

บทที่ 4



ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและการออกแบบส่วนโครงสร้าง

4.1 ทั่วไป

การก่อสร้างท่าเรือน้ำลึก เป็นงานที่มีความสำคัญมากต่อแผนงานหลัก ในการพัฒนาพื้นที่ชายฝั่งทะเลและวันออก ประสิทธิภาพของท่าเรือน้ำลึกจะดีได้ต้องอาศัยองค์ประกอบที่สำคัญ คือ เชื้อเพลิงคลื่น ซึ่งได้กำหนดจุดประสงค์และหน้าที่หลักไว้ดังนี้

1. เพื่อป้องกันการตื้นเขินของร่องน้ำที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของตะกอนทราย
2. เพื่อป้องกันคลื่นลมทะเลที่มีต่อการจอดเรือและการขนถ่ายสินค้า
3. เพื่อเป็นที่ตั้งของโครงสร้างอำนวยความสะดวกในการเดินเรือ อาทิ

ประการ ฅ. จุดท่าชายฝั่งออกไป

การออกแบบเชื้อเพลิงคลื่น ท่าเรือมาบตาพุด มีหลักการเบื้องต้นในการเลือกใช้ข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

1. ข้อมูล คลื่น - ลม ซึ่งเกิดขึ้นในรอบระยะเวลา 50 ปี สำหรับการคำนวณโครงสร้าง
2. ปริมาณน้ำผ่านสันเขื่อนที่ยอมให้ (Over topping) 0.02 ลบ.ม./ม./

วินาที

3. แนวการจัดวางตัวของเชื้อเพลิงคลื่นได้จากการศึกษาแบบจำลองทางกายภาพ (Physical models) ควบคู่กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical models)

4. ผลกระทบจากคลื่น ซึ่งกระทำที่จุดต่าง ๆ ในเขตท่าเรือ ได้จากการศึกษาแบบจำลองทางกายภาพควบคู่กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5. แนวการจัดวางตัวเขื่อน จากการทำนายทางคณิตศาสตร์ สรุปว่าแนวการวางตัวเขื่อนที่ดี ควรอยู่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับเส้นแนวทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นทิศทางของลมมรสุมขนาดใหญ่

4.2 การศึกษาแบบจำลองกายภาพ (Physical Model Study)

การศึกษาแบบจำลองกายภาพ โดย SIR WILLIAM HALCROW AND PARTNERS CO; LTD. ได้ทำการทดลองรูปแบบจำลองทั้งทางกายภาพ (Physical models) และแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Matematical models) ซึ่ง สรุปผลได้ดังนี้

รูปที่ 4.2 , 4.3 , 4.4 (ตรงกับภาพถ่ายที่ P1 , P3 , P4 ตามลำดับ) เป็นรูปแสดงลักษณะของ เขื่อนกันคลื่น ซึ่งได้ทำการศึกษาโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์และแบบจำลองกายภาพควบคู่กัน อธิบายได้ดังนี้

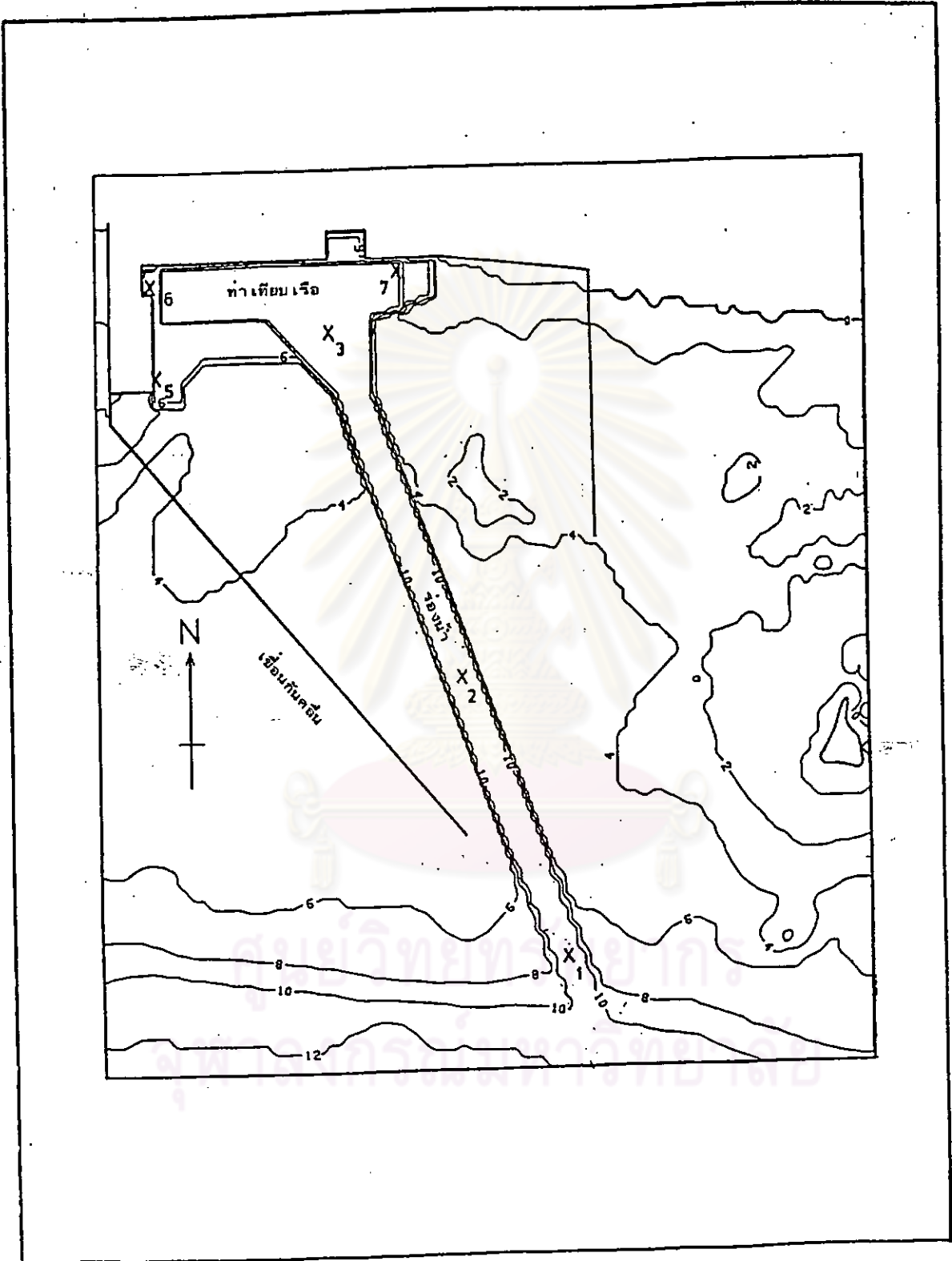
รูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบแรกที่ได้ทำการศึกษา โดยมีช่วงของตัวเขื่อนวังขนานกับร่องน้ำเป็นระยะทาง 700 m. จากภาพถ่าย P1 จะพบว่าพลังงานคลื่นถูกสะท้อนออกจากเขตร่องน้ำ มีผลทำให้ภายในเขตท่าเรือมีคลื่นลมค่อนข้างสงบ นับว่าเป็นรูปแบบที่ดีรูปแบบหนึ่ง

รูปที่ 4.3 เป็นรูปแบบที่ไม่มีส่วนของตัวเขื่อนวังขนานกับแนวร่องน้ำ จากภาพถ่าย P3 จะเห็นว่าพลังงานคลื่นจำนวนมากถูกหักเหเข้าไปในบริเวณตะวันตกของเขตท่าเรือ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งาน

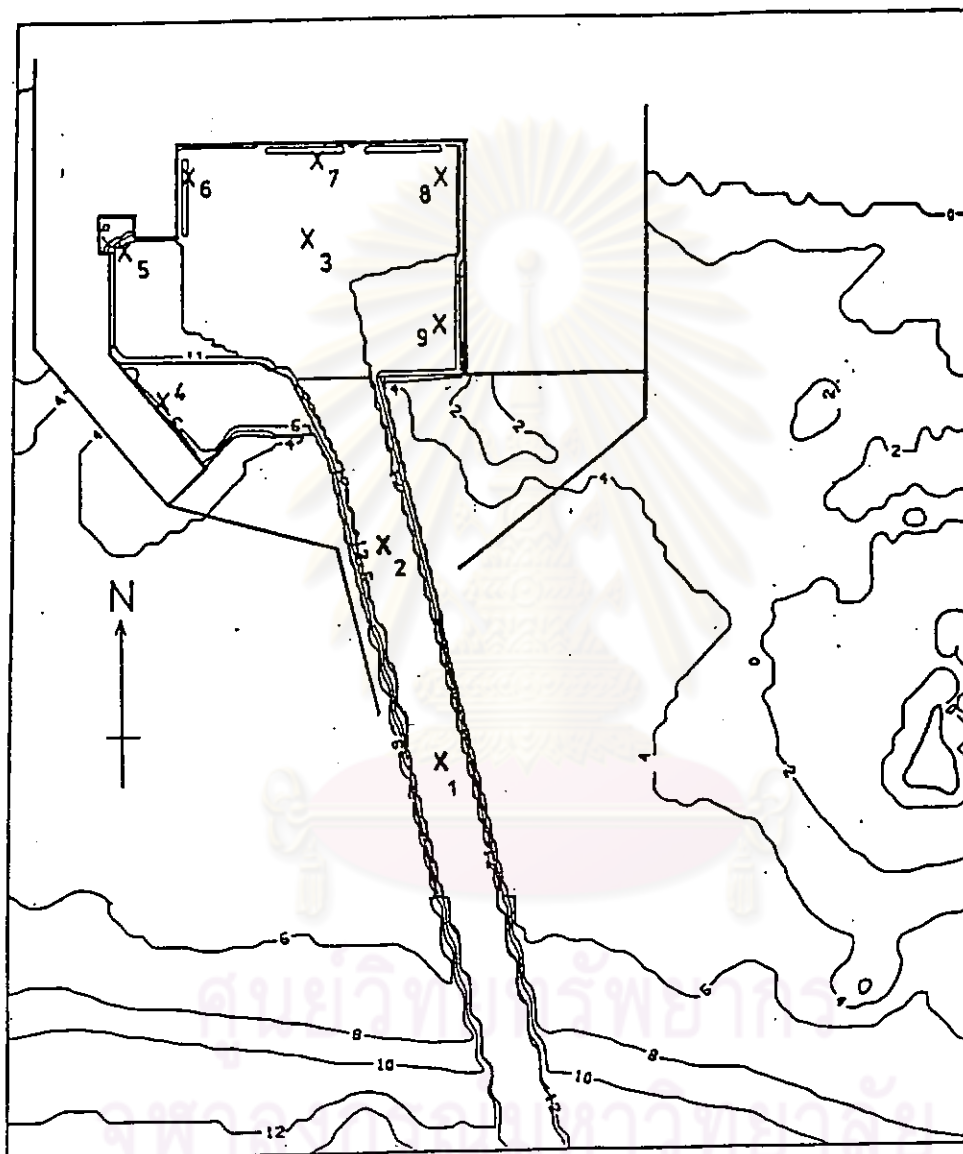
รูปที่ 4.4 คล้ายรูปแบบแรก แต่เปลี่ยนมุมของแนวเขื่อนและตัดความยาวช่วงขนานกับร่องน้ำให้สั้นลงเหลือ 450 เมตร. จากภาพถ่าย P4 พบว่า แรงคลื่นถูกสะท้อนออกจากเขตร่องน้ำและบริเวณเขตจอดเรือได้รับผลกระทบจากคลื่นน้อย นับว่าเป็นแบบที่ดีและเหมาะสมที่สุด ซึ่งจะใช้ในการก่อสร้าง เขื่อนกันคลื่นของโครงการนี้

จากแบบจำลองแบบต่าง ๆ ที่ได้ศึกษา จะสังเกตได้ว่า รูปที่ 4.1 ซึ่งศึกษาโดย JICA ได้กำหนดแนวเขื่อนโดยขึ้นอยู่กับทิศทางของคลื่นสูงสุด เป็นสำคัญ ซึ่งจะมีผลในการป้องกัน Overtopping เป็นหลัก แต่กรณีเขื่อนกันคลื่นในโครงการท่าเรือมาตาหุด มีหน้าที่ในการป้องกันการเคลื่อนตัวของตะกอนทรายท้องทะเลด้วย ดังนั้นในการศึกษาหุ่นจำลองของเขื่อน จึงได้กำหนดให้มีแนวเขื่อนช่วงขนานกับร่องน้ำ เพื่อผลในการป้องกันดังกล่าว และใช้หุ่นจำลองศึกษาหาความยาวของช่วงเขื่อนดังกล่าวที่มีประสิทธิภาพและความคุ้มค่าสูงสุด

จากรูปที่ 4.5 เป็นผลสรุปการศึกษาผลกระทบของคลื่น ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในเขตท่าเรือของแบบจำลอง รูป 4.4 ซึ่งพบว่าตำแหน่ง x_7 และ x_8 ซึ่งเป็นท่าเทียบเรือ จะได้รับผลกระทบสูงสุดในรอบ 50 ปี เท่ากับความสูงคลื่น $0.35 \times 2.4 = 0.84$ เมตร ซึ่งคลื่นขนาดดังกล่าวไม่เป็นอันตรายต่อเรือในท่าเทียบ

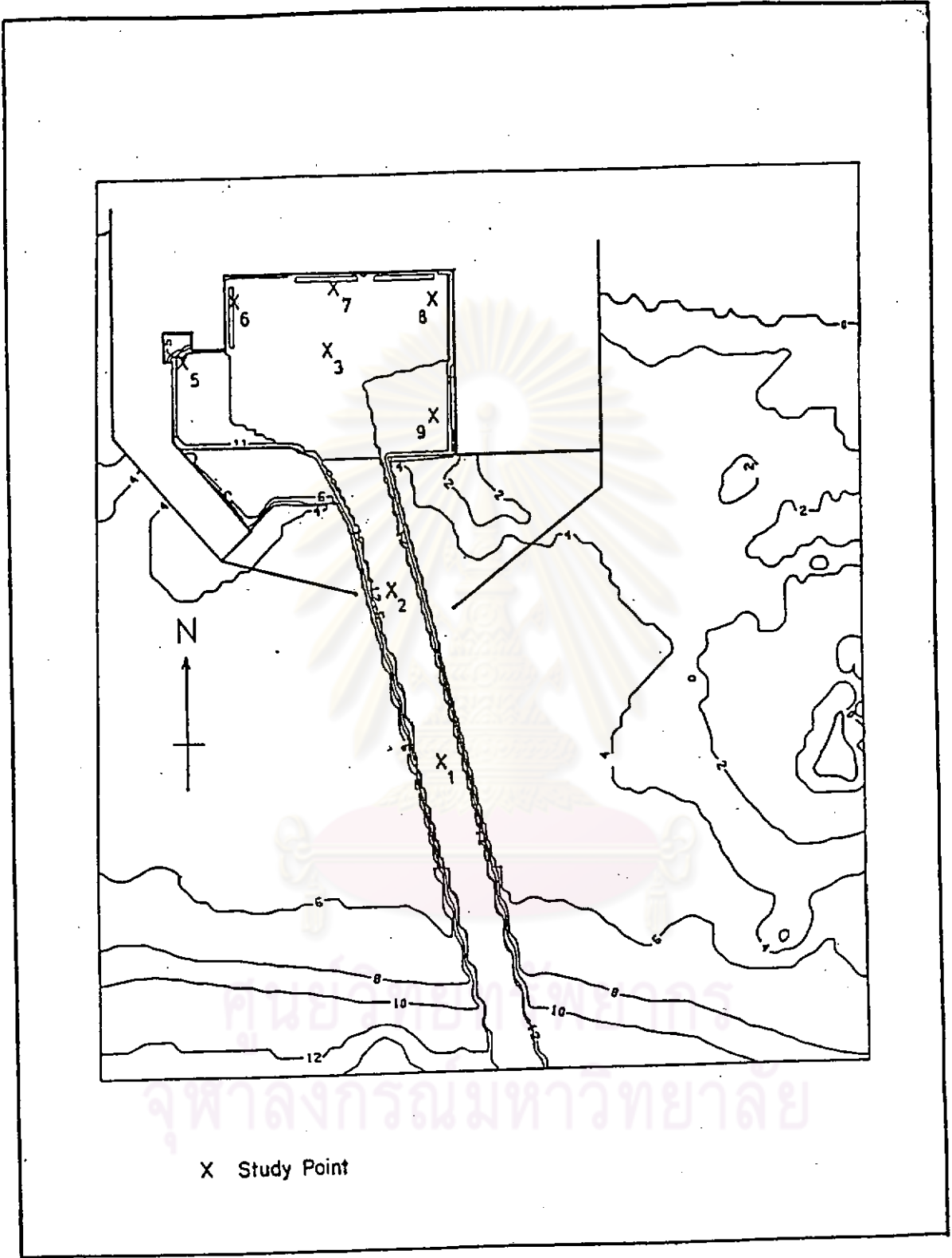


รูปที่ 4.1 ผังบริเวณซึ่งกำหนดโดย JICA จากการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (ที่มา - JICA REPORT)



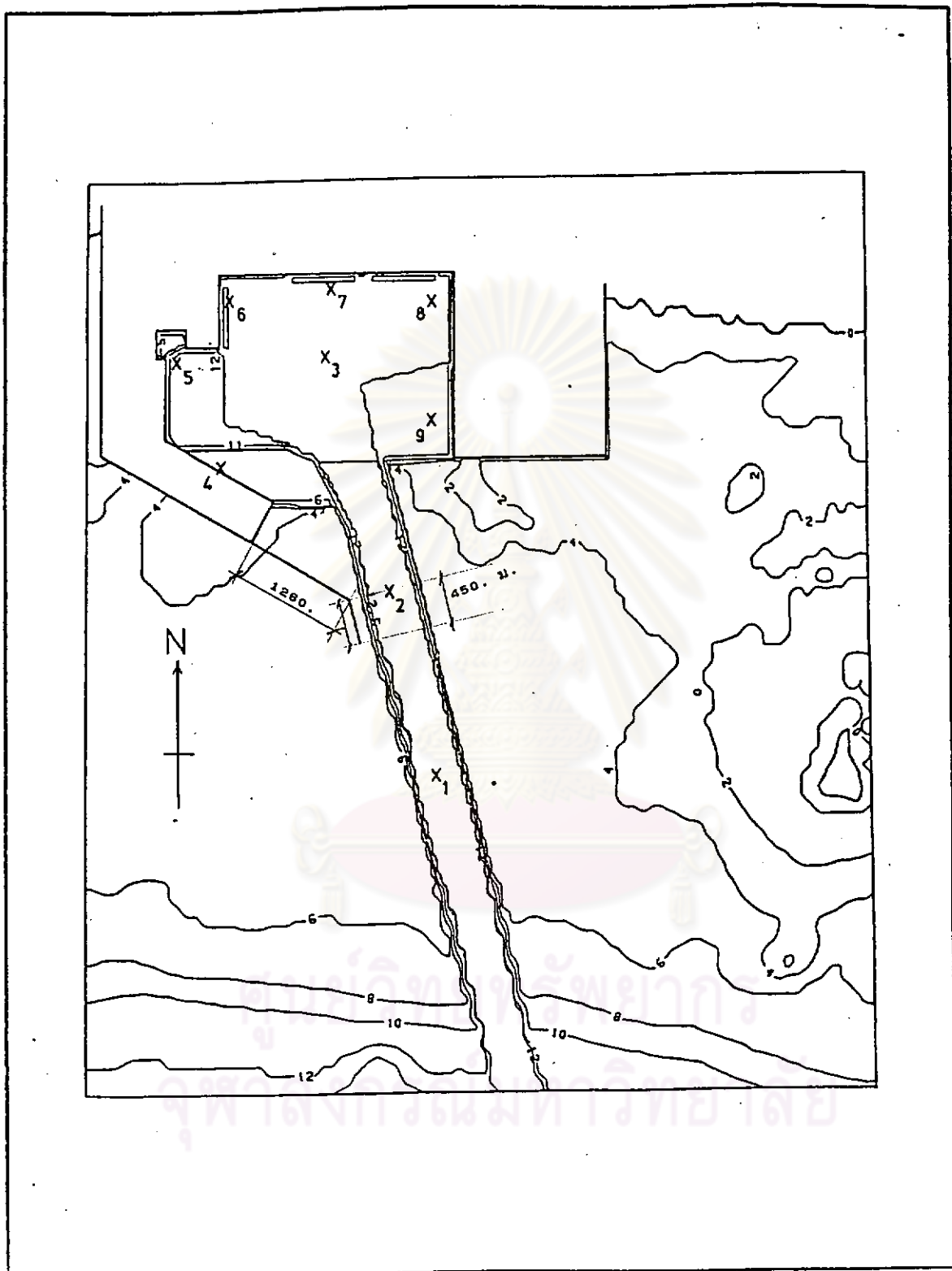
X Study Point

รูปที่ 4.2 สัมบริเวณแบบที่ 1 จากการทํานายของคอมพิวเตอร้โปรแกรม
(ที่มา - Sir William Halcrow and Partners Co;Ltd)



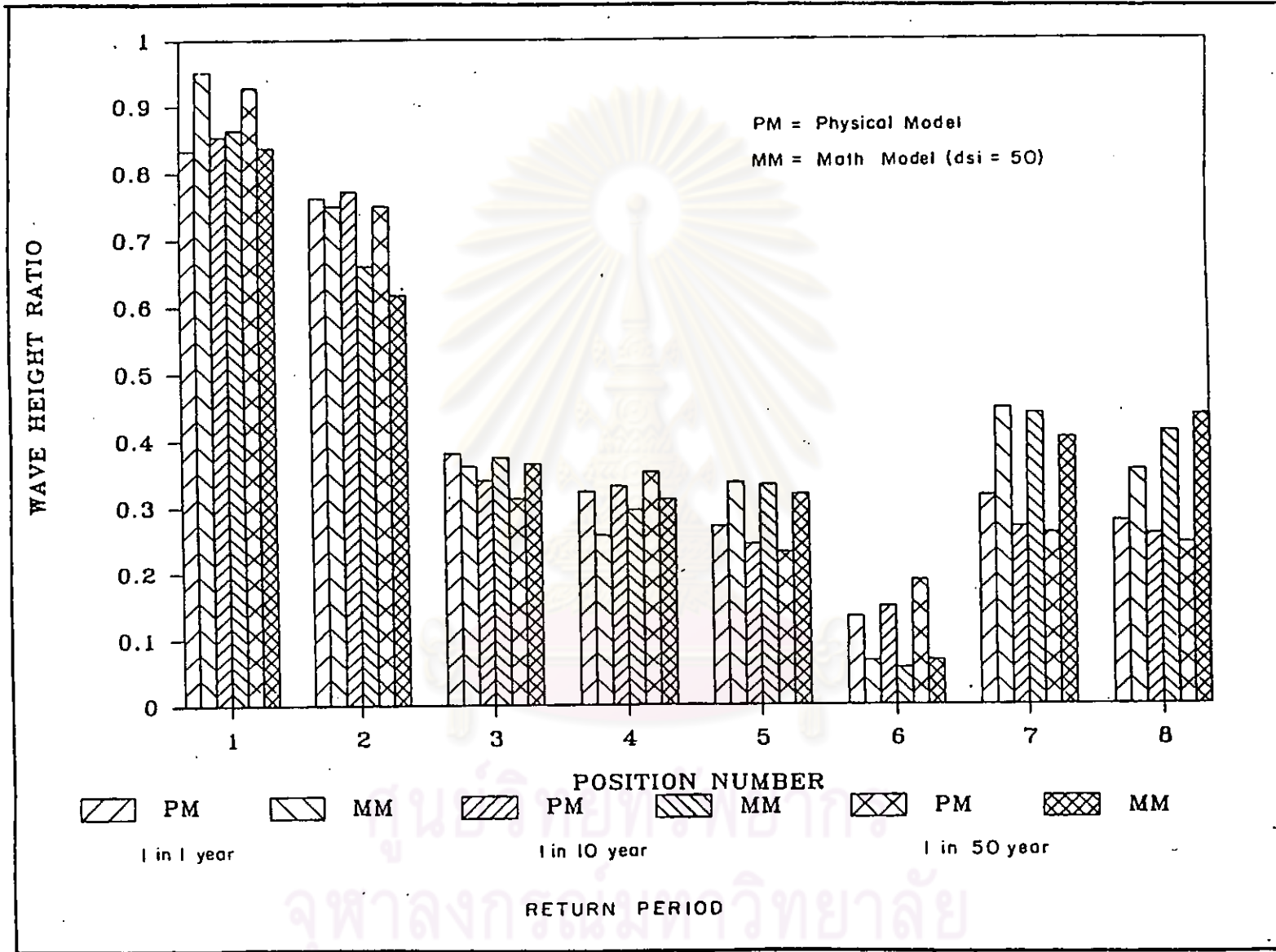
รูปที่ 4.3 ผังบริเวณแบบที่ 3

(ที่มา - Sir William Halcrow and Partners Co;Ltd)

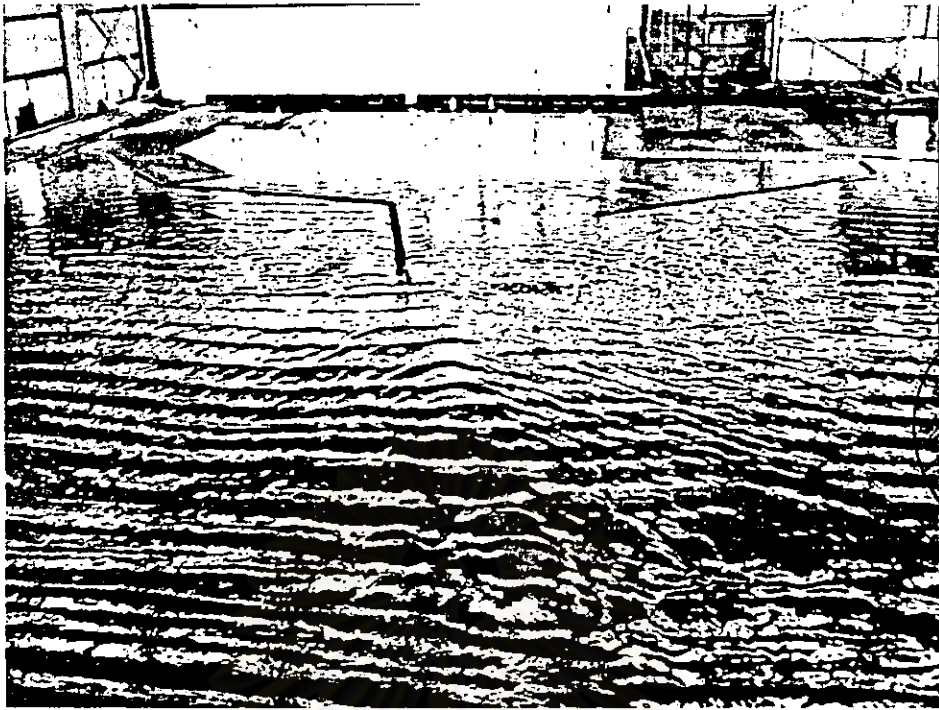


รูปที่ 4.4 ผังบริเวณแบบที่ 4 ซึ่งเป็นแบบที่ดีที่สุด จากผลการศึกษา
แบบจำลองกายภาพ

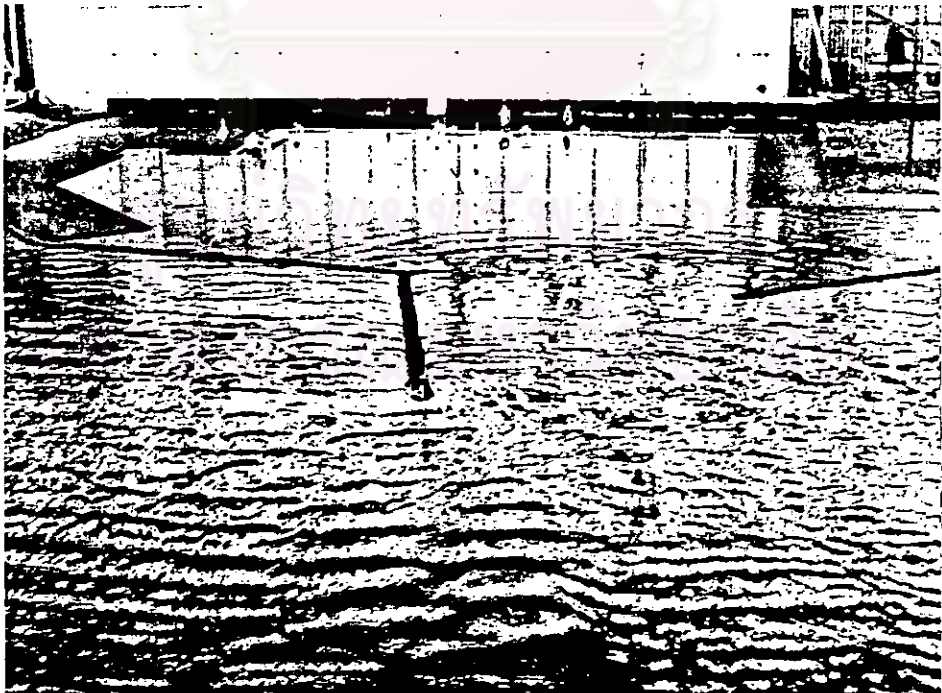
(ที่มา - Sir William Halcrow and Partners Co;Ltd)



รูปที่ 4.5 ผลการศึกษาผลกระทบของคลื่นน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของฝั่งบริเวณที่ 4
(ที่มา - Sir William Halcrow and Partners Co;Ltd)



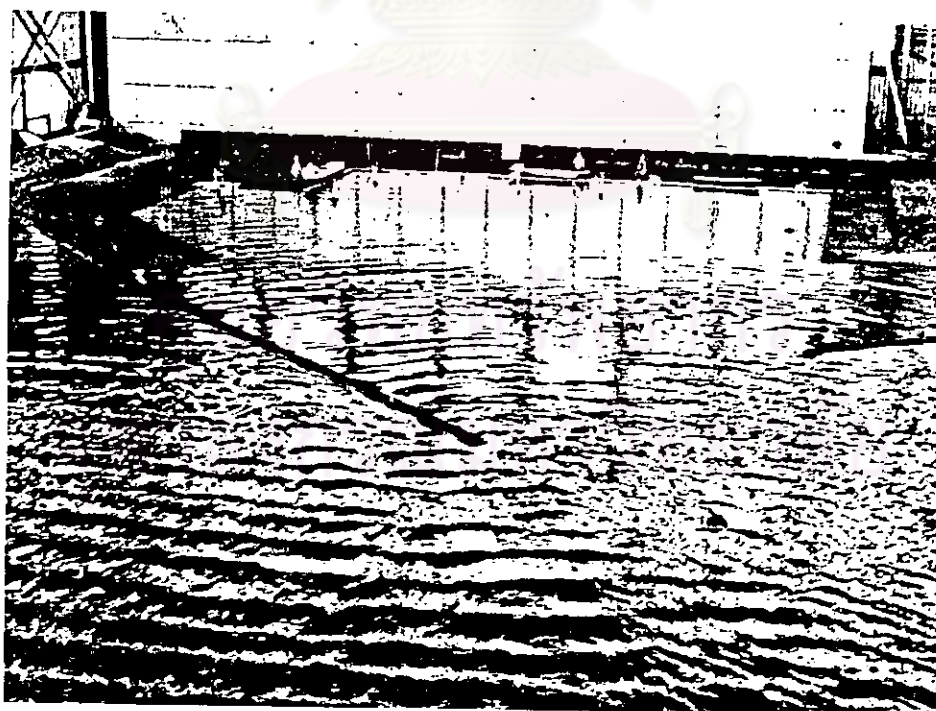
รูปที่ P1 แบบจำลองที่ 1 : แสดงแบบจำลองแรกที่ได้ทำการทดสอบ จากการทํานายรูปร่างของตัว เชื่อมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยมีช่วงของตัว เชื่อมขนานกับร่องน้ำยาว 700 เมตร ซึ่งสามารถกระจายแรงจากคลื่นน้ำออกจากแนวร่องน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและแนวสะท้อนของคลื่นน้ำค่อนข้างขนานกับด้านตะวันตกของร่องน้ำ



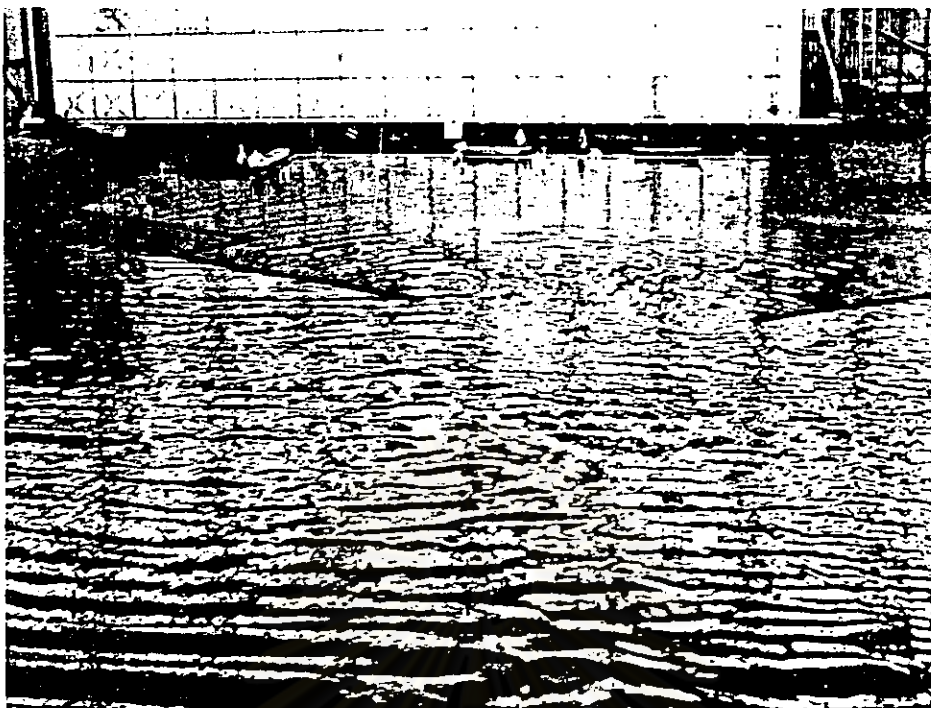
รูปที่ P1 อีกมุมหนึ่งของแบบจำลองที่ 1 แสดงผลกระทบของคลื่นน้ำจากด้านใต้ของร่องน้ำ จะเห็นผลกระทบจากการหักเหของคลื่นน้ำที่บริเวณปากร่องน้ำ เข้าสู่เขตจุดเรือ



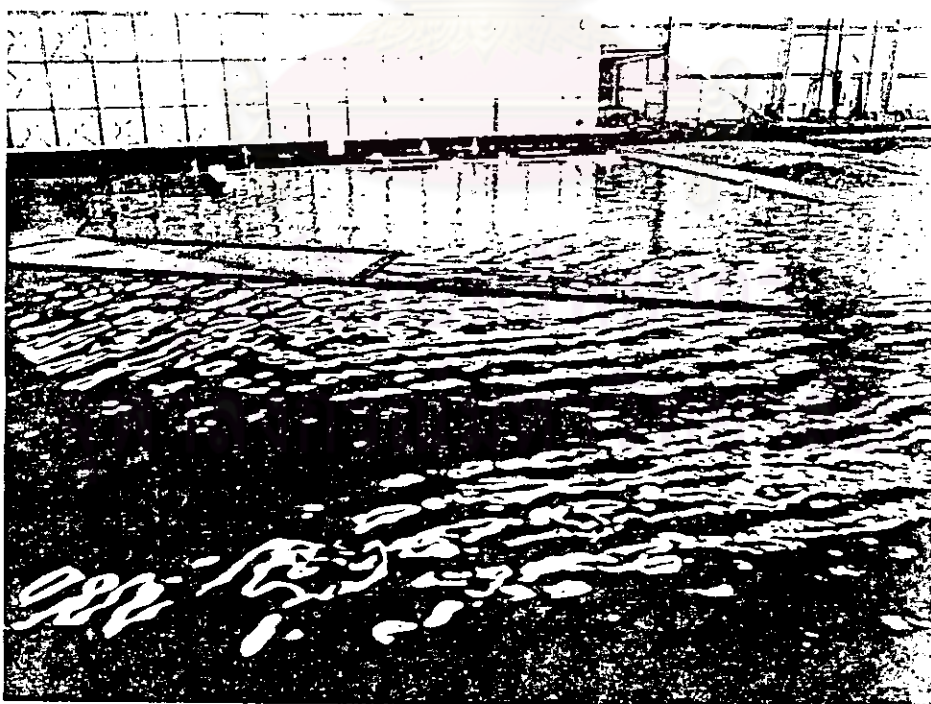
รูปที่ P2 แบบจำลองที่ 2 : ไม่มีแนวของเขื่อนกันคลื่นเรียงขนานกับแนวร่องน้ำ จะเห็นว่าผลกระทบจากคลื่นหักเหจะกระจายเข้าสู่เขตจุดเรือทางด้านในของตัวเขื่อนเป็นจำนวนมาก



รูปที่ P2 อีกมุมหนึ่งของแบบจำลองที่ 2 พลังงานจากคลื่นน้ำจำนวนมาก เข้าสู่เขตจุดเรือ



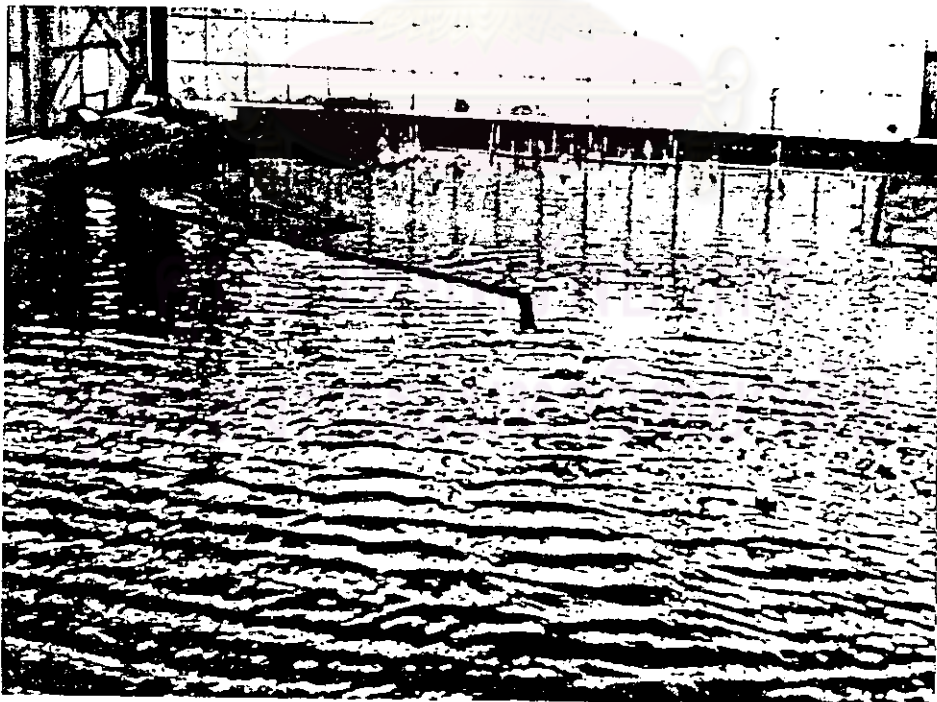
รูปที่ P3 แบบจำลองที่ 3 : คล้ายแบบจำลองที่ 2 แต่สันกว่า จะเห็นผลกระทบจากแรงคลื่นน้ำเข้าสู่เขตจอดเรืออย่างชัดเจน



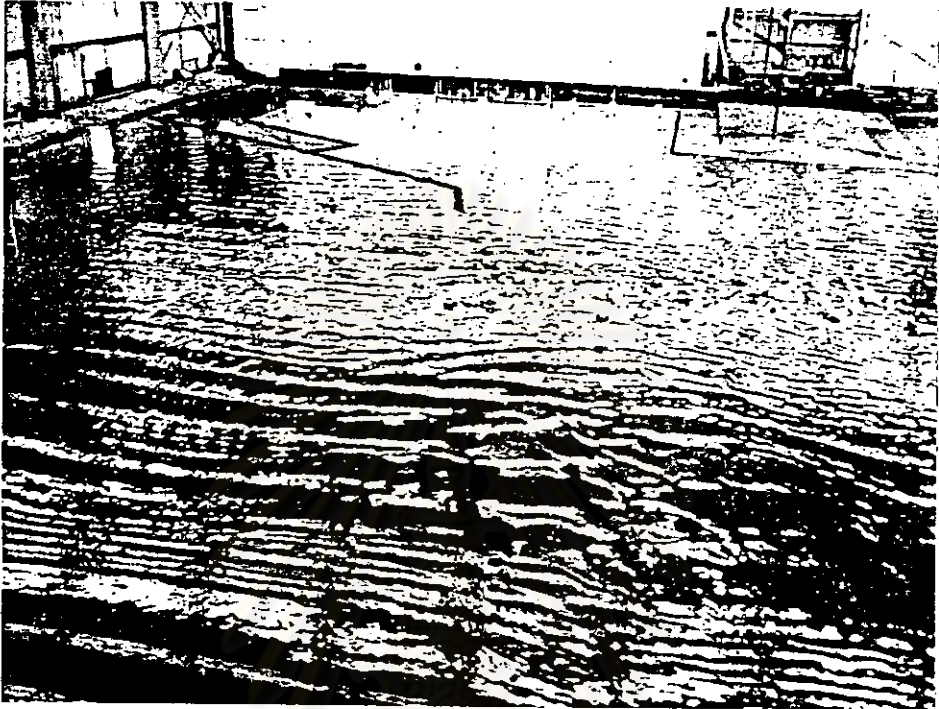
รูปที่ P3 อีกมุมหนึ่งด้านตะวันตกของแบบจำลองที่ 3



รูปที่ P4 แบบจำลองที่ 4 : คล้ายแบบจำลองที่ 1 แต่ความยาวตัว เชื้อนช่วงขนานกับ
ร่องน้ำจะยาว 450 เมตร โดยที่ผลกระทบจากคลื่นน้ำในเขตจุด เรือไม่ต่างกับ
แบบจำลองที่ 1 แบบจำลองนี้เป็นแบบที่ดีและประหยัดที่สุด



รูปที่ P4 อีกมุมหนึ่งของแบบจำลองที่ 4 จะเห็นว่าผลกระทบจากคลื่นน้ำเข้าสู่เขต
จุด เรือน้อยมาก



รูปที่ P4 อีกรูปหนึ่งของแบบจำลองที่ 4 ด้านทิศใต้ แสดงผลของคลื่นน้ำต่อเขต
ร่องน้ำลึก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การเลือกชนิดของหน้าตัดเขื่อนกันคลื่น จากการศึกษาความเหมาะสมต่าง ๆ อาทิ แหล่งวัตถุดิบ , เครื่องจักรกลในการก่อสร้าง ตลอดจนลักษณะการใช้งานหลักของตัวเขื่อนกันคลื่น สามารถกำหนดชนิดของเขื่อนกันคลื่นที่เป็นไปได้สำหรับโครงการ คือ

1. แบบหินถม (Rubble Mound Breakwater)
2. Concrete Cellar Block Breakwater
3. Concrete Caisson Breakwater

รูปตัดทั่วไปของเขื่อนทั้ง 3 แบบ ดังแสดงในรูป 4.6 , 4.7 , 4.8

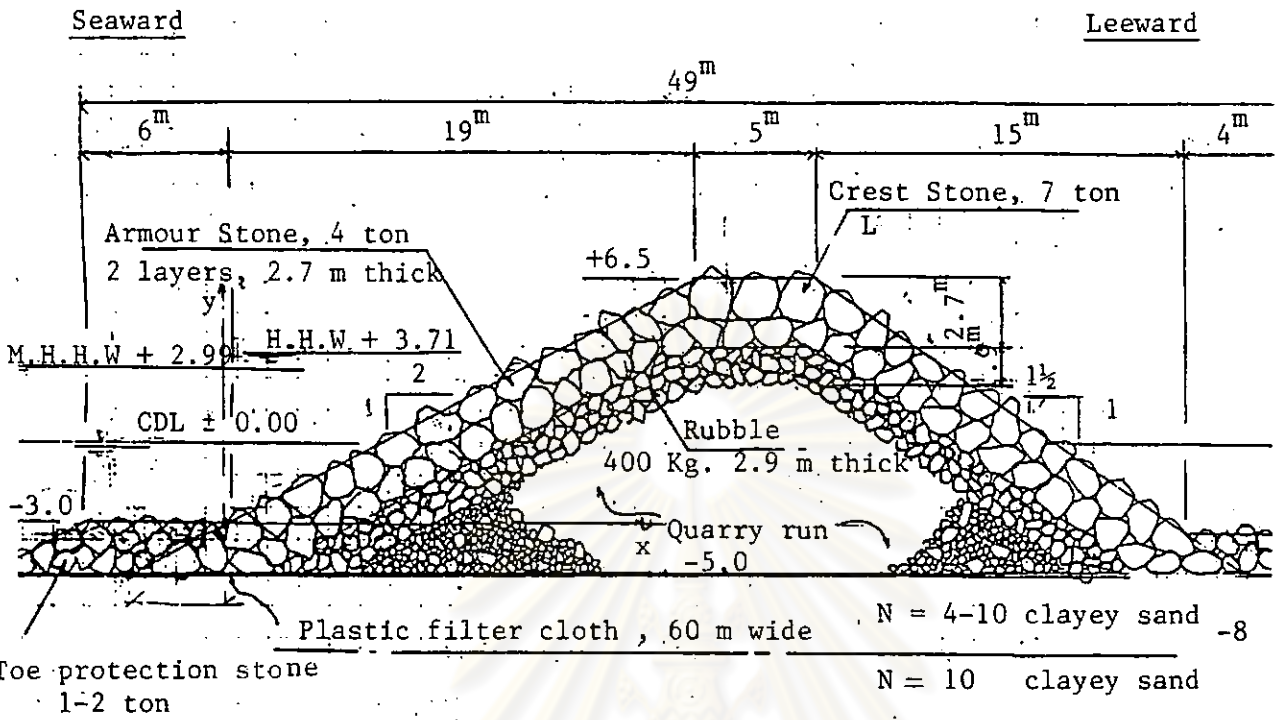
สำหรับเขื่อนกันคลื่นแบบ Concrete cellar block นั้น จะใช้ในกรณีป้องกันแรงคลื่นแบบ Shock wave ซึ่งมักเกิดขึ้นในเขตนํ้าลึก เราสามารถลดการพิจารณารูปตัดของเขื่อนแบบนี้ออกได้เนื่องจากตัวเขื่อนอยู่ในเขตนํ้าตื้น

คณะวิศวกรผู้ออกแบบได้ร่วมกันศึกษาเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับเขื่อนกันคลื่นในแบบที่ 1 และแบบที่ 3 เพื่อเลือกรูปตัดที่เหมาะสมที่สุด โดยมีข้อพิจารณาต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.3.1 แหล่งวัตถุดิบสำหรับหินถม จากการสำรวจแหล่งหิน พบว่า มีแหล่งหินแกรนิต อยู่ในรัศมี 30 - 50 กม. ทางด้านตะวันตกของสถานที่ก่อสร้าง และจากสภาพภูมิประเทศพบว่า บริเวณใกล้ชายฝั่งนั้น เป็นเขตนํ้าตื้น จึงเหมาะที่จะสร้าง Revetment ยื่นออกจากชายฝั่งไป เพื่อให้เกิดความสะดวกในการขนหินถมขนาดใหญ่ จากบนฝั่งออกไปถมในเขตห่างฝั่งออกไป

นอกจากนี้ ยังได้มีการสำรวจแหล่งหินบนเกาะสีชัง ซึ่งคาดว่าจะสามารถผลิตหินปูนได้เป็นปริมาณมาก และสามารถขนส่งทางทะเลมายังสถานที่ก่อสร้างได้โดยสะดวก ดังนั้น ปัญหาเรื่องแหล่งหินถมจึงหมดไป

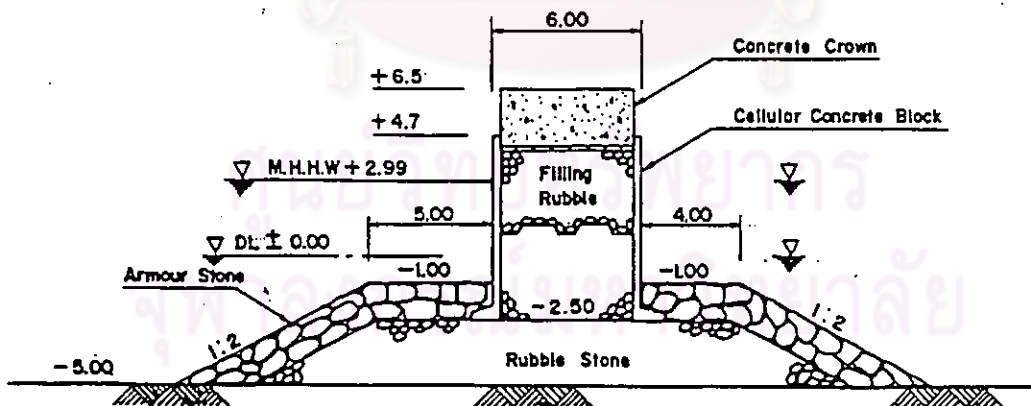
สำหรับปริมาณหินถมทั้งหมดของเขื่อนกันคลื่นแบบหินถมสำหรับโครงการนี้ คาดว่ามีประมาณ 450,000 ม³ เมื่อกำหนดระยะเวลาก่อสร้างจะทำให้สามารถตรวจสอบความสามารถในการผลิตหินถมของแหล่งหินที่ได้สำรวจว่าเพียงพอต่อความต้องการหรือไม่



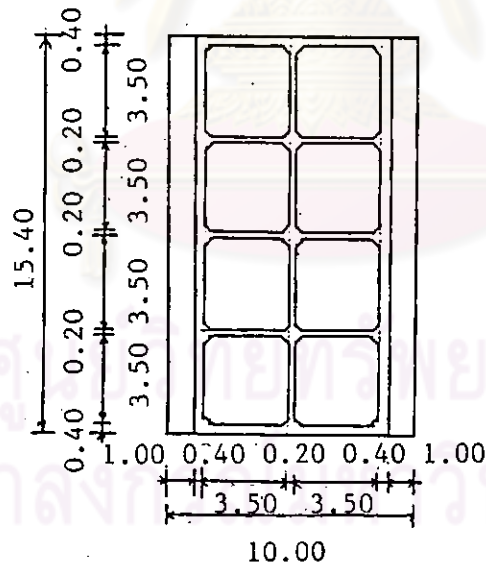
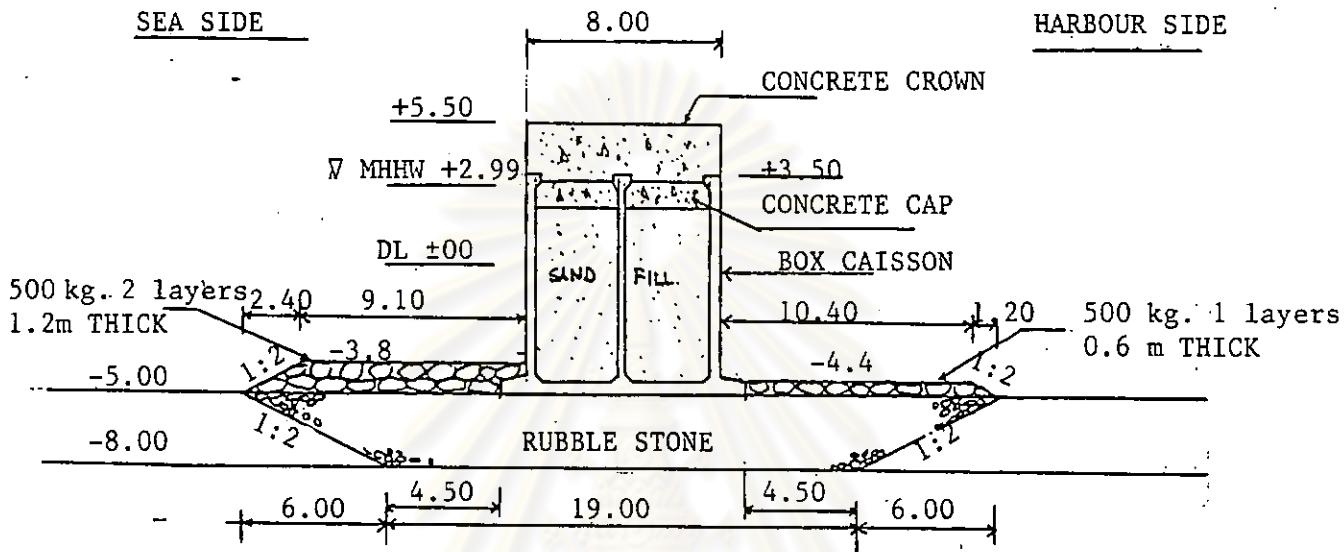
รูปที่ 4.6 รูปตัดทั่วไปของเขื่อนกันคลื่นแบบ Rubble Mound

SEA SIDE

HARBOUR SIDE



รูปที่ 4.7 รูปตัดทั่วไปของเขื่อนกันคลื่นแบบ Concrete Cellular



รูปที่ 4.8 รูปตัดทั่วไปของเขื่อนกันคลื่นแบบ Concrete caisson

4.3.2 การติดตั้งปลอกคอนกรีต (Concrete Caisson)

สำหรับงานติดตั้งปลอกคอนกรีตของเขื่อนกันคลื่นด้านตะวันตกและตะวันออกทั้งสองนี้ ต้องการ Floating docks เพื่องานหล่อคอนกรีตอย่างน้อย 2 ตัว และจากการสำรวจพบว่า บริเวณพื้นที่ ท่าเรือ สัตตาคาหีบ มีคลื่นลมสงบ เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสถานที่ตั้งของ Floating docks ทั้งสองมากที่สุด

ระยะเวลาสำหรับการหล่อปลอกคอนกรีต จนถึงขั้นพักรอการลากจูง คาดว่าจะกินเวลาประมาณ 35 วัน สำหรับการหล่อ 1 ชุด (เครื่องละประมาณ 3 ตัว ต่อหนึ่งท่อน) การเก็บพักปลอกคอนกรีตที่หล่อเสร็จแล้วจะทำโดยการจมลงสู่ท้องทะเล เนื่องจากบริเวณท่าเรือ สัตตาคาหีบ มีพื้นที่จำกัด จากนั้นจะทำการลากจูงไปยังสถานที่ก่อสร้างโดยใช้เรือลากจูง 2 ลำ หนึ่งขนาด 2000 HP. เป็นเรือลากโดยตรง อีกลำขนาด 300 ถึง 800 HP. เป็นเรือช่วยเหลือกรณีฉุกเฉิน เวลาในการเดินทางจากท่าเรือสัตตาคาหีบ ถึงมาบตะพุดประมาณ 11 ชม. ด้วยความเร็วลากจูง 2 น็อต เมื่อปลอกคอนกรีตเดินทางไปถึงจะทำการติดตั้งโดยใช้ Floating crane และเติมทรายโดยใช้กะบะก้ามปู จากนั้นจะลาดคอนกรีต โดยอาศัยสถานีผสมคอนกรีตบนท่อนลอยน้ำ นับว่าขั้นตอนนี้ค่อนข้างยุ่งยากและอาศัยเทคโนโลยีสูง รูปภาพประกอบ คำอธิบาย ในภาคผนวก ก - 1

4.3.3 ประมาณราคาค่าก่อสร้าง ค่าก่อสร้าง เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดรูปแบบที่เหมาะสมของ เชื้อกันคลื่น จากการคำนวณปริมาณวัสดุที่ใช้สำหรับ เชื้อกันคลื่นแบบหินถม และแบบบล็อกคอนกรีต เพื่อหาราคาต่อหน่วยความยาวของตัว เชื้อกัน ได้ผลดังนี้

1. เชื้อกันคลื่นแบบหินถม วัสดุที่ใช้เป็นหินภูเขาขนาดต่าง ๆ สามารถแยกราคาต่อหน่วยความยาวได้ดังนี้

งาน	ปริมาณ หน่วย/ความยาว 1 เมตร	ราคา/หน่วย บาท/หน่วย	ราคารวม บาท/ความยาว 1 เมตร
1. หินถมขนาดต่าง ๆ (รวมติดตั้ง)	275 ม ³	750	206,250
2. แผ่นพลาสติกปูพื้น เชื้อ	60 ม ³	200	12,000
3. จัด เรียงและสำรวจ ปรับระดับ	50 ม ³	1000	50,000
4. ค่าแรงปูแผ่นพลาสติก	50 ม ³	10	500
			รวม 268,750 บาท/ เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เชื้อกันคลื่นแบบปลอกคอนกรีต วัสดุที่ใช้เป็นหินย่อย และคอนกรีต ซึ่งใช้
เป็นปริมาณมาก สามารถสรุปรายการแยกราคาต่อหน่วยความยาวได้ดังนี้

งาน	ปริมาณ หน่วย/ความยาว 1 เมตร	ราคาต่อหน่วย บาท/หน่วย	ราคารวม บาท/ความยาว 1 เมตร
1. หินถมย่อย	95 ม ³	750	71,250
2. ปลอกคอนกรีต (รวมติดตั้ง)	22 ม ³	6,500	143,000
3. เติมวัสดุถมใน ปลอกคอนกรีต	55 ม ³	300	16,500
4. คอนกรีตปิด สัน เขื่อน	28 ม ³	3,000	84,000
5. ขุดลอกชั้นฐาน รองรับ	75 ม ³	150	11,250
			รวม 326,000 บาท/เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.4 เปรียบเทียบข้อดี - ข้อเสีย ระหว่างเขื่อนกันคลื่นแต่ละชนิด

ข้อเปรียบเทียบระหว่างเขื่อนกันคลื่นแบบหินถม (Rubble mound type) กับเขื่อนกันคลื่นแบบ ปะลอกคอนกรีต (Caisson type) มีดังนี้

1. ลักษณะทั่วไป

	เขื่อนกันคลื่นแบบหินถม (Rubble Mound Type)	เขื่อนกันคลื่นแบบปะลอกคอนกรีต (Caisson Type)
<u>ข้อดี</u>	<ol style="list-style-type: none"> 1. การก่อสร้างสะดวกและสามารถประยุกต์เอาวิธีการต่าง ๆ เข้าช่วยได้ 2. ผลจากการสะท้อนของคลื่นภายในเขตท่าเรือมีน้อย เนื่องจากการดูดซับพลังงานที่ดีกว่า 3. การควบคุมงานก่อสร้างง่ายกว่า 4. ค่าก่อสร้างเบื้องต้นต่ำกว่า 	<ol style="list-style-type: none"> 1. สำหรับปะลอกคอนกรีตแต่ละตัว เป็นโครงสร้างเนื้อเดียวกัน จึงมีเสถียรภาพที่ดีกว่า 2. ไม่มีปัญหาเรื่องแรงคลื่นพัดผ่านตัวเขื่อนและการตกตะกอนภายในเขตท่าเรือ 3. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำกว่า
<u>ข้อเสีย</u>	<ol style="list-style-type: none"> 1. แรงคลื่นบางส่วนสามารถพัดผ่านตัวโครงสร้างและก่อให้เกิดปัญหาการตกตะกอนภายในเขตท่าเรือ 2. ต้องมีหินขนาดใหญ่ห่อหุ้ม เปลือกนอกของตัวโครงสร้างเพื่อป้องกันการกัดเซาะ จะปล่อยให้หินถม (Quarry run) ปะทะกับคลื่นน้ำโดยตรงไม่ได้ 3. ต้องใช้ปริมาณหินขนาดใหญ่มากสำหรับห่อหุ้ม เปลือกนอก 4. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาจะสูงกว่า 	<ol style="list-style-type: none"> 1. มีผลจากการสะท้อนของคลื่นสูงมาก ซึ่งจะกระทบต่อ เขตจอด เรือ 2. เป็นโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ และจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้ทีมงานซึ่งมีประสบการณ์สูง 3. ต้องมีพื้นที่สำหรับสร้างปะลอกคอนกรีต 4. การก่อสร้างต้องอาศัย เครื่องจักรกลขนาดใหญ่และเทคโนโลยีขั้นสูง

2. ด้านวัสดุดิบ (Material Availability)

เขื่อนกันคลื่นแบบหินถม (Rubble Mound Type)	เขื่อนกันคลื่นแบบบล็อกคอนกรีต (Caisson Type)
1. ต้องผลิตหินถมในทะเลเป็น จำนวนมาก 2. การทำงานง่ายกว่า	1. ใช้วัสดุหินถมน้อย แต่ต้องการปูนซีเมนต์ ปริมาณมากแทน 2. การก่อสร้างยากกว่า

3. ใบแจ้งการก่อสร้าง (Construction speed and cost)

เขื่อนกันคลื่นแบบหินถม (Rubble Mound Type)	เขื่อนกันคลื่นแบบบล็อกคอนกรีต (Caisson Type)
1. ระยะเวลาก่อสร้างขึ้นอยู่กับความ สามารถในการผลิตหินถม 2. ราคางานก่อสร้างถูกกว่า	1. การก่อสร้างเร็วกว่า เนื่องจากสามารถ เตรียมพื้นที่สำหรับหล่อบล็อกคอนกรีต ล่วงหน้าได้ 2. ราคางานก่อสร้างแพงกว่า

จากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้ศึกษามาสามารถสรุปได้ว่า รูปตัดของเขื่อนกันคลื่นแบบหินถม เป็นแบบ
ที่เหมาะสมสำหรับโครงการนี้ ดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น



4.4 การศึกษาและการคำนวณความสูงคลื่นสำหรับการออกแบบ

การศึกษาแบบจำลองสำหรับงานท่าเรือมาบตาพุด ใช้ข้อมูลคลื่น - ลม จากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

1. The National Marine Institute (NMI) ตั้งอยู่ที่ประเทศอังกฤษ เป็นหน่วยงานระดับชาติที่เก็บข้อมูลชลศาสตร์ทางทะเลในคาบสมุทรต่าง ๆ ทั่วโลก ข้อมูลเหล่านี้ถูกรวบรวมจากเรือเดินสมุทร ซึ่งเดินทางผ่านในเส้นทางต่าง ๆ และจัดส่งข้อมูลไปยัง NMI เป็นระยะ ๆ เราสามารถสั่งซื้อข้อมูล ณ.คาบสมุทรที่ต้องการได้

2. ระดับน้ำ ขึ้น-ลง สูงสุด และต่ำสุด โดยมี จุดสำรวจเก็บข้อมูล คือ ปากแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณอ่าวไทย และทะเลอันดามัน โดยกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ได้ทำการเก็บรวบรวมระดับน้ำขึ้น-ลง สูงสุดในแต่ละวัน และทำนายระดับน้ำขึ้น-ลง ของปี 2528

3. สถานีตรวจวัดลมสัปดาห์ สังกัดกรมอุตุนิยมวิทยา

นอกจากข้อมูลดังกล่าวมาทั้ง 3 แหล่งแล้ว ทางบริษัทวิศวกรที่ปรึกษาการออกแบบท่าเรือ บ้านมาบตาพุด อันประกอบด้วย

- NIPPON KOEI CO; LTD.
- SINDHU PULSIRIVONG CONSULTANTS CO; LTD.
- RKV. ENGINEERING CONSULTANTS CO; LTD.

คณะวิศวกรที่ปรึกษา ทั้งสามได้ทำการสำรวจวัดคลื่น - ลม ในบริเวณสถานที่ก่อสร้างท่าเรือบ้านมาบตาพุด เพื่อใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลทั้งสามแหล่งดังกล่าว ระหว่าง เดือน ตุลาคม ถึง ธันวาคม ปี พ.ศ. 2527 และจากหน่วยงานผู้ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ คือ JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA). ซึ่งได้ศึกษา สำรวจ ระหว่างเดือน สิงหาคม ถึง เดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2525

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลคลื่น - ลม จากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดย JICA
ได้ค่าความสูง และคาบการเคลื่อนที่ของคลื่น ณ จุดกำเนิดคลื่น (Deep water) สำหรับ
การออกแบบดังนี้

ตาราง 4.1 : แสดงผลข้อมูลคลื่น ณ จุดกำเนิด

Return Period (years)	Ho (m)	To (sec)
100	4.9	7.9
50	4.7 *	* 7.9 SAY 8.0
10	4.3	7.0
1	3.3	6.0
กรณีทั่วไป เกิด เป็นประจำ	0.75	4.0

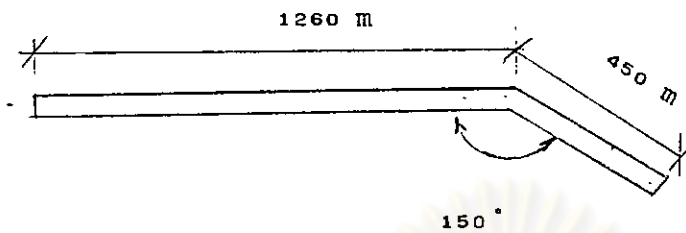
ดังนั้น ค่า Ho และ To ในรอบเวลา 50 ปี คือ 4.7 เมตร และ 7.9 วินาที

ความล่าช้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการศึกษาแบบจำลอง ได้ลักษณะของเขื่อนกันคลื่น ตามผังบริเวณแบบที่ 4

(รูปที่ 4.4) เป็นดังนี้



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของเขื่อนกันคลื่นทิศตะวันตก

$$L_o = 1.56 (T_o)^2 = 1.56 (7.9)^2 = 97.4 \text{ เมตร}$$

$$\text{ค่า } L_o \text{ หรือ } L \frac{1}{3} \text{ ที่ใช้คำนวณ} = 100 \text{ เมตร}$$

$$\text{จากรูป } l_1 = 1260 \text{ เมตร} \quad l_2 = 450 \text{ เมตร}$$

$$l_1/L_o = \frac{1260}{100} = 12.6 \gg 5. \quad \text{และ } l_2 \gg L_o$$

ในกรณีทั่วไป นอกเหนือจากผลการวิจัยรูป 3.2 ค่า K_d ใช้ 1.0

หาความสูงคลื่นในการออกแบบ ($H \frac{1}{3}$) ซึ่งจะเกิดขึ้นในทิศทางตั้งฉากกับตัวเขื่อนกันคลื่น โดยแบ่งตัวเขื่อนกันคลื่นออกเป็น 2 ส่วนคือ แนว \overline{WB}_I และแนว \overline{WB}_{II} ซึ่งมีความยาว 1260 และ 450 เมตร ตามลำดับ

ในการคำนวณความสูงคลื่นที่จะกระทำตั้งฉากกับแนวเขื่อน ต้องทราบคุณสมบัติของคลื่น ณ จุดกำเนิดที่จะก่อให้เกิด คลื่นในลักษณะนั้น ๆ กับตัวเขื่อนนั้นคือ ขนาดของคลื่น ความยาวคลื่น และทิศทางของคลื่น ณ จุดกำเนิดคลื่น สิ่งที่ยังไม่ทราบคือ ทิศทาง ซึ่งเกิดจากการหักเหของคลื่นน้ำ เมื่อผ่านตัวกลางที่มีความต้านทานไม่เท่ากัน (ความลึกของน้ำไม่เท่ากัน) สามารถหาได้โดยวิธีในหัวข้อ 3.2 (Snell'law) ดังต่อไปนี้

ตาราง 4.2 แสดงความเร็วของคลื่นน้ำ ณ ระดับท้องทะเลต่าง ๆ โดยให้ระดับน้ำอยู่ที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL อยู่ที่ +2.20 M.CDL) ค่า C ได้จากสมการ 3.2

ระดับท้องทะเล (M).CDL	ความลึกของน้ำ (h) m.	ความยาวคลื่น (L) m.	h/L	ความเร็ว (C) m/s
- 2.0	4.2	100	0.042	6.34
- 3.0	5.2	100	0.052	7.02
- 4.0	6.2	100	0.062	7.61
- 5.0	7.2	100	0.072	8.14
- 6.0	8.2	100	0.082	8.60
- 7.0	9.2	100	0.092	9.02
- 8.0	10.2	100	0.102	9.39
- 9.0	11.2	100	0.112	9.73
- 10.0	12.2	100	0.122	10.03
- 11.0	13.2	100	0.132	10.30
- 12.0	14.2	100	0.142	10.55
- 13.0	15.2	100	0.152	10.76
- 14.0	16.2	100	0.162	10.96
- 15.0	17.2	100	0.172	11.13
- 16.0	18.2	100	0.182	11.28
- 17.0	19.2	100	0.192	11.42
- 18.0	20.2	100	0.202	11.54
- 19.0	21.2	100	0.212	11.65
- 20.0	22.2	100	0.222	11.75
- 21.0	23.2	100	0.232	11.83
- 22.0	24.2	100	0.242	11.91
- 23.0	25.2	100	0.252	12.0
- 24.0	26.2	100	0.262	12.04
- 25.0	27.2	100	0.272	12.09
- 25.0	27.2	100	0.272	12.09

จากตาราง 4.2 จะเห็นว่า ที่ความลึกของท้องทะเลมาก ๆ การสูญเสียพลังงานในการเคลื่อนที่ของคลื่นจะน้อยมาก

จากข้อมูลตาราง 4.1 ค่า T_0 ของคลื่นที่เกิดขึ้นในรอบ 50 ปี มีค่า 7.9 วินาที และค่า L_0 จากการคำนวณ 97.4 เมตร ดังนั้น ความเร็วของคลื่น C จุดกำเนิดหาได้จากสมการพื้นฐาน ($C = f\lambda$) มีค่าประมาณ

$$C = \frac{97.4}{7.9} = 12.3 \quad \text{เมตร/วินาที}$$

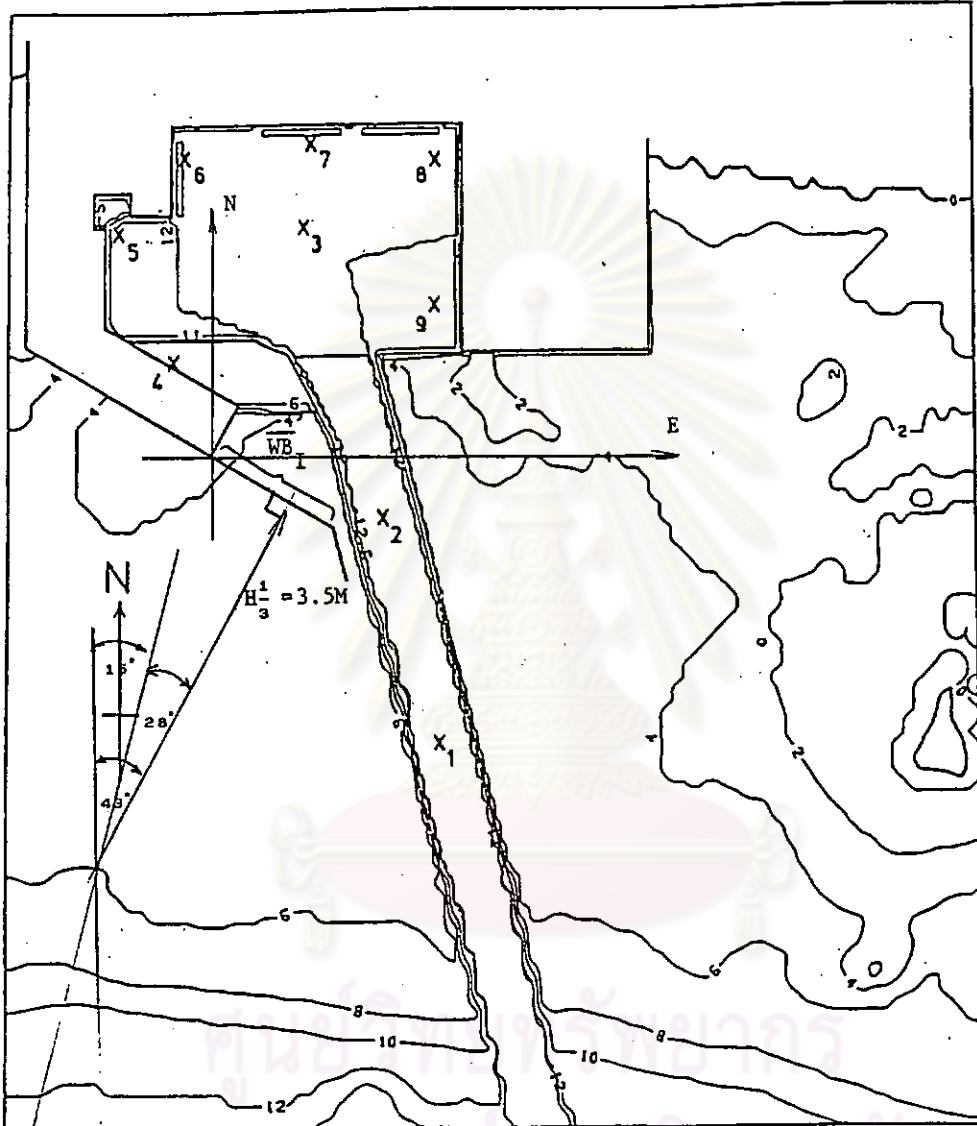
เมื่อใช้สมการ 3.2 หาค่าความลึกของน้ำ (h) C จุดกำเนิดคลื่น

$$\begin{aligned} h &= \frac{L}{2\pi} \tanh^{-1} \frac{2\pi C^2}{gL} \\ &= \frac{100}{2\pi} \tanh^{-1} \frac{2\pi (12.3)^2}{9.81 \times 100} \\ &= 33 \quad \text{เมตร} \end{aligned}$$

นั่นคือ จุดกำเนิดคลื่น จะอยู่ที่ความลึกของท้องทะเล ที่ประมาณ -31 m. CDL ออกไป แต่ในช่วงความลึกมาก ๆ ผลกระทบของการหักเหของคลื่นมีน้อยมาก ดังนั้นการตรวจสอบทิศทางของคลื่นน้ำ C จุดกำเนิด อาจกระทำได้ไม่ถึงระดับความลึก -31 m. CDL

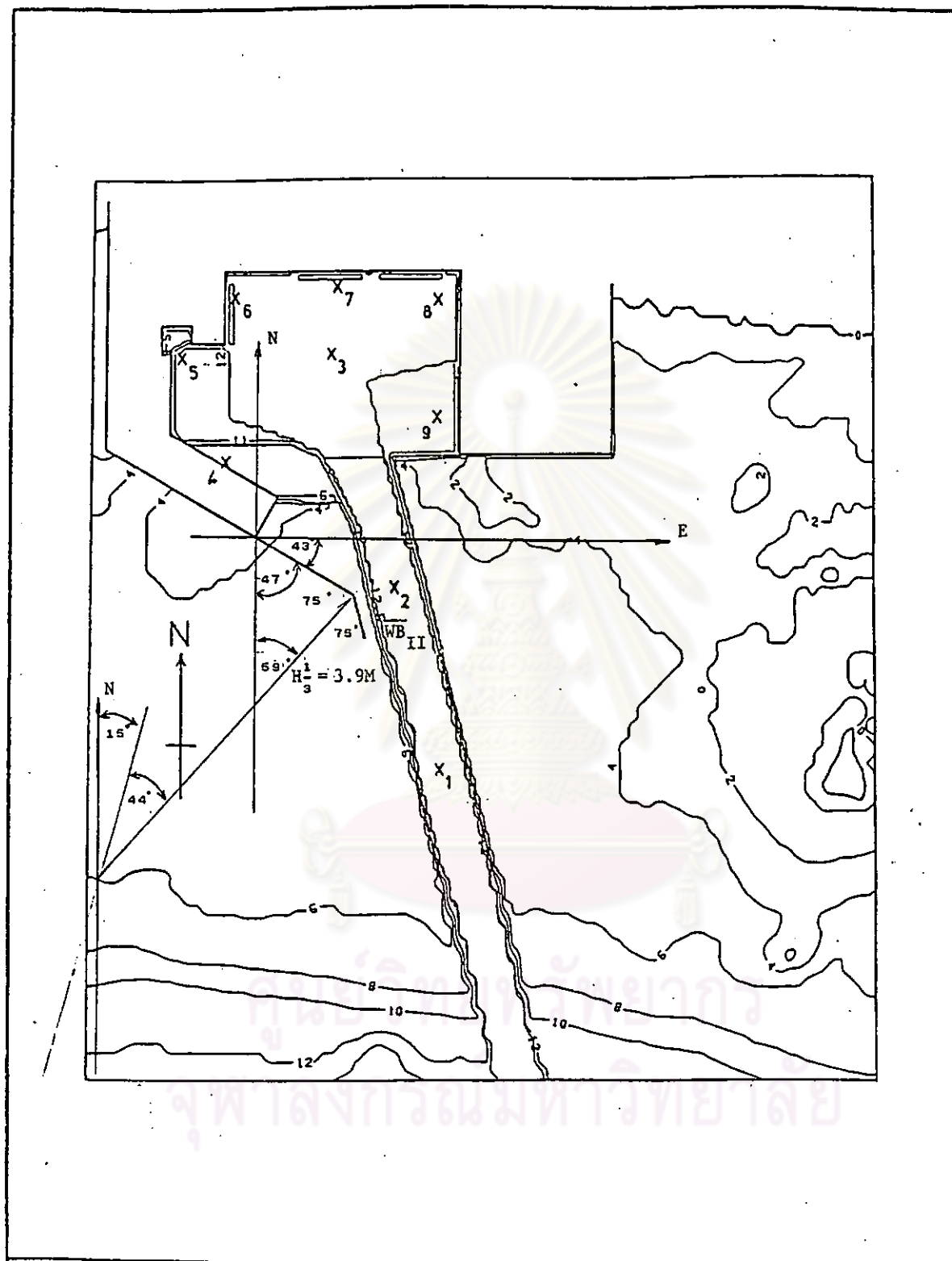
จากแผนที่ พบว่า เส้น Contour ของท้องทะเลจากระดับ -6 m. CDL ลงไปค่อนข้างจะวางตัวในแนวตะวันออก - ตะวันตก โดยที่เส้นดังกล่าวกับเส้น Contour ห่ามประมาณ 15° กับแนวเหนือ - ใต้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ที่ 4.10 แสดงทิศทางของคลื่นซึ่งกระทำต่อตัวเขื่อน ช่วง \overline{WB}_I

----- หมายถึง เส้นตั้งฉากกับแนวเส้น contour



รูปที่ 4.11 แสดงทิศทางของคลื่นกระทำต่อตัวเขื่อน ช่วง \overline{WB}_{II}

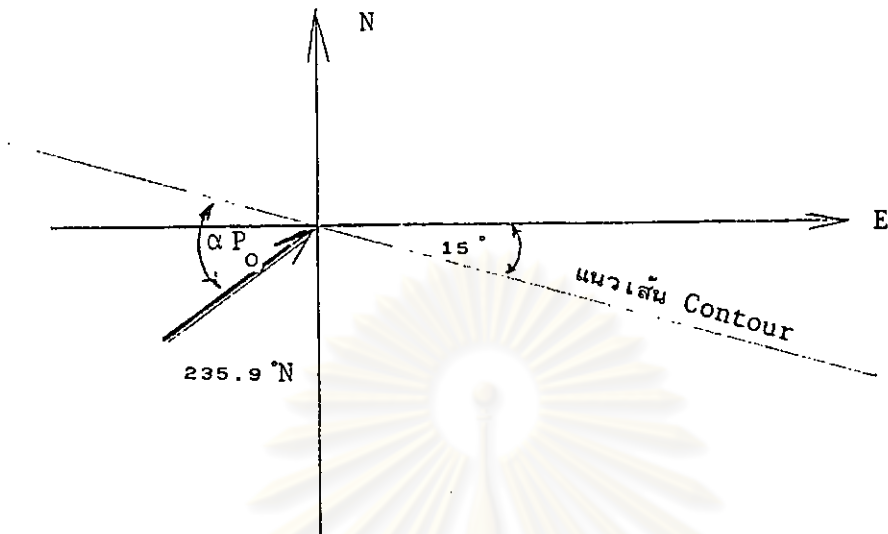
----- หมายถึง เส้นตั้งฉากกับแนวเส้น contour

ตาราง 4.3 คำนวณการหักเหเงื่อทางทิศทางของคลื่น ณ จุดกำเนิด

ระดับห้อง ทะเล M. CDL	ความเร็ว C_W (m/s)	C_1/C_2	เขื่อนช่วง \overline{WB}_I			เขื่อนช่วง \overline{WB}_{II}			หมายเหตุ
			$\text{SIN } \alpha$	α°	มุม Bearing $^\circ\text{N}$	$\text{SIN } \alpha$	α	มุม Bearing $^\circ\text{N}$	
- 6	8.60	-	0.47	28	223	0.69	44	239	
- 8	9.39	1.09	0.51	30.8	225.8	0.76	49.2	244.2	
- 10	10.03	1.07	0.55	33.2	228.8	0.81	54.1	249.1	
- 12	10.55	1.05	0.58	35.1	230.1	0.85	58.3	253.3	
- 14	10.96	1.04	0.60	36.8	231.8	0.88	62.2	257.2	
- 16	11.28	1.03	0.62	38.1	233.1	0.91	65.7	260.7	
- 18	11.54	1.02	0.63	39.0	234.0	0.92	67.6	262.6	
- 20	11.75	1.02	0.64	39.9	234.9	0.94	70.6	265.6	
- 22	11.91	1.01	0.65	40.4	235.4	0.95	72.2	267.2	
- 24	12.04	1.01	0.654	40.9	235.9	0.96	74.1	269.1	
- 26	12.14	1.00	0.654	40.9	235.9	0.96	74.1	269.1	คลื่นไม่หักเห
- 28	12.22	1.00	0.654	40.9	235.9	0.96	74.1	269.1	"
- 30	12.28	1.00	0.654	40.9	235.9	0.96	74.1	269.1	"
- 32	12.33	1.00	0.654	40.9	235.9	0.96	74.1	269.1	"

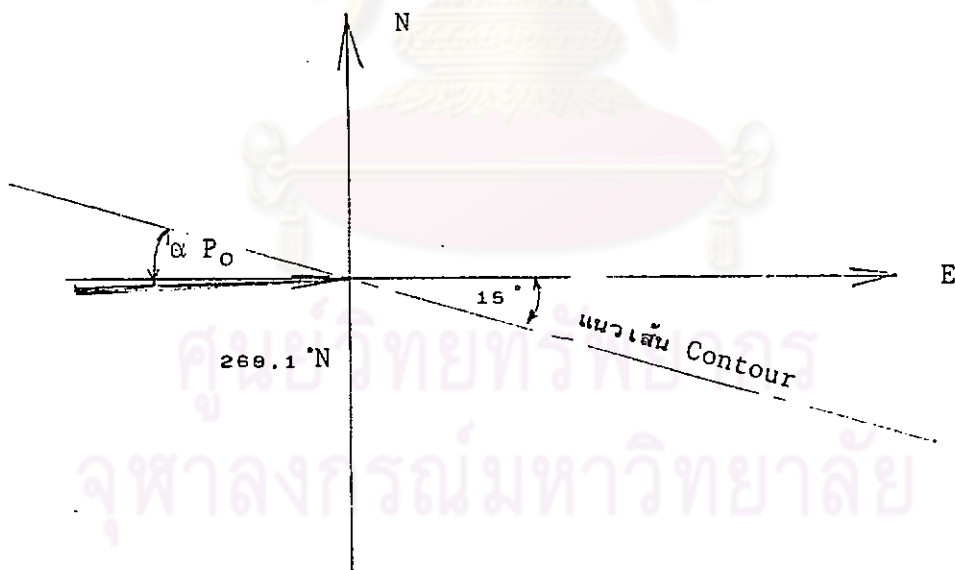
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการคำนวณ สามารถสรุปทิศทางของคลื่นน้ำทั้งสองลูก ณ จุดกำเนิดได้ดังนี้



$$\begin{aligned} (\alpha P)_o &= (270 - 235.9) + 15 \\ &= 49.1^\circ \end{aligned}$$

รูปที่ 4.12 ทิศทางของคลื่นน้ำที่กระทำตั้งฉากต่อตัวเชื่อมช่วง \overline{WB}_I ณ จุดกำเนิด



$$\begin{aligned} (\alpha P)_o &= (270 - 269.1) + 15 \\ &= 15.9^\circ \end{aligned}$$

รูปที่ 4.13 ทิศทางของคลื่นน้ำที่กระทำต่อตัวเชื่อมช่วง \overline{WB}_{II} ณ จุดกำเนิด

จากการรวบรวมข้อมูลคลื่นลมโดยหน่วยงานต่าง ๆ ดังตาราง 4.4 พบว่า ทิศทางของคลื่นลม ซึ่งเป็นมรสุมใหญ่ที่สุด อยู่ในช่วง 226° ถึง 270° N และจากการวิเคราะห์พบว่า ทิศทางของคลื่นที่กระทำตึงจากกับตัวเขื่อน มีมรสุม ๗ จุดกำเนิดคลื่น อยู่ระหว่าง 236° ถึง 269° N แสดงว่าการจัดวางแนวของตัวเขื่อนอยู่ในทิศทางที่เหมาะสม ซึ่งสามารถป้องกันมรสุมที่มีขนาดใหญ่ได้ดี ดังนั้นสามารถนำขนาดความสูงคลื่นจากการเก็บข้อมูล (H_o และ T_o) วิเคราะห์และคำนวณหาความสูงคลื่นที่จะกระทำต่อตัวเขื่อนได้ ดังนี้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOURCE	TYPE OF DATA	WATER DEPTH	SIGNIFICANT WAVE HEIGHTS, H _s (metres)				REMARKS	
1. JICA (Ref 1)	Measured	5 m CD	2.3				Maximum H _s recorded during August-September 1982	
2. Nippon Koei	Measured	5.5 m CD	1.1				Maximum H _s recorded during October 1984 - February 1985	
3. Geomex Survey (Ref 2)	Measured	6.5 m CD	1.7				Maximum H _s recorded during September 1982	
4. DHI (Ref 4)	Wind hindcast	Deep water	4.5				1 in 100 year value for sea area 11°-12°N 1 in 100 year value for sea area 9°-10°N	
			5.5					
5. Maunsell (Ref 5)	Wind hindcast	Deep water	2.9				Maximum sea state during Typhoon "Voe"	
6. JICA (Ref 1)	Wind hindcast	Deep water 5 m CD	Return Period (years)	10	50	100	Hindcast using scaled Sattahip wind data for period 1964-1981 and the SMB method. Refraction and shoaling then applied to obtain shallow water values	
				3.1 3.0	3.7 3.5	3.9 3.7		
7. AIT (Ref 3)	Wind hindcast	6 m CD	Return Period (years)	1 2.4	10 2.7	50 2.9	100 3.1	Winds scaled to fit measured wave data and hindcast undertaken using Pierson-Moskowitz spectral parameterisation
8. Halcrow	Wind hindcast	Deep water	Return Period (years)	10 3.3	50 4.6	100 5.2	SMB hindcast of tropical cyclones using Sattahip wind data and a correction factor of 2 x (Ref 3).	
9. NMIMET	VOS data	Deep water	Return Period (years)	1 4.0	10 4.8	50 5.3	100 5.5	Data for all directions
				2.8	3.5	4.0	4.2	" direction sector 136°-180°
				3.3	4.1	4.5	4.7	" direction sector 181°-225°
				3.8	4.6	5.1	5.3	" direction sector 226°-270°
10. Halcrow	Refraction Analysis	Nearshore	Return Period (years)	1	10	50	100	Applied results from refraction and shoaling model to NMIMET results by direction (values given are the largest significant wave heights considering all incident directions)
		18 m CD	2.9	3.5	3.8	3.9		
		10 m CD	2.5	3.0	3.4	3.6		

ใช้รูป 3.2 หาค่า Kr ที่ระดับความลึกของน้ำต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.5

ตาราง 4.5 แสดงผลการหาค่า Kr เมื่อ $(\alpha P)_0 = 49^\circ$ (ช่วง \overline{WB}_I)

h (เมตร)	Lo (เมตร)	h/Lo	Ho/Lo	Smax	Kr
4	100	0.04	0.047	10	0.84
5	100	0.05	0.047	10	0.845
6	100	0.06	0.047	10	0.851
7	100	0.07	0.047	10	0.855
8	100	0.08	0.047	10	0.860
9	100	0.09	0.047	10	0.870
10	100	0.10	0.047	10	0.880

การคำนวณ Ho' ช่วง \overline{WB}_I

ระดับท้องทะเล ช่วง \overline{WB}_I ประมาณ -4.0 เมตร (CDL)

กรณีน้ำลง (+1.40 m. CDL) ความลึกของน้ำจะเป็น $4 + 1.4 = 5.4$ เมตร

$$Ho' = 1.0 \times 0.847 \times 4.7 = 3.98 \text{ เมตร}$$

กรณีน้ำขึ้น (+3.0 m. CDL) ความลึกของน้ำจะเป็น $4 + 3 = 7.0$ เมตร

$$Ho' = 1.0 \times 0.855 \times 4.7 = 4.02 \text{ เมตร}$$

จากรูป 4.9 วัดค่าความลาดของท้องทะเลได้

$$\tan \theta = \frac{6}{1400} = 4.3 \times 10^{-3}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ β_0 , β_1 , β_{max} และ K_s จากสมการ 3.6 , 3.7 , 3.8 และรูป 3.3 ตามลำดับ เพื่อคำนวณค่า $H \frac{1}{3}$ ดังนี้

ตาราง 4.6 ค่าของ $H \frac{1}{3}$ ที่กระทำได้จากกับตัวเชื่อม ช่วง \overline{WB}_I

ค่าที่คำนวณ	น้ำลง (h = 5.4 M)	น้ำขึ้น (h = 7.0 M)
h/Lo	0.054	0.07
Ho/Lo	0.047	0.047
Ho'	3.98	4.02
Ho'/Lo	0.0398	0.0402
Tan θ	4.3×10^{-3}	4.3×10^{-3}
β_0	0.0959	0.0955
β_1	0.529	0.529
β_{max}	max (0.92 , 0.824)	max (0.92 , 0.821)
K_s	1.11	1.02
$K_s Ho'$	4.42	4.10
$\beta_0 Ho' + \beta_1 h$	3.24 *	4.09
$\beta_{max} Ho'$	3.66	3.70 *

$$H \frac{1}{3} = \frac{3.24 + 3.70}{2} = 3.47 \text{ เมตร}$$

ใช้รูป 3.2 หาค่า Kr ที่ระดับความลึกของน้ำต่าง ๆ ได้ผลดังตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ผลการหาค่า Kr เมื่อ $(\alpha P)_0 = 16^\circ$ (ช่วง \overline{WB}_{II})

h (เมตร)	Lo (เมตร)	h/Lo	Ho/Lo	Smax	Kr
4	100	0.04	0.047	10	0.930
5	100	0.05	0.047	10	0.935
6	100	0.06	0.047	10	0.945
7	100	0.07	0.047	10	0.950
8	100	0.08	0.047	10	0.955
9	100	0.09	0.047	10	0.960
10	100	0.10	0.047	10	0.965

การคำนวณ H_o' ช่วง \overline{WB}_{II}

ระดับท้องทะเลช่วง \overline{WB}_{II} ประมาณ -5.0 เมตร (CDL)

กรณีน้ำลง (+1.40 M.CDL) ความลึกของน้ำจะเป็น $5 + 1.4 = 6.4$ เมตร

$$H_o' = 1.0 \times 0.947 \times 4.7 = 4.45 \text{ เมตร}$$

กรณีน้ำขึ้น (+3.0 M.CDL) ความลึกของน้ำจะเป็น $5 + 3 = 8.0$ เมตร

$$H_o' = 1.0 \times 0.955 \times 4.7 = 4.49 \text{ เมตร}$$

ความลาดของท้องทะเล $\tan \theta = \frac{6}{1400} = 4.3 \times 10^{-3}$

สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ β_0 , β_1 , β_{max} และ K_s ดังตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ค่า $H \frac{1}{3}$ ที่กระทำต่อตัวเขื่อน ช่วง \overline{WB}_{II}

ค่าที่คำนวณ	น้ำลง (h = 6.4 M)	น้ำขึ้น (h = 8.0 M)
h/Lo	0.064	0.08
Ho/Lo	0.047	0.047
Ho'	4.5	0.49
Ho'/Lo	0.0445	0.0449
Tan θ	4.3×10^{-3}	4.3×10^{-3}
β_0	0.0919	0.0916
β_1	0.529	0.529
β_{max}	max (0.92 , 0.80)	max (0.92 , 0.80)
K_s	1.03	0.98
$K_s Ho'$	4.58	4.40
$\beta_0 Ho' + \beta_1 h$	3.79 *	4.64
$\beta_{max} Ho'$	4.09	4.13 *

$$H \frac{1}{3} = \frac{3.79 + 4.13}{2} = 3.96 \text{ เมตร}$$

จากการคำนวณสามารถสรุปความสูงคลื่นในการออกแบบ ($H \frac{1}{3}$) คือช่วง \overline{WB}_I ความสูงคลื่นกระทำต่อเขื่อน 3.5 เมตร ช่วง \overline{WB}_{II} ความสูงคลื่นกระทำต่อเขื่อน 3.9 เมตร โดยมีคาบเวลาการเคลื่อนที่ประมาณ 8.0 วินาที



4.5 การคำนวณน้ำหนักของหินห่อหุ้ม

น้ำหนักของหินห่อหุ้มส่วนลาดของตัว เขื่อนกันคลื่น เพื่อด้านแรงกัดเซาะของคลื่นนั้น

ได้ทำการสำรวจและทดสอบคุณสมบัติของหินจากแหล่ง ซึ่งได้ผลดังนี้

1. หน่วยน้ำหนักของหินห่อหุ้ม = 2.65 T/m^3

2. ความถ่วงจำเพาะของหินห่อหุ้ม เทียบกับน้ำทะเล

$$= \frac{2.65}{1.025} = 2.585$$

ค่า KD สำหรับการคำนวณหาจากตารางที่ 4.9 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ซึ่งเราใช้หินแบบ Rough angular จำนวน 2 ชั้น และด้านแรงคลื่นในลักษณะ Breaking wave ที่กระทำต่อตัวเขื่อน ได้ค่า $K_D = 3.5$ โดยมีค่ามุมลาดที่เป็นไปได้ $\cot \alpha = 1.5, 2.0$ และ 3.0 ตามลำดับ

สมการที่ใช้ในการออกแบบขนาดของหินห่อหุ้ม คือสมการที่ 3.25 โดยที่

$$P_r = 2.65 \text{ T/m}^3$$

$H = 3.9 \text{ m}$. โดยมีคาบการเคลื่อนที่ = 8 SECS คิดที่ส่วนปลายของเขื่อน

กับคลื่น และ $H = 3.5 \text{ m}$. ที่ส่วนใกล้ชายฝั่ง ดังรูป 4.10 และ 4.11

$$K_D = 3.5 \text{ จากตารางที่ 4.9}$$

$$\cot \alpha = 1.5, 2.0 \text{ และ } 3.0 \text{ ตามลำดับ}$$

$$S_r = 2.585 = \frac{P_r}{\rho}$$

ผลการคำนวณขนาดของหินห่อหุ้มสามารถสรุปได้จากกราฟรูป 4.14 ซึ่งขึ้นกับ

ตัวแปร 2 ปัจจัย คือ ขนาดความสูงคลื่น และ มุมลาดของตัวเขื่อน

ตาราง 4.9 แสดงค่า K_D เพื่อคำนวณขนาดหินห่อหุ้ม
(ที่มา - Technical Standard for Port and Harbour Facility in Japan)

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

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

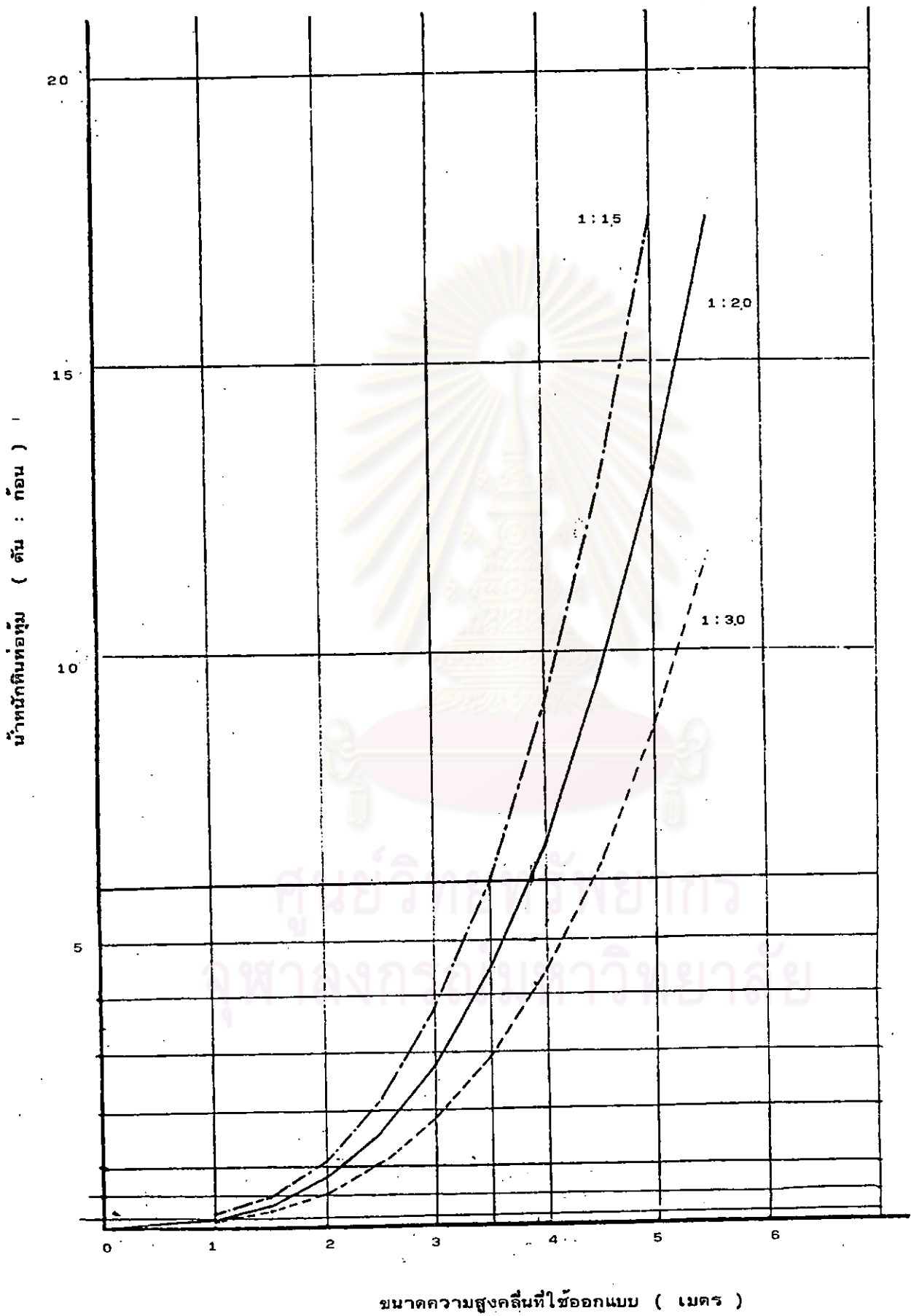
† The use of single layer of quarystone armor units subject to breaking waves is not recommended, and only under special conditions for nonbreaking waves. When it is used, the stone should be carefully placed.

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

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

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

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



รูปที่ 4.14 ผลการคำนวณน้ำหนักหินต่อหุ้ม

จากกราฟรูป 4.14 เราสามารถกำหนดขนาดของหินห่อหุ้มได้ดังนี้คือ

1. เขื่อนกันคลื่น ช่วง \overline{WB}_I รับความสูงคลื่น 3.5 m. มีมุมลาด 1 : 2
ดังนั้นน้ำหนักของหินห่อหุ้มจะเป็น 4.5 ตันต่อก้อน (2 ชั้น)
2. เขื่อนกันคลื่น ช่วง \overline{WB}_{II} รับความสูงคลื่น 3.9 m. มีมุมลาด 1 : 2
ดังนั้นน้ำหนักของหินห่อหุ้มจะเป็น 6.5 ตันต่อก้อน (2 ชั้น)
3. วัสดุถมชั้นในของตัวเขื่อน จะเป็นหินย่อยระเบิดจากแหล่งหิน โดยมีขนาด
คละกันไป น้ำหนักต่อก้อนประมาณ 400 กก. เรียกว่า " Quarry stone "



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 การคำนวณความสูงของตัว เขื่อน เพื่อป้องกันผลกระทบจากคลื่นต่อ เขตจอด เรือ

จากผลการเก็บสำรวจระดับน้ำ ขึ้น - ลง โดยอาศัยข้อมูลจากหลายแหล่ง สามารถสรุปได้ เป็นแผนภูมิดังรูป 4.15

	+3.71	ระดับน้ำขึ้นสูงสุดที่เคยบันทึกได้สถิติ (1951)
	+3.30	ระดับน้ำใกล้น้ำขึ้นสูงสุดที่ปรากฏของโครงการ
	+2.97	ระดับน้ำขึ้นสูงสุด เฉลี่ย
	+2.35	ระดับน้ำขึ้น เฉลี่ยแต่ละวัน
±0.00 MSL (สถิติ)	+2.19	ระดับน้ำทะเลปานกลาง
ระดับน้ำทะเลปานกลาง	+2.03	ระดับน้ำลงเฉลี่ยแต่ละวัน
	+1.41	ระดับน้ำลงต่ำสุด เฉลี่ย
	+1.09	ระดับน้ำใกล้น้ำลงต่ำสุดที่ปรากฏของโครงการ (NEARLY LOWEST LOW WATER) (NLLW)
-2.19	0.00	ระดับอ้างอิงสำหรับโครงการท่า เรือมาบตาพุด
MSL	CD	เป็นระดับน้ำลงต่ำสุดที่บันทึกได้จากสถิติ

รูปที่ 4.15 แผนภูมิแสดงระดับน้ำ ขึ้น - ลง ท่าเรือบ้านมาบตาพุด
(ที่มา - กรมยุทธศาสตร์ กองทัพเรือ)

เนื่องจากท่าเรือมาบตาพุดตั้งอยู่ในบริเวณท้องทะเลเขตน้ำตื้น (Shallow water) และมี แนวของแผ่นดินถมใหม่ (Reclaimed land) ปกป้องกันทางด้านตะวันตก บริเวณใกล้แนวชายฝั่ง ดังนั้นจึงสามารถกำหนดระดับสันเขื่อนโดยใช้ข้อกำหนดค่าน้อย คือ ให้ระดับสันเขื่อนสูงจากระดับน้ำขึ้นสูงสุดไม่น้อยกว่า $0.6 H \frac{1}{3}$ โดยที่ระดับน้ำขึ้นสูงสุดเฉลี่ยของโครงการอยู่ที่ +3.0 m.(CDL)

ดังนั้นระดับของสันเขื่อนแต่ละช่วงจะเป็น

1. ช่วง \overline{WB}_I มีความยาว 1260 เมตร คลื่นที่กระทำต่อโครงสร้างมีความสูงในการออกแบบ ($H \frac{1}{3}$) 3.50 เมตร ดังนั้นระดับสันเขื่อนจะอยู่ที่ +3.0 + (0.6×3.5) = +5.1 m.(CDL) บวกค่าทรุดตัวประมาณ 0.50 เมตร ระดับสันเขื่อนจะเป็น +5.60 m.(CDL)

2. ช่วง \overline{WB}_{II} มีความยาว 450 เมตร คลื่นที่กระทำต่อโครงสร้างมีความสูงในการออกแบบ ($H \frac{1}{3}$) 3.90 เมตร ดังนั้นระดับสันเขื่อนจะอยู่ที่ +3.0 + (0.6×3.9) = +5.34 m.(CDL) บวกค่าทรุดตัวประมาณ 0.50 เมตร ระดับสันเขื่อนจะเป็น +5.84 m.(CDL)

ดังนั้นระดับสันเขื่อนจะอยู่ที่ +5.60 ถึง +5.90 m.(CDL) โดยกำหนดระยะต่อระหว่างช่วง \overline{WB}_I และ \overline{WB}_{II} ให้มีมุมลาดที่สัน เนื่องจากการเปลี่ยนระดับเท่ากับ 1°

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7 การคำนวณขนาดและรูปร่างของหน้าตัด เขื่อน

จากข้อพิจารณาสำหรับวัสดุถมในหัวข้อ 3.4.2 สามารถคำนวณความหนาของวัสดุถมแต่ละชั้นได้ดังนี้

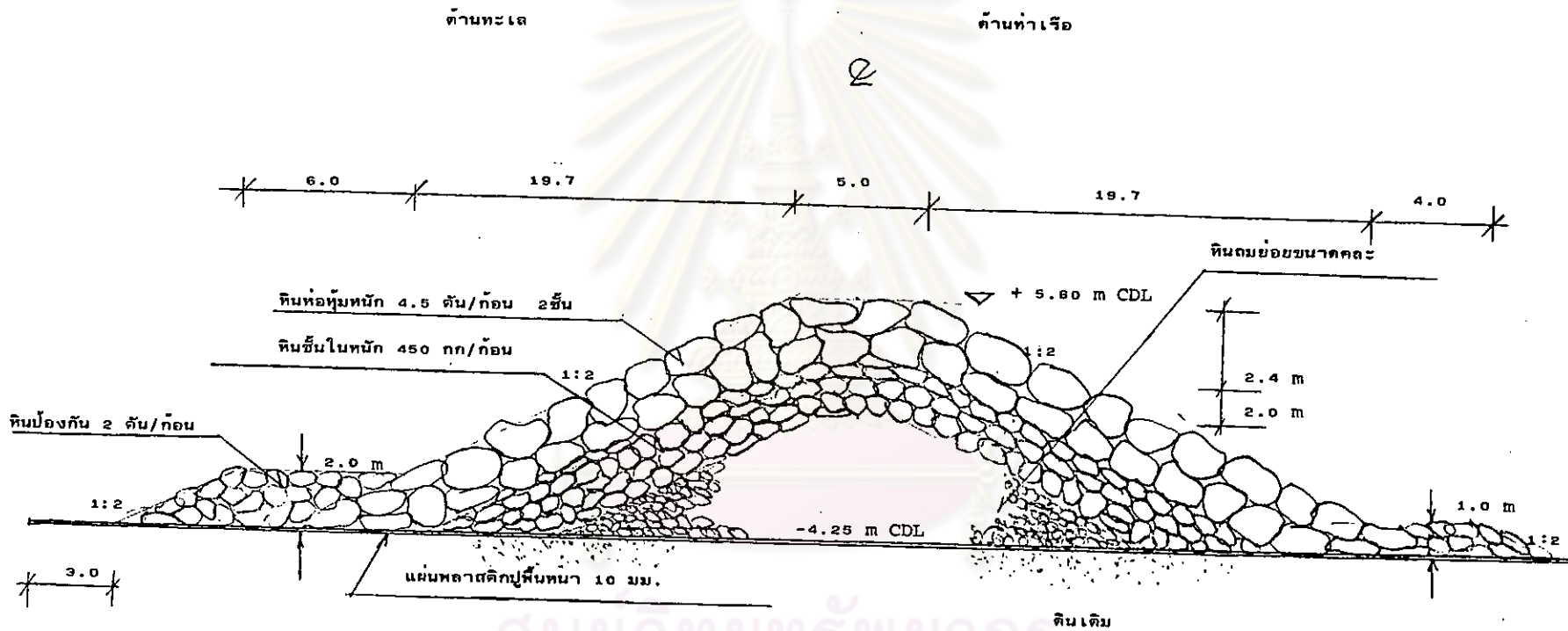
4.7.1 เขื่อนช่วง \overline{WB}_I มีระดับท้องทะเลระหว่าง -4.0 ถึง -4.5 เมตร (CDL) และระดับสันเขื่อนอยู่ที่ +5.6 เมตร (CDL) สามารถกำหนดขนาดของเขื่อนดังนี้

1. หินท่อนุ้ม ขนาดก้อนละ 4.5 ตัน เมื่อคิดเป็นก้อนลูกบาศก์จะมีขนาดประสิทธิภาพเป็น $1.20 \times 1.20 \times 1.20$ เมตร ดังนั้นความหนาของชั้นนอกจะเป็น 2.4 เมตร (ควรใช้หินท่อนุ้ม 2 ชั้น เป็นอย่างต่ำ)
2. หินชั้นใน ใช้หินขนาดก้อนละ 450 กก. มีขนาดประสิทธิภาพเป็น $0.55 \times 0.55 \times 0.55$ เมตร ให้น้ำหนักของหินชั้นในทั้งหมดรวมเท่ากับน้ำหนักของหินท่อนุ้มประมาณ 120 ตัน/เมตร ต้องใช้หิน 4 ชั้น โดยประมาณ ดังนั้นความหนาของหินชั้นในจะเป็น 2.0 เมตร
3. Toe protection ด้านรับแรงคลื่นให้สูง 2.0 เมตร ส่วนด้านท่าเรือสูง 1.0 เมตร โดยมีความกว้าง 6.0 เมตร และ 4.0 เมตร ตามลำดับ ขนาดหินประมาณ 1 - 2 ตันค้ำก่อน
4. มีแผ่นพลาสติกปูพื้นหนา 10 ม.ม. ยื่นพ้นจาก Toe protection ขอละ 3.0 เมตร

4.7.2 เขื่อนช่วง \overline{WB}_{II} มีระดับท้องทะเลระหว่าง -4.5 ถึง -5.0 เมตร (CDL) ระดับสันเขื่อนอยู่ที่ +5.9 เมตร (CDL) สามารถกำหนดขนาดของเขื่อนได้ดังนี้

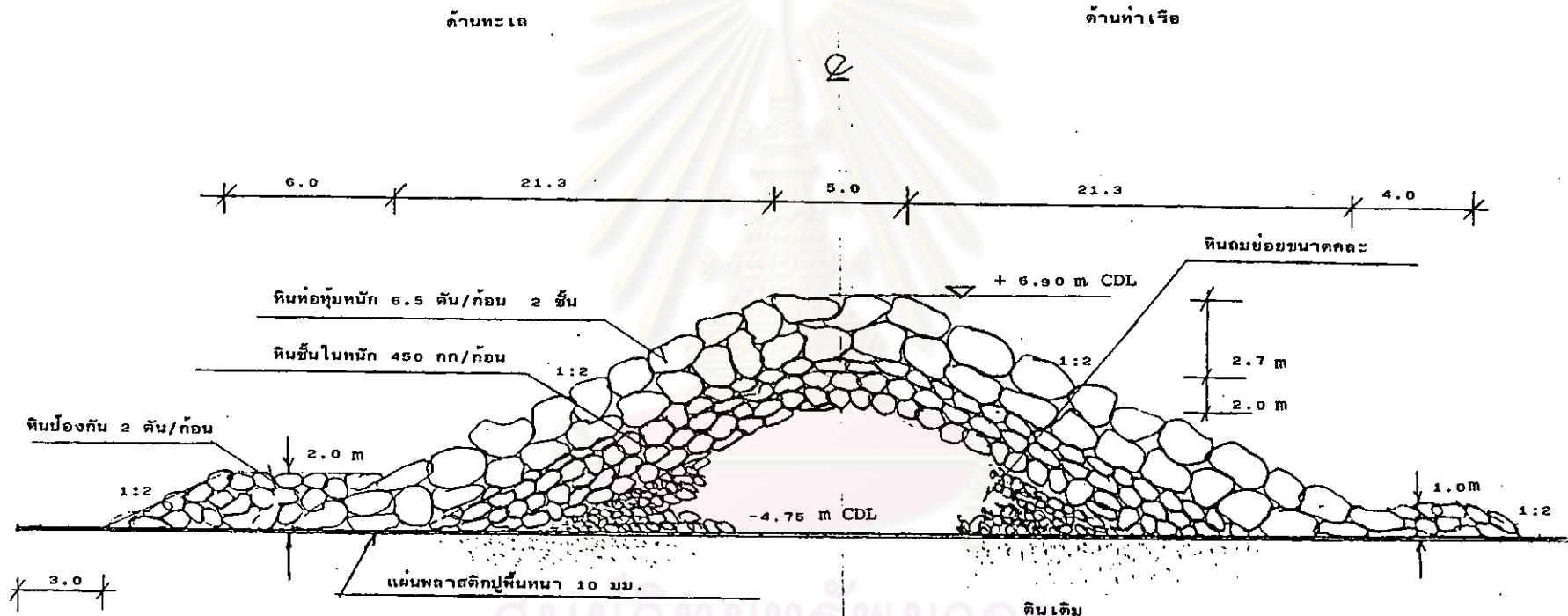
1. หินท่อนุ้ม ขนาดก้อนละ 6.5 ตัน มีขนาดประสิทธิภาพเป็น $1.35 \times 1.35 \times 1.35$ เมตร ดังนั้นความหนาของชั้นนอกจะเป็น 2.70 เมตร
2. หินชั้นใน ใช้หินขนาดก้อนละ 450 กก. 4 ชั้นเท่าช่วงความหนาจะเป็น 2.0 เมตร

ดังนั้นจะได้รูปตัดเขื่อนจากการออกแบบ ช่วง \overline{WB}_I และ \overline{WB}_{II} ดังรูป 4.16 และ 4.17



ศูนย์วทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.16 แสดงรูปตัดเขื่อนกันคลื่นช่วง WB_I



ศูนย์วาทยตร์พยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 รูปที่ 4.17 แสดงรูปตัด เชื่อมกันคลื่นช่วงWBII