บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทบทวนทฤษฎีและการศึกษาที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับกลศาสตร์ของคลื่นซึ่งอธิบายปรากฏการณ์อันเนื่องจากคลื่น และกระบวนการชายฝั่งทะเล ที่มีอิทธิต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งและการป้องกันชายฝั่ง รวมทั้งรวบรวมผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง กับการออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนในงานป้องกันชายฝั่ง อันเป็นแนวทางในการศึกษาครั้งนี้

2.1 กลศาสตร์ของคลื่น

คลื่นในมหาสมุทรมากกว่า 90% เกิดจากลม จึงเรียกว่า คลื่นลม เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวออกจากพื้นที่กำเนิด แต่ยังคงอยู่ในบริเวณน้ำลึก (deep water) ซึ่งจำแนกโดยใช้ความลึกสัมพัทธ์ (relative depth, d/L[1]) มีค่ามากกว่า 0.5 (d/L>0.50) ลักษณะต่างๆ ของคลื่นเช่น ความเร็วคลื่น (wave celerity, C) ความยาวคลื่น (wave length, L) และความสูงคลื่น (wave height, H) ลักษณะเหล่านี้ถือว่ามีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง โดยคลื่นเคลื่อนตัวมีลักษณะวงโคจรของอนุภาคน้ำ (trajectories) เป็นรูปวงกลมซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางของวงที่ผิวน้ำอิสระ (orbit) เท่ากับความสูงคลื่นและเส้นผ่าศูนย์กลางของวงโคจรจะลดลงตามกำลังฐาน e (exponentially) จนกระทั่งถึงความลึกประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น หลังจากความลึกดังกล่าวถือว่าไม่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ รูป 2-1 แสดงลักษณะวงโคจรของอนุภาคน้ำในน้ำลึก ในบริเวณนี้ลักษณะการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ (water particle movement) ถือว่าการเคลื่อนที่ของตะกอนสุทธิ (net mass transport) เป็นศูนย์ อนุภาคของน้ำในคลื่นจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมารอบจุดตำแหน่งเฉลี่ยเท่านั้น

เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำลึกปานกลาง (intermediate depth, 0.04<d/L<0.50) ลักษณะต่างๆ ของคลื่นจะเปลี่ยนไป ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของน้ำตื้น (shoaling effect) คลื่นที่อยู่ในบริเวณนี้มีความยาวคลื่นสั้นลง ความสูงคลื่นสูงขึ้น ความเร็วคลื่นลดลง แต่อย่างไรก็ตาม คาบเวลา (wave period, T) ไม่เปลี่ยนแปลง ทางเดิน (passage) ของอนุภาคน้ำจะถูกอิทธิพลของน้ำตื้น ทำให้วงโคจรมีลักษณะเป็นวงรี (ellipse) รอบๆ จุดตำแหน่งเฉลี่ย โดยที่มีแกนใหญ่ (major axis) อยู่ในแนวราบขนานกับท้องน้ำ และแกนเล็ก (minor axis) อยู่ในแนวดิ่ง วงโคจรของอนุภาคน้ำเป็นรูปวงรี และ

---

[1] d คือ ความลึกน้ำ และ L คือ ความยาวคลื่น

ลดลงตามความลึกจนกระทั่งเป็นเส้นตรง (linear) ที่บริเวณท้องน้ำ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่บริเวณท้องน้ำ ลักษณะวงโคจรรูปวงรีนี้จะเริ่มราบขึ้นเรื่อยๆ และความเร็วที่ท้องน้ำจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวเข้าสู่บริเวณน้ำตื้นมาก (shallow water,d/L<0.04) รูป 2-2 แสดงทางเดินของการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่น ณ บริเวณน้ำลึก น้ำลึกปานกลาง และน้ำตื้นตามลำดับ รูปร่างคลื่น (wave form) ในบริเวณน้ำลึกปานกลางนี้ มีลักษณะคล้าย Trochoidal ซึ่งเป็นลักษณะของคลื่นที่มีสันคลื่นสูงแหลมและสั้นกว่าในช่วงท้องคลื่น อันเนื่องมาจากความเร็วแต่ละตำแหน่งของวงโคจรไม่เท่ากัน

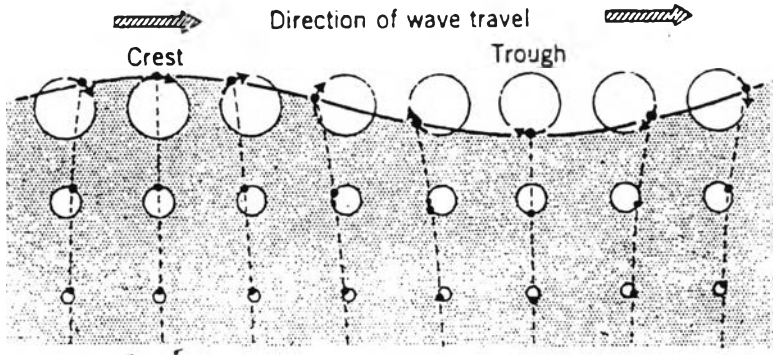
เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวมาถึงความลึกหนึ่ง (ประมาณ 1-1.5 เท่าของความสูงคลื่น) ซึ่งความลึกนี้ไม่เพียงพอที่จะถ่ายพลังงานคลื่น จึงทำให้เกิดการแตกตัวของคลื่น (wave breaking) และคลื่นจะเริ่มจัดรูปร่างขึ้นมาใหม่ เป็นคลื่นชุดใหม่ที่มีพลังงานน้อยกว่าและเคลื่อนตัวต่อไปเข้าหาฝั่ง จนกระทั่งถึงบริเวณที่ความลึกไม่เพียงพอ คลื่นก็จะเริ่มแตกตัวอีกเช่นนี้เรื่อยไป บริเวณที่คลื่นแตกตัวนั้นจะเกิดการปั่นป่วน (turbulence) มาก เนื่องจากถ่ายทอดพลังงานคลื่นทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของตะกอนทรายท้องน้ำ ตะกอนขนาดเล็กจะถูกยกตัวขึ้นและถูกคลื่นพัดพาในสภาพสารแขวนลอย (suspension)

ปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวอยู่ในบริเวณน้ำลึกปานกลางและน้ำตื้น คือการหักเหของคลื่น (wave refraction) เมื่อทิศทางคลื่นทำมุมกับเส้นระดับท้องน้ำ ความเร็วของคลื่นที่เคลื่อนตัวจะขึ้นอยู่กับความลึกของท้องน้ำ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของความลึกนั้น ความเร็วของคลื่นจะไม่เท่ากัน แนวสันคลื่น (wave crest) ที่เคลื่อนตัวผ่านตำแหน่งที่ลึกกว่า จะเคลื่อนตัวด้วยความเร็วที่เร็วกว่าตำแหน่งที่ตื้น เหตุการณ์เช่นนี้ทำให้แนวสันคลื่นเกิดการบิดแนว (bend) ซึ่งเรียกว่าการหักเหนั่นเอง รูป 2-3 แสดงตัวอย่างรูปแบบการหักเหของคลื่น การหักเหรวมตัว (convergence) และการกระจายตัว (divergence) ของพลังงานคลื่น ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะมีศักยภาพในการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลที่ต่างกัน

ในบริเวณน้ำตื้นนั้น ปรากฏการณ์อื่นๆ นอกจากการแตกตัวของคลื่นและการหักเหของคลื่นแล้วยังมีปรากฏการณ์อื่นอีกได้แก่ การสะท้อนของคลื่น (wave reflection) เมื่อคลื่นปะทะเกาะหัวหาด (headland) หรือโครงสร้างบริเวณชายฝั่ง การกระจายของคลื่น (wave diffraction) เมื่อคลื่นเคลื่อนตัวผ่านช่องว่างระหว่างหัวหาดหรือโครงสร้างที่ขวางทิศทางเดินของคลื่น รูป 2-4 และ 2-5 แสดงตัวอย่างการเกิดปรากฏการณ์การกระจายและการสะท้อนของคลื่นเมื่อเคลื่อนตัวปะทะ/ผ่านโครงสร้างบริเวณชายฝั่ง

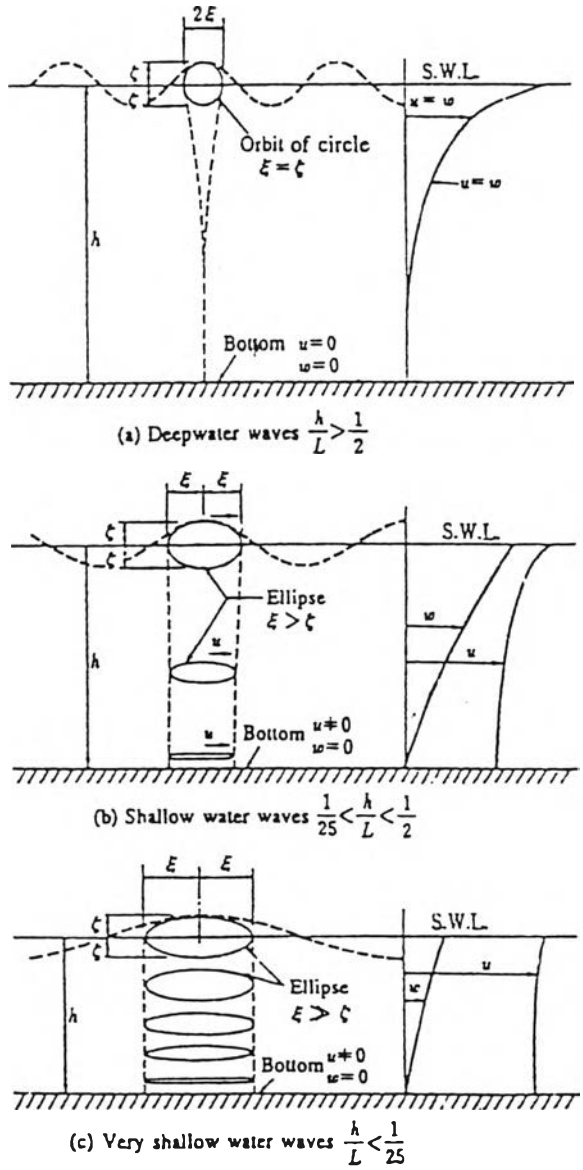
2.2 กระบวนการชายฝั่ง

ในการศึกษาด้านวิศวกรรมชายฝั่งทะเลได้แบ่งชายฝั่งเป็นส่วนๆ แสดงในรูปตัดตามยาวของ



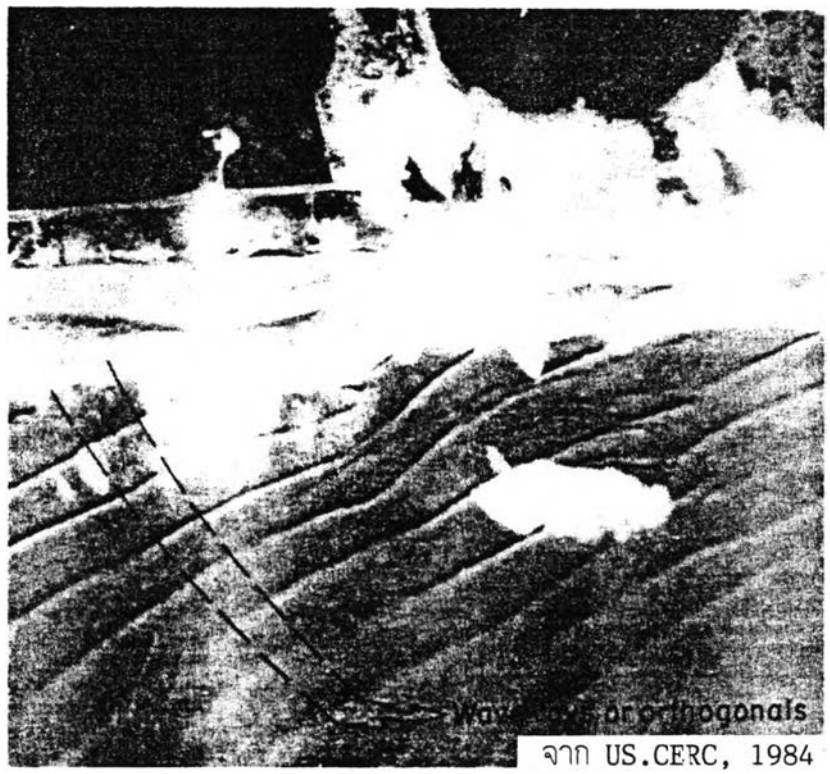
จาก พงษ์ศักดิ์ , 2529

รูป 2-1 ลักษณะวงโคจรของอนุภาคน้ำในน้ำลึก

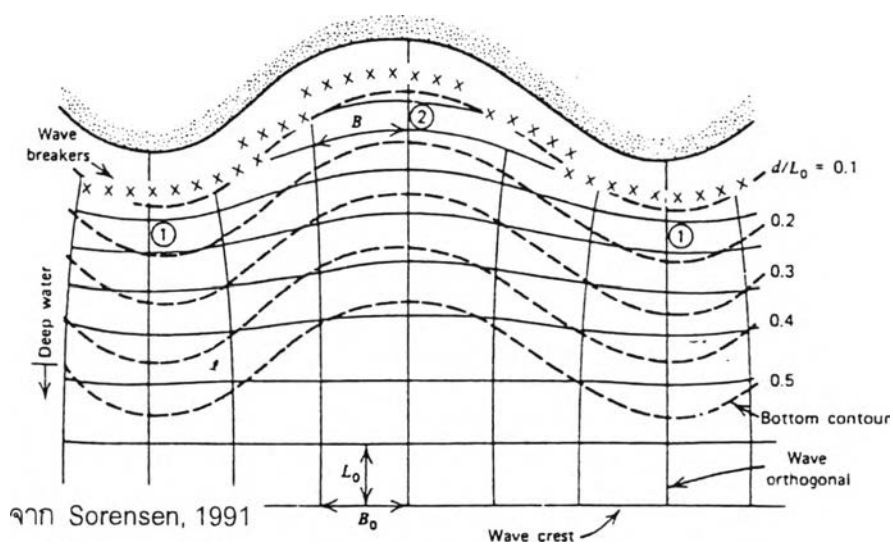


จาก Sawaragi, 1995

รูป 2-2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำภายใต้คลื่น

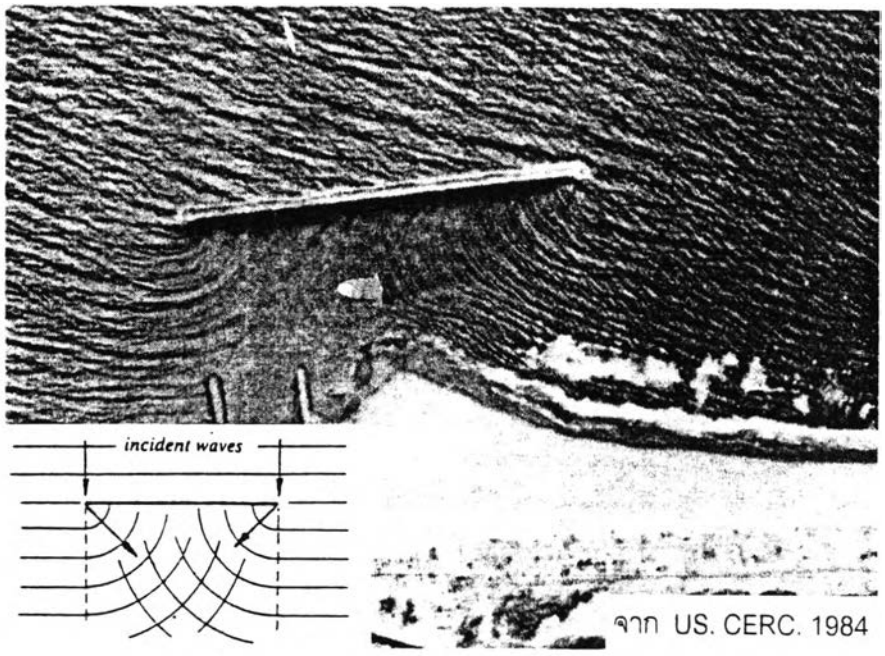


ก) ปรากฏการณ์การหักเหของคลื่นในบริเวณชายฝั่งทะเล

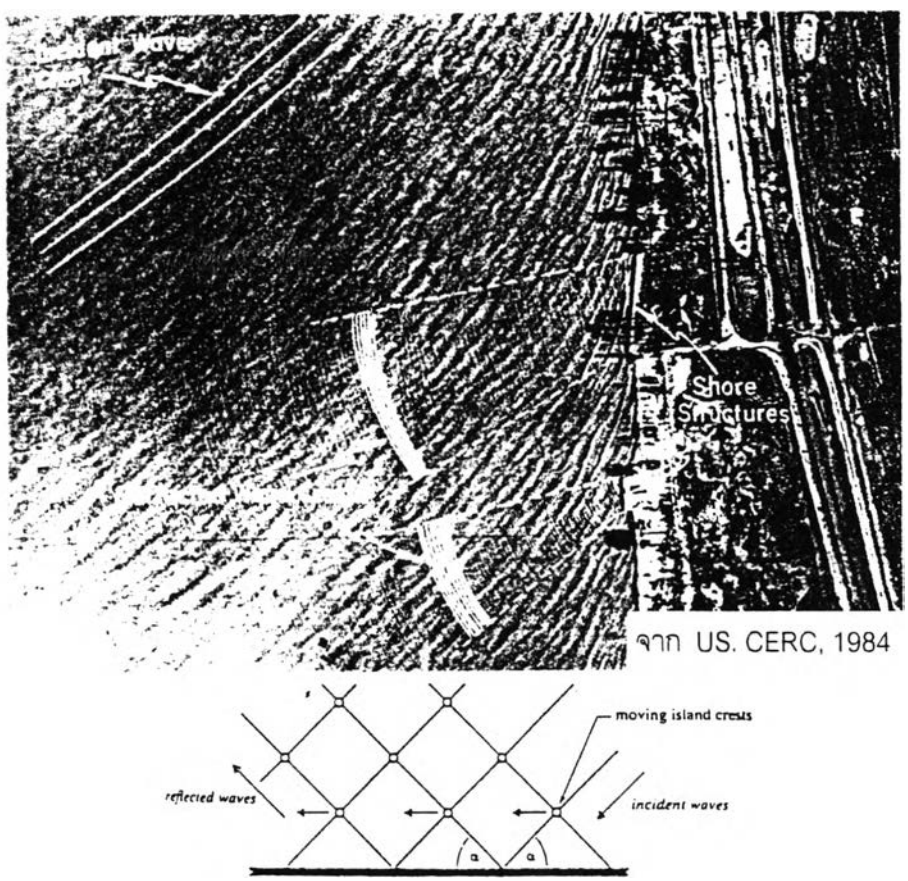


ข) ลักษณะการเกิดการหักเหของคลื่น

รูป 2-3 **การหักเหของคลื่น** (Wave Refraction)



รูป 2-4 การกระจายของคลื่น (Wave Diffraction)



รูป 2-5 การสะท้อนของคลื่น (Wave Reflection)

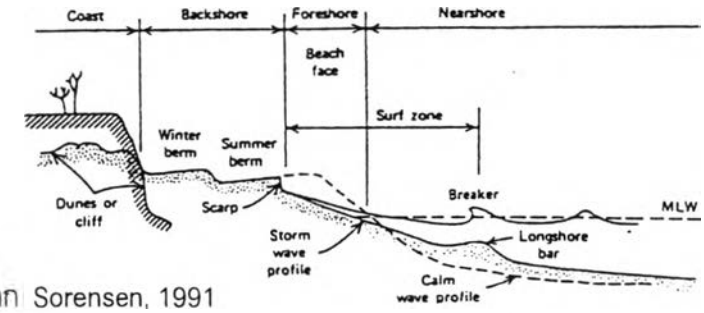
ชายฝั่ง ดังรูป 2-6 เพื่อความสะดวกในการศึกษาพฤติกรรมหรือกระบวนการชายฝั่งทะเล โดยธรรมชาติชายฝั่งทะเลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาสาเหตุจากอิทธิพลของคลื่น คลื่นที่กระทำต่อชายฝั่งจะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนทราย กล่าวคือ คลื่นที่เคลื่อนตัวทำมุมกับแนวชายฝั่งจะก่อให้เกิดกระแสน้ำขึ้น 2 ชนิดคือ กระแสน้ำในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (rip current) และกระแสน้ำชายฝั่ง (longshore current) ดังแสดงในรูป 2-7 ซึ่งกระแสน้ำทั้งสองนี้เป็นตัวพัดพาให้ตะกอนเคลื่อนที่ในแนวต่างๆ

บริเวณใกล้ชายฝั่ง (littoral zone) เป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงมาก เนื่องจากบริเวณนี้จะเกิดการปั่นป่วนของพลังงานอันเนื่องจากการแตกตัวของคลื่น ทำให้ตะกอนทรายท้องน้ำถูกยกตัวขึ้น และถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำ และจากเหตุผลอีกประการหนึ่ง คือความลึกของท้องน้ำในสภาพธรรมชาติไม่เท่ากัน ทำให้คลื่นที่เคลื่อนตัวเข้าสู่ชายฝั่งเกิดการหักเหหรือบิดแนวของคลื่น ซึ่งเกิดการรวมและการกระจายของพลังงานคลื่นที่เคลื่อนเข้าปะทะชายฝั่งทำให้บริเวณต่างๆ มีศักยภาพในการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่แตกต่างกัน บริเวณที่พลังงานคลื่นรวมตัวจะมีสภาพคลื่นรุนแรง ย่อมมีโอกาสถูกกัดเซาะสูงกว่าบริเวณที่พลังงานคลื่นกระจายซึ่งคลื่นค่อนข้างสงบ

การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งทะเลหรือการกัดเซาะและทับถมของตะกอนทราย เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ โดยมีคลื่นและกระแสน้ำชายฝั่งเป็นตัวแปรสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลง การกัดเซาะและทับถมของตะกอนทรายมักจะไม่เท่ากันในแต่ละฤดูกาลและแต่ละปี บริเวณใดที่มีอัตราการทับถมมากกว่าการกัดเซาะ ก็จะเกิดการยื่นงอกของแผ่นดิน ในทางตรงข้าม ถ้าอัตราการกัดเซาะสูงกว่าการทับถม บริเวณนั้นจะเกิดการหดหายหรือถดถอยของแผ่นดิน และถ้าอัตราการกัดเซาะเท่ากับการทับถม บริเวณนั้นจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

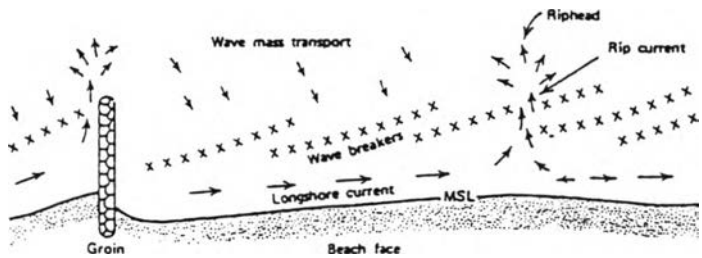
โดยทั่วไป การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น (short-term) และการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว (long-term) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละฤดูพายุซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพคลื่น กล่าวคือ คลื่นที่มีความสูงมากหรือคลื่นพายุ (storm wave) คลื่นประเภทนี้จะมีพลังงานสูง มีโอกาสที่ปะทะชายฝั่งและกัดเซาะสูงกว่าคลื่นที่มีขนาดเล็กกว่า ดังแสดงในรูป 2-8 และในขณะเดียวกันถ้าระดับน้ำทะเลขึ้นสูงด้วย ยิ่งส่งผลต่อการกัดเซาะมากขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงระยะยาวนั้นขึ้นอยู่กับความไม่สมดุลของอัตราการกัดเซาะและทับถมของตะกอนทรายในแต่ละปี ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์การหดหายและการยื่นงอกของแผ่นดินในระยะยาว

การกัดเซาะชายฝั่ง มักจะเกิดขึ้นในช่วงฤดูพายุซึ่งคลื่นมีขนาดใหญ่ คลื่นที่มีความชัน (wave steepness) สูงเคลื่อนเข้าปะทะชายฝั่ง กัดเซาะและพัดพาตะกอนทรายลงมาเมื่อคลื่นเคลื่อนตัวกลับ (downward) ตะกอนทรายที่ถูกกัดเซาะจะถูกคลื่นและกระแสน้ำพัดพาไปตกตะกอนเกิดเป็นสันดอน



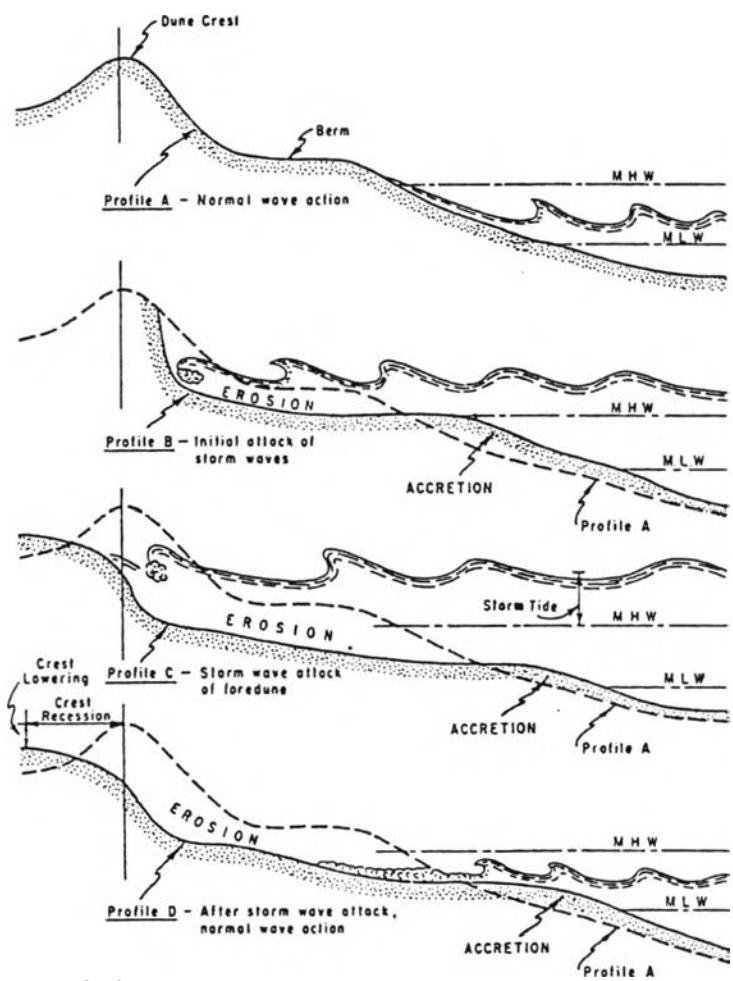
จาก Sorensen, 1991

รูป 2-6 รูปตัดตามยาวของชายฝั่ง



จาก Sorensen, 1991

รูป 2-7 รูปกระแสน้ำบริเวณชายฝั่ง



จาก US. CERC, 1984

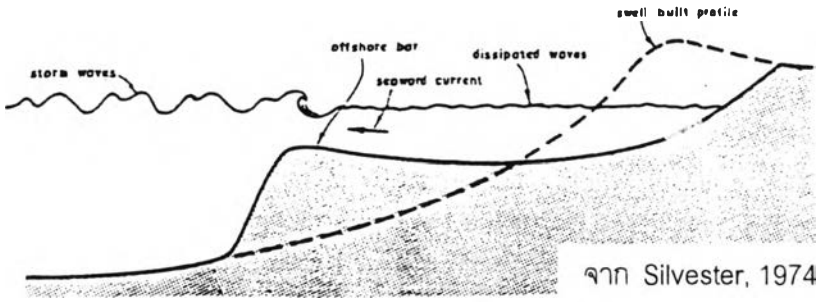
รูป 2-8 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งเนื่องจากคลื่นพายุ

ทรายใต้น้ำในบริเวณนอกชายฝั่ง (offshore bar) ดังแสดงในรูป 2-9 หลังฤดูมรสุมซึ่งคลื่นมีความรุนแรงน้อยกว่า ตะกอนทรายเหล่านี้ จะถูกคลื่นยกขึ้นและพัดพามาตกตะกอนใกล้บริเวณชายฝั่งเรื่อยๆ จนในที่สุดตะกอนทรายส่วนหนึ่งถูกพัดพามาตกตะกอนบนชายฝั่งทะเล รูป 2-10 แสดงกระบวนการของการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายเข้าสู่ชายฝั่งในช่วงหลังการเปลี่ยนแปลงทิศทางลมเมื่อเปลี่ยนฤดูกาล ของชายฝั่งบริเวณ Lake Michigan ลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายเข้าออกนี้ก็เป็นการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น ในช่วงปลายเดือน กรกฎาคม 1970

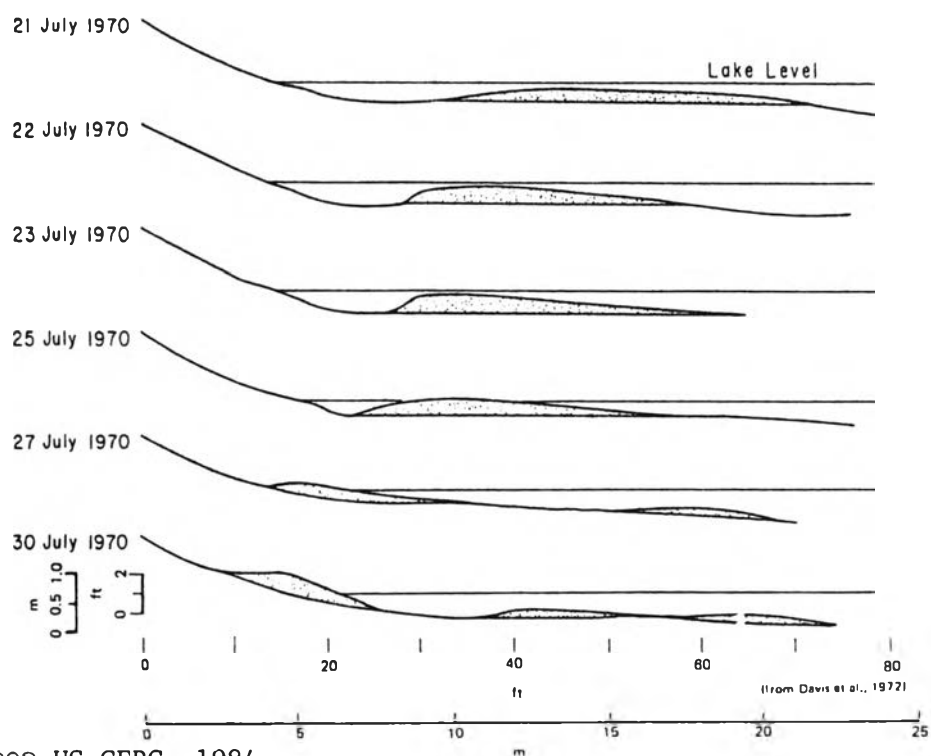
นอกจากคลื่นแล้ว กระแสน้ำและการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเล การเคลื่อนที่ของตะกอนประกอบด้วยการเคลื่อนที่ของตะกอนในแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง (onshore-offshore transport) และการเคลื่อนที่ตะกอนตามแนวชายฝั่ง (longshore transport) การเคลื่อนที่ของตะกอนทรายทั้งสองทิศทางนี้ เกิดจากกระแสน้ำที่เป็นผลจากคลื่นเคลื่อนตัวเข้าทำมุมกับแนวชายฝั่ง ดังได้กล่าวแล้วข้างต้น การเคลื่อนที่ของตะกอนทั้งสองทิศทางนี้มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก การเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากมีอิทธิพลมากสำหรับการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้น และการเคลื่อนที่ในแนวขนานกับชายฝั่งมีอิทธิพลมากสำหรับการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว คือกระแสน้ำชายฝั่งจะพัดพาตะกอนทรายให้เคลื่อนตัวตามไปด้วย ทำให้ตะกอนทรายไปตกทับถมบริเวณอื่น ตะกอนทรายจะถูกพัดพาไปได้ไกลขนาดไหนขึ้นอยู่กับความแรงของกระแสน้ำและขนาดของตะกอนทราย ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า การเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง เป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะยาว

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้เป็นกระบวนการชายฝั่งทะเล (coastal process) เพื่อปรับแนวชายฝั่งให้สมดุลกับสภาพภูมิอากาศ สภาพคลื่นทะเล และกระแสน้ำ ซึ่งแนวชายฝั่งสมดุลอาจเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ ชายฝั่งที่ไม่มีตะกอนเคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง หรือชายฝั่งที่มีปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งเข้ามาในพื้นที่เท่ากับปริมาณตะกอนตามแนวชายฝั่งออกจากพื้นที่ ดังนั้นจะไม่เกิดการกัดเซาะหรืองอกของชายฝั่งในระยะยาว

สำหรับในงานวางแผนพัฒนาบริเวณชายฝั่งทะเลโดยมากต้องการชายหาดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างหรือชุมชนที่อยู่ในแผนพัฒนา แต่ในความเป็นจริงแล้วเวลาที่ชายฝั่งใช้ปรับสมดุลตามธรรมชาติไม่มีระยะเวลาที่แน่นอน ซึ่งในสภาพเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันมีความต้องการพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลมากขึ้นเพื่อเป็นที่อยู่อาศัย สถานที่ท่องเที่ยว โรงงานอุตสาหกรรม ท่าเรือเพื่อการขนส่งสินค้าและท่องเที่ยว ฯลฯ ทำให้พื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลมีคุณค่าทางเศรษฐกิจอย่างมหาศาล จึงไม่สามารถรอให้ชายฝั่งสมดุลตามธรรมชาติได้ การป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อชุมชนหรือโครงสร้างตามแนวชายฝั่งอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง จึงมีการใช้



รูป 2-9 การเกิดสันดอนทรายใต้น้ำบริเวณชายฝั่งในฤดูมรสุม



จาก US.CERC, 1984

รูป 2-10 การฟื้นฟูสภาพชายฝั่งหลังการเปลี่ยนแปลงทิศทางลมเมื่อเปลี่ยนฤดูกาล ของชายฝั่ง Lake Michigan

โครงสร้างในการป้องกันชายฝั่ง เช่น โครงสร้างคันดักตะกอน (groin) เขื่อนกันคลื่น (breakwater) เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างแต่ละชนิดมีความสามารถในการป้องกันชายฝั่ง และมีผลกระทบต่อแนวชายฝั่งแตกต่างกันจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาอย่างละเอียดเพื่อช่วยให้การออกแบบและวางแผนป้องกันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

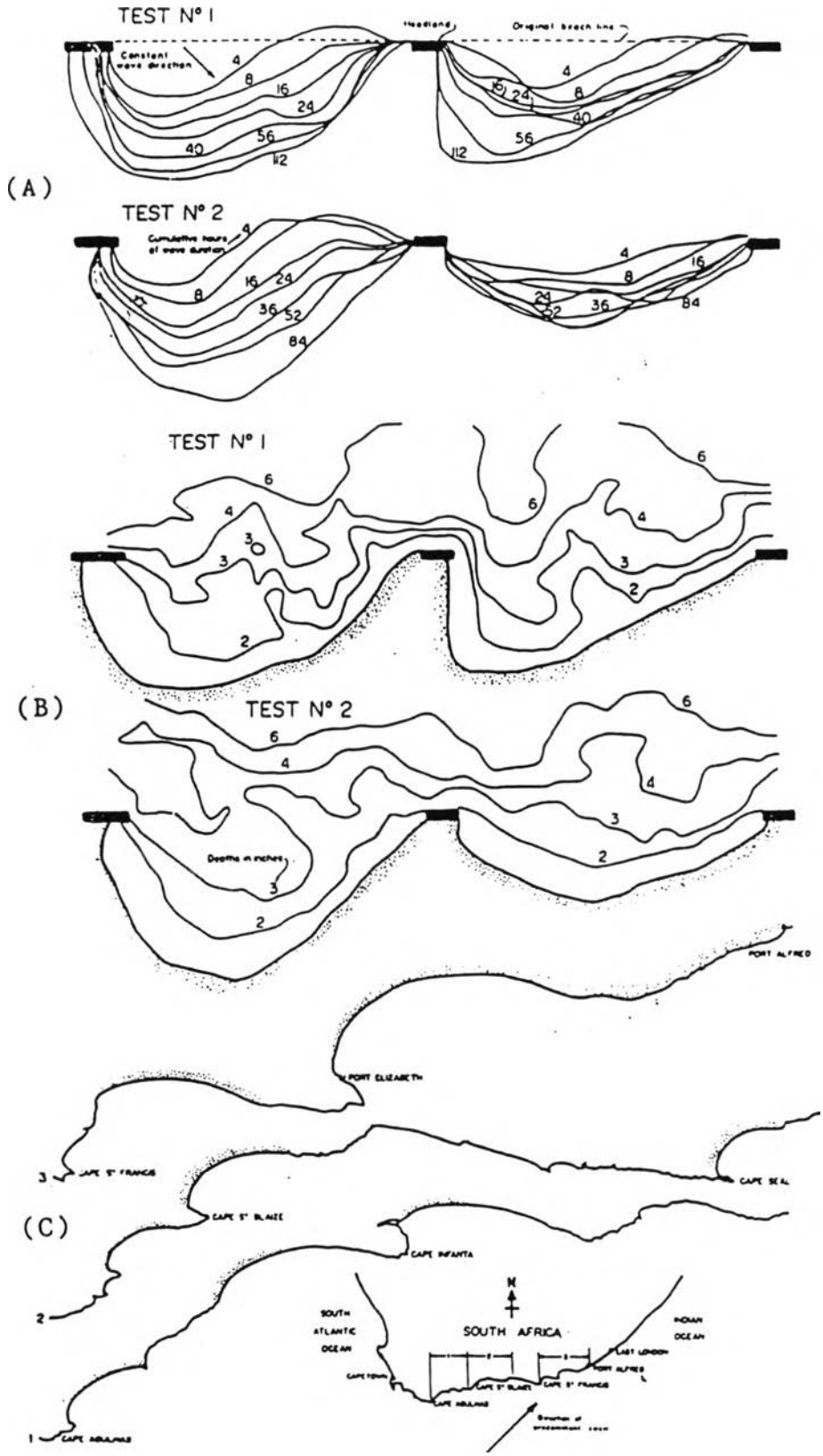
2.3 หัวหาดและอ่าวสมดุล

หัวหาด (headland) มีความสำคัญคือเป็นโครงสร้างกำบังคลื่นให้แก่ชายฝั่ง หัวหาดอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น เกาะ แนวปะการัง หรือโขดหิน หรือเกิดจากมนุษย์สร้างขึ้น เช่น เขื่อนกันคลื่น (breakwater) หรือ โครงสร้างคันดักตะกอน (groin) จากการศึกษาพบว่า เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าปะทะหัวหาดบางส่วนของพลังงานคลื่นจะถูกสลายไป ส่วนคลื่นที่เคลื่อนผ่านด้านข้างหัวหาดเข้าไปสู่แนวชายฝั่งจะเกิดการกระจาย และการหักเหของคลื่นเข้าสู่บริเวณด้านหลังของหัวหาด ทำให้พลังงานคลื่นที่เคลื่อนเข้าสู่ชายฝั่งลดลง ในกรณีที่หัวหาดตั้งอยู่บริเวณนอกชายฝั่ง (offshore) จะเกิดการทับถมของตะกอนทรายที่บริเวณชายฝั่งหลังหัวหาดที่เรียกว่า " Tombolo " การเกิด Tombolo นี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญได้แก่ คุณสมบัติต่างๆของคลื่น การเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ขนาดและตำแหน่งของหัวหาด

ในสภาพธรรมชาติ บริเวณที่มีการกัดเซาะของชายฝั่งระหว่างหัวหาด จะเกิดการเว้าเป็นอ่าวขึ้น ถ้าหัวหาดทั้งสองแห่งมีความแข็งแรงพอเพียงต่อการต้านทานแรงกระทำของคลื่น ชายฝั่งจะถูกกัดเซาะ และถดถอยจนเข้าสู่สภาพสมดุล เรียกว่า อ่าวสมดุล (equilibrium bay)

รูปร่างของอ่าวสมดุลขึ้นอยู่กับลักษณะและรูปแบบของคลื่นและการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง จากการศึกษาของ Silvester (1974) ได้ทำการศึกษารูปแบบของอ่าวสมดุลโดยการทดลองในแบบจำลอง พบว่าตะกอนทรายที่บริเวณแนวชายฝั่งทางด้านเหนือน้ำได้ขาดหายไป และเกิดเป็นอ่าวสมดุลที่มีรูปร่างเป็นรูปครึ่งหัวใจ หรือที่เรียกว่า " crenulated bay " ดังแสดงในรูป 2-11 โดยมีแนวของการแตกตัวของคลื่นขนานกันกับชายฝั่งตลอดทั้งอ่าว จึงไม่มีการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่ง ซึ่งทำให้อ่าวนั้นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป

ในช่วงแรกๆ ของการป้องกันชายฝั่งด้วยโครงสร้างหัวหาดนั้น เป็นการสร้างเขื่อนที่มีลักษณะเป็นเกาะเล็กๆ เพื่อใช้กำบังคลื่นและลดแรงกระทำของคลื่นบริเวณชายฝั่งและท่าเรือเป็นวัตถุประสงค์หลัก แต่ต่อมาได้สังเกตพบว่ามีการทับถมของตะกอนทรายเกิดขึ้นบริเวณชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่น จาก



จาก Silvester, 1960

รูป 2-11 (A)การเกิดอ่าวรูปครึ่งหัวใจจากการทดลองด้วยแบบจำลอง
(B)เส้นขั้นความลึกในระหว่างการทดลอง
(C)การเกิดอ่าวสมดุลที่ชายฝั่ง South Africa

ปรากฏการณ์ของอ่าวสมดุลระหว่างหัวหาดและการเกิด Tombolo จึงได้มีการพยายามนำเอาหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับงานป้องกันชายฝั่งที่ประสบปัญหาการกัดเซาะและถดถอยของชายฝั่ง

จากการศึกษาของ อาทิตยา (2540) ได้ศึกษารูปร่างชายฝั่งสมดุลเมื่อมีเขื่อนกันคลื่นแยกเป็นโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ ซึ่งทำการทดลองในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า ชายฝั่งสมดุลที่ได้จากการทดลองมีรูปร่างเป็นรูปครึ่งหัวใจเช่นกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Sivester (1974) และ Shu (1989) พบว่ามีระยะเว้าของชายฝั่งอ่าวสมดุล น้อยกว่าการศึกษาทั้งสองเล็กน้อย

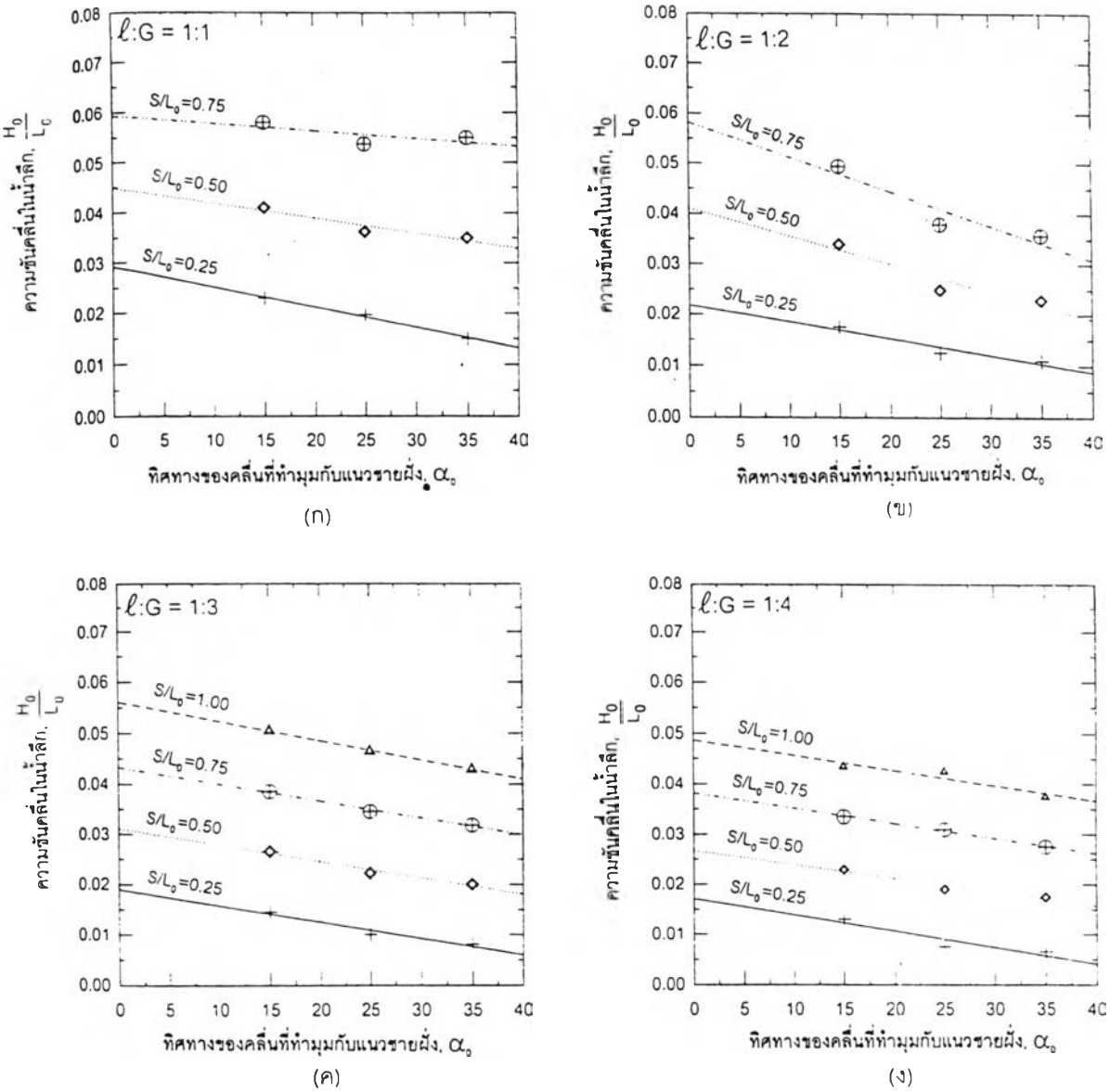
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกและความชันคลื่นในน้ำลึกสามารถสรุปเป็นเกณฑ์การออกแบบ ได้ดังรูป 2-12 และ รูป 2-13 ซึ่งกราฟดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้เป็นบรรทัดฐานในการออกแบบตำแหน่งที่ตั้งของเขื่อนกันคลื่นได้ เมื่อทราบความชันคลื่นในน้ำลึกและทราบมุมของคลื่นที่กระทำต่อแนวชายฝั่ง และต้องการกำหนดค่าความยาวของเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นเท่ากับ 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4 ดังแสดงในรูป 2-12 จะได้ระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก ซึ่งค่าที่ได้นำไปใช้ประกอบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก ในรูป 2-13 จะสามารถหาค่าความยาวเขื่อนกันคลื่นที่เหมาะสมได้

2.4 การศึกษาการป้องกันชายฝั่งด้วยโครงสร้างคันดักตะกอน

โครงสร้างคันดักตะกอน คือโครงสร้างป้องกันชายฝั่งที่ออกแบบเพื่อใช้ในการดักตะกอนตามแนวชายฝั่ง (littoral drift) เพื่อป้องกันชายฝั่ง ลดการกัดเซาะของชายฝั่ง หรือป้องกันพื้นที่บางส่วนจากการตกตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง เช่น ท่าเรือ หรือ ทางเดินเรือ เป็นต้น

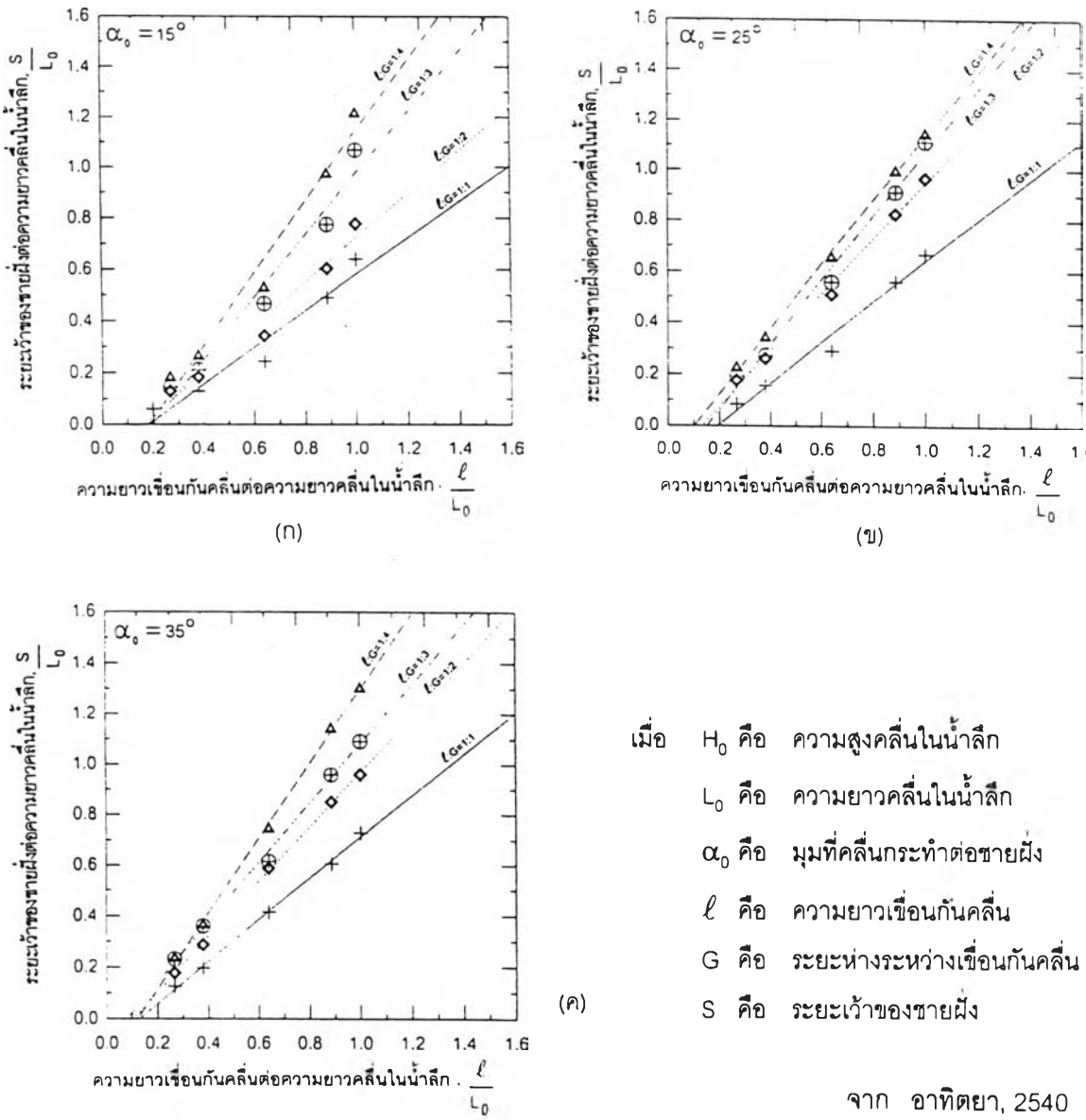
สำหรับการออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนจำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์อย่างละเอียดและใช้ความรู้ความเข้าใจที่มีอย่างเต็มที่ จึงจะสามารถออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนได้อย่างเหมาะสม จากรายงานการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนมากกว่า 470 รายงาน โดยครอบคลุมตั้งแต่ปี 1900 เป็นต้นมา (Balsille และ Berg,1972) พบว่าพื้นฐานในการออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ กระบวนการชายฝั่ง ฟังก์ชันการออกแบบ และการออกแบบโครงสร้าง

กระบวนการชายฝั่ง เกี่ยวข้องกับ ข้อมูลลมและคลื่นที่มีนัยสำคัญ (wave height) คาบและมุมของคลื่น (period and angle) ความชันของชายหาด (beach slope) และลักษณะตะกอนชายหาด (texture



จาก อาทิตยา, 2540

รูป 2-12 เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกเมื่อกำหนดอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น



เมื่อ H_0 คือ ความสูงคลื่นในน้ำลึก

L_0 คือ ความยาวคลื่นในน้ำลึก

α_0 คือ มุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง

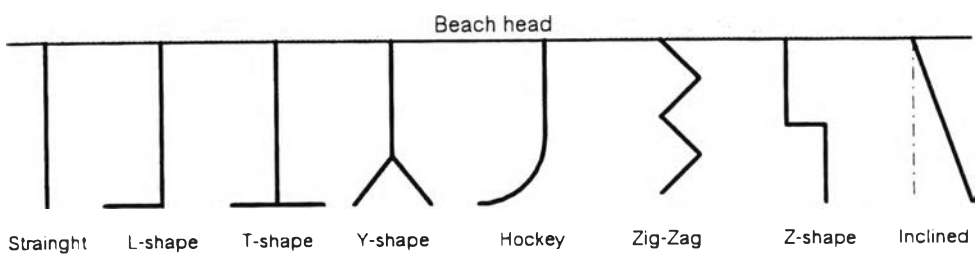
ℓ คือ ความยาวเขื่อนกันคลื่น

G คือ ระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น

S คือ ระยะเว้าของชายฝั่ง

จาก อาทิตยา, 2540

รูป 2-13 ความสัมพันธ์ความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับ ระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก



รูป 2-14 รูปแบบของโครงสร้างคันดักตะกอน

characteristics of beach sediment) ส่วนฟังก์ชันในการออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนมีตัวแปรหลักๆ คือ ความสูง (height) ความยาว (length) ระยะห่าง (spacing) ของโครงสร้าง มุมที่โครงสร้างคันดักตะกอนกระทำต่อชายหาด (orientation with shoreline) ความสามารถในการให้น้ำผ่าน (permeability) ของโครงสร้างคันดักตะกอน และการออกแบบรูปแบบพิเศษ (special design) และในส่วนของการออกแบบโครงสร้าง (structural design) นั้น เกี่ยวข้องกับวัสดุในการก่อสร้าง และวิธีการก่อสร้าง

ส่วนของฟังก์ชันในการออกแบบนั้นเป็นส่วนที่วิศวกรชายฝั่งให้ความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญที่ใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและออกแบบโครงสร้างในการป้องกันชายฝั่งทะเล ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนที่แน่นอน การวางแผนหรือการออกแบบจึงยังใช้ประสบการณ์และการลองผิดลองถูก (trial and error) หรือศึกษาจากการศึกษาที่ผ่านมาแล้ว สำหรับการศึกษาที่ผานมาเกี่ยวกับแนวทางหรือเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน แสดงเป็นรายการในตาราง 2-1 และแสดงรายละเอียดอยู่ในภาคผนวก ก ซึ่งสามารถสรุปตามฟังก์ชันในการออกแบบได้ดังนี้

2.4.1 <u>การออกแบบความยาวโครงสร้างคันดักตะกอน</u>

ความยาวของโครงสร้างคันดักตะกอนนั้น ในการออกแบบยังใช้การลองผิดลองถูก (trial and error) อยู่เนื่องจากยังไม่มีหลักเกณฑ์ที่แน่นอน ความยาวของโครงสร้างถูกกำหนดในเทอมของความสั้นยาว สำหรับโครงสร้างคันดักตะกอนยาวก็สามารถเก็บกักตะกอนได้มาก ในขณะที่มีข้อโต้แย้งว่าถ้าก่อสร้างคันดักตะกอนสั้นเกินไปก็สามารถต่อเติมได้ถ้าต้องการ ซึ่งยังประหยัดอีกด้วย มีนักวิจัยหลายคนได้กำหนดให้ความยาวของโครงสร้างคันดักตะกอนเป็นฟังก์ชันของความลึกน้ำ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนชายฝั่งก็เป็นฟังก์ชันของความลึกน้ำเช่นกัน บางคนก็ให้ความยาวโครงสร้างคันดักตะกอนเป็นฟังก์ชันของระยะคลื่นแตกตัว (breaking point, a_b) นอกจากนี้บางรายงานหาความยาวของโครงสร้างคันดักตะกอนโดยแบ่งโครงสร้างคันดักตะกอนออกเป็นส่วนๆ แต่ละส่วนจะมีเกณฑ์การออกแบบที่แน่นอน และมีหลายรายงานที่ใช้ปริมาณตะกอนตามแนวชายฝั่งที่ถูกเก็บกักโดยโครงสร้างเป็นเงื่อนไขในการออกแบบ

2.4.2 <u>การออกแบบความสูงของโครงสร้างคันดักตะกอน</u>

สำหรับความสูงของโครงสร้างคันดักตะกอนก็จะมีลักษณะคล้ายกับความยาวของโครงสร้าง คือถูกกำหนดในเทอมของความสูง-เตี้ย โครงสร้างแบบสูงมีแนวโน้มที่จะดักตะกอนได้มากกว่าโครงสร้างคันดักตะกอนแบบเตี้ย แต่ก็ขึ้นอยู่กับความยาวของโครงสร้างคันดักตะกอนด้วย ทั้งนี้เนื่องจากมีการกัดเซาะด้านหลังโครงสร้างคันดักตะกอนมากขึ้น การกัดเซาะที่เกิดขึ้นนี้มีรายงานว่าเกิดขึ้นเนื่องจาก "ผลกระทบจากการไหลข้ามโครงสร้าง (spilling effect)" ทำให้เกิดการพัดพาวัสดุชายหาด (beach material) ซึ่งเป็นสาเหตุของ

การพังของโครงสร้างคันดักตะกอน (Evan O.F. ,1943 อ้างถึงใน Balsille และ Berg, 1972) โครงสร้างคันดักตะกอนแบบเตี้ยจะยอมให้ตะกอนตามแนวชายฝั่ง (littoral drift) ข้ามผ่านโครงสร้าง ซึ่งทำให้เกิดการกัดเซาะด้านหลังของโครงสร้างและการถดถอยของชายฝั่งน้อยที่สุด และการศึกษาจำนวนมากแนะนำการออกแบบความสูงของโครงสร้างที่สมบูรณ์มากขึ้น โดยให้ออกแบบโครงสร้างมีความสูงเหนือแนว รูปดัดตามยาว (profile) ของชายฝั่ง และระดับน้ำ ซึ่งเป็นเงื่อนไขเฉพาะของแต่ละพื้นที่

2.4.3 การออกแบบระยะห่างของโครงสร้างคันดักตะกอน

โดยทั่วไประยะห่างของโครงสร้างคันดักตะกอนจะถูกกำหนดให้เป็นฟังก์ชันของความยาวของโครงสร้างคันดักตะกอน ถ้าออกแบบระยะห่างโครงสร้างคันดักตะกอนเป็น 1:2 หมายถึง ระยะห่างระหว่างโครงสร้างคันดักตะกอนจะเป็น 2 เท่าของความยาวโครงสร้างคันดักตะกอนที่ใช้ในระบบ โดยสมมติให้โครงสร้างคันดักตะกอนมีความยาวเท่ากัน จากการศึกษาพบว่าระยะห่างระหว่างโครงสร้างคันดักตะกอนจะขึ้นอยู่กับข้อมูลสภาพคลื่น (wave climate) ขนาดของวัสดุชายหาด (beach material) ความชันของรูปดัดตามยาวชายหาด (beach profile) มุมที่คลื่นกระทำกับแนวชายฝั่ง (angle of wave incidence with the shoreline) และปัจจัยด้านการเงิน สำหรับการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการกำหนดระยะห่างระหว่างโครงสร้างคันดักตะกอน พบว่าระยะห่างที่แนะนำว่าเหมาะสมอยู่ในช่วง 1:1 ถึง 1:4

2.4.4 การออกแบบลักษณะโครงสร้างที่ให้น้ำซึมผ่านได้และการปรับแต่งโครงสร้าง

ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้ของโครงสร้างคันดักตะกอน เป็นสิ่งที่สำคัญในการออกแบบโครงสร้าง เมื่อมีการพบว่าลักษณะโครงสร้างแบบไม่ทึบน้ำจะช่วยให้เกิดการทับถมของตะกอนทรายด้านหลังโครงสร้าง เนื่องจากโครงสร้างยอมให้มีตะกอนทรายตามแนวชายฝั่งบางส่วนไหลผ่านโครงสร้างไปด้านท้ายน้ำ ดังนั้นแนวชายฝั่งระหว่างโครงสร้างจึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด และชายฝั่งด้าน ท้ายน้ำจะไม่เกิดการถดถอย อันเนื่องจากขาดตะกอนทรายเข้ามาเติมในพื้นที่ จากรายงานของ Shay และ Johnson (1951) พบว่า การศึกษาส่วนใหญ่ต่างให้ความเห็นว่า ในการป้องกันชายฝั่งถ้าใช้โครงสร้างแบบไม่ทึบน้ำไม่ควรใช้เพียงตัวเดียว แต่ควรใช้ต่อเนื่องกันเป็นกลุ่ม

ในบางโครงการได้มีการออกแบบ ให้ก่อสร้างโครงสร้างเริ่มต้นสูงใกล้เคียงกับรูปดัดตามยาวของชายฝั่งเดิมก่อน แล้วค่อย ๆ เพิ่มความสูงของโครงสร้าง ถ้าชายฝั่งมีการงอกมากขึ้น หรือลดความสูงโครงสร้าง ถ้าชายฝั่งเกิดถดถอยมากขึ้น จากการศึกษาจำนวนมากเห็นว่า โครงสร้างทึบน้ำแบบเตี้ยนั้นจะมีประสิทธิภาพในการเสริมสร้างชายฝั่งใกล้เคียงกับโครงสร้างแบบไม่ทึบน้ำ จึงแนะนำให้ใช้โครงสร้างแบบทึบน้ำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนโครงสร้างคันดักตะกอนที่สามารถปรับแต่งได้ (adjustable) นั้น พบว่ามีใช้อยู่ที่ประเทศอังกฤษและรัฐฟลอริดาในประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น โดยโครงสร้างคันดักตะกอนเหล่านี้ทำขึ้นจากแผงไม้ที่สามารถใส่เข้า-ออกระหว่างเสาเข็ม ซึ่งแผงไม้เหล่านี้ถูกออกแบบให้สามารถใส่เข้า-ออก ในโครงสร้างคันดักตะกอนที่ความสูง 0.3 – 0.6 เมตร หรือ 1 – 2 ฟุต ซึ่งยอมให้ทรายบางส่วนข้ามผ่านได้ เพื่อรักษาแนวชายฝั่งด้านหลังโครงสร้าง อย่างไรก็ตามถ้าขึ้นส่วนของโครงสร้างมีการเคลื่อนตัว หรือบิดเบี้ยวเพียงเล็กน้อย จะทำให้การใส่แผงไม้เข้า-ออก เป็นสิ่งที่ยากหรือไม่สามารถใส่ได้เลย

2.4.5 <u>การออกแบบการจัดวางตัวของโครงสร้างคันดักตะกอน</u>

โดยทั่วไปมีการกำหนดการจัดวางตัวของโครงสร้างคันดักตะกอนเมื่อเทียบกับชายฝั่งเป็นฟังก์ชันกับมุมของคลื่นที่มากระทำ จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างคันดักตะกอนควรทำมุมน้อยๆ กับแนวตั้งฉากกับชายฝั่ง เมื่อมุมของคลื่นที่เข้ามากระทำกับชายฝั่งไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก Kemp (1962) แนะนำว่าเมื่อเกิดการถดถอยของชายหาด โดยที่สภาพคลื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ถ้าโครงสร้างคันดักตะกอนที่สร้างทำมุมกับชายหาดอย่างถูกต้อง จะทำให้ชายหาดเกิดการกัดเซาะน้อยที่สุด แต่ในกรณีที่สภาพคลื่นมีการเปลี่ยนแปลงมากควรใช้โครงสร้างคันดักตะกอนแบบตั้งฉากกับชายฝั่ง

2.4.6 <u>การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนที่มีรูปแบบพิเศษ</u>

ความผันแปรไม่ได้พบในการออกแบบเฉพาะขนาดและสัดส่วนของโครงสร้างคันดักตะกอนเท่านั้น แต่ยังมีความผันแปรในส่วนของรูปร่างภายนอกของโครงสร้างคันดักตะกอนอีกด้วย ส่วนประกอบของโครงสร้างคันดักตะกอนสร้างขึ้นจาก หิน ไม้ คอนกรีต เหล็ก เป็นต้น และมีการสมมติการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโครงสร้างคันดักตะกอน Budd Wall (1965) และ S.M. Wood (1937,1945) ออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนเป็นชิ้นเล็กๆ (cellular) และทำคอกกั้นซึ่งเป็นตัวอย่างหนึ่งของโครงสร้างคันดักตะกอนรูปแบบพิเศษ นอกจากนี้ยังมีการออกแบบที่นอกเหนือจากเป็นแนวตรง เช่น โค้ง (curve) เดือย (spur) หักมุม (corner) รูปตัว T ตัว L ตัว Z ซิกแซก (zig zag) และ Hockey เป็นต้น ดังแสดงในรูป 2-14 โดยแต่ละชนิดมีผลกระทบที่แตกต่างกันไปซึ่งการหาประสิทธิผลของโครงสร้างต่าง ๆ เหล่านี้เป็นเรื่องที่น่าศึกษาเช่นกัน

2.5 การศึกษาการป้องกันชายฝั่งในประเทศไทย

สำหรับงานวางแผนและออกแบบการป้องกันชายฝั่งในประเทศไทยนั้น กรมเจ้าท่า (Harbor Department) สังกัดกระทรวงคมนาคม เป็นหน่วยงานหนึ่งที่พบว่ามีการดำเนินงานในด้านนี้มาก ซึ่งจากการศึกษารายงานเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการกัดเซาะและการป้องกันชายฝั่งโดยกรมเจ้าท่าพบว่าส่วนใหญ่จะเป็น

การป้องกันการตกตะกอนและการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำสายหลัก ๆ ที่ไหลลงสู่อ่าวไทย และมีการสัญจรทางน้ำ โดยส่วนใหญ่ใช้โครงสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น (jetty) เป็นหินทิ้ง สำหรับเขื่อนกันทรายและคลื่นนั้นมีฟังก์ชันของโครงสร้างและลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับโครงสร้างคันดักตะกอน แต่แตกต่างกันที่เขื่อนกันทรายและคลื่นนั้นมักก่อสร้างเพียงตัวเดียว ซึ่งกรมเจ้าท่าได้ว่าจ้างบริษัทที่ปรึกษาให้ศึกษาออกแบบโครงสร้างป้องกันชายฝั่งเหล่านี้

จากการศึกษารายงานความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจและวิศวกรรม เพื่อการก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่น โดยส่วนใหญ่มีการแนวทางการออกแบบดังนี้

1) คำนวณคลื่นจากข้อมูลลมโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ RCPWAVE
2) กำหนดฟังก์ชันของโครงสร้างโดยอ้างอิงคู่มือการป้องกันชายฝั่ง (Shore Protection Manual)
3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งเนื่องจากมีโครงสร้าง โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ One-line Model of Shoreline Change ซึ่งมีสมมติฐานของแบบจำลองดังนี้
    - ไม่มีอิทธิพลของน้ำขึ้น-น้ำลง มาเกี่ยวข้องกับแบบจำลอง
    - เขื่อนกันทรายและคลื่นตั้งฉากกับชายฝั่ง
    - การสะท้อนกลับและการหักเหมีน้อย ต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง
    - การเคลื่อนที่ของตะกอนตั้งฉากกับแนวชายฝั่งมีน้อยมากเมื่อเทียบกับการเคลื่อนที่ของตะกอนขนานกับชายฝั่ง
    - มุมที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งถือว่าคงที่ตลอดแนวชายฝั่ง และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเคลื่อนที่ของตะกอนทราย

เป็นที่น่าสังเกตว่าการศึกษาวางแผนและออกแบบโครงสร้างป้องกันชายฝั่งในประเทศไทยนิยมใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์มากกว่าแบบจำลองทางกายภาพ สำหรับตัวอย่างโครงการออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่นแหลมตาชี จ.ปัตตานี โดยกรมเจ้าท่าได้แสดงในรูป 2-15

ตาราง 2-1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน

ชื่อผู้ศึกษา,ปี	ผลการศึกษา				
	ความยาว (ℓ)	ความสูง (h)	ระยะห่าง (S)	Permeability,Adjustability	การวางตัว
Owen, J.S., Case G.O. , 1908,1915	ℓ< LWL	ใช้โครงสร้างแบบเตี้ย	S ≈ 1:1		
Case,G.O., 1915,1928	ℓ = HWL ถึง LWL	ใช้โครงสร้างแบบเตี้ยและยาว	S< HWL. – LWL.	ใช้โครงสร้างแบบปรับได้	
Kressner, B. , 1928	เสนอหลักการลดค่า ℓ		S = 1:2 - 1:3		
Dent, E.J. , 1931		ควรใช้โครงสร้างแบบเตี้ย			
Coen-Cagli, M.E., 1932	ชายฝั่งกรวด ℓ ≈ 40-50 เมตรจากแนวชายฝั่ง ชายหาดทราย ขยายออกไปจน d = 2-3 เมตร	ชายฝั่งกรวด h = 1 เมตร เหนือระดับน้ำขึ้น ชายฝั่งทราย มีความสูงเฉพาะตามลักษณะชายฝั่ง	ชายฝั่งกรวด S ≈ 1:1.5 ถึง 1:2 ชายฝั่งทราย S ≈ 1:1.5		
Steiner,C.T., 1936			S ≈ 1:1		
Brown, E.I. , 1939, 1940	ยาวจนถึง d = 6 ฟุต	มีความสูงเฉพาะตามลักษณะชายฝั่ง	S ≈ 1:1 - 1:3	ควรโครงสร้างแบบทึบน้ำ	
Evans,O.F.,1943		ควรโครงสร้างคันแบบเตี้ย		ศึกษาโครงสร้างไม่ทึบน้ำ	
Dobbie,C.H.,1946			S ≈ 1:1 - 1:1.5		
Duvivier, Jack , 1947,1949	ศึกษาโครงสร้างแบบสั้น	ความสูงไม่เกิน 3 ฟุต เหนือระดับชายฝั่ง			ศึกษาผลการวางตัวของโครงสร้างเอียง 0°- 20°
Frech,F.F., 1948	ยาวถึงความลึกน้ำ 6 เมตร		S ≈ 1: 1.5		
Jones, J.H.,1948		ควรใช้แบบสูงและทึบน้ำ			
Johnson,J.W.,1948				ควรใช้โครงสร้างแบบทึบน้ำ	
Shay,E.A.,Johnson, J.W., 1951				ควรใช้โครงสร้างแบบทึบน้ำ	
Brater,E.F., 1953, 1948		ควรสูงเหนือระดับน้ำสูงสุด	S ≈ 1:1 - 1:2	ศึกษาโครงสร้างไม่ทึบน้ำ	
Mason,M.A., 1953				ใช้โครงสร้างแบบทึบน้ำ	
Nagai, Shositiro,1956	$\ell = 0.4(a_b)$		S ≈ 1:3		ศึกษาผลการวางตัวของโครงสร้างทำมุม 100°- 110°
"Basic Coastal Model" Hydraulic Research, London 1957		โครงสร้างแบบสูงชนิดทึบน้ำ เมื่อใช้ระยะห่าง 1:1 สามารถดักตะกอนได้มากกว่าแบบเตี้ยชนิดทึบน้ำแต่ชายฝั่งด้านเหนือน้ำจะถูกกัดเซาะ			
Bruun,Per,Gerritsen,F., Morgan, W.H. ,1957		โครงสร้างแบบน้ำทึบน้ำจะทำให้เกิดการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ แนะนำให้ใช้โครงสร้างแบบเตี้ยชนิดน้ำทึบน้ำและปรับไม่ได้ หรือ ใช้โครงสร้างทึบน้ำและสามารถปรับได้สำหรับพื้นที่รัฐฟลอริดา			
Shimano, T., Hom-ma, M., Hongawa, K., Sakou, T., 1957					วางตัวตามทิศทางของตะกอนชายฝั่ง
Nagai, Shositon, Kubo, Hirokara, 1953			S ≈ 1:3 - 1:4		การวางตัวของโครงสร้างขึ้นอยู่กับทิศทางคลื่นและระยะห่างระหว่างโครงสร้าง
Honkawa, Kiyoshi, 1958; Honkawa,K., และ Sonu,C. , 1958	$\ell = (0.4\text{-}0.6)(a_b)$				การวางตัวของโครงสร้างขึ้นอยู่กับความชันคลื่น

HWL. = High water level line , LWL. = Low water level line , a_b= distance from shoreline to breaking point , d = depth of water

หมายเหตุ : แปลและสรุป มาจาก Balsille และ Berg, 1972

สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมนำเสนอไว้ในภาคผนวก ก

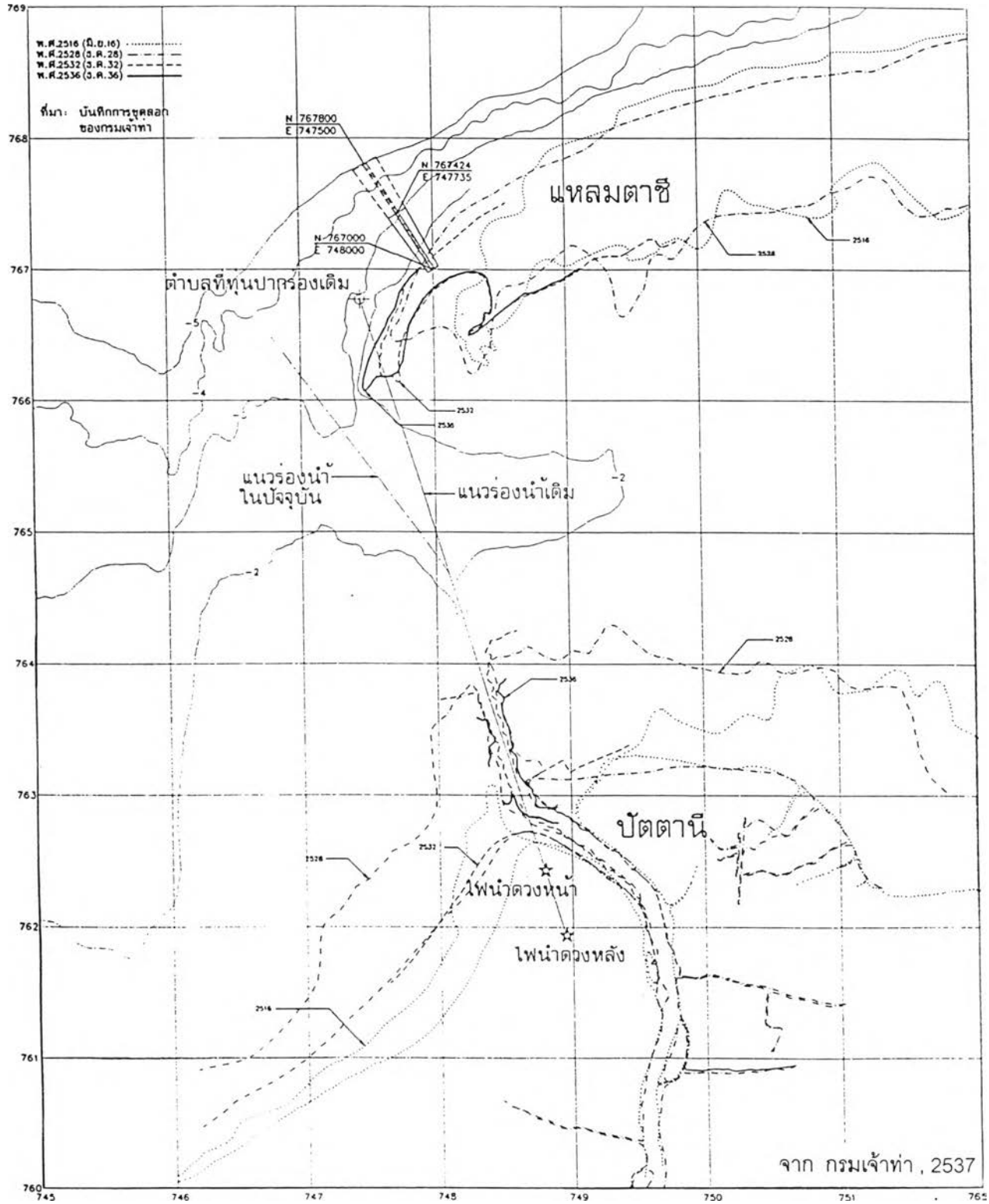
ตาราง 2-1 (ต่อ) การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน

ชื่อผู้ศึกษา,ปี	ผลการศึกษา				
	ความยาว (ℓ)	ความสูง (h)	ระยะห่าง (S)	Permeability,Adjustability	การวางตัว
Wicker, D.F. , 1958		ใช้โครงสร้างแบบสูง		ใช้โครงสร้างแบบทึบน้ำ	
Savage,R.P. , 1959		มีความสูงเฉพาะตามลักษณะชายฝั่ง			
Hiranandini, M.G. , Gole, C.V. , 1961	$\ell \approx$ 200 ฟุต		S < 1:3 S=1:2 สำหรับเมือง Cochin		ใช้โครงสร้างที่ตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง
Lee, C.E. , 1961	ตรวจสอบความยาวของโครงสร้างที่สร้างใน Great Lake		S ขึ้นกับ มุมของคลื่น และความกว้างชายหาดที่ต้องการ	ใน Great Lake ส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างทึบน้ำ	โครงสร้างแบบเอียงมีประโยชน์ไม่คุ้มกับค่าลงทุน
Rayner, A.C. , และ Rector, R.L. , 1961	ศึกษาประโยชน์ของโครงสร้างคันดักตะกอนแบบสั้น				
Kemp, P.H. , 1962	ศึกษาอิทธิพลของ ความยาว ความสูงและ การวางตัวของโครงสร้าง ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่โครงสร้างสามารถดักได้				
Hoyle, J.W. , King, G.T. , 1962				ไม่ควรใช้โครงสร้างไม่ทึบน้ำ	
Bruun,Per และ Manohar,Madhav. 1963,1965	ยาวจนถึง d = 12 - 18 ฟุต	สูงเท่ากับผลรวมของระดับน้ำสูงสุดกับความสูงของ normal wave uprush	S ≈ 1:1.5 - 1:4	ใช้โครงสร้างแบบปรับได้	
Barcelo, J.P., 1963			S ≈ 1:2.5 - 1:4		
Ishihara, Tojiro Sawaragi, Toro, 1964	$\ell \geq$ 60 เมตร สำหรับโครงสร้างรูปตัว T		S ≈ 1:1.5 - 1:2		
Wiegel R.L. , 1964			S ≈ 1:2 - 1:4		
Danham,J.W.,1965	ยาวจนถึงบริเวณที่ทรายมีการยึดตัวกันแน่น				
Shore Protection, Planning and Design Coastal Engineering Reserch Ctr ,T.R. 4 ,1966	ความยาวขึ้นอยู่กับ ชายฝั่งเริ่มต้น ปริมาณตะกอนชายฝั่ง การหักเหของคลื่น และความกว้างของชายหาดที่ต้องการ	มีความสูงเฉพาะตามลักษณะชายฝั่ง	S ≈ 1:2 - 1:3	ศึกษาประโยชน์ของโครงสร้างแบบปรับได้	ใช้โครงสร้างแบบตรงและตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง
Dennis,W.B., 1967					ควรใช้โครงสร้างรูปตัว Y
Price, W.A. , และ Tomlinson, K.W. ,1968			S ≈ 1:1.5 - 1:2	โครงสร้างไม่ทึบน้ำมีผลกระทบน้อยมากต่อตะกอนตามแนวชายฝั่ง	
Barcelo, J.P. , 1970	แบบเอียงต้องยาวกว่าแบบตั้งฉากกับชายฝั่ง เมื่อมีระยะห่างที่เท่ากัน				ศึกษาผลการวางตัวของโครงสร้างทำมุม 70°- 90°
Kolp, Otto 1971	ควรใช้โครงสร้างแบบยาว		S ≈ 1:1	ควรใช้โครงสร้างไม่ทึบน้ำ	
Hongawa, K. ,1978			S ≈ 1:3		ควรวางตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง
Shore Protection Manual Coastal Engr Research, ctr ,1984	ความยาวโครงสร้างขึ้นอยู่กับปริมาณตะกอนที่ต้องการจะเก็บกัก	ออกแบบตามลักษณะรูปตัดตามยาวของชายฝั่ง	S ≈ 1:3		แนะนำให้วางตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง

HWL = High water level line , LWL. = Low water level line , a_b= distance from shoreline to breaking point , d = depth of water

หมายเหตุ : แปลและสรุป มาจาก Balsille และ Berg, 1972

สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมนำเสนอไว้ในภาคผนวก ก



รูป 2-15 โครงการสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นแหลมตาชี จ.ปัตตานี