บทที่ 3

การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง เช่นการใช้เครือข่ายประสาทในการวิเคราะห์ความผิดพร่อง (Contingency analysis) ของระบบไฟฟ้ากำลัง การคำนวณองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ในระบบไฟฟ้ากำลัง การคำนวณโหลดโฟลว์ และการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าระยะสั้น ซึ่งทฤษฎีเครือข่ายประสาทสามารถทำการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าระยะสั้นได้ถูกต้อง และใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าเทคนิคการพยากรณ์แบบดั้งเดิม (Conventional forecasting methods) ซึ่งโดยทั่วไปการพยากรณ์แบบดั้งเดิมจะใช้เทคนิค Times-series model methods หรือ Regression model methods [7-10]

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาการนำทฤษฎีเครือข่ายประสาทมาใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทแบบสองชั้น (Two layer neural network) และใช้การปรับสอนแบบ Modified back-propagation (MBP) ซึ่งเป็นการปรับสอนที่ใช้กระบวนวิธีการแพร่กระจายกลับ (Back-propagation algorithm) ร่วมกับโมเมนตัมและการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ ซึ่งเป็นวิธีการปรับสอนเครือข่ายประสาทโดยใช้การแพร่กระจายกลับกลับของค่าผิดพลาดที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จริงกับผลลัพธ์ที่ต้องการ แล้วส่งกลับไปให้เครือข่ายประสาทเรียนรู้โดยการปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสจนกระทั่งมีค่าผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากนั้นจึงนำผลที่ได้จากวิธีนี้ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีการที่อาศัยแบบจำลองทางสถิติ (Statistical model)

การนำเครือข่ายประสาทมาประยุกต์ใช้งานในลักษณะนี้จะสามารถคำนวณค่าพยากรณ์ได้รวดเร็ว เนื่องจากเครือข่ายประสาทจะถูกปรับสอนไว้ก่อนแล้ว เมื่อมีข้อมูลที่เป็นตัวแปรด้านเข้าป้อนให้แก่เครือข่ายประสาท เครือข่ายจะให้ผลลัพธ์หรือค่าพยากรณ์ออกมาได้โดยใช้การคำนวณเพียงรอบเดียวไม่ต้องอาศัยกระบวนการทำซ้ำ จึงทำให้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยมาก อย่างไรก็ดีขั้นตอนการปรับสอนเครือข่ายประสาทเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสที่เหมาะสมเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาค่อนข้างนาน เนื่องจากต้องใช้ข้อมูลตัวอย่างจำนวนมากในการปรับสอนโดยอาศัยกระบวนการทำซ้ำ ทั้งนี้ขั้นตอนการปรับสอนนี้เป็นกระบวนการที่แยกออกจากขั้นตอนการคำนวณค่าพยากรณ์ ดังนั้นจึงไม่มีผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนและทดสอบเครือข่ายประสาท

ก่อนที่เครือข่ายประสาทจะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์โหลดของหม้อแปลง เครือข่ายจะต้องถูกปรับสอนโดยชุดข้อมูลตัวอย่าง เพื่อให้สามารถพยากรณ์ได้อย่างถูกต้อง จากนั้นเมื่อเครือข่ายได้รับการปรับสอนเรียบร้อยแล้ว เราสามารถทดสอบความถูกต้องแม่นยำของผลการพยากรณ์ของเครือข่ายได้โดยใช้ข้อมูลตัวอย่างอีกชุดหนึ่งที่มีรูปแบบของข้อมูลเป็นในลักษณะเดียวกันกับชุดข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอน โดยข้อมูลตัวอย่างที่นำมาใช้ในการปรับสอนและทดสอบนั้น ควรจะต้องมีความหลากหลาย และครอบคลุมรูปแบบของเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่จะทำการพยากรณ์ โดยจะต้องประกอบด้วยคู่ตัวแปรด้านเข้าและผลลัพธ์ที่ต้องการหลายๆ คู่ ซึ่งอาจเป็นข้อมูลจริงที่ได้จากการปฏิบัติงานในอดีตที่ผ่านมา หรือเป็นข้อมูลที่จำลองขึ้นเพื่อให้เครือข่ายประสาทเรียนรู้ก็ได้

วิทยานิพนธ์จะใช้ข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติงานจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยจะเป็นข้อมูลของหม้อแปลงเครื่องที่ถูกคัดเลือกให้เป็นหม้อแปลงตัวอย่าง [2] จากหม้อแปลงทั้งหมดที่ติดตั้งใช้งานอยู่จริงในแต่ละเขตการไฟฟ้า เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนเครือข่ายประสาท อีกทั้งยังใช้เป็นข้อมูลที่ใช้ทดสอบเครือข่ายประสาทที่ได้รับการปรับสอนแล้วอีกส่วนหนึ่งด้วย

ข้อมูลจากหม้อแปลงตัวอย่างดังกล่าวจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด และข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากระบบฐานข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (จากเครื่อง Micro VAX) ซึ่งจะนำไปใช้เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการ และใช้เป็นตัวแปรด้านเข้าตามลำดับ

3.1.1 ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดนี้เป็นข้อมูลที่แสดงสภาพการจ่ายโหลดขณะใดขณะหนึ่งของหม้อแปลงตัวอย่าง ซึ่งได้จากการวัดและบันทึกค่าทุกๆ 15 นาที โดยใช้ Recording wattmeter ที่นำไปติดตั้งที่ด้านแรงต่ำของหม้อแปลงตัวอย่าง โดยมีการแบ่งพื้นที่การเก็บข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างตามเขตการปฏิบัติงานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคออกเป็น 4 ภาคคือ ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ ซึ่งในแต่ละภาคยังแบ่งออกเป็น 3 เขตย่อยๆ ตัวอย่างเช่นในกรณีของการไฟฟ้าภาคเหนือมีการแบ่งเขตการปฏิบัติงานออกเป็น 3 เขตคือ เขตภาคเหนือ1 เขตภาคเหนือ2 และ เขตภาคเหนือ3 จากการพิจารณาจัดแบ่งดังกล่าวทำให้มีเขตการไฟฟ้าที่จะทำการพิจารณารวมทั้งหมด 12 เขต โดยจะเก็บข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่ได้รับคัดเลือกจากสองจังหวัดที่เป็นตัวแทนของแต่ละเขต [2] ดังที่แสดงในตารางที่ 3.1 จังหวัดละ 24 เครื่อง แบ่งเป็นหม้อแปลงที่ติดตั้งในเขตเมือง (เขตเทศบาล) 12 เครื่อง หม้อแปลงที่ติดตั้งนอกเขตเมือง (นอกเขตเทศบาล) 12 เครื่อง รวมทั้งหมดทุกจังหวัด 576 เครื่อง (เขตละ 48 เครื่อง)

ตารางที่ 3.1 จังหวัดที่ได้รับคัดเลือกให้เป็นตัวแทนเพื่อเก็บข้อมูลหม้อแปลงตัวอย่างในแต่ละเขต

การไฟฟ้าภาค	การไฟฟ้าเขต	จังหวัดตัวแทน	
		1	2
ภาคเหนือ	กฟน.1	เชียงใหม่	ลำพูน
	กฟน. 2	อุตรดิตถ์	พิษณุโลก
	กฟน. 3	อุทัยธานี	นครสวรรค์
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	กฟฉ. 1	อุดรธานี (1)	อุดรธานี (2)
	กฟฉ. 2	มหาสารคาม	ศรีสะเกษ
	กฟฉ. 3	สุรินทร์	นครราชสีมา
ภาคกลาง	กฟก. 1	อยุธยา	อ่างทอง
	กฟก. 2	ชลบุรี	ระยอง
	กฟก. 3	กาญจนบุรี	นครปฐม
ภาคใต้	กฟต. 1	ราชบุรี	เพชรบุรี
	กฟต. 2	สุราษฎร์ธานี	ตรัง
	กฟต. 3	สงขลา	ยะลา

การเก็บข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างแต่ละเครื่องใช้ระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์ติดต่อกัน และเก็บข้อมูลแต่ละเครื่องทุกๆ 2 เดือน จนมีข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างแต่ละเครื่องครอบคลุมในระยะเวลาประมาณ 1 ปี เพื่อให้ได้ข้อมูลมากเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการปรับสอนเครือข่ายประสาทตัวอย่างข้อมูลในส่วนที่ได้จากการตรวจวัดและบันทึกด้วย Recording wattmeter ในเบื้องต้นเป็นดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จาก Recording wattmeter ของหม้อแปลงตัวอย่างหมายเลข 34-4219 ขนาด 50 kVA ติดตั้งนอกเขตเมือง เขตการไฟฟ้าภาคกลาง 1 จังหวัด พระนครศรีอยุธยา เดือน กรกฎาคม 2540 เวลา 18.00 – 24.00 น.

วันที่ตรวจวัด	เวลาที่ตรวจวัด	kW	KVAR	kVA
"06/07/97"	"18:00"	20.35	12.33	23.80
"06/07/97"	"18:15"	19.87	14.97	24.91
"06/07/97"	"18:30"	17.95	13.20	22.27
"06/07/97"	"18:45"	19.20	13.92	23.76
"06/07/97"	"19:00"	21.26	15.02	26.06
"06/07/97"	"19:15"	24.52	17.28	30.00
"06/07/97"	"19:30"	26.83	20.11	33.55
"06/07/97"	"19:45"	29.28	21.31	36.19
"06/07/97"	"20:00"	30.33	22.32	37.72
"06/07/97"	"20:15"	40.60	25.15	47.76
"06/07/97"	"20:30"	43.92	25.48	50.78
"06/07/97"	"20:45"	42.57	23.71	48.76
"06/07/97"	"21:00"	42.19	24.81	48.91
"06/07/97"	"21:15"	42.33	25.10	49.20
"06/07/97"	"21:30"	41.76	21.36	46.94
"06/07/97"	"21:45"	43.20	20.83	48.00
"06/07/97"	"22:00"	42.57	20.68	47.32
"06/07/97"	"22:15"	40.80	19.77	45.36
"06/07/97"	"22:30"	39.07	18.72	43.34
"06/07/97"	"22:45"	39.84	18.62	43.96
"06/07/97"	"23:00"	39.36	18.91	43.68
"06/07/97"	"23:15"	37.53	16.41	40.99
"06/07/97"	"23:30"	38.20	15.93	41.42
"06/07/97"	"23:45"	37.34	15.84	40.56
"06/07/97"	"24:00"	35.42	15.93	38.83

ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในเบื้องต้นนี้จะเป็นลักษณะการจ่ายโหลดของหม้อแปลงที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งจะถูกนำไปวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้เป็นตัวแทนข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างแต่ละเครื่อง เพื่อที่จะนำไปใช้สำหรับการปรับสอนและทดสอบเครือข่ายต่อไป อันประกอบด้วย

1) ค่าโหลดสูงสุด (Peak load)

2) ค่าโหลดเฉลี่ย (Average load)

3) ค่าตัวประกอบกำลังขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (Power factor at peak load)

$$P.F._{(\text{at peak load})} = \frac{kW_{peak}}{kVA_{peak}} \tag{3.1}$$

4) ค่าตัวประกอบโหลด (Load factor)

$$kVA\ Load\ Factor\ (L.F._{kVA}) = \frac{kVA_{av}}{kVA_{peak}} \tag{3.2}$$

$$kW\ Load\ Factor\ (L.F._{kW}) = \frac{kW_{av}}{kW_{peak}} = \frac{P_{av} \times t}{kW_{peak} \times t} = \frac{E}{kW_{peak} \times t} \tag{3.3}$$

5) ค่าตัวประกอบการใช้งาน (Utilization factor)

$$Utilization\ Factor (U.F.) = \frac{kVA_{peak}}{kVA_{rated}} \tag{3.4}$$

6) ช่วงเวลาที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด

โดยที่ kW_{peak} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดในช่วงเวลาที่พิจารณา

kVA_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าปรากฏในช่วงเวลาที่พิจารณา

kVA_{peak} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุดในช่วงเวลาที่พิจารณา (ค่าโหลดสูงสุด)

kW_{av} และ P_{av} คือ ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าจริงในช่วงเวลาที่พิจารณา

t คือ ช่วงเวลาที่พิจารณา

E คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ที่หม้อแปลงจ่ายออกไปในช่วงเวลาที่พิจารณา

kVA_{rated} คือ ขนาดพิกัด (kVA) ของหม้อแปลงที่พิจารณา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 ข้อมูลปริมาณการจ่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงจากระบบฐานข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ข้อมูลในส่วนนี้เป็นข้อมูลของผู้ใช้ไฟ และปริมาณการใช้ไฟฟ้าเป็นหน่วย kWh ในรอบระยะเวลา 1 เดือน ของผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงเครื่องที่พิจารณา ซึ่งเป็นข้อมูลของหม้อแปลงเฉพาะเครื่องที่คัดเลือกไว้เป็นหม้อแปลงตัวอย่างเพื่อตรวจวัดข้อมูลเช่นเดียวกับในหัวข้อ 3.1.1 โดยนำมาจากฐานข้อมูลในเครื่อง Micro VAX [2] ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแต่ละเขต ดังแสดงเป็นตัวอย่างในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณการจ่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงตัวอย่างหมายเลข 34-4219
ขนาด 50 kVA ติดตั้งนอกเขตเมือง เขตการไฟฟ้ากาคกลาง 1
จังหวัด พระนครศรีอยุธยา เดือน กรกฎาคม 2540

เฟส	ผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัย		ผู้ใช้ไฟประเภทธุรกิจขนาดเล็ก	
	จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)	จำนวนผู้ใช้ไฟ (ราย)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh)
A	31	3456	0	0
B	19	2870	0	0
C	21	2567	0	0
ABC (3เฟส)	0	0	0	0
รวม	71	8893	0	0
สัดส่วน (%)	100	100	0	0

ข้อมูลของหม้อแปลงที่ได้จากเครื่อง VAX ในหัวข้อนี้จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์ในรูปของปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่หม้อแปลงจ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟทั้งประเภทที่อยู่อาศัยและประเภทธุรกิจขนาดเล็ก และในรูปของสัดส่วนของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่หม้อแปลงจ่ายให้ผู้ใช้ไฟแต่ละประเภท ซึ่งใช้เป็นตัวแปรด้านเข้าหลักที่ต้องป้อนให้แก่เครือข่ายเพื่อใช้ในการปรับสอน และใช้เป็นตัวแปรด้านเข้าหลักในการใช้เครือข่ายประสาทพยากรณ์โหลดหม้อแปลงต่อไป

การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ ตัวแปรด้านออกคือค่าตัวประกอบโหลด (kW load Factor) และค่าตัวประกอบกำลังขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (Power factor at peak load) จากตัวแปรด้านเข้าหลักที่มีความสัมพันธ์กันคือข้อมูลปริมาณการจ่ายไฟฟ้าที่หม้อแปลงจ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟทั้งประเภทบ้านอยู่อาศัยและประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และค่าสัดส่วนระหว่างปริมาณการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัยต่อปริมาณการจ่ายไฟทั้งหมดของหม้อแปลงในรอบเดือนที่พิจารณา ซึ่งนำมาจากฐานข้อมูลในเครื่อง VAX ของแต่ละเขตการไฟฟ้า ร่วมกับข้อมูลตัวแปรด้านเข้าที่จำเป็นอื่นๆ ดังนั้นนอกจากข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างในหัวข้อ 3.1.1 และหัวข้อ 3.2.2 แล้วยังมีข้อมูลในส่วนรายละเอียดอื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการปรับสอนเครือข่ายอีกคือ ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลจากหม้อแปลงตัวอย่าง และข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่าง ประกอบด้วยขนาดพิกัด สถานที่ตั้ง ซึ่งเมื่อรวมกับข้อมูลหลักที่กล่าวถึงในหัวข้อ 3.1.1 และหัวข้อ 3.2.2 แล้ว สามารถสรุปเป็นข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในการปรับสอนเครือข่ายได้ดังนี้

1) ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวแปรด้านเข้า
   - ปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงทั้งหมด (kWh)
   - สัดส่วนปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟแต่ละประเภท
   - ข้อมูลหม้อแปลง ซึ่งประกอบด้วย
     - ขนาดพิกัดของหม้อแปลง
     - สถานที่ติดตั้งหม้อแปลง (เขตการไฟฟ้าภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคใต้ หรือ ในเขตเมือง นอกเขตเมือง)
   - ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล (วัน เดือน ปี หรือ ฤดูกาล)
2) ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นตัวแปรด้านออก หรือค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ
   - ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor) ตามสมการ (3.3)
   - ค่าตัวประกอบกำลังขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load)

การนำข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟแต่ละประเภทที่เป็นหน่วย kWh ไปใช้วิเคราะห์โดยตรงกระทำได้ไม่สะดวกเนื่องจากหม้อแปลงแต่ละเครื่องมีขนาดพิกัดแตกต่างกัน จึงต้องมีการแปลงข้อมูลนี้ให้อยู่ในรูปของค่าต่อหน่วย (Per unit value) โดยคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟแต่ละประเภท ต่อค่าปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่หม้อแปลงเครื่องนั้นๆ สามารถจ่ายได้ในรอบ 1 เดือน (30 วัน) ดังสมการ (3.5)

$$p.u.kWh = \frac{kWh}{kVA_{rated} \times 30 \times 24} \quad (3.5)$$

ตัวอย่างข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการปรับสอนและทดสอบเครือข่ายที่ได้จากหม้อแปลงตัวอย่าง 24 เครื่อง ที่ติดตั้งในเขตการไฟฟ้าภาคกลาง1 จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ในรอบระยะเวลา 1 เดือน ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3..4 และข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการปรับสอนและทดสอบเครือข่ายที่ได้จากหม้อแปลงตัวอย่างในเขตการไฟฟ้าภาคกลางทั้งหมด (144 เครื่อง) ได้แสดงประกอบไว้ในภาคผนวก ก.

ในวิทยานิพนธ์นี้ข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่ได้จากการตรวจวัด และข้อมูลปริมาณการจ่ายไฟฟ้าของหม้อแปลงตัวอย่างจากระบบฐานข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน สำหรับใช้ในการปรับสอนเครือข่าย 1 ส่วน และสำหรับใช้ทดสอบเครือข่ายที่ได้รับการปรับสอนแล้วว่าสามารถคำนวณค่าพยากรณ์ได้ถูกต้องแม่นยำเพียงใดอีก 1 ส่วน โดยมีอัตราส่วนระหว่างจำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในแต่ละส่วนประมาณ 2 ต่อ 1 [9] ซึ่งข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่าง 24 เครื่องในรอบระยะเวลา 1 เดือน ที่ได้จากหม้อแปลงที่ติดตั้งในจังหวัดที่ได้รับคัดเลือกให้เป็นตัวแทนของการไฟฟ้าเขต ซึ่งมีจำนวน 2 จังหวัดในแต่ละเขต ตามที่แสดงเป็นตัวอย่างในตารางที่ 3.4 จะถูกแบ่งเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการปรับสอนเครือข่ายจังหวัดละ 16 เครื่อง โดยใช้ข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างเครื่องที่ 1-16 และเป็นข้อมูลสำหรับใช้ทดสอบผลการพยากรณ์ของเครือข่ายที่ได้รับการปรับสอนแล้วจังหวัดละ 8 เครื่อง โดยใช้ข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างเครื่องที่ 17-24 รวมเป็นข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่ใช้ในการปรับสอนทั้งหมด 384 เครื่อง (เขตละ 32 เครื่อง) และข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 192 เครื่อง (เขตละ 16 เครื่อง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 รายงานผลการตรวจวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่าง เขต กฟก.1 จังหวัด พระนครศรีอยุธยา เดือน กรกฎาคม 2540

เครื่องที่	รหัสหม้อแปลง	kVA	สถานที่ตั้ง/สัปดาห์ ในเมือง (I) / นอกเมือง (O)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า(kwh/เดือน)				Peak (kVA)	kVA Load factor	kW Load factor	ช่วงเวลาที่ เกิดโหลดสูงสุด	P.F. ที่เกิด peak load	U.F.	L.F.*U.F.	kWh from VAX	p.u. kWh
				บ้านพักอาศัย	%	ธุรกิจขนาดเล็ก	%									
1	36-16854	100	I week 1					51.4	0.540	0.528	22.00-23.00	0.771	0.51	0.28		
2	38-23448	160	I week 1	19826	68	9242	32								29068	0.252
3	29-5809	250	I week 1	37440	92	3144	8	180.1	0.487	0.489	20.00-21.00	0.798	0.72	0.35	40584	0.225
4	35-3476	160	I week 1	24012	69	10732	31	127.8	0.577	0.611	20.00-21.00	0.716	0.80	0.46	34744	0.302
5	34-4219	50	O week 1	8893	100	0	0	54.5	0.550	0.587	21.30-22.30	0.840	1.09	0.60	8893	0.247
6	35-7212	100	O week 1	13207	65	7220	35	43.0	0.474	0.491	20.00-21.00	0.722	0.43	0.20	20427	0.284
7	38-23457	160	O week 1	18695	90	2005	10	58.4	0.519	0.554	20.00-21.00	0.779	0.37	0.19	20700	0.180
8	36-16880	100	O week 1	7286	67	3533	33								10819	0.150
9	36-16273	160	I week 2	20426	97	596	3	91.4	0.527	0.560	19.30-20.30	0.696	0.57	0.30	21022	0.182
10	36-3213	50	I week 2	8037	71	3255	29	28.8	0.528	0.534	22.00-23.00	0.907	0.58	0.30	11292	0.314
11	37-10604	160	I week 2	22184	74	7803	26	103.7	0.538	0.601	20.00-21.00	0.774	0.65	0.35	29987	0.260
12	29-5847	250	I week 2	26312	59	18228	41								44540	0.247
13	38-20582	100	O week 2	10387	94	682	6	49.7	0.487	0.511	19.30-20.30	0.728	0.50	0.24	11069	0.154
14	37-11892	100	O week 2	11254	68	5333	32	61.8	0.516	0.498	20.00-21.00	0.911	0.62	0.32	16587	0.230
15	35-1680	250	O week 2	35126	91	3353	9	135.3	0.505	0.529	19.30-20.30	0.803	0.54	0.27	38479	0.214
16	37-11926	100	O week 2	13991	82	3126	18	66.0	0.510	0.570	19.30-20.30	0.778	0.66	0.34	17117	0.238
17	24-16360	250	I week 3	49791	92	4461	8	246.4	0.501	0.496	20.00-21.00	0.903	0.99	0.49	54252	0.301
18	30-0676	100	I week 3	6783	46	7997	54	66.9	0.513	0.544	19.00-20.00	0.761	0.67	0.34	14780	0.205
19	29-5818	250	I week 3	40518	59	28130	41	176.3	0.587	0.611	20.00-21.00	0.783	0.71	0.41	68648	0.381
20	34-8239	100	I week 3	9864	99	56	1	40.5	0.491	0.476	20.00-21.00	0.788	0.40	0.20	9920	0.138
21	29-1933	100	O week 3	16518	84	3035	16	51.6	0.589	0.530	19.00-20.00	0.919	0.52	0.30	19553	0.272
22	21-3540	160	O week 3	21210	82	4812	18								26022	0.226
23	26-9537	100	O week 3	12207	86	2041	14	56.6	0.503	0.529	19.30-20.30	0.792	0.57	0.28	14248	0.198
24	37-10595	160	O week 3	20935	94	1324	6	22.4	0.584	0.623	20.00-21.00	0.757	0.14	0.08	22259	0.193

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาท (Neural network architecture)

ก่อนหน้าที่จะทำการปรับสอนเครือข่ายประสาทเพื่อนำไปใช้เป็นแบบจำลองในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง จะต้องกำหนดรูปแบบ หรือสถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาท (Neural network architecture) เสียก่อน เพื่อให้เครือข่ายมีจำนวนยูนิตในชั้นตัวแปรด้านเข้า และจำนวนยูนิตในชั้นตัวแปรด้านออก สอดคล้องกับจำนวนตัวแปรด้านเข้าที่ป้อนให้แก่เครือข่าย และจำนวนตัวแปรด้านออกที่เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการตามลำดับ รวมถึงการกำหนดจำนวนยูนิตในชั้นซ่อน และการเลือกแอกติเวชันฟังก์ชันที่ใช้กับยูนิตในแต่ละชั้นอย่างเหมาะสม [12,13]

3.2.1 จำนวนยูนิตในแต่ละชั้น

วิทยานิพนธ์นี้ใช้เครือข่ายประสาทแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีสองชั้น ประกอบด้วยชั้นตัวแปรด้านเข้า ชั้นซ่อน และชั้นตัวแปรด้านออก ซึ่งมีการกำหนดจำนวนยูนิตในแต่ละชั้นเป็นดังนี้

การกำหนดมีจำนวนยูนิตในชั้นตัวแปรด้านเข้าและจำนวนยูนิตในชั้นตัวแปรด้านออก จะกำหนดตามจำนวนของข้อมูลที่ใช้เป็นตัวแปรด้านเข้าและด้านออกในการปรับสอนเครือข่ายที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 ตามลำดับ ซึ่งประกอบด้วยยูนิตในชั้นตัวแปรด้านเข้า 5 ยูนิต และยูนิตในชั้นตัวแปรด้านออก 2 ยูนิต โดยมีการกำหนดรูปแบบข้อมูลที่ป้อนให้แก่ยูนิตในชั้นตัวแปรด้านเข้า และข้อมูลที่ต้องการให้เครือข่ายคำนวณออกมาเป็นผลลัพธ์จากชั้นตัวแปรด้านออกแต่ละยูนิตเป็นดังนี้

1) ข้อมูลที่ป้อนให้แก่ยูนิตในชั้นตัวแปรด้านเข้า 5 ยูนิต

   1.1 ปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของหม้อแปลง (p.u. kWh)

   1.2 สัดส่วนปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัยต่อปริมาณการจ่ายพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของหม้อแปลง (% household / 100) ตัวอย่างเช่นในกรณีที่หม้อแปลงมีโหลดผู้ใช้ไฟประเภทบ้านอยู่อาศัย 50 % ค่าตัวแปรด้านเข้าของยูนิตนี้จะมีค่าเท่ากับ 0.5

   1.3 สถานที่ติดตั้งหม้อแปลง แบ่งตามเขตการไฟฟ้า

   - หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟน.1 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 1/12
   - หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟน.2 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 2/12
   - หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟน.3 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 3/12
   - หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟฉ.1 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 4/12
   - หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟฉ.2 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 5/12
   - หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟฉ.3 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 6/12

- หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟก.1 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 7/12
- หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟก.2 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 8/12
- หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟก.3 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 9/12
- หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟต.1 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 10/12
- หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟต.2 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 11/12
- หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขต กฟต.3 ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 12/12

1.4 สถานที่ติดตั้งหม้อแปลง แบ่งตามเขตในเมืองหรือนอกเขตเมือง

- หม้อแปลงที่ติดตั้งในเขตเมือง ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 1
- หม้อแปลงที่ติดตั้งนอกเขตเมือง ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 0

1.5 ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล (เดือน)

- ข้อมูลของเดือนมกราคม ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 1/12
- ข้อมูลของเดือนกุมภาพันธ์ ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 2/12
- ข้อมูลของเดือนมีนาคม ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 3/12
- ข้อมูลของเดือนเมษายน ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 4/12
- ข้อมูลของเดือนพฤษภาคม ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 5/12
- ข้อมูลของเดือนมิถุนายน ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 6/12
- ข้อมูลของเดือนกรกฎาคม ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 7/12
- ข้อมูลของเดือนสิงหาคม ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 8/12
- ข้อมูลของเดือนกันยายน ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 9/12
- ข้อมูลของเดือนตุลาคม ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 10/12
- ข้อมูลของเดือนพฤศจิกายน ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 11/12
- ข้อมูลของเดือนธันวาคม ใช้ค่าตัวแปรด้านเข้าเท่ากับ 12/12

2) ข้อมูลผลลัพธ์ที่ต้องการจากยูนิตในชั้นตัวแปรด้านออก 2 ยูนิต

2.1 ค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor) ตามสมการ (3.1)

2.2 ค่าตัวประกอบกำลังขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load)

เหตุผลของการที่ข้อมูลตัวแปรด้านเข้าที่มีจำนวน 6 ค่า แต่ใช้จำนวนยูนิตในชั้นตัวแปรด้านเข้าเพียง 5 ยูนิต เนื่องมาจากการคำนวณหาข้อมูล *p.u. kWh* ในสมการ (3.5) ได้รวมเอาค่า *kWh* และค่า kVA_{rated} ของหม้อแปลงไว้เรียบร้อยแล้ว

ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าการแบ่งสถานที่ติดตั้งหม้อแปลงตามเขตในเมืองและนอกเมืองทำได้ไม่สะดวกในทางปฏิบัติ [2-4] ผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลองเฉลี่ยขึ้นมาอีกหนึ่งแบบจำลอง สำหรับใช้พยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างระหว่างหม้อแปลงที่ติดตั้งในและนอกเขตเมือง ซึ่งในแบบจำลองเฉลี่ยนี้จะใช้เครือข่ายประสาทแบบป้อนไปข้างหน้าที่มีสองชั้น ที่มีจำนวนยูนิตในชั้นตัวแปรด้านออก 2 ยูนิต และมีรูปแบบข้อมูลที่ต้องการให้เครือข่ายคำนวณออกมาเป็นผลลัพธ์จากชั้นตัวแปรด้านออกแต่ละยูนิตเป็นเช่นเดียวกันกับแบบจำลองพื้นฐานที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ แต่เครือข่ายสำหรับพยากรณ์โหลดหม้อแปลงเฉลี่ยจะประกอบด้วยจำนวนยูนิตในชั้นตัวแปรด้านเข้าเพียง 4 ยูนิต โดยข้อมูลส่วนที่เป็นสถานที่ติดตั้งหม้อแปลงแบ่งตามเขตในและนอกเมือง (หัวข้อย่อย 1.4) จะไม่นำมาใช้เป็นตัวแปรด้านเข้าในแบบจำลองเฉลี่ยนี้

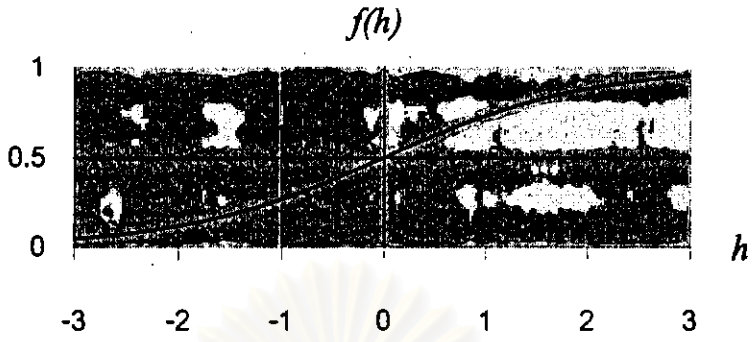
การพยากรณ์โหลดหม้อแปลงในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้เครือข่ายที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น เนื่องจากการนำเครือข่ายประสาทไปประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่นๆ ในสาขาไฟฟ้ากำลัง เช่นการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าระยะสั้น [6-10] และการคำนวณโหลดโฟลว์ [11] ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนมากกว่าการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง ต่างก็ใช้เครือข่ายที่มีจำนวนชั้นซ่อนเพียง 1 ชั้นในการแก้ปัญหา ดังนั้นเครือข่ายประสาทเทียมที่มีจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้นจึงมีสมรรถภาพเพียงพอสำหรับใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงในวิทยานิพนธ์นี้ จากนั้นจะทำการทดสอบเปรียบเทียบการปรับสอนระหว่างเครือข่ายที่มีจำนวนยูนิตในชั้นซ่อน 5 ยูนิต 10 ยูนิต และ 15 ยูนิต เมื่อใช้วิธีการปรับสอนแบบ MBP โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการปรับสอน และกำหนดค่า Error goal (MSE) ซึ่งเป็นเงื่อนไขการหยุดทำงานในการปรับสอนเครือข่ายให้เท่ากันทั้งหมด หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบจำนวนรอบ และเวลาที่เครือข่ายแต่ละแบบที่มีจำนวนยูนิตในชั้นซ่อนแตกต่างกันออกไปใช้ในการปรับสอน

3.2.2 แอกติเวชันฟังก์ชัน

แอกติเวชันฟังก์ชันที่ใช้กับยูนิตในชั้นซ่อนและยูนิตในชั้นตัวแปรด้านออกในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์ (Binary sigmoid function หรือ Log-sigmoid function) คือ

$$f(h) = \frac{1}{1 + \exp(-h)} \tag{3.6}$$

และมีลักษณะสมบัติดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะสมบัติของฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์

จากสมการ (3.6) และรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์เป็นฟังก์ชันที่มีพิสัยด้านออกอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งค่าตัวแปรที่ด้านออกของเครือข่ายที่ต้องการคือค่า kW load factor และ P.F. at peak load ต่างก็มีพิสัยอยู่ในช่วงดังกล่าวเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์นี้เป็นแอกติเวชันฟังก์ชันที่ใช้กับยูนิตในชั้นตัวแปรด้านออกของเครือข่าย [12,13] ส่วนแอกติเวชันฟังก์ชันของยูนิตในชั้นซ่อนใช้ฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์เช่นเดียวกัน เนื่องจากเครือข่ายประสาทแบบสองชั้นโดยทั่วไปจะใช้ฟังก์ชันนี้ที่ยูนิตซ่อน [6-11] อีกทั้งฟังก์ชันดังกล่าวยังเป็นฟังก์ชันแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่สามารถหาอนุพันธ์ได้โดยง่าย ซึ่งค่าอนุพันธ์ดังกล่าวจะต้องนำไปใช้คำนวณหาค่า Delta vector (δ) เพื่อใช้ในการหาค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าไบอัสที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างกระบวนการปรับสอน (Δw และ Δb) โดยมีรายละเอียดการคำนวณในกระบวนการปรับสอนเครือข่ายดังนี้

ค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์

$$f(h) = [1 + \exp(-h)]^{-1}$$

$$f'(h) = f(h)[1 - f(h)] \qquad (3.7)$$

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสของยูนิตในชั้นตัวแปรด้านออก (Δw_{jk} และ Δb_{yk}) ตามสมการ (2.32) และ (2.33) จะต้องใช้ค่า δ_k จากสมการ (2.30) ในกรณีที่ใช้แอกติเวชันฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์จะได้

$$\delta_k = (t_k - y_k) f_y'(y_in_k)$$

$$= (t_k - y_k) f(y_in_k)[1 - f(y_in_k)] \qquad (3.8)$$

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสของยูนิตในชั้นซ่อน (Δv_{ij} และ Δb_{hj}) ตามสมการ (2.34) และ (2.35) จะต้องใช้ค่า δ_j จากสมการ (2.31) ในกรณีที่ใช้แอกติเวชันฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์จะได้

$$\delta_j = f_h'(h_in_j)\sum_k(\delta_k w_{jk})$$

$$= f_h(h_in_j)\left[1 - f_h(h_in_j)\right]\sum_k(\delta_k w_{jk}) \qquad (3.9)$$

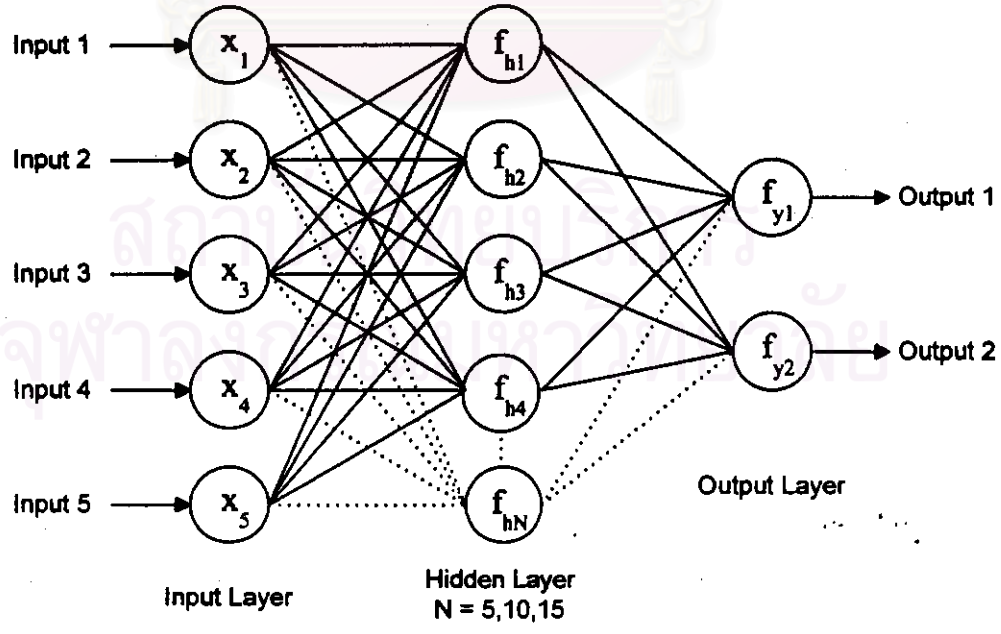
โดยที่ t_k คือค่าผลลัพธ์ที่ต้องการจากยูนิตที่ k

y_k คือข้อมูลด้านออกของยูนิตตัวแปรด้านออกที่ k

y_in_k คือผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของยูนิตตัวแปรด้านออกที่ k

h_in_j คือผลรวมของข้อมูลด้านเข้าของยูนิตซ่อนที่ j

สถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทที่จะนำมาใช้เพื่อการพยากรณ์ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาทที่ใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง

3.3 การปรับสอนเครือข่ายประสาทเทียม

การปรับสอนเครือข่ายในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่กระจายความผิดพลาดกลับร่วมกับโมเมนตัมและกระบวนการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ (MBP) ซึ่งหลักการของโมเมนตัมจะช่วยแก้ปัญหาด้าน Local minimum และการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ให้มีค่าเหมาะสมจะส่งผลให้กระบวนการปรับสอนลู่เข้าเร็วขึ้น ดังรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

3.3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการปรับสอน

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการปรับสอนแบบ MBP ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้ตามที่ Howard Demuth และ Mark Beale ได้แนะนำไว้ [12,13] ดังนี้

1) ค่า Momentum constant (*mc*) เท่ากับ 0.9
2) ค่าอัตราการเรียนรู้เริ่มต้น (α_ini) เท่ากับ 0.01
3) ค่าอัตราส่วนค่าผิดพลาด (*Err_ratio*) เท่ากับ 1.04
4) ค่าอัตราการลดลงของค่าอัตราการเรียนรู้ (*lr_dec*) เท่ากับ 0.7
5) ค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราการเรียนรู้ (*lr_dec*) เท่ากับ 1.05

เราสามารถทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้เพื่อควบคุมผลของโมเมนตัม และการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอัตราการเรียนรู้ได้อย่างอิสระ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทดลองใช้ค่า Momentum constant (*mc*) ที่แตกต่างกันออกไป 4 ค่า คือ *mc* = 0, 0.85, 0.9 และ 0.95 เพื่อทดสอบเปรียบเทียบผลของโมเมนตัมที่มีต่อปรับสอน

ในการปรับสอนเครือข่าย หากเราเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ไม่เหมาะสมนอกจากจะทำให้กระบวนการปรับสอนลู่เข้าช้าลงแล้ว ในบางกรณีอาจทำให้กระบวนการปรับสอนไม่ลู่เข้าเลยก็ได้

3.3.2 ขั้นตอนในการปรับสอนเครือข่ายประสาทเทียม

การนำกฎการเรียนรู้แบบแพร่กระจายความผิดพลาดกลับร่วมกับโมเมนตัมและกระบวนการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ (MBP) ไปใช้ในการปรับสอนเครือข่ายประสาทสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณหาเวกเตอร์ตัวแปรด้านออกจากเวกเตอร์ตัวแปรด้านเข้าที่กำหนดตามสมการ (2.21) ถึงสมการ (2.24) โดยใช้ฟังก์ชันไบนารีซิกมอยด์เป็นแอกติเวชันฟังก์ชันของทั้งยูนิตในชั้นซ่อนและยูนิตในชั้นตัวแปรด้านออก ทั้งนี้หากเป็นการคำนวณรอบแรกจะต้องมีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสเริ่มต้นก่อน โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการสุ่มค่าที่เป็นค่าบวกหรือค่าลบน้อยๆ ระหว่างช่วง –1 ถึง 1 นำมาใช้เป็นค่าเริ่มต้น

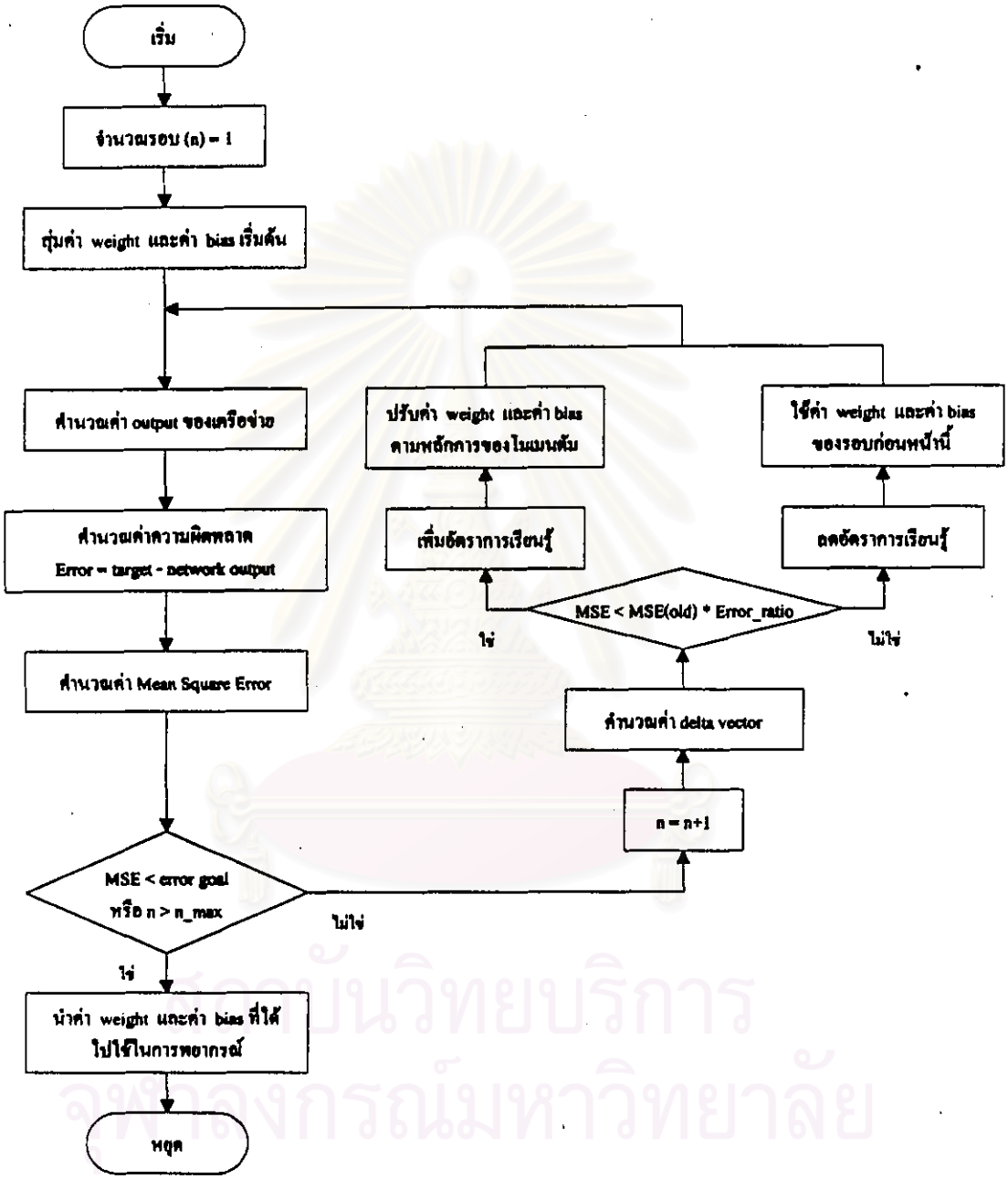
ขั้นที่ 2 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดทำงาน โดยคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดกำลังสอง (Mean square error) ที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างระหว่างค่าตัวแปรด้านออกที่คำนวณได้กับค่าผลลัพธ์ที่ต้องการของชุดข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนทั้งหมด ถ้ามีค่าน้อยกว่าค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Error goal) ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ค่าเท่ากับ 0.01 หรือมีรอบการปรับสอนเกินจำนวนรอบที่กำหนดไว้เท่ากับ 20,000 รอบ ก็ให้หยุดการปรับสอน ไม่เช่นนั้นให้ทำการคำนวณต่อไปในขั้นที่ 3

เหตุที่ใช้ค่า Error goal = 0.01 เนื่องมาจากค่านี้เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าผิดพลาดเฉลี่ยที่เกิดจากการใช้แบบจำลองทางสถิติในการพยากรณ์ (ตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้) ซึ่งค่าผิดพลาดที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ คือค่า kW load factor และค่า P.F. at peak load มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 นอกจากนั้นจากการทดลองทำการปรับสอนเครือข่ายเป็นระยะเวลานาน จะพบว่าค่าผิดพลาดต่ำสุดจะไม่ลดลงไปจากค่านี้มากนัก

ขั้นที่ 3 คำนวณค่าการปรับเปลี่ยนความผิดพลาดของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัส (δ_i และ δ_j) ตามสมการ (3.8) และสมการ (3.9) ตามกฎการเรียนรู้แบบแพร่กระจายความผิดพลาดกลับ โดยเริ่มจากชั้นตัวแปรด้านออกก่อน แล้วใช้กฎการเรียนรู้แบบแพร่กระจายความผิดพลาดกลับคำนวณค่า δ สำหรับชั้นถัดเข้าไป

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสทั้งหมดใหม่ ตามหลักการของโมเมนตัมและกระบวนการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ที่กล่าวรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 2.6.4 จากนั้นให้กลับไปทำขั้นที่ 1 ใหม่

ขั้นตอนการปรับสอนเครือข่ายทั้งหมดสามารถแสดงในรูปแผนภูมิการทำงานได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการปรับสอนเครือข่ายประสาทโดยใช้กระบวนการปรับสอนแบบแพร่กระจายความผิดพลาดกลับร่วมกับโมเมนตัมและวิธีปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ (MBP)

3.4 การประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลง

เมื่อเครือข่ายประสาทได้รับการปรับสอนตามกระบวนวิธีการแพร่กระจายกลับร่วมกับโมเมนตัมและวิธีการปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ (MBP) โดยใช้ข้อมูลตัวอย่างในหัวข้อ 3.1 เรียบร้อยแล้วจึงนำค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสที่หาได้มาใช้ในการคำนวณค่าพยากรณ์ โดยป้อนข้อมูลตัวแปรด้านเข้าให้แก่เครือข่ายประสาทในลักษณะเดียวกันกับการป้อนข้อมูลด้านเข้าที่ใช้ในการปรับสอน ซึ่งข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่ต่ออยู่กับหม้อแปลงและสัดส่วนของผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัยที่ใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าหลักนั้น ในทางปฏิบัติจริงจะนำมาจากฐานข้อมูลในเครื่อง VAX ของ กฟภ. เมื่อป้อนตัวแปรด้านเข้าแล้ว เครือข่ายประสาทจะคำนวณค่าตัวแปรด้านออก คือค่าตัวประกอบโหลด (kW Load factor) และค่าตัวประกอบกำลังขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด (P.F. at peak load) จากนั้นจึงนำค่าที่คำนวณได้ทั้งสองค่าไปใช้ในการคำนวณหาค่าโหลดสูงสุดที่หม้อแปลงจ่าย (kVA_{peak}) หรือค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ต้องการพยากรณ์

การนำเครือข่ายประสาทเทียมที่ได้รับการปรับสอนแล้วไปประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงในวิทยานิพนธ์นี้สามารถสรุปขั้นตอนในการคำนวณได้ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ทำการพิจารณาข้อมูลหม้อแปลงตามรหัสหมายเลข สถานที่ติดตั้งหม้อแปลง รวมถึงเวลาที่จะทำการพยากรณ์ และบันทึกเป็นข้อมูลที่ใช้ป้อนเข้าเครือข่ายตามข้อกำหนด

ขั้นที่ 2 ทำการคำนวณค่าตัวประกอบโหลด ($L.F._{kW}$) และค่าตัวประกอบกำลังขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดสูงสุด ($P.F.$) โดยใช้เครือข่ายประสาทที่ได้รับการปรับสอนไว้เรียบร้อยแล้ว

ขั้นที่ 3 คำนวณค่ากำลังจริงสูงสุดของหม้อแปลง (kW_{peak}) ได้จาก

$$kW_{peak} = \frac{kWh}{L.F._{kW} \times 30 \times 24} \tag{3.10}$$

โดยที่ kW_{peak} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่เกิดขึ้นของหม้อแปลงเครื่องที่พิจารณา

kWh คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่หม้อแปลงจ่ายในรอบเดือน

เมื่อแทนค่า kWh จากขั้นที่ 1 และแทน $L.F._{kw}$ ที่คำนวณได้จากขั้นที่ 2 ก็จะสามารถคำนวณค่า kW_{peak} ซึ่งเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดของหม้อแปลงได้ จากนั้นค่าโหลดสูงสุด (kVA_{peak}) ของหม้อแปลงสามารถคำนวณได้จาก

$$kVA_{peak} = \frac{kW_{peak}}{P.F._{\text{(at peak load)}}} \tag{3.11}$$

โดยค่า $P.F.$ เป็นค่าที่คำนวณได้ในขั้นที่ 2 เช่นกัน

ขั้นที่ 4 คำนวณค่า Utilization factor ($U.F.$) ของหม้อแปลงเครื่องที่พิจารณาจาก

$$U.F. = \frac{kVA_{peak}}{kVA_{rated}} \tag{3.12}$$

โดยค่า kVA_{peak} คำนวณได้จากขั้นที่ 3 ส่วนค่า kVA_{rated} หรือขนาดพิกัดของหม้อแปลงนั้นเราทราบจากข้อมูลของหม้อแปลงที่บันทึกไว้ในขั้นที่ 1

ขั้นที่ 5 จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างตามที่แสดงในภาคผนวก ก. แสดงให้เห็นว่าค่า kVA Load factor มีค่าใกล้เคียงกับค่า kW Load factor มาก ดังนั้นเราสามารถนำค่า $L.F._{kw}$ จากขั้นที่ 2 และ $U.F.$ จากขั้นที่ 4 มาใช้ในการคำนวณผล $U.F. \times L.F.$ ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงสภาพการจ่ายโหลดโดยเฉลี่ยของหม้อแปลงเมื่อเทียบกับขนาดพิกัด (Loading point) [2-4] เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบว่าหม้อแปลงเครื่องที่พิจารณาจ่ายโหลดอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสม (Optimum loading) หรือระดับที่ทำให้หม้อแปลงมีประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุดตามรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{P_o}{P_k}}$ หรือไม่เพียงใด

โดยที่ P_o หมายถึงค่ากำลังสูญเสียของหม้อแปลงขณะไม่ได้จ่ายโหลด (No-load loss)

P_k หมายถึงค่ากำลังสูญเสียของหม้อแปลงขณะมีโหลดเต็มพิกัด (Rated copper loss)

ทั้งนี้ค่า P_o และ P_k สามารถพิจารณาได้จากข้อกำหนดคุณสมบัติหม้อแปลงของกฟภ.

3.5 สรุปขั้นตอนการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงโดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในบทนี้เป็นการนำเครือข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการพยากรณ์โหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งการคำนวณของเครือข่ายประสาทมีขั้นตอนการทำงานโดยสรุปดังนี้

1) เก็บรวบรวม จัดกลุ่ม และวิเคราะห์ชุดข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่จะนำมาใช้สำหรับปรับสอนเครือข่ายประสาท ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1
2) นำข้อมูลของหม้อแปลงตัวอย่างที่เตรียมไว้มาใช้ในการปรับสอนเครือข่ายประสาท เพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนัก และค่าไบอัสที่เหมาะสม โดยใช้กฎการเรียนรู้แบบการแพร่กระจายความผิดพลาดกลับร่วมกับโมเมนตัมและวิธีปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้ (MBP) ซึ่งขั้นตอนการปรับสอนเครือข่ายประสาทได้แสดงไว้ในหัวข้อ 3.3.2 และมีแผนภูมิแสดงขั้นตอนในการปรับสอนเครือข่ายดังแสดงในรูปที่ 3.3
3) นำค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบอัสที่คำนวณได้ไปใช้ในการคำนวณค่าพยากรณ์ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4

จากขั้นตอนการนำเครือข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้เป็นแบบจำลองในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงที่กล่าวในบทนี้ เราสามารถนำวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์โหลดหม้อแปลงได้ในลักษณะเดียวกัน คือการใช้วิธีทางสถิติในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้สำหรับพยากรณ์ค่า kW load factor และค่า P.F. at peak load แทนเครือข่ายประสาท โดยมีรายละเอียดดังที่จะกล่าวในบทที่ 4 และได้แสดงผลการทดสอบ และเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ระหว่างทั้งสองวิธีไว้ในบทที่ 5 ต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย