บทที่ 4
แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

4.1 แบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาทางด้านวิศวกรรมชายฝั่ง ประกอบด้วยแบบจำลองทางด้านชลศาสตร์ (hydraulic model) และแบบจำลองทางด้านคณิตศาสตร์ (mathmetical model) ซึ่งแต่ละแบบจำลองมีความเหมาะสมในการใช้ต่างกัน แต่ก็สามารถเปรียบเทียบผลกันได้ สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลองชลศาสตร์ เพื่อที่จะศึกษาผลของคลื่น และกระแสการไหลจากแม่น้ำต่อบริเวณปากแม่น้ำ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่กำหนดไว้

ในการศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลอง ที่จัดทำขึ้นในโครงการพัฒนาลุ่มแม่น้ำโกลกตอนล่าง ซึ่งได้จำลองลักษณะสภาพจริงบริเวณปากแม่น้ำโกลก สำรวจโดยกรมเจ้าท่า เมื่อเดือนมิถุนายน 2526 มีขนาดกว้าง 22.75 เมตร ยาว 28.20 เมตร แบบจำลองประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่เป็น pit เป็นที่ติดตั้ง wave paddle ส่วนที่เป็นพื้นปูนทราย (fixed bed) และส่วนที่เป็นพื้นทรายละเอียด (moveable bed) ดังแสดงในรูป 4-1 ในส่วนที่เป็นพื้นทรายใช้ทรายละเอียดที่มีขนาดเมล็ดเฉลี่ย (d_{50}) ประมาณ 0.20 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูป 4-2

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในแบบจำลอง

4.2.1 เครื่องสร้างคลื่น (Wave Generator)

เครื่องสร้างคลื่น ดังแสดงในรูป 4-3 เป็นแบบ oscillate paddle โดยอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกา นำมาดัดแปลงให้มีการเคลื่อนที่แบบไป-กลับ ในแนวราบ เพื่อที่จะถ่ายพลังงานให้กับโมเลกุลของน้ำ เกิดเป็นลูกคลื่นเคลื่อนตัวต่อเนื่องกันไปตลอดเวลา ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนสร้างคลื่นและส่วนขับเคลื่อน สามารถสร้างคลื่นได้ตั้งแต่ความสูงคลื่น 0.5-4.0 เซนติเมตร โดยการปรับช่วงชัก (stroke) บริเวณด้านข้างของล้อตุนแรงทั้งสองตัว สำหรับคาบเวลาคลื่นปรับค่าได้ด้วยความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังความสัมพันธ์ข้างล่าง

ความเร็วรอบมอเตอร์ = 250/Tm

โดยที่ Tm = คาบเวลาคลื่นจำลอง, วินาที

เพื่อที่จะต้องการทราบขนาดความสูงคลื่นสร้าง (incident wave) ที่คาบเวลาคลื่นต่าง ๆ ในการทดลอง จำเป็นต้องทำการปรับเทียบเครื่องสร้างคลื่น โดยการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงชักของ wave paddle และขนาดความสูงคลื่นสร้างของแต่ละคาบเวลาคลื่นที่ระดับน้ำทดลองต่าง ๆ ที่ต้องการ

4.2.2 เครื่องวัดคลื่น (Wave Probe)

เครื่องวัดคลื่นที่ใช้ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ วงจรอิเลคทรอนิคส์ และเส้นลวด sensor ดังแสดงในรูป 4-6 สามารถวัดขนาดคลื่นได้โดยอาศัยหลักการ capacitance ของเส้นลวด sensor โดยที่การเพิ่มและลดลงของระดับน้ำ จะเป็นผลให้เกิด capacitance มากน้อยตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำด้วย ผลคลื่นที่วัดได้จะถูกส่งสัญญาณผ่านวงจรอิเลคทรอนิคส์แปลงสัญญาณส่งไปยังเครื่องบันทึกคลื่น

การที่ใช้เครื่องวัดคลื่น จำเป็นต้องทำการปรับเทียบเครื่องก่อน โดยการทดสอบเส้นลวด sensor ที่ระดับน้ำต่าง ๆ ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง voltage และระดับน้ำค่าความลาดของเส้นตรงที่ได้ซึ่งมีหน่วยเป็น volt/cm จะนำไปใช้คำนวณหาความสูงคลื่นที่ได้จากเครื่องบันทึก

4.2.3 เครื่องบันทึกคลื่น (Wave Recorder)

เครื่องบันทึกรูปคลื่น ดังแสดงในรูป 4-6 ก สามารถบันทึกคลื่นได้โดยการรับสัญญาณจากเครื่องวัดคลื่น ซึ่งจะแสดงผลคลื่นโดยการใช้ปากกาขีดเส้นลงบนกระดาษบันทึก (graph chart) และให้ค่าความสูงคลื่นมีหน่วยเป็น volt สามารถแปลงหน่วยเซนติเมตรได้โดยการคูณกับค่าความลาดที่ได้จากการปรับแต่งเครื่องวัดคลื่นดังกล่าวข้างต้น รูป 4-11 แสดงตัวอย่างการบันทึกข้อมูลคลื่น

4.2.4 เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ

ดังแสดงในรูป 4-12 เป็นเครื่องวัดขนาดเล็ก ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ใบพัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.60 มิลลิเมตร และเครื่องแสดงผลแบบ analoque indicator สามารถใช้วัดความเร็วได้ตั้งแต่ 2.5-150 เซนติเมตร/วินาที

4.2.5 เครื่องจ่ายน้ำ

เป็นเครื่องจ่ายน้ำให้กับแม่น้ำในแบบจำลองแบบฝายน้ำล้นตัววี (V-notch weir) ที่ใช้เป็นมาตรฐานสากล ขนาด 0.90 x 1.20 x 1.50 เมตร ดังแสดงในรูป 4-13 อัตราการจ่ายน้ำหลังการปรับเทียบแล้วขึ้นอยู่ความสัมพันธ์ของสมการต่อไปนี้

$$Q = 0.0147193\ H^{2.48}$$

โดยที่ Q = อัตราการจ่ายน้ำ, ลิตร/วินาที

H = ความสูงของน้ำที่ไหลออกจากช่วงเปิด, เซนติเมตร

4.3 การวิเคราะห์สัดส่วน (Dimensional Analysis)

ในการจำลองแบบจำลองเพื่อจำลองพฤติกรรมของจริง ได้อาศัยกฎการคล้ายคลึงกันของแบบจำลอง โดยสมมติให้คลื่นเคลื่อนที่เป็นแบบ irrotational และความหนาแน่นของน้ำคงที่ จากสมการ unsteady state Bernoulli เขียนได้ดังนี้

$$-\frac{\partial\phi}{\partial t} + \frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gz = 0 \qquad (4\text{-}1)$$

หรือ

$$a_G[R] + \frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gz = 0 \qquad (4\text{-}2)$$

ให้ $\bar{a} = a/H_o$, $\bar{u} = u/C_o$, $\bar{p} = p/\rho g H_o$, $\bar{z} = z/H_o$ แล้วนำไปแทนค่าในสมการ (4-2) จะได้ว่า

$$\bar{a}H_o g[R] + \frac{\bar{u}^2}{2C_o} + \frac{\bar{p}gH_o}{\rho} + g\bar{z}H_o = 0 \qquad (4\text{-}3)$$

โดยที่ R = $\cosh k(h+z)/\cosh kh \sin(kx-t)$

H_o = ความสูงคลื่นน้ำลึก

C_o = ความเร็วคลื่นน้ำลึก

หารสมการ (4-3) ด้วย จะได้ว่า

$$\bar{a}[R] + \frac{C_o^2}{gH_o}\frac{\bar{u}^2}{2} + \bar{p} + \bar{z} = 0 \qquad (4\text{-}4)$$

จากแฟคเตอร์ในเทอมที่สองของสมการ (4-4) คือ C_o^2/gH_o เป็น Froude Number ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการหาความคล้ายคลึงกันระหว่างแบบจำลองและของจริง ดังนี้

$$\left[\frac{C_o^2}{gH_o}\right]_m = \left[\frac{C_o^2}{gH_o}\right]_p \qquad (4\text{-}5)$$

ให้ $g_m = g_p$ ก็จะได้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\frac{C_{om}^2/C_{op}^2}{H_{om}/H_{op}} = 1 \qquad (4\text{-}6)$$

เพราะฉะนั้นจะได้สัดส่วนระหว่างแบบจำลองต่อของจริง ดังนี้

$$C_{om}/C_{op} = LrTr^{-1} \qquad (4\text{-}7)$$

$$H_{om}/H_{op} = Yr \qquad (4\text{-}8)$$

$$Tr = LrYr^{-1/2} \qquad (4\text{-}9)$$

4.4 <u>มาตราส่วนการทดลอง</u>

การทดลองมีวัตถุประสงค์ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะคลื่นภายในชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ และลักษณะการไหลบริเวณปากแม่น้ำ ได้ในกรณีการทดลองชนิด undistorted model จะใช้มาตราส่วน 1:100 ดังนั้นตัวแปรต่าง ๆ ในแบบจำลองจะมีมาตราส่วน ดังนี้

มาตราส่วนความยาว (Lr)	=	1:100
มาตราส่วนความลึก (Yr)	=	1:100
มาตราส่วนความเร็ว (Vr)	=	1:10
มาตราส่วนเวลา (Tr)	=	1:10
มาตราส่วนการไหล (Qr)	=	1:100,000

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะท้องน้ำชายฝั่ง เพื่อให้คลื่นภายในชายฝั่งมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะท้องน้ำชายฝั่งได้อย่างเด่นชัด ได้เลือกใช้แบบจำลองชนิด distorted model โดยมีมาตราส่วนแนวราบ 1:100 และแนวดิ่ง 1:74 ดังนั้นตัวแปรต่าง ๆ ในแบบจำลอง จะมีมาตราส่วน ดังนี้

มาตราส่วนความยาว (Lr)	=	1:100
มาตราส่วนความลึก (Yr)	=	1:74
มาตราส่วนความเร็ว ($Yr^{1/2}$)	=	1:8.60
มาตราส่วนเวลา ($Lr/Yr^{1/2}$)	=	1:11.62
มาตราส่วนการไหล ($LrYr^{3/2}$)	=	1:63,657

4.5 ผลการปรับเทียบเครื่องมือ

การทำทดลองในแบบจำลองทางชลศาสตร์ จำเป็นจะต้องมีการปรับเทียบอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองก่อนทุกครั้ง เพื่อให้สามารถนำค่าที่วัดไว้ไปแปลงเป็นหน่วยที่ต้องการได้ต่อไป ในที่นี้ได้ทำการปรับเทียบเครื่องสร้างคลื่น และเครื่องวัดคลื่น และหาความสัมพันธ์เป็นกราฟไว้ดังนี้

4.5.1 ผลการปรับเทียบเครื่องสร้างคลื่น

เนื่องจากเครื่องสร้างคลื่นที่ทำขึ้น จะต้องปรับตำแหน่งของช่วงชัก เพื่อสร้างคลื่นที่มีขนาดที่ต้องการความสัมพันธ์ระหว่างช่วงชัก (stoke) และขนาดคลื่นที่ระดับน้ำ +2.0 m และ +4.0 m ออกมาเป็นเส้นตรงดังรูป 4.4 และ 4.5 จากความสัมพันธ์นี้ จะทำให้สามารถสร้างคลื่นในขนาดที่ต้องการได้ โดยการปรับช่วงชัก

4.5.2 ผลการปรับเทียบเครื่องวัดคลื่น

เครื่องวัดคลื่นเป็นเครื่องมืออีกชิ้นหนึ่ง ที่มีความสำคัญในการทดลองครั้งนี้ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องบันทึกคลื่น จะออกเป็นหน่วยโวลต์ ซึ่งจะต้องแปลงมาเป็นระดับน้ำ (ซม.) โดยทำการเติมน้ำในภาชนะที่สามารถวัดความลึกของน้ำได้พร้อม ๆ กับอ่านค่าโวลต์ จากเครื่องบันทึกคลื่น ผลการปรับเทียบเครื่องวัดคลื่นแต่ละอันจะแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำและค่าความต้านไฟฟ้า ดังรูป 4-7 ถึง 4-10 ซึ่งจะเห็นว่าความสัมพันธ์ออกเป็นลักษณะเส้นตรง

4.6 เงื่อนไขของการทดลอง

ในการทดลองศึกษาผลของคลื่นและกระแสน้ำต่อบริเวณปากแม่น้ำ โดยแบบจำลอง จะทดลองศึกษาภายใต้กรณีมีและไม่มีคลื่น และกรณีมีและไม่มีกระแสน้ำจากแม่น้ำ ดังนั้นในการทดลองได้กำหนดเลือกคลื่น และกระแสน้ำจากแม่น้ำ ดังนี้

คลื่นที่จะจำลองมาใช้กับแบบจำลอง จะใช้คลื่นที่มีลักษณะเกิดขึ้นบ่อยครั้งทั้งในแง่ทิศทางและคาบเวลาคลื่น สำหรับคลื่นในบริเวณพื้นที่ศึกษาไม่เคยทำการสำรวจวัดคลื่นจริงมาก่อน จึงได้กำหนดเลือกคลื่นจากข้อมูลสถิติคลื่นน้ำลึกของทะเลจีนใต้เป็นตัวแทนคลื่น ซึ่งพบว่าคลื่นเหล็ก (dominant wave) เป็นคลื่นเคลื่อนที่ในทิศทางประมาณ N 60 E และมีคาบเวลาคลื่น 4, 6.5 และ 8.5 วินาที โดยมีความสูงคลื่นอยู่ในช่วง 1.50-3.00 ม. แต่เนื่องจากแบบจำลองที่ใช้มีข้อจำกัดในการสร้างคลื่นที่มีคาบเวลาคลื่นสั้น จึงกำหนดเลือกใช้คาบเวลาคลื่น 8.5, 10.5 และ 12.5 ใช้ในการทดลองศึกษาแทน

ส่วนปริมาณการไหลจากแม่น้ำได้กำหนดเลือกปริมาณที่เกิดขึ้นจริงในแม่น้ำโกลกเช่นกัน จากข้อมูลอุทกวิทยา พบว่าปริมาณการไหลมากสุดประมาณ 1,000 ลบ.ม./วินาที ทั้งนี้ยังไม่รวมปริมาณน้ำที่ไหลข้ามตลิ่งออกจากลำน้ำ ดังนั้นในการทดลองจึงกำหนดเลือกใช้ปริมาณน้ำจากแม่น้ำจากช่วง 500-1500 ลบ.ม./วินาที ทิศทางการไหลของกระแสน้ำหลังจากออกสู่ปากแม่น้ำแล้วได้จำลองสภาพการไหลตามข้อมูลสำรวจจริงของกรมเจ้าท่า เมื่อเดือนมิถุนายน 2526

การศึกษาลักษณะคลื่นภายในชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ และลักษณะกระแสการไหลที่เกิดขึ้นบริเวณปากแม่น้ำจะทดลองศึกษาโดยใช้แบบจำลองชนิด undistorted model ทดลองที่ระดับน้ำ +2.00 ม. เพื่อให้สามารถสร้างคลื่นได้ในขนาดที่ต้องการ การศึกษาดังกล่าวจะหาแนวโน้มการเปลี่ยนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกระทำร่วมกันของคลื่นทะเลและกระแสการไหลจากแม่น้ำ ภายใต้เงื่อนไขมีและไม่มีคลื่น และมีและไม่มีกระแสน้ำจากแม่น้ำ

จากการศึกษาแบบจำลองชนิด undistorted model แล้ว พบว่าขนาดคลื่นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำช้ามาก ดังนั้นในการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำชายฝั่งบริเวณปากแม่น้ำ จึงจำเป็นต้องใช้แบบจำลองชนิด distorted model เพื่อให้คลื่นภายในชายฝั่งมีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อที่จะเพิ่มความรุนแรงในการพัดพาตะกอนให้เคลื่อนที่ได้ โดยการยกระดับน้ำขึ้นจาก +2.00 ม. เป็น +4.00 ม. ซึ่งเป็นระดับเดียวกันกับการทดลองของ SMEC โครงการศึกษาพัฒนาลุ่มแม่น้ำโกลกตอนล่าง โดยให้เกิดความเร็วของกระแสคลื่น (orbital velocity) ต่อขนาดเม็ดทรายในสัดส่วนเดียวกับสภาพในทะเลจริง

ตาราง 4-1 แสดงคุณสมบัติคลื่นที่ใช้ในการทดลองและตาราง 4-2 แสดงเงื่อนไขในการทดลองแบบจำลองของการศึกษานี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

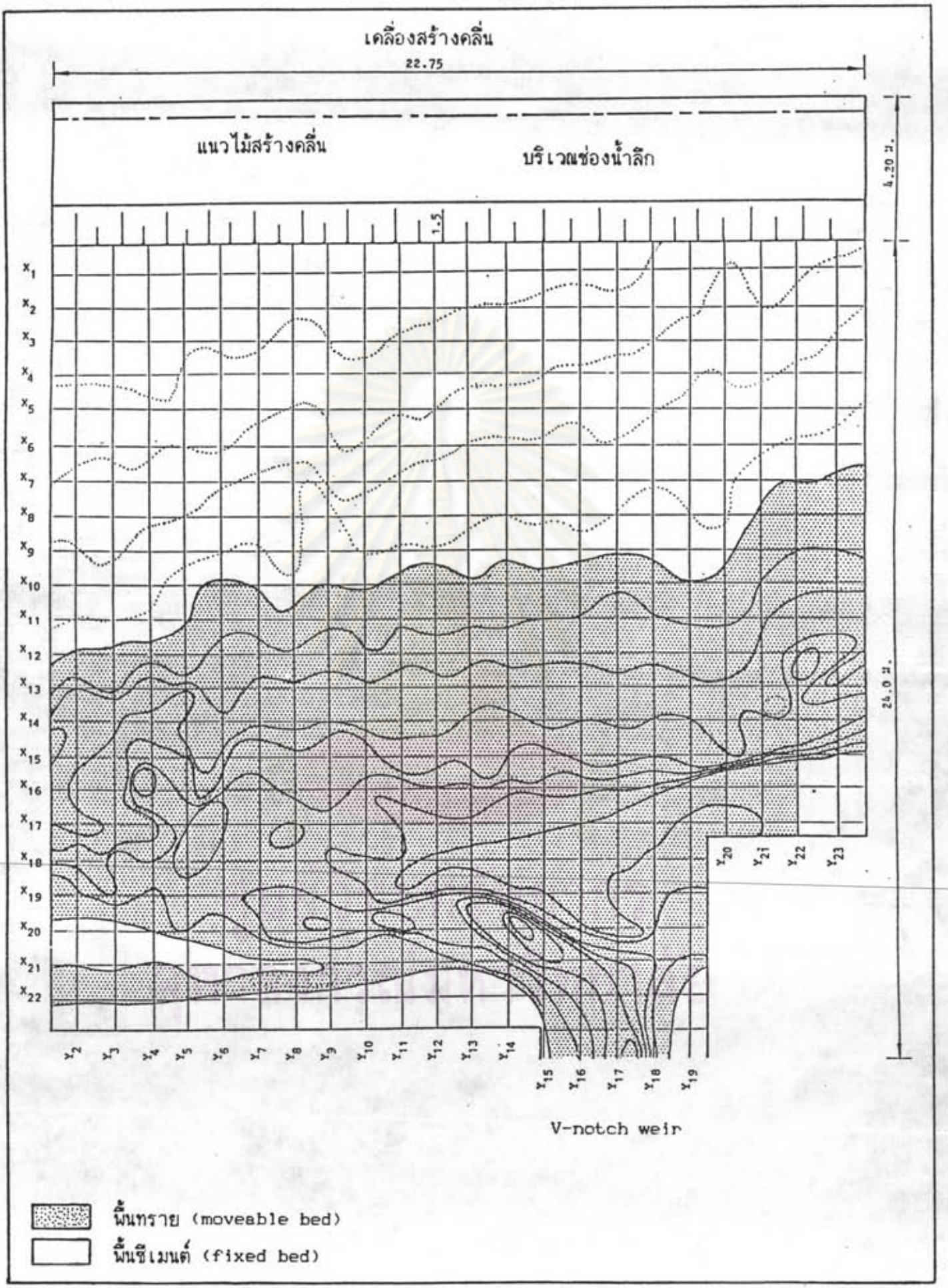
ตาราง 4-1 คุณสมบัติคลื่นที่ใช้ในการทดลอง

MODEL TYPE	WAVE PERIOD T (sec)	WAVE HEIGHT Hi (m)	DEPTH hi (m)	DEEP WATER WAVE Ho (m)	DEEP WATER WAVE LENGTH Lo (m)	WAVE STEEPNESS Ho'/Lo
UNDISTORTED WL = +2.00 m.	8.5	2.263	46.00	2.315	112.71	0.0205
	10.5	1.970	46.00	2.100	171.99	0.0122
	12.5	1.741	46.00	1.901	243.75	0.0078
DISTORTED WL = +4.00 m.	8.5	2.701	48.00	2.753	112.71	0.0244
	10.5	2.459	48.00	2.608	171.99	0.0152

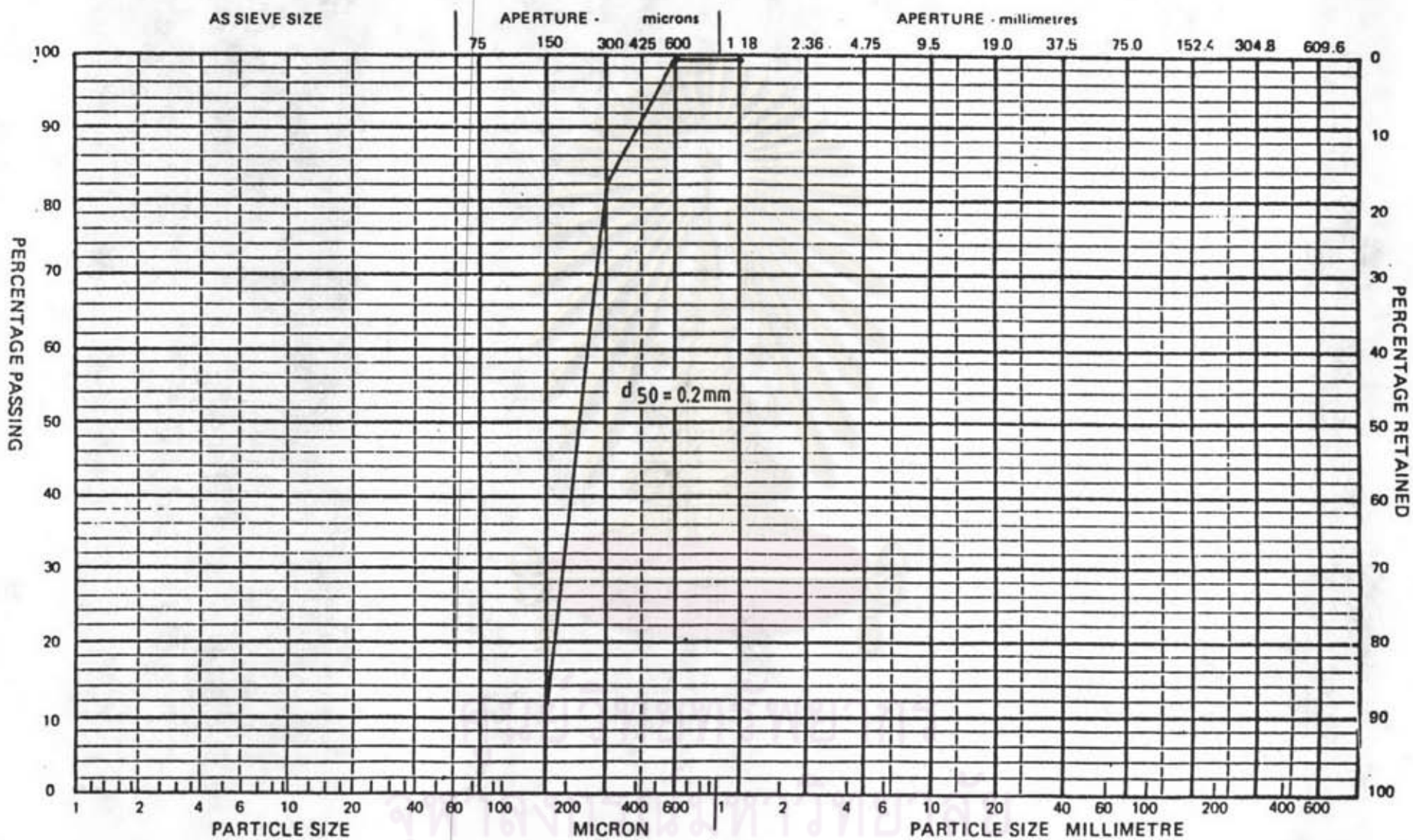
ตาราง 4-2 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลองแบบจำลองของการศึกษาครั้งนี้

No.	DESCRIPTION	WAVE PERIOD T (sec)	WAVE HEIGHT Hi (m)	DISCHARGE , (cms)					
				0	500	750	1000	1250	1500
1	UNDISTORTED MODEL (WL = +2.00 m.)								
1.1	WAVE BREAKING & WAVE ATTENUATION	8.5	2.263	X	X		X		X
	INSIDE SURF ZONE	10.5	1.970	X	X		X		X
		12.5	1.741	X	X		X		X
1.2	WATER LEVEL CHANGE ALONG RIVER	NO WAVE		X	X	X	X	X	
	MOUTH	8.5	2.263	X	X	X	X	X	
		10.5	1.970	X	X	X	X	X	
		12.5	1.741	X	X	X	X	X	
1.3	FLOW CHARACTERISTIC	NO WAVE			X	X	X		
		8.5	2.263		X	X	X		
		10.5	1.970		X	X	X		
		12.5	1.741		X	X	X		
2	DISTORTED MODEL (WL = +4.00 m.)								
2.1	BOTTOM PROFILE CHANGE	8.5	2.701	X	X		X		
		10.5	2.459	X	X		X		

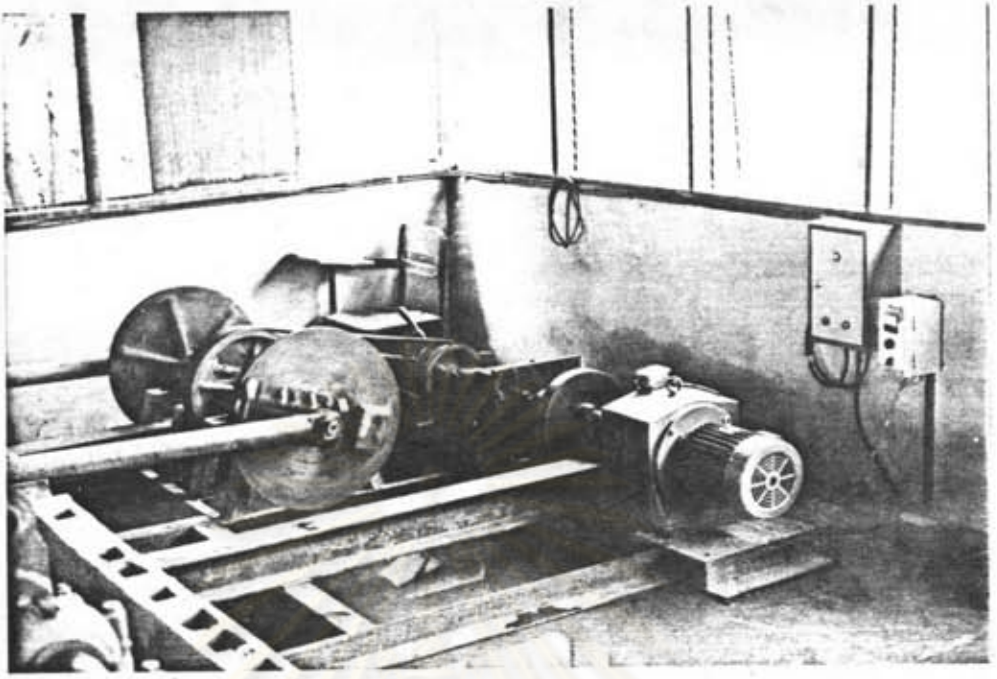
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



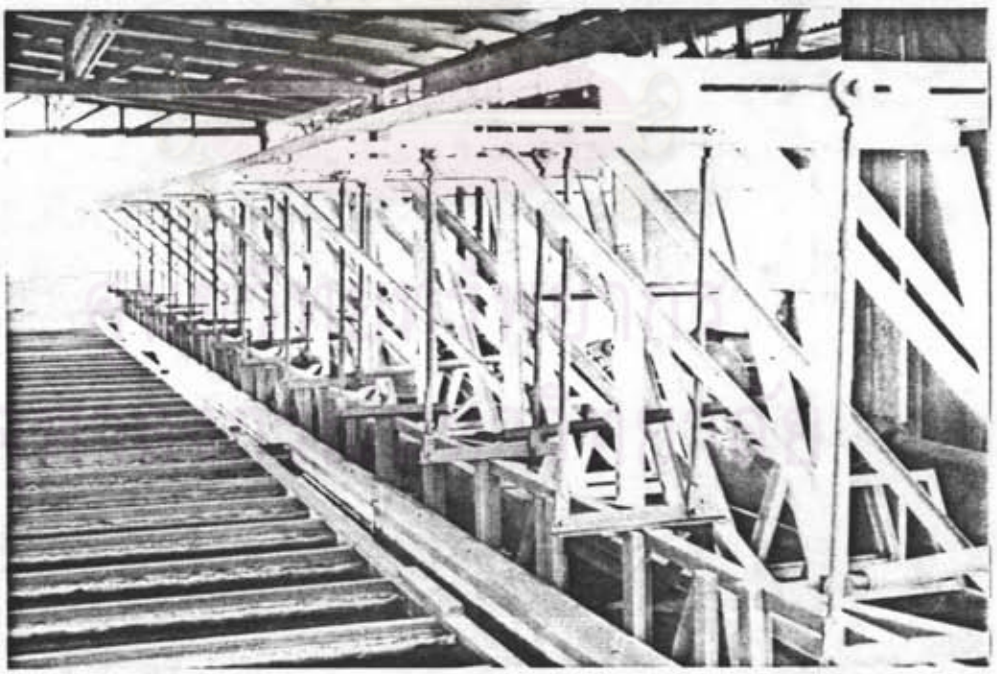
รูป 4-1 ลักษณะแบบจำลองที่ใช้



รูป 4-2 การกระจายขนาดของเม็ดทรายที่ใช้ในแบบจำลอง

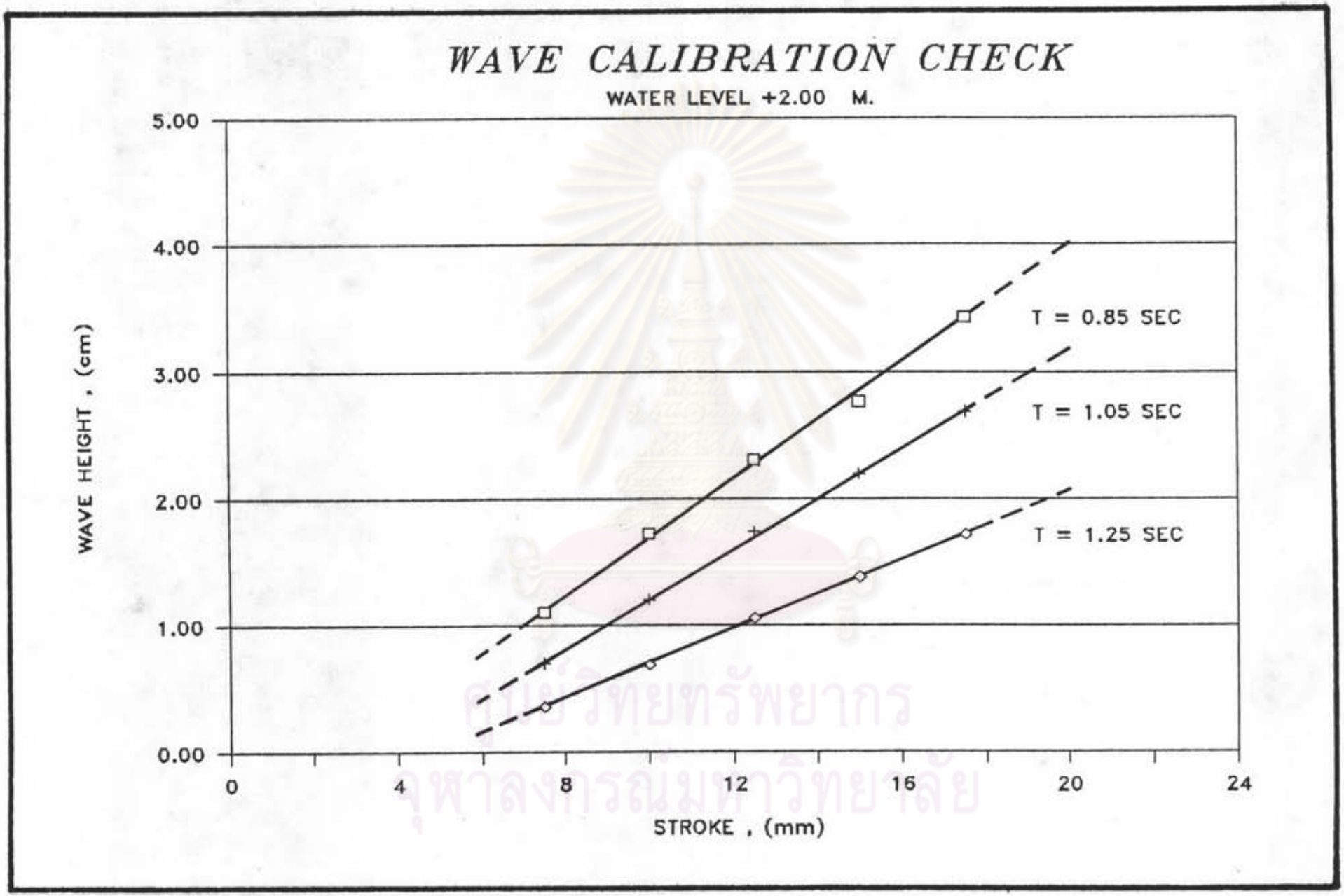


ก) ส่วนขับเคลื่อน



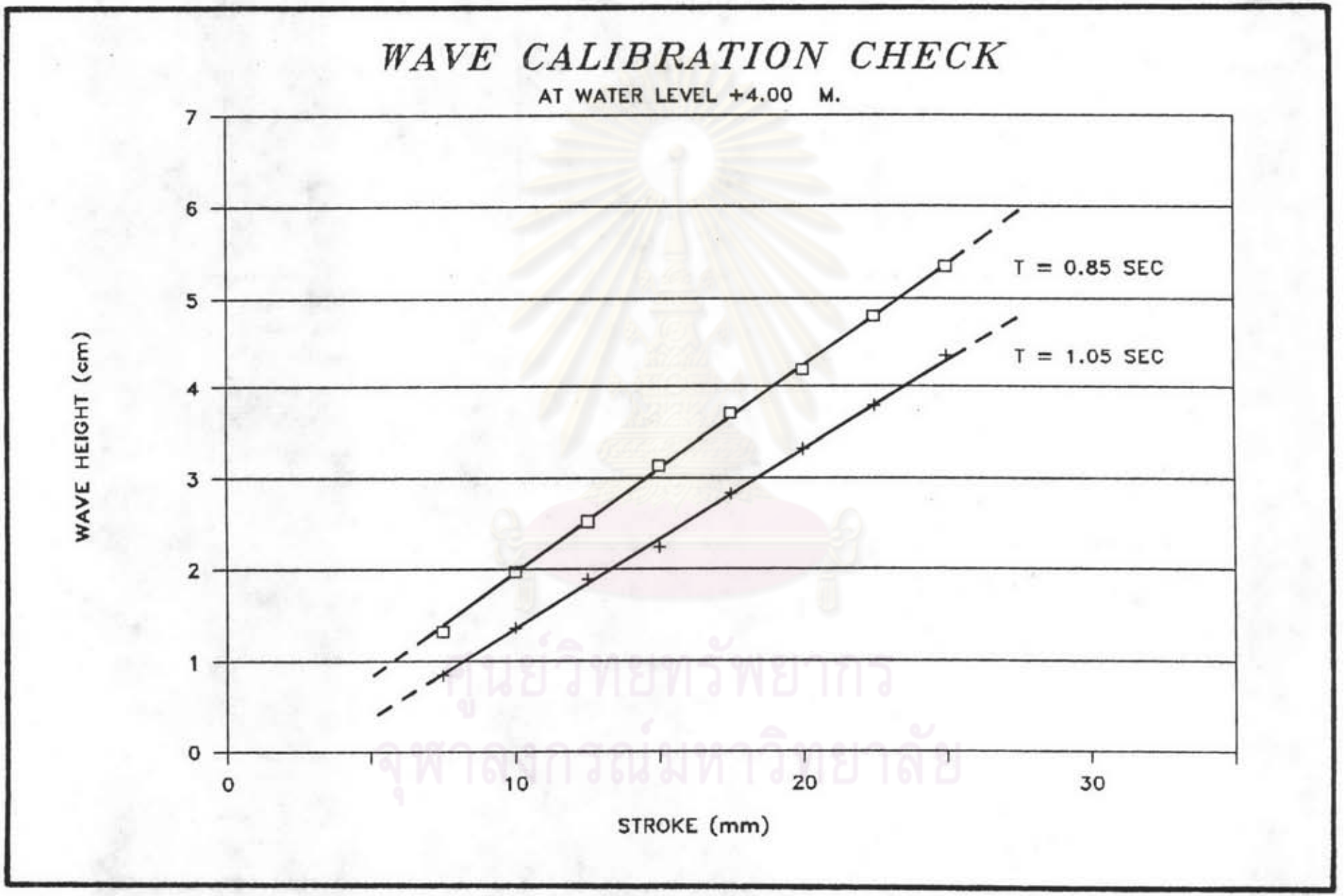
ข) แนวไม้สร้างเคลื่อน

รูป 4-3 เครื่องสร้างคลื่น

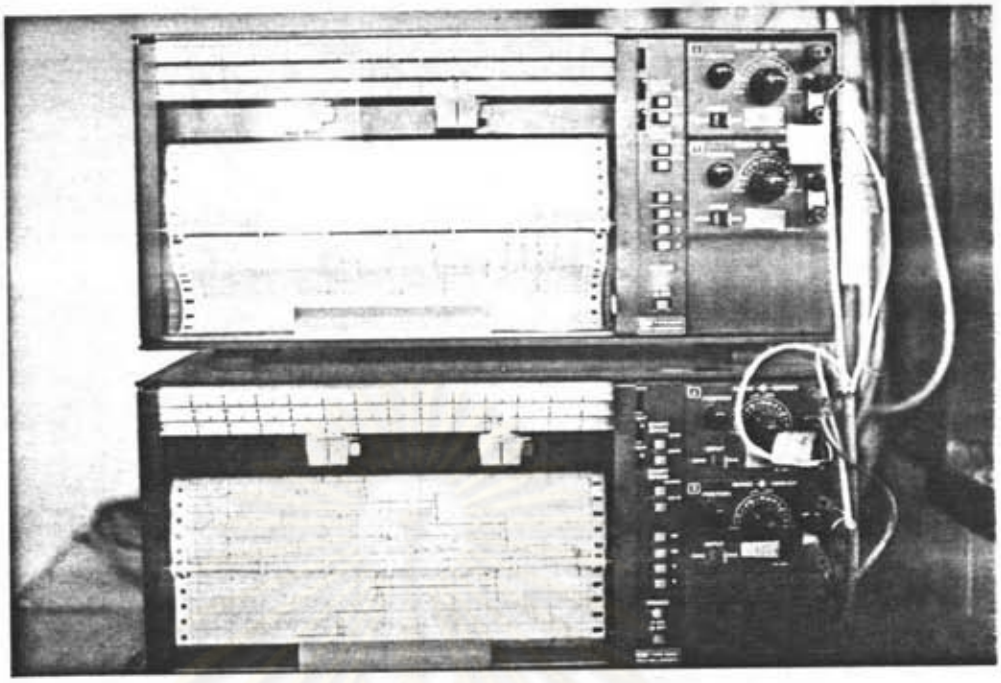


รูป 4-4 ความสัมพันธ์ความสูงคลื่นกับช่วงชัก (stroke) ที่ระดับน้ำ +2.00 ม.

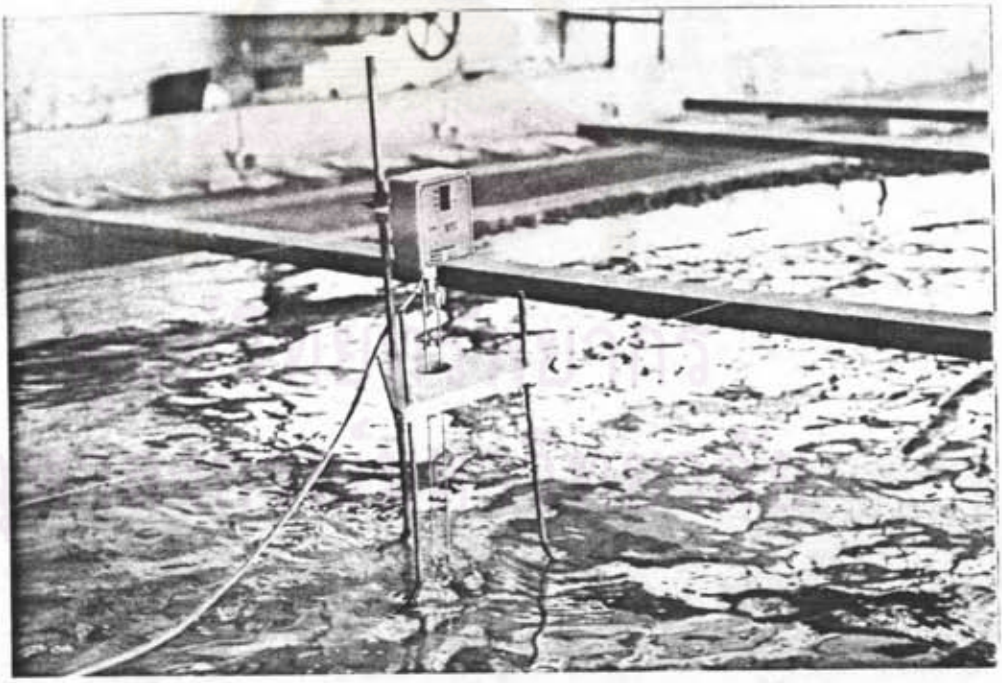
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4-5 ความสัมพันธ์ความสูงคลื่นกับช่วงชัก (stroke) ที่ระดับน้ำ +4.00 ม.

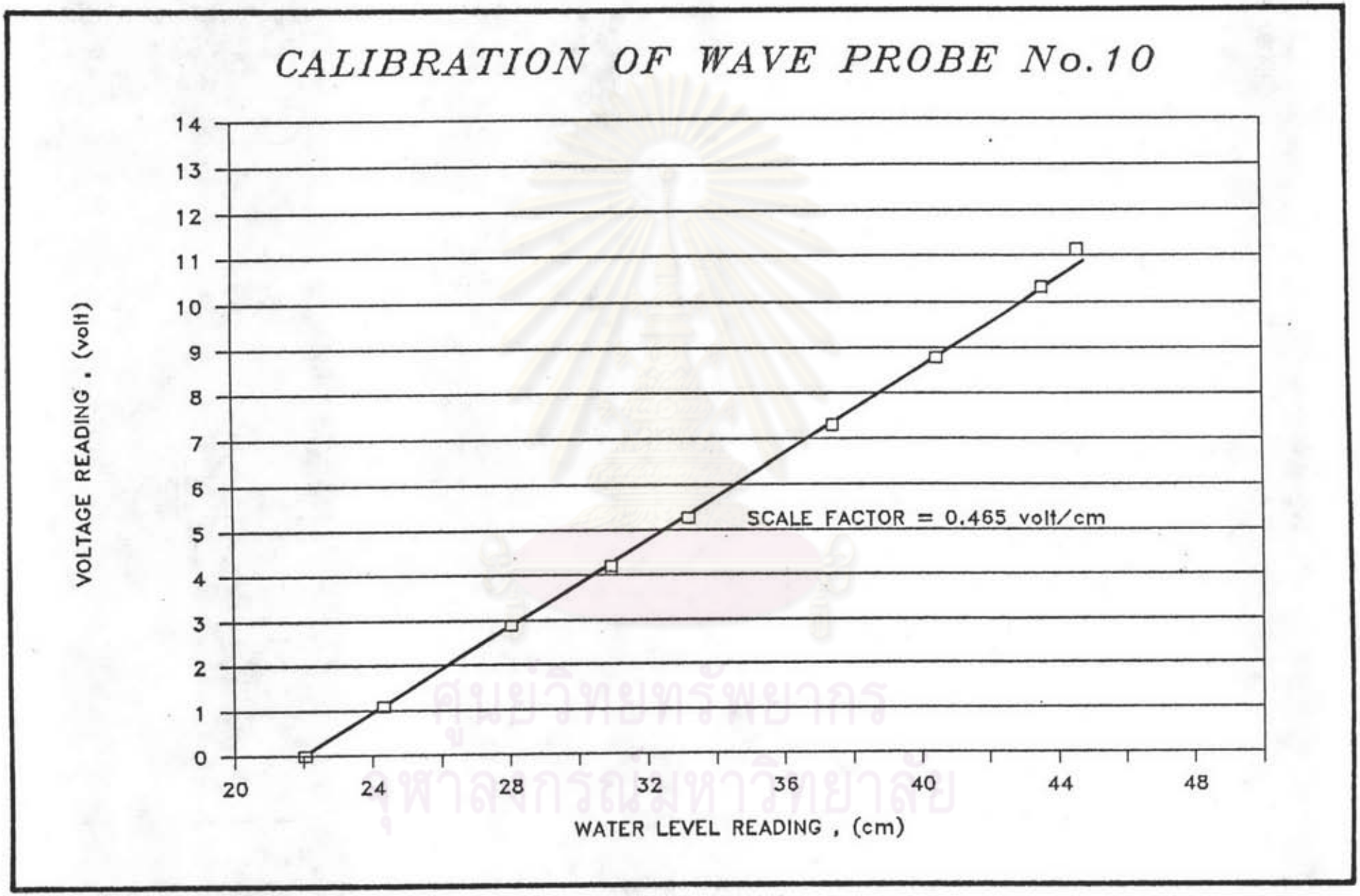


ก) เครื่องบันทึกคลื่น

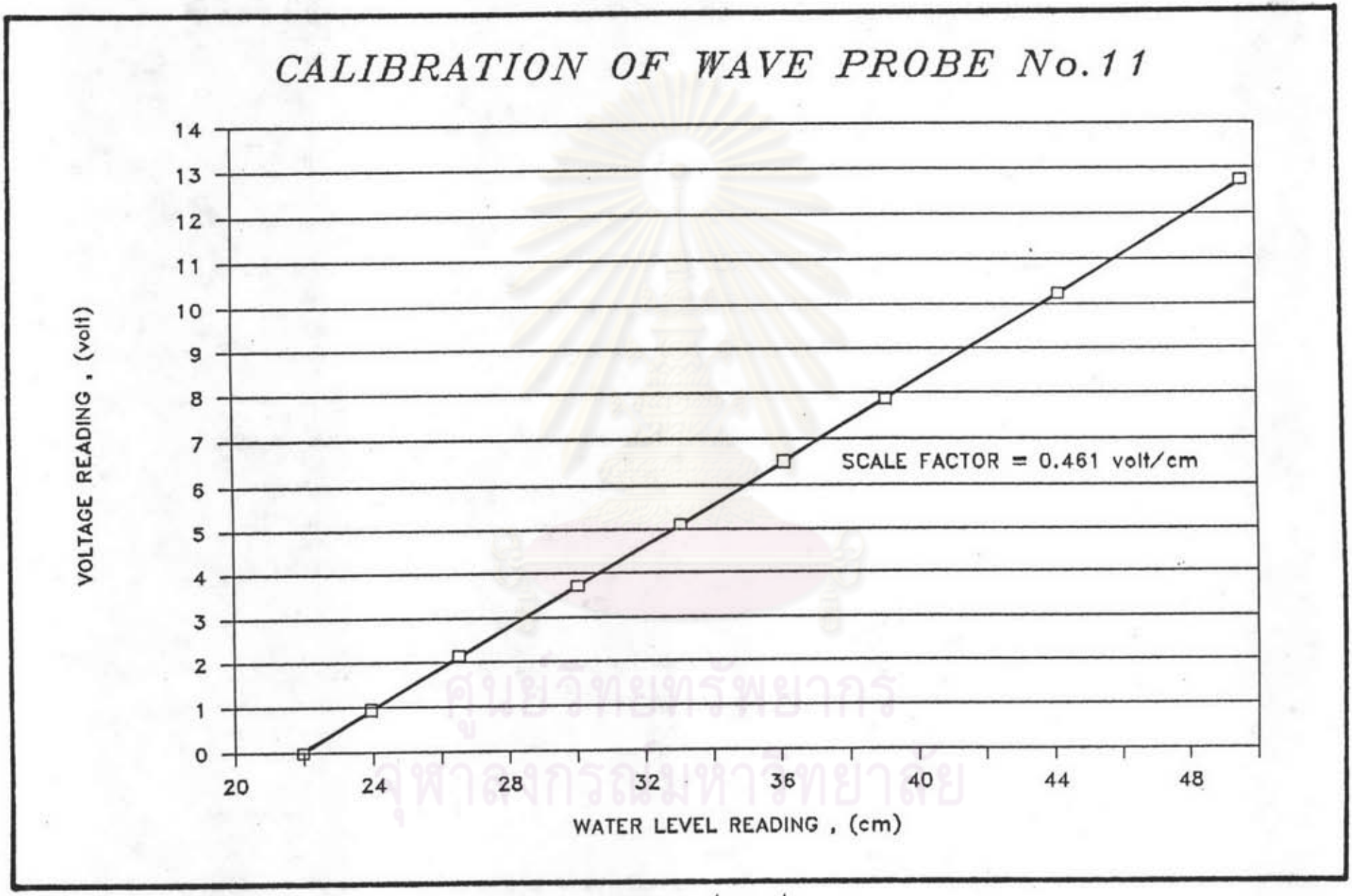


ข) เครื่องวัดคลื่น

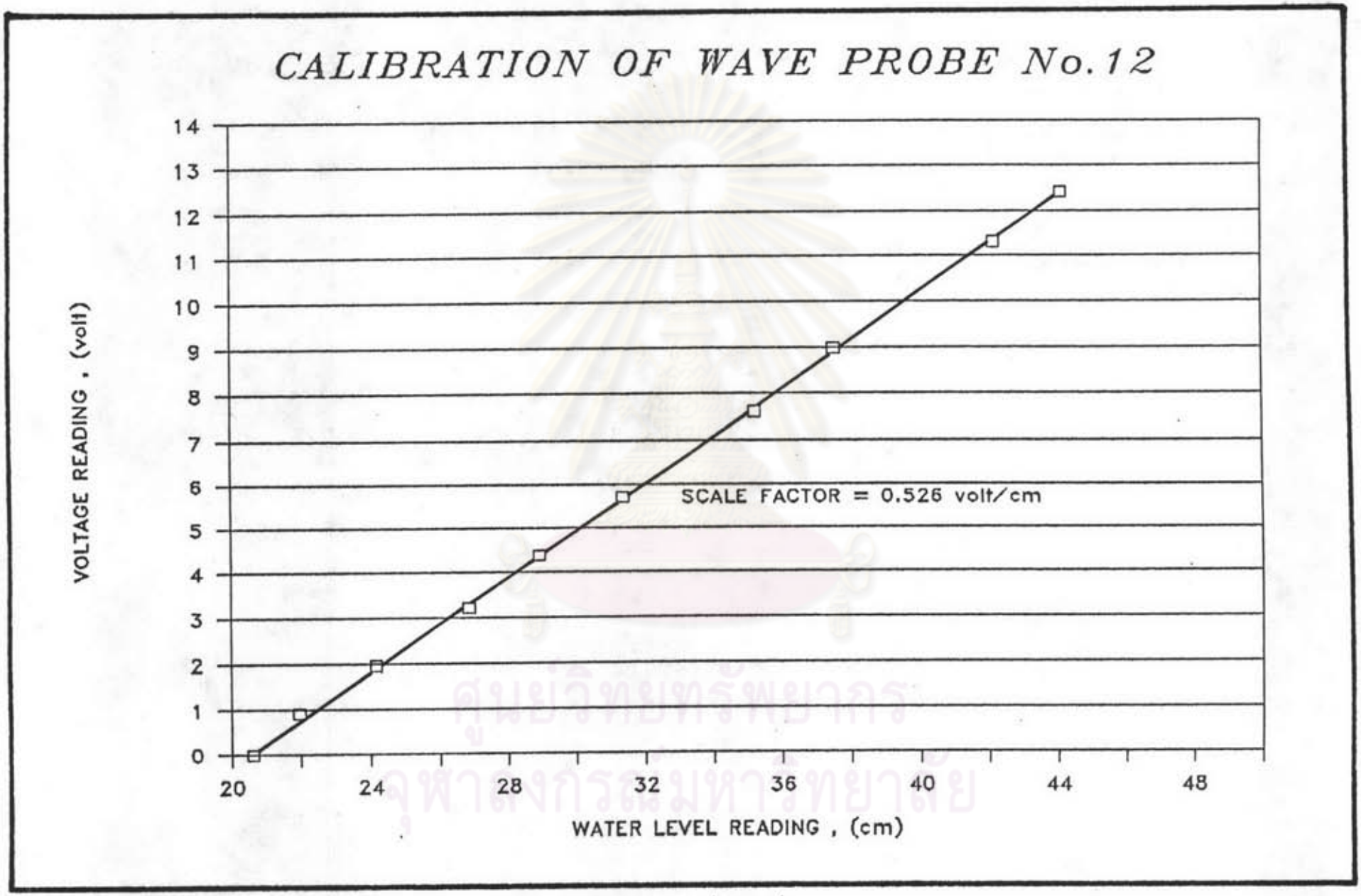
รูป 4-6 เครื่องบันทึกคลื่นและวัดคลื่น



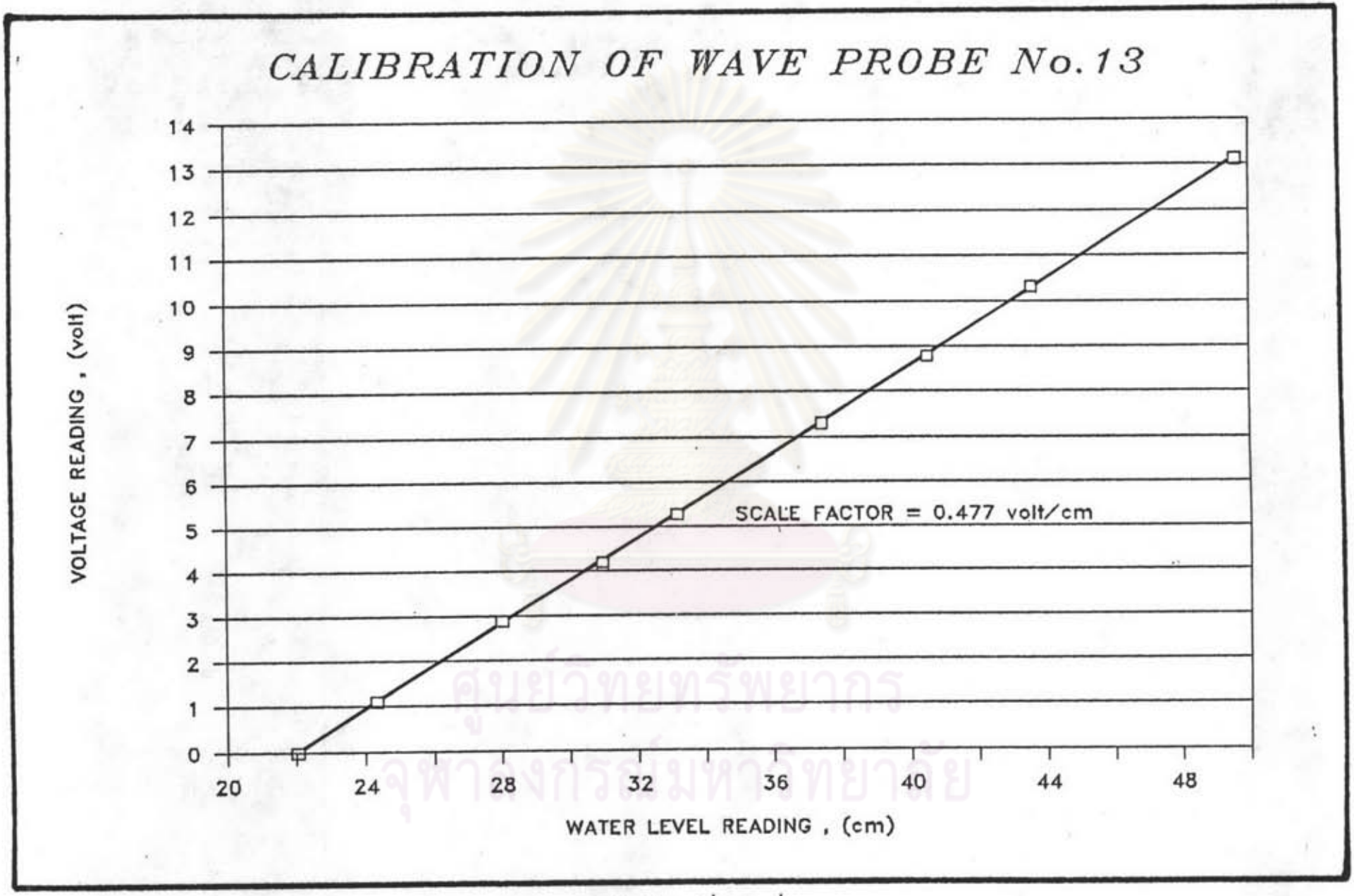
รูป 4-7 การปรับเทียบเครื่องวัดคลื่น หมายเลข 10



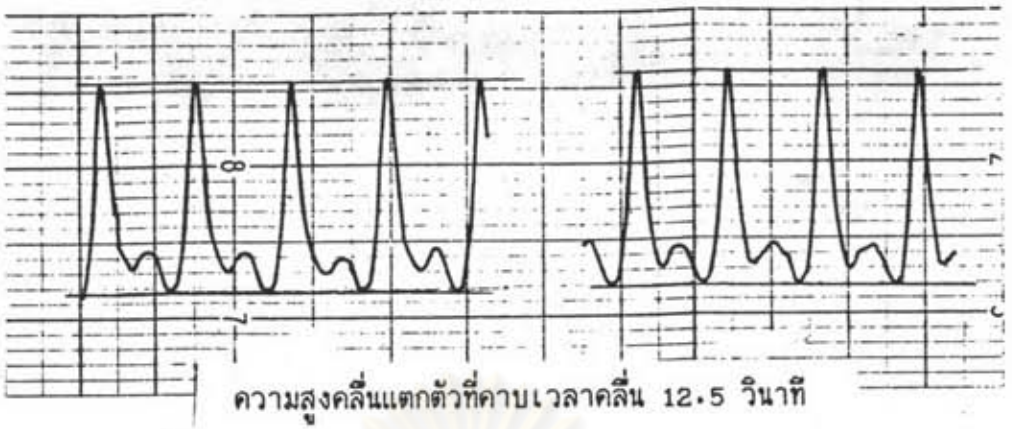
รูป 4-8 การปรับเทียบเครื่องวัดคลื่น หมายเลข 11



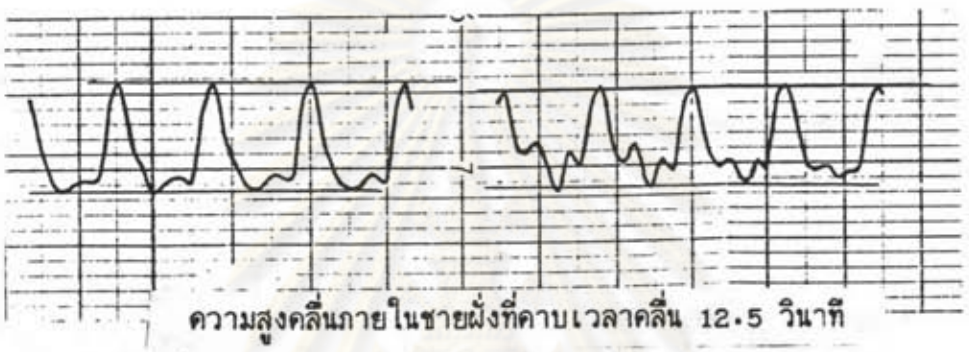
รูป 4-9 การปรับเทียบเครื่องวัดคลื่น หมายเลข 12



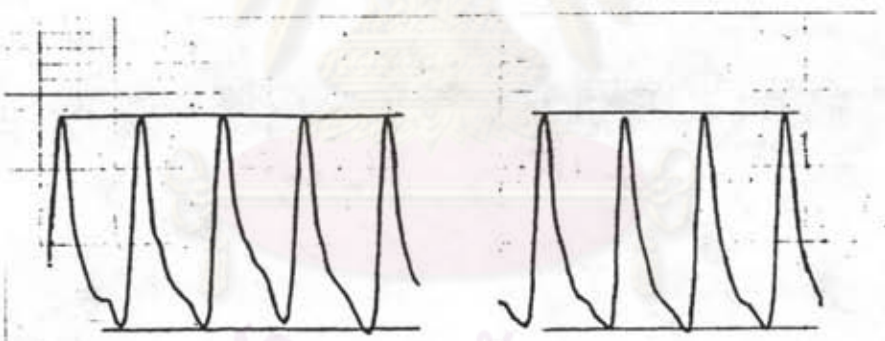
รูป 4-10 การปรับเทียบเครื่องวัดคลื่น หมายเลข 13



ความสูงคลื่นแตกตัวที่คาบเวลาคลื่น 12.5 วินาที



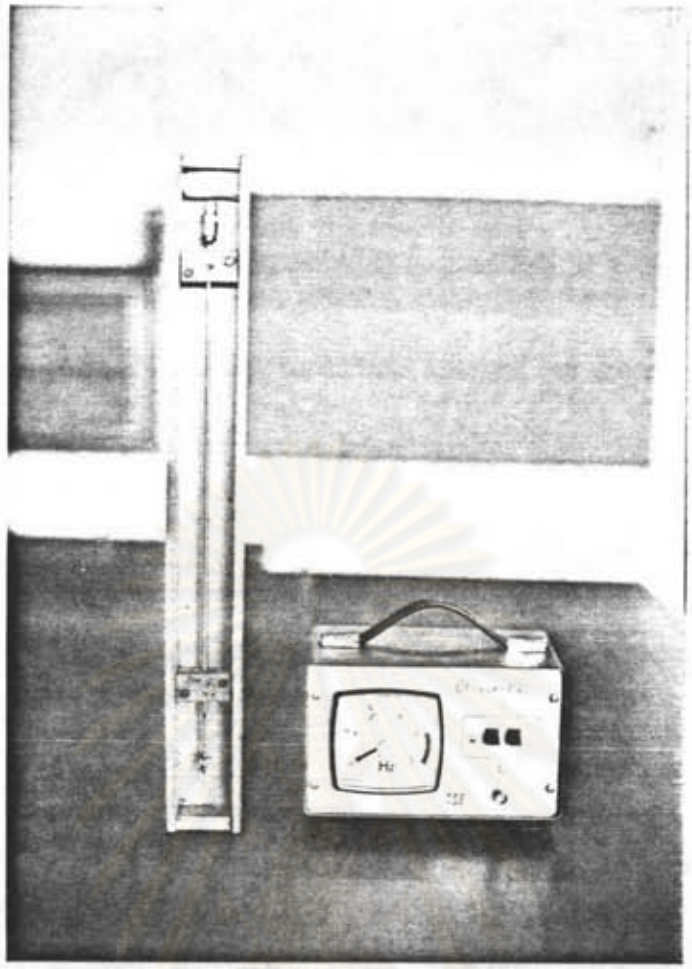
ความสูงคลื่นภายในชายฝั่งที่คาบเวลาคลื่น 12.5 วินาที



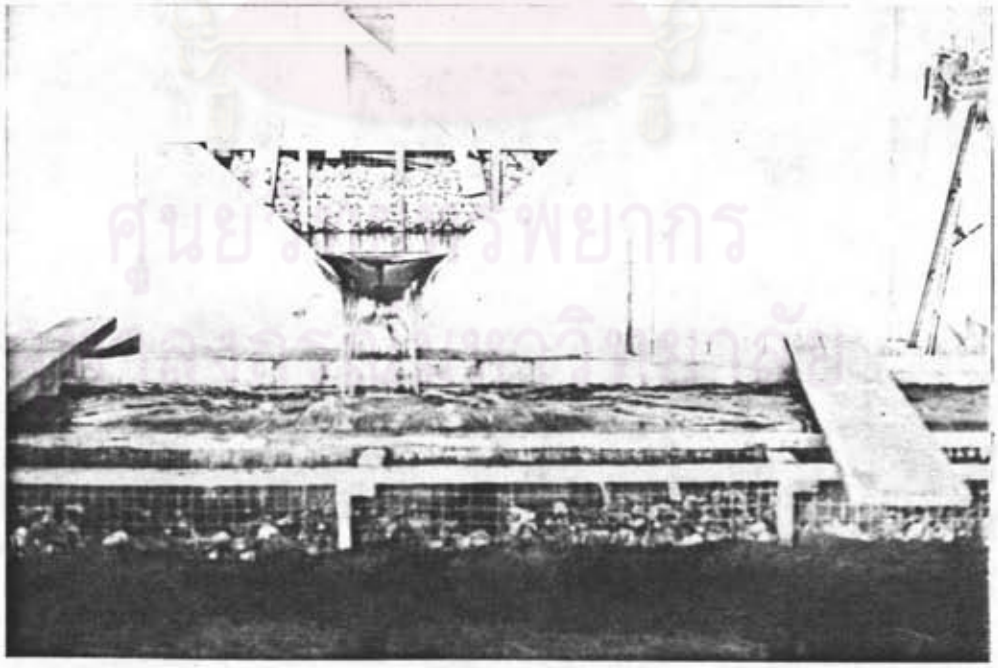
ความสูงคลื่นแตกตัวที่คาบเวลาคลื่น 10.5 วินาที

ความสูงคลื่นภายในชายฝั่งที่คาบเวลาคลื่น 10.5 วินาที

รูป 4-11 ตัวอย่างความสูงคลื่นจากเครื่องบันทึกคลื่น



รูป 4-12 เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ



รูป 4-13 เครื่องจ่ายน้ำแบบฝายน้ำล้นตัววี (V-notch-weir)