บทที่ 5

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกระบวนการวิเคราะห์อุปกรณ์ผิดพร่องโดยใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญในบทที่ 4 ได้ถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพกับข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล โดยใช้การพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันและรายงานการเกิดความผิดพร่องของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตมาตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์

ตัวอย่างการทดสอบและวิธีตรวจสอบผลการทดสอบ อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.1 สำหรับระบบทดสอบและการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ

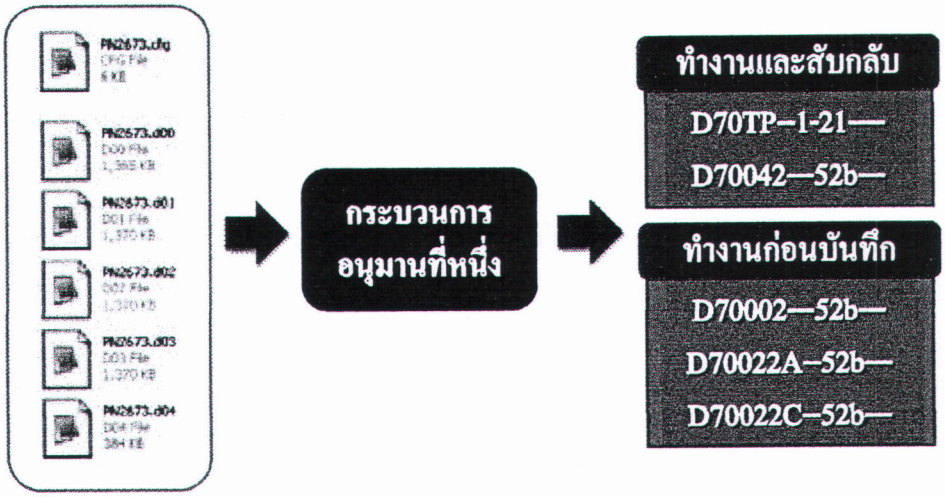
5.1 ตัวอย่างการทดสอบและวิธีตรวจสอบผลการทดสอบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญตั้งแต่รับสัญญาณป้อนเข้าจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลจนกระทั่งได้ผลลัพธ์จากระบบผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้งวิธีตรวจสอบที่ใช้การพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน โดยรายละเอียดของตัวอย่างการทดสอบและวิธีตรวจสอบผลการทดสอบจะอยู่ในหัวข้อที่ 5.1.1 และ 5.1.2 ตามลำดับ

5.1.1 ตัวอย่างการทดสอบ

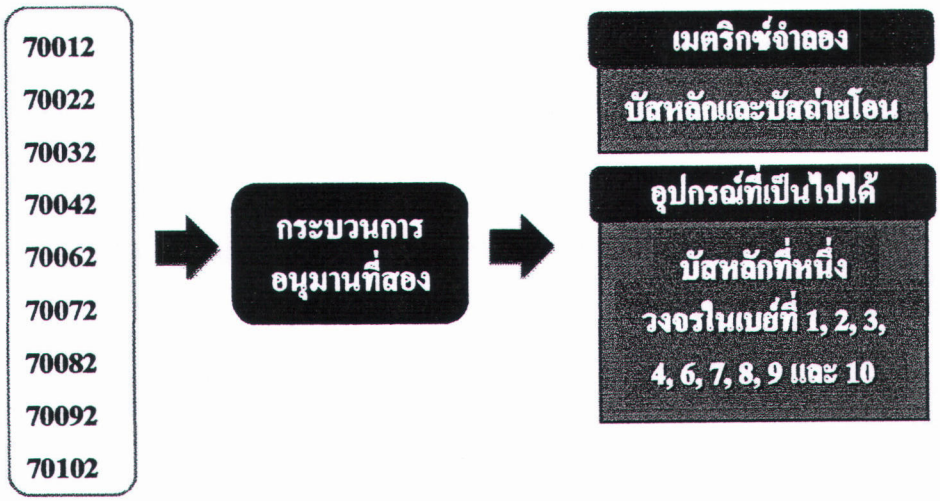
ตัวอย่างการทดสอบนี้จะใช้ข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลมาอธิบายหลักการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยข้อมูลของสัญญาณป้อนเข้าเป็นข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องที่ส่งมาจากสถานีไฟฟ้าพังงา ในวันเสาร์ที่ 10 ตุลาคม 2552 เวลา 23:49 น. สำหรับการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญเริ่มจากนำไฟล์โครงร่างและไฟล์ข้อมูลป้อนเข้ากระบวนการอนุมานที่หนึ่ง เพื่อตรวจสอบรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญตามฐานความรู้ที่หนึ่ง หลังจากนั้นจะทำการบันทึกข้อมูลและรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันทุกตัว ดังแสดงในรูปที่ 5.1

จากรูปที่ 5.1 พบว่ามีอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงาน คือ รีเลย์ระยะทางของสายส่งตะกั่วป่าและตัวตัดวงจรของเบย์ที่ 4 ดังนั้นจึงตัดสินว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้านี่มีนัยสำคัญ สำหรับอุปกรณ์ป้องกันที่เหลือมีรูปแบบการทำงานที่ไม่ทำงานหรือทำงานก่อนบันทึก อย่างไรก็ดีอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานก่อนบันทึกเป็นตัวตัดวงจรที่มีหมายเลขต่อท้ายด้วยตัวอักษร และตัวตัดวงจรเชื่อมต่อบัส ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่พิจารณา



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง

เมื่อพบว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ามีนัยสำคัญจะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรทั้งหมดจากกระบวนการอนุมานที่หนึ่งมาป้อนเข้าสู่กระบวนการอนุมานที่สองเพื่อหาประเภทการจัดเรียงบัส หลังจากนั้นกระบวนการอนุมานที่สองก็จะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรในแต่ละระดับแรงดันมาสร้างเมตริกซ์จำลองการจัดเรียงบัส รวมทั้งหาอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัส ดังแสดงในรูปที่ 5.2

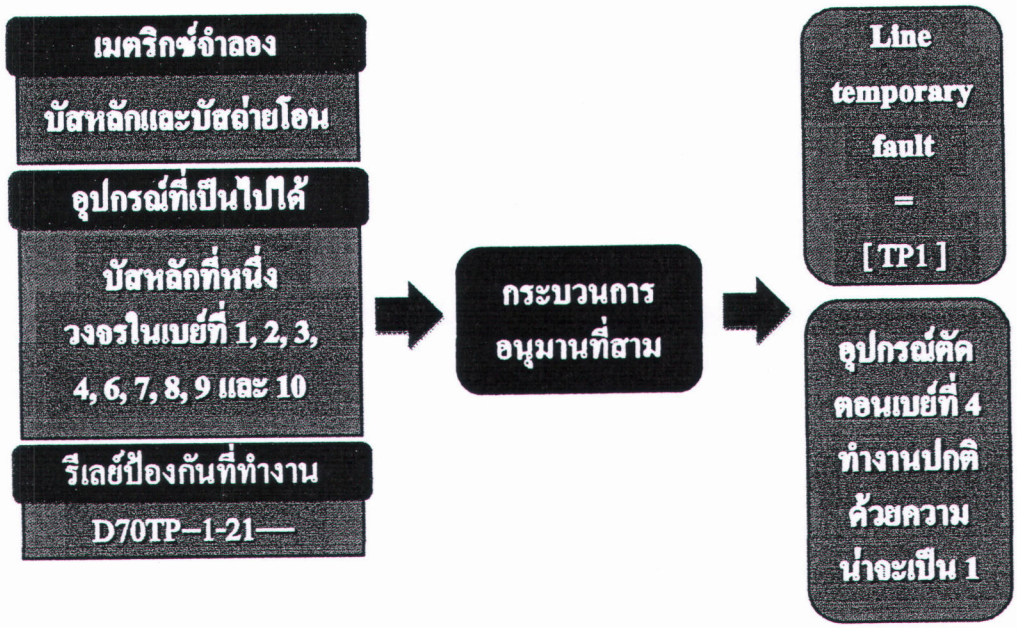


รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการอนุมานที่สอง

จากรูปที่ 5.2 พบว่าเหตุการณ์ที่ป้อนเข้ามีเพียงระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ โดยมีการจัดเรียงประเภทบัสหลักและบัสถ่ายโอน หลักจากนั้นจะนำข้อมูลของตัวตัดวงจรมาสร้างเมตริกซ์

จำลองตามการจัดเรียงบัสประเภทบัสหลักและบัสถ่ายโอน รวมทั้งหาอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ในการจัดเรียงบัสประกอบด้วย บัสหลักที่หนึ่ง และวงจรในเบย์ที่ 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10

เมื่อได้เมตริกซ์จำลองและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้จากกระบวนการอนุมานที่สอง ก็จะนำเมตริกซ์จำลองและอุปกรณ์ที่เป็นไปได้ รวมทั้งข้อมูลของรีเลย์ระยะทางของสายส่งตะกั่วป่ามาป้อนเข้าสู่กระบวนการอนุมานที่สาม เพื่อหาอุปกรณ์ผิดพร่องและรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรในเชิงความน่าจะเป็น ดังแสดงในรูปที่ 5.3



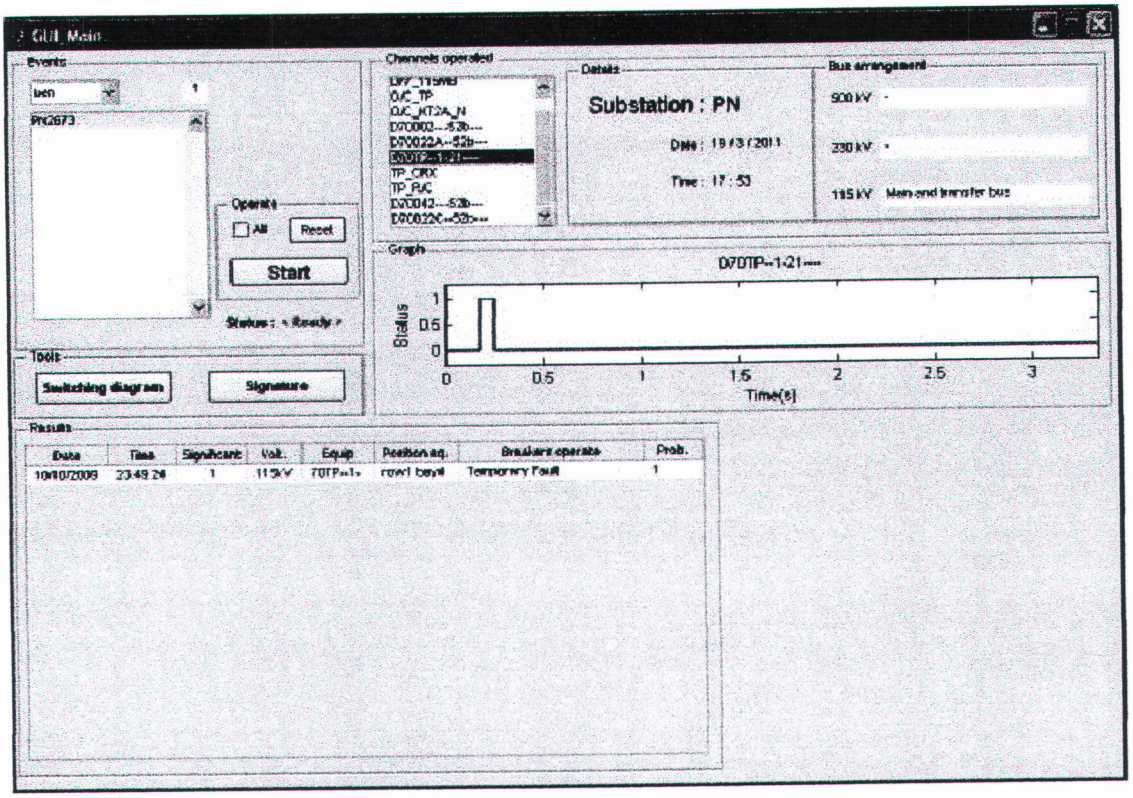
รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการอนุมานที่สาม

จากรูปที่ 5.3 พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการอนุมานที่สาม เกิดความผิดพร่องบนสายส่งตะกั่วป่า โดยที่ตัวตัดวงจรเบย์ที่ 4 ทำงานปกติและความน่าจะเป็นของรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเพื่อตัดวงจรในเบย์ที่ 4 เท่ากับ 1

5.1.2 วิธีตรวจสอบผลการทดสอบ

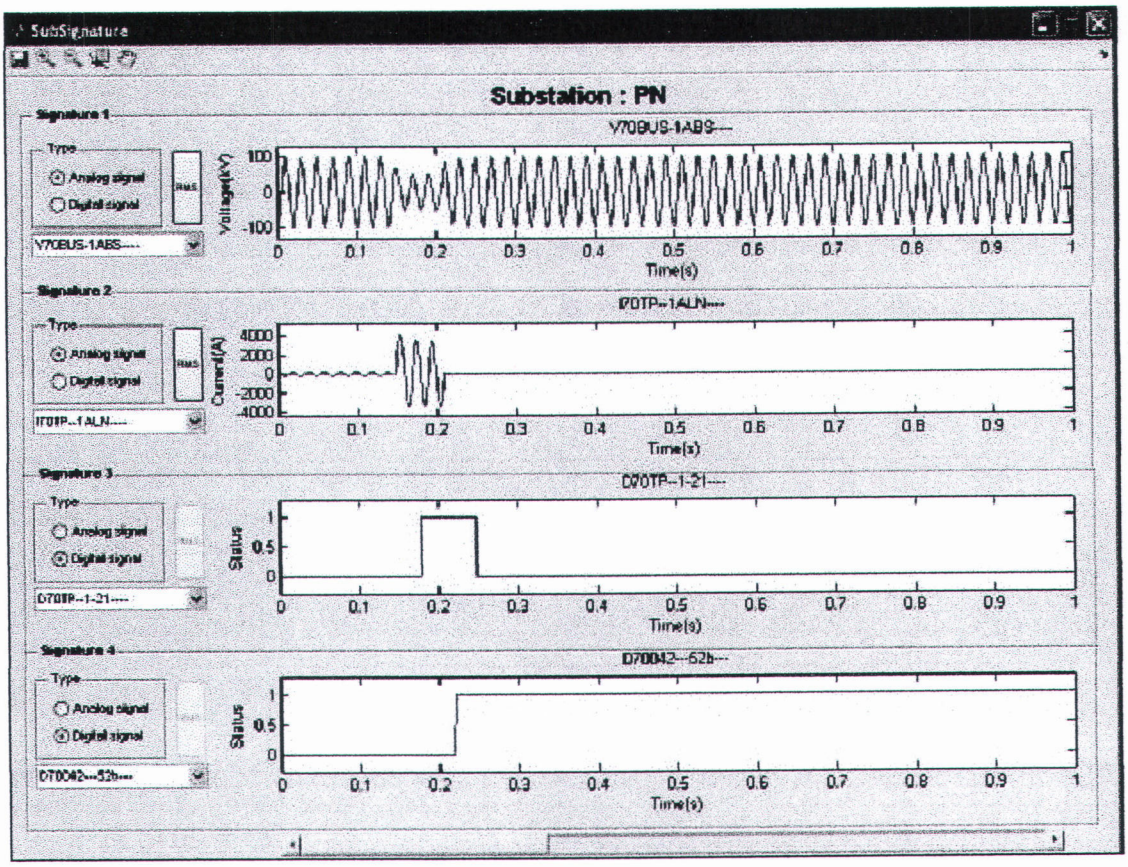
การตรวจสอบผลลัพธ์จากระบบผู้เชี่ยวชาญจะพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันโดยอาศัยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย Matlab ในรูปแบบของ Graphical User Interface (GUI) ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะแสดงผลทุกช่องสัญญาณที่มีการทำงาน เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ถูกบันทึกจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลในกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง ในส่วนของการตรวจสอบรูปแบบการจัดเรียงบัสในแต่ละระดับแรงดันจะตรวจสอบ

ด้วยข้อมูลการจัดเรียงบัสจริง และในส่วนของการตรวจสอบอุปกรณ์ผิดพร่องจะอ้างอิงจากรายงานการเกิดความผิดพร่องร่วมกับการพิจารณารูปแบบทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการตรวจสอบผลการทดสอบ

จากรูปที่ 5.4 การตรวจสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่งจะพิจารณาสัญญาณที่ทำงานและสามารถดูรูปคลื่นของช่องสัญญาณ ได้แก่ รีเลย์ระยะทางของสายส่งตะกั่วป่าและตัวตัดวงจรของเบย์ที่ 4 ในการตรวจสอบกระบวนการอนุมานที่สองจะพิจารณารูปแบบการจัดเรียงบัสกับรูปแบบการจัดเรียงบัสจริงด้วยปุ่ม Switching diagram และในการตรวจสอบกระบวนการอนุมานที่สามจะพิจารณาจากรายงานการเกิดความผิดพร่องร่วมกับรูปแบบทำงานของอุปกรณ์ป้องกันด้วยปุ่ม Signature ที่สามารถเรียกดูสัญญาณได้ทุกช่องสัญญาณได้พร้อมๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.5 โดยความผิดพร่องเกิดขึ้นบนสายส่งตะกั่วป่าที่เฟส A ส่งผลให้ค่าแรงดันของบัสลดลง ค่ากระแสของสายส่งตะกั่วป่าสูงขึ้น รีเลย์ระยะทางของสายส่งตะกั่วป่าทำงานและตัวตัดวงจรในเบย์ที่ 4 ทำงาน



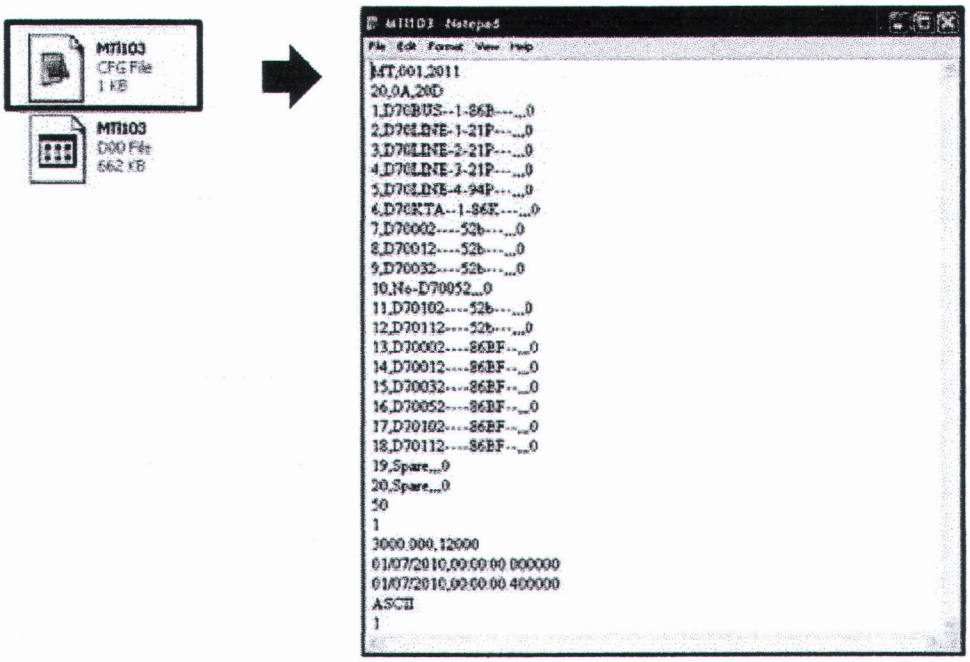
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน

5.2 ระบบทดสอบ

ในการทดสอบจะแบ่งข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ได้จากระบบจำลอง และข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ได้จากระบบจริง โดยรายละเอียดของแต่ละระบบจะอยู่ในหัวข้อที่ 5.2.1 และ 5.2.2 ตามลำดับ

5.2.1 ข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ได้จากระบบจำลอง

ข้อมูลจำลองที่สร้างขึ้นจะจำลองสัญญาณดิจิตัลทุกช่องสัญญาณให้คล้ายคลึงกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริงด้วยโปรแกรม Matlab ซึ่งข้อมูลจำลองที่สร้างขึ้นประกอบด้วย ไฟล์โครงร่างและไฟล์ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.6 สำหรับข้อมูลจำลองที่นำมาทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามจำนวนของกระบวนการอนุมาน เพื่อเป็นตรวจสอบประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการอนุมาน



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างไฟล์โครงร่างและไฟล์จำลองของข้อมูลจำลอง

ข้อมูลจำลองที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่หนึ่งประกอบด้วยเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญ 40 เหตุการณ์ด้วยข้อมูลที่ไม่มีช่องสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงาน และไม่มีนัยสำคัญ 60 เหตุการณ์ด้วยข้อมูลที่มีช่องสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกันที่สำคัญทำงาน โดยเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญจะจำลองเหตุการณ์ที่เกิดความผิดพร่องบนบัสจำนวน 11 เหตุการณ์ บนสายส่งจำนวน 24 เหตุการณ์ และบนหม้อแปลงจำนวน 5 เหตุการณ์

ข้อมูลจำลองที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่สองประกอบด้วยการจัดเรียงบัสทั้ง 4 ประเภทดังที่กล่าวไว้ในฐานความรู้ที่สอง โดยในแต่ละประเภทการจัดเรียงบัสจะจำลองเหตุการณ์ที่มีตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานครบทุกตัว และเหตุการณ์ที่สุ่มเอาตัวตัดวงจรกับรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานบางตัวออก ซึ่งรวมเหตุการณ์ทั้งสิ้นประเภทการจัดเรียงบัสละ 10 เหตุการณ์

ข้อมูลจำลองที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่สามประกอบด้วยรูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องในการจัดเรียงบัสทั้ง 4 ประเภท ดังที่กล่าวไว้ในฐานความรู้ที่สาม รวมทั้งรูปแบบการทำงานที่มีตัวตัดวงจรเพียงตัวเดียวทำงาน โดยในแต่ละประเภทการจัดเรียงบัสจะจำลองเหตุการณ์ที่มีตัวตัดวงจรครบและรีเลย์ตรวจจับตัวตัดวงจรไม่ทำงานครบ สำหรับข้อมูลจำลองที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่สามจะมีการใส่ลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ป้องกันและอุปกรณ์ป้องกันให้เหมือนกับการเกิดความผิดพร่องจริง ซึ่งเหตุการณ์ที่จำลองความผิดพร่องบนบัส 23 เหตุการณ์ บนสายส่งจำนวน 33

เหตุการณ์ บนหม้อแปลงจำนวน 27 เหตุการณ์ ตัวตัดวงจรถูกสั่งปลด 5 เหตุการณ์ และตัวตัดวงจรถูกสับกลับ 5 เหตุการณ์

5.2.2 ข้อมูลจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัลที่ได้จากระบบจริง

ข้อมูลจริงเป็นข้อมูลเหตุการณ์ที่ถูกบันทึกเครื่องบันทึกความผิดพร่องแบบดิจิตัล เมื่อช่องสัญญาณใดช่องสัญญาณหนึ่งในเครื่องบันทึกความผิดพร่องมีสถานะเป็นไปตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ ส่วนใหญ่ข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่องจะมีเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญถูกบันทึกมาเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ดีในความเป็นจริงการที่เกิดความผิดพร่องบนระบบส่งน้อยถือเป็นเรื่องดี เพราะการเกิดความผิดพร่องในแต่ละครั้งจะส่งผลกระทบต่อการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสู่ระบบจำหน่าย สำหรับข้อมูลที่นำมาทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามจำนวนของกระบวนการอนุมาน เช่นเดียวกับการทดสอบด้วยข้อมูลจำลอง

ข้อมูลจริงที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่หนึ่งประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ที่ถูกบันทึกในวันเสาร์ที่ 10 ตุลาคม 2552 ทั้งหมด 46 เหตุการณ์ จากสถานีไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องบันทึกความผิดพร่อง 16 สถานีไฟฟ้า โดยมีเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญ 14 เหตุการณ์ และเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญ 32 เหตุการณ์

ข้อมูลจริงที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่สองประกอบด้วยข้อมูลการจัดเรียงบัสของสถานีไฟฟ้าจำนวน 26 สถานีไฟฟ้า ได้แก่สถานีไฟฟ้า อ่าวไผ่ อ่างทอง2 บางประอิน2 บ้านค่าย บางพลี บางสะพาน2 บ่อวิน ชุมพร เชียงราย จันทบุรี หาดใหญ่2 กระบี่ แก่งคอย คลองใหม่ ลำพูน2 หนองจอก นครราชสีมา1 นครสวรรค์ ปลวกแดง ประจวบคีรีขันธ์ พังงา ร้อยเอ็ด รังสิต สระบุรี2 ท่าวุ้ง อุตรดิตถ์ เป็นต้น

ข้อมูลจริงที่ใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการอนุมานที่สามประกอบด้วยจำนวนเหตุการณ์ที่ถูกบันทึกตั้งแต่วันที่ 10 ตุลาคม 2552 จนถึงวันที่ 16 พฤศจิกายน 2553 ทั้งหมด 71 เหตุการณ์ โดยมีเหตุการณ์ที่เกิดความผิดพร่องบนบัสจำนวน 1 เหตุการณ์ บนสายส่งจำนวน 58 เหตุการณ์ บนหม้อแปลงจำนวน 6 เหตุการณ์ มีวงจรสายส่งหรือหม้อแปลงถูกปลด 2 เหตุการณ์ ตัวตัดวงจรถูกสั่งปลด 2 เหตุการณ์ และตัวตัดวงจรถูกสับกลับ 2 เหตุการณ์

5.3 ผลการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญ

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะถูกแบ่งการทดสอบประสิทธิภาพออกเป็นออกเป็น 3 กลุ่มตามจำนวนของกระบวนการอนุมาน เพื่อเป็นตรวจสอบประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการอนุมาน โดยผล

การทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง และผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สอง อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.3.1, 5.3.2 และ 5.3.3 ตามลำดับ

5.3.1 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง

ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่งของระบบผู้เชี่ยวชาญด้วยข้อมูลจำลองและข้อมูลจริง แสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความถูกต้องในการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่ง

	ข้อมูลจำลอง		ข้อมูลจริง	
	จำนวนเหตุการณ์	ความถูกต้อง(%)	จำนวนเหตุการณ์	ความถูกต้อง(%)
เหตุการที่มีนัยสำคัญ	40	100	14	100
เหตุการที่ไม่มีนัยสำคัญ	60	100	32	100

จากตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่หนึ่งของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้นำเสนอให้คำตอบจากการทดสอบข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่อง เป็นที่น่าพึงพอใจสำหรับการคัดกรองเหตุการณ์ที่มีนัยสำคัญและเหตุการณ์ที่ไม่มีนัยสำคัญ

5.3.2 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สอง

ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สองของระบบผู้เชี่ยวชาญด้วยข้อมูลจำลองและข้อมูลจริง แสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ความถูกต้องในการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สอง

	ข้อมูลจำลอง		ข้อมูลจริง	
	จำนวนการจัดเรียงบัส	ความถูกต้อง(%)	จำนวนการจัดเรียงบัส	ความถูกต้อง(%)
บัสหลักและบัสถ่ายโอน	10	100	7	100
บัสหลักคู่และบัสถ่ายโอน	10	100	3	100
บัสคู่เบรคเกอร์คู่	10	100	3	100
บัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่ง	10	100	29	96.5

จากตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สองของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้นำเสนอให้คำตอบจากการทดสอบข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่อง โดยวิเคราะห์ประเภทการจัดเรียงบัสผิดจำนวน 1 การจัดเรียงบัส และไม่สามารถระบุประเภทการจัดเรียงบัสจำนวน 2 การจัดเรียงบัส

การวิเคราะห์ประเภทการจัดเรียงบัสผิดทั้ง 1 การจัดเรียงบัส คือ สถานีไฟฟ้าหาดใหญ่ที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพราะมีการจัดเรียงบัสประเภทสามบัสหลักและสองบัสถ่ายโอน ซึ่งกระบวนการอนุมานที่สองให้คำตอบเป็นการจัดเรียงบัสประเภทบัสหลักและสองบัสถ่ายโอน

กรณีที่ไม่สามารถระบุประเภทการจัดเรียงบัสจำนวน 2 การจัดเรียงบัส คือ สถานีไฟฟ้าบางพลีที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ เพราะมีการตั้งชื่อหมายเลขของตัวตัดวงจรสองประเภทการจัดเรียงบัสในระดับเดียว คือ การจัดเรียงบัสประเภทบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งร่วมกับการจัดเรียงบัสประเภทบัสหลักและบัสถ่ายโอน และสถานีไฟฟ้าหนองจอกที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์ มีหมายเลขของตัวตัดวงจรเพียงตัวเดียว เพราะเป็นการจัดเรียงบัสประเภทบัสเดียว

5.3.3 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สาม

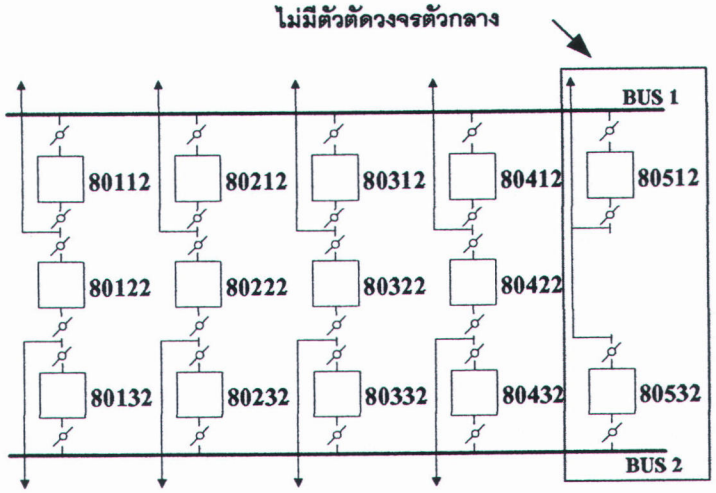
ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สามของระบบผู้เชี่ยวชาญด้วยข้อมูลจำลองและข้อมูลจริง แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ความถูกต้องในการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สาม

	ข้อมูลจำลอง		ข้อมูลจริง	
	จำนวนเหตุการณ์	ความถูกต้อง(%)	จำนวนเหตุการณ์	ความถูกต้อง(%)
ความผิดพร่องบนบัส	23	100	1	100
ความผิดพร่องบนสายส่ง	27	100	35	97.2
ความผิดพร่องชั่วคราวบนสายส่ง	6	100	23	100
ความผิดพร่องบนหม้อแปลง	27	100	6	100
ตัวตัดวงจรถูกสั่งปลด	5	100	2	100
ตัวตัดวงจรถูกสับกลับ	5	100	2	100
มีวงจรถูกปลดออกจากระบบ	-	-	2	100

จากตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบกระบวนการอนุมานที่สามของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้นำเสนอให้คำตอบจากการทดสอบข้อมูลจำลองและข้อมูลจริงจากเครื่องบันทึกความผิดพร่อง เป็นที่น่าพึงพอใจสำหรับการวิเคราะห์หาอุปกรณ์ผิดพร่องบนเครือข่ายระบบส่ง อย่างไรก็ดีในกรณีที่มีรีเลย์ป้องกันทำงานแต่ไม่สามารถหารูปแบบการทำงานของตัวตัดวงจรมีสาเหตุดังนี้

1. ระบุประเภทการจัดเรียงบัสไม่ถูกต้อง
2. รูปแบบการจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งที่ไม่มีตัวตัดวงจรตัวกลาง และมีวงจรออกจากเบย์เพียงหนึ่งวงจร ดังแสดงในรูปที่ 5.7
3. หมายเลขของตัวตัดวงจรที่ต่อท้ายด้วยตัวอักษร เช่น 70022A



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างจัดเรียงบัสแบบบัสคู่เบรคเกอร์หนึ่งครึ่งที่ไม่มีตัวตัดวงจรตัวกลาง