

การออกแบบโครงสร้างห้วยขาดโดยเขื่อนกันคลื่น

ในบทนี้ได้อธิบายถึง ผลสรุปการกำหนดความยาวเขื่อนกับระยะทางจากชายฝั่ง ช่องว่างระหว่างเขื่อน ความสูงเขื่อนกันคลื่น และลักษณะโครงสร้าง เพื่อนำมาเป็นบรรทัดฐานสำหรับใช้ออกแบบโครงสร้างห้วยขาดโดยเขื่อนกันคลื่น เพื่อป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง พร้อมทั้งก่อให้เกิดการตกจมของตะกอนทรายและกรูรูป tombolo ขึ้นบริเวณหลังเขื่อน

6.1 ความยาวเขื่อนกับระยะทางจากชายฝั่ง

6.1.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการกรูรูป tombolo ประกอบด้วยหลายตัวแปร ตัวแปรเหล่านี้ได้ผสมผสานกันก่อให้เกิดปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยาที่ซับซ้อน และมีความผันแปรเป็นอย่างมาก การศึกษานี้จึงได้ศึกษาคุณสมบัติของตัวแปรเฉพาะที่สำคัญ ๆ ในรูป 6-1 แสดงตัวแปรต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการกรูรูป tombolo (z) ซึ่งมีตัวแปรที่ควรแก่การพิจารณาได้แก่ พลังงานคลื่น (H, L) ทิศทางคลื่น (β) ความยาวเขื่อน (x) และระยะทางจากชายฝั่ง (y) สามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Z = f(H, L, \beta, x, y)$$

โดยมีรายละเอียดของตัวแปรดังต่อไปนี้

- 1) พลังงานคลื่น ประกอบด้วยความสูงและความยาวคลื่นเป็นสำคัญ พลังงานคลื่นจะก่อให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งและเกิดกระแสน้ำเข้า-ออกชายฝั่งพัดพาตะกอนมาทับถมบริเวณรวมเงาเขื่อน
- 2) ทิศทางคลื่น ถึงแม้ว่าคลื่นจะพยายามเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งในทิศทางตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง แต่คลื่นที่เคลื่อนเข้ากระทบเขื่อนอาจมีทิศทางทำมุมเฉียงกับแนวเขื่อน ซึ่งมีผลทำให้ระยะรวมเงาเขื่อนลดลงและส่งผลกระทบต่อขนาด tombolo

- 3) ความยาวเขื่อน เขื่อนเป็นที่กำบังคลื่น ทำให้เกิดกรมเงาซึ่งเป็นบริเวณที่คลื่นมีพลังงานลดลงอันเนื่องจากการกระจายพลังงาน มีผลโดยตรงต่อการป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง
- 4) ระยะทางจากชายฝั่ง เป็นระยะจากชายฝั่งถึงเขื่อนตามแนวทิศทางการคลื่น มีผลต่อขนาดความสูงคลื่นที่เคลื่อนกระทบชายฝั่งบริเวณหลังเขื่อน หากระยะทางจากชายฝั่งมีค่ามาก คลื่นที่เคลื่อนกระทบชายฝั่งหลังจากเกิดการกระจายจะมีค่าน้อยซึ่งมีผลโดยตรงต่อการก่อรูป tombolo

#### 6.1.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและหลักการวิเคราะห์

ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งทำการศึกษาโดย Shinohara [25], Rosen [26] และ Sasaki [43] นำมารวบรวมและวิเคราะห์กำหนดความยาวเขื่อนกับระยะทางจากชายฝั่ง หาความสัมพันธ์ระหว่างการก่อรูป tombolo กับพลังงานคลื่น ซึ่งปรากฏผลดังแสดงในตาราง 6-1 โดยมีหลักการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) การก่อรูป tombolo ขึ้นอยู่กับพลังงานคลื่น ซึ่งประกอบด้วยความสูงและความยาวคลื่นเป็นหลัก
- 2) การหาความสัมพันธ์ระหว่างการก่อรูป tombolo กับพลังงานคลื่น แยกแยกออกเป็นกลุ่มตามอัตราส่วนของความยาวเขื่อนต่อระยะทางจากชายฝั่ง ( $\frac{x}{y}$ ) แต่ละค่าได้แก่ 0.25, 0.50, 1.00 และ 2.00
- 3) คลื่นที่นำมาวิเคราะห์ มีทิศทางตั้งฉากกับเขื่อนและแนวชายฝั่ง จึงสามารถตัดตัวแปรทิศทางคลื่นออกจากการวิเคราะห์
- 4) ขนาด tombolo และค่าพลังงานคลื่น จัดให้อยู่ในรูปไรหน่วย สำหรับระยะยื่นของ tombolo ทำให้ไรหน่วยโดยการหารด้วยระยะทางจากชายฝั่ง ( $\frac{z}{y}$ ) ส่วนค่าพลังงานคลื่นทำให้ไรหน่วยโดยการหารด้วยความยาวเขื่อนและระยะทางจากชายฝั่งยกกำลังสอง ( $\frac{H^2 L}{xy^2}$ ) ซึ่งได้อาศัยหลักการดังนี้

$$\text{เพราะว่า } H_d = f(H, r, \beta, \theta)$$

โดยที่  $H_d$  คือ ความสูงคลื่นภายหลังการกระจาย

$H$  คือ ความสูงคลื่น  $r$  คือ ระยะทางจากปลายเขื่อนไปยังบริเวณหลังเขื่อน  
 $\beta$  คือ มุมที่สันคลื่นทำกับแนวทิวหาด  $\theta$  คือ มุมของความลาดต่อน้ำ  
 จะเห็นว่า  $H$  กับ  $r$  ต่างก็เกี่ยวข้องกับ  $H_d$  และ  $r = f(x, y)$   
 จึงกำหนดหน่วยความสูงคลื่นยกกำลังสอง ( $H^2$ ) โดยการหารด้วยความยาวเขื่อน  
 ( $x$ ) และระยะทางจากชายฝั่ง ( $y$ ) ส่วนความยาวคลื่น ( $L$ ) ขึ้นอยู่กับความ  
 ลึกของน้ำ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความลาดต่อน้ำและระยะทางที่คลื่นเคลื่อนเข้าหา  
 ชายฝั่ง การกำหนดหน่วยของความยาวคลื่น จึงกำหนดให้หารด้วยระยะทาง  
 จากชายฝั่ง ดังนั้นพลังงานคลื่นไรหน่วยจึงถูกจัดอยู่ในรูปของ  $\frac{H^2 L}{xy^2}$

### 6.1.3 การกรอรูป tombolo กับตัวแปรต่าง ๆ

การวิเคราะห์ใดที่พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของการกรอรูป tombolo กับคุณสมบัติคลื่น 3  
 ลักษณะ อันได้แก่ ความชันคลื่น ( $H/L$ ) พลังงานคลื่น ( $P$ ) และพลังงานคลื่นไรหน่วย ( $\frac{H^2 L}{xy^2}$ )  
 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์และผลปรากฏดังนี้

- 1) ขั้นตอนแรก เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการกรอรูป tombolo ( $\frac{Z}{y}$ )  
 กับความชันคลื่น ซึ่งได้ผลดังแสดงในรูป 6-2 พบว่าในอัตราส่วนความยาวเขื่อน  
 ต่อระยะทางจากชายฝั่ง ( $\frac{x}{y}$ ) แต่ละค่า เมื่อความชันคลื่นมีค่าสูง tombolo  
 จะมีขนาดเล็ก หากความชันคลื่นมีค่าน้อย tombolo จะมีขนาดใหญ่ แต่สำหรับ  
 อัตราส่วน  $\frac{x}{y} = 2.00$  เส้นกราฟที่ได้จะเป็นรูปโค้งคว่ำ ซึ่งก็หมายความว่า  
 เมื่อความชันคลื่นลดลงถึงจุดหนึ่งแทนที่ tombolo จะมีขนาดใหญ่ขึ้น กลับมีขนาด  
 เล็กลง เนื่องจากคลื่นไม่สามารถพาตะกอนเข้าไปทับถมตามชายฝั่งในบริเวณ  
 หลังเขื่อนได้ อย่างไรก็ตามความชันคลื่นก็มีได้เป็นค่าที่แสดงถึงพลังงานคลื่น  
 แต่จากขั้นตอนนี้ทำให้สามารถรู้ได้ว่าการกรอรูป tombolo มีความสัมพันธ์กับตัว  
 แปรคลื่นในลักษณะนี้
- 2) ขั้นตอนที่สอง เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการกรอรูป tombolo กับ  
 พลังงานคลื่น จากขั้นตอนแรกเปลี่ยนตัวแปรคลื่นจากความชันให้อยู่ในรูปพลังงาน  
 ทำให้ได้ผลดังแสดงในรูป 6-3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพลังงานคลื่นมีความสัมพันธ์  
 กับการกรอรูป tombolo อย่างเห็นได้ชัดเจน เส้นกราฟที่แสดงถึงอัตราส่วน

ความยาวเขื่อนต่อระยะทางจากชายฝั่ง ( $\frac{x}{y}$ ) ในแต่ละค่า มีลักษณะทำนองเดียวกับที่ทำกรวิเคราะห์ในขั้นตอนแรก แต่ผลจากขั้นตอนที่สองนี้ยังไม่สามารถนำไปเป็นบรรทัดฐานสำหรับการออกแบบเขื่อนกันคลื่นได้ เนื่องจากพลังงานคลื่นดังกล่าวเป็นขนาดในแบบจำลอง แต่ก็ทำให้ยืนยันได้ว่าพลังงานคลื่นมีผลต่อการก่อรูป tombolo เช่นนี้

- 3) ขั้นตอนที่สาม เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อรูป tombolo กับพลังงานคลื่นไรหน่วย ในขั้นตอนนี้ได้กำหนดหน่วยของพลังงานคลื่น ซึ่งอยู่ในรูปตัวแปรความสูงคลื่นยกกำลังสองและความยาวคลื่น โดยทำการหารด้วยตัวแปรอื่นอันได้แก่ ความยาวเขื่อนและระยะทางจากชายฝั่งยกกำลังสอง ที่เป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วนความยาวเขื่อนต่อระยะทางจากชายฝั่ง ซึ่งจะทำให้เส้นกราฟที่ได้มีลักษณะทำนองเดียวกันกับในขั้นตอนที่สอง ซึ่งได้ผลดังแสดงใน

รูป 6-4

สรุปผลการก่อรูป tombolo กับค่าพลังงานคลื่นไรหน่วยในรูป 6-4 สามารถนำไปใช้เป็นบรรทัดฐานในการออกแบบกำหนดตำแหน่งเขื่อนกันคลื่น เพื่อป้องกันการกัดเซาะชายฝั่ง พร้อมทั้งก่อให้เกิดการทับถมตะกอนบริเวณชายฝั่งหลังเขื่อน สำหรับอัตราส่วนความยาวเขื่อนต่อระยะทางจากชายฝั่งที่มีค่าเท่ากับ 0.25 นั้น ค่าพลังงานคลื่นไรหน่วยที่นำมาใช้ไม่ควรเกิน  $1.4 \times 10^{-3}$  เพราะอัตราส่วนการก่อรูป tombolo ที่เกิดขึ้นมีค่าเพียง 0.1 หากใช้ค่าพลังงานคลื่นไรหน่วยเกินกว่านั้นอาจเกิดการกัดเซาะชายฝั่งได้ เนื่องจากการวิเคราะห์ที่มีขอบเขตจำกัดในการพิจารณาตัวแปรที่สลับซับซ้อน จึงอาจเกิดความคลาดเคลื่อน มีผลทำให้ไม่เกิดการก่อรูป tombolo และเกิดการกัดเซาะชายฝั่งขึ้นได้ แต่หากบริเวณชายฝั่งใดมีอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งมาก ก็มีแนวโน้มว่าการก่อรูป tombolo จะมีขนาดใหญ่กว่าที่ได้จากการวิเคราะห์

อนึ่ง ข้อสังเกตที่น่าสนใจต่อการก่อรูป tombolo จากการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งได้นำมาประกอบการพิจารณากำหนดตำแหน่งเขื่อนกันคลื่น มีดังนี้

- 1) จากการศึกษาในหัวข้อ 4.2.2 ซึ่งได้จากการศึกษารูปแบบชายฝั่งหลังแนวเขื่อนกันคลื่นแยกจากแบบจำลองกายภาพ พบว่า การตกจมของตะกอนทรายบริเวณหลังเขื่อนขึ้นอยู่กับกระแสน้ำเข้า-ออกชายฝั่ง ซึ่งทำให้เกิดการตื้นในบริเวณนั้น

แต่ไม่ได้อาศัยโดยตรงต่อการก่อรูป tombolo

- 2) จากการศึกษาในหัวข้อ 5.5 ซึ่งได้จากการรวบรวมผลการศึกษาร่วมกัน ชายฝั่งทะเลเมดิเตอร์เรเนียนบริเวณชายฝั่ง Sinai ประเทศอียิปต์และชายฝั่งในประเทศอิสราเอล พบว่า หากอัตราส่วนความยาวเขื่อนต่อระยะทางจากชายฝั่ง ( $\frac{x}{y}$ ) มีค่าเท่ากับ 0.5 หรือน้อยกว่า การทับถมของตะกอนบริเวณหลังเขื่อนจะมีปริมาณน้อยและอาจไม่เกิดขึ้นได้

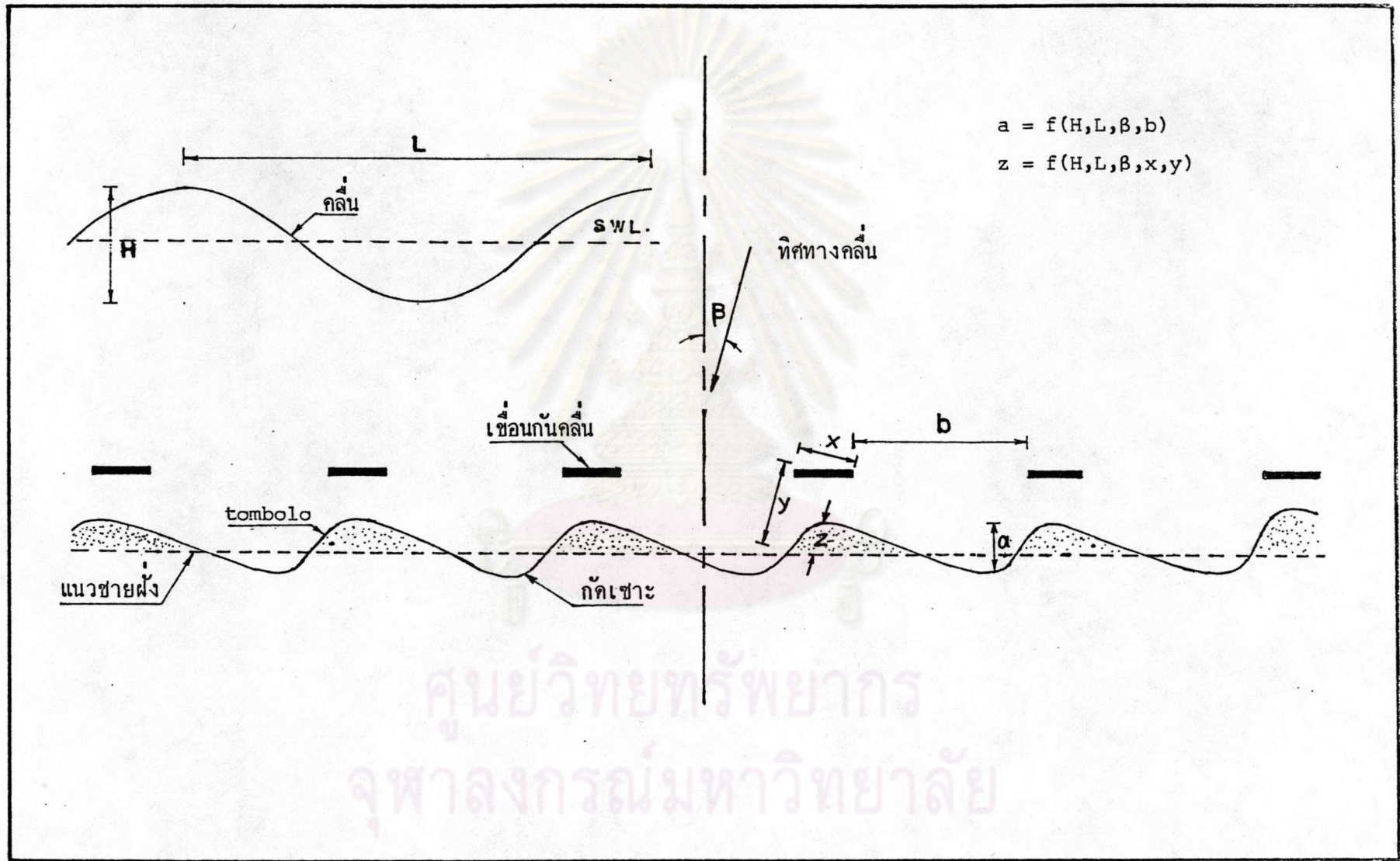


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

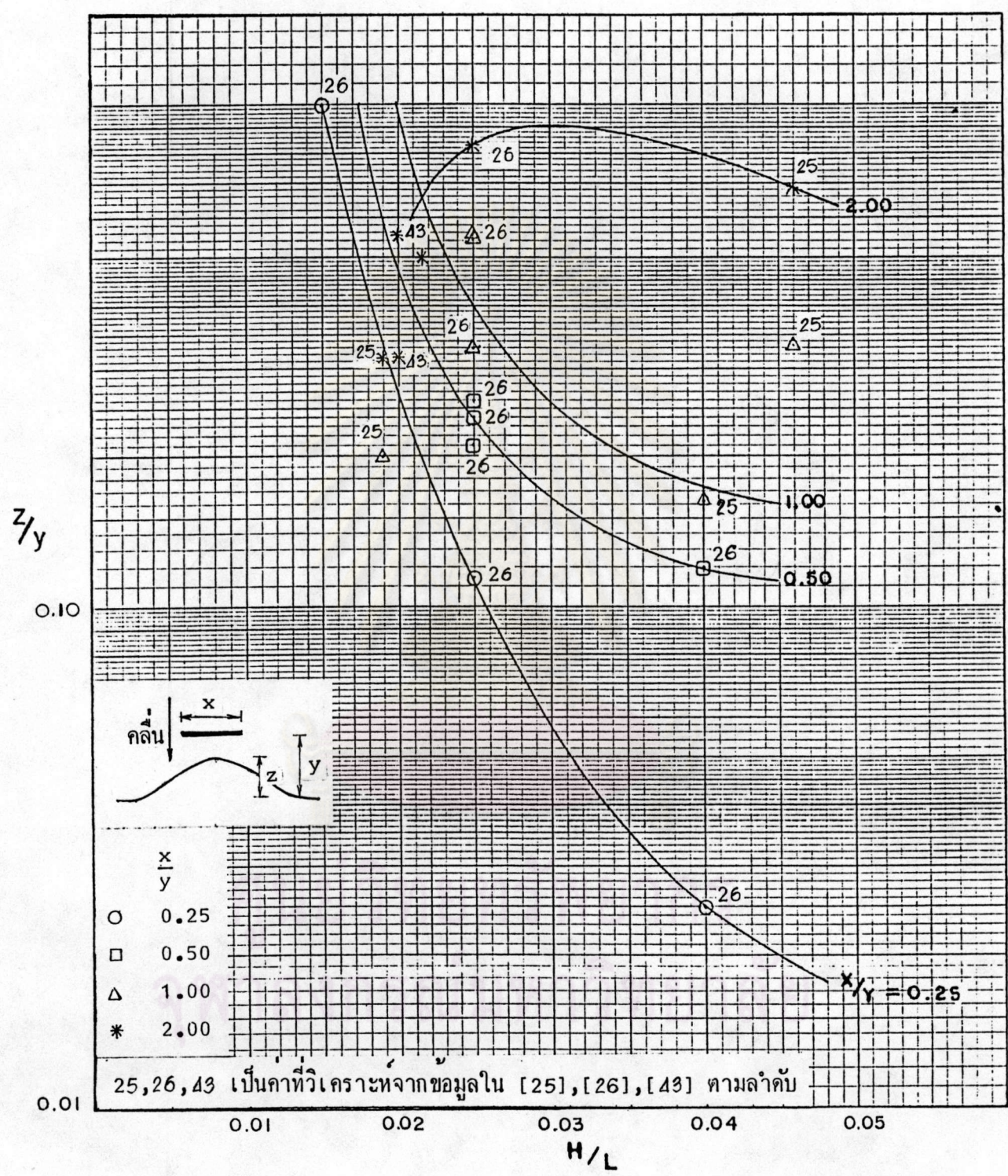
ตาราง 6-1 ข้อมูลและผลวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกับระยะทางจากชายฝั่ง

x/y	x (m.)	y (m.)	H (cm.)	L (m.)	H/L	T (sec.)	P N=m/s/m.	(H <sup>2</sup> )L/x(y <sup>2</sup> ) (x10 <sup>-4</sup> )	z/y	Ref.
0.25	0.5	2.000	1.50	1.00	0.0150	0.800	0.35	1.12	1.000	[26]
			3.90	1.56	0.0250	1.000	2.91	11.86	0.115	
			8.00	2.06	0.0400	1.150	14.53	65.92	0.025	
0.40	1.5	3.750	2.55	1.33	0.0192	0.922	9.38	0.58	0.067	[25]
	1.0	2.500	6.12	1.33	0.0461	0.922	54.02	3.36	0.027	
0.50	0.5	1.000	3.90	1.56	0.0250	1.000	2.91	14.06	0.240	[26]
			3.90	1.56	0.0250	1.000	2.91	14.06	0.260	
			8.00	2.06	0.0400	1.150	14.53	78.13	0.120	
0.57	1.5	2.625	2.55	1.33	0.0192	0.922	9.38	0.84	0.140	[25]
			6.12	1.33	0.0461	0.922	54.02	4.82	0.160	
1.00	1.5	1.500	2.55	1.33	0.0192	0.922	9.38	2.56	0.200	[25]
			6.12	1.33	0.0461	0.922	54.02	14.76	0.333	
			3.90	1.56	0.0250	1.000	2.91	7.03	0.560	[26]
2.00	2.0	2.000	3.90	1.56	0.0250	1.000	2.91	7.03	0.550	
			3.90	1.56	0.0250	1.000	2.91	7.03	0.330	
			8.00	2.06	0.0400	1.150	14.53	39.06	0.115	
2.00	1.5	0.750	2.55	1.33	0.0192	0.922	9.38	2.14	0.333	[25]
			6.12	1.33	0.0461	0.922	54.02	12.75	0.693	
			3.90	1.56	0.0150	1.000	2.91	6.07	0.820	[26]
4.00	4.0	2.000	3.90	1.56	0.0250	1.000	2.91	6.07	1.000	
			8.70	2.06	0.0200	1.150	16.63	39.92	0.550	[43]
			8.70	2.06	0.0200	1.150	16.63	39.92	0.330	

หมายเหตุ  $P = \frac{1}{8} \rho g H^2 C$

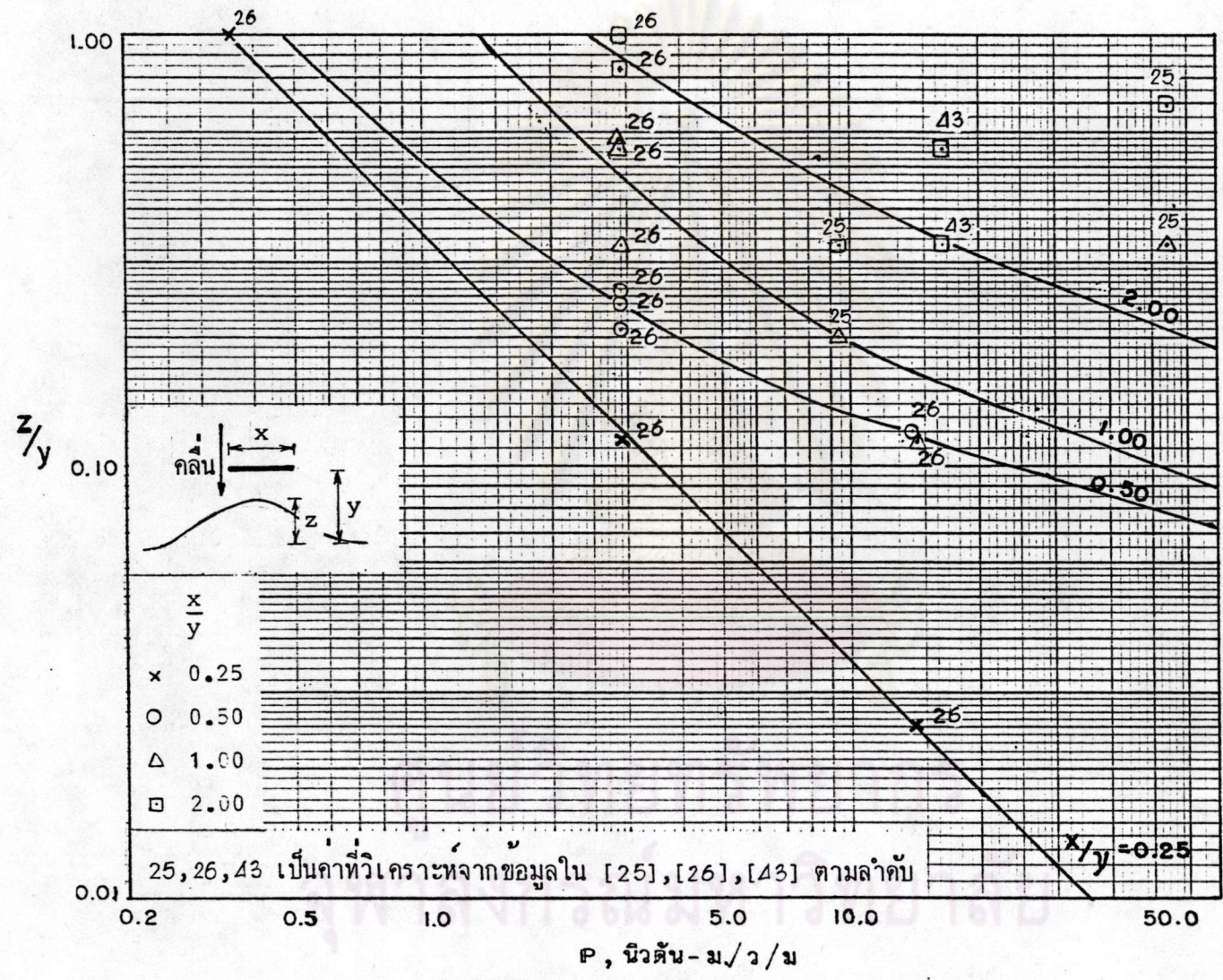


รูป 6-1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการก่อรูป tombolo และการเว้าของชายฝั่ง

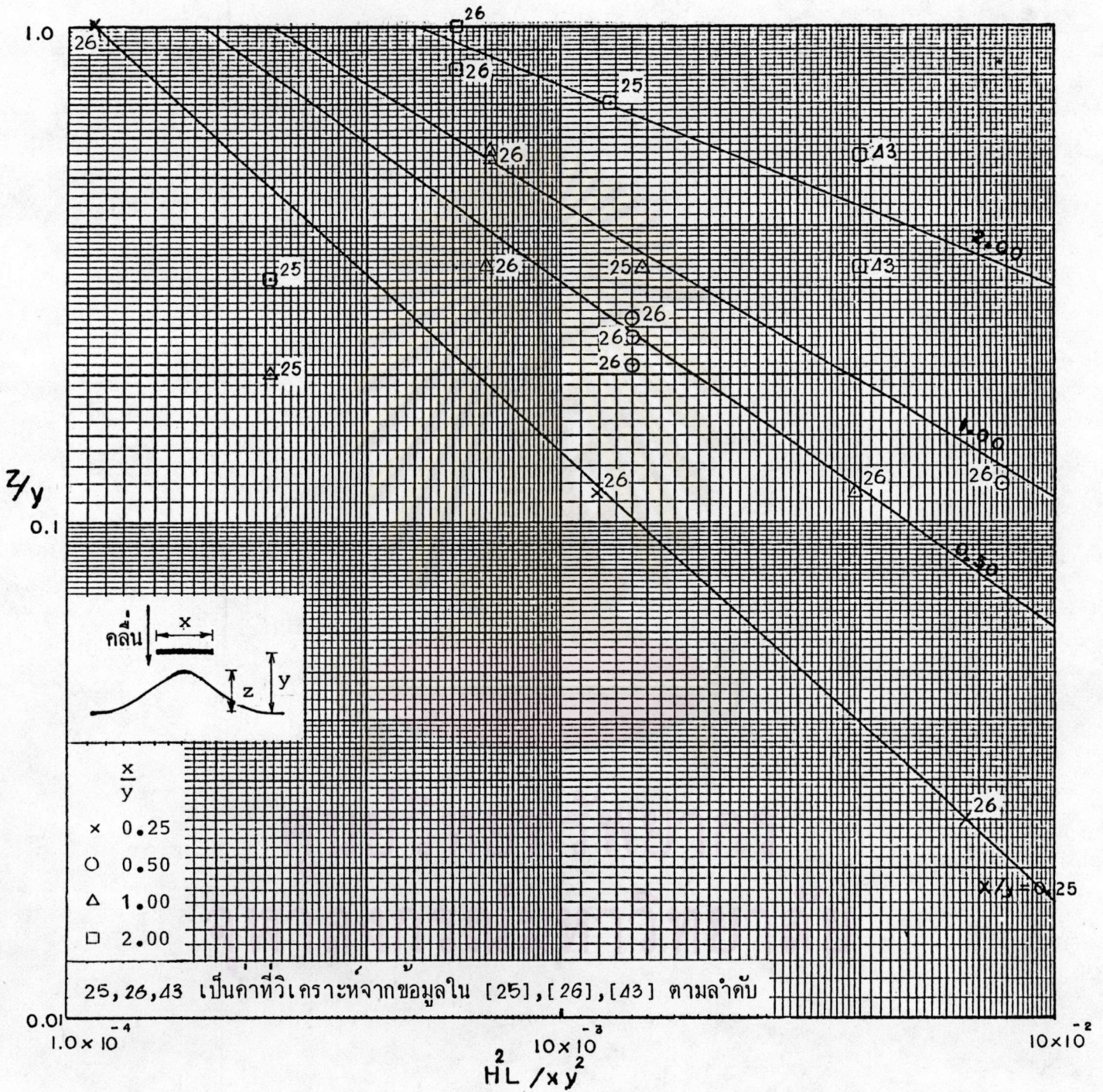


รูป 6-2 ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อรูป tombolo กับความชันคลื่น





รูป 6-3 ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อรูป tumbolo กับพลังงานคลื่น



รูป 6-4 ความสัมพันธ์ระหว่างการก่อรูป tombolo กับพลังงานคลื่นไรหน่วย

## 6.2 ระยะช่องว่างระหว่างเขื่อน

### 6.2.1 ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเว้าของชายฝั่งระหว่างเขื่อนประกอบด้วยหลายตัวแปร โดยมีตัวแปรต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการเว้าของชายฝั่ง (a) ซึ่งควรแก่การพิจารณาคังแสดงในรูป 6-1 ได้แก่ พลังงานคลื่น (H,L) ทิศทางคลื่น ( $\beta$ ) และช่องว่างระหว่างเขื่อน (b) สามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$a = f(H, L, \beta, b)$$

โดยมีรายละเอียดของตัวแปรดังต่อไปนี้

- 1) พลังงานคลื่น ประกอบด้วยความสูงและความยาวคลื่นเป็นหลัก พลังงานคลื่นจะก่อให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง โดยเกิดการเว้าของชายฝั่งขึ้นทำให้แนวชายฝั่งมีความยาวเพิ่มขึ้นเพื่อลดความเข้มของพลังงานคลื่น จนกระทั่งพลังงานคลื่นมีความเข้มน้อยจนไม่สามารถกัดเซาะชายฝั่งได้อีกต่อไป ชายฝั่งจึงเข้าสู่สภาวะสมดุล
- 2) ทิศทางคลื่น เป็นตัวแปรที่สำคัญ คลื่นที่เคลื่อนเข้ามาทำมุมกับชายฝั่ง ยังผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ทำให้มีการสูญหายของตะกอนตามแนวชายฝั่งและเกิดการกัดเซาะชายฝั่งขึ้น
- 3) ช่องว่างระหว่างเขื่อน เป็นระยะที่ยอมให้คลื่นเคลื่อนลอดผ่านเข้าไปกระทบแนวชายฝั่ง ช่องว่างนี้มีผลต่อระยะเว้าของชายฝั่ง เพราะถาช่องว่างกว้าง ระยะเว้าของชายฝั่งก็มีความมาก เพื่อกระจายความเข้มของพลังงานคลื่นที่กระทบชายฝั่งให้ลดลง

สำหรับอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ไม่ได้นำมาร่วมพิจารณาด้วย เนื่องจากเป็นตัวแปรที่มีความสลับซับซ้อน ส่วนตัวแปรที่นำมาพิจารณานี้ ใช้พิจารณาถึงสภาพสมดุลที่ก่อให้เกิดระยะเว้าของชายฝั่งสูงสุด หากชายฝั่งที่ได้รับการพิจารณาป้องกันมีการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง ก็จะสามารถช่วยลดระยะเว้าของชายฝั่งไปได้ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนที่ผ่านในบริเวณนั้น ๆ

### 6.2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและหลักการวิเคราะห์


ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลที่ได้อจากการทดลอง ซึ่งทำการศึกษาโดย Vichetpan [19], Ho [21], Abeyasinghe [27], Chowdhury [2] และ Nakatani [29] นำมารวบรวมและวิเคราะห์กำหนดช่องว่างระหว่างเขื่อน หาความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับตัวแปรคลื่น ได้ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 6-2 โดยมีหลักการวิเคราะห์ดังนี้

- 1) การเว้าของชายฝั่งเกิดจากการกัดเซาะของคลื่น ขึ้นอยู่กับทิศทางคลื่นและพลังงานคลื่น
- 2) ระยะเว้าของชายฝั่งและคาพลังงานคลื่นจัดให้อยู่ในรูปไรหน่วย โดยการหารควยระยะช่องว่างระหว่างเขื่อน ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญเพราะเป็นตัวกำหนดถึงปริมาณพลังงานคลื่นที่จะเคลื่อนเข้ากระทบชายฝั่ง
- 3) การหาความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับพลังงานคลื่น ได้แบ่งแยกออกตามทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนเข้าสู่ชายฝั่ง

### 6.2.3 การเว้าของชายฝั่งกับตัวแปรคลื่น

ผลการศึกษาที่ผ่านมาในการกำหนดลักษณะชายฝั่งสมมูลระยะระหว่างหัวหาด มักพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับทิศทางคลื่น โดยมีได้คำนึงถึงพลังงานคลื่นที่เคลื่อนกระทบต่อแนวชายฝั่งแต่อย่างใด จากแนวทางดังกล่าว จึงได้นำผลการศึกษาของ Vichetpan [19], Ho [21], Abeyasinghe [27], Chowdhury [2] และ Nakatani [29] พร้อมทั้งลักษณะการเว้าของแนวชายฝั่งจากการป้องกันชายฝั่งในประเทศสิงคโปร์ [48] มารวบรวมหาความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ผลดังแสดงในรูป 6-5 ซึ่งพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแบ่งเป็นกราฟได้ 2 เส้น เส้นบนเป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง ส่วนเส้นล่างเป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากการป้องกันชายฝั่งในธรรมชาติซึ่งเกิดการเว้าของชายฝั่งน้อยกว่า สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะชายฝั่งในธรรมชาติมีการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายตามแนวชายฝั่งเข้ามาชดเชยบาง ทำให้ชายฝั่งไม่เกิดการถดถอยเท่าที่ควร และจากกราฟทั้งสองเส้น พบว่า อัตราส่วนการเว้าของชายฝั่ง (a/b) มีค่าแปรผันตามมุมทิศทางคลื่นกระทำต่อเส้นตั้งฉากกับชายฝั่ง (β)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับพลังงานคลื่นและทิศทางคลื่น พบว่า พลังงานคลื่นก็มีผลต่ออัตราส่วนการเว้าของชายฝั่ง ( $a/b$ ) ดังแสดงในรูป 6-6 เมื่อพลังงานคลื่นเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้อัตราส่วนการเว้าของชายฝั่งเพิ่มสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามผลที่ได้พบว่า พลังงานคลื่นมีอิทธิพลต่อการเว้าของชายฝั่งน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอิทธิพลของทิศทางคลื่น จากค่าพลังงานดังกล่าวเป็นขนาดในแบบจำลอง จึงได้นำมาจำกัดหน่วย โดยการหารด้วยระยะช่องว่างระหว่างเขื่อน ทำให้ได้เส้นกราฟดังในรูป 6-7 ซึ่งมีลักษณะทำนองเดียวกับรูป 6-6 และสามารถนำไปใช้เป็นบรรทัดฐานในการออกแบบกำหนดตำแหน่งเขื่อนกันคลื่น เพื่อป้องกันการถดถอยของชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 6-2 ข้อมูลและผลวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเข็มนาฬิกาของชายฝั่ง

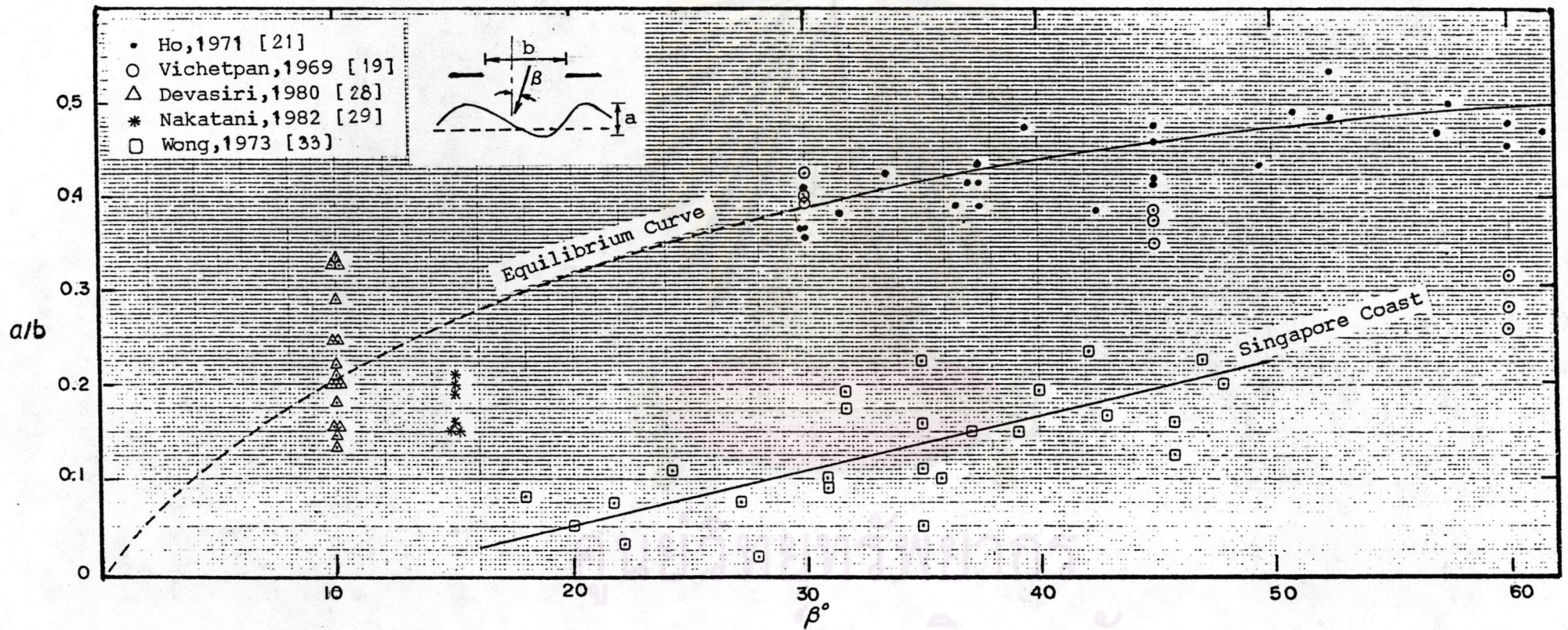
$\beta$	H (cm.)	T (sec)	L (cm.)	a (cm.)	b (cm.)	a/b	P N-m/s/m.	$(H^2)L/b^3$ ( $\times 10^{-4}$ )	Ref.	
10.0	2.06	0.85	90.5	65.0	225	0.289	0.560	0.337	[27]	
	2.06	0.85	90.5	35.0		0.156	0.560	0.337		
	2.24	1.30	152.8	67.5		0.300	0.730	0.673		
	2.24	1.30	152.8	35.0		0.156	0.730	0.673		
	2.32	0.85	90.5	75.0		0.333	0.710	0.428		
	2.32	0.85	90.5	45.0		0.200	0.710	0.428		
	4.00	1.30	152.8	70.0		0.311	2.329	2.146		
	4.00	1.30	152.8	47.5		0.211	2.329	2.146		
	10.0	2.50	0.85	92.6		30.0	225	0.133		0.843
2.50		0.85	92.6	32.5	0.144	0.843		0.508		
2.80		1.30	155.6	50.0	0.222	1.162		1.071		
2.80		1.30	155.6	45.0	0.200	1.162		1.071		
3.00		0.85	90.9	55.0	0.244	1.192		0.718		
3.00		0.85	90.9	50.0	0.222	1.192		0.718		
3.90		1.30	150.0	45.0	0.200	2.174		2.003		
3.90		1.30	150.0	40.0	0.178	2.174		2.003		
15.0		2.22	1.15	90.5	40.0	200.0		0.200	0.480	0.558
	2.43	1.13	90.5	37.5	0.188		0.586	0.668		
	2.51	1.13	152.8	30.0	0.150		1.055	1.203		
	2.83	1.16	152.8	30.0	0.150		1.307	1.530		
	3.28	1.13	90.5	32.5	0.163		1.067	1.217		
	4.00	0.74	90.5	42.5	0.213		2.423	1.810		
	30.0	5.00	0.60	56.0	61.0		162	0.377	2.890	3.293
5.00		1.00	156.0	69.0	0.426	4.830		9.173		
5.00		1.40	306.0	69.0	0.426	6.768		17.994		
45.0	5.00	0.60	56.0	88.0	190	0.463	2.890	2.041	[19]	
	5.00	1.00	156.0	98.0		0.516	4.830	5.686		
	5.00	1.40	306.0	101.0		0.532	6.768	11.153		
60.0	5.00	0.60	56.0	147.0	270	0.544	2.890	0.711	[19]	
	5.00	1.00	156.0	150.0		0.556	4.830	1.981		
	5.00	1.40	306.0	155.0		0.574	6.768	3.887		
30.0	2.00	1.00	156.0	66.0	181	0.365	0.773	1.052	[21]	
31.5				70.0	184	0.380				1.002
33.5				80.0	188	0.426				0.939
37.5				77.0	198	0.389				0.804
39.5				96.0	203	0.473				0.746
45.0				93.0	222	0.419				0.570
30.0	3.20	1.00	156.0	65.0	181	0.359	1.978	2.694	[21]	
37.0				82.0	197	0.416				2.089
37.5				82.0	198	0.414				2.058
45.0				103.0	222	0.464				1.460
52.5				125.0	258	0.484				0.930
53.0				126.0	261	0.483				0.898
57.5				146.0	292	0.500				0.642
60.0				167.0	314	0.532				0.516
30.0				4.50	1.00	156.0				74.0
36.5	70.0	195	0.359				4.260			
37.5	86.0	198	0.434				4.070			
42.5	82.0	213	0.385				3.269			
45.0	106.0	222	0.477				2.887			
49.5	105.0	242	0.434				2.229			
51.0	122.0	249	0.490				2.046			
52.5	138.0	258	0.535				1.839			
57.0	135.0	288	0.469				1.322			
60.0	158.0	314	0.503				1.020			
61.5	171.0	329	0.520				0.887			

หมายเหตุ  $P = \frac{1}{8} \rho g H^2 C$

ตาราง 6-2 (ต่อ)

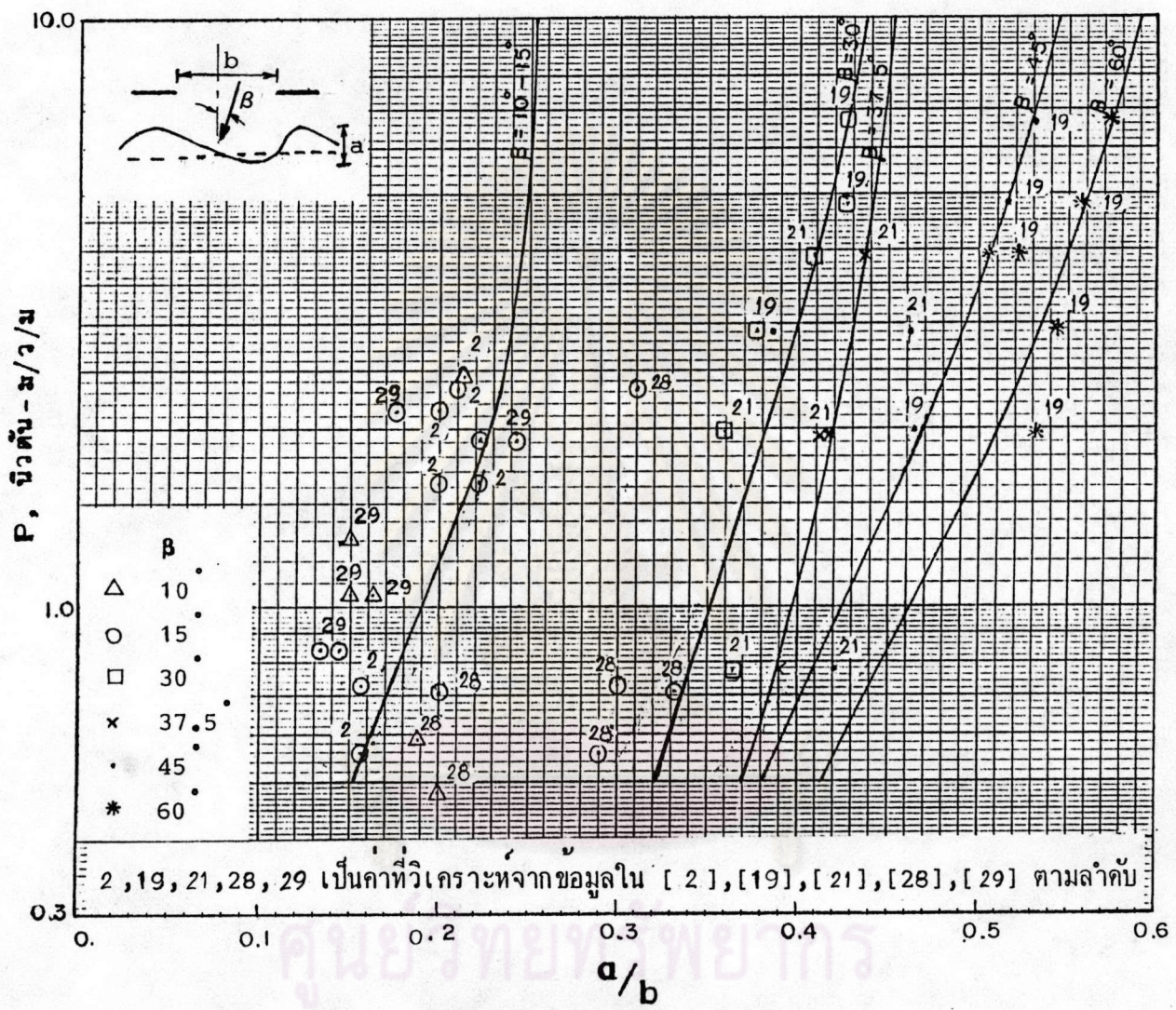
B	H (cm.)	T (sec)	L (cm.)	a (cm.)	b (cm.)	a/b	P N-m/s/m.	$(H^2)L/b^3$ ( $\times 10^{-4}$ )	Ref.
17.9	-	-	-	-	-	0.083	-	-	[35]
20.0	-	-	-	-	-	0.050	-	-	
21.7	-	-	-	-	-	0.175	-	-	
22.1	-	-	-	-	-	0.033	-	-	
24.2	-	-	-	-	-	0.108	-	-	
27.1	-	-	-	-	-	0.075	-	-	
27.9	-	-	-	-	-	0.017	-	-	
30.9	-	-	-	-	-	0.092	-	-	
30.9	-	-	-	-	-	0.100	-	-	
31.7	-	-	-	-	-	0.175	-	-	
31.7	-	-	-	-	-	0.192	-	-	
35.0	-	-	-	-	-	0.025	-	-	
35.0	-	-	-	-	-	0.050	-	-	
35.0	-	-	-	-	-	0.117	-	-	
37.1	-	-	-	-	-	0.158	-	-	
39.1	-	-	-	-	-	0.150	-	-	
40.0	-	-	-	-	-	0.150	-	-	
42.1	-	-	-	-	-	0.192	-	-	
42.9	-	-	-	-	-	0.233	-	-	
45.8	-	-	-	-	-	0.167	-	-	
45.8	-	-	-	-	-	0.125	-	-	
47.1	-	-	-	-	-	0.158	-	-	
47.9	-	-	-	-	-	0.225	-	-	
63.8	-	-	-	-	-	0.200	-	-	

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

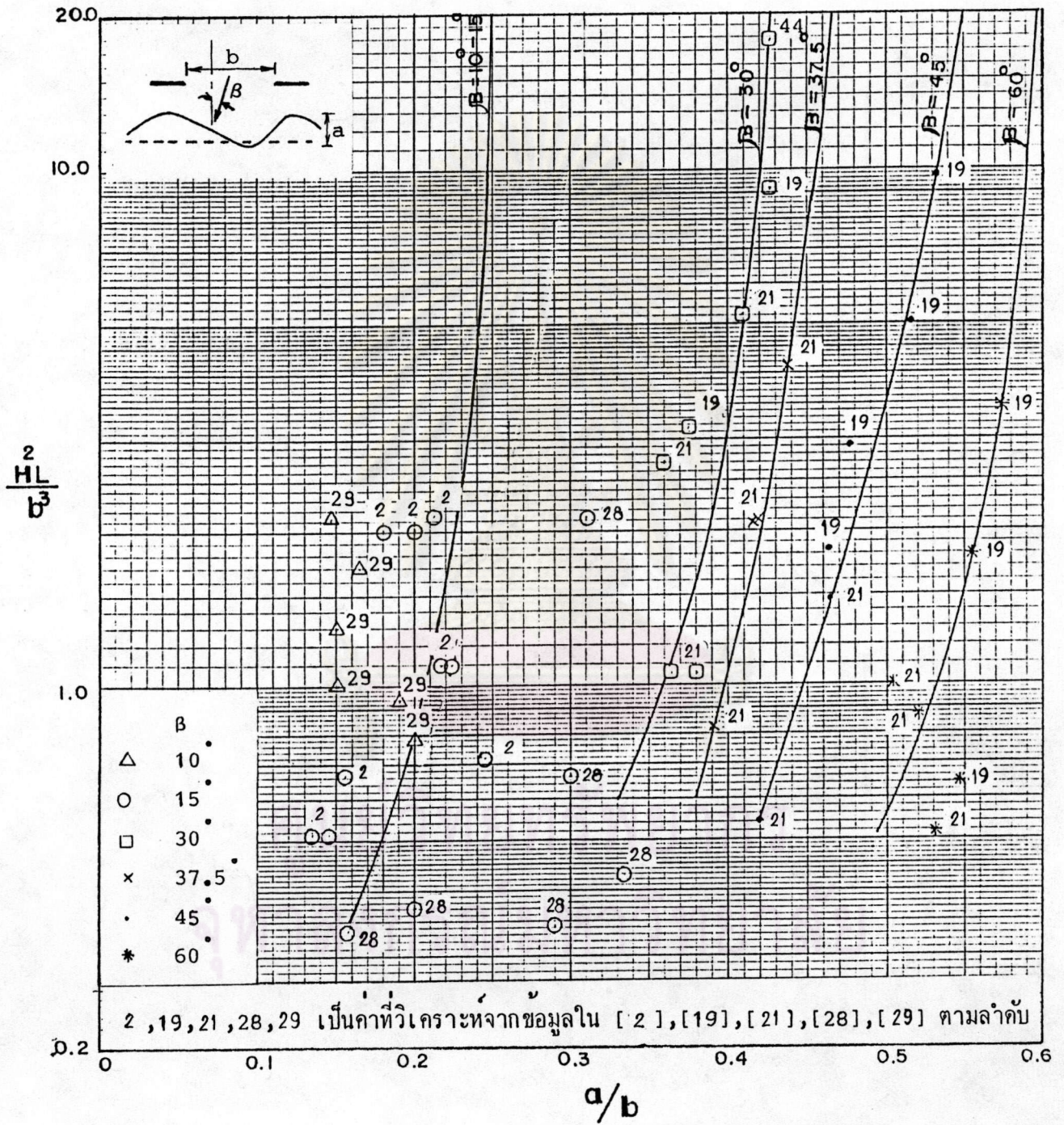


รูป 6-5 ความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับทิศทางการคลื่น





รูป 6-6 ความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับพลังงานคลื่น



รูป 6-7 ความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับพลังงานคลื่นไร้น้ำ

### 6.3 ความสูงเขื่อนกันคลื่น

ความสูงเขื่อนเหนือระดับน้ำนิ่ง (stillwater level) จะต้องพิจารณาจากระยะกระโจนของคลื่น (wave runup) ซึ่งขึ้นอยู่กับอิทธิพลของตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ คลื่น, ลักษณะเขื่อน, ความลาดของหน้า และความลึกของน้ำ ดังแสดงในรูป 6-8 และสมการข้างล่าง

$$R = f(H, T, \theta, r, p, \gamma, d)$$

โดยที่ R คือ ระยะกระโจนของคลื่น (runup height)

H คือ ความสูงคลื่นที่โครงสร้าง

T คือ คาบเวลาคลิ่น

$\theta$  คือ มุมของลาดคานหน้าของโครงสร้าง

r คือ ความขรุขระของลาดคานหน้าของโครงสร้าง

p คือ ความพรุนของลาดคานหน้าของโครงสร้าง

$\gamma$  คือ มุมของลาดของหน้า

d คือ ความลึกของน้ำ

เนื่องจากมีตัวแปรมากมายที่เกี่ยวข้องกับระยะกระโจนของคลื่น ผลการศึกษาในด้านนี้ที่ผ่านมามีได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

Saville (1958) [1] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะกระโจนของคลื่นกับค่าตัวแปรต่าง ๆ โดยเลือกใช้ความลาดชันของหน้าเท่ากับ 1:10 ซึ่งสามารถสรุปเป็นกราฟสำหรับโครงสร้างชนิดที่บ้น้ำ (impermeable structure) ได้ดังรูป ง-1 ถึง ง-5 และโครงสร้างชนิดไม่ที่บ้น้ำ (permeable structure) ได้ดังรูป ง-7 ผลจากกราฟรูป ง-1 ถึง ง-5 มีแนวโน้มว่าจะได้ระยะกระโจนน้อยกว่าที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากอิทธิพลของความขรุขระที่เกิดจากแบบจำลอง ซึ่งสามารถขจัดความคลาดเคลื่อนได้โดยคูณค่าปรับแก้ที่หาได้จากรูป ง-6

Toyoshima, Shuto และ Hashimoto (1966) [44] ได้ศึกษาหาระยะกระโจนของคลื่นที่เกิดขึ้นหลังจากคลื่นแตกตัวแล้ว ซึ่งเกิดขึ้นบนหน้าของน้ำที่มีความลาดชัน 1:20 และ 1:30 ดังในรูป ง-8

## 6.4 ลักษณะโครงสร้าง

โดยทั่วไปโครงสร้างหัวหาด มักกำหนดให้มีลักษณะเป็นโครงสร้างหินทิ้ง หรือกอนคอนกรีตหลอ (rubble mounded) ซึ่งประกอบด้วยชั้นหินหลายชั้น หินชั้นนอกสุดจะทำหน้าที่เป็นเกราะกำบังคลื่นให้แก่หินชั้นใน โครงสร้างชนิดนี้เหมาะสำหรับวางไว้นอกชายฝั่ง ซึ่งสามารถสร้างได้ง่ายและซ่อมแซมได้สะดวกในกรณีที่มีการทรุดตัวของโครงสร้าง

### 6.4.1 การกำหนดขนาดของหินหรือกอนคอนกรีตหลอ

การกำหนดขนาดของหินหรือกอนคอนกรีตหลอ ได้จากการศึกษาของ U.S. Army Engineering Waterways Experiment Station (WES) [1] ดังสมการข้างล่าง

$$W = \frac{w_r H^3}{K_D (s_r - 1)^3 \cot \theta}$$

โดยที่  $W$  คือ น้ำหนักของหินชั้นนอกสุดแต่ละกอน ในกรณีที่ความหนาของชั้นหินประกอบด้วยหินมากกว่า 1 กอน ให้ใช้น้ำหนักเฉลี่ยของหินตั้งแต่

0.75  $W$  ถึง 1.25  $W$  กก.

$w_r$  คือ น้ำหนักจำเพาะของหิน กก./ม.

$s_r$  คือ ความถ่วงจำเพาะของหิน,  $s_r = \frac{w_r}{w_w}$

$w_w$  คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ, น้ำจืด = 1,000 กก./ม.<sup>3</sup>

น้ำทะเล = 1,010 กก./ม.<sup>3</sup>

$K_D$  คือ สัมประสิทธิ์ความมั่นคง (stability coefficient) ขึ้นอยู่กับรูปร่างของหินหรือกอนคอนกรีตหลอมีค่าดังในตาราง 6-3 ตัวอย่างคอนกรีตหลอแสดงในรูป 6-9

และ  $H$  คือ ความสูงคลื่นที่โครงสร้าง

#### 6.4.2 การออกแบบรูปตัดโครงสร้าง

โครงสร้างชนิดนี้ประกอบด้วย แบน, ชั้นรองพื้นมักเลือกใช้ quarry-run stone และวางทับด้วยหินที่มีขนาดใหญ่กว่า อีกจำนวน 1 ชั้นหรือมากกว่า หินชั้นนอกสุดจะเป็นหินขนาดใหญ่ มักเลือกใช้ quarry stone หรือก้อนคอนกรีตหล่อ จาก Shore Protection Manual [46] ได้กำหนดรูปตัดโครงสร้างมาตรฐาน ดังแสดงในรูป 6-10(ก) และ (ข) ซึ่งใช้สำหรับวางในบริเวณคลื่นไม่แตกตัวและคลื่นแตกตัวตามลำดับ ขนาดความกว้างของสันหัวหาดและความหนาของชั้นหินสามารถกำหนดได้จากสมการข้างล่าง

$$B \text{ หรือ } r = nK_{\Delta} \left( \frac{W}{W_r} \right)^{1/3} \quad (\text{สำหรับ } B, n \geq 3) \quad [1]$$

โดยที่ B คือ ความกว้างของสันหัวหาด ม.

r คือ ความหนาของชั้นหิน ม.

n คือ จำนวนหินที่ประกอบขึ้นเป็นความหนา ดังในตาราง 6-4

$k_{\Delta}$  คือ สัมประสิทธิ์ของชั้นหิน (layer coefficient) ดังในตาราง 6-4

ตาราง 6-3 ค่าสัมประสิทธิ์ความมั่นคง ( $K_D$ ) ของหินและก้อนคอนกรีตหล่อ [1]

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n *	Placement	Structure Trunk		Structure Head		
			$K_D$ §		$K_D$		Slope
			Breaking wave	Nonbreaking wave	Breaking wave	Nonbreaking wave	cot $\theta$
Quarystone	2	random	2.1	2.4	1.7	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	>3	random	2.8	3.2	2.1	2.3	
Smooth rounded	1	random †	†	2.9	†	2.3	
Rough angular	2	random	3.5	4.0	2.9	3.2	1.5
Rough angular	2	random	3.5	4.0	2.5	2.8	2.0
Rough angular	2	random	3.5	4.0	2.0	2.3	3.0
Rough angular	>3	random	3.9	4.5	3.7	4.2	
Rough angular	2	special ‡	4.8	5.5	3.5	4.5	
Tetrapod and Quadripod	2	random	7.2	8.3	5.9	6.6	1.5
Tetrapod and Quadripod	2	random	7.2	8.3	5.5	6.1	2.0
Tetrapod and Quadripod	2	random	7.2	8.3	4.0	4.4	3.0
Tribar	2	random	9.0	10.4	8.3	9.0	1.5
Tribar	2	random	9.0	10.4	7.8	8.5	2.0
Tribar	2	random	9.0	10.4	7.0	7.7	3.0
Dolos	2	random	22.0	25.0	15.0	16.5	2.0 ¶
Dolos	2	random	22.0	25.0	13.5	15.0	3.0
Modified Cube	2	random	6.8	7.8	—	5.0	
Hexapod	2	random	8.2	9.5	5.0	7.0	
Tribar	1	uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	
Quarystone ( $K_{RR}$ )	—	random	2.2	2.5	—	—	—
Graded angular	—	random	2.2	2.5	—	—	—

\* n is the number of units comprising the thickness of the armor layer.

† The use of single layer of quarystone armor units subject to breaking waves is not recommended, and only under special conditions for nonbreaking waves. When it is used, the stone should be carefully placed.

‡ Special placement with long axis of stone placed perpendicular to structure face.

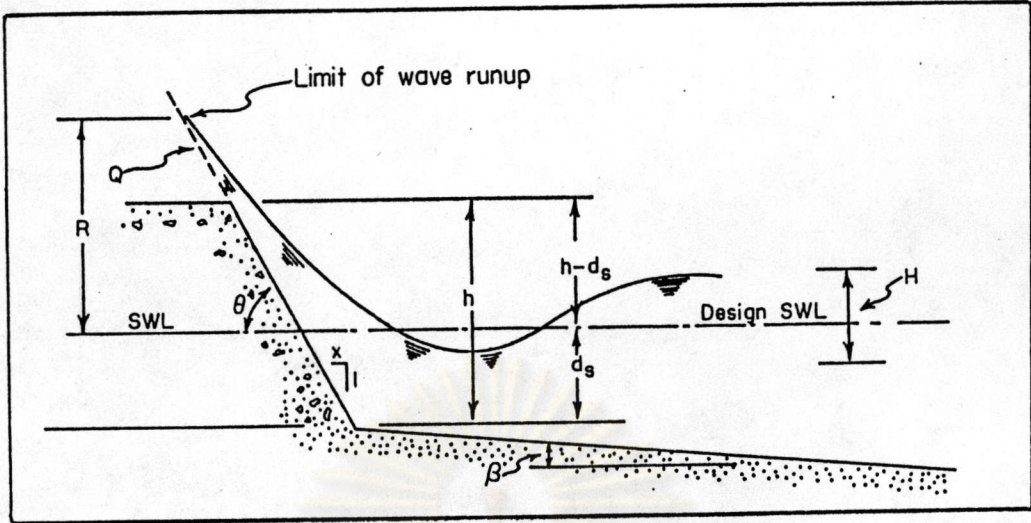
§ Applicable to slopes ranging from 1 on 1.5 to 1 on 5.

|| Until more information is available on the variation of  $K_D$  value with slope, the use of  $K_D$  should be limited to slopes ranging from 1 on 1.5 to 1 on 3. Some armor units tested on a structure head indicate a  $K_D$ -slope dependence.

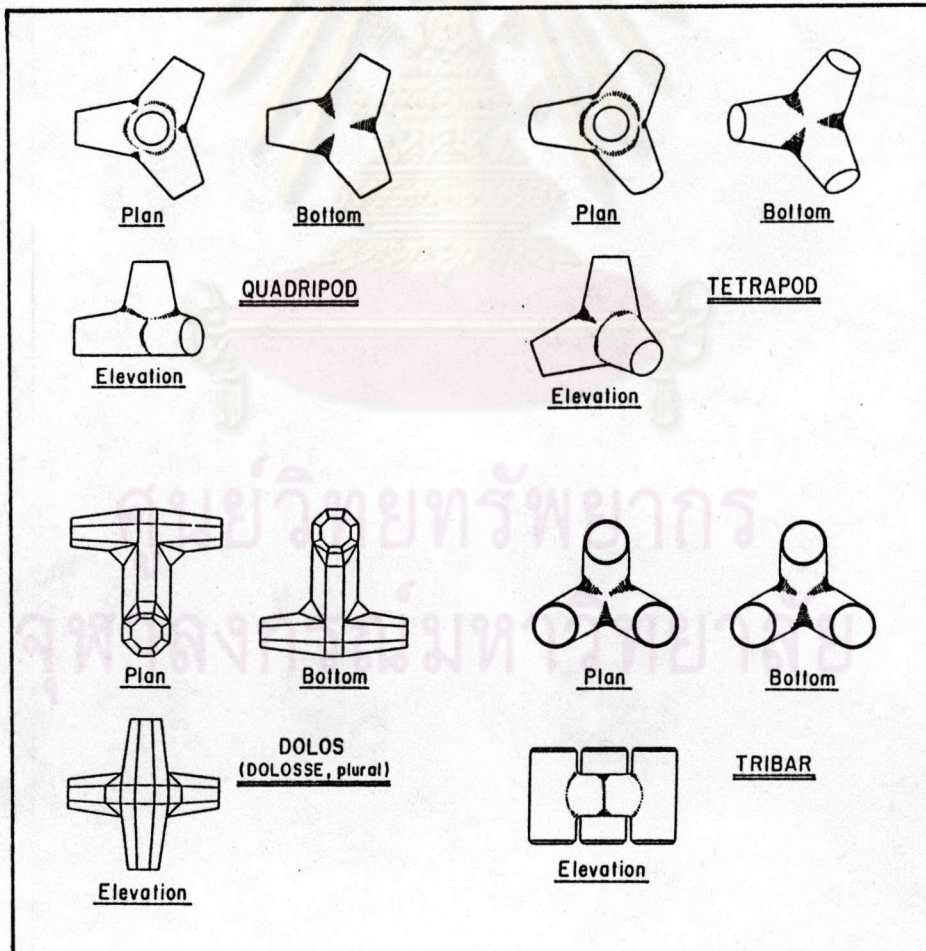
¶ Stability of dolosse on slopes steeper than 1 on 2 should be substantiated by site specific model tests.

ตาราง 6-4 ค่าสัมประสิทธิ์ของชั้นหิน ( $K_\Delta$ ) ของหินและก้อนคอนกรีตหล่อ [1]

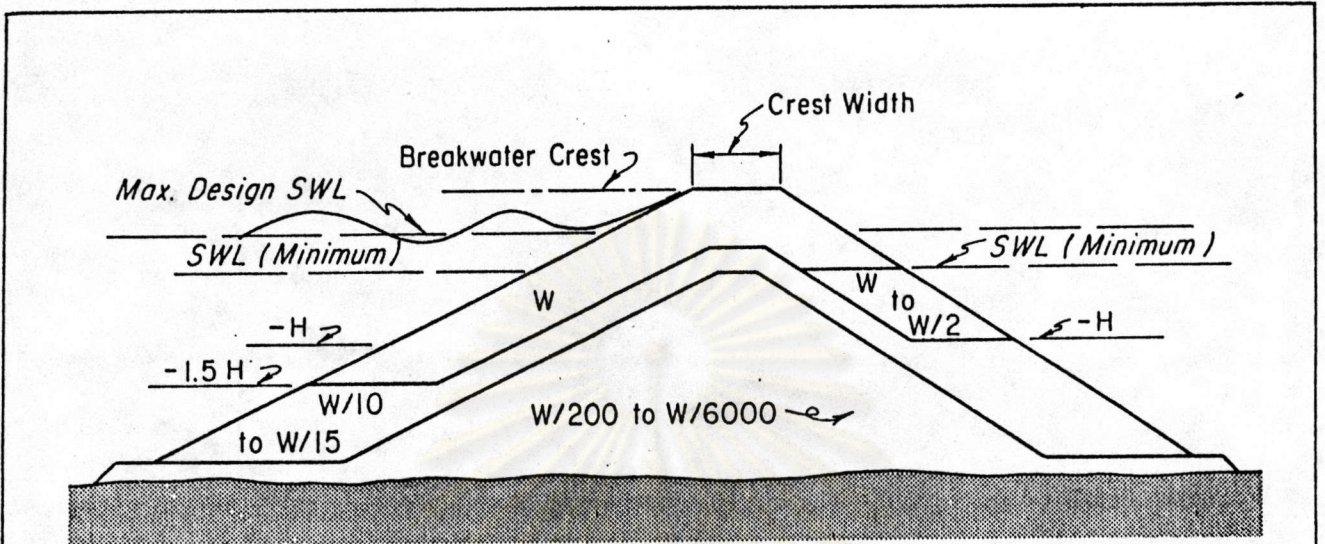
Armor Unit	n	Placement	Layer Coefficient $k_\Delta$
Quarystone (smooth)	2	random	1.02
Quarystone (rough)	2	random	1.15
Quarystone (rough)	>3	random	1.10
Cube (modified)	2	random	1.10
Tetrapod	2	random	1.04
Quadripod	2	random	0.95
Hexapod	2	random	1.15
Tribar	2	random	1.02
Dolos	2	random	1.00
Tribar	1	uniform	1.13
Quarystone	graded	random	—



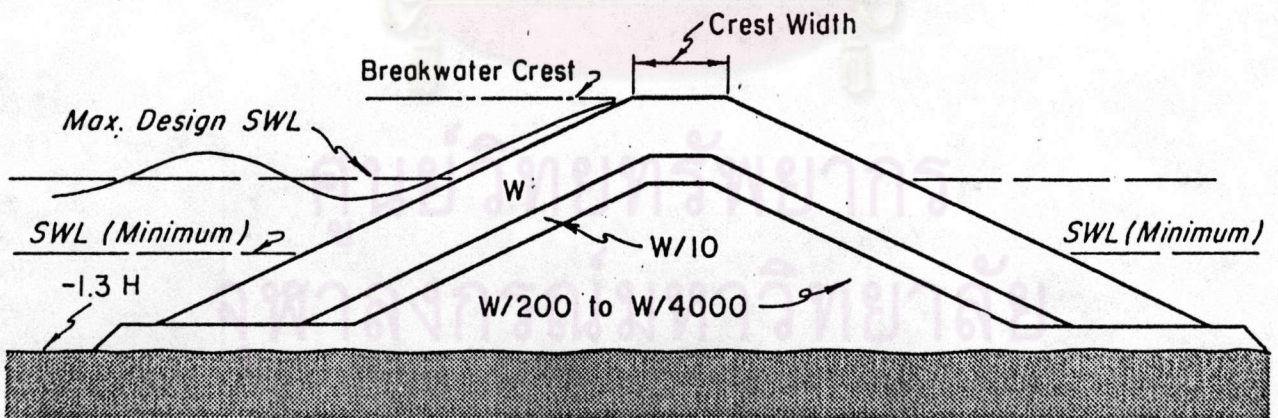
รูป 6-8 การกระโจนของคลื่น (wave runup) [1]



รูป 6-9 ตัวอย่างก้อนคอนกรีตทล. [1]



(ก) สำหรับบริเวณคลื่นไม่แตกตัว



(ข) สำหรับบริเวณคลื่นแตกตัว

รูป 6-10 รูปตัดโครงสร้างมาตรฐานของเขื่อนกันคลื่น [1]