

บทที่ 4

ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบ
และเกณฑ์การออกแบบ

ความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบและเกณฑ์การออกแบบ

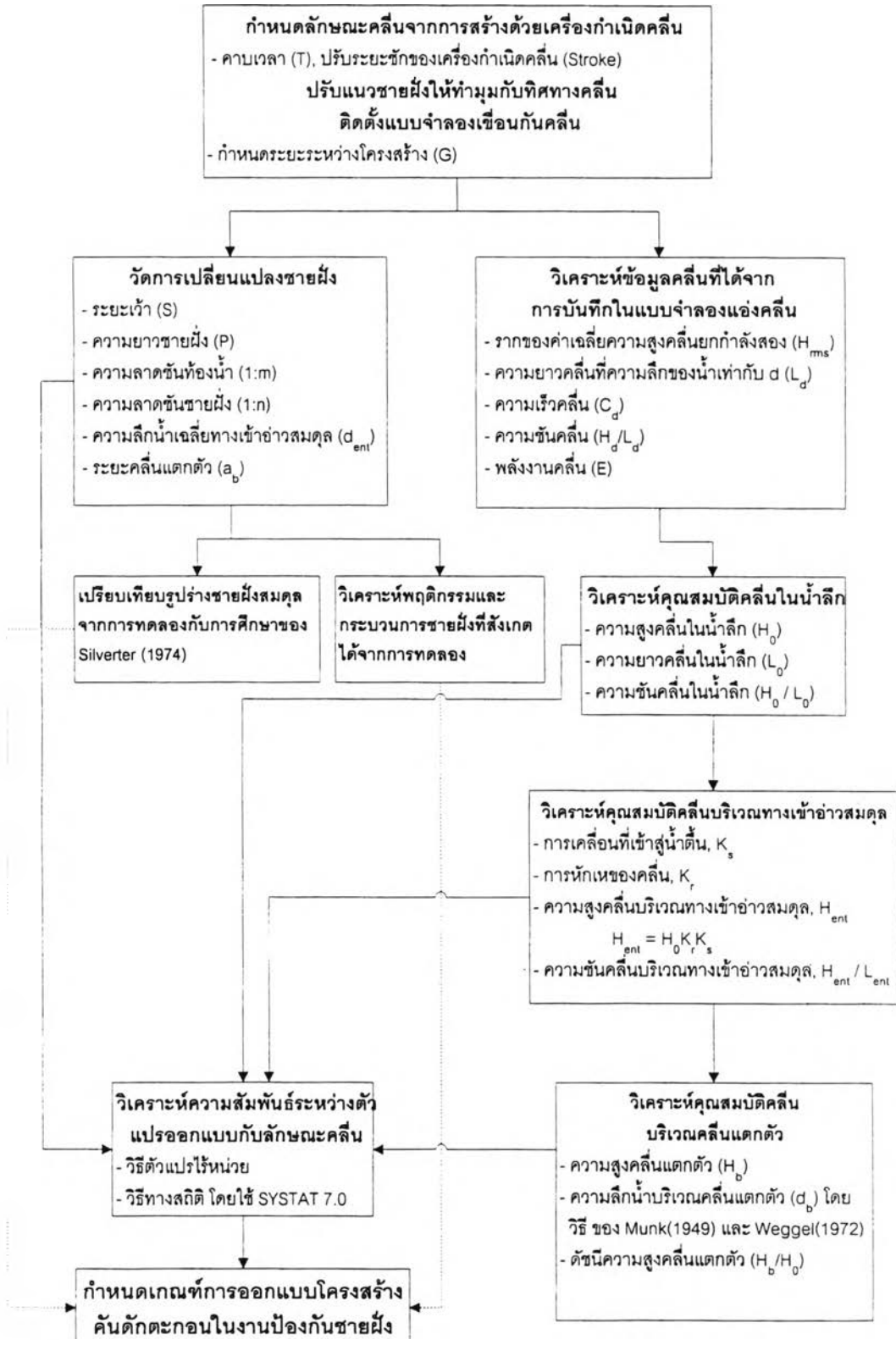
ในบทนี้เป็นการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ตามที่ตั้งสมมติฐานไว้ สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์จะพิจารณาทั้งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการทดลองกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการทดลอง และความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบกับชายฝั่งสมดุล โดยผลการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ เหล่านี้จะนำไปสู่การกำหนดเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนในงานป้องกันชายฝั่ง ขั้นตอนการวิเคราะห์และการกำหนดเกณฑ์การออกแบบ แสดงในรูป 4-1

4.1 ตัวแปรในการศึกษา

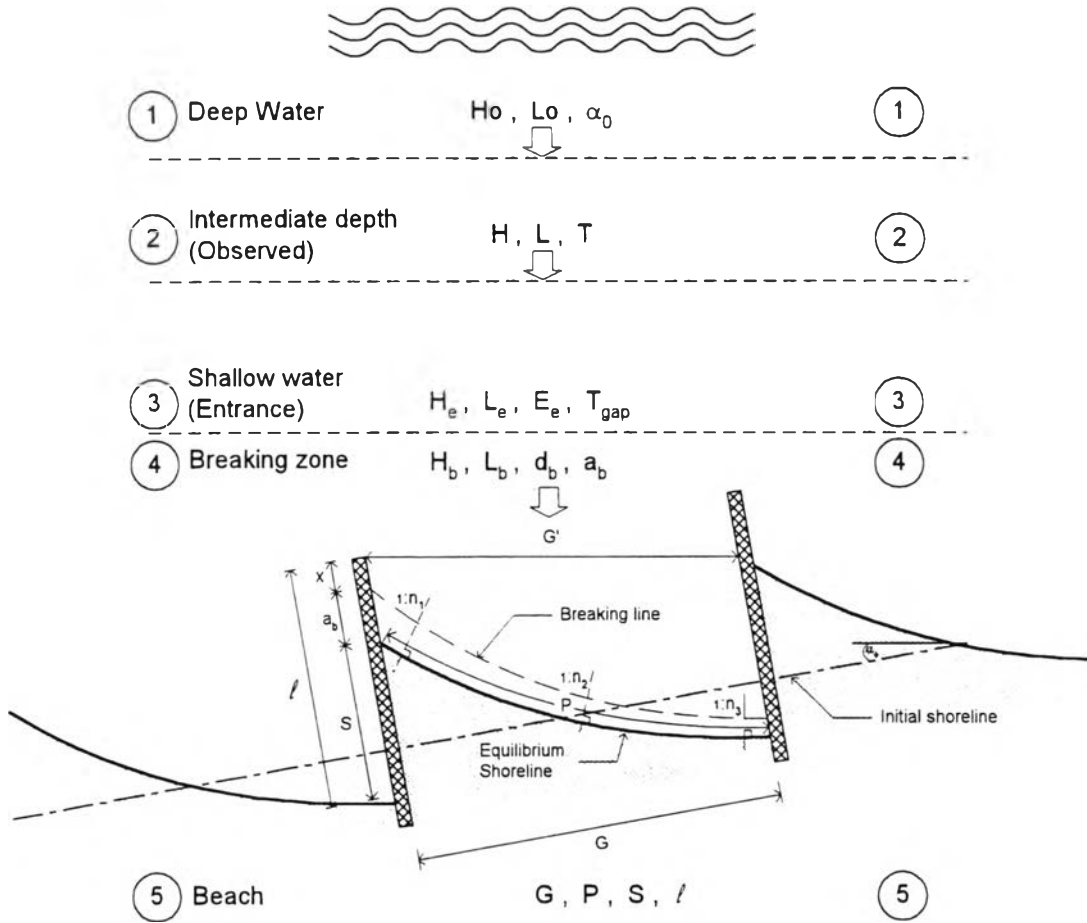
สำหรับตัวแปรที่พิจารณาในการศึกษาค้างนี้ แบ่งออกเป็น ตัวแปรสภาวะการณ์คลื่น (wave climate variable) ตัวแปรออกแบบ (design variable) และรูปร่างชายฝั่งสมดุล (equilibrium shape of shoreline) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ตัวแปรสภาวะการณ์คลื่น คือลักษณะคลื่นที่ใช้ในการทดลองและการศึกษา เช่น ความสูงคลื่น (H) คาบเวลาคคลื่น (T) ความยาวคลื่น (L) และมุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง (α_0) เป็นต้น สำหรับลักษณะคลื่นในการศึกษาค้างนี้แยกการพิจารณาออกเป็น 4 ส่วน ดังรูป 4-2 ซึ่งมีรายละเอียดของตัวแปรที่พิจารณาต่างกัน ดังนี้

- ลักษณะคลื่นในน้ำลึก (deep water) ได้แก่ ความสูงคลื่นในน้ำลึก (H_0) และความยาวคลื่นในน้ำลึก (L_0)
- ลักษณะคลื่นบริเวณที่สังเกต (observed) หรือบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์การวัดข้อมูล ได้แก่ ความสูงคลื่น (H_0) คาบเวลาคคลื่น (T) ความยาวคลื่น (L_0) ซึ่งค่าเหล่านี้สามารถควบคุมให้ผันแปรอย่างเป็นระบบได้โดยการควบคุมที่เครื่องกำเนิดคลื่น
- ลักษณะคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าว (entranced) ได้แก่ ความสูงคลื่น (H_{ent}) ความยาวคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าว (L_{ent}) พลังงานคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าว (E_{ent}) และพลังงานคลื่นต่อหน่วยความยาวชายฝั่ง (T_{gap})
- ลักษณะคลื่นบริเวณคลื่นแตกตัว (breaker zone) ได้แก่ ความสูงคลื่นแตกตัว (H_b) รวมถึงความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัว (d_b) ด้วย



รูป 4-1 ขั้นตอนการวิเคราะห์เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคั่นดักตะกอน



รูป 4-2 สัญลักษณ์ตัวแปรลักษณะคลื่น ตัวแปรออกแบบ และชายฝั่งสมดุลที่ใช้ในการศึกษา

4.2 ความสัมพันธ์ตัวแปรการทดลองกับการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในแบบจำลอง

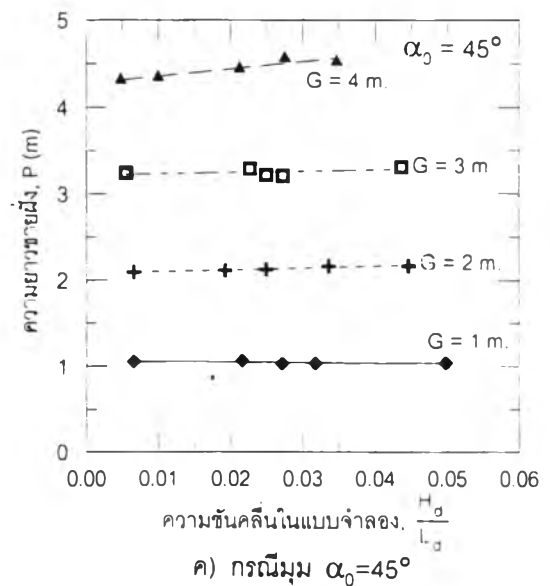
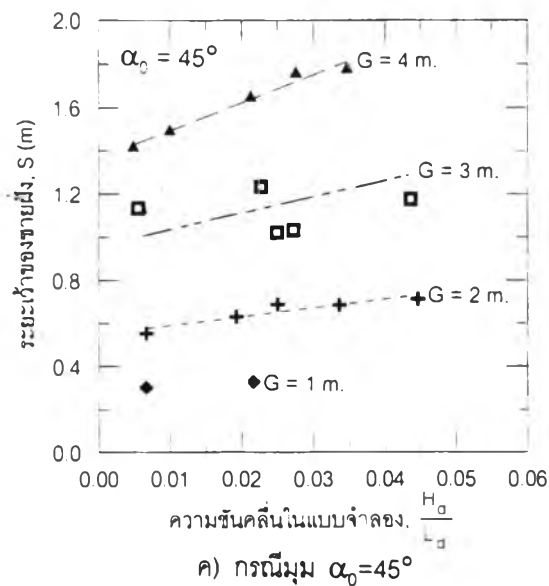
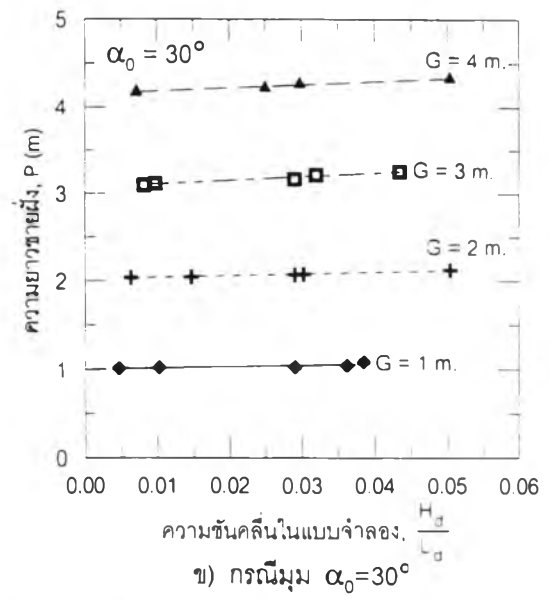
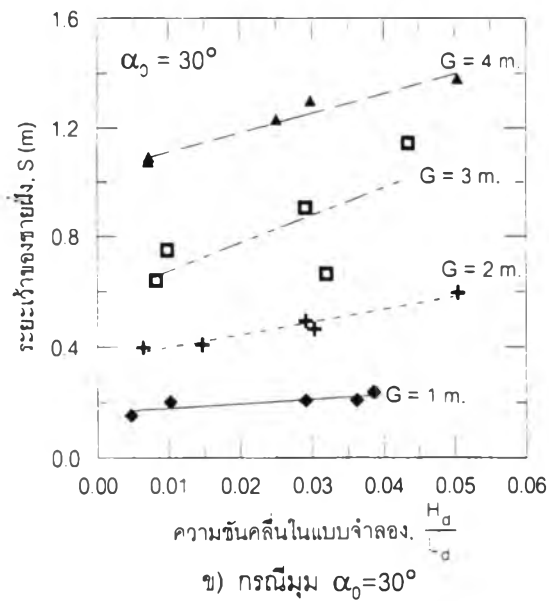
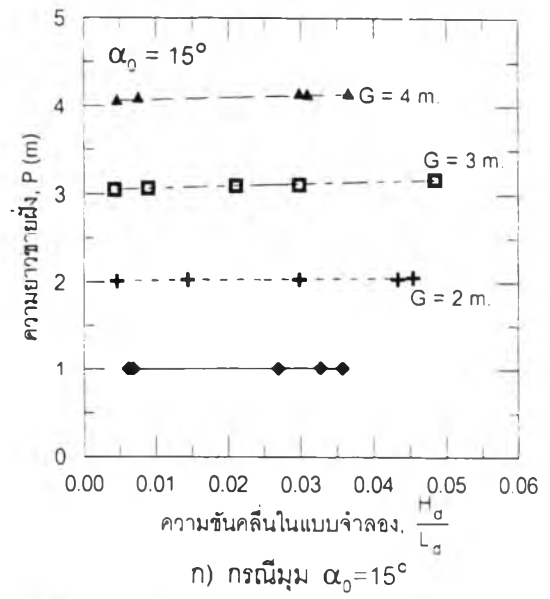
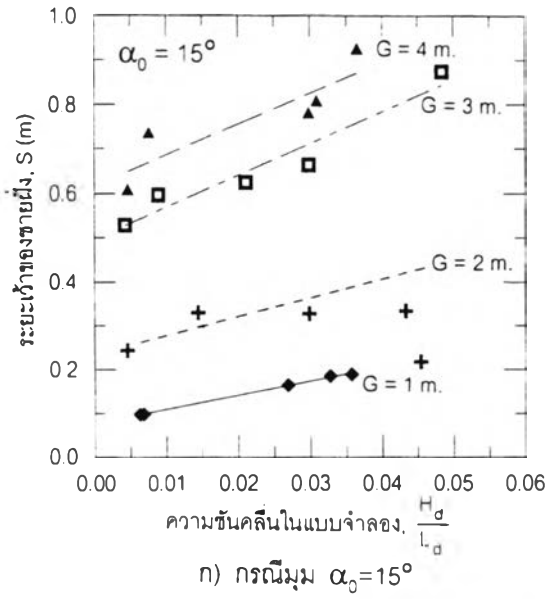
ในการศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายในการหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุลง สำหรับตัวแปรที่สนใจคือ ขนาดของคลื่น มุมที่คลื่นเข้ากระทำต่อชายฝั่ง และระยะห่างระหว่างโครงสร้างคันดักตะกอน จากข้อมูลการทดลองทั้งหมด นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้กับรูปร่างชายฝั่งสมดุลง ได้ดังนี้

1) ระยะเว้าของชายฝั่ง (S) จากความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นในแบบจำลอง (H_d/L_d) กับระยะเว้าของชายฝั่ง รูป 4-3 แสดงถึงอิทธิพลของขนาดคลื่นที่มีต่อระยะเว้า นั่นคือ เมื่อคลื่นมีขนาดใหญ่หรือมีความชันมากขึ้น ระยะเว้ามีแนวโน้มมากขึ้น แต่อิทธิพลของขนาดคลื่นมีไม่มากนักเนื่องจากความชันของเส้นกราฟมีความชันน้อย เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของมุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่งพบว่ามุมของคลื่นมีผลต่อระยะเว้าชัดเจนกว่าความชันคลื่น เมื่อมุมมากขึ้นระยะเว้าก็มากขึ้นด้วย สำหรับอิทธิพลของระยะห่างระหว่างโครงสร้างนั้นมีผลต่อระยะเว้าของชายฝั่งอย่างชัดเจนนั่นคือ ที่ระยะห่างระหว่างโครงสร้างมาก ระยะเว้าจะมากขึ้นเช่นกัน สรุปได้ว่าตัวแปรทั้ง 3 มีผลต่อระยะเว้าของชายฝั่ง ซึ่งเขียนได้เป็น

$$S = f(\alpha, G, \frac{H_d}{L_d})$$

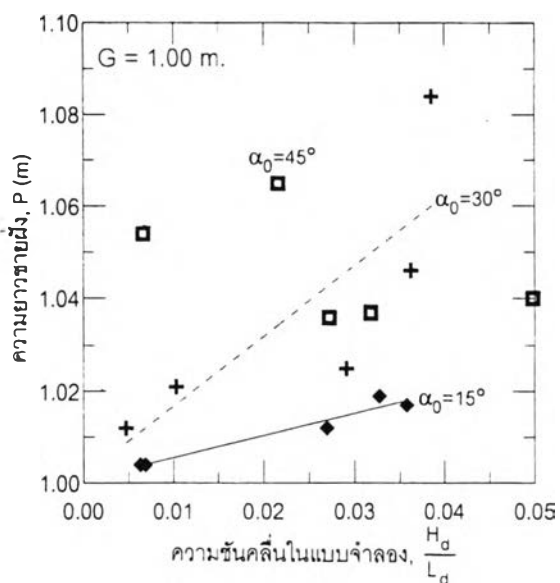
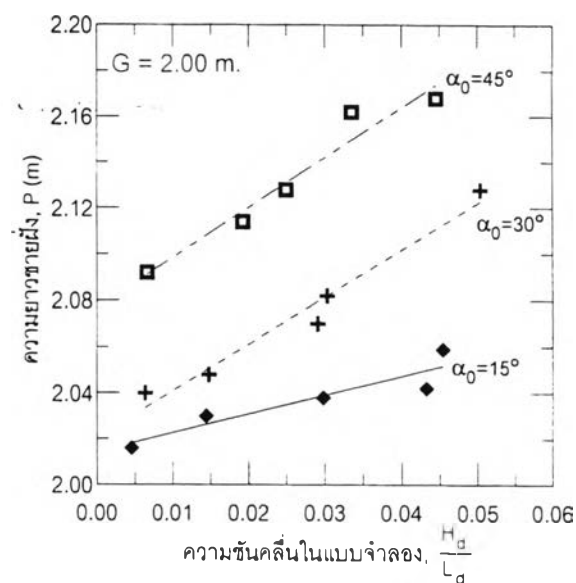
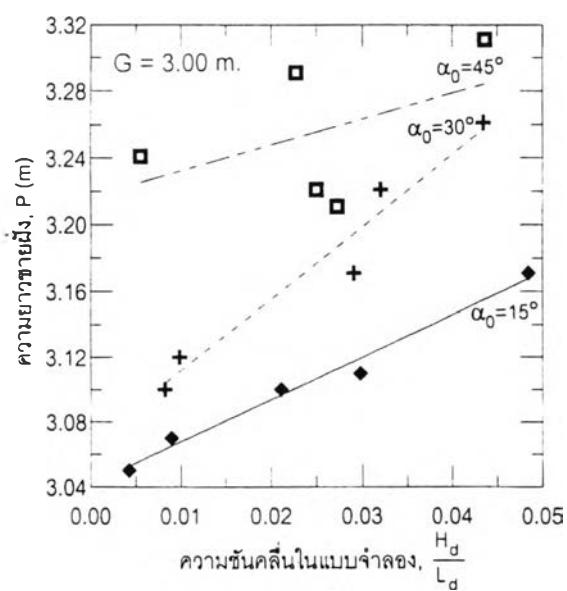
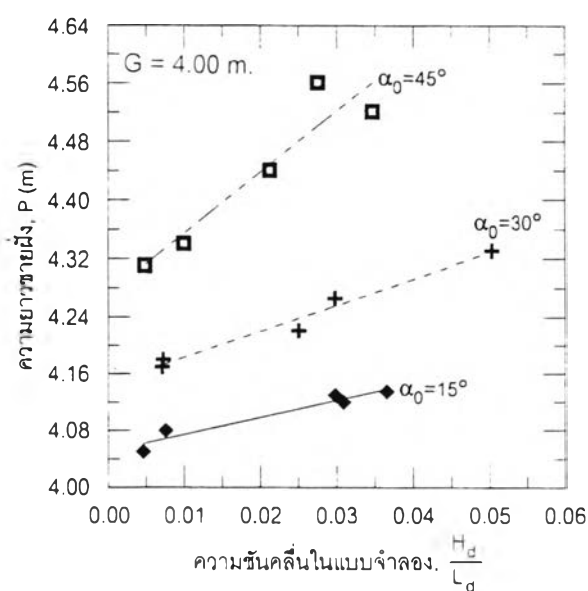
2) ความยาวชายฝั่ง (P) จากความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นในแบบจำลองกับความยาวชายฝั่ง ที่มุมต่าง ๆ ดังรูป 4-4 พบว่าความชันคลื่นในแบบจำลองมีอิทธิพลต่อความยาวชายฝั่งเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นในแบบจำลองกับความยาวชายฝั่ง ที่ระยะห่างระหว่างโครงสร้างต่าง ๆ ดังรูป 4-5 พบว่าความยาวชายฝั่งมีความสัมพันธ์กับมุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง นั่นคือที่ระยะห่างระหว่างโครงสร้างเท่ากัน ถ้ามุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่งมากขึ้นจะทำให้ความยาวมากขึ้นอย่างชัดเจน ยกเว้นกรณีระยะห่างระหว่างโครงสร้างเท่ากับ 1 เมตร เนื่องจากข้อมูลความยาวชายฝั่งกรณีการทดลอง 45° มีน้อย และเป็นข้อมูลที่ได้รับผลกระทบจากคลื่นที่สะท้อนเมื่อปะทะกับโครงสร้าง สาเหตุเพราะว่าระยะห่างระหว่างโครงสร้างน้อยและความชันคลื่นสูง รวมทั้งอิทธิพลของกำบังคลื่น (sheltering) ที่รบกวนรูปร่างชายฝั่งสมดุลง ทำให้ไม่เห็นความสัมพันธ์ที่ชัดเจน จึงไม่ควรนำมาพิจารณา

$$P = f(\alpha, G, \frac{H_d}{L_d})$$



รูป 4-3 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับระยะเว้าของชายฝั่งในแบบจำลอง

รูป 4-4 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับความยาวชายฝั่งในแบบจำลอง

น) กรณี $G = 1.00$ ม.ข) กรณี $G = 2.00$ ม.ค) กรณี $G = 3.00$ ม.ง) กรณี $G = 4.00$ ม.

รูป 4-5 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับความยาวชายฝั่งในแบบจำลอง
กรณี $G=1,2,3$ และ 4 เมตร

3) ระยะคลื่นแตกตัว (a_b) จากความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นกับระยะจากแนวระดับน้ำนิ่ง ถึงแนวคลื่นแตกตัว รูป 4-6 พบว่ามีเพียงความชันคลื่นเท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อระยะจากแนวระดับน้ำนิ่ง ถึงแนวคลื่นแตกตัว

$$a_b = f\left(\frac{H_d}{L_d}\right)$$

4) ความลาดชันชายฝั่ง (1:n) จากความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นกับความลาดชันชายฝั่ง ดังรูป 4-7 พบว่าอิทธิพลของตัวแปร ความชันคลื่น มุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง และระยะห่างระหว่าง โครงสร้าง ที่มีต่อความลาดชันชายฝั่งไม่ชัดเจน จึงไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสาม กับความลาดชันชายฝั่งได้

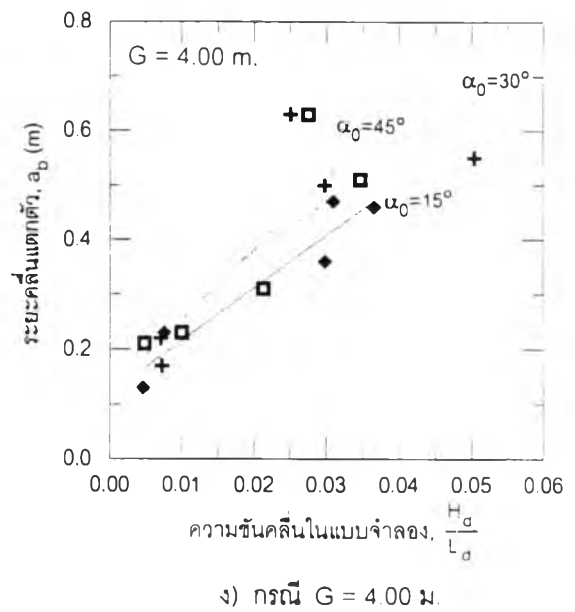
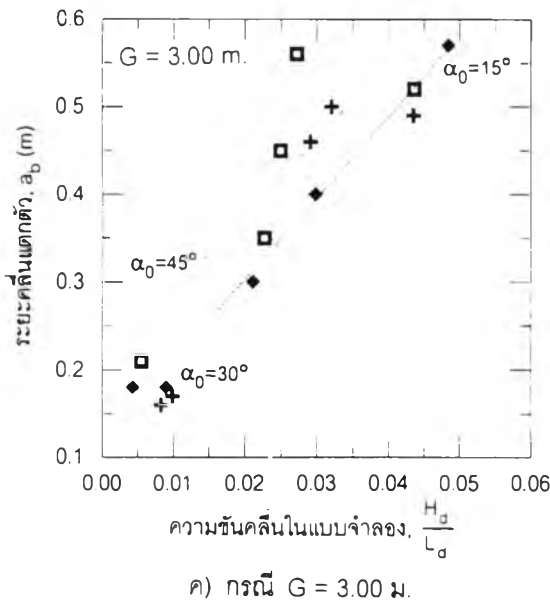
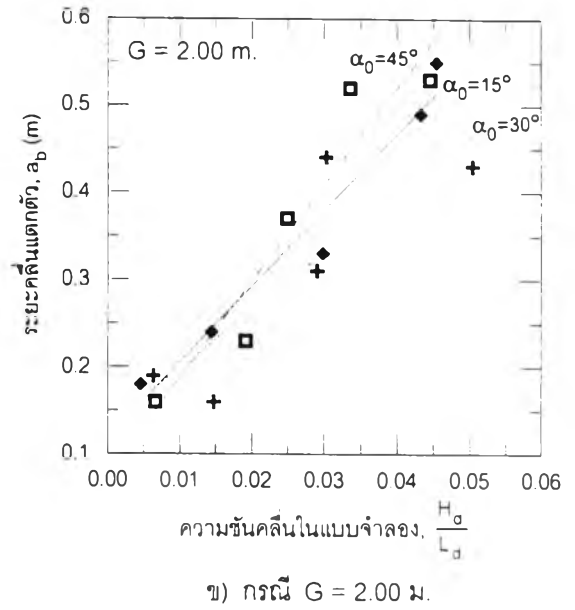
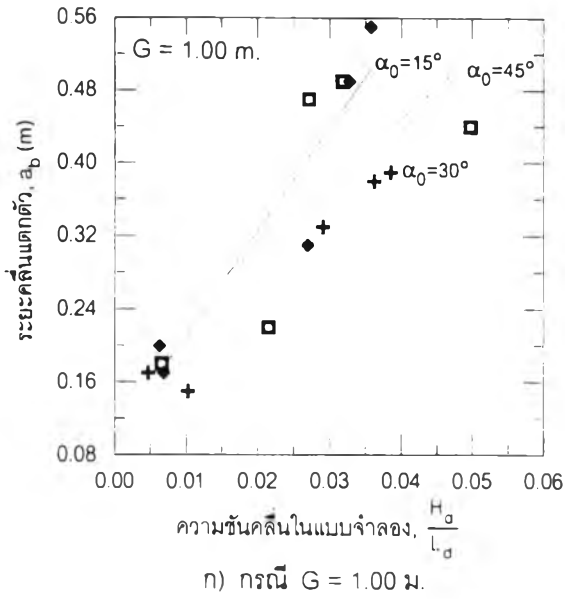
4.3 พฤติกรรมและกระบวนการชายฝั่งที่สังเกตได้จากการทดลอง

นอกจากการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งที่สามารถวัดได้ในแบบจำลองแล้ว ยังมีพฤติกรรมหรือ กระบวนการชายฝั่งอื่น ๆ ที่สามารถสังเกตได้ เพื่อนำมาอธิบายลักษณะชายฝั่งสมดุลที่ได้จากการ ทดลองดังนี้

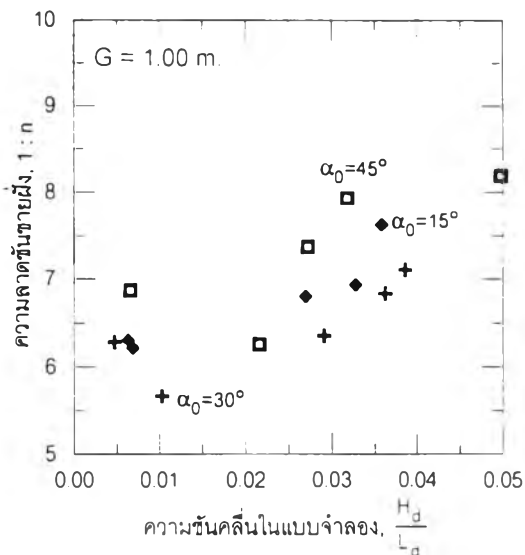
1) ผลกระทบเนื่องจากการใช้แบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอนเป็นวัสดุที่บ้น้ำ เมื่อคลื่น เคลื่อนที่เข้าปะทะโครงสร้าง ทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่น จึงเกิดกระแสน้ำย้อนกลับตามแนวชายฝั่ง ดังแสดงในรูป 4-8 (ก) และพัดพาตะกอนทรายไปทับถมบริเวณด้านเหนือน้ำของอ่าว ทำให้เกิดรูปร่าง แนวชายฝั่งดังรูป 4-8 (ข)

ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างโครงสร้างแคบ ๆ เช่นในกรณีการทดลอง $G = 1$ เมตร ความชันคลื่นสูง ๆ หรือ $H/L > 0.03$ และมีมุม α_0 มาก เช่น กรณี $\alpha_0 = 45^\circ$ และอาจจะกำหนด ความยาวโครงสร้างมากเกินไป เมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างโครงสร้าง

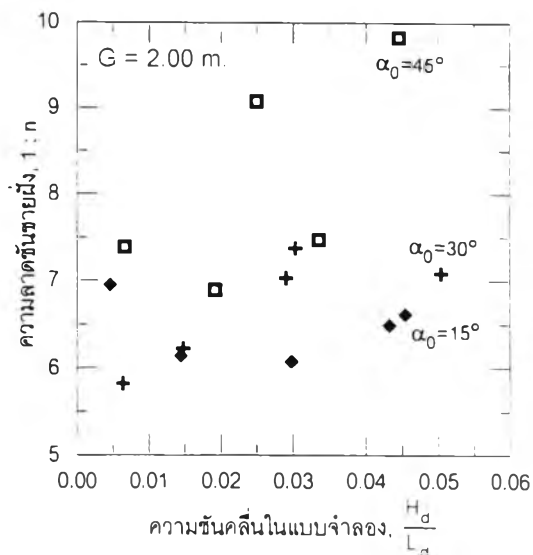
2) ในการทดลองศึกษาพฤติกรรมของกระบวนการชายฝั่ง กรณีมีโครงสร้างคันดักตะกอนเรียง ต่อกันเป็นกลุ่ม ในบางการทดลองรูปร่างชายฝั่งสมดุลของแต่ละอ่าวไม่เหมือนกัน ดังแสดงในรูป 4-9 จากรูปพบว่าแนวชายฝั่งสมดุลในอ่าวที่ 2 จะถูกกัดเซาะน้อยกว่า อ่าวที่ 1 แต่ในความเป็นจริงแล้ว ตะกอนทรายได้สะสมอยู่ในอ่าวที่ 1 จนตะกอนทรายจากอ่าวที่ 2 ไม่สามารถเคลื่อนที่ข้ามไปยังอ่าวที่ 1 ได้ ทำให้ระยะเว้าของอ่าวที่ 2 มีค่าน้อยกว่าอ่าวที่ 3 ดังนั้นในการทดลองควรระวังเกี่ยวกับ



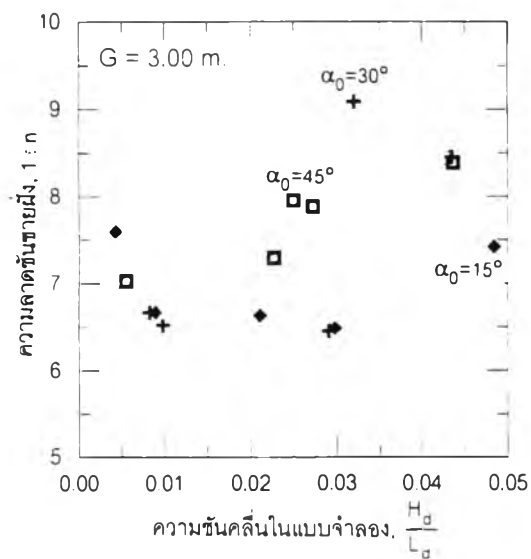
รูป 4-6 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับระยะคลื่นแตกตัวในแบบจำลอง



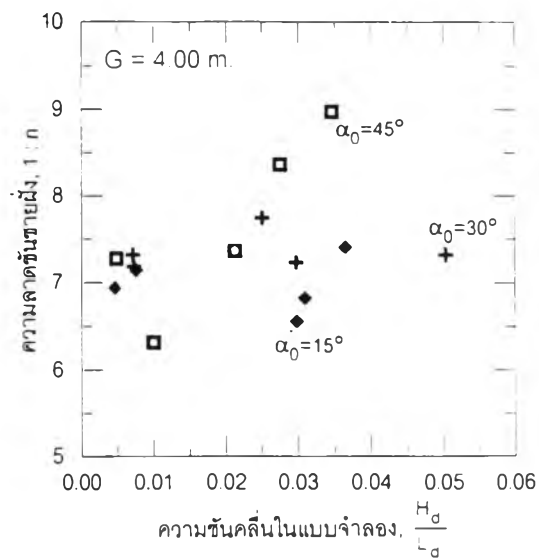
น) กรณี $G = 1.00$ ม.



ข) กรณี $G = 2.00$ ม.



ค) กรณี $G = 3.00$ ม.



ง) กรณี $G = 4.00$ ม.

รูป 4-7 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับความลาดชันชายฝั่ง 1:n

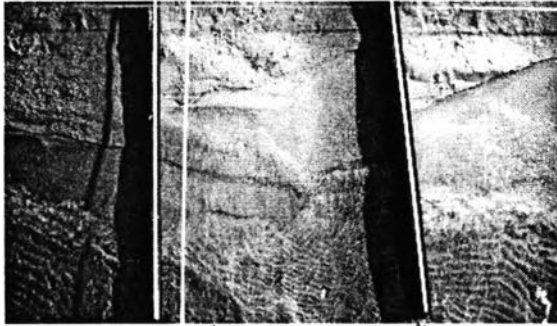
ตะกอนสะสมด้านท้ายน้ำ เนื่องจากมีผลทำให้รูปร่างของชายฝั่งสมดุลเปลี่ยนแปลงได้ ต้องตัดทรายสวนเกินด้านท้ายน้ำออก

3) จากการทดลอง ในกรณีความชันคลื่นน้อย ($H/L < 0.03$) ชายฝั่งจะมีความลาดชันชายฝั่งสม่ำเสมอ ดังรูป 4-10 (ก) แต่ในกรณีความชันคลื่นสูง ($H/L > 0.03$) ชายฝั่งจะมีความลาดชันไม่สม่ำเสมอ ดังรูป 4-10 (ข) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคลื่นที่มีความชันน้อยเคลื่อนที่เข้าสู่ชายฝั่งและเกิดการแตกตัว คลื่นจะกระโจนขึ้นสู่ฝั่ง (wave-runup) และกระแสน้ำไหลย้อนกลับสู่ทะเลพบกับคลื่นลูกบริเวณแนวคลื่นแตกตัว ในขณะที่ถ้าคลื่นมีความชันสูง กระแสน้ำที่ไหลย้อนกลับสู่ทะเลจะมีความรุนแรงมาก และเมื่อปะทะกับคลื่นลูกใหม่ที่เข้าสู่ฝั่ง จะเกิดความปั่นป่วน และตะกุดตะกายตะกอนทรายขึ้นมา ทำให้เกิดความชันบริเวณชายฝั่งไม่สม่ำเสมอ

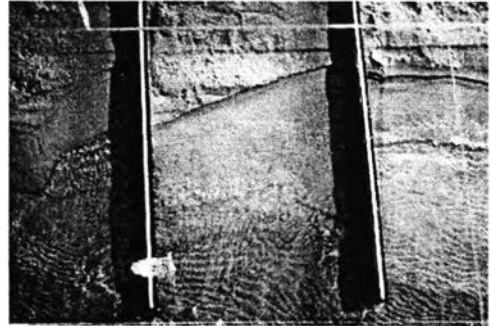
4) นอกจากอิทธิพลของขนาดคลื่นที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ในข้อ 3) แล้ว เมื่อคลื่นมีความชันสูงแตกตัวและกระโจนขึ้นสู่ฝั่ง และเกิดกระแสน้ำไหลย้อนกลับสู่ทะเลด้วยความรุนแรงนั้น จะมีแรงพัดพาตะกอนทรายบริเวณชายฝั่งออกสู่ทะเล ทำให้ความลาดชันท้องน้ำและก่อนถึงบริเวณคลื่นแตกตัวมีความชันน้อยลง ดังแสดงในรูป 4-11

5) เมื่อทำการทดลองครบทั้ง 60 กรณีแล้ว ยังทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาลักษณะชายฝั่งสมดุล กรณีที่ไม่มีโครงสร้างคันดักตะกอนอีก 1 กรณี โดยใช้ความสูงคลื่นประมาณ 0.05 เมตร คาบเวลา 0.81 วินาที ความชันคลื่นประมาณ 0.48 พบว่าเกิดการกัดเซาะบริเวณเหนือน้ำ และตะกอนทรายส่วนนี้ จะถูกพัดพามาทับถมบริเวณท้ายน้ำดังแสดงในรูป 4-12 (ก) จนกระทั่งแนวชายฝั่งตั้งฉากกับทิศทางของคลื่น ชายฝั่งจึงหยุดการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูป 4-12 (ข) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะท้องน้ำไม่มีผลต่อแนวชายฝั่ง

แต่เมื่อพิจารณาแนวคลื่นแตกตัวพบว่าบางช่วงของแนวคลื่นแตกตัว ได้รับอิทธิพลจากรูปร่างของท้องน้ำดังแสดงในรูป 4-12 (ค) แต่บางช่วงก็ไม่ได้รับอิทธิพลดังกล่าว ซึ่งอิทธิพลดังกล่าวน่าจะขึ้นอยู่กับความลึกน้ำ จากการเก็บข้อมูลความลึกน้ำบริเวณท้องน้ำ พบว่าความลึกน้ำบริเวณที่เกิดผลกระทบต่อแนวคลื่นแตกตัวมีค่าประมาณ 0.117 เมตร หรือประมาณ 2.3 เท่าของความสูงคลื่น อย่างไรก็ตาม ผลสรุปนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองเพียง 1 กรณีเท่านั้น คงยังไม่สามารถเป็นตัวแทนพฤติกรรมชายฝั่งทั้งหมดได้ แต่เนื่องจากเวลาในการศึกษามีจำกัด และอยู่นอกเหนือขอบข่ายของการศึกษาในรายละเอียด ซึ่งพฤติกรรมหรือกระบวนการชายฝั่งที่เกิดขึ้นจริงเกี่ยวกับเรื่องนี้ ควรได้มีการศึกษาในชั้นรายละเอียดต่อไป

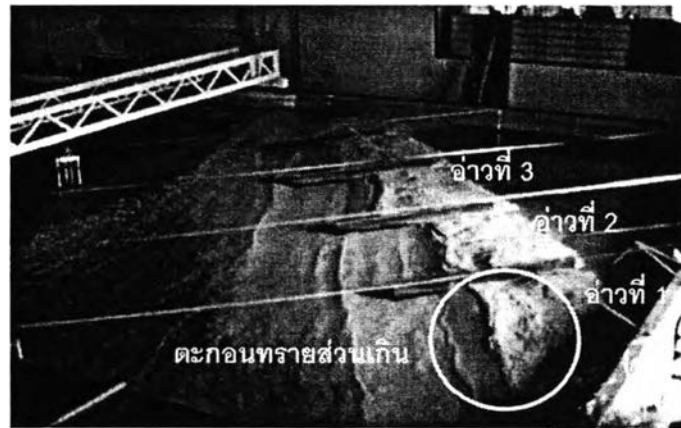


ก) การสะท้อนของคลื่น ทำให้เกิดกระแสน้ำไหลย้อนกลับ

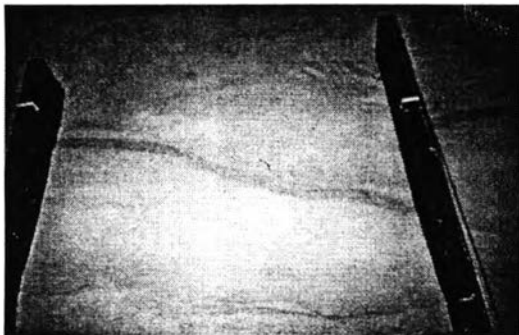


ข) รูปร่างชายฝั่ง เมื่อได้รับอิทธิพลจากคลื่นสะท้อน

รูป 4-8 การสะท้อนของคลื่น เมื่อใช้แบบจำลองโครงสร้างแบบที่บ่น้ำ



รูป 4-9 อิทธิพลของตะกอนส่วนเกินทำนน้ำ



ก) ความลาดชันชายฝั่งสม่ำเสมอ เมื่อ $H/L < 0.03$



ข) ความลาดชันชายฝั่งไม่สม่ำเสมอ เมื่อ $H/L > 0.03$

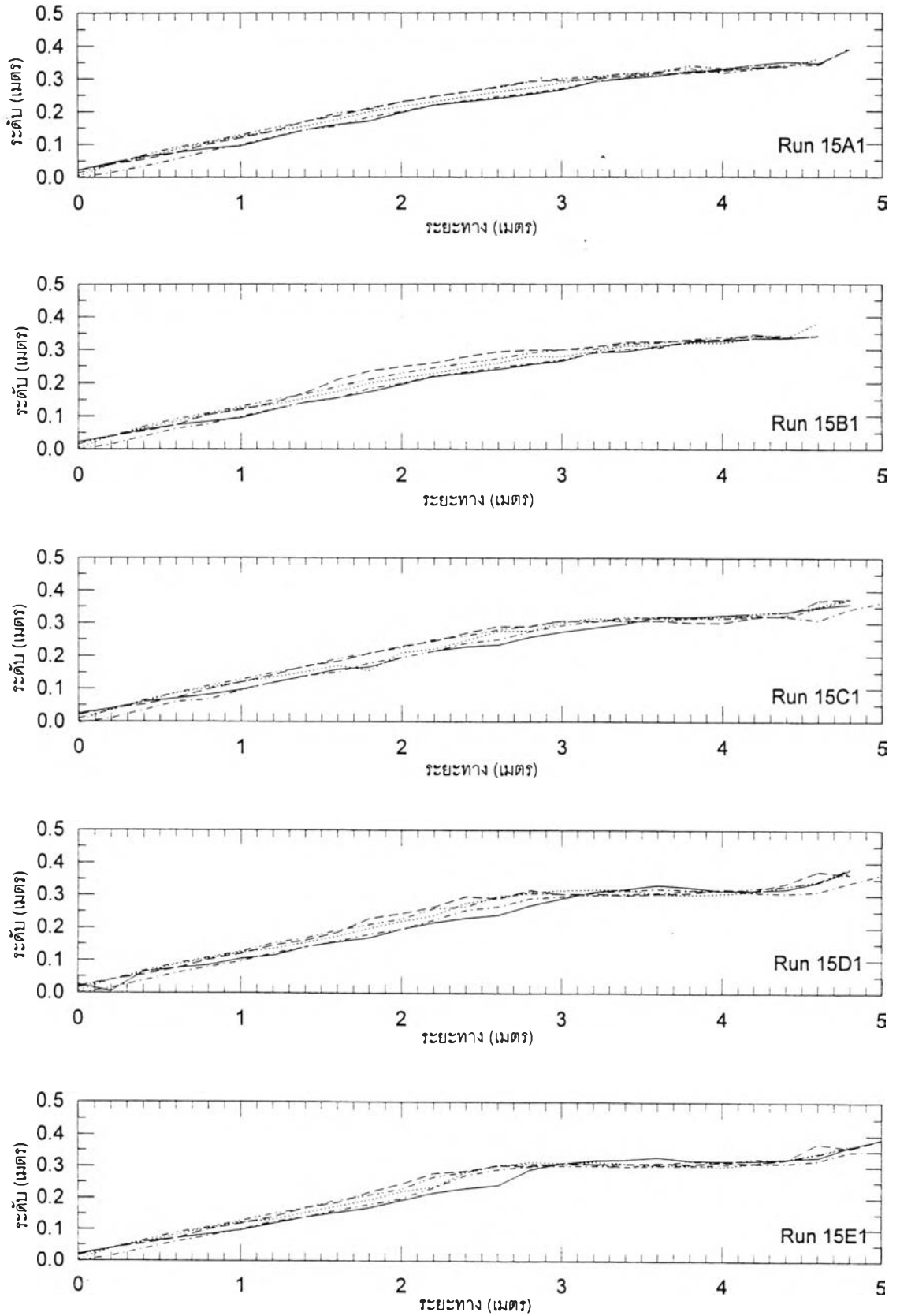


ค) กระแสน้ำไหลย้อนกลับปะทะกับคลื่นลูกใหม่



ง) ลักษณะท้องน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากการปั่นป่วนของน้ำ

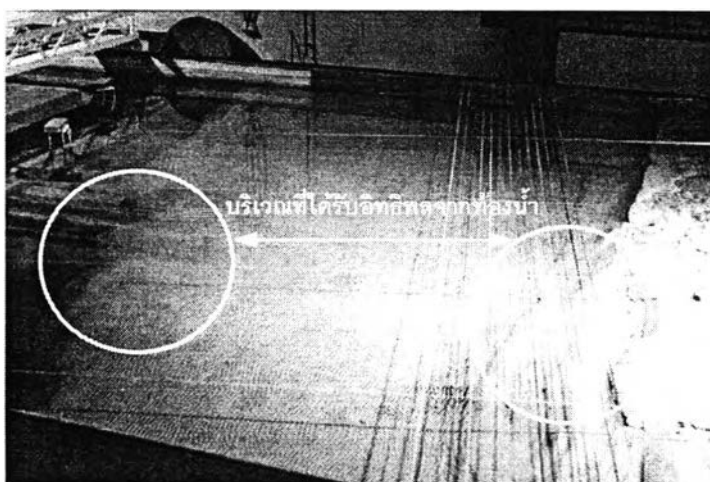
รูป 4-10 อิทธิพลของความชันคลื่นต่อความลาดชันชายฝั่ง



รูป 4-11 ตัวอย่างอิทธิพลของขนาดคลื่นที่มีผลต่อความลาดชันท้องน้ำในการทดลอง



ก.) การกักเซาะและการทับถมของตะกอนทรายเมื่อไม่มีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง



ข.) บริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากท้องน้ำ



ค.) ลักษณะท้องน้ำบริเวณที่มีอิทธิพลต่อแนวคลื่นแตกตัว

รูป 4-12 แนวชายฝั่งสมดุลกรณีไม่มีโครงสร้างป้องกันชายฝั่ง

4.4 การเปรียบเทียบลักษณะชายฝั่งบริเวณคลื่นแตกตัวที่ได้จากการทดลองและทฤษฎี

ในทางทฤษฎี ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะคลื่นและชายฝั่งบริเวณคลื่นแตกตัว อยู่หลายการศึกษา บางการศึกษาให้ความสูงคลื่นแตกตัวและความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัว มีความสัมพันธ์กับความชันคลื่นในน้ำลึก เช่น Munk (1949) ซึ่งเสนอการคำนวณความสูงคลื่นแตกตัวจาก ลักษณะคลื่นในน้ำลึก ดังนี้

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3.3(H'_0 / L_0)^{1/3}} \quad (4.1)$$

ซึ่ง H_b/H'_0 เรียกว่า ดัชนีความสูงคลื่นแตกตัว (breaker height index)

เมื่อ H_b คือ ความสูงคลื่นแตกตัว (breaker height)

H'_0 คือ คลื่นในน้ำลึกที่ไม่มีการหักเห (unrefracted deepwater wave height)

L_0 คือ ความยาวคลื่นในน้ำลึก

และนำค่า H_b ที่ได้ไปหาค่าของความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัวได้จากความสัมพันธ์

$$\frac{d'_b}{H_b} = 1.28 \quad (4.2)$$

บางการศึกษาให้ความสูงคลื่นแตกตัวมีความสัมพันธ์ทั้งกับความชันคลื่นในน้ำลึก และความชัน ท้องน้ำ เช่น Iversen (1982,1953), Galvin (1969), Goda (1970) และ Weggel (1972, อ้างถึงใน US.CERC, 1974: 129-135) เป็นต้น ซึ่งการศึกษาของ Weggel ได้เสนอสูตรการคำนวณค่าดัชนีความ สูงคลื่นแตกตัวดังนี้

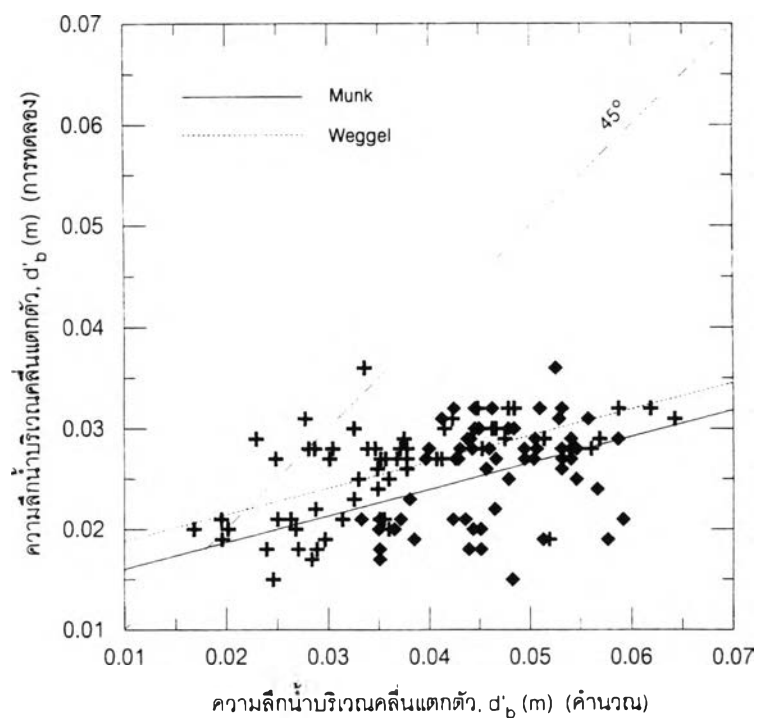
$$\frac{d'_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b / gT^2)} \quad (4.3)$$

$$\text{โดยที่} \quad a = 43.75(1 - e^{-19m}) \quad (4.4)$$

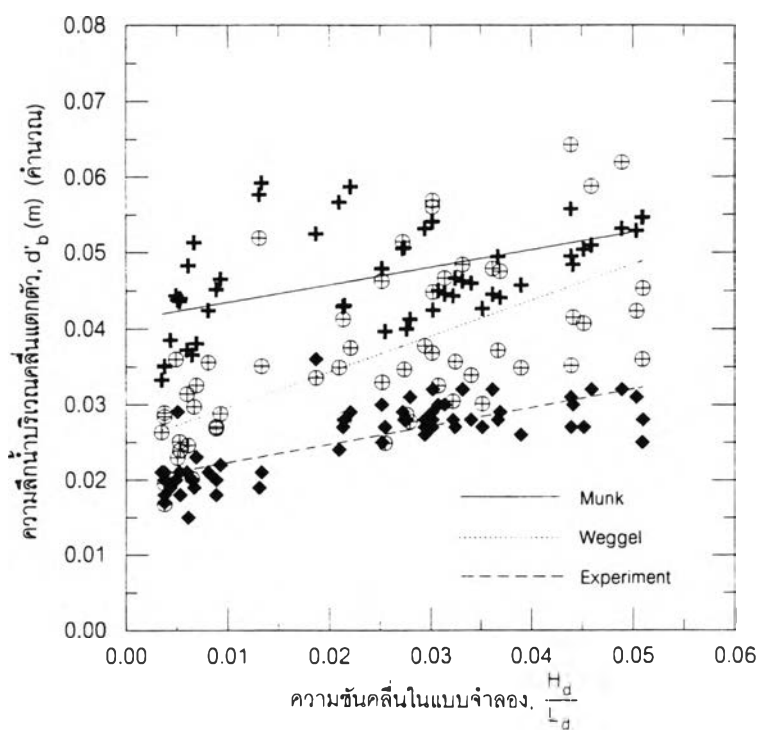
$$b = \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5m})} \quad (4.5)$$

เมื่อ 1:m คือ ความลาดชันท้องน้ำ

จากการทดลองสามารถวัดลักษณะชายฝั่งบริเวณคลื่นแตกตัวได้ข้อมูลความลึกน้ำบริเวณที่ คลื่นแตกตัว (d'_b) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความลึกน้ำบริเวณที่คลื่นแตกตัวจากการคำนวณโดยสูตร ของ Munk และ Weggel ดังรูป 4-13 และ 4-14 พบว่าความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัวที่คำนวณได้



รูป 4-13 การเปรียบเทียบความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัว จากการคำนวณกับผลการทดลอง



รูป 4-14 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัว จากการคำนวณกับผลการทดลอง

จากสูตรของ Munk และ Weggel นั้นมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการวัดในการทดลอง แต่ค่าที่ได้จากวิธีของ Weggel ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองมากกว่าวิธีของ Munk ซึ่งให้ค่า d'_0 สูงมาก ดังนั้นจึงใช้ค่าความสูงคลื่นแตกตัวที่คำนวณได้จากสูตรของ Weggel ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะคลื่นแตกตัวกับลักษณะชายฝั่งสมดุ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นแตกตัวกับลักษณะชายฝั่งสมดุในแบบจำลองพบว่า ความชันคลื่นแตกตัวมีอิทธิพลต่อระยะเว้าชายฝั่ง และมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูป 4-15 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นแตกตัวกับความยาวชายฝั่ง พบว่าในกรณีที่มุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่งเท่ากัน ความชันคลื่นมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวชายฝั่งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังแสดงในรูป 4-16 แต่ถ้ากรณีที่ระยะห่างระหว่างโครงสร้างเท่ากัน ถ้ามุมที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่งมาก จะทำให้อิทธิพลของความชันคลื่นต่อความยาวชายฝั่งมีมากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูป 4-17

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นแตกตัวกับระยะคลื่นแตกตัว ดังรูป 4-18 พบว่าระยะคลื่นแตกตัวมีความสัมพันธ์กับความชันคลื่นแตกตัวอย่างชัดเจน แต่ไม่พบความสัมพันธ์หรืออิทธิพล กับมุมของคลื่นที่ชัดเจน ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นแตกตัวกับความลาดชันชายฝั่ง ดังรูป 4-19 ไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ชัดเจน เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่ค่อนข้างกระจายตัว

4.5 ความสัมพันธ์ลักษณะคลื่นในน้ำตื้นบริเวณทางเข้าอ่าวกับตัวแปรในแบบจำลอง

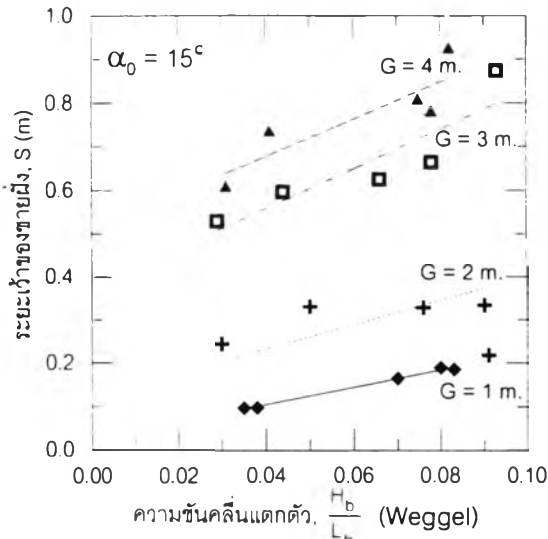
เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากน้ำลึกเข้าสู่บริเวณน้ำตื้น จะได้รับอิทธิพลจากท้องน้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสูงคลื่น และเกิดการหักเหหรือเปลี่ยนทิศทางของคลื่น ทำให้คุณสมบัติของคลื่นเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งสามารถคำนวณความสูงคลื่นหลังจากเคลื่อนที่เข้าสู่ น้ำตื้นบริเวณทางเข้าอ่าว (H_{ent}) ได้จากสมการ

$$H_{ent} = H_0 K_r K_s \quad (4.6)$$

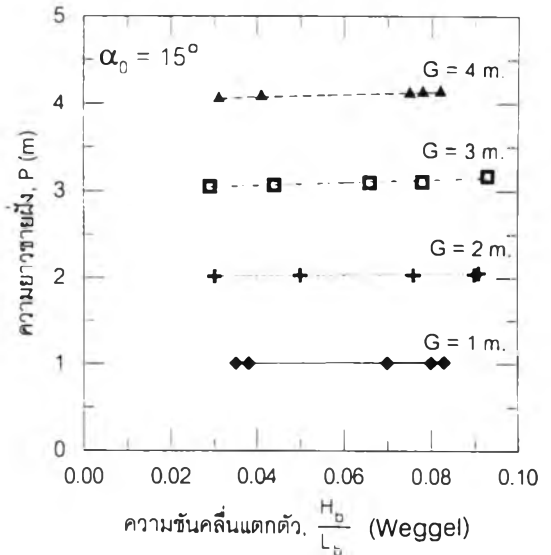
เมื่อ H_0 คือ ความสูงคลื่นในน้ำลึก มีหน่วยเป็น เมตร

K_r คือ สัมประสิทธิ์การหักเหของคลื่น (refraction coefficient)

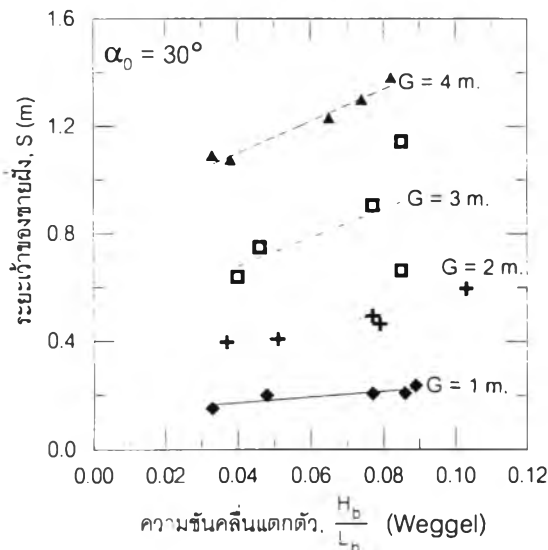
K_s คือ สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่เข้าสู่ น้ำตื้น (shoaling coefficient)



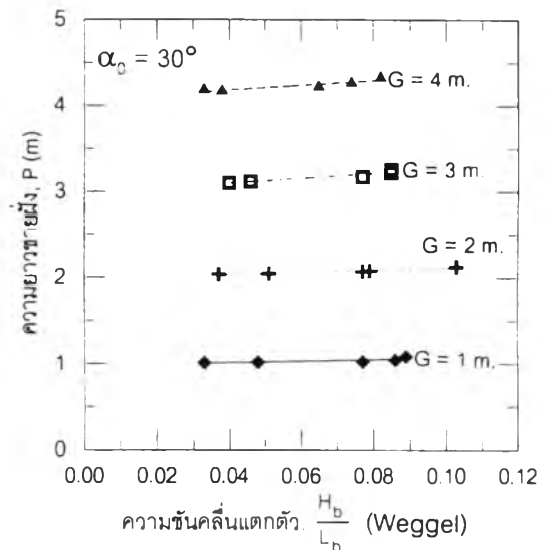
ก) กรณีมุม $\alpha_0=15^\circ$



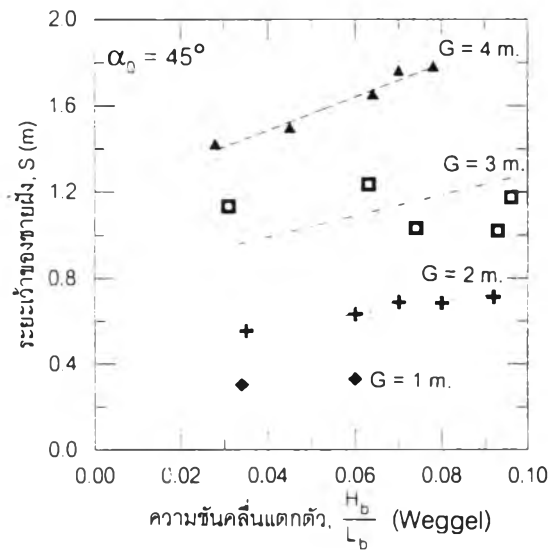
ก) กรณีมุม $\alpha_0=15^\circ$



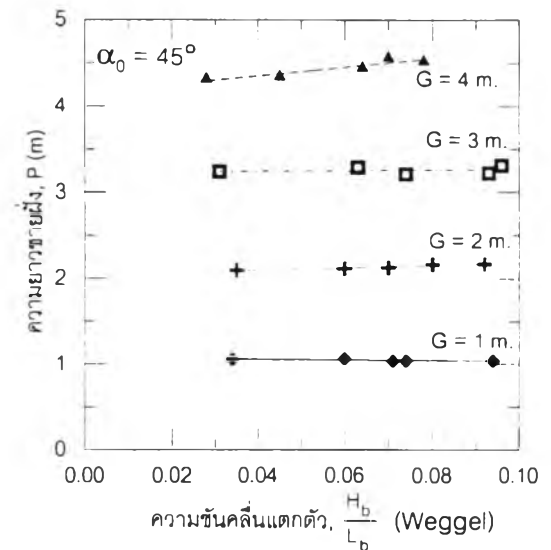
ข) กรณีมุม $\alpha_0=30^\circ$



ข) กรณีมุม $\alpha_0=30^\circ$



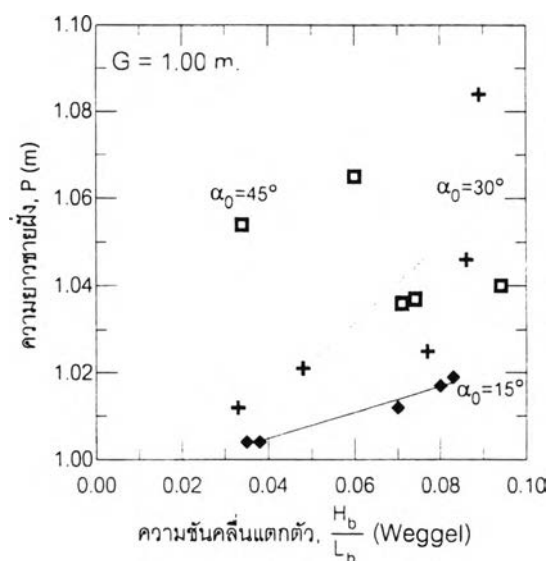
ข) กรณีมุม $\alpha_0=30^\circ$



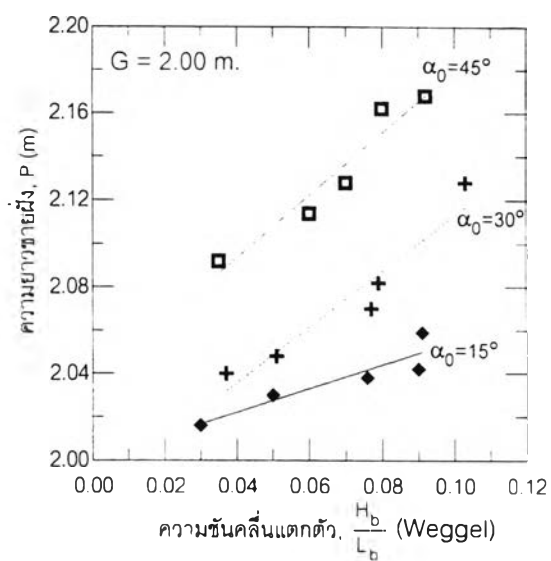
ข) กรณีมุม $\alpha_0=30^\circ$

รูป 4-15 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นแตกตัวกับระยะเว้าของชายฝั่งในแบบจำลอง

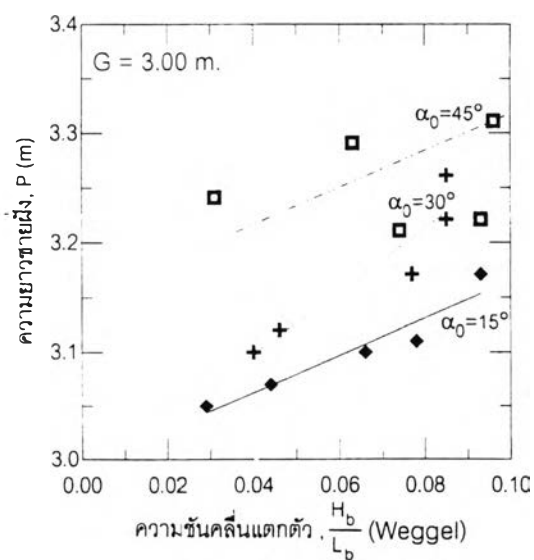
รูป 4-16 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นแตกตัวกับความยาวชายฝั่งในแบบจำลอง



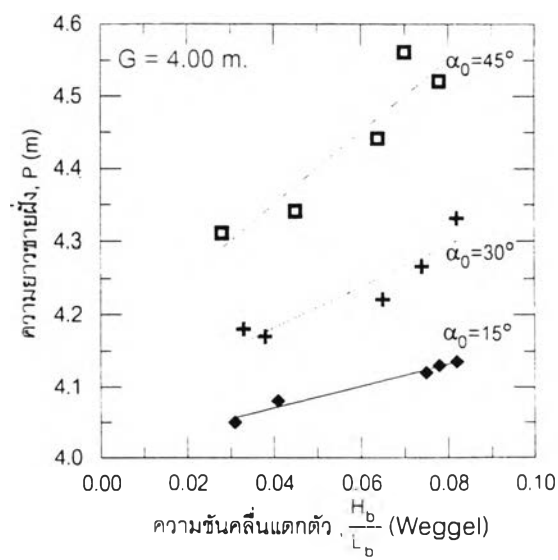
า) กรณี $G = 1.00$ ม.



ข) กรณี $G = 2.00$ ม.

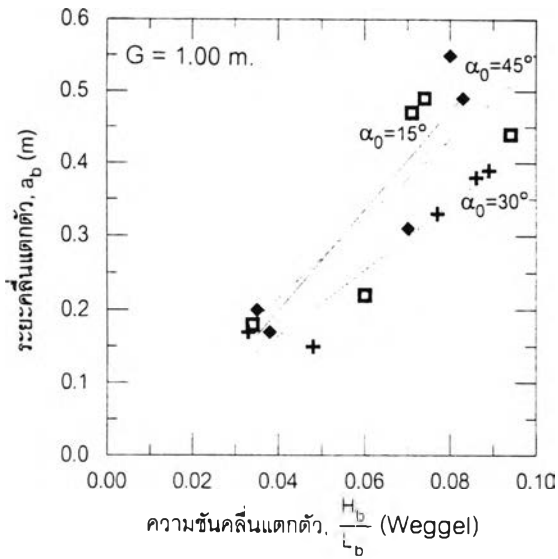


ค) .กรณี $G = 3.00$ ม.

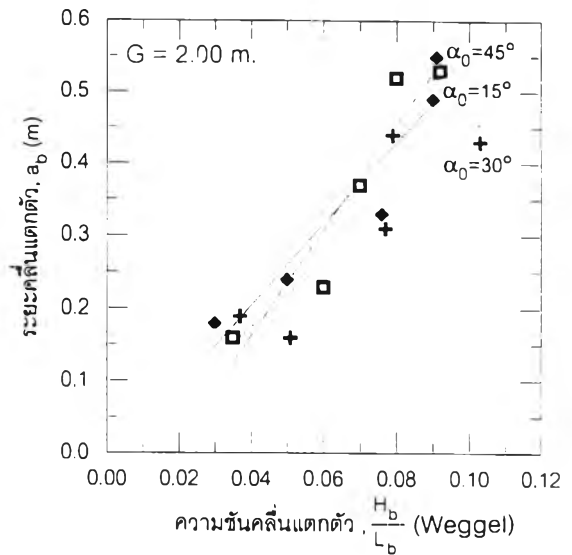


ง) กรณี $G = 4.00$ ม.

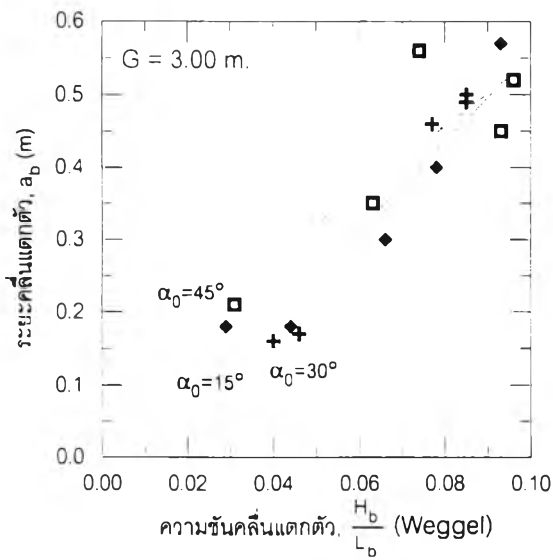
รูป 4-17 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นแตกตัวกับความยาวชายฝั่งในแบบจำลอง
กรณี $G=1,2,3$ และ 4 เมตร



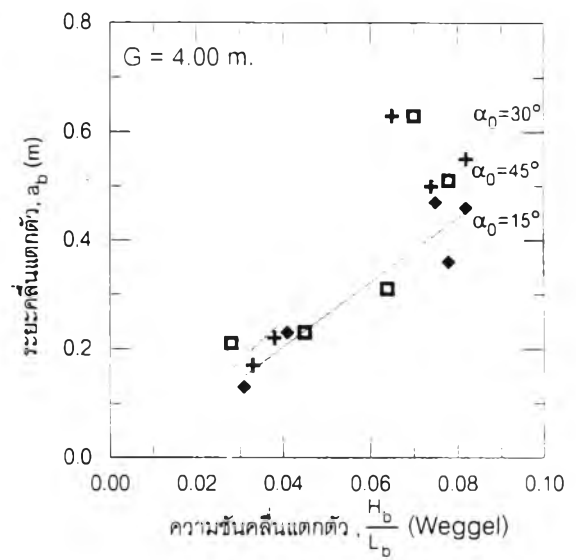
น) กรณี $G = 1.00$ ม.



บ) กรณี $G = 2.00$ ม.

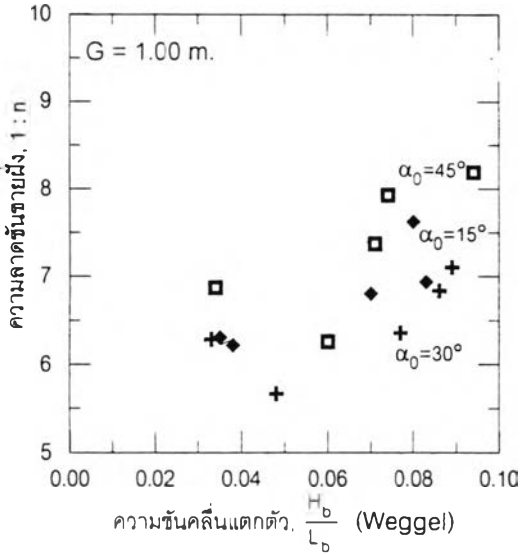


ค) กรณี $G = 3.00$ ม.

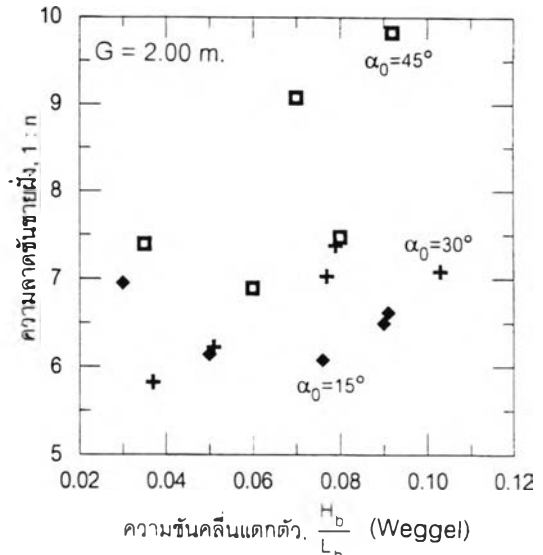


ง) กรณี $G = 4.00$ ม.

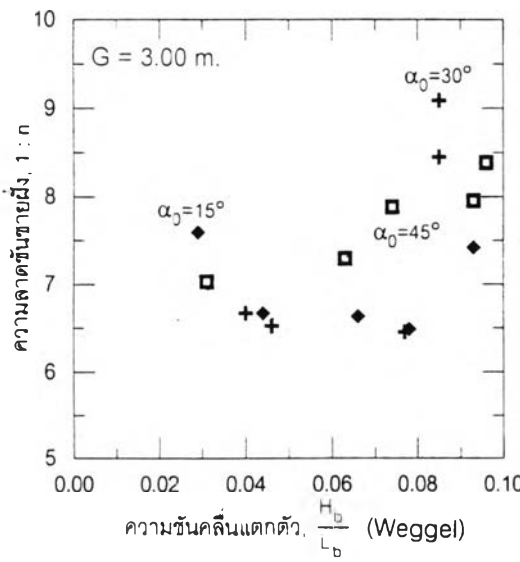
รูป 4-18 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นแตกตัวกับระยะคลื่นแตกตัว



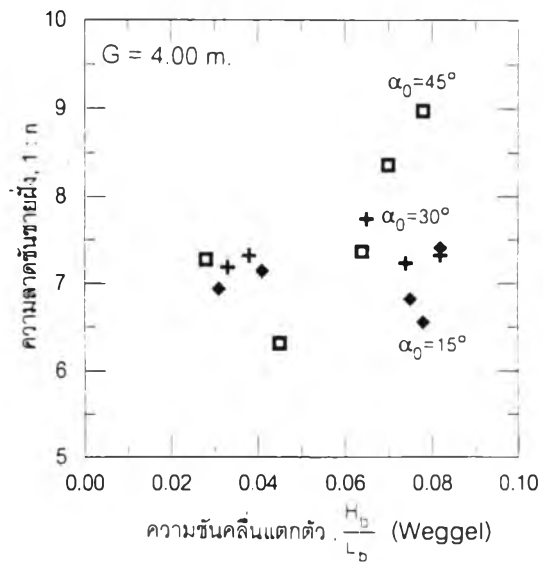
น) กรณี $G = 1.00$ ม.



ข) กรณี $G = 2.00$ ม.



ค) กรณี $G = 3.00$ ม.



ง) กรณี $G = 4.00$ ม.

รูป 4-19 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นแตกตัวกับความลาดชันชายฝั่ง 1:n

ส่วนความยาวคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าว (L_{ent}) สามารถคำนวณได้โดยใช้ทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย เมื่อทราบความลึกน้ำบริเวณทางเข้าอ่าว ดังสมการ

$$L_{ent} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L_{ent}}\right) \quad (4.7)$$

เมื่อ g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที²

T คือ คาบเวลาคลื่น มีหน่วยเป็น วินาที

d คือ ความลึกน้ำบริเวณทางเข้าอ่าว มีหน่วยเป็น เมตร

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าว กับระยะเว้าของชายฝั่งในแบบจำลอง ดังรูป 4-20 พบว่าความชันคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวมีอิทธิพลต่อระยะเว้าหรือการกัดเซาะต่อแนวชายฝั่ง และมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความชันบริเวณทางเข้าอ่าวกับความยาวชายฝั่งสมดุล ดังรูป 4-21 พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง แต่มีความชันของกราฟน้อย แสดงว่าความชันคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวมีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อความยาวชายฝั่ง ในกรณีมุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่งเท่ากัน แต่สำหรับกรณีระยะห่างระหว่างโครงสร้างเท่ากัน พบว่าเมื่อมุมที่คลื่นเคลื่อนที่เข้ากระทำต่อชายฝั่งมากขึ้น อิทธิพลของความชันคลื่นต่อความยาวชายฝั่งสมดุลมีแนวโน้มมากขึ้น ดังแสดงในรูป 4-22

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับระยะคลื่นแตกตัว ดังแสดงในรูป 4-23 พบว่ามีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง แต่ไม่พบอิทธิพลของมุมที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่ง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับความลาดชันชายฝั่ง ไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ที่ชัดเจนได้ ดังแสดงในรูป 4-24

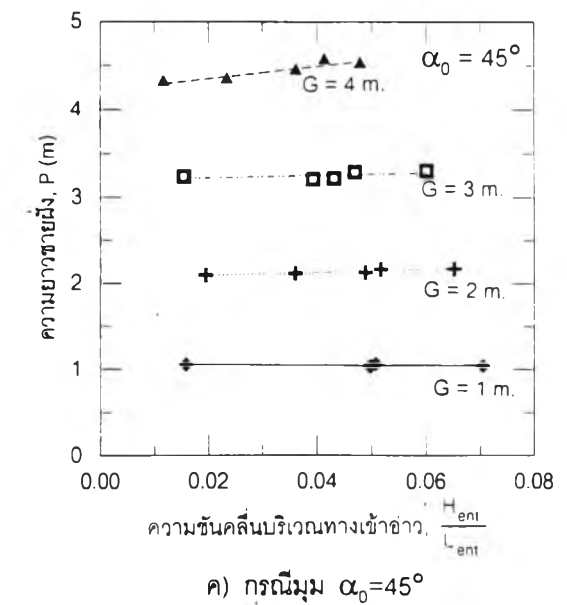
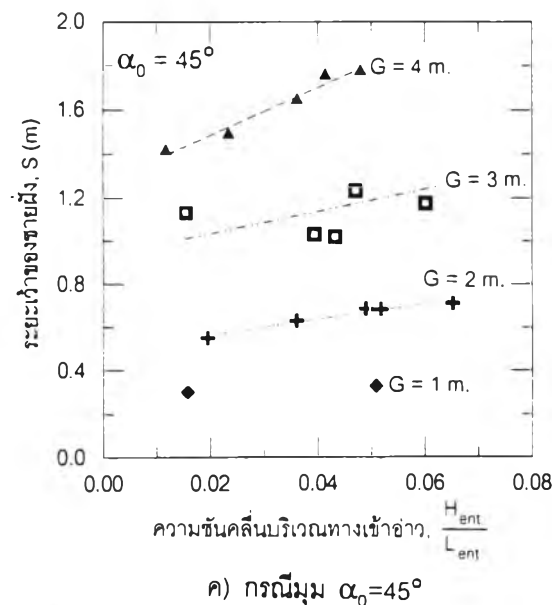
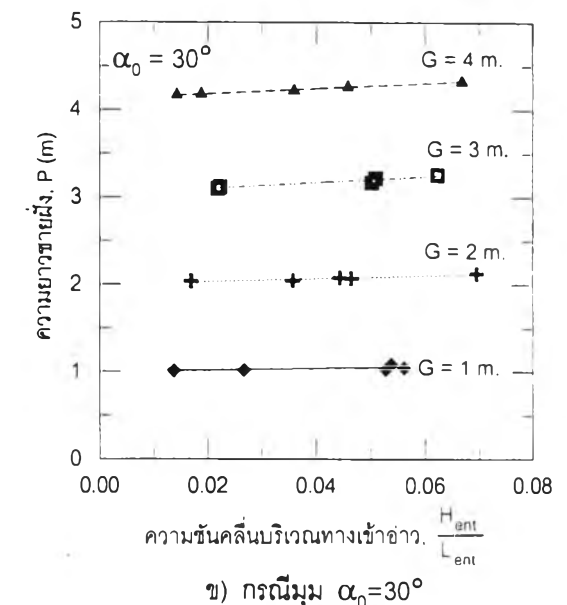
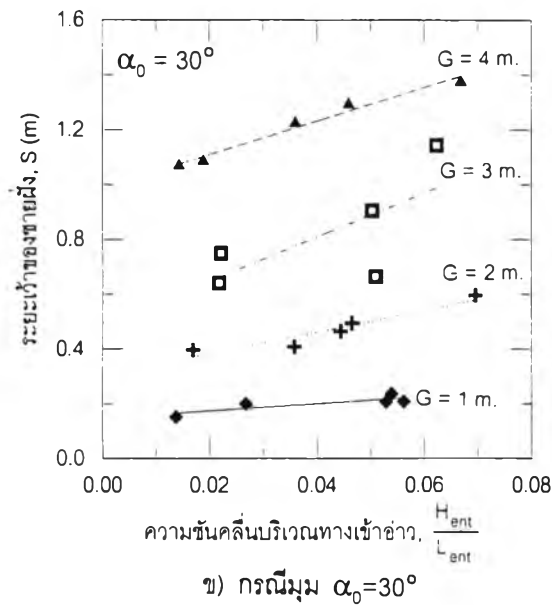
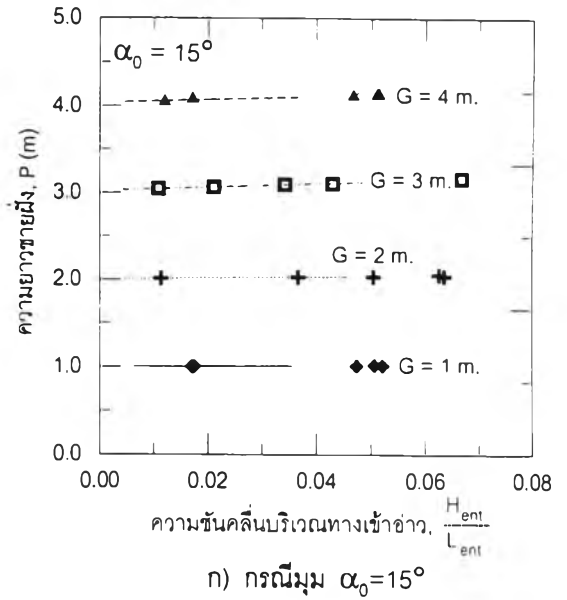
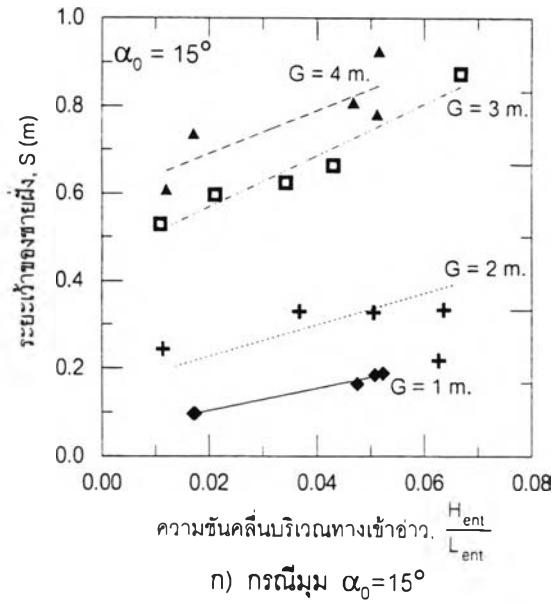
4.6 ความสัมพันธ์ลักษณะคลื่นในน้ำลึกกับตัวแปรออกแบบในแบบจำลอง

โดยทั่วไปการศึกษางานด้านวิศวกรรมชายฝั่ง มักอ้างอิงกับข้อมูลคลื่นในน้ำลึก สำหรับในการทดลองข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลในน้ำตื้น ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาลักษณะคลื่นในน้ำลึกโดยใช้ทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย ได้ดังนี้

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (4.8)$$

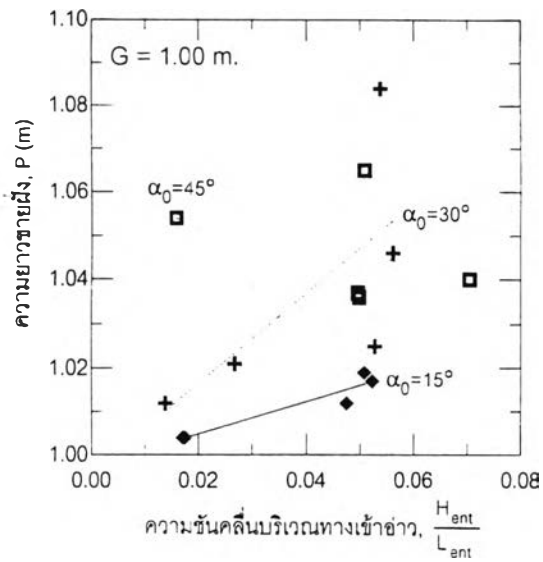
เมื่อ g คือ แรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที²

T คือ คาบเวลาคลื่น มีหน่วยเป็น เมตร

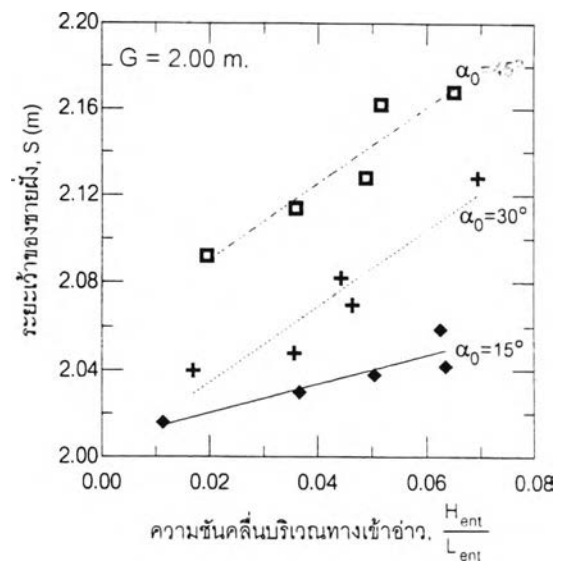


รูป 4-20 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับระยะเข้าของชายฝั่ง

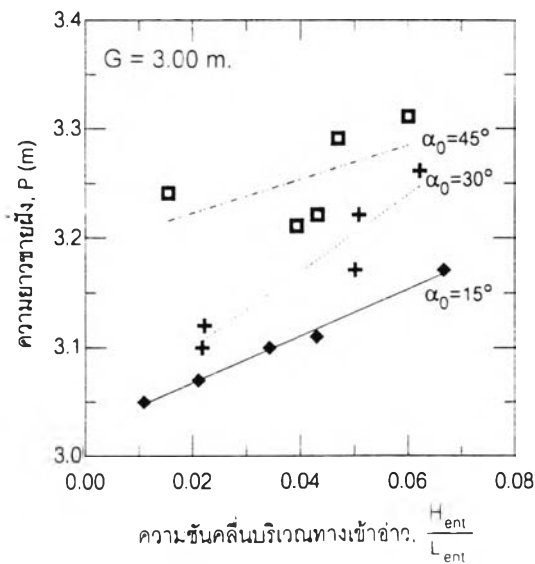
รูป 4-21 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับความยาวชายฝั่ง



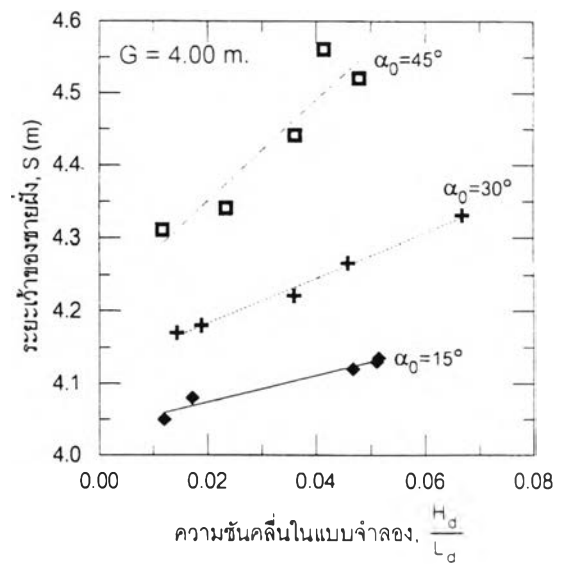
น) กรณี G = 1.00 ม.



ข) กรณี G = 2.00 ม.

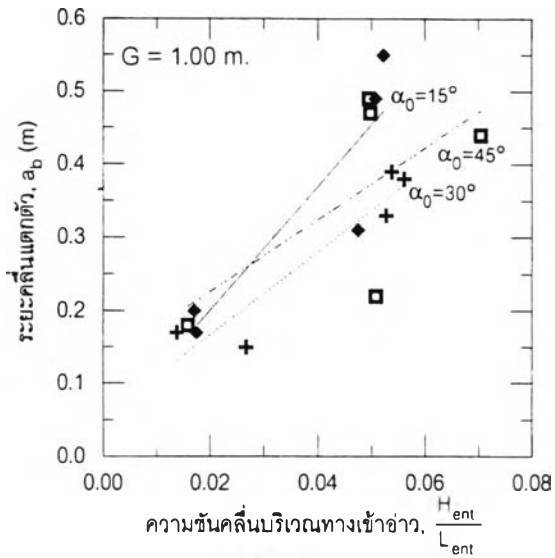


ค) กรณี G = 3.00 ม.

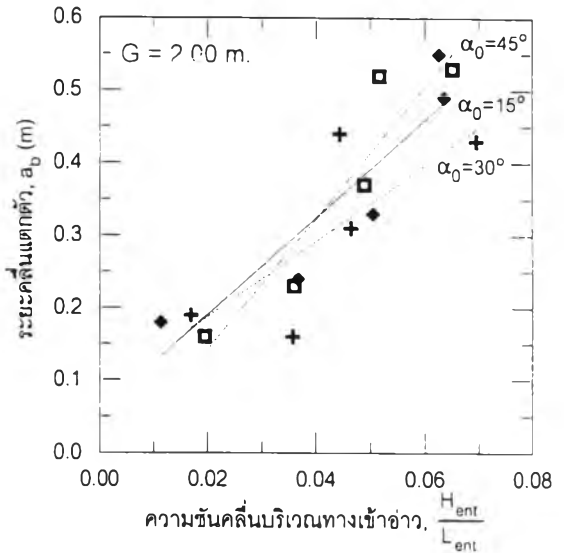


ง) กรณี G = 4.00 ม.

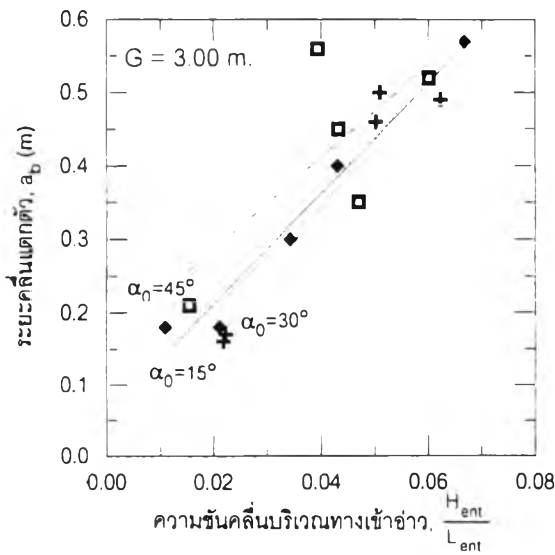
รูป 4-22 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับความยาวขาค้าง
กรณี G=1,2,3 และ 4 เมตร



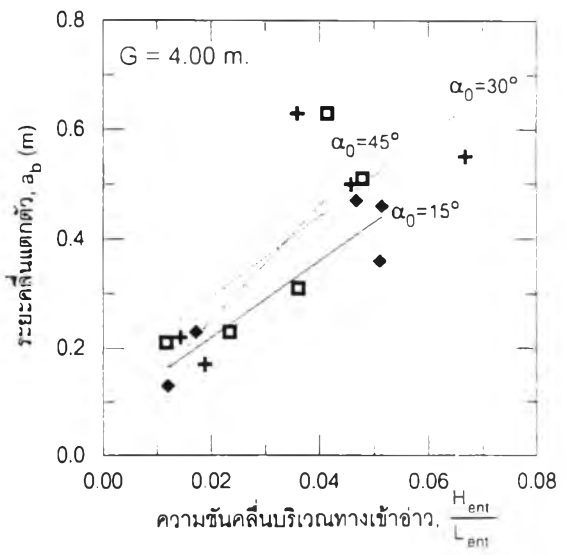
ก) กรณี $G = 1.00$ ม.



ข) กรณี $G = 2.00$ ม.

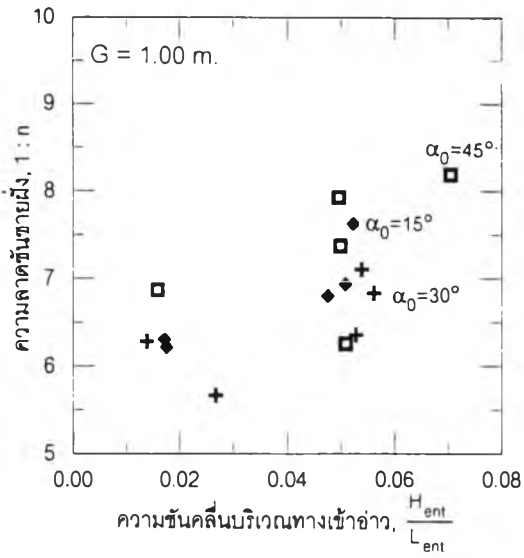


ค) กรณี $G = 3.00$ ม.

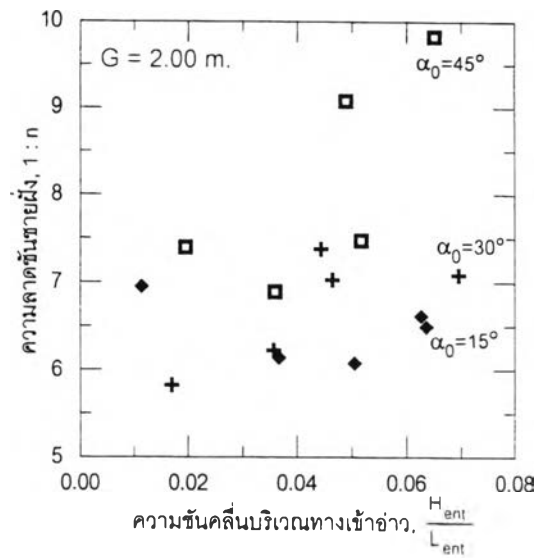


ง) กรณี $G = 4.00$ ม.

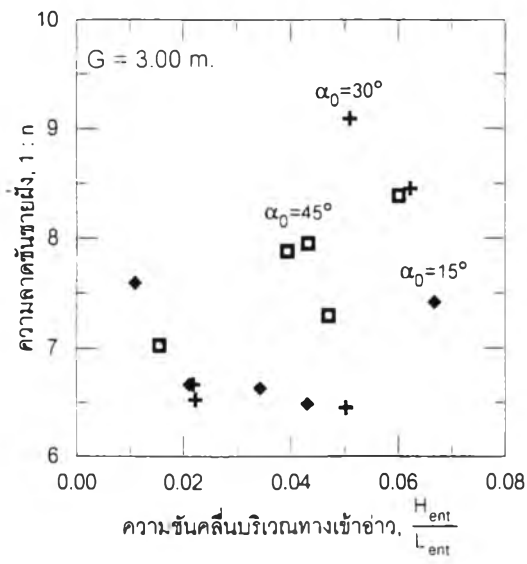
รูป 4-23 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับระยะคลื่นแตกตัว กรณี $G=1,2,3$ และ 4 เมตร



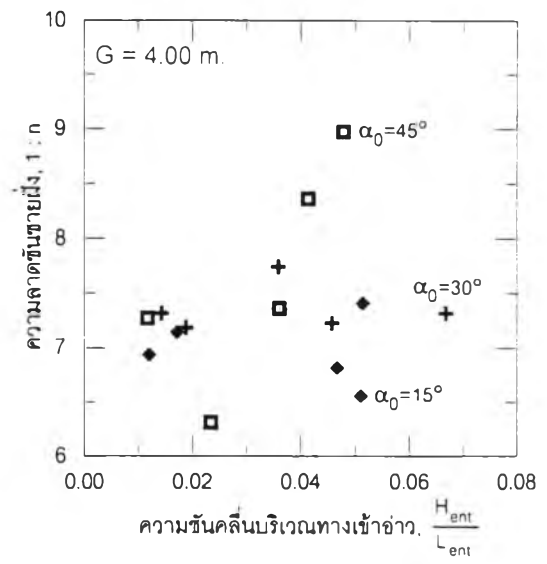
น) กรณี $G = 1.00$ ม.



ข) กรณี $G = 2.00$ ม.



ค) กรณี $G = 3.00$ ม.



ง) กรณี $G = 4.00$ ม.

รูป 4-24 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นบริเวณทางเข้าอ่าวกับความลาดชันชายฝั่ง 1:n กรณี $G=1,2,3$ และ 4 เมตร

สำหรับความสูงคลื่นในน้ำลึก สามารถคำนวณจากความสูงคลื่น (H_d) ความยาวคลื่น (L_d) และความลึกน้ำบริเวณที่สังเกต (d) โดยใช้สูตร

$$H_0 = \frac{H_d}{K_s} \quad (4.9)$$

$$\text{โดยที่ } K_s = \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \frac{(4\pi d/L_d)}{\sinh(4\pi d/L_d)}\right] \tanh \frac{2\pi d}{L_d}}} \quad (4.10)$$

เมื่อ K_s คือ สัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวน้ำตื้น (Shoaling coefficient)

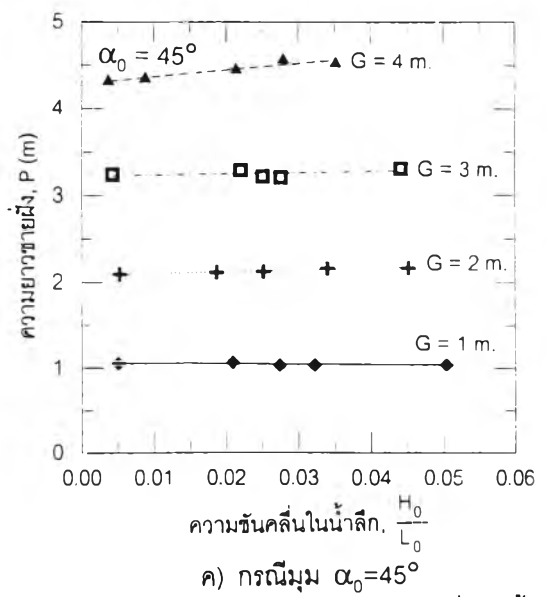
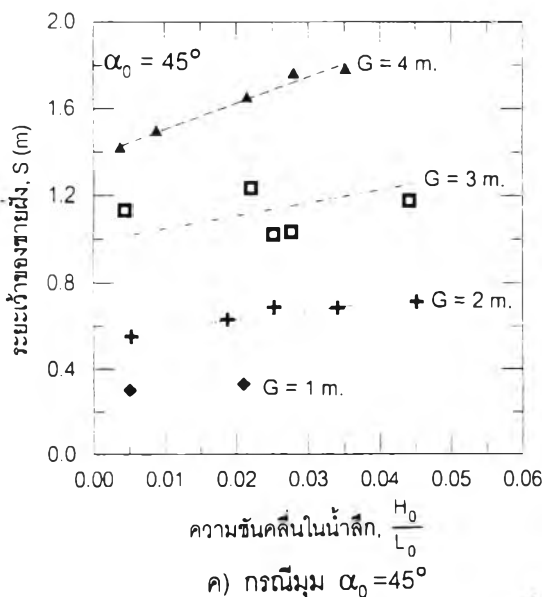
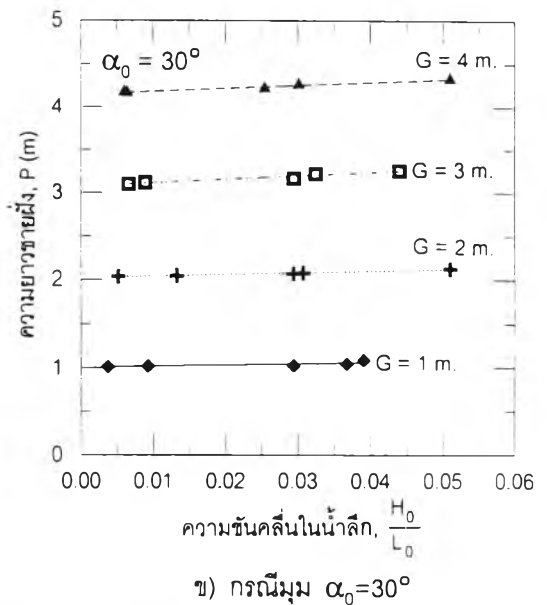
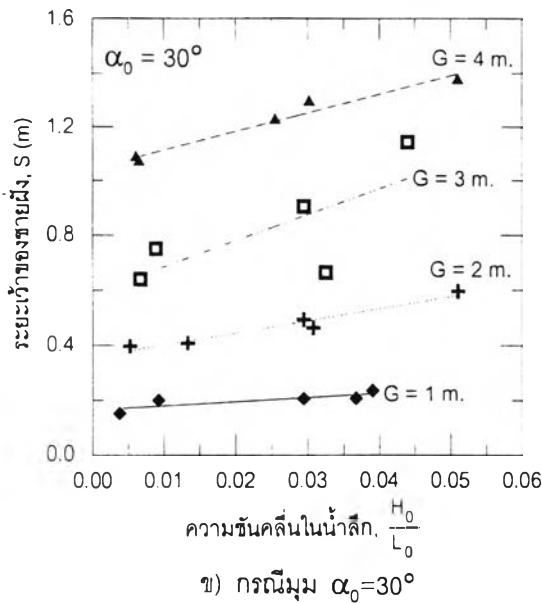
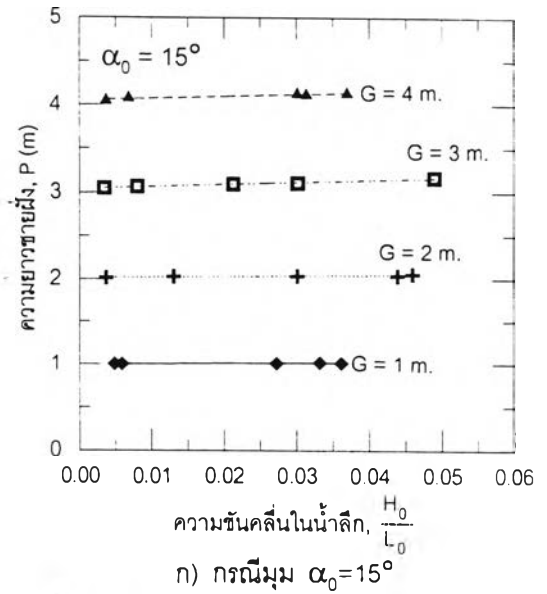
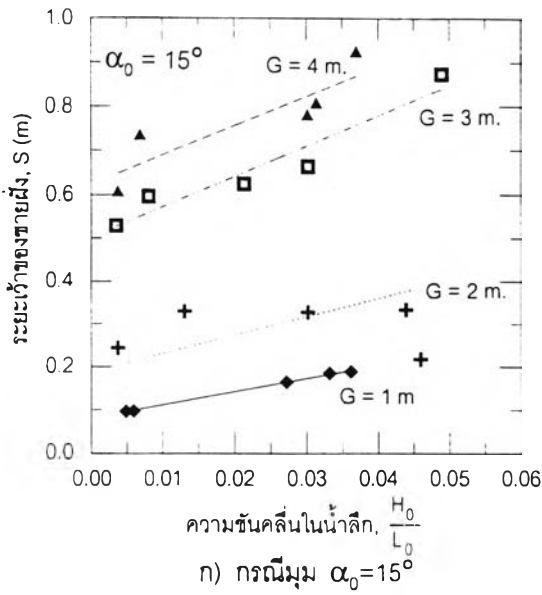
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นในน้ำลึก กับระยะเว้าของชายฝั่งในแบบจำลอง ดังแสดงในรูป 4-25 พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และมีแนวโน้มว่า ที่ระยะห่างระหว่างโครงสร้างมาก ๆ ความชันคลื่นในน้ำลึกจะมีอิทธิพลต่อระยะเว้าชายฝั่ง มากกว่ากรณีระยะระหว่างโครงสร้างน้อย และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับความยาวชายฝั่งในแบบจำลอง ดังแสดงในรูป 4-26 พบว่าความชันคลื่นในน้ำลึกมีอิทธิพลต่อความยาวชายฝั่งเพียงเล็กน้อย แต่ถ้ามุมที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่งมากขึ้น มีแนวโน้มที่ทำให้ความชันคลื่นมีอิทธิพลต่อความยาวชายฝั่งมากกว่า มุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่งมีค่าน้อย ดังแสดงในรูป 4-27

เมื่อพิจารณาความชันคลื่นในน้ำลึกกับระยะคลื่นแตกตัว ดังแสดงในรูป 4-28 พบว่ามีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และตัวแปรอื่น ๆ เช่น มุมที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่ง มีอิทธิพลต่อระยะคลื่นแตกตัวน้อย แต่เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับความลาดชันชายฝั่ง ไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ที่ชัดเจนได้ ดังแสดงในรูป 4-29

4.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตัวแปรออกแบบกับชายฝั่งสมดุลโดยวิธีตัวแปรไร้หน่วย

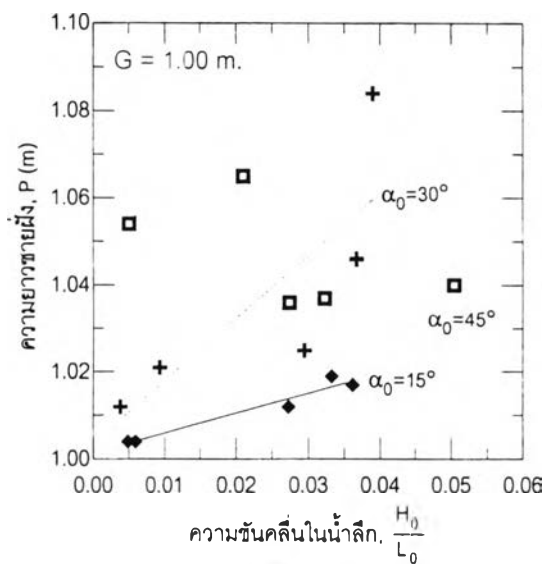
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบและคุณสมบัติของคลื่นในแบบจำลอง สามารถสรุปได้ว่า ตัวแปรหลักที่ใช้ในการศึกษา คือ ความชันคลื่น มุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง และระยะห่างระหว่างโครงสร้างนั้น มีความสัมพันธ์กับระยะเว้าของชายฝั่งหรือรูปร่างชายฝั่งสมดุลในแบบจำลองดังแสดงในตาราง 4-1 ส่วนความสัมพันธ์กับตัวแปรประกอบอื่น ๆ แสดงอยู่ในภาคผนวก ฉ

ในการนำผลการศึกษาที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบจริง ต้องอาศัยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยวิธีตัวแปรไร้หน่วย เพื่อสามารถนำไปวิเคราะห์หาขนาดมิติต่าง ๆ ในสภาพจริงได้

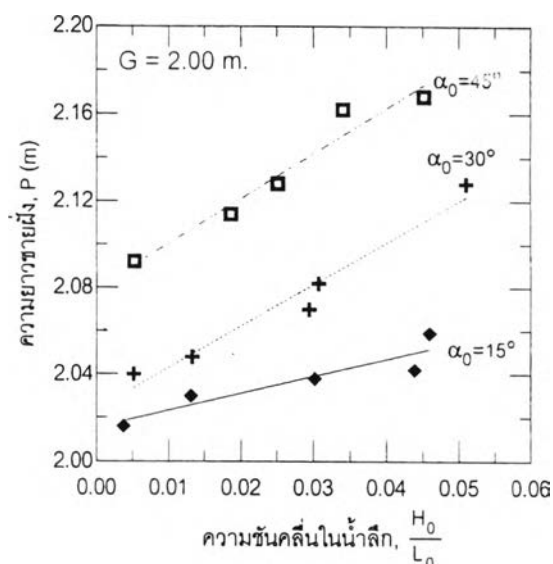


รูป 4-25 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับระยะเง้าของชายฝั่ง

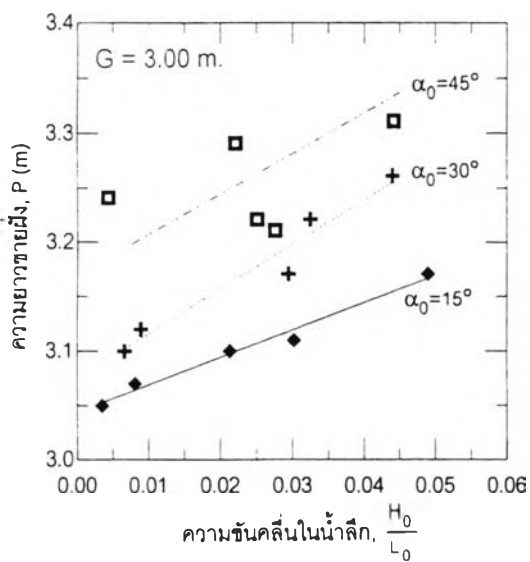
รูป 4-26 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับความยาวชายฝั่ง



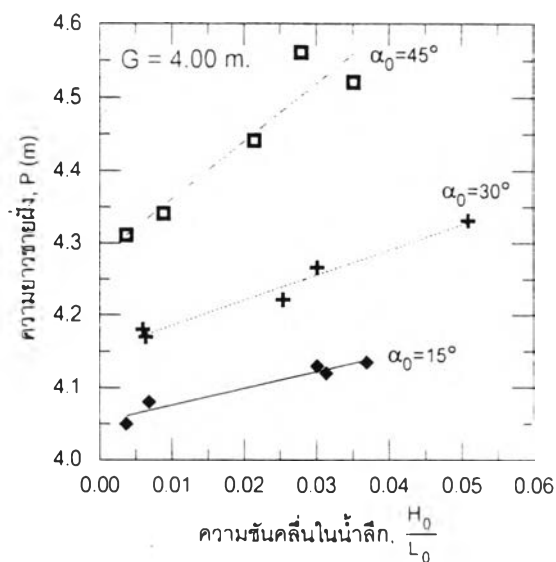
ก) กรณี $G = 1.00$ ม.



ข) กรณี $G = 2.00$ ม.

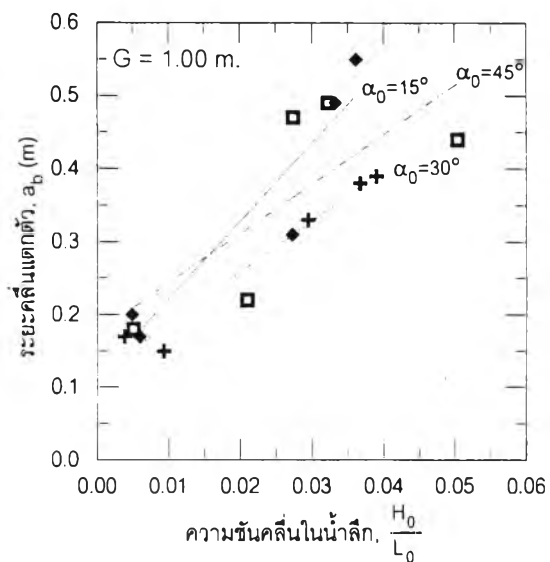


ค) กรณี $G = 3.00$ ม.

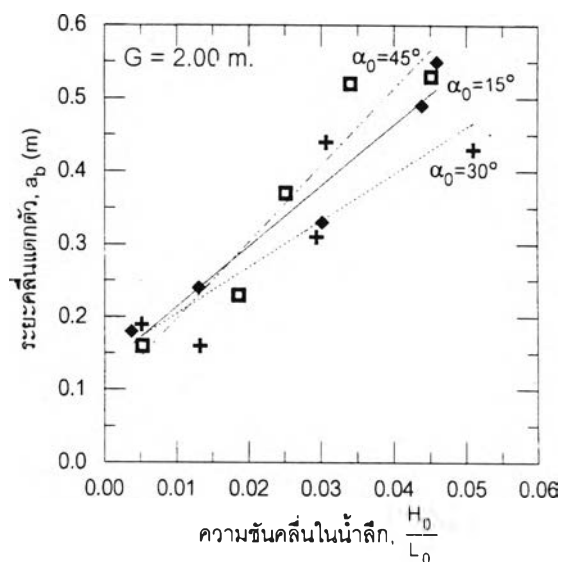


ง) กรณี $G = 4.00$ ม.

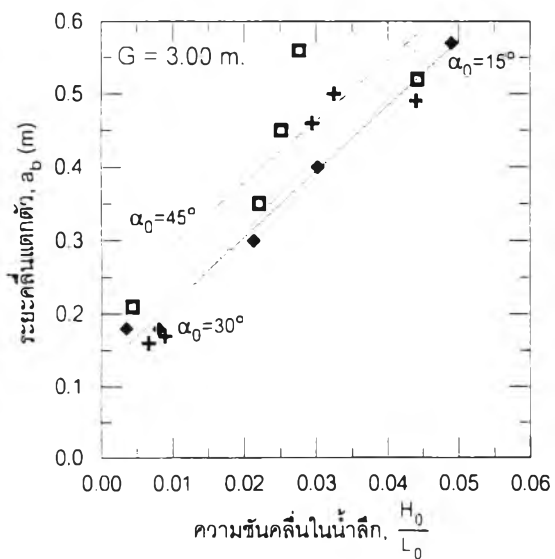
รูป 4-27 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับความยาวชายฝั่ง
กรณี $G=1,2,3$ และ 4 เมตร



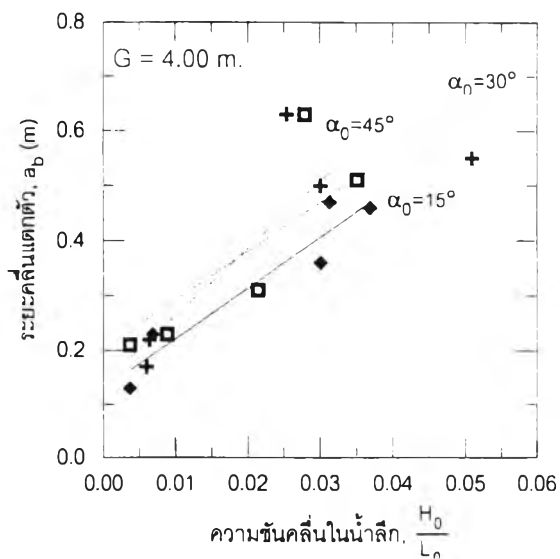
ก) กรณี $G = 1.00$ ม.



ข) กรณี $G = 2.00$ ม.

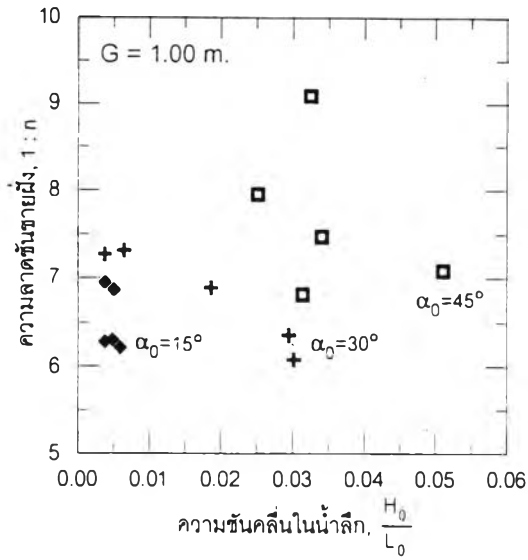


ค) กรณี $G = 3.00$ ม.

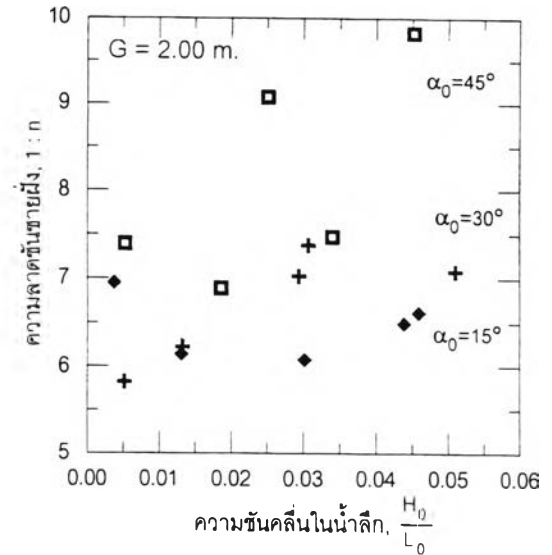


ง) กรณี $G = 4.00$ ม.

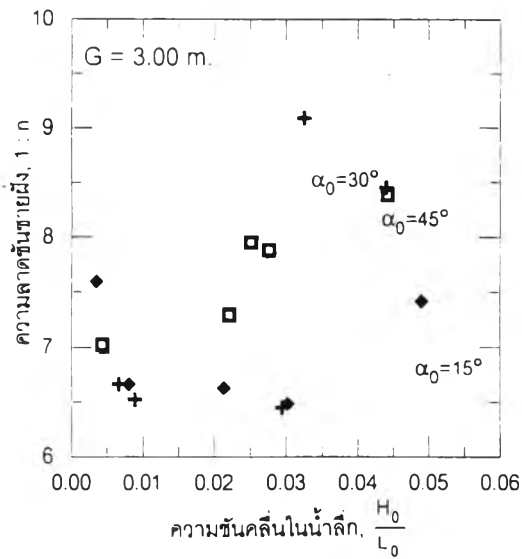
รูป 4-28 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับระยะคลื่นแตกตัว
กรณี $G=1,2,3$ และ 4 เมตร



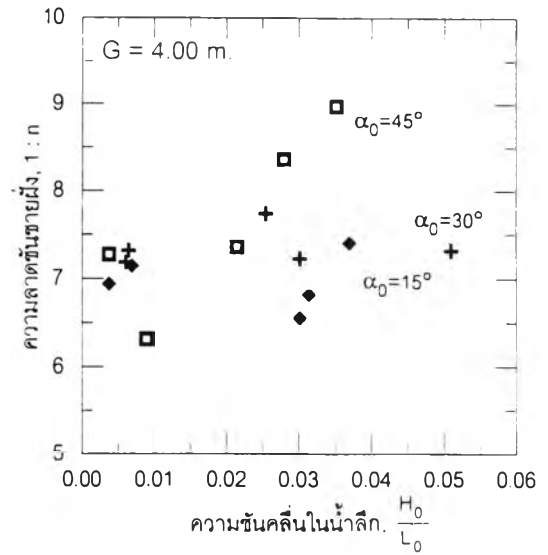
ก) กรณี $G = 1.00$ ม.



ข) กรณี $G = 2.00$ ม.



ค) กรณี $G = 3.00$ ม.



ง) กรณี $G = 4.00$ ม.

รูป 4-29 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับความลาดชันชายฝั่ง 1:n
กรณี $G=1,2,3$ และ 4 เมตร

ตาราง 4-1 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบและลักษณะคลื่นกับแนวชายฝั่งสมดุล

ตัวแปร	ความชันคลื่น ในน้ำลึก, H_0/L_0	ระยะห่างระหว่าง โครงสร้าง, G	มุมที่คลื่นกระทำ ต่อชายฝั่ง, α
ระยะเว้าของชายฝั่ง, S	น้อย	กลาง	มาก
ความยาวของชายฝั่ง, P	น้อย	กลาง	มาก
ระยะคลื่นแตกตัว, a_b	มาก	กลาง	น้อย
ความลาดชันชายฝั่ง, 1 : n	ไม่ชัดเจน	ไม่ชัดเจน	ไม่ชัดเจน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบ และชายฝั่งสมดุล พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นในน้ำลึก กับอัตราส่วนระยะเว้าต่อความสูงคลื่นในน้ำลึก มีแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่นำไปสู่การประยุกต์เป็นเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนได้ ดังแสดงในรูป 4-30 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบอื่น ยังไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน (ซึ่งรายละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

เมื่อพิจารณาเลือกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระยะเว้าของชายฝั่งที่อัตราส่วน $\frac{G}{L_0}$ ประมาณ 1 สำหรับมุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง 15° และ 30° เนื่องจากมีข้อมูลการทดลองมากที่สุด ดังรูป 4-31 ก) และ ข) เมื่อคำนวณหาโค้งความสัมพันธ์ของข้อมูลได้เป็นสมการยกกำลัง

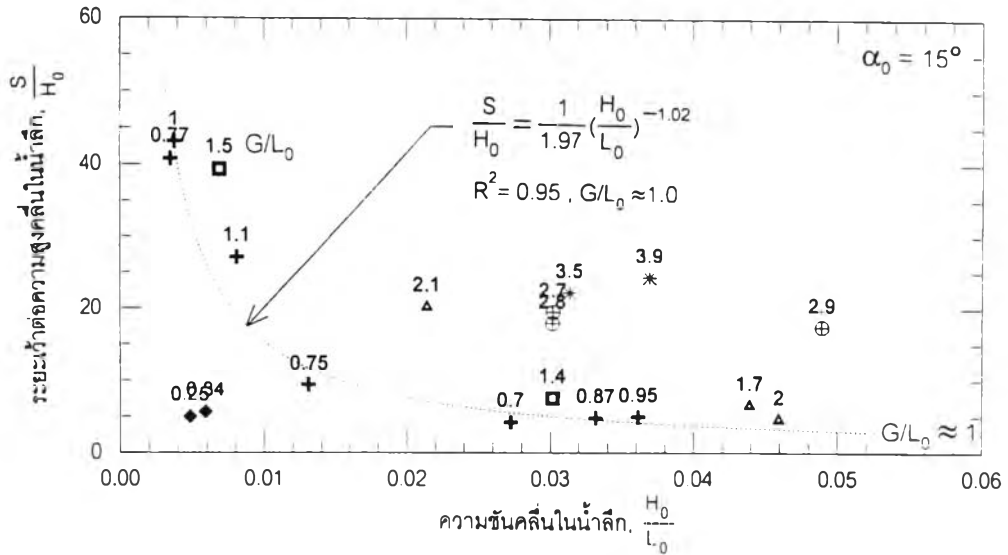
$$\frac{S}{H_0} = B \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^A$$

สำหรับมุม 45° มีข้อมูล $\frac{G}{L_0} = 1$ น้อยกว่ามุม 15° และ 30° เนื่องจากข้อมูลบางส่วนเป็นข้อมูลที่ได้รับผลกระทบจากการสะท้อนของคลื่น จากความยาวโครงสร้าง ลักษณะโครงสร้าง (ที่บ้น้ำ) ขนาดของคลื่น และระยะห่างระหว่างโครงสร้าง จึงไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ จากการคำนวณโค้งความสัมพันธ์โดยใช้สมการยกกำลัง เช่นเดียวกับมุม 15° และ 30° พบว่าที่ $\frac{G}{L_0}$ มีค่าประมาณ 1.5 จะมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับสมการยกกำลังมากที่สุด (มีค่า R^2 มากที่สุด) จึงใช้ข้อมูล $\frac{G}{L_0} \approx 1.5$ เป็นตัวแทน ดังรูป 4-31 ค) และได้สมการความสัมพันธ์ของแต่ละมุมดังนี้

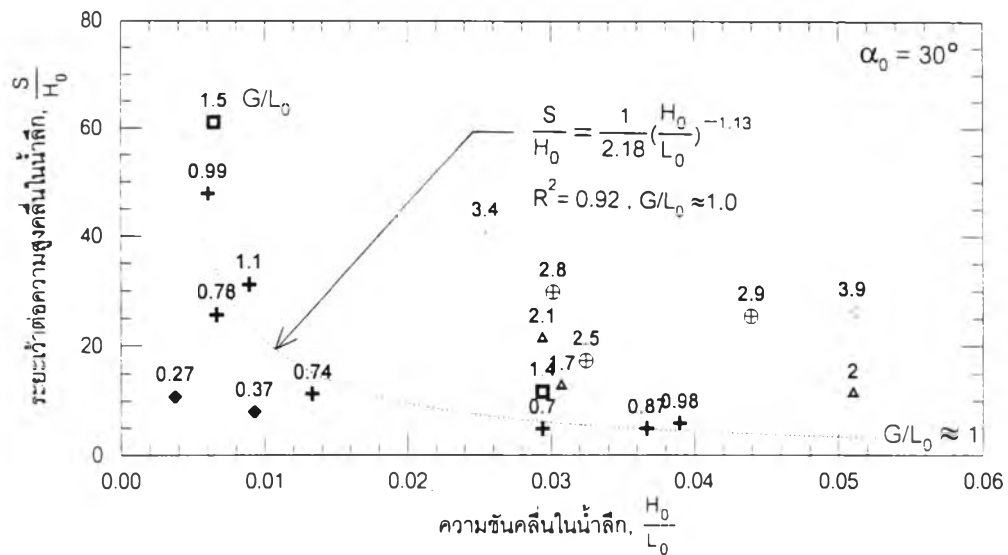
$$\text{สำหรับ มุม } 15^\circ \quad \frac{S}{H_0} = \frac{1}{1.97} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-1.02} \quad (4-11)$$

$$\text{มุม } 30^\circ \quad \frac{S}{H_0} = \frac{1}{2.18} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-1.13} \quad (4-12)$$

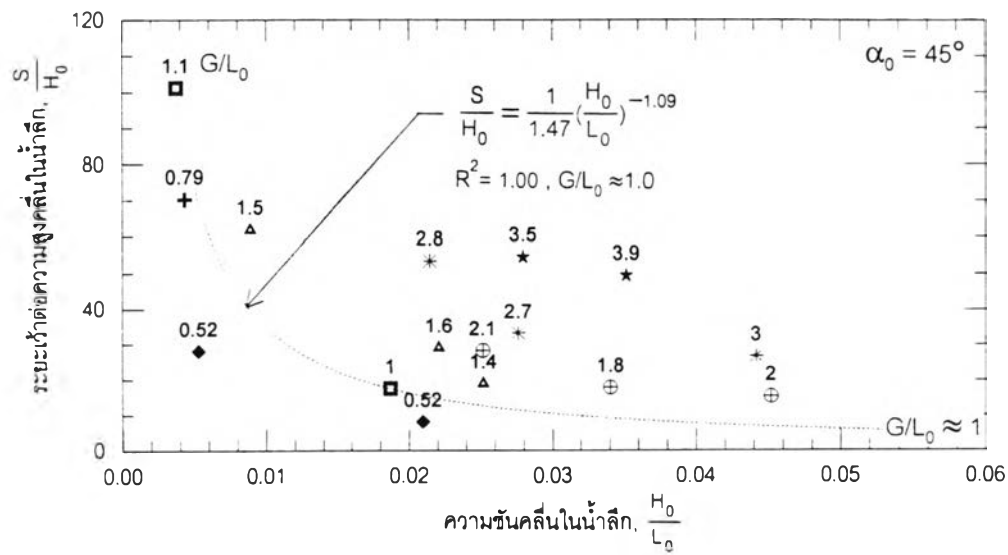
$$\text{มุม } 45^\circ \quad \frac{S}{H_0} = \frac{1}{0.67} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-1.02} \quad (4-13)$$



ก) กรณีมุม $\alpha_0=15^\circ$

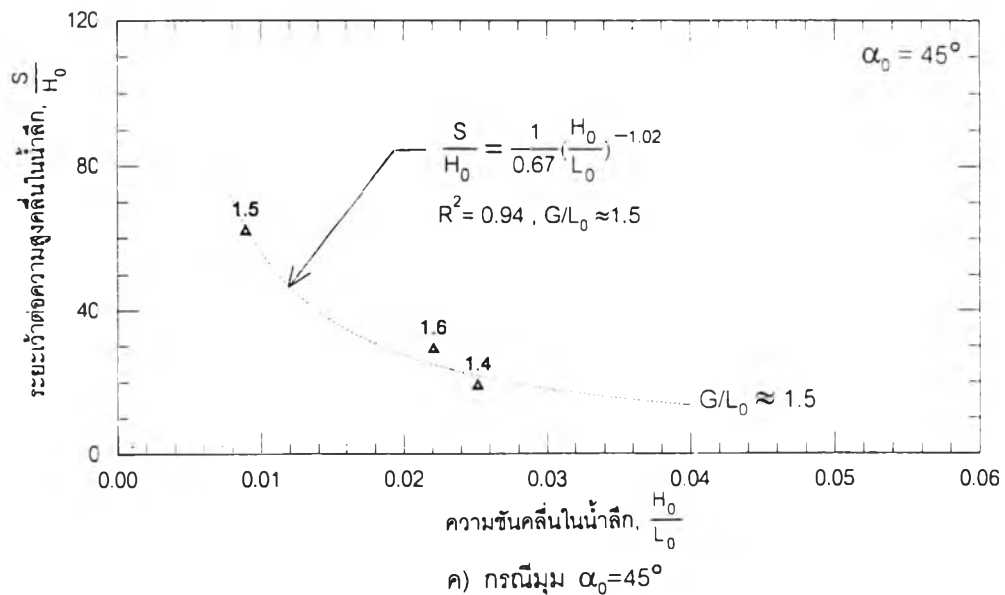
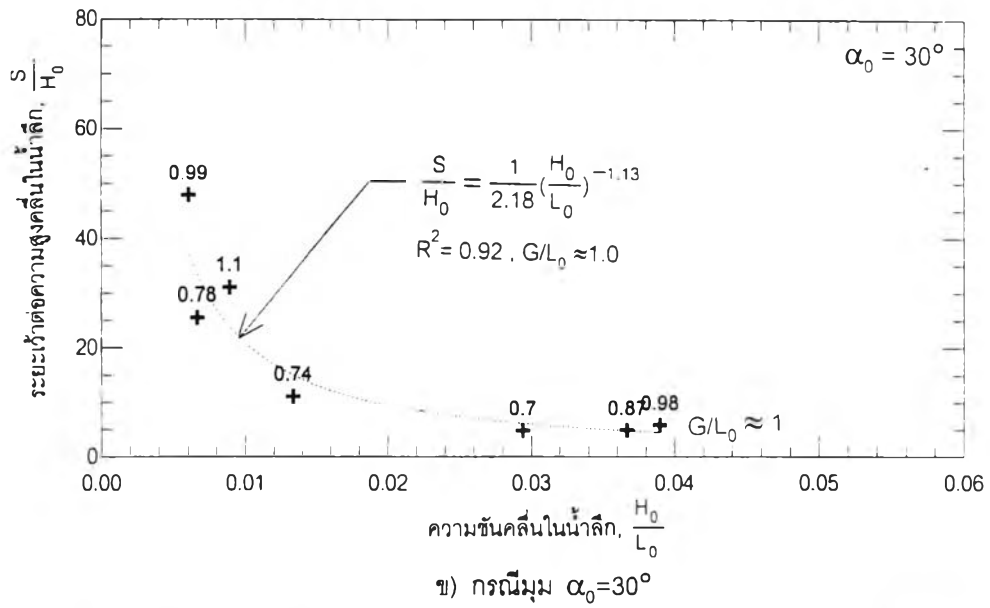
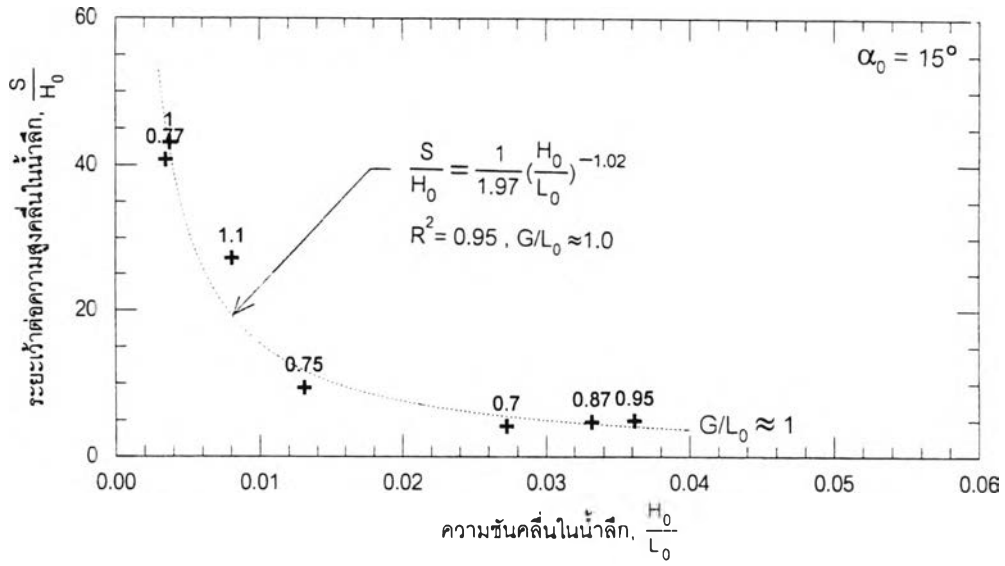


ข) กรณีมุม $\alpha_0=30^\circ$



ค) กรณีมุม $\alpha_0=45^\circ$

รูป 4-30 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับระยะเว้าต่อความสูงคลื่นในน้ำลึก กรณี $\alpha_0=15^\circ, 30^\circ$ และ 45°



รูป 4-31 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับระยะเวลาดูดความสูงคลื่นในน้ำลึก กรณี $\alpha_0 = 15^\circ, 30^\circ$ และ 45°

เมื่อคำนวณความสัมพันธ์ค่าลอการิทึมของค่า ตัวแปร ($\frac{S}{H_0}$ และ $\frac{L_0}{H_0}$) ดังแสดงในรูป 4-32 พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง แสดงว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลเป็นสมการยกกำลังจริง

เนื่องจากกรณีการทดลองสำหรับ $\frac{G}{L_0}$ อื่น ๆ มีข้อมูลการทดลองน้อย การศึกษาจึงตั้งสมมติฐานให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคลื่นและตัวแปรออกแบบมีความสัมพันธ์เป็นสมการเลขยกกำลังเช่นเดียวกับ $\frac{G}{L_0} \approx 1$ โดยให้ค่าคงที่ A เท่ากัน แต่แตกต่างกันที่ค่าคงที่ B_i ซึ่งแต่ละ $(\frac{G}{L_0})_i$ จะมีค่าคงที่

B_i เฉพาะ และสามารถหาได้โดย แทนค่า $\frac{H_0}{L_0}$ และ $\frac{S}{H_0}$ ของข้อมูลทั้งหมดลงในสมการ

$$\text{สำหรับ มุม } 15^\circ \quad \frac{S}{H_0} = \frac{1}{B_i} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-1.02} \quad (4-14)$$

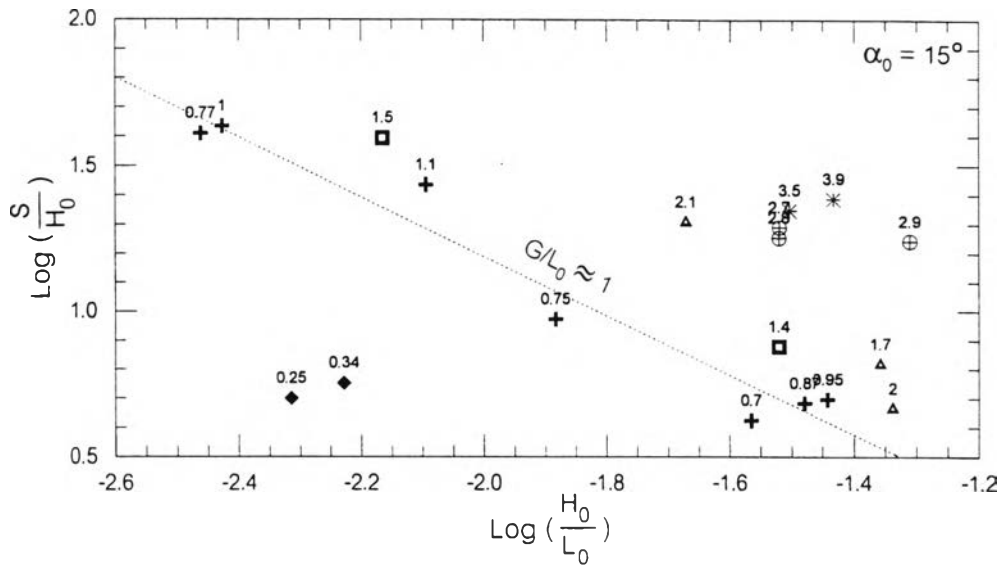
$$\text{มุม } 30^\circ \quad \frac{S}{H_0} = \frac{1}{B_i} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-1.13} \quad (4-15)$$

$$\text{มุม } 45^\circ \quad \frac{S}{H_0} = \frac{1}{B_i} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-1.02} \quad (4-16)$$

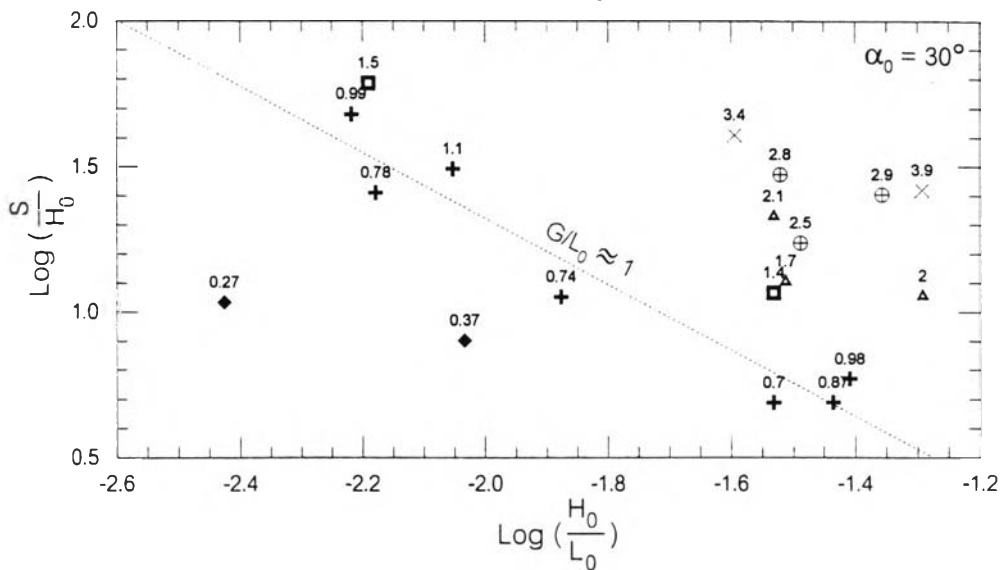
จากการแทนค่าข้อมูลทั้งหมดจะได้ค่า B_i ของแต่ละ $(\frac{G}{L_0})_i$ เมื่อนำไปเขียนเส้นกราฟ ให้ความสัมพันธ์ดังรูป 4-33 พบว่าข้อมูลมีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นสมการลอการิทึม (logarithm) เมื่อนำค่า B_i แทนลงในสมการ (4-14) ถึง (4-16) ที่ $\frac{G}{L_0}$ ต่าง ๆ และนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นในน้ำลึกและอัตราส่วนระหว่างระยะเว้ากับความสูงคลื่นในน้ำลึก ได้ดังรูป 4-34 ซึ่งจากกราฟพบว่าเส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณค่อนข้างใกล้เคียงกับข้อมูลจากการทดลอง

ในการออกแบบ ข้อมูลที่วิศวกรสามารถหาได้คือข้อมูลคลื่นในน้ำลึก และมุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง ในความเป็นจริงแล้วมุมที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่งมักไม่เท่ากับ 15° 30° หรือ 45° ตามการทดลอง ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการประยุกต์ใช้ในการออกแบบจริง จึงเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะคลื่นกับระยะเว้าของชายฝั่งสำหรับ $\frac{G}{L_0}$ ต่าง ๆ ดังรูป 4-35 ซึ่งจะช่วยให้สามารถประมาณค่าตัวแปรออกแบบที่มุมกระทำของคลื่นต่างๆได้สะดวกขึ้น

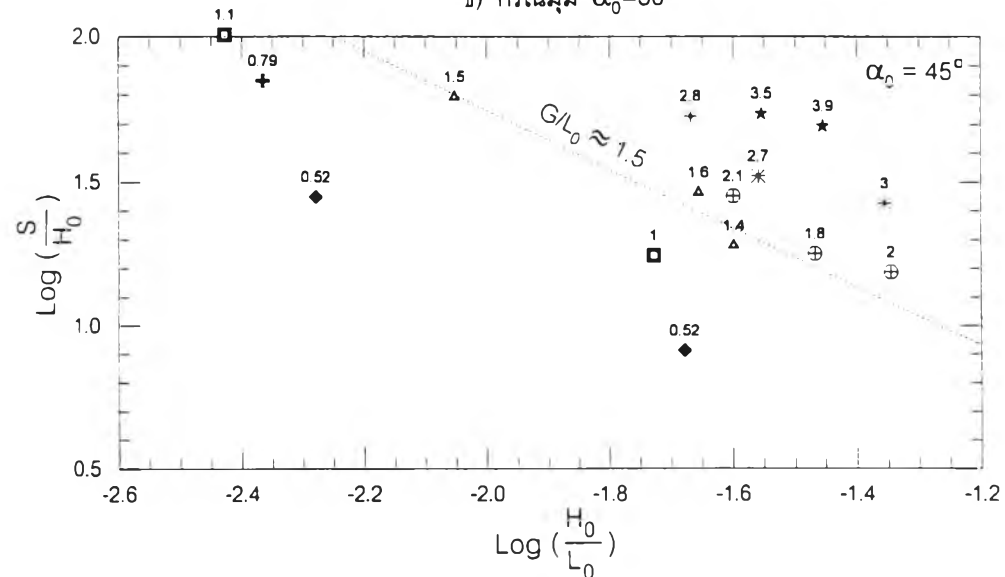
จากรูป 4-35 พบว่าเมื่อ $\frac{G}{L_0}$ มากกว่า 2.5 เส้นกราฟในกรณีมุม 45° มีความผิดปกติ เพราะเส้นกราฟกรณีมุม 45° ควรอยู่เหนือเส้นกราฟกรณีมุม 30° เนื่องจากในการทดลอง เมื่อมุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่งมากขึ้นระยะเว้าที่ $\frac{G}{L_0}$ เดียวกัน ต้องมีค่ามากขึ้น ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้ น่า



ก) กรณีมุม $\alpha_0=15^\circ$

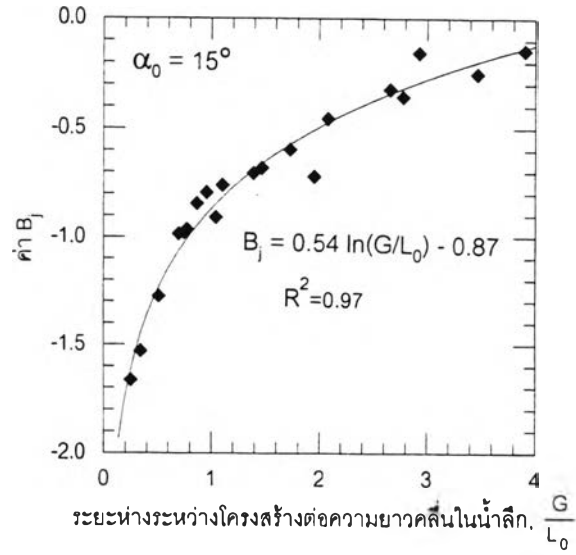


ข) กรณีมุม $\alpha_0=30^\circ$

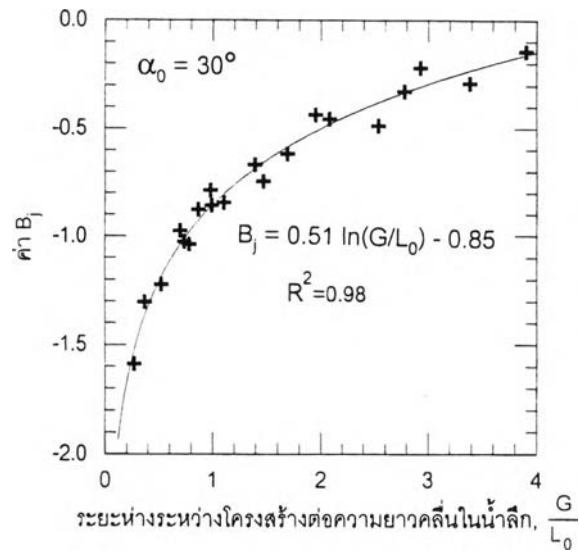


ค) กรณีมุม $\alpha_0=45^\circ$

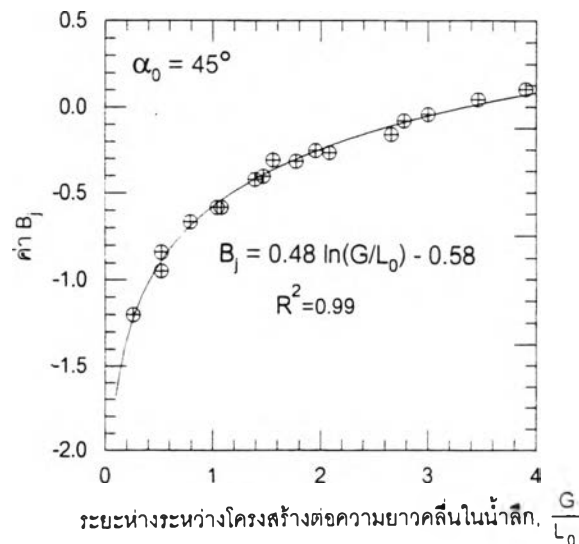
รูป 4-32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Log} \frac{H_0}{L_0}$ กับ $\text{Log} \frac{S}{H_0}$ กรณี $\alpha_0=15^\circ, 30^\circ$ และ 45°



ก) กรณีมุม $\alpha_0 = 15^\circ$

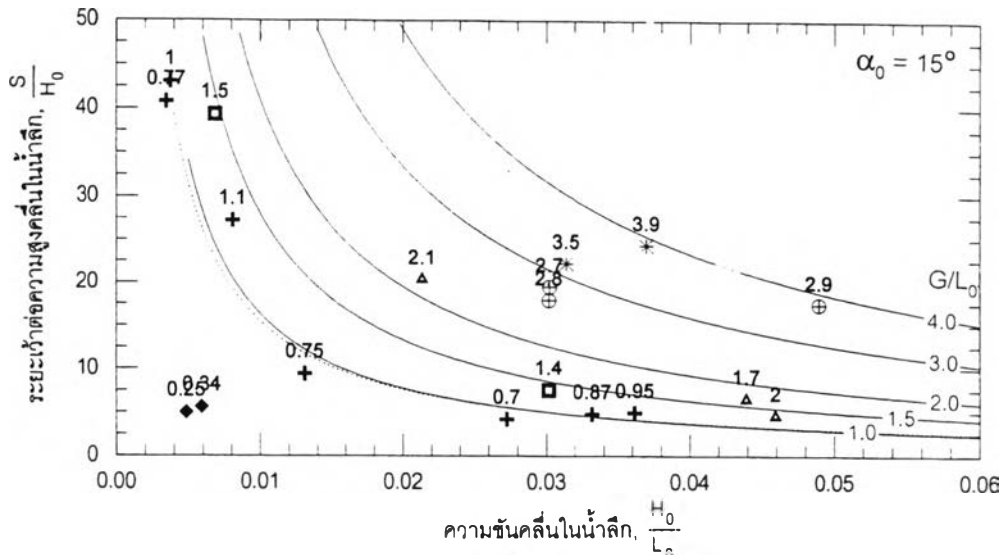


ข) กรณีมุม $\alpha_0 = 30^\circ$

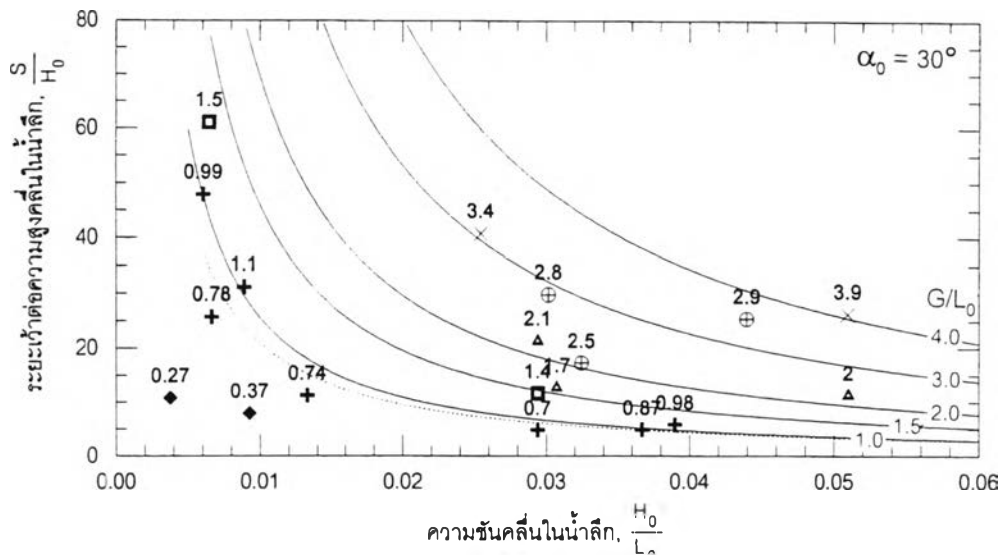


ค) กรณีมุม $\alpha_0 = 45^\circ$

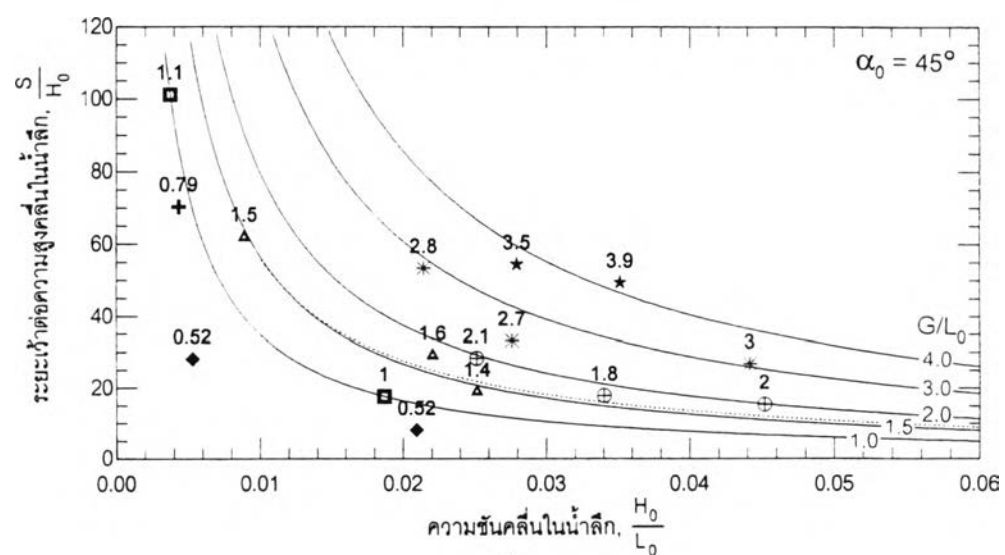
รูป 4-33 กราฟความสัมพันธ์ระยะห่างระหว่างโครงสร้างต่อความยาวคลื่นในน้ำลึกกับค่า B_j กรณี $\alpha_0 = 15^\circ, 30^\circ$ และ 45°



ก) กรณีมุม $\alpha_0=15^\circ$

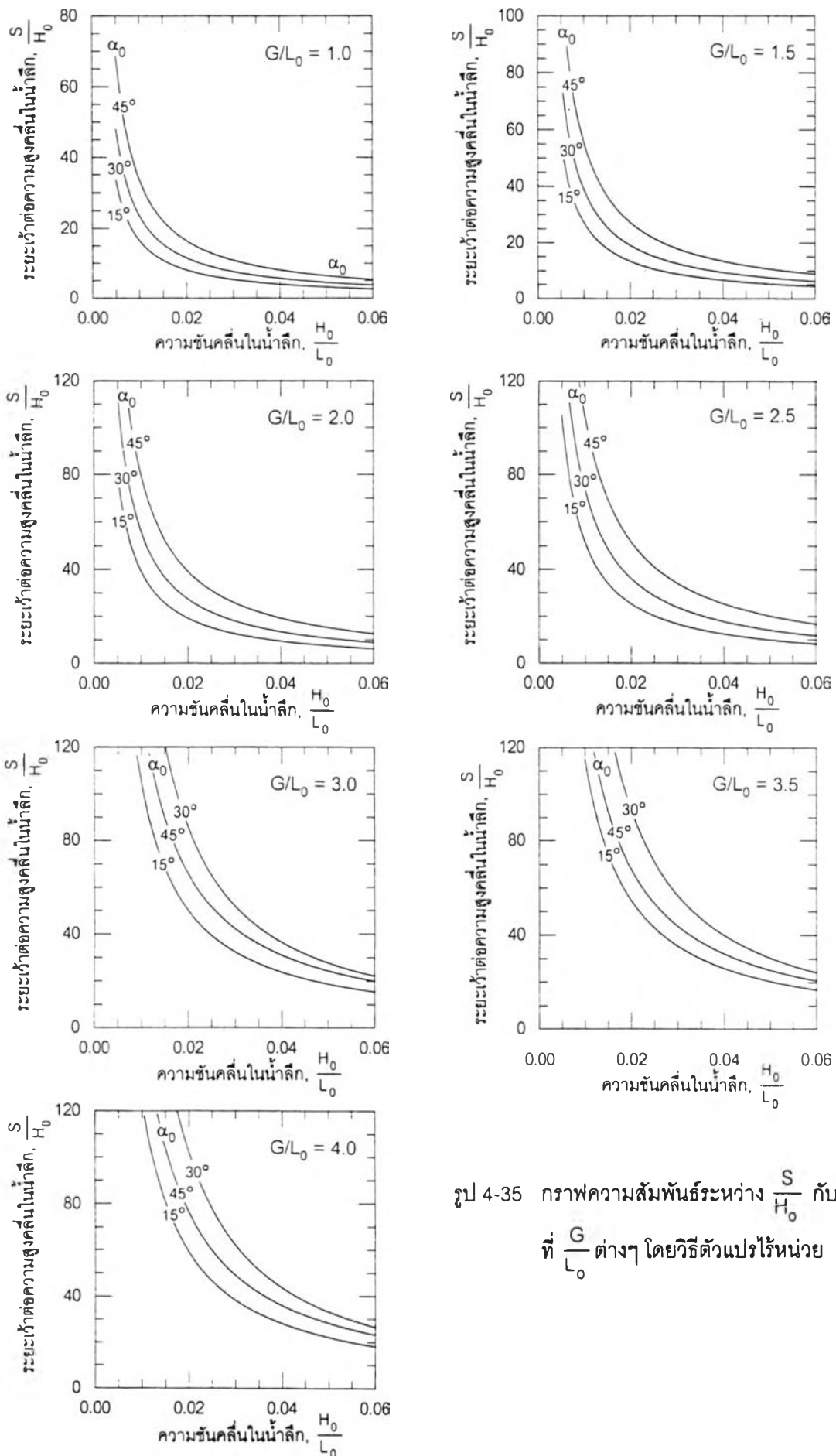


ข) กรณีมุม $\alpha_0=30^\circ$



ค) กรณีมุม $\alpha_0=45^\circ$

รูป 4-34 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับความยาวต่อความสูงคลื่นในน้ำลึก กรณี $\alpha_0=15^\circ, 30^\circ$ และ 45°



รูป 4-35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S}{H_0}$ กับ $\frac{H_0}{L_0}$ ที่ $\frac{G}{L_0}$ ต่างๆ โดยวิธีตัวแปรไร้หน่วย

จะเป็นเพราะข้อมูลที่ใช้คำนวณหาโค้งความสัมพันธ์ในรูป 4-31 มีจำนวนน้อยเกินไป ทำให้ไม่สามารถหาสมการความสัมพันธ์ที่แท้จริงได้

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบกับชายฝั่งสมดุลโดยวิธีทางสถิติ

เมื่อการวิเคราะห์โดยวิธีกราฟไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ของตัวแปรได้สมบูรณ์ และคงเส้นคงวาได้ จึงทดลองใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression, MR) โดยใช้ โปรแกรม SYSTAT เวอร์ชัน 7.0 จากรูป 4-30 เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นในน้ำลึกกับตัวแปรออกแบบเป็นสมการเลขยกกำลัง ดังนั้นตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน แบบเชิงเส้น (linear regression) กำหนดให้

$$\log \frac{H}{L_0}, \log \frac{G}{L_0} \text{ และ } \alpha_0 \text{ เป็นตัวแปรอิสระ (independent)}$$

$$\text{ส่วน } \log \frac{S}{H_0} \text{ เป็นตัวแปรตาม (dependent)}$$

จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน โดยใช้วิธี stepwise เพื่อวิเคราะห์หาอิทธิพลของตัวแปรอิสระ คือ ระยะห่างระหว่างโครงสร้าง ($\frac{G}{L_0}$) ความชันคลื่นในน้ำลึก ($\frac{H_0}{L_0}$) และมุมที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่ง (α_0) ที่มีต่อตัวแปรตาม คือ ระยะเว้าของชายฝั่ง ($\frac{S}{H_0}$) พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อระยะเว้าของชายฝั่งมากที่สุดคือ มุมที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่ง รองลงมาคือระยะห่างระหว่างโครงสร้าง และอันดับสุดท้ายคือ ความชันคลื่น (ดูจากผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ MR รูป 4-36) ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์ $\frac{S}{H_0} = f(\alpha_0, \frac{G}{L_0}, \frac{H_0}{L_0})$ จากผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้สมการความสัมพันธ์ซึ่งมี $R^2 = 0.968$ ดังนี้

$$\log\left(\frac{S}{H_0}\right) = -1.026 \log\left(\frac{H_0}{L_0}\right) + 1.247 \log\left(\frac{G}{L_0}\right) + 0.010 \alpha_0 - 0.989 \quad (4-17)$$

เมื่อนำค่า $\log\left(\frac{S}{H_0}\right)$ ที่ได้จากการแทนค่า ข้อมูล $\frac{H_0}{L_0}$, $\frac{G}{L_0}$ และ α_0 ของการทดลองลงในสมการ 4-17 ไปเปรียบเทียบกับค่า $\log\left(\frac{S}{H_0}\right)$ ที่วัดจากการทดลอง ได้ผลดังรูป 4-37 พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ทำมุม 45° กับแกน X ซึ่งหมายถึงค่าที่ได้จากการคำนวณมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองมาก

Step # 0 R = 0.000 R-Square = 0.000

Effect	Coefficient	Std Error	Std Coef	Tol.	df	F	'P'
In							
1 Constant							
Out							
Part. Corr.							
2 LOGH_L	-0.321	.	.	1.00000	1	6.328	0.015
3 LOGG_LO	0.405	.	.	1.00000	1	10.773	0.002
4 ALPHA_	0.426	.	.	1.00000	1	12.167	0.001

Dependent Variable LOGS_LO

Minimum tolerance for entry into model = 0.000000

Forward stepwise with Alpha-to-Enter=0.150 and Alpha-to-Remove=0.150

Step # 1 R = 0.426 R-Square = 0.181

Term entered: ALPHA_

Effect	Coefficient	Std Error	Std Coef	Tol.	df	F	'P'
In							
1 Constant							
4 ALPHA_	0.012	0.004	0.426	1.00000	1	12.167	0.001
Out							
Part. Corr.							
2 LOGH_L	-0.363	.	.	0.99975	1	8.170	0.006
3 LOGG_LO	0.412	.	.	0.99408	1	11.058	0.002

Step # 2 R = 0.566 R-Square = 0.320

Term entered: LOGG_LO

Effect	Coefficient	Std Error	Std Coef	Tol.	df	F	'P'
In							
1 Constant							
3 LOGG_LO	0.410	0.123	0.374	0.99408	1	11.058	0.002
4 ALPHA_	0.011	0.003	0.397	0.99408	1	12.436	0.001
Out							
Part. Corr.							
2 LOGH_L	-0.976	.	.	0.52726	1	1.078E3	0.000

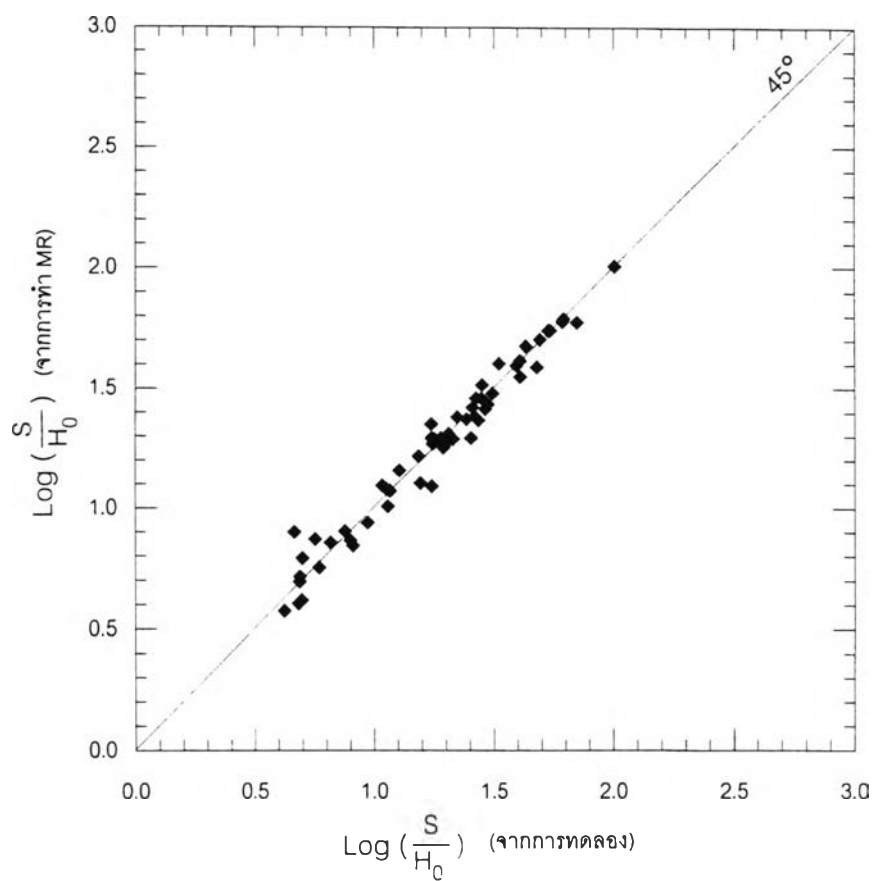
Step # 3 R = 0.984 R-Square = 0.968

Term entered: LOGH_L

Effect	Coefficient	Std Error	Std Coef	Tol.	df	F	'P'
In							
1 Constant							
2 LOGH_L	-1.026	0.031	-1.108	0.52726	1	1.078E3	0.000
3 LOGG_LO	1.246	0.037	1.138	0.52427	1	1.130E3	0.000
4 ALPHA_	0.010	0.001	0.356	0.99150	1	208.601	0.000
Out							
Part. Corr.							
none							

รูป 4-36 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S}{H_0}$, $\frac{H_0}{L_0}$, $\frac{G}{L_0}$ และ α_0

โดยโปรแกรม SYSTAT version 7.0 วิธี Stepwise Regression



รูป 4-37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\text{Log} \frac{S}{H_0}$ จากการทดลอง กับ $\text{Log} \frac{S}{H_0}$ จากการทำ MR

เมื่อนำค่าที่ได้จากสมการไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะคลื่นในน้ำลึกกับตัวแปร ออกแบบ เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ดังรูป 4-38 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าสมการ 4-17 ที่ได้จากการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ คลื่นกับตัวแปรออกแบบสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ได้ ดังนั้นนำไปเขียนเป็นกราฟรูป 4-39 สำหรับใช้ในการพิจารณาถึงผลกระทบของการออกแบบโครงสร้างที่ระยะห่างระหว่างโครงสร้างต่างๆ ที่มีต่อแนวชายฝั่งสมดุล

4.9 การเปรียบเทียบผลการศึกษากับการศึกษาที่ผ่านมา

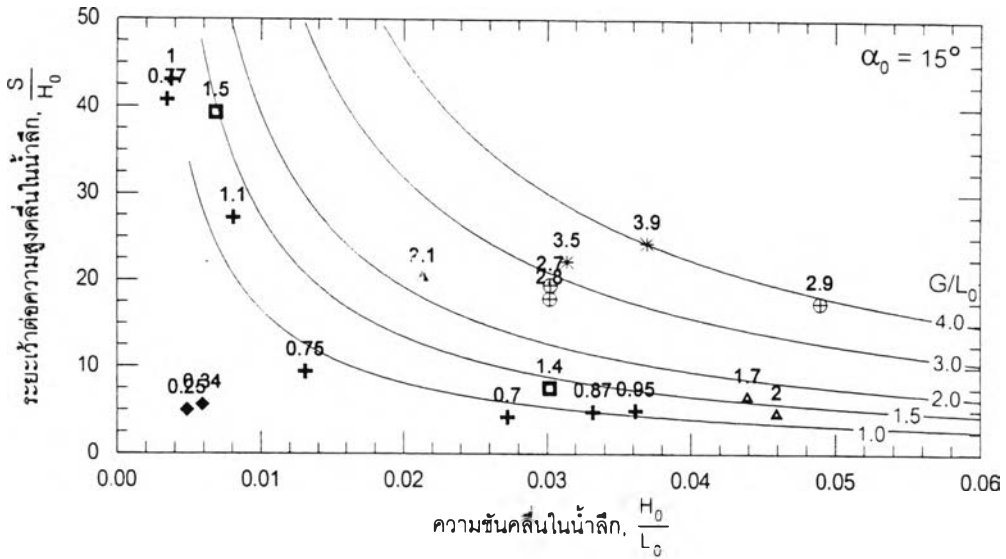
จากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับลักษณะชายฝั่งสมดุล Silverster (1974) ได้เสนอหลักการของ ชายฝั่งสมดุลว่า มีความสัมพันธ์กับทิศทางที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่ง (α_0) และระยะห่างระหว่างหัว หาด (head land, G) โดยสรุปอยู่ในรูปแบบของกราฟฟิก ในรูป 4-40 ซึ่งเมื่อทราบทิศทางของคลื่นและ ระยะห่างระหว่างหัวหาดแล้วสามารถคำนวณหาระยะเว้าของชายฝั่งสมดุลได้โดยไม่นำเอาความชันคลื่น มาร่วมพิจารณาเหมือนการศึกษาในครั้งนี้

เมื่อนำวิธีของ Silverster มาเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในครั้งนี้นางกรณีดังแสดงในตาราง 4-2 และรูป 4-41 พบว่า ในกรณีที่ทิศทางคลื่นทำมุมกับชายฝั่ง 15° และ 30° ค่าที่ได้จากการศึกษาของ Silverster มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง แต่กรณีคลื่นทำมุม 45° กับแนวชายฝั่ง ค่าระยะเว้าที่ได้จาก การศึกษาของ Silverster มีค่าสูงกว่าผลการศึกษาในครั้งนี้

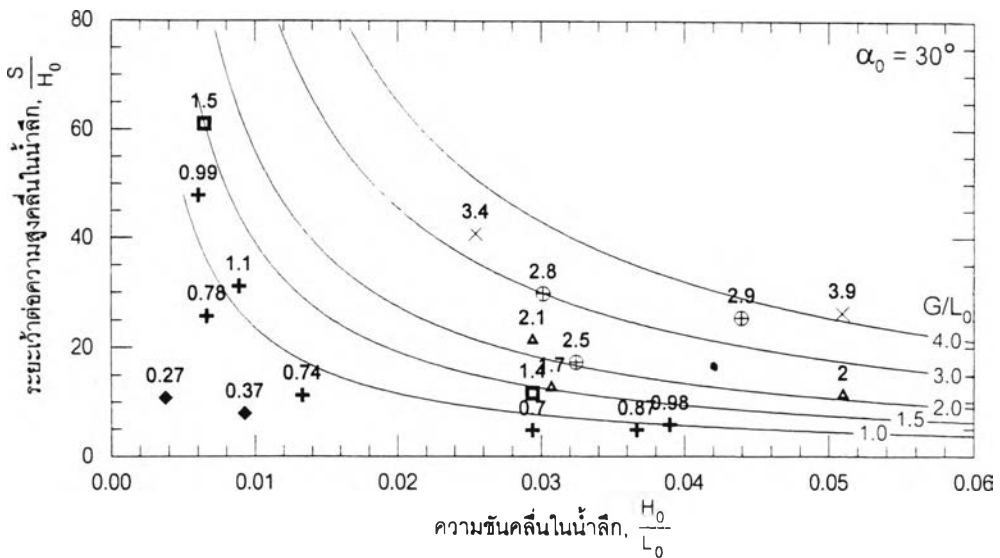
4.10 ความสัมพันธ์ลักษณะคลื่นกับระยะคลื่นแตกตัว

จากการสังเกตการเกิดลักษณะชายฝั่งสมดุล เมื่อมีโครงสร้างคันดักตะกอนแบบที่บ้น้ำเป็น โครงสร้างป้องกันชายฝั่ง ในกรณีไม่มีการเติมทรายด้านเหนือน้ำ พบว่าชายฝั่งจะเข้าสู่สมดุลเมื่อ ความยาวโครงสร้างยาวกว่าแนวคลื่นแตกตัว เนื่องจากถ้าโครงสร้างยาวน้อยกว่าแนวคลื่นแตกตัว จะ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายอ้อมปลายโครงสร้าง ทำให้เกิดการถดถอยของชายฝั่ง จนกระทั่ง แนวคลื่นแตกตัวอยู่ต่ำกว่าปลายโครงสร้าง และไม่เกิดการเคลื่อนที่ของตะกอนตามแนวชายฝั่งอีกต่อไป ชายฝั่งนั้นจึงเข้าสู่สมดุล

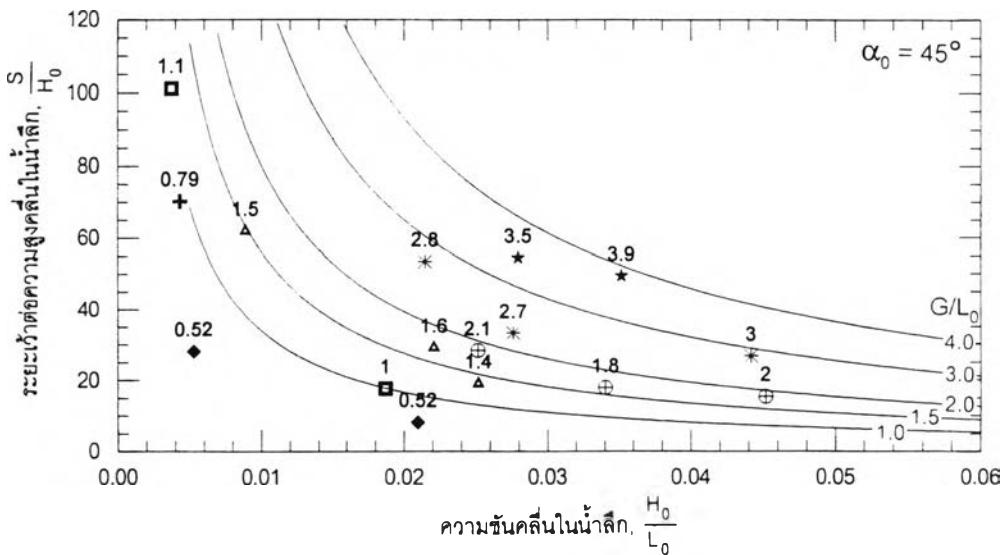
ดังนั้นระยะคลื่นแตกตัว หรือระยะจากแนวระดับน้ำนิ่งถึงแนวคลื่นแตกตัว (a_b) จึงเป็นตัวแปร สำคัญอีกตัวหนึ่งต้องนำไปพิจารณาในการออกแบบความยาวโครงสร้างคันดักตะกอน เมื่อพิจารณา



ก) กรณีมุม $\alpha_0=15^\circ$

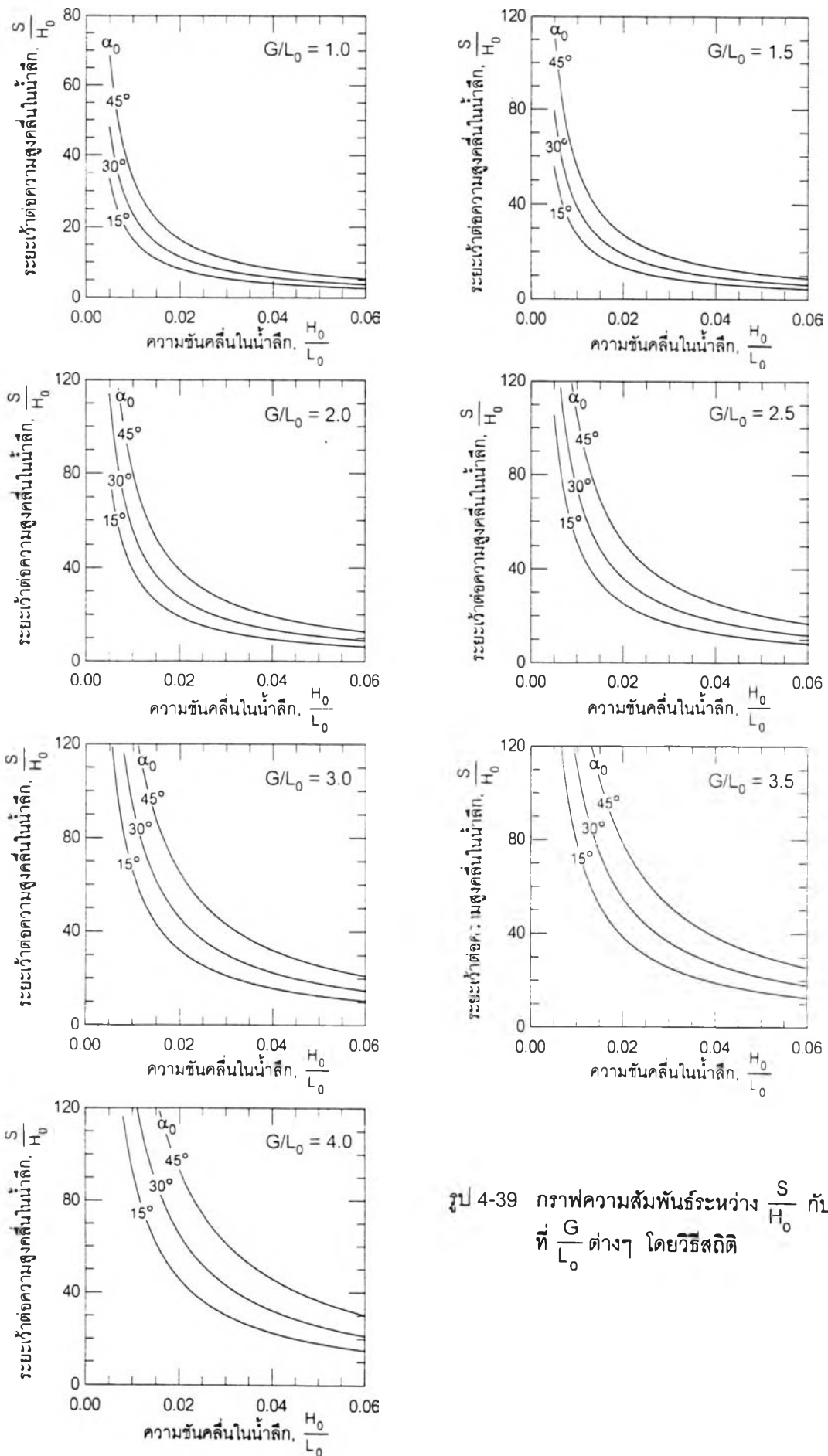


ข) กรณีมุม $\alpha_0=30^\circ$

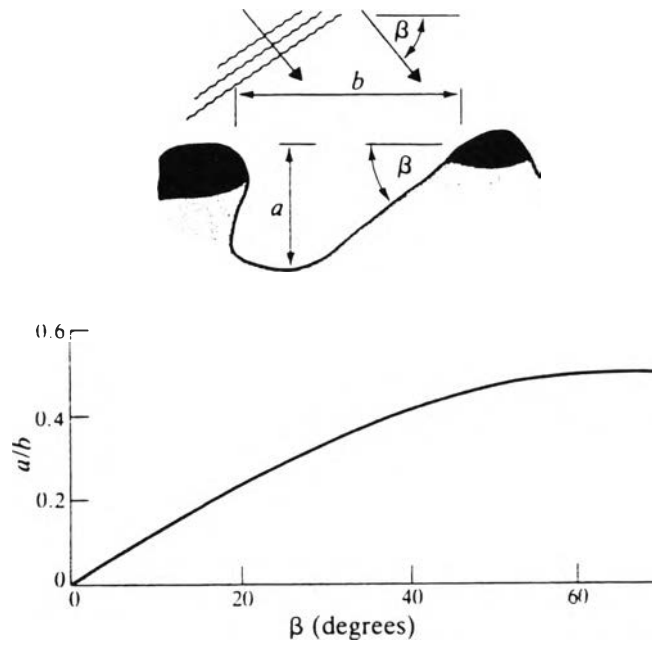


ค) กรณีมุม $\alpha_0=45^\circ$

รูป 4-38 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นกับความยาวคลื่นกับระยะเว้าต่อความสูงคลื่นในน้ำลึก
กรณี $\alpha_0=15^\circ, 30^\circ$ และ 45°



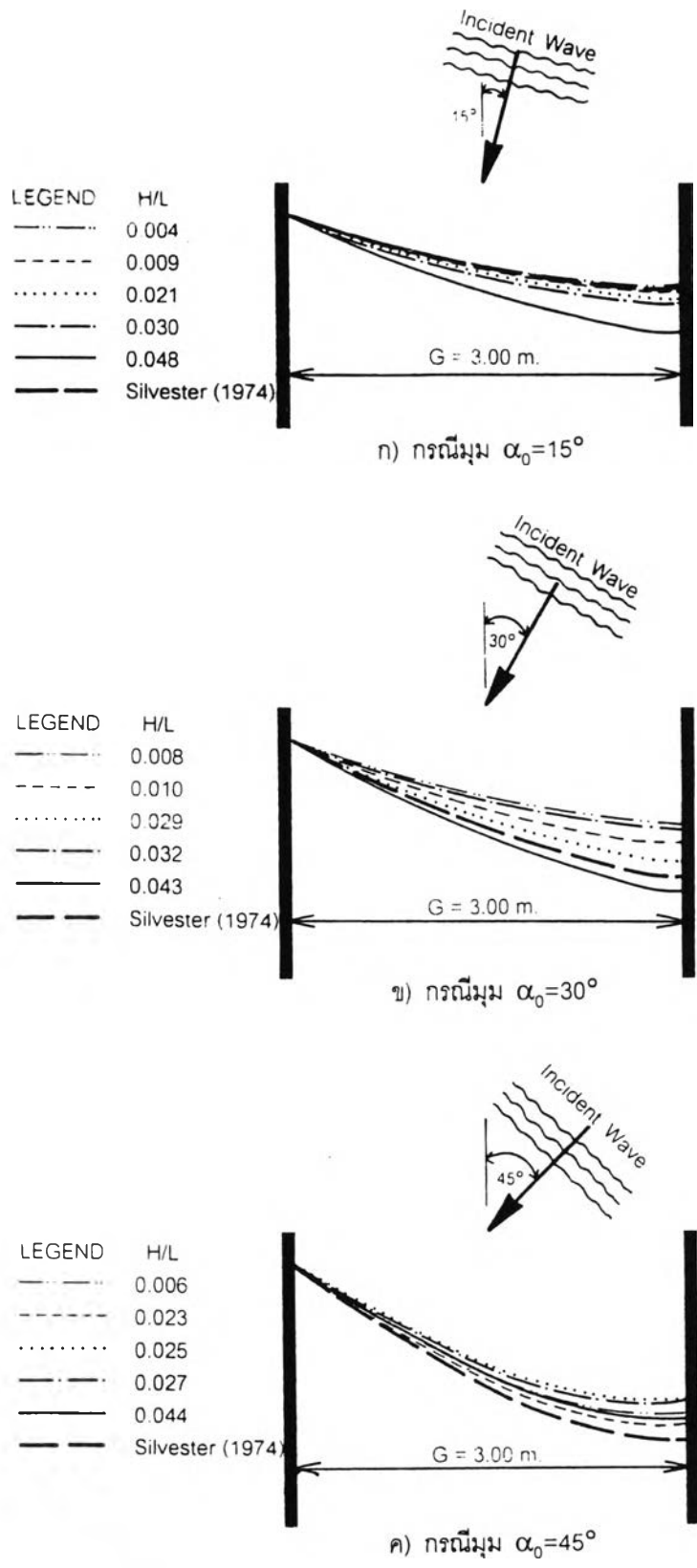
รูป 4-39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{S}{H_0}$ กับ $\frac{H_0}{L_0}$ ที่ $\frac{G}{L_0}$ ต่างๆ โดยวิธีสถิติ



รูป 4-40 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางคลื่นและระยะห่างระหว่างหัวทากับระยะเว้าของชายฝั่งสมดุลงจากการศึกษาของ Silvester (1974)

ตาราง 4-2 ผลการศึกษากระยะเว้าของชายฝั่งสมดุลงเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Silvester (1974) กรณี ระยะห่างระหว่างโครงสร้าง 3.00 เมตร

มุม (α_0)	ระยะห่าง (G) (เมตร)	ระยะเว้าของชายฝั่งสมดุลง, S (เมตร)					
		กรณี ความชันคลื่น					การศึกษาของ Silvester
		A	B	C	D	E	
15°	3	0.529 (H/L=0.004)	0.597 (H/L=0.009)	0.0625 (H/L=0.021)	0.664 (H/L=0.030)	0.0875 (H/L=0.048)	0.534
30°	3	0.640 (H/L=0.008)	0.750 (H/L=0.010)	0.905 (H/L=0.029)	0.664 (H/L=0.032)	1.145 (H/L=0.043)	1.020
45°	3	1.135 (H/L=0.006)	1.233 (H/L=0.023)	1.020 (H/L=0.025)	1.032 (H/L=0.027)	1.175 (H/L=0.044)	1.350



รูป 4-41 การเปรียบเทียบแนวชายฝั่งสมดุลงจากการทดลอง กับการศึกษาของ Silvester (1974)

ความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นในน้ำลึกกับอัตราส่วนระหว่างระยะคลื่นแตกตัว a_b ต่อความสูงคลื่นในน้ำลึก ตามรูป 4-42 แต่ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจน แสดงว่าระยะ a_b ไม่ขึ้นกับความยาวคลื่น แต่เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความชันคลื่นในน้ำลึกกับ อัตราส่วนระหว่างระยะ a_b ต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก ดังรูป 4-43 พบว่ามีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นสมการเอ็กโปเนนเชียล และได้สมการความสัมพันธ์คือ

$$a_b = e^{59.87\left(\frac{H_0}{L_0}\right) - 3.14} \quad (4-18)$$

แสดงว่าระยะ a_b มีความสัมพันธ์กับความสูงคลื่น คือ เมื่อความสูงคลื่นมากขึ้นระยะ a_b จะมากขึ้นเช่นกัน

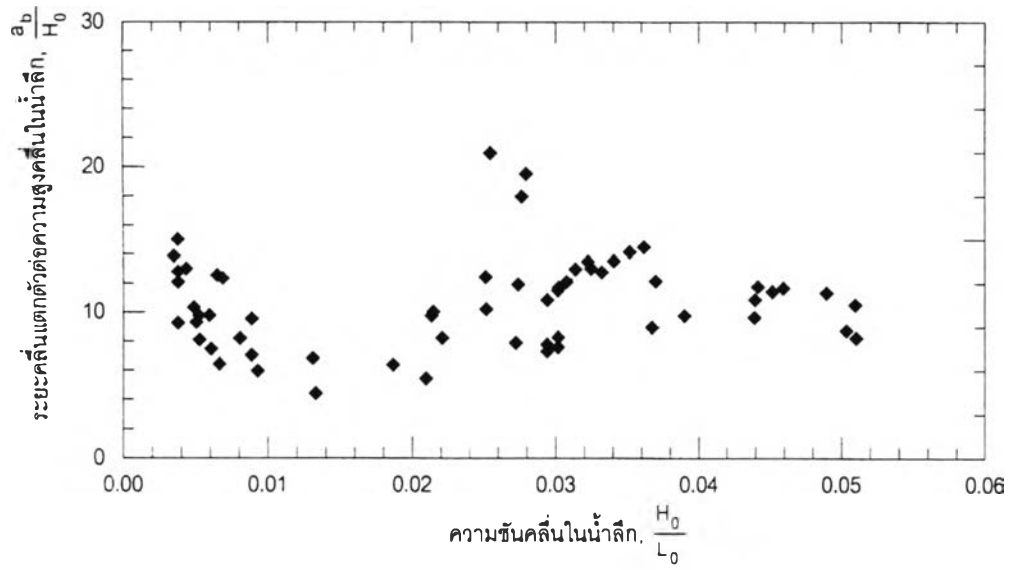
4.11 เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน

ในการศึกษาครั้งนี้ มุ่งเน้นการกำหนดเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน ในส่วนของความยาวของโครงสร้างและระยะห่างระหว่างโครงสร้างคันดักตะกอนแบบที่บ้น้ำและวางตัวตั้งฉากกับชายฝั่ง โดยสรุปจากความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลอง ซึ่งเกณฑ์การออกแบบสำหรับการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

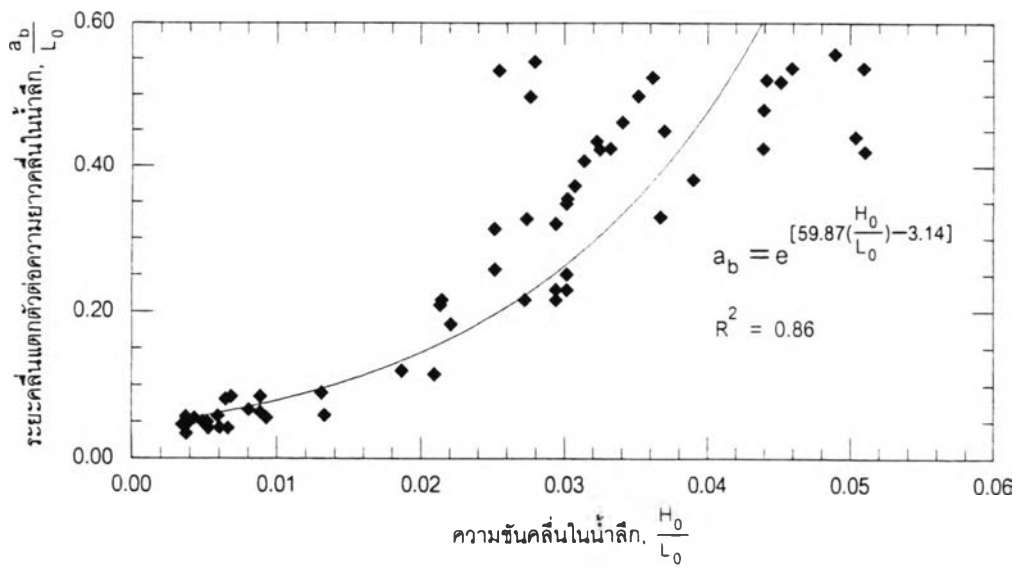
1) ข้อมูลคลื่น ซึ่งแบ่งเป็น มุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง และความชันคลื่นในน้ำลึก (H_0/L_0) เนื่องจากตัวแปรทั้งสองเป็นตัวกำหนดความเร็วและกระแสน้ำตามแนวชายฝั่ง ซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราการเคลื่อนที่และทิศทางของตะกอนตามแนวชายฝั่ง อันเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

2) ระยะห่างระหว่างโครงสร้าง (G) ซึ่งวิศวกรออกแบบต้องเป็นผู้กำหนดโดยการคาดเดา (trial and error) เพื่อหาระยะเว้า (S) ที่สัมพันธ์กับข้อมูลคลื่นและระยะห่าง โดยใช้รูป 4-39 ซึ่งเมื่อทราบข้อมูลคลื่น (H_0/L_0 และ α_0) และกำหนดระยะห่าง G/L_0 จากรูป 4-39 จะได้ค่า S/H_0 นำไปคำนวณค่าระยะเว้าที่เกิดจากคลื่นและระยะห่างระหว่างโครงสร้าง ซึ่งในส่วนนี้เป็นการคาดเดาค่า G/L_0 จนกว่าจะได้ค่าระยะเว้าหรือรูปร่างชายฝั่งสมดุลงที่ต้องการและเหมาะสม

3) ความยาวโครงสร้าง (ℓ) เป็นผลรวมของ 3 ส่วน คือ ระยะเว้าของชายฝั่งสมดุลง (S) ระยะ a_b และระยะเผื่อ (freeboard, x) ดังรูป 4-1 ซึ่งระยะเว้าที่วิศวกรผู้ออกแบบจะเป็นผู้พิจารณา เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับระยะห่างระหว่างโครงสร้าง (ในข้อ 2) สำหรับระยะ a_b ได้จากรูป 4-43 เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับความสูงคลื่นในน้ำลึก สำหรับระยะเผื่อ (x) ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ไม่ได้ทำการ



รูป 4-42 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับอัตราส่วน a_b/H_0



รูป 4-43 กราฟความสัมพันธ์ความชันคลื่นในน้ำลึกกับอัตราส่วน a_b/L_0

ทดลองเพื่อหาค่านี้โดยตรง เนื่องจากต้องใช้เวลาในการทดลองนาน แต่จากการสังเกตในการทดลองพบว่าค่า x นี้ควรมีค่าประมาณ 5-6 เท่าของความลึกน้ำบริเวณคลื่นแตกตัว (d') ซึ่งโดยสรุปแล้วหาความยาวของโครงสร้างยื่นจากแนวชายฝั่งสมดุลง่ายๆที่เหมาะสมได้จาก

$$l = S + a_0 + x$$

สำหรับเกณฑ์การออกแบบระยะห่างระหว่างโครงสร้างและความยาวโครงสร้างคันดักตะกอนที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นเพียงแนวทางการออกแบบเบื้องต้น สำหรับกรณีโครงสร้างแบบที่บ้น้ำ เนื่องจากในการปฏิบัติงานจริง มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับรูปร่างชายฝั่งสมดุลง่ายๆมากกว่าและหลากหลายกว่าเงื่อนไขตัวแปรที่กำหนดในการศึกษาครั้งนี้ ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างป้องกันชายฝั่งจริงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเฉพาะแต่ละโครงการโดยละเอียดอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากแต่ละพื้นที่จะมีลักษณะทางกายภาพ ชีวภาพ และสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน ซึ่งการสร้างหรือเปลี่ยนแปลงลักษณะชายฝั่งเดิมจะเป็นการกระตุ้นหรือทำลายสมดุลของธรรมชาติที่มีอยู่เดิม ดังนั้นต้องศึกษาถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับบริเวณใกล้เคียงด้วย

4.12 ตัวอย่างการออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน

ในหัวข้อนี้ได้นำเอาเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนที่ได้มาออกแบบ โดยมีวิธีการออกแบบดังนี้ คือ

ข้อมูลคลื่น

- ความสูงคลื่นในน้ำลึก (H_0)	2.5	เมตร
- คาบเวลาของคลื่น (T)	8	วินาที
- ทิศทางของคลื่นในน้ำลึกที่กระทำต่อชายฝั่ง (α_0)	37	องศา

ข้อมูลลักษณะชายฝั่ง

- ความชันท้องน้ำ (1 : m)	1 : 15
--------------------------	--------

วิธีการออกแบบ

- 1) คำนวณความยาวคลื่นในน้ำลึก (L_0) โดยใช้ทฤษฎีคลื่นความสูงน้อย เมื่อคาบเวลาของคลื่นมีค่า 8 วินาที

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

$$= \frac{9.81 \times 8^2}{2\pi}$$

$$= 100 \quad \text{เมตร}$$

2) คำนวณความชันคลื่นในน้ำลึก (H_0/L_0)

$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{2.5}{100}$$

$$= 0.025$$

3) จากกราฟรูป 4-44 เมื่อทราบทิศทางของคลื่นที่ทำมุมกับชายฝั่งเท่ากับ 37° และความชันคลื่นในน้ำลึกเท่ากับ 0.025 สามารถหาค่าระยะเว้าของชายฝั่งต่อความยาวคลื่นในน้ำลึก (S/H_0) ที่ระยะห่างระหว่างโครงสร้างต่าง ๆ ดังนี้

G (m.)	G/L_0	S/H_0	S (m.)
100	1.00	11.5	28.75
150	1.50	19.0	47.50
200	2.00	26.0	65.00
250	2.50	35.5	88.75
300	3.00	41.0	102.5
350	3.50	54.0	135.0
400	4.00	60.0	150.0

จากค่าที่ได้พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างโครงสร้างมากขึ้น จะเกิดระยะเว้าของชายฝั่งเพิ่มขึ้น ซึ่งในส่วนี้ วิศวกรผู้ออกแบบต้องเป็นผู้ตัดสินใจเลือกระยะห่างระหว่างโครงสร้างที่เหมาะสมกับความ ต้องการหรือข้อจำกัดของพื้นที่ชายฝั่งของโครงการ เนื่องจากถ้ากำหนดให้ระยะห่างระหว่างชายฝั่งมาก จะเกิดการกัดเซาะด้านท้ายน้ำของโครงสร้างมาก หรือมีระยะเว้ามากนั่นเอง แต่ถ้ากำหนดให้ระยะห่างระหว่างโครงสร้างน้อย ก็ต้องใช้จำนวนของโครงสร้างมากขึ้น ซึ่งต้องใช้ความเหมาะสมทางด้าน เศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม มาประกอบการตัดสินใจด้วย

4) สมมติว่าเลือกกระยะห่างระหว่างโครงสร้าง 300 เมตร และเกิดกระยะเว้าของชายฝั่ง 102.5 เมตร
หาค่า a_b ได้จากรูป 4-44 เมื่อ $H_0/L_0 = 0.025$ ได้ค่าของ $a_b/L_0 = 0.20$

เนื่องจาก $L_0 = 100$ เมตร ดังนั้น $a_b = 20$ เมตร

5) คำนวณหาค่า H_b จากสมการ

$$\begin{aligned} H_b &= \frac{1}{3.3(H_0/L_0)^{1/3}} \\ &= \frac{1}{3.3(0.025)^{1/3}} \\ &= 1.04 \quad \text{เมตร} \end{aligned}$$

คำนวณหาค่า d'_b จากสมการ (4-3) ของ Weggel

$$\frac{d'_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b^2/gT^2)}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} a &= 43.75(1 - e^{-19m}) \\ &= 43.75(1 - e^{-19(0.067)}) \end{aligned}$$

$$a = 31.50$$

และ

$$\begin{aligned} b &= \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5m})} \\ &= \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5(0.067)})} \end{aligned}$$

$$b = 1.28$$

แทนค่า a และ b ลงในสมการ (4-3) จะได้

$$\frac{d'_b}{0.885} = \frac{1}{1.06 - ((23.29 \times 0.885^2)/(9.806 \times 8^2))}$$

$$d'_b = 0.82 \quad \text{เมตร}$$

หาค่าระยะเมื่อ (x) จาก $x \approx (5-6) d_b$ ใช้ $x = 5.5 d_b$

$$x = 5.5(0.97)$$

$$= 4.49 \text{ เมตร ใช้ } x = 4.5 \text{ เมตร}$$

หาความยาวโครงสร้างคั่นดักตะกอนได้จาก

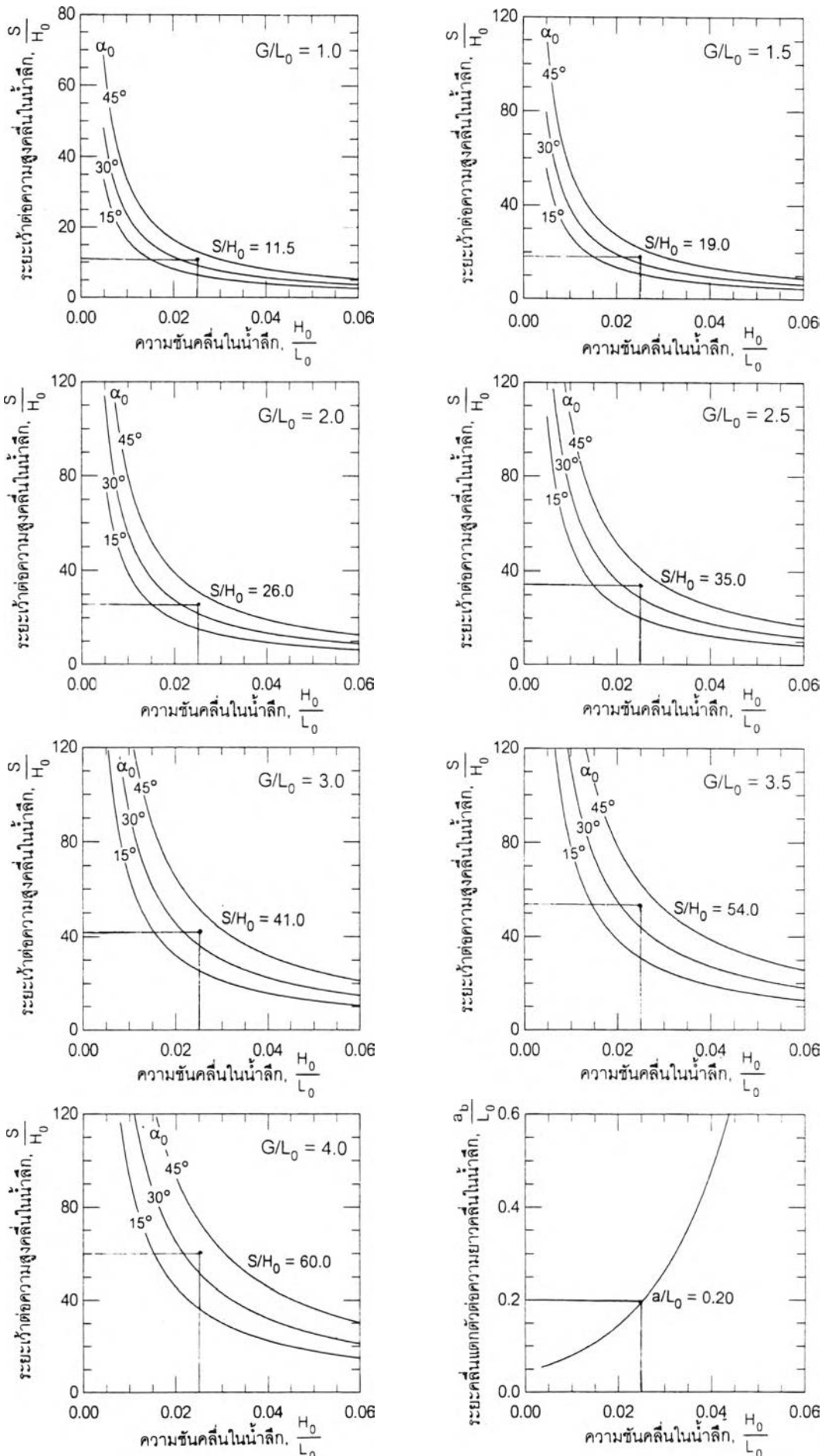
$$l = S + a_b + x$$

$$= 102.5 + 20.0 + 4.5$$

$$l = 127 \text{ เมตร หรือ ประมาณ } 130 \text{ เมตร}$$

นั่นคือ ถ้าต้องการใช้โครงสร้างคั่นดักตะกอนห่างกัน 300 เมตร โดยให้มีระยะเว้า ไม่เกิน 102.5 เมตร จะต้องใช้โครงสร้างคั่นดักตะกอนที่มีความยาวโครงสร้างไม่น้อยกว่า 130 เมตร

สำหรับค่าระยะเว้าที่ได้นี้เป็นเพียงค่าโดยประมาณเท่านั้น เนื่องจากคลื่นทะเลจริงมีความผันแปรของขนาด และทิศทางตลอดเวลา รวมทั้งแต่ละพื้นที่มีลักษณะชายฝั่ง (beach characteristic) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นในขั้นตอนการออกแบบรายละเอียดควรมีการศึกษาในรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะชายฝั่ง สภาพคลื่นทะเล และผลกระทบสิ่งแวดล้อมเฉพาะโครงการ ก่อนการก่อสร้างจริงอีกครั้งหนึ่ง



รูป 4-44 ตัวอย่างการใช้กราฟเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันตักตะกอน