สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้วิธีการทางสถิติ

การนำวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง สามารถทำได้โดยอาศัยหลักการในลักษณะเดียวกันกับการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ วิธีการดังกล่าวสามารถพยากรณ์โหลดหม้อแปลงได้โดยการป้อนข้อมูลด้านเข้า คือข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟที่ต่ออยู่กับหม้อแปลง ที่ได้จากระบบฐานข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (เครื่อง Micro VAX) ให้แก่แบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ จากนั้นแบบจำลองจะทำการคำนวณและให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าพยากรณ์ที่ต้องการ คือค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor) และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (Power factor at peak load) โดยในวิทยานิพนธ์บทนี้จะกล่าวถึงการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง เริ่มจากการพัฒนาแบบจำลองโดยใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งมีแนวคิดพื้นฐานคือการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต้นที่ป้อนให้แก่แบบจำลองและค่าตัวแปรตามที่ต้องการ จากนั้นจึงนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบใช้งานในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงต่อไป

4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาและทดสอบแบบจำลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาและทดสอบแบบจำลองทางสถิติในหัวข้อนี้ จะใช้ข้อมูลตัวอย่างชุดเดียวกันกับข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนและทดสอบเครือข่ายประสาทในหัวข้อ 3.1 ประกอบด้วยคู่ตัวแปรต้น และตัวแปรตามที่ต้องการหลายๆ คู่ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด และข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากเครื่อง VAX ของหม้อแปลงเครื่องที่ถูกคัดเลือกให้เป็นหม้อแปลงตัวอย่าง จากหม้อแปลงทั้งหมดที่ติดตั้งใช้งานอยู่จริงในแต่ละเขตการไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [2] โดยวิธีการจัดกลุ่มข้อมูลและวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะนำไปใช้เป็นข้อมูลตัวแปรด้านเข้าและตัวแปรด้านออกของแบบจำลอง สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1.1 และ3.1.2

ตัวอย่างผลการจัดกลุ่มและวิเคราะห์ข้อมูลขั้นต้นที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาและทดสอบแบบจำลองทางสถิติที่ได้จากหม้อแปลงตัวอย่าง 24 เครื่องที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในรอบระยะเวลา 1 เดือน เป็นดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 และข้อมูลในลักษณะเดียวกันที่ได้จากหม้อแปลงตัวอย่างที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลางทั้งหมด (144 เครื่อง) ได้แสดงประกอบไว้ในภาคผนวก ก.

4.2 การพัฒนาแบบจำลอง

การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้วิธีการทางสถิติในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้แบบจำลองทางสถิติในการพยากรณ์ตัวแปรด้านออกคือค่าตัวประกอบโหลด (kW load Factor) และค่าตัวประกอบกำลังขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load) จากตัวแปรด้านเข้าที่มีความสัมพันธ์กันคือ ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่ต่ออยู่กับหม้อแปลง และค่าสัดส่วนปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้ของผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัย ในรอบเดือนที่พิจารณา ซึ่งนำมาจากฐานข้อมูลในเครื่อง VAX ของแต่ละเขตการไฟฟ้า โดยการพัฒนาแบบจำลองทางสถิติดังกล่าวจะอาศัยวิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรด้านเข้าและตัวแปรด้านออกที่เก็บเป็นสถิติเอาไว้ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวแปรด้านเข้า
   - ปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงทั้งหมดในแต่ละเดือน (p.u. kWh)
   - สัดส่วนปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟประเภทบ้านพักอาศัย (% household)
2) ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวแปรด้านออก หรือค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ
   - ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor) ตามสมการ (3.3)
   - ค่าตัวประกอบกำลังขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load)

จากตัวอย่างผลการจัดกลุ่มและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นดังแสดงในภาคผนวก ก. นั้น เราสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง โดยในขั้นแรกจะทำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรด้านเข้าและตัวแปรด้านออกต่างๆ อันประกอบด้วย

1) ตัวประกอบโหลด (kW Load factor) และปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงทั้งหมด (p.u. kWh)

2) ตัวประกอบโหลด (kW Load factor) และสัดส่วนปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟประเภทบ้านพักอาศัย (% household)
3) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load) และปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงทั้งหมด (p.u. kWh)
4) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load) และสัดส่วนปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟประเภทบ้านพักอาศัย (% household)

ทั้งนี้การพัฒนาสร้างแบบจำลองตามความสัมพันธ์ทั้ง 4 ลักษณะดังกล่าวยังได้แยกพิจารณาเป็นแบบจำลองย่อยๆ โดยอาศัยการแบ่งกลุ่มข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่าง เพื่อใช้พยากรณ์โหลดหม้อแปลงที่ติดตั้งแยกตามการไฟฟ้าแต่ละเขตของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (12 เขตการไฟฟ้า) โดยแบบจำลองของแต่ละเขตการไฟฟ้ายังแยกออกเป็นแบบจำลองสำหรับหม้อแปลงที่ติดตั้งในเขตเมือง (ในเขตเทศบาล) และแบบจำลองสำหรับหม้อแปลงที่ติดตั้งนอกเขตเมือง (นอกเขตเทศบาล)

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการทางสถิติคือ การปรับเส้นโค้ง (Curve fitting) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) [15,16] เป็นเครื่องมือในการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะให้ผลลัพธ์เป็นสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรด้านเข้า (ตัวแปรต้น : x) กับค่าตัวแปรด้านออก (ตัวแปรตาม : y) ต่างๆ ที่ใช้แสดงลักษณะโหลดของหม้อแปลง จากแบบจำลองที่เป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว เราสามารถนำไปใช้พยากรณ์โหลดของหม้อแปลงได้ โดยนำค่าตัวแปรด้านออกที่คำนวณได้จากสมการไปใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ต้องการต่อไป เช่นเดียวกับการพยากรณ์โดยใช้เครือข่ายประสาทที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4 เช่น การคำนวณค่าโหลดสูงสุดจากค่า kW load factor และค่า P.F. at peak load เป็นต้น

ทั้งนี้จากการที่มีการพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านเข้าและตัวแปรด้านออกเป็นจำนวน 4 รูปแบบ และมีการแบ่งกลุ่มข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองออกเป็นกลุ่มย่อยหลายๆ กลุ่ม เป็นผลทำให้มีแบบจำลองเพื่อใช้ในการพยากรณ์หลายแบบจำลอง ดังนั้นจึงต้องมีการนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์หาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ [17]

4.2.1 การปรับเส้นโค้ง (Curve fitting) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) [15,16]

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านเข้า (ตัวแปรต้น : x) และตัวแปรด้านออก (ตัวแปรตาม : y) มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถนำมาใช้แทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าว ซึ่งทำได้โดยการเก็บข้อมูลที่เป็นคู่ตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม (x,y) หลายๆ คู่

แล้วนำไปสร้างแผนภาพการกระจาย จากแผนภาพการกระจายจะสังเกตเห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง ซึ่งอยู่ในรูปของเส้นโค้งของการประมาณค่าข้อมูล เส้นโค้งนี้เรียกว่าเส้นโค้งประมาณค่า และวิธีการหาเส้นโค้งประมาณค่าที่เหมาะสมเรียกว่าการปรับเส้นโค้ง

ในทางปฏิบัติเส้นโค้งประมาณค่ามีได้หลายรูปแบบตามสมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ เช่น

1) สมการแสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น

$$y = a + bx \tag{4.1}$$

2) สมการแสดงความสัมพันธ์แบบ Polynomial

$$y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \ldots \tag{4.2}$$

3) สมการแสดงความสัมพันธ์แบบ Logarithm

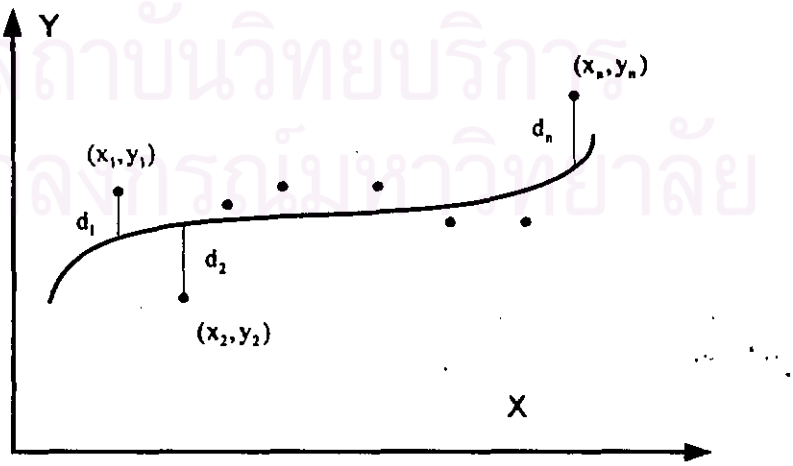
$$y = a + b\ln(x) \tag{4.3}$$

4) สมการแสดงความสัมพันธ์แบบ Exponential

$$y = e^{(a+bx)} \tag{4.4}$$

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) เป็นวิธีการทางสถิติวิธีหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์หาเส้นโค้งประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้เป็นตัวแทนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตามที่พิจารณา โดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป [15,16]

4.2.2 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) [15,16]



รูปที่ 4.1 จุดข้อมูลและเส้นโค้งที่ใช้ในการประมาณค่า

พิจารณารูปที่ 4.1 ซึ่งแสดงจุดข้อมูลคือ $(x_1,y_1),(x_2,y_2),.....,(x_n,y_n)$ และเส้นโค้งที่ใช้ประมาณค่า โดยค่า y ที่หาได้จากการแทนค่าในสมการด้วย x_1 จะมีความแตกต่างกับค่า y_1 ซึ่งแทนความแตกต่างนี้ด้วยค่า d_1 ซึ่งเรียกว่าส่วนเบี่ยงเบน หรือความคลาดเคลื่อน และค่าส่วนเบี่ยงเบนนี้อาจมีค่าเป็นบวก ลบ หรือศูนย์ก็ได้ สำหรับค่า $x_2,x_3,...,x_n$ ก็จะได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนเป็น $d_2,d_3,..,d_n$ เช่นเดียวกัน การใช้เส้นโค้งประมาณค่าตัวแปรตามจากตัวแปรต้นจะมีความเหมาะสมที่สุดเมื่อค่า $d_1^2+d_2^2+d_3^2+.....+d_n^2$ มีค่าต่ำสุด เส้นโค้งที่มีคุณสมบัติเช่นนี้เรียกว่า เส้นโค้งถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด

ถ้าแทนความสัมพันธ์ของ x และ y ด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้น $y=a+bx$ จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเราสามารถหาสัมประสิทธิ์ของสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

จากรูปที่ 4.1 ค่าของตัวแปร y บนเส้นกำลังสองน้อยที่สุดที่สอดคล้องกับ $x_1,x_2,...,x_n$ คือ $a+bx_1,a+bx_2,...,a+bx_n$ ตามลำดับ จะได้ส่วนเบี่ยงเบนคือ

$$d_1=a+bx_1,\ d_2=a+bx_2,...,d_{n1}=a+bx_n \tag{4.5}$$

ผลรวมกำลังสองของส่วนเบี่ยงเบน คือ

$$d_1^2+d_2^2+...+d_n^2=(a+bx_1-y_1)^2+(a+bx_2-y_2)^2+...+(a+bx_n-y_n)^2$$

$$\sum d^2=\sum(a+bx-y)^2$$

$$F(a,b)=(a+bx-y)^2 \tag{4.6}$$

จากนิยามของเส้นกำลังสองน้อยที่สุด ต้องทำให้ $\sum d^2$ มีค่าต่ำที่สุด จะได้ $\frac{\partial F}{\partial a}=0$ และ $\frac{\partial F}{\partial b}=0$

$$\frac{\partial F}{\partial a}=\sum\frac{\partial}{\partial a}(a+bx-y)^2=\sum 2(a+bx-y) \tag{4.7}$$

$$\frac{\partial F}{\partial b}=\sum\frac{\partial}{\partial b}(a+bx-y)^2=\sum 2x(a+bx-y) \tag{4.8}$$

จัดรูปสมการ (4.7) และ (4.8) แล้วให้เท่ากับ 0 จะได้สมการดังนี้

$$\sum y = an + b\sum x \tag{4.9}$$

$$\sum xy = a\sum x + b\sum x^2 \tag{4.10}$$

สมการที่ (4.9) และ (4.10) เป็นความสัมพันธ์ที่ใช้ในการหาเส้นกำลังสองน้อยที่สุด โดยสามารถหาค่า a และ b ได้ดังนี้

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2)-(\sum x)(\sum xy)}{n\sum x^2-(\sum x)^2} \tag{4.11}$$

$$b = \frac{n\sum xy-(\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2-(\sum x)^2} = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2} \tag{4.12}$$

จากสมการ (4.11) และ (4.12) นำค่า a และ b ไปแทนค่าในสมการ $y = a + bx$ ก็จะได้ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของการวิเคราะห์การถดถอย

ถ้าแทนความสัมพันธ์ของ x และ y ด้วยความสัมพันธ์แบบ Polynomial ดีกรีสอง $y = a + bx + cx^2$ หรือเรียกว่าความสัมพันธ์แบบพาราโบลา จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเราสามารถหาสัมประสิทธิ์ของสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

จากรูปที่ 4.1 ค่าของ y บนพาราโบลากำลังสองน้อยที่สุดที่สอดคล้องกับค่าตัวแปรด้านเข้า $x_1, x_2, ..., x_n$ คือ

$$y = a + bx_1 + cx_1^2, a + bx_2 + cx_2^2, ..., a + bx_n + cx_n^2 \tag{4.13}$$

จะได้ส่วนเบี่ยงเบนคือ

$$d_1 = a + bx_1 + cx_1^2 - y_1 \ , \ d_2 = a + bx_2 + cx_2^2 - y_2 \ , \ \dots \ , \ d_n = a + bx_n + cx_n^2 - y_n \tag{4.14}$$

ได้ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนกำลังสอง คือ

$$\sum d^2 = \sum (a + bx + cx^2 - y)^2$$

$$F(a,b,c) = \sum (a + bx + cx^2 - y)^2 \qquad (4.15)$$

ค่าต่ำสุดของฟังก์ชันในสมการ (4.15) หาได้จากการกำหนดให้ $\frac{\partial F}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial b} = 0, \quad \frac{\partial F}{\partial c} = 0$ จะได้

$$\frac{\partial F}{\partial a} = \sum \frac{\partial}{\partial a}(a + bx + cx^2 - y)^2 = \sum 2(a + bx + cx^2 - y) \qquad (4.16)$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = \sum \frac{\partial}{\partial b}(a + bx + cx^2 - y)^2 = \sum 2x(a + bx + cx^2 - y) \qquad (4.17)$$

$$\frac{\partial F}{\partial c} = \sum \frac{\partial}{\partial c}(a + bx + cx^2 - y)^2 = \sum 2x^2(a + bx + cx^2 - y) \qquad (4.18)$$

จัดรูปสมการ (4.16) ถึง (4.18) แล้วให้เท่ากับ 0 จะได้สมการดังนี้

$$\sum y = na + b\sum x + c\sum x^2 \qquad (4.19)$$

$$\sum xy = a\sum x + b\sum x^2 + c\sum x^3 \qquad (4.20)$$

$$\sum x^2 y = a\sum x^2 + b\sum x^3 + c\sum x^4 \qquad (4.21)$$

สมการ (4.19) ถึง (4.21) เป็นสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาพาราโบลากำลังสองน้อยสุดโดยคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ a,b และ c แล้วนำกลับไปแทนในสมการ $y = a + bx + cx^2$ ก็จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์แบบ Polynomial ดีกรีสอง ของการวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยในกรณีที่ต้องการใช้สมการแสดงความสัมพันธ์แบบอื่นๆ สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกันกับ สมการเชิงเส้น และสมการ Polynomial ดีกรีสอง ที่ได้กล่าวไปแล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้น และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ [17]

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้น (r) หมายถึงสัมประสิทธิ์แสดงสหสัมพันธ์ระหว่างค่าของตัวแปรตาม y และค่าของตัวแปรตามที่ได้จากการพยากรณ์ (y_{est}) ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้บอกว่าเส้นโค้งถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดถูกปรับให้เข้ากับชุดข้อมูลตัวอย่างได้ดีอย่างไร ซึ่งมีค่าได้ตั้งแต่ –1 ถึง 1 ถ้า r มีค่ามากแสดงว่าค่าตัวแปรตามที่ได้จากการพยากรณ์มีค่าใกล้เคียงกับค่าตัวแปรตามจริงมาก ถ้า r เป็นบวก แสดงว่า y มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ x (ความชันของเส้นกำลังสองน้อยที่สุดเป็นบวก) ขณะที่ถ้า r เป็นลบ แสดงว่า y มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับค่า x (ความชันเป็นลบ) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังกล่าวมีนิยามดังสมการ

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})\sum(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2}\sqrt{\sum(y-\bar{y})^2}} = \frac{n\sum xy - \sum x\sum y}{\sqrt{\left[n\sum x^2-(\sum x)^2\right]}\sqrt{\left[n\sum y^2-(\sum y)^2\right]}} \qquad (4.22)$$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) คือขนาดของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในตัวแปรตามที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรต้น ค่า r^2 จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าค่า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 มากเท่าใดแสดงว่าตัวแปรต้นสามารถใช้พยากรณ์ตัวแปรตามได้ดีมากเท่านั้น ค่า r^2 นี้เป็นค่าที่นำไปใช้ในการตัดสินใจว่าแบบจำลองแต่ละแบบที่พัฒนาขึ้น สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ค่าตัวแปรด้านออกที่ต้องการจากตัวแปรด้านเข้าได้ดีมากน้อยเพียงใด

$$r^2 = \frac{\sum(y_{est}-\bar{y})^2}{\sum(y-\bar{y})^2} = \frac{Explained\ Variation}{Total\ Variation} \qquad (4.23)$$

โดยที่ y_{est} คือค่าพยากรณ์

$\bar{y}$ คือค่าเฉลี่ยของค่าจริงที่ได้จากการวัด

y คือค่าจริงที่ได้จากการวัด

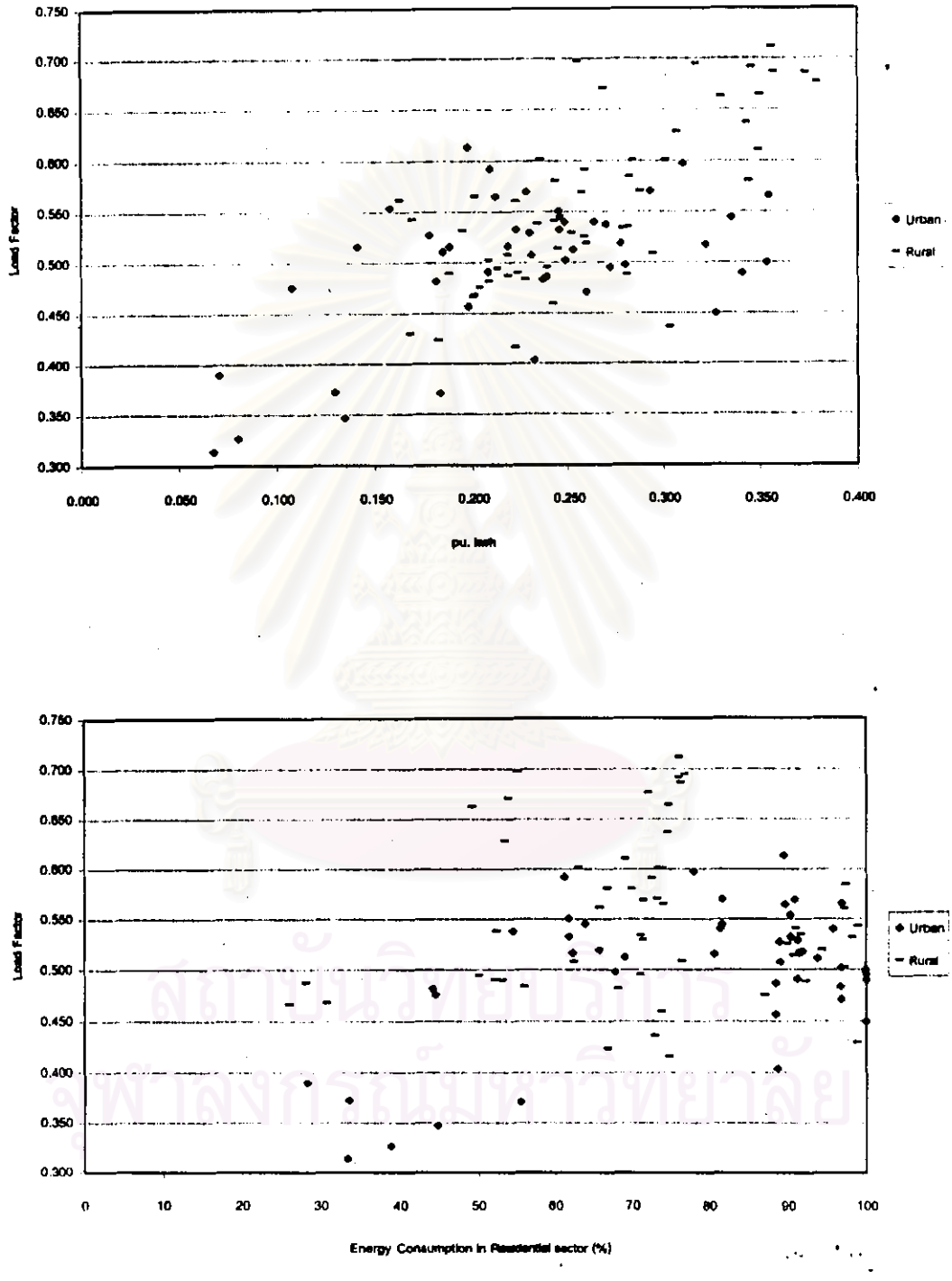
4.2.4 การกระจายของข้อมูล

ในขั้นต้นผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาลักษณะการกระจายของข้อมูลที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ทั้ง 4 รูปแบบดังที่กล่าวไว้ข้างต้น โดยอาศัยข้อมูลที่ผ่านการวิเคราะห์ดังแสดงตัวอย่างในภาคผนวก ก. ลักษณะการกระจายของข้อมูลของความสัมพันธ์ทั้ง 4 รูปแบบ จากหม้อแปลงตัวอย่างซึ่งแบ่งตามตำแหน่งที่ตั้งคือ ในเขตเมือง (Urban) และนอกเขตเมือง (Rural) สำหรับการไฟฟ้าเขตภาคกลางอันประกอบด้วย กฟก.1 กฟก.2 และ กฟก.3 นั้น ได้นำแสดงไว้ในรูปที่ 4.2-4.7 ตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตภาพโดยรวมได้ว่าค่า kW Load factor นั้นมีการกระจายค่อนข้างสูงกว่าค่า P.F. at peak load โดยค่า kW Load factor ส่วนใหญ่จะมีการกระจายอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.4-0.7 ส่วนค่า P.F. at peal load จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.7-0.9 เป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้ลักษณะการกระจายของข้อมูลดังกล่าวโดยส่วนมากแล้วจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันคือ

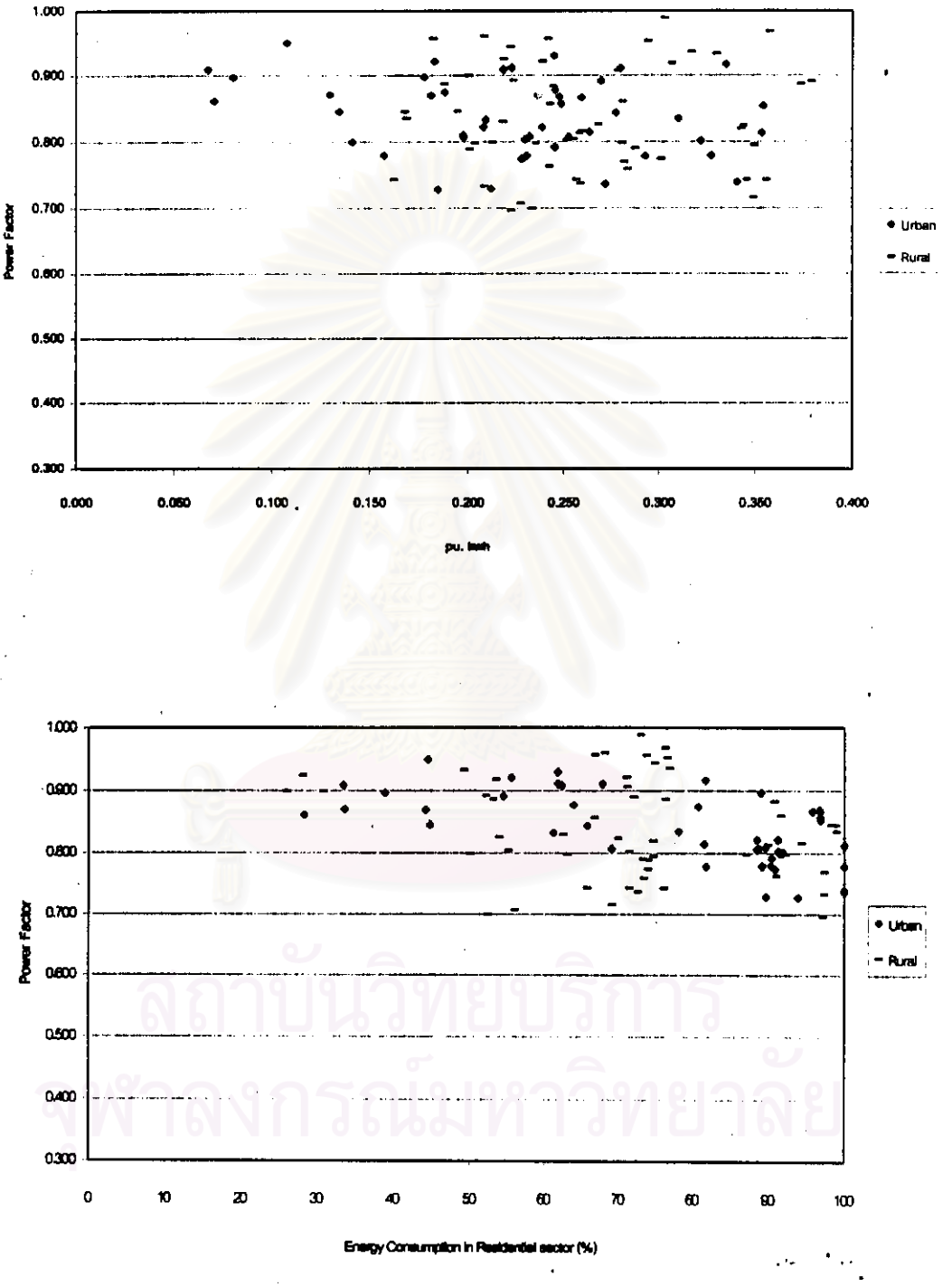
1) ค่า kW Load factor มีแนวโน้มที่จะมีค่าที่สูงขึ้นหรือไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง
2) ค่า kW Load factor มีแนวโน้มที่จะมีค่าที่ต่ำลงหรือไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยเพิ่มมากขึ้น
3) ค่า P.F. at peak load ไม่แปรตามปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าหรือสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยมากนัก หากแต่มีการกระจายตัวอยู่ในช่วง 0.7-0.9 เป็นส่วนใหญ่

จากลักษณะการกระจายของข้อมูลดังกล่าวเราจะนำไปกำหนดหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ในหัวข้อถัดไป

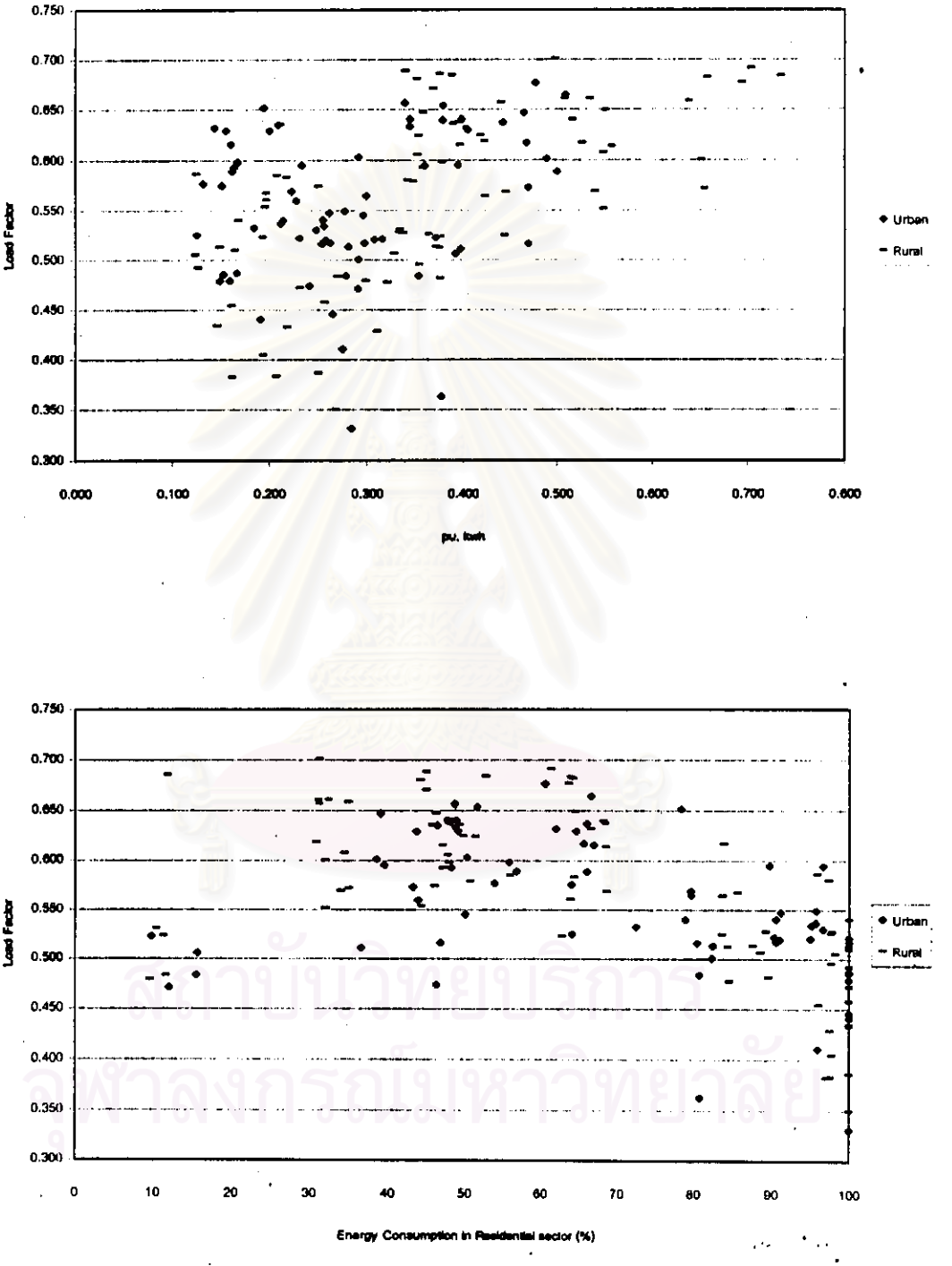
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า kW Load factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.1

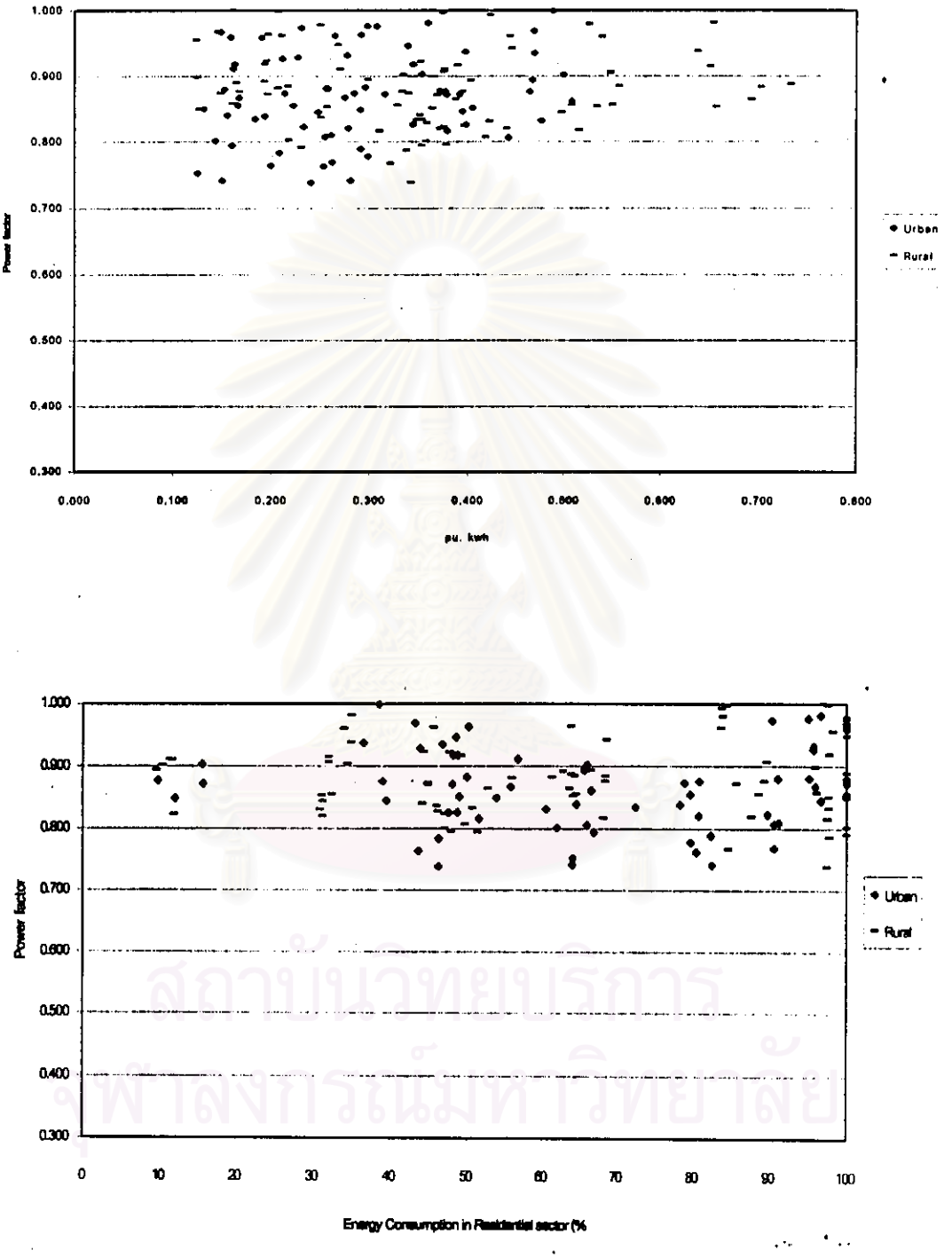


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.1

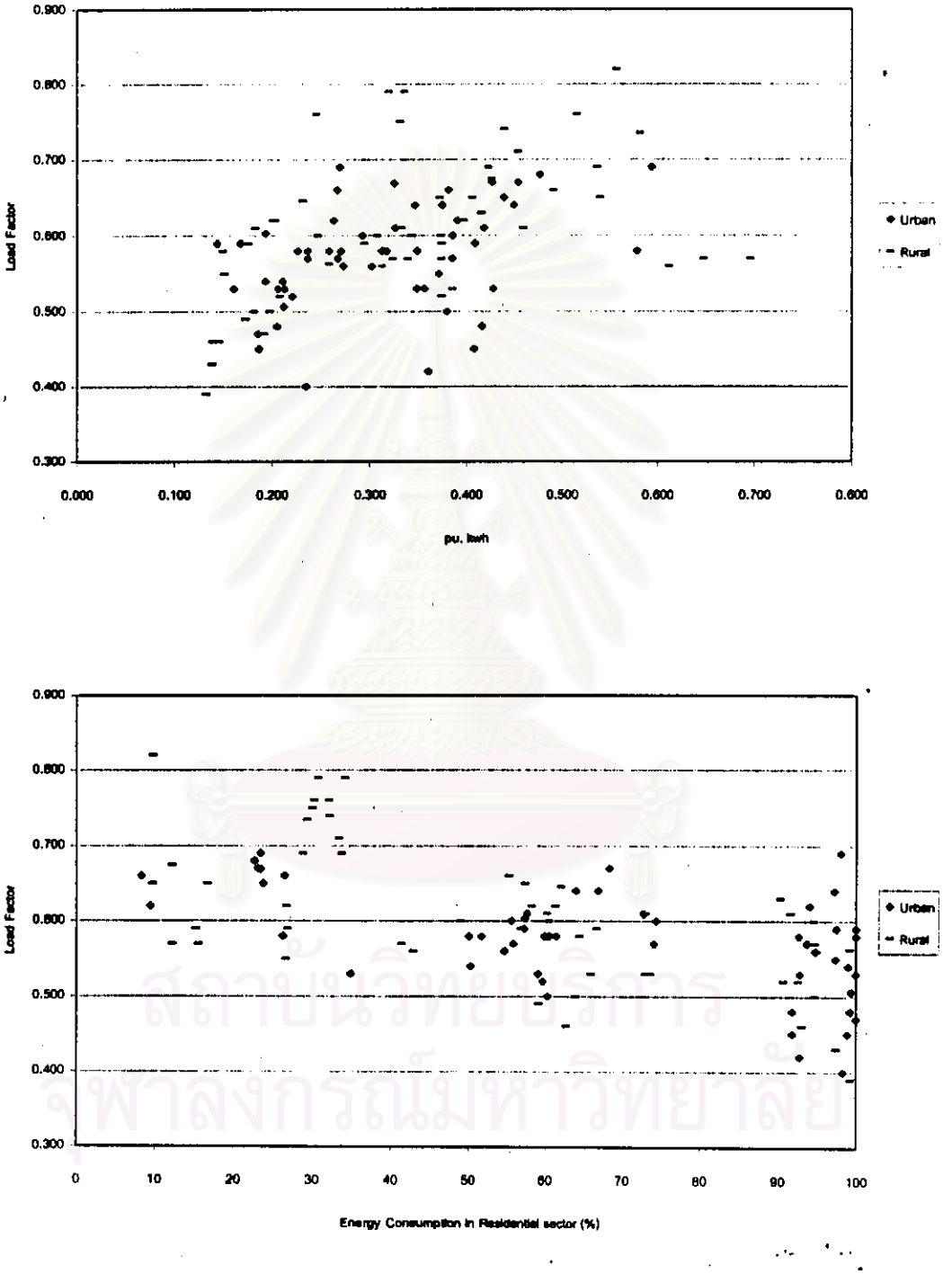


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า kW Load factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.2

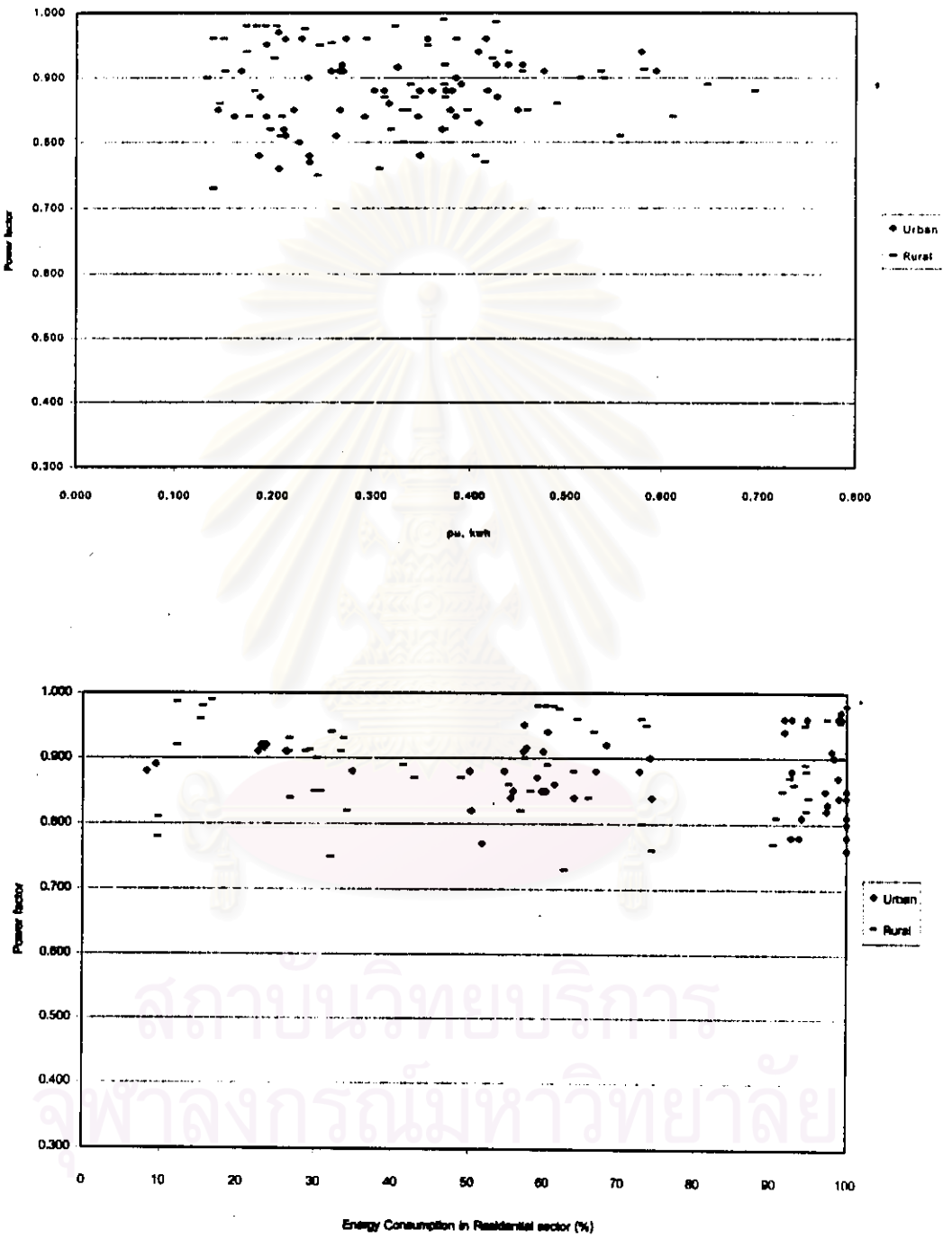
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.2



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า kW Load factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.3



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power factor และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเขต กฟก.3

4.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะนำข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่ผ่านการคัดเลือกทั้งหมดมาใช้ในการพิจารณาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยจะนำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 4 รูปแบบคือ

1) ตัวประกอบโหลด (kW Load factor : y) และปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงทั้งหมดในแต่ละเดือน (p.u. kWh : x)
2) ตัวประกอบโหลด (kW Load factor : y) และค่าสัดส่วนปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟประเภทบ้านพักอาศัย (% household : x)
3) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load : y) และปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงทั้งหมดในแต่ละเดือน (p.u. kWh : x)
4) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load : y) และค่าสัดส่วนปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย (% household : x)

ในขั้นต้นได้พิจารณานำสมการชนิดไม่เป็นเชิงเส้นมาใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x และตัวแปร y โดยได้ทดลองนำสมการ Polynomial ดีกรีสอง $y = ax^2+bx+c$ และสมการ Logarithm $y = a\ \ln(x)+b$ (a, b และ c คือสัมประสิทธิ์ของตัวแปร) มาพิจารณาถึงความเหมาะสมสำหรับการเลือกใช้ โดยเริ่มจากการทดลองทำการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ของสมการทั้งสองแบบในการนำไปใช้แทนความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 4 รูปแบบข้างต้น โดยใช้ข้อมูลรวมทุกเดือนที่เป็นผลมาจากการตรวจวิเคราะห์ของการไฟฟ้าตัวอย่างดังแสดงไว้ในหัวข้อ 3.1 จากผลการตรวจสอบผลที่ได้จากการทำการวิเคราะห์การถดถอยพบว่าสมการ $y = ax^2+bx+c$ ให้ผลการจำลองที่ดีกว่าในทุกรูปแบบความสัมพันธ์ โดยการพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณและพิจารณาตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.3 โดยผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสมการ $y = ax^2+bx+c$ ให้ค่า r^2 ที่ดีกว่าสมการ $y = a\ \ln(x)+b$ ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะนำไปใช้เป็นแบบจำลองในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงในวิทยานิพนธ์นี้จึงจะอาศัยสมการในลักษณะดังกล่าวเป็นตัวแทน

4.2.6 แบบจำลองสำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลงแยกตามสถานที่ติดตั้งในและนอกเขตเมือง

จากหลักการที่นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.2.5 เราสามารถทำการวิเคราะห์และจัดสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าตัวแปรตาม 2 ค่า คือตัวประกอบโหลด (kW Load Factor) และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load) โดยแบ่งข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองออกเป็นข้อมูลจากหม้อแปลงตัวอย่างที่ตั้งอยู่ในเขตเมืองและเขตนอกเมือง ทั้งนี้ในการพยากรณ์ค่าตัวแปรทั้งสองดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาแบบจำลองตามตัวแปรป้อนเข้าสองประเภทคือ อัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างผู้ใช้ประเภทบ้านอยู่อาศัยเทียบกับผู้ใช้ทุกประเภทโดยรวมของหม้อแปลงเครื่องที่พิจารณา (% household) และค่าปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟที่รับไฟฟ้าจากหม้อแปลงแต่ละเครื่องเทียบกับขนาดของหม้อแปลงเครื่องนั้นๆ (p.u. kWh) ตัวอย่างผลการวิเคราะห์การถดถอยสำหรับเขต กฟก.1 ได้นำเสนอไว้ในรูปที่ 4.8-4.11 สำหรับเขต กฟก.2 นำเสนอไว้ในรูปที่ 4.12-4.15 และสำหรับเขต กฟก.3 ได้นำเสนอไว้ในรูปที่ 4.16-4.19 โดยผลการวิเคราะห์สำหรับการไฟฟ้าเขตอื่นๆ ได้นำแสดงประกอบไว้ในภาคผนวก ข.

จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.8-4.19 รวมทั้งจากผลการวิเคราะห์ของเขตการไฟฟ้าอื่นๆ ดังตัวอย่างที่แสดงประกอบไว้ในภาคผนวก ข. นั้น ชี้ให้เห็นว่าเส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ที่ใช้พยากรณ์ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor) ระหว่างหม้อแปลงที่ตั้งอยู่ในเขตเมือง และนอกเขตเมืองค่อนข้างแยกออกจากกันอย่างเด่นชัด ส่วนค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load) ไม่มีความแตกต่างในเรื่องสถานที่ตั้ง ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวจึงสามารถกำหนดแนวทางการพัฒนาแบบจำลอง เพื่อใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงได้ดังนี้

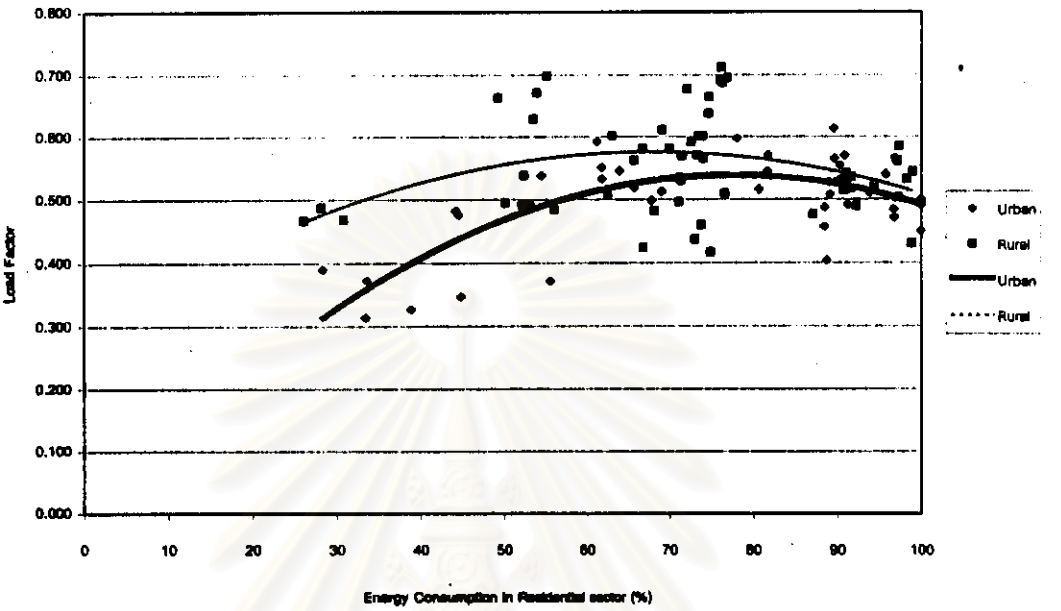
1) แบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ค่า kW Load factor จะแบ่งแยกออกตามสถานที่ตั้งของหม้อแปลงคือ ในเขตเมือง และนอกเขตเมือง
2) แบบจำลองสำหรับที่ใช้ในการพยากรณ์ค่า P.F. at peak load ของหม้อแปลงที่ตั้งอยู่ทั้งในและนอกเขตเมือง จะใช้แบบจำลองเดียวกันคือแบบจำลองเฉลี่ย

ผลการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทุกการไฟฟ้าเขต ซึ่งแสดงอยู่ในรูปของสมการ $y = ax^2+bx+c$ สำหรับใช้ในการพยากรณ์ค่าตัวแปร kW Load factor และ P.F. at peak load จากค่าตัวแปรด้านเข้า คือค่า p.u. kWh และค่าสัดส่วนการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household) แบ่งตามสถานที่ติดตั้งหม้อแปลง ได้นำแสดงไว้ในตารางที่ 4.1-4.4

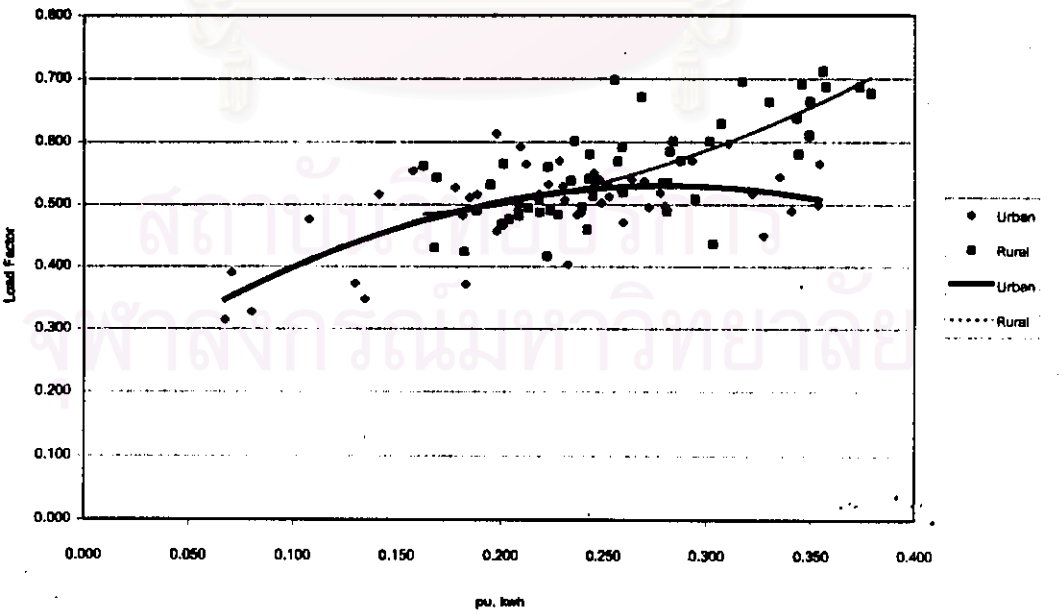
4.2.7 แบบจำลองสำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลงเฉลี่ย

แม้ว่าการพัฒนาแบบจำลองดังที่นำเสนอในหัวข้อที่ 4.2.6 นั้น แสดงให้เห็นว่าเราสามารถแยกแบบจำลองในการพยากรณ์ค่า kW Load factor ระหว่างหม้อแปลงที่อยู่ในเขตเมืองและเขตนอกเมืองได้อย่างชัดเจน (ตารางที่ 4.1 และ 4.2) แต่จากการศึกษาพบว่าการนำแบบจำลองเหล่านี้ไปใช้งานมีความไม่สะดวกในทางปฏิบัติ [2-4] ทั้งนี้เนื่องจากฐานข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้าจากเครื่อง VAX ซึ่งจำเป็นต้องใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าสู่แบบจำลองนั้น ไม่มีการแยกประเภทหม้อแปลงไฟฟ้าว่าเครื่องใดจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ในเขตเมืองหรือนอกเขตเมือง ด้วยเหตุดังกล่าวแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจึงไม่สามารถแบ่งแยกตามพื้นที่ทั้งในหรือนอกเขตเมืองได้ ดังนั้นจึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลองเฉลี่ยขึ้น โดยนำข้อมูลของหม้อแปลงทั้งในและนอกเขตเมืองมาพิจารณาวิเคราะห์การถดถอยร่วมกัน เพื่อคำนวณหาแบบจำลองในการพยากรณ์ค่า kW Load factor โดยเฉลี่ย สำหรับแต่ละการไฟฟ้าเขต โดยอาศัยหลักการในการหาสมการคำนวณทางคณิตศาสตร์เช่นเดียวกันกับแนวทางที่นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.2.5 และ 4.2.6 หากแต่ไม่มีการแบ่งแยกข้อมูลสำหรับเขตในเมืองหรือเขตนอกเมือง ผลจากการคำนวณโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์การถดถอยในการหาแบบจำลองเฉลี่ยสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

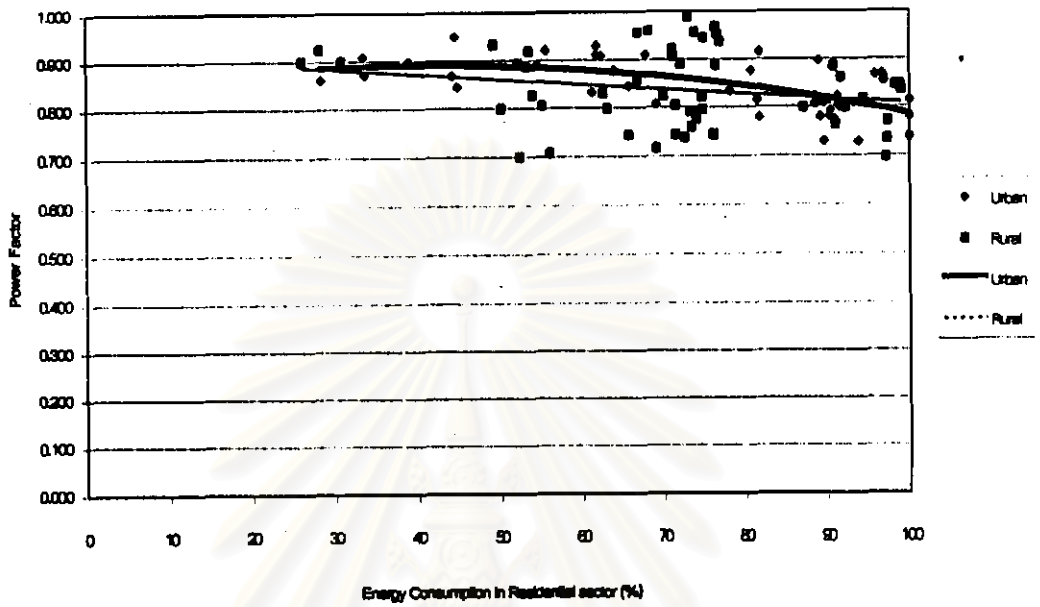
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



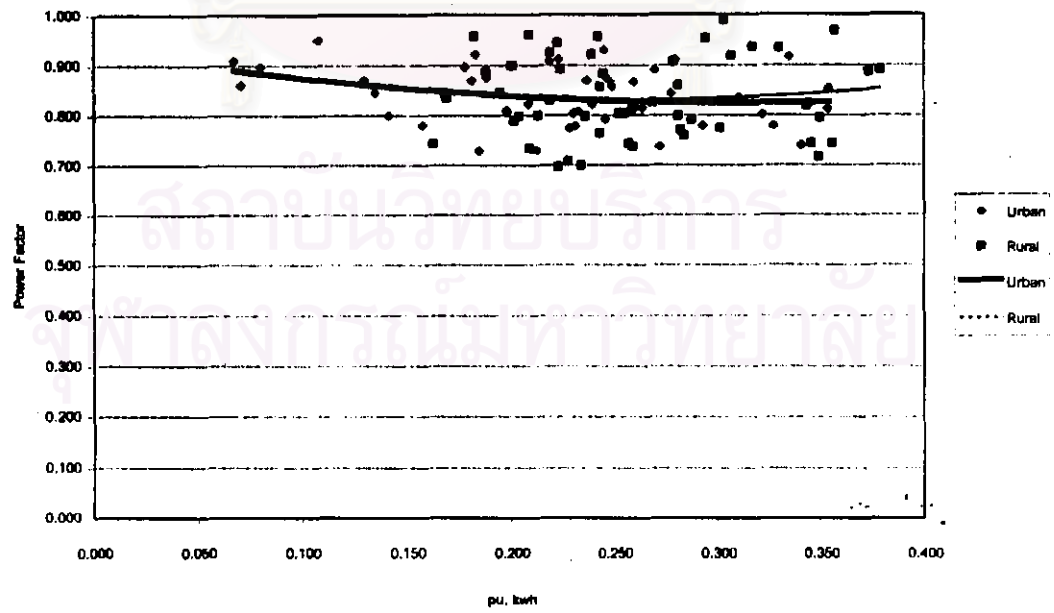
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด
และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.1



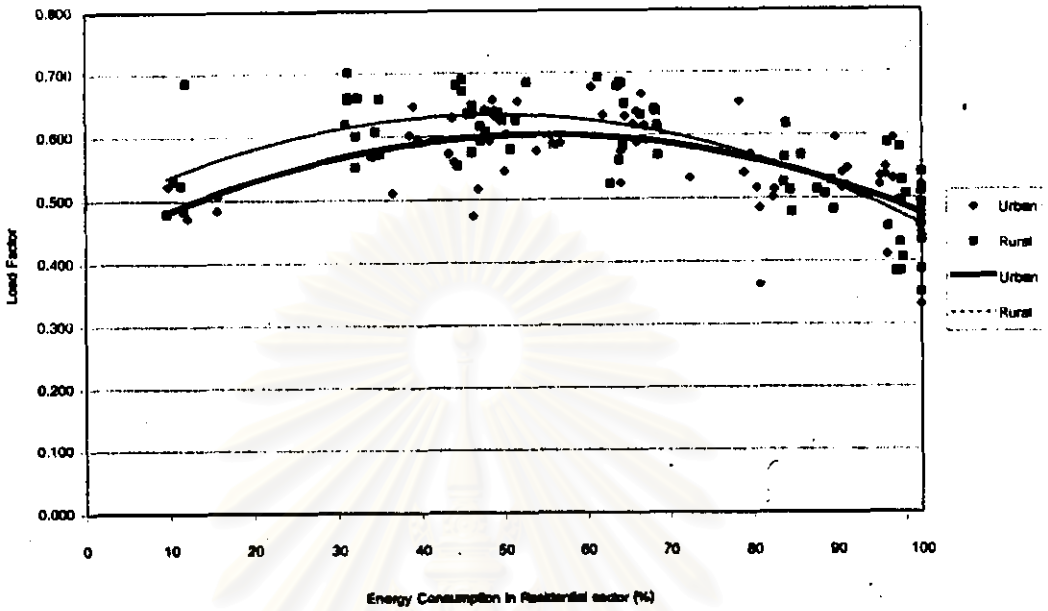
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด
และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขตกฟก.1



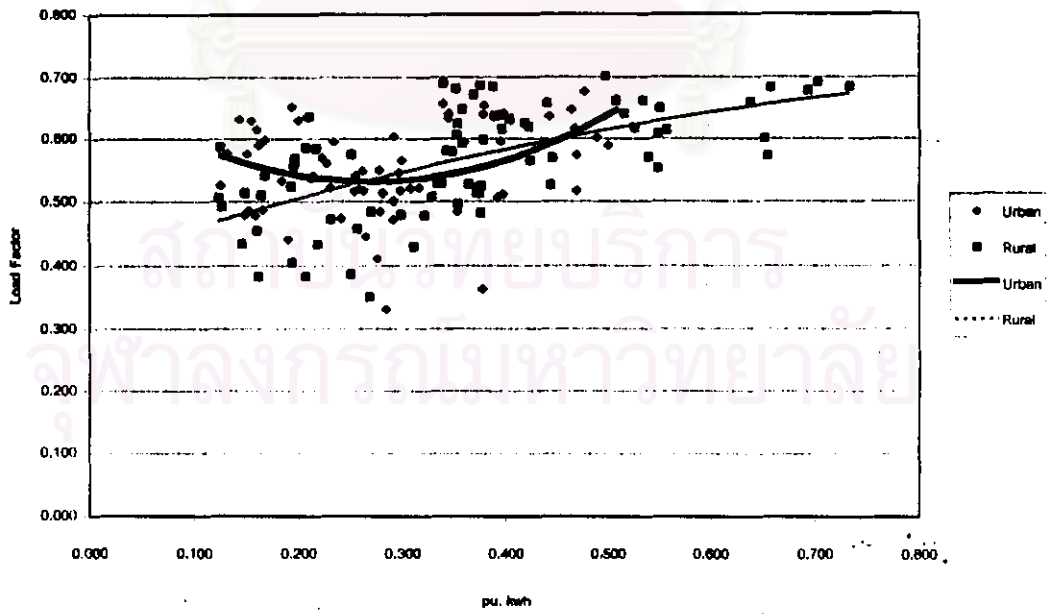
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.1



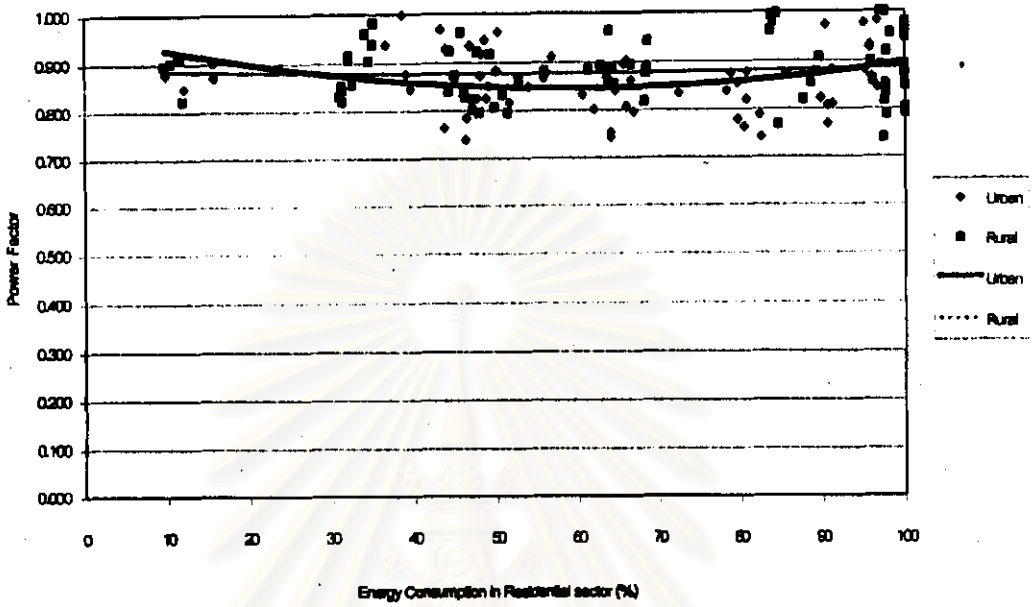
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.1



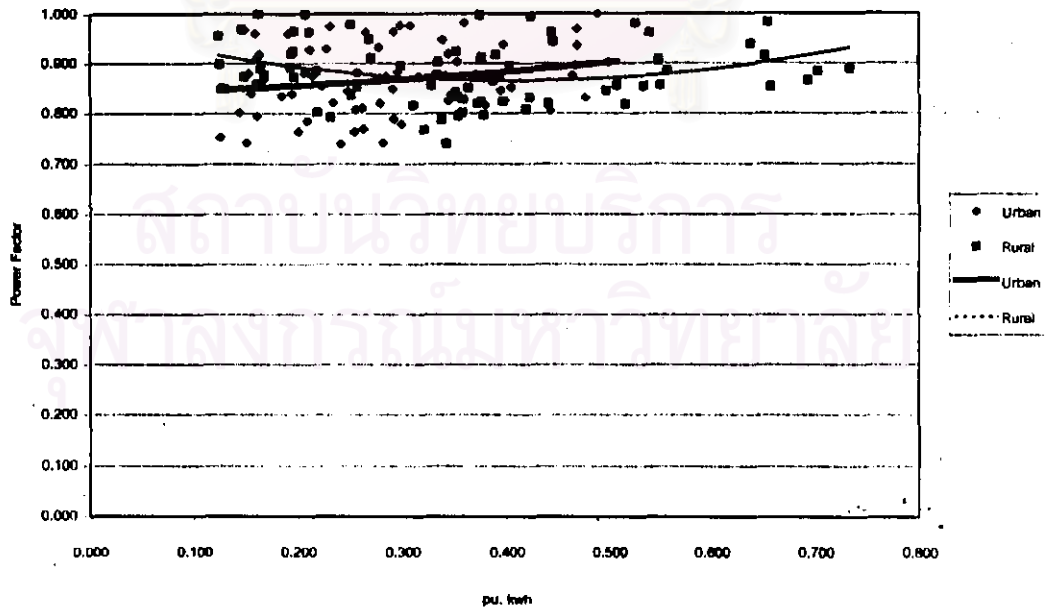
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด
และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.2



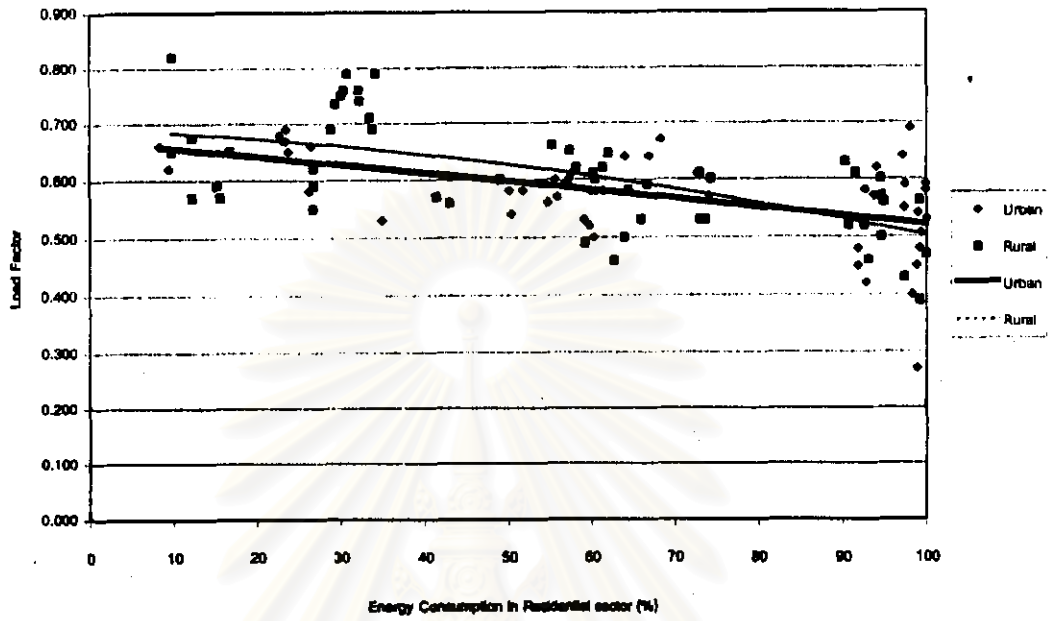
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด
และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.2



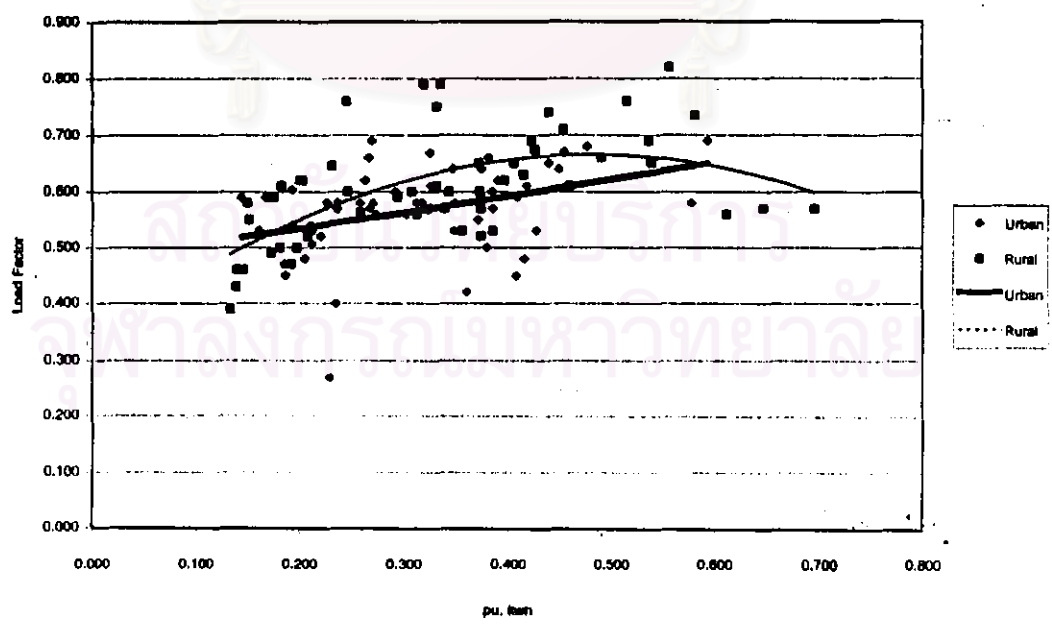
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.2



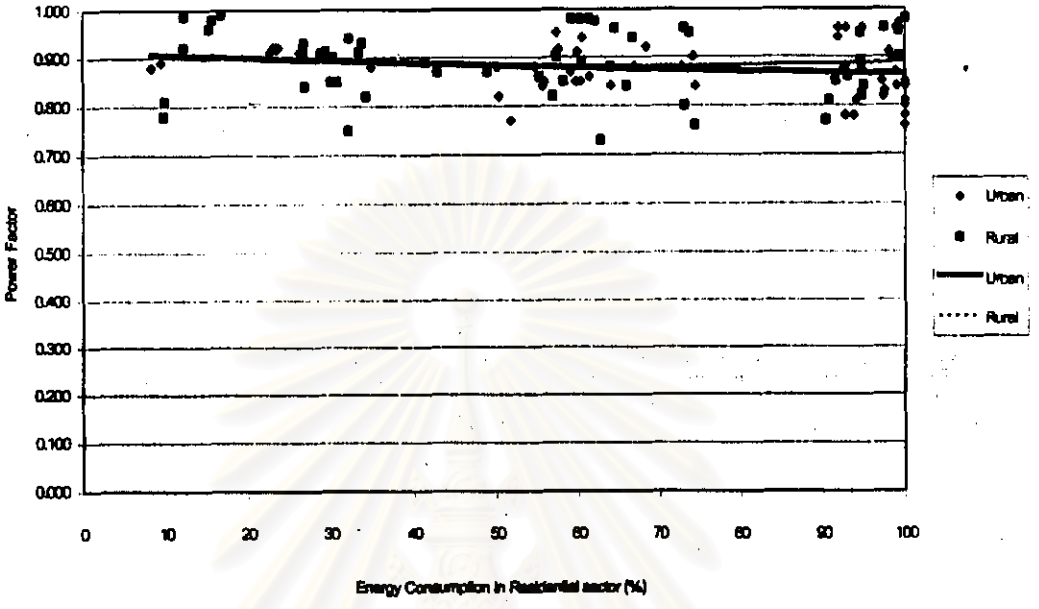
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.2



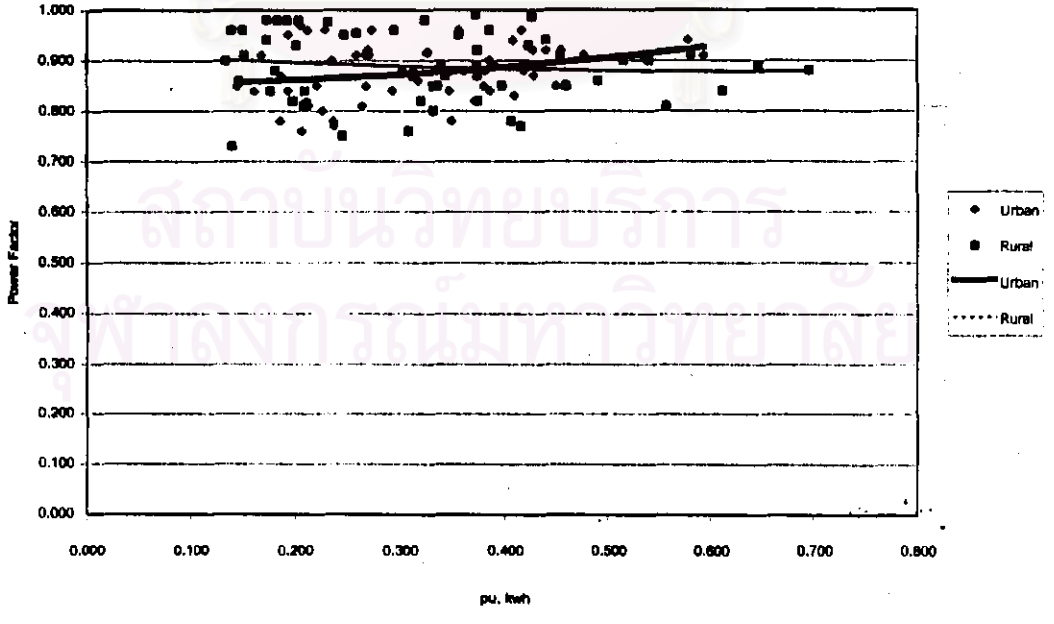
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด
และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.3



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลด
และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.3



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
และอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยใน และนอกเมือง เขต กฟก.3



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
และการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u.) ใน และนอกเมือง เขต กฟก.3

ตารางที่ 4.1 แบบจำลองพยากรณ์ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor : y)
จากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของผู้ใช้ (p.u. kWh : x)

การไฟฟ้าเขต	index	ในเมือง	นอกเมือง	การไฟฟ้าเขต	index	ในเมือง	นอกเมือง
กฟน.1	r-square	0.566	0.242	กฟก.1	r-square	0.538	0.452
	suitable range	0.018-0.709	0.024-0.484		suitable range	0.163-0.379	0.067-0.354
	a	-0.542	1.125		a	3.255	-4.071
	b	0.897	-0.239		b	-0.761	2.283
	c	0.282	0.470		c	0.522	0.210
กฟน.2	r-square	0.196	0.100	กฟก.2	r-square	0.376	0.155
	suitable range	0.142-0.584	0.072-0.452		suitable range	0.124-0.734	0.125-0.508
	a	-1.333	-0.361		a	-0.223	2.032
	b	1.182	0.386		b	0.522	-1.098
	c	0.310	0.400		c	0.410	0.679
กฟน.3	r-square	0.432	0.309	กฟก.3	r-square	0.377	0.144
	suitable range	0.067-0.657	0.071-0.541		suitable range	0.133-0.696	0.144-0.594
	a	-0.273	0.026		a	-1.464	0.031
	b	0.726	0.403		b	1.410	0.270
	c	0.369	0.440		c	0.326	0.479
กฟจ.1	r-square	0.383	0.037	กฟต.1	r-square	0.141	0.347
	suitable range	0.104-0.465	0.099-0.426		suitable range	0.065-0.613	0.083-0.495
	a	0.421	-1.067		a	-0.845	-1.086
	b	0.303	0.655		b	0.809	1.112
	c	0.401	0.379		c	0.378	0.292
กฟจ.2	r-square	0.103	0.125	กฟต.2	r-square	0.575	0.040
	suitable range	0.063-0.546	0.082-0.610		suitable range	0.026-0499	0.113-0.376
	a	-0.829	-1.790		a	-1.508	-0.286
	b	0.658	1.336		b	1.168	0.303
	c	0.389	0.224		c	0.355	0.479
กฟจ.3	r-square	0.414	0.155	กฟต.3	r-square	0.486	0.132
	suitable range	0.077-0.798	0.027-0.456		suitable range	0.083-0.559	0.094-0.477
	a	-0.990	-0.643		a	-1.987	-0.106
	b	1.057	0.531		b	1.602	0.397
	c	0.354	0.436		c	0.283	0.438

ตารางที่ 4.2 แบบจำลองพยากรณ์ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor : y)
จากอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household : x)

การไฟฟ้าเขต	index	ในเมือง	นอกเมือง	การไฟฟ้าเขต	index	ในเมือง	นอกเมือง
กฟน.1	r-square	0.443	0.308	กฟก.1	r-square	0.117	0.533
	suitable range	2-100	0-100		suitable range	26-100	28-100
	a	-0.0000796	-0.0000476		a	-0.0000641	-0.0000929
	b	0.00867	0.00494		b	0.00868	0.01440
	c	0.303	0.414		c	0.282	-0.019
กฟน.2	r-square	0.191	0.113	กฟก.2	r-square	0.621	0.447
	suitable range	9-100	48-97		suitable range	10-100	10-100
	a	-0.0000013	-0.0000712		a	-0.0000653	-0.0000605
	b	-0.00094	0.01241		b	0.00630	0.00657
	c	0.583	-0.059		c	0.482	0.424
กฟน.3	r-square	0.147	0.252	กฟก.3	r-square	0.406	0.293
	suitable range	3-100	32-100		suitable range	10-100	8-100
	a	-0.0000141	-0.0000270		a	-0.0000116	-0.0000005
	b	0.00015	0.00143		b	-0.00075	-0.00144
	c	0.612	0.588		c	0.693	0.671
กฟจ.1	r-square	0.161	0.245	กฟต.1	r-square	0.051	0.542
	suitable range	4-100	34-98		suitable range	10-100	30-100
	a	0.0000043	0.0000385		a	-0.0000146	-0.0000501
	b	-0.00148	-0.00647		b	0.00094	0.00385
	c	0.566	0.720		c	0.542	0.504
กฟจ.2	r-square	0.317	0.651	กฟต.2	r-square	0.473244355	0.156
	suitable range	10-100	51-100		suitable range	0-100	61-100
	a	0.0000038	0.0001896		a	-0.0000561	-0.0001209
	b	-0.00190	-0.03426		b	0.00498	0.01824
	c	0.601	1.944		c	0.513	-0.116
กฟจ.3	r-square	0.300	0.208	กฟต.3	r-square	0.225	0.306
	suitable range	1-100	4-100		suitable range	0-100	2-100
	a	-0.0000261	-0.0000356		a	-0.0000032	-0.0000026
	b	0.00180	0.00326		b	-0.00091	-0.00157
	c	0.574	0.502		c	0.607	0.631

ตารางที่ 4.3 แบบจำลองพยากรณ์ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (P.F. at peak load : y)
จากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของผู้ใช้ (p.u. kWh : x)

การไฟฟ้านค	index	เฉลี่ย	การไฟฟ้านค	Index	เฉลี่ย
กฟน.1	r-square	0.025	กฟก.1	r-square	0.028
	suitable range	0.018-0.709		suitable range	0.067-0.379
	a	0.4805848		A	1.5137546
	b	-0.25433		B	-0.82420
	c	0.868		C	0.942
กฟน.2	r-square	0.044	กฟก.2	r-square	0.021
	suitable range	0.072-0.584		suitable range	0.124-0.734
	a	0.0126555		A	0.2868569
	b	0.15531		B	-0.17222
	c	0.851		C	0.895
กฟน.3	r-square	0.052	กฟก.3	r-square	0.002
	suitable range	0.099-0.465		suitable range	0.133-0.696
	a	0.0259509		A	0.0770485
	b	0.18176		B	-0.03772
	c	0.803		C	0.886
กฟฉ.1	r-square	0.052	กฟค.1	r-square	0.015
	suitable range	0.099-0.465		suitable range	0.065-0.613
	a	0.0259509		A	0.4826216
	b	0.18176		B	-0.27719
	c	0.803		C	0.936
กฟฉ.2	r-square	0.075	กฟค.2	r-square	0.000
	suitable range	0.063-0.610		suitable range	0.026-0499
	a	0.9430058		A	0.0953704
	b	-0.53140		B	-0.05049
	c	0.930		C	0.887
กฟฉ.3	r-square	0.049	กฟค.3	r-square	0.016
	suitable range	0.027-0.798		suitable range	0.083-0.559
	a	0.4689238		A	0.5316684
	b	-0.33393		B	-0.29109
	c	0.909		C	0.901

ตารางที่ 4.4 แบบจำลองพยากรณ์ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (P.F. at peak load : y) จากอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household : x)

การไฟฟ้าขด	index	เฉลี่ย	การไฟฟ้าแขด	Index	เฉลี่ย
กฟน.1	r-square	0.237	กฟก.1	r-square	0.143
	suitable range	0-100		suitable range	26-100
	a	0.0000416		A	-0.0000087
	b	-0.00459		B	-0.00018
	c	0.930		C	0.902
กฟน.2	r-square	0.048	กฟก.2	r-square	0.037
	suitable range	9-100		suitable range	10-100
	a	-0.0000073		A	0.0000175
	b	0.00027		B	-0.00207
	c	0.915		C	0.923
กฟน.3	r-square	0.165	กฟก.3	r-square	0.025
	suitable range	3-100		suitable range	8-100
	a	-0.0000054		A	0.0000028
	b	0.00165		B	-0.00065
	c	0.791		C	0.911
กฟจ.1	r-square	0.276	กฟต.1	r-square	0.124
	suitable range	4-100		suitable range	10-100
	a	-0.0000225		A	-0.0000066
	b	0.00105		B	0.00160
	c	0.891		C	0.832
กฟจ.2	r-square	0.025	กฟต.2	r-square	0.061
	suitable range	10-100		suitable range	0-100
	a	0.0000161		A	0.0000101
	b	-0.00208		B	-0.00067
	c	0.923		C	0.868
กฟจ.3	r-square	0.164	กฟต.3	r-square	0.119
	suitable range	1-100		suitable range	0-100
	a	0.0000299		A	-0.0000216
	b	-0.00288		B	0.00272
	c	0.890		C	0.810

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองเฉลี่ยสำหรับการพยากรณ์ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor : y) จากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของผู้ใช้ (p.u. kWh : x)

การไฟฟ้าแยก	index	เฉลี่ย	การไฟฟ้านคร	index	เฉลี่ย
กฟน.1	r-square	0.383	กฟก.1	r-square	0.436
	suitable range	0.018-0.709		suitable range	0.067-0.379
	a	-0.130		a	-0.495
	b	0.543		b	1.035
	c	0.353		c	0.308
กฟน.2	r-square	0.150	กฟก.2	r-square	0.235
	suitable range	0.072-0.584		suitable range	0.124-0.734
	a	-0.587		a	0.240
	b	0.643		b	0.099
	c	0.374		c	0.497
กฟน.3	r-square	0.390	กฟก.3	r-square	0.241
	suitable range	0.067-0.657		suitable range	0.133-0.696
	a	-0.035		a	-0.819
	b	0.513		b	0.916
	c	0.412		c	0.388
กฟฉ.1	r-square	0.126	กฟต.1	r-square	0.235
	suitable range	0.099-0.465		suitable range	0.065-0.613
	a	-0.204		a	-0.997
	b	0.376		b	0.983
	c	0.404		c	0.330
กฟฉ.2	r-square	0.074	กฟต.2	r-square	0.369
	suitable range	0.063-0.610		suitable range	0.026-0499
	a	-1.161		a	-1.294
	b	0.829		b	1.005
	c	0.345		c	0.376
กฟฉ.3	r-square	0.294	กฟต.3	r-square	0.303
	suitable range	0.027-0.798		suitable range	0.083-0.559
	a	-0.518		a	-1.481
	b	0.617		b	1.260
	c	0.424		c	0.329

ตารางที่ 4.6 แบบจำลองเฉลี่ยสำหรับการพยากรณ์ค่าค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor : y) จากอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household : x)

การไฟฟ้านคร	index	เฉลี่ย	การไฟฟ้านคร	index	เฉลี่ย
กฟน.1	r-square	0.360	กฟก.1	r-square	0.238
	suitable range	0-100		suitable range	26-100
	a	-0.0000638		a	-0.0000870
	b	0.00705		b	0.01261
	c	0.343		c	0.104
กฟน.2	r-square	0.196	กฟก.2	r-square	0.527
	suitable range	9-100		suitable range	10-100
	a	0.0000134		a	-0.0000611
	b	-0.00262		b	0.00612
	c	0.607		c	0.465
กฟน.3	r-square	0.182	กฟก.3	r-square	0.370
	suitable range	3-100		suitable range	8-100
	a	-0.0000182		a	-0.0000038
	b	0.00048		b	-0.00139
	c	0.609		c	0.692
กฟฉ.1	r-square	0.198	กฟค.1	r-square	0.236
	suitable range	4-100		suitable range	10-100
	a	0.0000060		a	-0.0000350
	b	-0.00187		b	0.00258
	c	0.575		c	0.522
กฟฉ.2	r-square	0.355	กฟค.2	r-square	0.297
	suitable range	10-100		suitable range	0-100
	a	-0.0000047		a	-0.0000418
	b	-0.00144		b	0.00379
	c	0.605		c	0.521
กฟฉ.3	r-square	0.321	กฟค.3	r-square	0.261
	suitable range	1-100		suitable range	0-100
	a	-0.0000330		a	-0.0000036
	b	0.00265		b	-0.00110
	c	0.542		c	0.614

4.2.8 การเลือกใช้แบบจำลอง

แบบจำลองทางสถิติที่สร้างขึ้นในหัวข้อ 4.2.6 ที่ใช้สำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลง จะแบ่งออกเป็น 12 ชุด ตามการแบ่งเขตการไฟฟ้าของ กฟภ. ในแต่ละชุดประกอบไปด้วยแบบจำลอง 8 แบบ อันประกอบด้วยแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ค่า kW Load factor แยกตามสถานที่ติดตั้งหม้อแปลง (ในและนอกเขตเมือง) จำนวน 4 แบบจำลอง แบบจำลองเฉลี่ยสำหรับพยากรณ์ค่า kW Load factor จำนวน 2 แบบจำลอง และแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ P.F. at peak load 2 แบบจำลอง ซึ่งแยกตามตัวแปรที่ป้อนเข้าทั้ง 2 ชนิดคือ p.u. kWh และสัดส่วนของผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household) ส่วนตัวแปรที่แบบจำลองเหล่านั้นพยากรณ์ออกมามีดังนี้

1) แบบจำลองสำหรับพยากรณ์ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor) จำนวน 4 แบบจำลอง (ตารางที่ 4.1-4.2) แบ่งตามสถานที่ติดตั้งหม้อแปลงออกได้เป็นแบบจำลองที่ใช้พยากรณ์สำหรับหม้อแปลงเครื่องที่ติดตั้งในเขตเมือง 2 แบบจำลอง และสำหรับหม้อแปลงที่ติดตั้งนอกเขตเมืองอีก 2 แบบจำลอง โดยแบบจำลองสำหรับหม้อแปลงที่ติดตั้งในเขตเมือง และนอกเมืองอย่างละ 2 แบบจำลองนี้ มาจากการแบ่งตามตัวแปรด้านเข้าที่ป้อนให้แก่แบบจำลอง 2 ชนิดดังที่กล่าวข้างต้น
2) แบบจำลองเฉลี่ยสำหรับพยากรณ์ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor) จำนวน 2 แบบจำลอง (ตารางที่ 4.5-4.6) แบ่งตามชนิดของตัวแปรด้านเข้าที่ป้อนให้แก่แบบจำลอง ไม่มีการแบ่งแยกข้อมูลสำหรับหม้อแปลงที่ติดตั้งในเขตเมืองหรือนอกเขตเมือง
3) แบบจำลองสำหรับพยากรณ์ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าขณะหม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load) จำนวน 2 แบบจำลอง (ตารางที่ 4.3-4.4) เนื่องจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างเพื่อสร้างแบบจำลองในหัวข้อ 4.2.6 นั้นพบว่าสถานที่ติดตั้งหม้อแปลง (ในและนอกเขตเมือง) ไม่มีผลต่อค่า P.F. at peak load ดังนั้นแบบจำลองในส่วนนี้จึงมี 2 แบบจำลอง แบ่งตามชนิดของตัวแปรด้านเข้าที่ป้อนให้แก่แบบจำลอง

จากการที่แบบจำลองที่ใช้พยากรณ์ค่า kW Load factor และ P.F. at peak load สำหรับหม้อแปลงแต่ละเครื่องมีการแบ่งตามชนิดของตัวแปรต้นที่ใช้ ด้วยเหตุดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีเกณฑ์ตัดสินในเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกแบบจำลองที่คาดว่าสามารถให้ผลพยากรณ์ได้ดีกว่า ซึ่งจะนำมาใช้เป็นแบบจำลองหลักในการพยากรณ์ ทั้งนี้เกณฑ์ในการคัดเลือกแบบจำลองนี้ จะอาศัยวิธีการพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ของแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรต้นเป็น p.u. kWh เปรียบเทียบกับของแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรต้นเป็นค่าสัดส่วนของผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household) โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) นี้สามารถคำนวณได้ตามหลักการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.3

ในการพิจารณาคัดเลือกแบบจำลองไปใช้งานเราจะพิจารณาว่าแบบจำลองใดมีค่า r^2 มากกว่าก็เลือกใช้แบบจำลองนั้นเป็นแบบจำลองหลักในการพยากรณ์ตัวแปรด้านออกที่ต้องการ

เมื่อใช้เกณฑ์ตามนี้ผลปรากฏว่าในการพยากรณ์ kW Load factor ของหม้อแปลงทดสอบที่ติดตั้งในเมืองนั้น แบบจำลองที่ใช้ p.u. kWh เป็นข้อมูลป้อนเข้าสามารถให้ผลการพยากรณ์ได้ดีกว่าเป็นส่วนใหญ่ ส่วนหม้อแปลงที่ติดตั้งนอกเขตเมืองนั้นแบบจำลองที่ใช้สัดส่วนของผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household) เป็นข้อมูลป้อนเข้าจะสามารถพยากรณ์ได้ดีกว่าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับการพยากรณ์ค่า P.F. at peak load ผลปรากฏว่าแบบจำลองที่ใช้สัดส่วนของผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัย (% household) เป็นข้อมูลป้อนเข้าจะสามารถพยากรณ์ได้ดีกว่าเป็นส่วนใหญ่

อย่างไรก็ดีการที่ฐานข้อมูลของผู้ใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในเครื่อง VAX ซึ่งใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าป้อนให้แก่แบบจำลองเพื่อทำการพยากรณ์นั้น ไม่มีการแยกประเภทของหม้อแปลงไฟฟ้าว่าเครื่องใดจ่ายไฟให้แก่ผู้ใช้ในเขตเมืองหรือนอกเขตเมือง แบบจำลองสำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลงเฉลี่ยจึงมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในทางปฏิบัติมากกว่าแบบจำลองสำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลงแยกตามสถานที่ติดตั้งในและนอกเมือง

4.2.9 การแบ่งแยกแบบจำลองตามฤดูกาล

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงนั้น นอกจากจะพิจารณาจัดแบ่งตามตำแหน่งที่ตั้งของหม้อแปลงตามที่นำเสนอในหัวข้อที่ 4.2.6 แล้ว ผู้วิจัยยังได้ทำการพิจารณาจัดแบ่งตามฤดูกาล (ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล) ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบว่าลักษณะการจ่ายโหลดของหม้อแปลงแต่ละเครื่องในแต่ละการไฟฟ้าเขตนั้นแตกต่างกันตามฤดูกาลหรือไม่ ผลการวิเคราะห์การถดถอยสำหรับข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่างในแต่ละเขตของ กฟภ. ที่แบ่งแยกตามฤดูกาล แสดงให้เห็นว่าโดยส่วนใหญ่ลักษณะของแบบจำลองสำหรับพยากรณ์ค่า kW Load factor และ P.F. at peak load ประจำฤดูฝน (ก.ค.-ต.ค) ฤดูหนาว (พ.ย.-ก.พ.) และฤดูร้อน (มี.ค.-มิ.ย.) จะมีความใกล้เคียงกันมาก โดยได้แสดงผลการวิเคราะห์ของเขต กฟก.1 ประกอบไว้เป็นตัวอย่างในภาคผนวก ค.

อย่างไรก็ดีการแบ่งแยกแบบจำลองในลักษณะนี้มีข้อด้อยสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ จากผลการวิเคราะห์การถดถอยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของตัวแบบจำลองที่จะใช้แทนชุดข้อมูลนั้น มีค่าค่อนข้างต่ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของแบบจำลองสำหรับค่า P.F. at peak load ทั้งนี้เนื่องจากการแบ่งแยกข้อมูลตามฤดูกาลทำให้จำนวนข้อมูลประจำแต่ละฤดูกาลมีน้อย ส่งผลให้ข้อมูลมีการกระจายสูง ด้วยเหตุดังกล่าวทำให้สรุปได้ว่าการพิจารณาแบ่งแบบจำลองตามฤดูกาลไม่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากอาจทำให้ผลการพยากรณ์มีความผิดพลาดสูง

4.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางสถิติในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง

จากแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นโดยใช้วิธีการทางสถิติในหัวข้อ 4.2 เราสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงได้โดยป้อนข้อมูลตัวแปรด้านเข้า (ตัวแปรต้น : x) ให้แก่แบบจำลองแยกตามเกณฑ์ที่กำหนดในหัวข้อ 4.2.8 เมื่อป้อนตัวแปรด้านเข้าแล้ว แบบจำลองซึ่งเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ($y = ax^2+bx+c$) ก็จะให้ผลลัพธ์เป็นค่าตัวแปรด้านออก (ตัวแปรตาม : y) คือค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor) หรือค่าตัวประกอบกำลังขณะหม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load) จากนั้นจึงนำค่าผลลัพธ์ที่ได้ทั้งสองค่าไปใช้ในการคำนวณหาค่าโหลดสูงสุดที่หม้อแปลงจ่าย (kVA_{max}) หรือค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ต้องการจะพยากรณ์ต่อไป โดยอาศัยหลักการคำนวณในลักษณะเดียวกันกับการพยากรณ์โดยใช้เครือข่ายประสาทที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4

4.4 สรุปขั้นตอนการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้วิธีการทางสถิติ

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในวิทยานิพนธ์บทนี้เป็นการนำวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์โหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานสามารถสรุปได้ดังนี้

1) เก็บรวบรวม จัดกลุ่ม และวิเคราะห์ชุดข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาและทดสอบแบบจำลองทางสถิติ ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1
2) นำข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่เตรียมไว้มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองโดยอาศัยวิธีการทางสถิติ ซึ่งกล่าวรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 4.2
3) นำแบบจำลองทางสถิติที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าพยากรณ์ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3

ผลจากการนำแบบจำลองทางสถิติมาใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงที่กล่าวในบทนี้ ทั้งแบบจำลองสำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลงแยกตามสถานที่ติดตั้งหม้อแปลงในและนอกเมือง และแบบจำลองเฉลี่ย เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการพยากรณ์โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียมตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 จะพบว่ามีข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีแตกต่างกันออกไปหลายประการ ซึ่งจะแสดงผลการทดสอบ และเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ระหว่างทั้งสองวิธีไว้ในบทที่ 5 ต่อไป