บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 แบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอนและสภาพชายฝั่งทะเล

1) การศึกษาเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนกรณีชายฝั่งสมดุล โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพครั้งนี้ ทำการทดลองในแบบจำลองแอ่งคลื่น ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล (Hydraulic and Coastal Model Lab) ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) แบบจำลองประกอบด้วยชายฝั่งทะเลเป็นทรายละเอียด และโครงสร้างคันดักตะกอนเป็นแผ่นไม้ทึบน้ำวางตัวตั้งฉากกับแนวชายฝั่งซึ่งทำมุม 15°, 30° และ 45° กับแนวสันคลื่น

3) คลื่นในแบบจำลองสร้างด้วยเครื่องกำเนิดคลื่นธรรมดา (regular wave generator) และบันทึกขนาดคลื่นด้วยเครื่องมือวัดความสูงคลื่น ส่วนผลการทดลองใช้เครื่องมือวัดระดับ ในการวัดการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

5.2 การทดลองด้วยแบบจำลองทางกายภาพ

จากการใช้แบบจำลองทางกายภาพในการศึกษาเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนพบว่า

1) แบบจำลองทางกายภาพสามารถจำลองและผันแปรลักษณะคลื่นและแนวชายฝั่งเริ่มต้นได้อย่างเป็นระบบ ช่วยให้สามารถศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมชายฝั่งทะเลได้ง่ายขึ้น แต่ผลที่ได้ยังไม่สามารถสรุปว่าในสภาพชายฝั่งจริงจะต้องเกิดพฤติกรรมเช่นเดียวกับในแบบจำลอง เนื่องจากลักษณะคลื่นและสภาพชายฝั่งจริงมีความสลับซับซ้อนเกินกว่าจะสามารถจำลองลงในแบบจำลองได้

2) การศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพนี้ ต้องเฝ้าติดตามพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งอย่างต่อเนื่อง จนกว่าชายฝั่งเข้าสู่สมดุล ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษานานประมาณ 20 – 30 ชั่วโมง ต่อการทดลอง 1 ครั้ง รวมการทดลองทั้งหมด 60 กรณี ที่ทำการศึกษา

3) ในการศึกษาต้องใช้แรงงานทั้งแรงงานมีฝีมือ และแรงงานกรรมกร เนื่องจากต้องมีการขนทรายจำนวนมากเพื่อปรับเปลี่ยนแนวชายฝั่ง และปรับแต่งความชันให้ได้ตามต้องการ นอกจากนี้ยังมีงานบันทึกข้อมูลการทดลอง ซึ่งข้อมูลที่ต้องจดบันทึกก็มีจำนวนมาก ถ้ามีแรงงานมากจะช่วยลดระยะเวลาในการศึกษาลงได้

4) งบประมาณหรือค่าใช้จ่ายในการศึกษาด้วยวิธีนี้จะสูง เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายทั้งในด้านอุปกรณ์ในการทดลอง เช่น เครื่องกำเนิดคลื่น อุปกรณ์การวัดคลื่น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีราคาสูง รวมถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทดลอง เช่น ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า ในส่วนนี้ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำได้ให้การสนับสนุนอยู่ นอกจากนี้การเก็บข้อมูล ต้องใช้ อุปกรณ์ อิเลคทรอนิคส์ กล้องถ่ายรูป เทปบันทึกภาพและคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการศึกษาครั้งนี้ประมาณ 220,000 บาท ดังนั้นการศึกษาด้วยแบบจำลองทางกายภาพจึงมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการศึกษาด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์มาก

5.3 **แนวชายฝั่งสมดุล**

จากการศึกษาแนวชายฝั่งสมดุลในแบบจำลองพบว่า รูปร่างแนวชายฝั่งสมดุลนั้นจะมีแนวโน้มขนานกับหน้าคลื่น (wave front) ซึ่งหน้าคลื่นจะได้รับอิทธิพลของการกระจายของคลื่นเมื่อผ่านโครงสร้าง และได้รับอิทธิพลจากน้ำตื้นอีกด้วย เมื่อชายฝั่งสมดุลจะไม่มีการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายตามแนวชายฝั่งอีกต่อไป แต่ยังมีการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายในแนวตั้งฉากกับชายฝั่งอันเนื่องจากอิทธิพลของคลื่นอยู่ ซึ่งตะกอนในลักษณะนี้ไม่ทำให้แนวชายฝั่งสมดุลเปลี่ยนไป

5.4 **ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบกับแนวชายฝั่งสมดุลในการทดลอง**

1) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อรูปร่างแนวชายฝั่งสมดุลนั้นมีหลายปัจจัย เช่น
- ลักษณะทางกายภาพของชายฝั่ง เช่น สภาพภูมิประเทศ ความลาดชันชายฝั่ง
- คุณสมบัติของตะกอน เช่น ลักษณะของตะกอน
- คุณสมบัติของคลื่น เช่น ความสูงคลื่น ความยาวคลื่น และทิศทางของคลื่นที่กระทำต่อแนวชายฝั่ง
- ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้าง เช่น ชนิดของโครงสร้าง ความยาว ความสูง ระยะห่างระหว่างโครงสร้าง การวางตัวของโครงสร้าง และรูปแบบของโครงสร้าง

ในการศึกษาวิทยานิพนธ์ครั้งนี้พิจารณาศึกษาเพียง 3 ปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อแนวชายฝั่งสมดุล คือ ขนาดของคลื่น ทิศทางของคลื่น และระยะห่างระหว่างโครงสร้าง เนื่องจากระยะเวลาในการวิจัยมีจำกัด

2) ในการศึกษาที่ทดลองติดตั้งแบบจำลองโครงสร้างคันดักตะกอนแบบทึบน้ำ วางตัวตั้งฉากกับแนวชายฝั่ง โดยมีระยะห่างระหว่างโครงสร้างผันแปรระหว่าง 1-4 เมตร และผันแปรความชันคลื่นที่กระทำต่อแนวชายฝั่ง ในช่วง 0.002-0.05 ส่วนมุมที่กระทำต่อแนวชายฝั่งผันแปร 15° 30° และ45° และทำการทดลองโดยไม่มีการเติมตะกอนทรายด้านเหนือน้ำ รวมกรณีการทดลองทั้งสิ้น 60 กรณี ซึ่งจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบและตัวแปรคลื่นที่สัมพันธ์กับแนวชายฝั่งสมดุลในการทดลองโดยวิธี Stepwise Regression พบว่า

- การกัดเซาะชายฝั่งและรูปร่างแนวชายฝั่งสมดุลเป็นผลมาจากมุมที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่งเป็นสำคัญ

- ระยะห่างระหว่างโครงสร้างเป็นตัวแปรรอง ที่มีผลต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุล

- ความชันคลื่นหรือขนาดของคลื่นที่อิทธิพลต่อรูปร่างชายฝั่งสมดุลน้อยที่สุด แต่มีผลกระทบต่อความลาดชันชายฝั่งและระยะคลื่นแตกตัว

และสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรออกแบบและตัวแปรสภาวการณ์คลื่นกับแนวชายฝั่งสมดุลได้เป็น

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

เมื่อ S คือ ระยะเว้าของชายฝั่งสมดุล หน่วย เมตร

H_0 คือ ความสูงคลื่นในน้ำลึก หน่วย เมตร

L_0 คือ ความยาวคลื่นในน้ำลึก หน่วย เมตร

G คือ ระยะห่างระหว่างเขื่อนกันคลื่น หน่วย เมตร

α_0 คือ มุมที่แนวคลื่นกระทำต่อชายฝั่ง หน่วย องศา

5.5 **การกำหนดเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน**

การกำหนดเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนจากการศึกษาด้วยแบบจำลองทางกายภาพนั้น ต้องอาศัยความสัมพันธ์ของตัวแปรออกแบบกับรูปร่างชายฝั่งสมดุลที่ได้จากการทดลองที่ทำให้อยู่ในรูปตัวแปรไร้หน่วย เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการวางแผนงานออกแบบจริงได้ จากการศึกษาพบว่า

1) ฟังก์ชันในการออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนนั้นแบ่งเป็น 6 แปรหลัก คือ ความยาวของโครงสร้าง ความสูงของโครงสร้าง ระยะห่างระหว่างโครงสร้าง มุมที่โครงสร้างกระทำต่อชายหาด ความสามารถให้น้ำซึมผ่านโครงสร้างได้ และการออกแบบรูปแบบพิเศษ สำหรับการศึกษาครั้งนี้สามารถกำหนดเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน ในส่วนของการออกแบบความยาวโครงสร้าง (ℓ) และระยะห่างระหว่างโครงสร้าง (G) ที่เหมาะสมเท่านั้น

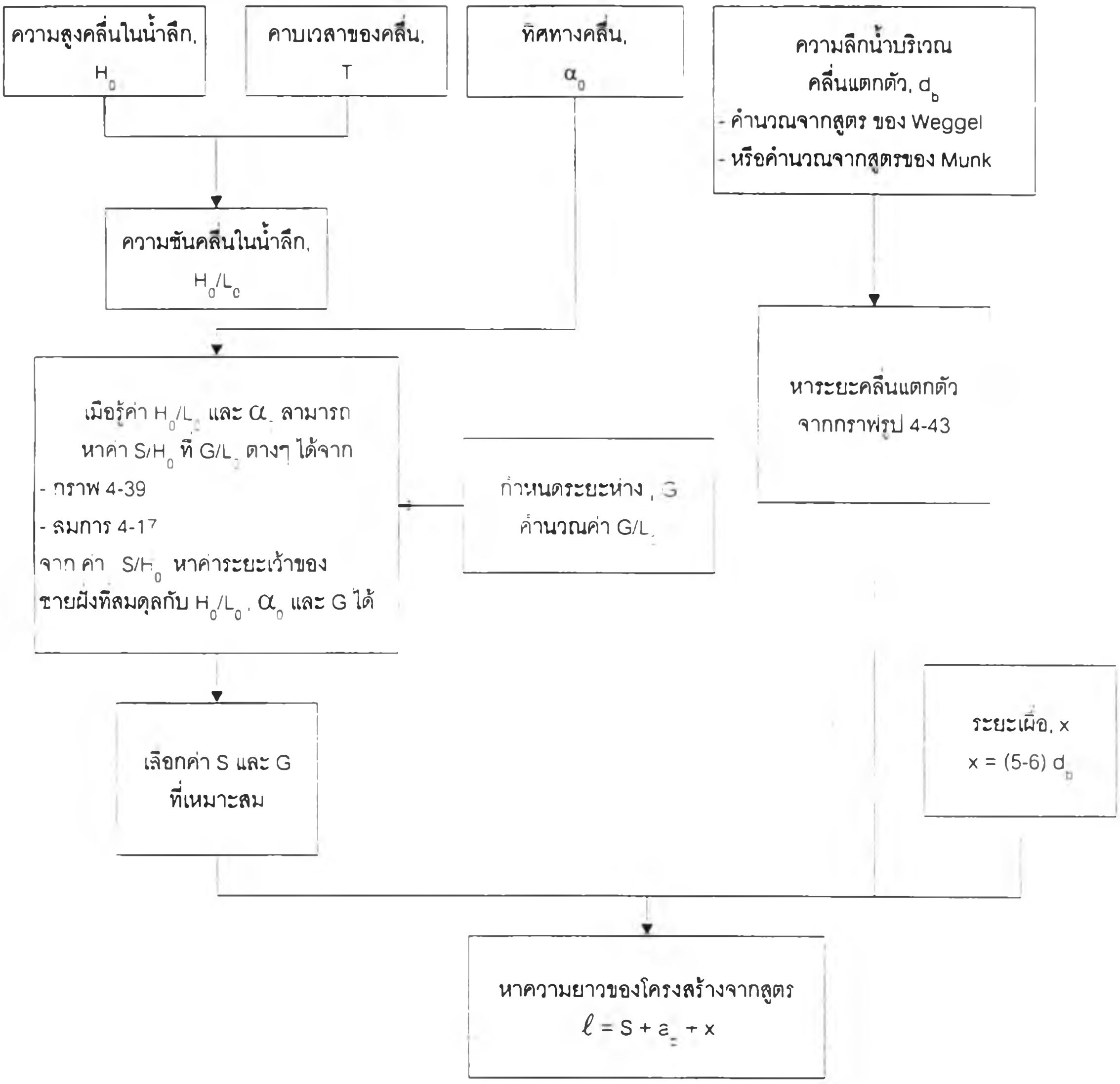
2) เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถใช้ได้ดีในช่วงความชันคลื่น ประมาณ 0.002 – 0.05 และมุมที่คลื่นกระทำต่อแนวชายฝั่งอยู่ในช่วง 15°– 45° เท่านั้น

3) ในการวางแผนออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอน เมื่อทราบความชันคลื่นในน้ำลึก (H_0/L_0) และมุมที่คลื่นกระทำต่อชายฝั่ง (α_0) สามารถหาระยะเว้าหรือระยะกัดเซาะของชายฝั่ง (S) เมื่อกำหนดระยะห่างระหว่างโครงสร้างได้ นอกจากนี้ยังสามารถหาความยาวโครงสร้างคันดักตะกอน (ℓ) ที่เหมาะสม สำหรับโครงสร้างคันดักตะกอนแบบทึบน้ำและวางตัวในแนวตั้งฉากกับแนวชายฝั่งได้ โดยมีขั้นตอนในการใช้เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ แสดงในรูป 5-1

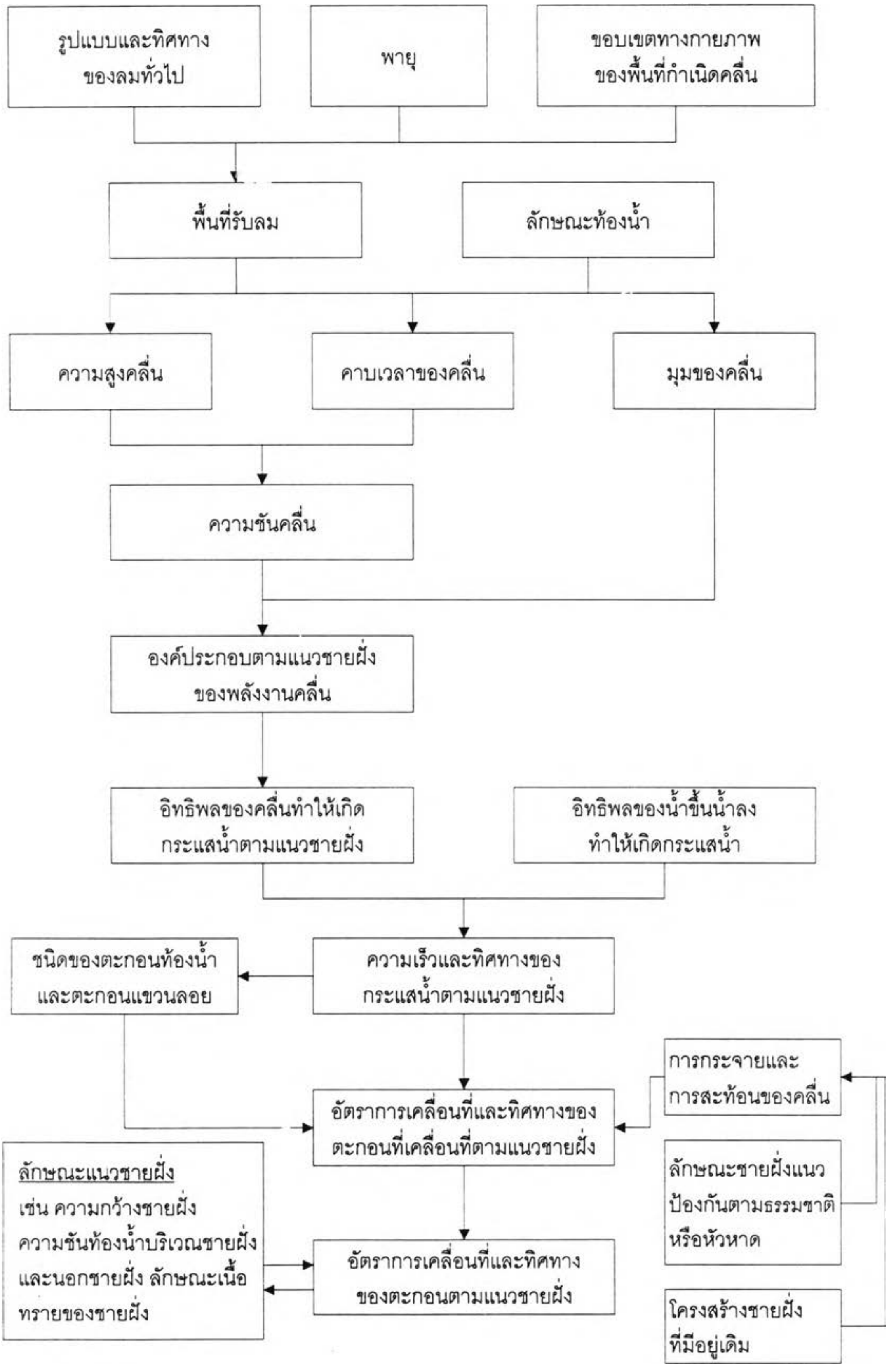
4) จากการเปรียบเทียบผลการศึกษาแนวชายฝั่งสมดุลที่ได้จากการทดลองกับการศึกษาของ Silvester (1974) พบว่าลักษณะแนวชายฝั่งสมดุลที่ได้จากการศึกษาของ Silvester นั้น ใกล้เคียงกับผลการศึกษาในครั้งนี้เฉพาะกรณีทิศทางคลื่นทำมุมกับชายฝั่ง 15° และ 30° เท่านั้น แต่ในกรณีที่ทิศทางคลื่นทำมุมกับชายฝั่ง 45° ปรากฏว่าลักษณะแนวชายฝั่งสมดุลของ Silvester มีค่าสูงกว่าผลการศึกษาในครั้งนี้

5.6 วิศวกรรมชายฝั่งกับงานป้องกันชายฝั่งทะเล

งานวิศวกรรมชายฝั่งทะเล มีความสัมพันธ์กับ พื้นดิน ทะเล และอากาศ ซึ่งจะมาบรรจบกันที่บริเวณชายฝั่ง ดังนั้นวิศวกรชายฝั่งทะเลต้องมีความรู้และความเข้าใจ ในสาขาวิชาด้านตะกอน ภูมิศาสตร์กายภาพ ฟิสิกส์ วิศวกรรมโครงสร้างและชลศาสตร์ ภูมิศาสตร์ ธรณีศาสตร์ งานของวิศวกรชายฝั่งจึงมีความยุ่งยาก เนื่องจากมีปัจจัยมากมาย ที่มีอิทธิพลต่อความมั่นคงของชายหาด ดังแสดงในรูป 5-2 และปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้บางส่วนไม่สามารถวัดข้อมูลได้ครบถ้วน เป็นผลให้วิศวกรชายฝั่งต้องอาศัยประสบการณ์ซึ่งได้จากสนามและการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับเกณฑ์การออกแบบเบื้องต้นมาเป็นพื้นฐานในการตัดสินใจวางแผนและออกแบบงานป้องกันชายฝั่งเฉพาะแต่ละพื้นที่



รูป 5-1 ขั้นตอนการใช้เกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนที่ได้จากการศึกษา



รูป 5-2 **ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อแนวชายฝั่ง**

5.7 ข้อเสนอแนะ

1) การศึกษาเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนนี้ ได้พิจารณาตัวแปรด้านชลศาสตร์เฉพาะความสูงคลื่น ความยาวคลื่น คาบเวลาคลื่น และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเท่านั้น เนื่องจากมีระยะเวลาในการศึกษาจำกัด ซึ่งยังมีอีกหลายตัวแปรที่น่าจะมีอิทธิพลต่อรูปร่างชายฝั่งหรือการกัดเซาะ เช่น ขนาดของตะกอน ความลาดชันท้องน้ำ ปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ตามแนวชายฝั่ง เป็นสิ่งที่ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเช่นกัน

2) การศึกษาครั้งนี้สามารถกำหนดเกณฑ์การออกแบบเฉพาะฟังก์ชันความยาวโครงสร้างและระยะห่างระหว่างโครงสร้างเท่านั้น จากการศึกษาคู่มือการป้องกันชายฝั่ง (Shore Protection Manual, 1984) ของศูนย์วิจัยวิศวกรรมชายฝั่ง (Coastal Engineering Research Center) กองทัพบกสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นที่ยอมรับจากทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันชายฝั่ง ยังไม่พบว่ามีการศึกษาถึงผลกระทบของ โครงสร้างคันดักตะกอนแบบไม่ทึบน้ำ หรือการวางตัวของโครงสร้างในแนวไม่ตั้งฉาก แม้กระทั่งความสูงโครงสร้าง ที่มีต่อแนวชายฝั่งสมดุลหรือกำหนดเป็นเกณฑ์การออกแบบที่แน่นอน ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นเรื่องที่ควรมีการศึกษาและวิจัยต่อไปเช่นกัน

3) ปัจจัยหรือตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในสนามจริงนั้นมีมากมาย และแตกต่างกันตามสภาพภูมิประเทศ และภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ ซึ่งเกณฑ์การออกแบบโครงสร้างคันดักตะกอนเพื่อใช้ในงานออกแบบป้องกันชายฝั่งที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้เป็นเพียงแนวทางในการออกแบบเบื้องต้นเท่านั้น ในการออกแบบและประเมินการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งจริง รวมถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ต้องมีการศึกษาในขั้นรายละเอียดเฉพาะแต่ละโครงการอีกครั้งหนึ่ง และอาจจำเป็นต้องมีการศึกษาโดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์เฉพาะกรณีนั้น ๆ มาเสริม ช่วยในการออกแบบ

4) ในการศึกษาพฤติกรรมและกระบวนการชายฝั่งทะเล รวมทั้งการออกแบบโครงสร้างป้องกันชายฝั่งในปัจจุบัน มีแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ช่วยในการวิเคราะห์มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้แบบจำลองทางกายภาพในการศึกษาก็ยังเป็นสิ่งที่จำเป็นในการศึกษา เพราะพฤติกรรมของน้ำหรือคลื่นเป็นสิ่งที่มีความสลับซับซ้อนมาก บางครั้งไม่สามารถจำลองพฤติกรรมการไหลโดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนั้นศาสตร์ที่เกี่ยวกับใช้แบบจำลองทางกายภาพจึงต้องมีการค้นคว้าและสืบทอด รวมทั้งต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ เครื่องมือ รวมถึงเทคนิคต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป เพื่อช่วยให้การออกแบบก่อสร้างเกิดประสิทธิผลมากที่สุด

5) การศึกษาแบบจำลองทางกายภาพมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงมาก เช่น อุปกรณ์เครื่องมือในการทดลอง (ซึ่งมีราคาสูง ผู้ศึกษาต้องมีความระมัดระวังในการใช้ให้มาก) และค่าน้ำค่าไฟฟ้า ที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ นอกจากส่วนนี้แล้ว ยังมีค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูล เช่น ค่าฟิล์ม ค่าล้าง-อัดรูป ค่าเทปบันทึกภาพ ฯลฯ ก็มีค่าใช้จ่ายสูงเช่นกัน ซึ่งในส่วนนี้ผู้ศึกษาต้องเป็นผู้รับภาระ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยโดยใช้แบบจำลองทางกายภาพ ต้องมีความพร้อม และมีศักยภาพที่จะรับภาระในส่วนนี้ด้วย สำหรับงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แสดงดังตาราง 5-1

ตาราง 5-1 งบประมาณที่ใช้ในการศึกษา

รายการ	เป็นเงิน (บาท)
1. ค่าหนังสือ และสำเนาเอกสารต่าง ๆ	15,000
2. ค่าใช้จ่ายในการทำแบบจำลอง	3,000
3. ค่าอุปกรณ์เครื่องเขียน และกระดาษ	5,000
4. ค่าใช้จ่ายในการเดินแบบจำลอง	80,000[1]
5. เครื่องมือ และอุปกรณ์การเก็บข้อมูล	100,000[1]
6. ค่าจัดทำวิทยานิพนธ์	7,000
7. เบ็ดเตล็ด	10,000
รวมทั้งสิ้น	220,000

หมายเหตุ [1] สนับสนุนโดยงบประมาณประจำปี ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6) นอกจากศักยภาพในด้านการเงินแล้ว ต้องมีศักยภาพด้านแรงงาน รวมทั้งสุขภาพของผู้วิจัยด้วย เนื่องจากในการวิจัยต้องมีการปรับแนวชายฝั่ง ซึ่งต้องขนทรายในปริมาณมาก รวมทั้งการบันทึกข้อมูลต้องอาศัยความอดทนในการทำงานอย่างสูง ซึ่งถ้าผู้ศึกษาขาดแรงงานและความตั้งใจในการทำงานอาจทำให้งานวิจัยต้องใช้ระยะเวลานานจึงจะสำเร็จ