บทที่ 4

ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบและเกณฑ์การออกแบบ

ในบทนี้เป็นการนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ โดยพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวประกอบด้วย ความยาวเขื่อนกันคลื่น ระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น ระยะเว้าของชายฝั่ง รวมถึงผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะชายฝั่ง ที่มีคลื่นลักษณะต่าง ๆ มากระทำ ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จะนำไปสรุปเป็นเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง ขั้นตอนการวิเคราะห์และกำหนดเกณฑ์การออกแบบ แสดงในรูป 4-1

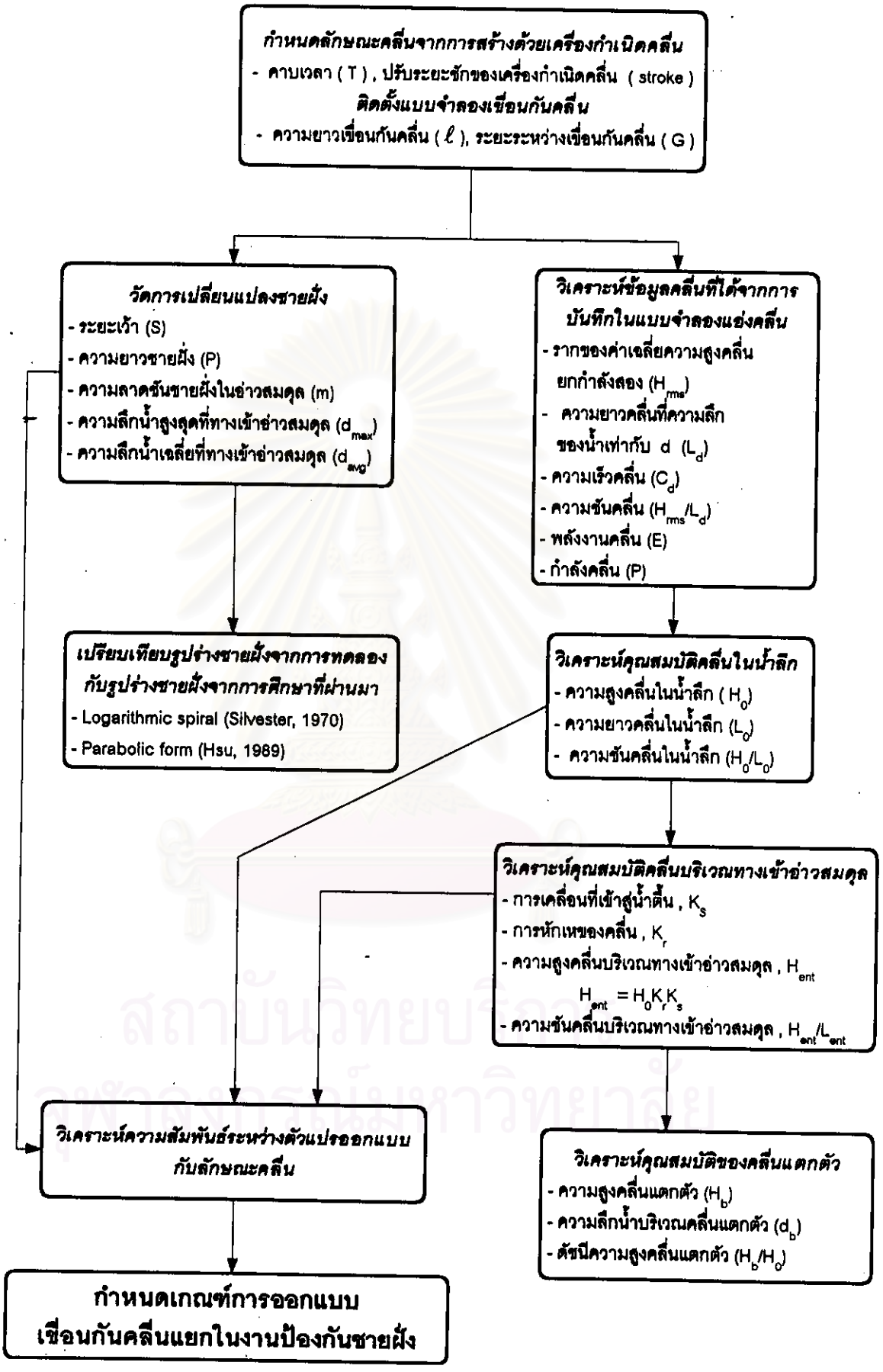
4.1 หลักการของชายฝั่งสมดุลและตัวแปรออกแบบ

4.1.1 ชายฝั่งสมดุล

เขื่อนกันคลื่นเป็นโครงสร้างที่ออกแบบมาเพื่อป้องกันการกระทำจากคลื่นในบริเวณหลังโครงสร้างนั้น ๆ โดยเขื่อนกันคลื่นมักสร้างให้ขนานกับชายฝั่ง เพื่อป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งและทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวขวางกั้นการเคลื่อนที่ของตะกอนทราย หลักการทำงานของเขื่อนกันคลื่นคือลดพลังงานคลื่นที่เข้ามากระทำกับชายฝั่ง ด้วยการสะท้อนและสลายพลังงานคลื่นด้วยโครงสร้างตัวมันเอง นอกจากนี้ยังเกิดการหักเหและกระจายของพลังงานไปยังด้านหลังของเขื่อนกันคลื่น การลดพลังงานคลื่นด้วยวิธีการแบบนี้จึงเป็นการลดการเคลื่อนที่ของตะกอนเนื่องจากคลื่นในบริเวณนี้ได้ ดังนั้นตะกอนทรายที่เคลื่อนที่มาจากบริเวณใกล้เคียงจึงมีแนวโน้มที่จะเกิดการตกจมบริเวณด้านหลังของโครงสร้าง การตกจมหรือการทับถมของตะกอนมีลักษณะเป็นปลายแหลมยื่นออกไปจากชายฝั่ง และถ้าโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นมีความยาวเพียงพอปลายแหลมของตะกอนทรายจะติดกับโครงสร้างเกิดเป็น Tombolo ขึ้น ซึ่ง Tombolo นี้ทำหน้าที่เหมือนกับเครื่องกีดขวางตะกอนและเมื่อดักตะกอนจนเต็มแล้ว ตะกอนทรายที่เกินมานั้นจะไปเคลื่อนที่อยู่ด้านหน้าของโครงสร้าง ซึ่งจะกลับไปสู่อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนเท่าเดิมหรือไม่มีการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่ง นั่นคือการเกิดสภาพชายฝั่งสมดุล

4.1.2 ตัวแปรกำหนดสภาวะการณ์การออกแบบ

ตัวแปรกำหนดสภาวะการณ์การออกแบบในการศึกษาครั้งนี้ คือ ลักษณะของคลื่นในรูปแบบต่าง ๆ กัน ที่สร้างได้ในแบบจำลอง ซึ่งได้แก่ ความสูงคลื่น คาบเวลาของคลื่น และมุมของคลื่นที่กระทำกับแนวชายฝั่ง



รูป 4-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์และกำหนดเกณฑ์การออกแบบ

4.1.3 ตัวแปรออกแบบ

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเขื่อนกันคลื่น มีด้วยกันหลายตัวแปร ตัวแปรแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กัน และมีความสลับซับซ้อนเป็นอย่างมาก ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ศึกษาคุณสมบัติของตัวแปรออกแบบที่สำคัญต่อการป้องกันชายฝั่ง คือ ความยาวเขื่อนกันคลื่น ระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น และระยะเว้าของชายฝั่ง โดยมีรายละเอียดของตัวแปรดังต่อไปนี้

1) ความยาวเขื่อนกันคลื่นแยก (ℓ) เขื่อนกันคลื่นเป็นส่วนที่ใช้กำบังคลื่น ทำให้เกิดการสลายพลังงานของคลื่นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าปะทะเขื่อนกันคลื่น ความรุนแรงของคลื่นจึงลดลงในบริเวณหลังเขื่อนกันคลื่น ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการป้องกันชายฝั่ง

2) ระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น (G) เป็นระยะที่ยอมให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปกระทบกับแนวชายฝั่งได้ ระยะห่างนี้มีความสำคัญต่อระยะเว้าของชายฝั่ง เนื่องจากถ้าระยะห่างนี้มีมากระยะเว้าของชายฝั่งก็จะมีมากเพื่อกระจายความเข้มของพลังงานคลื่นที่กระทบชายฝั่งให้น้อยลง

3) ระยะเว้าของชายฝั่ง (S) เป็นระยะที่ชายฝั่งถูกกัดเซาะเข้าไปด้วยการกระทำของคลื่น ดังนั้นระยะเว้าของชายฝั่งจึงเป็นตัวแปรออกแบบที่สำคัญที่ใช้พิจารณาในการป้องกันชายฝั่ง

4.1.4 ตัวแปรประกอบ

ในการทดลองนี้นอกจากพิจารณาถึงตัวแปรกำหนดสภาวะการณ์ในการออกแบบ และตัวแปรออกแบบ ซึ่งได้แก่ ลักษณะของคลื่น และตำแหน่งที่ตั้งของเขื่อนกันคลื่นแล้ว ยังได้พิจารณาถึงตัวแปรประกอบเพิ่มเติมด้วย ซึ่งตัวแปรประกอบนี้เป็นลักษณะของชายฝั่งที่คาดว่าจะสามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณาในการออกแบบป้องกันชายฝั่งได้ ตัวแปรประกอบดังกล่าวได้แก่

1) ความยาวชายฝั่ง (P) เป็นระยะที่ชายฝั่งเกิดการกัดเซาะ ซึ่งความยาวชายฝั่งนี้ขึ้นอยู่กับพลังงานคลื่น เนื่องจากคลื่นพยายามลดความเข้มของพลังงานคลื่น โดยกระจายพลังงานออกไปตามแนวชายฝั่ง จึงเป็นผลทำให้ความยาวชายฝั่งเพิ่มขึ้นด้วย พลังงานคลื่นที่กระจายออกไปนี้ จะค่อยๆ ลดลง จนกระทั่งพลังงานของคลื่นมีความเข้มน้อย จนไม่สามารถกัดเซาะชายฝั่งให้เว้าเข้าไปได้อีก ชายฝั่งจึงเข้าสู่สภาวะชายฝั่งสมดุล

2) ความลาดชันชายฝั่งภายในอ่าว (n) เป็นตัวแปรที่ชี้ให้เห็นถึงการกัดเซาะชายฝั่ง เมื่อคลื่นมีความแรงมากเคลื่อนที่เข้าปะทะแนวชายฝั่งและกัดเซาะชายฝั่ง และเมื่อคลื่นนี้สะท้อนกลับออกไปจะนำตะกอนชายฝั่งออกไปจากชายฝั่ง ทำให้ชายฝั่งมีความลาดชันมากขึ้น

3) ความลึกของน้ำบริเวณทางเข้าอ่าวสมดุล (d_{max} และ d_{avg}) ซึ่งเป็นตัวแปรที่ชี้ให้เห็นถึงการกัดเซาะชายฝั่งเช่นเดียวกันกับความลาดชันชายฝั่ง

ประโยชน์ของตัวแปรประกอบที่ได้จากการศึกษาทดลองนี้นอกจากจะนำไปใช้สำหรับการพิจารณาออกแบบป้องกันชายฝั่งแล้วยังอาจนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการก่อสร้างต่างๆ เมื่อทราบความยาวชายฝั่งหรือประยุกต์ใช้กับการเดินเรือ เมื่อทราบความลาดชันและความลึกของน้ำบริเวณทางเข้าอ่าว เป็นต้น

4.2 การเปรียบเทียบแนวชายฝั่งสมดุล

จากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเรื่องชายฝั่งและอ่าวสมดุล พบว่าเมื่อใดก็ตามที่ชายฝั่งมีคลื่นในลักษณะเอียงทำมุมกับชายฝั่ง ชายฝั่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในสภาพสมดุล เพื่อรักษาเสถียรภาพของชายฝั่ง โดยชายฝั่งจะถูกกัดเซาะให้เป็นอ่าวรูปครึ่งหัวใจ ซึ่งได้มีการนำหลักการของชายฝั่งสมดุลรูปครึ่งหัวใจนี้ไปประยุกต์ใช้สำหรับสถานที่ที่มีการกัดเซาะชายฝั่ง หรือที่เรียกกันว่า "head land control" สำหรับรูปแบบของอ่าวสมดุลรูปครึ่งหัวใจนี้ได้มีผู้เสนอไว้หลายแบบ เช่น มีรูปร่างเป็น Log-Spiral (Silvester, 1970) หรือเป็นแบบ Parabolic Form(Hsu et al, 1989) ซึ่งแต่ละรูปแบบนั้นมีสมการดังต่อไปนี้คือ

Log – Spiral
$$\frac{R_2}{R_1} = \theta^{\theta \cot \alpha} \qquad \text{..... (4-1)}$$

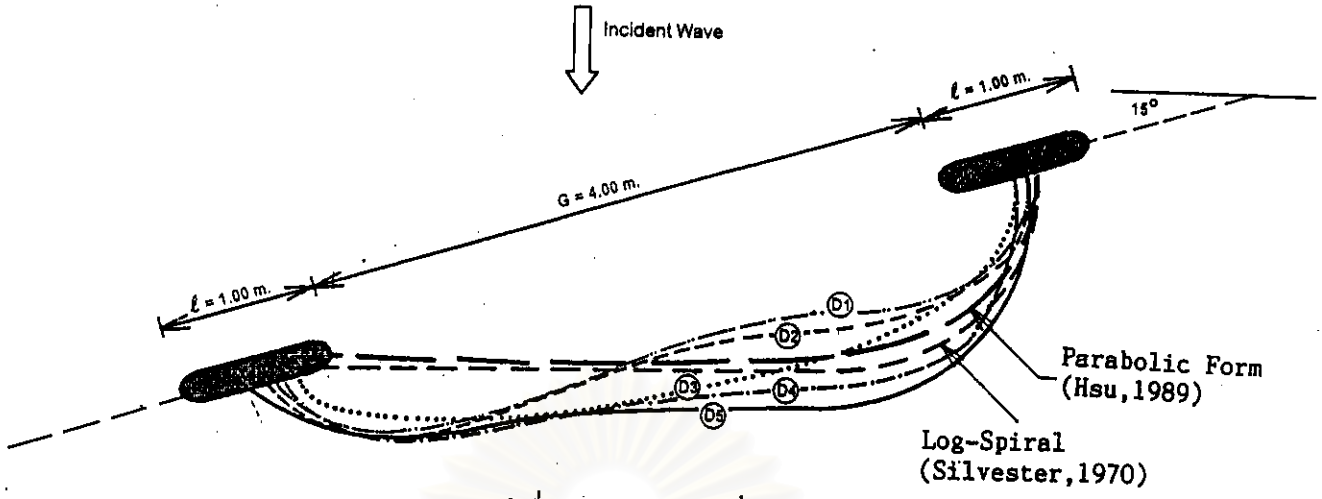
Parabolic
$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1(\beta/\theta) + C_2(\beta/\theta)^2 \qquad \text{..... (4-2)}$$

(<u>หมายเหตุ</u> รูปแบบของชายฝั่งทั้งสองไม่ได้คิดถึงผลของขนาดคลื่นจะคิดถึงผลของทิศทางคลื่นเท่านั้น ซึ่งน่าจะเป็นไปได้ว่าเป็นรูปแบบของชายฝั่งที่จะเกิดการเว้าเป็นอ่าวได้สูงสุด)

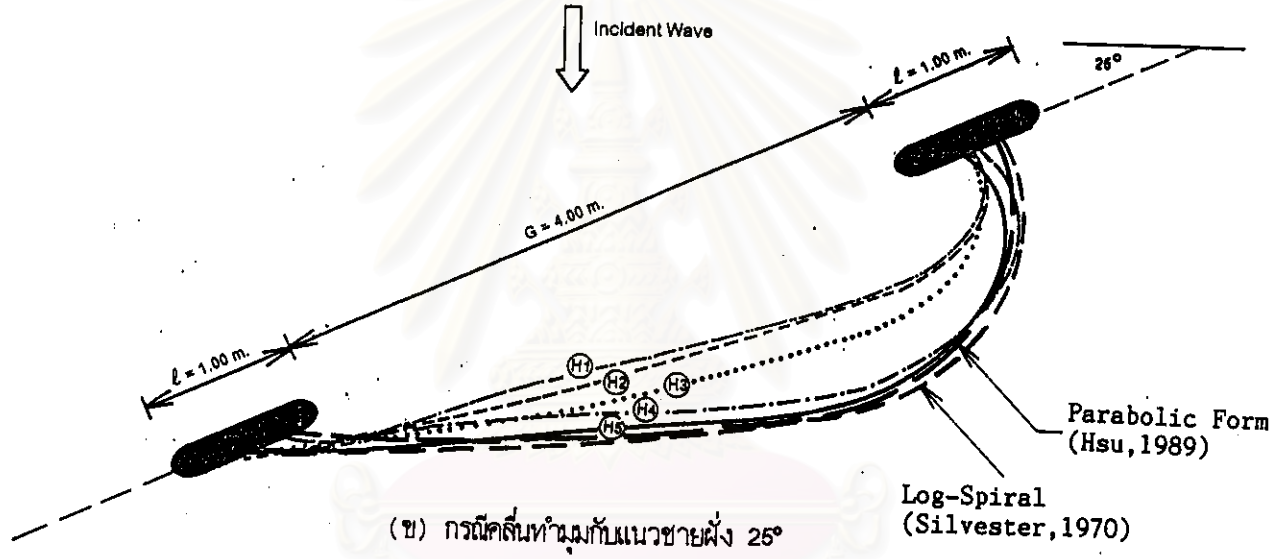
จากแนวทางอ่าวสมดุลรูปครึ่งหัวใจดังกล่าว ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาถึงหลักการของชายฝั่งสมดุลเป็นสำคัญจึงได้นำรูปแบบของชายฝั่งสมดุลรูปครึ่งหัวใจมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในบางกรณีดังแสดงในรูป 4-2 พบว่าชายฝั่งที่ได้จากการทดลองที่มีความสูงคลื่นต่างกันจะให้แนวชายฝั่ง

ต่างกัน แต่ในกรณีที่ความสูงคลื่นที่สูงที่สุดในการทดลองนี้พบว่ามีรูปร่างของแนวชายฝั่งใกล้เคียงกับชายฝั่งสมดุลแบบ Log-Spiral และ Parabolic โดยชายฝั่งจากการทดลองจะเว้าน้อยกว่าเล็กน้อยซึ่งถ้าเพิ่มความสูงคลื่นขึ้นอีกแนวชายฝั่งจากการทดลองอาจเท่ากันกับชายฝั่งสมดุลทั้งสองแบบ แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการสร้างคลื่นซึ่งไม่สามารถสร้างคลื่นให้มีความสูงคลื่นมากกว่าที่ใช้ในการทดลองนี้ได้

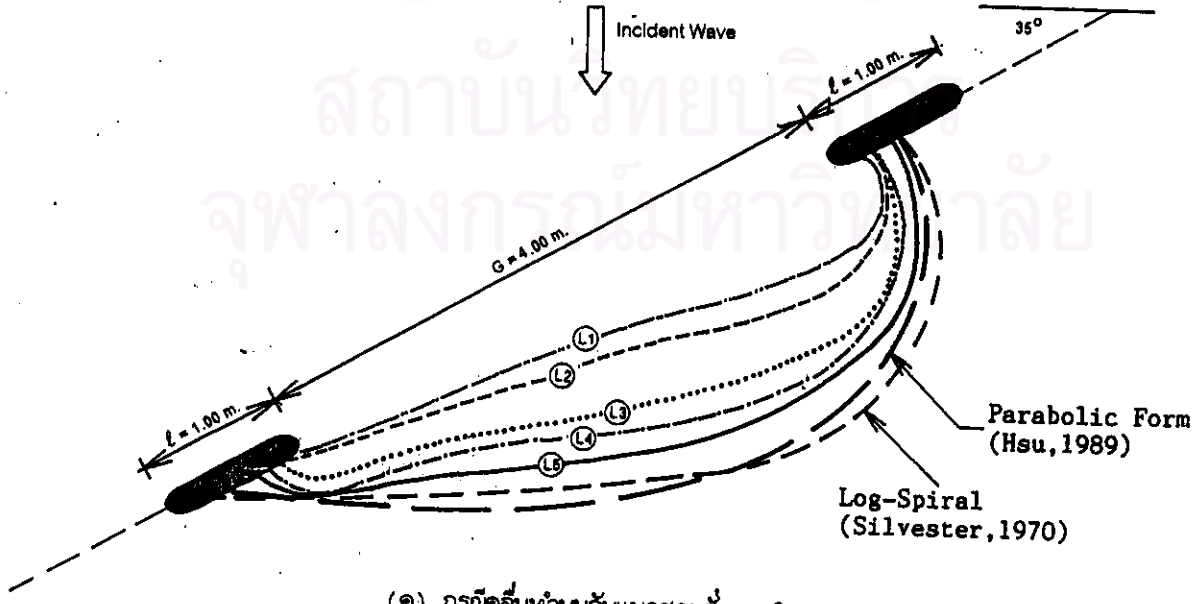
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) กรณีคลื่นทำมุมกับแนวชายฝั่ง 15°



(ข) กรณีคลื่นทำมุมกับแนวชายฝั่ง 25°



(ค) กรณีคลื่นทำมุมกับแนวชายฝั่ง 35°

รูป 4-2 การเปรียบเทียบชายฝั่งสมดุลจากการทดลองกับการศึกษาที่ผ่านมา

4.3 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง

เนื่องจากการศึกษาวิทยานิพนธ์เรื่องเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกในงานป้องกันชายฝั่ง นี้เป็นการศึกษาทดลองด้วยแบบจำลองชลศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมชายฝั่งทะเลเป็นครั้งแรกของภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจในการสังเกตพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่จะเกิดขึ้นในแบบจำลองนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพราะว่ากระบวนการชายฝั่งทะเลนั้นมีความสลับซับซ้อนและการอธิบายด้วยทฤษฎีแต่เพียงอย่างเดียวนั้นไม่เพียงพอและไม่สามารถที่จะบอกถึงลักษณะของชายฝั่งในขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงได้รวบรวมประสบการณ์ในการทดลองที่ได้จากการพบเห็นและสังเกตได้จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อเสริมความรู้ความเข้าใจในการเรียนวิชาวิศวกรรมชายฝั่งทะเลให้เข้าใจได้มากยิ่งขึ้น

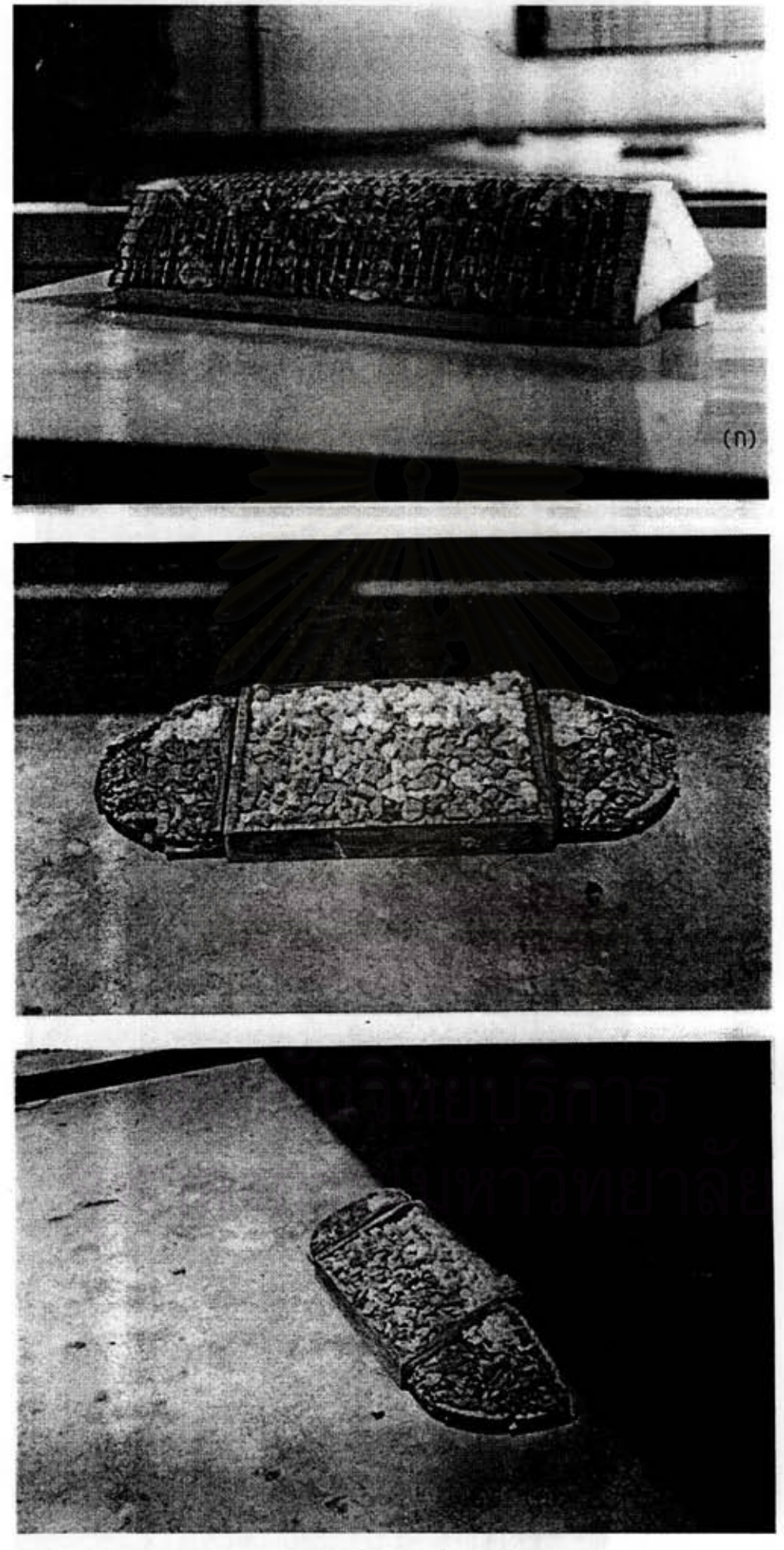
การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลองมีดังต่อไปนี้คือ

1) การสะท้อนของคลื่นเนื่องจากโครงสร้างเขื่อนกันคลื่น เมื่อเริ่มทำการทดลองนั้นได้ทำการสร้างแบบจำลองเขื่อนกันคลื่นกันแยกดังในรูป 4-3 (ก) ซึ่งจะเห็นว่าปลายของโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นนี้ทำด้วยไม้มีลักษณะทึบน้ำและมีขอบเหลี่ยม ความลาดเทางด้านหน้าโครงสร้างคือ 1:1 เมื่อนำโครงสร้างแบบนี้ไปใช้ในการทดลองพบว่าที่ปลายโครงสร้างนี้เกิดการสะท้อนของคลื่นเป็นจำนวนมากและชัดเจน ดังรูป 4-4 ดังนั้นจึงปรับเปลี่ยนรูปแบบของโครงสร้างให้มีปลายโค้งมนและมีความลาดเทด้านหน้า 2:1 ดังแสดงในรูป 4-3 (ข) และ (ค) เพื่อลดการสะท้อนของคลื่นหลังจากเปลี่ยนเขื่อนกันคลื่นแล้วพบว่าการสะท้อนของคลื่นที่เกิดขึ้นลดลงไปอย่างมาก

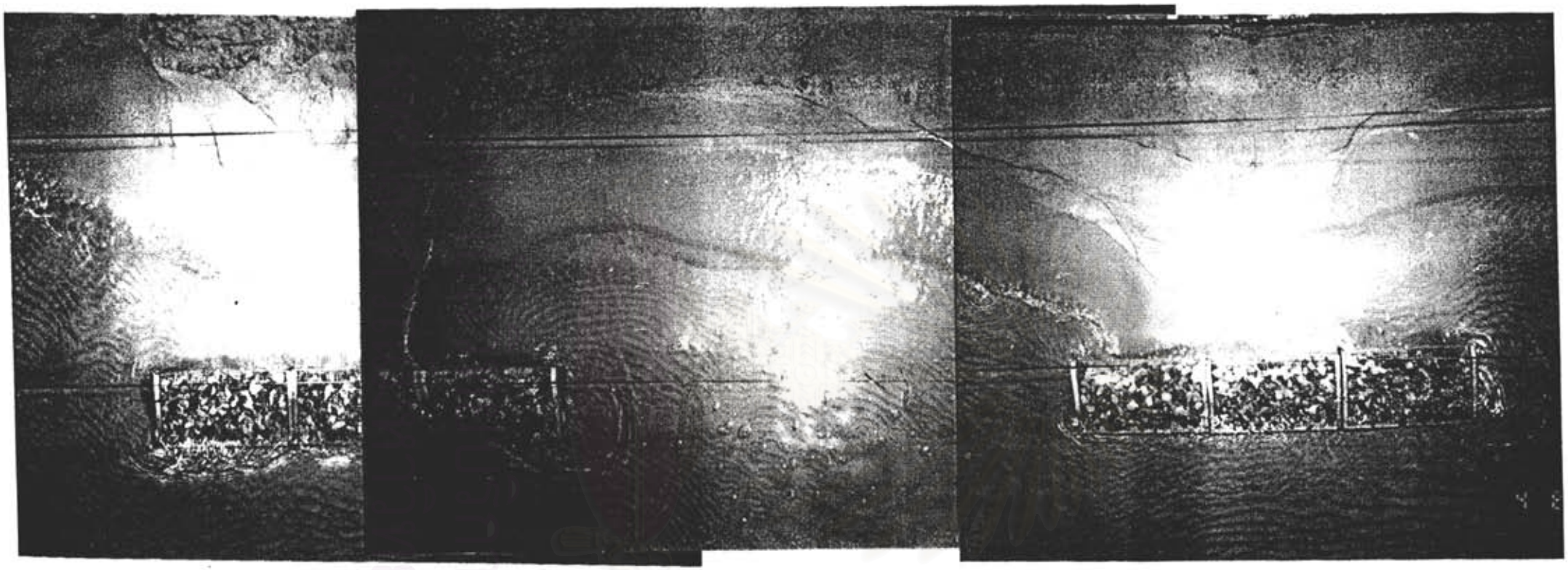
2) ในขณะทดลองเมื่อแนวชายฝั่งยังไม่อยู่ในสภาพสมดุล และไม่มีการเติมตะกอนทรายเพิ่ม พบว่าชายฝั่งเกิดการกัดเซาะที่ชายฝั่งด้านเหนือน้ำ โดยมีการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายตามแนวชายฝั่งจากชายฝั่งบริเวณนี้ไปทับถมกันที่ชายฝั่งด้านท้ายน้ำหรือท้ายแบบจำลอง ทำให้ต้องทำการตักทรายออกจากบริเวณนี้อยู่ตลอดเวลา ดังรูป 4-5

3) เมื่อเปลี่ยนขนาดของคลื่นด้วยการปรับระยะชักและความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดคลื่นจะได้คลื่นที่มีขนาดต่างๆกัน พบว่าเมื่อคลื่นมีความแรงมากบริเวณที่คลื่นเกิดการแตกตัวจะมีการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายมาก โดยที่นอกจากจะเกิดการเคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งแล้วคลื่นยังกวาดตะกอนทรายออกจากบริเวณชายฝั่งและไปทับถมบริเวณนอกฝั่ง ดังรูป 4-6 และทำให้ชายฝั่งเกิดระยะเว้าที่มากยิ่งขึ้น ดังแสดงในรูป 4-7 (ก) และ (ข) โดยมีความชันคลื่นประมาณ 0.040 และ 0.052 ตามลำดับ

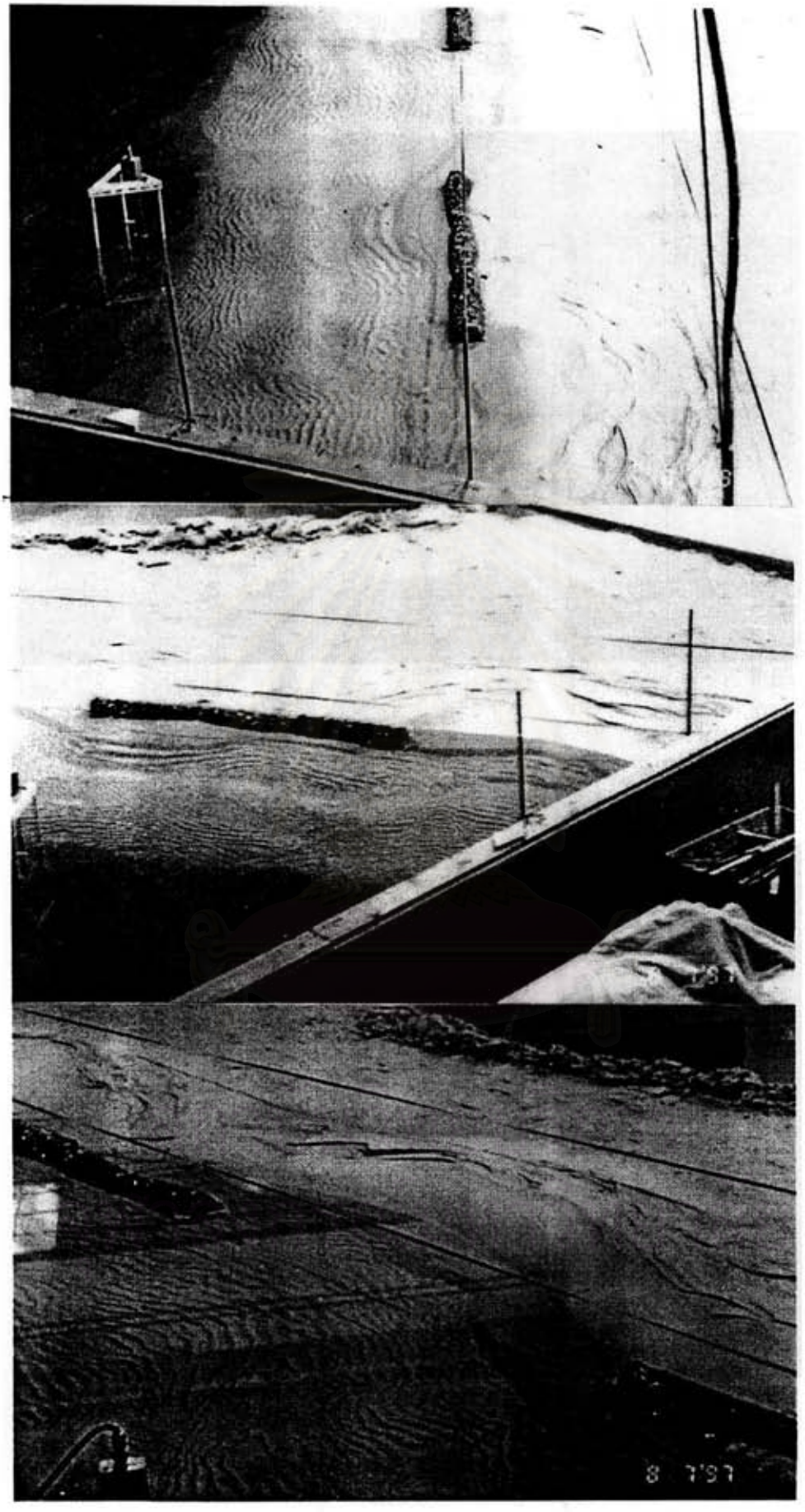
4) เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นให้มากขึ้นพบว่าชายฝั่งเกิดจะมีระยะเว้ามากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



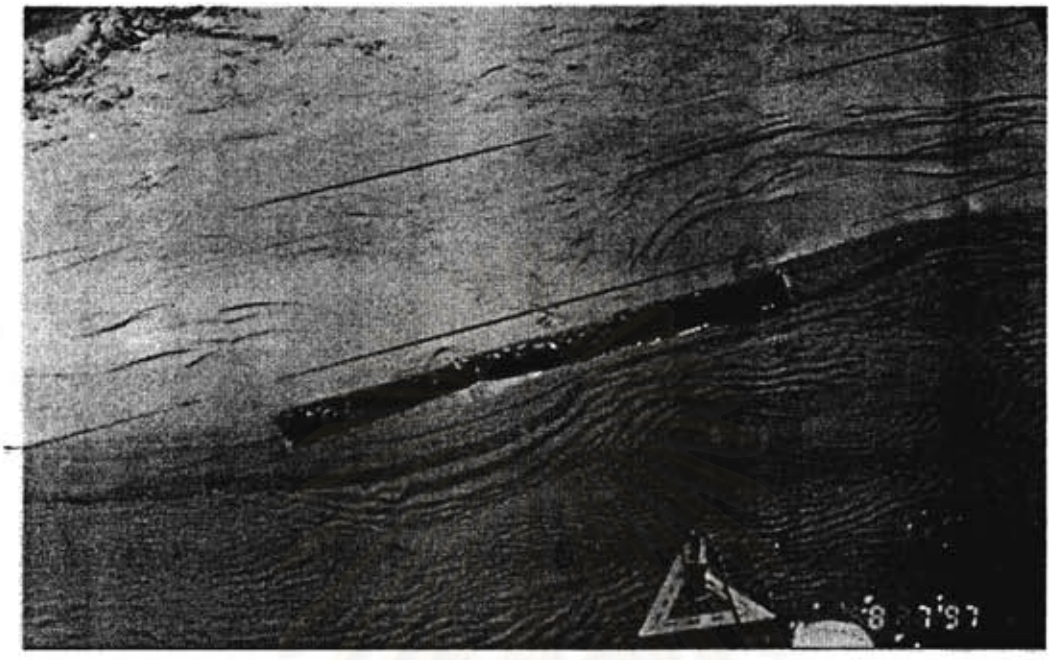
รูป 4-3 แบบจำลองเขื่อนกันคลื่นแยกที่ใช้ในการทดลอง

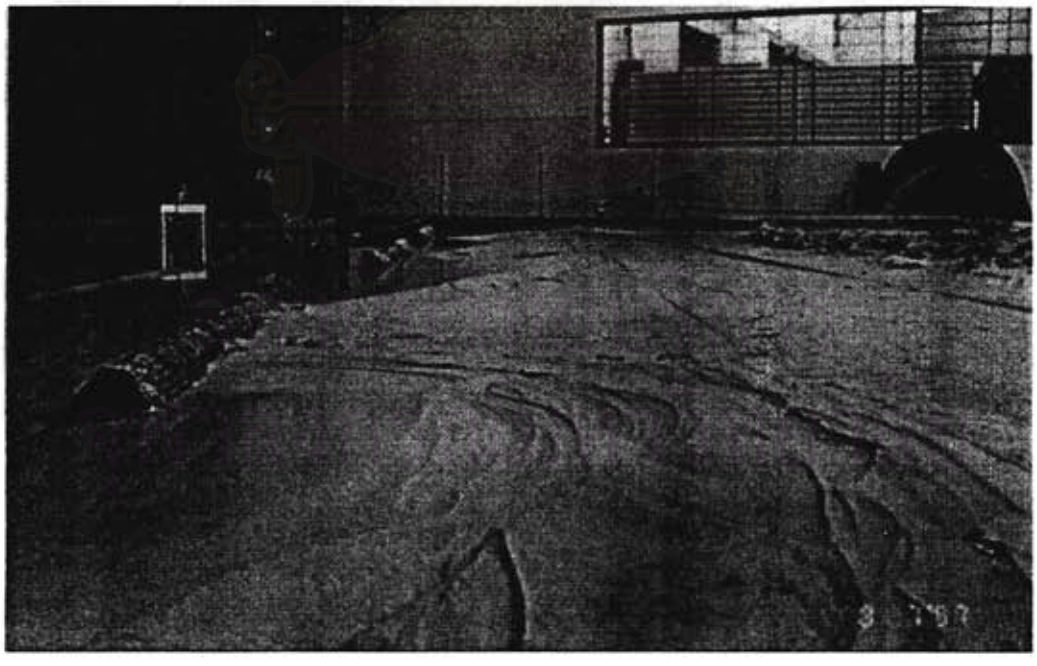


รูป 4-4 การสะท้อนของคลื่นเนื่องจากเขื่อนกันคลื่น

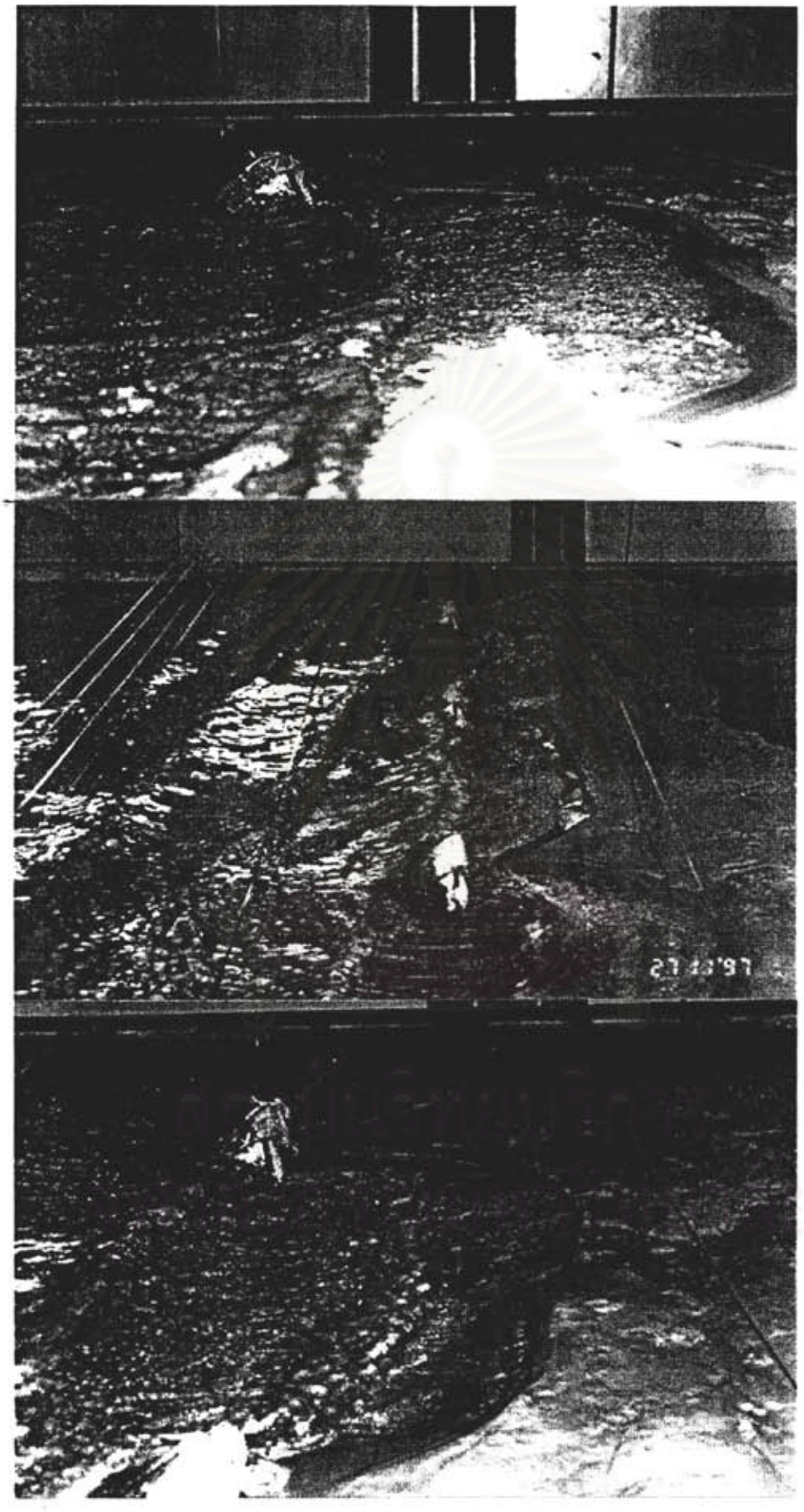


รูป 4-5 การทับถมของตะกอนทรายบริเวณท้ายแบบจำลอง

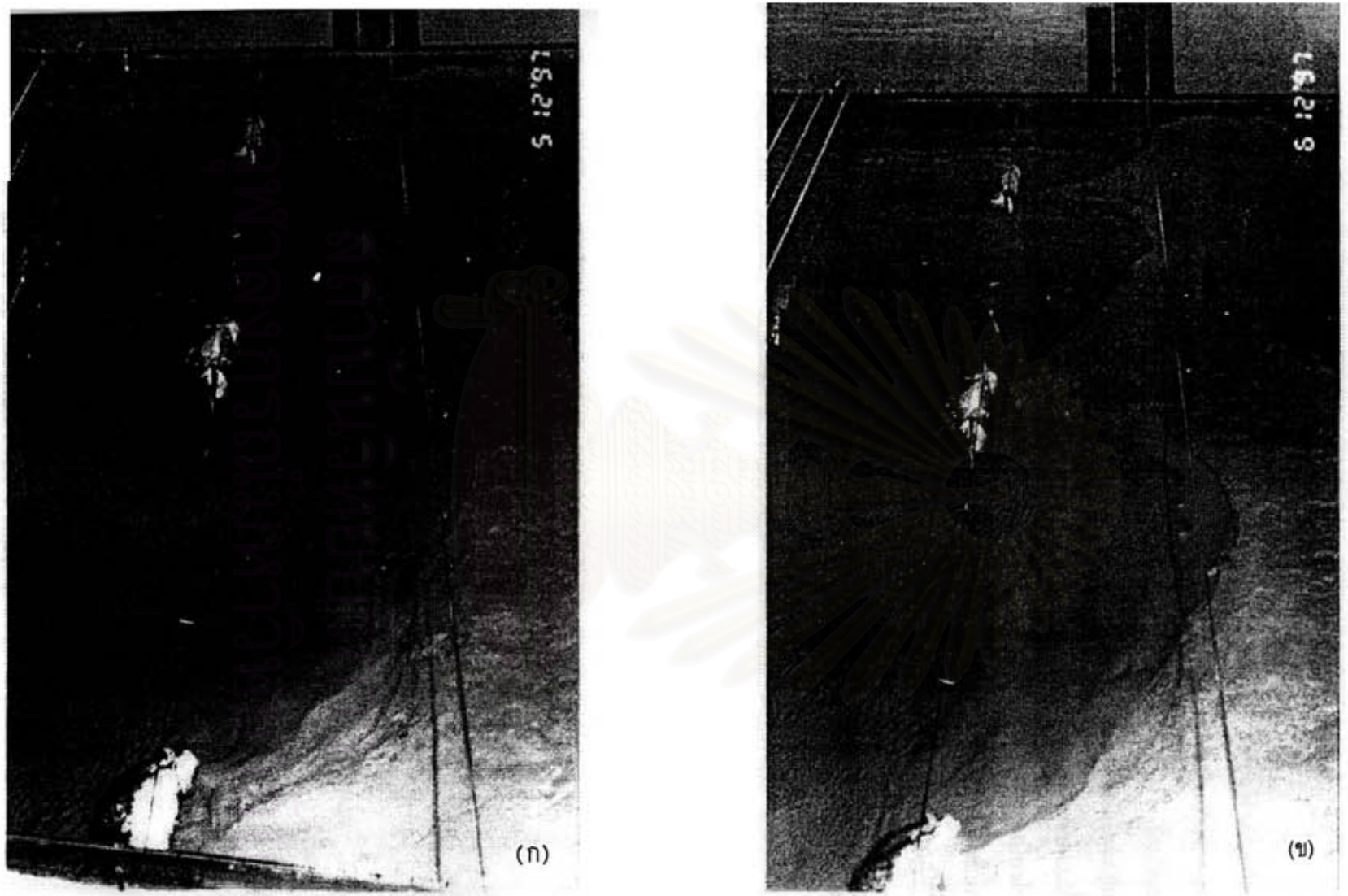




รูป 4-5 (ต่อ) การทับถมของตะกอนทรายบริเวณท้ายแบบจำลอง



รูป 4-6 การกัดเซาะชายฝั่งเนื่องจากคลื่น



รูป 4-7 การเว้าของชายฝั่งเมื่อมีความชันคลื่นต่างกัน

4.4 การวิเคราะห์พลังงานคลื่นในอ่าวสมดุล

พลังงานคลื่นประกอบไปด้วย ความสูงและความยาวคลื่นเป็นหลัก ความสำคัญของพลังงานคลื่นคือ การก่อให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่ง โดยเกิดการเว้าของชายฝั่งขึ้นเนื่องจากคลื่นจะพยายามลดความเข้มของพลังงานคลื่นโดยการกระจายพลังงานคลื่นออกไปตามแนวชายฝั่ง อันเป็นผลทำให้แนวชายฝั่งมีความยาวเพิ่มขึ้น พลังงานคลื่นที่กระจายออกไปนี้จะค่อย ๆ ลดลง จนมีความเข้มน้อยลงจนกระทั่งไม่สามารถกัดเซาะชายฝั่งได้อีกต่อไป ทำให้ชายฝั่งเข้าสู่สภาพชายฝั่งสมดุล จากแนวคิดนี้เองที่เป็นแนวทางในการพิจารณาในเรื่องพลังงานของอ่าวสมดุล โดยแนวคิดนี้มีสมมติฐานเบื้องต้นในการวิเคราะห์คือ การกระจายพลังงานของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นเข้ามาในอ่าวสมดุล มีอัตราของพลังงานคลื่นที่กระจายออกไปรอบ ๆ แนวชายฝั่ง ต่อความยาวชายฝั่งนั้นมีค่าเท่ากันทุกกรณี หรืออาจจะเท่ากับค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่าคงที่นี้น่าจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกายภาพของชายฝั่ง เช่น ขนาดของตะกอนทรายของชายฝั่ง ซึ่งอาจจะสามารถวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์นี้ได้ เนื่องจากขนาดของตะกอนทรายในแบบจำลองนี้มีขนาดใกล้เคียงกัน

โดยอัตราการกระจายพลังงานคลื่นต่อความยาวแนวชายฝั่ง สามารถคำนวณได้จากความสูงของคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล ที่รวมผลกระทบจากการเคลื่อนที่เข้าสู่น้ำตื้น และการหักเหของคลื่น

ความสูงคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล ; $H_{ent} = H_0 K_r K_s$ (m) .....(4 – 3)

พลังงานคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล ; $\bar{E}_{ent} = \rho g \frac{H_{ent}^2}{8}$ (N-m/m^2) ....(4 – 4)

กำลังของคลื่นเฉลี่ยที่ทางเข้าอ่าวสมดุล ; $\bar{P}_{ent} = \bar{E}_{ent} C_{ent}$ (N-m/s) .....(4 –5)

พลังงานคลื่นรวมที่ผ่านเข้ามายังอ่าวสมดุล ; $T_{gap} = \bar{P}_{ent} \times G$ (N-m^2/s) ...(4 – 6)

ดังนั้น อัตราการกระจายพลังงานรวมคลื่นต่อความยาวชายฝั่ง

$$= \frac{\bar{P}_{ent} \times G}{P} = \frac{T_{gap}}{P} \quad \text{(N-m/s)} \quad .....(4-7)$$

เมื่อ G คือ ระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคล

P คือ ความยาวของแนวชายฝั่ง

จากผลการทดลอง เมื่อนำมารวบรวมหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานคลื่นกับตัวแปรออกแบบได้กราฟดังต่อไปนี้ คือ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าของชายฝั่งกับพลังงานคลื่นรวมที่ผ่านเข้ามายังอ่าวสมดุล ดังแสดงในรูป 4-8 (ก) (ข) และ (ค) ซึ่งกราฟแต่ละรูปนั้นพลอตที่มุมของคลื่นทำกับแนวชายฝั่ง 15° 25° และ 35° ตามลำดับ พบว่าระยะเว้าของชายฝั่งมีแนวโน้มจะแปรผันตามพลังงานของคลื่นรวมที่ผ่านเข้ามายังอ่าวสมดุล แต่เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นกลับไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความยาวชายฝั่งกับพลังงานคลื่น ดังแสดงในรูป 4-9 (ก) (ข) และ (ค) ก็เช่นเดียวกัน คือ พบว่าความยาวชายฝั่งน่าจะขึ้นอยู่กับพลังงานของคลื่น แต่จากการทดลองไม่พบความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นกับระยะห่างระหว่างเขื่อน

เมื่อพิจารณาพลังงานของคลื่นในรูปแบบของอัตราส่วนการกระจายพลังงานคลื่นต่อความยาวชายฝั่งดังสมมติฐานเบื้องต้นที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยนำมาหาความสัมพันธ์ด้วยการพลอตจุดบนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นกับระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น และอัตราส่วนระหว่างการกระจายพลังงานคลื่นกับความยาวชายฝั่ง ดังแสดงในรูป 4-10 จะเห็นว่าค่าของอัตราการกระจายพลังงานคลื่นมีความผันแปรสูง ซึ่งไม่ตรงกับสมมติฐานที่ได้ให้ไว้ในเบื้องต้น แต่จากกราฟเมื่อพิจารณาในกรณีที่มีระยะระหว่างเขื่อนกันคลื่นมากขึ้น พบว่าอัตราการกระจายพลังงานคลื่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และกราฟที่ได้ทั้ง 3 เส้นนั้นแสดงถึงอัตราการกระจายพลังงานคลื่นที่มุมต่าง ๆ กัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความยาวชายฝั่งขึ้นอยู่กับมุมของคลื่นที่กระทำต่อชายฝั่ง เมื่อค่ามุมของคลื่นที่กระทำต่อแนวชายฝั่งมีค่ามากความยาวจะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นพลังงานคลื่นรวมที่ผ่านเข้ามาสู่อ่าวสมดุลเมื่อนำมาหารด้วยความยาวชายฝั่งจึงมีค่าลดลง สรุปได้ว่าอัตราการกระจายพลังงานของคลื่นต่อความยาวชายฝั่งนั้นมีค่าไม่คงที่ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นที่ยอมให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาได้เพิ่มขึ้น

เนื่องจากพลังงานคลื่นประกอบด้วยความสูงคลื่นเป็นสำคัญ และจากความสัมพันธ์ของ

$$\bar{E}_{ent} = \rho g \frac{H_{ent}^2}{8} \qquad \text{.....(4-8)}$$

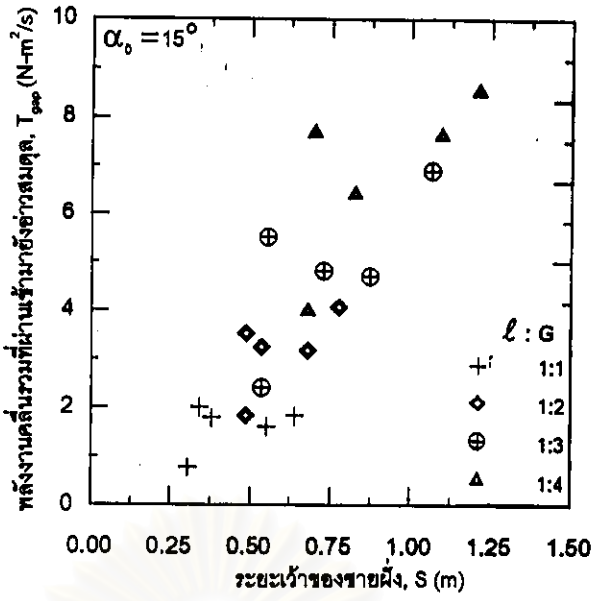
เมื่อ $\frac{\rho g}{8}$ เป็นค่าคงที่

ดังนั้น $E \propto H^2$

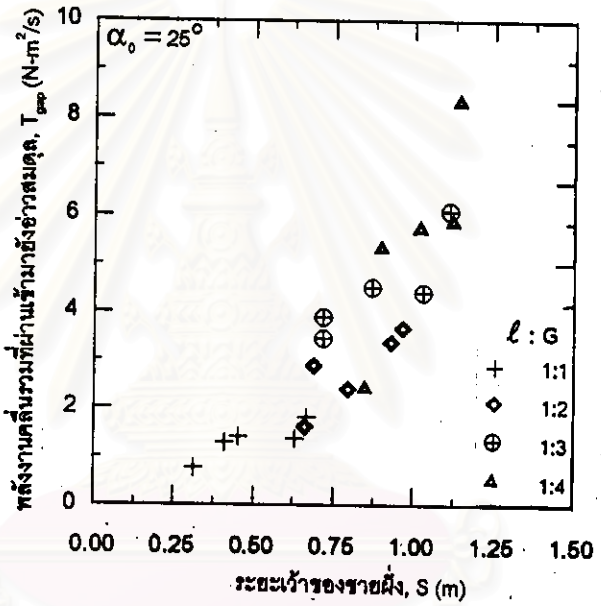
หรือกล่าวได้ว่า $E = f(H)$ .....(4-9)

ดังนั้นเมื่อพิจารณาพลังงานคลื่นไร้หน่วยจึงหาค่าพลังงานคลื่นด้วยความลึกของน้ำที่ทางเข้าอ่าวสมดุลยกกำลังสอง (H^2_{ent}/d^2_{ent}) และหารด้วยระยะเว้าของชายฝั่งกำลังสอง (H^2_{ent}/S^2) เนื่องจากความสูงคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวสมดุลเกี่ยวข้องกับความลึกของน้ำและระยะเว้าของชายฝั่งด้วยกันทั้งสิ้น และในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเว้าของชายฝั่งกับพลังงานคลื่นไร้หน่วยที่อยู่ในรูปของความสูงคลื่นยกกำลังสองหารด้วยความลึกน้ำยกกำลังสอง (H^2_{ent}/d^2_{ent}) ได้ผลดังแสดงในรูป 4-11 (ก) (ข) และ (ค) สำหรับคลื่นทำมุมกับชายฝั่ง 15° 25° และ 35° ตามลำดับ ซึ่งจากกราฟไม่พบความสัมพันธ์ใด ๆ ส่วนในรูป 4-12 (ก) และ (ข) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น กับพลังงานคลื่นไร้หน่วยในรูปของ (H^2_{ent}/S^2) และ (H^2_{ent}/d^2_{ent}) ตามลำดับ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ เช่นกัน

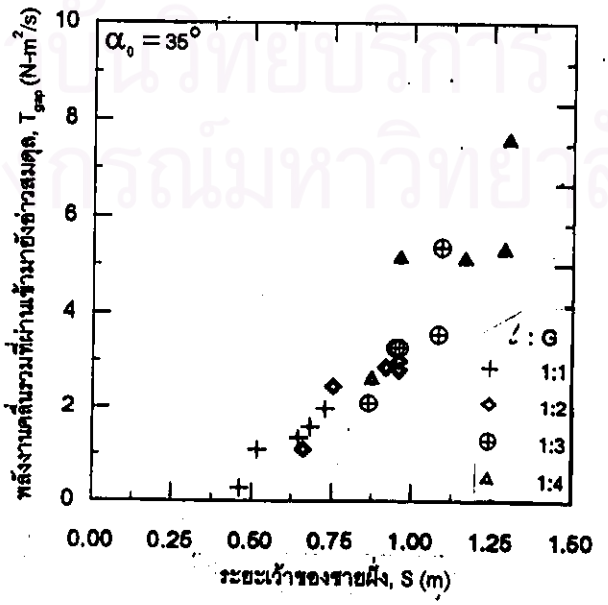
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

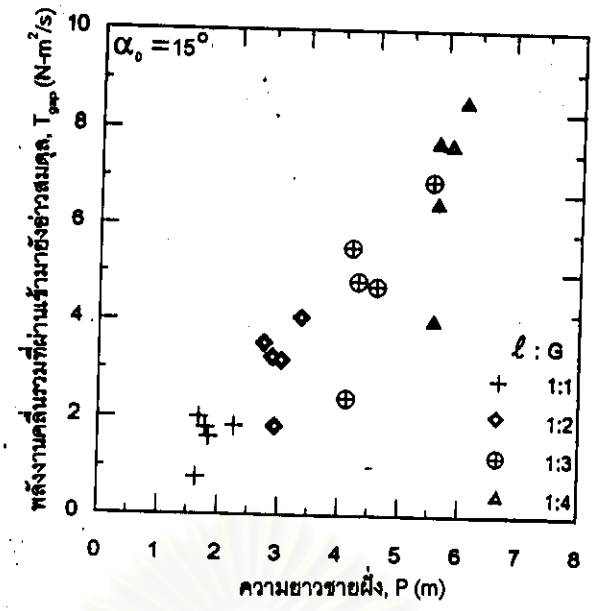


(ข)

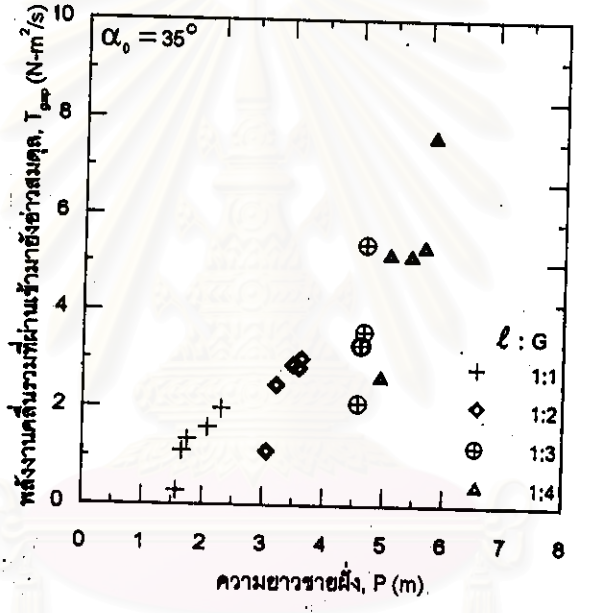


(ค)

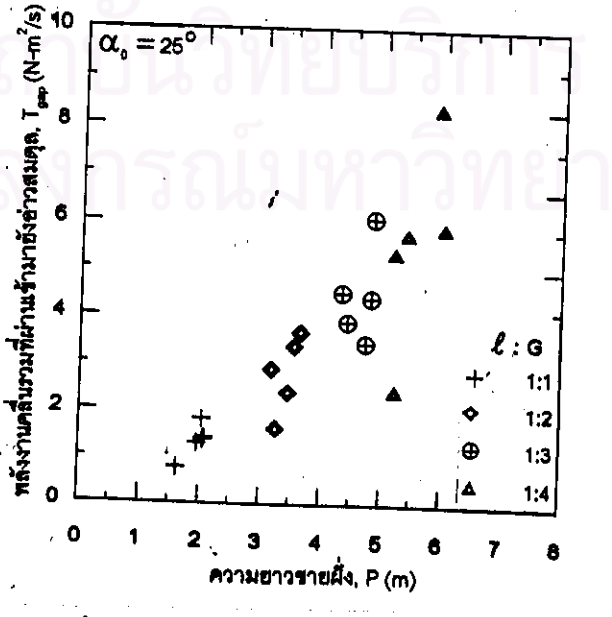
รูป 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าชายฝั่งต่อความยาวคลื่นกับพลังงานคลื่นรวมที่ผ่านเข้ามายังอ่าวสมดุล



(ก)

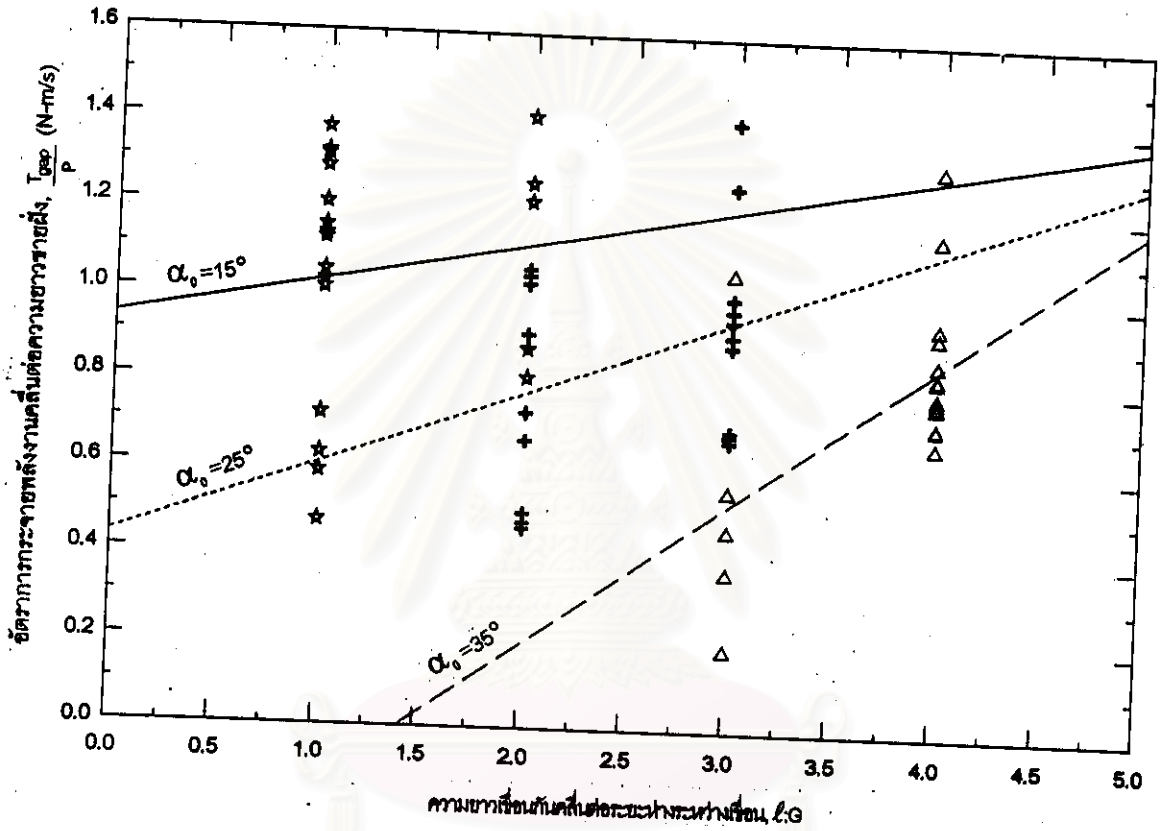


(ข)

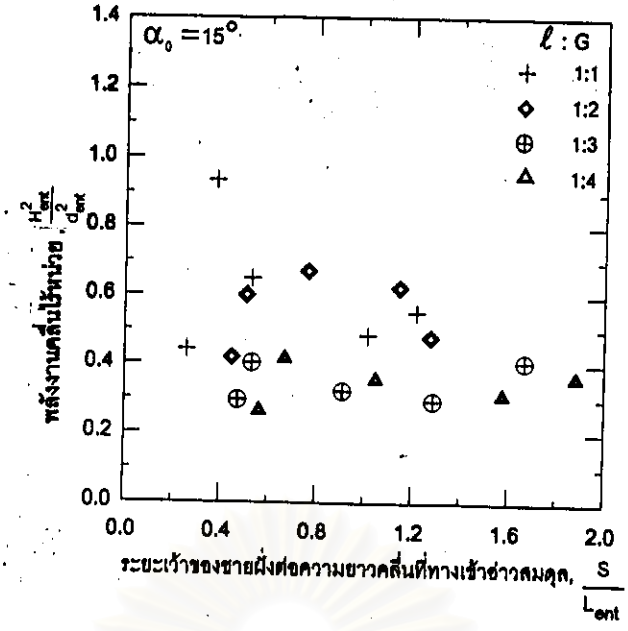


(ค)

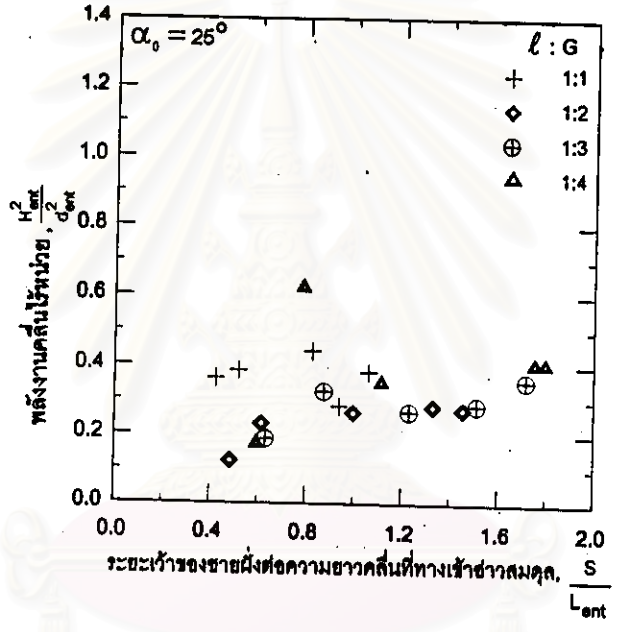
รูป 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวชายฝั่งต่อความยาวคลื่นกับพลังงานคลื่นรวมที่ผ่านเข้ามายังอ่าวสมดุล



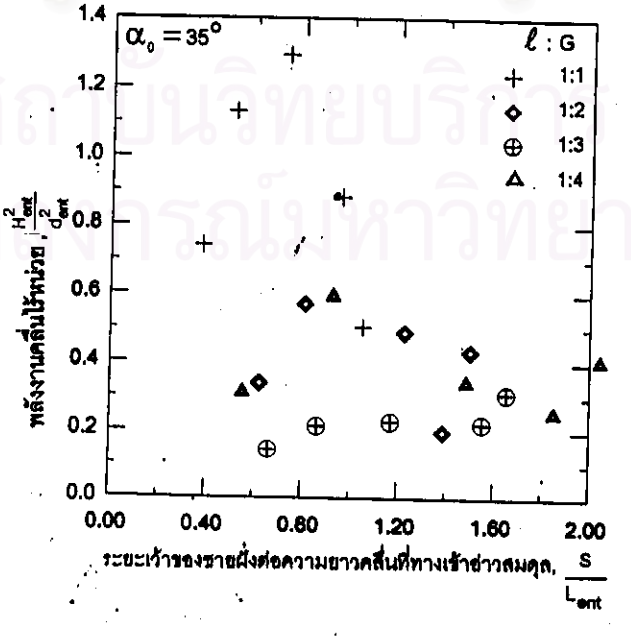
รูป 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นกับระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นและอัตราส่วนการกระจายพลังงานคลื่นต่อความยาวชายฝั่ง



(ก)

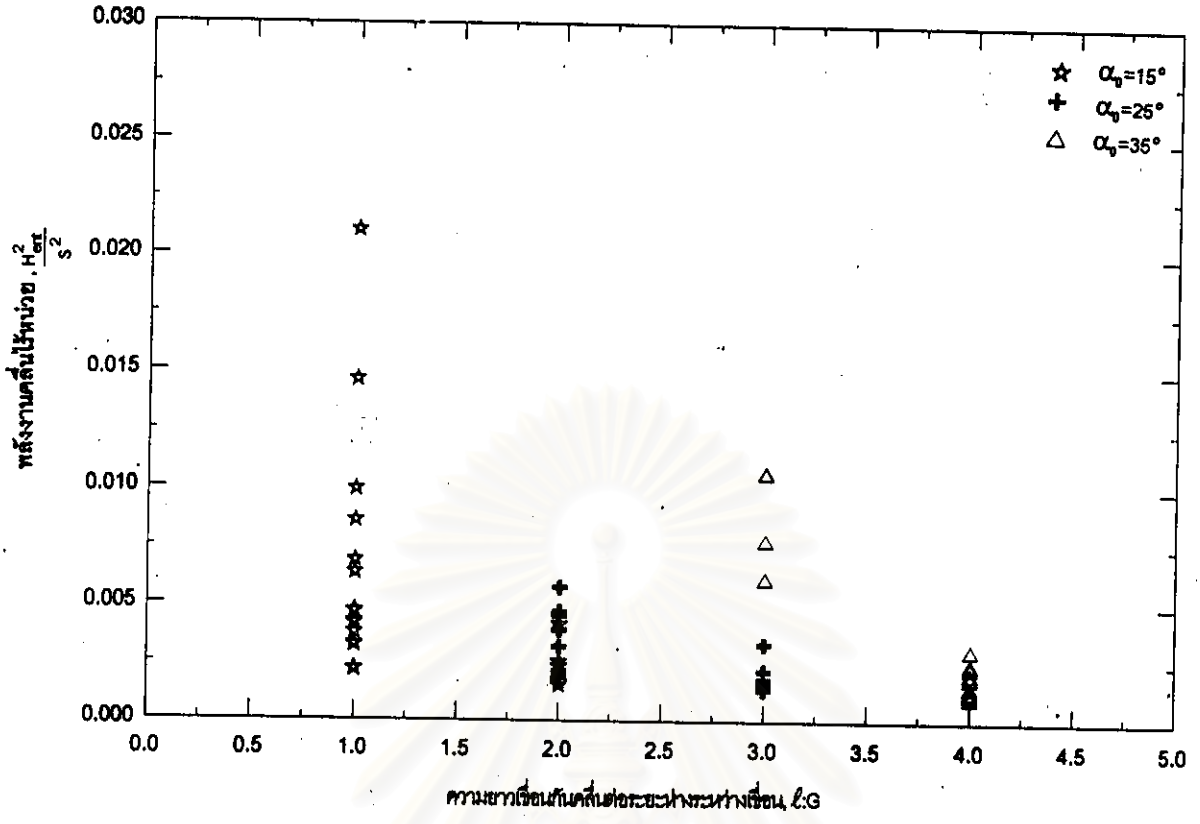


(ข)

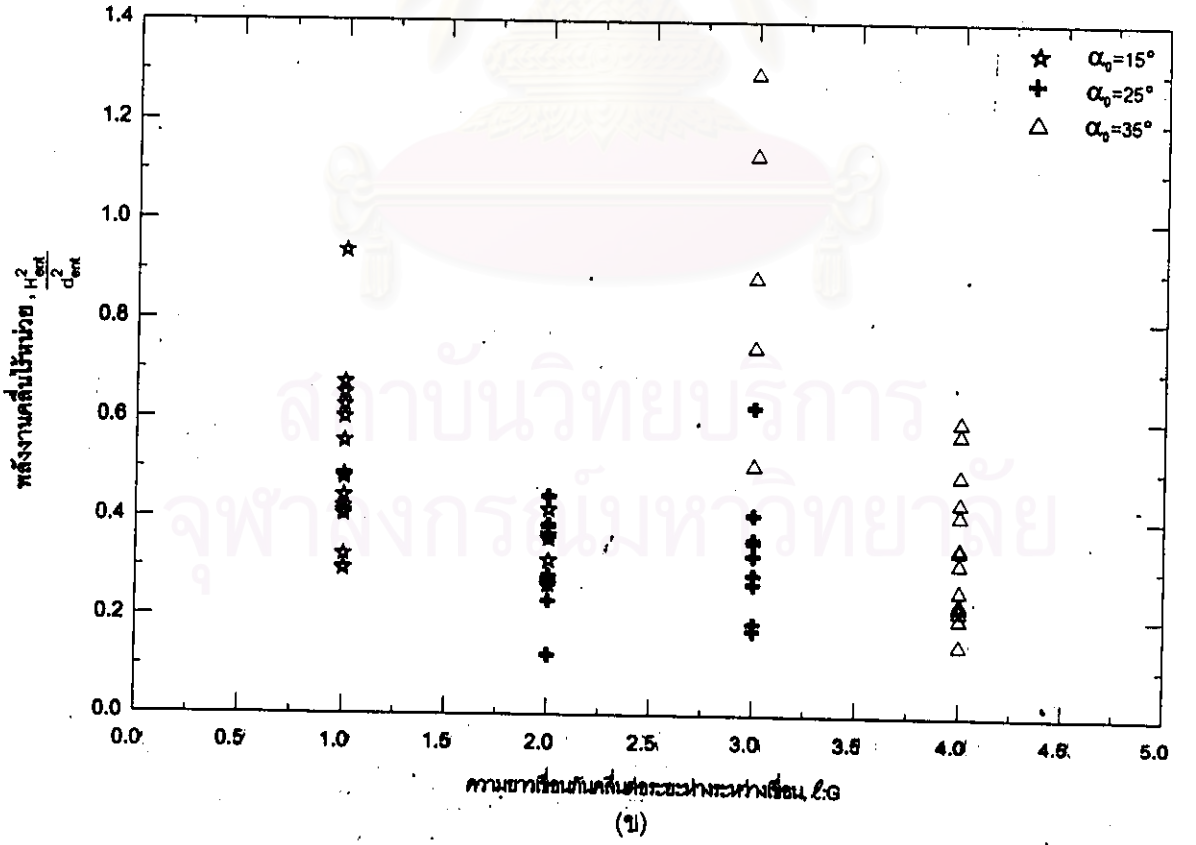


(ค)

รูป 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าชายฝั่งต่อความยาวคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล กับพลังงานคลื่นไร้หน่วย



(ก)



(ข)

รูป 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นกับพลังงานคลื่นไร้หน่วย

4.5 ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบกับคุณสมบัติคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล

เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นแปรผันตามความลึกของน้ำ ดังนั้นในการพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบจึงควรพิจารณาร่วมกับคุณสมบัติของคลื่นในบริเวณที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ดังนั้นในการวิเคราะห์นี้จึงนำคุณสมบัติของคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุลมาพิจารณา ซึ่งได้แก่ ความสูงคลื่น ความยาวคลื่น และความชันคลื่น ที่ทางเข้าอ่าวสมดุล โดยค่าตัวแปรของลักษณะคลื่นนี้สามารถคำนวณได้เมื่อทราบค่าความลึกน้ำบริเวณทางเข้าอ่าวสมดุลเฉลี่ย โดยคำนวณความยาวและความเร็วคลื่นได้จากทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย โดยมีค่าคาบเวลาของคลื่นคงที่

ความยาวคลื่น;
$$L_{ent} = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh\left(\frac{2\pi d}{L_{ent}}\right) \qquad \text{..... (4 – 10)}$$

ความเร็วคลื่น;
$$C_{ent} = \frac{L_{ent}}{T} \qquad \text{.....(4 – 11)}$$

จากคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของคลื่นคือการเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าสู่น้ำตื้นและการหักเหของคลื่น (ดังรายละเอียดในหัวข้อ 2.2) สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของการเคลื่อนที่เข้าสู่น้ำตื้นและสัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่น ดังนั้นจึงสามารถคำนวณความสูงคลื่นในบริเวณนี้ได้จากสมการ

$$H_{ent} = H_0 K_r K_s \qquad \text{..... (4 – 12)}$$

เมื่อ H_0 คือ ความสูงคลื่นในน้ำลึก

K_s คือ สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่เข้าสู่น้ำตื้น

K_r คือ สัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่น

ดังนั้นความชันของคลื่นที่ทางเข้าสู่อ่าวสมดุลจึงเป็นความจึงเป็นความชันคลื่นของชายฝั่งสมดุล โดยมีค่าเท่ากับ H_{ent}/L_{ent}

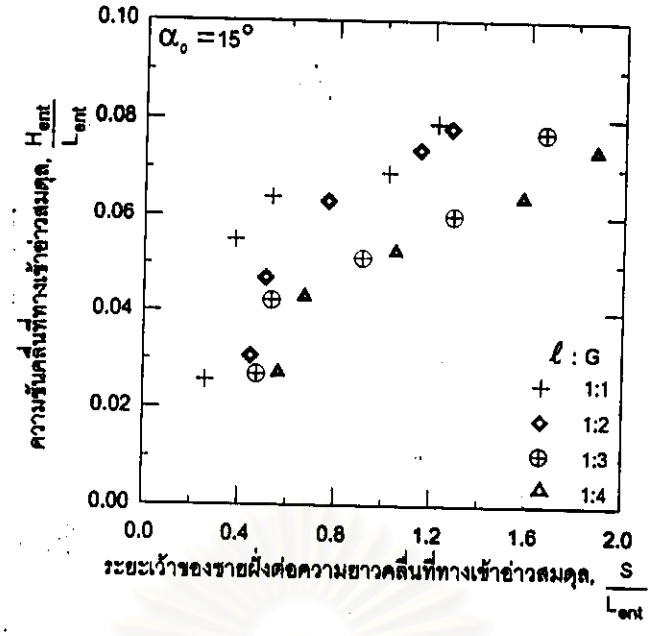
เมื่อนำค่าตัวแปรออกแบบคือระยะเว้าของชายฝั่งและคุณสมบัติคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุลมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ โดยการพลอตกราฟระหว่างระยะเว้าชายฝั่งต่อความยาวคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุลกับความชันคลื่นในบริเวณนี้ ดังแสดงในรูป 4-13 (ก) (ข) และ (ค) ที่มุมของคลื่นทำกับแนวชายฝั่ง 15° 25° และ 35° ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในกราฟแต่ละรูปนั้นเมื่อพิจารณาในกรณีที่ระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นเท่ากัน จะได้กราฟที่มีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรงโดยระยะเว้าจะมากขึ้นเมื่อความชันคลื่นมีมากขึ้น และเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น จากกราฟทั้ง 3 รูป สามารถสรุปได้ว่า ความสูงคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุลมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งคือทำให้เกิดการกัดเซาะ

ของชายฝั่งให้เว้าเข้าไปมากเมื่อคลื่นมีความสูงเพิ่มขึ้น และระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นก็เช่นกัน คือ ระยะเว้าจะมากขึ้นเมื่อมีระยะห่างระหว่างเขื่อนมากขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

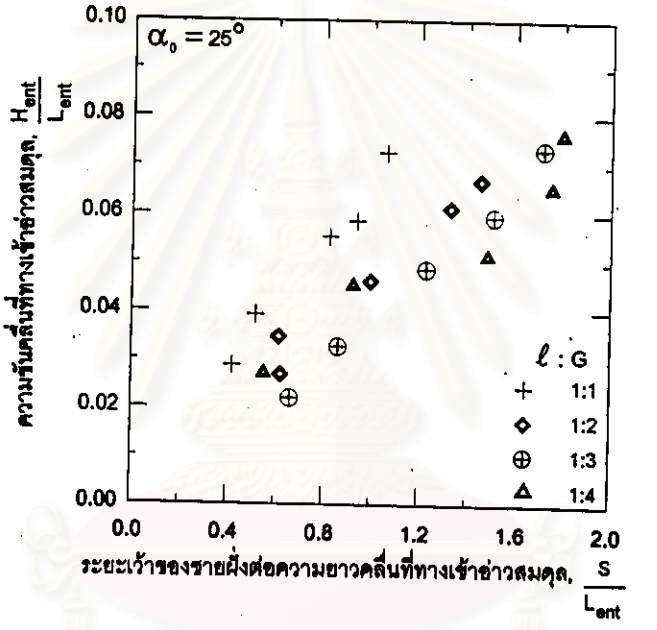
$$\frac{S}{L_{ent}} = f\left(\frac{H_{ent}}{L_{ent}} \middle| \frac{L}{G}, \alpha_0\right) \qquad \text{.....(4 – 13)}$$

หมายความว่าระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุลเป็นฟังก์ชั่นของความชันคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล เมื่อกำหนดค่าความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนและมุมของคลื่นที่ทำกับแนวชายฝั่ง

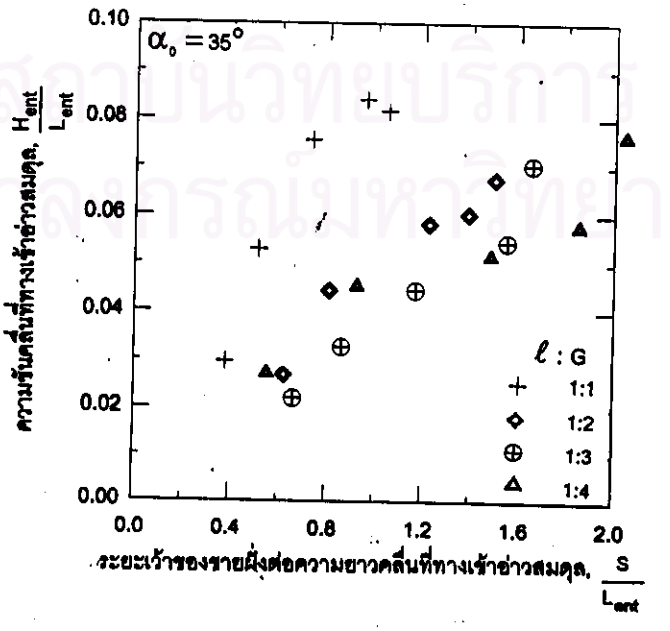
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



(ข)



(ค)

รูป 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าชายฝั่งต่อความยาวคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล กับความชันคลื่นที่ทางเข้าอ่าวสมดุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบกับคุณสมบัติคลื่นในน้ำลึก

ในการศึกษาด้านวิศวกรรมชายฝั่งได้มีการแบ่งลักษณะออกตามความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำกับความยาวคลื่น และที่นิยมใช้กันมากในการกล่าวถึงคุณลักษณะของคลื่นก็คือ ลักษณะของคลื่นในน้ำลึก เนื่องจากเป็นข้อมูลคลื่นที่หาได้ง่าย ซึ่งในน้ำลึกนี้คลื่นมีลักษณะการเคลื่อนที่ที่ไม่ขึ้นกับความลึกของน้ำ ซึ่งสามารถกำหนดได้ด้วย ความลึกสัมพัทธ์ (d/L) มีค่าน้อยกว่า 0.5 เมื่อ d คือ ความลึกของน้ำ และ L คือ ความยาวคลื่น

จากการนำเอาค่าตัวแปรออกแบบ และคุณสมบัติคลื่นมาพิจารณาถึงความสัมพันธ์ต่างๆ โดยการพล็อตกราฟระหว่างตัวแปรออกแบบกับความชันคลื่นในน้ำลึก ดังนี้คือ

1) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นกับความชันคลื่นในน้ำลึก ดังแสดงในรูป 4-14 (ก) (ข) และ (ค) สำหรับกรณีที่มุมของคลื่นทำกับชายฝั่ง 15° 25° และ 35° ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นต่างๆ จะเห็นว่าจุดดังกล่าวนั้นมีความสัมพันธ์กันเป็นแบบเส้นตรงค่อนข้างชัดเจนและมีลำดับของอัตราส่วนของความยาวเขื่อนต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนและมุมของคลื่นที่ทำกับแนวชายฝั่งและเมื่อลองลากเส้นแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละจุดก็จะได้เส้นกราฟจำนวน 4 เส้น ที่มีอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นต่าง ๆ กัน จากกราฟความสัมพันธ์ในชุดนี้สามารถสรุปได้ว่า

1.1) ความสูงคลื่นในน้ำลึกมีผลต่อระยะเว้าของชายฝั่งคือเมื่อคลื่นมีความสูงเพิ่มขึ้นชายฝั่งจะเกิดการกัดเซาะมากยิ่งขึ้นจึงทำให้ระยะเว้าของชายฝั่งเพิ่มขึ้นด้วย

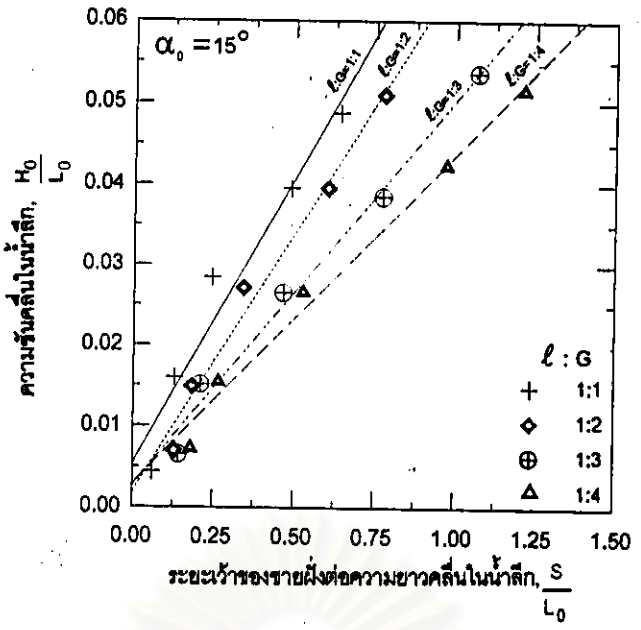
1.2) เมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นชายฝั่งจะเว้ามากขึ้น

1.3) ในกรณีที่คลื่นมีความสูงน้อยๆ ที่ระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นต่าง ๆ กัน พบว่า ระยะเว้าของชายฝั่งไม่แตกต่างกันมากนัก

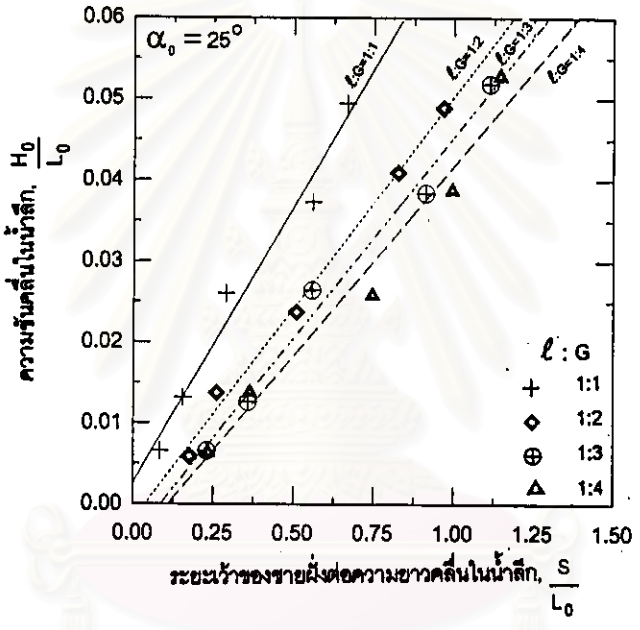
จากกราฟที่ได้สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้ คือ

$$\frac{S}{L_0} = f\left(\frac{H_0}{L_0}\middle|\ \frac{L}{G}, \alpha_0\right) \qquad \text{.....(4 – 14)}$$

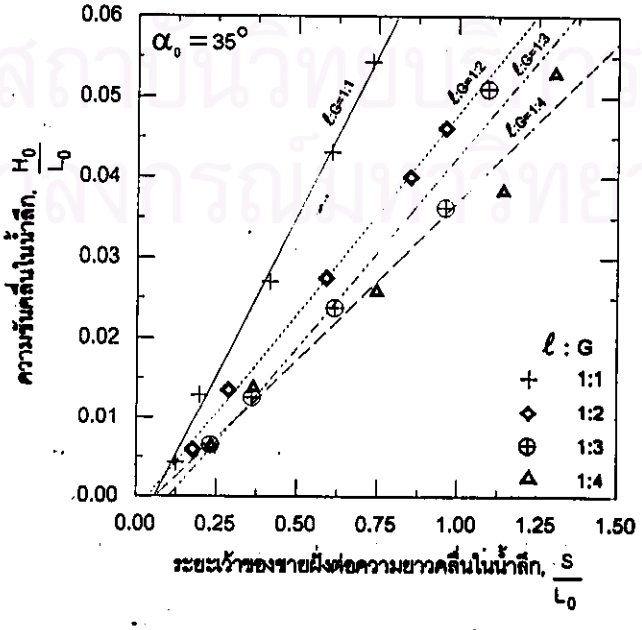
ซึ่งหมายถึงระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกขึ้นอยู่กับอิทธิพลของคลื่นในน้ำลึก เมื่อกำหนดค่าความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อน และมุมของคลื่นที่ทำกับแนวชายฝั่ง



(ก)



(ข)



(ค)

รูป 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก กับความชันคลื่นในน้ำลึก

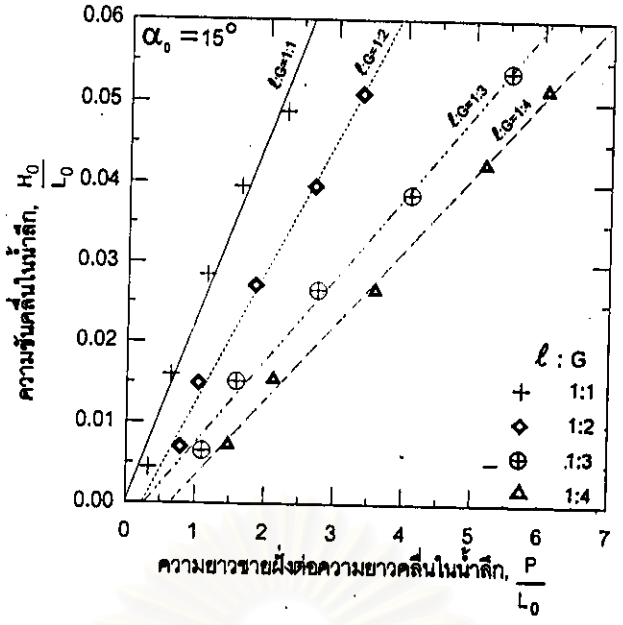
4.7 การกำหนดตัวแปรประกอบ

ในการพิจารณาการป้องกันชายฝั่ง นอกจากต้องพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งของโครงสร้างและการกัดเซาะชายฝั่งเป็นสำคัญแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงผลของตัวแปรอื่น ๆ ประกอบกันด้วย เพื่อช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งตัวแปรประกอบที่สนใจในการศึกษาทดลองครั้งนี้ได้แก่

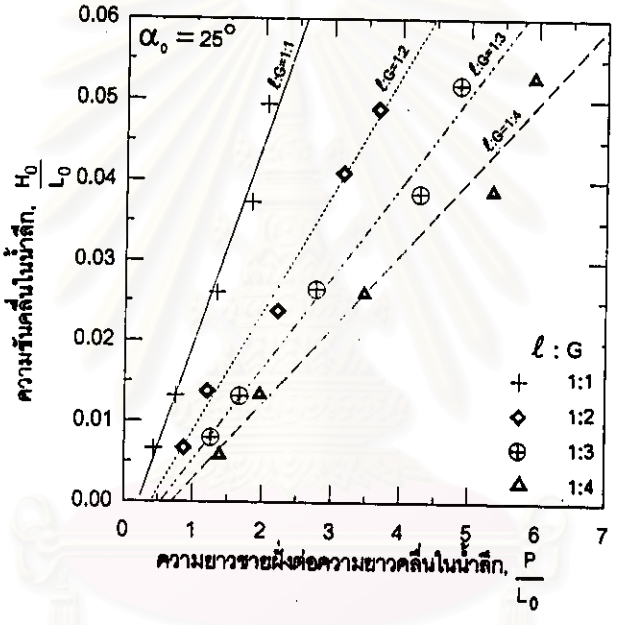
1) ความยาวชายฝั่ง เป็นระยะที่ชายฝั่งเกิดการกัดเซาะ ดังนั้นจึงได้นำมาพิจารณาในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก กับความชันคลื่นในน้ำลึกดังรูป 4-15 (ก) (ข) และ (ค) พบว่าความยาวชายฝั่งผันแปรตามความสูงคลื่น และระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นเนื่องจากเมื่อความสูงคลื่นมากขึ้น ทำให้เกิดการกัดเซาะและชายฝั่งเว้ามากขึ้นตามลำดับ และระยะห่างระหว่างเขื่อนเป็นระยะที่ยอมให้คลื่นเคลื่อนที่ผ่านเข้าสู่อ่าวสมดุลนั้นมีความสัมพันธ์ด้วยเช่นกัน

2) ความลาดชันชายฝั่งในอ่าวสมดุล จากรูป 4-16 (ก) (ข) และ (ค) สามารถสรุปได้ว่าความลาดชันของชายฝั่งขึ้นอยู่กับขนาดของคลื่น เนื่องจากเมื่อคลื่นมีความรุนแรงสูงขึ้น เคลื่อนที่เข้าปะทะและกัดเซาะแนวชายฝั่ง คลื่นจะนำเอาตะกอนทรายออกไปนอกชายฝั่งด้วยในขณะที่คลื่นนี้สะท้อนกลับออกไป ดังนั้นเมื่อคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งมีความรุนแรงมาก จะเกิดการสะท้อนกลับออกไปด้วยความรุนแรงมากและนำเอาตะกอนทรายออกไปในปริมาณที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน จึงทำให้ชายฝั่งมีความลาดชันมากยิ่งขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงผลของระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นและมุมของคลื่นที่ทำกับแนวชายฝั่งไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน แต่น่าจะมีแนวโน้มว่าความลาดชันชายฝั่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างเขื่อน และมุมของคลื่นที่ทำกับแนวชายฝั่ง

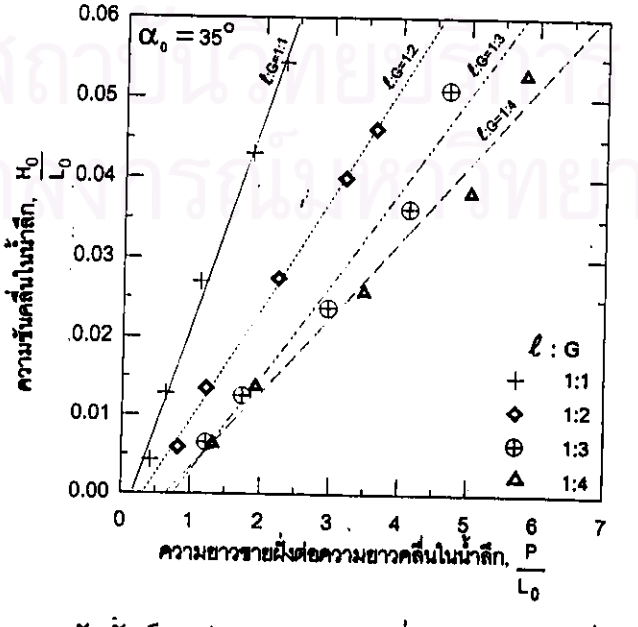
3) ความลึกของน้ำบริเวณที่ทางเข้าอ่าวสมดุล จากการทดลองนี้ได้นำความลึกของน้ำบริเวณทางเข้าอ่าวสมดุล 2 ชนิดคือ ความลึกน้ำเฉลี่ย ($\bar{d}_{ent}$) และความลึกน้ำสูงสุด (d_{max}) จากรูป 4-17 และ รูป 4-18 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำที่ทางเข้าอ่าวสมดุลเฉลี่ยและความลึกน้ำสูงสุดต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับความชันคลื่นในน้ำลึกตามลำดับ พบว่าความลึกทั้ง 2 ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของคลื่นคือ เมื่อคลื่นมีความสูงมากขึ้นความลึกน้ำบริเวณนี้จะลึกมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับความลาดชันชายฝั่งในอ่าวสมดุล เนื่องจากเกิดการนำเอาตะกอนทรายออกไปนอกชายฝั่งมากขึ้นเมื่อคลื่นมีความรุนแรงมากขึ้น



(ก)

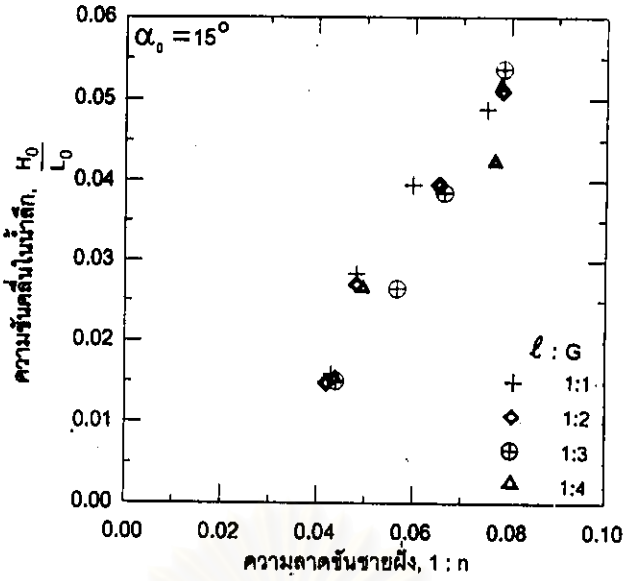


(ข)

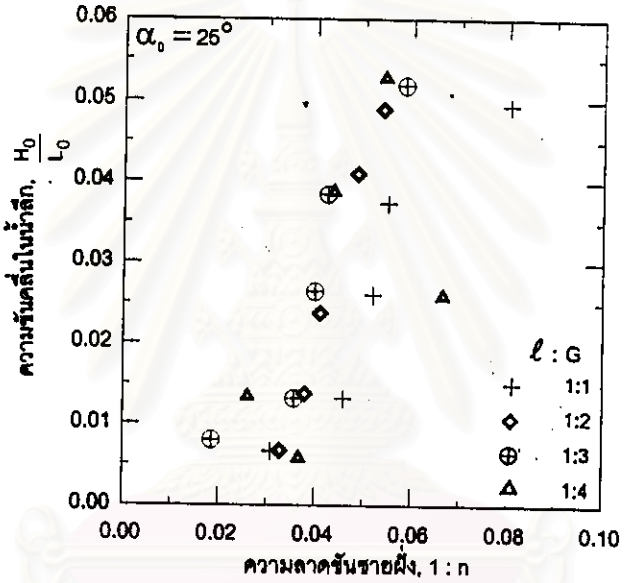


(ค)

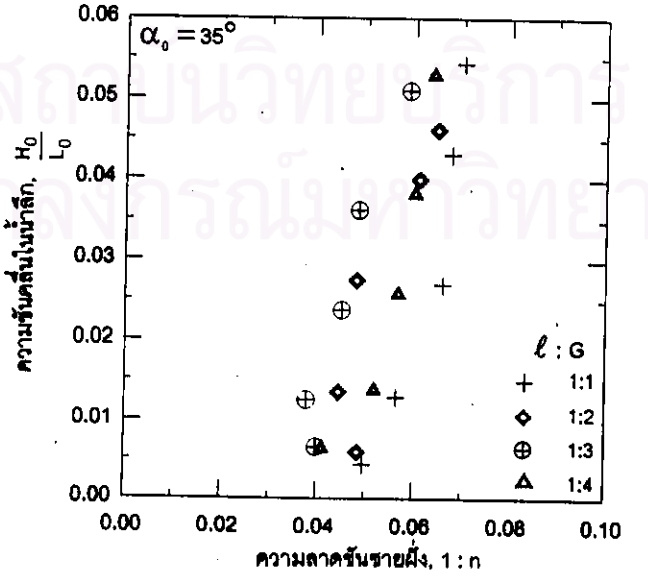
รูป 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก กับความชันคลื่นในน้ำลึก



(ก)

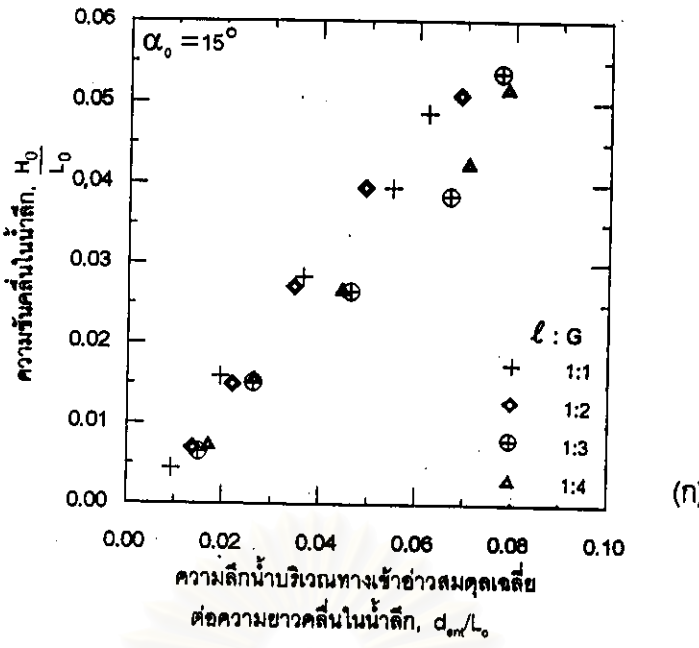


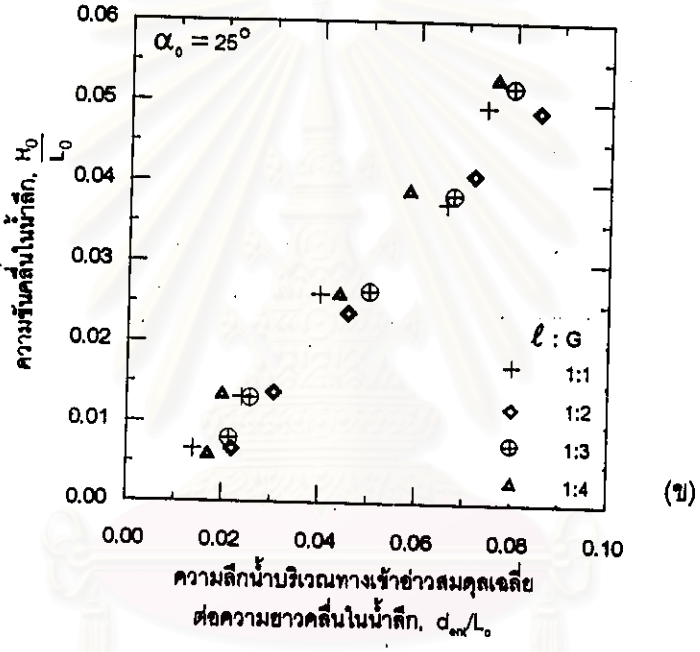
(ข)

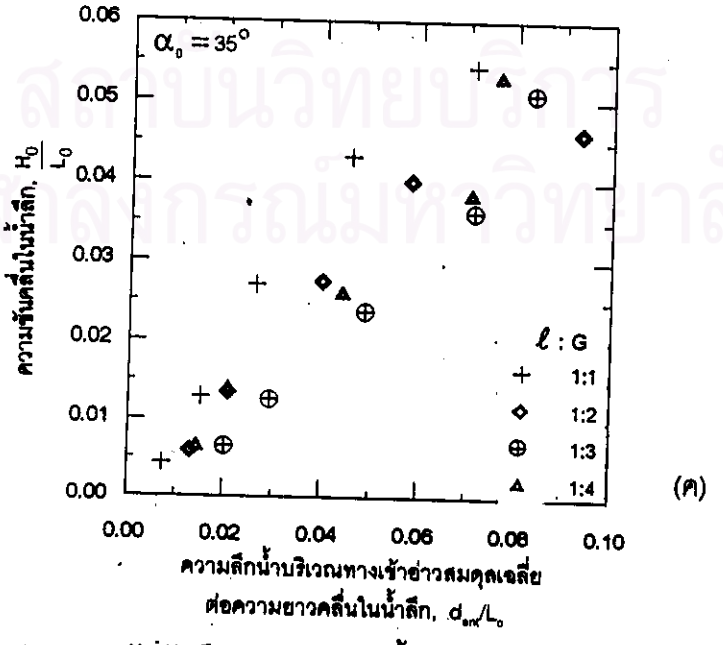


(ค)

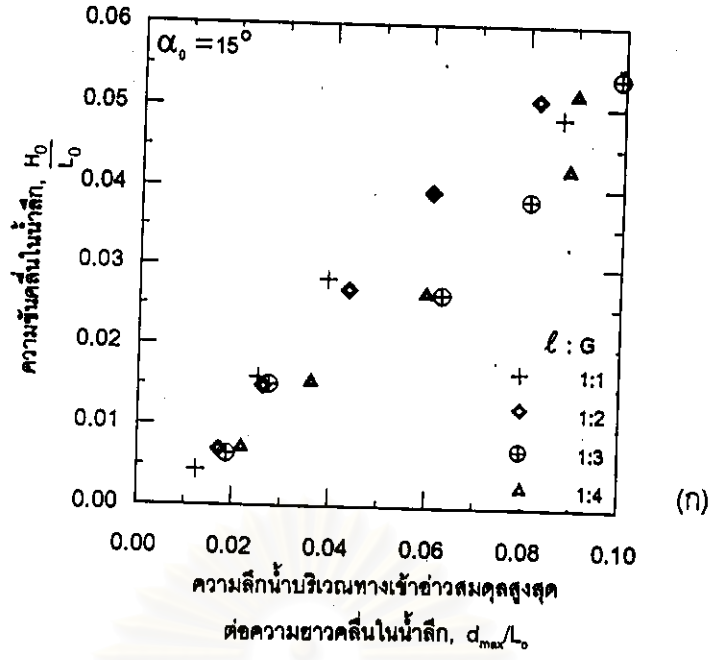
รูป 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันชายฝั่งกับความชันคลื่นในน้ำลึก



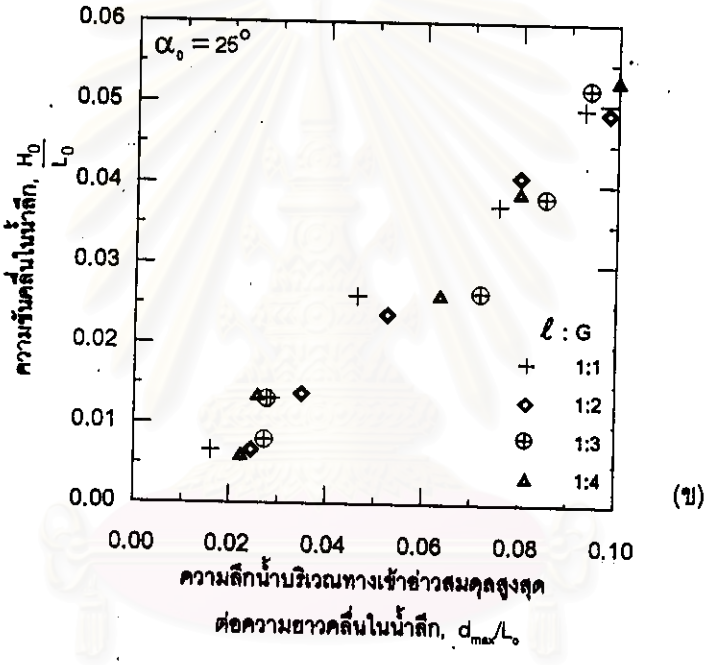




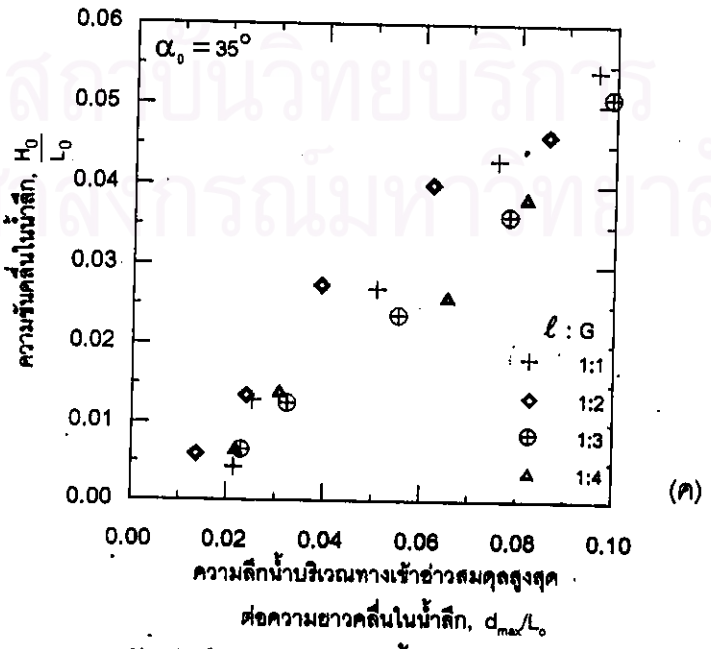
รูป 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำบริเวณทางเข้าอ่าวสมดุลเฉลี่ย กับความชันคลื่นในน้ำลึก



(ก)



(ข)



(ค)

รูป 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกน้ำบริเวณทางเข้าอ่าวสมดุลสูงสุด กับความชันคลื่นในน้ำลึก

4.8 เกณฑ์การออกแบบ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบกับคุณสมบัติของคลื่นในหัวข้อที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่า

1) ระยะเว้าของชายฝั่งคือระยะการกัดเซาะชายฝั่งเป็นผลมาจากความชันคลื่นเป็นสำคัญและมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง

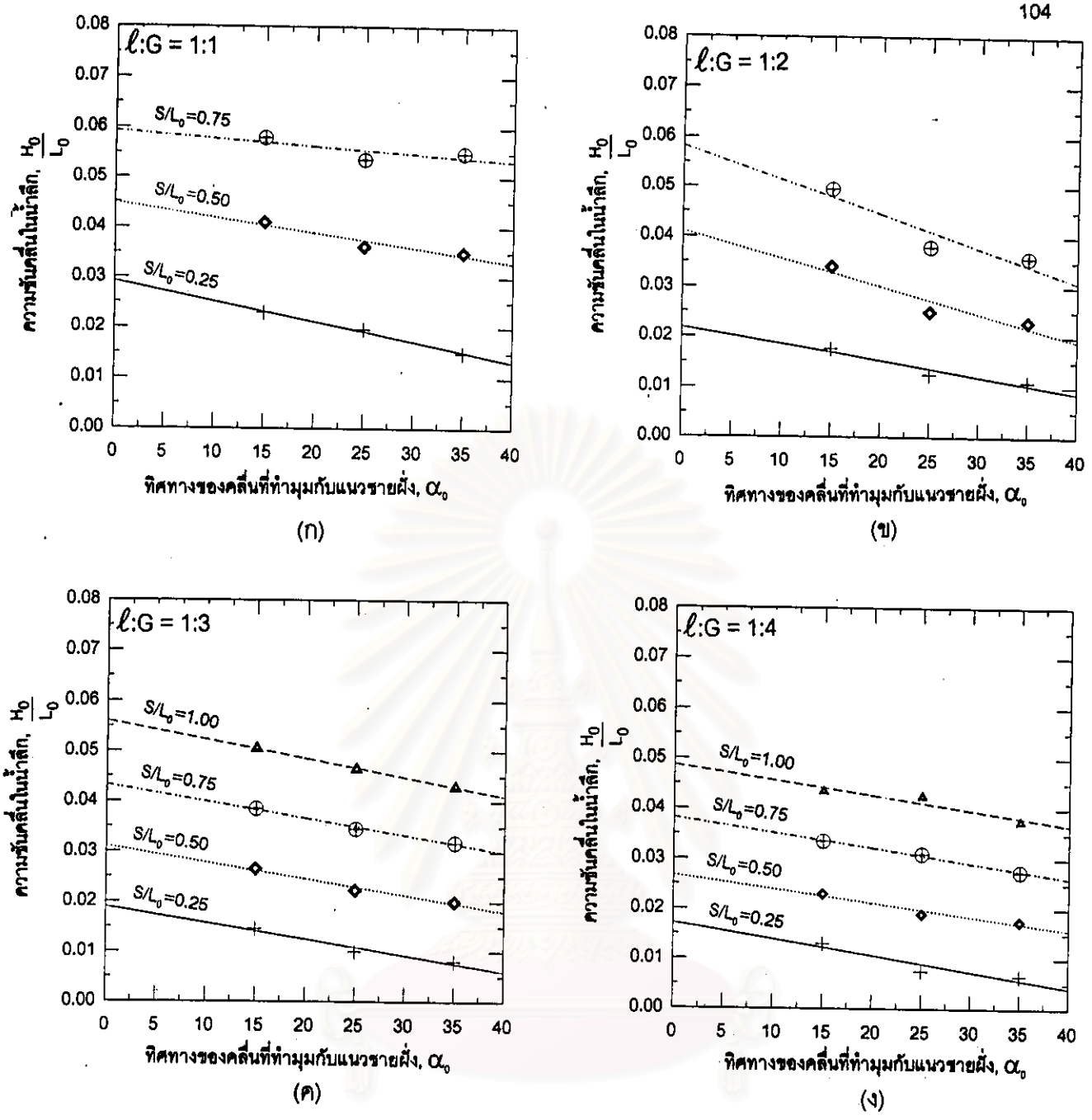
2) พลังงานคลื่นรวมที่ผ่านเข้ามาในอ่าวสมดุลมีผลต่อการกัดเซาะชายฝั่งด้วยเช่นกัน

3) อัตราการกระจายพลังงานคลื่นต่อความยาวชายฝั่งมีค่าไม่คงที่

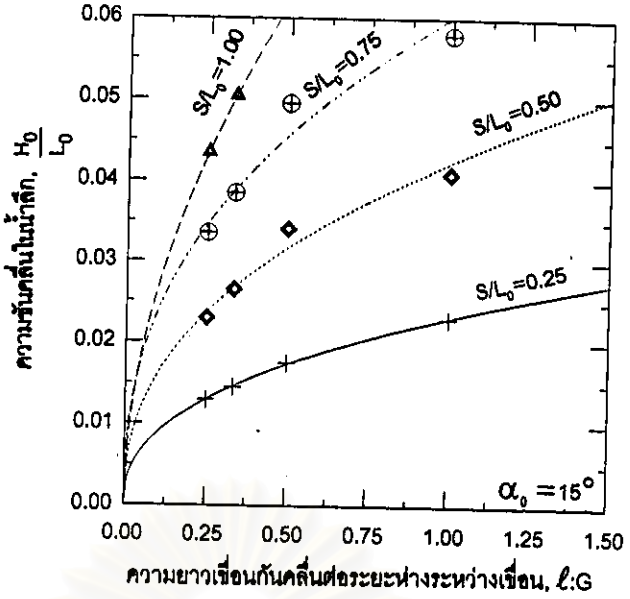
4) เมื่อเปรียบเทียบชายฝั่งจากการทดลองกับชายฝั่งรูปครึ่งหัวใจจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ชายฝั่งที่ได้จากการทดลองนี้มีรูปร่างเป็นรูปครึ่งหัวใจเช่นกัน แต่มีระยะเว้าของชายฝั่งอ่าวสมดุลน้อยกว่าอ่าวรูป Log-Sprial และ อ่าวรูป Parabolic เล็กน้อย

5) เมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกและความชันคลื่นในน้ำลึกดังรูป 4-14 มาพิจารณา สามารถสรุปเป็นเกณฑ์การออกแบบได้ดังกราฟรูป 4-19 และ 4-20 กราฟดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้เป็นบรรทัดฐานในการออกแบบตำแหน่งที่ตั้งของเขื่อนกันคลื่นได้ เมื่อทราบค่าความชันคลื่นในน้ำลึกและทราบมุมของคลื่นที่ทำกับแนวชายฝั่ง และต้องการกำหนดค่าความยาวของเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่นเท่ากับ 1:1 , 1:2 , 1:3 และ 1:4 สำหรับรูป 4-12 ก) ข) ค) และ ง) ตามลำดับจะได้ระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก เช่นเดียวกับกราฟรูป 4-13 จะได้ระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก เมื่อกำหนดมุมของคลื่นที่ทำกับแนวชายฝั่งเท่ากับ 15° 25° และ 35° ตามลำดับ โดยใช้ประกอบกับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก ในรูป 4-21

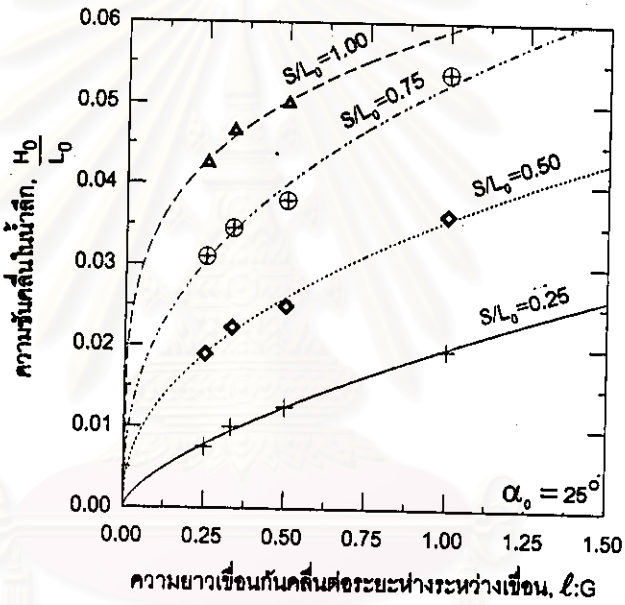
6) อย่างไรก็ดีมีที่น่าสังเกตในการออกแบบการป้องกันชายฝั่งคือ ข้อจำกัดของความชันคลื่นซึ่งในการศึกษานี้เป็นการศึกษาทดลองด้วยแบบจำลอง จึงทำให้ความสูงคลื่นและคาบเวลาของคลื่นที่สร้างได้ในแบบจำลองอาจมีช่วงผิดไป ยกตัวอย่างเช่น ความชันคลื่นเท่ากับ 10.05 ซึ่งอาจจะหมายถึง ความสูงคลื่น 5 เมตร ที่ความยาวคลื่น 100 เมตรก็ได้ ซึ่งจะเห็นว่า ทั้งสองนี้มีความชันคลื่นเท่ากันแต่มีความสูงคลื่นต่างกันมากถึง 5 เท่า ดังนั้นในการพิจารณาออกแบบจึงควรระมัดระวังในการใช้ค่าตัวแปรต่างๆ



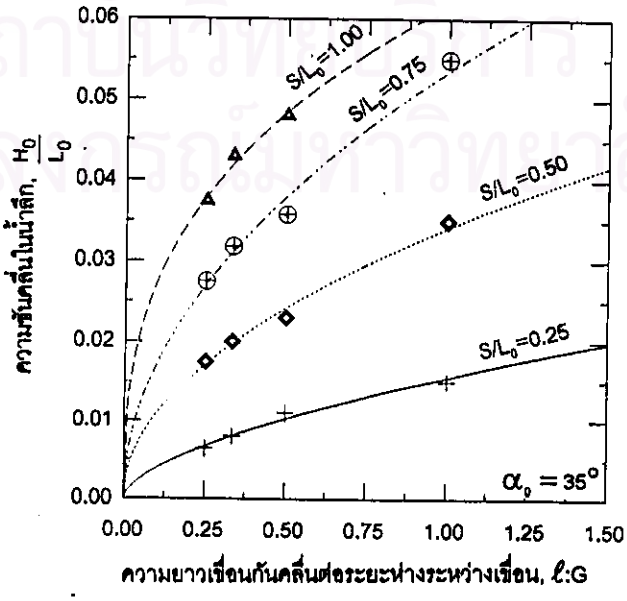
รูป 4-19 เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก เมื่อกำหนดอัตราส่วนระหว่างเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น



(ก)

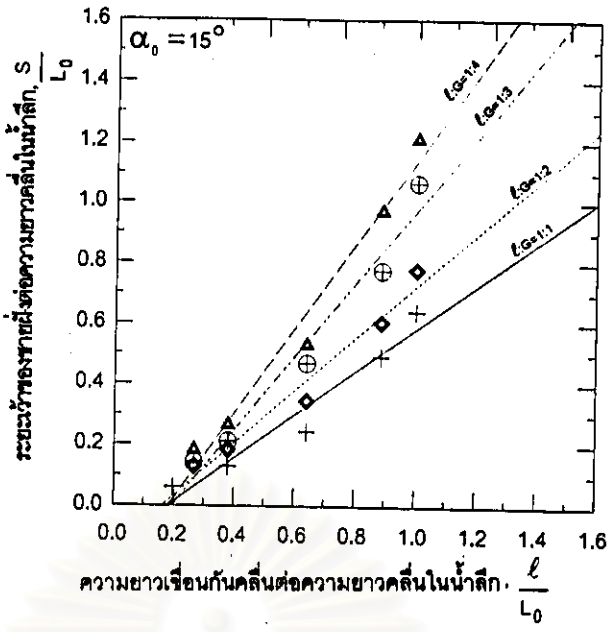


(ข)

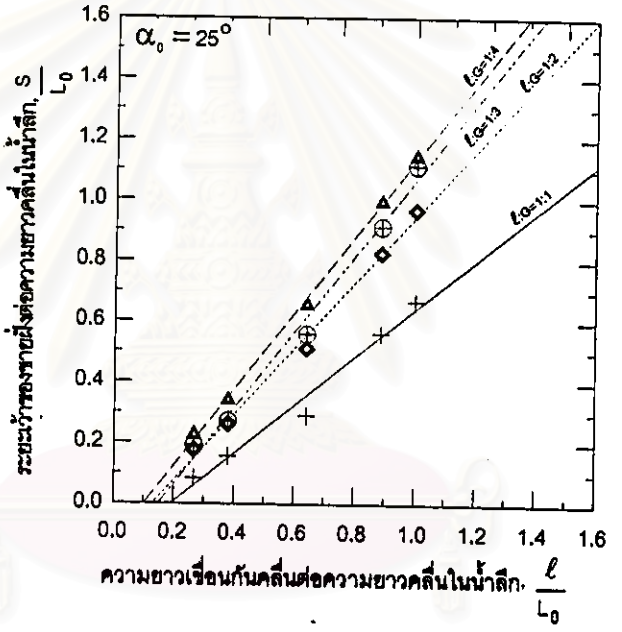


(ค)

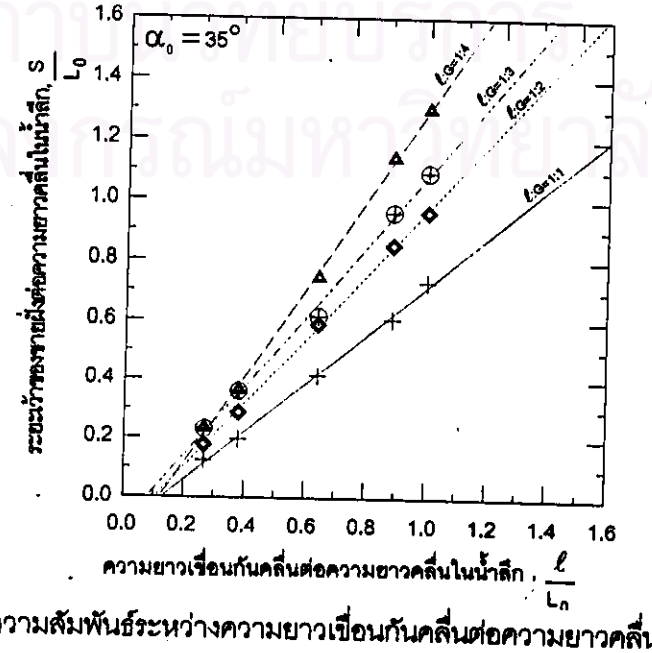
รูป 4-20 เกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก เมื่อกำหนดมุมของคลื่นที่กระทำกับชายฝั่ง



(ก)



(ข)



(ค)

รูป 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก

4.9 ตัวอย่างการออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก

ในหัวข้อนี้ได้นำเอาเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกที่ได้มาออกแบบ โดยมีวิธีการออกแบบดังต่อไปนี้คือ

ลักษณะคลื่น

- ทิศทางของคลื่นในน้ำลึกที่ทำมุมกับแนวชายฝั่ง (α_0) 30°
- ความสูงคลื่นในน้ำลึก (H_0) 4.0 ม.
- คาบเวลาของคลื่น (T) 8.0 วินาที

วิธีการออกแบบ

1) คำนวณความยาวคลื่นในน้ำลึก (L_0) จากคาบเวลาของคลื่นเท่ากับ 8 วินาที ด้วยทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9.806 \times 8^2}{2\pi} = 99.92 \text{ เมตร}$$

2) ความชันคลื่นในน้ำลึก (H_0/L_0)

$$H_0/L_0 = \frac{4.0}{99.92} = 0.040$$

3) จากกราฟรูป 4-22 เมื่อทราบทิศทางของคลื่นที่ทำมุมกับแนวชายฝั่งเท่ากับ 30° และทราบค่าความชันคลื่นในน้ำลึกเท่ากับ 0.040 สามารถหาค่าระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก (S/L_0) ได้ดังต่อไปนี้คือ

อัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนต่อระยะห่างระหว่างเขื่อน (ℓ:G)	ระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก (S/L_0)	ระยะเว้าของชายฝั่ง (ม.)
1:1	0.55	54.96
1:2	0.80	79.92
1:3	0.89	88.93
1:4	1.00	99.92

4) ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนต่อระยะห่างระหว่างเขื่อน (ℓ:G) และระยะเว้าของชายฝั่ง (S) ทั้ง 4 ค่าจะเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายประการเช่น ราคาก่อสร้าง สถานที่ตั้ง ลักษณะทางธรณีวิยา และผลกระทบสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

5) ตัวอย่างเช่นถ้าเลือกค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนต่อระยะห่างระหว่างเขื่อน (ℓ:G) เท่ากับ 1:3 จะได้ค่า (S/L_0) เท่ากับ 0.89 จากกราฟรูป 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก ที่มุมของคลื่นเท่ากับ 25° และ35° จะได้ค่าความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก ($\ell:L_0$) เท่ากับ 0.88 และ 0.86 ตามลำดับ ดังนั้นที่ทิศทางของคลื่นทำมุมกับแนวชายฝั่งเท่ากับ 30 จะได้ค่า ($\ell:L_0$) ประมาณ 0.87

6) เนื่องจากความยาวของคลื่นในน้ำลึก (L_0) เท่ากับ 99.92 เมตร ดังนั้นความยาวของเขื่อนกันคลื่น (ℓ)

$$\ell = 0.87 \times 99.92 = 86.93 \text{ เมตร}$$

7) จากการเลือกค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวเขื่อนต่อระยะห่างระหว่างเขื่อน (ℓ:G) เท่ากับ 1:3 ดังนั้นระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น (G)

$$G = 3 \times 86.93 = 260.79 \text{ เมตร}$$

สรุปได้ว่าการออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยกเมื่อมีคลื่นทำมุมกับแนวชายฝั่ง 30° ความสูงคลื่นในน้ำลึก 4.0 ม.และคาบเวลาคลื่น 8 วินาที เมื่อสร้างเขื่อนกันคลื่นแยกที่มีความยาว 87 ม. และมีระยะห่างระหว่างเขื่อนจะทำให้ชายฝั่งเว้าเข้ามาจากแนวเขื่อนกันคลื่นเป็นระยะทาง 89 ม. การนำผลที่ได้จากการออกแบบนี้ไปออกแบบก่อสร้างจริงจะต้องคำนึงถึงราคาของโครงการด้วยดังตัวอย่างต่อไปนี้

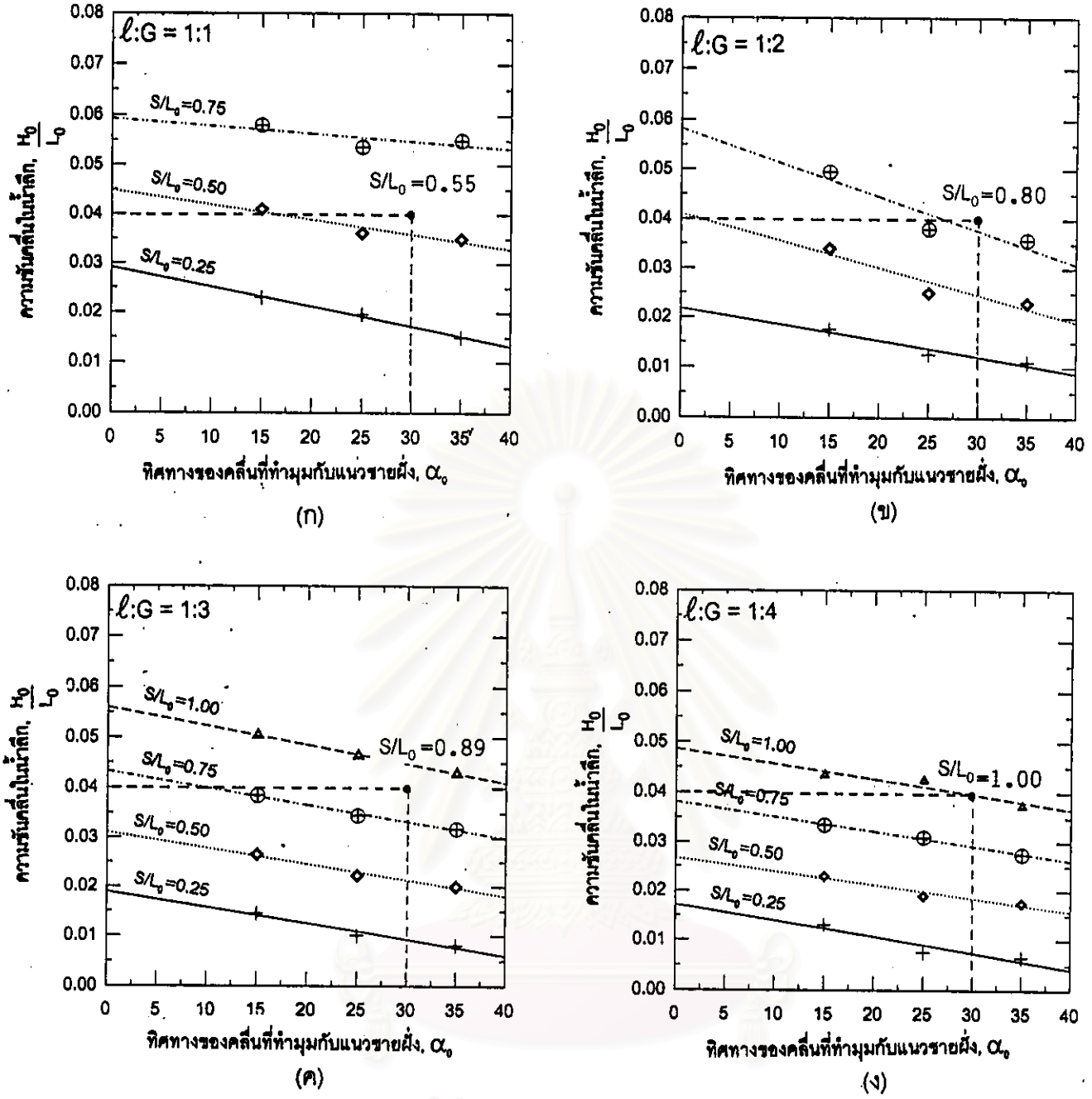
ในกรณีที่ต้องการป้องกันชายฝั่งไม่ให้ถูกกัดเซาะไปมากกว่าในปัจจุบันและต้องการที่จะได้แผ่นดินเพิ่มออกไปอีก โดยให้ยื่นออกไปติดกับเขื่อนกันคลื่น จำเป็นต้องสร้างเขื่อนกันคลื่นให้ห่างออกไปจากแนวชายฝั่งที่ต้องการป้องกันเท่ากับระยะเว้าของชายฝั่งที่ออกแบบไว้คือ 89 ม. ดังแสดงในรูป 4-24 (ก) ซึ่งในการวางตำแหน่งเขื่อนกันคลื่นนี้จำเป็นจะต้องมีการถมพื้นที่บริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นด้วย ซึ่งถ้าปล่อยให้บริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นเกิดการทับถมของตะกอนทรายด้วยตัวมันเองตามธรรมชาติจนเต็มจะต้องใช้เวลานานมาก และมีผลกระทบต่อชายฝั่งบริเวณใกล้เคียงอย่างแน่นอนเพราะว่าตะกอนชายฝั่งที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่งจะเกิดการตกจมและทับถมกับที่บริเวณหลังเขื่อนกันคลื่นที่สร้างขึ้นมาใหม่

ทำให้ชายฝั่งทางด้านท้ายน้ำของเขื่อนกันคลื่นนี้เกิดการกัดเซาะได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการช่วยให้การเสริมสร้างชายฝั่งเป็นไปอย่างรวดเร็วและป้องกันปัญหาที่จะเกิดตามมาจึงจำเป็นต้องถมพื้นที่บริเวณชายฝั่งหลังเขื่อนกันคลื่นด้วย

จากรูป 4-24 (ก) จะเห็นว่าพื้นที่ที่แรเงานั้นเป็นบริเวณที่ต้องถมปริมาณทรายถมที่ต้องใช้มีปริมาณมากเช่น ถ้าชายฝั่งมีความลาดชัน 1:40 ปริมาตรทรายที่ต้องนำมาถมหลังเขื่อนกันคลื่นแต่ละตัวนั้นมีมากถึง 15,100 ลบ.ม. (ค่าโดยประมาณ) ซึ่งค่าใช้จ่ายในส่วนของการถมทรายนี้อาจจะสูงกว่าราคาของโครงสร้างเขื่อนกันคลื่นเองเสียอีก ถ้าต้องการลดราคาของโครงการลงและสามารถยอมให้ชายฝั่งเข้ามาจากในปัจจุบันได้อีกก็อาจจะย้ายตำแหน่งของเขื่อนกันคลื่นให้เข้ามาใกล้มากกว่าเดิม ซึ่งจะช่วยลดราคาค่าก่อสร้างได้มากดังรูป 4-24 (ข) และ (ค) แสดงตัวอย่างตำแหน่งที่ตั้งเขื่อนกันคลื่นที่ห่างจากแนวชายฝั่งในปัจจุบันเท่ากับ 60 ม. และ 30 ม. ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณทรายที่ต้องใช้ถมหลังเขื่อนกันคลื่นจะลดลงและสามารถที่จะใช้ทรายที่คาดว่าจะถูกกัดเซาะเข้าไปจากแนวชายฝั่งปัจจุบันไปถมแทนได้ด้วย อีกประการหนึ่งก็คือ ราคาของเขื่อนกันคลื่นเองก็จะถูกลงด้วยเช่นกันเนื่องจากความสูงของเขื่อนลดลงทำให้ปริมาตรเขื่อนลดลง

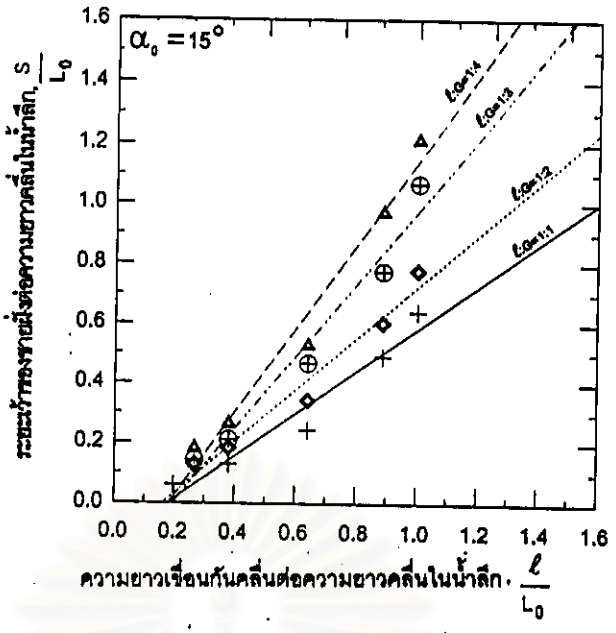
ดังนั้นการจะสร้างเขื่อนกันคลื่นไว้ที่ตำแหน่งใด และจะต้องถมทรายหลังเขื่อนกันคลื่นหรือไม่นั้นจึงขึ้นอยู่กับเศรษฐศาสตร์และวัตถุประสงค์ของโครงการ และควรพิจารณาในด้านอื่น ๆ อีกเช่น ด้านธรณีวิทยา และผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

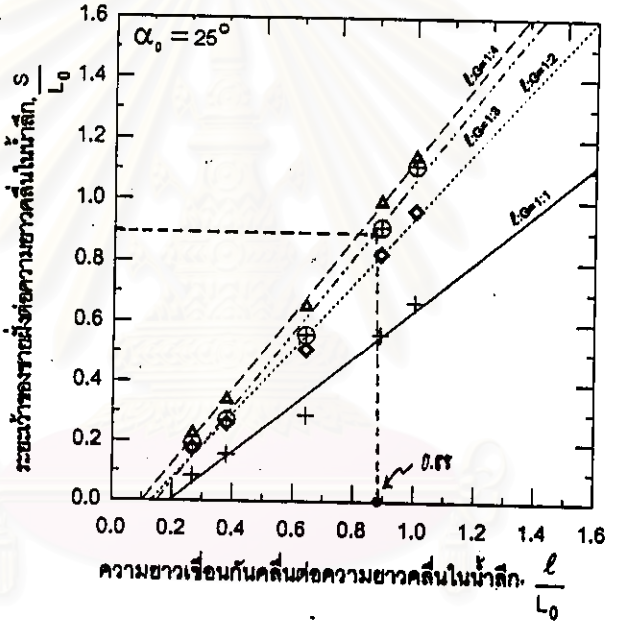


รูป 4-22 ตัวอย่างการใช้กราฟเกณฑ์การออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก
เมื่อกำหนดอัตราส่วนระหว่างเขื่อนกันคลื่นต่อระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น

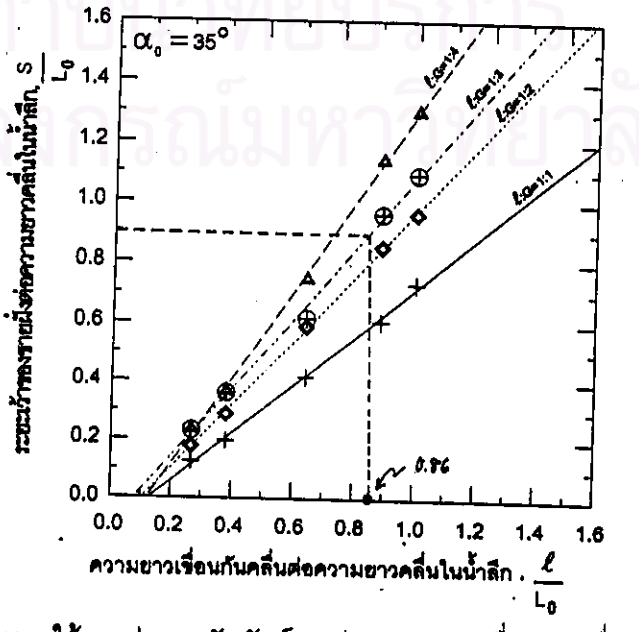
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)

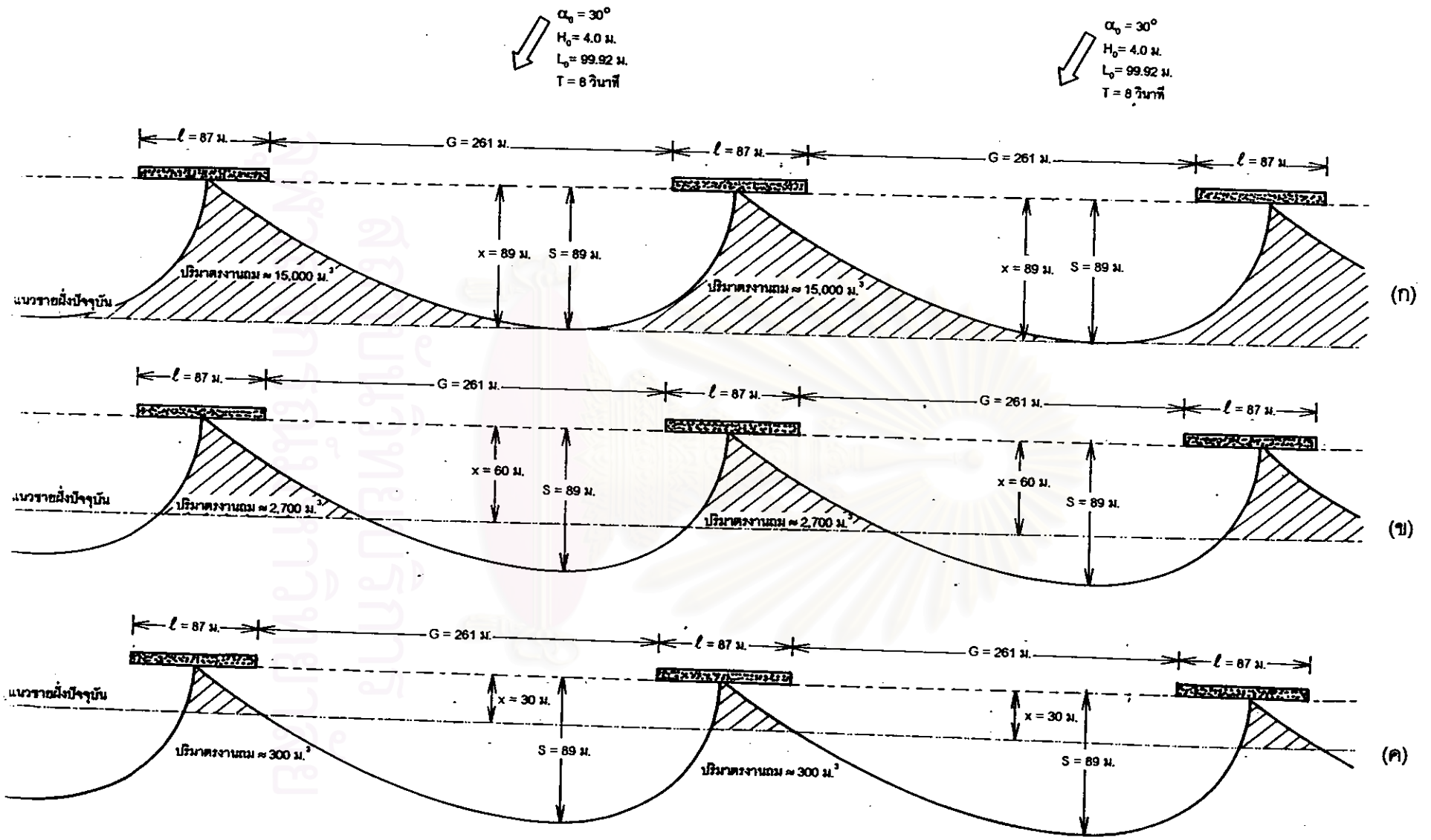


(ข)



(ค)

รูป 4-23 ตัวอย่างการใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเขื่อนกันคลื่นต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก



รูป 4-24 ตัวอย่างการออกแบบเขื่อนกันคลื่นแยก