การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกสำหรับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้น

Application of Fuzzy Logic for Short-term Load Forecasting

ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์ และ สราวุฒิ สุจิตจร
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ. เมือง จ. นครราชสีมา
โทร (044)224400 โทรสาร (044)224220 E-mail: thanatch@ccs.sut.ac.th

บทคัดย่อ

การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นเป็นปัญหาที่สำคัญในการวางแผนการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง ความสามารถในการทำนายปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำจะส่งผลให้ ระบบไฟฟ้ามีความมั่นคงสูง และต้นทุนการผลิตโดยรวมของระบบมีค่าต่ำ บทความฉบับนี้จึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกสำหรับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ารายชั่วโมง ข้อได้เปรียบของวิธีการทางฟัซซีที่เหมาะสมกว่าวิธีการอื่น คือ การใช้เหตุผลและองค์ความรู้จากประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน ร่วมกับสมมติฐานทางคณิตศาสตร์ทำให้การพยากรณ์มีความสอดคล้องกับความเป็นจริง วิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ถูกทดสอบ โดยการนำไปพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของหม้อแปลง KT1A ที่สถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบูรณ์ ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การพัฒนาการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าโดยใช้ฟัซซีลอจิกนั้นมีความยืดหยุ่น และสามารถพิจารณาตัวแปรทางภาษาบางชนิดที่เป็นสาเหตุหลัก ในการทำให้ผลการพยากรณ์เกิดความคลาดเคลื่อนและวิธีการพยากรณ์แบบเก่าไม่สามารถพิจารณาได้ เช่น ผลของงานเทศกาลที่ทำให้มีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูงกว่าปกติ

คำสำคัญ : การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้น, ฟัซซีลอจิก, การวางแผนการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง

Abstract

Short-term load forecasting is one of the important issues for power system operation and planning. Highly accurate results of the forecasting will improve the system security and save generation cost. This paper also presents an application of fuzzy logic for hourly load forecasting. One advantage of the fuzzy logic approach over other forecasting methods is that it allows using the reasoning and experience of the system operators in conjunction with system mathematical description. Consequently, the forecasting results are expected to better fit the actual load. Our purposed forecasting method using fuzzy logic approach was tested against the hourly transformer's load forecasting, namely KT1A, of the Petchaboon substation. The results show that the fuzzy logic technique is a flexible method that can cover some aspects not possibly handled by other conventional methods. These aspects are such as effects of festival days, agricultural seasons, etc. These are major causes of forecasting error founded with conventional approach.

Keywords : Short-term load forecasting, fuzzy logic, power system operation and planning.

1. บทนำ

บทความนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกสำหรับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้น ซึ่งโดยปกติเป็นการทำนายล่วงหน้าภายในช่วงเวลาประมาณ 15 นาที ถึง 36 ชั่วโมง [1] ความแม่นยำในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้นนี้ จะช่วยทำให้การวางแผนการจ่ายโหลดอย่างประหยัด และการทำยูนิตคอมมิตเมนต์มีความ ถูกต้องมากยิ่งขึ้น จุดทำงานที่ทำการวางแผนไว้มีต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำ และเสถียรภาพ ความมั่นคง ตลอดจนความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังย่อมมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย

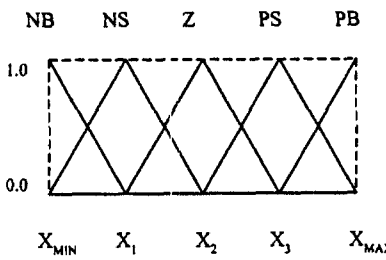
วิธีการทำนายที่นำมาใช้นี้มีหลายวิธีด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นวิธีการทางอนุกรมเวลา(Time-series techniques) เช่น ARIMA, Regression modeling และ Spectral decomposition ที่สามารถพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าให้มีความผิดพลาดได้ประมาณ 1-2% [2] ซึ่งวิธีการทางคณิตศาสตร์นี้ได้รับความนิยมในช่วง 20 ที่ผ่านมา ปัจจุบันวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์(Artificial intelligence techniques) เช่น ระบบผู้เชี่ยวชาญ เจนเนติกอัลกอริทึม โครงข่ายประสาทเทียม และฟัซซีลอจิก [3] เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมสูงโดย

เฉพาะอย่างยิ่งการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมและฟัซซี่ลอจิก

การพิจารณาปัจจัยเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ในการพยากรณ์โหลดเช่น อุณหภูมิ ความชื้น สภาพภูมิประเทศ จะช่วยทำให้ผลการทำนายมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้พฤติกรรมของการใช้ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ ฤดูในการทำเกษตรกรรมมีผลกระทบโดยตรงกับพื้นที่ที่มีอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นอุตสาหกรรมหลักในท้องถิ่น ซึ่งได้แก่พื้นที่ตามต่างจังหวัด ปัจจัยดังกล่าวไม่สามารถนำมาพิจารณา โดยอาศัยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามปกติได้ ทำให้การนำฟัซซี่ลอจิกมาใช้พยากรณ์มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น เนื่องจากตัวแปรแบบฟัซซี่นั้น ถูกนิยามขึ้นมาโดยการถอดแบบจากความรู้สึกนึกคิดของมนุษย์ ไม่สามารถแยกแยะตัวแปรใด ๆ ให้เป็นปริมาณที่มีค่าคงตัวค่าใดค่าหนึ่งได้อย่างเด่นชัด ความคลุมเครือในการนิยามตัวแปรนี่เองที่ทำให้วิธีการนี้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ ในการเพิ่มเติมผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นดีกว่าวิธีการอื่น [4]

2. ระบบฟัซซี่

ระบบฟัซซี่เป็นการส่งผ่านค่าตัวแปร จากปริภูมิของตัวแปรทางด้านเข้า(Input) ไปยังปริภูมิของตัวแปรทางด้านออก(Output) อย่างง่าย ๆ โดยการพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องให้เป็นปริมาณในทางภาษา ตัวแปรในแบบของฟัซซี่นี้ ต้องมีการนิยามฟัซซี่เซตซึ่งจะถูกเขียนในรูปของฟังก์ชันสมาชิกดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรทางด้านเข้าและทางด้านออก

ตัวแปรทางด้านเข้า X ตามรูปที่ 1 แบ่งได้ 5 ระดับ คือ NB, NS, Z, PS และ PB การใช้ตรรกแบบฟัซซี่นี้ ไม่ต้องการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใด ๆ ของระบบ แต่ใช้การเขียนกฎความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางด้านเข้ากับตัวแปรทางด้านออก ซึ่งกฎนี้ได้มาจากประสบการณ์หรือข้อมูลที่มีอยู่ เช่น ถ้ากำหนดกฎตัวอย่างของระบบนี้เป็นดังนี้

IF X = 'NS' THEN Y = 'PS'

IF X = 'Z' THEN Y = 'NS'

.....

ขั้นต่อไปเป็นการแปลงค่าตัวแปรทางด้านออกที่ได้ให้เป็นค่าจริง(Defuzzification) ซึ่งมีด้วยกัน 4 วิธีที่ใช้กันแพร่หลาย Centroid, Smallest of maximum, Middle of maximum และ Largest of maximum [4-6]

ดังนั้น ฟัซซี่เซตจึงเป็นเซตที่ไม่ได้ระบุค่าความเป็นสมาชิกอย่างชัดเจน แต่จะระบุด้วยค่าความเป็นสมาชิกของตัวเอง นอกจากนี้การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางด้านเข้า และตัวแปรทางด้านออกนั้นเราไม่ต้องการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบหากเพียงต้องการคณิตศาสตร์อย่างง่าย ในการสร้างฟังก์ชันสมาชิกเท่านั้น และจะใช้ประสบการณ์ที่มีอยู่ในการสร้างกฎ เพื่อระบุความสัมพันธ์ของตัวแปร เป็นวิธีที่ง่าย สะดวกในการวิเคราะห์ มีความรวดเร็วในการคำนวณ

3. การสร้างกฎทางฟัซซี่จากข้อมูลเชิงตัวเลข [6-9]

จากกระบวนการสร้างฐานข้อมูล จะได้ชุดข้อมูลมาจำนวนหนึ่ง การใช้ตรรกแบบฟัซซี่ตัดสินค่าตัวแปรทางด้านออกที่เหมาะสมนั้นต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางด้านเข้า กับตัวแปรทางด้านออก ถ้าระบบที่สนใจเป็นระบบที่ได้มีการศึกษามาเป็นเวลานาน ผู้ศึกษาระบบสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางด้านเข้ากับตัวแปรทางด้านออกโดยเขียนเป็นกฎทางฟัซซี่(If-then rules) อย่างง่าย ๆ ได้ แต่ระบบที่ออกแบบใหม่หรือเพิ่งเริ่มต้นศึกษานั้น การพิจารณากฎทางฟัซซี่ยังไม่สามารถทำได้ ต้องรอประสบการณ์จากการทำงานของระบบเพื่อให้ทราบคุณลักษณะของระบบ ในกรณีเช่นนี้ การรอผลการทำงานของระบบจริงบางครั้งอาจไม่สะดวกที่จะเลือกจุดทำงานของระบบในสภาวะเริ่มต้นหรือไม่สามารถรอให้ระบบทดลองทำงานจริงได้ ดังนั้นการจำลองผลของระบบเพื่อเก็บข้อมูลมาใช้สร้างเป็นฐานข้อมูลจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เมื่อมีข้อมูลของระบบจำนวนหนึ่ง ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างกฎทางฟัซซี่จากข้อมูลเหล่านี้เพื่อนำมาใช้อนุมานคำตอบ ถ้ากำหนดระบบที่มีตัวแปรทางด้านเข้า 1 ตัว และตัวแปรทางด้านออก 1 ตัว มีชุดข้อมูล n ชุด ดังนี้

โดยที่ X เป็นตัวแปรทางด้านเข้า และ Y เป็นตัวแปรทางด้านออก การสร้างกฎทางพัชชีอย่างง่ายจากชุดข้อมูลที่มีอยู่นี้ สามารถทำได้ดังนี้

1. แบ่งตัวแปรทางด้านเข้าและตัวแปรทางด้านออกเป็นช่วงข้อมูล(Fuzzy variables) โดยพิจารณาให้ครอบคลุมตลอดช่วงข้อมูลทั้งหมด การแบ่งช่วงข้อมูลของแต่ละตัวแปรให้แบ่งเป็น 2M+1 ช่วง M=0,1,2,... โดยตัวแปรแต่ละตัวไม่จำเป็นต้องแบ่งให้มีจำนวนช่วงเท่ากัน จากนั้นทำการเลือกฟังก์ชันการเป็นสมาชิกให้กับตัวแปรทั้งหมด

2. สร้างกฎทางพัชชีจากชุดข้อมูล 1 กฎ ต่อ 1 ชุด ถ้ากำหนดชุดข้อมูลเป็น $(X^{(k)},Y^{(k)})$ โดยค่า $X^{(k)}$ อยู่ในช่วง NS และ Z มีค่าสมาชิกเท่ากับ 0.32 และ 0.68 ตามลำดับ $Y^{(k)}$ อยู่ในช่วง NS และ PS ให้ค่าการเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ จากนั้นทำการเลือกช่วงของตัวแปรที่ให้ค่าการเป็นสมาชิกสูงที่สุด(Highest match method)ของแต่ละตัวแปรมาสร้างเป็นกฎ ดังนี้

$(X^{(k)},Y^{(k)})$ => [$X^{(k)}$(0.68 ในช่วง Z),Y(k)(0.8 ในช่วง NS)]

=> กฎข้อที่ k

IF X is Z THEN Y is NS

จากข้อมูล n ชุด จะสามารถสร้างกฎได้ n กฎ

3. ถ้ามีชุดข้อมูลอยู่เป็นจำนวนมากและข้อมูลแต่ละชุดสร้างเป็นกฎได้ 1 กฎแล้ว โอกาสที่จะสร้างกฎที่มีส่วนของ IF ซ้ำกันจึงมีความน่าจะเป็นสูง และถ้าส่วนของ THEN มีความแตกต่างกันจะทำให้เกิดปัญหาในการอนุมานคำตอบ ดังนั้นจึงต้องสร้างดัชนีเพื่อใช้เป็นตัววัดความสำคัญของกฎ(Degree of rule, DOR) โดยมีหลักการดังนี้

กำหนดกฎทางพัชชีเป็น IF X_1 = A and X_2 = B THEN Y = C

$$D(Rule) = m_A(X_1)\, m_B(X_2)\, m_C(Y) \qquad (1)$$

โดย $m_H(X_i)$ เป็นค่าการเป็นสมาชิกของตัวแปร X_i ในช่วง H และจะทำการเลือกกฎที่มีส่วนของ IF- ซ้ำกันให้เหลือเพียงกฎเดียว คือ กฎที่ให้ค่า DOR สูงสุดเท่านั้น ทำให้จำนวนกฎที่จะใช้ในการอนุมานมีจำนวนลดลง

4. การอนุมานคำตอบจากกฎที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 3 นี้ จะใช้การหาค่า Centroid เหมือนกับการทำ Defuzzzification ถ้าตัวแปรทางด้านเข้าที่ต้องการอนุมานมีค่าเป็น $(X_1^{(p)},X_2^{(p)})$ และกำหนดให้ O^i เป็นช่วงของตัวแปรทางด้านออกของกฎที่ i และ I_u^i เป็นช่วงของตัวแปรทางด้านเข้าตัวที่ u ของกฎที่ i ผลของกฎที่ i ต่อตัวแปรทางด้านเข้าชุดนี้สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$m_{O'}^i = m_{I_1^i}(X_1^{(p)})\, m_{I_2^i}(X_2^{(p)}) \qquad (2)$$

และเมื่อรวมผลของกฎทั้งหมด จึงสามารถอนุมานคำตอบได้ตามสมการต่อไปนี้

$$y = \frac{\sum_{i=1}^{K} m_{O'}^i \bar{y}^i}{\sum_{i=1}^{K} m_{O'}^i} \qquad (3)$$

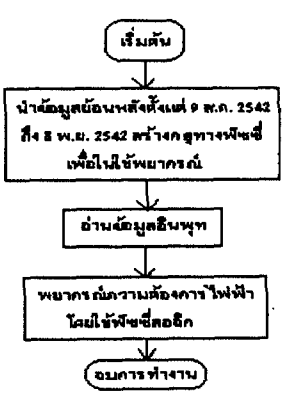
จะพบว่าสมการที่ (3) เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปรทางด้านเข้ากับ 1 ตัวแปรทางด้านออก เท่านั้น เมื่อจำนวนตัวแปรทั้งตัวแปรทางด้านเข้าและตัวแปรทางด้านออกเปลี่ยนแปลงไป สมการที่ (4) และ (5) สามารถปรับปรุงให้ใช้ได้กับจำนวนตัวแปรขนาดใดๆ ได้ดังนี้

$$m^i = \prod_{v=1}^{v=V} m_v^i(X_v) \qquad (4)$$

$$y_j = \frac{\sum_{i=1}^{K} m_{O_j'}^i \bar{y}_j^{\,i}}{\sum_{i=1}^{K} m_{O_j'}^i} \;;\; j = 1,2,\ldots,J \qquad (5)$$

เมื่อระบบมีจำนวนตัวแปรทางด้านเข้าเท่ากับ V และจำนวนตัวแปรทางด้านออกเท่ากับ J การนำเสนอสูตรการคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อใช้อนุมานค่าตัวแปรทางด้านออกตามที่กล่าวมานั้น เป็นวิธีการทำ Defuzzification วิธีหนึ่ง นอกจากนี้อาจใช้กระบวนการทำ Defuzzification วิธีการอื่นได้ตามความเหมาะสม

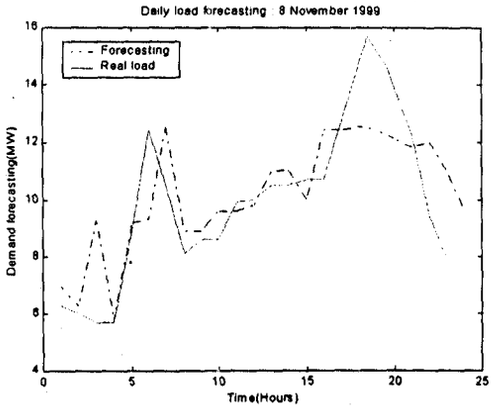
การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในบทความนี้มีขั้นตอนตามผังการทำงานในรูปที่ 2 ดังต่อไปนี้



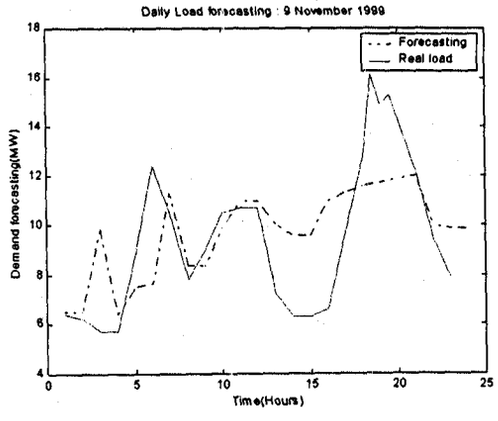
รูปที่ 2 แผนผังการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า

4. ผลการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของหม้อแปลง KT1A ที่สถานีไฟฟ้าย่อยเพชรบูรณ์ โดยทำการสร้างฐานของ กฎทางฟัซซี่จากข้อมูลเชิงตัวเลขตั้งแต่วันที่ 9 สิงหาคม 2542 ถึง 7 พฤศจิกายน 2542 เพื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าล่วงหน้าในวันที่ 8 พฤศจิกายน 2542 และ 9 พฤศจิกายน 2542 จากการใช้กระบวนการสร้างกฎดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้สามารถนำมาสร้างกฎทางฟัซซี่สำหรับการพยากรณ์ได้ 10 กฎ และตัวแปรที่ได้ได้มีการนิยามฟังก์ชันสมาชิกดังรูปที่ 1 และภายใต้การทำดีฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหา Centroid จะได้ผลของการพยากรณ์ดังกราฟในรูปที่ 3 และ 4 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 ผลการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ารายวันของวันที่ 8 พฤศจิกายน 2542



รูปที่ 4 ผลการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้ารายวันของวันที่ 9 พฤศจิกายน 2542

ผลจากการทดสอบจะพบว่า การประยุกต์ใช้ฟัซซี่ลอจิกในการพยากรณ์โหลดในที่นี้นั้น ได้ทำการกำหนดเงื่อนไขบางอย่าง เช่น รูปร่างของฟังก์ชันสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมที่สมมาตรกัน หรือการทำดีฟัซซี่ฟิเคชันโดยใช้วิธี Centroid ทำให้ผลที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนพอสมควร โดยปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมในวันที่ 8 พฤศจิกายน 2542 นั้นมีค่า 203.50 MWh ค่าที่พยากรณ์ได้มีค่า 244.31 MWh ซึ่งมีความผิดพลาด -40.81 MWh ส่วนในวันที่ 9 พฤศจิกายน 2542 นั้นมีค่า 189.30 MWh ค่าที่พยากรณ์ได้มีค่า 232.73 MWh ซึ่งมีความผิดพลาด -43.43 MWh

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการเบื้องต้น ในการที่จะนำวิธีการทางฟัซซี่มาใช้ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าระยะสั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดจากการพยากรณ์ยังมีค่าค่อนข้างสูง การปรับปรุงกระบวนการสร้างฟังก์ชันสมาชิก เพื่อกำหนดฟังก์ชันสมาชิกที่เหมาะสมกับลักษณะของโหลด การสร้างกฎที่เหมาะสมจากฐานข้อมูลเชิงตัวเลขที่มีอยู่ และการหาวิธีการทำดีฟัซซิฟิเคชันที่เหมาะสม จะทำให้ผลการพยากรณ์มีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด

วิธีการทางฟัซซี่ลอจิกมีความยืดหยุ่นสูง ทำให้สามารถนำปัจจัยแวดล้อมบางอย่าง เช่น พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟ ลักษณะภูมิอากาศ ภูมิประเทศ สภาพทางเศรษฐกิจ ฤดูกาลในการทำเกษตรกรรม ตลอดจนผลของงานเทศกาลต่าง ๆ มาร่วมพิจารณาในรูปของตัวแปรภาษาได้อย่างเหมาะสม ทำให้การพยากรณ์มีความสมจริงและความเชื่อถือได้สูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าภูมิภาคจังหวัดเพชรบูรณ์ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในการทำวิจัย ผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยให้การทำวิจัยมีความสำเร็จ และที่จะร่วมพัฒนางานวิจัยชิ้นนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] J. H. Hannan, L. A. Kieman, and K. Warwick, "Intelligent Methods for Load Forecasting", IEE Proc. Gener. Trans. Dist. , 1997.

[2] D. W. Bunn, "Forecasting Loads and Prices in Competitive Power Markets", IEEE Proc. spec. iss. the Tech. of Pow. Syst. Compet., Feb 2000.

[3] K. Liu, S. Subbarayan, and R. R. Shoults, "Comparison of Very Short-term Load Forecasting Techniques", IEEE Trans. on Power System, Vol. 11, No. 2, May 1996.

[4] T. J. Ross, "Fuzzy Logic with Engineering Applications", McGraw-Hill, 1995.

[5] J. S. R. Jang, and N. Gulley, "MATLAB Fuzzy Logic Toolbox User's Guide", MathWorks. Inc., 1995.

[6] ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์, "การทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

[7] Wang, L., "Generating fuzzy rules by learning from examples", IEEE Trans. on System, Man and Cybernatics, Vol. 22, No. 6, 1992.

[8] Hall, L. O., and Lande, P., "Generating fuzzy rules from data", IEEE Trans. on Fuzzy Systems., 1996.

[9] Lee, J., Tiao, A., and Yen, J., "A fuzzy rule-based approach to real-time scheduling", IEEE Trans. on Fuzzy Systems., 1994.