

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 เส้นอีควิสเปเรียน

ในงานวิจัยนี้ มีการคำนวณทั้งกรณีเส้นอีควิสเปเรียนเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง จากผลการทดลองที่ได้จาก Method of Averages เพื่อได้เส้นที่เป็นเส้นตรงโดยใช้สมการ $Y = mx$ สำหรับสมการของเส้นโค้งคำนวณโดยวิธีเดียวกัน จากรูปสมการ $Y = ax^n$

สมการที่ได้คือ

$$Y = 30x \quad (m = 30)$$

$$Y = 91.09x^{0.77} \quad (a = 91.09, n = 0.77)$$

ค่า Y ที่ได้จากสมการทั้งสองรวมทั้งค่า Y จากการทดลองเปรียบเทียบกัน ในตารางที่ 3 และรูปที่ 11

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของไอโอดีนในน้ำหนัก้าต (Y) ระหว่างค่าทดลอง และค่าคำนวณที่อีควิสเปเรียน

ความเข้มข้นของไอโอดีน ในน้ำ (X) มิลลิกรัม/ ลิตร	ความเข้มข้นของไอโอดีนในน้ำหนัก้าต (Y) มิลลิกรัม/ลิตร		
	การทดลอง	$Y = 30x$	$Y = 91.09x^{0.77}$
0	0	0	0
17.61	950.87	528.3	829.29
33.86	1517.05	1015.8	1371.92
47.06	2059.19	1411.8	1767.72
78.56	2294.54	2356.8	2622.86
112.70	3368.39	3381.0	3463.0
159.15	5326.32	4774.5	4517.12
264.81	5898.21	7944.3	6685.44

4.2 เบอร์เพเคลต

การคำนวณเบอร์เพเคลตจากวารสารสามารถคำนวณได้จากสมการต่าง ๆ โดยที่สมการที่น่าสนใจสามสมการสามารถนำมาใช้ในการคำนวณเบอร์เพเคลตดังนี้

4.2.1 สมการของ Vermeulen และคณะ (20)

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 14, } E_c &= 12 (U_d d_T)^{\frac{1}{2}} \\ \text{โดยที่ } Pe_c &= (U_c L) / E_c \end{aligned}$$

ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณเบอร์เพเคลต (ใช้ค่า E_c จากสมการของ Vermeulen และคณะ)

F_c ลิตร/ชม.	U_c ชม./วินาที	F_d ลิตร/ชม.	U_d ชม./วินาที	E_c ชม. ² /วินาที	Pe_c
10	0.2210	22.5	0.4972	16.9230	1.2276
		25.0	0.5524	17.8377	1.1646
		27.5	0.6076	18.7077	1.1105
		30.0	0.6629	19.5405	1.0631
15	0.3314	22.5	0.4972	16.9230	1.8408
		25.0	0.5524	17.8377	1.7464
		27.5	0.6076	18.7077	1.6652
		30.0	0.6629	19.5405	1.5942
20	0.4419	22.5	0.4972	16.9230	2.4546
		25.0	0.5524	17.8377	2.3287
		27.5	0.6076	18.7077	2.2204
		30.0	0.6629	19.5405	2.1257

หมายเหตุ ค่า d_T คือเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ = 4 ซม.

L คือความยาวของคอลัมน์ = 94 ซม.

4.2.2 สมการของ Zheleznyak และ Landau (21)

จากสมการที่ 16

$$E_c / \nu_c = 6.5 \operatorname{Re}^{0.987} \mu^{0.814} \nu^{3.89}$$

เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ขึ้นกับขนาดของหยด ขนาดของหยดขึ้นกับความเร็วของไหล (nozzle velocity) ซึ่งสมการ (27) ข้างล่างนี้ใช้คำนวณหาขนาดของหยด ในชั้นความเร็วของหยดไม่สูงนัก ถ้าความเร็วเข้าชั้นเล็กแล้ว ขนาดของหยดที่ได้จะติดลบ

สมการของ de Chazal และ Ryan (26) เขียนได้ดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการที่ 27 } V = \frac{\pi d_n^3}{\Delta \rho g} \left[\psi + \frac{1.648 g \Delta \rho d_n V}{2 \gamma v_s} - \frac{0.857 d_n \rho_d v_n^2 (1 + \beta)}{2 \gamma} \right]$$

ค่า ψ และ β คำนวณได้จากสมการ (28), (29) และ (30) ค่า v_s คำนวณจากสมการ (31) ถึง (34)

แผ่นกระจายมีจำนวนนอส์เซลล์ทั้งหมด 9 รู และเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละรู (d_n) เท่ากับ 0.09 ซม.

ดังนั้น ความเร็วของเฟล็กกระจายที่ออกจากแผ่นกระจาย (v_n) มีค่าเท่ากับ $(F_d / \frac{\pi}{4} (0.09)^2 (9))$ (เมื่อ F คืออัตราการไหลมีหน่วยเป็น ซม.³/วินาที)

ค่าคงที่ต่าง ๆ แทลงในสมการและหาเส้นผ่านศูนย์กลางของหยด โดยที่ V คือ ปริมาตรของแต่ละหยด มีค่าเท่ากับ $\frac{4}{3} \pi d^3$ และการคำนวณแสดงในตารางที่ 5 (หน้า 27)

เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดที่ได้มีค่าติดลบ สำหรับอัตราการไหลของเฟล็กกระจาย เท่ากับ 27.5 และ 30 ลิตร/ชม. แสดงว่าความเร็วที่ออกจากแผ่นกระจายอยู่ในช่วงเล็ก

จากสมการ (24) กรณีแผ่นรูปวง เมื่อความเร็วของเฟล็กกระจายอยู่ในช่วงเล็ก

$$d_{jc} = 2.07 d_n (1 - 0.193 E_0)$$

E_0 เป็นค่าคงที่หาได้จากสมการ (25) เมื่อแทนค่า d_n ลงไปจะได้ค่า d ซึ่งเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางที่คริติคัล (d_{jc})

$$d_{jc} = 0.1861 \quad \text{ซม.}$$

หลังจากนั้นคำนวณความเร็ว ศิริติคัลจากสมการ (20)

$$v_{nc} = 2.69 \left(\frac{d_{jc}}{d_n} \right)^2 \left[\frac{\gamma}{d_{jc}(0.514 \frac{\gamma}{\rho_d} + 0.472 \frac{\gamma}{\rho_c})} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{ได้ } v_{nc} = 148.29 \quad \text{ซม./วินาที}$$

คำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหยด (d_{vs}) จากสมการ (26)

$$d_{vs}/d_{jc} = \frac{2.06}{v_n/v_{nc}} + 1.47 \ln(v_n/v_{nc})$$

ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 6 (หน้า 27)

จากวิธีนี้จะเห็นว่าการใช้สมการหาเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดเมื่อความเร็วของเฟสกระจายอยู่ในช่วงพรี เลิกและ เลิกนั้น ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ไม่สอดคล้องกันนัก ดังนั้น เราจะเลือกคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดเป็นค่าเฉลี่ย (d_{32} หรือ d_{vs}) จากสมการ (38) ของ Laddha และคณะ (28)

$$d_{vs} \left[\frac{\gamma_I}{\Delta \rho g} \right]^{\frac{1}{2}} = 1.59 \left[\frac{U_n^2}{2gd_n} \right]^{-0.067}$$

ขนาดของหยดที่จะคำนวณจากสมการนี้ขึ้นกับขนาดทอแลเซลล์ คือ

$$\frac{1}{2} (\gamma_I / \Delta \rho g)^{\frac{1}{2}} < d_n < \pi (\gamma_I / \Delta \rho g)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{คำนวณได้ } \frac{1}{2} (\gamma_I / \Delta \rho g)^{\frac{1}{2}} = 0.2 \quad \text{ซม.}$$

$$\pi (\gamma_I / \Delta \rho g)^{\frac{1}{2}} = 1.4 \quad \text{ซม.}$$

แต่รพ่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาด 0.09 ซม. ซึ่งใกล้กับระดับต่ำสุดที่กำหนดไว้

พอจะอนุโลมให้ใช้สมการ (38) คำนวณหา d_{vs} ได้ ซึ่งผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 5

จากเส้นผ่านศูนย์กลางของหยด (d) และ slip velocity (v_s)

จากสมการ (18) จะหา เรย์โนลด์ส์เบอร์ (Re) ได้ v_s จะคำนวณได้จาก hold up (θ) ในสมการ (35), (36) และความเร็วคาแรคเตอร์ริสติกในสมการ (37) ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ดิสเปอรัชันในเฟสหลัก (E_c) และเบอร์เพเคลตก็จะได้คำนวณได้ซึ่งผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของหยด
(ใช้สมการของ de Chazal & Ryan เปรียบเทียบกับ Laddha และคณะ)
(26,28)

F_d	v_n	d (ซม.)	
ลิตร/ชม.	ชม./วินาที	วิธีของ de Chazal และ Ryan	วิธีของ Laddha และคณะ
22.5	109.12	0.64	0.5503
25.0	121.24	0.31	0.5426
27.5	133.36	-0.58	0.5357
30.0	145.49	-0.78	0.5295

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของหยด (ความเร็วของเฟลกระจายอยู่ในช่วงเล็ก)

F_d	v_n	d_{32}
ลิตร/ชม.	ชม./วินาที	ซม.
27.5	133.36	0.40
30.0	145.49	0.39

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณเบอร์เพเคลต (ใช้ค่า E_c จากสมการของ Zheleznyak & Landau) (21)
หมายเหตุ ใช้ค่าความยาวคอสมิก 94 ซม.

U_c	U_d	U_o	ϕ	v_s	Re	E_c	Pe_c
ชม./วินาที	ชม./วินาที	ชม./วินาที		ชม./วินาที		ชม. ² /วินาที	
0.2210	0.4972	7.6509	0.775	1.6238	99.7545	9.0122	2.3051
	0.5524	7.5199	0.775	1.6950	102.6733	9.2724	2.2404
	0.6076	7.4032	0.763	1.7288	103.3891	9.2184	2.2535
	0.6629	7.2984	0.756	1.7826	105.3727	9.3227	2.2283
0.3314	0.4972	7.6509	0.748	1.9798	121.6258	10.6480	2.9256
	0.5524	7.5199	0.73	1.9841	120.1866	10.3171	3.0194
	0.6076	7.4032	0.72	2.0275	121.2525	10.2912	3.0270
	0.6629	7.2984	0.715	2.0899	123.5377	10.4233	2.9887
0.4419	0.4972	7.6509	0.702	2.1911	134.6077	11.1765	3.7166
	0.5524	7.5199	0.695	2.2437	135.9104	11.1915	3.7116
	0.6076	7.4032	0.685	2.2899	136.9451	11.1434	3.7276
	0.6629	7.2984	0.680	2.3558	139.2550	11.2615	3.6885

4.2.3 สมการของ Mecklenburgh และ Hartland (16)

จากแบบจำลองตีฟวชัน กรณีเส้นฮีทริสเบริยมเป็นเส้นตรงจัดรูปสมการได้ดังนี้

$$\frac{dY/dZ}{(Y_{\text{เข้า}} - Y_0)} = -Pe_y + NTU_x (F_x/F_y) Pe_y \int_0^Z \frac{(X^* - X) dz}{(Y_{\text{เข้า}} - Y)} \quad (39)$$

$$\frac{dX/dZ}{(X_{\text{เข้า}} - X)} = Pe_x + Pe_x NTU_x \int_0^Z \frac{(X^* - X) dz}{(X_{\text{เข้า}} - X)} \quad (40)$$

เนื่องจากสัมประสิทธิ์ดิฟฟิวชันของเฟส Y (เฟสกระจาย) มีค่าน้อยมาก จนเราถือให้เท่ากับศูนย์ ทำให้ Pe_y เป็นอนันต์ (infinity) ทำให้สมการแรกหาค่าความชัน (slope) ได้ลำบาก เพราะ $(Y_{\text{เข้า}} - Y_0)$ เท่ากับศูนย์ เสียค่าหนึ่ง จะเกิดเทอมเป็นอนันต์ขึ้นในสมการจึงใช้สมการที่สองในการหาค่า NTU_x และ Pe_x

ในคอลัมน์ใช้ความสูงแค่ 94 ซม. แต่แบ่งช่วงล่างเป็นช่วง ๆ ละ 20 ซม. การแก้สมการแบบจำลองตีฟวชันโดยวิธีนี้มีปัญหา เพราะ dZ ต้องเท่ากับทุกค่า ซึ่งเอาค่าประมาณของเฟส X ที่ระยะ 100 ซม. โดยการลากเส้นกราฟผ่านค่า X ที่ 80 ซม. และ 94 ซม. ไปยังระยะ 100 ซม. ส่วนความเข้มข้นของเฟส X ที่ระยะ 0 ซม. และของเฟส Y ที่ระยะ 100 ซม. เอาตามความเข้มข้นที่ออกจากคอลัมน์จริง ๆ สามารถคำนวณค่า $\int_0^Z (X^* - X) dz$ ได้โดยใช้กฎทราปอยด์ล (Trapezoidal Rule)

ผลการคำนวณแสดงในตารางที่ 8

4.2.4 การเลือกเบอร์เพเคลตสำหรับใช้ในการออกแบบเขื่อน

ตารางที่ 9 แสดงเบอร์เพเคลตที่คำนวณได้จากวิธีทั้งสาม จำเป็นจะต้องเลือกจากวิธีใดวิธีหนึ่งเมื่อใช้เป็นค่าคงที่ในการแปรเปลี่ยนหาค่า NTU

วิธีที่ 4.2.1 เป็นการคำนวณค่อนข้างยาก เพราะตัวแปรคือเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์และความเร็วซูเปอร์ไฟเชียล (superficial velocity) ของเฟสกระจาย (U_d) เป็นการคิดจากหยดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในคอลัมน์โดยอาศัยค่า U_d โดยไม่ได้สนใจคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ของระบบ

วิธีที่ 4.2.2 คำนวณโดยคิดจากลักษณะของแผ่นกระจาย รวมทั้งลักษณะทางกายภาพของเฟสทั้งสอง และเงื่อนไขต่าง ๆ ในการทดลอง

วิธีที่ 4.2.3 เป็นการคำนวณโดยอาศัยแนวความเข้มข้นที่ทดลองได้ และการสันนิษฐานว่าเส้นอีควิวลิเบรียมเป็นเส้นตรง แต่จากรายงานของ Khemangkorn (15) พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าเบอร์เพเคลตที่ได้โดยวิธีนี้กับวิธีอื่น ค่าที่ได้ไม่ค่อยแน่นอนนัก

จากเหตุผลที่กล่าวมานี้ จึงเห็นสมควรเลือกใช้เบอร์เพเคลตที่ได้จากวิธี 4.2.2

ซึ่งค่า E_C ได้จากสมการของ Zheleznyak และ Landau (21)

ตารางที่ 8 ผลการคำนวณ NTU_x และ Pe_x (วิธีของ Mecklenburgh & Hartland)(16)

U_c ชม./วินาที	U_d ชม./วินาที	NTU_x	Pe_x
0.2210	0.4972	4.1512	0.5182
	0.5524	8.0336	0.7192
	0.6076	11.4016	0.4640
	0.6629	13.0576	0.3355
0.3314	0.4972	2.8660	0.2770
	0.5524	5.0022	0.6627
	0.6076	8.3568	0.3528
	0.6629	9.5212	0.4598
0.4419	0.4972	4.4681	0.0914
	0.5524	5.2884	0.2760
	0.6076	8.3778	0.5308
	0.6629	8.5714	0.7061

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณเบอร์เพเคลตซึ่งได้จากลัมวีส

U_c ชม./วินาที	U_d ชม./วินาที	เบอร์เพเคลต		
		ฐธ 4.2.1	ฐธ 4.2.2	ฐธ 4.2.3
0.2210	0.4972	1.2276	2.3051	0.5168
	0.5524	1.1646	2.2404	0.7162
	0.6076	1.1105	2.2535	0.4601
	0.6629	1.0631	2.2283	0.3359
0.3314	0.4972	1.8408	2.9256	0.2948
	0.5524	1.7464	3.0194	0.6648
	0.6076	1.6652	3.0270	0.3627
	0.6629	1.5942	2.9887	0.4613
0.4419	0.4972	2.4546	3.7166	0.0911
	0.5524	2.3287	3.7116	0.2757
	0.6076	2.2204	3.7276	0.5310
	0.6629	2.1257	3.6885	0.7061

4.3 จำนวนหน่วยส่งผ่าน (NTU)

4.3.1 กรณีเส้นอีควิลีเบรียมเป็นเส้นตรง

การคำนวณจำนวนหน่วยส่งผ่านทำได้โดยวิธีของ Mecklenburgh และ Hartland(16) ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวแล้วในการหาเบอร์เพเคลต(หัวข้อ 4.2.3)ค่า NTU ที่คำนวณได้แสดงในตารางที่ 8

4.3.2 กรณีเส้นอีควิลีเบรียมเป็นเส้นโค้ง

ใช้วิธีออปติไมเซชันระหว่างแนวความเข้มข้นจากการทดลองและจากทฤษฎี ซึ่งได้จากการแก้สมการแบบจำลองดิฟฟิวชัน โดยการปรับ Pe_x , Pe_y และ NTU_x ให้ได้ความแตกต่างน้อยที่สุดระหว่างแนวความเข้มข้นทั้งสองประเภท ซึ่งความแตกต่างนี้แสดงในรูปของโคครเตอเรีย (criteria)

$$\epsilon = \left[(Y_{th})_i - (Y_e)_i \right]^2 + \left[\frac{(X_{th})_i - (X_e)_i}{m_i} \right]^2 \quad (41)$$

ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง $NTU_X(R_X)$ ในดีฟวชันโมเดล และ โตรเตอร์เรีย (ϵ) แสดงโดยรูปโพลีโนเมียลอันดับที่ n (n^{th} -degree polynomial)

$$f(X) = a_0 + a_1(X-X_0) + a_2(X-X_0)(X-X_1) + \dots + a_n(X-X_0)(X-X_1)\dots(X-X_{n-1})$$

งานวิจัยนี้ใช้ความสัมพันธ์ 3 จุด ซึ่งค่า ϵ ต่ำกว่าจุดอื่น ๆ ดังนั้นสมการที่ใช้คือ

$$\epsilon = a_0 + a_1(R_X - R_{X_0}) + a_2(R_X - R_{X_0})(R_X - R_{X_1}) \quad (42)$$

ที่จุดต่ำสุด

$$d\epsilon/dR_X = 0 \quad \text{จะได้}$$

$$(R_X)_{op} = \frac{1}{2} \left[(R_{X_1} + R_{X_0}) - (a_1/a_2) \right] \quad (43)$$

เมื่อ $(R_X)_{op}$ คือค่า NTU ที่ออปติไมส์ได้ที่ ϵ ต่ำสุด

สำหรับแนวความเข้มข้นทางทฤษฎี กระบวนการคำนวณได้โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

ซึ่งโปรแกรมแสดงในภาคผนวก จ. การออปติไมเซชันจะทำถึง 11 จุด แบ่งเป็นช่วงละ 10 ชม. จุด 5 จุดที่เพิ่มได้จากค่าเฉลี่ยระหว่างจุดสองจุดซึ่งห่างกัน 20 ชม. ซึ่งค่าที่ได้แสดงในตารางที่ 19 ภาคผนวก ก.

นอกจากนี้แล้วการทำออปติไมเซชันยังมีเงื่อนไขอีกดังนี้

ก. ค่า Pe_X เป็นค่าคงที่คำนวณได้จากวิธี 4.2.2 ค่า Pe_Y นั้นมีค่ามากเท่ากับอินฟินิตี้ แต่ในการคำนวณแทนค่า Pe_Y เท่ากับ 100 เพราะการใช้ค่าอินฟินิตี้ ทำให้เกิดการไม่แน่นอนในแนวความเข้มข้นของไอโอดีนในเฟส Y ที่ได้

ข. ค่า R_X ทำการเปลี่ยนแปลงประมาณ 4 จุด ตั้งแต่ 2 ถึง 15 หรือมากกว่านั้น เพื่อสังเกตจุดต่ำสุด และทำการแปรเปลี่ยนค่า R_X ที่จุดใกล้เคียงจุดต่ำสุด ประมาณ 2 - 3 จุด เพื่อเลือกค่า 3 จุดไปทำการคำนวณหา R_X ซึ่ง ϵ ต่ำสุด

ค. การคำนวณ ϵ จะกระทำได้ต้องอาศัยความชันของเส้นอีควิลิเบรียม เนื่องจากเส้นอีควิลิเบรียมเป็นเส้นโค้ง ซึ่งแสดงด้วยสมการ $Y = 91.09 X^{0.77}$

ดังนั้นค่าความชัน (m_i) จะมีถึง 11 ค่า ซึ่งค่า m_i แสดงได้ด้วยสมการ

$$m_i = 0.0143 X^{0.23} \quad (m_i = dX/dY)$$

การคำนวณ ϵ จะกระทำ 2 กรณีคือ

1. คำนวณจากแนวความเข้มข้นทั้งชุด (ϵ_1)

2. การคำนวณจากค่าความเข้มข้นเข้าออก (ϵ_2)

ส่วนแนวความเข้มข้นของไอโอดีนในเฟสทั้งสองที่คำนวณได้ ใช้ค่า m_1 แต่จุด คือ $m_1 - m_0$

ผลการคำนวณแนวความเข้มข้นของไอโอดีนในเฟสทั้งสองแสดงไว้ในตารางที่ 20 ภาคผนวก ข. ส่วนผลการคำนวณ ϵ_1 และ ϵ_2 แสดงไว้ในตารางที่ 10 และกราฟรูปที่ 12, 13

ส่วนการอุปดิโมล์หาค่า R_x นั้นจากกราฟรูปที่ 12, 13 จะเห็นว่าสามารถหาได้เมื่ออัตราการผลิตของเฟสกระจายเท่ากับ 22.5 และ 25 ลิตร/ชั่วโมง จากกรณีคำนวณโครเตอเรียจากค่าแนวความเข้มข้นของไอโอดีนทางทฤษฎี (ϵ_1) ซึ่งผลการคำนวณโดยใช้ค่าต่ำสุดของ R_x 3 ค่าทำการอุปดิโมล์เชชัน (เพื่อให้ความผิดพลาดน้อยที่สุด) แสดงในตารางที่ 11 และค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในเฟสทั้งสองจาก R_x ต่ำสุด 3 ค่า เปรียบเทียบกับค่าแนวความเข้มข้นจากการทดลองในกราฟในรูปที่ 14 (ใช้ข้อมูลจากตารางที่ 19 ภาคผนวก ก. และตารางที่ 20 ภาคผนวก ข.)

ตารางที่ 10 ผลการคำนวณ ϵ_1 และ ϵ_2 ที่ R_x ต่าง ๆ กัน

$$10.1 \quad F_x = 10 \text{ ลิตร/ชม.}, \quad F_y = 30 \text{ ลิตร/ชม.}$$

$$X_{\text{เข้า}} = 155.72 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \quad Pe_x = 2.2283$$

$$Pe_y = 100$$

ϵ \ R_x	3	6	9	12	15
ϵ_1	16.9×10^6	4.59×10^6	2.4×10^6	1.81×10^6	1.64×10^6
ϵ_2	3.1×10^6	1.7×10^6	1.3×10^6	1.0×10^6	0.9×10^6



10.2 $F_x = 10$ ลิตร/ชม., $F_y = 27.5$ ลิตร/ชม., $X_{\text{เข้า}} = 150.05$ มิลลิกรัม/ลิตร
 $Pe_x = 2.2535$, $Pe_y = 100$

$e \backslash R_x$	2	6	10	15
e_1	29.1×10^6	4.32×10^6	2.23×10^6	1.90×10^6
e_2	4.95×10^6	1.70×10^6	1.15×10^6	0.89×10^6

10.3 $F_x = 10$ ลิตร/ชม., $F_y = 25$ ลิตร/ชม.
 $X_{\text{เข้า}} = 90.3$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 2.2404$
 $Pe_y = 100$

$e \backslash R_x$	3	7	8	9	10	15
e_1	39.7×10^5	6.55×10^5	5.98×10^5	5.94×10^5	6.18×10^5	8.47×10^5
e_2	7.79×10^5	3.51×10^5	3.26×10^5	3.08×10^5	2.94×10^5	2.53×10^5

10.4 $F_x = 10$ ลิตร/ชม., $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม.
 $X_{\text{เข้า}} = 172.1$ มิลลิกรัม/ลิตร, $Pe_x = 2.3051$
 $Pe_y = 100$

$e \backslash R_x$	2	3	4	5	7	15
e_1	6.7×10^6	2.9×10^6	2.75×10^6	3.54×10^6	5.49×10^6	10.3×10^6
e_2	1.75×10^6	1.42×10^6	1.45×10^6	1.55×10^6	1.72×10^6	1.92×10^6

10.5 $F_x = 15$ ลิตร/ชม., $F_y = 30$ ลิตร/ชม.
 $X_{\text{เข้า}} = 143.85$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 2.9887$
 $Pe_y = 100$

$e \backslash R_x$	2	5	10	15
e_1	22.3×10^6	4.56×10^6	2.44×10^6	2.49×10^6
e_2	4.14×10^6	2.22×10^6	1.58×10^6	1.29×10^6

$$10.6 \quad F_x = 15 \text{ ลิตร/ชม.}, \quad F_y = 27.5 \text{ ลิตร/ชม.}$$

$$X_{\text{เข้า}} = 177.88 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \quad Pe_x = 3.0270$$

$$Pe_y = 100$$

ϵ_{R_x}	2	5	8	11
ϵ_1	28.3×10^6	6.08×10^6	4.03×10^6	3.89×10^6
ϵ_2	6.13×10^6	3.29×10^6	2.74×10^6	2.20×10^6

$$10.7 \quad F_x = 15 \text{ ลิตร/ชม.}, \quad F_y = 25 \text{ ลิตร/ชม.}$$

$$X_{\text{เข้า}} = 91.04 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \quad Pe_x = 3.0194$$

$$Pe_y = 100$$

ϵ_{R_x}	2	5	6	7	12
ϵ_1	60.1×10^5	7.38×10^5	6.80×10^5	7.45×10^5	13.5×10^5
ϵ_2	11.3×10^5	4.99×10^5	4.61×10^5	4.36×10^5	3.71×10^5

$$10.8 \quad F_x = 15 \text{ ลิตร/ชม.}, \quad F_y = 22.5 \text{ ลิตร/ชม.}$$

$$X_{\text{เข้า}} = 288.43 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \quad Pe_x = 2.9256$$

$$Pe_y = 100$$

ϵ_{R_x}	2	4	5	6	10	15
ϵ_1	2.43×10^7	1.12×10^7	0.97×10^7	1.08×10^7	1.58×10^7	1.99×10^7
ϵ_2	8.6×10^6	6.41×10^6	5.46×10^6	5.17×10^6	4.75×10^6	4.11×10^6

$$10.9 \quad F_x = 20 \text{ ลิตร/ชม.}, \quad F_y = 30 \text{ ลิตร/ชม.}$$

$$X_{\text{เข้า}} = 149.62 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} \quad Pe_x = 3.6885$$

$$Pe_y = 100$$

ϵ_{R_x}	2	5	8	11
ϵ_1	25.18×10^6	4.38×10^6	2.07×10^6	1.94×10^6
ϵ_2	4.06×10^6	2.05×10^6	1.48×10^6	1.32×10^6

$$\begin{aligned}
 10.10 \quad F_x &= 20 \text{ ลิตร/ชม.} & F_y &= 27.5 \text{ ลิตร/ชม.} \\
 X_{\text{เข้า}} &= 279.06 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} & Pe_x &= 3.7276 \\
 Pe_y &= 100
 \end{aligned}$$

$\epsilon \backslash R_x$	2	5	8	11
ϵ_1	60.27×10^6	13.49×10^6	8.51×10^6	7.85×10^6
ϵ_2	12.52×10^6	6.83×10^6	5.31×10^6	4.46×10^6

$$\begin{aligned}
 10.11 \quad F_x &= 20 \text{ ลิตร/ชม.} & F_y &= 25 \text{ ลิตร/ชม.} \\
 X_{\text{เข้า}} &= 122.60 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร,} & Pe_x &= 3.7116 \\
 Pe_y &= 100
 \end{aligned}$$

$\epsilon \backslash R_x$	2	5	6	7	8	11
ϵ_1	7.25×10^6	3.13×10^6	3.12×10^6	3.24×10^6	3.41×10^6	3.92×10^6
ϵ_2	2.95×10^6	1.92×10^6	1.80×10^6	1.70×10^6	1.62×10^6	1.44×10^6

$$\begin{aligned}
 10.12 \quad F_x &= 20 \text{ ลิตร/ชม.} & F_y &= 22.5 \text{ ลิตร/ชม.} \\
 X_{\text{เข้า}} &= 228.12 \text{ มิลลิกรัม/ลิตร} & Pe_x &= 3.7166 \\
 Pe_y &= 100
 \end{aligned}$$

$\epsilon \backslash R_x$	2	4	5	6	8	11
ϵ_1	18.99×10^6	7.06×10^6	6.9×10^6	7.45×10^6	8.97×10^6	10.97×10^6
ϵ_2	5.44×10^6	3.87×10^6	3.65×10^6	3.49×10^6	3.25×10^6	2.99×10^6

ตารางที่ 11 ผลการคำนวณ NTU (R_x) โดยวิธีออปติไมเซชัน

การทดลอง	R_x	ϵ_1	R_x^*
1. $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม.	8	5.98×10^5	
$X_{\text{เข้า}} = 90.3$ มิลลิกรัม/ลิตร	9	5.94×10^5	8.6429
$Pe_x = 2.2404$ $Pe_y = 100$	10	6.18×10^5	

ตารางที่ 11 ผลการคำนวณ $NTU_x(R_x)$ โดยวิธีออปติไมเซชัน

การทดลอง	R_x	ϵ_1	R_x^*
2. $F_x = 10$ ลิตร/ชม., $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 172.1$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 2.3051$, $Pe_y = 100$	3	2.9×10^6	
	4	2.75×10^6	3.6596
	5	3.54×10^6	
3. $F_x = 15$ ลิตร/ชม., $F_y = 25$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 91.04$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 3.0194$, $Pe_y = 100$	5	7.38×10^5	
	6	6.80×10^5	5.9715
	7	7.45×10^5	
4. $F_x = 15$ ลิตร/ชม., $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 288.43$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 2.9256$, $Pe_y = 100$	4	1.12×10^7	
	5	0.97×10^7	5.0769
	6	1.08×10^7	
5. $F_x = 20$ ลิตร/ชม., $F_y = 25$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 122.60$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 3.7116$ m, $Pe_y = 100$	5	3.13×10^6	
	6	3.12×10^6	5.4231
	7	3.24×10^6	
6. $F_x = 20$ ลิตร/ชม., $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 228.12$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 3.7166$, $Pe_y = 100$	4	7.06×10^6	
	5	6.90×10^6	4.7254
	6	7.45×10^6	

4.3.3 กรณีเปลี่ยนแปลงค่าเบอร์เพเคลตของเฟสหลัก (Pe_x)

ทดลองเปลี่ยนแปลงค่า Pe_x 4 ค่าคือ 3, 1, .5, .2, เมื่อให้ R_x คงที่เท่ากับ 9 แนวความเข้มข้นของเฟสทั้งสองแสดงในตารางที่ 20.13 ภาคผนวก ข. พบว่าได้ค่าโครเตอเรีย (ϵ) ตลอดทั้งแนวความเข้มข้น ต่ำสุดที่ Pe_x เท่ากับ 0.5 (แสดงในตารางที่ 12.1 และกราฟรูปที่ 15.1) ทดลองใช้ค่า $Pe_x = 0.5$ เป็นค่าคงที่ และเปลี่ยนแปลง R_x (แนวความเข้มข้นของเฟสทั้งสองแสดงในตารางที่ 20.14) พบว่าสามารถหาค่า R_x ต่ำสุดได้แม้จะคิดความเข้มข้นแค่หัวท้ายเท่านั้น (ตารางที่ 12.2 กราฟรูปที่ 15.2) ซึ่งการเปรียบเทียบแนวความเข้มข้นของไอโอดีนในเฟสแก้ว (X) เมื่อ Pe_x เปลี่ยนแปลงแสดงด้วยกราฟรูปที่ 16

ตารางที่ 12 ผลการคำนวณโครเตอเรียเมื่อเปลี่ยนแปลง Pe_x และ R_x

12.1 ผลการคำนวณ e_1 เมื่อเปลี่ยนแปลง Pe_x

e \ Pe_x	3	1	0.5	0.1
e_1	49×10^5	9.3×10^5	3.1×10^5	4.1×10^5

12.2 ผลการคำนวณ e เมื่อเปลี่ยนแปลง R_x

e \ R_x	3	6	9	15
e_1	13.18×10^6	1.92×10^6	0.31×10^6	0.29×10^6
e_2	13.27×10^5	1.57×10^5	0.71×10^5	1.41×10^5

4.3.4 การเปรียบเทียบ NTU กรณีเส้นอีคริสเบรียมเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง

จากตารางที่ 13.1 จะเห็นว่าความแตกต่างระหว่าง NTU_x ทั้งสองกรณีมีได้ถึงร้อยละ -13.4 ถึง 16.23 เมื่อความเข้มข้นของไอโอดีนในอินน้ำ (X) ก่อนสกัดประมาณ 100-200 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อความเข้มข้นเป็น 288.43 มิลลิกรัม/ลิตร ความแตกต่างเพิ่มถึงร้อยละ 43.6 ซึ่งเมื่อพิจารณาจากเส้นอีคริสเบรียม (รูปที่ 11) เมื่อความเข้มข้นของไอโอดีนในน้ำมากกว่า 200 มิลลิกรัม/ลิตร กราฟเส้นตรง ($y = 30x$) และเส้นโค้ง ($y = 91.09x^{0.77}$) จะห่างกันมากขึ้น หมายความว่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไอโอดีนที่กระจายเข้ายังน้ำสกัด (Y) ระหว่างสองกรณีเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 13.2 เป็นการคำนวณค่า Y ที่อีคริสเบรียมกับค่า X ก่อนสกัดทั้งสองกรณี จากตารางที่ 14 จะเห็นว่าหากความแตกต่างของ Y ทั้งสองกรณีประมาณร้อยละ ± 15 (ร้อยละ 7.2 ถึง -14.8) ก็จะสามารถ NTU ที่มีความแตกต่างประมาณร้อยละ ± 15 (ร้อยละ -13.4 ถึง 16.23) หมายความว่าความแตกต่างน้อยมาก (0.5%) ก็คำนวณความแตกต่างของ NTU ได้น้อย (2.5%)

4.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง NTU กับอัตราส่วนของอัตราการใช้ฟลักซ์ทั้งสอง

สำหรับ NTU ซึ่งคำนวณได้จากกรณีเส้นอีคริสเบรียมเป็นเส้นตรงและเส้นโค้งนั้น จากตารางที่ 8 และ 11 จะเห็นว่าค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการใช้ฟลักซ์ของเฟสกระจายเพิ่มขึ้น ขณะที่ให้อัตราการใช้ฟลักซ์ของเฟสหลักค่าหนึ่งคงที่ สำหรับความสัมพันธ์นี้ แสดงด้วยตารางที่ 16 และกราฟรูปที่ 18 (หน้า 60)

ตารางที่ 13.1 การเปรียบเทียบ NTU กรณีเส้นอีควิสเบรียมเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง

(กรณี 4.3.1 และ 4.3.2 ตามลำดับ)

การทดลอง	NTU _X		ความแตกต่าง (ร้อยละ)
	กรณี 4.3.1	กรณี 4.3.2	
1. $F_x = 10$ ลิตร/ชม., $F_y = 25$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 90.3$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 2.2404, Pe_y = 100$	8.0336	8.6429	7.1
2. $F_x = 10$ ลิตร/ชม., $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 172.1$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 2.3051, Pe_y = 100$	4.1512	3.6596	-13.4
3. $F_x = 15$ ลิตร/ชม., $F_y = 25$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 91.04$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 3.0194, Pe_y = 100$	5.0022	5.9715	16.23
4. $F_x = 15$ ลิตร/ชม., $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 288.43$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 2.9256, Pe_y = 100$	2.8660	5.0769	43.6
5. $F_x = 20$ ลิตร/ชม., $F_y = 25$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 122.60$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 3.7116, Pe_y = 100$	5.2884	5.4231	2.5
6. $F_x = 20$ ลิตร/ชม., $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. $X_{\text{เข้า}} = 228.12$ มิลลิกรัม/ลิตร $Pe_x = 3.7166, Pe_y = 100$	4.4681	4.7254	5.5

$$\text{หมายเหตุ } \% \text{ ความแตกต่าง} = \frac{\text{ค่าถูกต้อง} - \text{ค่าคำนวณ}}{\text{ค่าถูกต้อง}} \times 100$$

ใช้กรณี 4.3.2 (เส้นอีควิสเบรียมเป็นเส้นโค้ง) เป็นค่าถูกต้อง

และกรณี 4.3.1 (เส้นอีควิสเบรียมเป็นเส้นตรง) เป็นค่าคำนวณ

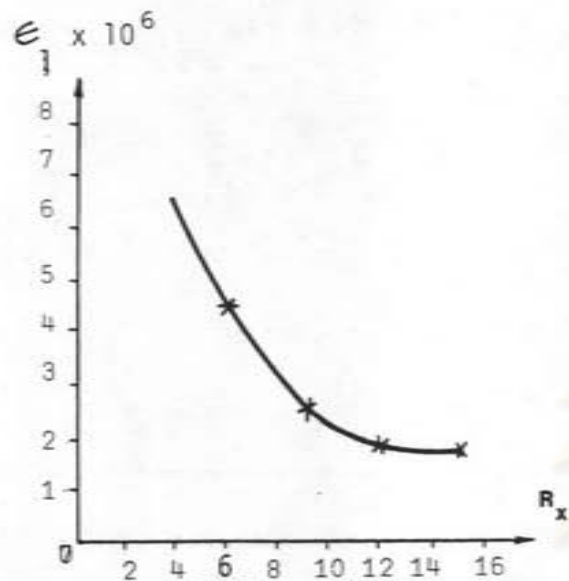
ตารางที่ 13.2 การเปรียบเทียบ% ความแตกต่างระหว่าง Y ที่อีคริสเบรียมกับ X ก่อนสกัด
ระหว่างกรณีเส้นอีคริสเบรียมเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง

X	Y = 30X	Y=91.09X ^{0.77}	ความแตกต่าง (ร้อยละ)
มิลลิกรัม/ลิตร	มิลลิกรัม/ลิตร	มิลลิกรัม/ลิตร	
90.3	2709	2919.78	7.2
172.1	5163	4797.58	-7.6
91.04	2731.2	2938.19	7.04
288.43	8652.9	7140.06	-21.2
122.60	3678	3694.95	0.5
228.12	6843.6	5960.14	-14.8

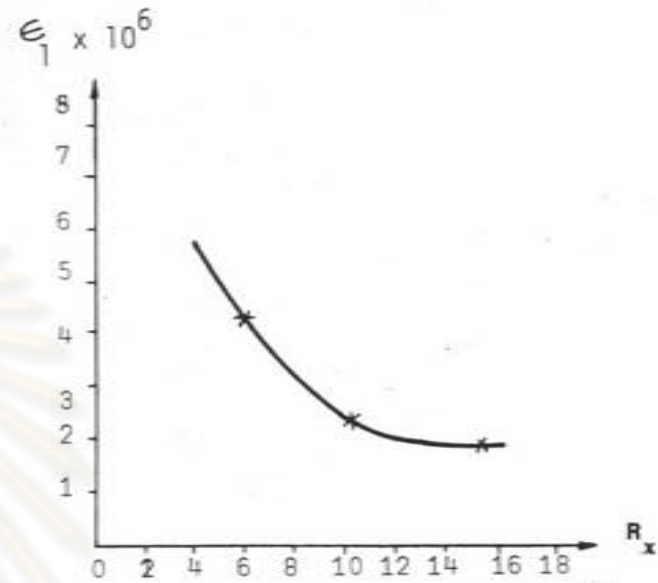
หมายเหตุ ให้ Y = 91.09 X^{0.77} เป็นค่าถูกต้อง

ตารางที่ 14 การเปรียบเทียบระหว่าง % ความแตกต่างของ NTU_X ที่คำนวณได้กับ
% ความแตกต่างของ Y ที่อีคริสเบรียม ที่ X ก่อนสกัดต่าง ๆ กัน
ระหว่างกรณีเส้นอีคริสเบรียม : เป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง

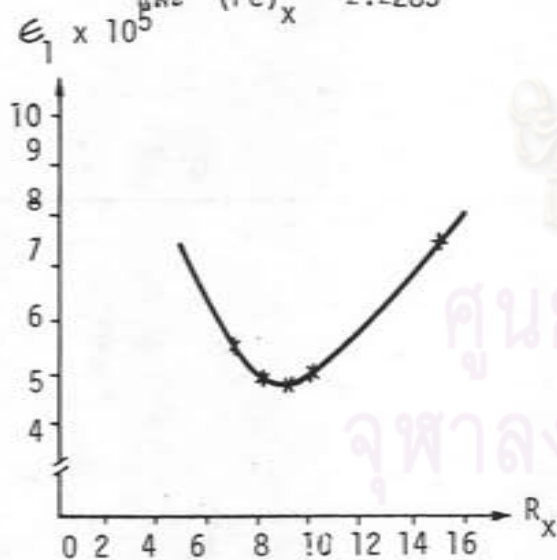
X	Y	NTU _X
มิลลิกรัม/ลิตร	% ความแตกต่าง	% ความแตกต่าง
90.3	7.2	7.1
172.1	-7.6	-13.4
91.04	7.04	16.23
288.43	-21.2	43.6
122.60	0.5	2.5
228.12	-14.8	5.5



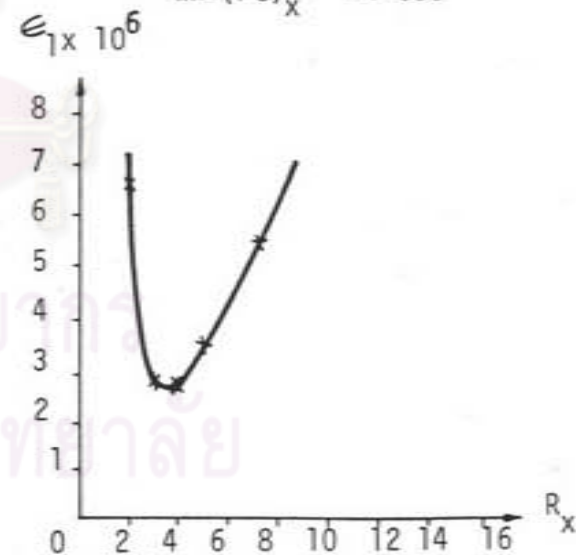
รูปที่ 12.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 30$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 2.2283$



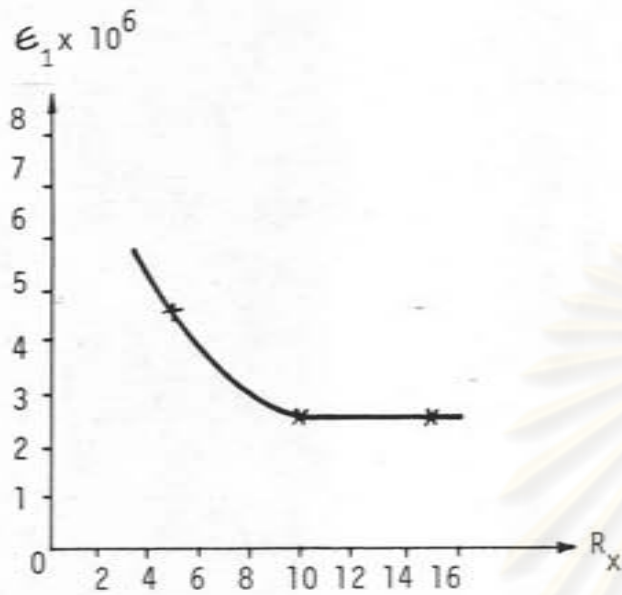
รูปที่ 12.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 27.5$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 2.2535$



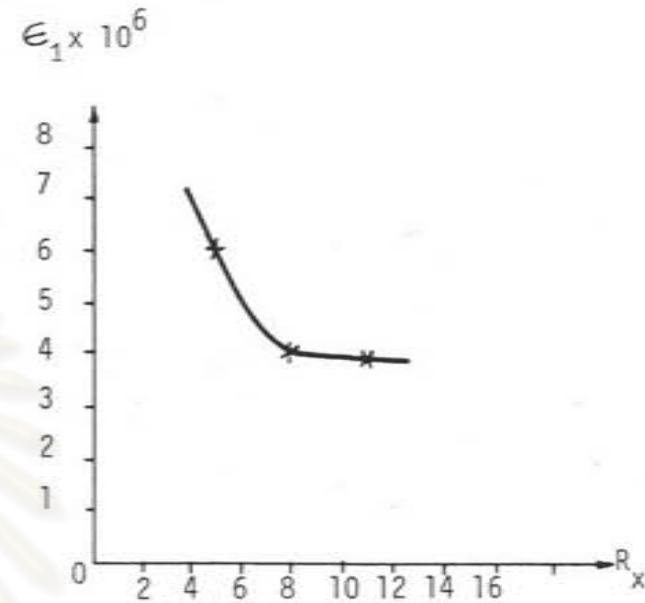
รูปที่ 12.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 0.2404$



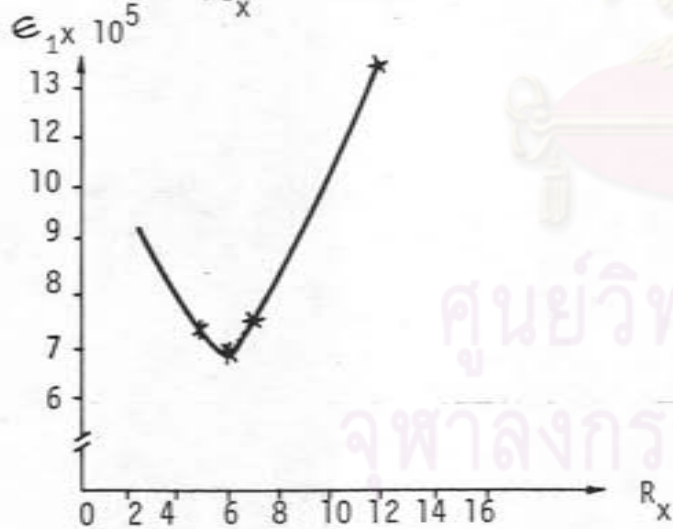
รูปที่ 12.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 2.3051$



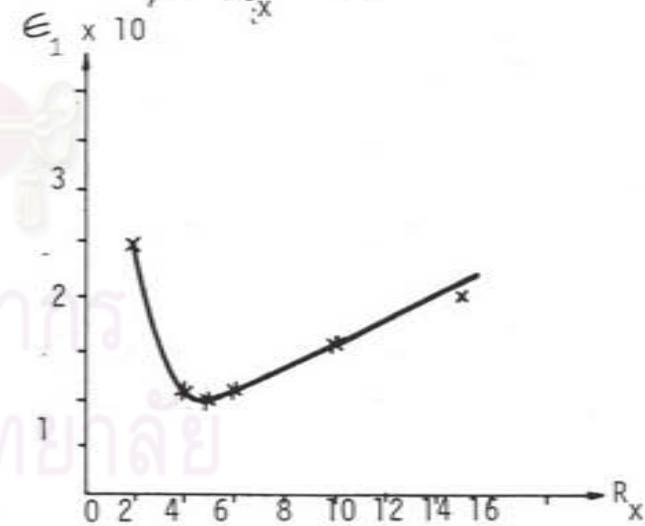
รูปที่ 12.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 30$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 2.9887$



รูปที่ 12.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 27.5$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 3.0270$

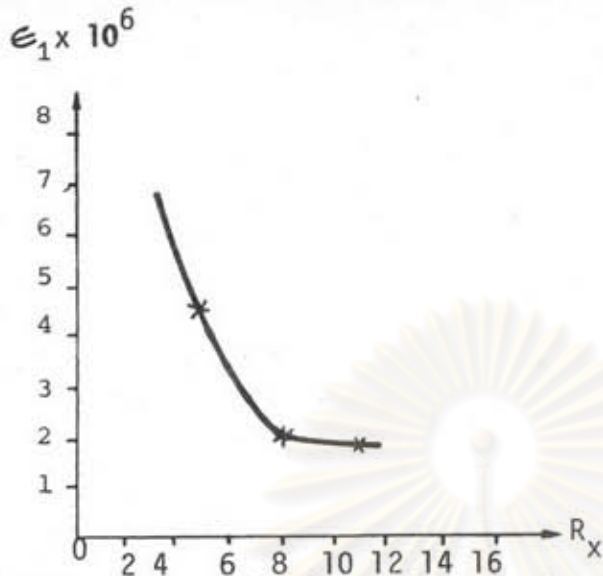


รูปที่ 12.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 3.0194$

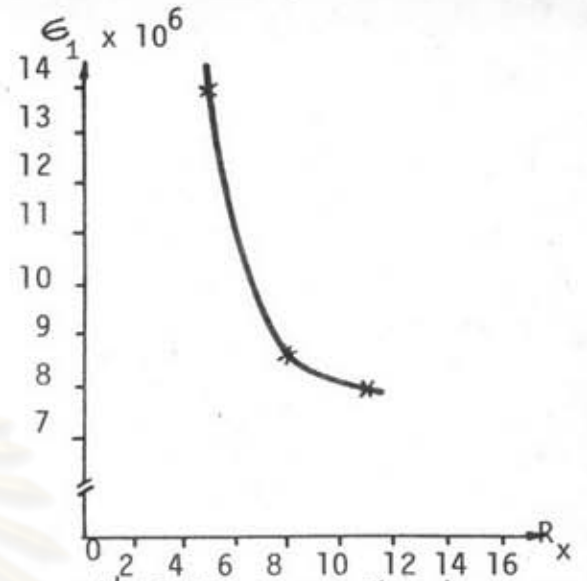


รูปที่ 12.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 2.9256$

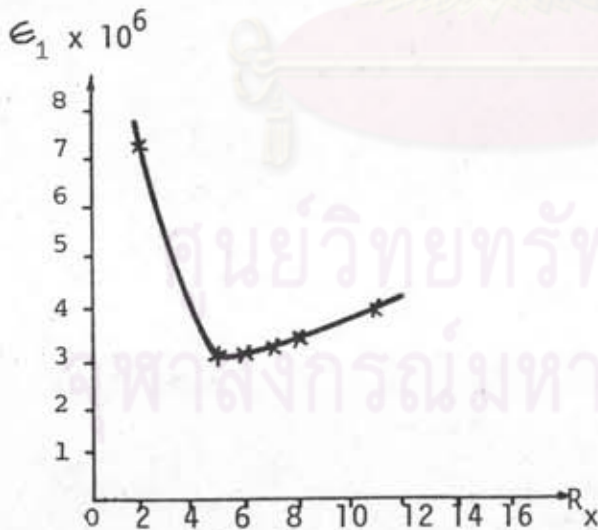
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



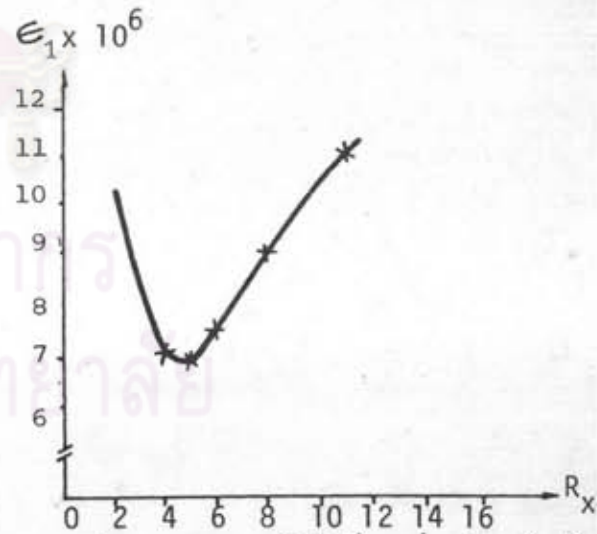
รูปที่ 12.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 20$ ลิตร/ชม., $F_y = 30$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 3.6885$



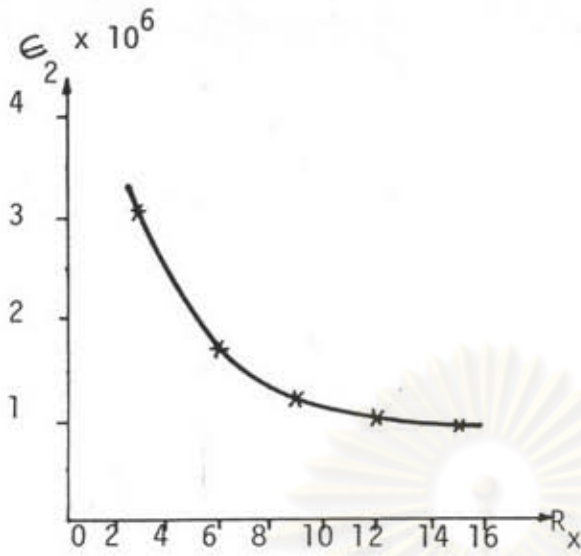
รูปที่ 12.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 20$ ลิตร/ชม., $F_y = 27.5$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 3.7276$



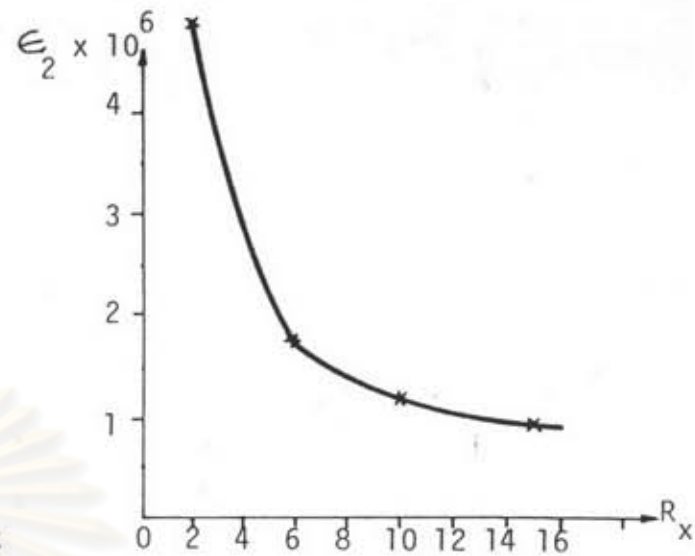
รูปที่ 12.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 20$ ลิตร/ชม., $F_y = 25$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 3.7116$



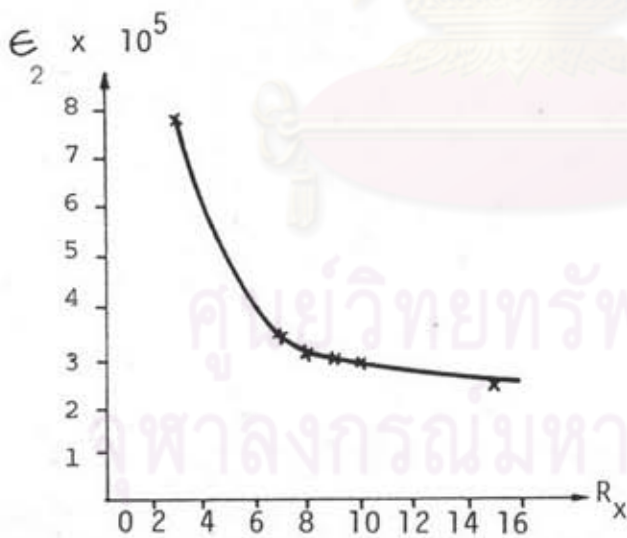
รูปที่ 12.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ R_x เมื่อ $F_x = 20$ ลิตร/ชม., $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 3.7166$



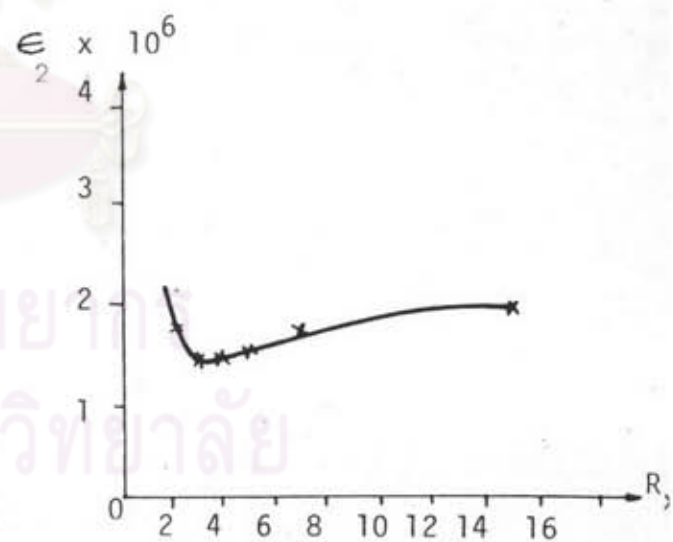
รูปที่ 13.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_2 กับ R_x เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 30$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 2.2283$



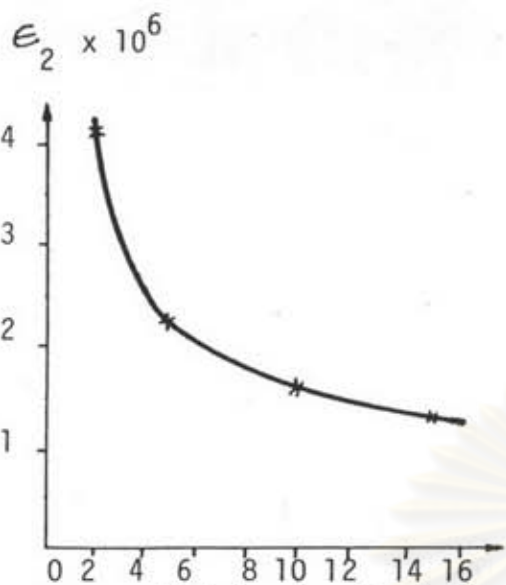
รูปที่ 13.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_2 กับ R_x เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 27.5$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 2.2535$



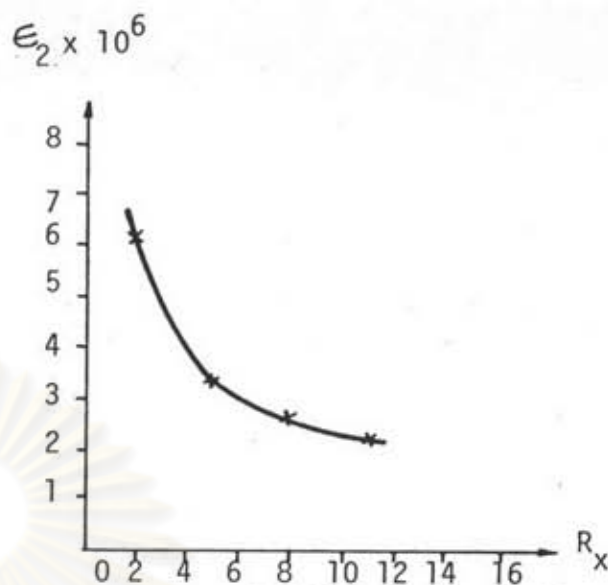
รูปที่ 13.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_2 กับ R_x เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 2.2404$



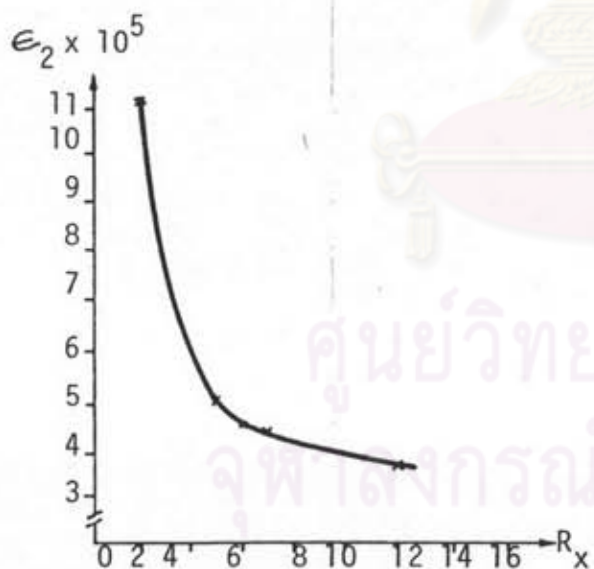
รูปที่ 13.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_2 กับ R_x เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 2.3051$



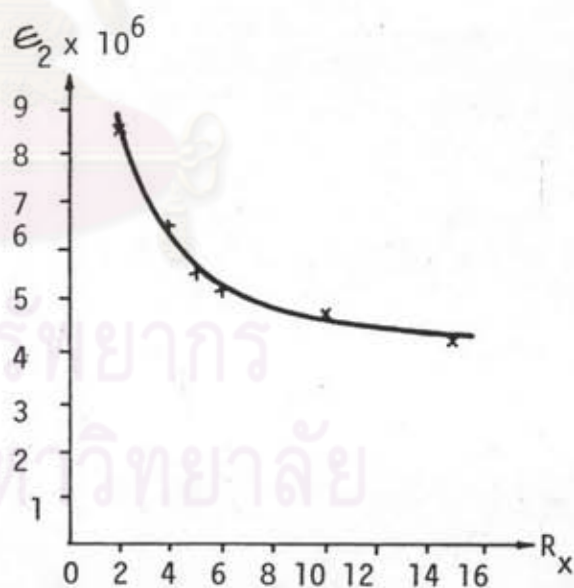
รูปที่ 13.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_2 กับ R_x เมื่อ
 $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 30$ ลิตร/ชม.
 และ $(Pe)_x = 2.9887$



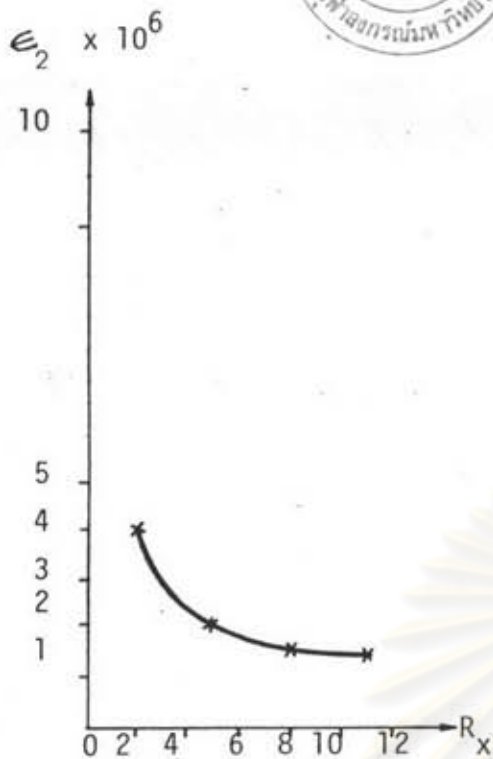
รูปที่ 13.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_2 กับ R_x เมื่อ
 $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 27.5$ ลิตร/ชม.
 และ $(Pe)_x = 3.0270$



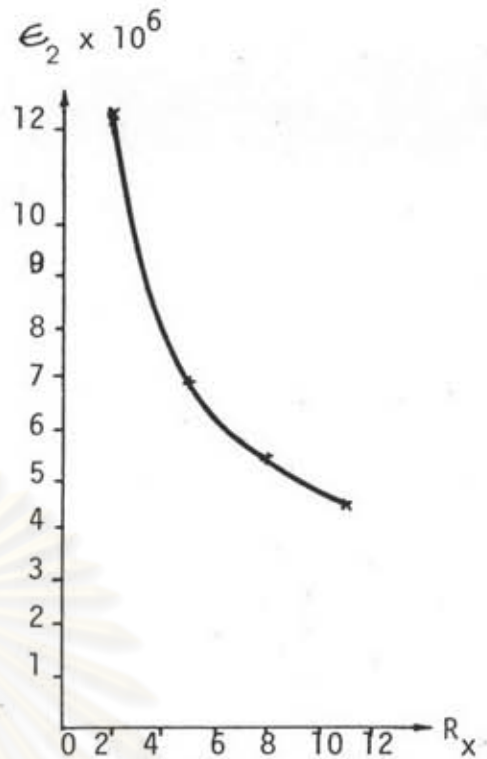
รูปที่ 13.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_2 กับ R_x เมื่อ
 $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม.
 และ $(Pe)_x = 3.0194$



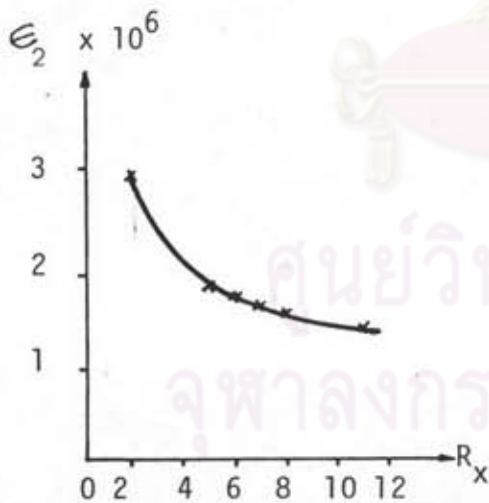
รูปที่ 13.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง E_2 กับ R_x เมื่อ
 $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม.
 และ $(Pe)_x = 2.9256$



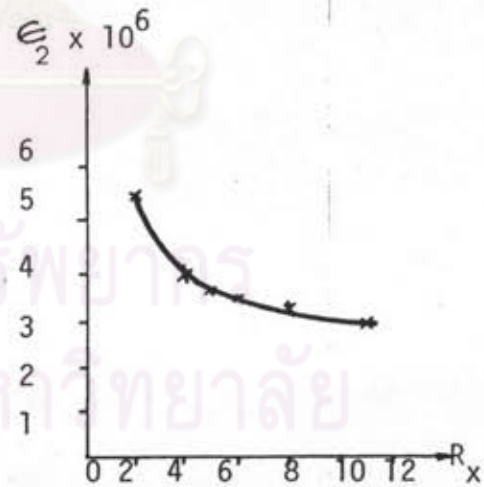
รูปที่ 13.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง e_2 กับ R_x เมื่อ
 $F_x = 20$ ลิตร/ชม. $F_y = 30$ ลิตร/ชม.
 และ $(Pe)_x = 3.6885$



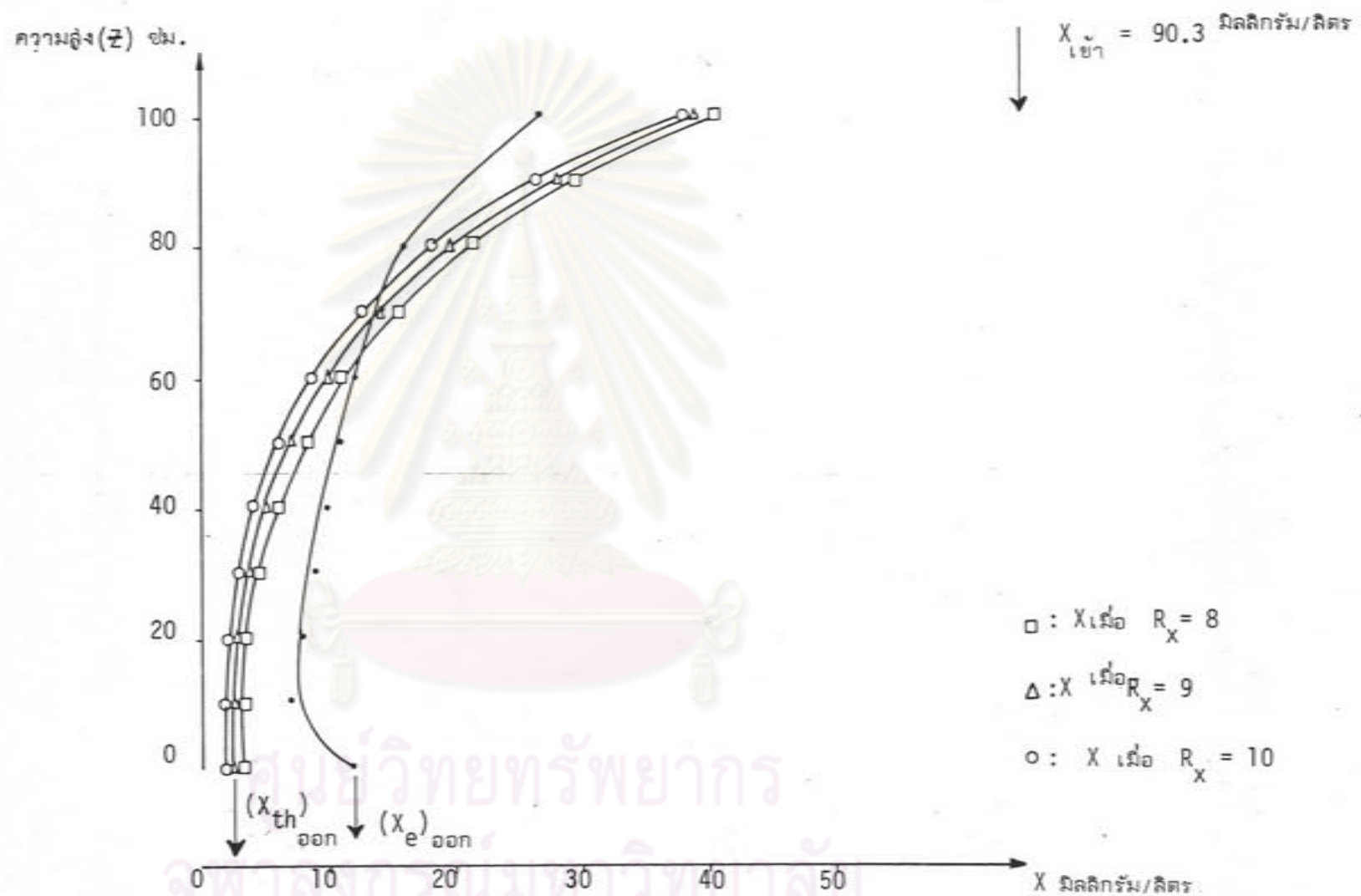
รูปที่ 13.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง e_2 กับ R_x เมื่อ
 $F_x = 20$ ลิตร/ชม. $F_y = 27.5$ ลิตร/ชม.
 และ $(Pe)_x = 3.7276$



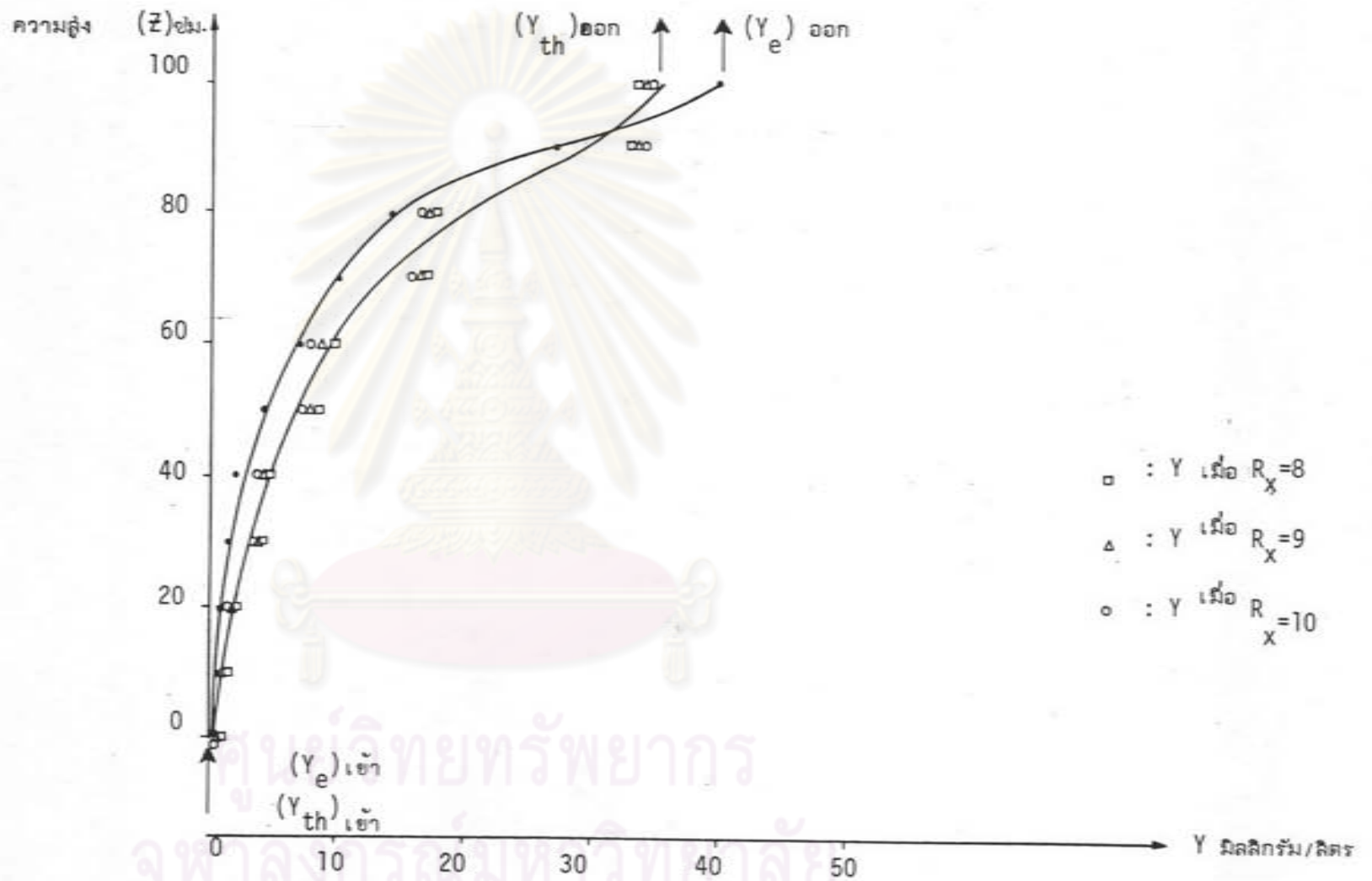
รูปที่ 13.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง e_2 กับ R_x เมื่อ
 $F_x = 20$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม.
 และ $(Pe)_x = 3.7116$



รูปที่ 13.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง e_2 กับ R_x เมื่อ
 $F_x = 20$ ลิตร/ชม.
 $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม.
 $(Pe)_x = 3.7166$



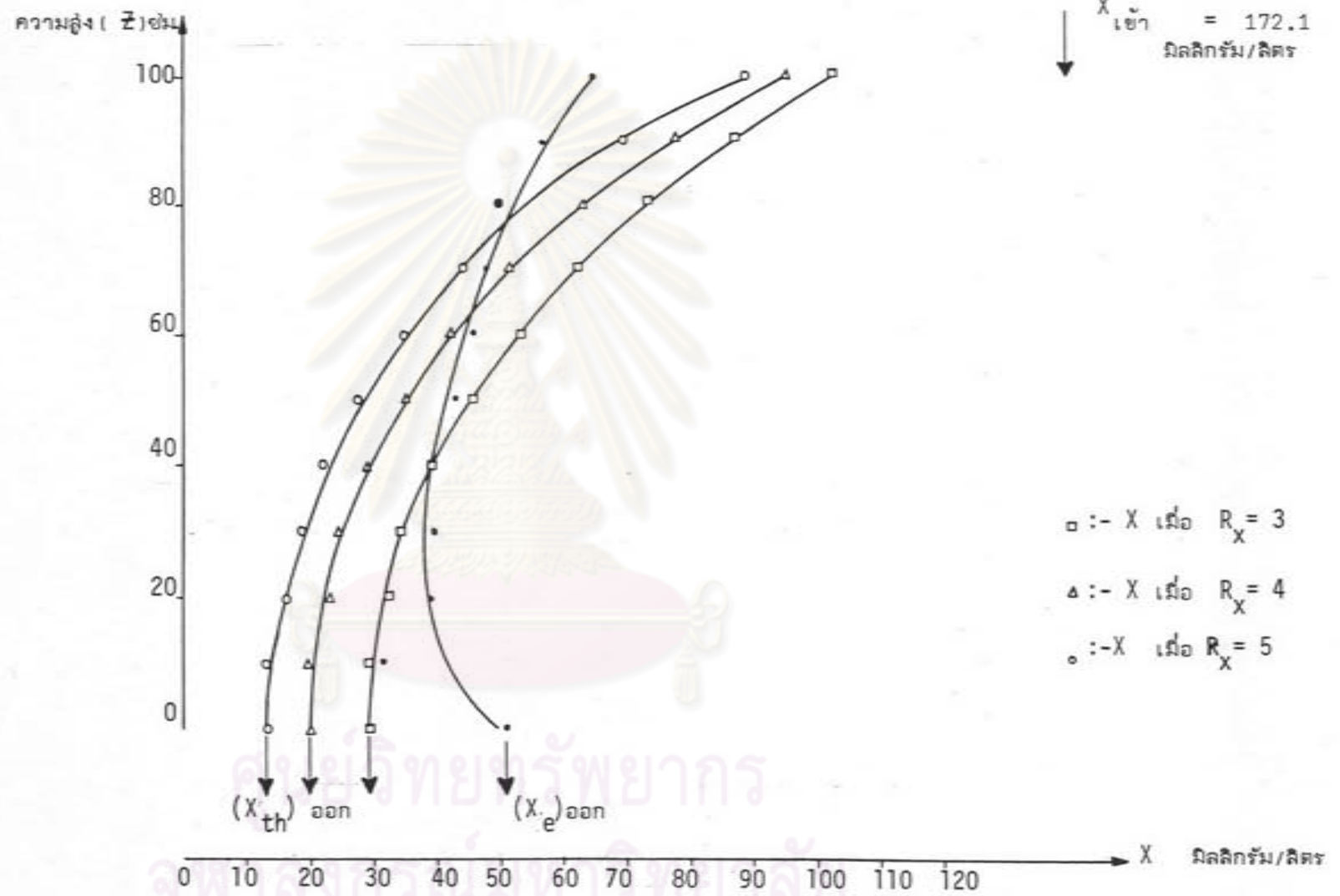
รูปที่ 14.1 การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในน้ำ (X_{th}) กับค่าทดลอง (X_e) ที่ R_x ต่างๆ กัน เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม. และ $(Pe)_x = 2.2404$



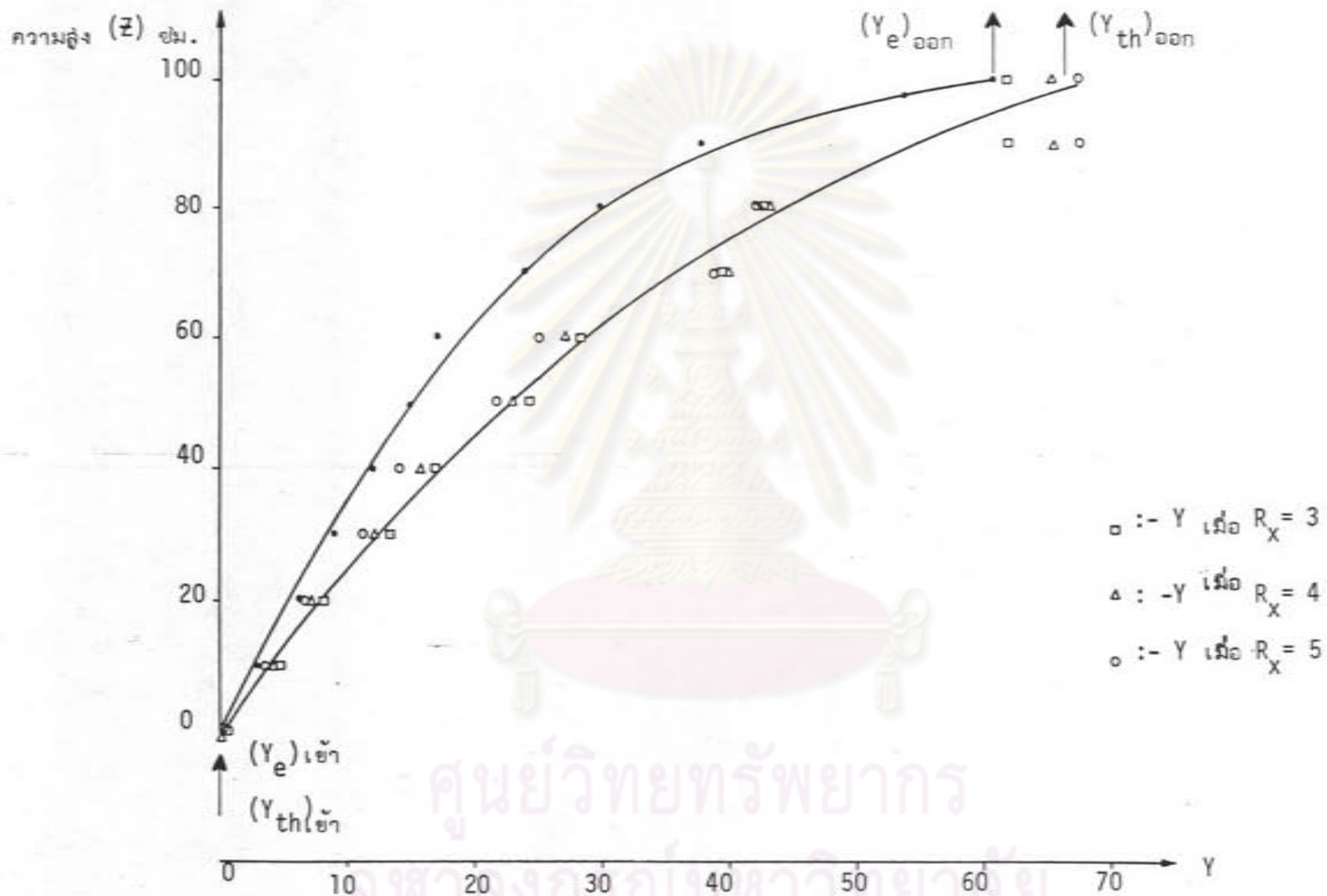
รูปที่ 14.2

การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในน้ำวนกาศ (Y_{th}) กับค่าทดลอง (Y_e)

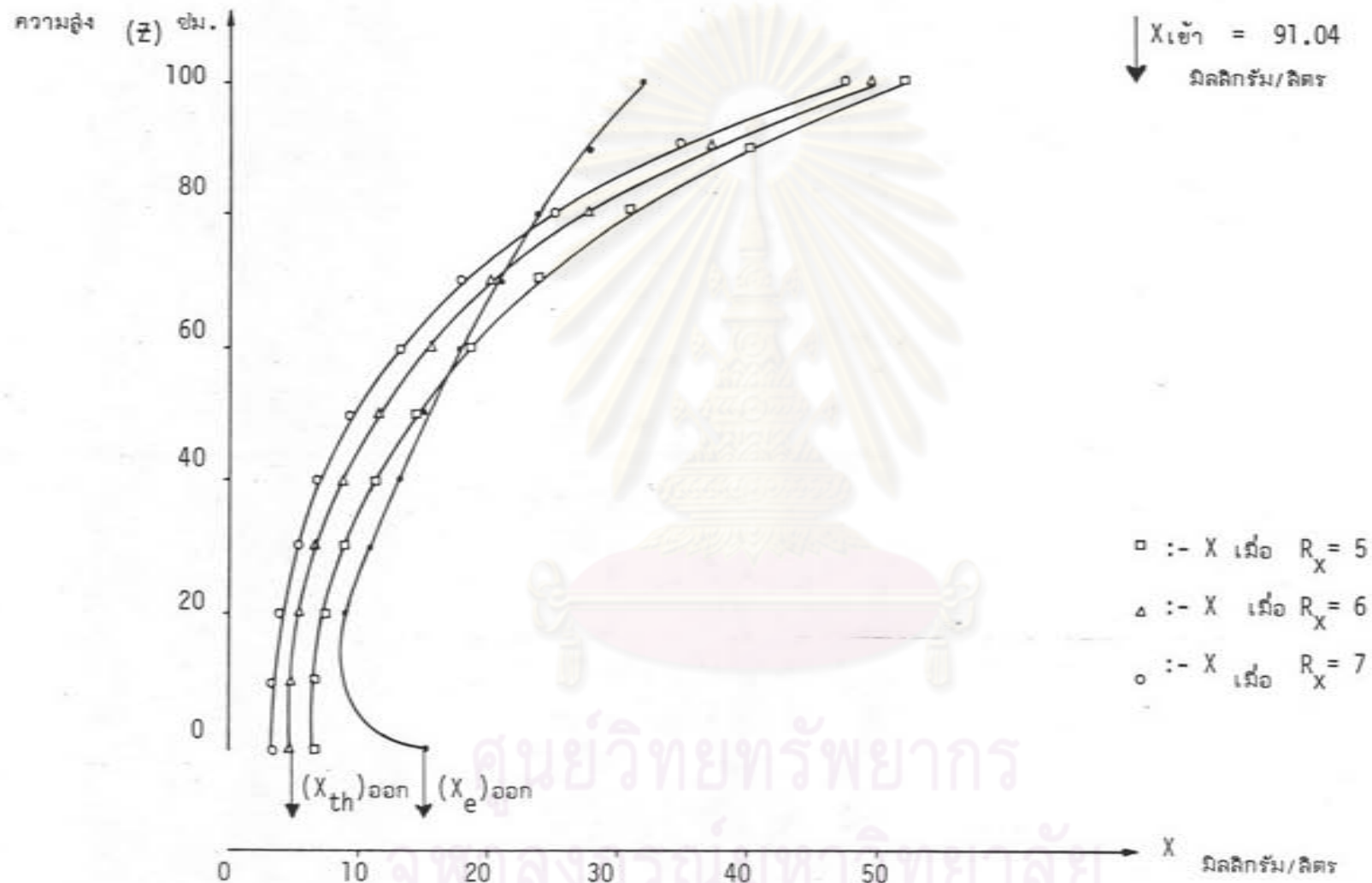
ที่ R_x ต่าง ๆ กัน เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 2.2404$



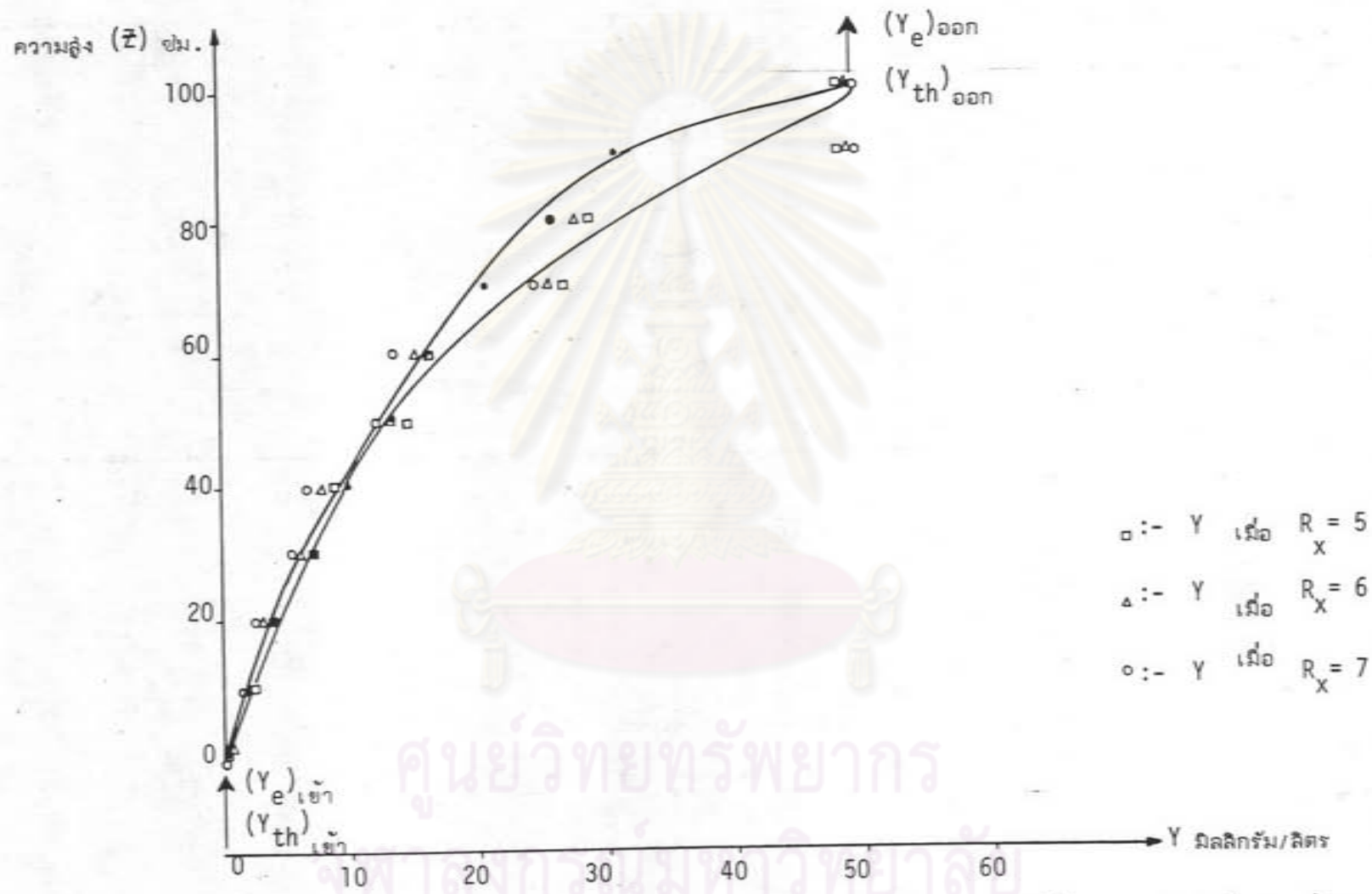
รูปที่ 14.3 การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในน้ำ (X_{th}) กับค่าทดลอง (X_e) ที่ R_x ต่าง ๆ กัน เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 2.3051$



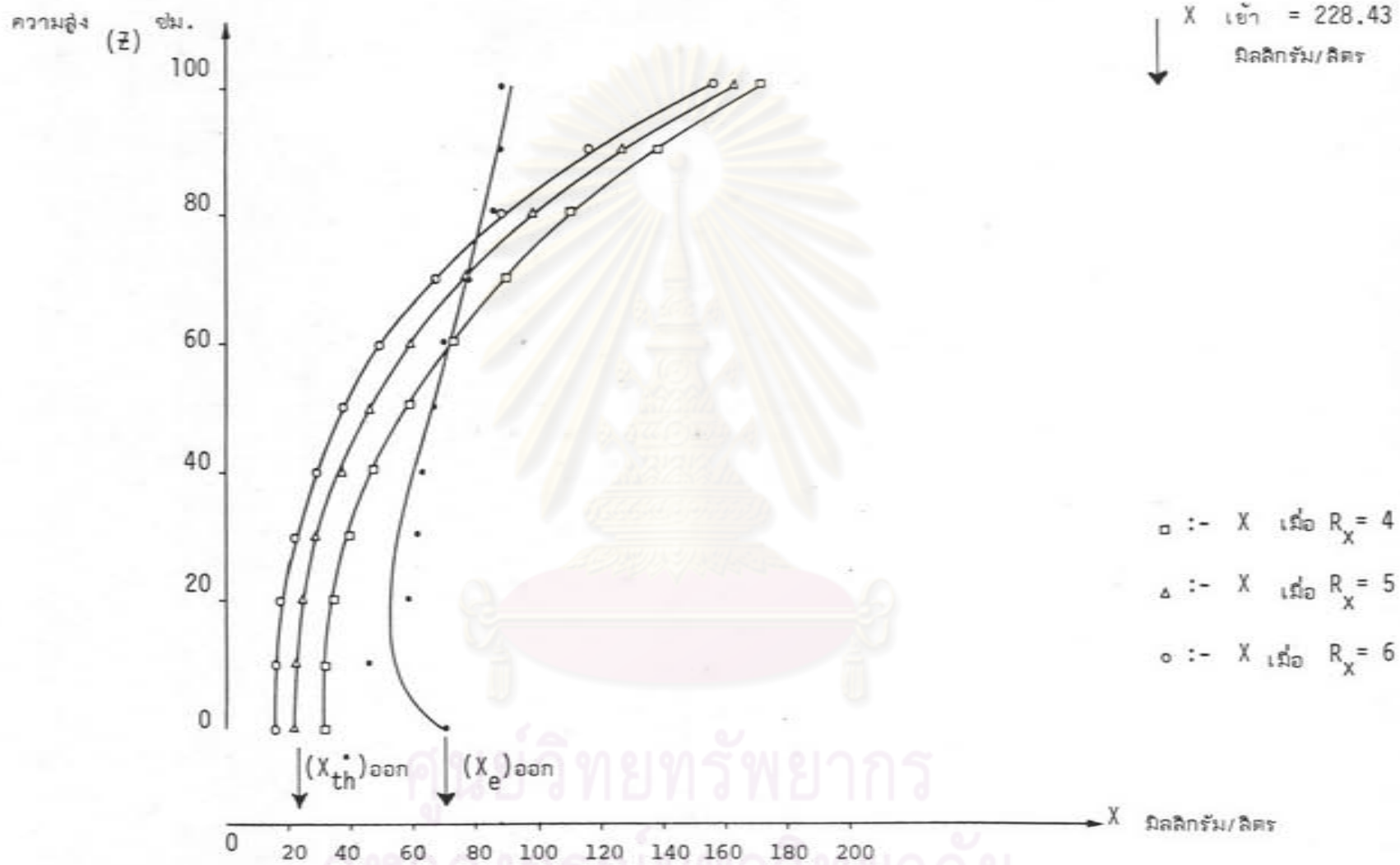
รูปที่ 14.4 การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในวุ้นก๊าด (Y_{th}) กับค่าทดลอง (Y_e) ที่ R_x ต่าง ๆ กัน
 $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 2.3051$



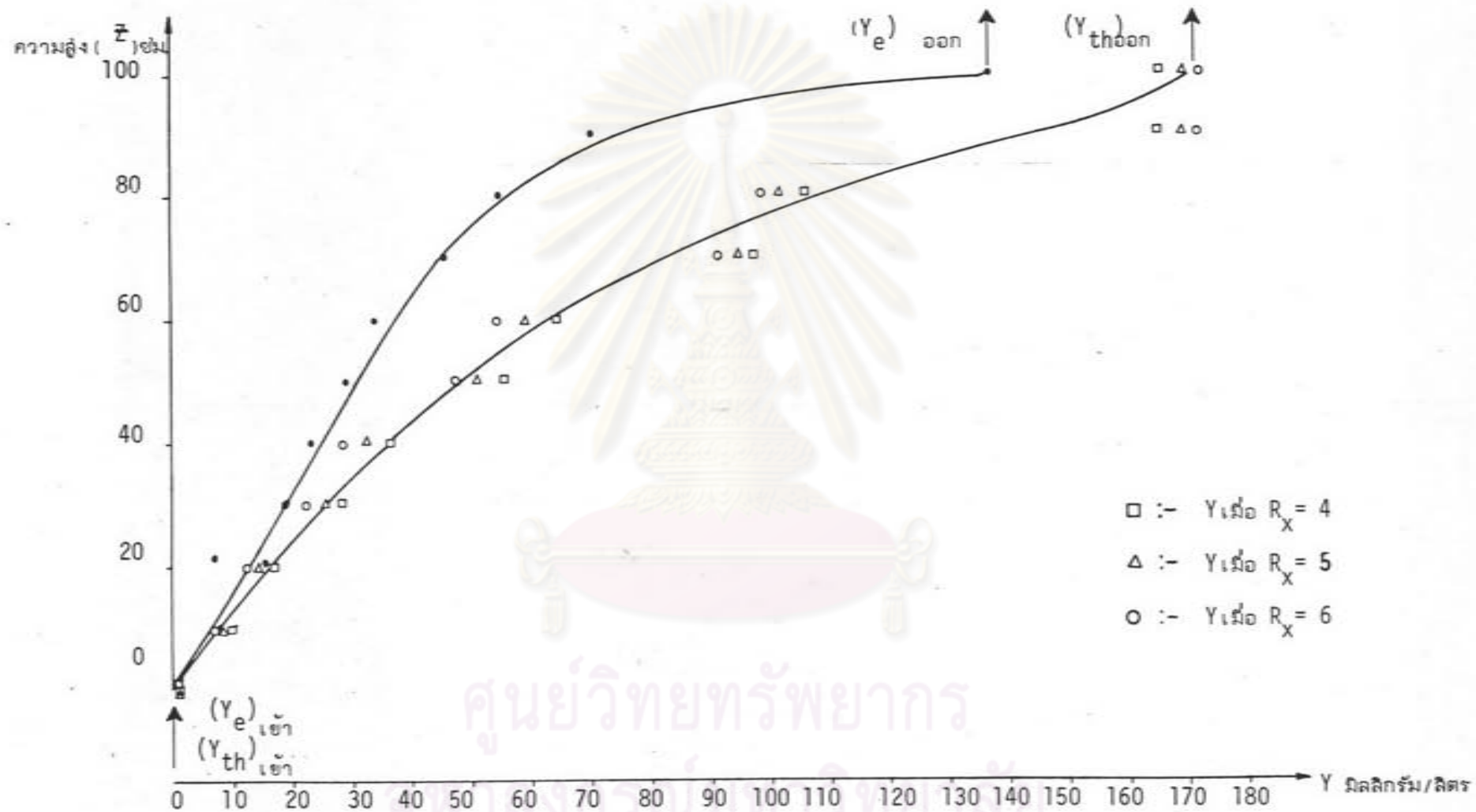
รูปที่ 14.5 การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในน้ำ (X_{th}) กับค่าทดลอง (X_e) ที่ R_x ต่าง ๆ กัน เมื่อ $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 3.0194$



รูปที่ 14.6 การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในน้ำวนกัก (Y_{th}) กับค่าทดลอง (Y_e) ที่ R_x ต่าง ๆ กัน เมื่อ $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม. และ $pe_x = 3.0194$



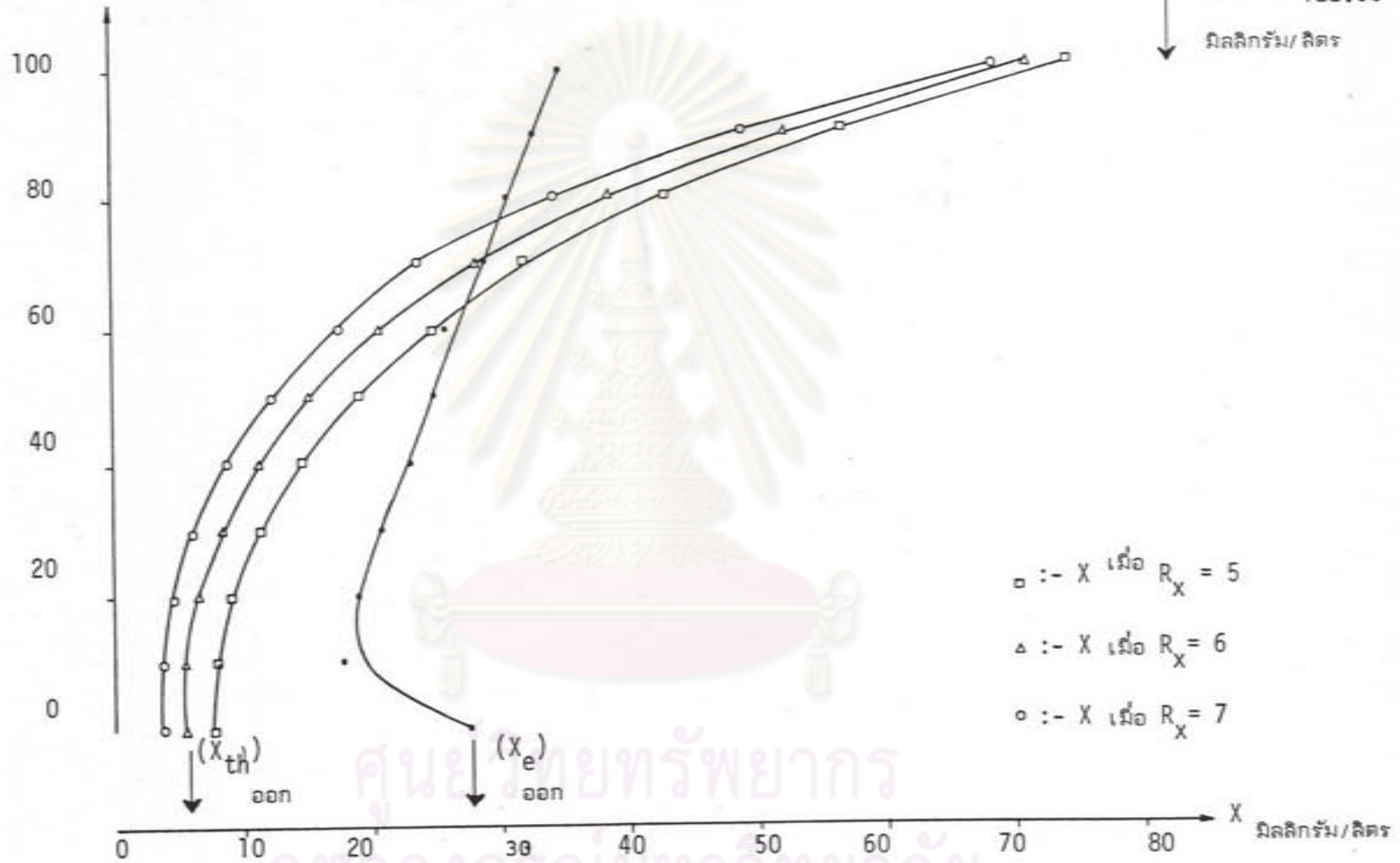
รูปที่ 14.7 การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในน้ำ (X_{th}) กับค่าทดลอง (X_e) ที่ R_x ต่าง ๆ กัน เมื่อ $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 2.9256$



รูปที่ 14.8

การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในน้ำหนักภาค (Y_{th}) และค่าทดลอง (Y_e) ที่ R_x ต่าง ๆ กันเมื่อ $F_x = 15$ ลิตร/ชม. $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 2.9256$

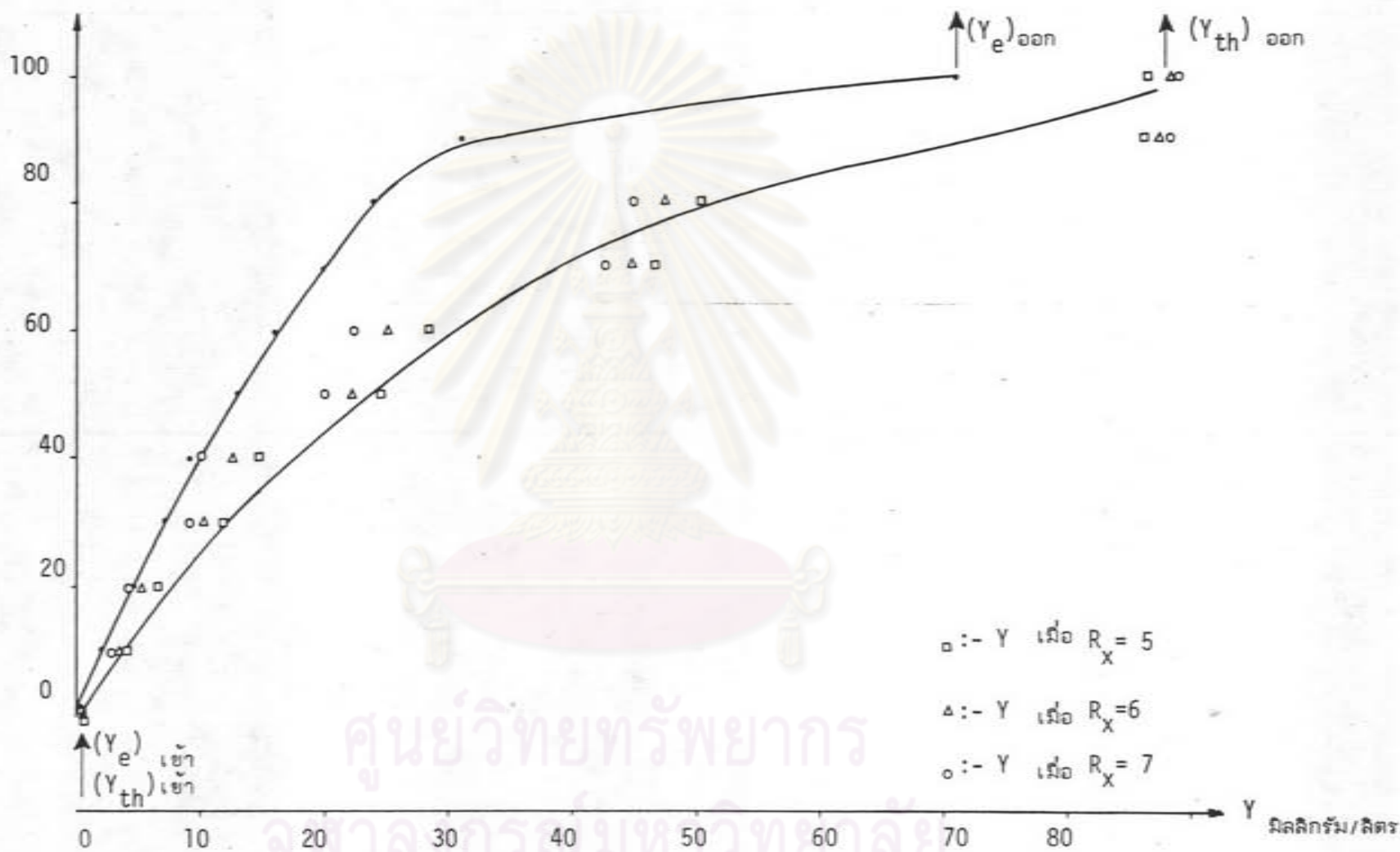
ความสูง (Z) ซม.



รูปที่ 14.9

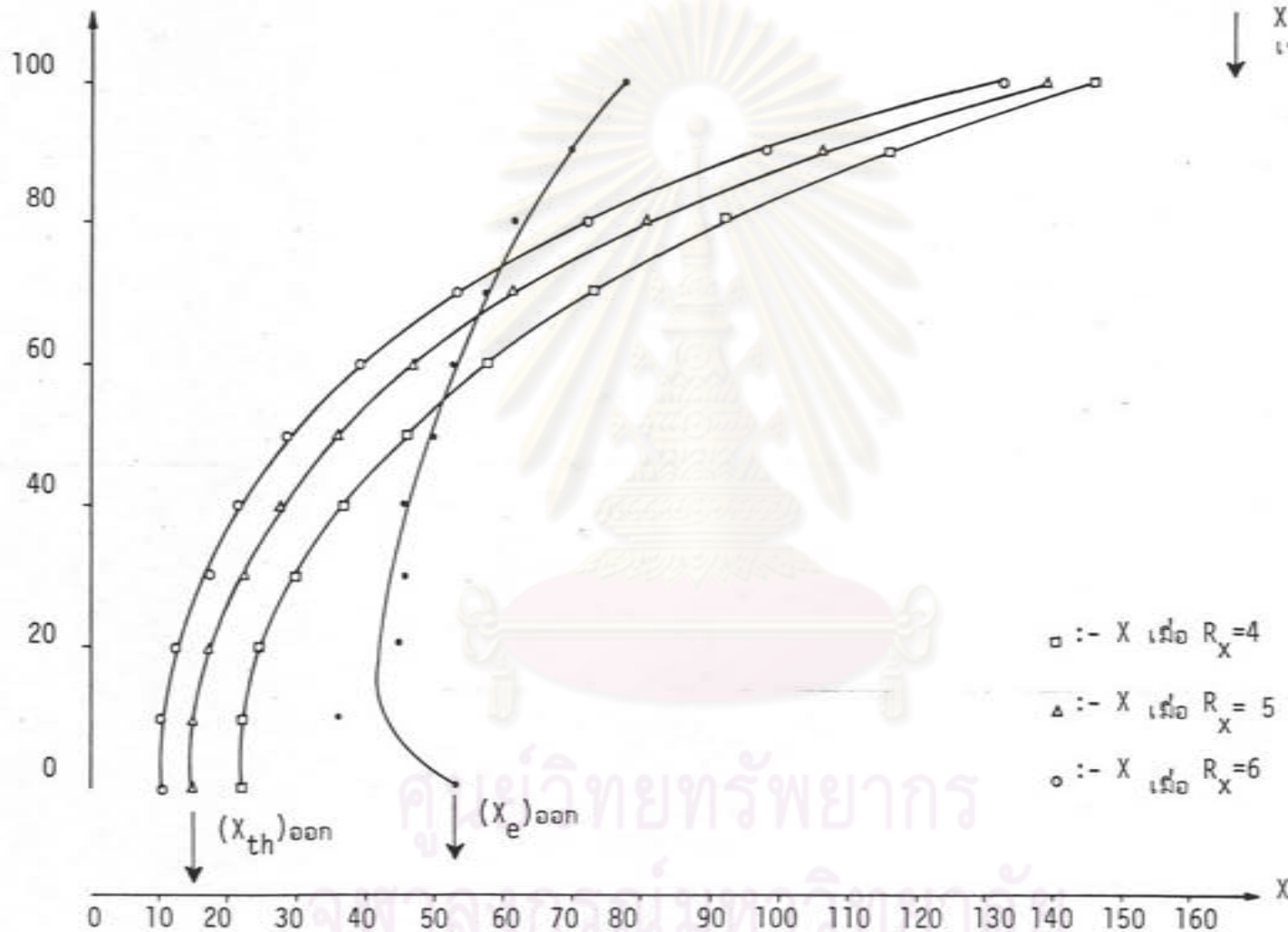
การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในชั้นน้ำ (X_{th}) กับค่าทดลอง (X_e) ที่ R_X ต่าง ๆ กัน
 เมื่อ $F_X = 20$ ลิตร/ชม. $F_Y = 25$ ลิตร/ชม. และ $Pe_X = 3.7116$

ความสูง (Z) ซม.



รูปที่ 14.10 การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนใน น้ำหนักภาค (Y_{th}) กับค่าทดลอง (Y_e) ที่ R_x ต่าง ๆ กัน เมื่อ $F_x = 20$ ลิตร/ชม. $F_y = 25$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 3.7116$

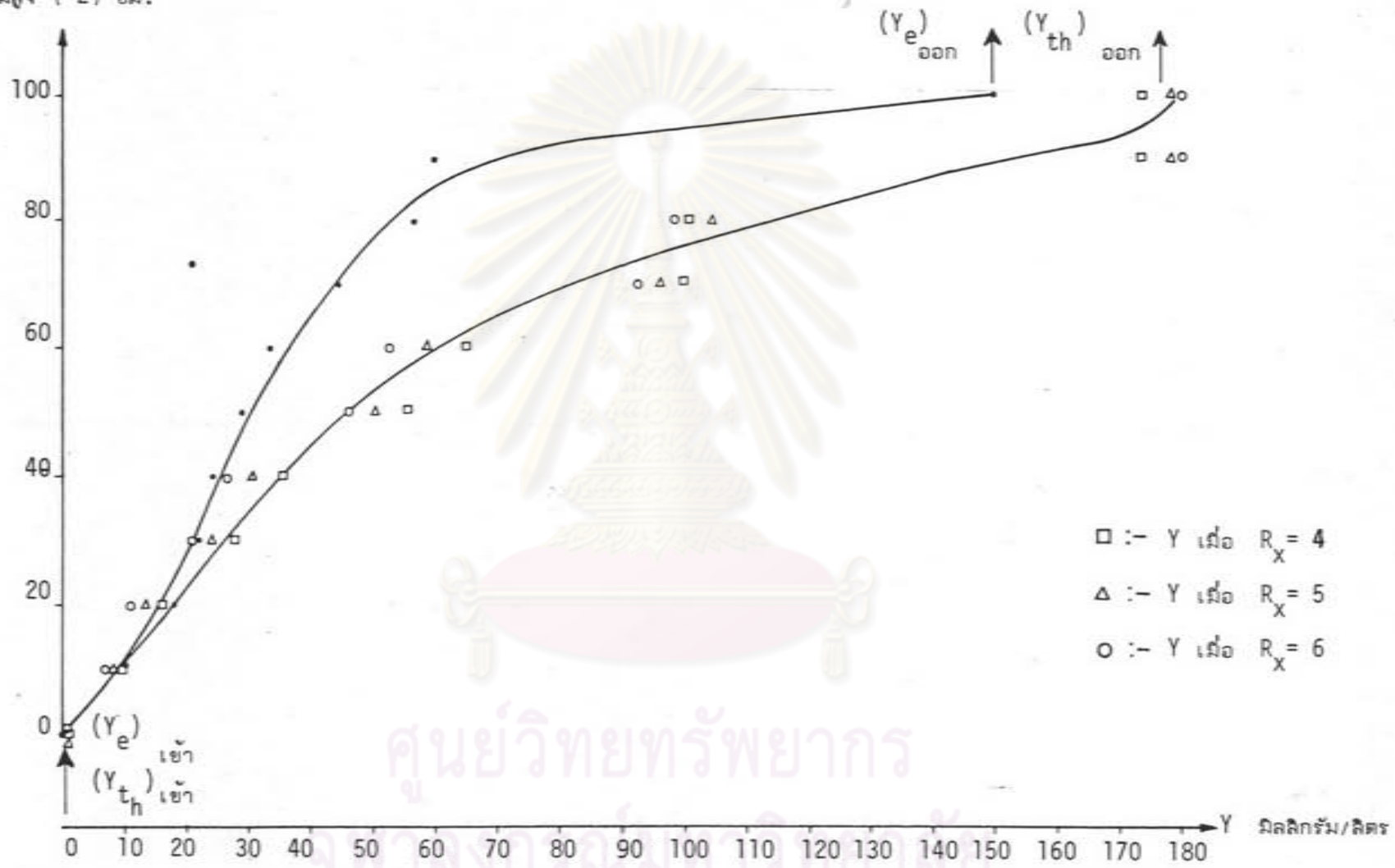
ความสูง (Z) ซม.



รูปที่ 14.11

การเปรียบเทียบระหว่างค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในอินน้ำ (X_{th}) กับค่าทดลอง (X_e) ที่ R_X ต่าง ๆ กันเมื่อ $F_X = 20$ ลิตร/ชม. $F_Y = 22.5$ ลิตร/ชม. และ $Pe_X = 3.7166$

ความสูง (Z) ซม.

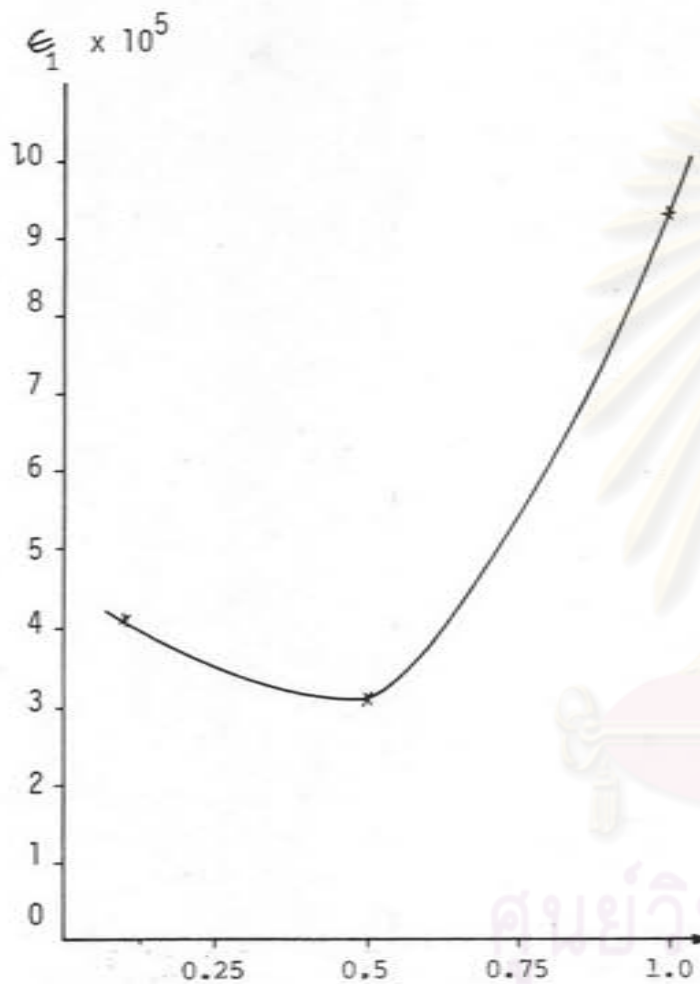


- :- Y เมื่อ $R_x = 4$
- △ :- Y เมื่อ $R_x = 5$
- :- Y เมื่อ $R_x = 6$

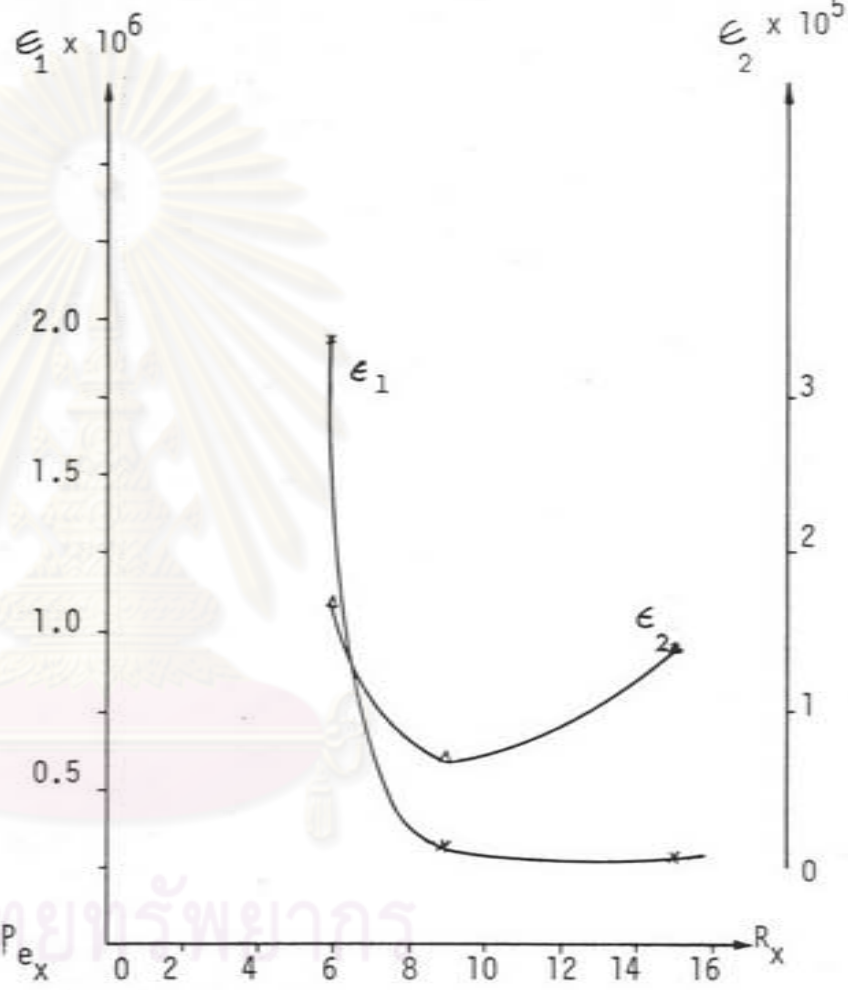
รูปที่ 14.12 การเปรียบเทียบระหว่างค่าแนวความเข้มข้นทางทฤษฎีของไอโอดีนในน้ำหนัก (Y_{th}) กับค่าทดลอง (Y_e) ที่ R_x ต่าง ๆ กัน เมื่อ

$F_x = 20$ ลิตร/ชม. $F_y = 22.5$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 3.7166$

ศูนย์วิทยทรัพยากร

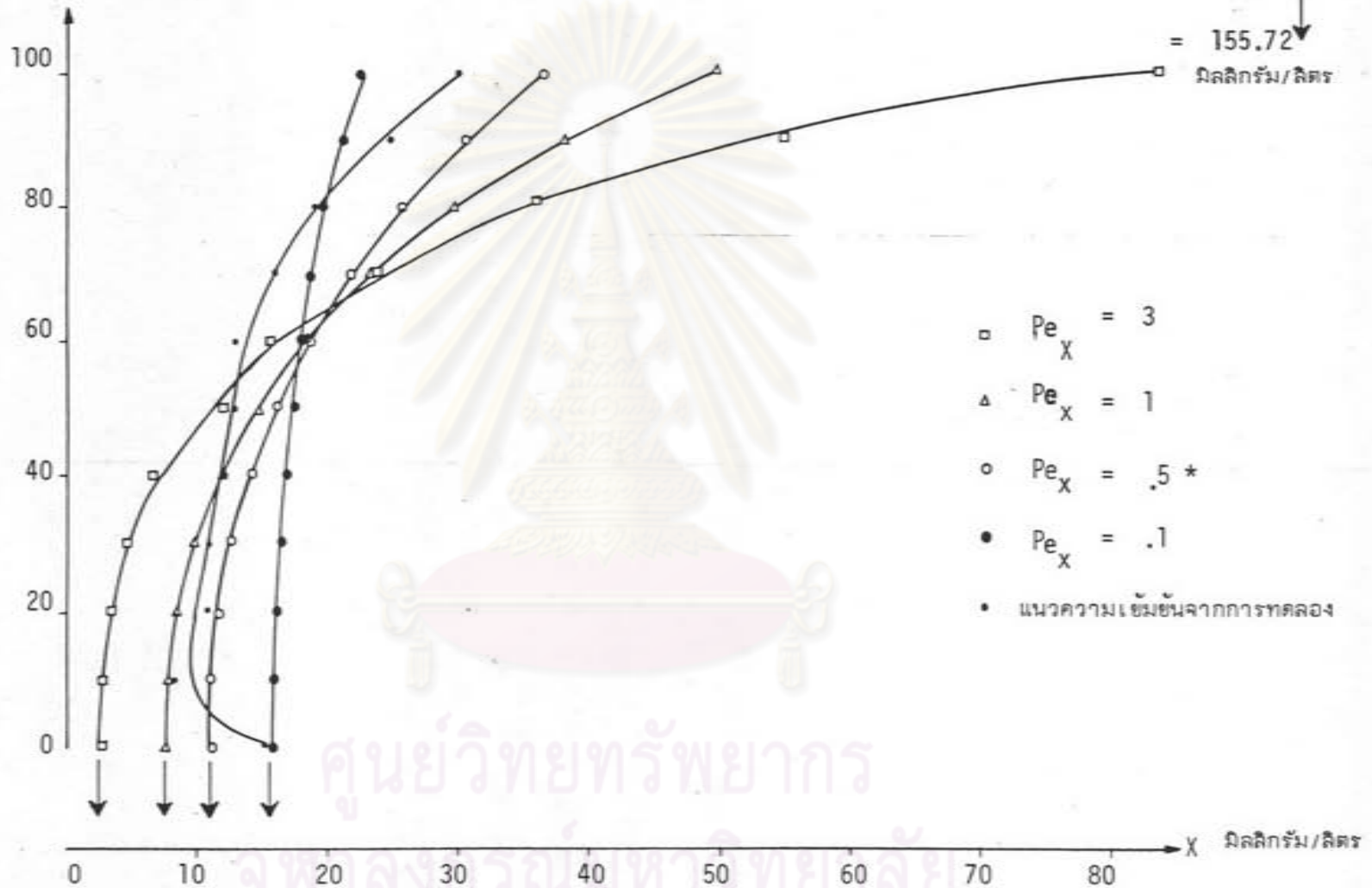


รูปที่ 15.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 กับ Pe_x เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 30$ ลิตร/ชม. และ $R_x = 9$



รูปที่ 15.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ϵ_1 และ ϵ_2 กับ R_x เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 30$ ลิตร/ชม. และ $Pe_x = 0.5$

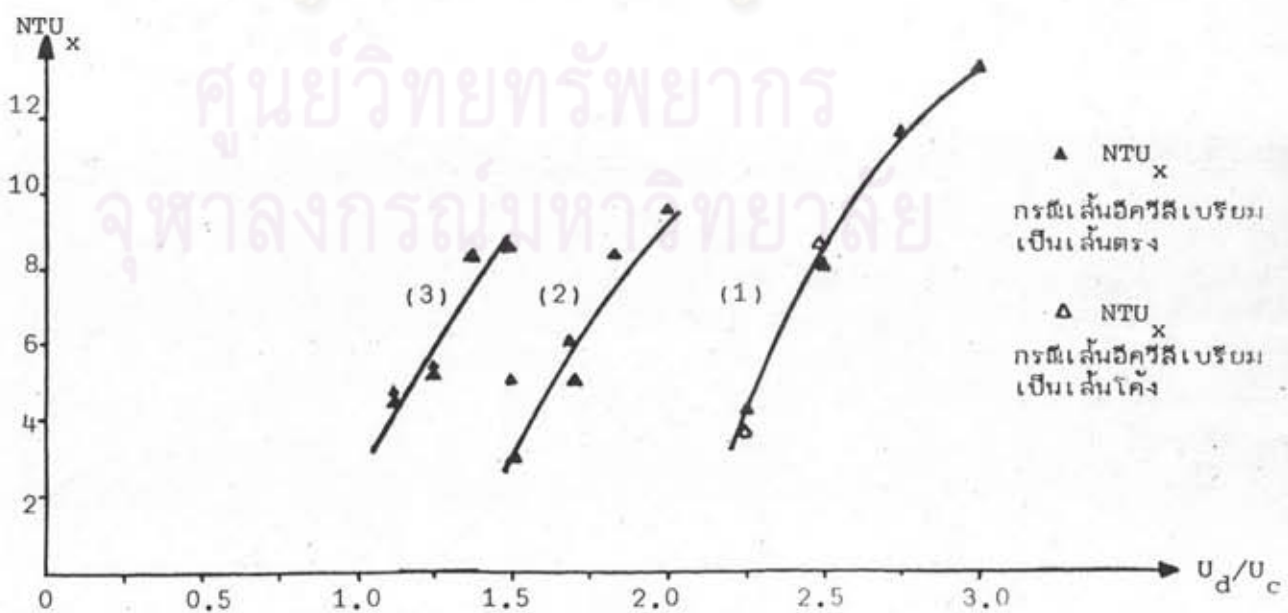
ความสูง (z) ซม.



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบค่าแนวความเข้มข้น ทางทฤษฎีของไอโอดีนในอินน้ำ (X_{th}) กับค่าทดลอง (X_e) ที่ Pe_x ต่าง ๆ กัน
เมื่อ $F_x = 10$ ลิตร/ชม. $F_y = 30$ ลิตร/ชม. และ $R_x = 9$

ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่าง NTU กับอัตราส่วนของอัตราการไหลในเฟสทั้งสอง
กรณีเส้นอีควิวลิเบรียมเป็นเส้นตรงและเส้นโค้ง

	U_c ชม./วินาที	U_d ชม./วินาที	U_d/U_c	NTU _x	
				กรณีเส้นอีควิวลิเบรียม เป็นเส้นตรง	กรณีเส้นอีควิวลิเบรียม เป็นเส้นโค้ง
(1)	0.2210	0.4972	2.25	4.1552	3.6596
		0.5524	2.50	8.0336	8.6429
		0.6076	2.75	11.4016	
		0.6629	3.00	13.0576	
(2)	0.3314	0.4972	1.50	2.8660	5.0769
		0.5524	1.67	5.0022	5.9715
		0.6076	1.83	8.3568	
		0.6629	2.00	9.5212	
(3)	0.4419	0.4972	1.13	4.4681	4.7254
		0.5524	1.25	5.2884	5.4321
		0.6076	1.37	3.3778	
		0.6629	1.50	8.5714	



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่าง NTU กับอัตราส่วนของอัตราการไหลในเฟสทั้งสอง