

## บทที่ 4

### พฤกษศาสตร์ของคลองที่เชื่อมต่อทะเล

เนื้อหาในบทนี้เกี่ยวข้องกับพฤกษศาสตร์ของคลองที่เชื่อมต่อทะเล ซึ่งมีพฤกษศาสตร์ด้านชลศาสตร์ขึ้นกับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงเป็นหลัก และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเร็วทวนกับตำแหน่งทวน การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำของคลองที่มีการเชื่อมต่อทะเลและระยะเวลาการถ่ายเทของน้ำในคลองภายใต้การผันแปรลักษณะคลื่นอันได้แก่ ความสูงคลื่น และคาบเวลาคลื่น

#### 4.1 ลักษณะทั่วไปของคลองที่ติดต่อกับทะเล

สภาพธรรมชาติของคลองที่ติดต่อกับทะเล การไหลของน้ำในคลองจะได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้ลักษณะของการไหลมีความแตกต่างจากคลองที่อยู่ลึกในแผ่นดิน ซึ่งคลองที่ติดต่อกับทะเลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ คลองปลายตัน และคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล

คลองปลายตัน คือคลองที่มีปลายข้างเดียวติดต่อกับทะเล ส่วนปลายอีกข้างจะอยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดินหรือถูกปิดกั้นโดยไม่ติดต่อกับทะเล ซึ่งคลองลักษณะนี้มีการไหลของน้ำเข้า-ออก เพียงทางเดียวเท่านั้น สภาพการไหลในคลองในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเล จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและจังหวะของน้ำขึ้นน้ำลงเป็นหลัก พฤกษศาสตร์ของการไหล โดยทั่วไปจะเป็นกรณีน้ำเอ่อ (backwater profile-M1, Chow 1959) ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและระยะน้ำขึ้นน้ำลง (tidal range) อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจะลดลงตามระยะทางเหนือน้ำของคลอง ในกรณีที่มีอัตราการไหลน้อยมากหรือไม่มีเลย เช่น ในฤดูแล้ง การถ่ายเทของน้ำอาจเกิดขึ้นได้บ้างเฉพาะบริเวณปากคลองด้านที่เชื่อมต่อกับทะเล ส่วนบริเวณต้นคลองจะมีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำน้อยมากจนเกือบหยุดนิ่ง ทำให้น้ำในคลองไม่สามารถถ่ายเทจากคลองออกสู่ทะเลได้ และก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำของน้ำในคลองตามมา เช่น แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำบางปะกง

สำหรับคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล ลักษณะของคลองนี้มีการไหลเข้าออกทั้ง 2 ด้านของปลายคลอง ซึ่งการถ่ายเทของน้ำในคลองสามารถเกิดขึ้นได้มากกว่ากรณีคลองปลายตัน แต่สภาพปัญหาบริเวณกลางคลองยังไม่สามารถระบายออกสู่ทะเลได้ทั้งหมด ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของคลอง ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำเน่าเสียบริเวณกลางคลองได้เช่นกัน

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการทดลองด้วยแบบจำลองชลศาสตร์ตามที่ได้เสนอในบทที่ 3 เพื่อศึกษาพฤติกรรมชลศาสตร์ของคลองที่ไม่มีอัตราการไหลแต่อยู่ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ทั้ง 2 กรณีดังกล่าว

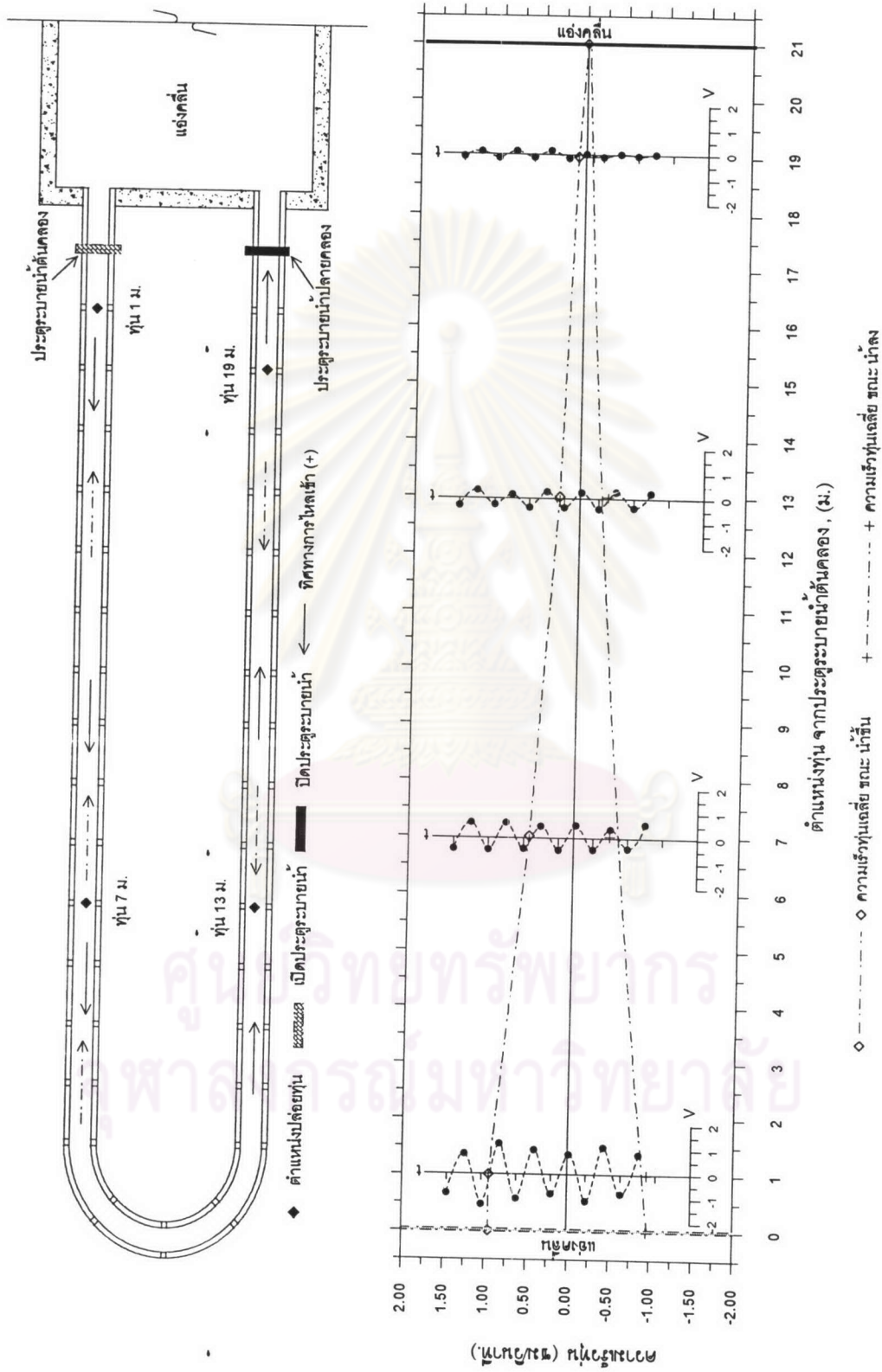
#### 4.2 พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำในแบบจำลอง

ในการศึกษาพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำได้จำลองสภาพของคลองปลายตัน และคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล ซึ่งได้ทำการศึกษาโดยการปล่อยหุ่นลอย เพื่อศึกษาพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำในแบบจำลอง ภายใต้การผันแปรลักษณะคลื่น ได้แก่ ความสูงคลื่น และคาบเวลาของคลื่น

จากการสังเกตพฤติกรรมเคลื่อนที่ของหุ่น ในแบบจำลองคลองปลายตัน ดังรูป 4-1 ที่มีการวางหุ่นตามตำแหน่งต่างๆ ตลอดทางน้ำในแบบจำลอง ที่ระยะ 1 ม. 7 ม. 13 ม. และ 19 ม. จากประตูระบายน้ำปากคลองพบว่า การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำที่ตำแหน่งหุ่น 1 เมตร จะมีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำได้ไกลเนื่องจากเป็นบริเวณปากคลอง ซึ่งจะได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ ในคลอง โดยที่อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำจะลดลงตามระยะทางจากปากคลอง เข้าไปในคลองจนเกือบหยุดนิ่งบริเวณปลายคลองที่มีการปิดกั้น แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงต่อคลองปลายตันจะสูงที่บริเวณปากคลอง และลดลงเรื่อยๆ จนถึงบริเวณปลายคลองที่ตัน (รายละเอียดในแต่ละกรณีการศึกษาแสดงในภาคผนวก ข)

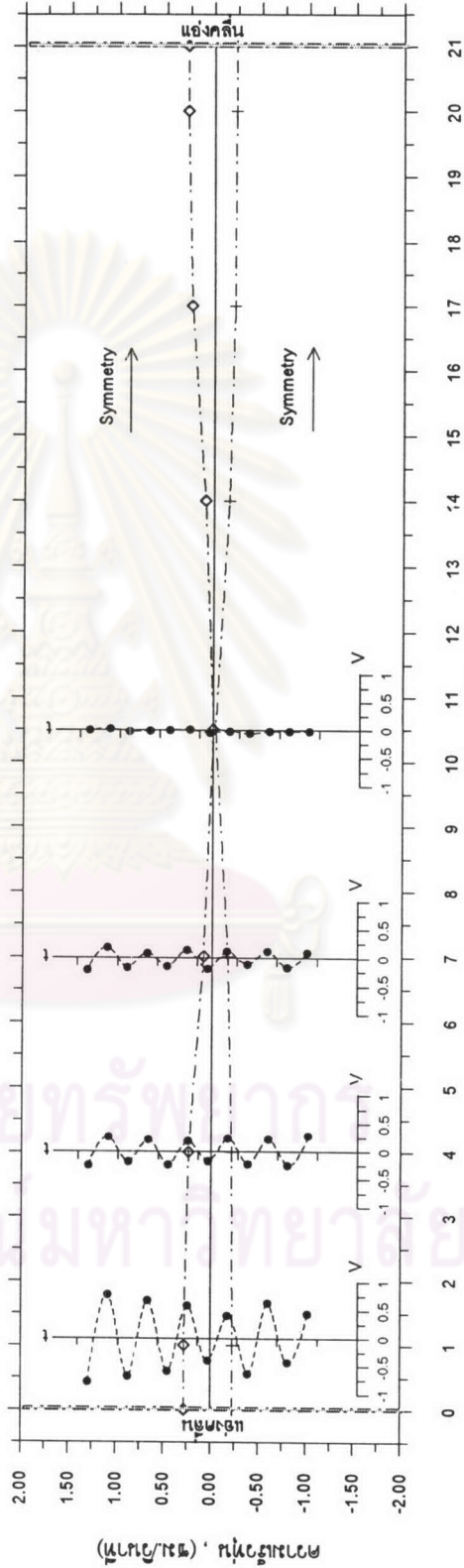
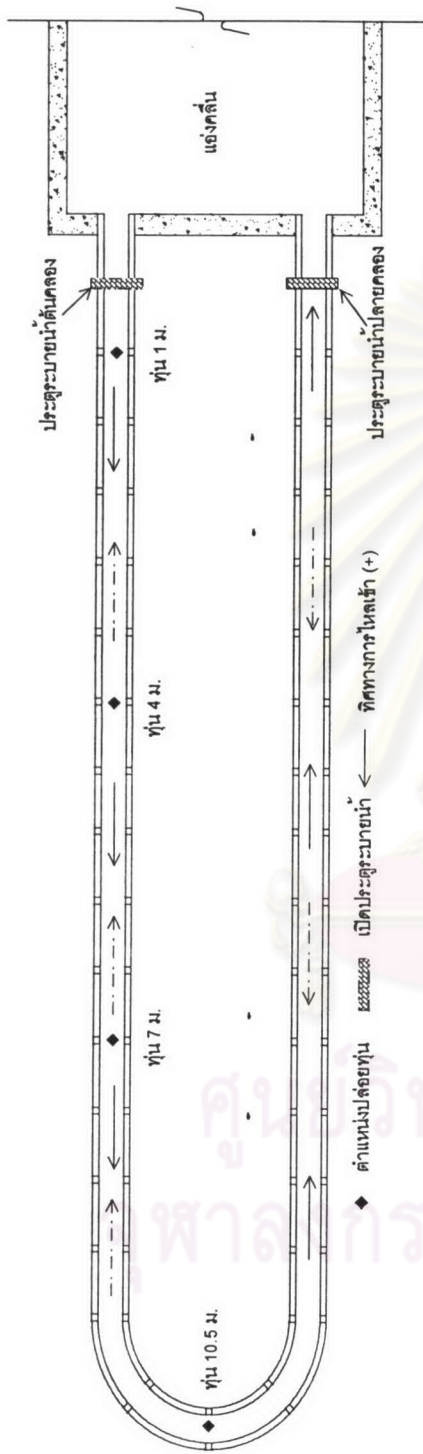
จากการสังเกตพฤติกรรมเคลื่อนที่ของหุ่น ในแบบจำลองคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล ดังรูป 4-2 ที่มีการวางหุ่นตามตำแหน่งต่างๆ ตลอดทางน้ำในแบบจำลองที่ระยะ 1 ม. 4 ม. 7 ม. และ 10.5 ม. จากประตูระบายน้ำปากคลอง พบว่าการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำที่ตำแหน่งหุ่น 1 เมตร ทั้ง 2 ด้านจะมีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ ในคลอง โดยที่การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำจะลดน้อยลงตามระยะของตำแหน่งหุ่นที่อยู่ลึกเข้าไปจากปากคลองจนหยุดนิ่งบริเวณกลางคลอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงต่อคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเลจะมีมากบริเวณปากคลองทั้ง 2 ด้าน ส่วนบริเวณกลางคลองเป็นบริเวณที่เกิดน้ำนิ่ง คือไม่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ (รายละเอียดในแต่ละกรณีการศึกษาแสดงในภาคผนวก ค)

สำหรับสภาพการไหลของน้ำในแบบจำลองทั้ง 2 กรณี จะมีทิศทางการไหลแบบกลับไปกลับ มาตามจังหวะน้ำขึ้นน้ำลง



รูป 4-1 ตัวอย่างความเร็วจานเฉลี่ย กรณี คลองปลายทางต้น ความสูงคลื่น 0.56 ซม. (จำนวนถึงแทนที่ 2 ถึง) คาบคลื่น 495 วินาที





ตำแหน่งท่อน จากประตูระบายน้ำต้นคลอง, (ม.)

♦ - - - - - ◊ ความเร็วท่อนเฉลี่ย ขณะน้ำขึ้น + - - - - - ◊ ความเร็วท่อนเฉลี่ย ขณะน้ำลง

รูป 4-2 ตัวอย่างความเร็วจานเฉลี่ย กรณีปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล ความสูงคลื่น 0.54 ซม. (จำนวนถังแทนคลื่น 2 ถึง) คาบคลื่น 510 วินาที



### 4.3 ความสัมพันธ์ของความเร็วทวนตามตำแหน่งทวน

ในหัวข้อนี้จะเป็นส่วนการวิเคราะห์พฤติกรรมพลศาสตร์ของความเร็วทวนกับตำแหน่งทวนที่เกิดขึ้นในแบบจำลองกรณีคลองปลายตัน และกรณีคลองปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเลภายใต้อิทธิพลน้ำขึ้นน้ำลง

#### 4.3.1 กรณีคลองปลายตัน

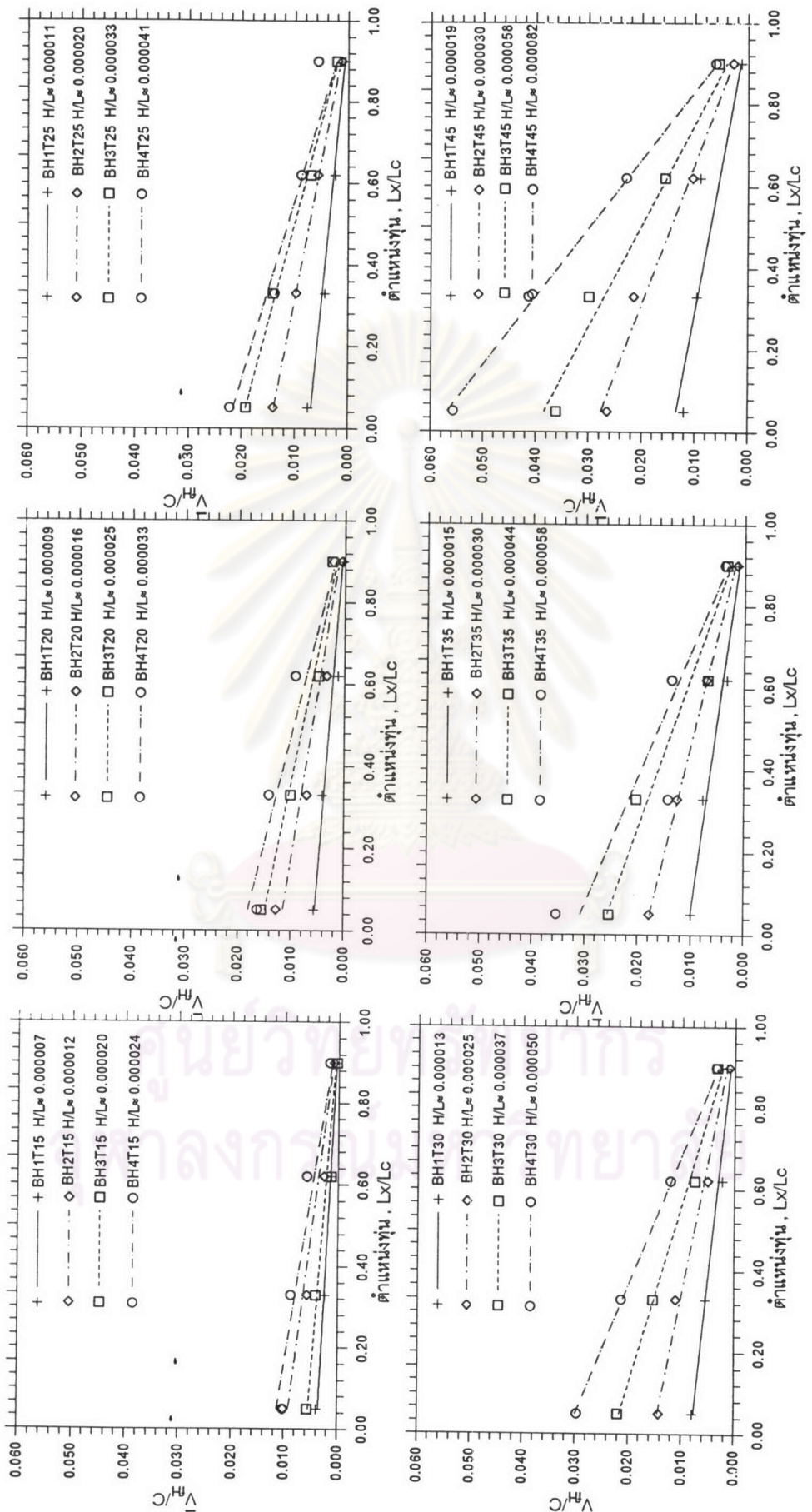
จากการสังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในแบบจำลองคลองปลายตัน ดังแสดงในรูป 4-1 พบว่าความเร็วทวนเฉลี่ยในช่วงน้ำขึ้น  $\bar{V}_{FH}$  กับความเร็วทวนเฉลี่ยในช่วงน้ำลง  $\bar{V}_{FL}$  จะลดลงตามระยะของตำแหน่งทวนจากปากคลองเข้าไปในคลอง  $Lx$  จนความเร็วทวนเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ที่ประตูระบายน้ำปลายคลองด้านปิด

ในการนำผลการศึกษาที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับสภาพความเป็นจริง จำเป็นต้องอาศัยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามวิธีตัวแปรไร้มิติ สำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ศึกษาความเร็วทวนเฉลี่ยในรูปของอัตราส่วนความเร็วทวนเฉลี่ย  $\bar{V}_f$  ในช่วงน้ำขึ้น-น้ำลงต่อความเร็วคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ( $C = \sqrt{gd}$ ) หรือ  $\bar{V}_f/C$  และอัตราส่วนตำแหน่งทวน  $Lx$  ต่อความยาวคลอง  $Lc$  หรือ  $Lx/Lc$

ในช่วงน้ำขึ้นเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของระหว่าง  $\bar{V}_{FH}/C$  กับ  $Lx/Lc$  ที่ความชันคลื่นต่างๆ ในช่วง  $7.0 \times 10^{-6}$  ถึง  $8.2 \times 10^{-5}$  ดังรูป 4-3 พบว่าที่ความชันคลื่นเดียวกันค่า  $\bar{V}_{FH}/C$  กับ  $Lx/Lc$  มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง โดยค่าของ  $\bar{V}_{FH}/C$  มีค่าลดลงด้วยอัตราคงที่ตามระยะทวนที่วางลึกเข้าไปจากปากคลอง แต่เมื่อพิจารณาที่  $Lx/Lc$  เดียวกัน พบว่า ค่าของ  $\bar{V}_{FH}/C$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชันคลื่นสูงขึ้น ดังนั้นความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองจะอยู่ในรูป  $\bar{V}_{FH}/C = m_{FH}(x)$  โดยที่  $x$  เท่ากับ  $1-Lx/Lc$  เนื่องจากที่ตำแหน่งประตูระบายน้ำค่าความสัมพันธ์ของ  $\bar{V}_{FH}/C$  มีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นสามารถจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{\bar{V}_{FH}}{C} = m_{FH} \left( 1 - \frac{Lx}{Lc} \right) \quad (4-1)$$

โดยที่ค่าพารามิเตอร์  $m_{FH}$  เป็นค่าความชันของกราฟ ซึ่งมีค่าดังแสดงในตาราง 4-1 หากพิจารณาความหมายของพารามิเตอร์  $m_{FH}$  ทางกายภาพ ค่าของ  $m_{FH}$  น่าจะเป็นฟังก์ชันของความชันคลื่น  $H/L$  หรือความยาวคลอง  $Lc$  สำหรับในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้พิจารณาค่าความยาวคลองในรูปของตัวแปรไร้มิติ คือความยาวคลองต่อความยาวคลื่น  $Lc/L$



รูป 4-3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วหุ่นเฉลี่ย (น้ำขึ้น) กับ ตำแหน่งหุ่น กรณี คลองปลายตัน จากสมการ  $V_m/C = m_H(1-L_x/L_c)$

11-000033

ตาราง 4-1 ค่าพารามิเตอร์ mf กรณีคลองปลายตัน

กรณี คลองปลายตัน									
$V_f/C = m_f (1-L_x/L_c)$									
กรณี	น้ำขึ้น		น้ำลง		กรณี	น้ำขึ้น		น้ำลง	
	$m_{H} * 10^{-2}$	$R^2$	$m_{L} * 10^{-2}$	$R^2$		$m_{H} * 10^{-2}$	$R^2$	$m_{L} * 10^{-2}$	$R^2$
BH1T15	0.38	0.95	0.36	0.87	BH3T15	0.59	0.94	1.10	0.93
BH1T20	0.59	0.94	0.45	0.80	BH3T20	1.60	0.96	1.55	0.85
BH1T25	0.75	0.95	0.61	0.88	BH3T25	2.09	0.99	2.00	0.92
BH1T30	0.84	0.94	0.72	0.81	BH3T30	2.30	0.98	2.14	0.9
BH1T35	1.00	0.97	0.89	0.87	BH3T35	2.70	0.95	2.90	0.97
BH1T45	1.47	0.88	1.30	0.84	BH3T45	4.17	0.98	4.00	0.99
BH2T15	0.99	0.92	0.96	0.87	BH4T15	1.23	0.94	1.22	0.91
BH2T20	1.20	0.92	1.15	0.82	BH4T20	1.96	0.99	1.86	0.95
BH2T25	1.51	0.99	1.44	0.96	BH4T25	2.30	0.87	2.20	0.72
BH2T30	1.57	0.98	1.40	0.97	BH4T30	3.20	0.99	3.20	0.99
BH2T35	1.91	0.99	1.90	0.95	BH4T35	3.32	0.82	3.30	0.82
BH2T45	3.00	0.99	3.00	0.99	BH4T45	6.10	0.90	6.00	0.99

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์  $m_{FH}$  กับตัวแปรไร้มิติ ค่า  $Lc/L$  และ  $H/L$  ดังแสดงในรูป 4-4 และรูป 4-5 ตามลำดับ จากรูป 4-4 สังเกตได้ว่าเมื่อ  $Lc/L$  เพิ่มขึ้น ค่าพารามิเตอร์  $m_{FH}$  จะมีค่าคงที่ที่ความชันคลื่อนหนึ่งๆ แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์  $m_{FH}$  ไม่ขึ้นอยู่กับ  $Lc/L$  จากรูป 4-5 พบว่าค่าพารามิเตอร์  $m_{FH}$  มีความผันแปรกับความชันคลื่อน เมื่อความชันคลื่อนเพิ่มขึ้นค่าพารามิเตอร์  $m_{FH}$  มีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นเส้นตรงด้วยเช่นกัน

ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์  $m_{FH} = f(H/L)$  จากสมการที่ 4-1 สามารถเขียนความสัมพันธ์ของ  $\bar{V}_{FH}/C$  ใหม่ได้เป็น

$$\frac{\bar{V}_{FH}}{C} = a \left( \frac{H}{L} \right)^b \left( 1 - \frac{Lx}{Lc} \right)^c \quad (4-2)$$

จากสมการ 4-2 สามารถจัดให้อยู่ในรูปของ Multiple Linear Regression โดยใช้ลอการิทึมได้เป็น

$$\ln \left( \frac{\bar{V}_{FH}}{C} \right) = \ln a + b \ln \left( \frac{H}{L} \right) + c \ln \left( 1 - \frac{Lx}{Lc} \right) \quad (4-3)$$

จากสมการ 4-3 นำไปวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น โดยที่  $\ln(H/L)$  และ  $\ln(1 - Lx/Lc)$  เป็นตัวแปรอิสระและ  $\ln(\bar{V}_{FH}/C)$  เป็นตัวแปรตาม ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ให้ความสัมพันธ์ ซึ่งมีค่า  $R^2 = 0.80$  ดังสมการ 4-4

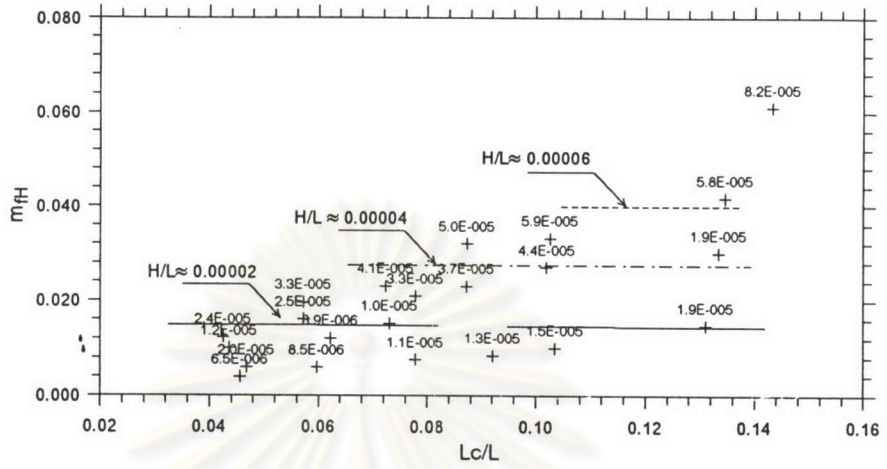
$$\ln \left( \frac{\bar{V}_{FH}}{C} \right) = 5.7 + 0.92 \ln \left( \frac{H}{L} \right) + 0.96 \ln \left( 1 - \frac{Lx}{Lc} \right) \quad (4-4)$$

จากสมการ 4-4 สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

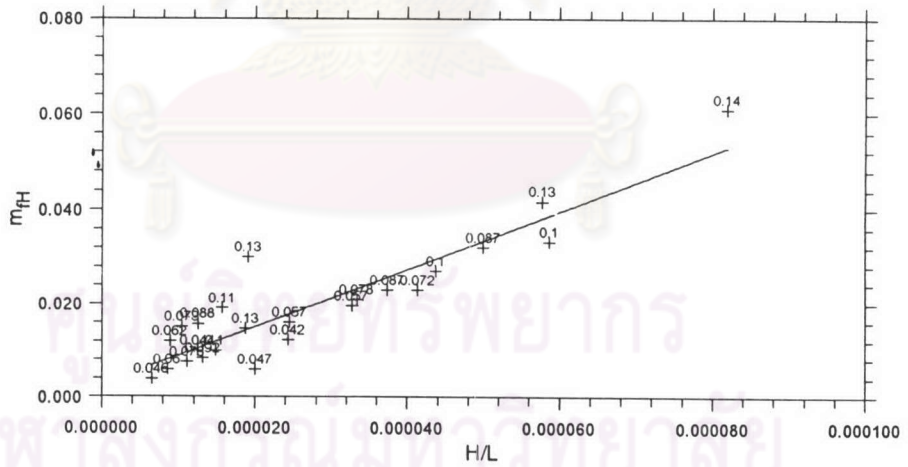
$$\frac{\bar{V}_{FH}}{C} = 301 \left( \frac{H}{L} \right)^{0.92} \left( 1 - \frac{Lx}{Lc} \right)^{0.96} \quad (4-5)$$

ดังนั้นสามารถประมาณค่าของ  $\bar{V}_{FH}/C$  โดยใช้สมการ 4-5 ดังแสดงในรูป 4-6 และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{V}_{FH}/C$  ที่ได้จากการทดลองและ  $\bar{V}_{FH}/C$  ที่ได้จากสมการดังรูป 4-7 พบว่าค่าของ  $\bar{V}_{FH}/C$  ที่ได้จากการทดลองและการคำนวณมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงทำมุมประมาณ 45 องศา กับแกน x ซึ่งหมายถึงค่าที่ได้จากสมการมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองในแบบจำลอง

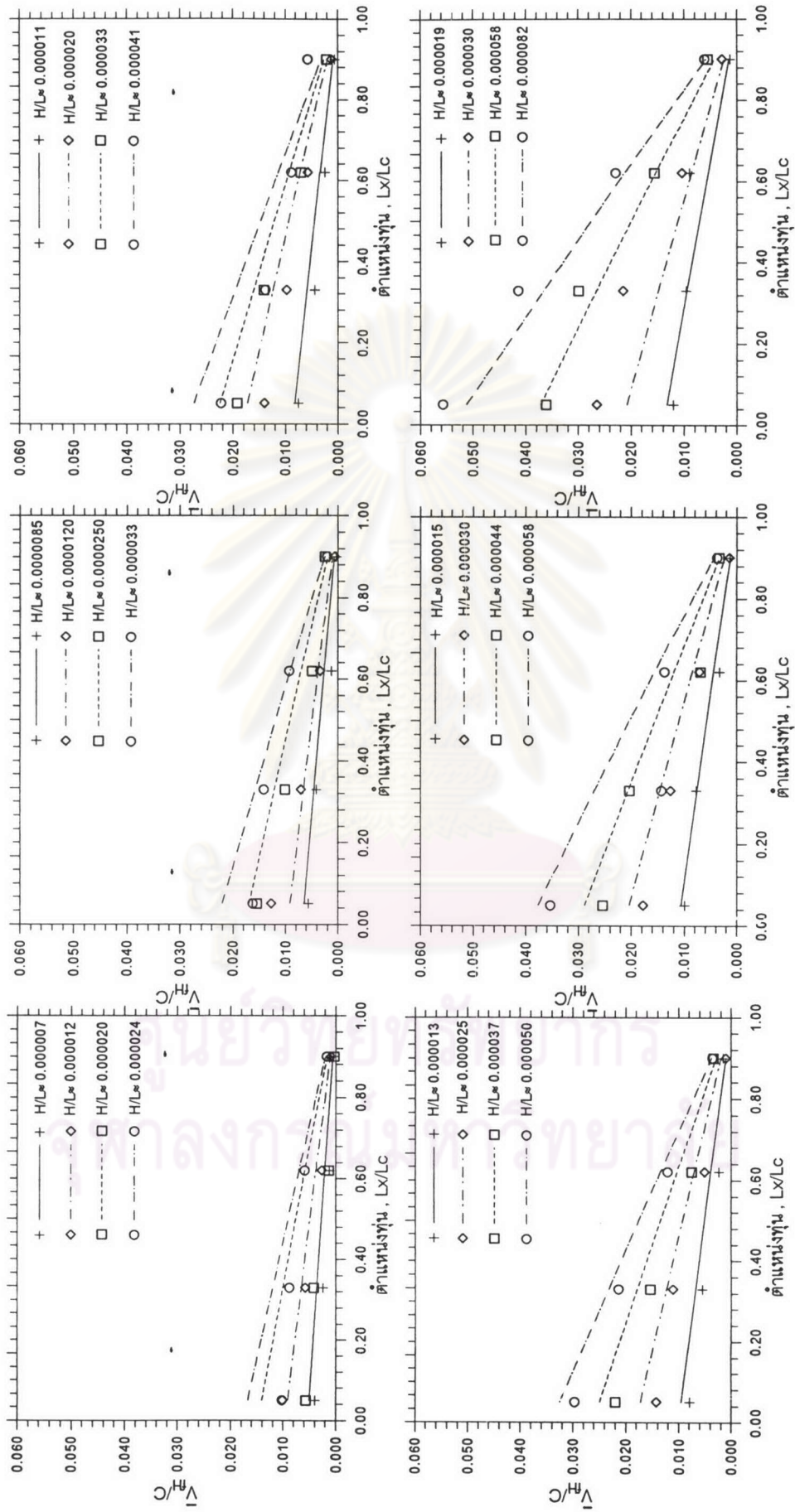
Vfmax\_B3



รูป 4-4 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $m_H$  กับ  $Lc/L$  กรณี คลองปลายตัน

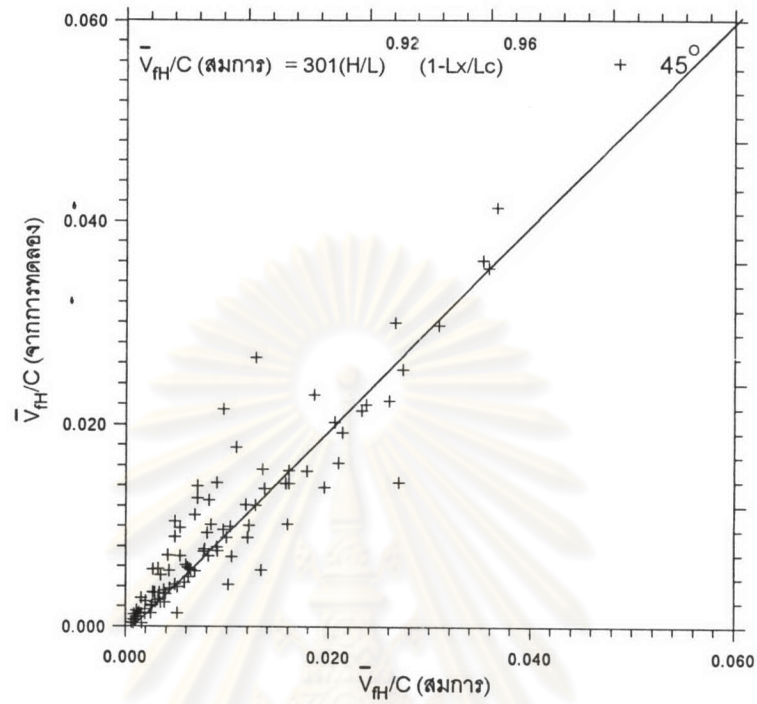


รูป 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $m_H$  กับ  $H/L$  กรณี คลองปลายตัน



รูป 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วหุ่นเฉลี่ย (น้ำขึ้น) กับ ตำแหน่งหุ่น กรณี คลองปลายตัน จากสมการ  $V_H/C = 301(H/L)^{0.92} (1-Lx/Lc)^{0.96}$





รูป 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $v_H/C$  (จากการทดลอง) กับ  $v_H/C$  (สมการ) กรณี คลองปลายตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับความเร็วทุ่นเฉลี่ยในช่วงน้ำลง  $\bar{V}_L$  นั้น ได้ใช้แนวทางในการวิเคราะห์เช่นเดียวกันกับความเร็วทุ่นเฉลี่ยในช่วงน้ำขึ้น จากรูป 4-8 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{V}_L / C$  จะลดลงตามระยะของตำแหน่งทุ่นจากปากคลองลึกเข้าไปในคลองโดยมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถใช้สมการที่ 4-1 ในการประมาณค่าพารามิเตอร์  $m_L$  ได้ สำหรับค่า  $m_L$  ในแต่ละกรณีศึกษาแสดงในตาราง 4-1

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์  $m_L$  กับตัวแปรไร้มิติ  $Lc/L$  และ  $H/L$  ดังแสดงในรูป 4-9 และรูป 4-10 ตามลำดับ พบว่าพารามิเตอร์  $m_L$  มีค่าคงที่กับ  $Lc/L$  ที่ความชันคลื่นหนึ่ง ๆ แต่พารามิเตอร์  $m_L$  ความสัมพันธ์ผกผันกับความชันคลื่น เมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น ค่าพารามิเตอร์  $m_L$  มีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นเส้นตรงด้วยเช่นกัน จากสมการ 4-2 และ 4-3 เมื่อนำไปวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนโดยกำหนดให้  $\ln(H/L)$  และ  $\ln(1 - Lx/Lc)$  เป็นตัวแปรอิสระ และ  $\ln(\bar{V}_L / C)$  เป็นตัวแปรตาม ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ได้ความสัมพันธ์ ซึ่งมีค่า  $R^2 = 0.82$  ดังสมการ 4-6

$$\ln\left(\frac{\bar{V}_L}{C}\right) = 6.49 + 0.99 \ln\left(\frac{H}{L}\right) + 0.94 \ln\left(1 - \frac{Lx}{Lc}\right) \quad (4-6)$$

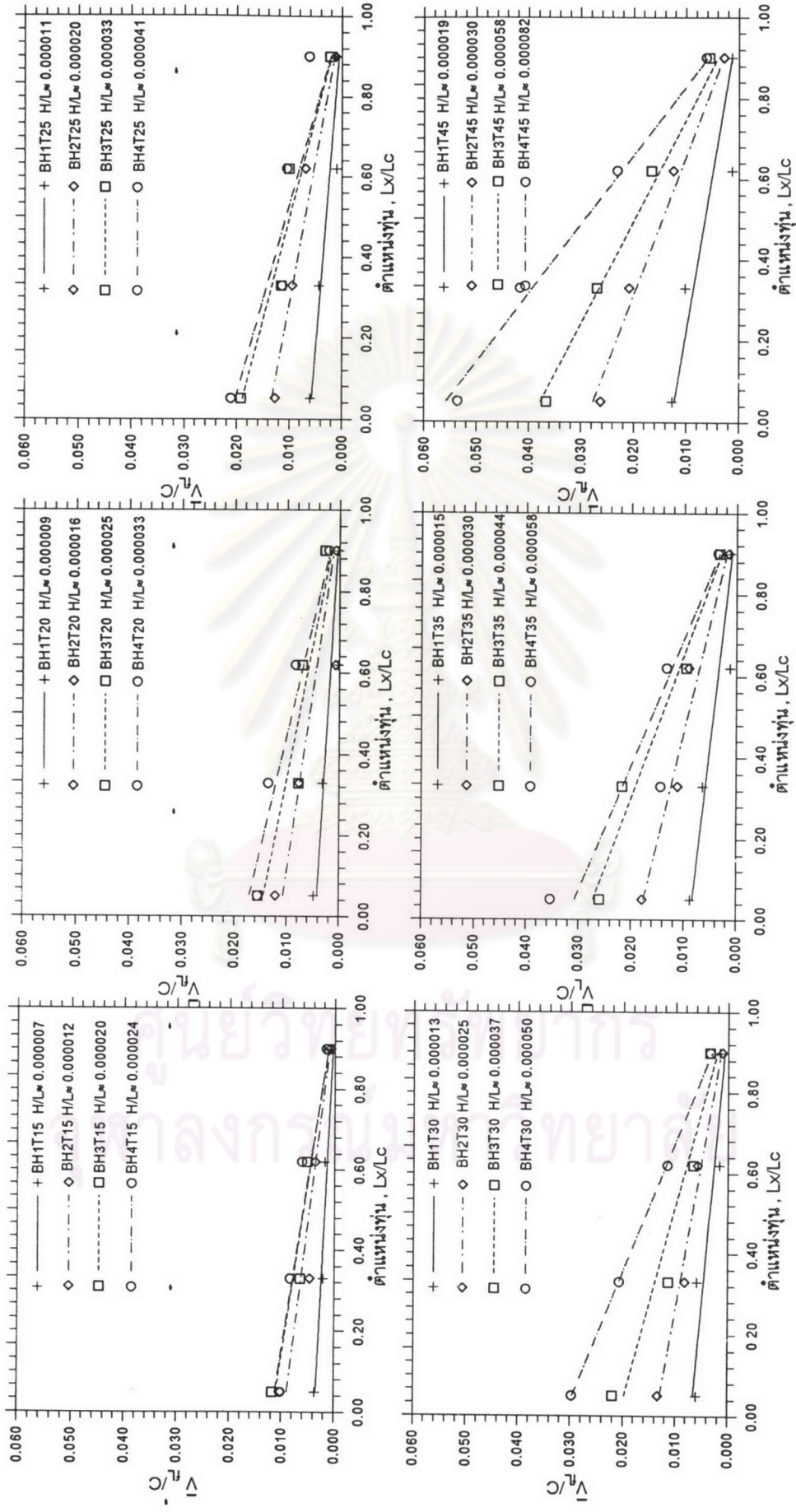
หรือ

$$\frac{\bar{V}_L}{C} = 660 \left(\frac{H}{L}\right)^{0.99} \left(1 - \frac{Lx}{Lc}\right)^{0.94} \quad (4-7)$$

ดังนั้นสามารถประมาณค่าของ  $\bar{V}_L / C$  โดยใช้สมการ 4-7 ดังแสดงในรูป 4-11 และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{V}_L / C$  ที่ได้จากการทดลอง กับค่า  $\bar{V}_L / C$  ที่ได้จากสมการ ดังรูป 4-12 พบว่าความสัมพันธ์ของค่า  $\bar{V}_L / C$  เป็นเส้นตรงทำมุม 45 องศากับแกน x ซึ่งหมายถึงค่าที่ได้จากการคำนวณ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองในแบบจำลอง

#### 4.3.2 คลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล

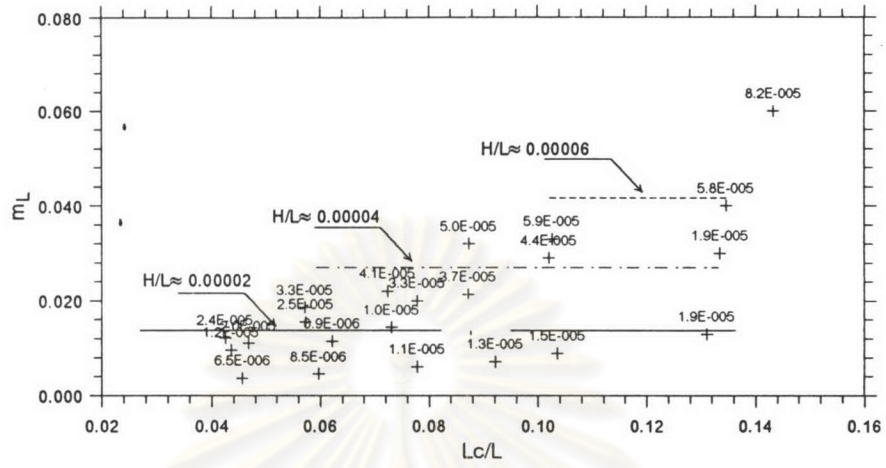
จากการสังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้น ในแบบจำลองของคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล พบว่าความเร็วทุ่นเฉลี่ย (น้ำขึ้น)  $\bar{V}_H$  กับความเร็วทุ่นเฉลี่ย (น้ำลง)  $\bar{V}_L$  จะมีการเปลี่ยนแปลงลดลงตามระยะของตำแหน่งทุ่น,  $Lx$  จนความเร็วทุ่นเท่ากับศูนย์บริเวณกลางคลอง โดยการพิจารณาตัวแปรใช้หลักการเดียวกันกับคลองปลายตัน



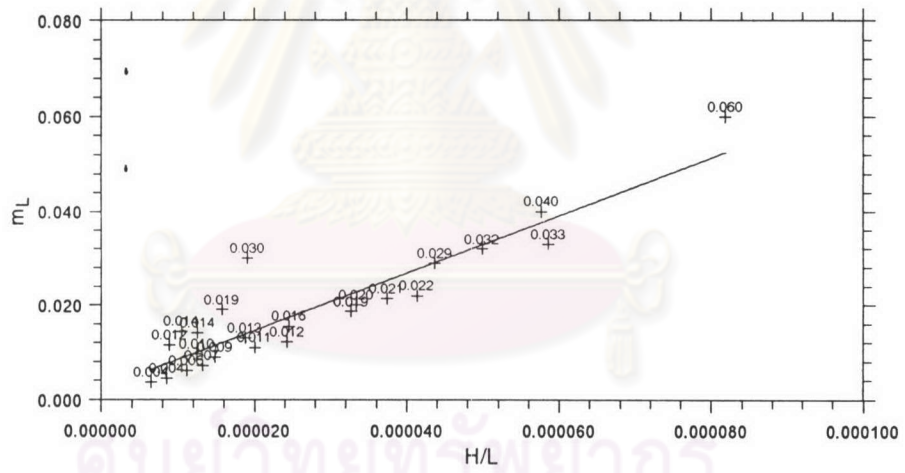
รูป 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วทวนเฉลี่ย (นำลง) กับ ตำแหน่งทวน กรณี คลองปลายตัน จากสมการ  $V_n/C = \tau_n(1-L_x/L_c)$



Vfmin\_B3

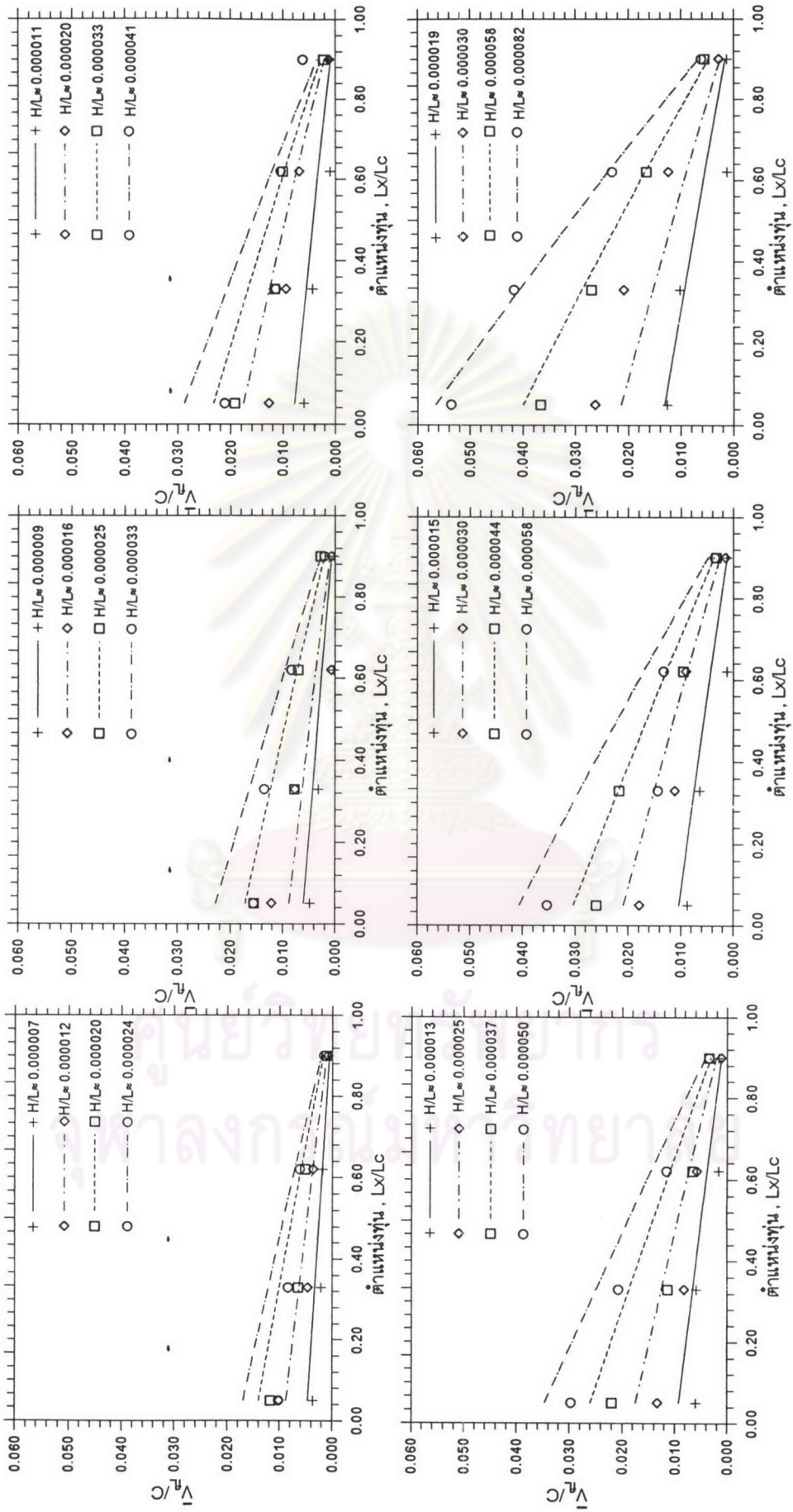


รูป 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $m_L$  กับ  $Lc/L$  กรณี คลองปลายตัน

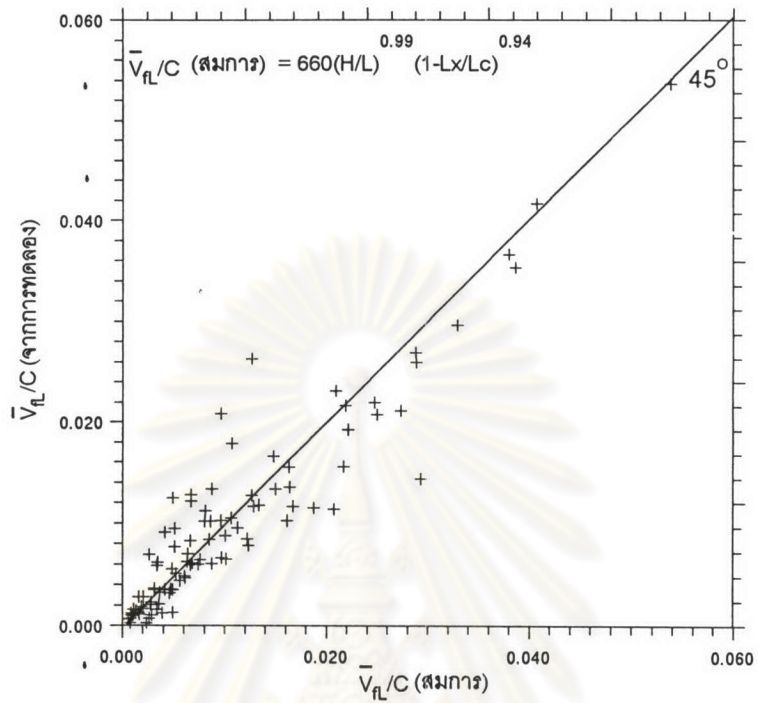


รูป 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $m_L$  กับ  $H/L$  กรณี คลองปลายตัน

ศูนย์วทยาศาสตร์พายากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วท่อนเฉลี่ย (น้ำลง) กับ ตำแหน่งท่อน กรณี คลองปลายตัน จากสมการ  $\bar{V}_h/C = 660(H/L)^{0.99}(1-Lx/Lc)^{0.94}$



รูป 4-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{v}_{fl}/C$  (ข้อมูล) กับ  $\bar{v}_{fl}/C$  (สมการ) กรณี คลองปลายตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอัตราส่วน  $\bar{V}_{FH}/C$  กับ  $Lx/Lc$  จากรูป 4-13 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{V}_{FH}/C$  กับ  $Lx/Lc$  ที่ความชื้นคลื่นหนึ่งๆ พบว่าความสัมพันธ์ของ  $\bar{V}_{FH}/C$  จะลดลงตามระยะของตำแหน่งหุ่น  $Lx/Lc$  โดยมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงจนค่า  $\bar{V}_{FH}/C$  จะเท่ากับศูนย์ที่ตำแหน่งหุ่น  $Lx/Lc$  เท่ากับ 0.5 แต่ค่าความสัมพันธ์ของ  $\bar{V}_{FH}/C$  จะสูงขึ้นเมื่อความชื้นคลื่นสูงขึ้น ที่ตำแหน่ง  $Lx/Lc$  คงที่ ดังนั้นความสัมพันธ์ของ  $\bar{V}_{FH}/C$  กับ  $Lx/Lc$  ของกรณีคลองปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเลสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการดังนี้

$$\frac{\bar{V}_{FH}}{C} = m_{FH} \left( 0.5 - \frac{Lx}{Lc} \right) \quad (4-8)$$

โดยที่ค่าพารามิเตอร์  $m_{FH}$  ของคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเลในแต่ละกรณีแสดงในตาราง 4-2

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์  $m_{FH}$  กับตัวแปรไร้มิติ  $Lc/L$  และ  $H/L$  ดังแสดงในรูป 4-14 และ 4-15 จากรูป 4-14 สังเกตได้ว่าเมื่อ  $Lc/L$  เพิ่มขึ้นค่าพารามิเตอร์  $m_{FH}$  มีค่าคงที่ที่ความชื้นคลื่นหนึ่งๆ แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์  $m_{FH}$  ไม่ขึ้นอยู่กัค่า  $Lc/L$  และจากรูป 4-15 พบว่าค่าพารามิเตอร์  $m_{FH}$  มีความผันแปรกับความชื้นคลื่น โดยที่ความชื้นคลื่นเพิ่มขึ้นค่าพารามิเตอร์  $m_{FH}$  มีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย

ดังนั้นค่าพารามิเตอร์  $m_{FH} = f(H/L)$  จากสมการที่ 4-8 สามารถเขียนความสัมพันธ์ของ  $\bar{V}_{FH}/C$  ใหม่ได้เป็น

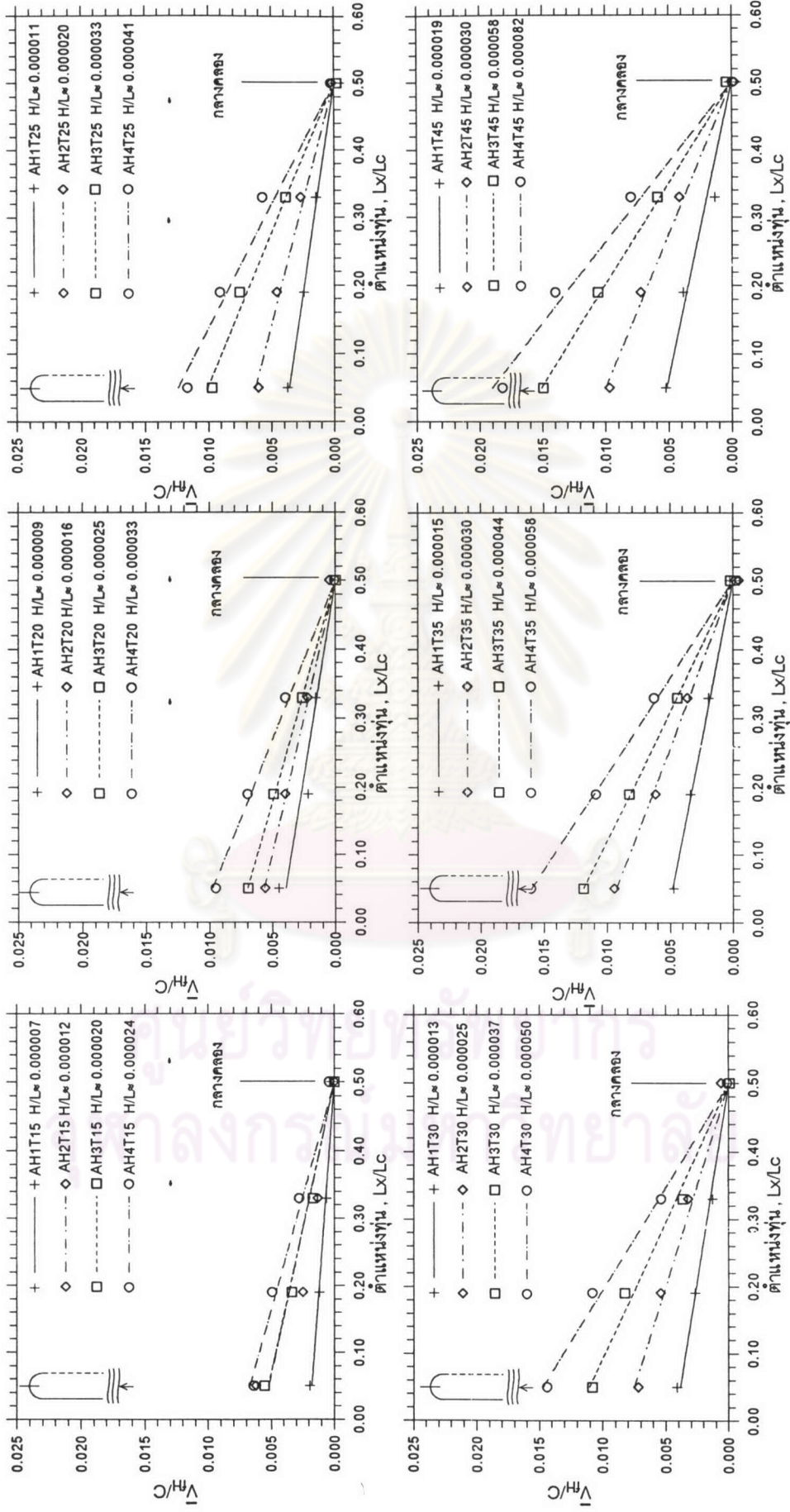
$$\frac{\bar{V}_{FH}}{C} = a \left( \frac{H}{L} \right)^b \left( 0.5 - \frac{Lx}{Lc} \right)^c \quad (4-9)$$

จากสมการ 4-9 สามารถจัดรูปให้อยู่ในรูป MLR โดยใช้ลอการิทึมจะได้เป็น

$$\ln \left( \frac{\bar{V}_{FH}}{C} \right) = \ln a + b \ln \left( \frac{H}{L} \right) + c \ln \left( 0.5 - \frac{Lx}{Lc} \right) \quad (4-10)$$

จากสมการที่ 4-10 นำไปวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น โดยที่  $\ln(H/L)$  และ  $\ln(0.5 - Lx/Lc)$  เป็นตัวแปรอิสระและ  $\ln(\bar{V}_{FH}/C)$  เป็นตัวแปรตาม ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ให้ความสัมพันธ์ซึ่งมีค่า  $R^2 = 0.88$  ดังสมการ 4-11

Vfmax\_A2



รูป 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วทวนเฉลี่ย (น้ำขึ้น) กับ ตำแหน่งทวน กรณีปลายคดง 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล จากสมการ  $\bar{V}_H/C = m_H(0.5-Lx/Lc)$

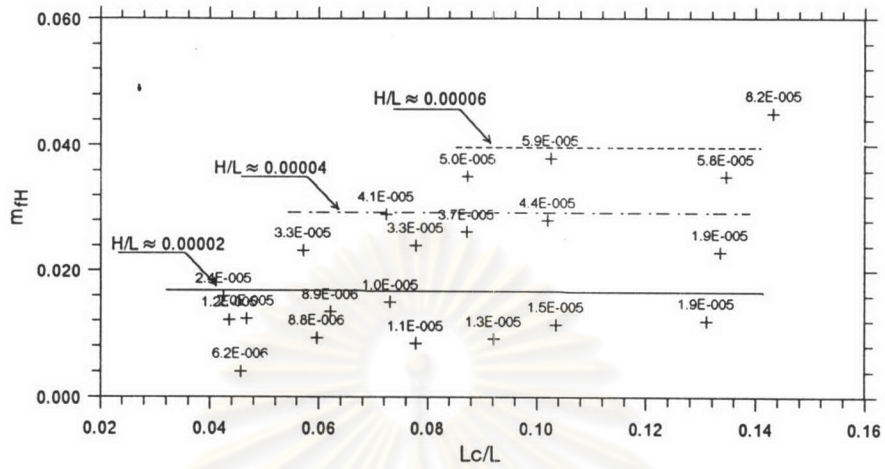
ตาราง 4-2 ค่าพารามิเตอร์ mf กรณี ปลายคดอง 2 ด้านเชื่อมต่อทะเล

กรณี ปลายคดอง 2 ด้านเชื่อมต่อทะเล									
$V_f/C = m_f (0.5-Lx/Lc)$									
กรณี	น้ำขึ้น		น้ำลง		กรณี	น้ำขึ้น		น้ำลง	
	$m_{fH} * 10^{-2}$	$R^2$	$m_{fL} * 10^{-2}$	$R^2$		$m_{fH} * 10^{-2}$	$R^2$	$m_{fL} * 10^{-2}$	$R^2$
AH1T15	0.40	0.90	0.29	0.68	AH3T15	1.23	0.95	0.90	0.66
AH1T20	0.93	0.88	0.76	0.77	AH3T20	1.60	0.98	1.68	0.75
AH1T25	0.84	0.97	0.68	0.56	AH3T25	2.40	0.94	1.95	0.81
AH1T30	0.90	0.96	0.68	0.84	AH3T30	2.62	0.99	2.50	0.99
AH1T35	1.14	0.98	0.90	0.96	AH3T35	2.81	0.99	2.65	0.93
AH1T45	1.20	0.95	1.30	0.96	AH3T45	3.50	0.99	3.90	0.95
AH2T15	1.21	0.81	1.22	0.78	AH4T15	1.59	0.92	1.33	0.81
AH2T20	1.34	0.97	1.07	0.78	AH4T20	2.32	0.98	2.20	0.97
AH2T25	1.49	0.97	1.36	0.96	AH4T25	2.90	0.95	2.50	0.89
AH2T30	1.79	0.98	1.50	0.95	AH4T30	3.50	0.94	3.36	0.99
AH2T35	2.20	0.98	1.90	0.99	AH4T35	3.79	0.98	3.62	0.95
AH2T45	2.30	0.97	2.20	0.99	AH4T45	4.50	0.99	4.81	0.98

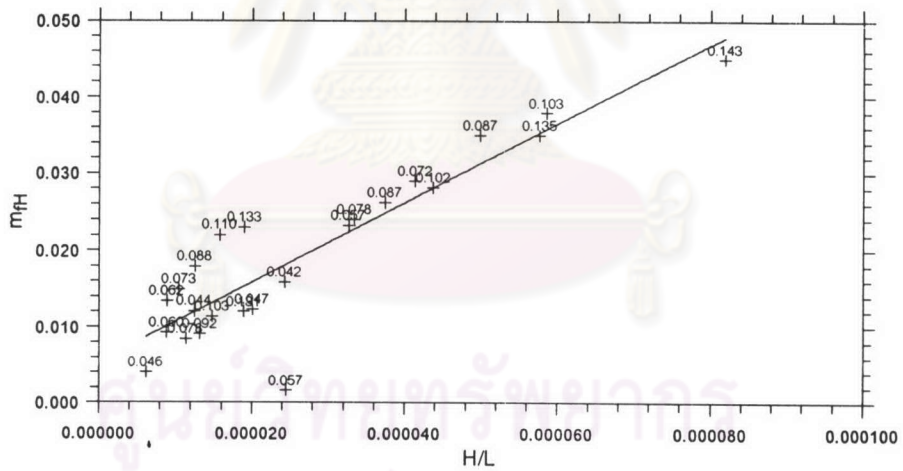
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Vfmax\_A3



รูป 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $m_{FH}$  กับ  $L_c/L$  กรณี ปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อทะเล



รูป 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $m_{FH}$  กับ  $H/L$  กรณี ปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อทะเล

$$\ln\left(\frac{\bar{V}_{fH}}{C}\right) = 4.30 + 0.76 \ln\left(\frac{H}{L}\right) + 1.14 \ln\left(0.5 - \frac{Lx}{Lc}\right) \quad (4-11)$$

จากสมการ 4-11 สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\left(\frac{\bar{V}_{fH}}{C}\right) = 74 \left(\frac{H}{L}\right)^{0.76} \left(0.5 - \frac{Lx}{Lc}\right)^{1.14} \quad (4-12)$$

ดังนั้นสามารถประมาณค่าของ  $\bar{V}_{fH}/C$  ของคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล โดยใช้สมการ 4-12 ดังแสดงในรูป 4-16 และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{V}_{fH}/C$  จากการทดลองกับ  $\bar{V}_{fH}/C$  จากสมการ ดังแสดงในรูป 4-17 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{V}_{fH}/C$  เป็นเส้นตรงทำมุม 45 องศา กับแกน x ซึ่งหมายถึงค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียง กับค่าที่ได้จากการทดลองในแบบจำลอง

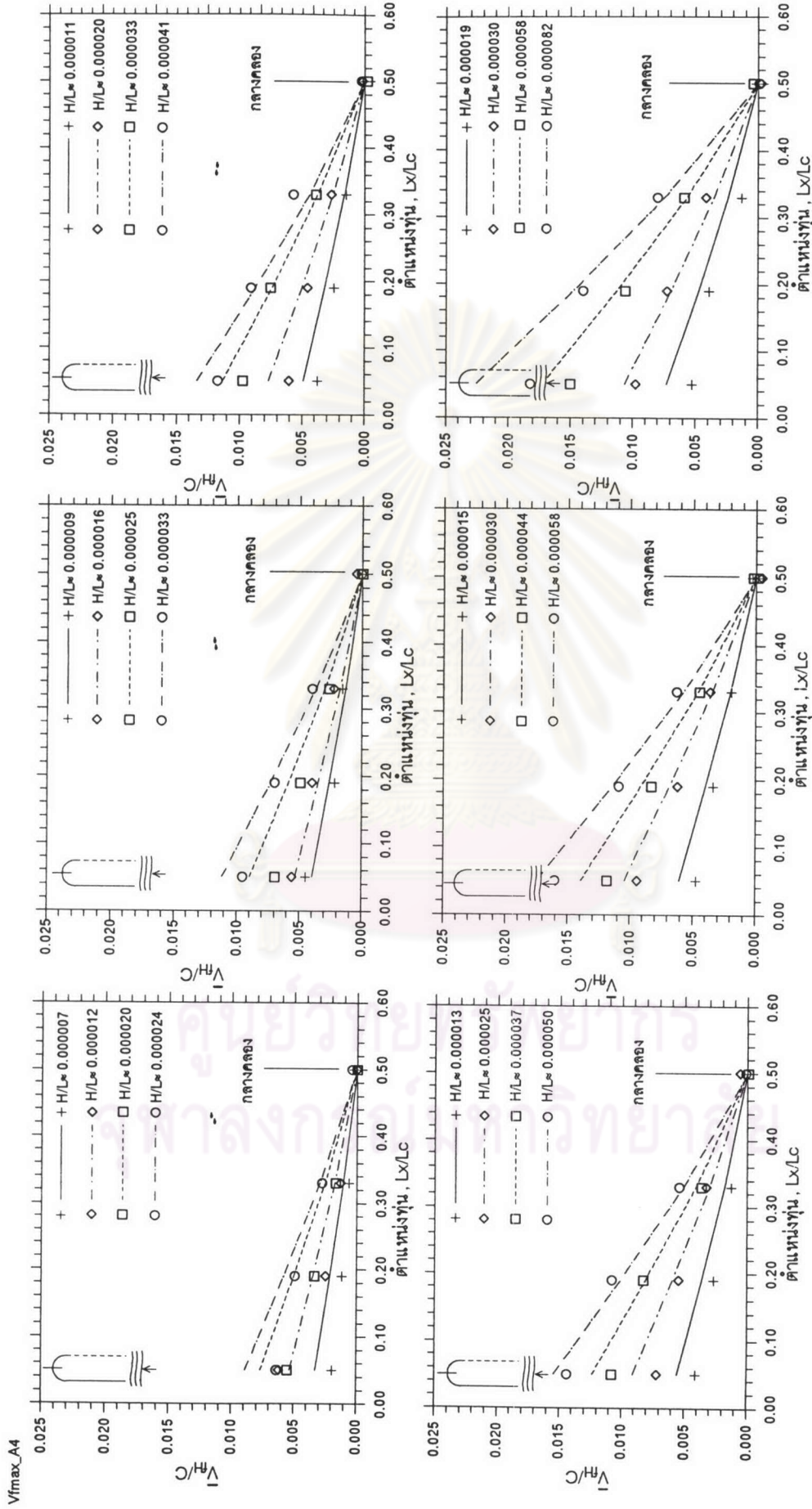
สำหรับความเร็วหุ่นเฉลี่ย (น้ำลง)  $\bar{V}_L$  ของคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเลใช้แนวทางวิเคราะห์เดียวกันกับความเร็วหุ่นเฉลี่ย (น้ำขึ้น)  $\bar{V}_{fH}$  ของคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล จากรูป 4-18 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{V}_L/C$  จะลดลงตามระยะของตำแหน่งหุ่น โดยมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ดังนั้นสามารถใช้สมการ 4-8 ในการประมาณค่าพารามิเตอร์  $m_L$  ได้ สำหรับค่าพารามิเตอร์  $m_L$  ในแต่ละกรณีศึกษาแสดงในตาราง 4-2

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์  $m_L$  กับตัวแปรไร้มิติ  $Lc/L$  และ  $H/L$  ดังแสดงในรูป 4-19 และ 4-20 จากรูป 4-19 พบความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $m_L$  ค่อนข้างคงที่กับ  $Lc/L$  แต่จากรูป 4-20 พบว่าค่าพารามิเตอร์  $m_L$  มีความผันแปรกับความชันคลื่นเมื่อความชันคลื่นเพิ่มขึ้น ค่าพารามิเตอร์  $m_L$  มีแนวโน้มสูงขึ้นเป็นเส้นตรงด้วยเช่นกัน จากสมการ 4-9 และ 4-10 นำไปวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ให้ความสัมพันธ์ซึ่งมีค่า  $R^2 = 0.84$  ดังสมการ 4-13 และ สมการ 4-14

$$\ln\left(\frac{\bar{V}_L}{C}\right) = 4.79 + 0.80 \ln\left(\frac{H}{L}\right) + 0.95 \ln\left(0.5 - \frac{Lx}{Lc}\right) \quad (4-13)$$

หรือ

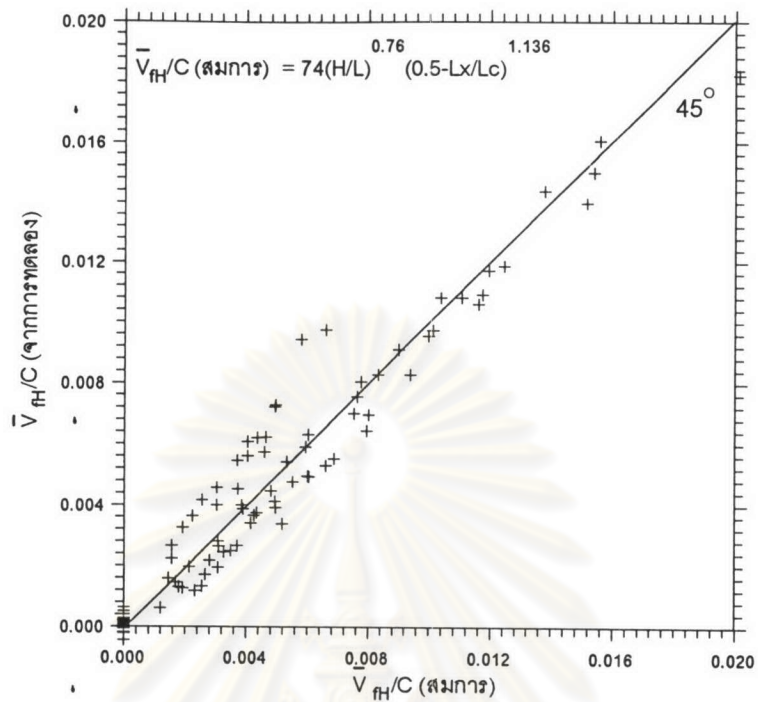
$$\left(\frac{\bar{V}_L}{C}\right) = 121 \left(\frac{H}{L}\right)^{0.86} \left(0.5 - \frac{Lx}{Lc}\right)^{0.95} \quad (4-14)$$



รูป 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วทวนเจดีย์ (น้ำขึ้น) กับ ตำแหน่งทวน กรณี ปลายคตอง 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล

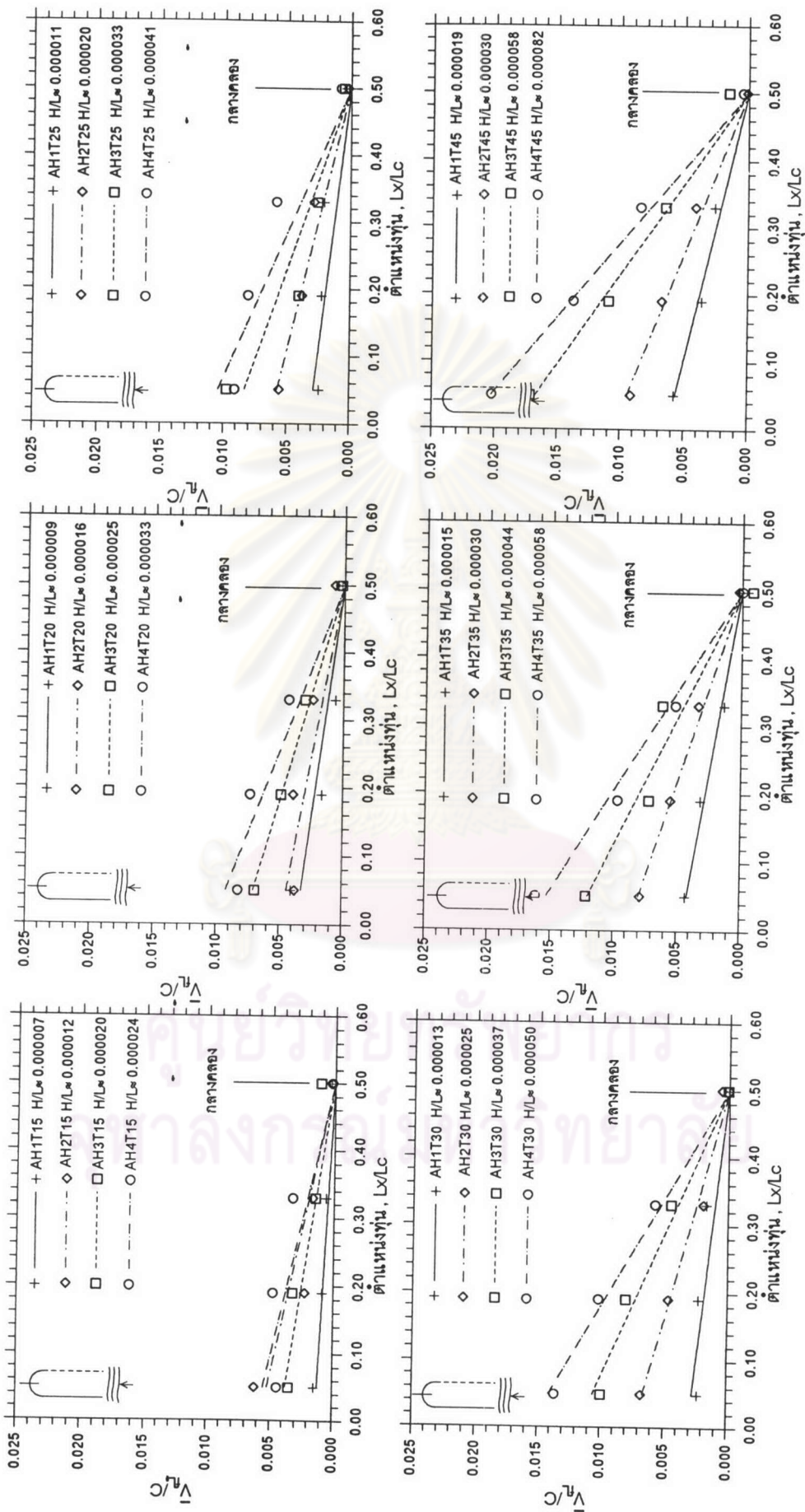
จากสมการ  $\bar{V}_{H/C} = 74(H/L)^{0.76} (0.5-Lx/Lc)^{1.14}$



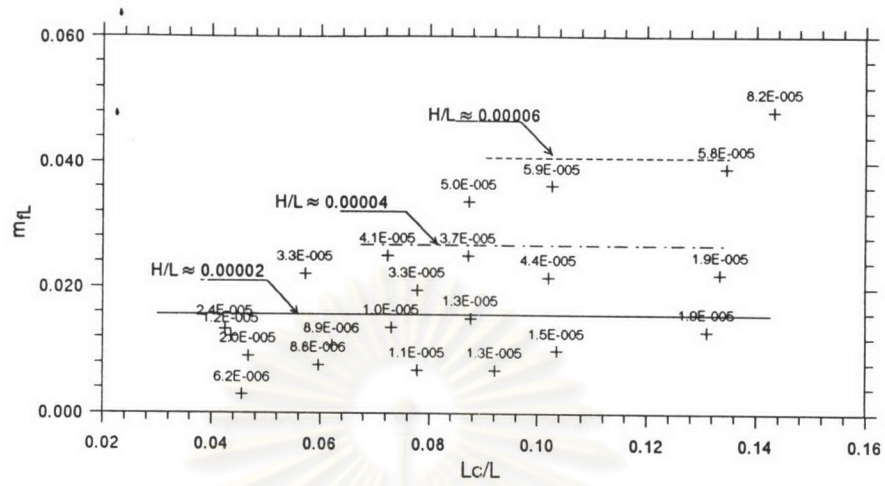


รูป 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{v}_{HH}/C$  (จากการทดลอง) กับ  $\bar{v}_{HH}/C$  (สมการ) กรณี ปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อกัน

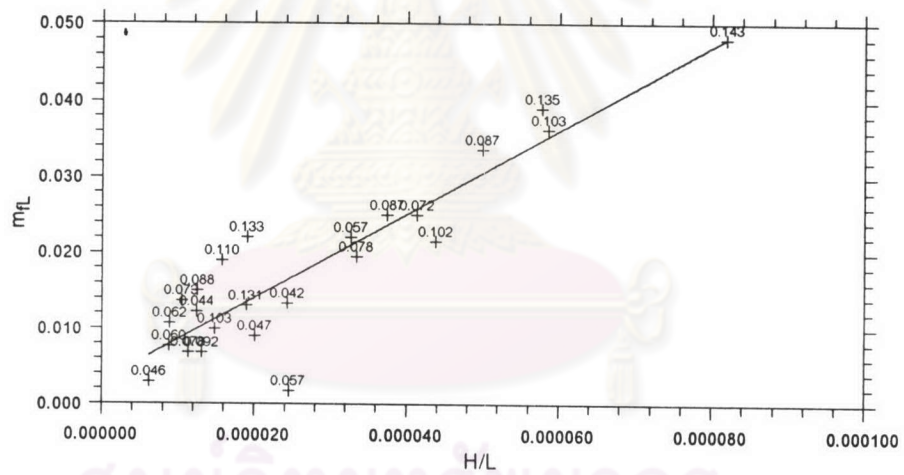
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วทันเจดีย์ (น้ำตล) กับ ตำแหน่งทัน กรณี ปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล จากสมการ  $\bar{V}_h/C = m_h(0.5-L_x/L_c)$



รูป 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $m/L$  กับ  $Lc/L$  กรณี ปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อกทะเล



รูป 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์  $m/L$  กับ  $H/L$  กรณี ปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อกทะเล

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ดังนั้นสามารถประมาณค่าของ  $\bar{V}_R/C$  ของคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล โดยใช้สมการ 4-14 แสดงในรูป 4-21 จากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{V}_R/C$  จากการทดลองกับ  $\bar{V}_R/C$  จากสมการ ดังแสดงในรูป 4-22 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{V}_R/C$  เป็นเส้นตรงทำมุม 45 องศา กับแกน x ซึ่งหมายถึงค่าที่ได้จากการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองในแบบจำลอง

#### 4.4 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองที่เชื่อมต่อกับทะเล

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งจะพิจารณาจากระดับน้ำสูงสุด - ต่ำสุด ตามระยะทางในกรณีคลองปลายตันและคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล ซึ่งกราฟระดับน้ำสูงสุด - ต่ำสุดตามระยะทางแสดงในภาคผนวก จ

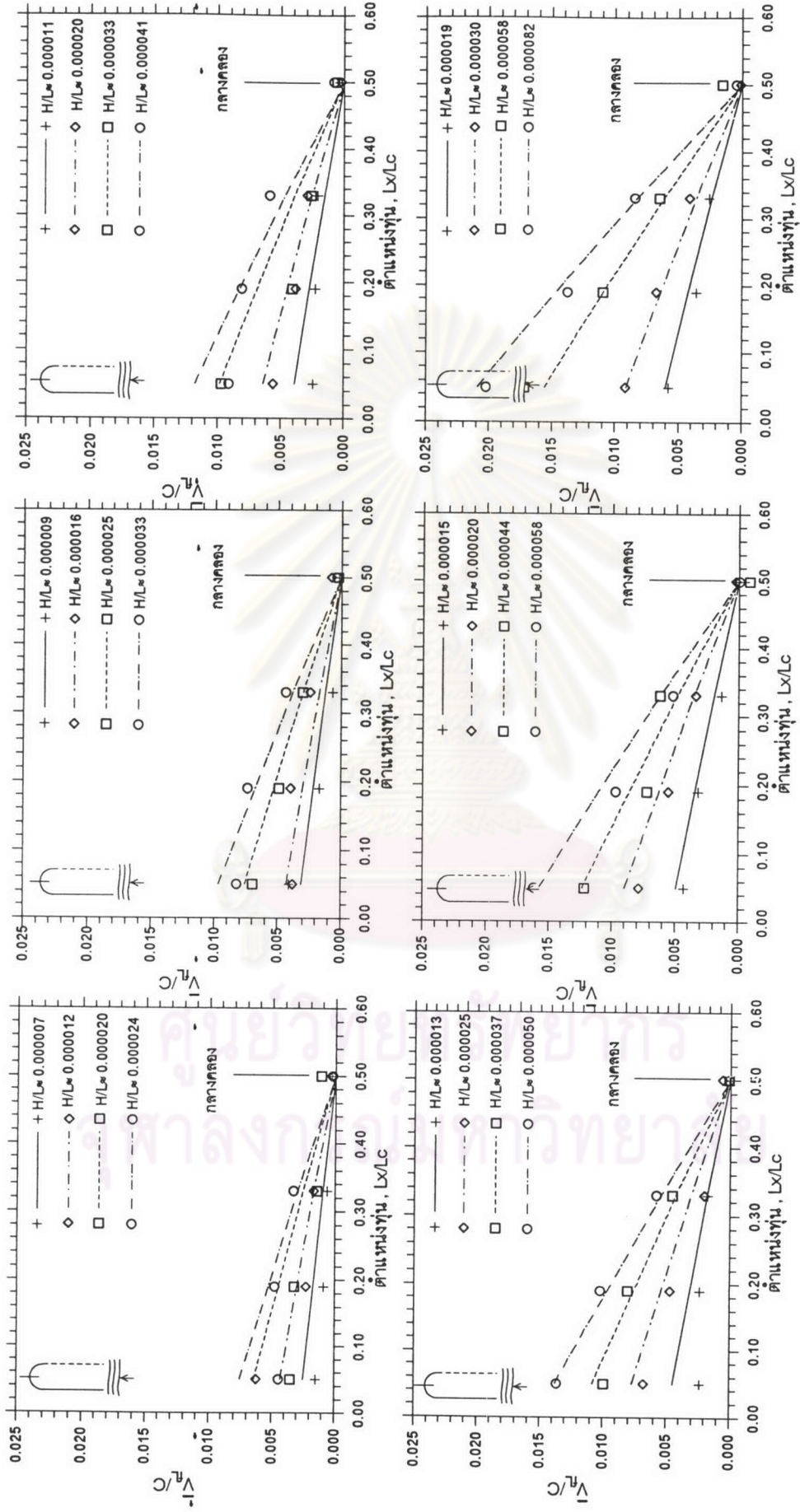
การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแบบจำลองกรณีคลองปลายตันนั้น พบว่าในการทดลองส่วนใหญ่ จะมีความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งปากคลอง ขึ้นไปตามระยะทางจากปากคลองจนถึงตำแหน่งประตูระบายน้ำปลายคลอง โดยความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้นจะมีขนาดลดลงตามคาบคลื่นที่มากขึ้น

สำหรับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแบบจำลองกรณีคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเลนั้นพบว่าที่บริเวณกลางคลองระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับระดับน้ำตำแหน่งปากคลอง

ดังนั้นในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองที่มีการเชื่อมต่อกับทะเลนั้นจึงเลือกอัตราส่วนความสูงคลื่นที่ตำแหน่งใดๆ ในคลอง  $H_x$  ต่อความสูงคลื่นที่ตำแหน่งปากคลอง  $H_1$  หรือเรียกว่าอัตราส่วนคลื่นขยายตัว  $H_r = H_x/H_1$  เป็นดัชนีวัดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำของกรณีคลองปลายตันและคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล สำหรับตัวแปรคลื่นใช้อัตราส่วนความสูงคลื่น,  $H$  ต่อความยาวคลื่น  $L$  และความยาวคลองใช้อัตราส่วนความยาวคลื่น  $L$  ต่อความยาวคลอง  $L_c$  (ซีซซีย์, 2545)

##### 4.4.1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในกรณีคลองปลายตัน

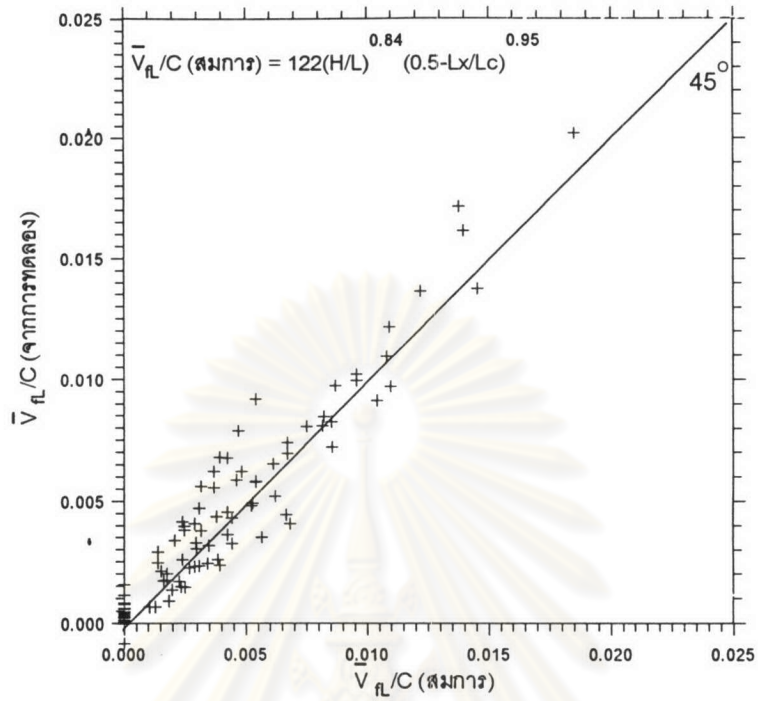
จากรูป 4-23 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนคลื่นขยายตัว  $H_r$  กับ  $L_c/L$  ที่ตำแหน่งต่างๆ ของคลองปลายตัน พบว่าค่าอัตราส่วนคลื่นขยายตัวที่ตำแหน่งประตูระบายน้ำปลายคลอง มีค่าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ ของคลอง ในกรณีที่ค่า  $L_c/L$  คงที่ ดังแสดงในรูป 4-23 ก ข และ ค โดยที่



รูป 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วทวนเฉลี่ย (น้ำลจ) กับ ตำแหน่งทวน กรณืปลายคดง 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล

จากสมการ  $\bar{V}_h/C = 121(H/L)^{0.84} (0.5-Lx/Lc)^{0.95}$

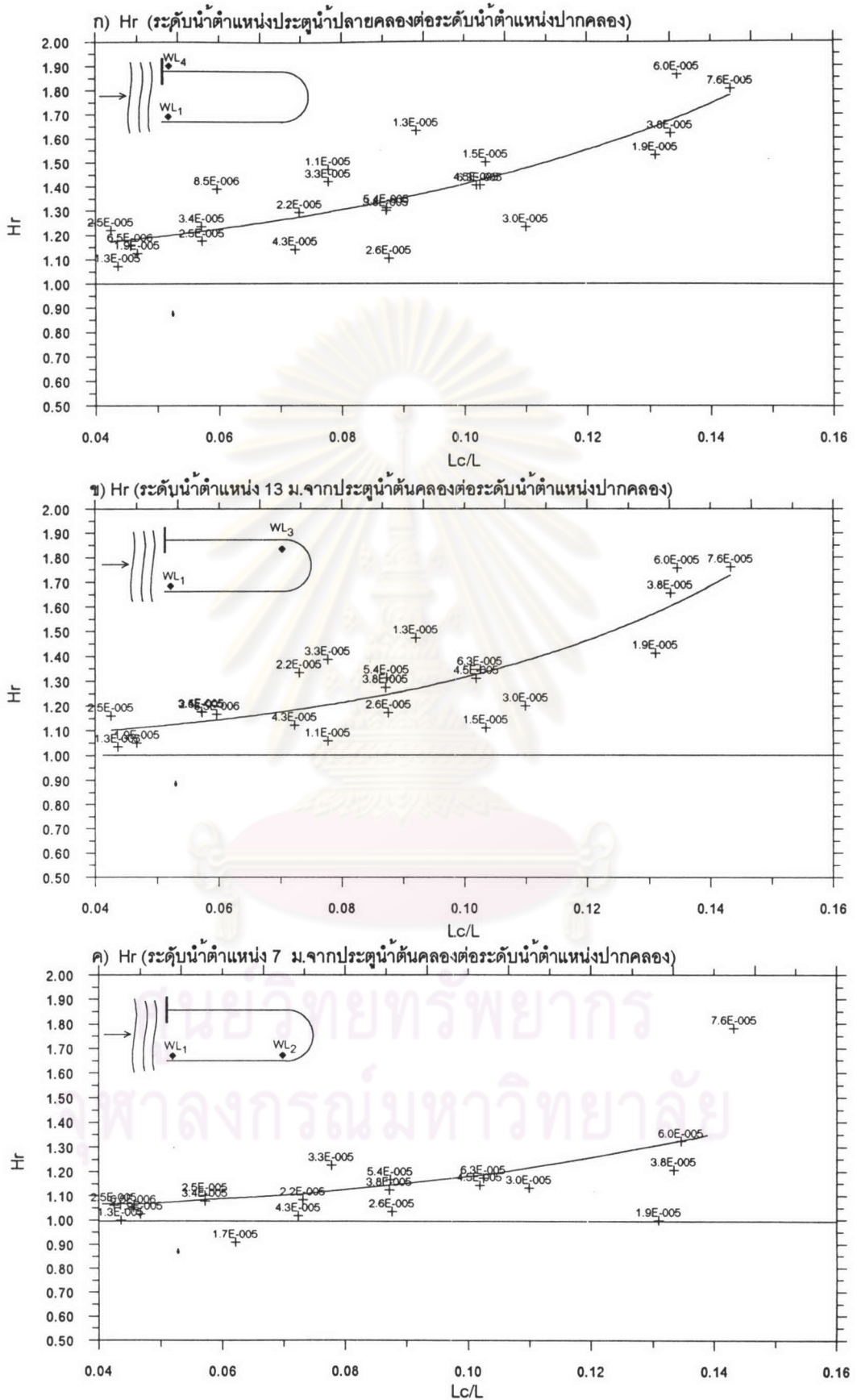
1111



รูป 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\bar{V}_n/C$  (จากการทดลอง) กับ  $V_n/C$  (สมการ)  
กรณี ปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อทะเล

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูป 4-23 ความสัมพันธ์ อัตราส่วนคลื่นขยายตัว Hr กับ Lc/L ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของคลองกรณี คลองปลายตัน

อัตราส่วนคลื่นขยายตัวมีแนวโน้มลดลง เมื่อค่า  $Lc/L$  สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าการปิดกั้นปลายคลองนั้น อาจส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลอง หรือเกิดการสะท้อนกลับของน้ำในคลอง ทำให้ระดับน้ำในคลองสูงขึ้นหรือต่ำกว่าปกติ และการสะท้อนกลับของน้ำในคลองขึ้นอยู่กับความยาวของคลอง และระยะทางจากปากคลอง สำหรับความสัมพันธ์อัตราส่วนคลื่นขยายตัว  $H_r$  กับ ความชันคลื่น  $H/L$  พบว่าค่าอัตราส่วนคลื่นขยายตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามขนาดของความชันคลื่น ดังแสดงในรูป 4-24 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ชัชชัย,(2545)

#### 4.4.2 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในกรณีคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล

จากรูป 4-25 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนคลื่นขยายตัว  $H_r$  กับ  $L/L_c$  ที่ตำแหน่งต่างๆ ของคลองกรณีคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล จะสังเกตได้ว่าอัตราส่วนคลื่นขยายตัว บริเวณกึ่งกลางคลองจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย หรือการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองค่อนข้างน้อย และไม่มีผลกระทบเนื่องจากการสะท้อนกลับของคลื่น

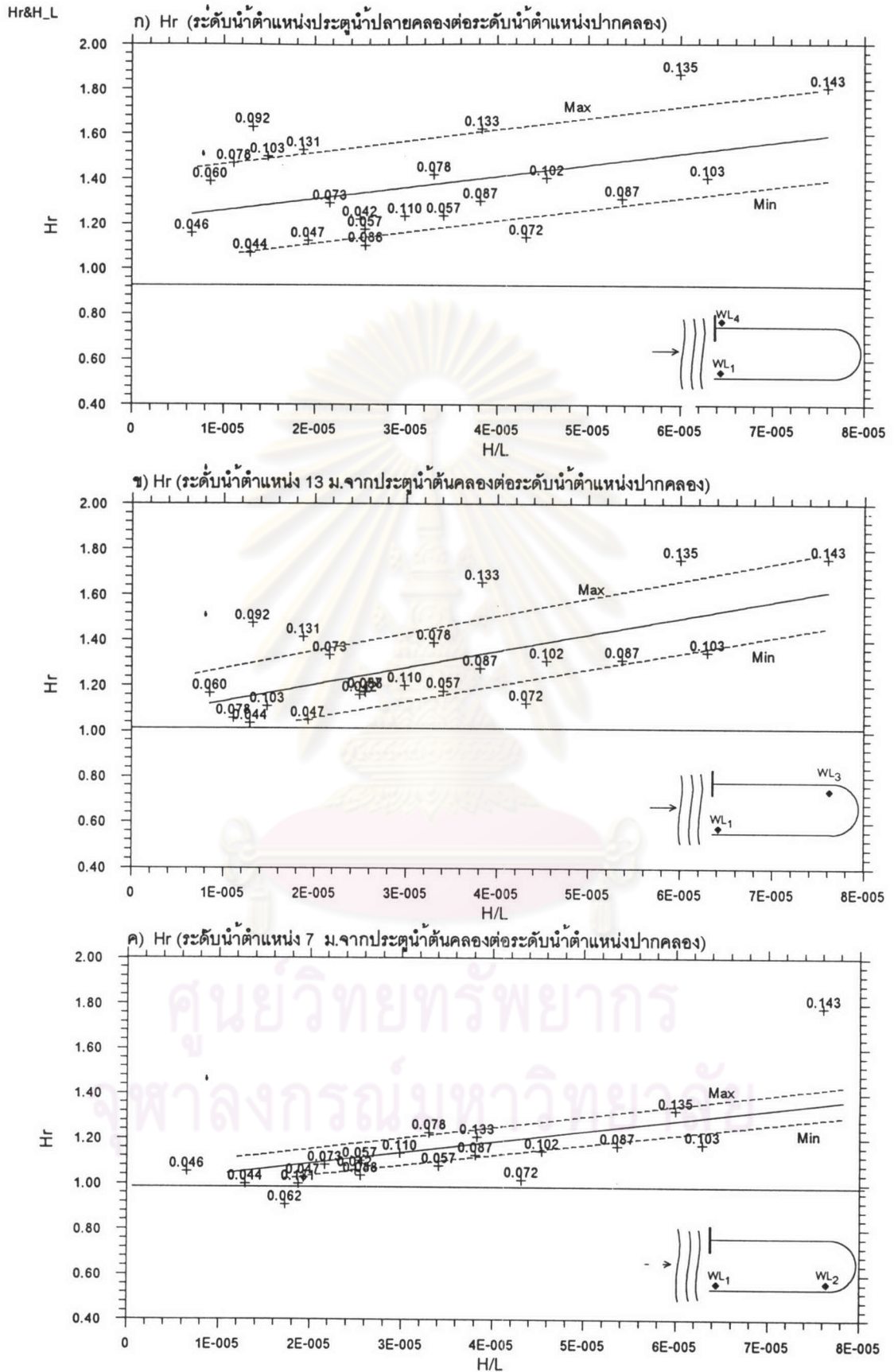
#### 4.5 ระยะถ่ายเทสูงสุด

ในหัวข้อนี้เป็นส่วนของการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตำแหน่งระยะถ่ายเทสูงสุด  $X$  ที่เกิดขึ้นในคลองที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

จากการทดลองได้หาตำแหน่งที่น้ำในคลอง สามารถมีการหมุนเวียนถ่ายเทออกจากคลองลงสู่ทะเลได้ภายใน 1 ช่วงน้ำขึ้นน้ำลง หรือเรียกตำแหน่งนี้ว่าระยะถ่ายเทสูงสุด  $X$  ของกรณีคลองปลายตัน และคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล ดังแสดงในภาคผนวก ข-2 และ ค-2

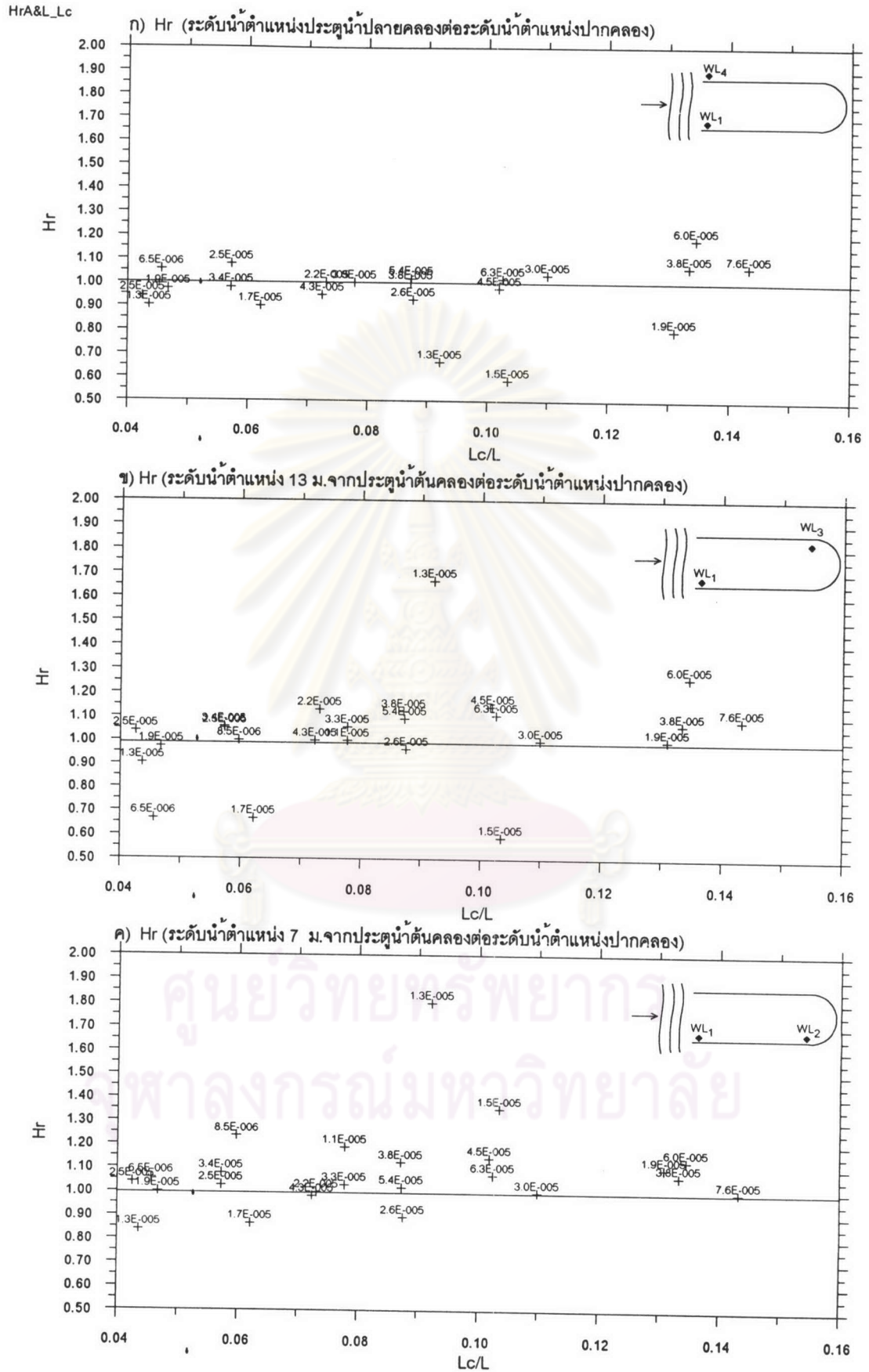
ในการนำผลการศึกษาที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับสภาพธรรมชาติจริง ใช้วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามวิธีตัวแปรไร้มิติ ดังนั้นในการศึกษาหาระยะถ่ายเทสูงสุดจะใช้ อัตราส่วนระยะถ่ายเทสูงสุดต่อความยาวคลื่น  $X/L$  ในส่วนตัวแปรคลื่นจะศึกษาจากตัวแปรความชัน  $H/L$  และส่วนของความยาวคลองจะศึกษาจากตัวแปรความยาวคลองต่อความยาวคลื่น  $Lc/L$

จากรูป 4-26 และ 4-27 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะถ่ายเทสูงสุด  $X/L$  กับความยาวคลอง  $Lc/L$  ของกรณีคลองปลายตัน และคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล พบว่าเมื่อความยาวคลองเพิ่มขึ้น ระยะการถ่ายเทสูงสุดจะมีค่าคงที่ ที่ขนาดความชันคลื่นหนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความยาวคลองไม่มีอิทธิพลต่อระยะถ่ายเทสูงสุด แต่เมื่อพิจารณารูป 4-28 และ 4-29 พบว่าระยะ



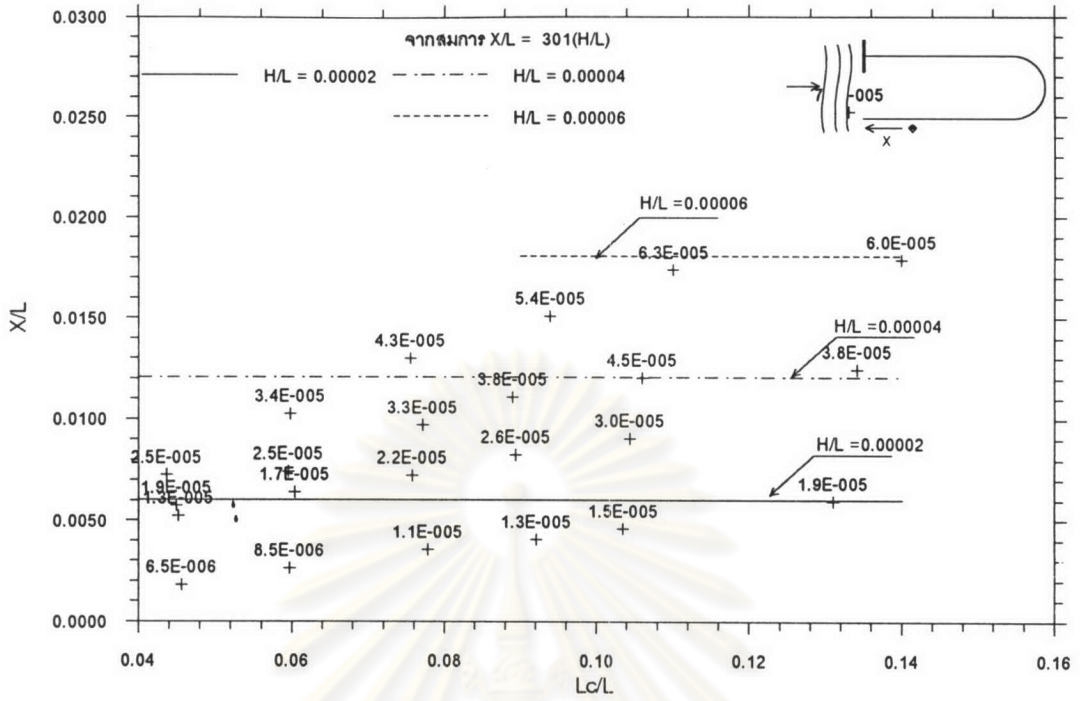
รูป 4-24 ความสัมพันธ์ อัตราส่วนคลื่นขยายตัว  $H_r$  กับ  $H/L$  ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของคลองกรณี คลองปลายตัน



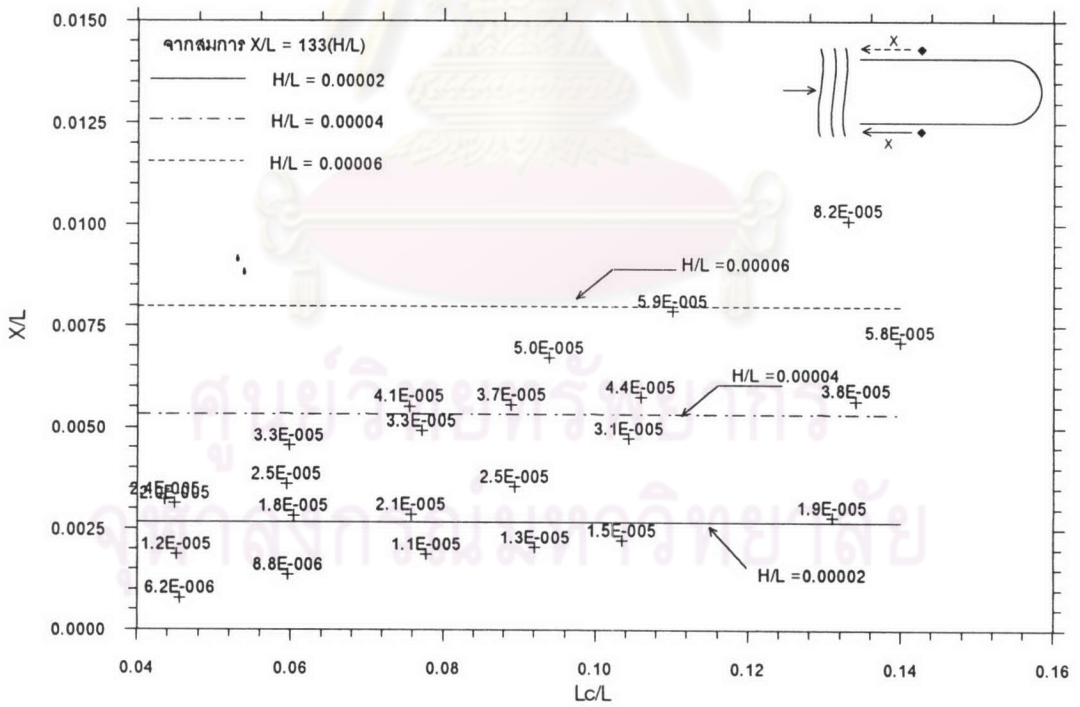


รูป 4-25 ความสัมพันธ์ อัตราส่วนคลื่นขยายตัว Hr กับ Lc/L ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของคลอง  
กรณี ปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล

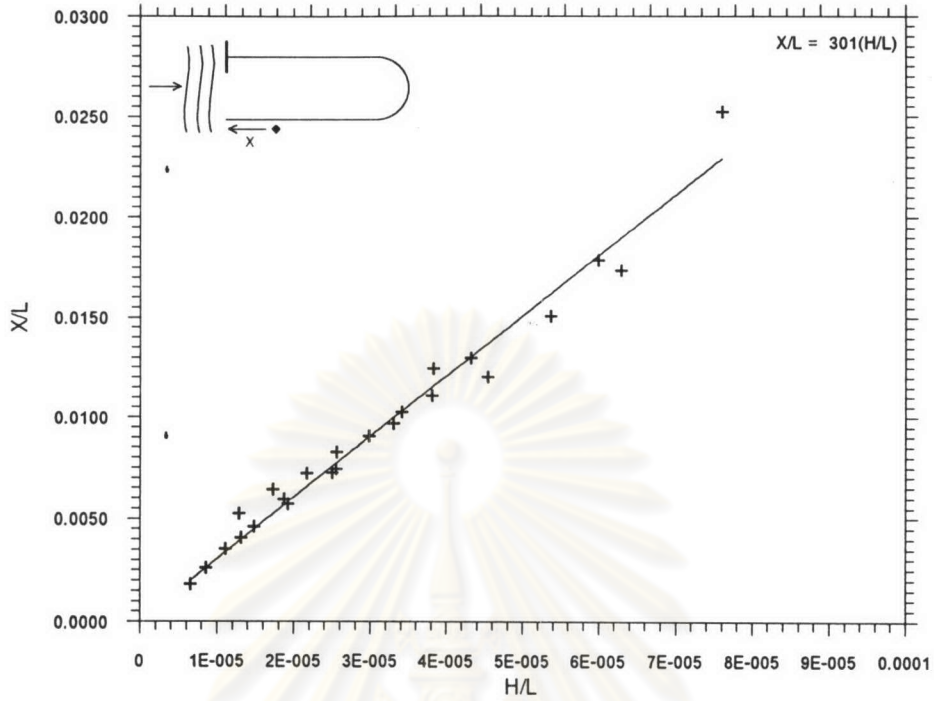




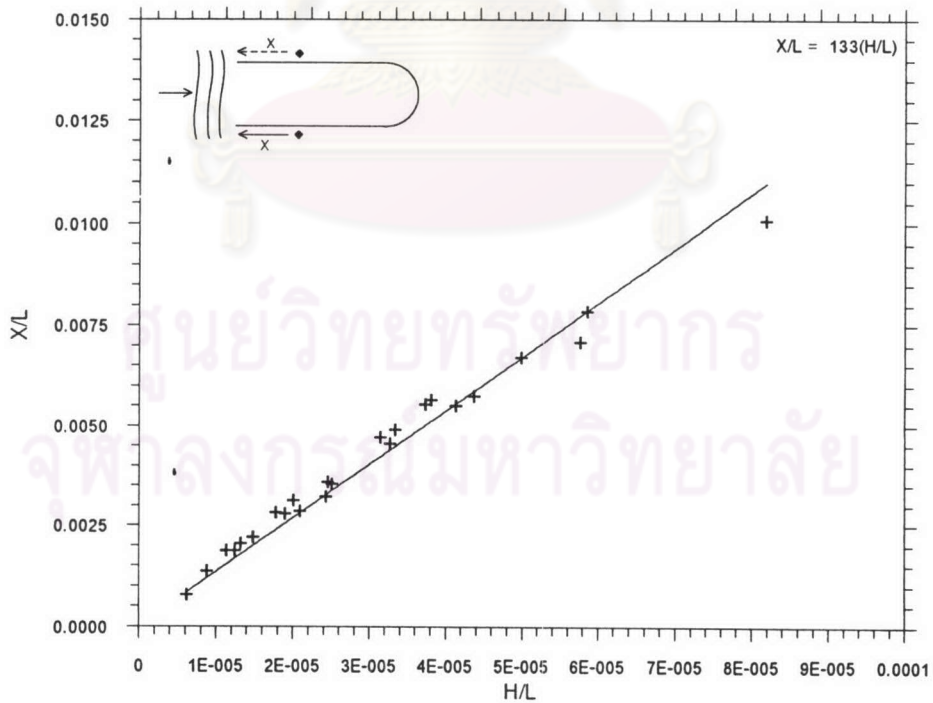
รูป 4-26 ความสัมพันธ์ระยะถ่ายเทสูงสุดจากปากคลอง  $X/L$  กับ ความยาวคลอง  $Lc/L$  กรณี คลองปลายตัน



รูป 4-27 ความสัมพันธ์ ระยะถ่ายเทสูงสุดจากปากคลอง  $X/L$  กับ ความยาวคลอง  $Lc/L$  กรณี ปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล



รูป 4-28 . ความสัมพันธ์ระยะถ่ายเทสูงสุดจากปากคลอง  $X/L$  กับ ขนาดคลื่น  $H/L$   
กรณี คลองปลายตัน



รูป 4-29 ความสัมพันธ์ระยะถ่ายเทสูงสุดจากปากคลอง  $X/L$  กับ ขนาดคลื่น  $H/L$   
กรณี ปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล

ถ่ายเทสูงสุดจะเพิ่มมากขึ้นตามขนาดความชันคลื่นที่มากขึ้น ทั้งกรณีคลองปลายตันและคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล ดังนั้นความสัมพันธ์ระยะถ่ายเทสูงสุด  $X/L$  กับขนาดความชันคลื่น  $H/L$  แสดงในสมการ 4-15 และ 4-16

$$\text{กรณีปลายคลองตัน} \quad X/L = 301 \left( \frac{H}{L} \right) \quad (4-15)$$

$$\text{กรณีคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อกับทะเล} \quad X/L = 133 \left( \frac{H}{L} \right) \quad (4-16)$$

จากการพิจารณาระยะถ่ายเทสูงสุด  $X$  พบว่ากรณีที่ความยาวของคลองน้อยกว่าระยะถ่ายเทสูงสุด น้ำในคลองนั้นจะสามารถหมุนเวียนถ่ายเทออกจากคลองได้โดยอาศัยน้ำขึ้นน้ำลง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย