

บทที่ 5

การวิเคราะห์การคำนวณโหลดไฟฟ้โดยใช้เครือข่ายประสาท

ผลการวิเคราะห์ในบทนี้ ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นบนระบบปฏิบัติการ 32 บิต เช่น วินโดว์ 95 หรือวินโดว์เอ็นที การทดสอบทำจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ของ DELL รุ่น Pentium Pro 200 RAM 32 MB ระบบปฏิบัติการ Window NT 4.0 Workstation สำหรับการใช้อุปกรณ์ได้สรุปไว้ในภาคผนวก ก

5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบการคำนวณโหลดไฟฟ้โดยใช้เครือข่ายประสาท

ในบทนี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณโหลดไฟฟ้ของระบบ 6 บัส 14 บัส 30 บัส และ 57 บัส โดยแต่ละระบบจะใช้ข้อมูลในการทดสอบ 11 รูปแบบ (Patterns) ซึ่งได้มาจากการสุ่มค่าของกำลังไฟฟ้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้และโหลดตั้งได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1 ใน 11 รูปแบบนี้ประกอบด้วยข้อมูลที่แยกพิจารณา 5 กรณี และใช้กรณีละ 2 รูปแบบ ส่วนในรูปแบบที่ 11 เป็นข้อมูลของกรณีฐาน (Base case) ข้อมูลของระบบไฟฟ้ที่ใช้ในการทดสอบและข้อมูลที่ใช้ทดสอบการคำนวณโหลดไฟฟ้โดยใช้เครือข่ายประสาทอยู่ในภาคผนวก ข และ ค ตามลำดับ

5.2 อัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับการปรับสอนของระบบทดสอบ

ก่อนทำการทดสอบการคำนวณโหลดไฟฟ้จะต้องปรับสอนเครือข่ายประสาทตามกฎการเรียนรู้ของกฎ Delta-Bar-Delta (DBD) ในการปรับสอนได้ทดลองใช้ค่าตัวแปรที่แนะนำสำหรับงานทั่วไปจากตารางที่ 4.2 ในหัวข้อ 4.2.1 กับระบบไฟฟ้ 6 บัส 14 บัส 30 บัส และ 57 บัส พบว่าอัตราการรู้เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักไม่เหมือนกัน และตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการรู้เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักจากกฎการเรียนรู้ทั้งสองนี้คือ อัตราการเรียนรู้ (α) สำหรับการปรับค่าตัวแปรอื่นที่แนะนำไว้จากการทดลองพบว่าเป็นค่าที่เหมาะสมแล้ว สำหรับการพิจารณาค่าอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมแต่ละระบบทำได้โดยการกำหนดค่าตัวแปรอื่นๆ ให้คงที่และปรับค่าอัตราการเรียนรู้ เปรียบเทียบจำนวนรอบ เวลา และค่า AEPP ที่ใช้ปรับสอน ซึ่งจะยกตัวอย่างการทดสอบจากระบบ 14 บัส ที่ใช้ข้อมูลในการปรับสอน 20,000 รูปแบบ ดังตารางที่ 5.1 และสรุปค่าอัตราการเรียนรู้

ที่เหมาะสมของแต่ละระบบทดสอบ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 แสดงการเข้าสู่ของค่าถ่วงน้ำหนักเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราการเรียนรู้
ของระบบทดสอบ 14 บั๊ต

อัตราการเรียนรู้	กฎการเรียนรู้					
	SBM			DBD		
	จำนวนรอบ	เวลา*	AEPP	จำนวนรอบ	เวลา*	AEPP
0.9	1,000	4:46:14.81	2.111E-4	1,000	6:44:63.73	4.698E-4
0.75	1,000	4:46:15.00	1.914E-4	1,000	6:45:16.73	1.963E-4
0.5	492	2:20:56.92	4.997E-5	1,000	6:45:35.78	1.816E-4
0.25	1,000	4:45:42.05	1.011E-4	732	4:57:49.98	4.9880E-5
0.1	1,000	4:45:42.05	2.739E-4	853	5:46:58.98	4.970E-5

หมายเหตุ * คือรูปแบบของเวลาเป็น ชั่วโมง : นาที : วินาที

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละระบบทดสอบ

กฎการเรียนรู้	ระบบทดสอบ			
	6 บั๊ต	14 บั๊ต	30 บั๊ต	57 บั๊ต
SBM	0.75	0.5	0.5	0.25
DBD	0.9	0.25	0.1	0.5

5.3 ผลการวิเคราะห์การคำนวณโหลดโพล์ของระบบ 6 บั๊ต

จำนวนรูปแบบที่ใช้ในการปรับสอนเครือข่ายประสาท (p) ของระบบ 6 บั๊ตคือ 5,000 10,000 และ 15,000 รูปแบบ โดยได้มาจากหัวข้อ 4.1 เมื่อนำข้อมูลไปปรับสอนเครือข่ายจะได้ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลนั้น ๆ ผลการปรับสอนดังแสดงในตารางที่ 5.3 จากนั้นนำค่าถ่วงน้ำหนักนี้ไปคำนวณโหลดโพล์ โดยที่ข้อมูลที่ใช้ทดสอบดังได้กล่าวในหัวข้อ 5.1 มีจำนวน 11 รูปแบบ ผลจากการคำนวณโหลดโพล์จากเครือข่ายประสาทจะนำไปเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณโหลดโพล์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันแบบอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังไฟฟ้า (Power mismatch, ε) $\varepsilon = 0.001$ และใช้ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute

error, MAE) เป็นดัชนีแสดงความผิดพลาด สำหรับเวลาที่ใช้ในการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกันมาก ประมาณ 10^{-7} วินาที ที่มีค่าใกล้เคียงกันเพราะขนาดเมตริกซ์ของค่าถ่วงน้ำหนักมีขนาดเท่ากัน ด้วยเหตุนี้จึงไม่ใช้ในการเปรียบเทียบ เวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอนเครือข่ายดังแสดง ในตารางที่ 5.3 และผลการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ของแรงดันไฟฟ้า แต่ละบัสของระบบ 6 บัส แสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.3 แสดงเวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอนของระบบ 6 บัส

จำนวนข้อมูลที่ใช้ปรับสอน	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่อรูปแบบ (AEPP)	จำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอน	เวลาที่ใช้ปรับสอน (ชั่วโมง:นาที:วินาที)
5,000	6.170E-04	1,000	00:29:39.31
10,000	4.990E-05	343	00:20:15.00
15,000	4.970E-05	65	00:05:45.69

จากตารางที่ 5.3 และ 5.4 สรุปได้ว่า

- กรณี $p = 5,000$ จากตารางที่ 5.3 ที่รอบการปรับสอน 1,000 รอบ ค่า AEPP ยังคงสูงกว่า 0.00005 แต่รอบการคำนวณกำหนดไว้สูงสุด 1,000 รอบ โปรแกรมจึงหยุดการปรับสอน แต่ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้สามารถนำมาใช้ทดสอบได้โดยค่าความคลาดเคลื่อนจะสูงขึ้น จากการสังเกตพบว่าค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า (V) สูงสุด 0.21% ค่าเฉลี่ย 0.10% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า ($\angle V$) สูงสุดถึง 20.71% ค่าเฉลี่ย 5.82% ซึ่งสูงกว่ากรณีอื่น และเวลาที่ใช้ในการปรับสอนใช้มากกว่ากรณีอื่นด้วย

- กรณี $p = 10,000$ การปรับสอนใช้เวลาน้อยกว่า $p = 5,000$ และเมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักไปทดสอบพบว่าค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 0.25% ค่าเฉลี่ย 0.13% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 12.91% ค่าเฉลี่ย 4.45% ซึ่งดีกว่ากรณี $p = 5,000$

- กรณี $p = 15,000$ การปรับสอนจะใช้เวลาน้อยที่สุดและเมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักไปทดสอบพบว่าค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 0.24% ค่าเฉลี่ย 0.13% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 10.85% ค่าเฉลี่ย 5.05%

ตารางที่ 5.4 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ข้อมูล ในการปรับสอนที่ค่า p ต่างๆ ของระบบ 6 บัต์

รูปแบบที่	จำนวนข้อมูลในการปรับสอน (p)					
	5,000		10,000		15,000	
	$ V $	$\angle V$	$ V $	$\angle V$	$ V $	$\angle V$
1	0.12	4.86	0.11	5.07	0.15	5.28
2	0.00	9.74	0.25	8.77	0.24	7.95
3	0.21	20.71	0.21	12.91	0.14	10.85
4	0.15	4.21	0.12	3.08	0.08	4.25
5	0.13	4.48	0.11	4.66	0.16	4.89
6	0.12	2.50	0.11	4.84	0.15	5.07
7	0.08	1.98	0.08	0.87	0.03	0.88
8	0.05	0.83	0.05	0.87	0.05	2.70
9	0.06	1.45	0.11	1.15	0.12	6.38
10	0.12	8.44	0.14	1.64	0.14	2.05
11	0.12	4.85	0.11	5.05	0.15	5.27
เฉลี่ย	0.10	5.82	0.13	4.45	0.13	5.05

ในการคำนวณโหลดโพล์แบบดั้งเดิมที่นิยมใช้กันทั่วไปใช้วิธีฟาสต์ดีคัปปิล เพราะการคำนวณเร็วกว่าวิธีอื่นและมีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อทดสอบการคำนวณโหลดโพล์ระหว่างการให้เครือข่ายประสาทและวิธีฟาสต์ดีคัปปิล โดยใช้ข้อมูลทดสอบจากกรณีฐาน (Base case) วิธีฟาสต์ดีคัปปิลใช้ค่า $\epsilon = 0.001$ และเครือข่ายประสาทให้ข้อมูลปรับสอน 15,000 รูปแบบ ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.5 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำมาก แต่ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมจะมีค่าค่อนข้างสูงพอควร ในที่นี้ไม่ได้แสดงเวลาในการคำนวณของทั้งสองวิธี เพราะเป็นระบบขนาดเล็กเวลาการคำนวณน้อยมาก แต่หากเป็นระบบขนาดใหญ่ขึ้นแล้วพบว่าเวลาในการคำนวณของเครือข่ายประสาทจะรวดเร็วกว่ามาก เพราะเป็นคำนวณเพียงครั้งเดียวไม่ต้องมีการป้อนกลับ

ถ้าพิจารณาเฉพาะขนาดแรงดันไฟฟ้าพบว่าเครือข่ายประสาทสามารถให้คำตอบที่ดีมาก ซึ่งตัวอย่างการนำไปใช้งานเฉพาะขนาดแรงดันไฟฟ้า คือ ใช้ในการควบคุมการสับสวิตช์คาปาซิเตอร์ เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟในการปรับแก้แรงดันไฟฟ้าตกเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ซึ่งการควบคุมเวลาจริง ต้องใช้การคำนวณขนาดแรงดันไฟฟ้าที่มีความรวดเร็ว การใช้เครือข่ายประสาทคำนวณแรงดันไฟฟ้าจะมีความเหมาะสมมาก [30,31]

อย่างไรก็ตามพบว่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ยังคงมีค่าค่อนข้างสูง โดยเฉพาะมุมของแรงดันไฟฟ้า การจะนำแรงดันไฟฟ้าไปใช้ในการคำนวณบางอย่างที่ต้องการความถูกต้องสูงนั้นผลจากการคำนวณโหนดโพลาร์จากเครือข่ายประสาทจะต้องลดค่าความคลาดเคลื่อนลง ซึ่งสามารถทำได้สองแนวทางคือ แนวทางแรกทำการปรับสอนใหม่โดยใช้จำนวนรอบการปรับสอนมากกว่า 1,000 รอบ และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 0.00005 แต่เวลาในการปรับสอนจะเพิ่มขึ้นด้วย และแนวทางที่สองคือการนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครือข่ายประสาทเป็นค่าเริ่มต้นให้กับการคำนวณโหนดโพลาร์แบบดั้งเดิม เมื่อแรงดันเริ่มต้นมีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ต้องการ จำนวนรอบการคำนวณที่ใช้จึงน้อยกว่าเดิมดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.3

จากแนวทางแรกทดลองใช้ข้อมูลในการปรับสอน 50,000 รูปแบบการปรับสอนใช้จำนวนรอบการปรับสอน 2,000 รอบ และกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน $1.0E-6$ ผลการทดลองปรากฏว่าใช้จำนวนรอบในการปรับสอนทั้งหมด 2,000 รอบ ค่า $AEP = 2.389E-5$ ใช้เวลา 9 ชั่วโมง 49 นาที 35.23 วินาที เมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักไปใช้คำนวณโหนดโพลาร์พบว่าค่า MAE สูงสุด 14.66 และค่าเฉลี่ย 4.97 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ $p = 15,000$ ดังตารางที่ 5.6 พบว่าค่าเฉลี่ย MAE ลดลงจากเดิมเล็กน้อยแต่เวลาที่ใช้เพิ่มจากเดิมเป็นอย่างมาก

ผลการวิเคราะห์ของแนวทางที่สองดังตารางที่ 5.7 (ก) และ 5.7 (ข) เป็นการเปรียบเทียบการใช้ค่าเริ่มต้นของแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเครือข่ายประสาทในที่นี้จะเรียกว่า NNLF กับเมื่อใช้ค่าเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าแบบวิธีทั่วไป (Flat start) และการใช้ค่าเริ่มต้นของผลการคำนวณครั้งก่อนเป็นค่าเริ่มต้น (Hot start) ในที่นี้รอบการคำนวณครั้งก่อนคือผลการคำนวณโหนดโพลาร์แบบดั้งเดิมของกรณีฐาน (Base case) วิธีการคำนวณโหนดโพลาร์แบบดั้งเดิมที่ใช้ในการเปรียบเทียบมี 3 วิธีคือ วิธีนิวตัน-ราฟสันแบบอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (FOLF) แบบอนุพันธ์อันดับที่สอง (SOLF) และวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล (FDLF) โดยตารางที่ 5.7 (ก) ใช้ค่า $\epsilon = 0.01$ และตารางที่ 5.7 (ข) ใช้ค่า $\epsilon = 0.001$

จากผลการวิเคราะห์ทั้งสองแนวทางจึงเลือกทำตามแนวทางที่สองเท่านั้นสำหรับระบบ 14 บัส 30 บัส และ 57 บัส ที่จะกล่าวถึงต่อไป

ในตารางที่ 5.7 (ก) และ 5.7 (ข) ทำการเปรียบเทียบเพียงแต่จำนวนรอบเท่านั้น เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการคำนวณโหนดโพลาร์แบบดั้งเดิมน้อยมากสำหรับระบบขนาดเล็ก อีกทั้งยังได้มีงานวิจัยทำการเปรียบเทียบเวลาการคำนวณโหนดโพลาร์แบบดั้งเดิมของแต่ละวิธีอยู่แล้ว [3,4] จึงไม่นำเวลามาเปรียบเทียบ จากตารางที่ 5.7 (ก) และ 5.7 (ข) พบว่าเมื่อค่า $\epsilon = 0.01$ และ $\epsilon = 0.001$ โดยโหนดโพลาร์ใช้วิธี FOLF และ FDLF จำนวนรอบของ NNLF น้อยกว่า Flat start

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณโหลดโพลีระหว่างวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล และเครือข่ายประสาทของระบบ 6 บัส

บัสที่	ผลการคำนวณโหลดโพลี				ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	
	วิธี FDLF		วิธีเครือข่ายประสาท		V $\angle V$	
	V	$\angle V$	V	$\angle V$		
1	1.0500	0.0000	1.0482	-0.0234	0.1695	-2.3420
2	1.0500	-3.0354	1.0485	-2.7989	0.1410	7.7933
3	1.0700	-4.0048	1.0680	-3.8798	0.1832	3.1200
4	0.9890	-3.7953	0.9913	-3.9970	-0.2326	-5.3147
5	0.9853	-4.9488	0.9870	-5.3665	-0.1654	-8.4419
6	1.0042	-5.5718	1.0045	-5.8307	-0.0249	-4.6461

ตารางที่ 5.6 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้จำนวนข้อมูล ในการปรับสอน $p = 15,000$ และ $p = 50,000$ ของระบบ 6 บัส

รูปแบบที่	จำนวนข้อมูลที่ปรับสอน (p)			
	15,000		50,000	
	V	$\angle V$	V	$\angle V$
1	0.15	5.28	0.14	5.15
2	0.24	7.95	0.37	7.16
3	0.14	10.85	0.25	14.66
4	0.08	4.25	0.17	1.82
5	0.16	4.89	0.14	4.85
6	0.15	5.07	0.13	4.99
7	0.03	0.88	0.04	1.27
8	0.05	2.70	0.04	0.66
9	0.12	6.38	0.12	2.57
10	0.14	2.05	0.11	6.45
11	0.15	5.27	0.14	5.14
เฉลี่ย	0.13	5.05	0.15	4.97

และ Hot start เกือบทุกรูปแบบของข้อมูลที่ให้ทดสอบ ถ้าโหลดโพลีใช้วิธี SOLF ที่ $\varepsilon = 0.01$ ทั้ง NNLF, Flat start และ Hot start ใช้จำนวนรอบเท่าๆ กัน แต่ที่ $\varepsilon = 0.001$ แบบ NNLF ใช้

จำนวนรอบต่ำกว่าแบบ Flat start และ Hot start ที่กรณีฐานหรือรูปแบบทดสอบที่ 11 ของวิธี Hot start ไม่ต้องทำการคำนวณเลยเพราะค่าเริ่มต้นคือค่าตอบของโหนดโพลีแล้วนั่นเอง

ตารางที่ 5.7 (ก) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหนดโพลีของระบบ 6 บัสที่ $\varepsilon = 0.01$

รูปแบบที่	จำนวนรอบการคำนวณโหนดโพลี								
	Flat Start			Hot Start			NNLF		
	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF
1	2	1	3	0	1	1	1	1	2
2	2	1	3	2	1	3	1	1	3
3	2	1	3	2	1	3	1	1	3
4	2	1	3	1	1	3	1	1	2
5	2	1	3	1	1	3	1	1	2
6	2	1	3	1	1	3	1	1	2
7	2	2	3	1	1	3	1	1	2
8	2	1	3	1	1	3	1	1	2
9	2	1	3	1	1	3	1	1	3
10	2	1	3	1	1	3	1	1	3
11	2	1	3	0	0	0	1	1	2

ถ้าพิจารณาความคลาดเคลื่อนของขนาดและมุมแรงดันไฟฟ้าของข้อมูลทดสอบทั้ง 11 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.8 (ก) และ 5.8 (ข) ตามลำดับ โดยเปรียบเทียบระหว่างผลจากเครือข่ายประสาทที่ $p = 15,000$ และวิธีนิวตัน-ราฟสันอันดับที่หนึ่งที่ $\varepsilon = 0.001$ จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าทุกรูปแบบมีค่าต่ำ แต่มุมจะมีค่าค่อนข้างสูงในบางรูปแบบ

จากการวิเคราะห์การใช้เครือข่ายประสาทคำนวณโหนดโพลีของระบบ 6 บัส สรุปได้ว่าจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนที่เหมาะสมคือ 15,000 รูปแบบ และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำสามารถนำไปใช้ในงานควบคุมที่ต้องการเฉพาะความถูกต้องของแรงดันไฟฟ้า ณ เวลาจริงได้ แต่ถ้าต้องการความถูกต้องทั้งขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นต้องปรับสอนใหม่หรือผ่านค่าผลลัพธ์เป็นค่าเริ่มต้นของโหนดโพลี ซึ่งจากการสังเกตพบว่าใช้จำนวนรอบน้อยกว่าการกำหนดค่าเริ่มต้นด้วยวิธีอื่นเกือบทุกรูปแบบ

ตารางที่ 5.7 (ข) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดโพลีของระบบ 6 บัสที่ $\varepsilon = 0.001$

รูปแบบที่	จำนวนรอบการคำนวณโหลดโพลี								
	Flat Start			Hot Start			NNLF		
	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF
1	2	2	4	1	2	4	1	1	4
2	2	2	4	2	1	4	1	1	3
3	2	2	4	2	2	5	1	1	3
4	2	2	4	2	2	5	1	1	3
5	2	2	4	1	1	4	1	1	4
6	2	2	4	1	1	4	1	1	4
7	2	2	4	2	1	3	1	1	3
8	2	2	4	2	1	4	1	1	3
9	2	2	4	2	1	4	1	1	3
10	2	2	4	2	1	3	1	1	3
11	2	2	4	0	0	0	1	1	4

ตารางที่ 5.8 (ก) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่างๆ ของระบบ 6 บัส

บัสที่	รูปแบบที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.17	0.14	0.04	-0.01	0.17	0.17	0.02	-0.01	-0.11	-0.15	0.17
2	0.14	0.14	0.01	-0.12	0.14	0.14	-0.02	-0.10	0.11	-0.13	0.14
3	0.18	0.18	0.09	0.03	0.18	0.18	0.02	0.00	-0.12	-0.13	0.18
4	-0.23	-0.36	-0.32	-0.07	-0.25	-0.24	0.05	-0.04	0.21	0.23	-0.23
5	-0.16	-0.40	-0.12	-0.24	-0.16	-0.16	0.05	0.07	-0.07	-0.15	-0.16
6	-0.02	-0.20	-0.27	-0.03	-0.03	-0.02	0.04	0.09	-0.12	-0.05	-0.02

ตารางที่ 5.8 (ข) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) มุมของแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่าง ๆ
ของระบบ 6 บัส

บัสที่	รูปแบบที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	2.34	-0.27	4.09	12.03	2.23	2.31	2.81	8.71	-23.52	-1.37	2.34
2	7.69	21.87	15.19	5.21	6.75	7.13	-0.44	-2.70	3.63	-0.34	7.65
3	3.01	17.38	18.42	3.71	2.53	2.69	0.20	-2.46	-3.18	-5.39	2.98
4	-5.39	-0.58	6.57	2.86	-5.24	-5.34	0.25	-0.78	4.30	4.56	-5.39
5	-8.52	-6.92	10.15	-1.22	-8.04	-8.28	-0.43	-0.90	-1.22	-0.48	-8.51
6	-4.74	0.71	10.70	0.47	-4.55	-4.67	1.16	-0.62	-2.41	0.14	-4.74

5.4 ผลการวิเคราะห์การคำนวณโหลดโพล์ของระบบ 14 บัส

จำนวนรูปแบบที่ใช้ในการปรับสอนเครือข่ายประสาท (p) ของระบบ 14 บัสคือ 10,000 15,000 และ 20,000 รูปแบบ ผลการปรับสอนแสดงในตารางที่ 5.9 และการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ของแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัสของระบบ 14 บัส แสดงในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.9 แสดงเวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอนของระบบ 14 บัส

จำนวนข้อมูลที่ใช้ ปรับสอน	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่อ รูปแบบ (AEPP)	จำนวนรอบที่ใช้ใน การปรับสอน	เวลาที่ใช้ปรับสอน (ชั่วโมง:นาที:วินาที)
10,000	4.980E-5	901	3:03:14.14
15,000	3.174E-4	1,000	5:04:20.17
20,000	4.970E-5	853	5:46:58.98

จากตารางที่ 5.9 และ 5.10 สรุปได้ว่า

- กรณี $p = 10,000$ การปรับสอนใช้เวลาน้อยกว่ากรณีอื่น เมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักไปทดสอบพบว่าค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 2.44% ค่าเฉลี่ย 0.56% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 1.19% ค่าเฉลี่ย 0.73% ซึ่งมีค่าต่ำกว่ากรณีอื่น

- กรณี $p = 15,000$ จากตารางที่ 5.9 ที่รอบการปรับสอน 1,000 รอบ ค่า AEPP ยังสูงกว่า 0.00005 แต่รอบการคำนวณกำหนดไว้สูงสุด 1,000 รอบ โปรแกรมจึงหยุดการปรับสอนแต่ค่าตัวนำหนักที่ได้สามารถนำมาใช้ทดสอบได้โดยค่าความคลาดเคลื่อนจะสูงขึ้น จากการสังเกตพบว่าค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 1.53% ค่าเฉลี่ย 0.56% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 3.58% ค่าเฉลี่ย 1.34% กรณีนี้ใช้เวลาการปรับสอนค่อนข้างนานและค่า MAE มากกว่ากรณีอื่น

- กรณี $p = 20,000$ การปรับสอนจะใช้เวลามากกว่าวิธีอื่นเพราะว่าใช้จำนวนข้อมูลในการปรับสอนมากกว่ากรณีอื่น เมื่อนำค่าตัวนำหนักไปทดสอบพบว่าค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 2.05% ค่าเฉลี่ย 0.58% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 1.77% ค่าเฉลี่ย 0.90%

เมื่อทดสอบการคำนวณโหลดโพล์ระหว่างการใช้เครือข่ายประสาทและวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล โดยใช้ข้อมูลทดสอบจากกรณีฐาน (Base case) วิธีฟาสต์ดีคัปเปิลใช้ค่า $\varepsilon = 0.001$ และเครือข่ายประสาทใช้ข้อมูลปรับสอน 10,000 รูปแบบ ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.11 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำมาก

ตารางที่ 5.12 (ก) และ 5.12 (ข) เป็นการเปรียบเทียบจำนวนรอบการคำนวณของโหลดโพล์เมื่อใช้ค่าเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าจากเครือข่ายประสาท (NNLF) กับการใช้ค่าเริ่มต้นแบบ Flat start และการใช้ค่าเริ่มต้นแบบ Hot start เมื่อค่า $\varepsilon = 0.01$ และ $\varepsilon = 0.001$ ตามลำดับ พบว่าจำนวนรอบของ NNLF น้อยกว่าของ Flat start ทุกรูปแบบของข้อมูลที่ใช้ทดสอบ และถ้าใช้วิธี FDLF จำนวนรอบน้อยกว่า 1-3 รอบ สำหรับจำนวนรอบระหว่างแบบ NNLF กับ Hot start เมื่อโหลดโพล์ใช้วิธี FOLF และ FDLF แบบ NNLF ใช้จำนวนรอบน้อยกว่าเกือบทุกรูปแบบ ถ้าโหลดโพล์ใช้วิธี SOLF ทั้งสองแบบใช้จำนวนรอบเท่ากัน ยกเว้นกรณีฐานเหตุผลเช่นเดียวกับระบบ 6 บัส

ถ้าพิจารณาความคลาดเคลื่อนของขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าของข้อมูลทดสอบทั้ง 11 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.13 (ก) และ 5.13 (ข) โดยเปรียบเทียบระหว่างผลจากเครือข่ายประสาทที่ $p = 20,000$ และวิธี FOLF ที่ใช้ $\varepsilon = 0.001$ จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดและมุมแรงดันไฟฟ้าทุกรูปแบบมีค่าต่ำ สำหรับเวลาที่ใช้ในการคำนวณทั้งเครือข่ายประสาทและโหลดโพล์แบบดั้งเดิมมีค่าน้อยมากไม่สามารถทำการเปรียบเทียบได้

ตารางที่ 5.10 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ข้อมูล ในการปรับสอนที่ค่า p ต่างๆ ของระบบ 14 บัส

รูปแบบที่	จำนวนข้อมูลในการปรับสอน (p)					
	10,000		15,000		20,000	
	$ V $	$\angle V$	$ V $	$\angle V$	$ V $	$\angle V$
1	0.40	0.91	0.54	2.54	0.46	1.24
2	0.20	0.43	0.31	0.81	0.26	0.65
3	0.37	1.19	0.47	3.58	0.41	1.41
4	0.44	1.01	0.59	2.57	0.52	1.26
5	2.44	1.69	1.53	1.26	2.05	1.77
6	0.05	0.16	0.08	0.37	0.11	0.22
7	1.05	0.74	1.09	1.02	1.22	1.20
8	0.78	0.59	1.02	1.07	0.94	0.72
9	0.13	0.51	0.17	0.46	0.11	0.54
10	0.06	0.43	0.12	0.48	0.11	0.43
11	0.13	0.34	0.23	0.58	0.18	0.51
ค่าเฉลี่ย	0.55	0.73	0.56	1.34	0.58	0.90

ตารางที่ 5.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณโหลดโพลีระหว่างวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล และเครือข่ายประสาทของระบบ 14 บัส

บัสที่	ผลการคำนวณโหลดโพลี				ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	
	วิธี FDLF		วิธีเครือข่ายประสาท			
	$ V $	$\angle V$	$ V $	$\angle V$	$ V $	$\angle V$
1	1.0600	0.0000	1.0600	0.0016	-0.0028	0.1610
2	1.0450	-4.9853	1.0458	-4.9754	-0.0746	0.1982
3	1.0100	-12.7395	1.0066	-12.7417	0.3386	-0.0175
4	1.0155	-10.2836	1.0143	-10.3095	0.1113	-0.2519
5	1.0183	-8.7599	1.0182	-8.7663	0.0128	-0.0728
6	1.0700	-14.2183	1.0686	-14.2697	0.1280	-0.3612
7	1.0605	-13.3377	1.0598	-13.3759	0.0679	-0.2861
8	1.0900	-13.3377	1.0897	-13.3777	0.0321	-0.2995
9	1.0550	-14.9184	1.0533	-14.9963	0.1640	-0.5220
10	1.0502	-15.0801	1.0492	-15.1491	0.0981	-0.4574
11	1.0565	-14.7801	1.0559	-14.8649	0.0587	-0.5734
12	1.0551	-15.0726	1.0524	-15.1937	0.2549	-0.8034
13	1.0502	-15.1511	1.0478	-15.2192	0.2295	-0.4490
14	1.0349	-16.0210	1.0331	-16.0574	0.1739	-0.2268

ตารางที่ 5.12 (ก) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหนดโพลีของระบบ 14 บัสนที่ $\varepsilon = 0.01$

รูปแบบที่	จำนวนรอบการคำนวณโหนดโพลี								
	Flat Start			Hot Start			NNLF		
	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF
1	4	4	4	3	3	3	3	3	4
2	2	2	4	1	1	2	1	1	2
3	4	1	5	3	3	4	3	3	4
4	4	4	4	3	3	3	3	3	4
5	5	5	6	4	4	6	1	4	3
6	2	2	4	1	1	3	1	1	2
7	4	4	5	3	3	5	1	3	2
8	4	4	5	3	3	3	1	3	2
9	2	2	4	1	1	3	1	1	3
10	2	2	4	1	1	2	1	1	3
11	2	2	4	0	0	0	1	1	2

ตารางที่ 5.12 (ข) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหนดโพลีของระบบ 14 บัสนที่ $\varepsilon = 0.001$

รูปแบบที่	จำนวนรอบการคำนวณโหนดโพลี								
	Flat Start			Hot Start			NNLF		
	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF
1	4	4	5	3	3	4	4	3	4
2	2	2	5	1	1	3	1	1	3
3	5	4	5	4	3	4	4	3	4
4	4	4	5	3	3	4	4	3	4
5	6	5	8	5	4	8	1	4	4
6	3	2	5	2	1	3	1	1	3
7	4	4	5	3	3	5	1	3	3
8	4	4	6	3	3	5	1	3	3
9	2	2	5	1	1	4	1	1	3
10	2	2	5	1	1	3	1	1	3
11	2	2	5	0	0	0	1	1	3

ตารางที่ 5.13 (ก) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่าง ๆ
ของระบบ 14 บัส

บัสที่	รูปแบบที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.00	0.01	0.04	-0.01	-0.09	0.01	0.01	-0.05	-0.04	0.02	0.01
2	-0.02	-0.08	-0.01	0.06	-0.46	-0.05	0.57	0.28	-0.05	-0.15	-0.09
3	-0.53	0.42	-0.33	-0.25	-2.26	-0.22	1.38	0.92	0.04	0.17	0.28
4	0.25	0.25	0.23	0.49	-1.55	-0.14	0.98	0.63	-0.10	0.01	0.15
5	0.22	0.17	0.18	0.37	-1.25	-0.11	0.93	0.59	-0.04	-0.04	0.10
6	0.74	0.29	0.60	0.96	-2.90	-0.19	1.64	1.20	-0.06	0.04	0.17
7	0.43	0.22	0.38	0.56	-2.08	-0.16	1.17	0.92	-0.03	0.04	0.13
8	0.39	0.14	0.42	0.34	-2.07	-0.10	1.04	1.21	0.05	-0.03	0.07
9	0.47	0.29	0.43	0.50	-2.20	-0.03	1.36	1.22	0.19	0.20	0.20
10	0.49	0.25	0.39	0.49	-2.46	-0.15	1.45	1.06	0.24	0.19	0.15
11	0.72	0.39	0.69	0.77	-2.71	-0.09	1.54	1.15	0.13	0.28	0.27
12	0.68	0.33	0.70	0.72	-3.06	-0.08	1.68	1.35	0.12	-0.05	0.22
13	0.74	0.39	0.69	0.80	-2.69	-0.08	1.73	1.19	0.10	0.21	0.28
14	0.75	0.45	0.64	0.97	-2.98	-0.08	1.64	1.31	-0.30	0.17	0.33

ตารางที่ 5.13 (ข) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) มุมของแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่าง ๆ
ของระบบ 14 บัส

บัสที่	รูปแบบที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-2.13	-1.37	-1.13	-2.75	0.42	-0.24	-0.68	-0.87	-1.43	-1.32	-1.15
2	-0.08	-0.51	-1.00	0.19	2.10	-0.53	0.62	0.99	-1.34	-1.02	-0.56
3	-0.49	0.56	-0.90	0.08	0.85	-0.25	-1.14	-0.75	-0.60	0.13	0.42
4	-0.08	0.12	-0.69	-0.24	2.11	-0.10	-0.47	-0.43	0.33	0.58	0.10
5	-0.33	-0.19	-0.64	-0.36	1.56	-0.33	-0.08	-0.24	0.14	0.38	-0.20
6	-1.37	-0.72	-2.04	-1.47	1.76	-0.08	-1.30	-0.25	-0.71	-0.06	-0.54
7	-1.51	-0.69	-1.70	-1.18	2.06	-0.20	-1.36	-0.73	-0.25	0.08	-0.54
8	-1.73	-0.80	-1.87	-1.54	1.95	-0.25	-1.44	-0.84	-0.33	-0.03	-0.63
9	-2.05	-0.81	-2.24	-1.67	2.36	0.08	-1.44	-0.71	-0.15	-0.04	-0.56
10	-2.24	-1.07	-1.98	-1.99	2.08	-0.25	-1.99	-1.18	-0.10	-0.68	-0.83
11	-1.88	-0.95	-2.14	-1.93	1.82	-0.28	-1.47	-1.01	-0.84	-0.45	-0.75
12	-1.21	-0.52	-1.09	-1.61	1.86	0.10	-1.71	-0.57	-0.31	0.16	-0.34
13	-0.92	-0.37	-0.89	-1.27	1.67	0.09	-1.71	-0.52	0.07	-0.52	-0.23
14	-1.31	-0.48	-1.37	-1.28	2.24	0.30	-1.90	-0.98	0.99	-0.62	-0.27

จากการวิเคราะห์การใช้เครือข่ายประสาทคำนวณโหนดโพลีของระบบ 14 บั๊ต สรุปได้ว่า จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนที่เหมาะสมคือ 10,000 รูปแบบ และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดและมุมของแรงดันมีค่าต่ำ ถ้าต้องการความถูกต้องทั้งขนาดและมุมเพิ่มขึ้นต้องปรับสอนใหม่หรือผ่านค่าผลลัพธ์ไปเป็นค่าเริ่มต้นของโหนดโพลี ซึ่งจากการสังเกตพบว่าใช้จำนวนรอบน้อยกว่าการกำหนดค่าเริ่มต้นด้วยวิธีอื่นเกือบทุกรูปแบบเช่นเดียวกับระบบ 6 บั๊ต

5.5 ผลการวิเคราะห์การคำนวณโหนดโพลีของระบบ 30 บั๊ต

จำนวนรูปแบบที่ใช้ในการปรับสอนเครือข่ายประสาท (p) ของระบบ 30 บั๊ตคือ 10,000 15,000 และ 20,000 รูปแบบ ผลการปรับสอนแสดงดังตารางที่ 5.14 และการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ของแรงดันไฟฟ้าแต่ละบั๊ตของระบบ 30 บั๊ต แสดงในตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.14 แสดงเวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอนของระบบ 30 บั๊ต

จำนวนข้อมูลที่ใช้ปรับสอน	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่อรูปแบบ (AEPP)	จำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอน	เวลาที่ใช้ปรับสอน (ชั่วโมง:นาที:วินาที)
10,000	1.381E-4	1,000	12:10:58.94
15,000	4.997E-5	975	25:39:35.47
20,000	7.115E-5	1,000	42:26:23.45

จากตารางที่ 5.14 และ 5.15 สรุปได้ว่า

- กรณี $p = 10,000$ จากตารางที่ 5.14 ที่รอบการปรับสอน 1,000 รอบ ค่า AEPP ยังสูงกว่า 0.00005 แต่รอบการคำนวณกำหนดไว้สูงสุด 1,000 รอบ โปรแกรมจึงหยุดการปรับสอน แต่ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้สามารถนำมาใช้ทดสอบได้โดยค่าความคลาดเคลื่อนจะสูงขึ้น การปรับสอนใช้เวลาน้อยกว่ากรณีอื่นเพราะจำนวนข้อมูลน้อยกว่า เมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักไปทดสอบพบว่า ค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 0.22% ค่าเฉลี่ย 0.11% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 2.00% ค่าเฉลี่ย 0.84% ซึ่งมีค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่ากรณีอื่น แต่ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้ายังสูงกว่ากรณี $p = 15,000$

- กรณี $p = 15,000$ ค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 0.42% ค่าเฉลี่ย 0.16% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 1.25% ค่าเฉลี่ย 0.59% ใช้เวลาการปรับสอนค่อนข้าง

นาน ค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงกว่ากรณีอื่นแต่ค่ายังคงมีต่ำ และค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่ากรณีอื่น

- กรณี $p = 20,000$ จากตารางที่ 5.15 ที่รอบการปรับสอน 1,000 รอบ ค่า AEPP ยังสูงกว่า 0.00005 การปรับสอนจะใช้เวลามากกว่าวิธีอื่นเพราะว่าใช้จำนวนข้อมูลในการปรับสอนมากกว่ากรณีอื่น เมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักไปทดสอบพบว่าค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 0.19% ค่าเฉลี่ย 0.12% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 5.17% ค่าเฉลี่ย 1.05% พบว่าค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้ามียุคสูงกว่าวิธีอื่น

เมื่อทดสอบการคำนวณโหลดไฟลว์ระหว่างการใช้เครือข่ายประสาทและวิธีฟาสต์ดีคัปปิเบิล โดยใช้ข้อมูลทดสอบจากกรณีฐาน (Base case) วิธีฟาสต์ดีคัปปิเบิลใช้ค่า $\varepsilon = 0.001$ และเครือข่ายประสาทใช้ข้อมูลปรับสอน 20,000 รูปแบบ ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.16 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำ

ตารางที่ 5.15 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ข้อมูลในการปรับสอนที่ค่า p ต่างๆ ของระบบ 30 บัส

รูปแบบที่	จำนวนข้อมูลในการปรับสอน (p)					
	10,000		15,000		20,000	
	$ V $	$\angle V$	$ V $	$\angle V$	$ V $	$\angle V$
1	0.06	0.34	0.07	0.43	0.06	0.25
2	0.10	1.86	0.42	1.25	0.19	5.17
3	0.20	1.17	0.07	0.75	0.10	1.04
4	0.11	2.00	0.13	0.95	0.18	2.28
5	0.11	0.66	0.21	0.37	0.18	0.50
6	0.07	0.35	0.13	0.45	0.10	0.23
7	0.10	0.50	0.14	0.31	0.08	0.39
8	0.12	0.64	0.14	0.43	0.12	0.33
9	0.11	0.67	0.18	0.55	0.08	0.47
10	0.13	0.77	0.16	0.51	0.14	0.60
11	0.06	0.33	0.07	0.43	0.06	0.25
ค่าเฉลี่ย	0.11	0.84	0.16	0.59	0.12	1.05

ตารางที่ 5.17 (ก) และ 5.17 (ข) เป็นการเปรียบเทียบจำนวนรอบการคำนวณของโหลดไฟลว์เมื่อใช้ค่าเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าจากเครือข่ายประสาท (NNLF) กับการใช้ค่าเริ่มต้นแบบ Flat start และการใช้ค่าเริ่มต้นแบบ Hot start เมื่อค่า $\varepsilon = 0.01$ และ $\varepsilon = 0.001$ ตามลำดับ พบว่า

จำนวนรอบของ NNLF น้อยกว่าของ Flat start เกือบทุกรูปแบบ แต่มีบางรูปแบบที่เท่ากันและถ้าใช้วิธี FDLF จำนวนรอบน้อยกว่า 1-2 รอบ สำหรับจำนวนรอบระหว่างแบบ NNLF กับ Hot start ส่วนใหญ่มีค่าเท่ากัน นอกจากนั้นจะมีทั้งน้อยกว่าและมากกว่าแต่ส่วนมากจะใช้จำนวนรอบน้อยกว่า

ถ้าพิจารณาความคลาดเคลื่อนของขนาดและมุมแรงดันไฟฟ้าของข้อมูลทดสอบทั้ง 11 รูปแบบดังแสดงในตารางที่ 5.18 (ก) และ 5.18 (ข) โดยเปรียบเทียบระหว่างผลจากเครือข่ายประสาทที่ $p = 20,000$ และวิธี FOLF ที่ใช้ $\epsilon = 0.001$ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดและมุมแรงดันไฟฟ้าทุกรูปแบบมีค่าต่ำ ยกเว้นความคลาดเคลื่อนของมุมแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบที่ 2 และรูปแบบที่ 4 มีค่าสูงถึง 12.66% และ 7.16% ตามลำดับ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดปรากฏอยู่ที่บัส 2 ซึ่งเป็นบัสควบคุมแรงดัน สำหรับเวลาที่ใช้ในการคำนวณของเครือข่ายประสาทมีค่าน้อยมากประมาณ 10^{-7} วินาที แต่การคำนวณโหลดไฟลว์แบบดั้งเดิมทั้งสามวิธีที่ใช้รอบการคำนวณต่ำสุด 1 รอบ ใช้เวลาดำเนินการประมาณ 0.016 วินาที ซึ่งแสดงว่าการคำนวณโหลดไฟลว์โดยใช้ เครือข่ายประสาทมีความรวดเร็วกว่าการคำนวณโหลดไฟลว์แบบดั้งเดิมมาก

จากการวิเคราะห์การใช้เครือข่ายประสาทคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 30 บัส สรุปได้ว่าจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนที่เหมาะสมคือ 15,000 รูปแบบ และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดและมุมของแรงดันมีค่าต่ำ ถ้าต้องการความถูกต้องทั้งขนาดและมุมเพิ่มขึ้นต้องปรับสอนใหม่หรือผ่านค่าผลลัพธ์ไปเป็นค่าเริ่มต้นของโหลดไฟลว์ ซึ่งจากการสังเกตพบว่าใช้จำนวนรอบน้อยกว่าการกำหนดค่าเริ่มต้นด้วยวิธีอื่นเกือบทุกรูปแบบเช่นเดียวกับระบบ 6 บัส และ 14 บัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณโหลดโพลีระหว่างวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล และเครือข่ายประสาทของระบบ 30 บัส

บัสที่	ผลการคำนวณโหลดโพลี				ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	
	วิธี FDLF		วิธีเครือข่ายประสาท		V	$\angle V$
	V	$\angle V$	V	$\angle V$		
1	1.0500	0.0000	1.0499	-0.0040	-0.0095	-0.4000
2	1.0338	-2.7345	1.0334	-2.7214	0.0426	0.4772
3	1.0333	-4.7062	1.0326	-4.7096	0.0639	-0.0725
4	1.0287	-5.6378	1.0278	-5.6497	0.0855	-0.2114
5	1.0058	-8.9886	1.0054	-8.9686	0.0378	0.2218
6	1.0233	-6.5056	1.0225	-6.5136	0.0792	-0.1230
7	1.0084	-8.0520	1.0078	-8.0479	0.0595	0.0508
8	1.0230	-6.4814	1.0219	-6.5043	0.1036	-0.3524
9	1.0452	-8.1597	1.0448	-8.1538	0.0392	0.0726
10	1.0418	-10.0437	1.0413	-10.0345	0.0470	0.0917
11	1.0913	-6.2861	1.0912	-6.2532	0.0119	0.5232
12	1.0473	-9.2607	1.0471	-9.2911	0.0210	-0.3281
13	1.0883	-8.0706	1.0884	-8.1246	-0.0083	-0.6688
14	1.0335	-10.1707	1.0331	-10.1392	0.0368	0.3092
15	1.0299	-10.2900	1.0294	-10.2865	0.0418	0.0335
16	1.0378	-9.8736	1.0373	-9.8712	0.0395	0.0246
17	1.0353	-10.2040	1.0348	-10.1999	0.0415	0.0407
18	1.0219	-10.9065	1.0216	-10.9137	0.0294	-0.0660
19	1.0203	-11.0785	1.0198	-11.1129	0.0510	-0.3100
20	1.0249	-10.8782	1.0244	-10.9069	0.0439	-0.2637
21	1.0292	-10.4968	1.0287	-10.4825	0.0505	0.1367
22	1.0300	-10.4930	1.0295	-10.4925	0.0476	0.0046
23	1.0220	-10.7365	1.0212	-10.7712	0.0763	-0.3229
24	1.0200	-10.9819	1.0188	-11.0066	0.1108	-0.2253
25	1.0244	-10.8992	1.0245	-10.9386	-0.0039	-0.3619
26	1.0069	-11.3130	1.0073	-11.3973	-0.0447	-0.7452
27	1.0358	-10.5831	1.0361	-10.5964	-0.0290	-0.1258
28	1.0186	-6.9142	1.0181	-6.9557	0.0530	-0.5993
29	1.0162	-11.7830	1.0178	-11.8086	-0.1535	-0.2173
30	1.0049	-12.6436	1.0076	-12.6624	-0.2657	-0.1487

ตารางที่ 5.17 (ก) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 30 บัสที่ $\varepsilon = 0.01$

รูปแบบที่	จำนวนรอบการคำนวณโหลดไฟลว์								
	Flat Start			Hot Start			NNLF		
	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF
1	2	1	3	0	1	1	1	1	2
2	4	1	6	3	3	5	3	3	5
3	2	1	4	1	1	3	1	1	3
4	4	1	6	3	3	4	3	3	4
5	2	2	3	1	1	3	1	1	2
6	2	2	3	1	1	3	1	1	2
7	2	2	3	1	1	3	1	1	3
8	2	2	3	1	1	3	1	1	3
9	2	2	3	1	1	3	1	1	3
10	2	2	3	1	1	3	1	1	3
11	2	1	3	0	0	0	1	1	2

ตารางที่ 5.17 (ข) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 30 บัสที่ $\varepsilon = 0.001$

รูปแบบที่	จำนวนรอบการคำนวณโหลดไฟลว์								
	Flat Start			Hot Start			NNLF		
	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF
1	2	2	5	1	1	2	1	1	3
2	4	4	8	3	3	5	3	3	5
3	2	2	5	1	1	3	1	1	3
4	4	4	7	3	3	5	3	3	5
5	2	2	4	2	1	4	1	1	3
6	2	2	4	2	1	4	1	1	3
7	2	2	4	2	1	4	1	1	3
8	2	2	4	2	1	3	1	1	3
9	2	2	4	2	1	3	1	1	3
10	2	2	5	1	1	3	1	1	3
11	2	2	5	0	0	0	1	1	3

ตารางที่ 5.18 (ก) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่าง ๆ
ของระบบ 30 บัส

บัสที่	รูปแบบที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.01	0.04	0.04	-0.01	0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.02	0.00	0.01
2	0.04	0.03	0.04	-0.12	-0.01	0.01	0.00	-0.03	-0.06	0.05	0.04
3	0.06	0.04	0.14	0.07	-0.05	-0.02	-0.06	-0.04	-0.04	0.05	0.06
4	0.09	-0.03	0.10	0.06	-0.06	0.00	-0.04	-0.04	-0.06	0.09	0.09
5	0.04	0.38	-0.05	0.14	0.08	0.08	-0.01	-0.11	-0.14	0.04	0.04
6	0.08	0.01	0.15	0.14	-0.08	-0.03	0.00	-0.06	-0.04	0.04	0.08
7	0.06	0.25	0.12	0.19	-0.07	-0.06	-0.12	0.08	-0.02	0.17	0.06
8	0.11	-0.03	0.18	0.37	-0.03	0.00	0.04	-0.09	-0.18	0.00	0.10
9	0.04	-0.16	0.08	-0.08	-0.12	-0.05	-0.09	-0.07	-0.02	-0.03	0.04
10	0.05	-0.28	0.10	-0.20	-0.22	-0.08	-0.17	-0.07	-0.12	-0.10	0.05
11	0.01	-0.03	0.00	-0.02	0.02	0.02	0.00	0.04	0.03	0.00	0.01
12	0.02	-0.16	0.00	-0.15	-0.15	-0.07	-0.06	-0.09	0.08	0.04	0.02
13	-0.01	0.01	-0.01	0.00	0.00	-0.01	-0.02	0.01	0.00	-0.01	-0.01
14	0.04	-0.11	0.07	-0.21	-0.21	-0.11	-0.02	-0.16	-0.19	-0.26	0.04
15	0.04	-0.06	0.15	-0.08	-0.18	-0.09	-0.09	-0.09	-0.13	0.09	0.04
16	0.04	-0.20	0.13	-0.18	-0.18	-0.08	-0.14	-0.06	0.11	0.02	0.04
17	0.04	-0.31	0.24	-0.26	-0.24	-0.10	-0.22	-0.07	0.06	-0.02	0.04
18	0.03	-0.22	0.15	-0.17	-0.28	-0.15	-0.22	-0.08	0.06	0.12	0.03
19	0.05	-0.21	0.17	-0.20	-0.25	-0.12	-0.21	-0.12	0.04	0.14	0.05
20	0.05	-0.05	0.17	-0.07	-0.22	-0.13	-0.28	-0.09	-0.02	0.12	0.04
21	0.05	-0.36	0.06	-0.19	-0.19	-0.06	-0.09	-0.09	-0.04	-0.06	0.05
22	0.05	-0.40	0.01	-0.20	-0.21	-0.08	-0.13	-0.09	0.00	-0.06	0.05
23	0.08	-0.29	0.18	-0.11	-0.21	-0.07	-0.03	-0.09	-0.02	0.16	0.08
24	0.11	-0.54	0.05	-0.29	-0.23	-0.03	0.03	-0.14	-0.03	0.08	0.11
25	0.00	-0.36	0.11	-0.11	-0.34	-0.19	0.04	-0.26	0.05	-0.31	0.00
26	-0.04	-0.02	0.15	0.40	-0.32	-0.27	0.06	-0.35	-0.16	-0.72	-0.04
27	-0.03	-0.37	0.11	-0.19	-0.34	-0.20	0.07	-0.23	0.09	-0.34	-0.03
28	0.06	0.22	0.16	0.32	-0.06	-0.08	-0.09	-0.10	0.02	0.00	0.05
29	-0.15	-0.29	0.09	-0.35	-0.52	-0.39	-0.01	-0.35	0.33	-0.36	-0.15
30	-0.26	-0.35	0.01	-0.44	-0.63	-0.50	-0.11	-0.48	0.23	-0.75	-0.26

ตารางที่ 5.18 (ข) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) มุมของแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่าง ๆ
ของระบบ 30 บัส

บัสที่	รูปแบบที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.42	5.92	0.70	3.77	1.51	0.38	-1.56	-0.53	-0.21	-2.00	0.40
2	0.50	12.66	-0.44	7.16	0.77	0.00	-0.26	-0.54	-0.67	0.34	0.47
3	-0.06	5.71	0.67	2.52	0.44	-0.10	0.11	-0.01	0.22	0.34	-0.08
4	-0.20	4.90	0.99	1.79	0.31	-0.23	0.01	-0.16	-0.64	0.00	-0.21
5	0.23	6.64	0.89	3.75	0.67	0.21	0.08	0.27	0.31	1.62	0.22
6	-0.11	6.28	1.62	3.60	0.27	-0.28	-0.18	0.04	-0.17	1.02	-0.13
7	0.06	6.05	1.68	2.17	0.56	0.02	-0.43	-0.02	0.64	0.21	0.05
8	-0.33	9.49	2.16	5.49	0.29	-0.53	-0.34	-0.01	-1.23	1.52	-0.36
9	0.08	5.95	1.31	2.39	0.54	0.02	-0.13	-0.05	-0.25	0.24	0.07
10	0.10	5.51	1.38	2.25	0.70	0.18	0.27	0.13	-0.18	0.27	0.09
11	0.53	5.24	1.04	2.80	0.53	0.17	-0.35	0.86	0.43	-0.26	0.52
12	-0.32	4.04	0.60	1.47	0.31	-0.17	-0.28	-0.11	-0.46	-0.56	-0.33
13	-0.67	-0.54	0.01	-1.60	-0.68	-0.74	0.57	-1.85	0.64	0.16	-0.67
14	0.32	5.12	1.11	1.76	0.72	0.31	-0.23	0.36	1.07	1.03	0.31
15	0.04	4.93	0.48	1.73	0.59	0.13	0.17	-0.20	0.75	0.13	0.03
16	0.03	4.31	1.34	1.75	0.60	0.18	0.53	0.03	0.22	-0.26	0.02
17	0.05	5.15	1.59	1.34	0.77	0.24	0.89	0.14	-0.79	0.03	0.04
18	-0.06	3.67	0.37	0.79	0.42	0.04	0.19	-0.40	-0.05	-0.21	-0.07
19	-0.31	3.09	0.07	0.83	0.21	-0.15	-0.07	0.06	0.02	-0.45	-0.31
20	-0.26	3.30	0.37	1.19	0.35	-0.05	0.10	0.08	-0.28	-0.36	-0.27
21	0.15	6.34	1.67	2.37	0.84	0.25	0.04	0.11	0.09	-0.24	0.13
22	0.01	5.96	1.37	1.98	0.66	0.11	0.09	-0.20	-0.30	-0.33	0.00
23	-0.32	4.48	0.37	1.19	0.38	-0.10	0.11	-0.26	0.94	-0.45	-0.33
24	-0.21	5.64	1.10	1.83	0.53	-0.07	0.40	-0.22	0.05	-0.60	-0.23
25	-0.35	5.08	1.28	1.58	0.25	-0.29	-0.67	-0.51	0.36	-0.73	-0.37
26	-0.74	2.87	1.34	-0.53	-0.24	-0.62	-1.39	-1.74	1.78	-1.22	-0.75
27	-0.12	4.03	1.29	1.94	0.31	-0.10	-0.43	-0.12	-0.34	-0.74	-0.13
28	-0.59	5.36	0.83	2.79	-0.19	-0.71	-0.49	-0.36	-0.50	0.26	-0.60
29	-0.21	3.52	1.82	2.18	0.19	-0.23	-1.07	-0.18	-0.65	-1.45	-0.22
30	-0.15	3.22	1.41	1.86	0.14	-0.18	-0.34	0.30	-0.02	-1.00	-0.15

5.6 ผลการวิเคราะห์การคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 57 บัส

จำนวนรูปแบบที่ใช้ในการปรับสอนเครือข่ายประสาท (p) ของระบบ 57 บัสคือ 10,000 15,000 และ 20,000 รูปแบบ ผลการปรับสอนแสดงในตารางที่ 5.19 และการวิเคราะห์ค่าความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ของแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัสของระบบ 57 บัส แสดงในตารางที่ 5.20

ตารางที่ 5.19 แสดงเวลาและจำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอนของระบบ 57 บัส

จำนวนข้อมูลที่ใช้ปรับสอน	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่อรูปแบบ (AEPP)	จำนวนรอบที่ใช้ในการปรับสอน	เวลาที่ใช้ปรับสอน (ชั่วโมง:นาที:วินาที)
10,000	4.980E-5	376	27:30:39.36
15,000	4.965E-5	174	19:29:18.08
20,000	1.785E-5	4	00:34:35.44

ตารางที่ 5.20 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้ข้อมูลในการปรับสอนที่ค่า p ต่างๆ ของระบบ 57 บัส

รูปแบบที่	จำนวนข้อมูลในปรับสอน (p)					
	10,000		15,000		20,000	
	V	∠V	V	∠V	V	∠V
1	2.07	68.11	1.18	23.18	3.69	20.06
2	0.89	12.69	0.49	19.74	0.24	10.38
3	1.94	66.87	1.20	25.36	1.06	40.78
4	1.86	34.65	0.80	15.96	1.06	23.33
5	0.35	16.05	0.47	12.75	0.42	5.33
6	0.36	19.28	0.44	9.69	0.21	5.82
7	1.07	25.22	0.68	24.24	1.49	21.83
8	0.43*	43.87	1.11	14.61	0.41	4.10
9	0.39	252.08	0.33	72.41	1.02	21.00
10	0.27	37.72	0.50	7.70	0.34	2.57
11	0.58	8.68	0.29	17.20	0.16	6.83
ค่าเฉลี่ย	0.93	53.20	0.68	22.08	0.92	14.73

จากตารางที่ 5.19 และ 5.20 สรุปได้ว่า

- กรณี $p = 10,000$ พบว่าค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 2.07% ค่าเฉลี่ย 0.93% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุดถึง 252.08% ซึ่งสูงกว่ากรณีอื่น สำหรับค่าเฉลี่ย 53.20% และเวลาที่ใช้ในการปรับสอนมากที่สุดอีกด้วย
- กรณี $p = 15,000$ การปรับสอนใช้เวลาน้อยกว่า $p = 10,000$ และเมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักไปทดสอบพบว่าค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 1.20% ค่าเฉลี่ย 0.68% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 72.41% ค่าเฉลี่ย 22.08%
- กรณี $p = 20,000$ การปรับสอนจะใช้เวลาน้อยที่สุดและเมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักไปทดสอบพบว่าค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 3.69% ค่าเฉลี่ย 0.92% ค่า MAE ของมุมแรงดันไฟฟ้า สูงสุด 40.78% ค่าเฉลี่ย 14.73% ซึ่งมีค่าต่ำกว่ากรณีอื่น

เมื่อทดสอบการคำนวณโหลดไฟลต์ระหว่างการใช้เครือข่ายประสาทและวิธีฟาสต์ดีคัปปิเบิล โดยใช้ข้อมูลทดสอบจากกรณีฐาน (Base case) วิธีฟาสต์ดีคัปปิเบิลใช้ค่า $\varepsilon = 0.001$ และเครือข่ายประสาทใช้ข้อมูลปรับสอน 20,000 รูปแบบ ผลการเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 5.20 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำ แต่มุมแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูง

ตารางที่ 5.22 (ก) และ 5.22 (ข) เป็นการเปรียบเทียบจำนวนรอบการคำนวณของโหลดไฟลต์เมื่อใช้ค่าเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าจากเครือข่ายประสาท (NNLF) กับการใช้ค่าเริ่มต้นแบบ Flat start และการใช้ค่าเริ่มต้นแบบ Hot start เมื่อค่า $\varepsilon = 0.01$ และ $\varepsilon = 0.001$ พบว่าถ้าคำนวณโหลดไฟลต์ด้วยวิธี FOLF และ FDLF จำนวนรอบของ NNLF เท่ากับแบบ Flat start เกือบทุกรูปแบบแต่มีบางรูปแบบที่ต่ำกว่า และถ้าใช้วิธี SOLF ที่ $\varepsilon = 0.01$ จำนวนรอบน้อยกว่า 1-3 รอบ แต่ที่ $\varepsilon = 0.001$ มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับจำนวนรอบระหว่างแบบ NNLF กับ Hot start จำนวนรอบที่ใช้ส่วนใหญ่จะเท่ากัน นอกจากนั้นมีทั้งน้อยกว่าและมากกว่า

ถ้าพิจารณาความคลาดเคลื่อนของขนาดและมุมแรงดันไฟฟ้าของข้อมูลทดสอบทั้ง 11 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 5.23 (ก) และ 5.23 (ข) โดยเปรียบเทียบระหว่างผลจากเครือข่ายประสาทที่ $p = 20,000$ และวิธี FOLF ที่ใช้ $\varepsilon = 0.001$ พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าทุกรูปแบบมีค่าไม่สูงมากนัก แต่มุมแรงดันไฟฟ้ามีค่าค่อนข้างสูง โดยเฉพาะที่บัสควบคุมแรงดัน คือ บัสที่ 2 บัสที่ 3 บัสที่ 6 บัสที่ 8 บัสที่ 9 และ บัสที่ 12 มีค่าสูงมากเกือบทุกรูปแบบของข้อมูลทดสอบ และบัสที่มีค่ามุมแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงมากเมื่อโหลดเปลี่ยนไป เช่น บัสที่ 29 และ บัสที่ 33 มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสนี้มีความคลาดเคลื่อนสูงเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5.21 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณโหลดโพลีระหว่างวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล และเครือข่ายประสาทของระบบ 57 บัส

บัสที่	ผลการคำนวณโหลดโพลี				ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	
	วิธี FDLF		วิธีเครือข่ายประสาท		V	$\angle V$
	V	$\angle V$	V	$\angle V$		
1	1.0400	0.0000	1.0400	-0.0001	0.0000	-0.0050
2	1.0053	-1.1121	1.0085	-1.1181	-0.3173	-0.5350
3	0.9799	-5.9355	0.9795	-5.5897	0.0480	5.8268
4	0.9772	-7.3196	0.9766	-6.9200	0.0583	5.4603
5	0.9753	-8.5793	0.9752	-8.1660	0.0092	4.8175
6	0.9800	-8.7288	0.9809	-8.0762	-0.0888	7.4765
7	0.9840	-7.6499	0.9838	-7.2130	0.0254	5.7103
8	1.0050	-4.5207	1.0054	-3.7288	-0.0438	17.5174
9	0.9782	-9.6078	0.9812	-9.0941	-0.3026	5.3467
10	0.9854	-11.4852	0.9883	-10.3714	-0.3004	9.6973
11	0.9725	-10.2199	0.9738	-9.5073	-0.1419	6.9726
12	1.0150	-10.5100	1.0205	-9.5591	-0.5419	9.0474
13	0.9775	-9.8266	0.9796	-8.9150	-0.2138	9.2760
14	0.9684	-9.3657	0.9692	-8.6212	-0.0836	7.9494
15	0.9856	-7.1873	0.9863	-6.6794	-0.0680	7.0656
16	1.0133	-8.8867	1.0171	-8.0305	-0.3750	9.6346
17	1.0174	-5.4103	1.0199	-5.1537	-0.2418	4.7428
18	0.9970	-11.7403	0.9931	-11.3590	0.3902	3.2478
19	0.9672	-13.2616	0.9627	-13.1247	0.4622	1.0322
20	0.9613	-13.4895	0.9561	-13.3245	0.5368	1.2235
21	1.0067	-12.9590	1.0029	-12.2864	0.3745	5.1905
22	1.0080	-12.9062	1.0041	-12.2448	0.3958	5.1246
23	1.0067	-12.9722	1.0028	-12.5249	0.3805	3.4478
24	0.9979	-13.3337	0.9892	-13.1938	0.8778	1.0488
25	0.9810	-18.2299	0.9628	-18.2467	1.8613	-0.0922
26	0.9576	-13.0211	0.9497	-12.5720	0.8239	3.4485
27	0.9809	-11.5617	0.9777	-10.9153	0.3242	5.5909
28	0.9962	-10.5325	0.9900	-9.9844	0.6214	5.2036
29	1.0098	-9.8248	1.0082	-9.4844	0.1644	3.4639
30	0.9611	-18.7779	0.9388	-18.7227	2.3202	0.2939
31	0.9343	-19.4438	0.9216	-20.0339	1.3572	-3.0345

ตารางที่ 5.21 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณโหลดโพลีระหว่างวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล และเครือข่ายประสาทของระบบ 57 บัส (ต่อ)

บัสที่	ผลการคำนวณโหลดโพลี				ค่าความคลาดเคลื่อน (%)	
	วิธี FDLF		วิธีเครือข่ายประสาท		V	$\angle V$
	V	$\angle V$	V	$\angle V$		
32	0.9482	-18.5688	0.9392	-19.1877	0.9481	-3.3333
33	0.9459	-18.6086	0.9368	-18.5244	0.9631	0.4525
34	0.9576	-14.1915	0.9505	-14.3060	0.7414	-0.8068
35	0.9646	-13.9480	0.9647	-13.7710	-0.0104	1.2685
36	0.9743	-13.6758	0.9646	-13.7152	0.9915	-0.2880
37	0.9833	-13.4848	0.9747	-13.5301	0.8756	-0.3359
38	1.0111	-12.7658	1.0078	-12.7783	0.3264	-0.0982
39	0.9813	-13.5308	0.9745	-13.0421	0.6899	3.6116
40	0.9713	-13.7009	0.9640	-13.8062	0.7485	-0.7683
41	0.9955	-14.1130	0.9934	-13.8763	0.2120	1.6774
42	0.9666	-15.6002	0.9569	-15.3596	1.0025	1.5418
43	1.0082	-11.3846	1.0081	-10.8447	0.0079	4.7425
44	1.0149	-11.8805	1.0115	-11.8750	0.3389	0.0464
45	1.0338	-9.2754	1.0330	-8.6930	0.0793	6.2791
46	1.0579	-11.1366	1.0579	-10.8932	0.0038	2.1851
47	1.0315	-12.5385	1.0278	-11.9091	0.3577	5.0202
48	1.0256	-12.6398	1.0227	-12.0633	0.2828	4.5604
49	1.0347	-12.9698	1.0314	-12.4559	0.3209	3.9629
50	1.0220	-13.4501	1.0196	-12.6696	0.2348	5.8025
51	1.0512	-12.5725	1.0533	-11.7813	-0.1950	6.2938
52	0.9796	-11.5450	0.9766	-11.0492	0.3114	4.2938
53	0.9700	-12.2972	0.9664	-11.8133	0.3701	3.9351
54	0.9949	-11.7438	0.9934	-11.2337	0.1578	4.3436
55	1.0290	-10.8249	1.0305	-10.3909	-0.1399	4.0098
56	0.9678	-16.1123	0.9672	-17.0005	0.0589	-5.5120
57	0.9641	-16.6261	0.9384	-16.7384	2.6586	-0.6752

ตารางที่ 5.22 (ก) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 57 บัสที่ $\epsilon = 0.01$

รูปแบบที่	จำนวนรอบการคำนวณโหลดไฟลว์								
	Flat Start			Hot Start			NNLF		
	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF
1	5	4	5	5	1	5	5	1	5
2	5	4	5	4	3	4	5	1	5
3	5	4	5	4	3	4	5	1	5
4	5	4	5	5	1	5	5	1	5
5	5	4	5	4	3	4	4	3	4
6	5	4	5	1	3	5	1	1	5
7	5	4	5	5	1	5	5	1	5
8	4	4	5	6	3	5	4	1	5
9	5	4	5	5	4	5	5	1	5
10	6	4	6	7	3	7	1	1	6
11	5	4	5	0	0	0	4	3	6

ตารางที่ 5.22 (ข) แสดงจำนวนรอบในการคำนวณโหลดไฟลว์ของระบบ 57 บัสที่ $\epsilon = 0.001$

รูปแบบที่	จำนวนรอบการคำนวณโหลดไฟลว์								
	Flat Start			Hot Start			NNLF		
	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF	FOLF	SOLF	FDLF
1	5	4	6	5	4	7	5	4	6
2	5	4	6	4	3	6	5	4	6
3	5	4	6	4	3	6	5	4	6
4	5	4	6	5	4	7	5	4	6
5	5	4	6	4	3	6	4	3	5
6	5	4	6	5	3	6	5	4	6
7	5	4	6	5	4	6	5	4	6
8	5	4	6	6	3	6	5	4	6
9	5	5	6	5	5	6	5	5	6
10	7	4	7	8	4	8	7	4	7
11	5	4	6	0	0	0	4	3	6

ตารางที่ 5.23 (ก) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่าง ๆ
ของระบบ 57 บัส

บัสที่	รูปแบบที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.91	0.00	1.97	1.96	-0.71	-0.52	1.52	1.53	1.47	1.36	-0.32
3	2.20	0.56	2.21	2.09	-0.61	0.60	0.59	0.69	0.34	-0.35	0.05
4	2.25	0.49	2.02	1.97	-0.49	0.33	0.26	0.35	-0.15	-0.40	0.06
5	1.72	0.17	1.49	1.38	-0.19	0.07	-0.11	0.17	-0.30	0.01	0.01
6	1.12	-0.13	0.92	0.80	-0.03	-0.01	-0.03	0.18	-0.32	0.15	-0.09
7	1.24	0.22	0.96	0.99	-0.22	-0.25	-0.65	-0.24	-0.47	-0.02	0.03
8	-0.12	-0.07	-0.12	-0.10	-0.02	0.00	-0.01	0.09	-0.16	0.07	-0.04
9	0.89	0.02	0.43	0.53	-0.70	0.12	-2.19	0.66	-1.53	-0.56	-0.30
10	0.57	-0.07	0.15	0.38	-0.58	-0.23	-3.47	0.37	-2.00	-0.02	-0.30
11	1.48	0.30	0.97	1.16	-0.70	-0.15	-2.87	0.24	-1.89	-0.38	-0.14
12	-1.33	-0.78	-1.40	-1.05	-0.24	-0.09	-3.52	0.94	-1.85	0.78	-0.54
13	1.06	0.12	0.71	0.87	-0.64	-0.23	-2.90	0.24	-1.90	-0.19	-0.21
14	1.83	0.42	1.46	1.58	-0.73	-0.32	-2.69	-0.10	-1.87	-0.46	-0.08
15	1.60	0.36	1.33	1.46	-0.62	-0.07	-1.50	0.07	-1.13	-0.40	-0.07
16	-0.68	-0.47	-0.95	-0.41	-0.25	-0.19	-3.01	0.40	-1.26	0.79	-0.37
17	-0.13	-0.22	-0.58	-0.09	-0.27	-0.27	-1.88	-0.09	-1.07	0.41	-0.24
18	3.71	1.17	2.81	3.20	-0.60	0.05	-0.23	0.09	-1.41	-1.36	0.39
19	4.63	1.54	3.77	4.20	-0.92	-0.54	-2.02	-0.73	-2.03	-1.17	0.46
20	4.83	1.67	3.93	4.37	-0.93	-0.68	-2.98	-0.90	-2.11	-0.99	0.54
21	4.33	1.47	3.46	3.52	-1.04	-0.93	-3.97	-1.13	-2.99	-0.87	0.37
22	4.35	1.49	3.47	3.57	-1.02	-0.93	-4.18	-1.17	-2.85	-0.89	0.40
23	4.31	1.47	3.42	3.53	-1.04	-0.96	-4.22	-1.12	-2.97	-0.83	0.38
24	5.49	2.16	4.46	4.55	-0.79	-0.99	-4.28	-1.22	-2.19	-0.37	0.88
25	8.49	3.79	6.82	6.89	-0.73	-1.27	-6.21	-1.77	-2.52	-0.95	1.86
26	5.38	2.07	4.32	4.57	-0.81	-1.02	-4.27	-1.13	-2.25	-0.27	0.82
27	3.55	1.13	2.75	3.01	-0.71	-0.87	-2.49	-1.01	-1.47	-0.26	0.32
28	2.95	1.17	2.40	2.45	-0.08	-0.18	-1.19	-0.29	-0.49	0.31	0.62
29	1.83	0.51	1.48	1.39	-0.28	-0.30	-0.93	-0.31	-0.52	0.02	0.16
30	9.65	4.48	7.95	7.90	-0.61	-1.28	-7.12	-1.90	-2.60	-0.68	2.32
31	9.93	3.92	8.31	8.03	-2.15	-3.01	-10.65	-4.39	-4.32	-2.43	1.36
32	8.62	3.23	7.02	6.72	-2.14	-2.77	-9.73	-4.20	-4.80	-2.50	0.95

ตารางที่ 5.23 (ก) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่าง ๆ
ของระบบ 57 บัส (ต่อ)

บัสที่	รูปแบบที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
33	8.74	3.28	7.13	6.80	-2.17	-2.82	-9.91	-4.26	-4.83	-2.55	0.96
34	6.62	2.44	5.36	5.19	-1.51	-1.73	-6.82	-2.85	-3.56	-1.56	0.74
35	5.53	1.58	4.27	4.21	-2.10	-2.26	-7.11	-3.29	-4.30	-2.15	-0.01
36	5.96	2.41	4.83	4.83	-0.86	-0.93	-5.35	-1.67	-3.08	-0.75	0.99
37	5.56	2.20	4.52	4.53	-0.86	-0.88	-4.99	-1.51	-2.92	-0.76	0.88
38	4.03	1.37	3.26	3.30	-1.02	-0.90	-4.18	-1.11	-2.91	-0.89	0.33
39	5.48	2.05	4.43	4.42	-1.09	-1.13	-5.29	-1.87	-3.04	-1.05	0.69
40	5.85	2.20	4.70	4.70	-1.15	-1.22	-5.71	-2.06	-3.26	-1.07	0.75
41	3.46	1.13	2.65	2.99	-0.97	-0.68	-4.33	-0.53	-2.72	-0.80	0.21
42	5.85	2.41	4.93	5.22	-0.83	-0.79	-5.91	-1.00	-3.20	-0.48	1.00
43	2.13	0.60	1.53	1.76	-0.75	-0.28	-3.28	0.02	-2.05	-0.42	0.01
44	3.73	1.28	3.01	3.11	-0.87	-0.67	-3.49	-0.90	-2.51	-0.68	0.34
45	2.30	0.68	1.94	1.95	-0.70	-0.29	-2.17	-0.35	-1.55	-0.56	0.08
46	2.43	0.66	2.05	2.01	-0.84	-0.52	-3.28	-0.43	-2.31	-0.60	0.00
47	3.60	1.25	3.15	2.95	-0.79	-0.60	-3.88	-0.72	-2.58	-0.71	0.36
48	3.65	1.21	3.07	2.98	-0.91	-0.74	-4.03	-0.84	-2.70	-0.80	0.28
49	3.29	1.14	2.72	2.72	-0.72	-0.53	-3.94	-0.40	-2.10	-0.64	0.32
50	3.37	1.10	2.82	2.83	-0.87	-0.74	-4.71	-0.71	-2.19	-1.00	0.23
51	1.16	0.17	0.63	0.83	-0.64	-0.33	-3.70	0.07	-1.91	-0.22	-0.20
52	3.64	1.16	3.32	2.83	-0.77	-0.86	-1.79	-1.03	-1.06	0.16	0.31
53	4.43	1.45	4.15	3.37	-1.00	-1.10	-2.22	-1.47	-1.20	0.19	0.37
54	3.20	0.97	2.59	2.37	-0.86	-0.57	-2.36	-0.43	-1.26	-0.14	0.16
55	1.67	0.33	1.03	1.26	-0.73	-0.06	-2.38	0.47	-1.20	-0.42	-0.14
56	5.34	1.59	4.37	4.55	-1.93	-1.97	-7.16	-2.59	-4.25	-1.88	0.06
57	8.32	4.31	7.32	7.25	0.50	0.36	-4.56	-0.65	-1.20	0.37	2.66

ตารางที่ 5.23 (ข) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) มุมของแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่าง ๆ
ของระบบ 57 บัส

บัสที่	รูปแบบที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.55	0.02	0.19	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01
2	7.91	2.79	39.68	30.34	-4.58	-1.79	33.24	13.50	58.40	5.80	-0.53
3	3.71	6.57	15.50	11.29	4.54	6.44	22.13	4.30	20.85	-3.78	5.83
4	4.52	6.43	15.26	15.92	3.96	4.17	16.76	5.01	17.97	-2.03	5.46
5	9.46	6.74	16.32	21.65	2.41	0.70	10.59	5.47	-1.91	-0.99	4.82
6	20.10	10.93	25.10	30.31	3.61	0.75	8.67	6.71	-4.17	1.52	7.47
7	43.81	14.57	49.47	46.96	-3.35	-8.30	-9.96	-0.13	56.87	-0.81	5.71
8	161.53	46.15	277.84	93.12	-9.63	-21.94	-64.50	-4.40	29.67	1.58	17.51
9	13.04	8.34	22.45	24.02	1.90	0.41	9.98	2.36	-55.24	0.34	5.35
10	4.13	9.95	24.08	-3.91	8.95	7.96	26.68	2.79	13.84	-3.25	9.70
11	4.27	7.78	19.49	9.20	5.67	4.79	19.12	3.15	2.71	-1.57	6.97
12	1.49	8.93	29.25	-32.33	8.65	7.51	33.42	-1.76	-8.66	-11.78	9.05
13	2.24	9.24	21.55	-1.89	8.81	8.17	25.80	3.23	11.21	-2.45	9.28
14	-4.12	6.82	14.66	-5.05	8.55	8.50	24.81	4.53	12.54	-0.11	7.95
15	-3.03	6.21	14.41	-1.49	7.39	7.76	23.45	4.03	14.12	-0.93	7.07
16	-4.86	8.03	23.23	-30.80	10.71	10.31	31.12	4.06	-10.35	-11.88	9.63
17	-20.40	0.94	9.90	-41.48	7.99	8.54	25.44	5.56	-8.28	-13.41	4.74
18	-19.31	-0.21	2.82	4.44	6.19	7.12	16.31	7.45	26.72	1.23	3.25
19	-28.56	-3.74	-8.27	-9.72	5.30	6.38	15.66	6.87	18.40	0.99	1.03
20	-27.50	-3.31	-7.73	-11.93	5.26	6.11	16.43	5.27	17.80	0.18	1.22
21	-17.58	1.76	1.35	-10.79	8.14	8.77	22.22	6.26	17.84	2.59	5.19
22	-17.05	1.78	1.71	-11.60	8.00	8.57	22.34	5.94	16.52	2.54	5.12
23	-19.29	0.02	-0.32	-13.14	6.39	6.97	20.74	4.53	14.35	1.12	3.45
24	-18.76	-1.77	-4.80	-6.74	3.37	3.52	14.32	4.16	0.83	-0.70	1.05
25	-32.99	-5.74	-19.14	-19.36	5.22	6.47	19.95	4.73	7.32	-3.85	-0.09
26	-11.27	1.65	1.69	-0.40	4.75	4.55	14.52	4.55	6.00	-0.06	3.45
27	3.74	6.48	13.29	16.85	4.23	2.70	8.11	5.20	-0.19	1.53	5.59
28	11.09	7.62	18.55	24.92	2.34	0.06	3.79	4.50	-29.98	1.38	5.20
29	15.03	6.99	20.75	28.89	-0.46	-3.33	-0.55	2.61	-134.55	0.19	3.46
30	-37.60	-6.39	-23.81	-23.03	6.65	8.31	21.67	8.00	3.55	-1.40	0.29
31	-45.73	-10.64	-30.91	-31.67	4.25	6.26	20.87	5.70	0.73	-5.03	-3.03
32	-46.51	-10.93	-28.65	-31.18	3.89	5.94	21.06	5.12	3.47	-4.62	-3.33

ตารางที่ 5.23 (ข) แสดงความคลาดเคลื่อน (%) มุมของแรงดันไฟฟ้าที่รูปแบบต่าง ๆ
ของระบบ 57 บัส (ต่อ)

บัสที่	รูปแบบที่										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
33	-40.18	-6.68	-22.98	-25.73	7.23	9.13	23.81	7.79	8.35	-1.65	0.45
34	-33.08	-6.14	-12.48	-23.42	4.03	5.28	20.07	5.51	4.78	-0.76	-0.81
35	-28.04	-3.46	-7.45	-19.76	5.50	6.54	21.36	5.92	10.10	0.11	1.27
36	-30.36	-5.15	-9.32	-21.87	4.07	5.16	20.07	4.79	7.24	-0.84	-0.29
37	-30.12	-5.15	-9.17	-21.99	3.97	5.06	19.89	4.63	6.59	-0.62	-0.34
38	-28.16	-4.53	-7.61	-21.85	3.83	4.82	19.47	3.67	5.87	-0.10	-0.10
39	-24.19	-0.83	-3.97	-16.65	7.57	8.54	22.88	7.73	11.78	2.56	3.61
40	-32.93	-6.02	-11.42	-23.38	3.96	5.20	20.05	5.66	4.59	-0.27	-0.77
41	-24.97	-2.36	-3.31	-13.53	5.21	5.93	20.63	7.47	8.35	-2.94	1.68
42	-28.99	-3.48	-6.46	-16.46	6.11	7.17	22.26	9.28	10.29	-2.26	1.54
43	-8.77	3.38	8.34	-0.34	5.60	5.46	19.57	5.75	0.45	-0.77	4.74
44	-27.28	-4.27	-6.32	-21.04	3.84	4.87	19.26	4.08	7.17	-0.62	0.05
45	-14.21	3.38	5.26	-9.48	8.64	9.45	24.16	7.27	14.67	2.47	6.28
46	-21.70	-1.42	-2.76	-18.17	5.28	6.08	21.95	4.76	2.38	1.00	2.18
47	-18.76	1.34	-1.02	-15.60	8.23	8.98	24.20	6.63	12.56	4.04	5.02
48	-20.53	0.66	-1.99	-16.62	7.98	8.81	23.70	6.93	10.67	3.95	4.56
49	-21.70	-0.01	-2.33	-19.95	7.45	8.24	23.51	6.39	4.92	3.10	3.96
50	-16.58	2.47	3.08	-19.28	8.66	9.12	26.03	5.85	10.91	4.03	5.80
51	-10.77	4.17	9.77	-15.24	7.91	7.81	25.36	5.65	3.70	-0.54	6.29
52	3.75	5.44	7.03	22.15	2.69	1.13	3.32	7.03	-7.56	2.67	4.29
53	0.19	4.45	2.98	19.98	2.97	1.78	3.94	7.61	3.98	2.19	3.93
54	2.64	5.34	8.96	19.82	2.88	1.81	6.86	5.26	-0.25	1.21	4.34
55	3.70	5.41	12.55	18.09	2.13	1.24	9.52	3.65	-24.37	-0.03	4.01
56	-41.21	-11.61	-18.60	-28.02	0.14	1.56	17.42	4.98	0.37	-5.86	-5.51
57	-34.16	-6.40	-12.02	-21.76	4.64	5.93	20.89	7.79	8.06	-2.34	-0.67

สำหรับเวลาที่ใช้ในการคำนวณของเครือข่ายประสาทมีย่าน้อยมากประมาณ 10^{-6} วินาที แต่การคำนวณโหลดโพล์แบบดั้งเดิมทั้งสามวิธีที่ใช้รอบการคำนวณต่ำสุด 1 รอบ ใช้เวลาน้อยที่สุดประมาณ 0.4 วินาที ซึ่งแสดงว่าการคำนวณด้วยเครือข่ายประสาทมีย่านมีความรวดเร็วว่าการคำนวณโหลดโพล์แบบดั้งเดิมมากแม้ว่าระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ขึ้นก็ตาม

จากการวิเคราะห์การใช้เครือข่ายประสาทคำนวณโหนดโพลีของระบบ 57 บิต สรุปได้ว่าจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนที่เหมาะสมคือ 20,000 รูปแบบ และค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันมีค่าต่ำ แต่ถ้าต้องการความถูกต้องทั้งขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าต้องปรับสอนใหม่หรือผ่านค่าผลลัพธ์ไปเป็นค่าเริ่มต้นของโหนดโพลี

5.7 การเปรียบเทียบผลการคำนวณโหนดโพลีระหว่างวิธีการปรับสอนเครือข่ายประสาทด้วยกฎการเรียนรู้ Standard Back-Propagation with Momentum (SBM) และกฎ Delta-Bar-Delta (DBD)

ในการคำนวณโหนดโพลีโดยใช้เครือข่ายประสาท ก่อนการคำนวณเครือข่ายประสาทต้องทำการปรับสอนเพื่อคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนัก สำหรับวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้กฎ DBD ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อให้การปรับสอนมีการลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักเร็วขึ้น

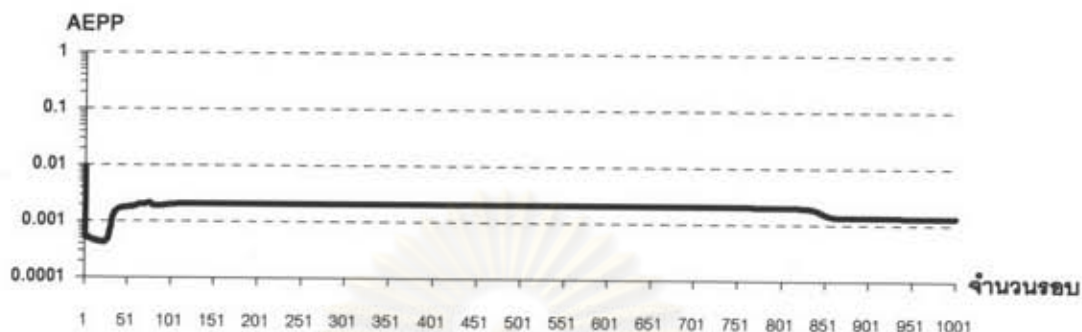
ผลจากการศึกษาเปรียบเทียบการปรับสอนระหว่างวิธี DBD และ SBM โดยทดสอบกับระบบ 14 บิต ดังตารางที่ 5.24 พบว่ากฎ DBD ใช้จำนวนรอบการปรับสอนน้อยกว่ากฎ SBM แต่กฎ DBD ใช้เวลาในการคำนวณต่อรอบมากกว่า และถ้าพิจารณาค่า AEPP ที่จำนวนรอบการคำนวณเท่ากันกฎ DBD มีค่าน้อยกว่า

ตารางที่ 5.24 แสดงการเปรียบเทียบการปรับสอนระหว่างกฎ DBD และกฎ SBM

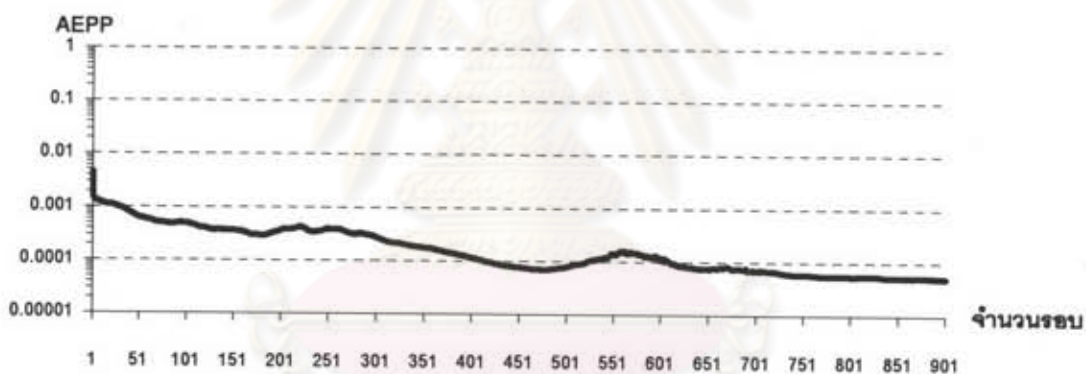
จำนวนรูปแบบที่ใช้ปรับสอน	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยต่อรูปแบบ (AEPP)		จำนวนรอบในการปรับสอน		เวลาในการปรับสอน (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	
	กฎ SBM	กฎ DBD	กฎ SBM	กฎ DBD	กฎ SBM	กฎ DBD
10000	1.319E-03	4.980E-05	1000	901	2:33:16.67	3:03:14.14
15000	2.990E-04	1.174E-04	1000	1000	3:34:59.88	5:04:20.17
20000	1.011E-04	4.970E-05	1000	853	4:46:30.92	5:46:58.98

เมื่อพิจารณาการลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนัก เมื่อใช้จำนวนรอบในการปรับสอนเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.1 แสดงค่า AEPP ของกฎ SBM ที่ใช้จำนวนข้อมูลในการปรับสอน 10,000 รูปแบบ และรูปที่ 5.2 แสดงค่า AEPP ของกฎ DBD ที่ใช้จำนวนข้อมูลในการปรับสอน 10,000 รูปแบบ เช่นเดียวกับกฎ SBM ซึ่งพบว่าเมื่อใช้การปรับสอนด้วยกฎ SBM เกิดการแกว่งในช่วงแรก เมื่อ

จำนวนรอบเพิ่มขึ้นค่า AEPP จะมีค่าลดลงแต่ยังคงมีค่าสูงอยู่ สำหรับกฎ DBD มีค่า AEPP แกว่งอยู่ในช่วงแคบๆ โดยที่ค่า AEPP ลดลงเร็วกว่าและมีค่าต่ำกว่ากฎ SBM



รูปที่ 5.1 แสดงการลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักของกฎการเรียนรู้ SBM
เมื่อใช้ข้อมูลปรับสอน 10,000 รูปแบบ



รูปที่ 5.2 แสดงการลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักของกฎการเรียนรู้ DBD
เมื่อใช้ข้อมูลปรับสอน 10,000 รูปแบบ

เมื่อนำค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้จากการปรับสอนจากกฎ DBD และกฎ SBM มาคำนวณโหลดโพลี ผลดังตารางที่ 5.25 จากกฎ SBM ค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงสุด 5.16% ค่าเฉลี่ย 0.76% จากกฎ DBD ค่า MAE ของขนาดแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงสุด 5.16% ค่าเฉลี่ย 0.76% ซึ่งพบว่ากฎ SBM มีค่า MAE สูงกว่าทั้งค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ยแสดงว่ามีความผิดพลาดมากกว่ากฎ DBD

ตารางที่ 5.25 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ของแรงดันไฟฟ้า เมื่อใช้กฎการ
เรียนรู้ SBM และ DBD โดยใช้ข้อมูลปรับสอน 10,000 รูปแบบ

รูปแบบที่	ค่า MAE (%) ของการคำนวณโหลดโพล์			
	กฎ SBM		กฎ DBD	
	$ V $	$\angle V$	$ V $	$\angle V$
1	0.46	4.18	0.40	0.91
2	0.10	0.61	0.20	0.43
3	0.52	4.89	0.37	1.19
4	0.55	5.15	0.44	1.01
5	5.16	2.72	2.44	1.69
6	0.18	1.44	0.05	0.16
7	0.48	1.03	1.05	0.74
8	0.54	0.92	0.78	0.59
9	0.22	2.78	0.13	0.51
10	0.11	2.28	0.06	0.43
11	0.06	0.41	0.13	0.34
เฉลี่ย	0.76	2.40	0.55	0.73

5.8 สรุปผลการคำนวณโหลดโพล์โดยใช้เครือข่ายประสาท

จากการทดลองกับระบบ 6 บัส 14 บัส 30 บัส และ 57 บัส พบว่าที่ระบบ 14 บัส และ 30 บัส ผลการคำนวณจะมีความคลาดเคลื่อนต่ำ สำหรับระบบ 6 บัสมีความคลาดเคลื่อนพอสมควร และระบบ 57 บัส มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง โดยทุกระบบค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าต่ำ ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้า เมื่อพิจารณาจากบัสที่มีความคลาดเคลื่อนสูง จะพบว่ามีสาเหตุมาจาก

(1) ที่บัสควบคุมแรงดันมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการปรับสอนบางรูปแบบทำให้เกิดการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้านอกตีฟเกินกว่าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายได้ทำให้บัสนี้เปลี่ยนเป็นโหลดบัส และไม่สามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่ได้

(2) ที่โหลดบัส ซึ่งเมื่อโหลดมีค่าเปลี่ยนจะทำให้มุมของแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนไปมาก

สำหรับขนาดแรงดันไฟฟ้ามีความผิดพลาดในการคำนวณต่ำ เพราะขนาดของแรงดันไฟฟ้าทุกบัสมีค่าใกล้เคียง 1.0 p.u. หรือค่าเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ เครือข่ายประสาทจึงเรียนรู้ระบบไฟฟ้าได้ดีขึ้น คือ ค่าถ่วงน้ำหนักปรับค่าได้อย่างเหมาะสม

ดังนั้นถ้าจะนำเครือข่ายประสาทใช้คำนวณโหลดโพล์ ในทางปฏิบัติควรใช้ข้อมูลจากการปฏิบัติงานจริงในอดีต ซึ่งนอกจากทำให้การลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักมีความรวดเร็วและ AEPP ต่ำ ในขณะที่ปรับสอน และยังทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากเครือข่ายประสาทมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นเนื่องจากการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบไฟฟ้าจริง

5.9 การปรับเปลี่ยนข้อมูลระบบทดสอบเพื่อให้เหมาะสมกับการปรับสอน

จากการนำเครือข่ายประสาทคำนวณโหลดโพล์ของระบบ 6 บัส และระบบ 57 บัส ผลลัพธ์ที่ได้จากเครือข่ายประสาทมีความคลาดเคลื่อนของมุมแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างสูง ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลของกรณีฐาน (Base case) ไม่เหมาะสมกับเงื่อนไขในการสุ่มค่าเพื่อคำนวณหาข้อมูลที่ใช้ปรับสอน เมื่อพิจารณาข้อมูลของกรณีฐานทั้งสองระบบพบว่า

- ระบบ 6 บัส กำลังไฟฟ้รีแอกตีฟของโหลดมีขนาดเท่ากับกำลังไฟฟ้าจริงของโหลดทุกบัส คือกำลังไฟฟ้าของโหลดทุกบัส (บัสที่ 4 บัสที่ 5 และบัสที่ 6) มีค่า 70 MW และ 70 MVAR จากการสุ่มค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดมีเงื่อนไขว่ากำลังไฟฟ้รีแอกตีฟไม่เกิน 80% ของกำลังไฟฟ้าจริง เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพภาวะจริงของโหลดและให้การลู่เข้าของค่าถ่วงน้ำหนักมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น จึงทำให้การคำนวณผลลัพธ์มีความผิดพลาดสูงทั้งที่เป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งควรจะมี ความผิดพลาดต่ำ

- ระบบ 57 บัส กำลังไฟฟ้าของโหลดที่บัสที่ 2 มีค่า 3 MW และ 88 MVAR ซึ่งในทางปฏิบัติในระบบไฟฟ้ากำลัง โหลดที่ต้องการกำลังไฟฟ้าแบบนี้โอกาสที่จะเกิดขึ้นน้อยมาก จากเหตุผลเหมือนกับระบบ 6 บัส จึงทำให้การคำนวณผลลัพธ์ของมุมแรงดันไฟฟ้ามีความผิดพลาดสูง

สำหรับการปรับเปลี่ยนข้อมูลกรณีฐานทำได้ดังนี้

- ระบบ 6 บัส ปรับลดกำลังไฟฟ้รีแอกตีฟของกรณีฐาน (Base case) ทุกบัส ในที่นี้จะยกตัวอย่างการลดกำลังไฟฟ้รีแอกตีฟของโหลดจาก 70 MVAR เป็น 30 MVAR แล้วคำนวณหาข้อมูลที่ใช้ปรับสอนใหม่ เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่ใช้ปรับสอนที่เหมาะสมที่ กำลังไฟฟ้าของโหลดเดิมของระบบ 6 บัสคือ 15,000 รูปแบบ จึงใช้ข้อมูล 15,000 รูปแบบเช่นเดียวกัน แล้วนำข้อมูลปรับสอนระบบใหม่โดยใช้ค่าตัวแปรในการปรับสอนของระบบ 6 บัสดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 5.2 ผล

การปรับสอนใช้รอบการปรับสอน 1,000 รอบ ค่า AEPP = $8.47E-5$ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง 27 นาที 45.18 วินาที เมื่อนำไปทดสอบต้องสุ่มค่าข้อมูลสำหรับการทดสอบใหม่เช่นเดียวกับข้อมูลที่ใช้ปรับสอนเพราะข้อมูลกรณีฐานในการปรับสอนเปลี่ยนไป ผลดังตารางที่ 5.26 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่า MAE เดิมทั้ง 11 รูปแบบ แนวทางที่เสนอใหม่นี้ค่าความคลาดเคลื่อนจะลดลง

- ระบบ 57 บัส ปรับลดกำลังไฟฟ้าของกรณีฐาน (Base case) ของบัสที่ 2 ในที่นี้จะยกตัวอย่างการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าของโหลดที่บัสที่ 2 คือจาก 3 MW 88 MVAR เปลี่ยนเป็น 38 MW 8 MVAR แล้วคำนวณข้อมูลที่ใช้ปรับสอนใหม่ เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่ใช้ปรับสอนที่เหมาะสมที่ กำลังไฟฟ้าของโหลดเดิมของระบบ 57 บัสคือ 20,000 รูปแบบ จึงใช้ข้อมูล 20,000 รูปแบบเช่นเดียวกัน แล้วนำข้อมูลปรับสอนระบบใหม่ โดยใช้ค่าตัวแปรในการปรับสอนของระบบ 57 บัสดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 5.2 ผลจากการปรับสอนพบว่าค่า AEPP ลดน้อยลงกว่า 0.00005 จึงไม่กำหนดให้ค่า AEPP มีค่าต่ำกว่าเท่าใดจึงจะหยุดการปรับสอน เมื่อทดสอบจนครบ 500 รอบ (ไม่ใช่ 1000 รอบในที่นี้เพราะใช้เวลานานมาก) ได้ค่า AEPP = $2.1966E-5$ ใช้เวลา 47 ชั่วโมง 25 นาที 39.13 วินาที เมื่อนำไปทดสอบต้องสุ่มค่าข้อมูลสำหรับการทดสอบใหม่เช่นเดียวกับข้อมูลที่ใช้ปรับสอนเพราะข้อมูลกรณีฐานในการปรับสอนเปลี่ยนไป ผลดังตารางที่ 5.26 ซึ่งพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่า MAE เดิมทั้ง 11 รูปแบบ แนวทางที่เสนอใหม่นี้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลงเป็นอย่างมาก

ตารางที่ 5.26 แสดงความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (%) ของแรงดันไฟฟ้าของระบบ 6 บัส และ 57 บัส เมื่อปรับเปลี่ยนข้อมูลกรณีฐานเปรียบเทียบกับเมื่อใช้ข้อมูลกรณีฐานเดิม

รูปแบบที่	ค่า MAE (%) ของแรงดันไฟฟ้า							
	6 บัส (เดิม)		6 บัส (ใหม่)		57 บัส (เดิม)		57 bus (ใหม่)	
	V	∠V	V	∠V	V	∠V	V	∠V
1	0.15	5.28	0.04	1.02	3.69	20.06	0.39064	1.19576
2	0.24	7.95	0.11	1.63	0.24	10.38	1.53169	7.20044
3	0.14	10.85	0.20	3.87	1.06	40.78	1.01467	3.74275
4	0.08	4.25	0.15	2.62	1.06	23.33	1.18908	3.46956
5	0.16	4.89	0.04	0.93	0.42	5.33	0.22515	1.19266
6	0.15	5.07	0.04	0.97	0.21	5.82	0.28043	1.8098
7	0.03	0.88	0.16	0.88	1.49	21.83	0.41884	3.08885
8	0.05	2.70	0.18	1.72	0.41	4.10	0.50194	2.15234
9	0.12	6.38	0.12	1.16	1.02	21.00	0.52638	4.12342
10	0.14	2.05	0.20	3.31	0.34	2.57	0.91646	1.96001
11	0.15	5.27	0.04	1.02	0.16	6.83	0.38248	1.18905
ค่าเฉลี่ย	0.13	5.05	0.12	1.74	0.92	14.73	0.67	2.83