

การป้องกันชายฝั่งด้วยโครงสร้างห้วยหาด

ในบทนี้จะกล่าวถึงการป้องกันชายฝั่งด้วยโครงสร้างห้วยหาดที่ผ่านมา ซึ่งล้วนแต่เป็นการป้องกันชายฝั่งในต่างประเทศทั้งสิ้น การออกแบบโครงสร้างห้วยหาดเพื่อป้องกันชายฝั่งนั้นแต่ละแห่งก็มีวิธีการแตกต่างกันออกไป แต่มีเป้าหมายที่เหมือนกันคือ การทำให้ชายฝั่งสมดุลเพื่อหยุดยั้งการกัดเซาะ/ถดถอยของชายฝั่งต่อไป วิธีการออกแบบที่ผ่านมามีหลายวิธีด้วยกัน เช่น ออกแบบโดยวิธีทดลองและปรับแก้ (trial & error) บ้าง โดยใช้แบบจำลองกายภาพบ้าง โดยพิจารณาจากการป้องกันชายฝั่งที่ผ่านมาบ้าง ฯลฯ การศึกษาในบทนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำรูปแบบการป้องกันชายฝั่งที่เกิดขึ้น ใช้สรุปเป็นบรรทัดฐานและจะนำไปใช้กับชายฝั่งพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป

5.1 โครงการปรับปรุงชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศสิงคโปร์

(East Coast Reclamation Scheme, Singapore)

การศึกษานี้ เป็นการศึกษาการใช้งานของเขื่อนกันคลื่นในฐานะห้วยหาดป้องกันชายฝั่ง ซึ่งใครรวบรวมมาจาก Silvester and Ho [32], Wong [33], Chew-Wong-Chin [34] และ Wong [35] โดยมุ่งเน้นถึงการก่อกำแพงชายฝั่งระหว่างเขื่อนกันคลื่นแยก ปัจจุบันโครงการนี้จัดได้ว่าเป็นโครงการป้องกันชายฝั่งด้วยเขื่อนกันคลื่นแยกที่ใหญ่ที่สุด มีจำนวนเขื่อนมากกว่า 50 เขื่อน ใช้ป้องกันชายฝั่งที่มีความยาวกว่า 11 กม. ตามแนวชายฝั่งด้านตะวันออกของประเทศสิงคโปร์ โครงการนี้ได้เริ่มต้นในปี 1962 จากโครงการป้องกันชายฝั่งสนามบินที่ Bedox ต่อมาในปี 1966 ได้ขยายมาเป็นโครงการปรับปรุงชายฝั่งขนาดใหญ่ (ดูรูป 5-1) โดยแบ่งออกเป็น 7 ระยะใช้งบประมาณ 613 ล้านดอลลาร์สิงคโปร์ ดังแสดงในตาราง 5-1

### 5.1.1. รูปแบบเขื่อนกันคลื่นแยก

โครงการปรับปรุงชายฝั่งในระยะที่ 1 ได้เริ่มตนป้องกันชายฝั่งด้วยโครงสร้างกำแพงชายฝั่ง (seawall) ชนิดหินก่อ และถมทรายคานหน้าโครงสร้างเป็นชายหาดยื่นออกไปสู่ทะเล ต่อมาพบว่าเกิดการกัดเซาะเป็นโพรงบริเวณใต้โครงสร้างกำแพง จึงแก้ไขด้วยการทิ้งหินลงบริเวณเชิงกำแพงตอนล่าง และสร้างคันค้ำตะกอน (groin) สั้น ๆ บริเวณหน้าโครงสร้างกำแพง แต่ก็ยังไม่สามารถหยุดยั้งการกัดเซาะได้ ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการแก้ไขและบำรุงรักษามีราคาสูง ดังนั้นจึงหยุดสร้างกำแพงในปี 1968 และเริ่มใช้เขื่อนกันคลื่นแยกแทน พร้อมกันนั้นก็ได้ติดตามการเปลี่ยนแปลงอย่างใกล้ชิด และต่อมาได้ขยายผลไปใช้ในโครงการระยะที่ 2, 4 และ 6 ลักษณะเขื่อนกันคลื่นแยกที่ใช้มี 2 ชนิดด้วยกัน ซึ่งมีขนาดและการวางตำแหน่ง ดังนี้

- 1) เขื่อนชนิด Gabion (ดูรูป 5-2(ก)) ตั้งอยู่บริเวณนอกฝั่งที่ได้รับการถมทราย เขื่อนชนิดนี้สร้างด้วยลวดเหล็กหุ้ม P.V.C. สานเป็นกล่อง มีขนาด 2.0x1.0x1.0 ม., 3.0x1.0x1.5 ม. ภายในบรรจุด้วยหินขนาด 0.20 ถึง 0.3 ม. ตัวเขื่อนประกอบด้วยกล่องลวดบรรจุหินจำนวน 3 ชั้น มีฐานเขื่อนอยู่ที่ระดับ LOWST และสันเขื่อนอยู่ที่ระดับ 0.9 ม. เหนือ HWOST ความยาวเขื่อนมีค่าระหว่าง 28 ถึง 46 ม. ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการวางเขื่อนที่ห่างจากขอบชายฝั่งที่ถมทราย ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 30 ถึง 60 ม. ความยาวเขื่อนที่สั้นที่สุดประมาณ 1.5 เท่าของความยาวคลื่น ระยะห่างระหว่างเขื่อนเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 120 ถึง 240 ม. ซึ่งหาได้จากระยะที่ยอมให้ชายฝั่งระหว่างเขื่อนเกิดการถดถอย ซึ่งมีค่าประมาณ 25 ถึง 30% ของระยะห่างระหว่างเขื่อน
- 2) เขื่อนชนิด Riprap (รูป 5-2(ข)) ตั้งอยู่บริเวณขอบชายฝั่งที่ได้รับการถมทราย ลักษณะเขื่อนมีลาดคานหน้า (หันสู่ทะเล) 1:2 ลาดคานหลัง 1:1.5 แกนเขื่อนเป็นดินถมอัดแน่นปูคลุมด้วย vynilon sheet เพื่อกันดินหนีออกจากแกนเขื่อนจากแรงกระทำของคลื่น แล้วปูทับด้วยหินเรียง 3 ชั้นหนาประมาณ 1 ม. หินชั้นล่างมีขนาด 0.10 ถึง 0.15 ม. หนา 0.20 ม. หินชั้นที่สองมีขนาด 0.15 ถึง 0.30 ม. หนา 0.30 ม. หินชั้นบนสุดมีขนาด 0.5 ม. เรียงแถวเดียว มีฐานเขื่อนอยู่ที่ระดับ 0.4 ม. ต่ำกว่า LOWST สันเขื่อนอยู่ที่

ระดับ 1.6 ม.เหนือ HWOST ระยะทางระหว่างเขื่อนมีค่าตั้งแต่ 300 ถึง 360 ม. ความยาวเขื่อนมีค่าตั้งแต่ 55 ถึง 67 ม. ขนาดและการวางตำแหน่งเขื่อนจะไม่ทำให้เขื่อนกลายเป็นเกาะนอกฝั่ง (offshore island) รูปร่างชายฝั่งระหว่างเขื่อนสามารถหาได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง logarithmic spiral constant กับทิศทางและการเคลื่อนที่ของคลื่นที่เสนอโดย Silvester [20]

### 5.1.2 การศึกษาขบวนการชายฝั่ง

การศึกษาขบวนการชายฝั่งในบริเวณนี้ ได้ทำการวัดข้อมูลลม, การขึ้นลงของน้ำ, คลื่น และการสำรวจขนาดและลักษณะของเม็ดดิน

ข้อมูลลม ได้ทำการวัดที่บริเวณทางจากทะเล 1.2 กม. เหนือระดับน้ำทะเลกลาง 10 ม. พบว่าลมในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่เกิดบ่อยมีทิศทางจาก N-NEE มักมีความเร็วต่ำกว่า 5 เมตร/วินาที ส่วนลมนอกช่วงมรสุมมีทิศทางจากตะวันออกเฉียงใต้ (southeast quadrant) มีความเร็ว 2 ถึง 3 เมตร/วินาที

การขึ้นลงของน้ำมีความต่างระดับเฉลี่ยประมาณ 2.64 ม. ความต่างของระดับน้ำขึ้นลงสูงสุดวัดได้เมื่อ 11 กพ. 1974 มีค่าถึง 3.49 ม.

ข้อมูลคลื่น ได้ทำการเก็บข้อมูลในระหว่างเดือนสิงหาคม 1972 ถึง กรกฎาคม 1973 โดยทำการวัดในบริเวณที่น้ำทะเลมีความลึก 35 เมตร วัดทุกระยะ 2 ชม. ในระหว่างเวลา 8.30 น. ถึง 17.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สามารถหาทิศทางได้ จากการศึกษาพบว่าในช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ คลื่นสูงสุด (maximum wave height)  $H_{max}$  มีค่า 1.1 เมตร  $H_{max}$  ที่มีโอกาสเกิดมากกว่า 65% มีค่าไม่เกิน 0.6 ม.  $T$  ที่มีค่าต่ำกว่า 4 วินาที มีโอกาสเกิดมากกว่า 90% ส่วนช่วงนอกมรสุม  $H_{max}$  ที่เกิน 0.6 ม. มีโอกาสเกิดน้อยกว่า 10%  $T$  ที่เกิดบ่อยมีค่า 3 วินาที ทิศทางที่คลื่นเคลื่อนที่เข้ามาบ่อยที่สุดได้แก่ทิศตะวันออกเฉียงใต้ (south east quadrant) ซึ่งก่อให้เกิดตะกอนตามแนวชายฝั่งไปยังทิศตะวันตก ส่วนความสูงคลื่นนัยสำคัญ (significant wave height)  $H_s$  และคาบเวลากคลื่น (wave period)  $T$  สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$H_s = 0.087U$$

$$T = 3.154U^{-0.2}$$

โดยที่  $U$  คือความเร็วลมที่วัดได้บนฝั่ง

การสำรวจขนาดและลักษณะของตะกอนบริเวณชายฝั่ง ด้วยการใช้ตัวอย่างจากชายฝั่งบริเวณเขื่อนกันคลื่นในโครงการระยะที่ 4 ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

- 1) จากการสำรวจเมื่อเดือนกรกฎาคม 1972 พบว่า ตะกอนมีขนาดระหว่าง 0.03 ถึง 0.66 มม. ขนาดเฉลี่ยของตะกอนมีค่าเท่ากับ 0.19 มม.
- 2) จากการสำรวจเมื่อเดือนพฤษภาคม 1973 ในขณะที่น้ำทะเลอยู่ในระดับปานกลาง พบว่า ตะกอนมีขนาดระหว่าง 0.5 ถึง 1.9 มม. ขนาดเฉลี่ยของตะกอนมีค่าเท่ากับ 0.97 มม. บริเวณรอบเขื่อนสังเกตุพบตะกอนขนาดใหญ่ และมีการเรียงตัวของตะกอนไม่ดี ส่วนชายฝั่งระหว่างเขื่อนพบว่ามี การเรียงตัวของตะกอนดี
- 3) จากการสำรวจเมื่อเดือนสิงหาคม 1973 ในขณะที่น้ำทะเลอยู่ในระดับปานกลาง ใต้แบ่งชายฝั่งออกเป็นสามส่วน ได้แก่ ชายฝั่งส่วนบน ชายฝั่งส่วนกลาง และชายฝั่งส่วนล่าง พบว่า ชายฝั่งส่วนบนและส่วนกลางถูกปกคลุมด้วยตะกอนที่มีขนาดระหว่าง 0.26 ถึง 0.40 มม. และ 0.40 ถึง 1.00 มม. ขนาดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.30 มม. และ 0.63 มม. ตามลำดับ ทั้งชายฝั่งส่วนบนและส่วนกลาง มักพบตะกอนที่มีขนาดใหญ่ในบริเวณใกล้เขื่อนมากกว่าบริเวณระหว่างเขื่อน และมีลักษณะการเรียงตัวของตะกอนค่อนข้างดี ส่วนชายฝั่งส่วนล่างถูกปกคลุมด้วยตะกอนที่มีขนาดระหว่าง 0.25 มม. ถึง 1.90 มม. ขนาดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.76 มม. ชายฝั่งส่วนล่างมักพบตะกอนละเอียดในบริเวณใกล้เขื่อน และมีลักษณะการเรียงตัวของตะกอนค่อนข้างเลว

### 5.1.3 การก่อรูปของชายหาดระหว่างเขื่อน

การก่อรูปของชายหาดระหว่างเขื่อน สามารถแบ่งตามขั้นตอนของการก่อรูปออกได้เป็น 3 แบบ โดยพิจารณาจากความลาดชายหาด ลักษณะตะกอนบริเวณชายหาด และลักษณะของหัวคัน (berm) ได้ดังนี้

- 1) ชายหาดแบบที่ 1 (beach type I) เป็นชายหาดที่ผิวหน้าถูกปกคลุมด้วยทรายและกรวดไม่ตลอดแนว มีความลาดชายหาดค่อนข้างชัน
- 2) ชายหาดแบบที่ 2 (beach type II) เป็นชายหาดที่ผิวหน้าถูกปกคลุมด้วยทรายและกรวดตลอดแนว และเกิดการก่อตัวของหัวคันแต่เกิดขึ้นไม่ตลอดแนว
- 3) ชายหาดแบบที่ 3 (beach type III) มีลักษณะคล้ายชายหาดแบบที่ 2 แต่ต่างที่ชายหาดแบบนี้มีทรายเพียงพอที่จะก่อตัวเป็นหัวคันได้ตลอดแนว และด้านหลังหัวคันยังมีส่วนลาดชัน (scarp) ขึ้นต่อไปยังชายฝั่ง ชายหาดแบบนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการก่อรูป

ตัวอย่างรูปแบบชายหาดระหว่างเขื่อน (cell) ในโครงการระยะที่ 1 และ 2 ได้แสดงในรูป 5-3 ซึ่งแสดงให้เห็นตัวอย่างลักษณะชายหาดในช่วงปี 1972 ถึง 1974 ส่วนรูป 5-4 ได้แสดงลักษณะชายฝั่งตลอดแนวโครงการระยะที่ 1 และ 2 และภาพถ่ายตัวอย่างลักษณะชายฝั่งได้แสดงในรูป 5-5 และ 5-6

จากการติดตามการก่อรูปของชายหาดระหว่างเขื่อน พบว่า ขึ้นอยู่กับชนิดและการวางตำแหน่งของเขื่อน ดังในรูป 5-7 ซึ่งในรูปนี้แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการก่อรูปด้วย และจากชนิดและการวางตำแหน่งเขื่อน สามารถแบ่งชายหาดออกได้เป็น

- 1) ชายหาดสถานภาพ A (situation A) เป็นชายหาดที่อยู่ระหว่างเขื่อนชนิด gabion
- 2) ชายหาดสถานภาพ B (situation B) เป็นชายหาดที่อยู่ระหว่างเขื่อนชนิด riprap และมีระยะการถล่มทรายที่หน้าเขื่อนไม่มากนัก
- 3) ชายหาดสถานภาพ C (situation C) เป็นชายหาดที่อยู่ระหว่างเขื่อนชนิด riprap และมีระยะการถล่มทรายที่หน้าเขื่อนเป็นบริเวณกว้าง

- 4) ชายหาดสถานภาพ D (situation D) เป็นชายหาดที่อยู่ระหว่างเขื่อน ซึ่งมีทางระบายน้ำทำหน้าที่เสมือนคันค้ำตะกอนคันระหว่างเขื่อน

#### 5.1.4 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ได้ศึกษาจากโครงการระยะที่ 4 โดยทำการสำรวจเมื่อเดือนตุลาคม 1972, เมษายน และตุลาคม 1973 เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่าแนวชายฝั่งระหว่างเขื่อนจะเปลี่ยนเป็นรูปตัว J ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงฤดูกาลดังต่อไปนี้

- 1) ช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ จะเกิดการกัดเซาะที่ชายฝั่งส่วนหน้า (fore-shore) ทางด้านเหนือน้ำ และเกิดการทับถมของตะกอนทางด้านท้ายน้ำ จนกระทั่งก่อรูปเป็นหัวคัน (berm) ที่มีแนวตรง ความลาดเฉลี่ยของชายหาดด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำมีค่า 1:10 และ 1:8 ตามลำดับ ในช่วงปลายมรสุมพบว่าชายหาดด้านเหนือน้ำต่ำกว่าด้านท้ายน้ำประมาณ 0.5 ม.
- 2) ช่วงนอกมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เกิดการกัดเซาะด้านท้ายน้ำที่เป็นแนวตรง และเกิดการทับถมด้านเหนือน้ำที่เป็นแนวโค้ง ความลาดเฉลี่ยของชายหาดด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำมีค่า 1:9 และพบว่าชายหาดด้านเหนือน้ำสูงกว่าด้านท้ายน้ำประมาณ 0.9 ม.

จากการสำรวจเส้นชั้นความลึกของท้องทะเลเมื่อเดือนตุลาคม 1972 และเมษายน 1973 ซึ่งเป็นช่วงมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า การกัดเซาะบริเวณนอกฝั่งเกิดจากแรงกระทำของคลื่นจากด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ (southeast quadrant) ทั้งยังก่อให้เกิดการกระจายและหักเหของคลื่นบริเวณชายฝั่ง ทำให้เกิดการถดถอยของชายฝั่งด้านเหนือน้ำและก่อรูปเป็นอ่าวรูปตัว J ส่วนในช่วงเดือนเมษายน 1973 ถึงตุลาคม 1973 ซึ่งเป็นช่วงนอกมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่าโดยทั่วไปจะเกิดการทับถม ซึ่งเกิดจากแรงกระทำของคลื่นจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) ถึงตะวันตกเฉียงใต้ค้อมมาทางใต้ (SSW) รูปชายฝั่งที่เกิดขึ้นยังคงเป็นรูปตัว J แต่หากใช้ความสัมพันธ์ระหว่างมุมคงที่ของ logarithmic spiral ( $\gamma$ ) และทิศทางคลื่น ( $\beta$ ) (จาก silvester [20]) นำมากำหนดหารูปปร่างชายฝั่งที่สมดุลระหว่างเขื่อน พบว่าจะต้องเกิดการถดถอยของชายฝั่งขึ้นอีกจึงจะเข้าสู่สภาพสมดุล ดังในรูป 5-8 ซึ่งกำหนดให้

คลื่นที่มีอิทธิพลต่อรูปชายฝั่งใดแก คลื่นที่เคลื่อนที่มาจากด้านตะวันออกเฉียงใต้

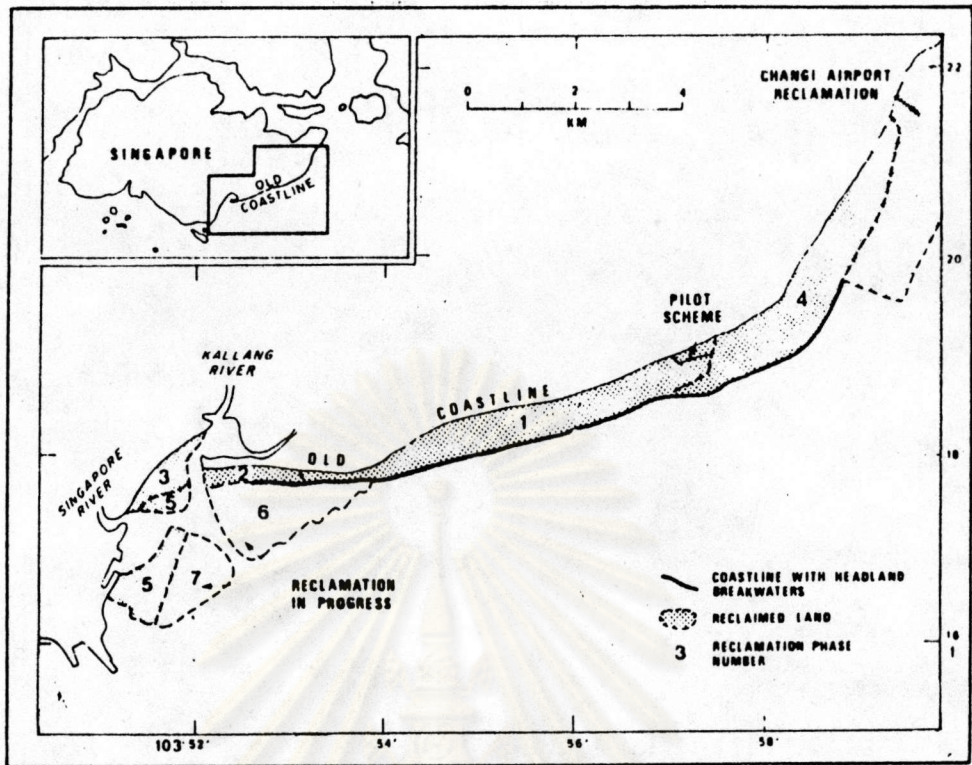
จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะถดถอยต่อช่องว่างระหว่างเขื่อน (a/b) กับทิศทางคลื่น ( $\beta$ ) ที่เกิดขึ้นตลอดแนวชายฝั่งโครงการระยะที่ 1, 2 และ 4 พบว่า เมื่อนำความสัมพันธ์ดังกล่าวไปกำหนดจุดลงในรูป 5-9 จุดที่ได้จะอยู่ใต้เส้นสมมูลย์ที่ได้จากการศึกษาของ Silvester และ Ho ในปี 1973 ทั้งนี้เป็นเพราะ

- 1) กระแสน้ำที่เคลื่อนตามแนวชายฝั่งจากด้านตะวันออกไปยังด้านตะวันตก ไค่นำเอาตะกอนมาทับถมบริเวณชายฝั่ง
- 2) พลังงานคลื่นในบริเวณนี้มีค่าน้อย เนื่องจากความสูงคลื่นสูงสุด,  $H_{max}$  มีค่าประมาณ 1.1 ม.

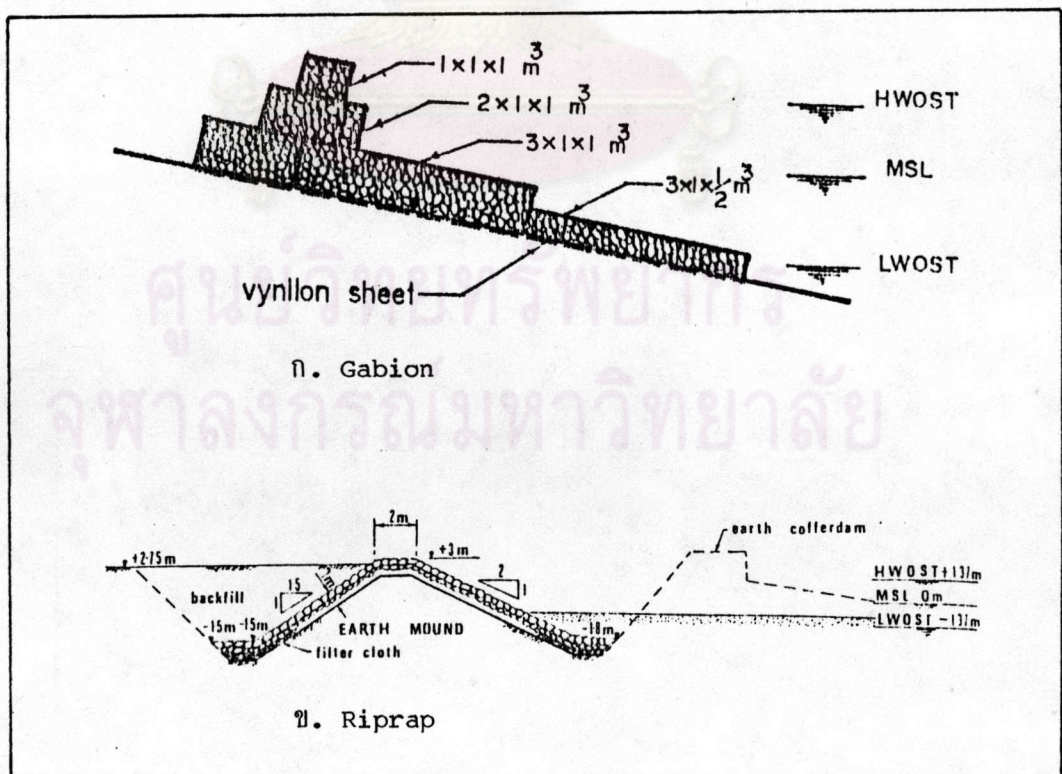
เมื่อความสัมพันธ์ในรูป 5-9 ไม่สามารถกำหนดลักษณะชายฝั่งสมมูลย์ในบริเวณนี้ได้ จึงพิจารณาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการก่อรูปชายฝั่ง โดยการพิจารณาจากแนวชายหาดระหว่างเขื่อน (cell's alignment) สัมพันธ์กับแนวหัวคัน (berm's alignment) ดังในรูป 5-10 เป็นความสัมพันธ์ของชายหาดแบบที่ 3 (beach type III) ซึ่งเข้าสู่สภาพสมมูลย์

ตาราง 5-1 แสดงพื้นที่, งบประมาณ และระยะเวลาก่อสร้างโครงการปรับปรุงชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศสิงคโปร์ [35]

โครงการระยะที่	พื้นที่ปรับปรุง (เฮกเตอร์)	จำนวนเงิน (ล้านดอลลาร์สิงคโปร์)	ในช่วงปี
1	405	45	1966-70
2	53	10	1970-71
3	67	23	1971-75
4	486	44	1971-76
5	154	106	1974-77
6	234	385	1979-85
7	126		

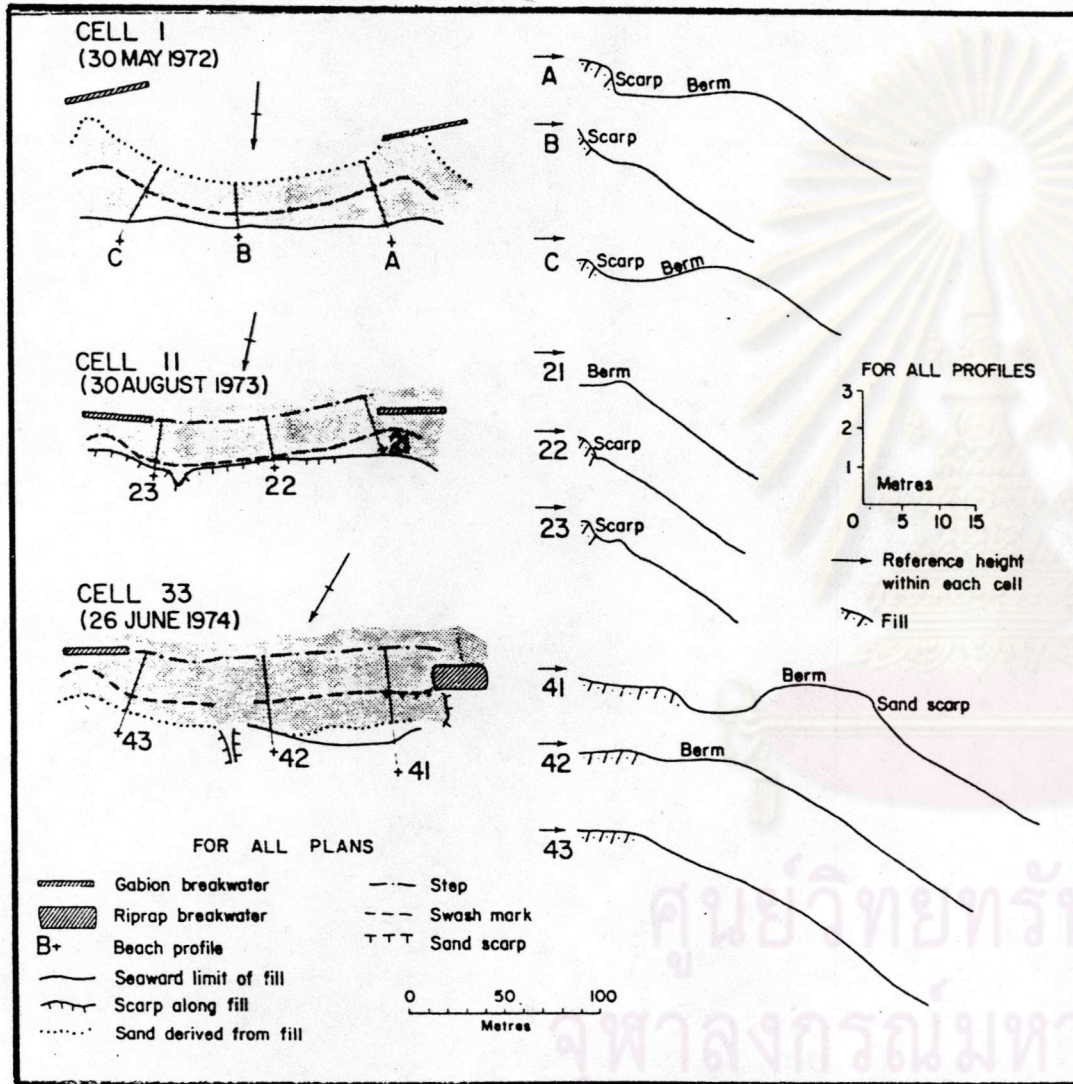


รูป 5-1 แผนที่สังเขปโครงการปรับปรุงชายฝั่งทะเลตะวันออกของประเทศสิงคโปร์ [35]

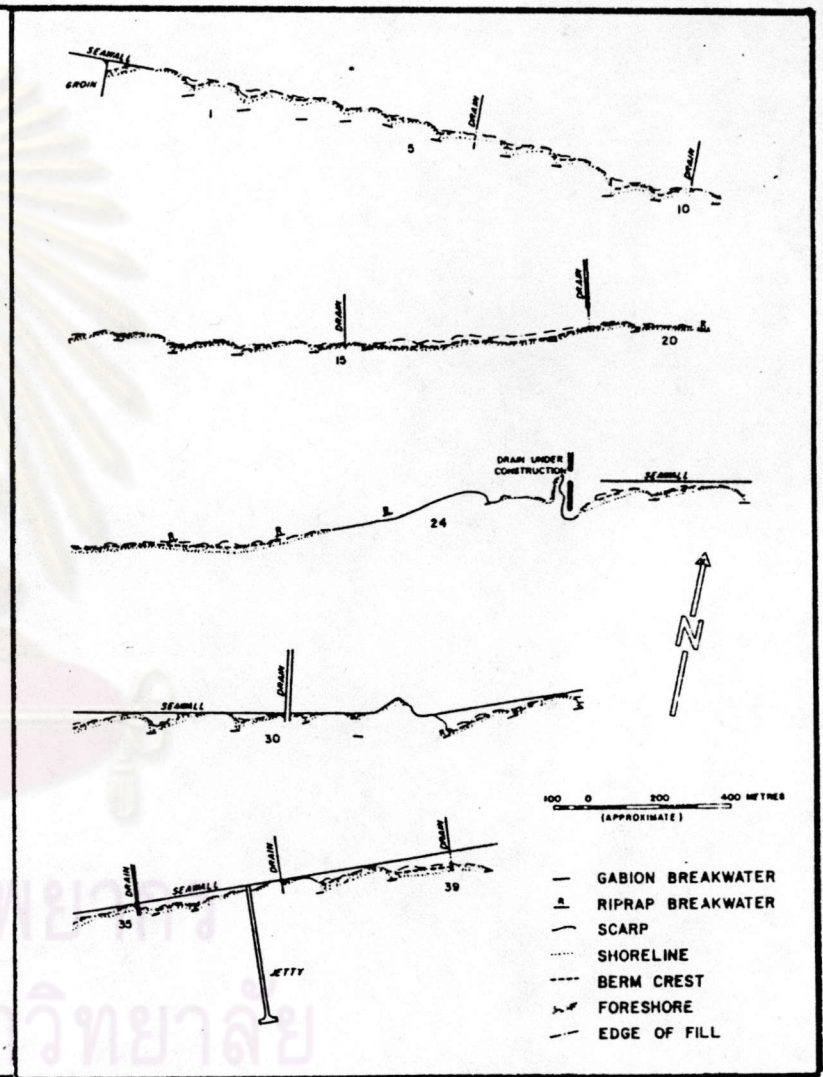


รูป 5-2 ลักษณะเขื่อนกันคลื่น [34]

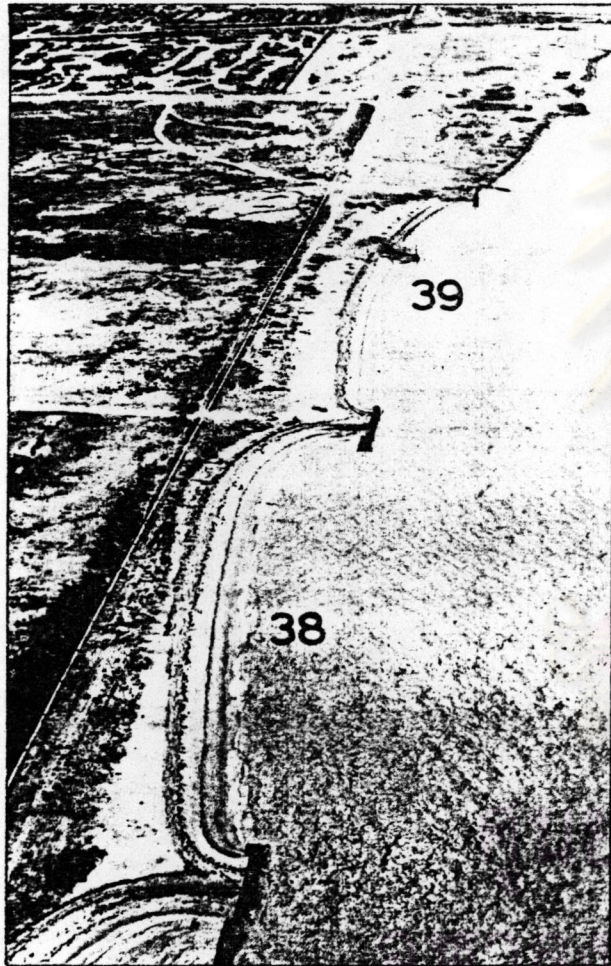




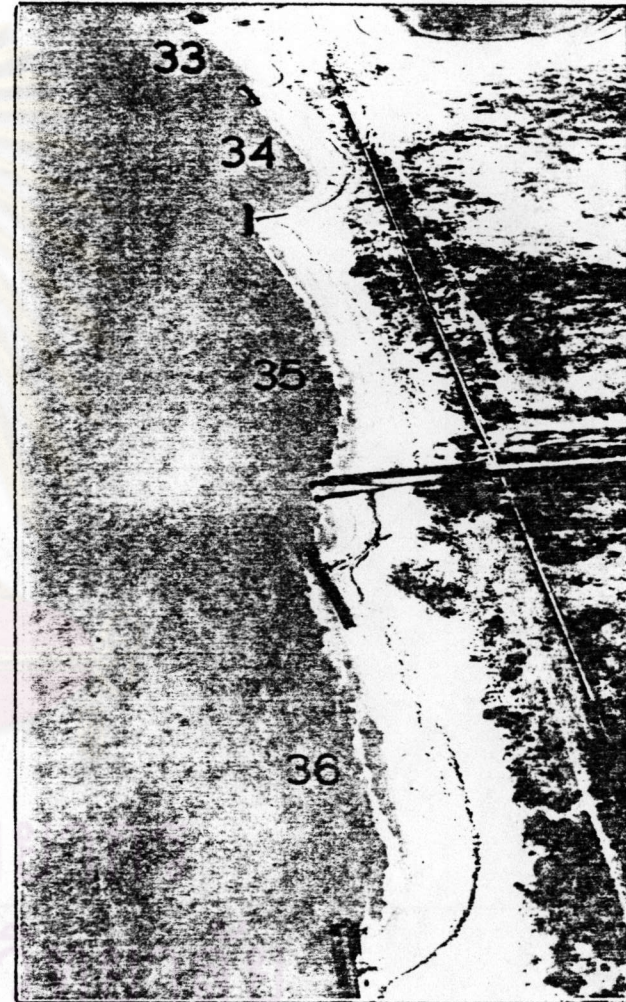
รูป 5-3 ลักษณะแนวและรูปตัดชายหาดระหว่างช่องว่างเขื่อน (cell) ในโครงการระยะที่ 1 และ 2 [33]



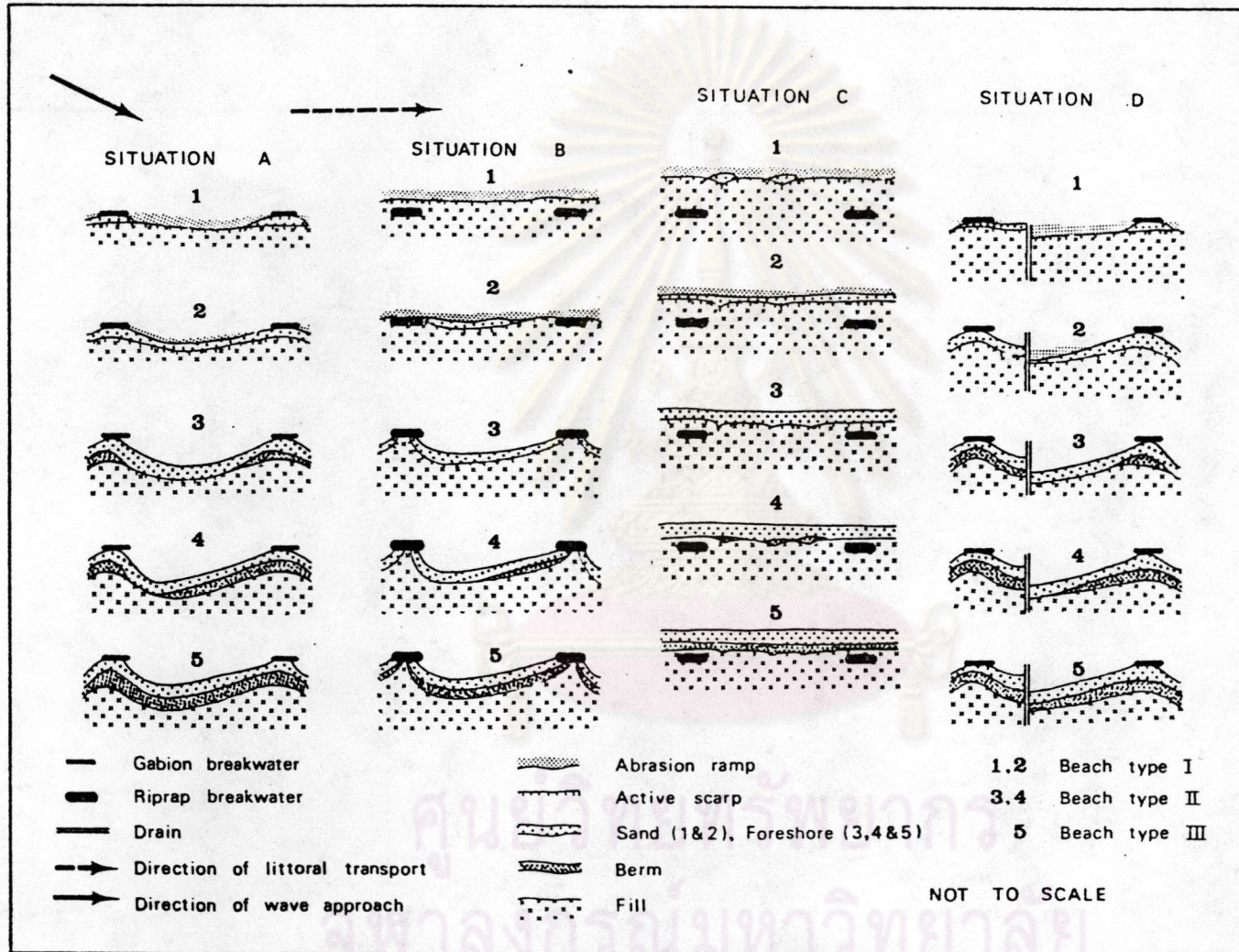
รูป 5-4 ลักษณะชายฝั่งโครงการระยะที่ 1 และ 2 ในเดือนมกราคม 1974 [35]



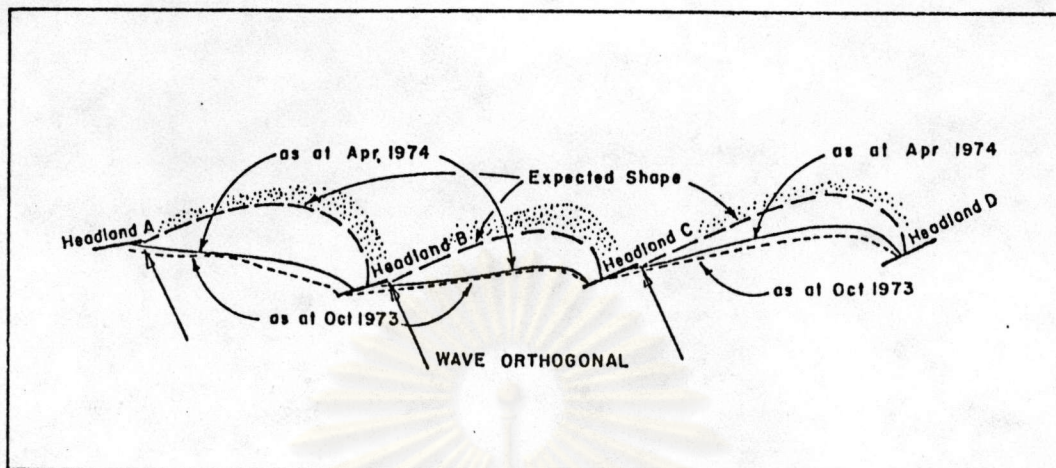
รูป 5-5 สภาพชายฝั่งตั้งแต่ชายหาดระหว่างเขื่อน (cell) 38 [33]



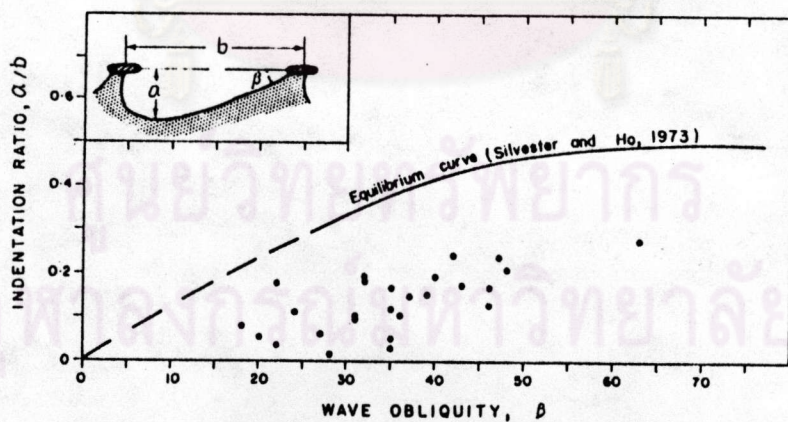
รูป 5-6 ชายหาดระหว่างเขื่อน (cell) 36 ถึง 33 เกิดหัวคัน (berm) เป็นบริเวณกว้าง [33]



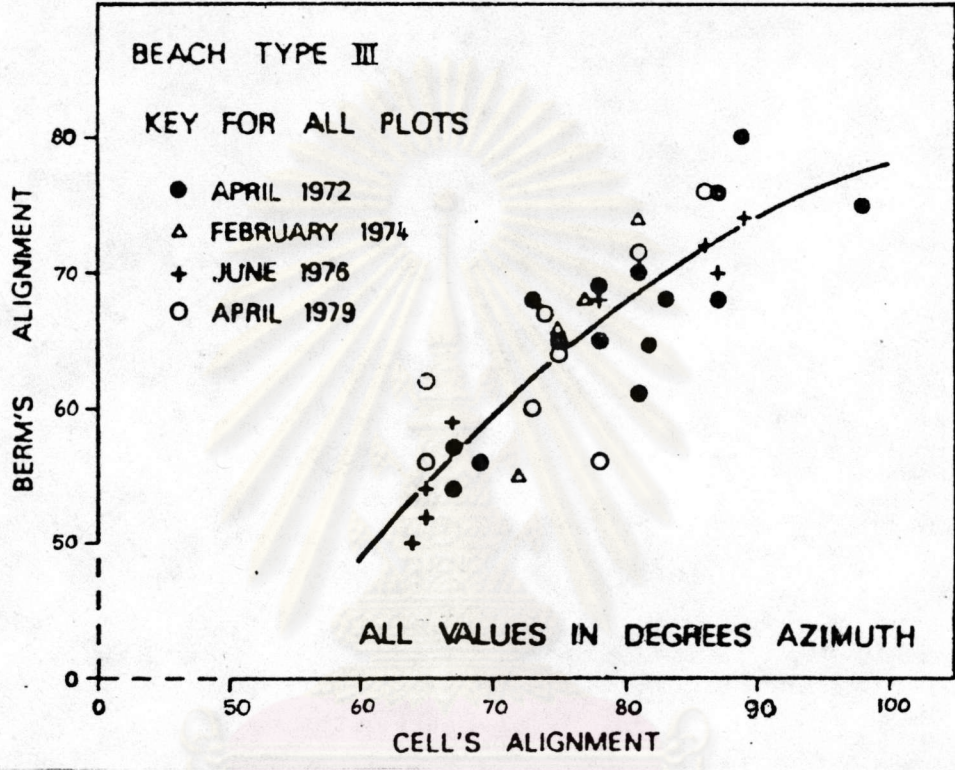
รูป 5-7 การกรอรูปชายหาดระหว่างเขื่อนกันคลื่น [35]



รูป 5-8 ลักษณะชายฝั่งสมมุติจากการทำนายโดย Silvester [34]



รูป 5-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\frac{a}{b}$  กับ  $\beta$  [33]



รูป 5-10 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวชายหาดระหว่างเขื่อน (cell) กับแนวหัวคัน (berm) [33]

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 5.2 การป้องกันชายฝั่งทะเลในประเทศไทย

ในปี 1974 และ 1982 Toyoshima [36],[37] ได้ศึกษารวบรวมผลการดำเนินงานป้องกันชายฝั่งที่ผ่านมามีในประเทศไทย ตั้งแต่ในปี 1962 จนกระทั่งถึงปี 1982 เพื่อพยายามนำมาสรุปเป็นบรรทัดฐานในออกแบบระบบเขื่อนกันคลื่นแยกจากการศึกษาพบว่าชายฝั่งประเทศไทยที่ได้รับการป้องกันด้วยคันคักตะกอนและเขื่อนกันคลื่นแยกมีอัตราการเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูป 5-11 เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเพิ่มขึ้นของโครงสร้างทั้งสองพบว่า คันคักตะกอนเพิ่มขึ้น 1.84 เทา (10,043/5,448) ส่วนเขื่อนกันคลื่นแยกเพิ่มขึ้น 11.24 เทา (2,305/205) ข้อมูลที่นำมาใช้สรุปผลการศึกษาออกแบบระบบเขื่อนกันคลื่นแยกได้จากเขื่อนที่สร้างขึ้นแล้วจากสถานที่ 86 แห่ง ซึ่งมีจำนวนเขื่อนรวมทั้งหมด 217 เขื่อน การแจกแจงชนิดของเขื่อนกันคลื่นแบ่งออกได้เป็น

- 1) เขื่อนต่อเนื่อง (continuous breakwater) เป็นเขื่อนที่มีลักษณะเป็นพืดยาวติดต่อกัน
- 2) เขื่อนเดี่ยว (single breakwater) เป็นเขื่อนสั้น สร้างขึ้นเพียงเขื่อนเดี่ยว มีลักษณะเป็นเกาะ
- 3) เขื่อนกลุ่ม (group breakwater) มีจำนวนตั้งแต่ 2 เขื่อนขึ้นไป โดยวางแยกออกจากกัน

จำนวนการแจกแจงของเขื่อนแต่ละชนิดได้แสดงในตาราง 5-2 สำหรับเขื่อนต่อเนื่อง ส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นก่อนปี 1960 จากการติดตามผลพบว่า การทับถมของตะกอนทรายตลอดแนวหลังเขื่อนมีปริมาณน้อยกว่าเขื่อนเดี่ยวและเขื่อนกลุ่ม และบริเวณด้านหลังเขื่อนไม่เกิดการก่อรูป tombolo แต่ใช้ทำลายพลังงานคลื่นได้ผลดี การทำหน้าที่ของเขื่อนทั้ง 86 แห่งสามารถแบ่งตามจุดประสงค์ได้ 2 อย่าง ได้แก่ เพื่อทำลายพลังงานคลื่น และเพื่อให้เกิดการทับถมของตะกอนทราย ผลของการทำหน้าที่ของเขื่อนได้แสดงในตาราง 5-3

จากสถิติข้อมูล ความยาวเขื่อน, ระยะทางจากชายฝั่ง, ความลึกของน้ำที่ตำแหน่งเขื่อน, ช่องว่างระหว่างเขื่อน และความสูงของสันเขื่อนเหนือระดับน้ำสูงสุด นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างกัน ปรากฏว่า จากรูป 5-12 ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกับระยะทางจากชายฝั่ง ในรูป 5-13 ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกับความลึกของน้ำที่ตำแหน่งเขื่อน แต่โดยส่วนมากเขื่อนจะวางอยู่ในตำแหน่งที่มีความลึกของน้ำระหว่าง 1 ถึง 2

เมตร ในรูป 5-14 พบว่า ช่องว่างระหว่างเขื่อนส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 50 เมตร และไม่มี ความสัมพันธ์กับระยะทางจากชายฝั่ง ในรูป 5-15 พบว่าสันเขื่อนส่วนใหญ่มีความสูงเหนือระดับ น้ำทะเลตั้งแต่ 0 ถึง 2 เมตร และจากการศึกษาของประกอบการทับถมของตะกอนทรายและ กอรูป tombolo โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อน (ไม่รวมเขื่อนต่อเนื่อง) กับระยะทางจากชายฝั่ง และความสูงสันเขื่อนกับความลึกของน้ำ ได้แสดงในรูป 5-16 ซึ่งก็ไม่ พบความสัมพันธ์ระหว่างกัน

การแบ่งเขื่อนกันคลื่นออกตามลักษณะโครงสร้างและวัสดุ สามารถแบ่งออกได้ดังใน ตาราง 5-4 ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะโครงสร้างของเขื่อนที่ใช้มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาจาก โครงสร้างชนิดทึบ (impermeable) เป็นชนิดโปร่ง (permeable) ส่วนวัสดุที่ใช้มักมีรูปร่างเป็น tetrapods และเป็นจำพวก armour block จากตาราง 5-4 ไม่สามารถชี้ชัดได้ว่า ลักษณะ โครงสร้างชนิดใดที่เหมาะสมสำหรับเขื่อนกันคลื่น แต่พอสันนิษฐานได้ว่า โครงสร้างชนิดโปร่ง ควรจะมีข้อดีกว่าชนิดทึบ ส่วนการทรุดตัวที่ฐานรากของเขื่อนพบว่า มักมีการทรุดตัวเกิดขึ้น แทบทั้งสิ้น นอกจากจะสร้างบนท้องทะเลที่เป็นหิน อย่างไรก็ตามยังไม่พบรูปแบบของฐานราก ที่จัดว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

จากการศึกษาทางสถิติ ไม่พบองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการทับถมของตะกอนทรายและ การกอรูป tombolo จึงเสนอบรรทัดฐานการออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก โดยอาศัยผลการดำเนินงานที่ผ่านมา ซึ่งจากการพิจารณาควรแบ่งออกตามตำแหน่งที่ตั้งของเขื่อน ได้ดังนี้

- 1) ระบบไกลชายฝั่ง (shoreline system) โดยทั่วไปการสร้างเขื่อนไกล ชายฝั่งมีจุดประสงค์ เพื่อป้องกันการกัดเซาะด้านหน้าของโครงสร้างกำแพง ป้องกันชายฝั่ง และเพื่อรักษาสภาพชายฝั่งให้มีลักษณะคงเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง การวางตำแหน่งเขื่อนควรวางในบริเวณที่ความลาดของชายฝั่งเริ่มชัน และเป็น บริเวณที่การทับถมของตะกอนทรายสามารถเกิดขึ้นได้บ้าง ความยาวเขื่อนควร อยู่ในระหว่าง 2 ถึง 3 เท่าของความยาวคลื่น ซึ่งมีค่าประมาณ 40 ถึง 60 เมตร และช่องว่างระหว่างเขื่อนควรมีค่าเท่ากับความยาวคลื่น ซึ่งมีค่า ประมาณ 20 เมตร ส่วนปัญหาที่จะติดตามมาจากเขื่อนชนิดนี้คือ ปัญหาการ กัดเซาะบริเวณด้านหน้าเขื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีการสร้างเขื่อนหน้ากับ ทะเลเปิด

- 2) ระบบความลึกน้อย (shallow water depth system) เชื่อกันคลื่นในระยะนี้ควรสร้างบนบริเวณที่มีความลึกของน้ำน้อยกว่า 1 เมตร และควรสร้างบนชายฝั่งที่ค่อนข้างเรียบ หรือบนชายฝั่งที่มีระยะการขึ้นลงของน้ำค่อนข้างมาก การทับถมของตะกอนทรายจะเกิดขึ้นอย่างแน่นอน ถึงแม้ว่าปริมาณการสะสมของทรายอาจจะไม่มากนักในบางกรณี การใช้เชือกแบบนี้สามารถกักตะกอนทรายและสกัดกั้นกระแสน้ำตามชายฝั่งได้ดีกว่าระบบไกลชายฝั่ง ความยาวเชือกควรอยู่ระหว่าง 3 ถึง 5 เท่าของความยาวคลื่น ซึ่งมีค่าประมาณ 60 ถึง 100 เมตร และช่องว่างระหว่างเชือกควรมีค่าเท่ากับความยาวคลื่น ซึ่งมีค่าประมาณ 20 เมตร
- 3) ระบบความลึกปานกลาง (median water depth system) ระบบนี้โดยมากมักใช้เป็นโครงสร้างลอยน้ำ ตำแหน่งที่วางเชือกควรอยู่ในบริเวณคลื่นแตกตัว (surf zone) ซึ่งมักเป็นตำแหน่งที่มีความลึกของน้ำประมาณ 2 ถึง 4 เมตร เฉพาะในบางกรณีอาจจะวางไว้ที่ตำแหน่งความลึกถึง 6 เมตร หรือมากกว่า ความยาวเชือกควรอยู่ระหว่าง 2 ถึง 6 เท่าของความยาวคลื่น หรือประมาณ 40 ถึง 120 เมตร และช่องว่างระหว่างเชือกควรมีค่าประมาณ 1 ถึง 2 เท่าของความยาวคลื่นหรือประมาณ 20 ถึง 40 เมตร แม้ว่าระยะทางจากชายฝั่งจะขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำที่ตำแหน่งเชือก แต่ก็ควรมีค่าประมาณ 0.3 ถึง 1 เท่าของความยาวเชือก โดยทั่วไปเชือกกันคลื่นแยกระบบนี้ มักไม่ก่อให้เกิดการทับถมของตะกอนทรายได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากบริเวณหลังเชือกมีสภาพคลื่นที่ไม่สงบพอ ที่จะชักนำให้เกิดการตกจมและสะสมของตะกอนทรายได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณชายฝั่งที่มีโครงสร้างกำแพงป้องกันชายฝั่ง เพราะกำแพงจะทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่น (wave reflection) และพบว่าบริเวณหน้าโครงสร้างกำแพงป้องกันชายฝั่งจะมีความลึก และความลาดชันของท้องทะเลมาก ซึ่งจะทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามการสร้างเชือกแบบนี้ ก็ยังใช้งานเพื่อจุดประสงค์ให้เกิดการตกจมของตะกอนทรายตามหลังเชือกได้บ้าง และในกรณีที่ควรพิจารณาใช้คือ การใช้เพื่อป้องกันฐานรากของโครงสร้างกำแพง หากเป็นไปได้ควรถมทรายเพื่อช่วยให้



บริเวณท่อนำคานหน้าโครงสร้างกำแพงมีความลึกและความลาดชันน้อย ซึ่งจะ  
ช่วยลดการสะท้อนของคลื่น

- 4) ระบบความลึกมาก (deep water depth system) เช่นระบบกันคลื่นตงไวนอกบริเวณคลื่นแตกตัว (surf zone) หน้าที่หลักของเขื่อนชนิดนี้เพื่อพยายามทำลายพลังงานคลื่น ดังนั้นเขื่อนชนิดนี้จึงให้ผลในการรักษาเสถียรภาพของท่อนำบริเวณคลื่นแตกตัว แต่ไม่ให้ผลในด้านการตกจมของตะกอนทรายบริเวณหลังเขื่อน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5-2 การแจกแจงชนิดของเขื่อนกันคลื่น [37]

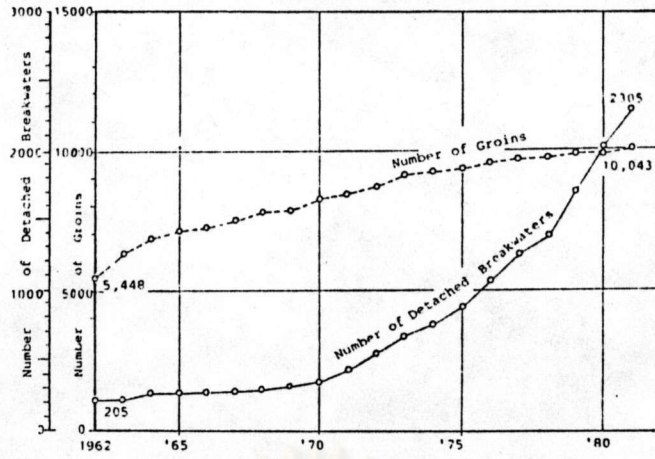
ชนิดเขื่อน	จำนวนแห่ง	จำนวนเขื่อน	ความยาวทั้งหมด, ม.
เขื่อนต่อเนื่อง	10	10	12,743
เขื่อนเดี่ยว	34	34	4,093
เขื่อนกลุ่ม (สองเขื่อน)	18	36	4,189
เขื่อนกลุ่ม (สามเขื่อน)	9	27	3,952
เขื่อนกลุ่ม (สี่เขื่อนหรือมากกว่า)	15	110	8,243
รวม	86	217	33,220

ตาราง 5-3 ผลการทำหน้าที่ของเขื่อนกันคลื่น [37]

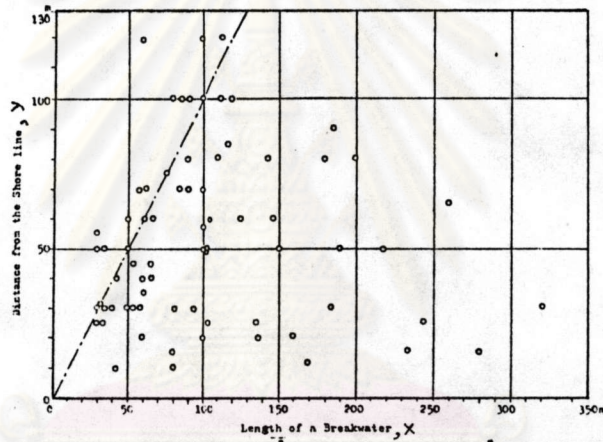
จุดประสงค์	จำนวนเขื่อน แห่ง	การทั้บดมของตะกอนทราย			
		ไม่เกิดขึ้น	เล็กน้อย	ได้ผลน่าพอใจ	เกิด tombolo
ทำลายพลังงานคลื่น	48	36	5	7	1
เกิดการทั้บดม	38	6	5	27	19
รวม	86	42	10	34	20

ตาราง 5-4 การแบ่งเชื่อมกันคลื่นออกตามลักษณะโครงสร้างและวัสดุ [37]

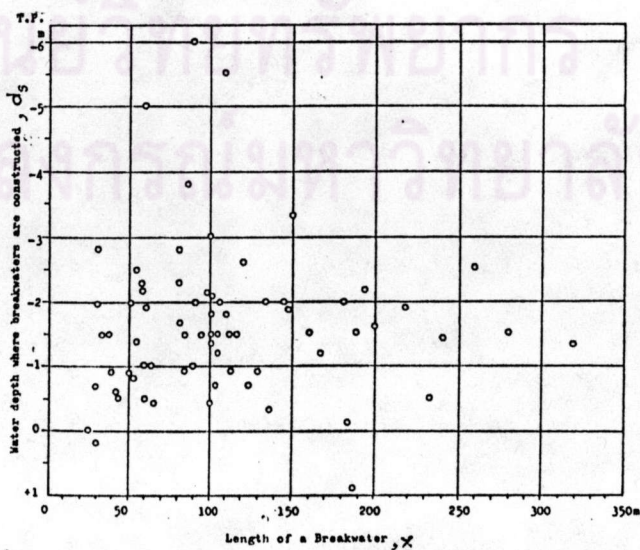
ลักษณะ โครงสร้าง	วัสดุ	ช่วงเวลา							
		ก่อนปี 1955		ปี 1955-1966		หลังปี 1966		รวม	
		จำนวน (แท่ง)	ความยาว (ม.)	จำนวน (แท่ง)	ความยาว (ม.)	จำนวน (แท่ง)	ความยาว (ม.)	จำนวน (แท่ง)	ความยาว (ม.)
โปรง	tetrapods	2	2,750	6	2,931	9	4,005	17	9,086
	hexa-leg block	-	-	2	725	16	5,392	18	6,117
	hollow-triangle	-	-	1	250	1	120	2	370
	akmon	-	-	-	-	1	279	1	279
	another blocks	-	-	-	-	2	248	2	248
	รวม	2	2,750	9	3,906	29	10,044	40	16,700
ทึบ	concrete blocks	7	4,594	4	1,950	1	238	12	6,782
	cellular blocks	2	485	-	-	3	187	5	672
	composite type	2	2,230	3	800	3	1,260	8	4,290
	rubble mound	3	1,040	4	887	5	1,320	12	3,247
	stone facing	6	871	2	367	1	291	9	1,529
	รวม	22	9,220	13	4,004	13	3,296	46	16,520
รวมทั้งหมด		22	11,970	22	7,910	42	13,340	86	33,220



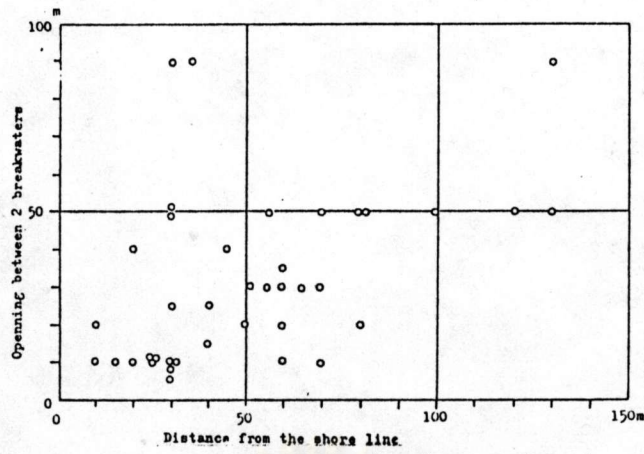
รูป 5-11 เปรียบเทียบอัตราการเพิ่มของโครงสร้างกั้นคักตะกอน และเขื่อนกั้นคลื่นแยก [36]



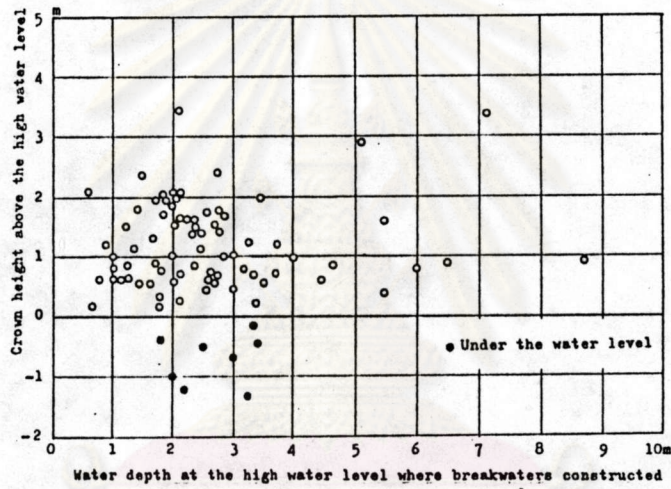
รูป 5-12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจากฝั่ง กับความยาวเขื่อนกั้นคลื่น [37]



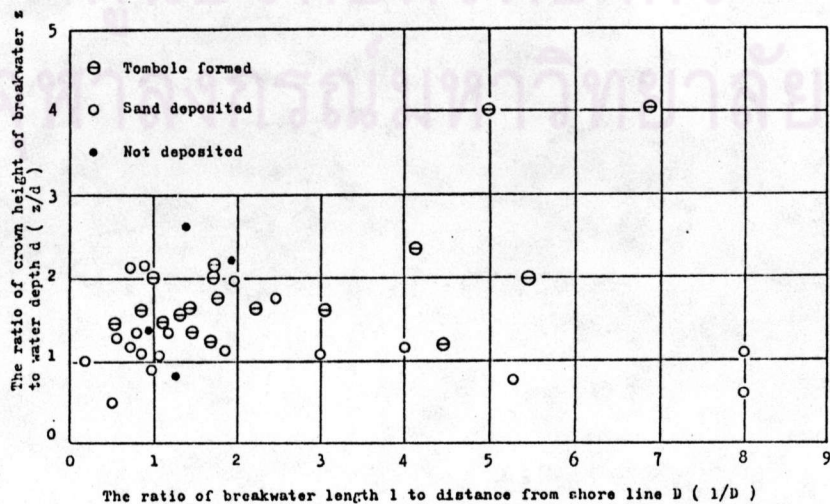
รูป 5-13 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของน้ำที่เขื่อนกั้นกับความยาวเขื่อนกั้นคลื่น [37]



รูป 5-14 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างระหว่างเขื่อน กับ ระยะทางจากฝั่ง [37]



รูป 5-15 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสันเขื่อนเหนือระดับน้ำ กับ ความลึกของน้ำที่เขื่อนกันคลื่น [37]



รูป 5-16 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเขื่อนต่อความลึกของน้ำ กับ ความยาวของเขื่อนต่อระยะทางจากฝั่ง [37]

### 5.3 โครงการป้องกันชายฝั่งทะเล Tel-Aviv ประเทศอิสราเอล

ในปี 1976 Fried [38] ได้รวบรวมการศึกษาโครงการป้องกันชายฝั่งทะเล Tel-Aviv ในประเทศอิสราเอล ดังแสดงในรูป 5-17 ซึ่งประกอบด้วยชายฝั่ง Tel-Baruch ชายฝั่ง Tel-Aviv ตอนเหนือและตอนกลาง ในส่วนของชายฝั่ง Tel-Baruch และชายฝั่ง Tel-Aviv ตอนเหนือ ได้สร้างเสร็จในปี 1965 และ 1968 ตามลำดับ โครงสร้างป้องกันชายฝั่งประกอบด้วย เขื่อนกันคลื่นเชื่อมต่อกับชายฝั่งด้วยคันดักตะกอน ภายหลังจากสร้างเสร็จก็เกิดการทับถมของตะกอนทรายทั้งสองฝั่งของคันดักตะกอนแล้วก่อตัวเป็น tombolo และในที่สุดก็เข้าสู่ภาวะสมดุล ดังแสดงในรูป 5-18 ลักษณะโครงสร้างป้องกันชายฝั่งทั้งสองมีรายละเอียดดังนี้

- 1) เขื่อนกันคลื่นที่ Tel-Baruch เป็นเขื่อนหินเรียงยาว 200 ม. เชื่อมต่อกับคันดักตะกอนยาว 100 ม. ฐานเขื่อนอยู่ที่ระดับ  $-3.00$  ม.รทก. โครงสร้างส่วนในประกอบด้วยหินขนาด  $0.5$  ถึง  $250$  กก./ก้อน ลาดเขื่อนด้านหน้ามีความชัน  $1:3$  ประกอบด้วยหินขนาด  $2$  ถึง  $6$  ตัน/ก้อน ลาดเขื่อนด้านหลังมีความชัน  $1:1.5$  ประกอบด้วยหินขนาด  $1$  ถึง  $2$  ตัน/ก้อน สันเขื่อนอยู่ที่ระดับ  $+1.00$  ม.รทก. วางทับด้วยแผ่นคอนกรีตหนา  $0.25$  ม.
- 2) เขื่อนกันคลื่นที่ Tel-Aviv ตอนเหนือ ดังในรูป 5-18 เป็นเขื่อนหินเรียงยาว  $225$  ม. และ  $300$  ม. เชื่อมต่อกับชายฝั่งด้วยคันดักตะกอนยาว  $200$  ม. ช่องว่างระหว่างเขื่อน  $150$  ม. ฐานเขื่อนอยู่ที่ระดับ  $-4.00$  ม.รทก. โครงสร้างส่วนในประกอบด้วยหินขนาด  $0.5$  ถึง  $500$  กก./ก้อน ลาดเขื่อนด้านหน้ามีความชัน  $1:2.5$  ประกอบด้วยหินขนาด  $4$  ถึง  $8$  ตัน/ก้อน ลาดเขื่อนด้านหลังมีความชัน  $1:1.5$  ประกอบด้วยหินขนาด  $3$  ถึง  $4$  ตัน/ก้อน สันเขื่อนอยู่ที่ระดับ  $+1.25$  ม.รทก. วางทับด้วยแผ่นคอนกรีตหนา  $0.25$  ม.

เมื่อการป้องกันชายฝั่ง Tel-Aviv ตอนเหนือประสบผลสำเร็จ จึงเริ่มศึกษาโครงการป้องกันชายฝั่ง Tel-Aviv ตอนกลางด้วยเขื่อนกันคลื่นแยก (รูป 5-17) แนวชายฝั่งโครงการนี้ตั้งอยู่ในทิศ  $19^\circ$  NE จากการสำรวจข้อมูลทางชลศาสตร์ปรากฏว่า สภาพการขึ้นลงของน้ำทะเลมีความแตกต่างของระดับน้ำในสภาพปกติไม่เกิน  $0.50$  ม. ระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดที่เคยวัดได้อยู่ที่ระดับ  $-0.50$  ม.รทก. และ  $+0.70$  ม.รทก. ตามลำดับ สภาพท้องน้ำบริเวณ

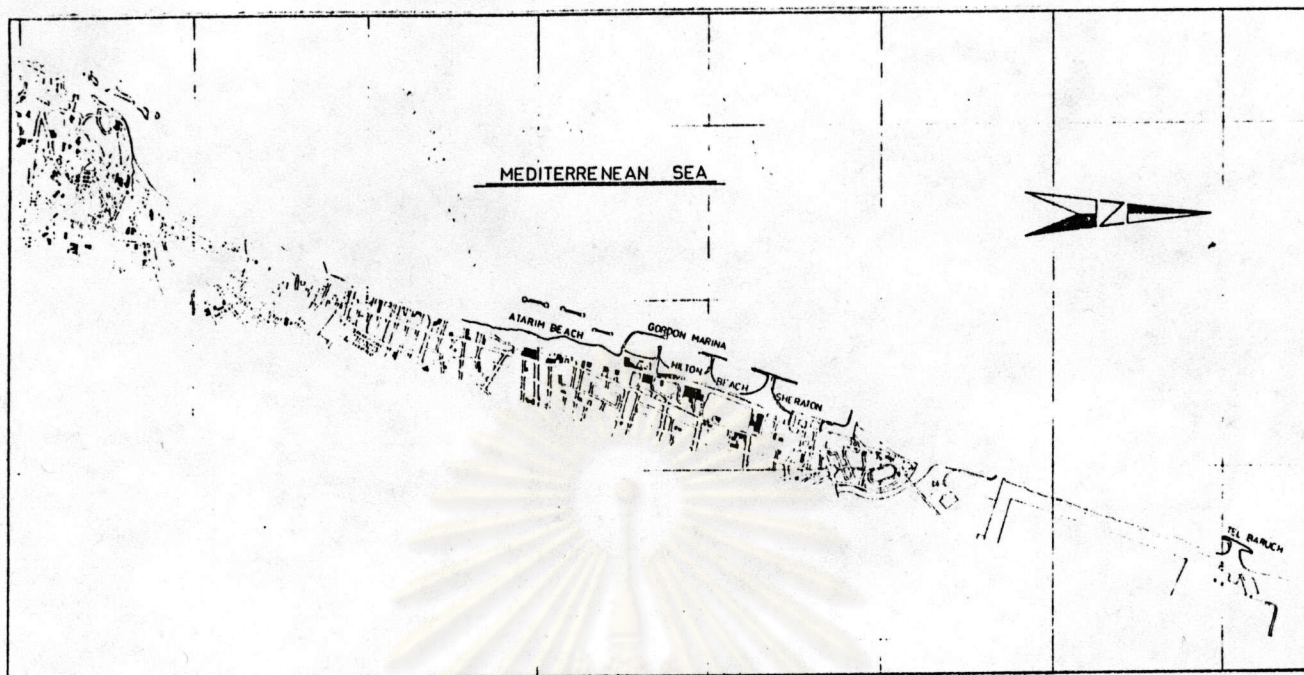
ไกลฝั่งเป็นทรายข้างใต้เป็นหิน ที่บริเวณไกลฝั่งมีความลาดชัน 1:40 และบริเวณตอมน้ำที่ระดับความลึก -7 ม.รทก. มีความลาดชัน 1:75 ขนาดของเม็ดทรายที่ความลึกต่าง ๆ ใต้แสดงไว้ในตาราง 5-5 ในฤดูร้อนพบว่าคลื่นที่เคลื่อนสู่ฝั่งมักมีขนาดไม่เกิน 2 ม. คลื่นนี้สำคัญ,  $H_s$  ที่มีความสูงเกิน 6 ม. มักเกิดในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน มีทิศทางมาจาก พสพ และ พพพ มีโอกาสเกิดประมาณ 1% ของคลื่นทั้งหมด โอกาสการเกิดของความสูงและคาบเวลาคลื่นที่ค่าต่าง ๆ ใต้แสดงไว้ในตาราง 5-4 ความเร็วของกระแสน้ำไกลฝั่งที่วัดได้มักไม่เกิน 0.25 ม./วินาที อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง พบว่า มีการเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือ 400,000  $m^3$ /ปี และเคลื่อนที่ไปทางทิศใต้ 80,000  $m^3$ /ปี ดังนั้นจึงมีปริมาณสุทธิเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือ 320,000  $m^3$ /ปี จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นได้นำมาทำแบบจำลองชลศาสตร์และได้ทำการทดลองแบบเพื่อเลือกทั้งหมด 14 แบบ แบบจำลองที่ให้ผลการป้องกันได้เหมาะสมที่สุดได้แสดงในรูป 5-19 ซึ่งกำหนดให้เชื่อมหมายเลข 1 และ 4 วางไว้ในตำแหน่งที่ไกลฝั่งกว่าเชื่อมอื่นและได้นำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการออกแบบวางตำแหน่งเชื่อม ส่วนโครงสร้างเชื่อมนั้นได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูป 5-20 มีลักษณะเป็นเขื่อนหินเรียง ฐานเชื่อมอยู่ที่ระดับ -3.50 ม.รทก. โครงสร้างส่วนโนประกอบควยหินขนาด 0.5 ถึง 500 กก./ก้อน ลาดเชื่อมคานหน้ามีความชัน 1:3 ประกอบควยหินขนาด 2 ถึง 6 ตัน/ก้อน ลาดเชื่อมคานหลังมีความชัน 1:1.5 ประกอบควยหินขนาด 1 ถึง 2 ตัน/ก้อน สันเชื่อมอยู่ที่ระดับ +1.75 ม.รทก. สำหรับเชื่อมหมายเลข 3 นั้นได้ออกแบบให้มีคันค้ำตะกอนเชื่อมเชื่อมให้ต่อกับชายฝั่ง โครงสร้างคันค้ำตะกอนมีแกนกลางประกอบควยหินขนาด 0.5 ถึง 500 กก./ก้อน ลาดคานข้างมีความชัน 1:1.5 ทั้งสองข้างเป็นหินใหญ่ขนาด 3 ถึง 5 ตัน/ก้อน สันเชื่อมอยู่ที่ระดับ +0.75 ม.รทก. มีความกว้าง 5ม. โครงการนี้ได้เริ่มก่อสร้างในปี 1971 และจากการติดตามผลของภาพถ่ายทางอากาศในเดือนมิถุนายน 1976 พบว่ามีการทับถมของตะกอนทรายคานหลังเชื่อมหมายเลข 1 และ 2 ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ดังแสดงในรูป 5-21

ตาราง 5-5 แสดงขนาดเฉลี่ยของเม็ดทรายที่ความลึกต่าง ๆ, โอกาสการเกิดของความสูงและคาบเวลาคลิ้น

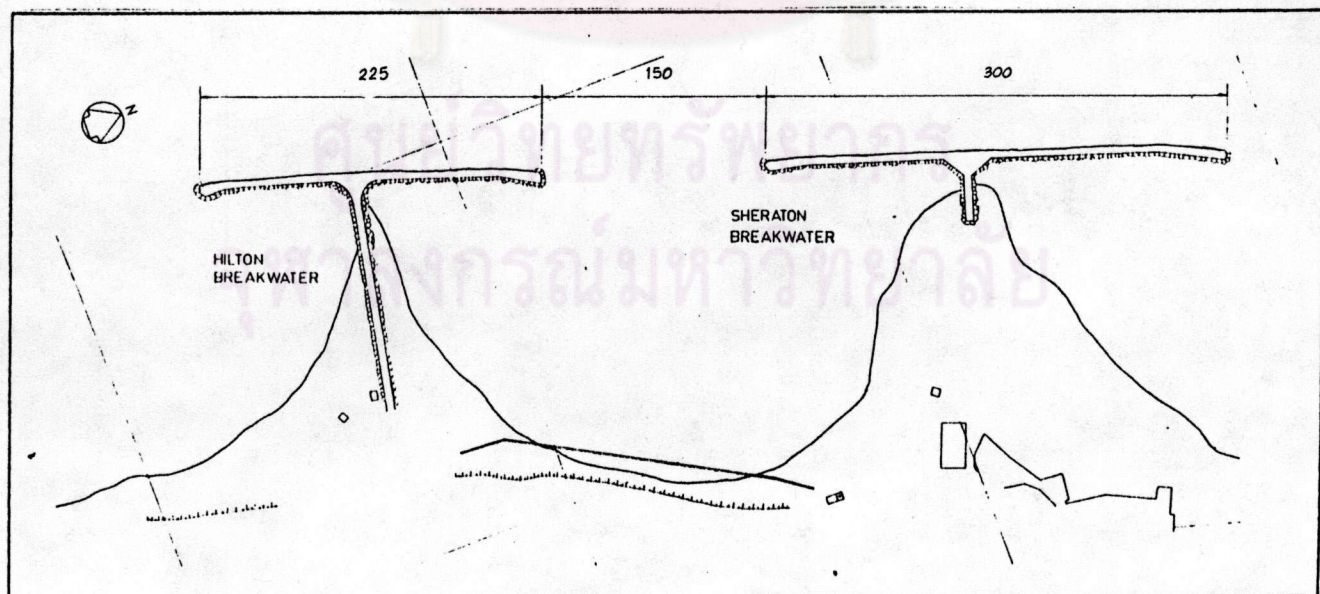
ความลึกของน้ำ (ม.)									
				บริเวณใกล้ฝั่ง	-5.0	-7.0	-13.0		
ขนาดเฉลี่ยของเม็ดทราย( $\phi_{50}$ )(มม.)				0.26	0.17	0.16	0.14		
ความสูงคลื่น (ม.)	0-0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0-6.0	6.0-8.0
โอกาสเกิด (%)	42.6	11.9	28.0	9.9	4.1	1.6	1.1	0.5	0.4
คาบเวลาคลิ้น (วินาที)	สงบ	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-12
โอกาสเกิด (%)	10.4	3.1	11.4	23.3	19.6	16.5	7.9	2.8	2.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

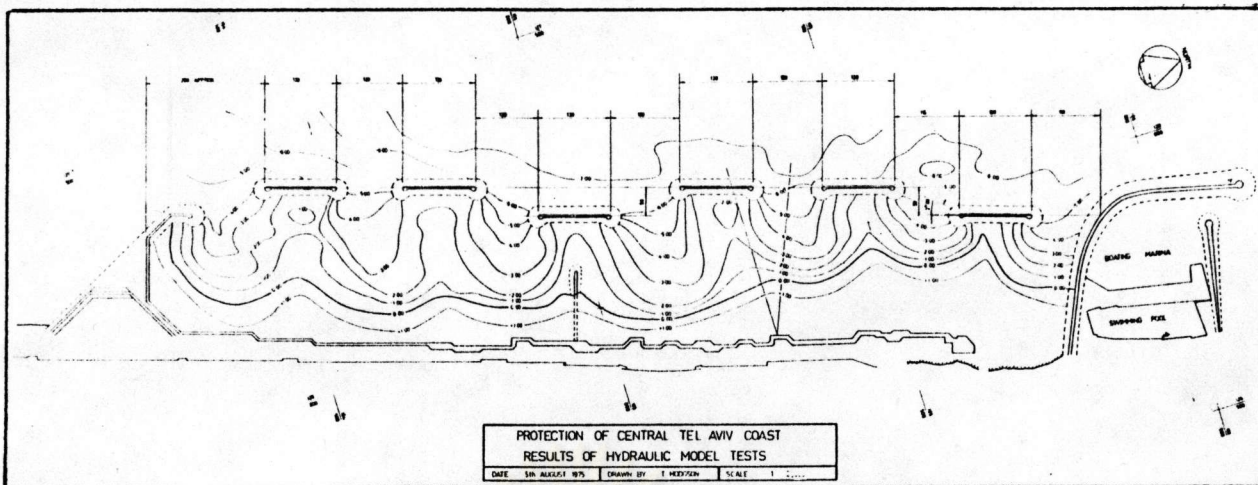




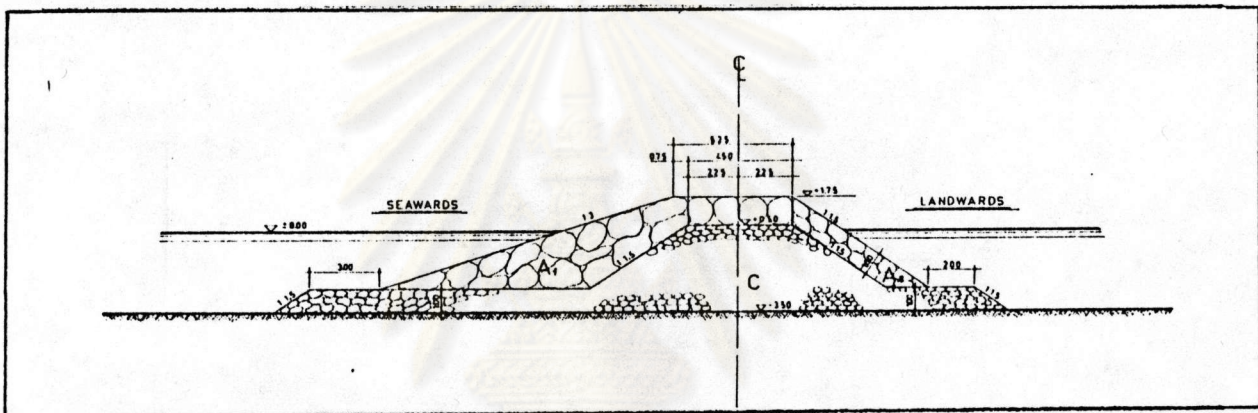
รูป 5-17 แผนที่แสดงโครงการป้องกันชายฝั่งทะเล Tel-Aviv ประเทศอิสราเอล [38]



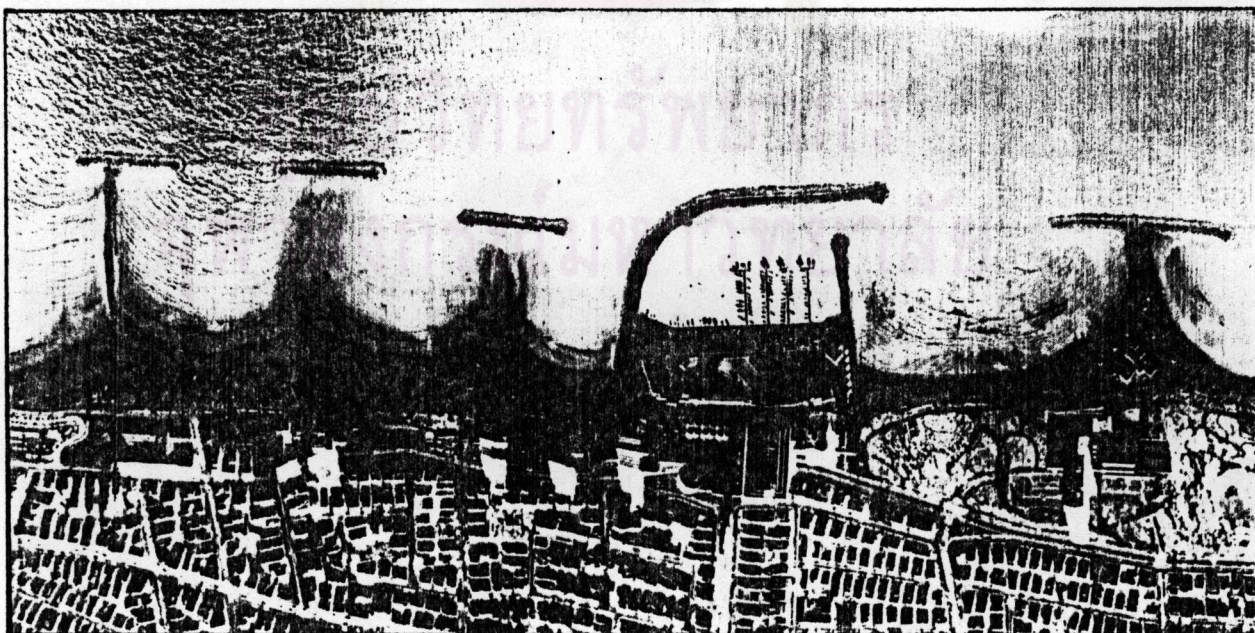
รูป 5-18 เขื่อนกันคลื่นเชื่อมต่อกับชายฝั่งควยกันดักตะกอน [38]



รูป 5-19 ลักษณะการวางตำแหน่งของเขื่อนที่เหมาะสม จากการทดลอง [38]



รูป 5-20 ลักษณะโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น [38]



รูป 5-21 ภาพถ่ายโครงการป้องกันชายฝั่งทะเล Tel-Aviv เมื่อเดือนมิถุนายน 1976 [38]

#### 5.4 การป้องกันชายฝั่งทะเล Kaike ประเทศญี่ปุ่น

ในปี 1976 และ 1982 Toyoshima [39],[37] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของน้ำจากการสร้างเขื่อนกันคลื่นบริเวณชายฝั่งทะเล Kaike ซึ่งอยู่ใกล้แหลม Yumiga-hama ในประเทศญี่ปุ่น ดังแสดงในรูป 5-22 ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

##### 5.4.1 สภาพชายฝั่งและปัญหา

ชายฝั่งทะเล Kaike ได้รับอิทธิพลจากการหักเหของคลื่นในอ่าว Miho ทำให้เกิดกระแสน้ำตามแนวชายฝั่ง ซึ่งมีทิศทางไหลไปทางด้านตะวันตกตามแนวชายฝั่งของแหลม Yumiga-hama กระแสน้ำนี้ได้พัดพาตะกอนทรายที่ไหลออกจากแม่น้ำ Hino ให้เคลื่อนที่ไปตามแนวชายฝั่งด้วย ชายฝั่ง Kaike แต่เดิมมีชายหาดกว้างกว่า 200 ม. ต่อมาในราวปี 1920 ได้มีการสร้างเขื่อน Sabo และฝายในแม่น้ำ Hino พบว่าเกิดการถดถอยของชายฝั่งขึ้น ในปี 1942 ได้มีการพยายามป้องกันชายฝั่งด้วยการนำลังเก่า ๆ มาทำเป็นคันค้ำตะกอนในบริเวณลาดชายหาด แต่ทำได้ไม่นานนักก็พังทลายไป ในปี 1947 ได้มีการทดลองสร้างคันค้ำตะกอนด้วยหินเรียงแต่ก็เกิดการทรุดตัวและจมลงใต้อะกิบน้ำทะเลหลังจากสร้างเสร็จได้ไม่นาน ต่อมาในปี 1949 ได้สร้างคันค้ำตะกอนขึ้น 5 แห่ง มีลักษณะโครงสร้างเป็นก้อนคอนกรีตหลอขนาดใหญ่ จากการติดตามผลพบว่า คันเหนือน้ำของคันค้ำตะกอนเกิดการทับถมของทราย คันหายน้ำเกิดการกัดเซาะ แต่ก็ยังสามารถหยุดยั้งการถดถอยของแนวชายฝั่งได้ เมื่อเห็นว่าคันค้ำตะกอนทั้ง 5 แห่งสามารถใช้งานได้ จึงสร้างขึ้นอีก 9 แห่ง ดังแสดงในรูป 5-23 ต่อมาในเดือนสิงหาคม 1955 ชายฝั่ง Kaike ได้ถูกกัดเซาะจากคลื่นรุนแรง (strom wave) ที่เกิดจากพายุไต้ฝุ่นทำให้ชายฝั่งถดถอยไปมาก จึงได้สร้างกำแพงป้องกันชายฝั่งไว้อีกชั้น ระหว่างปี 1955 ถึง 1961 โดยเป็นกำแพงคอนกรีตรูปขั้นบันได และในเดือนมกราคม 1961 ได้เกิดคลื่นรุนแรงกระทำต่อชายฝั่งทำให้เกิดความเสียหายต่อคันค้ำตะกอนและกำแพงป้องกันชายฝั่ง จึงได้ก่อสร้างกำแพงป้องกันชายฝั่งขึ้นใหม่และเพิ่มก้อนคอนกรีตหลอไว้บริเวณหน้ากำแพงด้วย เพื่อช่วยลดการสะท้อนของคลื่น (wave reflection) และลดการชนข้ามสันเขื่อนของคลื่น (overtopping)

อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าท่อน้ำบริเวณคานหนากำแพงก็ยังคงกัดเซาะ เนื่องจากมีการสะท้อนของคลื่นและพลังงานคลื่นที่มีความเข้มสูง จึงได้ทดลองนำเอาเชือกถักเส้นแยกเข้ามาช่วยป้องกันชายฝั่ง

#### 5.4.2 ป้องกันชายฝั่งด้วยเชือกถักเส้นแยก

ระบบเชือกถักเส้นแยกที่ก่อสร้างขึ้นเพื่อป้องกันชายฝั่ง Kaike ตลอดแนวประกอบด้วยเชือกทั้งหมด 11 เชือก เชือกแรกสร้างขึ้นในระหว่างเดือนมิถุนายน ถึงกันยายน 1971 มีความยาวเชือก 150 ม. ระยะเชือกห่างจากกำแพงชายฝั่ง 110 ม. ความลึกของน้ำที่ตำแหน่งเชือก 5 ม. ลักษณะโครงสร้างส่วนในและฐานประกอบด้วยหินขนาด 20 ถึง 800 กก./ก้อน โครงสร้างส่วนนอกประกอบด้วยก้อนคอนกรีตหล่อเป็นแท่งสี่ขา (tetrapods) ดังแสดงในรูป 5-24 ภายหลังจากสร้างเสร็จก็เกิดการทับถมของทรายคานหลังเชือกแล้วค่อย ๆ ก่อรูปเป็น tombolo ขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่สภาพสมดุล ดังแสดงในรูป 5-25 (แสดงด้วยเส้นประ) จากการสำรวจเมื่อเดือนมีนาคม 1972 พบว่า บริเวณปลายยอด tombolo มีการทับถมของทรายหนาประมาณ 4 ม. และบริเวณหนากำแพงหนาประมาณ 2 ม. จากนั้นได้สร้างเชือกที่สองขึ้นทางคานเหนือหน้า ทำให้เกิดการทับถมของทรายคานหลังเชือกที่สอง ซึ่งส่งผลกระทบต่อชายฝั่งบริเวณหลังเชือกแรกและทำให้บางส่วนของชายฝั่งแห่งนี้เกิดการถดถอยขึ้น ดังแสดงในรูป 5-26 ส่วนในรูป 5-27 ได้แสดงขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งคานหลังเชือกที่สอง (คานขวาของรูป) ด้วยภาพถ่ายทางอากาศตั้งแต่ขณะก่อสร้าง เมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม 1972 จนกระทั่งเกิดการก่อรูป tombolo จนเข้าสู่สภาพสมดุล รูป 5-27(ฉ) ถ่ายเมื่อวันที่ 25 เมษายน 1973 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ชายฝั่งสมดุลแล้ว ต่อมาในเดือนสิงหาคม 1973 และสิงหาคม 1974 ได้สร้างเชือกที่สามและสี่ขึ้นตามลำดับ เชือกที่สามตั้งอยู่คานท้ายน้ำของเชือกแรก เชือกที่สี่ตั้งอยู่คานเหนือหน้าของเชือกที่สอง มีระยะระหว่างเชือก 50 ม. ดังแสดงในรูป 5-26 ส่วนในรูป 5-28 ได้แสดงภาพถ่ายทางอากาศลักษณะชายฝั่งคานหลังเชือกแรกถึงที่สี่ ซึ่งถ่ายเมื่อเดือนตุลาคม 1974

### 5.4.3 การเปลี่ยนแปลงของน้ำ

การสำรวจการเปลี่ยนแปลงของน้ำในบริเวณนี้ ได้เริ่มต้นสำรวจเมื่อปี 1958 และกระทำเรื่อยมา ในรูป 5-29 เป็นตัวอย่างของรูปตัดชายฝั่งหมายเลข 8 (ดูรูป 5-25 ประกอบ) พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งอย่างรุนแรงในเดือนมีนาคม ถึงสิงหาคม 1963 เนื่องจากเกิดคลื่นกัดเซาะชายฝั่งอย่างรุนแรง และหลังจากเดือนสิงหาคม 1972 เขื่อนแห่งที่สองได้สร้างเสร็จแล้ว จึงทำให้เกิดการทับถมชายฝั่งกลับคืนมาบางส่วน จากรูป 5-30 ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของรูปตัดชายฝั่งหมายเลข 8 ตั้งแต่ปี 1958 ถึง 1982 โดยที่ S หมายถึงระยะทางในแนวราบจากชายฝั่งถึงกำแพงป้องกันชายฝั่ง A, B และ C หมายถึงความลึกของน้ำที่ระยะ 100, 200 และ 300 ม. จากกำแพงตามลำดับ ซึ่งสามารถสังเกตเห็นว่าชายฝั่งเปลี่ยนแปลงมากหลังจากที่เขื่อนแห่งที่สองได้สร้างเสร็จในปี 1972 โดยพบว่าที่ A ดินชั้นมากจนกระทั่งกลายเป็นชายหาด และ S มีระยะเพิ่มขึ้นมาก ส่วนการกัดเซาะของน้ำเกิดขึ้นมากในระหว่างปี 1962 ถึง 1965 โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ตำแหน่ง B จากรูป 5-31 ได้แสดงการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งตั้งแต่ปี 1958 ถึง 1975 ของรูปตัดชายฝั่งหมายเลข 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 (ดูรูป 5-25 ประกอบ) ตำแหน่งของน้ำที่พิจารณาเป็นจุดที่ห่างจากกำแพงป้องกันชายฝั่งเป็นระยะทาง 200 ม. (คล้ายตำแหน่ง B) พบว่าในปี 1963 เกิดการกัดเซาะชั้นอย่างรุนแรงตั้งแต่บริเวณรูปตัดชายฝั่งหมายเลข 6 ถึง 12 และในปี 1966 เกิดการทับถมขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน บริเวณรูปตัดชายฝั่งหมายเลข 2 ถึง 4 สำหรับในปี 1971 ซึ่งสร้างเขื่อนแห่งแรกเสร็จ พบว่าชายฝั่งมีแนวโน้มเกิดการทับถมทุกรูปตัด

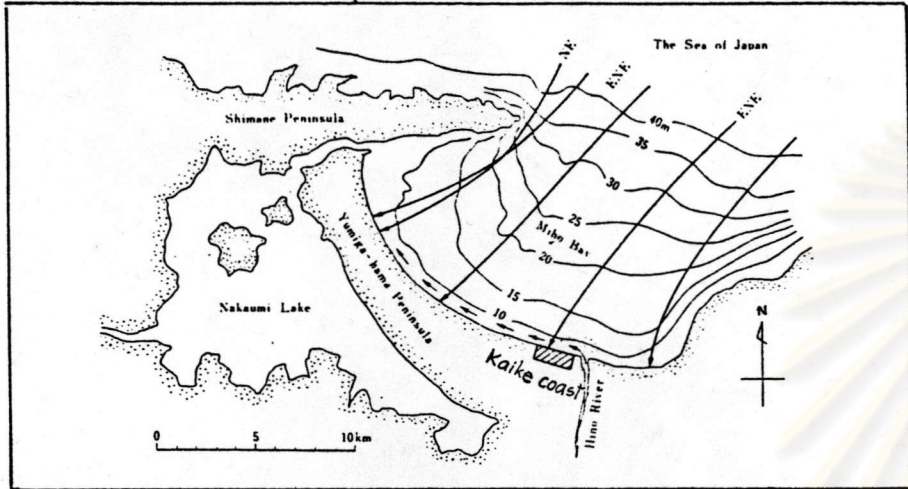
จากการสำรวจการเปลี่ยนแปลงของน้ำ นับตั้งแต่กำแพงป้องกันชายฝั่งไปจนกระทั่งถึงที่น้ำที่ทางออกไปประมาณ 600 ม. พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนทรายบริเวณชายฝั่ง ดังแสดงในตาราง 5-6 ซึ่งคำนวณมาจากผลการสำรวจระหว่างเดือนกันยายน 1971 ถึง มีนาคม 1982 ปรากฏว่า มีการทับถมของตะกอนทรายบริเวณคานหน้าและหลังเขื่อน ยกเว้นบริเวณคานหน้าเขื่อนแห่งที่ 7 และ 11 พบว่ามีการกัดเซาะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันชายฝั่งทะเล Kaike ก็มีสภาพมั่นคงเพราะระบบเขื่อนกันคลื่นแยกนี้ ดังในรูป 5-32

ตาราง 5-6 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนทรายบริเวณชายฝั่ง ตั้งแต่เดือนกันยายน 1971 ถึงมีนาคม 1982 [37]

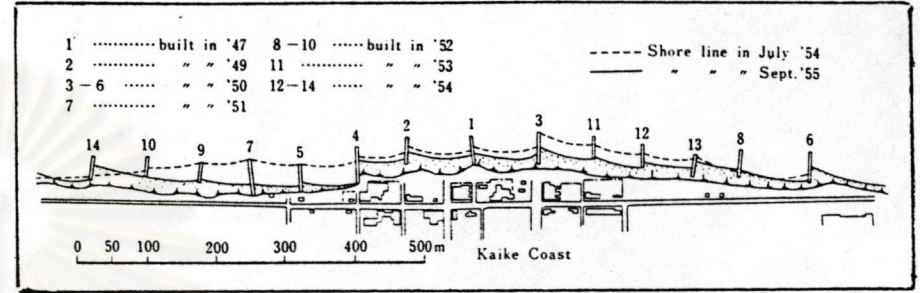
เขื่อนกันคลื่นแยก แห่งที่	ปริมาณตะกอนทรายทับถม, ม <sup>3</sup>		
	ด้านหลังเขื่อน	ด้านหน้าเขื่อน	รวม
1	+35,800	+86,100	+121,900
2	+48,800	+89,200	+138,000
3	+18,300	+49,200	+ 67,500
4	+45,000	+84,200	+129,200
5	+18,900	+21,800	+ 40,700
6	+28,900	+95,400	+124,300
7	+24,800	-19,500	+ 5,300
8	+15,300	-43,700	- 18,200
9	+13,400	-31,600	- 18,200
10	+28,300	-41,100	- 12,800
11	+ 7,400	-68,700	- 61,300
รวมทั้งหมด	+284,000	+221,300	+506,200

หมายเหตุ : เครื่องหมาย + แสดงปริมาณทับถม, - แสดงปริมาณกัดเซาะ

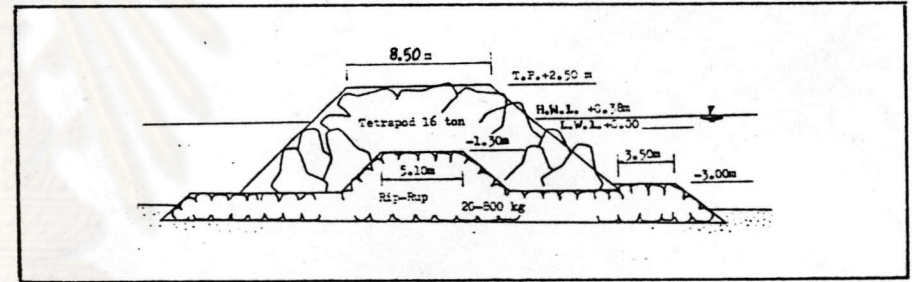
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



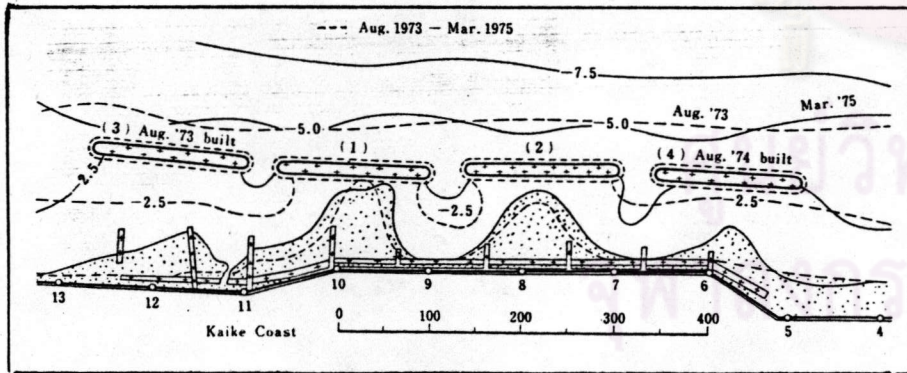
รูป 5-22 ชายฝั่งทะเล Kaikyo ประเทศญี่ปุ่น [39]



รูป 5-23 ตำแหน่งคันค้ำตะกอนป้องกันชายฝั่ง Kaikyo [39]

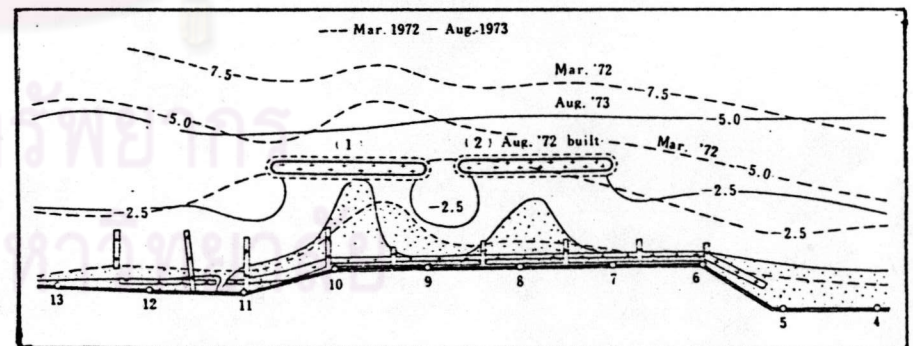


รูป 5-24 ลักษณะโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น [39]



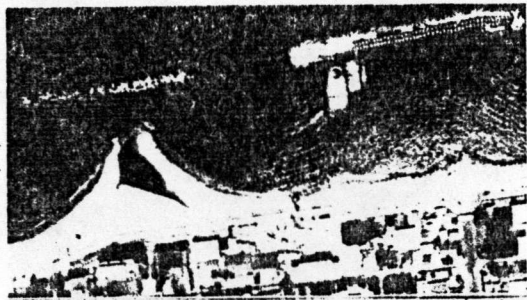
รูป 5-26 ชายฝั่งหลังเขื่อนระหว่างเดือนสิงหาคม 1973 ถึงมีนาคม 1975

[39]



รูป 5-25 ชายฝั่งหลังเขื่อน ระหว่างเดือนมีนาคม 1972 ถึงสิงหาคม 1973

[39]



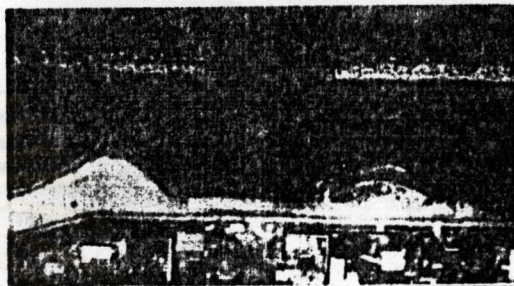
(ก) 27 กรกฎาคม 1972, กำลังสร้างเขื่อนที่ 2



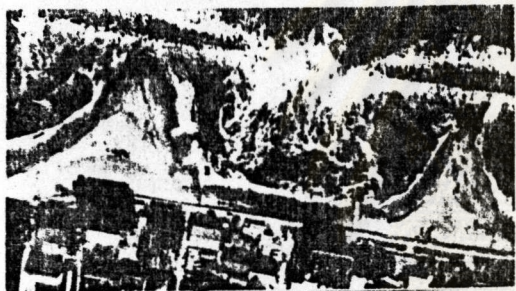
(ข) 24 สิงหาคม 1972, เขื่อนที่ 2 สร้างเสร็จ



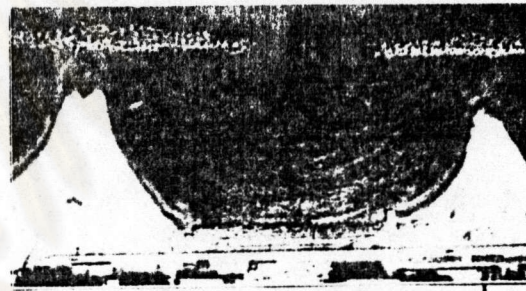
(ค) 11 กันยายน 1972, เกิด tombolo ขนาดเล็ก



(ง) 29 กันยายน 1972, tombolo ขยายใหญ่ขึ้น



(จ) 9 มีนาคม 1973, คลื่นรุนแรงปะทะเขื่อน



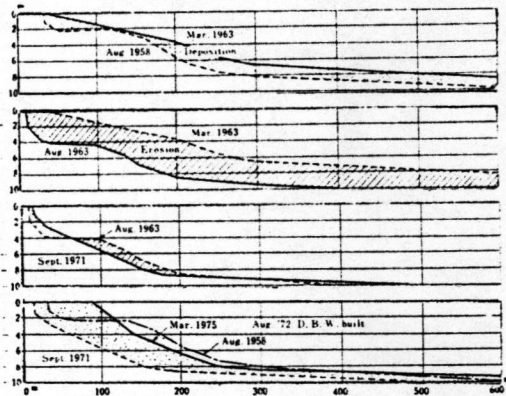
(ฉ) 25 เมษายน 1973, tombolo มั่นคง

รูป 5-27 ข่ายฝั่งเปลี่ยนแปลงหลังเขื่อนกันคลื่นตำแหน่ง 1 และ 2 [39]

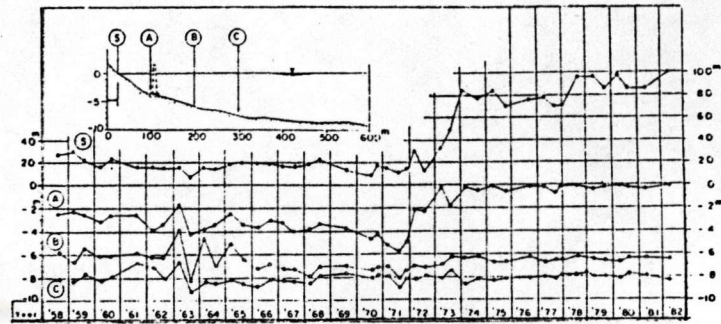


รูป 5-28 ภาพถ่ายสภาพชายฝั่งบริเวณเขื่อนตำแหน่ง 1 ถึง 4 ภายเื่อเดือนตุลาคม 1974 [39]

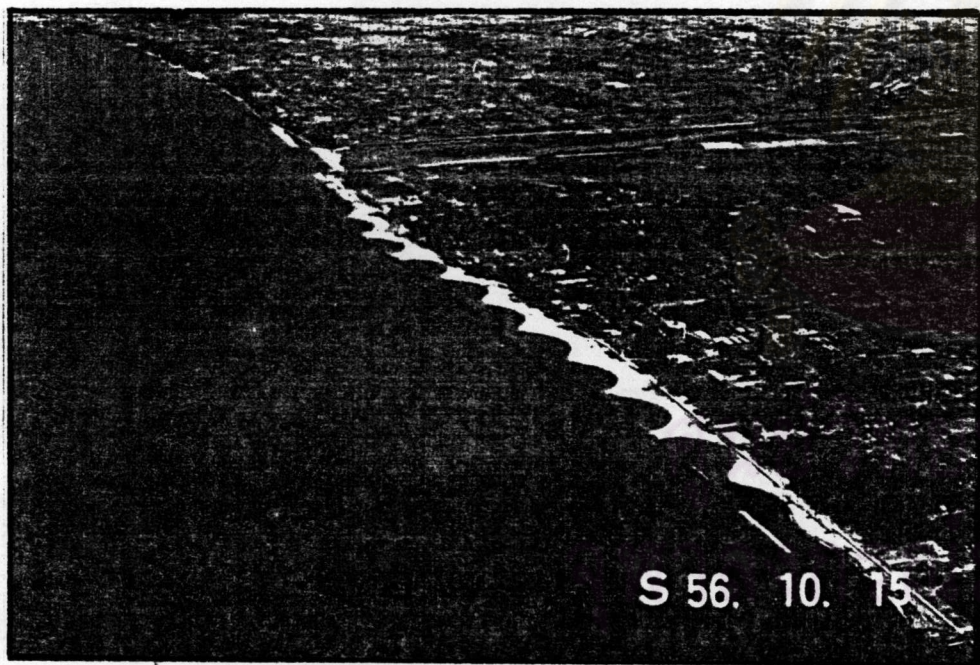




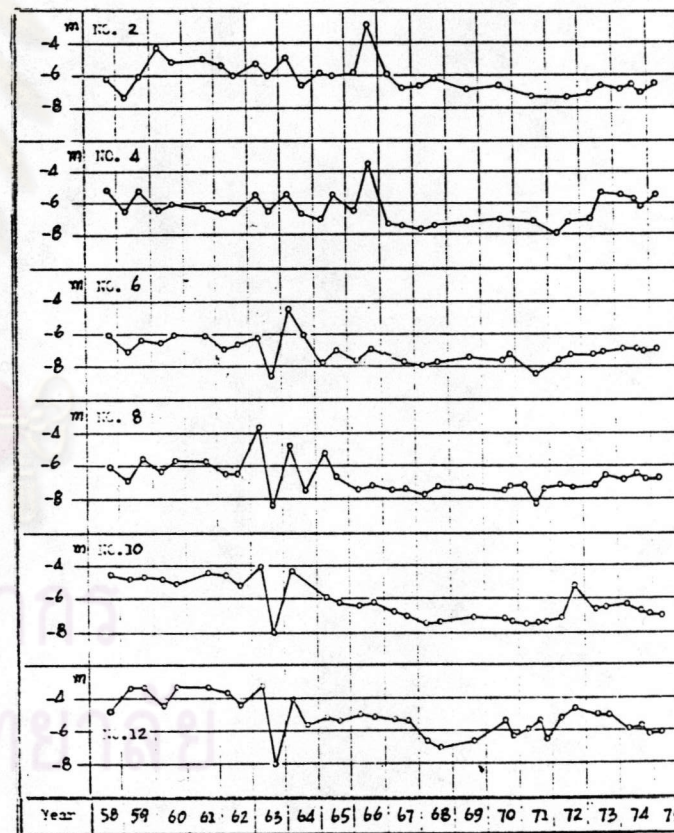
รูป 5-29 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง หมายเลข 8 [39]



รูป 5-30 ชายฝั่งหมายเลข 8 เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ปี 1958 ถึง 1982 [37]



รูป 5-32 สภาพชายฝั่งทะเล Kaike ภายเมื่อเดือนมีนาคม 1982 [37]



รูป 5-31 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งหมายเลข 2,4,6,8,10 และ 12

[39]

### 5.5 การป้องกันชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน

ในปี 1982 Nir [40] ได้รวบรวมผลศึกษาการป้องกันชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน บริเวณชายฝั่ง Sinai ประเทศอียิปต์ และชายฝั่งในประเทศอิสราเอล ซึ่งได้รวมโครงการป้องกันชายฝั่งทะเล Tel-Aviv ไว้ด้วย (ไคกล่าวไว้ในหัวข้อ 5.3) พื้นที่ศึกษาได้แสดงในรูป 5-33 จากการศึกษาทิศทางกระแสน้ำของตะกอน พบว่า ชายฝั่งบริเวณนี้มีการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งในทิศทวนเข็มนาฬิกา ในปี 1970 Inman and Harris ได้ศึกษาชายฝั่งบริเวณ Bardawil พบว่า มีการเคลื่อนที่ของตะกอนสู่ทิศตามแนวชายฝั่งไปทางทิศตะวันออก ด้วยอัตราประมาณ 300,000 ถึง 800,000  $m^3/ปี$  ในปี 1975 Manoujian and Migniot ได้ศึกษาปริมาณตะกอนพบวาบริเวณชายฝั่ง Gaza, Ashdod, Hadera และ Atlit มีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งประมาณ 400,000, 215,000, 100,000 ถึง 150,000 และ 80,000  $m^3/ปี$  ตามลำดับ ในปี 1980 Kran ได้วิเคราะห์ออกมาว่า เขื่อนกันคลื่นที่ Ashdod Harbour สามารถกักตะกอนได้ประมาณ 80% ของปริมาณตะกอนตามแนวชายฝั่งที่จะเคลื่อนไปทางทิศเหนือ ในปี 1981 Finkelstein ได้ศึกษาชายฝั่งบริเวณ Ashdod พบว่า มีการเคลื่อนที่ของตะกอนสู่ทิศตามแนวชายฝั่งไปทางทิศเหนือด้วยอัตราประมาณ 560,000  $m^3/ปี$  ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก

การติดตามผลการกรอรูป tombolo บริเวณหลังเขื่อน พบว่าต้องใช้เวลาในการกรอรูปโดยเฉลี่ย 2 ปี tombolo จึงมีขนาดประมาณ 50% ของสภาพสมบูรณ์ และจะต้องใช้เวลาอีกประมาณ 3 ปี จึงเข้าสู่สภาพสมบูรณ์ ระยะเวลาการกรอรูป tombolo บริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นแต่ละแห่งได้แสดงในตาราง 5-7 ปริมาณตะกอนทรายที่ทับถมเป็น tombolo ด้านหลังเขื่อนแต่ละแห่งได้แสดงในตาราง 5-8 ส่วนขั้นตอนการกรอรูป tombolo ของชายฝั่ง Netanya ซึ่งเริ่มต้นเมื่อปี 1970 และเข้าสู่สภาพสมบูรณ์เมื่อปี 1973 ดังได้แสดงในรูป 5-34 และขั้นตอนการกรอรูป tombolo ของ Carmel Beach ได้แสดงในรูป 5-35 เมื่อนำขั้นตอนการกรอรูป tombolo ของชายฝั่ง Netanya และ Carmel Beach มาเปรียบเทียบกัน ดังแสดงในรูป 5-36 พบว่าชายฝั่งด้านข้างของเขื่อนที่ Carmel Beach จะเกิดการถดถอยของชายฝั่งขึ้น ซึ่งต่างจากชายฝั่ง Netanya ไม่เกิดการถดถอยที่ชัดเจน

สำหรับระยะทางจากชายฝั่งถึงเขื่อนและความยาวเขื่อนกันคลื่นแต่ละแห่ง ได้รวบรวมไว้ในตาราง 5-9 เมื่อนำอัตราส่วนระหว่างระยะทางจากชายฝั่งต่อความยาวเขื่อนไปหาความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยความหนาของ tombolo จะได้ผลดังแสดงในรูป 5-37 ซึ่งสามารถแทนค่าความสัมพันธ์ได้โดยสมการ

$$d_t = 1.786 - 0.809 \frac{Y}{X}$$

โดยที่  $d_t$  คือความหนาเฉลี่ยของตะกอนทรายที่ทับถมเป็น tombolo มีหน่วยเป็นเมตร และ  $\frac{Y}{X}$  คือ อัตราส่วนระหว่างระยะทางจากชายฝั่งต่อความยาวเขื่อน ซึ่งพบว่าการทับถมของตะกอนทรายจะมีค่าน้อยมากและอาจไม่เกิดขึ้น หากค่า  $\frac{Y}{X}$  เท่ากับ 2 หรือมากกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5-7 ระยะเวลาที่ใช้ก่อรูป tombolo [40]

ชื่อที่ตั้ง	ระยะเวลาที่ใช้ก่อรูป tombolo ตั้งแต่มีขนาด		รวมเวลา ปี
	0-50%, ปี	50-100%, ปี	
Carmel Beach	3.23	2.60	5.83
Netanya เหนือ	1.56	2.10	3.66
Netanya ใต้	1.06	3.52	4.58
Tel-Aviv 1	1.50	4.07	5.57
Tel-Aviv 2	3.15	2.66	5.81

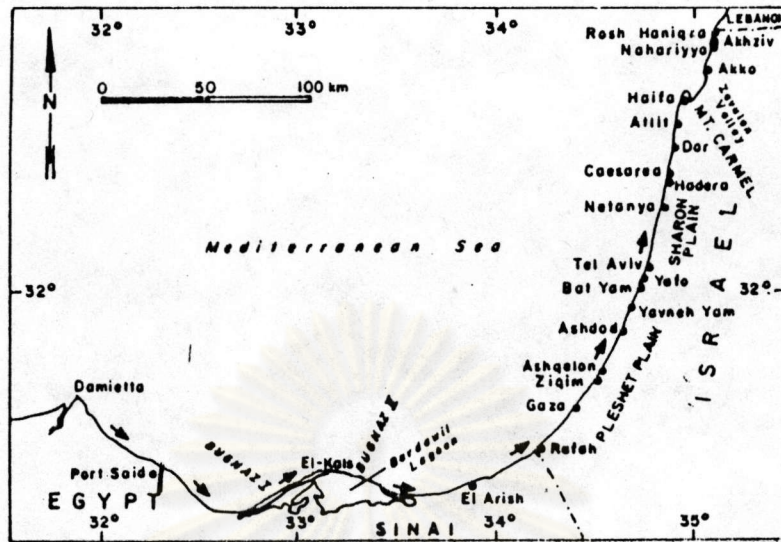
ตาราง 5-8 ปริมาณการทับถมของ ตะกอนทราย [40]

ชื่อที่ตั้ง	ปริมาณตะกอนทราย, ม. <sup>3</sup>
Nahariyya	20,000
Shavey Zion	5,000-18,000
Carmel Beach	55,000
Netanya เหนือ	34,000
Netanya ใต้	38,000
Tel-Baruch	15,000
Tel-Aviv 1	45,000
Tel-Aviv 2	20,000
Bat-Yam	26,000

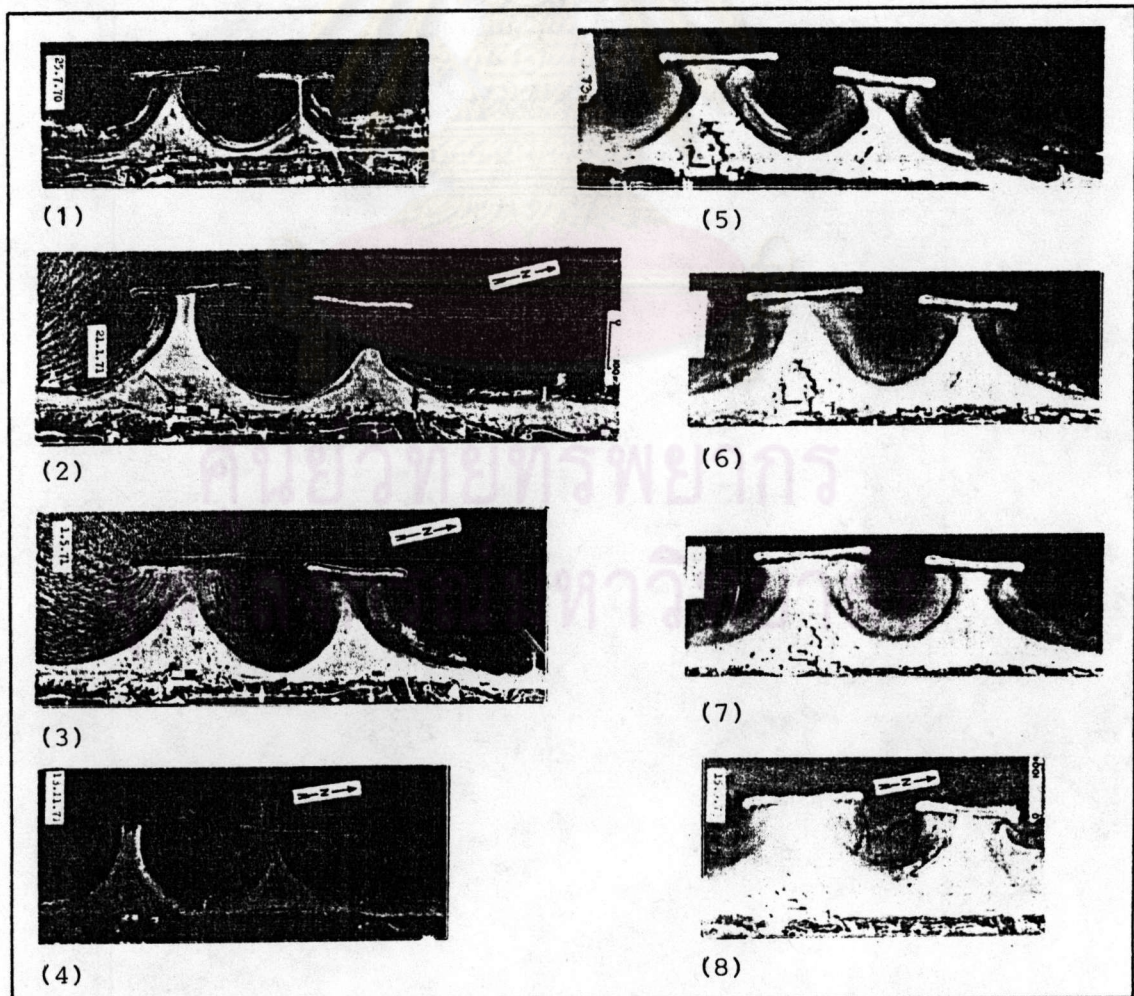
ตาราง 5-9 แสดงระยะทางจากฝั่งถึงเขื่อน และความยาวเขื่อน [40]

ชื่อ ที่ตั้ง	ระยะทางจากฝั่ง,ม.	ความยาวเขื่อน,ม.	ระยะทาง/ความยาว
Nahariyya	70	180	0.38
Carmel Beach	200	280	0.71
Netanya เหนือ	200	207	0.97
Netanya ใต้	216	240	0.90
Tel-Baruch	100	200	0.50
Tel-Aviv 1	200	310	0.64
Tel-Aviv 2	200	240	0.83

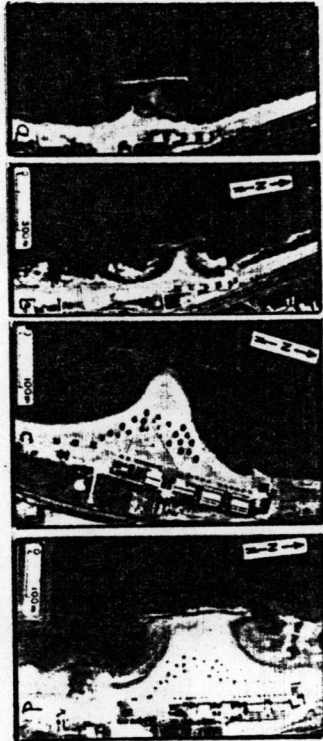
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



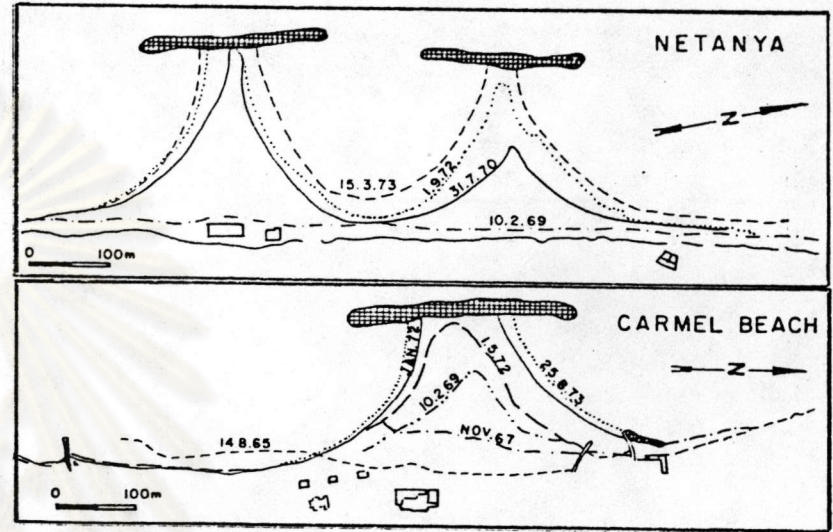
รูป 5-33 ชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียน [40]



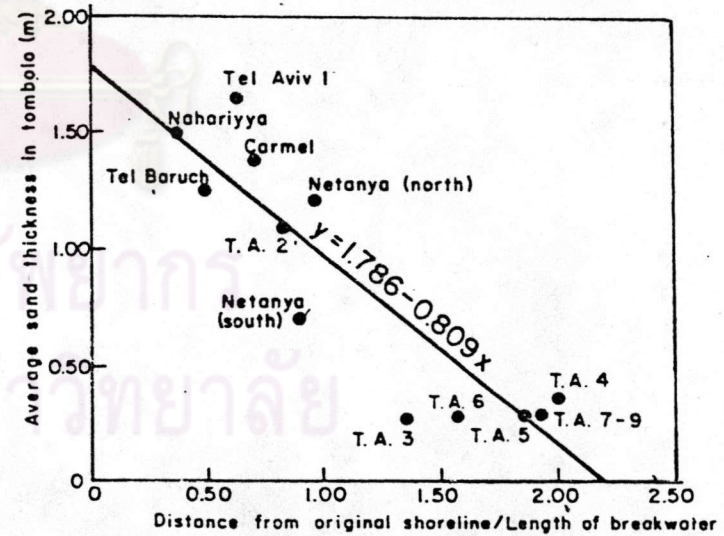
รูป 5-34 ขันตอนกอรูป tombolo ของชายฝั่ง Netanya [40]



รูป 5-35 ชั้นตอนกรรูป tombolo ของชายฝั่ง Carmel Beach [40]



รูป 5-36 เปรียบเทียบการกรรูป tombolo ระหว่าง Natanya กับ Carmel Beach [40]



รูป 5-37 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาเฉลี่ยของ tombolo กับ ระยะทางจากฝั่งต่อความยาวเขื่อน [40]

## 5.6 โครงการป้องกันชายหาด Lakeview Park ประเทศสหรัฐอเมริกา

ในปี 1980 และ 1983 Walker, Clark, Pope และ Rowen [41], [42] ได้ศึกษาโครงการป้องกันชายหาด Lakeview Park ริมหะเลสาบ Erie ที่เมือง Lorain, Ohio ประเทศสหรัฐอเมริกา โครงการนี้สร้างเสร็จเมื่อเดือนตุลาคม 1977 ตั้งทางจาก Lorain Harbor ไปทางทิศตะวันตกไม่เกิน 1 ไมล์ กังในรูป 5-38 ซึ่งเป็นบริเวณริมเงาของเขื่อนฝั่งซ้ายของ Lorain Harbor ที่มีความยาวประมาณ 5,000 ฟุต

### 5.6.1 ลักษณะโครงการ

โครงการป้องกันชายหาด Lakeview Park ประกอบด้วย เขื่อนกันคลื่นแยก, คันค้ำตะกอน และการถมทรายชายหาดเขยชายฝั่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) เขื่อนกันคลื่นแยก เป็นเขื่อนชนิด rubble mound จำนวน 3 เขื่อน แต่ละเขื่อนยาว 50 ฟุต ช่องว่างระหว่างเขื่อน 160 ฟุต ระยะทางจากชายฝั่งถึงเขื่อนคานซ้ายและคานขวา ยาวประมาณ 450 ฟุต และ 550 ฟุต ตามลำดับ ตั้งอยู่บริเวณน้ำลึกประมาณ 10 ถึง 30 ฟุต สันเขื่อนอยู่เหนือระดับน้ำปานกลาง 6 ฟุต และอยู่เหนือระดับน้ำต่ำสุด 8 ฟุต ระดับน้ำต่ำสุดของทะเลสาบ Erie อยู่ที่ระดับ 568.6 ฟุตเหนือระดับน้ำทะเลกลาง กังแสดงในรูป 5-39 และ 5-40
- 2) คันค้ำตะกอน มีจำนวน 2 แห่ง ตั้งอยู่ที่บริเวณปลายเขตโครงการทั้งสองด้าน มีระยะทางระหว่างกันประมาณครึ่งไมล์ คันค้ำตะกอนฝั่งซ้ายสร้างด้วยคอนกรีต ความยาว 150 ฟุต ส่วนฝั่งขวาประกอบด้วย rubble mound และคอนกรีต ความยาว 350 ฟุต กังแสดงในรูป 5-41
- 3) การถมทรายชายหาดเขยชายฝั่งที่สูญเสียไป ขนาดของทรายที่ใช้มีค่าเฉลี่ย 0.5 มม. ปริมาณ 110,000 ลบ.หลา สามารถขยายชายฝั่งกว้างครึ่งไมล์ให้ยื่นออกไปได้เป็นระยะ 200 ฟุต



### 5.6.2 กระแสน้ำและการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง

กระแสน้ำตามแนวชายฝั่งในทะเลสาบ Erie มีทิศทางไหลจากทิศตะวันออก ไปทิศตะวันตก ซึ่งถูกสกัดกั้นโดยเขื่อนของ Lorain Harbor (ดูรูป 5-38) ส่วนกระแสน้ำตามแนวชายฝั่งเฉพาะบริเวณริมเขื่อนของ Lorain Harbor จะมีทิศทางไหลสวนทางโดยไหลจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก จากการศึกษาในชั้นออกแบบโครงการ Lorain Harbor ได้ประเมินว่าจะมีปริมาณตะกอนตามแนวชายฝั่งมาทับถมบริเวณริมเขื่อนประมาณ 20,000 ลบ.หลาต่อปี แต่หลังจากสร้างเสร็จพบว่ามีตะกอนมาทับถมเพียง 5,000 ถึง 8,000 ลบ.หลาต่อปี

สำหรับโครงการป้องกันชายหาด จากการคาดคะเนปริมาณตะกอนที่สูญเสียมีประมาณ 5,000 ลบ.หลาต่อปี แต่ภายหลังจากสร้างโครงการนี้เสร็จต้องบำรุงรักษาชายหาดด้วยการถมทรายชดเชยถึงสองครั้ง ได้แก่ เมื่อเดือนกรกฎาคม 1980 ประมาณ 6,000 ลบ.หลา และเดือนกันยายน 1981 ประมาณ 3,000 ลบ.หลา ซึ่งได้พบว่าการเคลื่อนที่ของตะกอนมีทิศไปทางคานตะวันออก และเกิดการถดถอยของชายหาดคานตะวันตกคั้งแสดงในรูป 5-42 จากรูป 5-43 (ก) ในวันที่ 25 เมษายน 1980 พบว่าบริเวณปลายคานตะวันตกของโครงการมีการถดถอยของชายหาดมาก (ข) ในวันที่ 25 กรกฎาคม 1980 พบว่าชายหาดได้รับการถมทรายชดเชยส่วนที่สูญเสียไปประมาณ 6,000 ลบ.หลา (ค) ในวันที่ 8 กันยายน 1980 พบว่าชายหาดคานตะวันตกเกิดการถดถอยอย่างรวดเร็ว ภายในระยะเวลาเดือนเศษ มีการถดถอยเป็นระยะทางประมาณ 30 ถึง 40 ฟุต และ (ง) ในวันที่ 21 เมษายน 1981 พบว่าเกิดการตกจมของตะกอนทราย ทำให้ชายหาดได้รับการทับถมกลับคืนมาบ้าง

จากการสังเกตการเคลื่อนที่ของกระแสน้ำและตะกอนบริเวณโครงการ พบว่าโดยทั่วไปกระแสน้ำจะพาตะกอนเคลื่อนจากคานตะวันตกไปตะวันออก โดยในปี 1980 มีปริมาณ 95% และในปี 1981 มีปริมาณ 93% ส่วนในปี 1979 ได้เกิดพายุรุนแรงจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้เกิดกระแสน้ำพัดพาตะกอนปริมาณหนึ่งไปยังคานตะวันตก ซึ่งในปีนั้น พบว่าปริมาณตะกอนที่เคลื่อนไปทางคานตะวันออกมีเพียง 79% สำหรับอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง (longshore transport rate,  $Q_s$ ) คำนวณได้จากพลังงานตามแนวชายฝั่ง (longshore energy flux,  $PI_s$ ) ดังสมการ

$$Q_s = 7.5 \times 10^3 P_{1s}$$

$$P_{1s} = P \sin \alpha_b$$

$$P = \frac{1}{8} \rho g H_b^2 C \cos \alpha_b$$

พลังงานคลื่นที่เคลื่อนผ่านชายฝั่งได้แสดงในรูป 5-44 และพลังงานคลื่นตามแนวชายฝั่งที่ผ่านจุดที่ตั้งโครงการ ซึ่งเกิดจากคลื่นในทิศทางต่าง ๆ ได้แสดงในรูป 5-45

### 5.6.3 สภาพกระแสลมและคลื่น

สภาพคลื่นในบริเวณโครงการ ได้ทำการวัดในระหว่างเดือนกรกฎาคม 1981 ถึง ธันวาคม 1981 พบว่าสภาพคลื่นรุนแรง (strom wave) ซึ่งเกิดขึ้นในวันที่ 6 พฤศจิกายน 1981 มีค่าความสูงคลื่นนัยสำคัญ,  $H_s$  เท่ากับ 7 ฟุต และมีคาบเวลาเท่ากับ 6 วินาที สภาพกระแสลมและคลื่นก่อให้เกิดกระแสในบริเวณ Lakeview Park ได้ทำการสำรวจภาคสนามเป็นระยะเวลาสั้น ๆ เพียง 3 วัน ในเดือนพฤษภาคม 1981 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) การสำรวจในวันแรก พบว่ากระแสลมมีทิศทางมาจากด้านใต้และตะวันตกเฉียงใต้ของชายฝั่งมีความเร็ว 4 ไมล์ต่อชั่วโมง และได้ทำการปล่อยทุ่นจำนวน 2 ทุ่นบริเวณหลังแนวเขื่อน ปรากฏว่าทุ่นแรกที่ปล่อยใกล้ฝั่งได้เคลื่อนที่ขนานกับชายฝั่งไปทางด้านตะวันออกด้วยความเร็ว 0.2 ฟุตต่อวินาที ส่วนทุ่นที่สองเคลื่อนที่ไปทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือผ่านช่องว่างระหว่างเขื่อนตำแหน่งชายและกลางด้วยความเร็ว 0.4 ฟุตต่อวินาที และมีความเร็วเพิ่มขึ้นขณะที่ไหลผ่านช่องว่างระหว่างเขื่อน
- 2) การสำรวจในวันที่สอง พบว่ากระแสลมมีทิศทางมาจากด้านตะวันออกด้วยความเร็ว 6 ไมล์ต่อชั่วโมง ทำให้เกิดกระแสน้ำไหลขนานตามแนวชายฝั่งไปทางด้านตะวันตก ความเร็วกระแสน้ำบริเวณช่องว่างระหว่างเขื่อนมีค่ามากกว่าบริเวณหลังเขื่อน ความเร็วสูงสุดที่วัดได้จากการปล่อยสีพบว่ามีความเร็ว 0.9 ฟุตต่อวินาที ซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณใกล้ช่องว่างระหว่างเขื่อนตำแหน่งขวาและกลาง

- 3) การสำรวจในวันที่สาม พบว่ากระแสลมมีทิศทางมาจากด้านเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ มีคลื่นเกิดขึ้นด้านหน้าเขื่อนมีขนาดสูงกว่า 3 ฟุต และด้านหลังเขื่อนมีขนาด 1 ถึง 2 ฟุต และได้ทำการวัดกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดกระแส (current meter) โดยทำการวัดเปรียบเทียบระหว่างบริเวณใกล้ก้นตักตะกอนฝั่งซ้ายและขวาที่ตำแหน่งกึ่งกลางของความลึกน้ำและที่ไกลต่อน้ำ พบว่ามีความเร็วต่างกันประมาณ 0.3 ถึง 0.4 ฟุตต่อวินาที และที่ตำแหน่งความลึก 4 ถึง 5 ฟุตใต้ผิวน้ำ พบว่าความเร็วต่างกันประมาณ 0.5 ฟุตต่อวินาที จากการปล่อยทุ่นและสี พบว่ากระแสน้ำมีทิศเคลื่อนไปทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ด้วยความเร็วระหว่าง 0.2 ถึง 0.6 ฟุตต่อวินาที และเคลื่อนที่วนอยู่บริเวณปลายก้นตักตะกอนฝั่งซ้าย

#### 5.6.4 วิเคราะห์การออกแบบ

การศึกษานี้ได้พยายามหาหลักเกณฑ์ เพื่อนำมาออกแบบกำหนดตำแหน่งและขนาดของเขื่อนกันคลื่น เพื่อใช้ป้องกันชายหาด สำหรับหน้าที่หลักของเขื่อนกันคลื่นได้แก่ การลดพลังงานคลื่นที่กระทำต่อชายหาดและลดปริมาณการเคลื่อนที่ของตะกอน ในการออกแบบเขื่อนชนิดนี้มักสมมุติให้เขื่อนตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ความลึกของน้ำคงที่ ลักษณะโครงสร้างเขื่อนเป็นแบบที่หน้าและไม่เกิดการขามลนสั้นเขื่อนของคลื่น (overtopping) รูปชายหาดสมมุติขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของคลื่นในทิศทางที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง และต้องสอดคล้องกับแนวยอดคลื่นที่กระจายเข้าสู่บริเวณหลังเขื่อน ไม่เช่นนั้นคลื่นที่เคลื่อนเข้ากระทบชายหาดจะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนขึ้น คลื่นในทิศทางที่เกิดบ่อยที่เลือกนำมาใช้ออกแบบการวางตำแหน่งเขื่อน จะต้องสอดคล้องกับคลื่นที่ทำให้เกิดพลังงานสุทธิขึ้น ในรูป 5-46 แสดงการกระจายของคลื่นเพื่อใช้วิเคราะห์ออกแบบเขื่อน ความเข้มของเส้นที่แสดงแนวยอดคลื่น มีความหนาและบางตามค่าสัมประสิทธิ์การกระจายของคลื่น (diffraction coefficient,  $K_d$ ) อย่างไรก็ตามรูปชายหาดสมมุติก็ยังได้รับอิทธิพลจากการหักเหของคลื่นด้วย ชายหาดสมมุติจะมีส่วนยื่นของชายหาดอยู่ใกล้กับแนวศูนย์กลางของเขื่อน ส่วนยื่นของชายหาดนี้จะเลื่อนไปตามอิทธิพลของคลื่นที่เคลื่อนเข้าสู่ฝั่งด้วย แนวชายหาดของโครงการขึ้นอยู่กับแนวชายหาดด้านเหนือและท้ายน้ำ ซึ่งจะส่งผลให้ชายหาดของโครงการ

ไม่คงรูปตามความเหมาะสม เนื่องจากจะเกิดการถดถอยของชายหาดด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำขึ้น หลังจากสร้างเขื่อนเสร็จ จึงได้สร้างคันค้ำตะกอนขึ้นเพื่อพยายามรักษารูปชายหาดไว้ ลักษณะของคันค้ำตะกอนฝั่งขวาได้แสดงไว้ในรูป 5-41 ซึ่งเป็นคันค้ำตะกอนที่ยาวเพื่อสกัดกั้นตะกอนทรายที่จะไหลไปยังด้านตะวันออกให้ตกจมอยู่ในบริเวณพื้นที่โครงการไว้บางส่วน

ลักษณะการยื่นของชายหาดหลังเขื่อน ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของตะกอนใกล้ฝั่งและแนวยอดคลื่นที่เกิดการกระจายค้ำไกลเข้ามาแล้ว หากวางตำแหน่งเขื่อนใกล้ฝั่งมากเกินไปจะทำให้เกิดการตกจมของตะกอนบริเวณด้านหลังเขื่อนมากจนอาจก่อให้เกิด tombolo ยื่นชิดเขื่อนได้ ซึ่งจุดประสงค์ของโครงการนี้ไม่ต้องการให้เป็นเช่นนั้น และ仍将ทำให้การเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งไปยังท้ายน้ำมีอัตราการลดลงได้ ทำให้เกิดการถดถอยของชายหาดด้านท้ายน้ำขึ้น

การป้องกันการก่อรูป tombolo ทำได้โดยการออกแบบความยาวเขื่อน ระยะทางจากฝั่งถึงเขื่อนและระยะช่องว่างระหว่างเขื่อนให้เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงทิศทางคลื่นซึ่งทำให้เกิดพลังงานในทิศทาง ๆ ที่กระทำต่อชายหาดเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาให้ดี คลื่นในทิศทางที่เกิดขึ้นน้อยจะเป็นคลื่นที่นำเอาตะกอนทรายมาตกจมทำให้เกิดการยื่นของชายหาด และหากคลื่นในทิศทางอื่นสามารถนำเอาตะกอนเคลื่อนผ่านไปได้อย่างเหมาะสม ก็จะทำให้ไม่เกิดการก่อรูป tombolo ขึ้น พลังงานคลื่นที่จะทำให้ชายหาดไม่สามารถก่อรูป tombolo ขึ้นยังไม่ทราบแน่ชัด แต่จากการสังเกตโดย James Dunham ถึงการออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกที่ Venice, California ในปี 1902 ซึ่งมีความยาวเขื่อนเท่ากับ 600 ฟุต ระยะทางจากฝั่งถึงเขื่อนเท่ากับ 1,200 ฟุต จะเกิดการยื่นของชายหาดเพียงเล็กน้อยไม่เกิน 200 ฟุตจากฝั่ง Dunham พบว่า ชายหาดจะยื่นออกมาถึงบริเวณที่เส้นสัมผัสวิถีการกระจายของคลื่นเท่ากับ 0.3 คัดกัน อย่างไรก็ตาม อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งก็ยังเป็นองค์ประกอบหลักที่กำหนดระยะการยื่นของชายหาด ส่วนความยาวเขื่อน ระยะทางจากฝั่ง และช่องว่างระหว่างเขื่อน เป็นองค์ประกอบหลักที่กำหนดแนวชายหาด

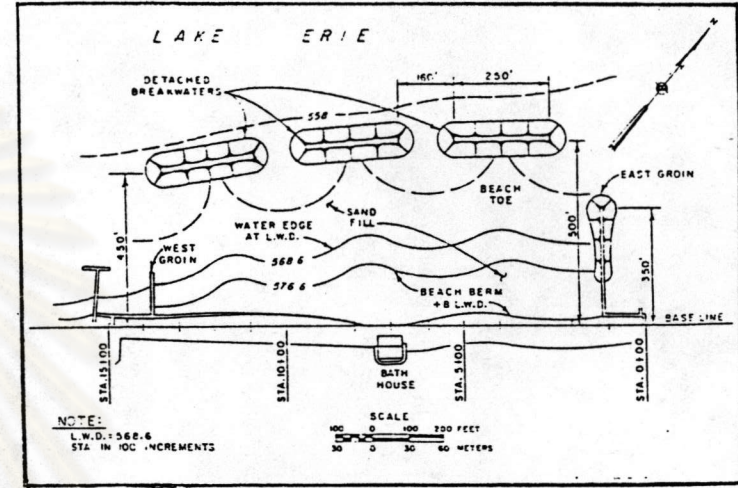
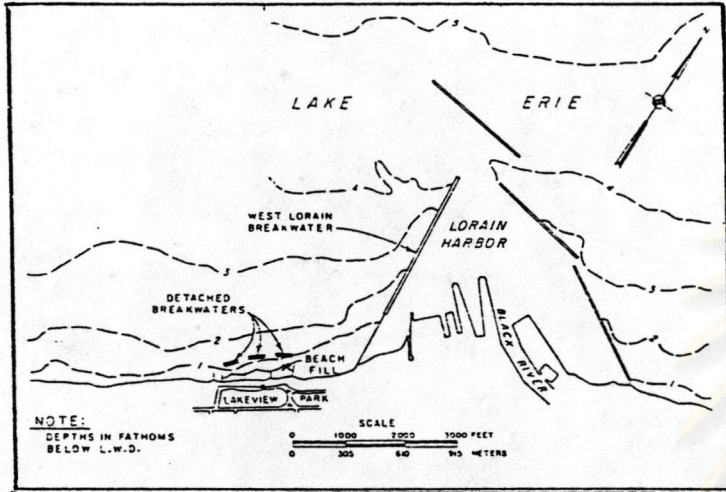
#### 5.6.5 การสำรวจสภาพท้องน้ำ

การสำรวจสภาพท้องน้ำ ได้กระทำในช่วงเดือนตุลาคม 1977 ถึง กันยายน 1982 พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนทรายบริเวณริมเงาเขื่อน ดังได้แสดงในรูป 5-47 ซึ่ง

ปรากฏว่ามีการทับถมสูงในเคื่อนพฤษภาคม และมีการกัดเซาะสูงในเคื่อนกันยายนและพฤศจิกายน ปริมาณตะกอนทับถมสุทธิเฉลี่ยประมาณ 3,000 ลบ.หลาต่อปี แต่หลังจากสร้างเสร็จแล้วได้ 5 ปี ปริมาณการทับถมจะลดลงมาก การเปลี่ยนแปลงของน้ำบริเวณช่องว่างระหว่างเขื่อนตำแหน่ง ขวาและกลางได้แสดงในรูป 5-48 ส่วนบริเวณริมเงาเขื่อนตำแหน่งซ้ายได้แสดงในรูป 5-49

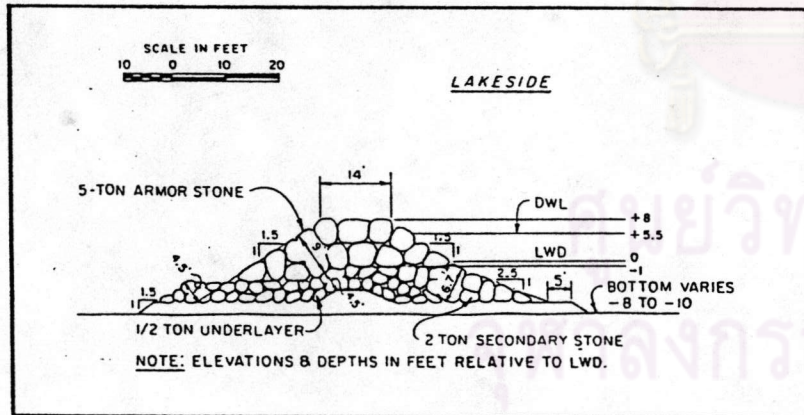


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

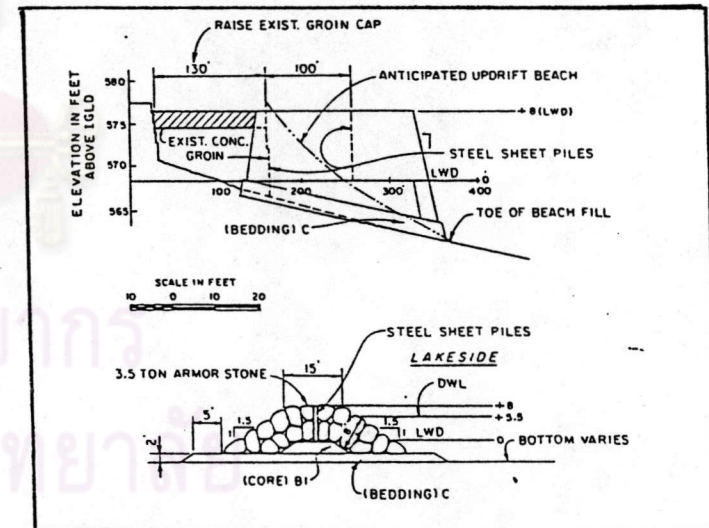


รูป 5-38 แผนที่แสดงจุดที่ตั้งโครงการป้องกันชายหาด Lakeview Park, Ohio ประเทศสหรัฐอเมริกา [42]

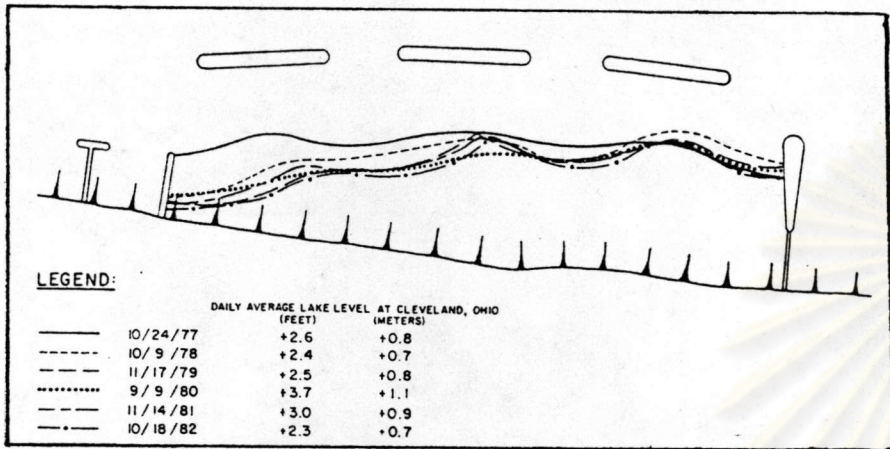
รูป 5-39 ลักษณะโครงการป้องกันชายหาด Lakeview Park [42]



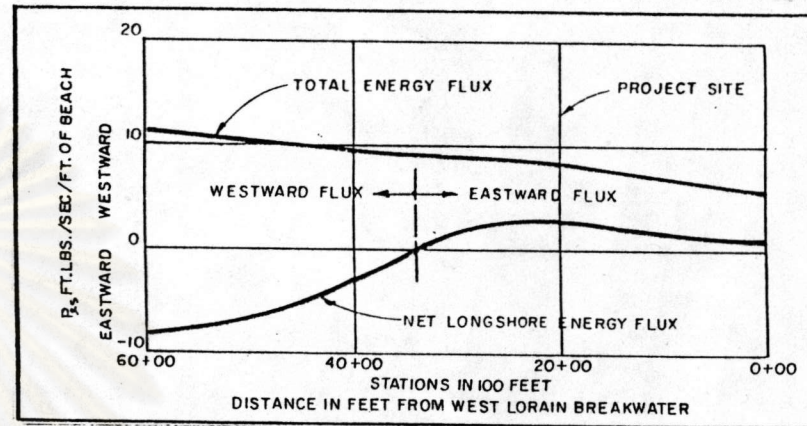
รูป 5-40 ลักษณะโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น [41]



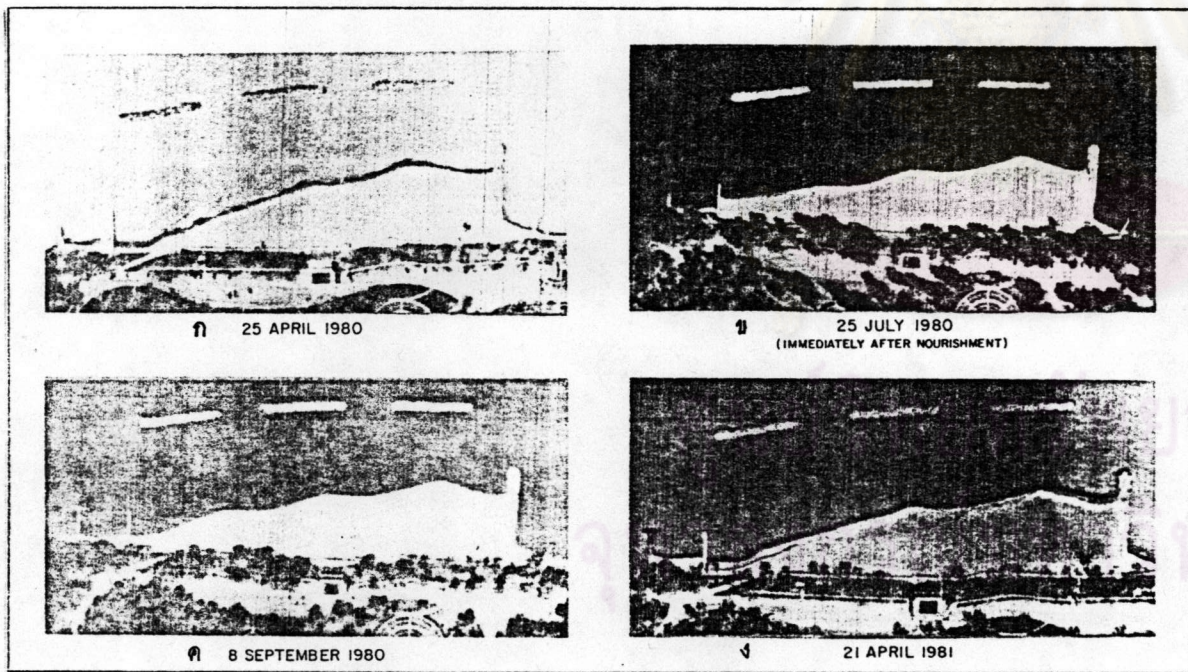
รูป 5-41 ลักษณะโครงสร้างคันค้ำตะกอนฝั่งขวา [41]



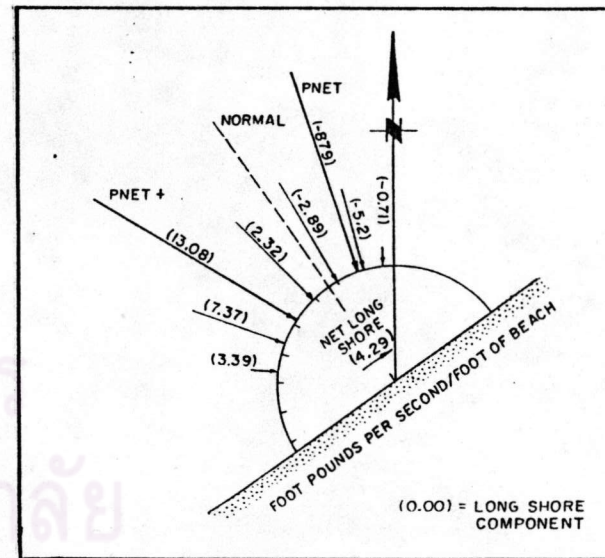
รูป 5-42 การถดถอยของชายหาด [42]



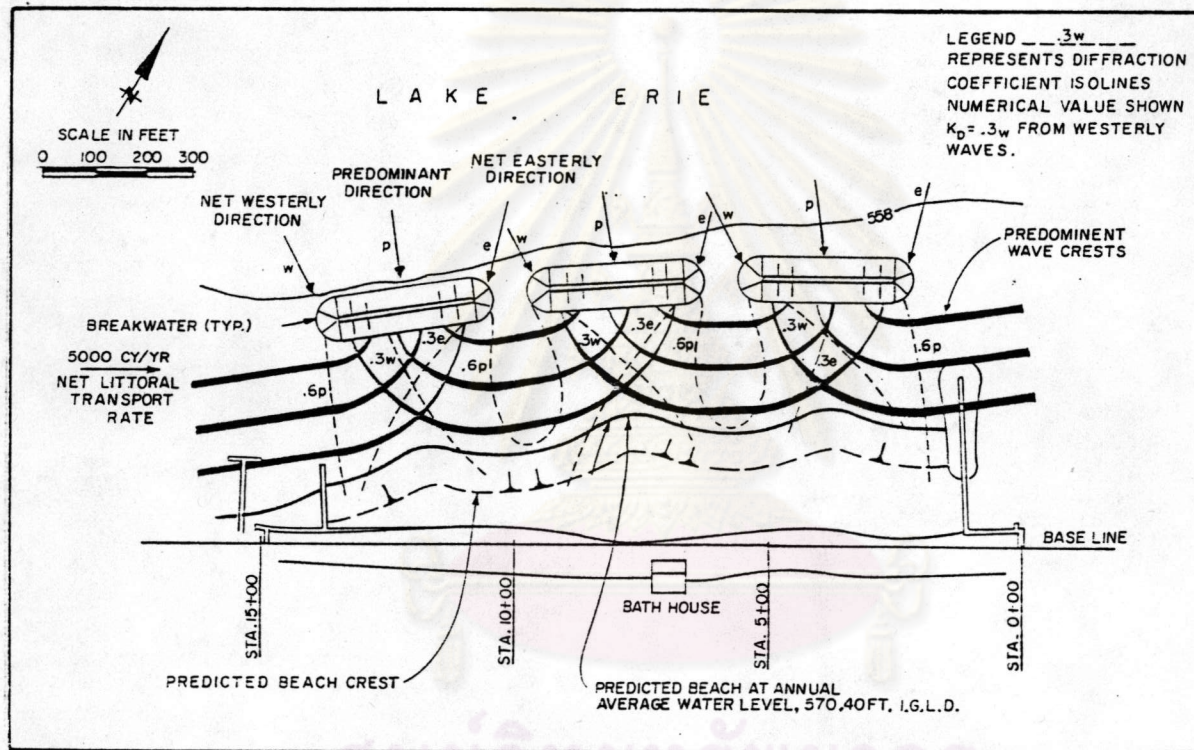
รูป 5-44 พลังงานคลื่นที่เคลื่อนผ่านชายฝั่งโดยเฉลี่ยต่อปี [41]



รูป 5-43 ขั้นตอนการถดถอยของชายหาด [42]



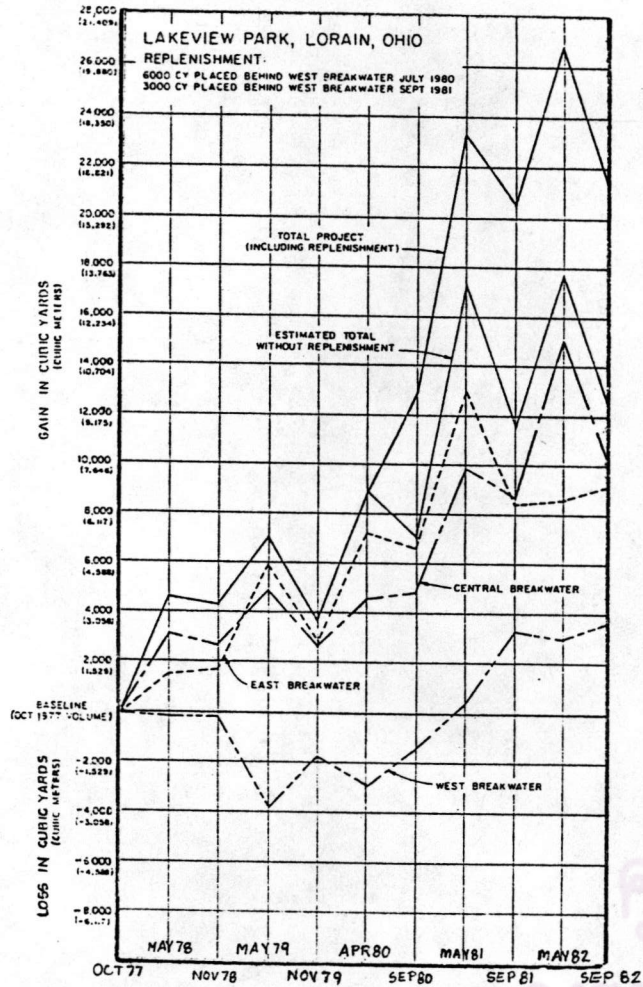
รูป 5-45 ทิศทางของพลังงานคลื่นโดยเฉลี่ยต่อปี [41]



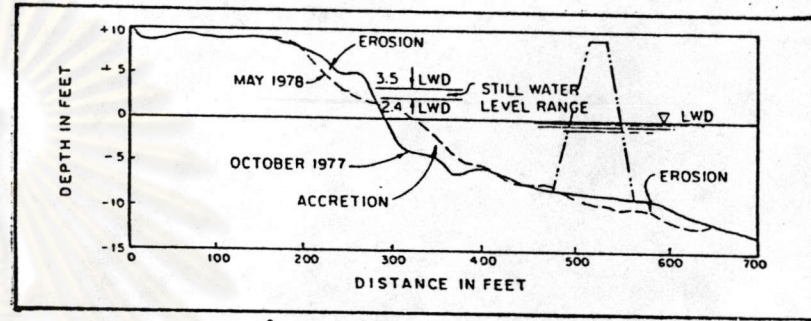
รูป 5-46 ลักษณะการกระจายของคลื่น นำมาใช้ทำนายนรूपรางชายหาด [41]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

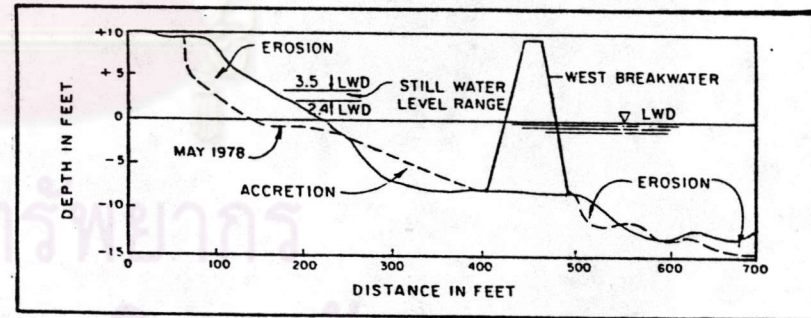




รูป 5-47 การเปลี่ยนแปลงปริมาณตะกอนทรายบริเวณ  
รมเงาเขื่อน [41]



รูป 5-48 การเปลี่ยนแปลงทอนน้ำบริเวณช่องว่างระหว่างเขื่อน  
ตำแหน่งขวาและกลาง [40]



รูป 5-49 การเปลี่ยนแปลงทอนน้ำบริเวณริมเงาเขื่อนตำแหน่งซ้าย [40]