+, d+) เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งที่มีงบประมาณตะกอนหาดเป็นบวกสูงมากกว่า งบประมาณตะกอนเนินทรายส่วนนอกตกทอดที่เป็นบวก สัณฐานหาดงอกออกไปและก่อตัวเกิดสันหาดขนานกัน และเนินทรายส่วนนอกตกทอดมีขนาดเล็ก (prograding beach, small relic foredune and beach ridge: b+, d+) เกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งที่มีงบประมาณตะกอนหาดเป็นบวกสูงระดับปานกลาง สูงมากกว่างบประมาณตะกอนเนินทรายส่วนนอกตกทอดที่เป็นบวก(Woodroffe, 2002; Davidson-Arnott, 2010) การมีพืชพรรณกับไม่มีพืชพรรณของเนินทรายชายฝั่งทะเลจะเป็นสิ่งที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อพลวัตสัณฐานเนินทรายชายฝั่งทุกประเภท (Bird, 2000) เนินทรายชายฝั่งที่มีพืชพรรณจะมีความมั่นคงในการสะสมก่อตัวทางสูงเป็นไปตามความมั่นคงของพืชพรรณที่ขึ้น แต่การเคลื่อนที่โดยการกัดเซาะที่รุนแรงจะเป็นเงื่อนไขสำคัญที่สามารถทำให้เนินทรายที่มีพืชพรรณเกิดการเปลี่ยนแปลงราบลงได้ (Davis and Fitzgerald, 2004)



ภาพที่ 7 พื้นฐานการพัฒนาเนินทรายชายฝั่งทะเลส่วนนอก บนความสัมพันธ์ระหว่างงบประมาณตะกอนหาดกับงบประมาณตะกอนเนินทรายส่วนนอก (ก) แผนภาพของ Psuty (1988) (ข) แผนภาพของ Nickling and Davidson-Arnott (1990)

พลวัตเนินทรายชายฝั่งทะเล

เนินทรายชายฝั่งทะเล ในภาพรวมรูปลักษณ์ของสัณฐานจะประกอบด้วยวัสดุตะกอนประเภททรายละเอียด ทำให้มีโครงสร้างสัณฐานที่เปราะบาง จะถูกกัดเซาะสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงเมื่อถูกโจมตีจากพายุและคลื่นที่รุนแรง (Carter, Nordstrom, and Psuty, 1990; mrstevennewman.com, 2010) ดังนั้น พลวัตสัณฐานเนินทราย (dune morphodynamics) ที่สำคัญ จะมีสาเหตุเกิดจาก

1. การทำลายโดยคลื่น (attack by waves) เนินทรายส่วนนอกจะถูกทำลายจากคลื่นในช่วงน้ำขึ้น หรือถูกทำลายจากคลื่นพายุซัดฝั่งในช่วงที่เกิดพายุเคลื่อนขึ้นฝั่ง ตะกอนทรายจะถูกนำกลับคืนสู่ระบบชายฝั่งผ่านทางคลื่นทำลายและกระแสน้ำ ถูกเก็บสะสมอยู่นอกชายทะเล คลื่นสร้างจะนำตะกอนทรายกลับมาทับถมอย่างช้าๆบนหาดและเนินทรายโดยลมประจำเป็นวัฏจักรการกลับสภาพเดิมโดยกระบวนการธรรมชาติ รวมถึงแนวโน้มที่ระดับน้ำทะเลสูงขึ้นจากแบบจำลองพยากรณ์ต่างๆ ในปัจจุบันจะทำให้เนินทรายส่วนนอกถูกกัดเซาะทำลายจากคลื่นมีเพิ่มขึ้น เนื่องจากคลื่นจะเข้าถึงเนินทรายส่วนนอกชายฝั่งทะเลได้มากขึ้น และการกัดเซาะจากคลื่นจะทำให้เกิดเป็นหน้าผาเนินทรายชายฝั่งทะเล (coastal dune cliff)

2. การเคลื่อนย้ายทรายออกไปบางส่วนหรือทั้งหมดของเนินทราย (migration of part or all of the dune) โดยกระบวนการลม มีสาเหตุส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการขาดหายไปของพืชพรรณ เงื่อนไขสภาพกาลอากาศที่รุนแรง และการทำลายพืชพรรณท้องถิ่นที่ขึ้นบนเนินทรายจากกิจกรรมรูปแบบต่างๆของมนุษย์ -pppp

3. การเกิดกระแสลมแรงพัดพาทรายปลิวเข้าไปในแผ่นดิน (blowover) เป็นรูปแบบพลสัณฐานวัตเนินทรายชายฝั่งที่ตะกอนทรายเนินทรายจำนวนมากถูกลมพัดพาเคลื่อนย้ายเข้าไปในแผ่นดิน อาจทำให้เกิดแอ่งทรายลมหอบ หรือเนินทรายรูปโค้งที่ลาดชันและไม่มั่นคง ตะกอนทรายบริเวณขอบลาดชันจะถูกกัดเซาะและเกิดการเคลื่อนที่ตามแรงโน้มถ่วงในลักษณะคล้ายหิมะถล่ม (Davis and Fitzgerald, 2004)

เงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงรูปลักษณ์สัณฐานเนินทรายชายฝั่งทะเลอื่นๆ ได้แก่ (1) การแปรสัณฐาน (tectonic) จะทำให้พื้นที่ชายฝั่งเนินทรายมีการยกตัวสูงขึ้นหรือจมตัวลง (2) การมีตะกอนทรายหาดที่อุดมสมบูรณ์เพียงพอที่ให้ลมพัดเหนี่ยวนำไปได้ เพราะแหล่งตะกอนทรายหน้าหาดที่กว้างจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกอนทรายที่ลมพัดพาไปสะสมบนเนินทราย และ (3) การเปลี่ยนแปลงระดับทะเล (sea level change) ที่เพิ่มระดับสูงขึ้นหรือลดระดับต่ำลง เงื่อนไขเหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อการงอกออกไปของชายฝั่ง หรือการถอยร่นเข้ามาของแนวชายฝั่ง (Viles and Spencer, 1995) การงอกออกไปของชายฝั่ง (progradation) อาจเป็นผลที่เกิดจากมีการป้อนตะกอนทรายไปทับถมตามแนวชายทะเลอย่างสม่ำเสมอ หรือเกิดจากระดับน้ำทะเลลดระดับลง จะทำให้เกิดการสะสมก่อตัวของเนินทรายส่วนนอกใหม่ตามการงอกออกไปของชายทะเล ขนานกับเนินทรายส่วนนอกเดิมเกิดเป็นเนินทรายชายฝั่งทะเลแบบขนาน

เนินทรายส่วนนอกที่อยู่ติดต่อกับหาดจะมีวิวัฒนาการของเนินทรายอายุน้อยที่สุด แต่ถ้าระดับน้ำทะเลเพิ่มระดับสูงขึ้นเนินทรายส่วนนอก จะเกิดการปรับตัวเปลี่ยนแปลงด้วยการเคลื่อนย้ายที่อย่างช้าๆ เข้าไปทางด้านในแผ่นดิน (Carter, Nordstrom, and Psuty, 1990) หรือปรับตัวเปลี่ยนแปลงด้วยการถูกกัดเซาะตะกอนทรายเนินทรายส่วนนอกทั้งหมดออกไป ตะกอนทรายที่ถูกกัดเซาะจะถูกนำย้อนกลับไปสู่ระบบชายฝั่งทะเล (returned to the littoral system) (Davidson-Arnott, 2010) การปรับตัวต่อแรงเค้นทางธรรมชาติ(natural stress)ในรูปแบบต่างๆ ของเนินทรายชายฝั่งทะเล จะมีอัตราของการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ วัฏจักรการสะสม (accretion cycle) บนเงื่อนไขต่างๆทางสิ่งแวดล้อม จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในด้านตำแหน่งที่ตั้ง โครงสร้างของโซนธรณีสัณฐานเนินทรายชายฝั่งทะเล และโซนพืชพรรณเนินทรายชายฝั่ง(mrstevennewman.com, 2010) สำหรับเนินทรายชายฝั่งทะเลทุติยภูมิ Masselink, Hughes and Knight (2011) ได้สรุปว่า การเกิดพลวัตรูปลักษณ์สัณฐานส่วนใหญ่จะเกิดจากการพัดพาตะกอนทรายเนินทรายเคลื่อนที่เข้าไปด้านในแผ่นดิน ทำให้สัณฐานเนินทรายรูปแบบหนึ่งสามารถเปลี่ยนรูปลักษณ์สัณฐานไปเป็นเนินทรายอีกประเภทหนึ่งได้

เนินทรายชายฝั่งทะเลกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

Brown and Arbogast (1999) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการโฟโตแกรมเมตรีเชิงเลขวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเนินทรายชายฝั่งเคลื่อนที่ในรัฐมิชิแกน โดยใช้การสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEMs) จากภาพถ่ายทางอากาศปี 1965 กับ 1987 เพื่อวิเคราะห์และคำนวณความ แตกต่างระหว่างแบบจำลองระดับความสูงทั้งสองปีในตำแหน่งที่ตั้งต่างๆ และใช้คำนวณหาปริมาตร ของตะกอนทรายที่เคลื่อนที่ออกไปในช่วงเวลา 22 ปี นอกจากนั้นแผนที่การเปลี่ยนแปลงระดับความสูง (maps of elevation change) ยังให้ผลทางโครงสร้างที่สามารถใช้แปลตีความผลทางรูปแบบของกระบวนการลมได้เป็นอย่างดี ส่วนกระบวนการพัฒนาเนินทราย การเคลื่อนที่ และการเกิดแอ่งลมหอบ เป็นสิ่งที่สามารถจำแนกและทำการวัดได้ สำหรับวิธีการทางโฟโตแกรมเมตรีเชิงเลขจากการพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่างๆปัจจุบัน ยังสามารถทำให้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้นได้เมื่อใช้ภาพถ่ายทางอากาศที่พิมพ์บนฟิลม์ไดอาพอซิตีฟ (diapositive) และทำการสแกนภาพถ่ายทางอากาศด้วยเครื่องสแกนคุณภาพสูงจะช่วยเพิ่มความถูกต้อง รวมถึงใช้การรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน (GCPs) ด้วยเครื่องมือรังวัดระบบกำหนดพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) ที่มีคุณภาพสูง จะช่วยลดความคลาดเคลื่อนโครงข่ายควบคุมลงได้ สำหรับพื้นที่เนินทรายชายฝั่งที่ไม่มีพืชพรรณสามารถทำการศึกษาประเมินได้จากภาพถ่ายทางอากาศ หรือภาพจากดาวเทียม มาตราส่วน 1 : 25,000 ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญที่ใช้ในการจัดการชายฝั่งทะเลของรัฐบาลออสเตรเลีย (Brooke, 2008)

การประยุกต์ใช้ข้อมูลระบบการสำรวจรังวัดความสูงภูมิประเทศด้วยแสงเลเซอร์ หรือไลดาร์ (LiDAR: light detection and ranging) ที่ให้ค่าระดับความสูงภูมิประเทศมีความถูกต้องสูง (เดซิเซนติเมตร) และจำนวนจุดบนพื้นดินได้ถึง 1-2 เมตรต่อจุดค่าระดับความสูง หรือต่ำกว่า (ขึ้นกับความสูงบินของอากาศยาน) ข้อมูลที่มีความละเอียดถูกต้องสูงนี้สามารถสร้างแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEMs) ที่มีความละเอียดทางราบถูกต้องเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้การวิเคราะห์ลักษณะธรณีสัณฐานเนินทรายชายฝั่ง รวมถึงลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเลประเภทอื่นๆได้ใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่จริง ดังรายงานผลการศึกษาทางธรณีสัณฐานวิทยาของหน่วยงานสำรวจธรณีวิทยาสหรัฐอเมริกา (USGS) ข้อมูลประเภทนี้สำหรับประเทศไทยน่าจะมีครอบคลุมทั่วประเทศให้นำมาประยุกต์ใช้ในอนาคตอันใกล้นี้ บางพื้นที่ก็มีข้อมูลประเภทนี้แล้ว เช่น ที่ราบภาคกลางตอนล่าง ได้ทำการบินสำรวจรังวัดความสูงภูมิประเทศด้วยแสงเลเซอร์ในปี 2555

การใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขที่มีความละเอียดสูง จากระบบเทคโนโลยีกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิตอล (digital mapping camera : DMC) ปัจจุบัน ทำให้ความละเอียดของภาพถ่ายทางอากาศสีแบบภาพคู่สามมิติ อยู่ที่ประมาณ 0.60 เมตร (ที่มาตราส่วน 1: 50,000) หรือ อยู่ที่ประมาณ 0.30 เมตร (ที่มาตราส่วน 1:25,000) จะทำให้การวิเคราะห์รายละเอียดลักษณะธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเลมีความถูกต้องใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่จริงมากขึ้น ข้อมูลประเภทนี้สำหรับประเทศไทยที่มาตราส่วน 1: 50,000 (บางพื้นที่ภูมิภาคภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข มีมาตราส่วน 1: 25,000) จะมีครอบคลุมทั่วประเทศในปี 2558 (ปี 2554 - 2558 เป็นวงรอบโครงการปรับปรุงแผนที่ภูมิประเทศ 1 : 50,000 ชุด L 7018 ใหม่ด้วยภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข ที่ใช้กล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิตอล)

บทสรุป

ปัจจุบันประเทศต่างๆ ในยุโรป สหรัฐอเมริกา และออสเตรเลีย จะมุ่งเน้นการฟื้นฟูเนินทรายชายฝั่งทะเลที่ธรรมชาติสร้างขึ้น กำหนดให้เป็นกันชนหรือสิ่งกีดขวางโครงสร้างอ่อนทางธรรมชาติ เพื่อป้องกันภัยพิบัติชายฝั่งทะเลจากน้ำท่วมพื้นที่ชายฝั่ง และลดพลังงานการโจมตีจากคลื่นพายุซัดฝั่ง (storm surge) ที่เกิดจากพายุเคลื่อนขึ้นฝั่ง เพราะระบบเนินทรายชายฝั่งทะเลและพืชพรรณเนินทราย สามารถปรับตัวตามเหตุการณ์แรงเค้นธรรมชาติต่างๆ ได้ดีกว่าสิ่งก่อสร้างทางวิศวกรรมโครงสร้างแข็ง เนินทรายเมื่อถูกกัดเซาะทำลายจากเหตุการณ์รุนแรงต่างๆสามารถที่จะใช้เวลาซ่อมแซมตัวเองกลับสภาพเดิมได้ เป็นไปตามหลักกระบวนการวัฏจักรการสะสม และวัฏจักรการกลับสู่สภาพเดิม (accretion and continues cycles) ของสมดุลแบบสม่ำเสมอทางธรณีสัณฐานชายฝั่งทะเล

เอกสารอ้างอิง

ไพฑูรย์ ปิยะปกรณ์. (2557). **รายงานการวิจัย พลวัติธรณีสัณฐานเนินทรายชายฝั่งทะเลอ่าวบางเบิด บ้านน้ำพุ จังหวัดชุมพร.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

Bird, E. C. F. (2000). **Coastal Geomorphology: An Introduction.** Chichester: John Wiley & Sons.

Brown, D. G. and Arbogast, A. F. (1999). **Digital Photogrammetric Change Analysis as Applied to Active Coastal Dunes in Michican.** Michigan: Department of Geography, Michican State University.

Brooke, B.(2008) Beach and dune indicators. In The Marine and Coastal Environment Group at Geoscience Australia. (Eds.) **The Coastal Indicator Knowledge and Information System.** Retrieved April 10, 2014 from http:// www.ozcoasts.gov.au/indicators/index.jps

Carter, R.W.G., Nordstrom, K., and Psuty, N. (1990). The study of coastal dune. In K. Nordstrom, N. Psuty and B. Carter (eds). **Coastal Dunes: Form and Process.** (pp. 1-14). Chichester: John Wiley & Sons.

Carter, R.W.G. and Wilson, P. (1990). The geomorphological, ecological and pedological development of coastal foredunes at Magilligan point, northern Ireland. In K. Nordstrom, N. Psuty and B. Carter (eds). **Coastal Dunes : Form and Process.** (pp. 129-157). Chichester: John Wiley & Sons.

Davidson - Arnott, R. (2010). **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology.** Cambridge: Cambridge University Press.

Davies, J. L. (1980). **Geographical Variation in Coastal Development.** 2nd ed. New York: Longman.

Davis, R. A. Jr. and Fitzgerald, D. M. (2004). **Beaches and Coasts.** Oxford: Blackwell Science.

Division of Forests and Lands. (n.d.). **Coastal Sand Dune System.** Retrieved March 10, 2014, from http : //www.nhdfl.org/about-forests-and lands/ bureaus/natural-heritage-bureau/photo index/System Photos/ coastals and dune.aspx

Doody, J. P. (ed.) (2008). **Sand Dune Inventory of Europe.** 2nd ed. National Coastal Consultants and EUCC -The Coastal Union, in association with the IGU Coastal Commission.

Ecomare Encyclopedia. (2015). **Dune Areas.** Retrieved January 27, 2015, from http://www.ecomare.nl/en/encyclopedia/regions/landforms/dunes

Goldsmith, V. (1985). Coastal dunes. In Richard A. Davis, Jr. (ed). **Coastal Sedimentary Environments.** (pp. 303-378). New York : Springer-Verlag.

Goldsmith, V., Rosen, P. and Gertner, Y. (1990). Aeolian transport measurements, winds and comparison with theoretical transport in Israeli coastal dunes. In K. Nordstrom, N. Psuty and B. Carter (eds). **Coastal Dunes: Form and Process.** (pp. 79-101). Chichester: John Wiley & Sons.

Hellemaa, P. (1998). **The development of coastal dunes and their vegetation in Finland.** Fennia 176. Helsinki. Retrieved January 27, 2014, from http://ethesis.helsinki.fi /julkaisut/mat/maant/vk/hellemaa/sisalto.htm

Hesp, P. A. (2008). Coastal dunes in the tropics and temperate regions : location, morphology and vegetation processes. In: M. L. Martines and N. P. Psuty (eds). **Coastal Dunes: Ecology and Conservation.** (pp. 29-49). Verlag Berlin Heidelberg: Springer.

Hesp, P. A. (2012). Surfzone – beach – dune interactions. In: **NCK-days 2012: Crossing Borders in Coastal Research.,** 13-16 March 2012, Enschede, the Netherlands.

Komar, P.D. (1998). **Beach Processes and Sedimentation.** 2nd ed. Upper Saddle, N.J.: Prentice – Hall.

Mai, A. (1998). **Der aolische formenschatz im satellitenbild.** Retrieved January 29, 2014, from http: //www.amleto.de/aeoli/ae02.jpg

Martines, M. L., Psuty, N. P. and Lubke, R. A. (2008) A perspective on coastal dunes. In: M. L. Martines and N. P. Psuty (eds). **Coastal Dunes: Ecology and Conservation.** (pp. 3-10). Verlag Berlin Heidelberg: Springer.

Masselink, G., Hughes, M. G. and Knight, J.(2011). **Introdudction to Coastal Processes and Geomorphology.** 2nd ed. London: Hodder Education.

Mrstevennewman.com. (2010). **Coastal sand dunes -Stockton Bight Coastal Dune Ecosystem.** Retrieved January 20, 2014, from http://www.mrstevennewman.com/geo/Stockton/Home/index.html

Pethick, J. (1984). **An Introduction to Coastal Geomorphology.** London: Edward Arnold.

Psuty, N. P. (2008). The coastal foredune: a morphological basis for regional coastal dune development. In: M. L. Martines and N. P. Psuty (eds). **Coastal Dunes: Ecology and Conservation.** (pp. 11-27). Verlag Berlin Heidelberg: Springer.

Sherman, D. J. and Hotta, S. (1990). Aeolian sediment transport: theory and measurement. In: K. Nordstrom, N. Psuty and B. Carter (eds). **Coastal Dunes : Form and Process.** (pp. 17-37). Chichester: John Wiley & Sons.

Sherman, D. J., Jackson, D. W. T., Namikas, S. L. and Wang, J. (1998). Wind – blown sand on beaches: An evaluation of models. **Geomorphology.** 22, 113-133.

Short, A. D. (2012). Coastal processes and beaches. **Natural Education Knowledge.** 3(3): 15. Retrieved March 19, 2014, from http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/coastal-processes-and-beaches-26276621

Short, A. D. and Hesp, P. A. (1982). Wave-beach-dune interaction in southeast Australia. **Marine Geology.** 48, 259- 284.

Sloss, C.R., Hesp, P. and Shepherd, M. (2012). Coastal dunes: Aeolian transport. **Nature Education Knowledge,** 3(10): 21. Retrieved December 22, 2014, form http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/coastal-dunes-aeolian-transport-88264671

Venugopol, P.D., Bhalla, R.S. and Anbarashan, M. (2009). **Stabilisation of Coastal Sand Dunes.** Retrieved February 25, 2014, from http://entmcv.umd.edu/does/entm_cv/dilip/Venugopaletal_UNDPreport_ch9.pdf

Viles, H. and Spencer, T. (1995). **Coastal Problems: Geomorphology, Ecology and Society at the Coast.** London: Edward Arnold.

Woodroffe, C. D. (2002). **Coasts: Form, Process and Evolution.** Cambridge: Cambridge University Press.