



## บทที่ 6

### การวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 6.1 ความสัมพันธ์ความลึกการไหลกับระยะทาง

เนื่องจากการแก้สมการการไหลประเภทนี้โดยตรงไม่สามารถที่จะทำได้ การหาความสัมพันธ์ของความลึกการไหลกับระยะทาง จึงต้องใช้วิธีสร้างความสัมพันธ์จากข้อมูลของความลึกการไหลและระยะทางที่คำนวณได้จากวิธีอินทิเกรตชั้นเชิงตัวเลขบนกับการทดสอบค่าซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดดังที่ยืนยันโดย French (1985) โดยการหารูปแบบสมการที่ใกล้เคียงมาทำการเขียนกราฟของสมการสหสัมพันธ์ (Multiple regression) การคำนวณหาค่าตัวคงที่ในสมการนั้น สมการที่จะนำมาวิเคราะห์อาจจะมีได้หลายรูปแบบ เช่น เส้นตรง พหุนามในเมเยิลตำแหน่งต่าง ๆ ลอการิทึม หรือ Exponential เป็นต้น แต่สำหรับการไหลแบบอัตราไหลแปรผันตามระยะทางนี้ เส้นความลึกการไหล (Water surface profile) จะมีลักษณะคล้ายเส้นโค้งพาลาโบลา การหารูปแบบสมการเพื่อแทนความสัมพันธ์ของความลึกการไหลที่จะนำไปพิตเส้นกราฟ เพื่อหาสัมประสิทธิ์สำหรับสมการที่จะนำไปใช้งานอาจจะใช้รูปแบบที่ Gill (1977) ได้เคยวิจัยสำหรับทางน้ำหน้าตัดสี่เหลี่ยม ที่มีอัตราการไหลเพิ่มเข้ามาตลอดระยะทางการไหล ด้วยวิธีพิชคณิตแบบประมาณหรือ Perturbation technique สำหรับความสัมพันธ์โดยประมาณที่ Gill พัฒนาขึ้นมาแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ ความสัมพันธ์การไหลในช่วงการไหลใต้วิกฤตและความสัมพันธ์การไหลในช่วงเหนือวิกฤต ถ้า  $4x^3 \gg 1$  ความสัมพันธ์ที่ Gill พัฒนาขึ้นจะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการพหุนามในเมเยิลได้ดังนี้

##### 6.1.1 ความสัมพันธ์การไหลในช่วงการไหลใต้วิกฤต

$$y = K_0 + K_1 \cdot x^{1/2} + K_2 \cdot x + K_3 \cdot x^2 + K_4 \cdot x^3 + K_5 \cdot x^4 + K_6 \cdot x^5 + K_7 \cdot x^6 + \dots \quad (6.1)$$

โดยที่

$$K_0 = 1 - 2k/3 + G_f/15 - kG_f/32 + G_f/384$$

$$K_1 = 3/2$$

$$K_2 = k$$

$$K_3 = 1 - 2k - G_f/12$$

$$K_4 = 5k/3 - G_f/6 - kG_f/8 - G_f^2/192$$

$$K_5 = -(3/2 + 3kG_f/32)$$

$$K_6 = G_f/60$$

$$K_7 = G_f^2 / 384$$

$$F_o = \text{จำนวนค่าฟรูด (Froude Number)} = Q_o / b g y^3$$

$$G = S_o L / y_o$$

$$G_f = fL / y_o$$

$$k = G / F^2$$

$$f = \text{สัมประสิทธิ์เสียดทาน Darcy-Weisbach}$$

ตัวห้อย o บ่งถึงหน้าตัดอ้างอิงด้านท้ายน้ำ (Downstream reference section)

### 6.1.2 ความสัมพันธ์การไหลในช่วงเหนือวิกฤต

$$y = K_o + K_1 x^{-1/2} + K_2 x^{-1} + K_3 x^{-2} + K_4 x^{-3} + K_5 x^{-5} + \dots \quad \dots \dots (6.2)$$

โดยที่  $K_o$  ถึง  $K_5$  มีค่าดังนี้

$$K_o = 9/80$$

$$K_1 = 3/2$$

$$K_2 = f/2S_o$$

$$K_3 = -(1107/2240 - 7f/3088)$$

$$K_4 = 45/128$$

$$K_5 = f/1650 \quad \text{ตามลำดับ}$$

จะเห็นว่าความสัมพันธ์จากสมการที่ (6.1) และ (6.2) เกือบอยู่ในรูปของโพลิโนเมียลพหุคูณ (Multiple polynomial)

### 6.2 ความลึกเริ่มต้น (Depth at upstream end)

ในการศึกษาการไหลของน้ำฝนบนร่องของหลังคาโลหะลูกฟูกนี้ ความลึกเริ่มต้นหรือความลึกที่  $x = 0$  มีค่าน้อยมากเกือบเป็นศูนย์จนไม่สามารถที่จะทำการวัดได้ จึงสมมติให้เป็นศูนย์ Camp (1939) ได้ทำการศึกษารางน้ำสำหรับระบายน้ำทิ้งที่มีการไหลเพิ่มเข้ามาโดยสร้างสมการดิฟเฟอเรนเชียลด้วยหลักการของโมเมนตัมและทำการอินทิเกรตสมการของเขาที่ละพจน์ โดยที่บางพจน์ไม่สามารถอินทิเกรตโดยตรงได้ต้องใช้ค่าประมาณเท่านั้น ความลึกเริ่มต้นที่ Camp หาได้อยู่ในรูปของความลึกวิกฤตดังนี้

$$y_u = 3y_c^2 - 2S_o x_c y_c + f x_c \frac{y_c^3}{12Ry} \quad \dots\dots\dots(6.3)$$

- เมื่อ  $y_u$  = ความลึกเริ่มต้น  
 $y_c$  = ความลึกวิกฤต  
 $x_c$  = ตำแหน่งที่เกิดความลึกวิกฤต  
 $S_o$  = ความลาดเอียงของท้องราง  
 $y$  = ความลึกเฉลี่ยตลอดระยะทาง  $x$   
 $f$  = สัมประสิทธิ์เสียดทาน Darcy-Weisbach  
 $R$  = รัศมีชลศาสตร์เฉลี่ยตลอดระยะทาง  $x$

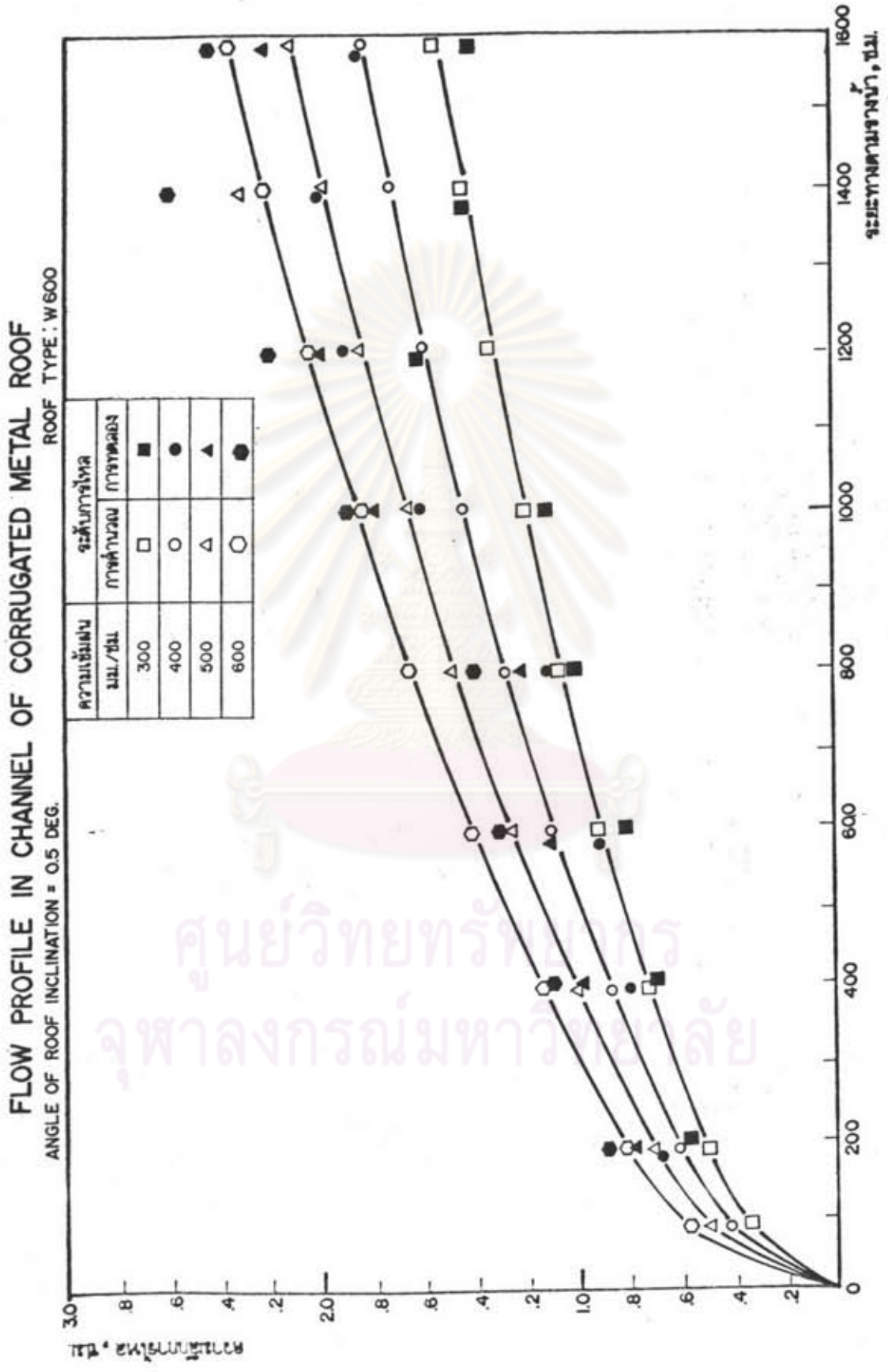
นอกจากจากนั้น Gill (1977) ก็ได้พัฒนาความสัมพันธ์ความลึกการไหลกับระยะทางกับหน้าตัดสี่เหลี่ยมโดยวิธีประมาณในรูปของฟังก์ชันระยะทาง แล้ว Gill หาความลึกด้านต้นน้ำโดยการแทนค่า  $x=0$  ในสมการความสัมพันธ์ของเขาและได้ความลึกการไหลที่จุดเริ่มต้นดังนี้คือ

$$y_u = 1 + F_o^2 - G + \frac{F_o^2 G_f}{24} - \frac{F_o^4}{2} + \frac{G F_o^2}{3} + \frac{G_f F_o^4}{40} - \frac{G G_f F_o^2}{32} + \frac{G_f^2 \cdot F_o^4}{384} \quad \dots(6.4)$$

โดยที่ค่า  $F_o, G, G_f$  มีค่าดังในหัวข้อ 6.1

### 6.3 การตรวจสอบความลึกการไหลจากการทดลองเปรียบเทียบกับการคำนวณ

ความลึกการไหลจากการทดลองเปรียบเทียบกับการคำนวณได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.2(ก) ถึง 6.2(ฉ) โดยทำการเปรียบเทียบที่มุมความชันเดียวกัน ในขณะที่ความเข้มฝนแปรผันไป ผลปรากฏว่าที่มุมความชันน้อย ( $0.5^\circ$ ) หรือใกล้เคียงกับมุมความชันวิกฤตความลึกการไหลจากการทดลองไม่ค่อยห่างกันนัก โดยเฉพาะที่ปลายก่อนที่จะผันไปจากแผ่นหลังคา ความลึกจะเพิ่มขึ้นห่างไปจากที่คำนวณมากทั้งสองชนิดของหลังคา เมื่อความชันเพิ่มขึ้นจากความชันวิกฤต ความลึกจากการทดลองและการคำนวณใกล้เคียงกัน โดยมีบางตำแหน่งห่างกันด้วยสำหรับหลังคา W750 แต่สำหรับหลังคา W600 ในระยะแรกความลึกการไหลน้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากลักษณะของหน้าตัดหลังคา W600 ความกว้างท้องรางแคบแล้วชันด้วยผนังที่สูงทั้งสองข้าง ทำให้ปริมาณน้ำฝนบางส่วนกระจุยกระจายเกาะอยู่ที่ผนังด้านข้างแทนที่จะลงมารวมกันในรางน้ำเหมือนกับหลังคา W750 ซึ่งมีความกว้างท้องรางมากและผนังสองข้างเตี้ย แต่เมื่อระยะทางผ่านไปเกิน 10.0 เมตรความลึกการไหลจะสอดคล้องกับการคำนวณทั้งสองแบบหลังคา



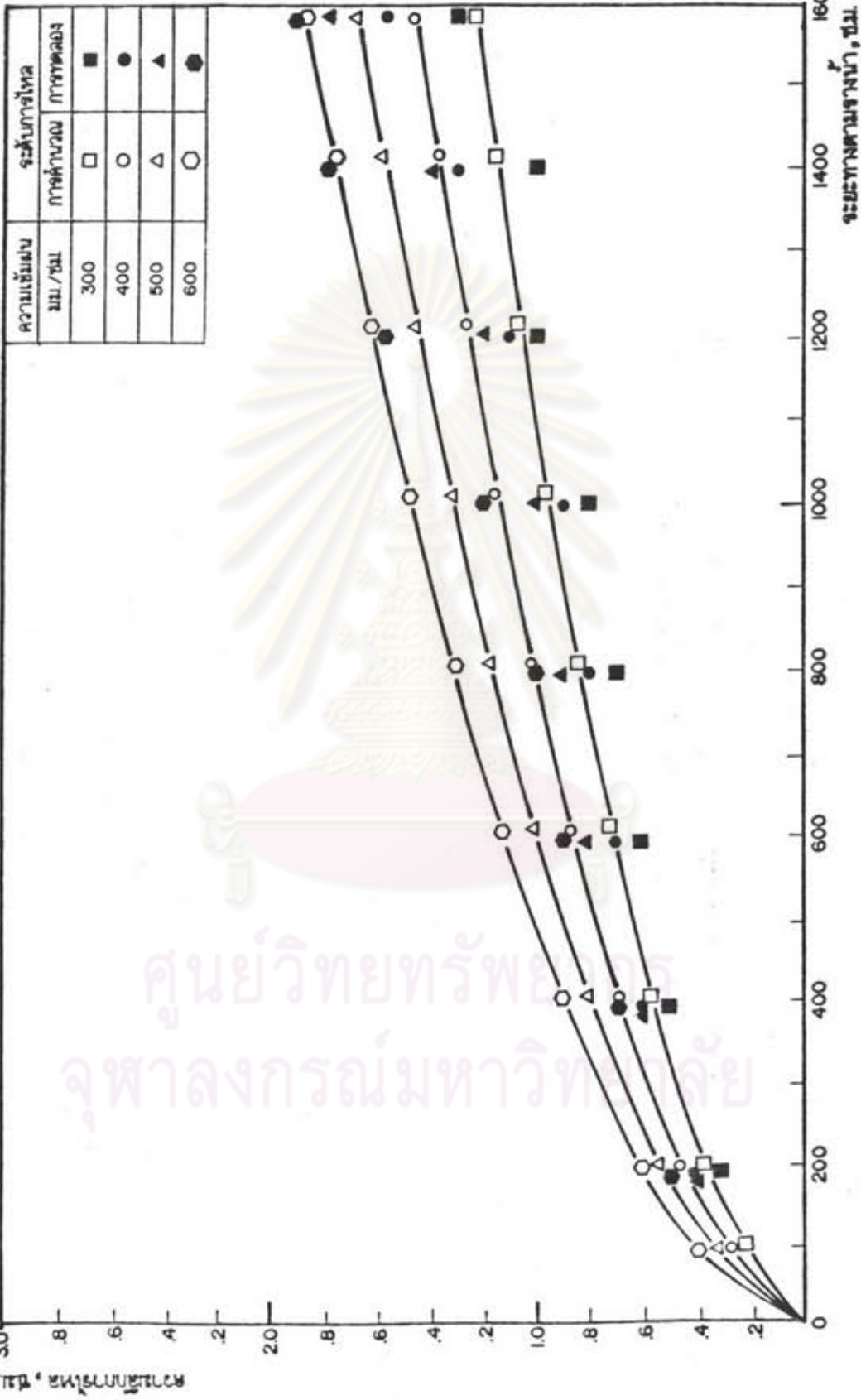
รูปที่ 6.1 (ก) ความลึกการไหลจากการทดลองเปรียบเทียบกับการคำนวณหลังตัดโลหะลูกฟูก W 600 มุมความลาดเอียง 0.5°

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FLOW PROFILE IN CHANNEL OF CORRUGATED METAL ROOF

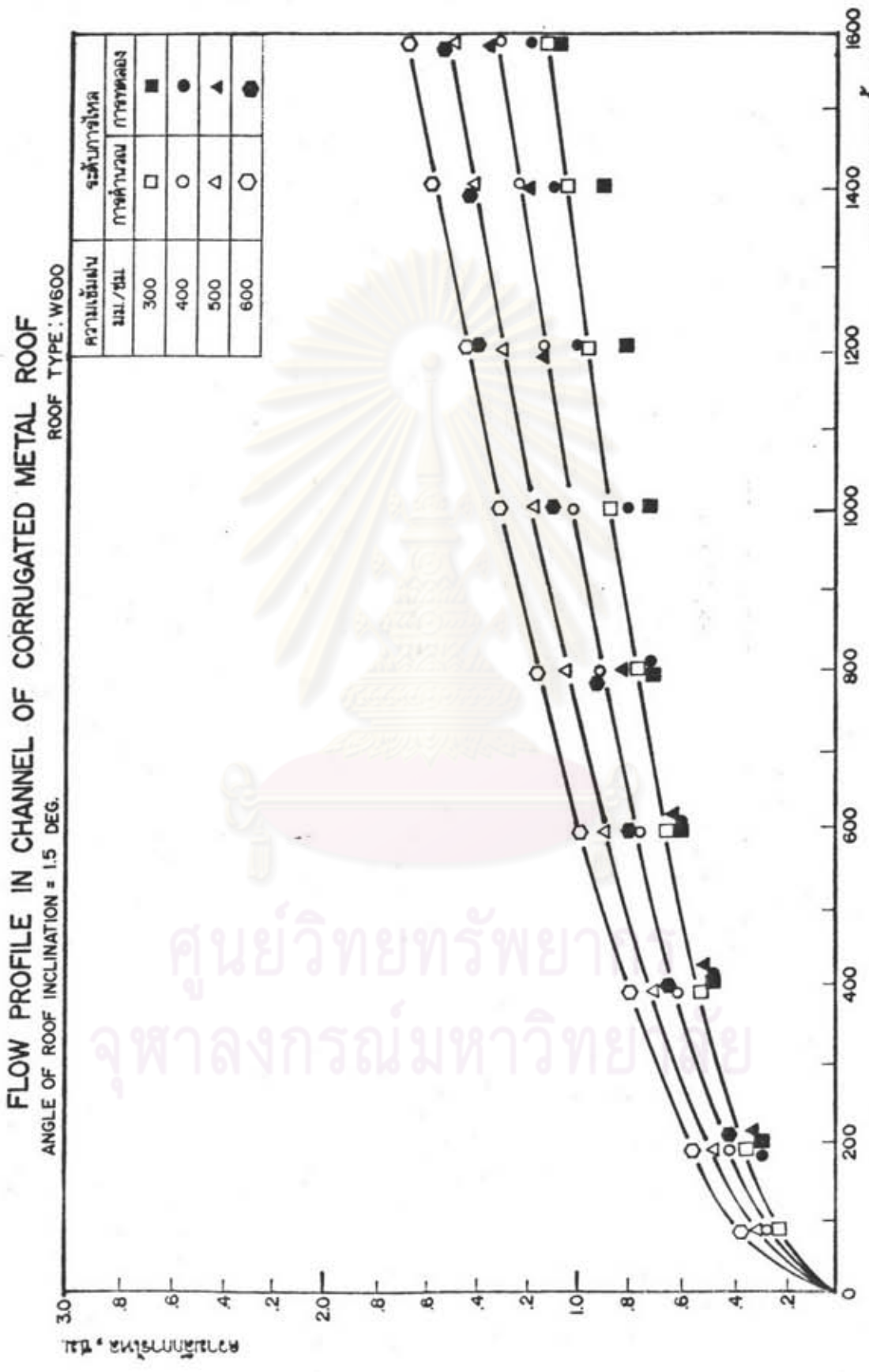
ROOF TYPE : W600

ANGLE OF ROOF INCLINATION = 1.0 DEG.

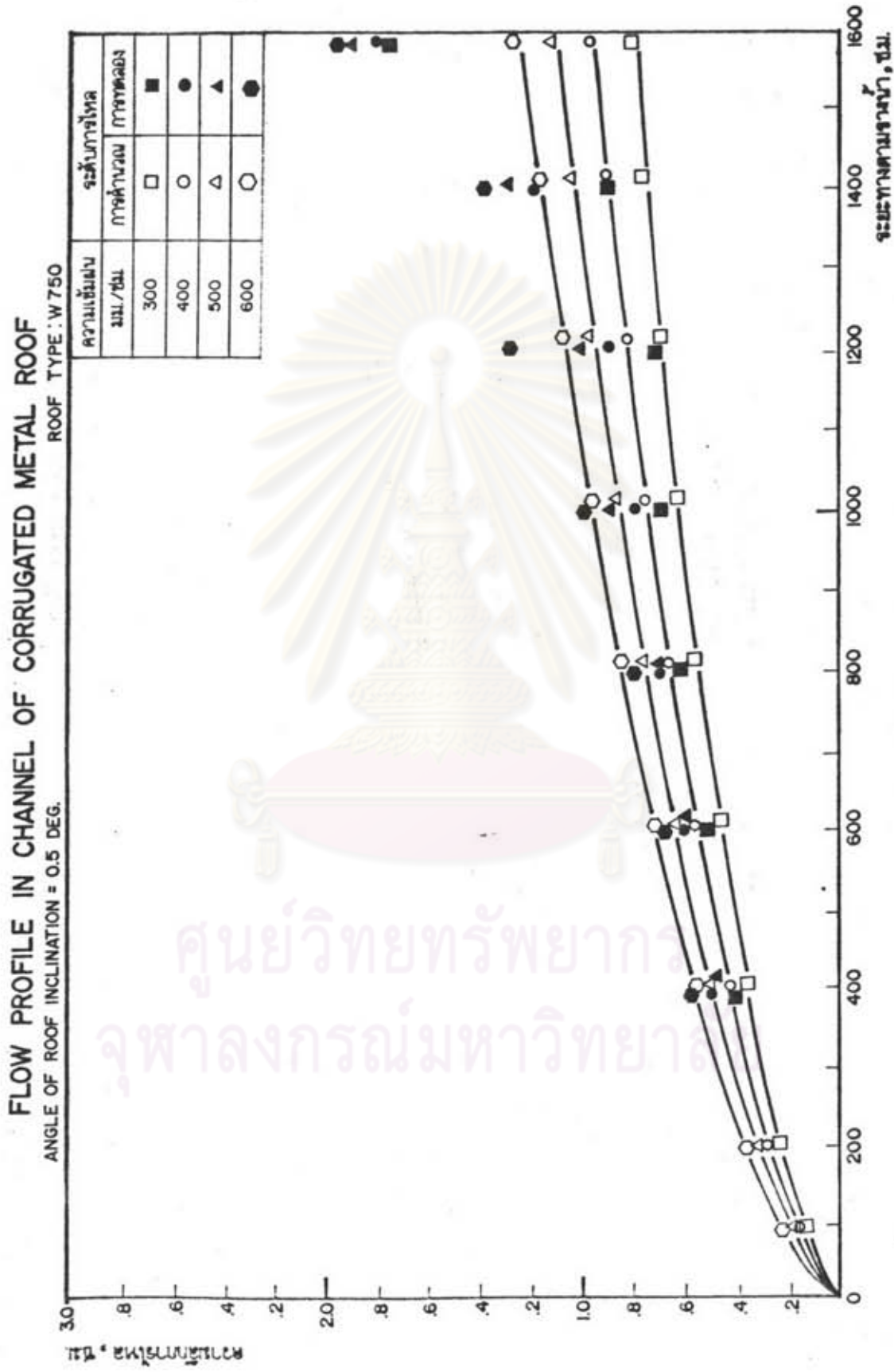


รูปที่ 6.1 (ข) ความลึกการไหลจากการทดลองเปรียบเทียบกับการคำนวณหลังศรโลหะสูงทุก w 600 มุมความลาดเอียง 1.0°

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1 (ค) ความลึกการไหลจากการทดลองเปรียบเทียบกับภาวการณ์ค่าความหนาของคิ้วโลหะลูกฟูก W 600 มุมความลาดเอียง 1.5°  
ระยะทางตามความยาว, มม.



รูปที่ 6.1 (ง) ความลึกการไหลจากการทดลองเปรียบเทียบกับการคำนวณหลังศัโดหะลูทุก W 750 มุมความลาดเอียง 0.5°

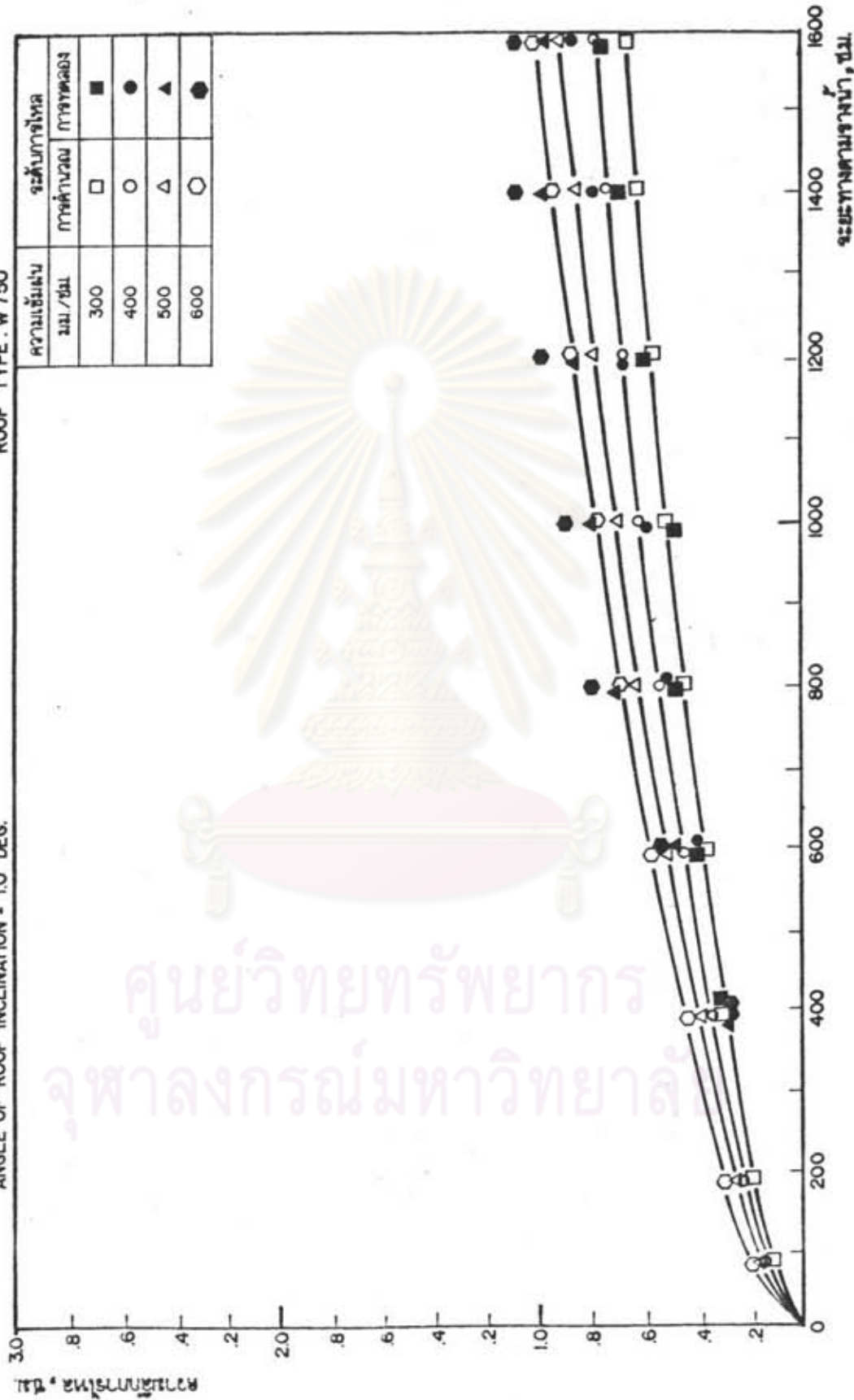
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# FLOW PROFILE IN CHANNEL OF CORRUGATED METAL ROOF

ANGLE OF ROOF INCLINATION = 1.0 DEG.

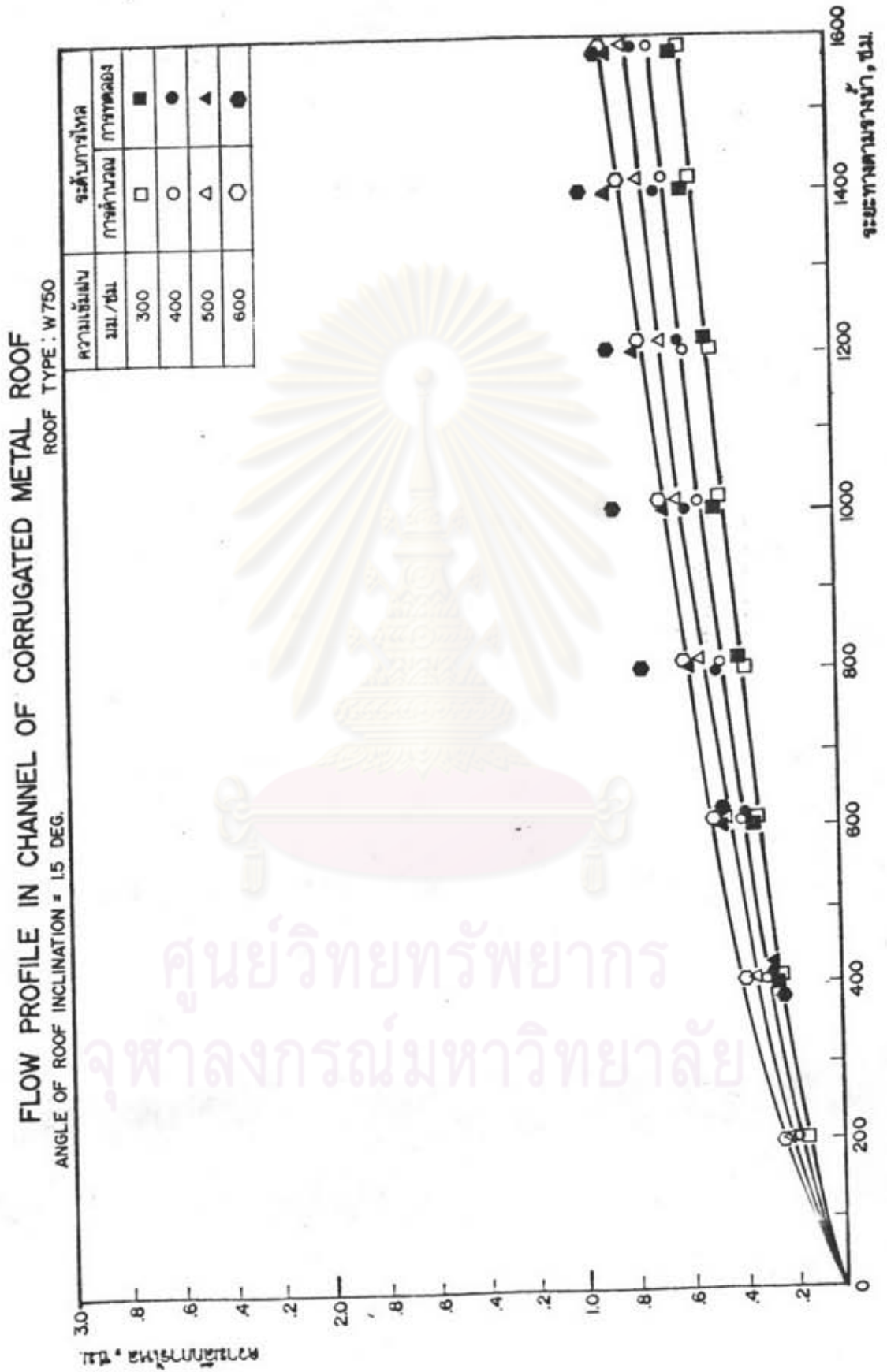
ROOF TYPE : W 750

ความเข้มข้น mm/ชม	ระดับการไหล	
	การคำนวณ	การทดลอง
300	□	■
400	○	●
500	△	▲
600	◊	●



รูปที่ 6.1 (จ) ความลึกการไหลจากการทดลองเปรียบเทียบกับการคำนวณหลังศึกิโตะลูกฟูก W 750 มุมความลาดเอียง 1.0°





ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6.1 (จ) ความลึกภายในช่องการทดลองเปรียบเทียบกับการคำนวณหลังติดตั้งลูกทุก W 750 มุมความลาดเอียง 1.5°

#### 6.4 การทำนายความลึกการไหลจากความสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้น

ความสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้นจากการนิเทศการกับข้อมูลความลึกการไหลและระยะทางเท่าที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดลองนั้นคือเป็นความยาวทางน้ำ 16 ม. ต่อจากนั้นจะได้นำผลความสัมพันธ์ไปใช้คำนวณความลึกการไหลที่ระยะทางขยายออกไป ณ ตำแหน่งใด ๆ ที่ไม่สามารถตรวจสอบด้วยผลการทดลอง จากการลงตำแหน่งสมการด้วยข้อมูลดังกล่าวได้ค่า coefficient of determination เฉลี่ยเท่ากับ 0.99 และ ความบ่่ายเบนมาตรฐานของการประมาณ (Standard deviation of estimate เท่ากับ 0.003 และถ้าพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของความลึกการไหลต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ และค่าที่ได้จากความสัมพันธ์กับค่าที่ได้จากการคำนวณสำหรับในช่วงความยาวของทางน้ำ 16.00 เมตร โดยใช้ค่า Root mean square และ Absolute percentage error เป็นตัวบ่งชี้จะมีค่าดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ค่าเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจากการทดลอง คำนวณและความสัมพันธ์ ความเร็ว 400 มม./ชม. ความลาดเอียง 1 องศา

ค่าความคลาดเคลื่อน	ค่าทดลองและการคำนวณ		ค่าความสัมพันธ์และคำนวณ	
	W600	W750	W600	W750
Absolute percentage error	11.21	11.01	9.69	9.20
Root mean square	0.041	0.040	0.013	0.011

ค่าความลึกการไหลที่ได้จากการทดลอง การคำนวณ และความสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้นของหลังคาทั้งสองชนิดที่มุมความลาดเอียง 1 องศา ความเร็ว 400 มม/ชม. ดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.1 ค่าความลึกจากการทดลอง, การคำนวณ, และจากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้น  
 ความเข้มข้น: 400 มม/ชม. มุมความลาดเอียง: 1.0 องศา  
 (ก) ชนิดหลังคา: W600

ระยะทาง เมตร	ค่าจาก การทดลอง ชม.	ค่าจาก การคำนวณ ชม.	ค่าจาก ความสัมพันธ์ ชม.	% ต่างต่าง การทดลอง การคำนวณ	% ต่างต่าง ความสัมพันธ์ การคำนวณ
1	0.3	0.3	0.30	3.23	3.23
2	0.4	0.46	0.40	13.04	13.04
4	0.6	0.67	0.60	10.45	10.45
6	0.7	0.85	0.70	17.65	17.65
8	0.8	0.99	0.80	19.19	19.19
10	0.9	1.12	0.94	19.64	16.07
12	1.1	1.23	1.09	10.57	11.38
14	1.3	1.35	1.26	3.70	6.67
16	1.4	1.45	1.43	3.45	1.38
25	*	1.35	2.20	-	-
50	*	1.72	4.11	-	-
75	*	2.03	5.74	-	-
100	*	3.05	7.17	-	-

(ข) ชนิดหลังคา: W750

ระยะทาง เมตร	ค่าจาก การทดลอง ชม.	ค่าจาก การคำนวณ ชม.	ค่าจาก ความสัมพันธ์ ชม.	% ต่างต่าง การทดลอง การคำนวณ	% ต่างต่าง ความสัมพันธ์ การคำนวณ
1	0.1	0.15	0.10	33.33	33.33
2	0.2	0.23	0.20	13.04	13.04
4	0.3	0.35	0.30	14.29	14.29
6	0.4	0.44	0.41	9.09	6.82
8	0.5	0.52	0.49	3.85	5.77
10	0.6	0.59	0.64	1.69	5.08
12	0.6	0.66	0.71	9.09	3.03
14	0.7	0.72	0.78	2.78	1.39
16	0.8	0.78	1.43	2.56	0.00
50	*	1.35	2.20	-	-
75	*	1.72	4.11	-	-
100	*	2.03	5.74	-	-
200	*	3.05	7.17	-	-

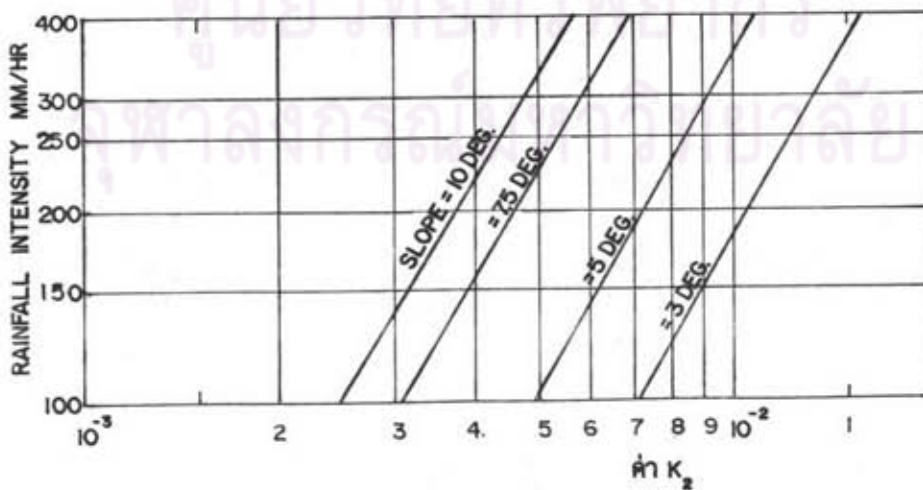
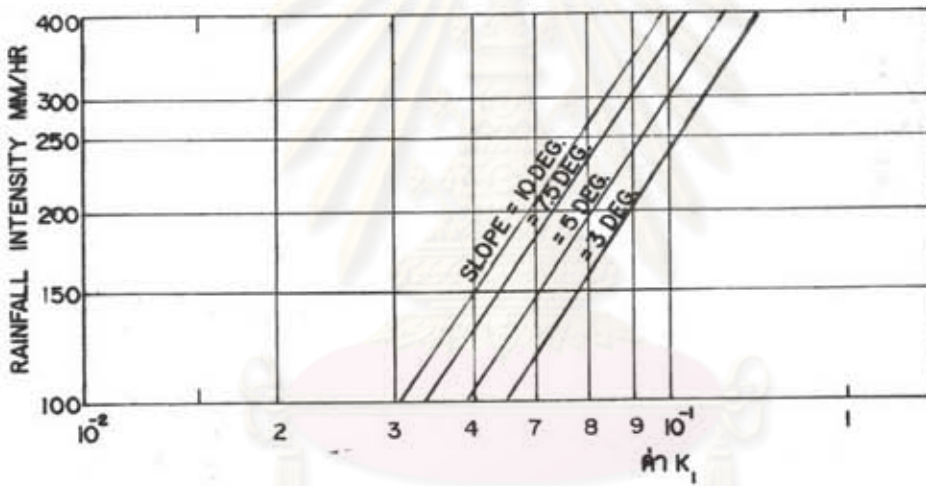
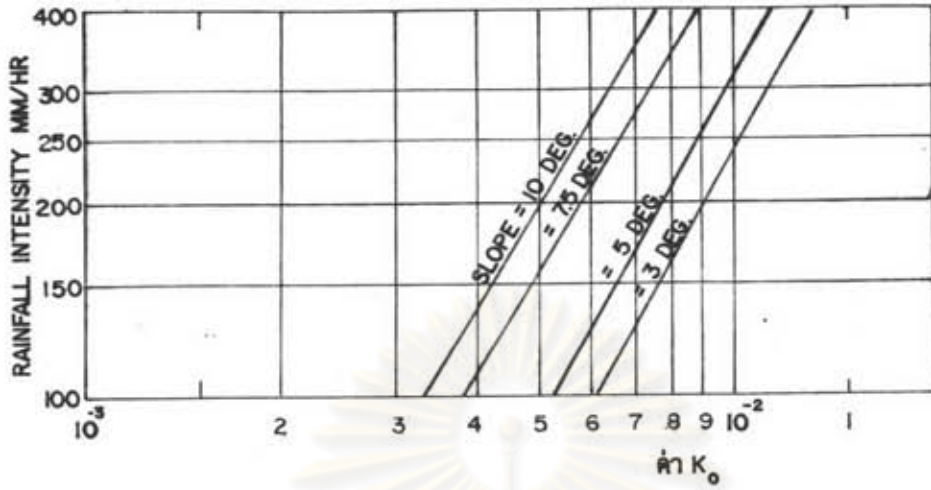
หมายเหตุ \* หมายถึงไม่สามารถตรวจสอบด้วยการทดลอง

## 6.5 การสร้างความสัมพันธ์ความลึกการไหลและระยะทาง

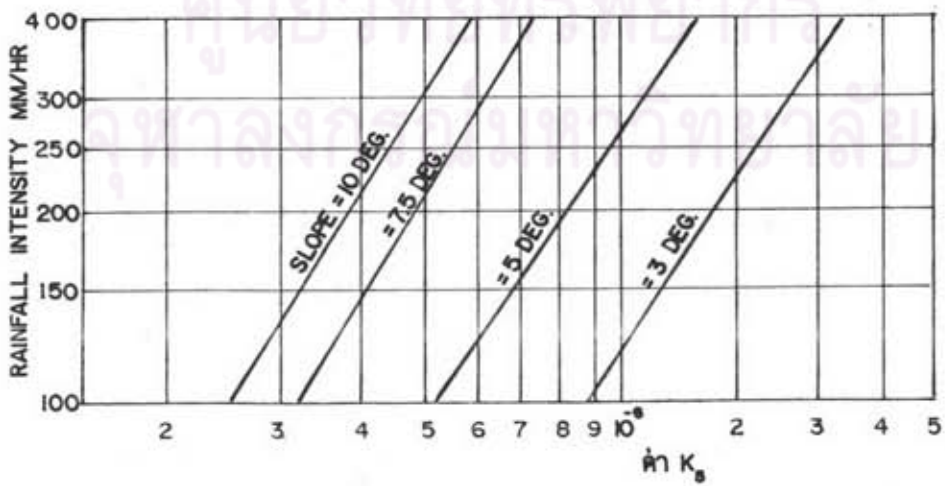
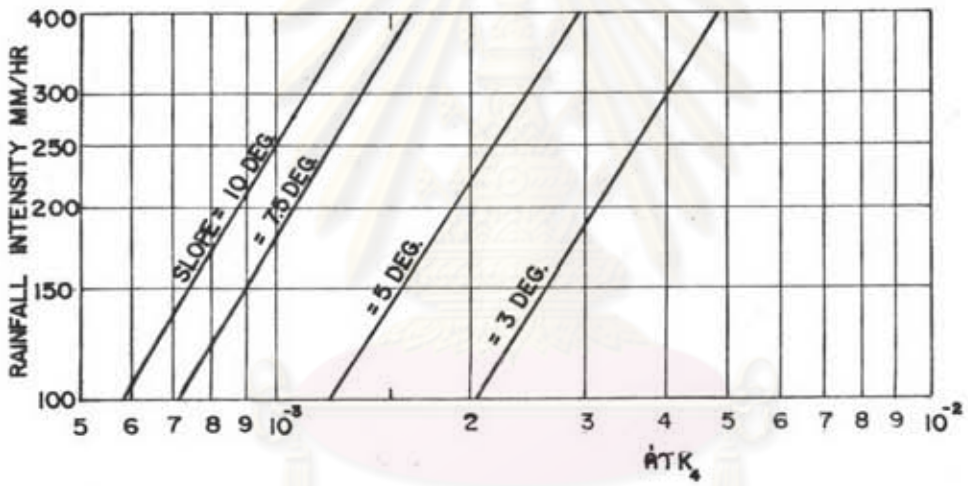
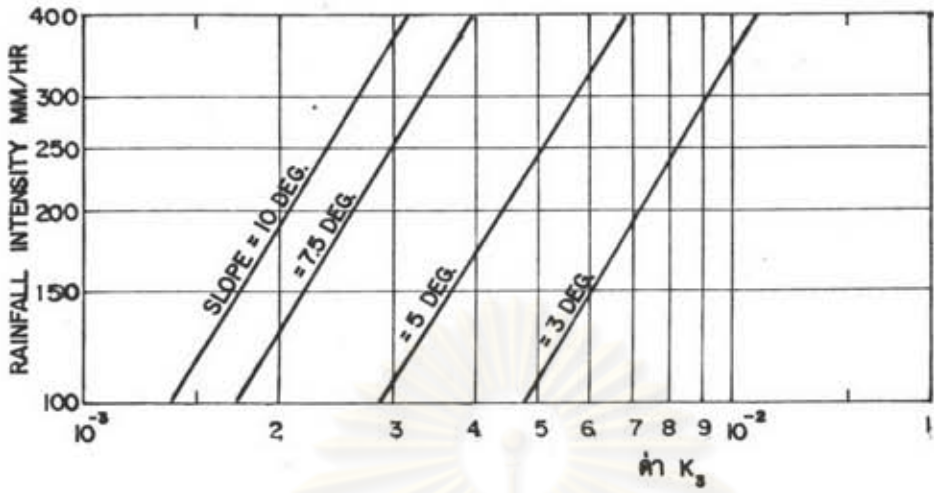
สำหรับในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการไหลของน้ำผ่านหลังคาโลหะลูกฟูกซึ่งเป็นการไหลแบบเหนือวิกฤต (Supercritical flow) จึงได้ทดลองใช้ความสัมพันธ์ของสมการ (6.2) ทำการกำหนดเส้นกราฟสำหรับทางน้ำเปิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูของร่องหลังคาเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์  $K_0 - K_u$  โดยทดลองใช้ข้อมูลความลึกการไหลจากการทดลองและระยะทางจากค่าที่คำนวณขึ้นด้วยวิธีประมาณตามลำดับ (Successive approximation) เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจำนวน 12 จุดหรือระยะทางความยาวทางน้ำ 16 เมตร อย่างไรก็ตามได้ทดลองใช้ความสัมพันธ์อื่น ๆ มาเขียนกราฟแต่เมื่อทำมาคำนวณเปรียบเทียบกับค่าที่แน่นอนแล้ว สำหรับระยะทางที่ต่อออกไปไกล ๆ แล้วพบว่าค่าผิดพลาดไปมาก

จากการศึกษาได้พยายามนิเทศสมการกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง แต่เมื่อนำความสัมพันธ์นี้ไปใช้ที่ระยะทางไกลแล้วค่าคลาดเคลื่อนไปมากดังที่ปรากฏในตาราง 6.1 ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลที่วัดได้ซึ่งมีความละเอียดเพียง 1/10 ซม. และตำแหน่งจุดกระจายกระจายเกินไป หรือมีฉะนั้นถ้าจะมีความละเอียด 1/10 ซม. เช่นนี้ก็ควรจะมีจำนวนจุดมากขึ้นอีก ซึ่งไม่สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นในการหาความสัมพันธ์ความลึกการไหลกับระยะทางจึงได้ใช้ข้อมูลความลึกการไหลจากการคำนวณด้วยวิธีลองค่าด้วยความละเอียด 1/100 ซม. จำนวนจุดเท่ากับที่ได้จากการทดลอง นำมานิเทศกราฟซึ่งเมื่อต่อค่าออกไปไกล ๆ แล้วค่าก็จะยังคงใกล้กับวิธีการคำนวณ ดังนั้นความสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้นจึงใช้ค่าความลึกการไหลจากการคำนวณด้วยวิธีประมาณลำดับค่า นำมานิเทศกราฟเพื่อหาค่าคงที่ในสมการความสัมพันธ์ดังกล่าว ค่า  $K_0 - K_u$  ในหน่วย C.G.S. สำหรับแผ่นหลังคา W750 ซึ่งนิยมใช้มุงหลังคาได้เขียนเป็นเส้นกราฟดังในรูปที่ 6.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของลมการความล้มพันธ์ความลึกการไหล และระยะทางของรางน้ำที่เกิดขึ้นจากแผ่น W 750



รูปที่ 6.1 (ต่อ)