

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

จากที่ได้กล่าวในบทที่แล้วถึงวิธีการและขั้นตอนในการทดสอบหาความเพียงพอของค่าวัดในระบบไฟฟ้า (Network Observability, NO) โดยการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (BP) ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น และโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Generalized Regression (GRNN) ในบทนี้จะเป็นผลการทดสอบที่ได้จากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 2 แบบ โดยการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks, ANNs) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ Pentium IV 1.50 GHz หน่วยความจำขนาด 256 MB โดยผลการทดสอบและรูปแบบในการนำเสนอจะแสดงดังต่อไปนี้

#### 5.1 รูปแบบในการนำเสนอด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับ (Back – Propagation Neural Networks, BP)

##### 5.1.1 รูปแบบการนำเสนอด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 8 บัส 115 kV (กฟภ.)

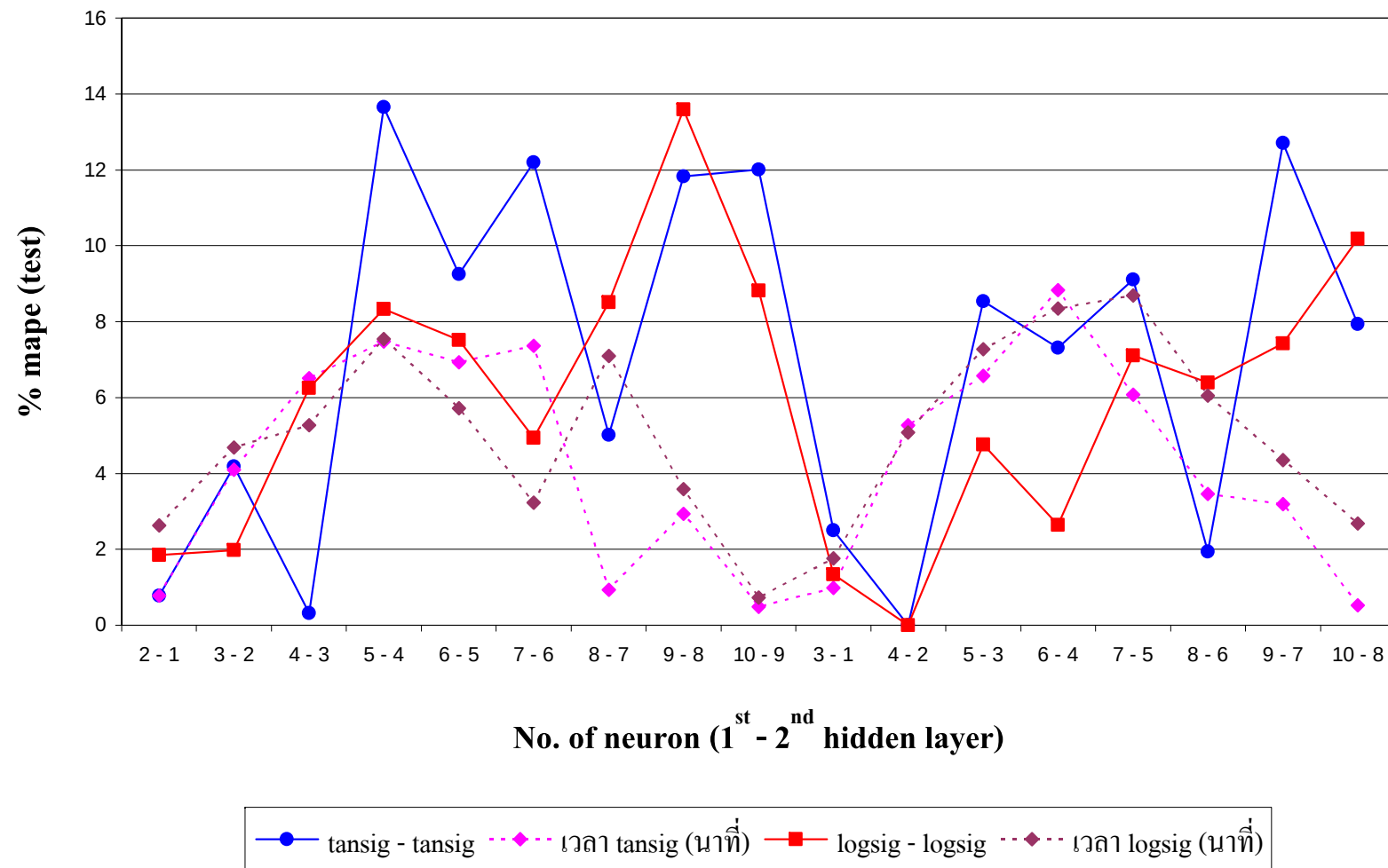
การทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ. นั้นจะแสดงผลที่ได้จากการทดสอบโดยใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนทุกแบบที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยในตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 จะแสดงผลที่ได้จากการทดสอบหา NO ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นของระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ. ส่วนในตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2 จะแสดงผลลัพธ์และแผนภูมิแท่งที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ NO โดยการลดทอนเมตริกซ์จาโคเบียนของค่าวัด (Measurement Jacobian Matrix Reduction, MJMR) กับค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น

ตารางที่ 5.1 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ.

| ลำดับที่ | จำนวนนิวรอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 1<br>(โหนด) | จำนวนนิวรอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 2<br>(โหนด) | ฟังก์ชันถ่ายโอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 1 | ฟังก์ชันถ่ายโอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 2 | ฟังก์ชันถ่ายโอนใน<br>ชั้นข้อมูลด้านออก | ค่า Mean Absolute<br>Percentage Error (%)<br>ของชุดทดสอบ | ค่า Mean Absolute<br>Percentage Error (%)<br>ของชุดฝึกสอน | เวลาที่ใช้<br>(นาท) |
|----------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|
| 1        | 2                                        | 1                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.7767                                                   | 1.9880                                                    | 0.7742              |
| 2        | 3                                        | 2                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 4.1910                                                   | 4.6632                                                    | 4.1003              |
| 3        | 4                                        | 3                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.3205                                                   | 1.4431                                                    | 6.5117              |
| 4        | 5                                        | 4                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 13.6570                                                  | 24.3835                                                   | 7.4789              |
| 5        | 6                                        | 5                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 9.2451                                                   | 15.5530                                                   | 6.9292              |
| 6        | 7                                        | 6                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 12.2016                                                  | 0.0281                                                    | 7.3573              |
| 7        | 8                                        | 7                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 5.0182                                                   | 0.4862                                                    | 0.9326              |
| 8        | 9                                        | 8                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 11.8332                                                  | 5.1455                                                    | 2.9326              |
| 9        | 10                                       | 9                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 12.0041                                                  | 30.2271                                                   | 0.4893              |
| 10       | 3                                        | 1                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 2.5008                                                   | 3.4616                                                    | 0.9880              |
| 11       | 4                                        | 2                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.0000                                                   | 0.0000                                                    | 5.2641              |
| 12       | 5                                        | 3                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 8.5374                                                   | 0.0447                                                    | 6.5695              |
| 13       | 6                                        | 4                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 7.3170                                                   | 11.2286                                                   | 8.8281              |
| 14       | 7                                        | 5                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 9.1127                                                   | 0.0000                                                    | 6.0755              |
| 15       | 8                                        | 6                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 1.9449                                                   | 1.3915                                                    | 3.4599              |
| 16       | 9                                        | 7                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 12.7122                                                  | 13.9101                                                   | 3.1909              |
| 17       | 10                                       | 8                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 7.9354                                                   | 23.2729                                                   | 0.5219              |

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

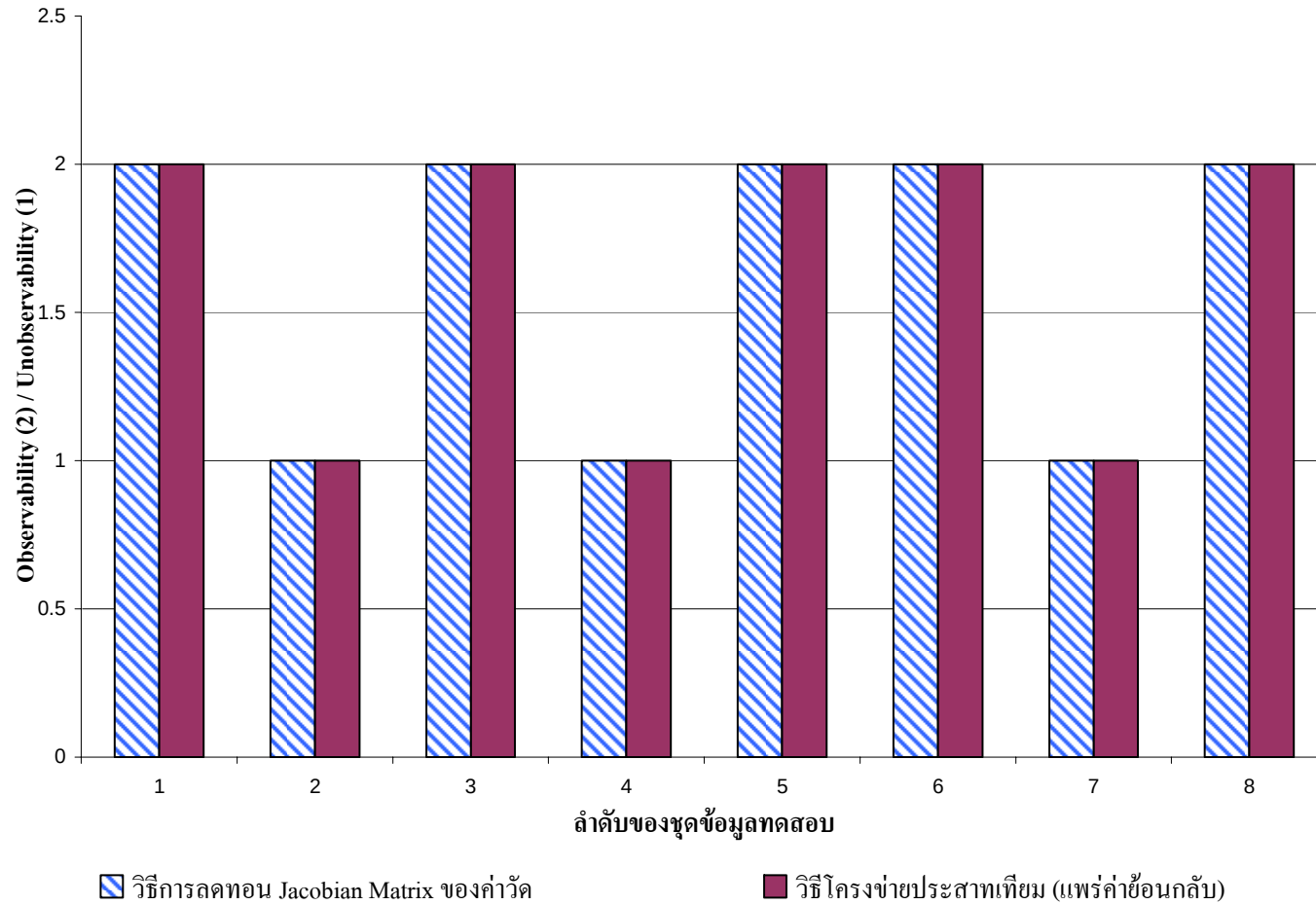
| ลำดับที่ | จำนวนนิวรอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 1<br>(โหนด) | จำนวนนิวรอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 2<br>(โหนด) | ฟังก์ชันถ่ายโอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 1 | ฟังก์ชันถ่ายโอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 2 | ฟังก์ชันถ่ายโอนใน<br>ชั้นข้อมูลด้านออก | ค่า Mean Absolute<br>Percentage Error (%)<br>ของชุดทดสอบ | ค่า Mean Absolute<br>Percentage Error (%)<br>ของชุดฝึกสอน | เวลาที่ใช้<br>(นาทื) |
|----------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------|
| 18       | 2                                        | 1                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 1.8512                                                   | 2.4768                                                    | 2.6333               |
| 19       | 3                                        | 2                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 1.9737                                                   | 5.1619                                                    | 4.6877               |
| 20       | 4                                        | 3                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 6.2500                                                   | 0.0001                                                    | 5.2734               |
| 21       | 5                                        | 4                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 8.3314                                                   | 0.0000                                                    | 7.5383               |
| 22       | 6                                        | 5                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 7.5133                                                   | 0.6921                                                    | 5.7224               |
| 23       | 7                                        | 6                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 4.9319                                                   | 1.5217                                                    | 3.2307               |
| 24       | 8                                        | 7                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 8.5117                                                   | 15.7207                                                   | 7.0932               |
| 25       | 9                                        | 8                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 13.5882                                                  | 10.5247                                                   | 3.5836               |
| 26       | 10                                       | 9                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 8.8179                                                   | 9.3587                                                    | 0.7242               |
| 27       | 3                                        | 1                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 1.3396                                                   | 2.7816                                                    | 1.7615               |
| 28       | 4                                        | 2                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.0000                                                   | 0.0000                                                    | 5.0805               |
| 29       | 5                                        | 3                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 4.7573                                                   | 6.4413                                                    | 7.2714               |
| 30       | 6                                        | 4                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 2.6393                                                   | 0.6294                                                    | 8.3463               |
| 31       | 7                                        | 5                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 7.1081                                                   | 0.0000                                                    | 8.6898               |
| 32       | 8                                        | 6                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 6.3931                                                   | 1.8911                                                    | 6.0417               |
| 33       | 9                                        | 7                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 7.4276                                                   | 0.9883                                                    | 4.3523               |
| 34       | 10                                       | 8                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 10.1827                                                  | 4.6655                                                    | 2.6740               |



รูปที่ 5.1 แสดงกราฟค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (% MAPE) ของชุดทดสอบสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ.

**ตารางที่ 5.2** แสดงผลเปรียบเทียบการหา NO ที่ชุดข้อมูลทดสอบ 8 ชุดระหว่างวิธีการ MJMR กับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ. (2 หมายถึง Observability, 1 หมายถึง Unobservability)

| ข้อมูลชุดที่ | ค่าวัด Injection<br>(บัส) | ค่าวัด Flow<br>(บัส – บัส) | วิธีการ MJMR | โครงข่าย<br>ประสาทเทียม<br>(แพร่ค่าย้อนกลับ) |
|--------------|---------------------------|----------------------------|--------------|----------------------------------------------|
| 1            | 1, 2, 4, 5, 7, 8          | 1-2, 1-5, 7-8              | 2            | 2.0000                                       |
| 2            | 3, 5, 6                   | 2-3, 4-7,                  | 1            | 1.0000                                       |
| 3            | 1, 2, 4, 5, 7             | 1-2, 6-7                   | 2            | 2.0000                                       |
| 4            | 2, 4, 6, 8                | 1-2, 1-6, 4-8,<br>7-8      | 1            | 1.0000                                       |
| 5            | 2, 3, 4, 8                | 2-3, 1-5, 4-7,<br>6-7, 7-8 | 2            | 2.0000                                       |
| 6            | 1, 2, 3, 6, 7, 8          | 1-2, 2-3, 1-5,<br>6-7      | 2            | 2.0000                                       |
| 7            | 1, 3,                     | 1-6, 6-7                   | 1            | 1.0000                                       |
| 8            | 1, 3, 4, 5, 7, 8          | 1-2, 1-5, 4-7,<br>4-8      | 2            | 2.0000                                       |



รูปที่ 5.2 แสดงแผนภูมิเปรียบเทียบการหา NO ที่ชุดข้อมูลทดสอบ 8 ชุดระหว่างวิธีการ MJMR กับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ.

ผลการทดลองในตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 เป็นการทดสอบหา NO ในระบบไฟฟ้าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น สำหรับระบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ. สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

จากตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ. จะได้ว่าโครงสร้างที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error) ของชุดทดสอบที่มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.0000 % ซึ่งมีฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) อยู่ 2 แบบที่เท่ากันคือทั้งแบบแทนเจนต์ซิกมอยด์ (tan-sigmoid transfer function) และ ลอกซ์ซิกมอยด์ (log-sigmoid transfer function) ที่มีชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 4 เซลล์ประสาท และชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 2 เซลล์ประสาท ส่วนในชั้นข้อมูลด้านออกใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนแบบ Linear (ในลำดับที่ 11 และลำดับที่ 28 ในตารางที่ 5.1) ดังนั้นจึงพิจารณาที่เวลาการใช้งานที่น้อยกว่าเป็นลำดับต่อไป จึงสรุปได้ว่าเลือกฟังก์ชันถ่ายโอนแบบลอกซ์ซิกมอยด์ทั้ง 2 ชั้นซ่อนที่มีเวลาที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 5.0805 นาที (ลำดับที่ 28 ในตารางที่ 5.1)

จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ MJMR กับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ. สามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

จากผลลัพธ์ที่ผ่านการฝึกสอนแล้วถูกทดสอบซึ่งสอดคล้องกับค่าวัดที่แตกต่างกัน ซึ่งไม่ได้รวมอยู่ในชุดฝึกสอนจำนวน 52 ชุดของระบบแบบ 8 บัส 115 kV ของ กฟภ. ซึ่งผลลัพธ์ของชุดทดสอบจำนวน 8 ชุดที่ได้จากวิธีโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการหาโดยวิธี MJMR แล้วผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีค่าที่เท่ากัน

### 5.1.2 รูปแบบการนำเสนอด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ค่าย้อนกลับสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 14 บัส 230 kV (กฟผ.)

การทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 14 บัส 230 kV ของ กฟผ. นั้นจะแสดงผลที่ได้จากการทดสอบโดยการใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนทุกแบบที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 โดยในตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.3 จะแสดงผลที่ได้จากการทดสอบหา NO ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นของระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 14 บัส 230 kV ของ กฟผ. ส่วนในตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.4 จะแสดงผลลัพธ์และแผนภูมิแท่งที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ NO โดยการ MJMR กับค่าที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น

ตารางที่ 5.3 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ BP ที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้นสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังแบบ 14 บัส 230 kV ของ กฟผ.

| ลำดับที่ | จำนวนนิวรอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 1<br>(โหนด) | จำนวนนิวรอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 2<br>(โหนด) | ฟังก์ชันถ่ายโอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 1 | ฟังก์ชันถ่ายโอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 2 | ฟังก์ชันถ่ายโอนใน<br>ชั้นข้อมูลด้านออก | ค่า Mean Absolute<br>Percentage Error (%)<br>ของชุดทดสอบ | ค่า Mean Absolute<br>Percentage Error (%)<br>ของชุดฝึกสอน | เวลาที่ใช้<br>(นาทีก) |
|----------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1        | 2                                        | 1                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.0000                                                   | 0.0000                                                    | 2.5503                |
| 2        | 3                                        | 2                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.0000                                                   | 0.0000                                                    | 8.1544                |
| 3        | 4                                        | 3                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.0003                                                   | 1.7378                                                    | 17.2159               |
| 4        | 5                                        | 4                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.4325                                                   | 0.0870                                                    | 19.2761               |
| 5        | 6                                        | 5                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.0721                                                   | 0.0005                                                    | 25.2857               |
| 6        | 7                                        | 6                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 5.0292                                                   | 0.0453                                                    | 12.1323               |
| 7        | 8                                        | 7                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.0707                                                   | 0.0474                                                    | 10.7643               |
| 8        | 9                                        | 8                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 10.7830                                                  | 21.1332                                                   | 5.5208                |
| 9        | 10                                       | 9                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 6.0758                                                   | 0.0160                                                    | 0.9750                |
| 10       | 3                                        | 1                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.0000                                                   | 0.0000                                                    | 3.3563                |
| 11       | 4                                        | 2                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 0.0280                                                   | 0.0009                                                    | 27.0531               |
| 12       | 5                                        | 3                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 3.0729                                                   | 0.0005                                                    | 28.8497               |
| 13       | 6                                        | 4                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 3.6740                                                   | 0.0000                                                    | 2.7888                |
| 14       | 7                                        | 5                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 4.2968                                                   | 0.0000                                                    | 1.3253                |
| 15       | 8                                        | 6                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 7.5258                                                   | 5.6304                                                    | 1.6133                |
| 16       | 9                                        | 7                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 11.7639                                                  | 1.4892                                                    | 1.7971                |
| 17       | 10                                       | 8                                        | tansig                             | tansig                             | linear                                 | 10.6634                                                  | 9.8394                                                    | 2.9180                |



ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

| ลำดับที่ | จำนวนนิวรอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 1<br>(โหนด) | จำนวนนิวรอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 2<br>(โหนด) | ฟังก์ชันถ่ายโอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 1 | ฟังก์ชันถ่ายโอน<br>ในชั้นซ่อนที่ 2 | ฟังก์ชันถ่ายโอนใน<br>ชั้นข้อมูลด้านออก | ค่า Mean Absolute<br>Percentage Error (%)<br>ของชุดทดสอบ | ค่า Mean Absolute<br>Percentage Error (%)<br>ของชุดฝึกสอน | เวลาที่ใช้<br>(นาท) |
|----------|------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------|
| 18       | 2                                        | 1                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.0000                                                   | 0.0000                                                    | 7.6911              |
| 19       | 3                                        | 2                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.0000                                                   | 0.0000                                                    | 11.0792             |
| 20       | 4                                        | 3                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.0024                                                   | 0.0000                                                    | 16.9214             |
| 21       | 5                                        | 4                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.0000                                                   | 0.0000                                                    | 20.3279             |
| 22       | 6                                        | 5                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 4.6900                                                   | 1.8128                                                    | 24.1052             |
| 23       | 7                                        | 6                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.0298                                                   | 0.0000                                                    | 32.1969             |
| 24       | 8                                        | 7                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.7214                                                   | 0.1144                                                    | 10.6162             |
| 25       | 9                                        | 8                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 4.2577                                                   | 3.6094                                                    | 7.1102              |
| 26       | 10                                       | 9                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 6.1648                                                   | 0.0899                                                    | 1.3401              |
| 27       | 3                                        | 1                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.0000                                                   | 0.0000                                                    | 7.9323              |
| 28       | 4                                        | 2                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.0000                                                   | 0.0000                                                    | 17.4042             |
| 29       | 5                                        | 3                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.7853                                                   | 4.1922                                                    | 27.8474             |
| 30       | 6                                        | 4                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.1412                                                   | 0.0000                                                    | 11.9674             |
| 31       | 7                                        | 5                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 0.0028                                                   | 0.0000                                                    | 8.9057              |
| 32       | 8                                        | 6                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 5.0799                                                   | 1.6462                                                    | 1.3721              |
| 33       | 9                                        | 7                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 6.5164                                                   | 0.0000                                                    | 1.8357              |
| 34       | 10                                       | 8                                        | logsig                             | logsig                             | linear                                 | 7.4134                                                   | 2.8448                                                    | 2.4971              |

