ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2536

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

EXPERT SYSTEM FOR SUBSTATION FAULTS DIAGNOSIS AND ALARM PROCESSING

ผู้จัดทำ นาย กัมปนาท ตัณฑ์เจริญรัตน์ รหัสประจำตัว 33100018

นาย เกรียงศักดิ์ จันทรเสนาวงค์ รหัสประจำตัว 33100033

นาย จักรกฤษณ์ ชมภูศรี รหัสประจำตัว 33100051

(รศ. ศุลี บรรจงจิตร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033164

ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติ และสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

EXPERT SYSTEM FOR SUBSTATION FAULTS DIAGNOSIS AND ALARM PROCESSING

โดย

นาย กัมปนาท ตัณฑ์เจริญรัตน์ รหัสประจำตัว 33100013

นาย เกรียงศักดิ์ จันทรเสนาวงค์ รหัสประจำตัว 33100033

นาย จักรกฤษณ์ ชมภูศรี รหัสประจำตัว 33100051

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้า ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

Expert System for Substation Fault Diagnosis and Alarm Processing

โดย นายกัมปนาท ตันท์เจริญรัตน์
นายเกรียงศักดิ์ จันทรเสนาวงค์
นายจักรกฤษณ์ ชมภูศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ศุลี บรรจงจิตร

บทคัดย่อ

ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้า ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์โดยมีความมุ่งหมายเบื้องต้นให้ระบบนี้มีความสามารถในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดปกติทางไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยและสามารถให้ข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้น ตลอดจนหนทางแก้ไขที่สามารถกระทำได้ ให้กับผู้ใช้ระบบซึ่งมิได้เป็นผู้เชี่ยวชาญทางไฟฟ้า ผ่านทางเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานได้ง่าย การวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญจะใช้ข้อมูลจากฐานความรู้ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ประกอบกับข้อมูลเฉพาะที่ผู้ใช้จะต้องป้อนให้แก่ระบบผ่านทางส่วนอินพุท-เอาท์พุทของระบบเพื่อช่วยให้การตัดสินใจของระบบถูกต้องที่สุด

ABSTRACT

The expert system for substation fault diagnosis and alarm processing is developed on a personal computer. The basic idea of this system is to represent human expertise in substation fault diagnosis and alarm processing and to provided the non-expert with the necessary information and interaction in order to make a fault diagnosis through the substation alarms in a very user-friendly computer environment. The expert system makes a fault diagnosis by using data in its knowledge base and some specific information provided by the user through the input-output unit of the system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของโครงงาน 4

2.1 ความเป็นมาของโครงงาน 4

2.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงงาน 5

2.2.1 วัตถุประสงค์

2.2.2 ขอบเขตของโครงงาน

บทที่ 3 ระบบผู้เชี่ยวชาญ 6

3.1 ความเป็นมาของระบบผู้เชี่ยวชาญ 6

3.1.1 วิวัฒนาการของระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.1.2 การจัดรูปแบบของความรู้

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.2 รูปแบบการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ 12

3.3 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ 13

3.3.1 ฐานความรู้(Knowledge base)

3.3.2 กลไกวินิจฉัย(Inference engine)

3.3.3 ส่วนประกอบอื่น ๆ

3.4 การแทนความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ 17

3.4.1 ประเภทของความรู้

3.4.2 วิธีการแทนความรู้ที่ดี

3.4.3 รูปแบบการแทนความรู้

3.5 เทคนิคสำหรับพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ 21

3.5.1 การวิเคราะห์ปัญหา

3.5.2 การเลือกเครื่องมือที่ใช้ในการ
พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.5.3 การสร้างระบบต้นแบบ

3.5.4 การขยาย ทดสอบ และปรับปรุงระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 องค์ประกอบของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย 25
4.1 ส่วนของบัสบาร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง 29
4.1.1 ส่วนประกอบของสวิทช์เกียร์
4.1.2 ระบบรีเลย์
4.2 ส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 34
4.2.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลง
4.2.2 ระบบรีเลย์
4.3 ส่วนของบัสบาร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ 38

บทที่ 5 การสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวิเคราะห์ความผิดปกติ 40
และสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้า
5.1 การวิเคราะห์ปัญหา 41
5.1.1 การจำแนกปัญหา
5.1.2 กำหนดขอบเขตของงานให้เหมาะสม
5.1.3 การเลือกรูปแบบของการแทนความรู้
และกลไกวินิจฉัย
5.1.4 การเลือกเครื่องมือในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ
5.2 การสร้างระบบต้นแบบ 53
5.3 การสร้างระบบที่สมบูรณ์ 54
5.3.1 โครงสร้างของระบบ
5.3.2 การทำงานของระบบ
5.3.3 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรม

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 88
6.1 การประเมินผลการใช้งานของระบบ 88
6.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบต่อไป 89

กิตติกรรมประกาศ 90
บรรณานุกรม 91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 3-1 หน้าที่ของวิศวกรความรู้ 10

รูปที่ 3-2 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ 17

รูปที่ 3-3 ตัวอย่างโครงสร้างของระบบกรอบ 20

รูปที่ 3-4 วงจรการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ 22

รูปที่ 4-1 แสดง single-line diagram ของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน 26-28

รูปที่ 5-1 flow chart แสดงการทำงานโดยรวมของระบบ 57

รูปที่ 5-2 flow chart แสดงการวิเคราะห์ fault ของระบบ 58

รูปที่ 5-3 flow chart แสดงการเพิ่มเติมข้อมูลให้แก่ระบบ 59

รูปที่ 5-4 flow chart แสดงการเปลี่ยนแปลงผลการวิเคราะห์ให้แก่ระบบ 60

รูปที่ 5-5 flow chart แสดงการแสดงรูป single-line diagram ของระบบ 61

รูปที่ 5-6 flow chart แสดงการเปลี่ยนแปลงรูป single-line diagram ให้แก่ระบบ 62

รูปที่ 5-7 flow chart แสดงการตรวจดูประวัติการทำงานของระบบ 63

รูปที่ 5-8 ผลการทำงานของโปรแกรมก่อนเข้าสู่ main menu 64-67

รูปที่ 5-9 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง 68-78

รูปที่ 5-10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงสูง 79-83

รูปที่ 5-11 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงต่ำ 84-87

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3-1 แสดงระบบผู้เชี่ยวชาญในยุคต้น ๆ 8

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างของระบบเปลือกผู้เชี่ยวชาญ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างแพร่หลายในปัจจุบันและระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) ก็เป็นสาขาหนึ่งของงานวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์ โดยเป็นเทคโนโลยีทางด้านซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของสาร เป็นต้น

ในการควบคุมระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยนั้น สิ่งสำคัญประการหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึงอย่างมากคือ ความน่าเชื่อถือ (reliability) ที่ระบบจะต้องมีให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า กล่าวคือระบบควรจะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องโดยมีความผิดปกติทางไฟฟ้า (faults) เกิดขึ้นน้อยที่สุด และถ้าเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าขึ้นแล้ว ผู้ควบคุมระบบจะต้องทำการแก้ไขเพื่อให้ระบบกลับเข้าสู่สภาวะปกติโดยเร็วที่สุด

เมื่อเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าขึ้นภายในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยผู้ปฏิบัติงานประจำสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย (operators) จะทราบได้โดยสัญญาณเตือนหรือการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ที่จะแสดงผลการทำงานอยู่บน mimic diagram ภายในห้องควบคุม (control room) หรืออาจส่งข้อมูลของความผิดปกติที่เกิดขึ้นไปยังศูนย์ควบคุมส่วนกลางผ่านทางระบบ SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) ในกรณีที่ความผิดปกตินั้นไม่สามารถแก้ไขได้โดยอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงานโดยอัตโนมัติ ผู้ปฏิบัติการหรือผู้เชี่ยวชาญที่ประจำอยู่ในศูนย์ควบคุมส่วนกลางในขณะนั้น ก็จำเป็นจะต้องตัดอุปกรณ์ส่วนที่เกิดความผิดปกตินั้นออกจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อรอทำการตรวจสอบและแก้ไขซึ่งจะต้องกระทำโดยผู้เชี่ยวชาญทางไฟฟ้าเท่านั้น และเมื่อเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าขึ้นในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ปัจจัยที่จะต้องคำนึงถึงในการทำให้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ขัดข้องนั้นกลับคืนสู่สภาวะปกติโดยเร็วที่สุด ได้แก่

- ความผิดปกติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นอาจมีความรุนแรงมาก ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายและความเสียหายทางเศรษฐกิจต่อผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในเขตรับผิดชอบของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

- ระยะทางจากศูนย์ควบคุมส่วนกลาง หรือที่ซึ่งหน่วยซ่อมบำรุงประจำการอยู่ไปยังสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยอาจห่างไกลกันมาก หรือการจราจรอาจติดขัด ซึ่งจะทำให้เกิดความล่าช้าในการซ่อมบำรุง

- องค์กรที่รับผิดชอบในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศต่าง ๆ (เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไฟฟ้านครหลวง ของกรุงเทพมหานคร) จะไม่จ้างผู้เชี่ยวชาญทางไฟฟ้าให้ประจำการอยู่ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยทุกแห่งตลอด 24 ชั่วโมง เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในขณะที่ความผิดปกติทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยไม่ได้เกิดขึ้นบ่อยนัก

- เมื่อผู้เชี่ยวชาญของหน่วยซ่อมบำรุงไปถึงสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าขึ้นแล้ว ก็อาจจะต้องการข้อมูลบางประการเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในสถานีฯ เพื่อนำไปประกอบการวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะต้องเสียเวลาในการค้นหาจากคู่มือหรือเอกสารต่าง ๆ

- เมื่อเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าขึ้นในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยอาจมีขั้นตอนตรวจสอบเบื้องต้นบางประการที่ผู้ปฏิบัติการประจำสถานีฯ (ซึ่งมิได้เป็นผู้เชี่ยวชาญทางไฟฟ้า) สามารถกระทำได้ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนั้นจะเป็นส่วนช่วยให้การทำงานของหน่วยซ่อมบำรุงรวดเร็วยิ่งขึ้น

ปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานี้เองที่สนับสนุนให้เห็นประโยชน์ของการนำระบบผู้เชี่ยวชาญเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย กระบวนการในการวิเคราะห์ของระบบผู้เชี่ยวชาญ จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ของผู้เชี่ยวชาญเอง กล่าวคือเมื่อผู้ใช้โปรแกรม (user) ระบุชนิดและตำแหน่งของอุปกรณ์ป้องกันหรือระบบสัญญาณเตือนที่ทำงานเมื่อมีความผิดปกติทางไฟฟ้าเกิดขึ้น ให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ ระบบผู้เชี่ยวชาญก็จะเริ่มทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและหนทางปฏิบัติที่ควรกระทำ โดยอาศัยฐานความรู้ที่มีรายละเอียดของการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ (ซึ่งรวบรวมจากผู้เชี่ยวชาญ และฐานความรู้นี้จะต้องทำการปรับปรุงได้เพื่อขยายขีดความสามารถของระบบผู้เชี่ยวชาญ) ประกอบกับข้อมูลเกี่ยวกับเหตุการณ์เฉพาะหน้าขณะที่เกิดความผิดปกติ (ซึ่งระบบผู้เชี่ยวชาญจะสอบถามจากผู้ใช้) และใช้กระบวนการตัดสินใจด้วยเหตุผล ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งองค์ประกอบส่วนนี้จะถูกสร้างขึ้นโดยผู้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะเสนอการนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาช่วยในการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าภายในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย เนื้อหาของปริญญานิพนธ์ได้แบ่งออกเป็น 6 บท ดังนี้

บทที่ 2 ได้กล่าวถึง ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของโครงงาน

บทที่ 3 ทฤษฎีของระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจะอธิบายถึงลักษณะของระบบผู้เชี่ยวชาญ วิธีการแทนความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ รวมไปถึงเทคนิคในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 อธิบายถึงองค์ประกอบของของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ในแง่ของอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่อยู่ในแต่ละส่วนของสถานีฯ

บทที่ 5 จะกล่าวถึงระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น โดยจะอธิบายถึงขั้นตอนต่าง ๆ ในการสร้างระบบ และผลที่ได้จากการทดลองใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

บทที่ 6 เป็นการประเมินผล สรุป และวิจารณ์การทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของโครงงาน

2.1 ความเป็นมาของโครงงาน

การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้า และระบบสัญญาณเตือนที่เกิดขึ้นในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยนั้น ได้เริ่มมีการศึกษาวิจัยขึ้นที่ห้องทดลองทางระบบไฟฟ้ากำลังของ The National Technical University of Athens และได้ตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานของตนทางวารสาร IEEE Transaction on Power Delivery ในปี ค.ศ.1991 โดยสถาบันแห่งนี้ได้ทำการพัฒนาให้ระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นสามารถทำงานได้ทั้งในแบบ off-line สำหรับสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยที่มีเจ้าหน้าที่ประจำอยู่ (manned-substation) และในแบบ on-line สำหรับสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยที่ไม่มีเจ้าหน้าที่ประจำอยู่ (unmanned-substation) ซึ่งจะมีการเชื่อมต่อกับระบบผู้เชี่ยวชาญเข้ากับระบบ SCADA เพื่อให้ระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถดึงข้อมูลเกี่ยวกับเหตุการณ์เฉพาะหน้าขณะที่เกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าขึ้นจากระบบ SCADA เพื่อใช้ประกอบในการวิเคราะห์

ระบบผู้เชี่ยวชาญที่สถาบันแห่งนี้ได้พัฒนาขึ้น ได้ถูกนำไปทดลองใช้ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยของ The Greek National Network ทั้งในแบบ off-line และ on-line ซึ่งผลที่ได้ก็คือ ระบบผู้เชี่ยวชาญนี้สามารถช่วยเหลือการทำงานของผู้ปฏิบัติการและช่างเทคนิคประจำหน่วยซ่อมบำรุงของ The Greek National Network โดยการให้ข้อมูลที่จำเป็นต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ทำให้การแก้ไขระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ขัดข้องกลับคืนสู่สภาวะปกติทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

สำหรับในระบบ on-line นั้น สถาบันแห่งนี้ได้ใช้ระบบ PC-SCADA EMULATOR ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่จำลองการทำงานของระบบ SCADA ขึ้นมาภายใต้โครงสร้างของภาษา C ซึ่งก็สามารถเชื่อมต่อกับระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อได้ทำการศึกษาระบบผู้เชี่ยวชาญที่พัฒนาขึ้นโดยสถาบันแห่งนี้แล้ว กลุ่มนักศึกษาที่ร่วมวิจัยโครงงานได้มองเห็นประโยชน์ที่จะได้รับจากระบบดังกล่าว จึงได้เกิดความคิดที่จะศึกษาและพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย เพื่อใช้กับสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยในประเทศไทยบ้าง และเพื่อความสะดวกจึงได้เลือกสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวงเป็นแหล่งในการหาข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงงาน

2.2.1 วัตถุประสงค์

ในการวิจัยโครงงานระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าและระบบสัญญาณเตือนในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยนี้ มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- เพื่อที่จะศึกษาทฤษฎีและหลักการของระบบผู้เชี่ยวชาญ
- เพื่อศึกษาการทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยตลอดจนความผิดปกติทางไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นได้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ และการทำงานของระบบป้องกันที่ติดตั้งอยู่ภายในสถานีฯ ซึ่งเป็นสิ่งที่วิศวกรไฟฟ้ากำลังควรที่จะทราบเป็นอย่างยิ่ง
- เพื่อที่จะนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาช่วยในการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้า และระบบสัญญาณเตือนในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยและเพื่อสนับสนุนการทำงานของผู้ปฏิบัติการประจำสถานีฯ และหน่วยซ่อมบำรุงของการไฟฟ้านครหลวง

2.2.2 ขอบเขตของโครงงาน

ในโครงงานนี้ ได้เริ่มทำการวิจัยโดยการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ภายในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ทั้งที่ทำหน้าที่ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและที่ทำหน้าที่ป้องกันระบบไฟฟ้า โดยได้ใช้สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสานของการไฟฟ้านครหลวงเป็นสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยเป้าหมาย ดังนั้นระบบผู้เชี่ยวชาญที่จะสร้างขึ้นนี้จะสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดปกติทางไฟฟ้า และการทำงานของระบบสัญญาณเตือนในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสานโดยการให้ผู้ใช้ระบบ (user) ระบุชนิดและตำแหน่งของอุปกรณ์ป้องกันหรือระบบสัญญาณเตือนที่มีการทำงาน ให้เป็นข้อมูลเฉพาะเหตุการณ์แก่ระบบผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นระบบผู้เชี่ยวชาญจะทำการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลดังกล่าวประกอบกับข้อมูลในฐานความรู้ของระบบ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รวบรวมมาทั้งจากวิศวกรผู้เชี่ยวชาญของการไฟฟ้านครหลวง และจากที่ได้ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง แล้วนำมาจัดรูปแบบให้อยู่ในลักษณะที่คอมพิวเตอร์สามารถนำไปประมวลผลผ่านทางภาษาโปรแกรมได้

สำหรับระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้ทำการศึกษาวิจัยอยู่นี้ ได้กำหนดขอบเขตของการทำงานของระบบฯ ให้สามารถทำงานได้ในระบบ off-line โดยไม่มีส่วนเชื่อมต่อกับระบบ SCADA เพื่อให้สามารถเน้นความสนใจทางด้านการพัฒนาฐานความรู้ และความสามารถในการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญได้อย่างเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบผู้เชี่ยวชาญ

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) เป็นแขนงวิชาที่มุ่งเน้นในด้านการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถแสดงความฉลาดออกมาได้ เช่น การคิด การหาเหตุผล การรับรู้ หรือการกระทำ เป็นต้น สถาบันที่วิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์ในระยะแรก ได้แก่ Massachusettes Institute of Technology ซึ่งมักทำการวิจัยในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ (robotics) การมองเห็น (vision sensing) การหาเหตุผล (reasoning) การเขียนโปรแกรม (programming) สถาปัตยกรรม (architecture) และการออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system design) เป็นต้น

สิ่งที่เรียกได้ว่าเป็นความสำเร็จทางด้านปัญญาประดิษฐ์ คือการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญที่เกิดขึ้นเมื่อประมาณกลางทศวรรษที่ 1960 เมื่อนักวิจัยทางด้านปัญญาประดิษฐ์หันมาสนใจการสร้างโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงในการแก้ปัญหาเฉพาะด้าน โดยอาศัยความรู้ที่จะต้องรวบรวมมาจากผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์

3.1 ความเป็นมาของระบบผู้เชี่ยวชาญ

เนื้อหาวิชาของระบบผู้เชี่ยวชาญ เป็นการพิจารณาถึงวิธีการและเทคนิคในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะด้าน ความเชี่ยวชาญในที่นี้ประกอบด้วยความรู้ในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง ความเข้าใจถึงปัญหาในเรื่องนั้น ๆ และทักษะในการแก้ปัญหาบางอย่างในเรื่องนั้น ๆ

3.1.1 วิวัฒนาการของระบบผู้เชี่ยวชาญ

วิวัฒนาการของระบบผู้เชี่ยวชาญใน 2 ทศวรรษที่ผ่านมาโครงงานส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการดำเนินการหลายปี ในที่นี้จะนำโครงงานที่สำคัญและน่าสนใจที่ได้มีการพัฒนาและประสบผลสำเร็จ มากล่าวไว้พอเป็นสังเขปดังนี้

-DENDRAL โครงงานนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด โดยใช้ระยะเวลาในการพัฒนาจนถึงปัจจุบันนี้รวมทั้งสิ้น 16 ปี ผลงานของโครงงานนี้คือ DENDRAL และ META-DENDRAL ระบบ DENDRAL ใช้สำหรับการวิเคราะห์ mass spectrograhic, nuclear magnetic resonance และข้อมูลการทดลองทางเคมีอื่น ๆ โดยสามารถวินิจฉัยหาโครงสร้างทางเคมีที่เป็นไปได้ของสารประกอบ ส่วนระบบ META-DENDRAL เป็นระบบที่พัฒนาต่อจาก DENDRAL โดยเพิ่มความรู้ในการเสนอและเลือกกฎต่าง ๆ ที่แยกกันอยู่ สำหรับโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SYSTEM	DATE	AUTHOR	SUBJECT
Dendral	1965	Stanford	Infers information about chemical structures
Macsyma	1965	MIT	Performs complex mathematical analysis
Mycin	1972	Stanford	Diagnosis of blood disease
Teiresias	1972	Stanford	Knowledge transformation tool
Prospector	1972	Stanford Res.Inst	Mineral exploration and identification tool
Hearsay	1973	Carnegie-Mellon	Natural-language interpretation for subset language
Age	1973	Stanford	Expert-system-generation tool
OPS5	1974	Carnegie-Mellon	Expert-system-building tool
Caduceus	1975	University of Pittsburgh	Diagnostic tool for internal medical
Rosie	1978	Rand	Expert-system-building tool
R1	1978	Carnegie-Mellon	Configuration for DEC computer equipment

ตารางที่ 3-1 แสดงระบบผู้เชี่ยวชาญในยุคต้น ๆ

3.1.2 การจัดรูปแบบของความรู้

ในช่วงปี 1950 ถึง 1960 ความรู้ที่ใช้ในโปรแกรมปัญญาประดิษฐ์จะเป็นแบบแฮนด์-คราฟต์ (hand-craft) โดยผู้เขียนโปรแกรมจะเปลี่ยนความรู้ให้เป็นรหัสโดยไม่มีการแยกความรู้ออกจากส่วนของกลไกหาเหตุผล ทำให้ผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเรียนรู้ความชำนาญจากผู้เชี่ยว-ชาญก่อน หรือผู้เขียนโปรแกรมจะต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญด้วยจึงจะสามารถเขียนโปรแกรมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เมื่อไม่นานมานี้ วิศวกรรมด้านความรู้กลายมาเป็นวิธีที่ใช้เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ โดยการให้ผู้เชี่ยวชาญได้มีการติดต่อโต้ตอบกับวิศวกรความรู้ หรือโปรแกรมที่ใช้สร้างระบบผู้-เชี่ยวชาญ ดังนั้นวิศวกรรมความรู้จึงได้กลายเป็นสาขาวิชาหนึ่งที่ประกอบวิธีดำเนินการ (methodology) สาเหตุที่เกิดสาขาวิชานี้ขึ้นมาก็เนื่องจากความเชี่ยวชาญของผู้เชี่ยวชาญมักจะทำให้อยู่ในรูปของอัลกอริทึมไม่ได้ จึงต้องหาวิธีที่จะสามารถนำไปใช้ให้อยู่ในรูปที่คอมพิวเตอร์สามารถนำไปประมวลผลได้ การนำความเชี่ยวชาญมาประติดประต่อกันและการประมวลผลความรู้เป็นงานหลักของสาขาวิชานี้

ศาสตราจารย์ Edward A. Feigenbaum ได้อธิบายความหมายของวิศวกรรมความรู้ (knowledge engineering) ไว้ดังนี้

"วิศวกรทางด้านความรู้ (knowledge engineer) จะเป็นผู้ที่เอาหลักการและเครื่องมือของงานวิจัยปัญญาประดิษฐ์มาใช้กับปัญหาของงานที่ยาก ซึ่งต้องอาศัยความรู้ของผู้เชี่ยว-ชาญเพื่อใช้แก้ปัญหานั้น หัวข้อทางเทคนิคของการได้มาซึ่งความรู้ การแทนความรู้และการใช้สิ่งเหล่านั้นให้เหมาะสมกับการสร้างและอธิบายการอ้างอิงเหตุผล ซึ่งส่วนนี้เป็นปัญหาสำคัญในการออกแบบฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ ศิลปะในการสร้างตัวแทนของความฉลาดนี้เป็นทั้งส่วนหนึ่งของโปรแกรมและเป็นส่วนที่เพิ่มเติมเข้าไป ซึ่งเป็นศิลปะของการสร้างโปรแกรมที่มีความสลับซับซ้อน เพื่อใช้แทนหรืออ้างอิงถึงความรู้ที่มีอยู่"

ในเวลาอีกไม่นานวิศวกรความรู้จะเข้ามามีบทบาทสำคัญ เมื่อความรู้มีบทบาทในการแก้ไขปัญหาที่สำคัญ ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-1 ซึ่งสาขาวิศวกรรมความรู้จะเอื้ออำนวยให้เกิดผลดี 2 ด้านด้วยกัน คือ

1. เทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมความรู้ จะนำไปสู่การแปรเปลี่ยนความรู้มาอยู่ในลักษณะของอุตสาหกรรม

2. การค้นคว้าวิจัยทางด้านวิศวกรรมความรู้จะนำไปสู่การรวบรวม การจัดระเบียบการแลกเปลี่ยน การใช้ประโยชน์ในรูปแบบที่ใช้งานได้จริง และเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยเร่งการพัฒนาการขยายความรู้ ความเข้าใจในความรู้ได้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033164

คือภายในเป็น linked-list และภายนอกเป็น lists หลาย ๆ ระดับ นั่นคือเหมือนกันในรูปของข้อมูลทั้งหมดที่แสดง

PROLOG เป็นภาษาที่นิยมใช้ทางด้านปัญญาประดิษฐ์อีกภาษาหนึ่ง ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นจาก University of Marsielles ในประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ.1972 คำว่า PROLOG ย่อมาจาก PROgramming in LOGic ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังนี้

1. ระบุบางสิ่งเกี่ยวกับวัตถุและความสัมพันธ์
2. ระบุกฎเกี่ยวกับวัตถุและความสัมพันธ์
3. ถามคำถามเกี่ยวกับวัตถุและความสัมพันธ์

ดังนั้นเมื่อเรากำหนดความจริงดังต่อไปนี้ขึ้น

```
likes (bob, mary).
likes (paul, mary).
likes (mary, bob).
```

แล้วถ้ามีการถามว่า

```
? - likes (bob, mary).
```

PROLOG จะตอบว่า

```
yes.
```

ภาษาที่ได้กล่าวถึงทั้งสองภาษานั้น เป็นภาษาที่นิยมใช้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญเท่าที่ผ่านมา แต่มิได้หมายความว่าภาษาโปรแกรมอื่น ๆ เช่น C, PASCAL, BASIC ฯลฯ จะไม่สามารถใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญได้

ถ้าเราสร้างโปรแกรมที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการอนุมานฐานความรู้ และจัดการเกี่ยวกับการสร้างฐานความรู้ที่วิศวกรความรู้ป้อนให้ จะทำให้ประหยัดเวลาและช่วยให้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญได้มากขึ้น โปรแกรมที่ทำหน้าที่ดังกล่าวนี้เรียกว่า ระบบเปลือกผู้เชี่ยวชาญ (expert system shell) ซึ่งเปรียบเสมือนเปลือกหรือโครงของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ยังไม่มีฐานความรู้อยู่นั่นเอง

ระบบเปลือกผู้เชี่ยวชาญที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาแล้วนั้น มีตั้งแต่ที่ทำงานบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ไปจนถึงเครื่องระดับเมนเฟรม แต่ที่นิยมใช้กันส่วนมากจะเป็นระบบที่ทำงานอยู่บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยในแต่ละระบบจะมีการจัดการแทนความรู้ในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป รวมทั้งความสามารถของแต่ละระบบก็แตกต่างกันด้วย ในการที่จะเลือกใช้ระบบใดจะต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของการแทนความรู้และลักษณะของความรู้ที่มีอยู่ ตารางที่ 3-2 แสดงตัวอย่างของระบบเปลือกผู้เชี่ยวชาญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียงข้อมูลที่คาดว่าจะเป็นไปได้มากที่สุดเอาไว้ในส่วนแรก ๆ ของโปรแกรม และจัดข้อมูลที่คาดว่าจะเป็นไปได้น้อยที่สุด หรือมีการเรียกใช้น้อยครั้งเอาไว้ในส่วนท้ายสุดของโปรแกรม อย่างไรก็ตามในบางครั้งแม้แต่ผู้เชี่ยวชาญเองก็ไม่สามารถจะเรียงลำดับความสำคัญของข้อมูลตามลักษณะดังที่กล่าวมานี้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากระบบผู้เชี่ยวชาญมักจะประกอบด้วยข้อมูลจำนวนมากอยู่ในฐานความรู้ ฉะนั้นหลักการดังกล่าวอาจจะทำไม่ได้เลยในทางปฏิบัติ วิธีการที่จะช่วยให้การพัฒนาระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่งคือ การทดลองใช้งานระบบผู้เชี่ยวชาญที่สร้างขึ้นเป็นจำนวนหลาย ๆ ครั้ง ในหลาย ๆ เป้าหมาย แล้วสังเกตดูหรือบันทึกความถี่ที่ข้อมูลแต่ละส่วนถูกเรียกใช้ จากนั้นจึงจัดลำดับข้อมูลในฐานความรู้ใหม่ จนกว่าจะได้โปรแกรมที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.2 <u>กลไกวินิจฉัย</u> (inference engine) หรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า เครื่องอนุมาน หมายถึงส่วนประกอบของระบบผู้เชี่ยวชาญที่จะทำหน้าที่วินิจฉัยปัญหาที่ต้องการแก้ โดยใช้ข้อมูลในฐานความรู้จนกว่าจะพบคำตอบ หรือจนกว่าจะหาคำตอบไม่พบอันเนื่องมาจากฐานความรู้มีไม่เพียงพอ

3.3.2.1 <u>ประเภทของกลไกวินิจฉัย</u> สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1) กลไกวินิจฉัยที่ให้คำตอบที่น่าจะเป็นไปได้ หรือ probabilistic กลไกวินิจฉัยประเภทนี้มักจะไม่เกี่ยวข้องกับความเป็นจริงทางธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างที่สามารถแปรเปลี่ยนไปตามสังคมหรือวัฒนธรรมได้

2) กลไกวินิจฉัยที่ให้คำตอบที่แน่นอน หรือ deterministic เป็นประเภทที่ให้คำตอบที่แน่นอนหรือค่อนข้างจะแน่นอน มักจะใช้กับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับกฎธรรมชาติหรือความเป็นจริงที่สามารถพิสูจน์ได้อย่างแน่นอน เช่น รถยนต์วิ่งไม่ได้เพราะน้ำมันหมด เป็นต้น ในที่นี้ "น้ำมันหมด" คือคุณลักษณะ หรือ attribute ของปัญหา ส่วน "รถยนต์วิ่งไม่ได้" เป็นเป้าหมาย หรือ object ของปัญหาในระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.3.2.2 <u>วิธีการสร้างกลไกวินิจฉัย</u> ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญมีวิธีการพื้นฐานที่นิยมใช้ในการสร้างกลไกวินิจฉัยทั้งสองประเภทดังกล่าวข้างต้น 3 วิธีด้วยกัน คือ

1) Backward-Chaining Method หรือ Object-Driven Method กลไกวินิจฉัยวิธีนี้จะเริ่มต้นที่เป้าหมาย หรือ object ที่ต้องการก่อน แล้วจึงพยายามที่จะค้นหาข้อมูลที่จะสนับสนุนให้เป้าหมายนี้เป็นจริง (ค้นหา attribute ที่จะสนับสนุนเป้าหมาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Forward-Chaining Method หรือ Data-Driven Method กลไกวินิจฉัยวิธีนี้จะมีลักษณะตรงข้ามกับวิธี Backward-Chaining กล่าวคือ แทนที่จะเริ่มสมมติเป้าหมายแล้วพยายามค้นหาคุณลักษณะเพื่อสนับสนุนเป้าหมายนั้น วิธี Forward-Chaining กลับใช้การถามคำถามจากผู้ใช้เพื่อให้ทราบคุณลักษณะทั้งหมดเสียก่อน แล้วใช้ประโยชน์จากคุณลักษณะเหล่านั้นในการหาทางเดินเข้าสู่เป้าหมายที่คล้องจองกับคุณลักษณะที่ได้มา

3) Rule-Value Method กลไกวินิจฉัยวิธีนี้ได้ปรับปรุงมาจากวิธี Backward-Chaining และจัดได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าทั้ง 2 วิธีดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้เพราะวิธีนี้จะใช้การถามคำถามหรือข้อมูลที่มีความสำคัญมากที่สุดก่อน เพื่อที่จะเข้าสู่เป้าหมายที่เป็นคำตอบที่ต้องการเสียตั้งแต่แรกเริ่ม แล้วจึงถามคำถามที่มีความสำคัญรองลงมา ดังนั้นวิธีนี้จึงควรที่จะให้คำตอบได้เร็วกว่า 2 วิธีแรก อย่างไรก็ตามวิธีการสร้างกลไกวินิจฉัยแบบ Rule-Value นี้ก็มีความยากมากกว่า ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ

- ในทางปฏิบัติข้อมูลในฐานความรู้จะมีมาก จนกระทั่งไม่สามารถที่จะจัดลำดับความสำคัญได้อย่างเหมาะสม

- การใช้กลไกวินิจฉัยแบบ Rule-Value นั้นจะต้องสร้างฐานความรู้ที่มีการให้น้ำหนักข้อเท็จจริงในแต่ละข้อแตกต่างกันไปตามความสำคัญ ซึ่งทำให้การสร้างฐานความรู้นั้นทำได้ยาก

ในการพิจารณาว่าจะเลือกใช้กลไกวินิจฉัยวิธีใด จึงจะเหมาะกับการใช้งานมากที่สุดนั้น ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของวิศวกรความรู้ที่เป็นผู้ทำการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญว่าลักษณะของข้อมูลในฐานความรู้สามารถจัดรูปแบบให้อยู่ในลักษณะที่มีการเรียงลำดับความสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ หากสามารถทำได้ควรจะเลือกใช้กลไกวินิจฉัยแบบ Rule-Value เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบสูงที่สุด

3.3.3 <u>ส่วนประกอบอื่น ๆ</u> นอกจากฐานความรู้และกลไกวินิจฉัยแล้ว ระบบผู้เชี่ยวชาญยังควรจะประกอบด้วยส่วนประกอบอื่น ๆ ที่จะช่วยให้ระบบผู้เชี่ยวชาญมีลักษณะที่อำนวยความสะดวกกับผู้ใช้และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังต่อไปนี้

3.3.3.1 <u>ส่วนดึงความรู้</u> (Knowledge Acquisition) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ดึงความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ เอกสาร หนังสือ หรือฐานข้อมูล.

หลักการทำงานของส่วนดึงความรู้นี้จะมีหน้าที่ใหญ่ ๆ อยู่ 2 ประการ คือ

1) เป็นหน่วยรับความรู้ เช่น กฎเกณฑ์ต่าง ๆ จากผู้เชี่ยวชาญ หรือจากวิศวกรความรู้ แล้วนำความรู้ที่ได้เหล่านี้ส่งต่อให้กลไกวินิจฉัยเพื่อนำไปใช้ในการวินิจฉัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา

2) ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อรับข้อมูลที่ผู้ใช้ต้องการที่จะปรึกษา มาทำการประมวลผลร่วมกับความรู้ที่มีอยู่ในฐานความรู้

3.3.3.2 ส่วนอธิบาย (Explanation) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่อธิบายและให้เหตุผลแก่ผู้ใช้งาน ในขณะที่กำลังใช้งานนั้นอยู่ เช่นให้เหตุผลแก่ผู้ใช้งานว่า ทำไมระบบผู้เชี่ยวชาญจึงได้ตั้งคำถามนั้นขึ้นมา และคำถามนั้นมีความเกี่ยวข้องกับความรู้ในฐานข้อมูลอย่างไรบ้าง เป็นต้น การให้คำอธิบายนี้จะเป็นลักษณะเดียวกันกับที่ผู้เชี่ยวชาญจะให้คำอธิบายเมื่อมีผู้มาขอคำปรึกษา

3.3.3.3 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างผู้ใช้โปรแกรมกับระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้การสื่อสารระหว่างทั้งสองฝ่ายเป็นไปอย่างราบรื่น ส่วนติดส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่ดีจะต้องอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ให้ได้มากที่สุด

3.3.3.4 หน่วยความจำของระบบ (Working Memory) เป็นส่วนที่ผู้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญจะต้องจัดเตรียมไว้อย่างเพียงพอที่จะเก็บข้อมูลต่าง ๆ ทั้งในส่วนของฐานความรู้ซึ่งเป็นข้อมูลหลักของระบบซึ่งประกอบด้วยข้อเท็จจริงและกฎต่าง ๆ จัดเป็นฐานข้อมูลที่ไม่มีการแปรเปลี่ยนไปในระหว่างใช้งาน จึงเรียกฐานข้อมูลนี้ว่า ฐานข้อมูลสถิตย์ หรือ static database และส่วนของข้อมูลที่ได้จากส่วนดึงความรู้และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่จะต้องมีการรับส่งกันระหว่างระบบกับผู้ใช้ ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญให้มีประสิทธิภาพนั้น ผู้สร้างระบบจะต้องสร้างฐานข้อมูลที่สามารถรับและเก็บข้อมูลที่ได้ในระหว่างการถาม-ตอบได้ เพื่อให้ระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถตรวจสอบกับคำถามที่จะตามมา เพื่อป้องกันการถามปัญหาซ้ำเดิมในแต่ละรอบของการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ ฐานข้อมูลประเภทนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงในขณะใช้งาน จึงเรียกฐานข้อมูลนี้ว่า ฐานข้อมูลไดนามิก หรือ dynamic database ซึ่งมีบทบาทมากต่อการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญให้มีความฉลาดมากขึ้น

โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญตามที่ได้กล่าวมาทั้งหมด สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-2 อย่างไรก็ดีระบบผู้เชี่ยวชาญไม่จำเป็นต้องมีส่วนประกอบครบทุกส่วนก็ได้ หรือผู้สร้างระบบบางรายอาจรวมส่วนประกอบบางส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายกันเข้าด้วยกันก็ได้ เช่น ส่วนดึงความรู้และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ แต่หัวใจของระบบผู้เชี่ยวชาญทุกระบบนั้นอยู่ที่ฐานความรู้ และกลไกวินิจฉัย ซึ่งประสิทธิภาพของระบบผู้เชี่ยวชาญจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของแต่ละส่วนและการทำงานร่วมกันของทั้งสองส่วนนี้เป็นสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างข้อมูลพื้นฐานของระบบกรอบจะประกอบไปด้วย กรอบ (frame) และชุดของสล็อต (slot) ดังตัวอย่างในรูปที่ 3-3 ซึ่งแสดงส่วนประกอบของเครื่องคอมพิวเตอร์ในโครงสร้างข้อมูลแบบกรอบ สล็อตนี้อาจเป็นค่าที่ชี้ไปยังกรอบหรือสล็อตอื่น ๆ หรือเป็นชื่อขั้นตอนในการคำนวณ หรือชื่อของโปรแกรมย่อยอื่น ๆ ก็ได้

3.5 เทคนิคสำหรับการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นสิ่งหนึ่งที่พึงเข้าใจไว้ตลอดเวลาคือ เรากำลังพยายามพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ที่สามารถให้คำปรึกษาได้เช่นเดียวกับผู้เชี่ยวชาญ โดยระบบซอฟต์แวร์นี้จะต้องมีความรู้ วิศวกรความรู้จึงต้องเก็บความรู้เข้าไปให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญ หรือเรียกว่ากระบวนการแทนความรู้ ดังที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว

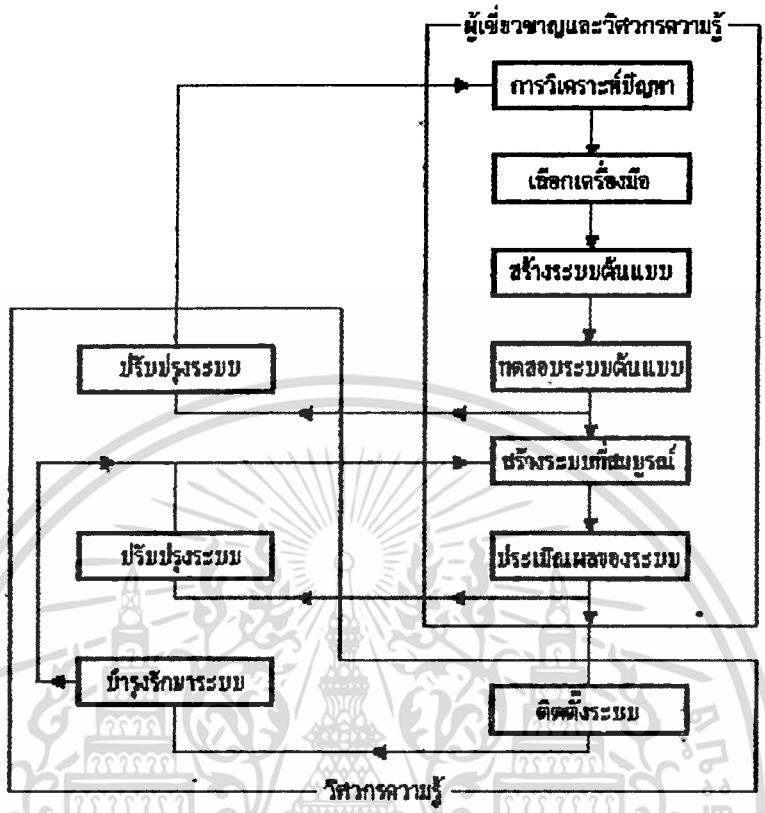
อีกประการหนึ่งที่จะต้องเข้าใจ คือระบบผู้เชี่ยวชาญที่จะทำการพัฒนาขึ้นนั้น หมายถึงระบบผู้เชี่ยวชาญที่สามารถให้คำปรึกษาได้เฉพาะเรื่องเท่านั้น เพื่อเป็นการจำกัดขอบเขตของการพิจารณา เนื่องจากจะเป็นการยากมากที่จะพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญที่สามารถให้คำปรึกษาได้หลาย ๆ เรื่อง ภายใต้ฐานความรู้เดียวกัน

โดยหลักการแล้ว การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ ไม่ว่าจะเป็นระบบที่มีฐานข้อมูลขนาดเล็กหรือระบบที่มีฐานข้อมูลขนาดใหญ่ก็ตาม จะมีความแตกต่างกันบ้างในแง่ของบางขั้นตอนของการพัฒนาที่วิศวกรความรู้พิจารณาแล้วว่าสามารถละเว้นไปได้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญที่มีฐานข้อมูลขนาดเล็ก ทั้งนี้เพื่อความเหมาะสมและยังเป็นการประหยัดเวลาอีกด้วย

รูปที่ 3-4 เป็นการแสดงวงจรของการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ จะเห็นได้ว่าผู้ที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่วิศวกรความรู้และผู้เชี่ยวชาญ วงจรของการพัฒนาจะเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ปัญหา โดยการจำแนกปัญหาและวิเคราะห์ความรู้ที่จะใส่ลงไปในฐานความรู้ จากนั้นจึงเลือกเครื่องมือที่จะใช้ในการพัฒนา ซึ่งอาจเป็นภาษาโปรแกรมภาษาใดภาษาหนึ่งหรือระบบเปลือกผู้เชี่ยวชาญ เมื่อเลือกเครื่องมือได้แล้วจึงจะลงมือสร้างระบบต้นแบบโดยการจำกัดขอบเขตของความรู้ให้เล็กลง

เมื่อได้ระบบต้นแบบแล้ว จะต้องทำการทดสอบ ถ้าหากระบบต้นแบบที่ได้ยังไม่ถูกต้อง จะต้องวนกลับไปปรับปรุงแก้ไข โดยเริ่มจากขั้นตอนของการวิเคราะห์ปัญหาใหม่ จนกระทั่งได้ระบบต้นแบบที่ถูกต้อง แล้วจึงทำการขยายระบบให้เป็นระบบที่สมบูรณ์ โดยใช้ฐานความรู้ทั้งหมดของระบบ ทำการทดสอบและประเมินผลระบบที่ได้ ถ้าระบบที่ขยายขึ้นมานี้มีข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขจะต้องกลับไปสร้างระบบที่สมบูรณ์ใหม่และทำการประเมินผลระบบอีกครั้ง จนกว่าจะได้ระบบที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจ จึงจะทำการติดตั้งระบบและวางแผนการบำรุงรักษาเพื่อให้ระบบผู้เชี่ยวชาญนี้มีความรู้ที่ทันสมัยอยู่เสมอ ซึ่งในที่นี้จะได้นำขั้นตอนบางขั้นตอนที่มีความ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-4 วงจรการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ

สำคัญในวงจรของการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญมากล่าวถึงในรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.5.1 <u>การวิเคราะห์ปัญหา</u> ในการวิเคราะห์ปัญหาที่เป็นเป้าหมายที่ต้องการให้ระบบผู้เชี่ยวชาญทำการแก้ไขหรือให้คำปรึกษานั้น จะต้องทำการจำแนกปัญหาทั้งหมดที่จะมีโอกาสเกิดขึ้นในขอบเขตของฐานความรู้ที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นจึงวิเคราะห์และจัดเตรียมความรู้ที่จำเป็นในการวินิจฉัยปัญหาแต่ละปัญหา ซึ่งถ้าจะเปรียบเทียบการวินิจฉัยปัญหาของระบบผู้เชี่ยวชาญ จะมีลักษณะคล้ายกับการให้คำปรึกษาทางโทรศัพท์ คือเมื่อผู้เชี่ยวชาญที่เป็นผู้ให้คำปรึกษาได้รับฟังปัญหาจากผู้ขอคำปรึกษาที่โทรศัพท์เข้ามา ผู้เชี่ยวชาญจะต้องตั้งคำถามเกี่ยวกับลักษณะของปัญหาที่ผู้ขอคำปรึกษาประสบอยู่ และใช้ความรู้ที่ตนเองมีอยู่ประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการถามคำถามนั้นประกอบกันในการวินิจฉัย ดังนั้นจึงอาจสรุปหลักการในการวิเคราะห์ปัญหาได้ดังนี้

1) มีความรู้และเข้าใจปัญหาอย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานของการพัฒนาระบบความรู้ เช่น ถ้าจะสร้างฐานความรู้เกี่ยวกับการถ่ายรูป ก็ต้องมีความรู้เกี่ยวกับการถ่ายรูปเป็นอย่างดี และจะต้องเข้าใจว่าในกระบวนการถ่ายรูปนั้นจะมีปัญหาอะไรเกิดขึ้นได้บ้าง และในเงื่อนไขต่าง ๆ ในความรู้นั้นมีองค์ประกอบอะไรที่มีบทบาทสำคัญ เช่น แสงที่ต่างกัน ค่า asa ที่

เอกสารนี้เป็นสิ่งที่ห้ามมิให้ใช้ในการใช้งานใด ๆ ทั้งสิ้น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ใช้ในการใช้งานใด ๆ ทั้งสิ้น

ต่างกันของฟิล์มที่ใช้ จะมีผลต่อการตั้งความเร็วหน้ากล้องด้วย เป็นต้น

2) การจัดขั้นตอนเพื่อแก้ไขปัญหา ผู้เชี่ยวชาญจะต้องมีความเข้าใจว่า กระบวนการของการแก้ปัญหาทั้งหมดเป็นอย่างไร กล่าวคือมีวิธีการอย่างไรในการแก้ปัญา และขั้นตอนทุกขั้นตอนจะต้องถูกเรียงลำดับไว้อย่างถูกต้อง

3) การถามคำถามเพื่อเป็นข้อมูลว่าคำตอบจะเป็นเช่นไร เนื่องจากแต่ละปัญหาจะมีวิธีการแก้ไขเฉพาะอย่าง ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของปัญหา ระบบความรู้จะต้องมีคำถามเพื่อจำแนกลักษณะเฉพาะของปัญหา เพื่อให้สามารถให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหานั้น ๆ ได้อย่างถูกต้อง การตั้งคำถามนี้จะต้องง่ายต่อการเข้าใจของผู้ใช้โปรแกรม และต้องทำให้ผู้ใช้สามารถตอบคำถามได้อย่างตรงประเด็น

4) การให้คำปรึกษา จะต้องอยู่ในลักษณะที่ง่ายต่อการเข้าใจและการปฏิบัติตาม

3.5.2 <u>การเลือกเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ</u> ในปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบความรู้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด และแต่ละชนิดก็มีวิธีการแทนความรู้ที่แตกต่างกันไป ดังได้กล่าวถึงมาบ้างแล้วข้างต้น ในการเลือกเครื่องมือแต่ละชนิดจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับงานที่จะทำ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงลักษณะพิเศษของเครื่องมือแต่ละชนิดด้วย เช่น ความสามารถในการบรรจุความรู้ ความสามารถในการแสดงภาพ เสียง และความสามารถในการติดต่อกับผู้พัฒนาระบบ ตลอดจนประสิทธิภาพในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เป็นต้น

3.5.3 <u>การสร้างระบบต้นแบบ</u> ในการออกแบบและสร้างระบบต้นแบบนั้น ควรเริ่มจากการเขียนแนวความคิดของความรู้ทั้งหมดในขอบเขตของฐานความรู้ที่กำหนดไว้ โดยเริ่มต้นจาก

1) กำหนดเป้าหมาย ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญจะต้องมีเป้าหมายที่เด่นชัด เป้าหมายในที่นี้ คือคำตอบในการให้คำปรึกษานั่นเอง ผู้พัฒนาระบบจะต้องกำหนดว่าต้องการให้คำตอบของการให้คำปรึกษามีลักษณะเช่นไร

2) กำหนด flow diagram ของปัญหาทั้งหมด ซึ่งเป็นขั้นตอนของการแทนความรู้ ซึ่งจะต้องจัดลำดับขั้นตอนที่จำเป็นในการแก้ปัญหาแต่ละปัญหาออกมาอย่างถูกต้อง

3) การสร้างต้นแบบ ในขั้นตอนนี้จะมีการแสดงความรู้เฉพาะตอนขึ้นมา โดยการจำกัดขอบเขตของความรู้ให้แคบลง โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาความเป็นไปได้ของการสร้างระบบ และเตรียมหาหนทางในการแก้ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการพัฒนาระบบจริง โดยระบบต้นแบบที่จะสร้างขึ้นนี้ จะต้องมีลักษณะการทำงานที่เหมือนกับระบบจริงที่พัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

3.5.4 <u>การขยาย ทดสอบ และปรับปรุงระบบ</u> เมื่อได้ระบบต้นแบบที่แน่ใจว่าถูกต้องแล้ว

จะต้องทำการขยายระบบโดยทำการเพิ่มเติมองค์ประกอบต่าง ๆ จนกระทั่งเป็นระบบที่สมบูรณ์ตามที่ได้มีการวางแผนไว้ โดยการเติมความรู้ส่วนที่ยังขาดอยู่ เพิ่มเติมส่วนที่ใช้ในการอธิบายขั้นตอนต่าง ๆ ให้กับผู้ใช้ และตกแต่งระบบให้ดูประณีต

สำหรับระบบผู้เชี่ยวชาญขนาดใหญ่ ก่อนที่จะทำการขยายระบบต้นแบบนี้ จะต้องมีการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญและวิศวกรความรู้อย่างละเอียด โดยการนำเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ได้วางไว้ในการสร้างระบบต้นแบบมาทำการทดสอบ เพื่อดูว่าระบบต้นแบบสามารถทำตามเงื่อนไขเหล่านั้นได้ถูกต้องทั้งหมดหรือไม่ หากว่าระบบต้นแบบมีความคลาดเคลื่อนจากเงื่อนไขที่วางเอาไว้ จะต้องวกกลับไปทำการออกแบบระบบต้นแบบใหม่

ในการประเมินผลของระบบเมื่อระบบผู้เชี่ยวชาญที่สมบูรณ์ได้ถูกสร้างขึ้นมาจนสำเร็จแล้วนั้น วิศวกรความรู้และผู้เชี่ยวชาญที่มาให้คำปรึกษาจะต้องร่วมกันทำการทดสอบ โดยวิศวกรความรู้จะต้องตรวจสอบเงื่อนไขต่าง ๆ ของการอนุมานให้ครบถ้วน ส่วนผู้เชี่ยวชาญจะต้องตรวจสอบความรู้ทุกอย่างที่มีอยู่ในระบบว่าถูกต้องตามความเป็นจริงหรือไม่ ถ้าหากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น วิศวกรความรู้จะต้องทำการแก้ไขกฎหรือข้อมูลต่าง ๆ ในฐานความรู้ให้ถูกต้อง

ในการปรับปรุงและบำรุงรักษาระบบผู้เชี่ยวชาญ ผู้พัฒนาระบบจะต้องเข้าใจว่าความรู้ที่ใส่เข้าไปในระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นจะต้องมีการล้าสมัย หรือมีการเปลี่ยนแปลง หรืออาจจะต้องเพิ่มเติมในอนาคต ดังนั้นจะต้องมีการเพิ่มเติมความรู้และปรับปรุงแก้ไขระบบให้มีความทันสมัยอยู่เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางอินทรีย์เคมี ระบบนี้สามารถที่จะให้กำเนิดกฎและทดสอบกฎเหล่านั้นได้ โดยตรวจสอบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

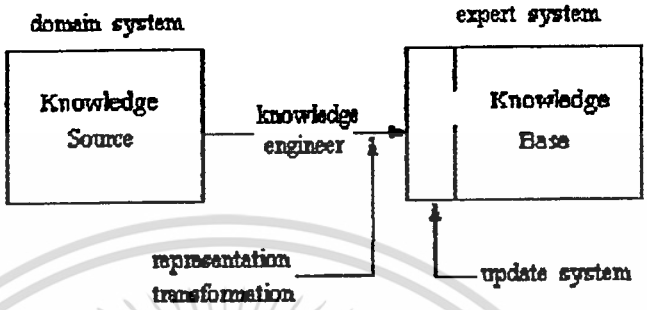
-MACSYMA เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญทางด้านคณิตศาสตร์ พัฒนาขึ้นโดย MIT ระบบนี้มีความสามารถในการทำดิฟเฟอเรนชิเอทและอินทิเกรท โดยใช้สัญญลักษณ์และความสามารถในการลดรูปนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ได้อย่างดีเยี่ยม MACSYMA ประกอบด้วยกฎที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญทางคณิตศาสตร์ประยุกต์หลายร้อยกฎ แต่ละกฎจะแสดงถึงการเปลี่ยนรูปจากนิพจน์หนึ่งไปเป็นอีกนิพจน์หนึ่งที่สมมูลกัน เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา ระบบนี้พัฒนาด้วยภาษา LISP

-MYCIN เป็นระบบผู้เชี่ยวชาญที่ใช้วินิจฉัยโรค โดยจำกัดเฉพาะโรคติดเชื้อทางเลือด ระบบนี้ประกอบด้วยกฎประมาณ 400 กฎ จากการประเมินผลการทำงานของ MYCIN พบว่ามีความสามารถใกล้เคียงกับแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ ระบบนี้พัฒนาด้วยภาษา LISP

-HEARSAY-II เป็นระบบเข้าใจคำพูด (Speech Understanding System) ซึ่งการสร้างระบบที่สามารถเข้าใจคำพูดนั้น นับได้ว่าเป็นงานที่ยากที่สุดเมื่อเทียบกับสาขาอื่น ๆ ของปัญญาประดิษฐ์ HEARSAY-II ถูกพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยคาร์เนกี้เมลลอน เป็นระบบปัญญาประดิษฐ์ระบบแรกที่สามารถเข้าใจการสนทนาติดต่อกันรวมแล้วเป็นคำศัพท์กว่า 1,000 คำ แม้ว่าความสามารถของระบบนี้จะเทียบได้กับเด็กอายุเพียง 10 ขวบก็ตาม แต่การพัฒนาระบบนี้ไม่ได้อาศัยวิธีการของระบบผู้เชี่ยวชาญ

นอกจากนี้ยังมีระบบอื่น ๆ ที่น่าสนใจ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-1 หน้าที่ของวิศวกรความรู้

3.1.3 <u>เครื่องมือที่ใช้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ</u>

เครื่องมือที่ใช้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญหมายถึงเครื่องมือทางด้านซอฟต์แวร์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ภาษาโปรแกรม และระบบเปลือกผู้เชี่ยวชาญ ในการค้นคว้าและพัฒนาทางปัญญาประดิษฐ์ ต้องการภาษาคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถดีกว่าภาษาที่ใช้ในด้านธุรกิจและวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปโดยจะเน้นหนักไปทางด้านการประมวลผลที่เป็นรูปลักษณ์มากกว่าตัวเลข ซึ่งในปัจจุบันมีภาษาที่นิยมใช้อยู่ 2 ภาษา คือ ภาษา LISP และภาษา PROLOG

LISP เป็นภาษาที่ประมวลผลข้อมูลที่มีลักษณะเป็น linked list ภาษาแรกเกิดขึ้นโดย John McCarthy ในปี ค.ศ.1958 LISP ย่อมาจาก LISt Processing โดย McCarthy ได้กล่าวถึงแนวความคิดของ LISP ไว้ดังนี้

1. เป็นการประมวลผลข้อมูลในด้านรูปลักษณ์มากกว่าตัวเลข
2. เป็นการประมวลผลข้อมูลที่เป็น list นั่นคือมีการแสดงข้อมูลด้วยโครงสร้างของ linked-list ในหลาย ๆ ระดับชั้น
3. การควบคุมโครงสร้างขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของฟังก์ชั่น มากกว่าการใช้ฟังก์ชั่นที่ซับซ้อน
4. การเรียกตัวเองเป็นแนวทางของการอธิบายกระบวนการและปัญหา
5. การแสดงข้อมูลของโปรแกรม LISP จะเหมือนกันทั้งภายในและภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shell	Base system	Language	Reference	Model
Age	Hearsay II	LISP	Nii,1979	Rule, independent knowledge sources
Emycin	Mycin	LISP	Buchanan,1984	Rules, Backward chaining diagnostic consultant
Expert	Casnet	FORTRAN	Weiss,1984	Rules,Classification diagnostic consultant
KAS	Prospector	LISP	Duda,1984	Rules, Semantic networks forward

ตารางที่ 3-2 ตัวอย่างของระบบเปลือกผู้เชี่ยวชาญ

3.2 รูปแบบการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ

การจัดรูปแบบการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ สามารถแยกออกได้เป็น 5 แบบ ตามพื้นฐานของความรู้ในฐานความรู้ของระบบ และขึ้นอยู่กับเป้าหมายของวิศวกรความรู้ในการจัดการกับความรู้เหล่านั้น ดังนี้

1) ระบบฐานความรู้ (knowledge-base information systems) ลักษณะการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญจะเน้นในด้านการจัดการฐานข้อมูลขนาดใหญ่ เป็นระบบที่ผู้ใช้ติดต่อ ถามตอบระหว่างข้อมูล

2) ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (decision support systems) เป็นระบบที่ช่วยแก้ปัญหาได้บ้าง เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการแก้ปัญหาของผู้เชี่ยวชาญ ในระบบนี้จะประกอบไปด้วยฐานข้อมูลจำนวนมาก

3) ระบบให้คำปรึกษา (consultation systems) เป็นระบบที่ให้คำปรึกษาวิเคราะห์และรายงานปัญหานั้น ๆ สามารถสรุปผลในการแก้ปัญหาได้ และผู้ใช้สามารถถามถึงเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

ผลของการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้

4) ระบบแก้ไขปัญหา (problem solving systems) การแก้ปัญหาบางอย่างนั้นบางทีก็ต้องอาศัยความรู้ที่ไม่สามารถอธิบายได้ ซึ่งเป็นหน้าที่ของวิศวกรความรู้ที่จะต้องทำการจัดรูปแบบของความรู้เหล่านั้น รวมทั้งดัดแปลงความรู้เหล่านั้นให้แก่ระบบผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาเหล่านั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) ระบบเกี่ยวกับการสอน (coaching systems) เป็นระบบที่ใช้ในการสอนนักเรียนหรือผู้ที่ยังไม่มีประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหา เพื่อให้เขาเหล่านั้นสามารถแก้ไขปัญหาได้ ในอนาคตระบบนี้จะมีการพัฒนาให้เหมาะสมกับบุคคลแต่ละประเภท ฐานความรู้ของระบบนี้มักมีขนาดไม่ใหญ่นัก

3.3 <u>โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ</u>

ระบบผู้เชี่ยวชาญจะต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญอย่างน้อย 2 ส่วน คือ ฐานความรู้และกลไกวินิจฉัย นอกจากนี้อาจจะประกอบด้วยส่วนปลีกย่อยอื่น ๆ ที่จะทำให้ระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งส่วนประกอบแต่ละส่วนจะมีลักษณะและความสำคัญดังนี้

3.3.1 <u>ฐานความรู้</u> (knowledge base) เป็นส่วนที่ใช้เก็บสะสมความรู้เบื้องต้นในdomain expert หรือขอบเขตของความรู้ในระบบผู้เชี่ยวชาญที่ต้องการสร้างขึ้น ในส่วนนี้เปรียบเสมือนกับข้อมูลในโปรแกรมธรรมดาหรือฐานข้อมูล ต่างกันตรงที่ฐานความรู้ประกอบด้วย

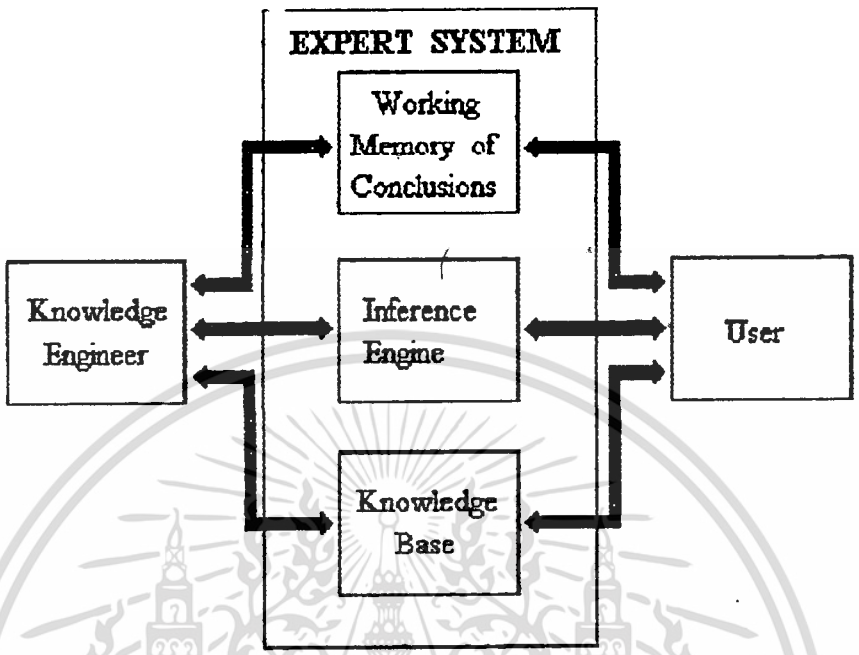
1) ข้อเท็จจริงและกฎต่าง ๆ (facts and rules)

2) สมมติฐานและการเชื่อ (assumptions and beliefs)

ความรู้ที่เก็บสะสมอยู่นี้ คือสิ่งที่เกื้อหนุนให้ระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถทำงานได้ใกล้เคียงผู้เชี่ยวชาญ โดยปกติแล้วความรู้เหล่านี้จะเก็บอยู่ในรูปของความจริงและกฎ อย่างไรก็ตามกรรมวิธีการเก็บความรู้เหล่านี้ก็อาจจะแตกต่างกันไปในระบบผู้เชี่ยวชาญแต่ละประเภท

การรวบรวมความรู้ทั้งหลายจากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน แล้วนำมาจัดเรียงให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมนับเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดในการออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญ และหน้าที่ดังกล่าวนี้จะเป็นของวิศวกรความรู้ซึ่งจะต้องใช้ความสังเกต พูดคุยและทำงานร่วมกับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ เพื่อที่จะกำหนดกรรมวิธีในการชักเหตุผลเพื่อแก้ปัญหาของผู้เชี่ยวชาญให้อยู่ในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้ แล้วจึงทำการถ่ายทอดลงไปในโปรแกรม แต่ในขณะนี้ยังไม่มีทฤษฎีโดยทั่ว ๆ ไปในการสร้างฐานความรู้และออกแบบระบบผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ วิศวกรความรู้จะต้องเป็นผู้พิจารณาว่า จะเลือกใช้เทคนิคอย่างไร หลักการที่มักใช้กันเสมอคือ การเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-2 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.4 การแทนความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

การแทนความรู้ (Knowledge Representation) คือ ลักษณะการจัดรูปแบบของฐานความรู้เพื่อจัดเก็บบนเครื่องคอมพิวเตอร์ การเลือกหรือออกแบบลักษณะของการแทนความรู้นี้ มีผลกระทบอย่างมากต่อการออกแบบชนิดของกลไกวินิจฉัย และประสิทธิภาพโดยส่วนรวมของระบบผู้เชี่ยวชาญ

3.4.1 ประเภทของความรู้

ความรู้ที่มนุษย์เรามีอยู่นั้นมีหลายรูปแบบ ถึงแม้เราจะไม่รู้ว่าความรู้เหล่านี้ถูกเก็บอยู่ในสมองในรูปแบบโครงสร้างแบบใด แต่การที่จะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถใช้ความรู้ได้ เราจำเป็นต้องบันทึกความรู้ในรูปแบบโครงสร้างใดโครงสร้างหนึ่งเข้าไปในคอมพิวเตอร์ ปัญหาเหล่านี้เรียกว่า การแทนความรู้ ซึ่งเป็นหัวใจของการสร้างระบบความรู้ ซึ่งความรู้นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

- ความรู้ที่จะบอกความจริง, ลักษณะ หรือคุณสมบัติ
- ความรู้ที่บอกความสัมพันธ์, เหตุการณ์
- ความรู้ที่บอกขั้นตอนหรือวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความรู้ที่เกี่ยวกับความรู้ (meta knowledge) เป็นความรู้ที่เกี่ยวกับคุณลักษณะของความรู้อื่น หรือเกี่ยวกับวิธีการใช้ความรู้อื่นช่วยในการแก้ปัญหาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ความรู้นี้เปรียบเสมือนประสบการณ์ หรือ sense ในการแก้ปัญหาที่มนุษย์เรามีอยู่ ความรู้ชนิดนี้เป็นสิ่งที่ระบบผู้เชี่ยวชาญจะขาดไม่ได้

แต่ในความเป็นจริงแล้ว ความรู้ไม่ได้ปรากฏอยู่ในรูปแบบที่สามารถแบ่งออกได้เป็นกรณีอย่างชัดเจน ความรู้นี้เองเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ระบบผู้เชี่ยวชาญสามารถแก้ไขปัญหายาก ๆ ได้ โดยจะสร้างแบบจำลองเหตุผล (causal models) จากรูปแบบต่าง ๆ ของความรู้ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญจะอาศัยการหาเหตุผลจากแบบจำลองเหตุผลเหล่านี้ เพื่อหาจุดบกพร่อง วางแผน และวิเคราะห์สถานการณ์ต่าง ๆ เป็นต้น

3.4.2 วิธีการแทนความรู้ที่ดี

วิธีการแทนความรู้ที่ดีนั้นจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1) มีสมรรถภาพในการแทนความรู้ได้ทุกประเภทของความรู้ โดยใช้โครงสร้างเดียวกัน ซึ่งจะต้องเป็นโครงสร้างที่ง่ายแต่มีสมรรถภาพในการแสดงออกสูง

2) มี modularity กล่าวคือมีความสามารถในการแยกออกเป็นส่วนๆ (Module) เพื่อให้สามารถเพิ่มหรือแก้ไขฐานความรู้ได้ง่าย ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการใช้ฐานความรู้

3) ง่ายต่อการจัดการ กล่าวคือ มีคุณสมบัติที่ช่วยในการตรวจสอบฐานความรู้ เช่น ช่วยในการตรวจดูความขัดแย้งระหว่างความรู้ การซ้ำกัน หรือความผิดพลาดในความรู้

4) ง่ายต่อการเข้าใจของมนุษย์ การแทนความรู้ที่ดีนอกจากจะต้องให้เข้ากับคอมพิวเตอร์แล้ว ยังต้องให้เข้ากับมนุษย์ได้ดีอีกด้วย

5) เข้ากันได้กับกลไกวินิจฉัย เนื่องจากกลไกวินิจฉัยต้องใช้ความรู้ในฐานความรู้เป็นข้อมูล ดังนั้นเพื่อให้กลไกวินิจฉัยทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รูปแบบของการแทนความรู้จะต้องเข้ากันได้กับกลไกวินิจฉัย

3.4.3 รูปแบบการแทนความรู้

รูปแบบการแทนความรู้มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมากมีอยู่ 3 วิธีดังต่อไปนี้

3.4.3.1 การแทนความรู้โดยใช้กฎ (rule-base representation)

การแสดงความรู้ด้วยกฎเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกันโดยมีหลักเกณฑ์พื้นฐานง่าย ๆ คืออาศัยรูปประโยคของ ถ้า...แล้ว... หรือ if...then... ประโยคที่ตามหลัง if เรียกว่า ส่วนเงื่อนไข (condition) และประโยคที่ตามหลัง then เรียกว่า ส่วน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสรุป (conclusion) หรือส่วนการปฏิบัติ (action) ของกฎ

สำหรับกรณีที่มีกฎมากกว่า 1 กฎ ที่มีส่วนข้อสรุปเหมือนกัน จะสามารถรวมกันได้ โดยใช้คำว่า "และ" (and) หรือ "หรือ" (or) เชื่อมระหว่างแต่ละเงื่อนไข ตัวอย่างเช่น ในการใช้กล้องถ่ายรูป เราอาจมีกฎดังนี้

if เงื่อนไขของแสง = จ้า
then รู้ความเร็วหน้ากล้อง

และ

if รู้ค่า asa ของฟิล์มที่ใช้
then รู้ความเร็วหน้ากล้อง

ในกรณีของ and เราจะรวมกฎทั้งสองนี้ได้เป็น

if เงื่อนไขของแสง = จ้า and รู้ค่า asa ของฟิล์มที่ใช้
then รู้ความเร็วหน้ากล้อง

ซึ่งจะหมายความว่า เงื่อนไขของแสงจะต้องจ้า และต้องรู้ค่า asa ของฟิล์มที่ใช้ จึงจะรู้ความเร็วหน้ากล้อง ส่วนในกรณีของ or จะได้ว่า

if เงื่อนไขของแสง = จ้า or รู้ค่า asa ของฟิล์มที่ใช้
then รู้ความเร็วหน้ากล้อง

ซึ่งจะหมายความว่า ถ้าแสงจ้า หรือรู้ค่า asa ของฟิล์มที่ใช้ อย่างใดอย่างหนึ่ง จะรู้ความเร็วหน้ากล้อง

ในการแทนความรู้โดยใช้กฎนี้ จะต้องมีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1) ฐานกฎ (rule base)

2) ส่วนตีความ (interpreter)

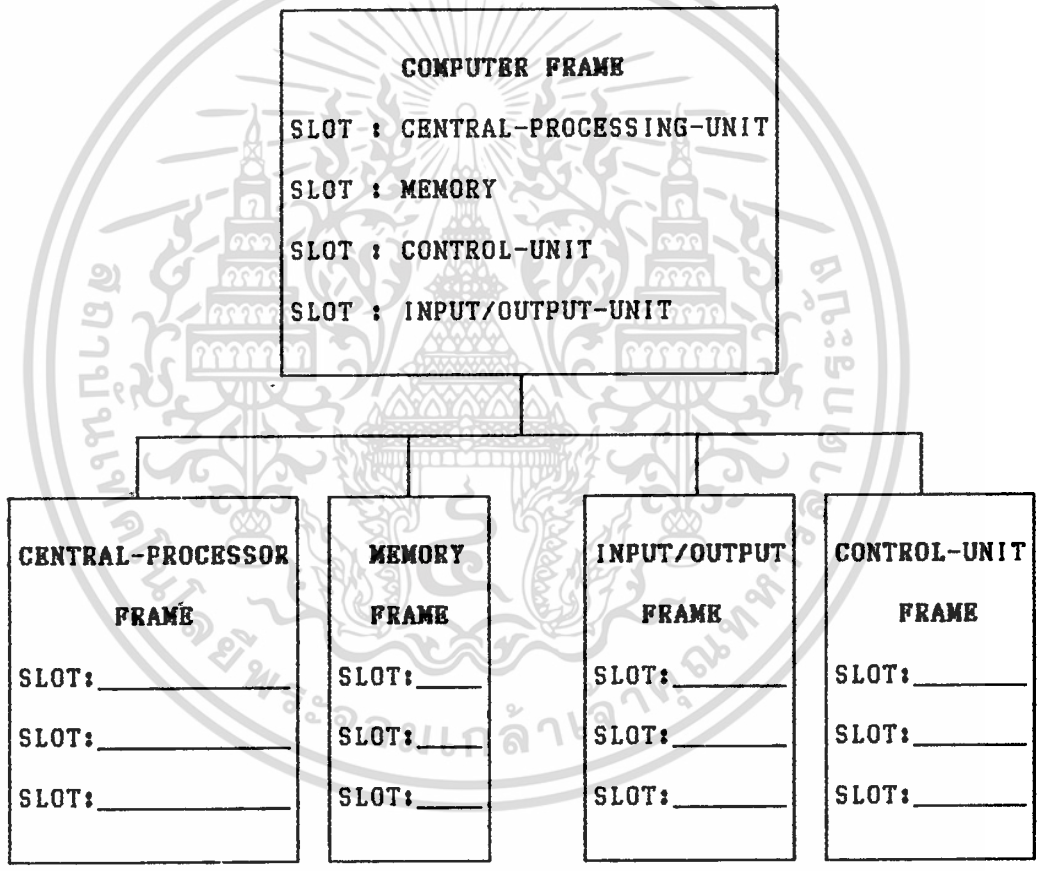
3) หน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์ (working memory)

ฐานกฎคือฐานความรู้ที่ถูกจัดให้อยู่ในรูปของกฎ ส่วน working memory เป็นส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลและสถานะของกฎ ซึ่งเป็น input ของส่วนเงื่อนไขของกฎ ส่วนตีความจะตรวจดูข้อมูลในกฎและใน working memory และเลือกกฎใดกฎหนึ่งจากชุดของกฎที่มีเงื่อนไขครบขึ้นมาปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.2 <u>การแทนความรู้โดยใช้ข่ายความหมาย</u> (semantic representation)

เป็นการแทนความสัมพันธ์ระหว่างของสองสิ่งโดยใช้กราฟ ซึ่งประกอบด้วยโหนด (node) และ อาร์ค (arc) ในการแทนความสัมพันธ์ระหว่างโหนด หากต้องการแทนความสัมพันธ์เท่านั้น จะใช้เส้นอาร์คธรรมดา แต่ถ้าต้องการแสดงทิศทางของความสัมพันธ์ด้วยจะต้องเพิ่มลูกศรให้กับอาร์คด้วย โดยอาร์คที่แสดงความสัมพันธ์จะมีชื่อกำกับอยู่ข้าง ๆ เพื่อบอกลักษณะของความสัมพันธ์



รูปที่ 3-3 ตัวอย่างโครงสร้างของระบบกรอบ

3.4.3.3 <u>การแทนความรู้โดยใช้กรอบ</u> (frame representation)

การแทนความรู้โดยใช้กรอบเป็นการจำลองโครงสร้างของความจำ และกระบวนการเรียนรู้ของมนุษย์ โดยในกรอบจะมีการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับ วัตถุ สภาพ เหตุการณ์ หรือความคิด และบันทึกความสัมพันธ์หรือความแตกต่างระหว่างสิ่งต่าง ๆ เหล่านั้น

เอกสารนี้โ... ใช้... ...ไปใช้... ...ไม่ว่ากรณีใ... ...ประโยชน์ทางการศึกษา ...นำไปใช้

บทที่ 4
องค์ประกอบของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติ และสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าภายในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ข้อมูลที่วิศวกรความรู้จะต้องทำการรวบรวมและจัดรูปแบบการแทนความรู้ให้อยู่ในรูปที่คอมพิวเตอร์สามารถนำไปประมวลผลได้ เพื่อใช้เป็นฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญนั้น คือข้อมูลเกี่ยวกับความผิดปกติทางไฟฟ้า (faults) ทั้งหลายที่สามารถจะเกิดขึ้นได้ภายในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย และข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่กำจัดความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้น รวมทั้งข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่อยู่ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยนั้นด้วย

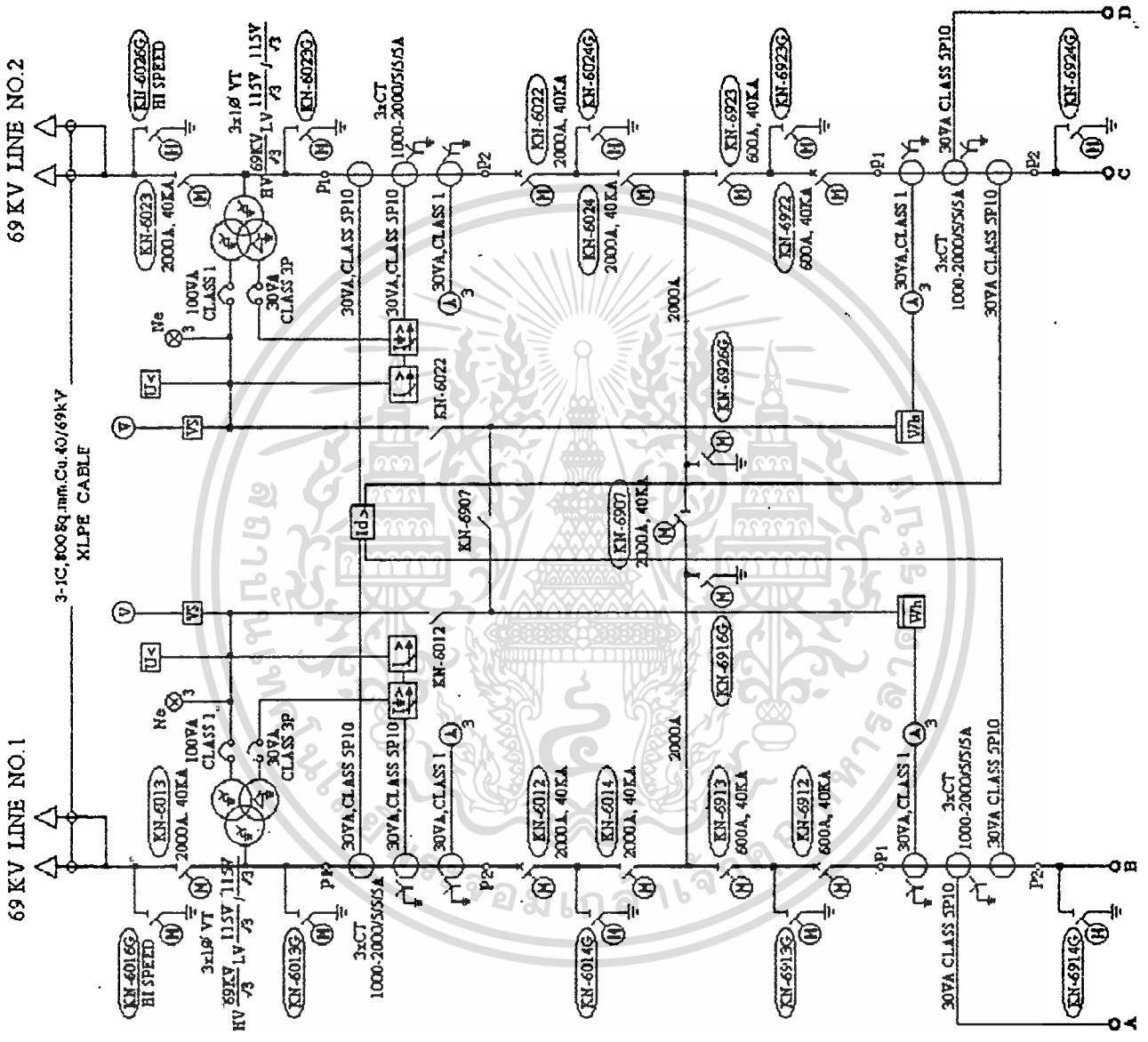
ในโครงงานนี้ได้กำหนดเป้าหมายของการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญให้สามารถทำการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าภายในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยที่เลือกมาเป็นสถานีตัวอย่างเพียงสถานีเดียวเท่านั้น เพื่อมิให้ฐานความรู้ของระบบมีขนาดใหญ่เกินไปจนไม่สามารถพัฒนาระบบที่ทำงานได้อย่างสมบูรณ์ และสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยที่กำหนดไว้ คือสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน ของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งมีพิกัดทางด้านศักดาไฟฟ้าแรงสูงเป็น 69 KV และพิกัดทางด้านศักดาไฟฟ้าแรงต่ำเป็น 24/12 KV โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 2 bay และมี single-line diagram ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4-1

จากรูปที่ 4-1 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยสามารถแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้ 3 ส่วนด้วยกัน คือ

- ส่วนของบัสบาร์ (bus bar) ทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง (69 KV)
- ส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
- ส่วนของบัสบาร์ (bus bar) ทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ (24/12 KV)

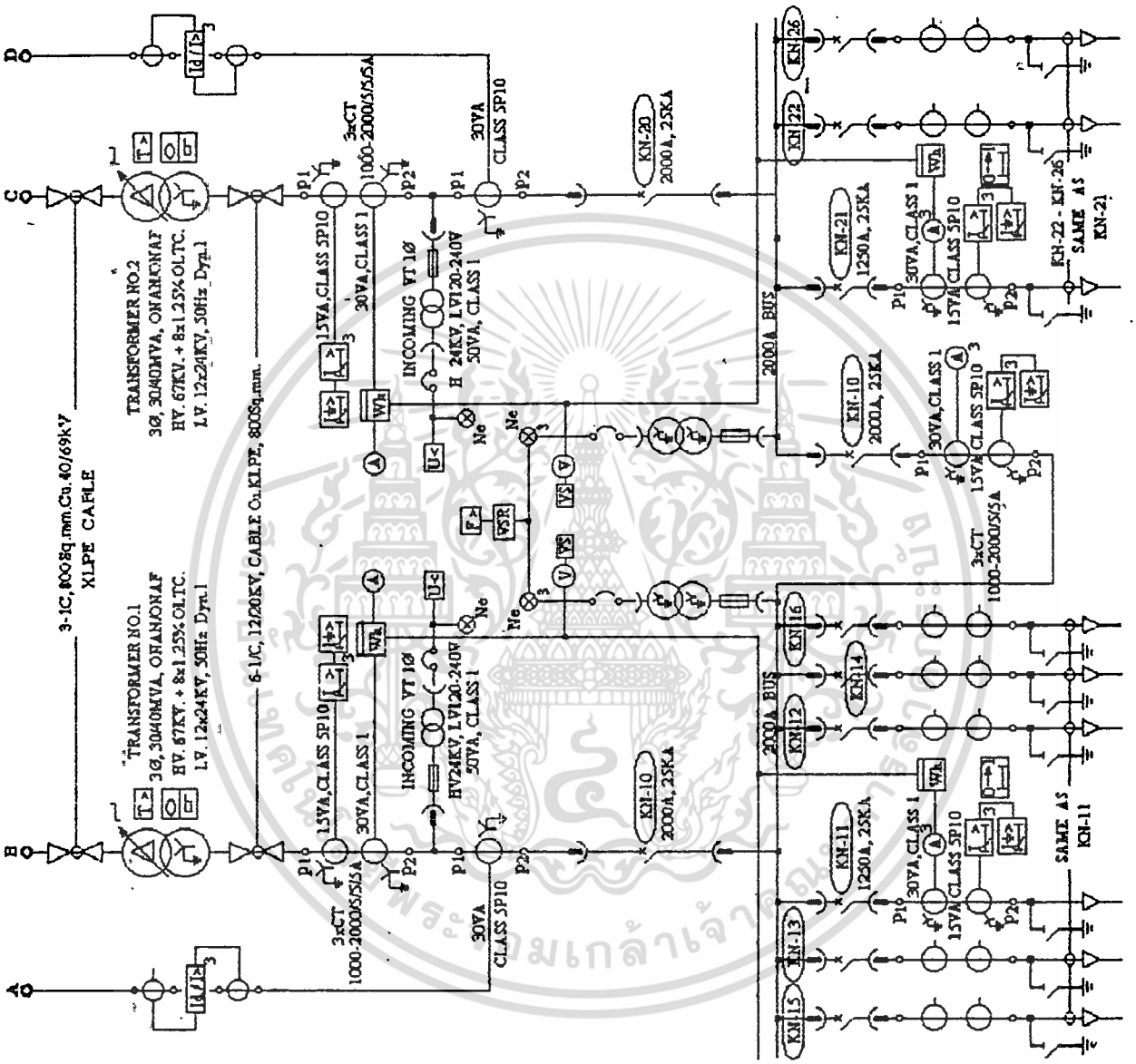
เนื้อหาของบทนี้ จะเป็นการกล่าวถึงรายละเอียดขององค์ประกอบแต่ละส่วนของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย โดยเน้นหนักในเรื่องของอุปกรณ์ป้องกันความผิดปกติทางไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในแต่ละส่วน เพื่อให้ทราบอย่างกว้าง ๆ ถึงข้อมูลที่จะต้องมีอยู่ในฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



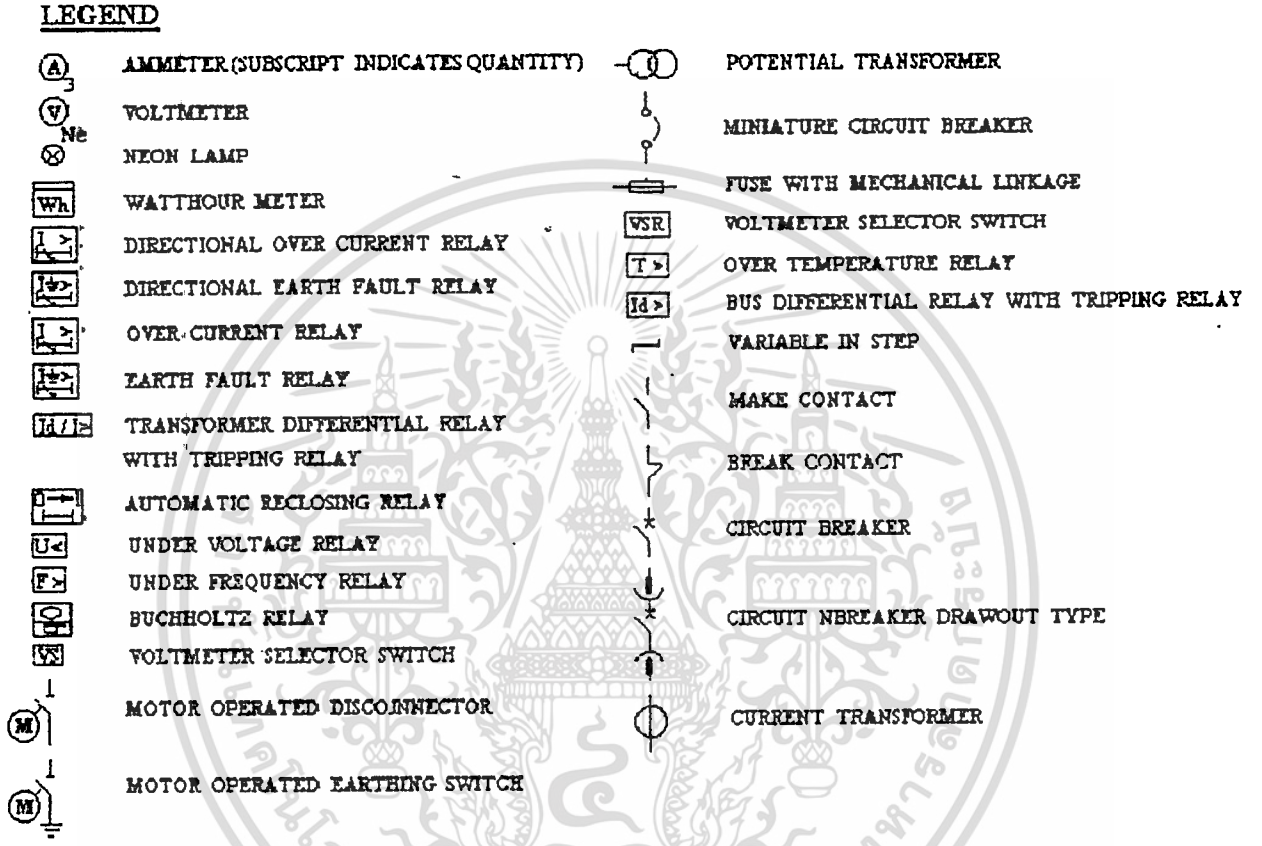
รูปที่ 4-1 แสดง single-line diagram ของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-1(ต่อ) แสดง single-line diagram ของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-1(ต่อ) แสดง single-line diagram ของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ส่วนของบัสบาร์ทางแรงดันไฟฟ้าสูง

สำหรับสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน บัสบาร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูงจะรับแรงดันไฟฟ้าขนาด 69 KV จากสายส่งทางด้าน incoming ซึ่งมีจำนวน 2 ชุดต่อ 1 bay และถูกเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ไปยังหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเพื่อแปลงให้เป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำต่อไป โดยตัวบัสบาร์จะทำด้วยทองแดงและถูกห่อหุ้มด้วย enclosure ที่บรรจุแกส SF_6 ซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนอยู่ภายใน

สำหรับระบบป้องกันความผิดปกติทางไฟฟ้าในส่วนของบัสบาร์ทางด้านแรงสูงนี้ จะเป็นการทำงานร่วมกันของสวิทช์เกียร์ (switchgear) และระบบรีเลย์ (relay) โดยสวิทช์-เกียร์จะทำการตัดต่อวงจรในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เมื่อได้รับคำสั่งจากรีเลย์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับความผิดปกติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังมีบางส่วนของสวิทช์เกียร์ที่ใช้ปลดวงจรด้วยมือเมื่อต้องทำการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ รายละเอียดของระบบป้องกันทั้ง 2 ส่วนมีดังนี้

4.1.1 ส่วนประกอบของสวิทช์เกียร์

เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้า จะต้องมีสวิทช์มาทำหน้าที่ในการเปิด-ปิดวงจร แต่การเปิดวงจรในขณะที่มีกระแสไหลอยู่ จะทำให้เกิดเปลวอาร์ค (arc) ขึ้น ยิ่งถ้ามีกระแสเดิมไหลอยู่มาก อาร์คที่เกิดก็จะยิ่งรุนแรงขึ้น (เช่นขณะที่เกิด faults) จนอาจทำให้สวิทช์ตัดตอนนั้นชำรุดเสียหายได้ ประเภทของสวิทช์ที่ใช้กันทั่วไปสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ได้แก่

4.1.1.1 Disconnecting Switch เป็นสวิทช์ที่จะต้องปลดโหลด (load) ออกไปก่อนจึงจะสามารถทำการปลด-สับได้ มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า No-Load Switch จากรูปที่ 4-1 สวิทช์ประเภทนี้ได้แก่

1) Motor Operated Disconnector เช่น KN-6013, KN-6023, KN-6014, KN-6024 เป็นต้น

2) Motor Operated Earthing Switch ซึ่งเป็นสวิทช์ที่ใช้ต่ออุปกรณ์ลงดิน เพื่อความปลอดภัยระหว่างการปฏิบัติงานของหน่วยซ่อมบำรุง เช่น KN-6016G, KN-6026G, KN-6013G, KN-6023G เป็นต้น

4.1.1.2 Load Break Switch เป็นสวิทช์ที่สามารถทำการปลด-สับได้ในขณะที่มีกระแสไหลอยู่ เพราะมี interrupter ช่วยในการดับเปลวอาร์คที่เกิดขึ้น เช่น Oil Switch เป็นต้น อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถใช้ Load Break Switch เปิดวงจรในขณะที่มี fault เกิดขึ้นได้ เนื่องจากกระแส fault ที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงมาก (อาจสูงถึงหมื่นแอมแปร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.3 Circuit Breaker เป็นสวิทช์ที่ใช้เปิดวงจรขณะที่มี fault เกิดขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ชำรุดเสียหาย Circuit Breaker ประกอบด้วย contact หลัก 2 ชนิด คือ fixed contact และ moving contact ซึ่งมักจะทำด้วยโลหะที่ทนต่ออาร์ค เช่น sintered copper tungsten alloy ในสภาวะของการจ่ายไฟตามปกติ contact ทั้งสองจะต่อถึงกัน เมื่อเกิด fault ขึ้น รีเลย์จะสั่งให้ contact ทั้งสองแยกจากกันเพื่อตัดวงจร ทำให้เกิดเปลวอาร์คกระโดดข้ามระหว่าง contact ทั้งสอง ยิ่งกระแสขณะที่ทำการตัดวงจรมีขนาดสูงเท่าใด เปลวอาร์คก็จะยิ่งมีความรุนแรงมาก และอุณหภูมิบริเวณที่เกิดอาร์คนั้นจะสูงมากประมาณ 20,000 K ทำให้เกิดปรากฏการณ์ ionization ของแกสที่อยู่โดยรอบ คือ จะมีอิเลคตรอนจำนวนมากถูกขับออกมาจากอะตอมของแกสที่ร้อน ซึ่งอิเลคตรอนเหล่านี้จะเป็นตัวนำกระแสในอาร์คได้เป็นอย่างดี ทำให้เกิดกระบวนการ ionization ขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่เนื่องจากเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อกระแสลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ อาร์คจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดกระบวนการ deionization ของอิเลคตรอนกลับกลายเป็นโมเลกุลของแกส ซึ่งเป็นตัวกลางที่ไม่นำไฟฟ้า ทำให้กระแสหยุดไหลได้ กระบวนการในการดับอาร์คนี้จะต้องใช้ระยะเวลาให้น้อยที่สุดด้วย

Circuit Breaker สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ตามตัวกลางที่ใช้ในการดับอาร์ค ดังนี้

1) Air Circuit Breaker (ACB)
2) Oil Circuit Breaker (OCB)
3) Vacuum Circuit Breaker (VCB)
4) Gas Circuit Breaker (GCB)

- Air Circuit Breaker (ACB) ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการดับอาร์ค แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ก) Air-Break Circuit Breaker ใช้อากาศที่ความดันปกติเป็นตัวกลางดับอาร์ค เป็น Circuit Breaker ชนิดแรกที่มีใช้งาน นิยมใช้งานในระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ (100-600 V) ตามอาคารทั่วไป มีอายุการใช้งานนาน และไม่ต้องบำรุงรักษา เนื่องจากมีขนาดเล็กและราคาถูก เมื่อชำรุดก็เปลี่ยนตัวใหม่ได้ทันที สำหรับในระบบแรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง (1-24 KV) ACB ต้องอาศัยการยืดระยะอาร์คให้ยาวขึ้น เนื่องจากอากาศที่ความดันปกติมีค่าความเป็นฉนวนต่ำ และต้องมี arc chute เป็นตัวระบายความร้อนของอาร์ค ACB ไม่นิยมใช้ในระบบไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันสูงกว่า 24 KV เนื่องจากต้องใช้ arc chute ที่มีขนาดใหญ่มากในการดับอาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) Air-Blast Circuit Breaker ใช้อากาศอัด (compressed air) เป็นตัวกลางในการดับอาร์ค ซึ่งจะทำให้สามารถดับอาร์คได้เร็วขึ้นมาก เนื่องจากอากาศที่ถูกอัดจะมีความเป็นฉนวนที่ดีกว่า และยังมีความหนาแน่นของโมเลกุลสูงกว่าทำให้การถ่ายเทความร้อนทำได้เร็วขึ้น ACB ชนิดนี้สามารถทำให้มี Interrupting Capacity เท่าใดก็ได้ โดยการต่อ interrupter หลาย ๆ ชุดเข้าด้วยกัน แต่มีความยุ่งยากในการสร้างและมีราคาแพงเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้รับ จึงไม่ค่อยมีผู้ใดทำการผลิตออกขายและไม่เป็นที่นิยมใช้ (รวมทั้งการไฟฟ้านครหลวงเองก็ไม่มี ACB ชนิดนี้ใช้งานอยู่) เนื่องจากมี GCB ซึ่งใช้งานได้กว้างขวางกว่าในทุกระดับแรงดันไฟฟ้ามาแทนที่

- Oil Circuit Breaker (OCB) ใช้น้ำมันหม้อแปลงเป็นตัวกลางในการดับอาร์ค โดยเมื่อเกิดอาร์คน้ำมันหม้อแปลงจะแตกตัว ให้แกสไฮโดรเจนและสารไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ ในอัตราส่วน 70 : 30 แกสไฮโดรเจนจำนวนมากที่เกิดขึ้นนี้จะแทรกซึมอยู่ในน้ำมันและจะถูกต้านไม่ให้ขยายตัวโดยความหนืดของน้ำมัน ทำให้แกสไฮโดรเจนมีความดันเพิ่มสูงขึ้นมาก อาจถึง 100-150 bars แกสไฮโดรเจนที่ความดันสูงจะเป็นตัวช่วยในการดับอาร์คได้เป็นอย่างดี เพราะมีคุณสมบัติระบายความร้อนได้ดีที่ความดันสูง และหลังจากดับอาร์คแล้ว แกสต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะลอยออกสู่อากาศภายนอกไป OCB แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก) Bulk-Oil Circuit Breaker หรือเรียกว่าชนิด Dead-Tank เป็น OCB แบบแรกที่ถูกสร้างขึ้นมา ซึ่งจะต้องใช้น้ำมันในถังเป็นจำนวนมากในการดับอาร์ค และจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ในระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูง ๆ ขึ้นไป เช่น OCB ขนาด 200 KV จะต้องใช้ถังขนาดใหญ่ที่สามารถจุน้ำมันได้ถึง 20,000 ลิตรต่อเฟส จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในระดับแรงดันไฟฟ้าสูง เพราะใหญ่เกินไปและไม่ประหยัด

ข) Small-Oil-Volume Circuit Breaker หรือเรียกว่าชนิด Minimum-Oil Circuit Breaker ใช้น้ำมันน้อยกว่าชนิดแรกมาก จึงสามารถใช้งานที่ระดับแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ ได้ โดยมีราคาถูกกว่า Air-Blast Circuit Breaker แต่ก็ยังมีข้อเสียอยู่มาก คือ การที่ใช้น้ำมันปริมาณน้อย ดังนั้นเมื่อเกิดอาร์คขึ้น น้ำมันบางส่วนที่แตกตัวจะกลายเป็นสารคาร์บอนลอยปนอยู่ในน้ำมัน ซึ่งเป็นการลดค่าความเป็นฉนวนของน้ำมันลงไป ทำให้ contact ชำรุดเร็ว จึงต้องบำรุงรักษาบ่อยและเสียค่าใช้จ่ายสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Vacuum Circuit Breaker (VCB) ใช้สุญญากาศ (vacuum) ใน interrupter เป็นตัวช่วยในการดับอาร์ค โดยในสุญญากาศที่สมบูรณ์จะไม่มีทางที่อิเลคตรอนจะชนกันและเกิดกระบวนการ ionization อย่างต่อเนื่องเหมือนในฉนวนชนิดอื่น ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว แม้ในทางปฏิบัติจะใช้สุญญากาศที่มีความดัน 10^{-6} Torr หรือประมาณ 10^{-9} bar ซึ่งยังไม่ใช่สุญญากาศที่สมบูรณ์ แต่ก็สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 200 KV โดยใช้ระยะช่องว่างเพียง 1 ซม. เท่านั้น อย่างไรก็ตาม VCB ก็มีข้อจำกัดในการใช้งาน คือค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้าของสุญญากาศจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มระยะห่างของ gap ดังนั้น gap แต่ละชุดจึงใช้ได้กับแรงดันไฟฟ้าที่จำกัดอยู่เพียงบางค่าเท่านั้น จึงนิยมใช้ VCB ในระดับแรงดันไฟฟ้าขนาดกลางเท่านั้น เพราะในระดับแรงดันไฟฟ้าสูง จะต้องใช้ vacuum interrupter หลายชุดต่ออนุกรมกัน ทำให้มีราคาสูงมาก

VCB เหมาะสำหรับใช้ในสายป้อนที่มีสวิทช์ตกบ่อยครั้งหรือทำการดับไฟเพื่อบำรุงรักษาได้ลำบาก หรือใช้เป็น capacitor switching เพราะจะลดการบำรุงรักษาลงได้มาก เนื่องจากสามารถทน rated short circuit fault ได้มากครั้งกว่า circuit breaker ชนิดอื่น ๆ (มากกว่า OCB ถึง 4 เท่า) และยังสามารถใช้งานได้ยาวนาน 20-40 ปี โดยมีความดันเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ไม่เกิน 10^{-7} bar) และการบำรุงรักษาก็มีเพียงการเปลี่ยน interrupter ใหม่เมื่อ contact สึกกร่อนเกินกว่า 3 มม. เท่านั้น

สำหรับการใช้ VCB เป็น inductive switching จะต้องระวัง overvoltage ที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากมี chopping current ซึ่งจะต้องออกแบบ VCB ให้มี chopping current ได้ไม่เกิน 5 A หรือติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน switching surge นอกจากนี้ถ้าเกิด overvoltage หรือทำการทดสอบ VCB ที่แรงดันไฟฟ้าสูง ในขณะที่ interrupter อยู่ในสภาวะเปิดวงจร จะมี X-rays แผ่ออกมา ซึ่งจะต้องปิดฝาตู้ให้มิดชิดขณะทำการทดสอบ แต่ปัญหานี้มักไม่เกิดขึ้นในการใช้งานตามปกติ

- Gas Circuit Breaker (GCB) ใช้แกส SF_6 (Sulphur Hexafluoride) เป็นตัวกลางในการดับอาร์ค เพราะมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนที่ดีและดับอาร์คได้อย่างมีประสิทธิภาพ GCB แบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ

ก) two-pressure type ซึ่งเป็นแบบแรกที่ถูกสร้างขึ้นมา โดยแกส SF_6 จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนความดันสูง และส่วนความดันต่ำ เมื่อ GCB ทำงานจะมีวาล์วเปิดให้แกสส่วนที่มีความดันสูงเข้าไปดับอาร์คที่เกิดขึ้น ผ่าน interrupter จากนั้นจึงเข้าไปยังส่วนที่มีความดันต่ำ ข้อเสียของ GCB ชนิดนี้ คือจะต้องคอยให้ความร้อนในถังความดันสูงเพื่อป้องกันไม่ให้ SF_6 ในถังกลายเป็นของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข) single-pressure type หรือ puffer type เป็นแบบที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน โดยใช้ความดันที่พอเหมาะเพียงระดับเดียว (ประมาณ 1.5-6 bars) และเพิ่มความดันขณะดับอาร์ค โดยใช้ลูกสูบและกระบอกสูบ ซึ่งต่อมาจากการเคลื่อนที่ของ contact GCB ชนิดนี้สามารถออกแบบให้ใช้ได้กับแรงดันไฟฟ้าทุกระดับ ลักษณะภายนอกโดยทั่วไปคล้ายกับชนิด minimum oil แต่มีข้อดีคือไม่ต้องทำการบำรุงรักษามาก เพราะ contact ชำรุดน้อยมากในการใช้งานปกติ จะสามารถใช้งานได้นานถึง 10 ปี โดยไม่ต้องเปิด interrupter ออกตรวจสอบหรือเปลี่ยนแกสเลย ซึ่งในปัจจุบันและอนาคต GCB ชนิดนี้จะเป็นที่นิยมใช้งานกันโดยทั่วไป และในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน ก็ใช้ GCB ชนิดนี้ ทั้งในส่วนของบัสบาร์ทางด้านศักดาไฟฟ้าแรงสูงและแรงต่ำ

สำหรับ switchgear ทางด้านศักดาไฟฟ้าแรงสูง (69 KV) ของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน ได้รวมอุปกรณ์ทุกส่วนได้แก่ สวิทช์ตัดตอนทุกชนิดและบัสบาร์ไว้ภายใน enclosure ที่บรรจุแกส SF_6 รวมเรียกว่า Gas Insulated Switchgear (GIS) ข้อดีของ GIS ก็คือมีความปลอดภัยสูง และการบำรุงรักษาต่ำ นอกจากนี้ยังมีขนาดเล็กกว่าแบบอื่น ๆ ในระดับแรงดันเท่ากัน

4.1.2 <u>ระบบรีเลย์</u>

รีเลย์ (relays) คือ อุปกรณ์ป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งอยู่ในระบบ อันเนื่องมาจากเกิดการลัดวงจรด้วยสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง โดยรีเลย์จะทำหน้าที่ตรวจสอบและแยกแยะความผิดปกติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า และสั่งการให้อุปกรณ์ตัดตอนทำงาน สำหรับรีเลย์ที่เกี่ยวข้องกับส่วนของระบบป้องกันทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูงของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสานประกอบด้วย

1) Under Voltage Relay จะทำหน้าที่ตรวจสอบระดับแรงดันในแต่ละเฟสที่เข้าสู่สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย และจะทำงานเมื่อระดับแรงดันต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้

2) Over Current Relay มีหน้าที่ตรวจสอบการลัดวงจรระหว่างเฟส หรือระหว่างเฟสกับกราวด์

3) Directional Over Current Relay ทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรในสายส่งทางด้าน 69 KV ที่ส่งเข้ามาในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย โดยมีทิศทางการทำงานเฉพาะที่มองออกจากสถานีฯ เท่านั้น

4) Earth Fault Relay มีหน้าที่ตรวจสอบการลัดวงจรที่เกิดขึ้นระหว่างเฟสกับกราวด์ ในสภาวะปกติกระแสที่ไหลผ่านรีเลย์ชนิดนี้จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เนื่องจาก load จะมีความสมดุลย์ทั้งสามเฟส แต่เมื่อเกิดการลัดวงจรลงกราวด์ ผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีค่ามากพอที่จะทำให้รีเลย์ทำงานได้

5) Directional Earth Fault Relay มีลักษณะการทำงานคล้ายกับ Earth Fault Relay แต่มีทิศทางการทำงานให้มองออกจากสถานีย่อยไปหาสายส่ง

6) Bus Differential Relay ทำงานโดยอาศัยความแตกต่างของกระแสในด้านเข้าและด้านออกจากบัสบาร์ ซึ่งในสภาวะปกติจะต้องมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ แต่เมื่อผลต่างของกระแสทั้งสองส่วนนี้มีค่าสูงขึ้นจนถึงค่าที่กำหนดไว้อันเนื่องมาจากการลัดวงจรในบัสบาร์ รีเลย์ก็จะสั่งให้ทำการตัดวงจรส่วนนั้นออกไป

4.2 ส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power Transformer) ที่ใช้อยู่ภายในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยเป็นหม้อแปลงขนาดใหญ่ที่มีขนาดตั้งแต่ 500 KVA ขึ้นไป สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยต่าง ๆ ของการไฟฟ้านครหลวงใช้หม้อแปลงที่มีขนาดต่าง ๆ กัน คือ 7.5/10 MVA, 15/20 MVA, 30/40 MVA และ 150/200/250 MVA โดยมีพิกัดการเปลี่ยนแรงดันที่ ratio ต่าง ๆ กันคือ 69/12 KV, 69/24-12 KV, 115/69/24 KV, 115/24KV และ 230/69/12 KV ภายในหม้อแปลงบรรจุไว้ด้วยน้ำมันหม้อแปลง (Transformer Oil) ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งฉนวนไฟฟ้าและช่วยในการระบายความร้อนในขดลวด (winding) ของหม้อแปลงขณะจ่ายโหลดด้วย

สำหรับสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสานใช้หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังชนิด Oil-Immersed ขนาด 30/40 MVA เปลี่ยนแรงดันที่ ratio 69/24-12 KV จำนวน 2 bay ในการป้องกัน fault ที่จะเกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังนี้ มีสิ่งที่จะต้องทำการพิจารณาอยู่ 2 ส่วน คือ

- ส่วนประกอบของหม้อแปลง
- ระบบรีเลย์

4.2.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลง

หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังมีส่วนประกอบที่สำคัญต่าง ๆ ดังนี้

4.2.1.1 ระบบระบายความร้อน ระบบระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีใช้ในการไฟฟ้านครหลวง แบ่งออกเป็นหลายระดับ ดังนี้

1) OA (Oil-immersed, Self-cooled) หม้อแปลงชนิดนี้จะมีน้ำมันหม้อแปลงเป็นตัวช่วยระบายความร้อนในขดลวดของหม้อแปลง โดยน้ำมันที่ร้อนจะขึ้นไปอยู่ส่วนบนของหม้อแปลง และไหลออกไปยังส่วนของปีกหม้อแปลงด้านบน เมื่อความร้อนถูกถ่ายเทออกสู่อากาศภายนอกทางปีกหม้อแปลงด้านบนนี้แล้ว น้ำมันที่เย็นจะไหลกลับลงมาสู่ตัวหม้อแปลงทางปีกหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านล่าง ทำให้เกิดการหมุนเวียนระบายความร้อนโดยอัตโนมัติ

2) OA/FA (Oil-immersed, Self-cooled/Forced-air-cooled) หม้อแปลงชนิดนี้จะมีพัดลมสำหรับเป่าให้อากาศผ่านปีกหม้อแปลงเร็วขึ้น ทำให้การระบายความร้อนของน้ำมันหม้อแปลงเร็วขึ้น หม้อแปลงจะจ่ายโหลดได้มากขึ้น เช่น จาก 15 MVA เป็น 20 MVA หรือจาก 30 MVA เป็น 40 MVA เป็นต้น

3) OA / FA / FOA (Oil-immersed, Self-cooled/Forced-air-cooled/Forced-air-forced-oil-cooled) หม้อแปลงชนิดนี้นอกจากจะมีพัดลมช่วยเป่าอากาศบริเวณปีกหม้อแปลง ทำให้การระบายความร้อนดีขึ้นแล้ว ยังมีปั๊มน้ำมันติดตั้งอยู่บริเวณปีกหม้อแปลงอีกด้วย เพื่อช่วยปั๊มให้น้ำมันหม้อแปลงไหลผ่านปีกหม้อแปลงได้เร็วขึ้น ทำให้ระบายความร้อนออกจากน้ำมันหม้อแปลงได้ดียิ่งขึ้น และสามารถจ่ายโหลดได้มากขึ้นอีก เช่น หม้อแปลง 150 MVA เมื่อเปิดพัดลมจะจ่ายได้ 200 MVA และเมื่อเปิดปั๊มน้ำมันหม้อแปลงด้วยจะสามารถจ่ายได้ถึง 250 MVA เป็นต้น

4.2.1.2 Tap Changer เนื่องจากระดับแรงดันของระบบไฟฟ้าจะไม่คงที่ ขณะที่โหลดมากแรงดันจะต่ำ และขณะที่โหลดน้อย แรงดันจะสูง แต่ระดับแรงดันทางด้านโหลดของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยจะต้องคงที่ ดังนั้นจึงต้องมี tap สำหรับเปลี่ยนระดับแรงดันเพื่อให้แรงดันทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงคงที่ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะของการทำงาน คือ

1) Off-Load Tap Changer สำหรับ tap ชนิดนี้จะต้องทำการตัดไฟก่อนการเปลี่ยน tap เพื่อป้องกันอาร์คที่จะเกิดขึ้นขณะเปลี่ยน tap โดยทั่วไปจะมีอยู่ 5 step โดยแต่ละ tap จะมีระดับแรงดันทางด้านปฐมภูมิต่างกันประมาณ 2.5% เช่นหม้อแปลงแบบ 67/12 KV $\pm$ 5%, 5 TAP จะมีระดับแรงดันด้านปฐมภูมิต่างกันประมาณ 1,800 V ในแต่ละ tap

2) On-load Tap Changer สำหรับ tap ชนิดนี้สามารถทำการเปลี่ยน tap ได้ในขณะที่จ่ายโหลด โดยในการเปลี่ยน tap แต่ละครั้งจะใช้เวลาเพียง 0.1-0.14 วินาทีเท่านั้นเพื่อให้เกิดอาร์คน้อยที่สุด โดยใช้มอเตอร์เป็นตัว charge สปริงให้ tap ทำงาน

On-Load Tap Changer ที่มีใช้อยู่ในไฟฟ้านครหลวงนั้น ถ้าเป็นหม้อแปลงที่มีระดับดันทางด้านปฐมภูมิเป็น 69 KV เช่นที่สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน จะมี tap 21 tap โดยแต่ละ tap จะมีแรงดันต่างกัน 837 V ส่วนหม้อแปลง 115 KV ส่วนใหญ่จะมี 17 tap โดยแต่ละ tap จะมีแรงดันต่างกัน 1,400 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 Conservator มีลักษณะเป็นถังอยู่เหนือหม้อแปลงทางด้านหลัง ภายในบรรจุน้ำมันหม้อแปลงไว้ ตรงกลางมีแผ่น rubber diaphragm กั้นระหว่างน้ำมันกับอากาศ บางชนิดจะเป็นถุงยางบรรจุน้ำมันไว้ภายใน เพื่อไม่ให้ผิวของน้ำมันสัมผัสกับอากาศ มีลูกลอยต่อไปยัง oil level gauge สำหรับบอกระดับน้ำมันใน conservator จากภายนอก มีท่อต่อระหว่างน้ำมันใน conservator กับน้ำมันส่วนใหญ่ของหม้อแปลง อากาศซึ่งอยู่ส่วนบนของ rubber diaphragm หรืออยู่นอกถุงยางจะผ่านออกสู่ภายนอกทางเครื่องดักความชื้น หม้อแปลงแบบ on-load tap changer บางชนิดจะมี conservator สำหรับ tap ของหม้อแปลงแยกต่างหากอีกอันหนึ่ง แต่บางชนิดก็ใช้ร่วมกันกับ conservator ของหม้อแปลง โดยมี gas shelter เป็นตัวดักแกสที่จะเกิดขึ้นขณะเปลี่ยน tap ให้ออกสู่ภายนอกไม่ให้กลับเข้าไปใน conservator อีก และมี filter สำหรับกันไม่ให้น้ำมันที่สกปรกใน tap ของหม้อแปลง ปนกับน้ำมันสะอาดใน conservator

สำหรับหม้อแปลงที่ไม่มี conservator น้ำมันจะเติมไม่ให้เต็มถึงฝาถังทางด้านหลังของหม้อแปลง เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับการขยายตัวของน้ำมัน และจะอัดแกสไนโตรเจนเอาไว้ในถัง เพื่อไม่ให้น้ำมันถูก oxidise โดยออกซิเจนในอากาศ โดยใช้ความดันในการอัดแกสไนโตรเจนประมาณ 2 psi หรือ 0.2 Kg/cm^2

4.2.1.4 Silicagel เป็นสารดูดความชื้นในอากาศก่อนที่จะเข้าสู่ส่วนบนของ conservator บรรจุอยู่ในส่วนที่เรียกว่า air breather ของหม้อแปลง silicagel ที่การไฟฟ้านครหลวงใช้อยู่ส่วนมากจะมีสีน้ำเงิน สามารถดูดความชื้นได้ประมาณ 40% ของน้ำหนักของมันเอง แล้วจะเปลี่ยนสีเป็นสีแดง ซึ่งเราสามารถนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100-140 °C จนกลายเป็นสีน้ำเงิน แล้วจะสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก บางแห่งจะใช้ activated alumina ซึ่งมีสีขาว แต่จะไม่เปลี่ยนสีเมื่อดูดความชื้นเข้าไปจึงทำให้สังเกตได้ยาก และไม่นิยมใช้

4.2.1.5 Buchholtz Protecting Device มีเฉพาะในหม้อแปลงที่มี conservator เท่านั้นโดยต่ออยู่ระหว่างตัวหม้อแปลงและ conservator ในกรณีที่เกิดความผิดปกติขึ้นในหม้อแปลง เช่น เกิดแกสภายในหม้อแปลง แกสที่เกิดขึ้นนี้จะมาแทนที่น้ำมันส่วนบนของ buchholtz ทำให้ลูกลอยภายในต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้ buchholtz จะส่งสัญญาณ alarm ไปยังห้องควบคุมให้ผู้ปฏิบัติการประจำสถานีฯ ทราบ ถ้าแกสที่เกิดขึ้นมีมากขึ้นจน contact ในลูกลอยของ buchholtz step ที่ 2 ทำงาน รีเลย์จะทำการปลดไฟเข้า-ออกจากหม้อแปลง เพื่อป้องกันไม่ให้หม้อแปลงชำรุดเสียหายมากเกินไป และถ้าน้ำมันภายในหม้อแปลงเกิดไหลย้อนกลับเข้าไปใน conservator โดยผ่าน buchholtz ด้วยความเร็วเกิน 100 cm/sec เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลัดวงจรภายในหม้อแปลง ก็จะทำให้แผ่นกั้นใน buchholtz พลิก ทำให้เกิดการส่งสัญญาณไปปลดไฟเข้า-ออกหม้อแปลงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้แกสที่เกิดขึ้นใน buchholtz ยังสามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อชี้ให้ทราบถึงสาเหตุของการเกิด fault ภายในหม้อแปลงได้อีกด้วย เช่น ถ้าแกสที่เกิดขึ้นมีสีเทาแสดงว่าเกิดการแตกตัวของน้ำมันเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำมันสูงเกิน 400 °C ถ้าแกสมีสีเหลืองแสดงว่าส่วนที่เป็นไม้ เช่น support ต่าง ๆ ชำรุด ถ้าแกสมีสีขาว แสดงว่า insulating paper ชำรุด ถ้าแกสที่เกิดขึ้นมีส่วนประกอบของ CO, CO_2, และ H_2 แสดงว่า solid insulating material ชำรุด เป็นต้น

4.2.1.6) Buchholtz ของ On-load Tap Changer มีไว้สำหรับป้องกัน tap changer และหม้อแปลง ต่ออยู่ระหว่าง conservator ของ tap และ tap ของหม้อแปลงในกรณีที่เกิด fault ขึ้นภายใน tap และมีน้ำมันไหลย้อนกลับจาก tap changer เข้าไปใน conservator ด้วยความเร็วเกิน 900 cm/sec ก็จะมีสัญญาณส่งไปให้รีเลย์สั่งการตัดไฟเข้า-ออกหม้อแปลง

4.2.1.7 Pressure Relief Device มีลักษณะเป็นปล่องอยู่ในส่วนบนของหม้อแปลง โดยส่วนบนของอุปกรณ์ตัวนี้จะมีแผ่น diaphragm ปิดอยู่และถูกกดด้วยแรง spring 0.7 Kg/cm^2 (10 psi) มีหน้าที่ปล่อย sudden gas pressure ขณะเกิดการลัดวงจรภายในหม้อแปลงออกสู่ภายนอก เป็นการป้องกันตัวถังของหม้อแปลงชำรุดและป้องกันหม้อแปลงระเบิด

4.2.1.8 Oil Temperature เป็นเครื่องมือสำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง ภายในจะมี Mecury contact ซึ่งจะไปควบคุมแกนปิด-เปิดพัดลมเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันมีค่าถึงค่าที่ตั้งไว้ที่หน้าปัทม์ โดยปกติจะตั้งไว้ 2 step คือ 50 และ 55 °C สำหรับเปิดพัดลมชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

4.2.1.9 Winding Temperature เป็นเครื่องมือสำหรับบอกอุณหภูมิที่สูงสุดของ coil ซึ่งเป็นการยากที่จะวัดได้โดยตรง จึงต้องวัดโดยทางอ้อม เรียกว่าวิธี thermal image โดยอุณหภูมิของ coil จะได้มาจากอุณหภูมิ 2 อย่างรวมกัน คือ อุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง และอุณหภูมิจาก heating resistance ในตัวมิเตอร์ โดยกระแสจาก CT ใน cable box ของหม้อแปลงจะมาผ่าน heating resistance นี้ ซึ่งค่าอุณหภูมิของ coil จะสูงขึ้นถ้าหม้อแปลงจ่ายโหลดมากขึ้น โดยปกติจะมี alarm ตั้งไว้ให้ทราบเมื่ออุณหภูมิของ winding สูงเกิน 85 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.10 Lightning Arrester เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับป้องกัน overvoltage ในวงจรเนื่องจากฟ้าผ่า ภายในประกอบด้วย non-linear resistance เช่น SiC วางอยู่ระหว่างแผ่น spark gap โดยต่ออนุกรมกัน ส่วนล่างของสายล่อฟ้านี้สามารถติด counter เพื่อนับจำนวนครั้งที่ทำงานได้ด้วย ปัจจุบันมีผู้ผลิตสายล่อฟ้าชนิดไม่มี spark gap ภายใน แต่ใช้ ZnO แทน ซึ่งสามารถใช้งานได้ดีกว่าชนิดเดิมด้วย

4.2.2 ระบบรีเลย์

จาก single-line diagram ส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในรูปที่ 4-1 จะเห็นได้ว่ามีรีเลย์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับ fault ที่จะเกิดขึ้นกับหม้อแปลงอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน คือ buchholtz relay, over temperature relay และ transformer differential relay ซึ่ง 2 ชนิดแรกนั้นได้กล่าวถึงไปแล้วในหัวข้อที่ 4.2.1 ส่วน transformer differential relay นั้นมีลักษณะการทำงานเหมือนกับ bus differential relay คือ จะตรวจสอบกระแสที่เข้าและออกจากหม้อแปลง ว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างผิดปกติหรือไม่ หากพบความผิดปกติ รีเลย์จะสั่งให้ circuit breaker ที่อยู่ก่อนและหลังหม้อแปลง (คือ KN-6912 กับ KN-10 ใน bay 1 และ KN-6922 กับ KN-20 ใน bay 2) ทำการปลดหม้อแปลงออกจากระบบ

4.3 ส่วนของบัสบาร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ

สำหรับส่วนของบัสบาร์ทางด้านแรงต่ำนี้ ยังคงใช้ circuit breaker แบบ GCB เช่นเดียวกับส่วนของบัสบาร์ทางด้านแรงสูง แต่เป็นชนิด draw out type ส่วนบัสบาร์และสวิทช์ตัดตอนอื่น ๆ เช่น earthing switch ไม่ได้อยู่ใน gas enclosure เหมือนกับในส่วนของบัสบาร์ทางด้านแรงสูง กระแสจากด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงใน bay 1 และ bay 2 จะมาเข้าที่ตู้ KN-10 และ KN-20 ตามลำดับ เพื่อต่อกับบัสบาร์ขนาด 2,000 A ที่เชื่อมต่อไปยังโหลดส่วนต่าง ๆ(ตู้ KN-11 ถึง KN-16 สำหรับ bay 1 และตู้ KN-21 ถึง KN-26 สำหรับ bay 2) ของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

รีเลย์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับ fault ที่จะเกิดขึ้นทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำนี้ประกอบด้วย

1) Over Current Relay

2) Earth Fault Relay

3) Under Voltage Relay

4) Under Frequency Relay

5) Automatic Reclosing Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของรีเลย์ 3 ชนิดแรกได้กล่าวถึงไปแล้วในหัวข้อที่ 4.1.2 เพียงแต่ over current relay และ earth fault relay เป็นแบบที่ไม่สนใจทิศทางของกระแสที่ทำการตรวจสอบดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะ under frequency relay และ automatic reclosing relay เท่านั้น

- **Under Frequency Relay** ทำหน้าที่ปลดโหลดออกเมื่อความถี่ของระบบต่ำกว่าที่ตั้งไว้ การไฟฟ้านครหลวงนำรีเลย์ชนิดนี้มาใช้ในการควบคุม load shedding เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเกิดขัดข้อง โดยมีจุดประสงค์เพื่อรักษาโหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ไว้ ในขณะนี้ได้ตั้งการทำงานของรีเลย์เป็น 5 step โดย step แรก รีเลย์จะทำงานที่ความถี่ 49 Hz, step ที่สองที่ความถี่ 48.83 Hz, step ที่สามที่ความถี่ 48.6 Hz, step ที่สี่ที่ความถี่ 48.3 Hz และ step สุดท้ายที่ความถี่ 47.9 Hz

- **Automatic Reclosing Relay** จะทำหน้าที่สับ Circuit Breaker คืนโดยอัตโนมัติ หลังจากสวิทช์ตกเพราะเกิดการลัดวงจร โดยจะสับ 2 ครั้งเมื่อเวลาผ่านไป 3 วินาที และ 60 วินาที นับตั้งแต่สวิทช์ถูกปลดด้วยรีเลย์ครั้งแรก หากในการสับสวิทช์ครั้งที่สองที่ 60 วินาที ยังมีอาการของ fault อยู่ รีเลย์จะทำการ lock-out ส่วนที่เกิด fault ออกจากระบบไป

ข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยที่ได้กล่าวถึงมาทั้งหมดนี้ เป็นความรู้เบื้องต้นที่จำเป็นต้องมีอยู่ในฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ซึ่งเป็นหน้าที่ของวิศวกรความรู้ที่จะต้องจัดรูปแบบของความรู้เหล่านี้ให้อยู่ในลักษณะที่คอมพิวเตอร์สามารถนำไปประมวลผลผ่านทางภาษาโปรแกรมที่เลือกใช้ได้ โดยจะได้กล่าวถึงขั้นตอนนี้ในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้า

เมื่อได้ทำการศึกษาถึงหลักการของระบบผู้เชี่ยวชาญ และการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบและป้องกันความผิดปกติทางไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในแต่ละส่วนของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 และบทที่ 4 แล้ว ขั้นต่อไปคือการทดลองสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย โดยในโครงงานนี้ได้กำหนดขั้นตอนในการสร้างโปรแกรมไว้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์ปัญหา แบ่งออกเป็นขั้นต่าง ๆ คือ

- จำแนกปัญหา
- กำหนดขอบเขตของงานให้เหมาะสม
- เลือกรูปแบบของการแทนความรู้และวิธีการของกลไกวินิจฉัย
- เลือกเครื่องมือที่จะใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ

ขั้นตอนที่ 2 สร้างระบบต้นแบบ

- กำหนดความรู้ที่จะใช้ในการสร้างระบบต้นแบบ
- ทำการจัดรูปแบบของความรู้ที่ได้กำหนดไว้
- ทดลองสร้างระบบต้นแบบจากฐานความรู้ที่กำหนดไว้
- ประเมินความเป็นไปได้ในการสร้างระบบที่สมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญให้สมบูรณ์

- พัฒนาระบบให้สมบูรณ์ โดยใช้ฐานความรู้ทั้งหมดของระบบ
- แก้ไข และปรับปรุงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ให้เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 4 การประเมินผลของระบบ โดยการทดสอบการทำงานของระบบในทุก ๆ เงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 การวิเคราะห์ปัญหา

ในความเป็นจริงแล้ว การที่จะทราบได้ว่าเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าขึ้นในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบป้องกันของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยนั้น ได้ทำการตัดส่วนที่เกิดความผิดปกติขึ้นนั้นออกจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยอุปกรณ์ที่ทำงานโดยอัตโนมัติ หรืออาจจะเพียงแต่ส่งสัญญาณเตือนให้กับผู้ปฏิบัติการ (operator) ประจำสถานีฯ ทราบ ในกรณีที่ความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นยังไม่รุนแรงถึงขั้นที่จะต้องตัดส่วนที่เกิดความผิดปกตินั้น ออกจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยทันที ซึ่งในทั้งสองกรณีผู้ปฏิบัติการประจำสถานีฯ จะต้องแจ้งให้ผู้เชี่ยวชาญประจำศูนย์ควบคุมส่วนกลางของการไฟฟ้านครหลวงทราบทันทีเพื่อวิเคราะห์และตัดสินใจอย่างใดอย่างหนึ่ง ในการแก้ไขความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้น เพื่อให้การทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับคืนสู่สภาวะปกติโดยเร็วที่สุด

5.1.1 การจำแนกปัญหา

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ คือ ทำอย่างไรระบบผู้เชี่ยวชาญจึงจะสามารถทำหน้าที่แทนผู้เชี่ยวชาญ ในการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในส่วนต่าง ๆ ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยว่ามีสาเหตุมาจากอะไรและควรจะแก้ไขหรือปฏิบัติการอย่างไร คำตอบของปัญหานี้ จะทำให้ผู้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญทราบว่า ข้อมูลอะไรบ้างที่จะต้องอยู่ในฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ และจะต้องจัดการแทนความรู้เหล่านั้นในรูปแบบใด จึงจะเหมาะสมกับลักษณะของงาน โดยจะต้องคำนึงถึงด้วยว่า เมื่อทำการแทนความรู้ในรูปแบบที่เลือกแล้ว จะเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ จึงจะเข้ากันได้กับรูปแบบของการแทนความรู้

เมื่อมาพิจารณาถึงขั้นตอนในการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยของผู้เชี่ยวชาญ แล้วจะพบว่า ลำดับขั้นของการวิเคราะห์จะเป็นดังนี้

1) สิ่งที่ผู้เชี่ยวชาญจะได้รับทราบประการแรก คือ มีการปลดวงจรส่วนที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า หรือมีสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าเกิดขึ้นจากการทำงานของรีเลย์ชนิดหนึ่งในระบบป้องกันของสถานีฯ

2) ผู้เชี่ยวชาญจะต้องพิจารณาว่าการทำงานของรีเลย์ชนิดดังกล่าว สามารถเกิดขึ้นได้ด้วยสาเหตุใดบ้างโดยแต่ละสาเหตุ อาจมีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน

3) ผู้เชี่ยวชาญทำการพิสูจน์สาเหตุที่เป็นไปได้เหล่านั้นทั้งหมด และสาเหตุที่มีเงื่อนไขครบถ้วน จะเป็นคำตอบของปัญหา

4) ผู้เชี่ยวชาญจะทราบสิ่งที่ควรปฏิบัติต่อไป เมื่อทราบสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะนี้เราได้ทราบแล้วว่าระบบผู้เชี่ยวชาญควรจะมีลำดับขั้นอย่างไรในการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย กล่าวคือระบบผู้เชี่ยวชาญจะต้องทราบก่อนว่ารีเลย์ชนิดใดที่ตรวจพบหรือได้ทำการกำจัดความผิดปกติทางไฟฟ้าออกจากระบบ เมื่อพิจารณาถึงระบบรีเลย์ที่ทำหน้าที่อยู่ในแต่ละส่วนของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสานแล้ว จะพบว่า สามารถจำแนกเงื่อนไขในการทำงานของรีเลย์แต่ละชนิด และจัดรูปแบบให้อยู่ในลักษณะที่สามารถเข้าใจได้ง่ายได้ดังนี้

5.1.1.1 <u>รีเลย์ในส่วนบัสบาร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง</u> ในส่วนนี้ประกอบด้วยรีเลย์ 4 ชนิดด้วยกัน ซึ่งเงื่อนไขที่เป็นไปได้ของรีเลย์แต่ละชนิดมีดังนี้

1) Over Current Relay (OC) เงื่อนไขที่เป็นไปได้ ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้มีดังนี้

(ก) ถ้า - OC trip
- ความดันของแกสใน enclosure ผิดปกติ(มีแกสรั่ว)

แล้ว - เกิดการลัดวงจรระหว่างเฟสของบัสบาร์ เนื่องจาก partial discharge ผ่านแกสที่ความดันต่ำเกินไป

ข้อปฏิบัติ - ปลดส่วนที่ผิดปกติออก เพื่อทำการซ่อมบำรุง

(ข) ถ้า - OC trip
- ความดันของแกสใน enclosure ปกติ

แล้ว - เกิดการลัดวงจรระหว่างเฟสของบัสบาร์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอุปกรณ์ เช่น บัสบาร์โค้งงอ เพราะรับกระแสสูงเกินไป

ข้อปฏิบัติ - ปลดส่วนที่ผิดปกติออกเพื่อทำการซ่อมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Earth Fault Relay (EF) เงื่อนไขที่เป็นไปได้ ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้ มีดังนี้

(ก) ถ้า - EF trip
- ความดันของแกสใน enclosure ผิดปกติ (มีแกสรั่ว)
แล้ว - เกิดการลัดวงจรระหว่างเฟสกับกราวด์ เนื่องจากแกสมีความดันต่ำเกินไป
ข้อปฏิบัติ - ปลดส่วนที่ผิดปกติออกเพื่อทำการซ่อมบำรุง

(ข) ถ้า - EF trip
- ความดันของแกสใน enclosure ปกติ
แล้ว - เกิดการลัดวงจรระหว่างเฟสกับกราวด์ในส่วนของบัส-บาร์ เนื่องจากฉนวนเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอุปกรณ์ที่ได้รับกระแสสูงเกินไปเป็นเวลานาน
ข้อปฏิบัติ - ปลดส่วนที่ผิดปกติออกจากระบบ เพื่อทำการซ่อมบำรุง

3) Under Voltage Relay (UV) เงื่อนไขที่เป็นไปได้ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้ มีดังนี้

(ก) ถ้า - UV trip
- indicator lamp สว่าง
แล้ว - วงจร trip ของ UV ทำงานผิดพลาด
ข้อปฏิบัติ - ตรวจสอบวงจร trip ของ UV

(ข) ถ้า - UV trip
- indicator lamp ดับ
แล้ว - แรงดันไฟฟ้าในสายส่งต่ำเกินไป
ข้อปฏิบัติ - ถ่ายโหลดไปยัง incoming อีกชุดหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Bus Differential Relay (BD) เงื่อนไขที่เป็นไปได้ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้ มีดังนี้

(ก) ถ้า - BD trip

- ความดันของแกสใน enclosure ผิดปกติ

แล้ว - เกิดการรั่วไหลของกระแสออกจากส่วนใดส่วนหนึ่งของบัสบาร์ เช่น เกิด partial discharge เนื่องจากความดันของแกสต่ำเกินไป

ข้อปฏิบัติ - ปลดส่วนที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบ ตรวจสอบหาจุดบกพร่อง และตรวจสอบวงจร Gas Low Pressure ด้วย

(ข) ถ้า - BD trip

- ความดันของแกสใน enclosure ปกติ

แล้ว - เกิดการรั่วไหลของกระแสออกจากส่วนใดส่วนหนึ่งของบัสบาร์ เช่น เกิด partial discharge เนื่องจากความดันของแกสต่ำเกินไป

ข้อปฏิบัติ - ปลดส่วนที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบ ตรวจสอบหาจุดบกพร่อง และวงจร Gas Low Pressure ด้วย

5) Gas Low Pressure (GLP) เงื่อนไขที่เป็นไปได้ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้ มีดังนี้

(ก) ถ้า - GLP ส่งสัญญาณ alarm

- สัญญาณ alarm หยุดทำงาน หลังจากทำการ reset

แล้ว - วงจร alarm ทำงานผิดพลาด

ข้อปฏิบัติ - ให้ทำการตรวจสอบวงจร alarm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ถ้า - GLP ส่งสัญญาณ alarm

- สัญญาณ alarm ทำงานอีกครั้ง หลังจากทำการ reset
- มีรอยรั่วอยู่ในผนังส่วนใดส่วนหนึ่งของ GIS

แล้ว - ความดันของแกสลดลง เนื่องจากมีรอยรั่วซึม

ข้อปฏิบัติ - ปลดส่วนที่มีรอยรั่วออกจากระบบ เพื่อทำการซ่อมบำรุง

(ค) ถ้า - GLP ส่งสัญญาณ alarm

- สัญญาณ alarm ทำงานอีกครั้ง หลังจากทำการ reset
- ไม่มีรอยรั่วอยู่ในผนังส่วนใดส่วนหนึ่งของ GIS

แล้ว - ความดันของแกสลดลงเนื่องจากมีการรั่วซึมของแกสผ่านทางรอยต่อต่าง ๆ เพียงเล็กน้อย

ข้อปฏิบัติ - เติมแกสเข้าไปในส่วนที่มีการรั่วซึมของแกส

(ง) ถ้า - GLP trip

- มีรอยรั่วอยู่ในผนังส่วนใดส่วนหนึ่งของ GIS

แล้ว - ความดันของแกสลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีรอยรั่วขนาดใหญ่

ข้อปฏิบัติ - ปลดส่วนที่มีรอยรั่วออกเพื่อทำการซ่อมบำรุง

(จ) ถ้า - GLP trip

- ไม่มีรอยรั่วอยู่ในผนังส่วนใดส่วนหนึ่งของ GIS
- มีแกสรั่วตามรอยต่อเพียงเล็กน้อย

แล้ว - วงจร Gas Low Alarm ทำงานผิดพลาดจึงไม่สามารถตรวจพบความดันของแกสที่ลดลงอย่างช้า ๆ

ข้อปฏิบัติ - เติมแกส และตรวจสอบวงจร alarm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ฉ) ถ้า - GLP trip

- ไม่มีรอยรั่วอยู่ในผนังส่วนใดส่วนหนึ่งของ GIS
- ไม่มีแกสรั่วตามรอยต่อเลย

แล้ว - วงจร trip ทำงานผิดพลาด

ข้อปฏิบัติ - ตรวจสอบวงจร trip

5.1.1.2 <u>รีเลย์ในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง</u> ในส่วนของหม้อแปลงนี้ประกอบด้วยรีเลย์ 3 ชนิดด้วยกัน แต่ละชนิดมีเงื่อนไขที่เป็นไปได้ในการทำงานดังนี้

1) Buchholtz Relay เงื่อนไขที่เป็นไปได้ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้ มีดังนี้

(ก) ถ้า - Buchholtz alarm

- สัญญาณ alarm หยุดทำงาน หลังจากทำการ reset

แล้ว - วงจร alarm ทำงานผิดพลาด

ข้อปฏิบัติ - ตรวจสอบวงจร alarm

(ข) ถ้า - Buchholtz alarm

- สัญญาณ alarm ทำงานอีกครั้ง หลังจากทำการ reset
- ตรวจสอบไม่พบแกสใน Buchholtz

แล้ว - วงจร alarm ทำงานผิดพลาด

ข้อปฏิบัติ - ตรวจสอบวงจร alarm

(ค) ถ้า - Buchholtz alarm

- สัญญาณ alarm ทำงานอีกครั้ง หลังจากทำการ reset
- พบแกสสีเทา-ขาวใน Buchholtz

แล้ว - มีความผิดปกติเกิดขึ้นที่กระดาษฉนวนของหม้อแปลง

ข้อปฏิบัติ - ปลดหม้อแปลงออกเพื่อทำการซ่อมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ง) ถ้า - Buchholtz alarm
- สัญญาณ alarm ทำงานอีกครั้งหลังจากทำการ reset
- พบแกสสีเหลืองใน Buchholtz

แล้ว - มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับส่วนประกอบที่เป็นไม้ของหม้อแปลง เช่น support ต่าง ๆ

ข้อปฏิบัติ - ปลดหม้อแปลงออกเพื่อทำการซ่อมบำรุง

(จ) ถ้า - Buchholtz alarm
- สัญญาณ alarm ทำงานอีกครั้งหลังจากทำการ reset
- พบแกสสีดำใน Buchholtz

แล้ว - มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับน้ำมันหม้อแปลง เช่น มีตะกอนตกค้างมากหลังจากที่น้ำมันเกิดการแตกตัว

ข้อปฏิบัติ - ปลดหม้อแปลงออกและนำตัวอย่างน้ำมันไปตรวจสอบคุณภาพของความเป็นฉนวน

(ฉ) ถ้า - Buchholtz alarm
- สัญญาณ alarm ทำงานอีกครั้งหลังจากทำการ reset
- พบแกสไม่มีสีใน Buchholtz
- แกสติดไฟได้

แล้ว - แกสดังกล่าวเกิดจากการแตกตัวของน้ำมันหม้อแปลง

ข้อปฏิบัติ - ปลดหม้อแปลงออกและนำตัวอย่างน้ำมันไปตรวจสอบคุณภาพของความเป็นฉนวน

(ช) ถ้า - Buchholtz alarm
- สัญญาณ alarm ทำงานอีกครั้งหลังจากทำการ reset
- พบแกสไม่มีสีใน Buchholtz
- แกสไม่ติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว - แกสดังกล่าวคืออากาศที่ผสมอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง

ข้อปฏิบัติ - ปลดหม้อแปลงออกและตรวจสอบ drain valve

(ช) ถ้า - Buchholtz trip

- ตรวจสอบไม่พบแกสใน Buchholtz

แล้ว - วงจร trip ของ Buchholtz ทำงานผิดพลาด

ข้อปฏิบัติ - ตรวจสอบวงจร trip

(ฌ) ถ้า - Buchholtz trip

- ตรวจพบแกสสีเทา-ขาวใน Buchholtz

แล้ว - มีความผิดปกติเกิดขึ้นที่กระดาษฉนวนของหม้อแปลง

ข้อปฏิบัติ - ปลดหม้อแปลงออกเพื่อทำการซ่อมบำรุง

(ญ) ถ้า - Buchholtz trip

- ตรวจพบแกสสีเหลืองใน Buchholtz

แล้ว - มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับส่วนประกอบที่เป็นไม้ของหม้อแปลง เช่น support ต่าง ๆ

ข้อปฏิบัติ - ปลดหม้อแปลงออกเพื่อทำการซ่อมบำรุง

(ฎ) ถ้า - Buchholtz trip

- ตรวจพบแกสสีดำใน Buchholtz

แล้ว - มีความผิดปกติเกิดขึ้นกับน้ำมันหม้อแปลง เช่น มีตะกอนตกค้างมากหลังจากที่น้ำมันเกิดการแตกตัว

ข้อปฏิบัติ - ปลดหม้อแปลงออกและนำตัวอย่างน้ำมันไปตรวจสอบคุณภาพของความเป็นฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ฎ) ถ้า - Buchholtz trip
- พบแกสไม่มีสีใน Buchholtz
- แกสติดไฟได้

แล้ว - แกสดังกล่าวเกิดจากการแตกตัวของน้ำมันหม้อแปลง
ข้อปฏิบัติ - ปลดหม้อแปลงออกและนำตัวอย่างน้ำมันไปตรวจสอบคุณภาพของความเป็นฉนวน

(ฐ) ถ้า - Buchholtz trip
- พบแกสไม่มีสีใน Buchholtz
- แกสไม่ติดไฟ

แล้ว - แกสดังกล่าวคืออากาศที่ผสมอยู่ในน้ำมันหม้อแปลง
ข้อปฏิบัติ - ปลดหม้อแปลงออกและตรวจสอบ drain valve

2) Over Temperature Relay เงื่อนไขที่เป็นไปได้ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้มีดังนี้

(ก) ถ้า - Over Temperature alarm
- พัดลมทำงาน

แล้ว - หม้อแปลงเกิดการ over load
ข้อปฏิบัติ - ให้ทำการปลดโหลดที่มีความสำคัญน้อยออกจากระบบ

(ข) ถ้า - Over Temperature alarm
- พัดลมไม่ทำงาน

แล้ว - ระบบระบายความร้อนของหม้อแปลงชำรุด
ข้อปฏิบัติ - ให้ทำการปลดโหลดที่มีความสำคัญน้อยออกจากระบบและตรวจสอบระบบระบายความร้อนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Transformer Differential Relay เงื่อนไขที่เป็นไปได้ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้ มีดังนี้

ถ้า - Transformer Differential Relay trip

แล้ว - เกิดการลัดวงจรภายในหม้อแปลง เช่น การลัดวงจรระหว่างขดลวด

ข้อปฏิบัติ - ให้ทำการปลดหม้อแปลงออกเพื่อตรวจสอบและซ่อมบำรุง

5.1.1.3 <u>รีเลย์ในส่วนบัสบาร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ</u> ในส่วนนี้ประกอบด้วยรีเลย์ 5 ชนิดด้วยกัน ซึ่งเงื่อนไขที่เป็นไปได้ของรีเลย์แต่ละชนิดมีดังนี้

1) Over Current Relay (OC) เงื่อนไขในการทำงานที่เป็นไปได้ของ OC มีดังนี้

ถ้า - OC trip

แล้ว - เกิดการลัดวงจรในส่วนของบัสบาร์

ข้อปฏิบัติ - ให้ปลดส่วนที่ผิดปกติออกจากระบบและตรวจดูบัสบาร์ ว่ามีสิ่งผิดปกติหรือไม่ เช่น อาจมีวัตถุพาดอยู่ระหว่างเฟสเป็นต้น

2) Earth Fault Relay (EF) เงื่อนไขในการทำงานที่เป็นไปได้ของ EF มีดังนี้

ถ้า - EF trip

แล้ว - เกิดการลัดวงจรลงดินในส่วนของบัสบาร์

ข้อปฏิบัติ - ให้ตรวจดูบัสบาร์ ว่ามีสิ่งผิดปกติหรือไม่ เช่น อาจมีวัตถุพาดอยู่ระหว่างเฟสใดเฟสหนึ่งกับผนัง enclosure เป็นต้น

3) Under Voltage Relay (UV) เงื่อนไขที่เป็นไปได้ในการทำงานของ UV ชนิดนี้ มีดังนี้

(ก) ถ้า - UV trip

- indicator lamp สว่าง

แล้ว - วงจร trip ของ UV ทำงานผิดพลาด

ข้อปฏิบัติ - ตรวจสอบวงจร trip ของ UV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) ถ้า - UV trip

- indicator lamp ดับ

แล้ว - แรงดันไฟฟ้าในสายส่งต่ำเกินไป

ข้อปฏิบัติ - ถ่ายโหลดไปยัง incoming อีกชุดหนึ่ง

4) Breaker Gas Low Pressure เงื่อนไขในที่เป็นไปได้ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้ มีดังนี้

(ก) ถ้า - Breaker Gas Low Pressure alarm

- สัญญาณ alarm หยุดทำงานหลังจากทำการ reset

แล้ว - วงจร alarm ทำงานผิดพลาด

ข้อปฏิบัติ - ให้ทำการตรวจสอบวงจร alarm

(ข) ถ้า - Breaker Gas Low Pressure alarm

- สัญญาณ alarm ทำงานอีกครั้งหลังจากทำการ reset

- พบรอยรั่วที่ enclosure

แล้ว - เกิด breakdown เนื่องจากความดันของแกสลดลง

ข้อปฏิบัติ - ให้ปลดส่วนที่ผิดปกติมาตรวจสอบและทำการซ่อมบำรุง

5) Under Frequency Relay (UF) เงื่อนไขในที่เป็นไปได้ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้ มีดังนี้

ถ้า - UF ทำงาน

แล้ว - ความถี่ของสัญญาณไฟที่รับเข้ามาจากโรงจักรไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตต่ำลงกว่าปกติ เนื่องจากข้อบกพร่องของเครื่องจักร

ข้อปฏิบัติ - ให้ทำการปลดโหลดที่มีความสำคัญน้อยออกไป จนกว่าความถี่จะกลับสู่สภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกเงื่อนไขทั้งหมดในรูปแบบดังกล่าว จัดอยู่ในลักษณะเดียวกับการแทนความรู้โดยใช้กฎ (rule-base representation) ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลที่ได้จัดรูปแบบไว้แล้วนี้ไปใช้เป็นฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญได้

5.1.2 กำหนดขอบเขตของงานให้เหมาะสม

ได้เคยกล่าวถึงไปแล้วในบทต้น ๆ ถึงขอบเขตของโครงงานอย่างกว้าง ๆ และเมื่อได้ทำการแยกแยะปัญหาของการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยโดยใช้การทำงานของรีเลย์ต่าง ๆ ในระบบป้องกันของสถานีฯ เป็นทางนำไปสู่เป้าหมาย คือทราบสาเหตุของความผิดปกติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นแล้ว ทำให้สามารถกำหนดขอบเขตที่ชัดเจนของโครงงาน เพื่อใช้เป็นเป้าหมายในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญได้ ดังนี้

1) กำหนดขอบเขตของฐานความรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ ให้สามารถวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยที่เลือกไว้ 1 สถานี ได้แก่ สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสานของการไฟฟ้านครหลวง

2) กำหนดขอบเขตของลักษณะการวิเคราะห์ปัญหาของระบบผู้เชี่ยวชาญ ให้สามารถทำการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ภายใต้การทำงานที่ถูกต้องตามหน้าที่ของรีเลย์แต่ละชนิดเท่านั้น โดยจะไม่วิเคราะห์ต่อไปถึงสาเหตุของการทำงานที่ผิดพลาดของรีเลย์

3) กำหนดเป้าหมายในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ ให้เป็นโปรแกรมที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ (user friendly) โดยมีลักษณะของการสื่อสารกับผู้ใช้ที่เข้าใจได้ง่าย

5.1.3 การเลือกรูปแบบของการแทนความรู้และกลไกวินิจฉัย

ในการเลือกรูปแบบของการแทนความรู้ จะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับลักษณะของปัญหาที่ต้องการและข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งได้แสดงให้เห็นไปแล้วว่า เมื่อจำแนกปัญหาของการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย โดยผ่านทางการทำงานของรีเลย์ชนิดต่าง ๆ จะได้รูปแบบของข้อมูลที่เหมาะกับการแทนความรู้ด้วยกฎ (rule-base representation) และในกรณีของโครงงานนี้ รูปแบบของข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 5.1.1 ก็คือฐานความรู้ที่จะนำไปใส่ให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญนั่นเอง

เมื่อได้รูปแบบของการแทนความรู้สำหรับระบบผู้เชี่ยวชาญแล้ว ขั้นต่อไปคือการเลือกกลไกวินิจฉัยที่จะนำไปใช้ในการสร้างระบบ ซึ่งจะต้องเข้ากันได้กับรูปแบบของการแทนความรู้ ซึ่งในโครงงานนี้ได้เลือกใช้กลไกวินิจฉัยแบบ Backward-Chaining Method มีลำดับขั้นในการวินิจฉัยปัญหา โดยใช้ข้อมูลในฐานความรู้ในลักษณะเดียวกับที่ได้ทำการจัดรูปแบบของความรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

เอาไว้ กล่าวคือการวินิจฉัยปัญหาจะเริ่มต้นด้วยเป้าหมายของปัญหา และหาเหตุผลเพื่อมาสนับสนุนเป้าหมายให้เป็นจริง

5.1.4 การเลือกเครื่องมือในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญ

เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญจะต้องเป็นเครื่องมือที่อำนวยในการนำรูปแบบของฐานความรู้ของระบบที่เตรียมไว้ ไปใช้ในการสร้างกลไกวินิจฉัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเครื่องมือเหมาะสมในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญที่มีรูปแบบของการแทนความรู้โดยใช้กฎก็คือ ภาษาโปรล็อก ซึ่งได้กล่าวถึงลักษณะโครงสร้างโดยสังเขปไปแล้วในบทที่ 3 ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม Turbo Prolog 2.0 เป็นภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมด้วยเหตุผล 2 ประการที่นอกเหนือจากการเป็นภาษาที่อำนวยในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญอยู่แล้ว คือ

1) Turbo Prolog 2.0 เป็นภาษา Prolog ที่มีลักษณะของการติดต่อสื่อสารกับผู้เขียนโปรแกรมที่ดี หรือเป็นโปรแกรมที่ใช้งานได้ง่ายนั่นเอง

2) Turbo Prolog 2.0 มีความสามารถในการสร้างหน่วยอินพุท-เอาท์พุทให้กับระบบผู้เชี่ยวชาญได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ระบบผู้เชี่ยวชาญที่สร้างขึ้นนั้น มีลักษณะของการอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้

5.2 การสร้างระบบต้นแบบ

เมื่อทำการจัดรูปแบบของความรู้ให้อยู่ในลักษณะที่เหมาะสมกับปัญหา และเลือกเครื่องมือที่จะใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญแล้ว จึงได้ทำการทดลองสร้างระบบต้นแบบโดยลดขอบเขตของฐานความรู้ลง ซึ่งกล่าวง่าย ๆ ก็คือ การทดลองใช้โปรแกรม Turbo Prolog ในการเขียนโปรแกรมที่มีลักษณะการทำงานเหมือนระบบผู้เชี่ยวชาญ สำหรับวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าผ่านทางการทำงานของรีเลย์ตัวหนึ่งซึ่งยกมาเป็นตัวอย่าง โดยกำหนดจุดประสงค์ในการทดลองสร้างระบบต้นแบบไว้ดังนี้

1) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ Turbo Prolog ในการเขียนโปรแกรมที่สามารถทำการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าได้จากฐานความรู้ที่กำหนดให้

2) เพื่อศึกษาความสามารถของ Turbo Prolog ในการสร้างโปรแกรมที่มีหน่วยอินพุท-เอาท์พุทที่ง่ายต่อการใช้งานของผู้ใช้ ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักอันหนึ่งของโครงงาน

เมื่อได้ทดลองเขียนโปรแกรมตามจุดประสงค์ พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญที่สมบูรณ์ โดยใช้ฐานความรู้ทั้งหมดของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การสร้างระบบที่สมบูรณ์

ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นจนสำเร็จนั้น เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นภายใต้โครงสร้างของภาษาโปรล็อก สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับระบบจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไปนี้

5.3.1 โครงสร้างของระบบ

ในที่นี้จะกล่าวถึงโครงสร้างที่สำคัญของระบบได้แก่ ฐานความรู้และกลไกวินิจฉัยของระบบ ดังนี้

5.3.1.1 ฐานความรู้ของระบบ

ฐานความรู้ของระบบแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ 4 ส่วน โดยมีข้อมูลในแต่ละส่วนดังนี้

1) ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลหลักของระบบ ได้แก่ข้อมูลเกี่ยวกับผลของการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลส่วนนี้เก็บไว้ในรูปของ text file มีชื่อว่า "diagnosi.det" ซึ่งข้อมูลส่วนนี้สามารถทำการปรับปรุงได้ผ่านทางเมนูของระบบ

2) ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลซึ่งใช้แสดงรูปภาพของ single-line diagram ของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนตามส่วนประกอบของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย คือ

- ส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เก็บอยู่ในไฟล์ชื่อ "diagram1.exe"
- ส่วนของบัสบาร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง เก็บอยู่ในไฟล์ชื่อ "diagram2.exe"
- ส่วนของบัสบาร์ทางด้านแรงดันไฟฟ้าสูง เก็บอยู่ในไฟล์ชื่อ "diagram3.exe"

ภาพของ single-line diagram เหล่านี้ ผู้ใช้สามารถเรียกออกมาดูได้โดยใช้เมนูของระบบ

3) ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลที่ได้จากการโต้ตอบระหว่างระบบกับผู้ใช้ ซึ่งข้อมูลส่วนนี้มีความจำเป็นมากในการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าของระบบ โดยระบบจะทำการเก็บข้อมูลส่วนนี้ไว้ในหน่วยความจำของระบบในระหว่างที่ทำการวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง และจะลบข้อมูลทิ้งเมื่อทำการวิเคราะห์เสร็จในแต่ละปัญหา

4) ส่วนที่ใช้ในการเก็บสถิติในการเรียกใช้ระบบในการวิเคราะห์ความผิดปกติ โดยข้อมูลที่เก็บไว้ในส่วนนี้ได้แก่ วัน, เวลา และรายละเอียดของการวิเคราะห์ที่ถูกเรียกใช้ ข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

มูลส่วนนี้ระบบจะทำการเก็บไว้ในไฟล์ชื่อ "detail.dat"

5.3.1.2 <u>กลไกวินิจฉัยของระบบ</u> ในโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ ส่วนของกลไกวินิจฉัยไม่ได้ถูกเขียนแยกออกจากส่วนอื่น ๆ ของระบบอย่างชัดเจน เพราะในการทำงานของโปรแกรม ส่วนของกลไกวินิจฉัยซึ่งทำหน้าที่ในค้นหาคำตอบของปัญหา ยังต้องทำงานร่วมกับส่วนอื่น ๆ ของโปรแกรม เช่น ส่วน input-output unit เป็นต้น

5.3.1.3 <u>ส่วนติดต่อกับผู้ใช้</u> เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยคลองสาน เพื่อให้มีคุณลักษณะที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้มากที่สุด จึงได้สร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (user interface) ที่มีการรับและแสดงข้อมูลด้วยภาษาไทยโดยใช้โปรแกรมไดรเวอร์ VTHAI.COM ในการสร้างภาษาไทยให้แก่ระบบ

5.3.2 <u>การทำงานของระบบ</u>

โปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญที่สร้างขึ้นนี้ เป็นระบบที่ทำงานบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมทั้งหมดถูกบรรจุอยู่ในแผ่นดิสเกตต์ขนาด 3.5 นิ้ว 1 แผ่น ประกอบด้วยไฟล์ที่จำเป็นต้องอยู่ในแผ่นดิสเกตต์แผ่นเดียวกัน คือ

- PROJECT.EXE
- VTHAI.COM
- DIAGNOSI.DET
- DIAGRAM1.EXE
- DIAGRAM2.EXE
- DIAGRAM3.EXE
- DETAIL.DAT
- PROJECT.SYM
- DIAGRAM1.SYM
- DIAGRAM2.SYM
- DIAGRAM3.SYM
- PICTURE.DAT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเริ่มเข้าสู่โปรแกรมจะมีเมนูหลักให้ผู้ใช้โปรแกรมเลือกใช้อยู่ 8 รายการด้วยกัน คือ

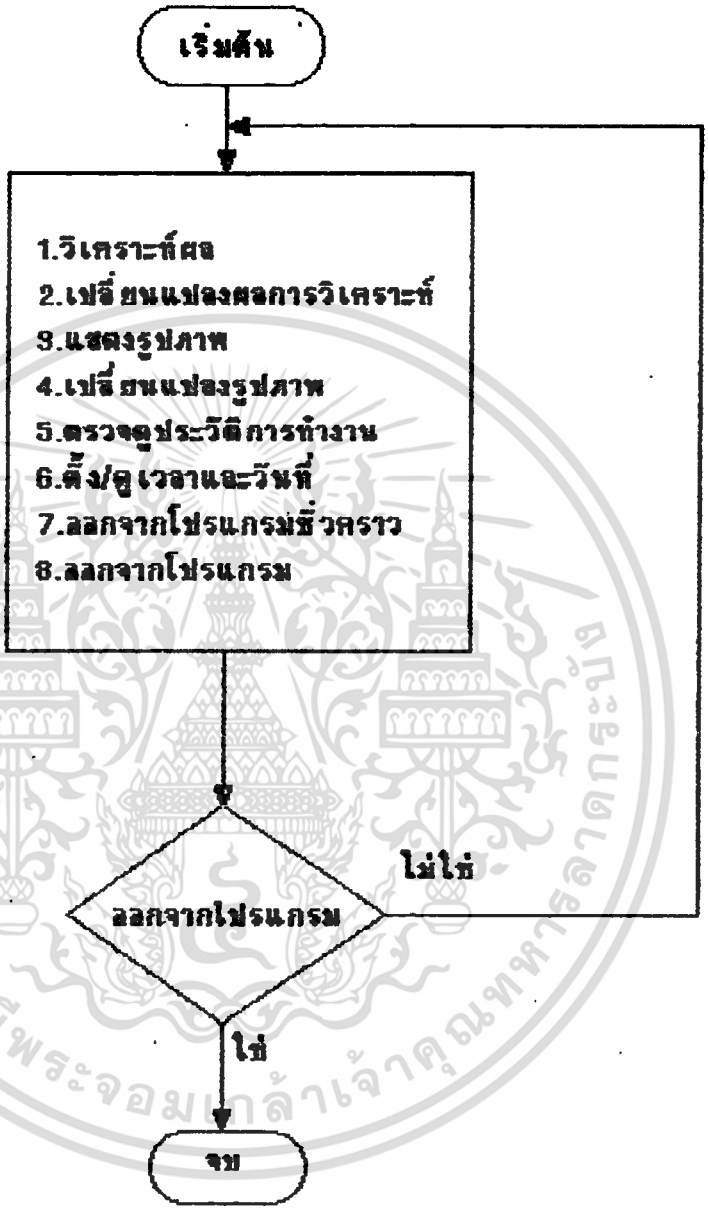
1. วิเคราะห์ผล
2. เปลี่ยนแปลงผลการวิเคราะห์
3. แสดงรูปภาพ
4. เปลี่ยนแปลงรูปภาพ
5. ตรวจดูประวัติการทำงาน
6. ตั้ง/ดู เวลาและวันที่
7. ออกจากโปรแกรมชั่วคราว
8. ออกจากโปรแกรม

สำหรับลำดับการทำงานของรายการที่สำคัญ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-1 ถึง รูปที่ 5-7

5.3.3 <u>ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรม</u>

เพื่อให้เข้าใจในการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ จึงได้นำตัวอย่างของผลการทำงานของโปรแกรม ในการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าในบางกรณี มาแสดงไว้ในรูปที่ 5-8 ถึงรูปที่ 5-11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

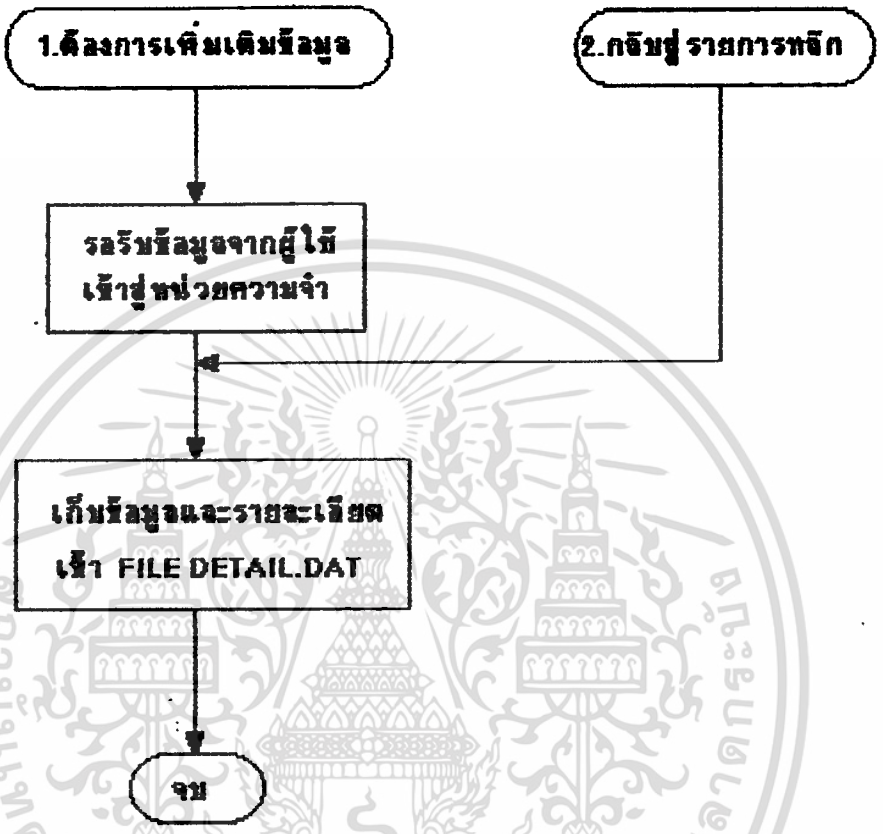


รูปที่ 5-1 flow chart แสดงการทำงานโดยรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

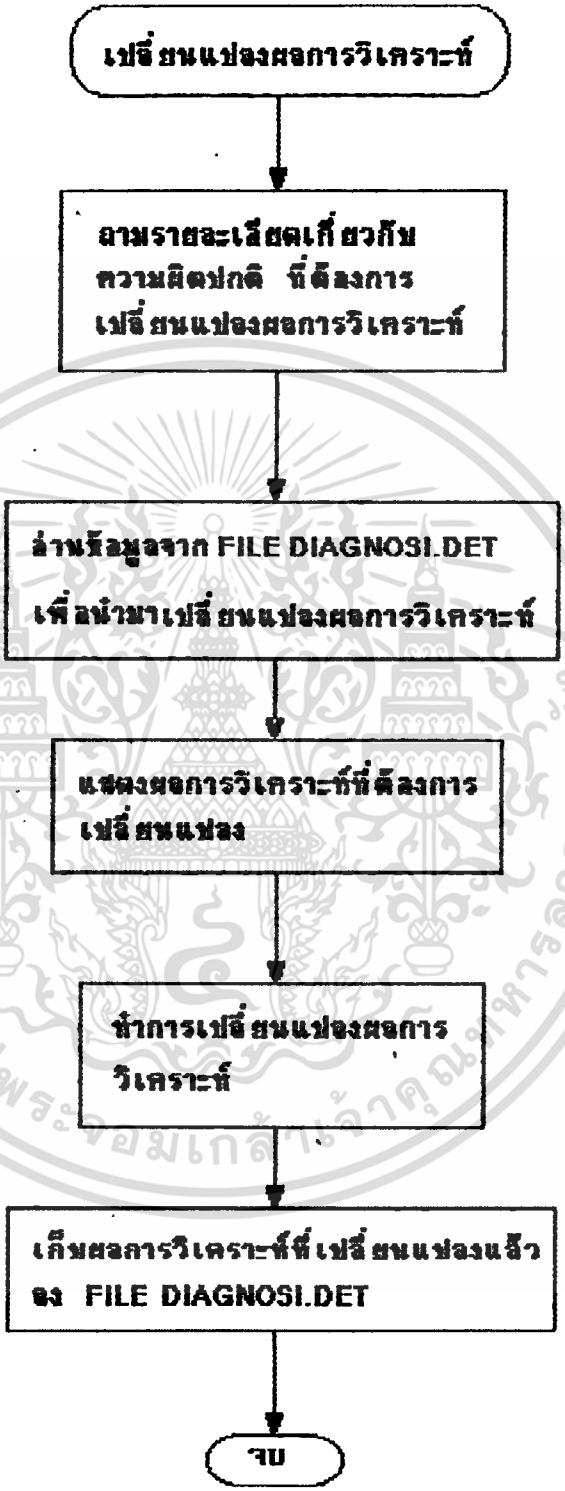
รูปที่ 5-2 flow chart แสดงการวิเคราะห์ fault ของชบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



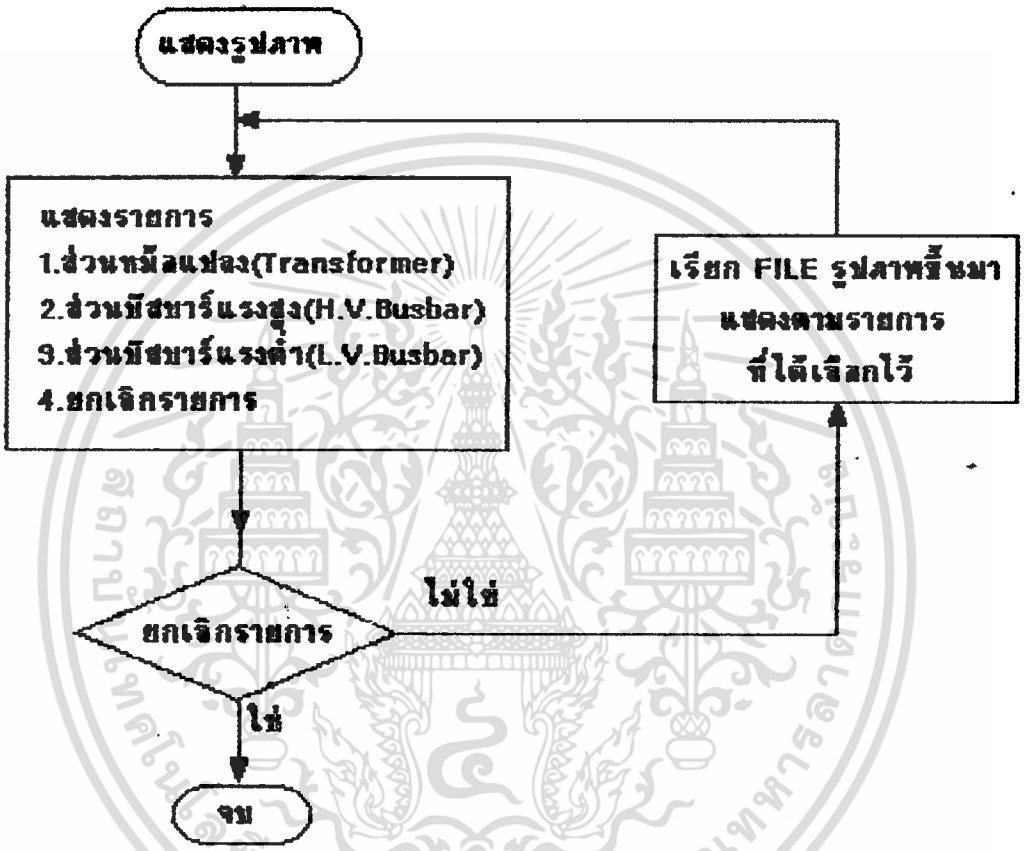
รูปที่ 5-3 flow chart แสดงการเพิ่มเติมข้อมูลให้แก่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



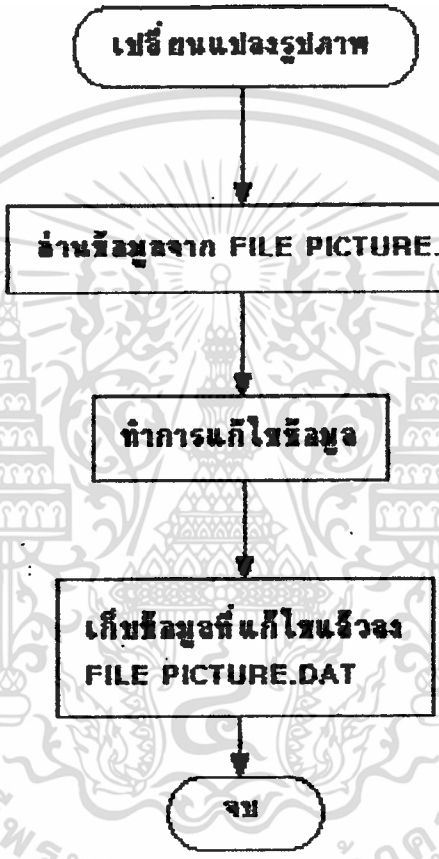
รูปที่ 5-4 flow chart แสดงการเปลี่ยนแปลงผลการวิเคราะห์ให้แก่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



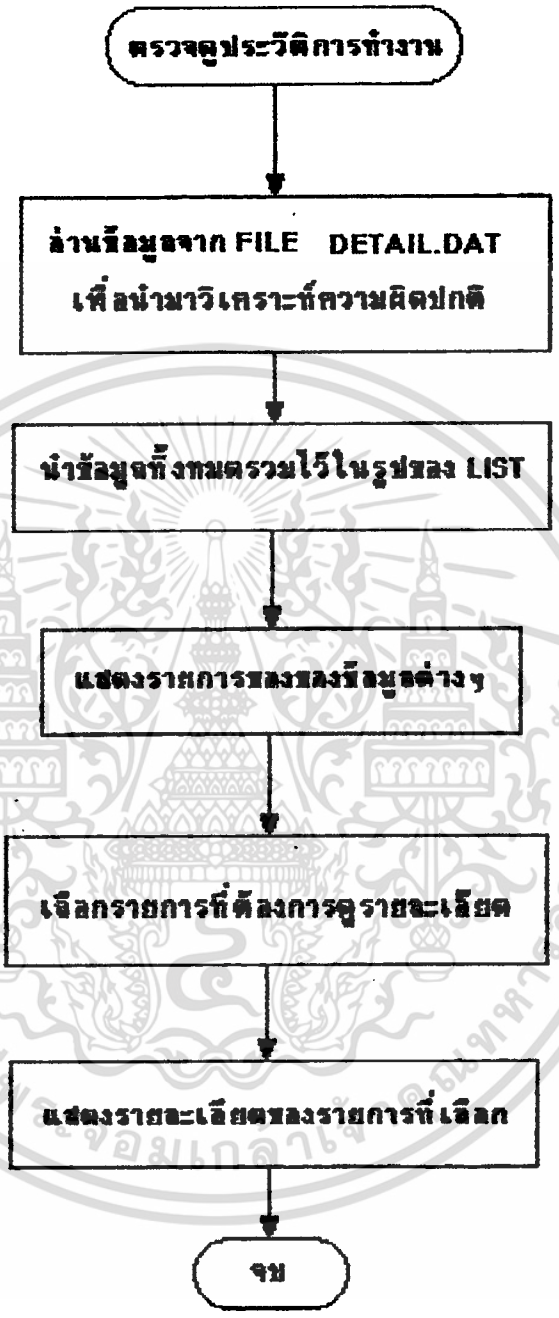
รูปที่ 5-5 flow chart แสดงการแสดงรูป single-line diagram ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



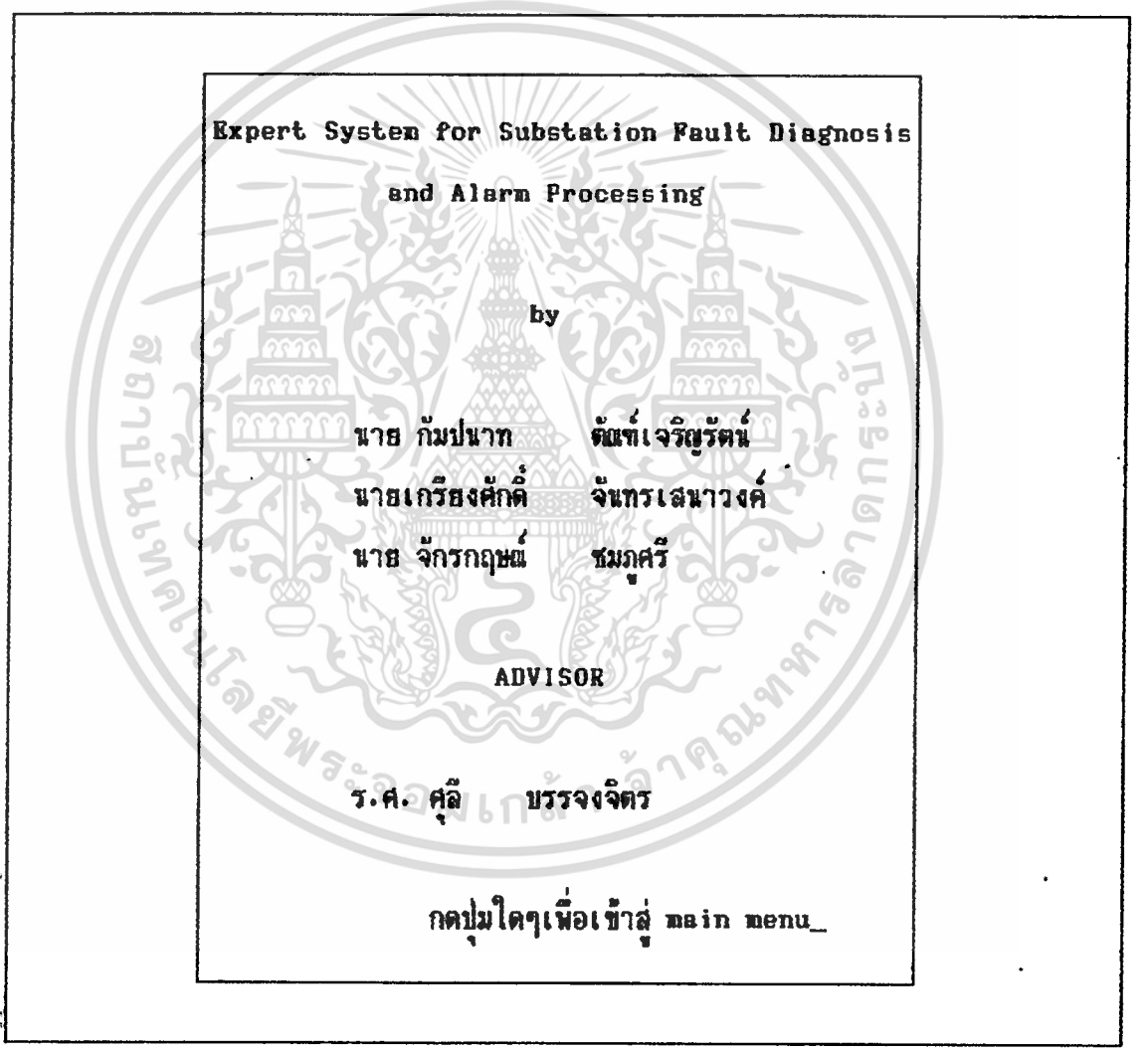
รูปที่ 5-6 flow chart แสดงการเปลี่ยนแปลง single-line diagram ให้แก่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-7 flow chart แสดงการตรวจดูประวัติการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

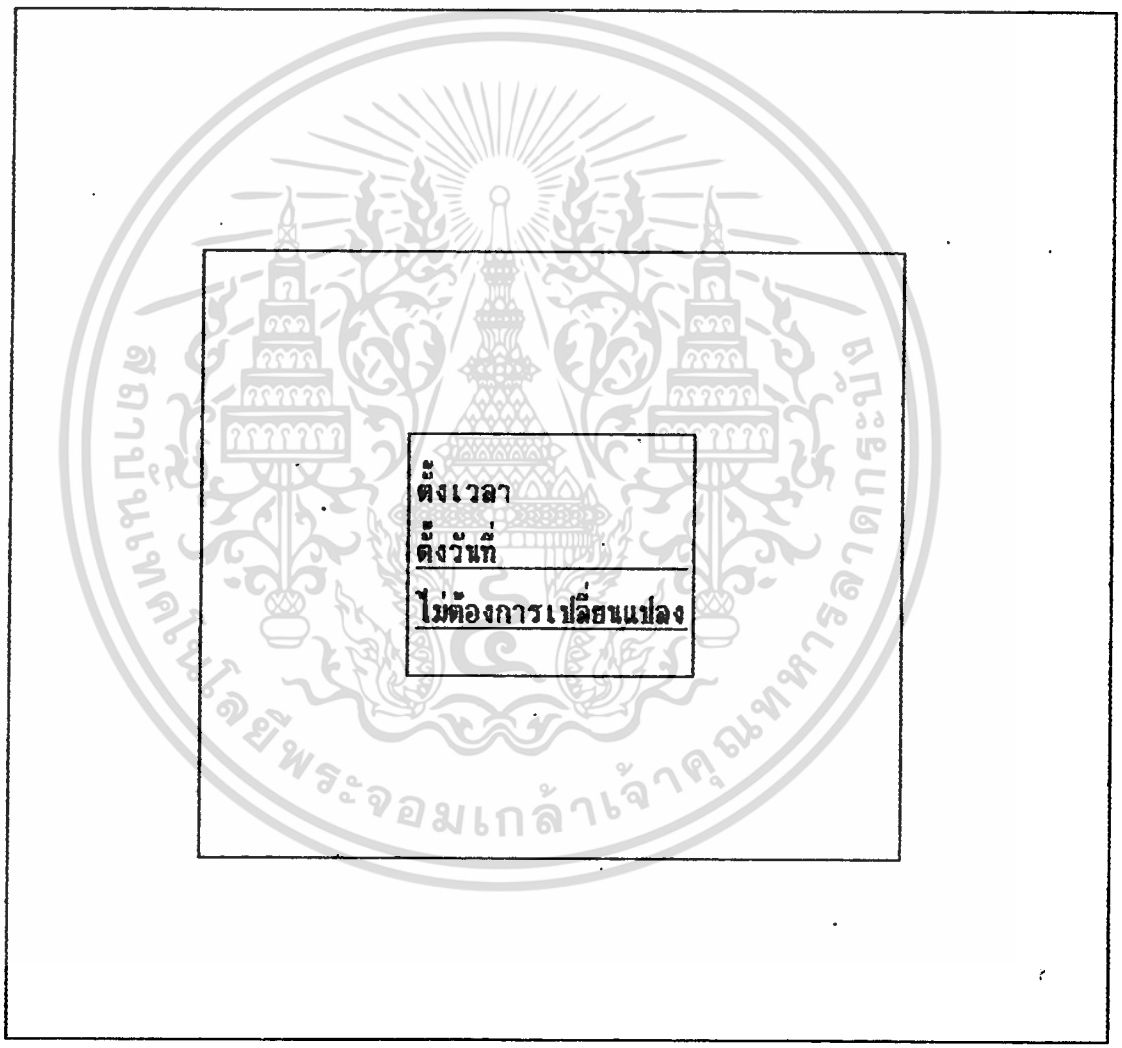


รูปที่ 5-8 ผลการทำงานของโปรแกรมก่อนเข้าสู่ main menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

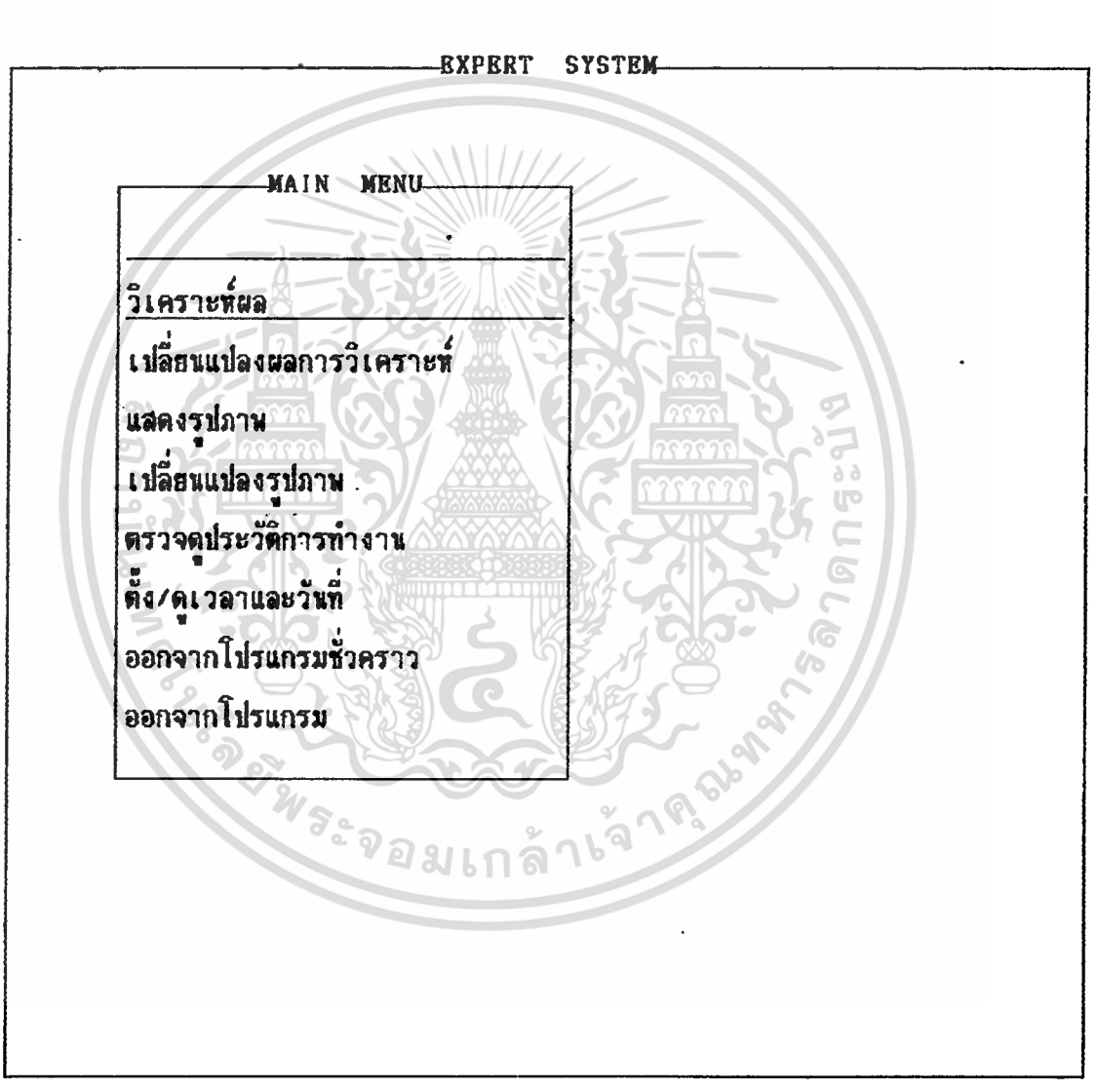
รูปที่ 5-8(ต่อ) ผลการทำงานของโปรแกรมก่อนเข้าสู่ main menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



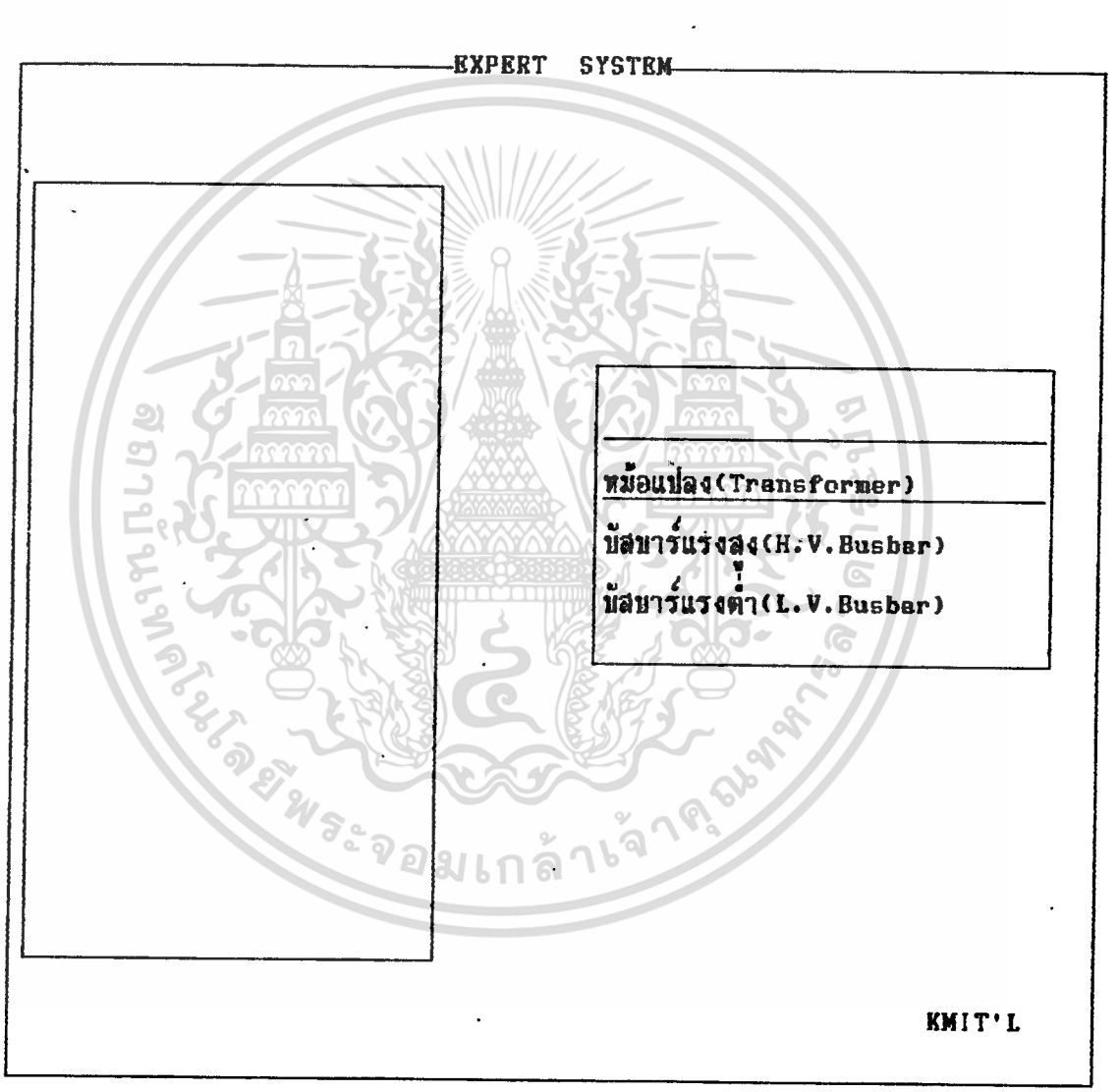
รูปที่ 5-8(ต่อ) ผลการทำงานของโปรแกรมก่อนเข้าสู่ main menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



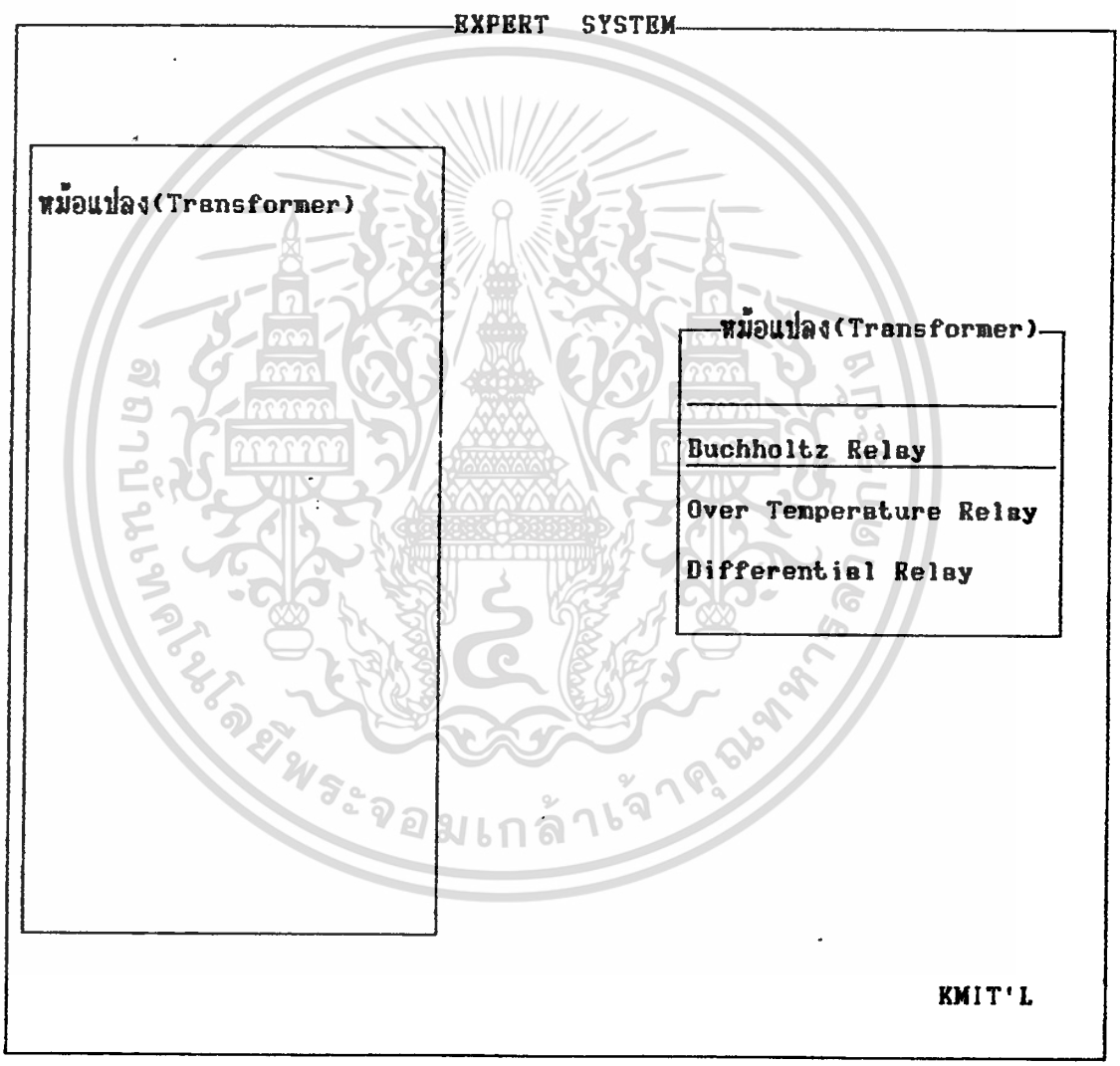
รูปที่ 5-8(ต่อ) ผลการทำงานของโปรแกรมก่อนเข้าสู่ main menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



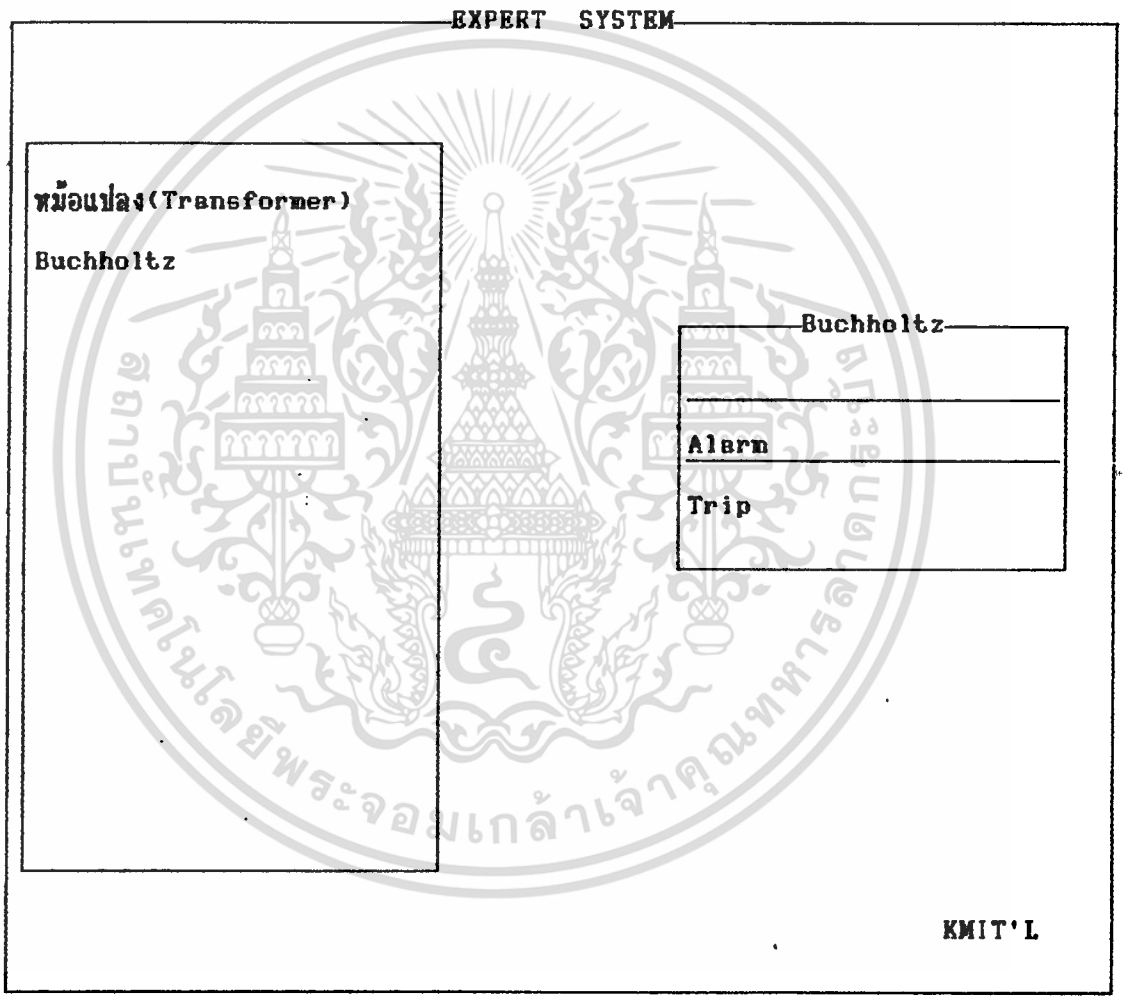
รูปที่ 5-9 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



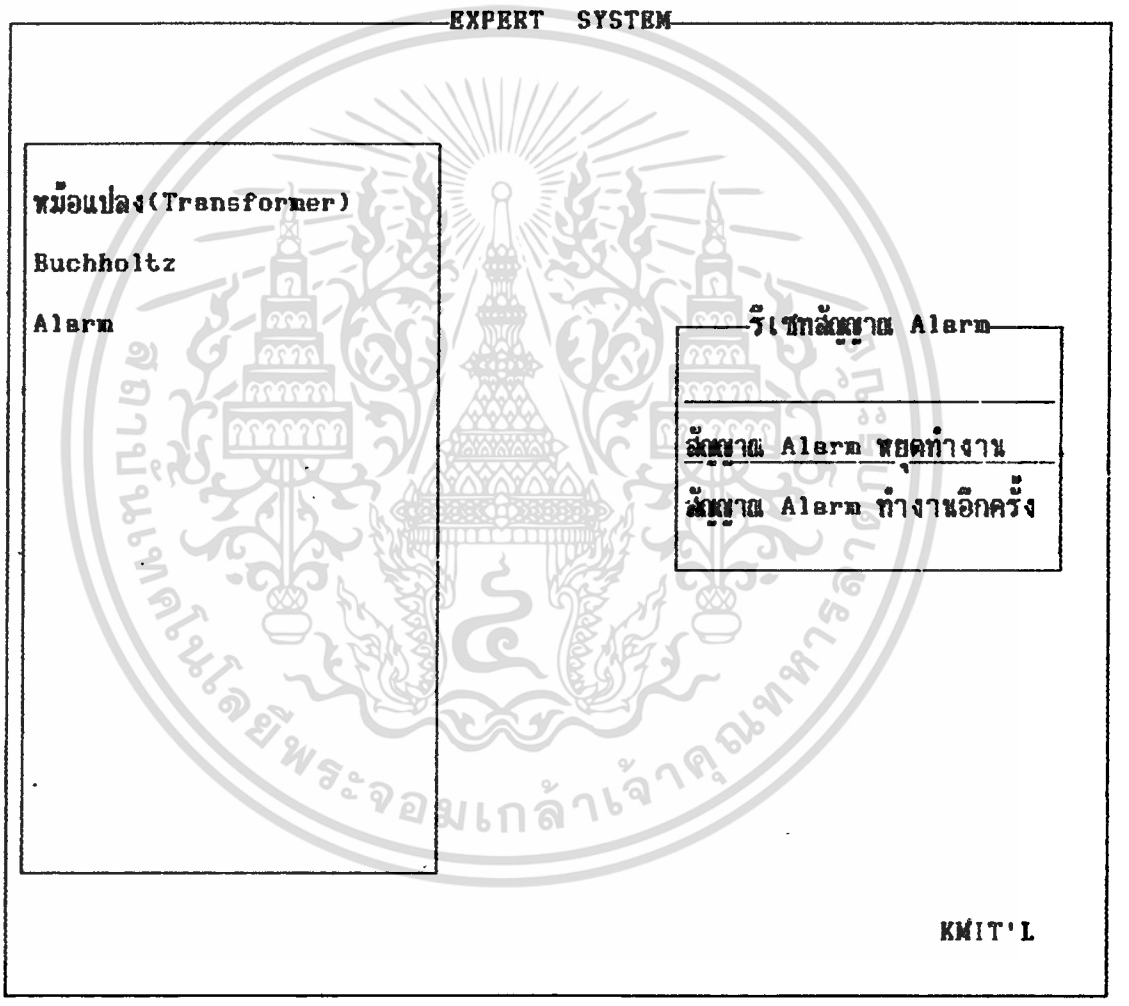
รูปที่ 5-9(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



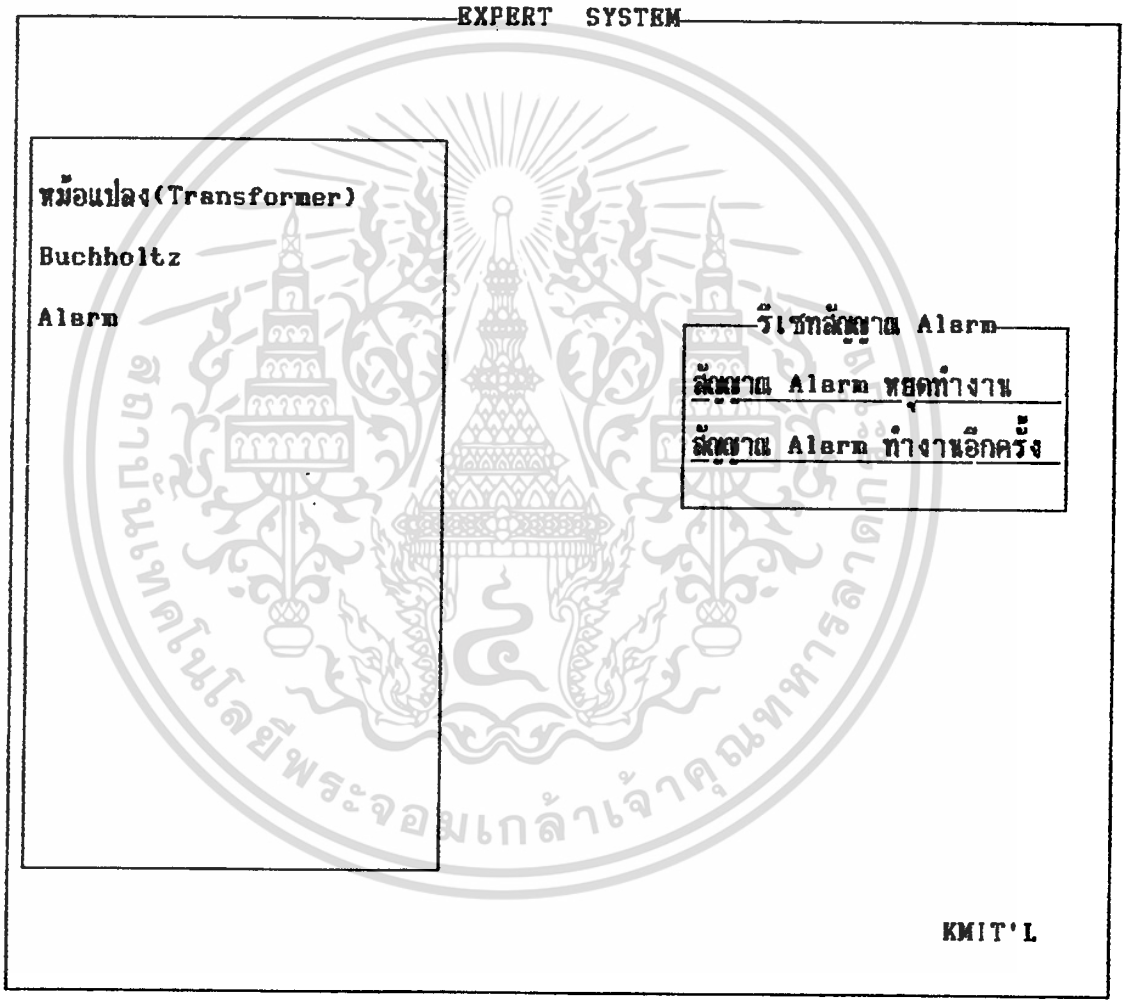
รูปที่ 5-9(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



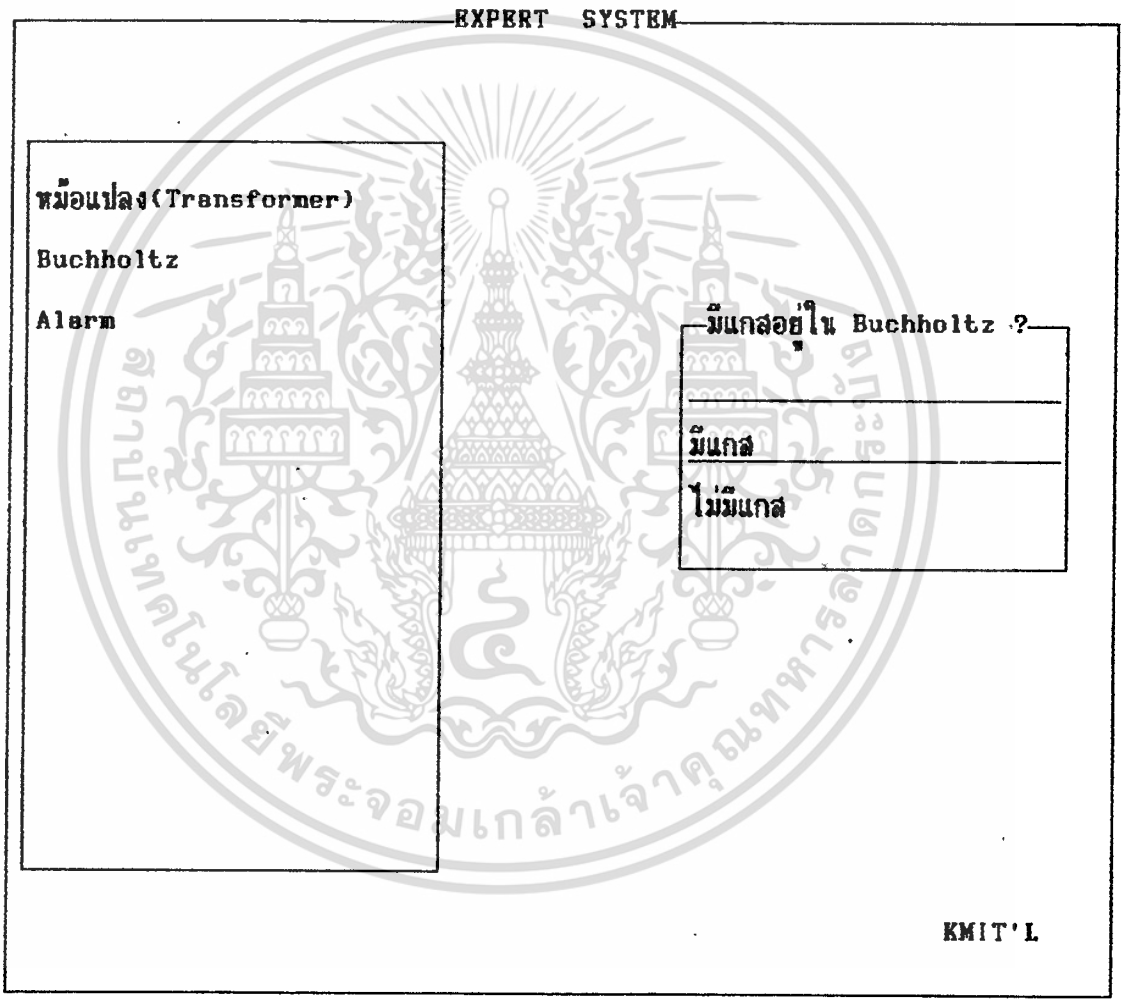
รูปที่ 5-9(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



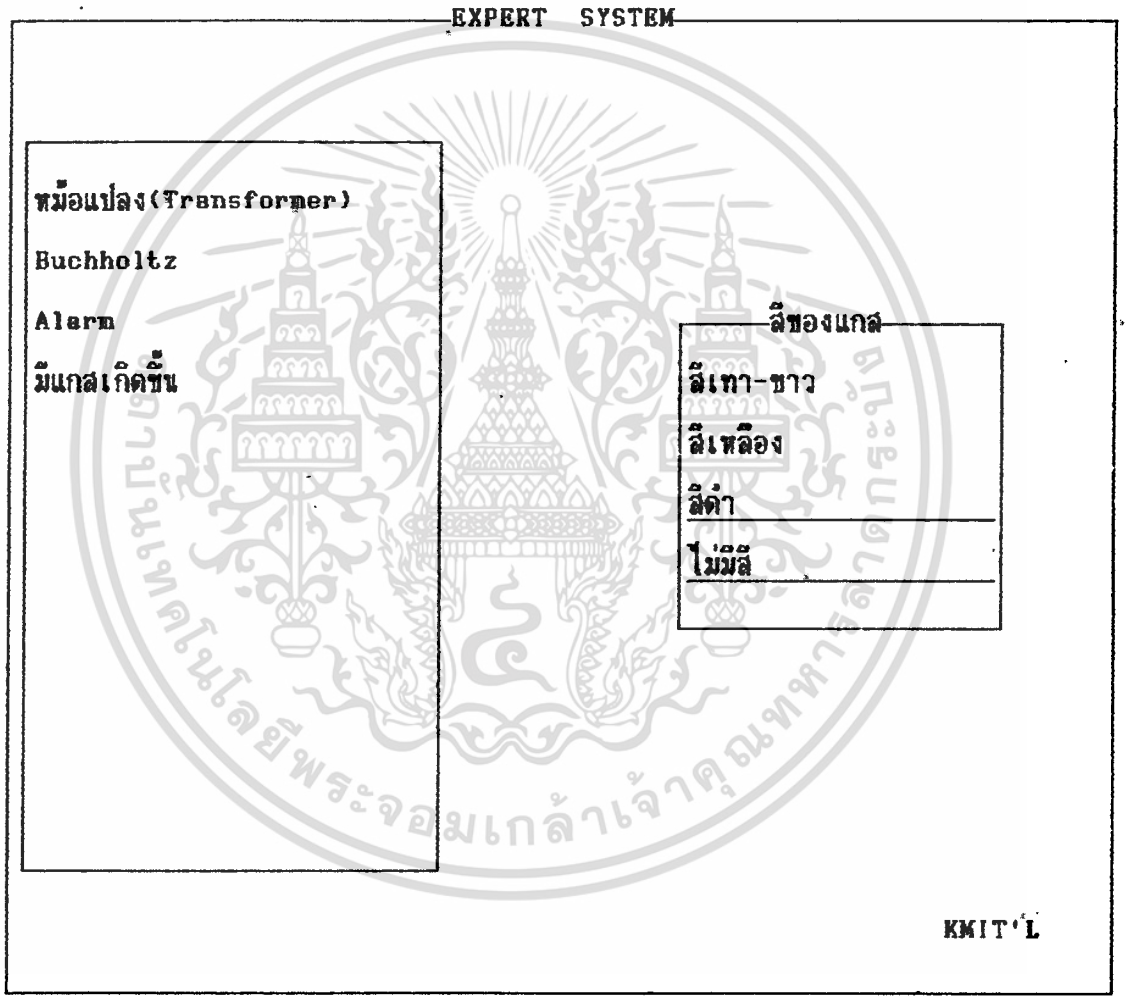
รูปที่ 5-9(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



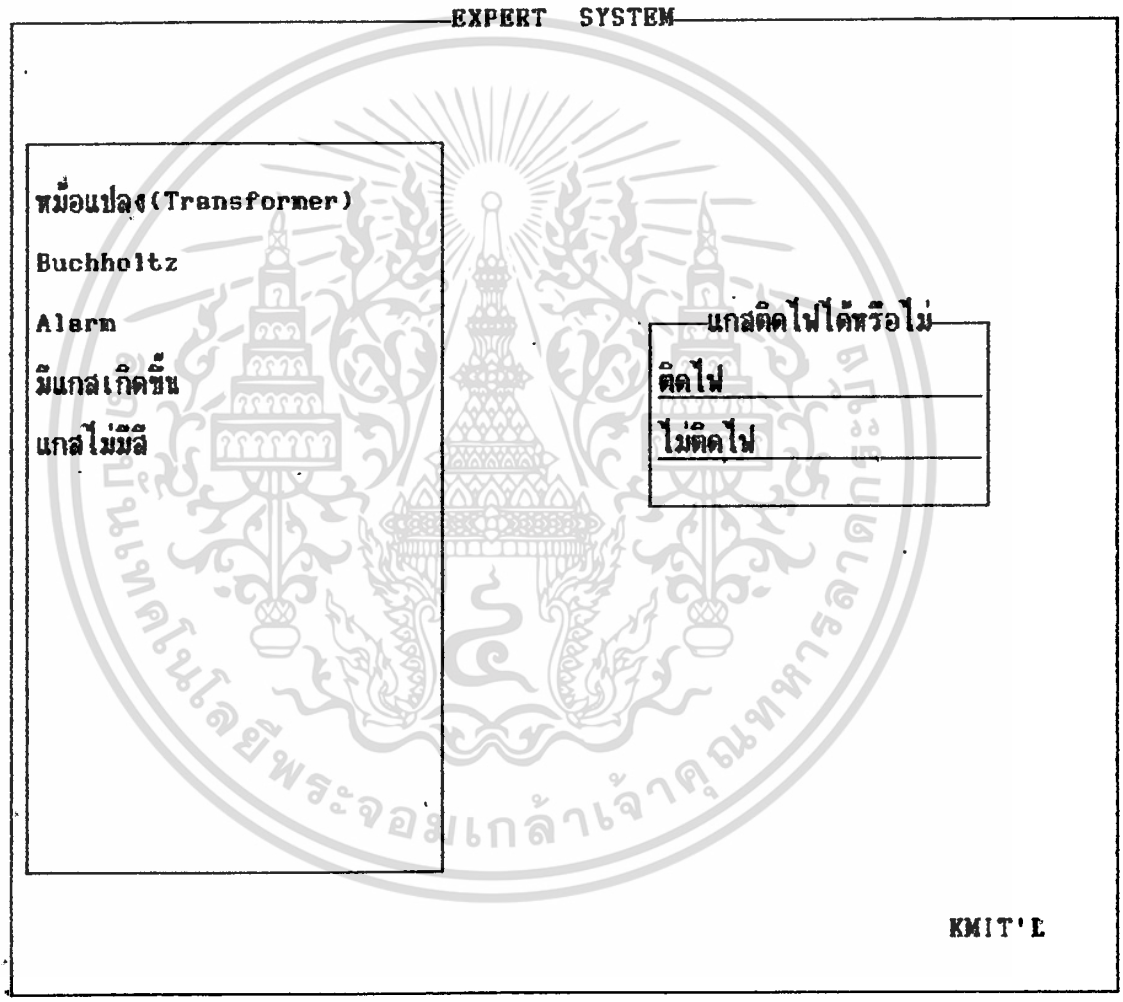
รูปที่ 5-9(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-9(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-9(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

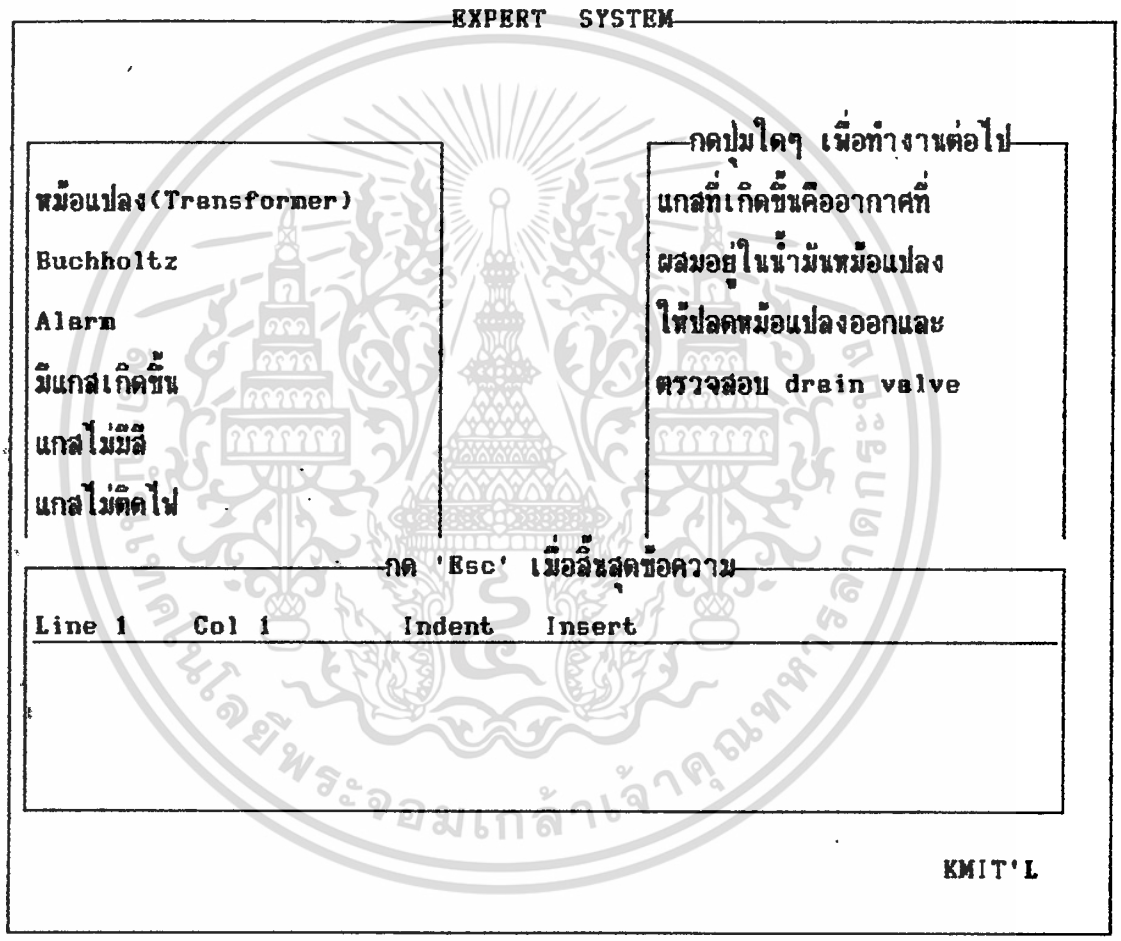
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-9(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

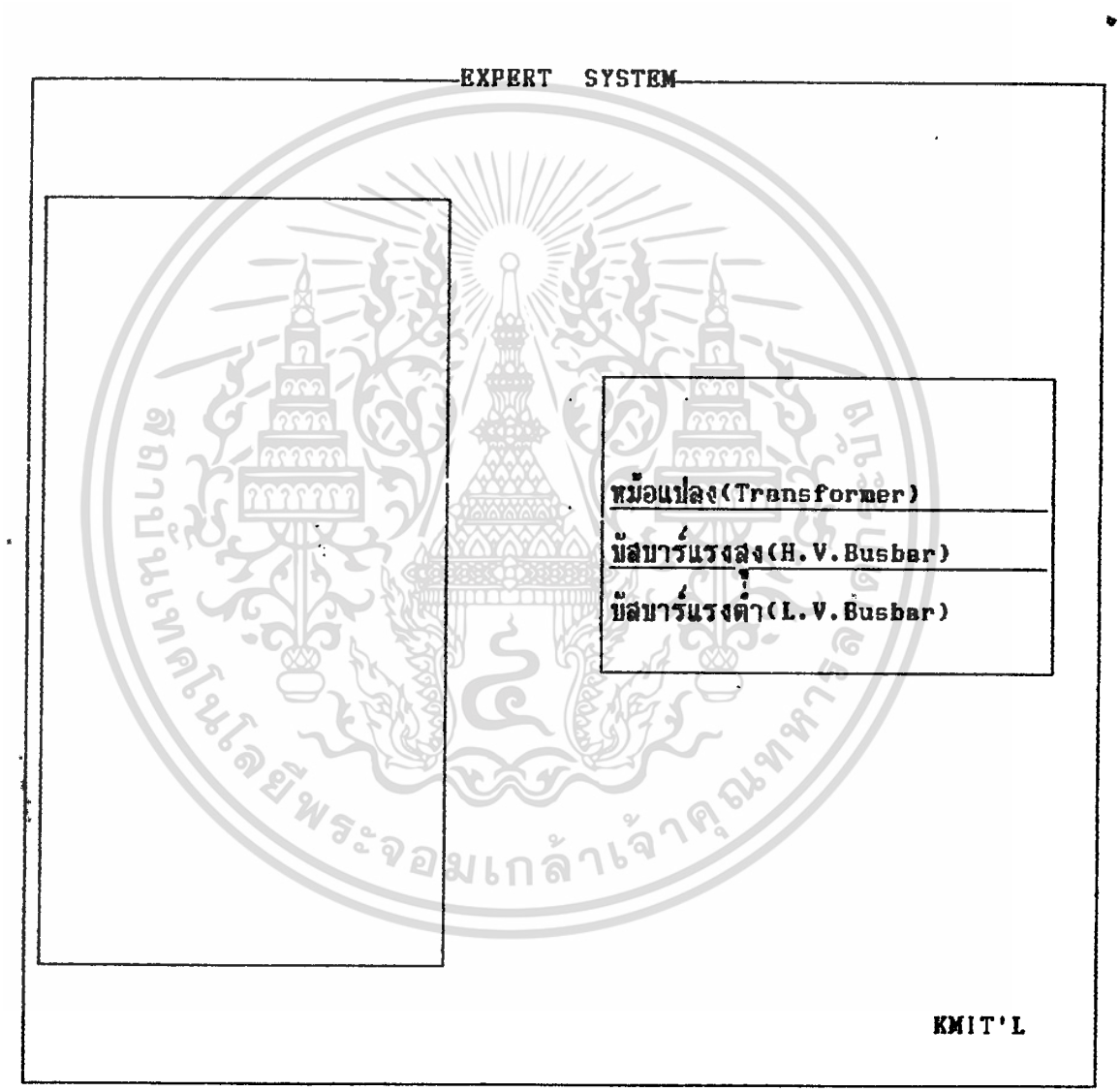
รูปที่ 5-9(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



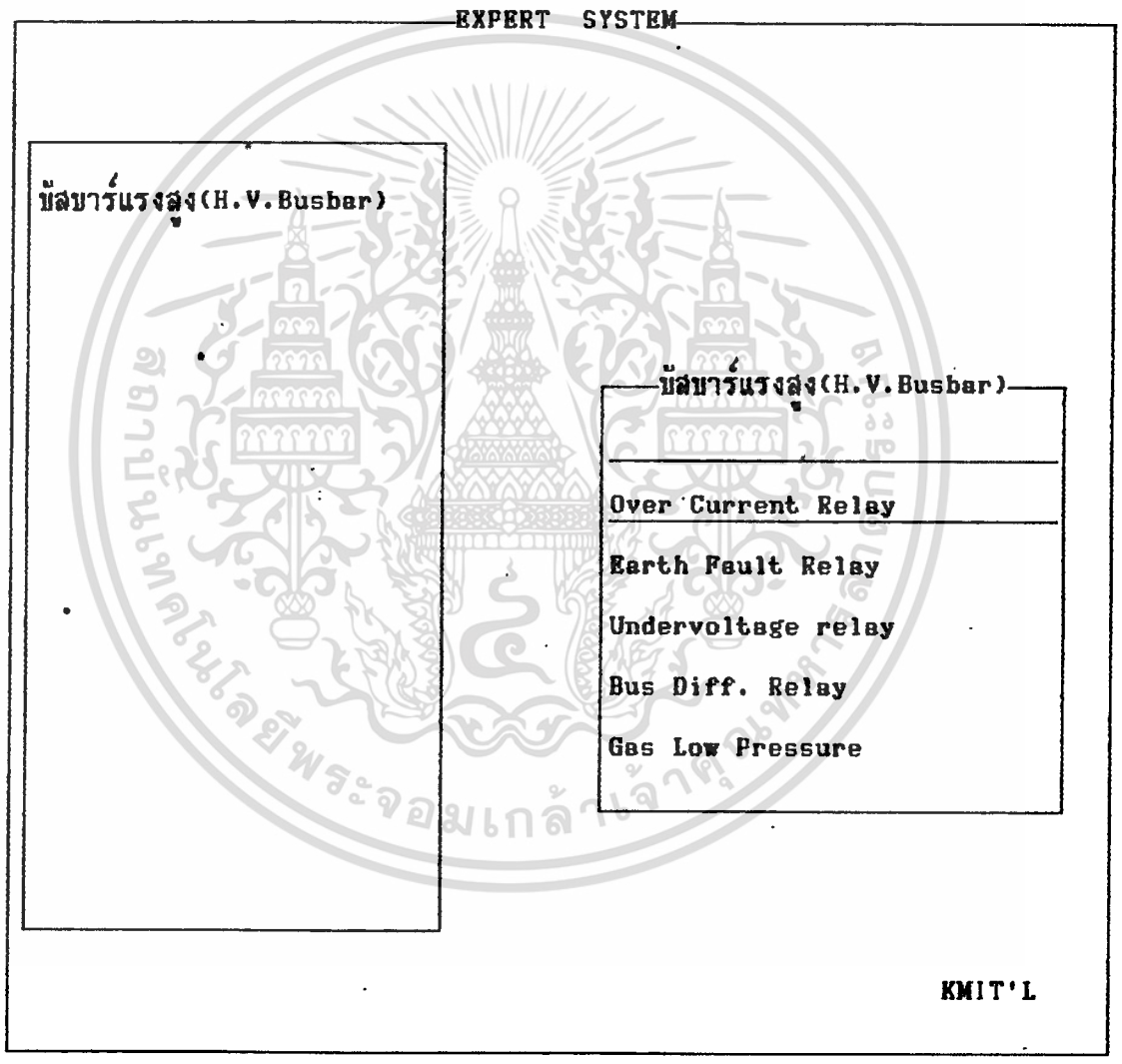
รูปที่ 5-9(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



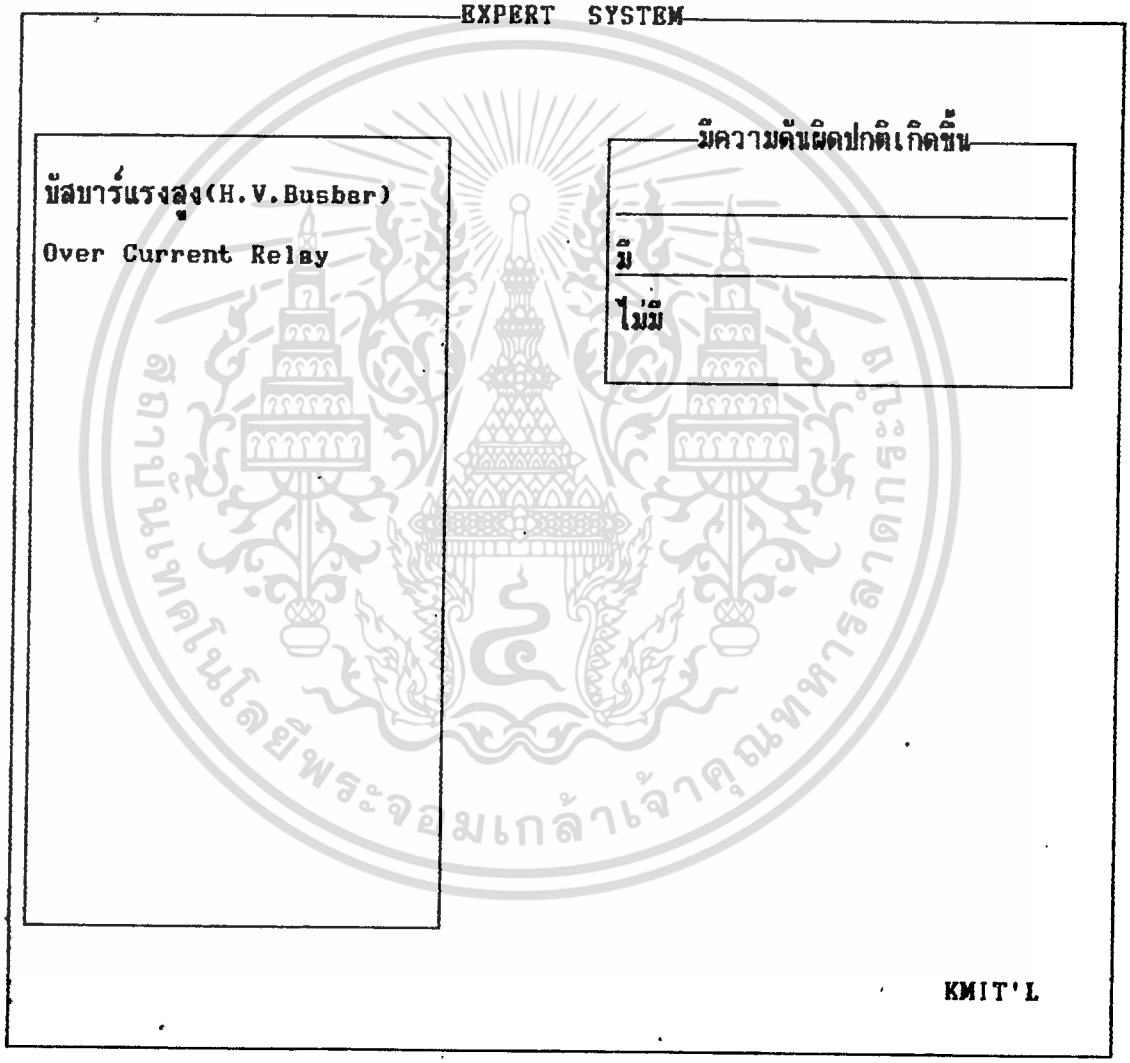
รูปที่ 5-10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



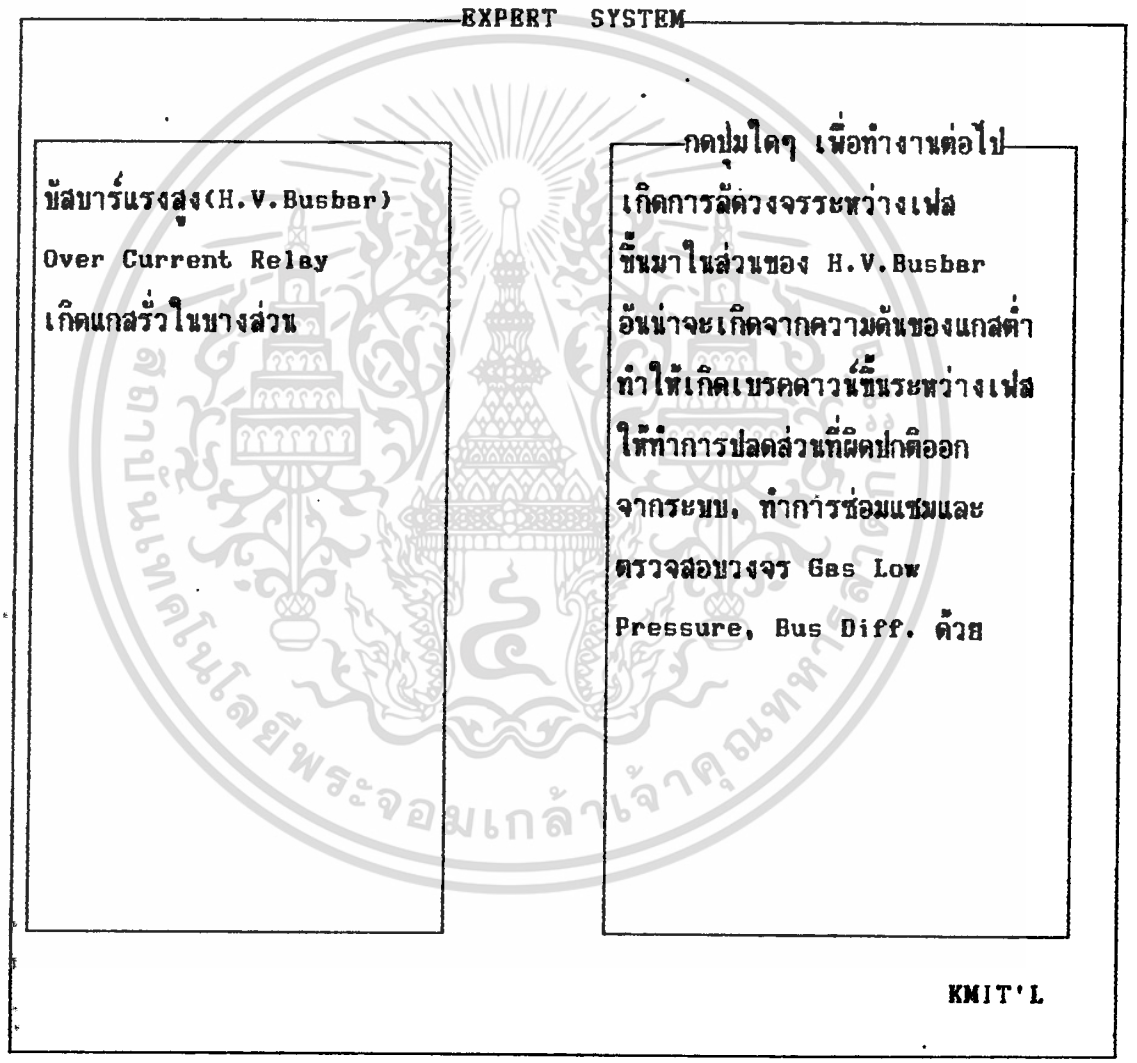
รูปที่ 5-10(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



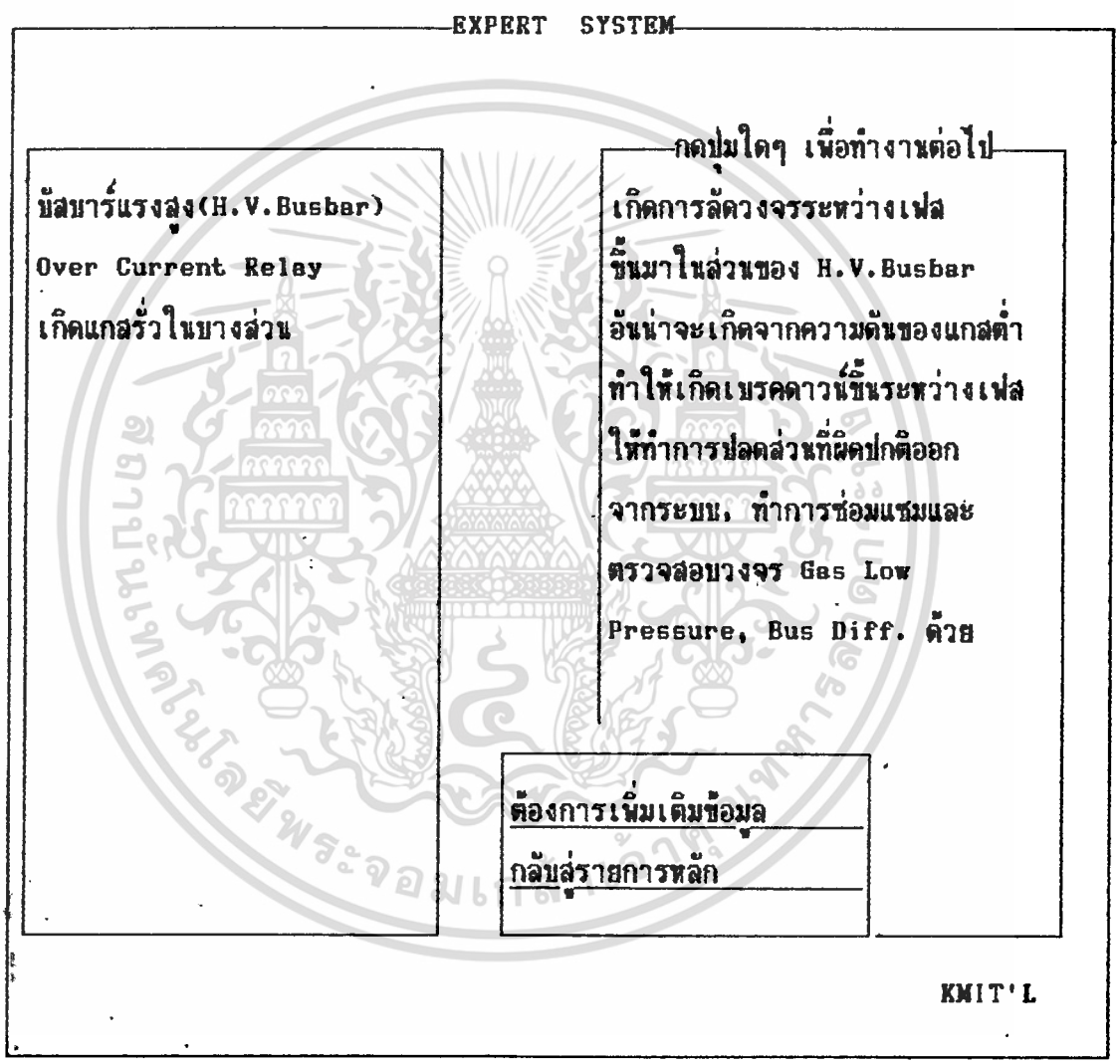
รูปที่ 5-10(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



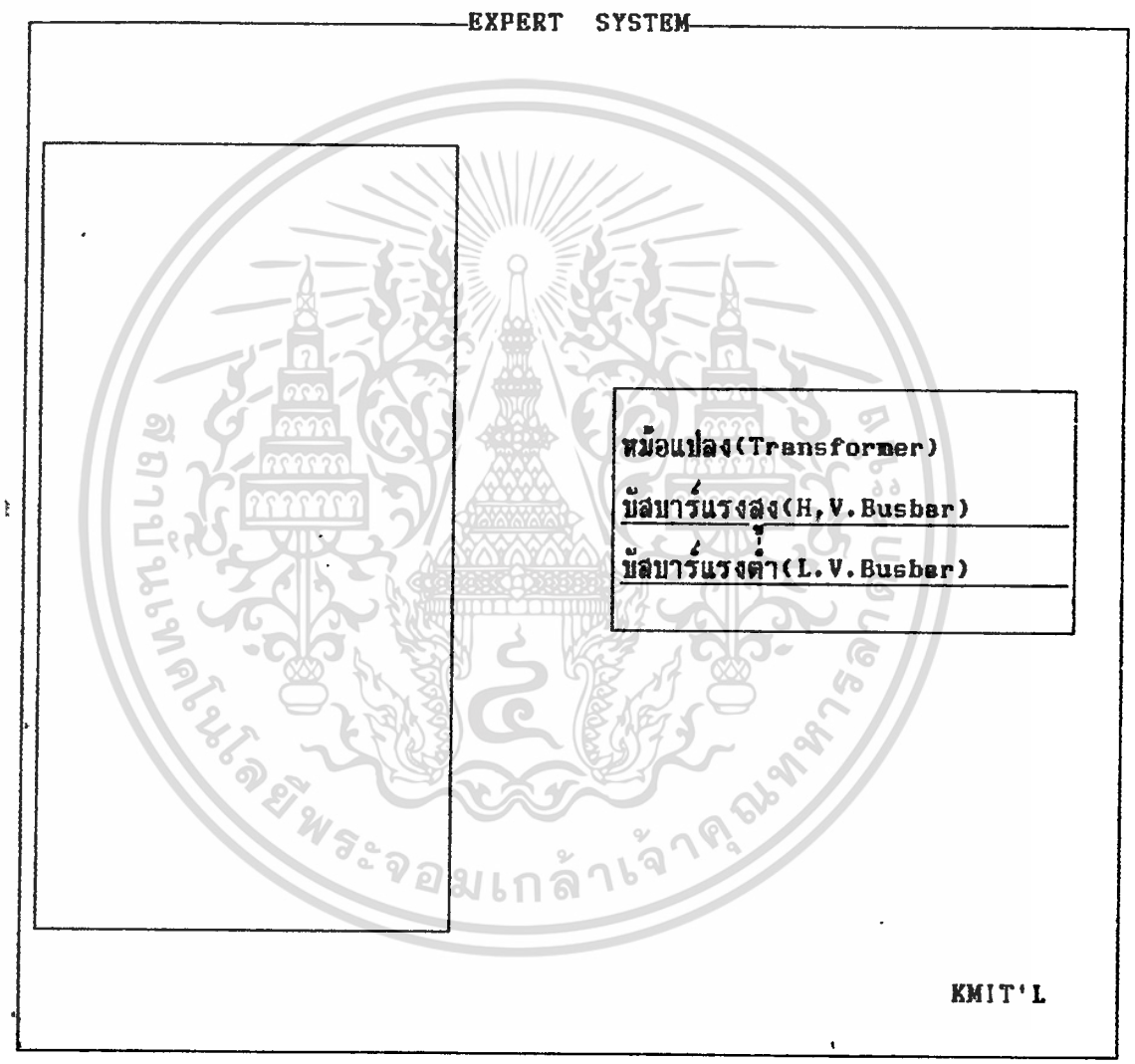
รูปที่ 5-10(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



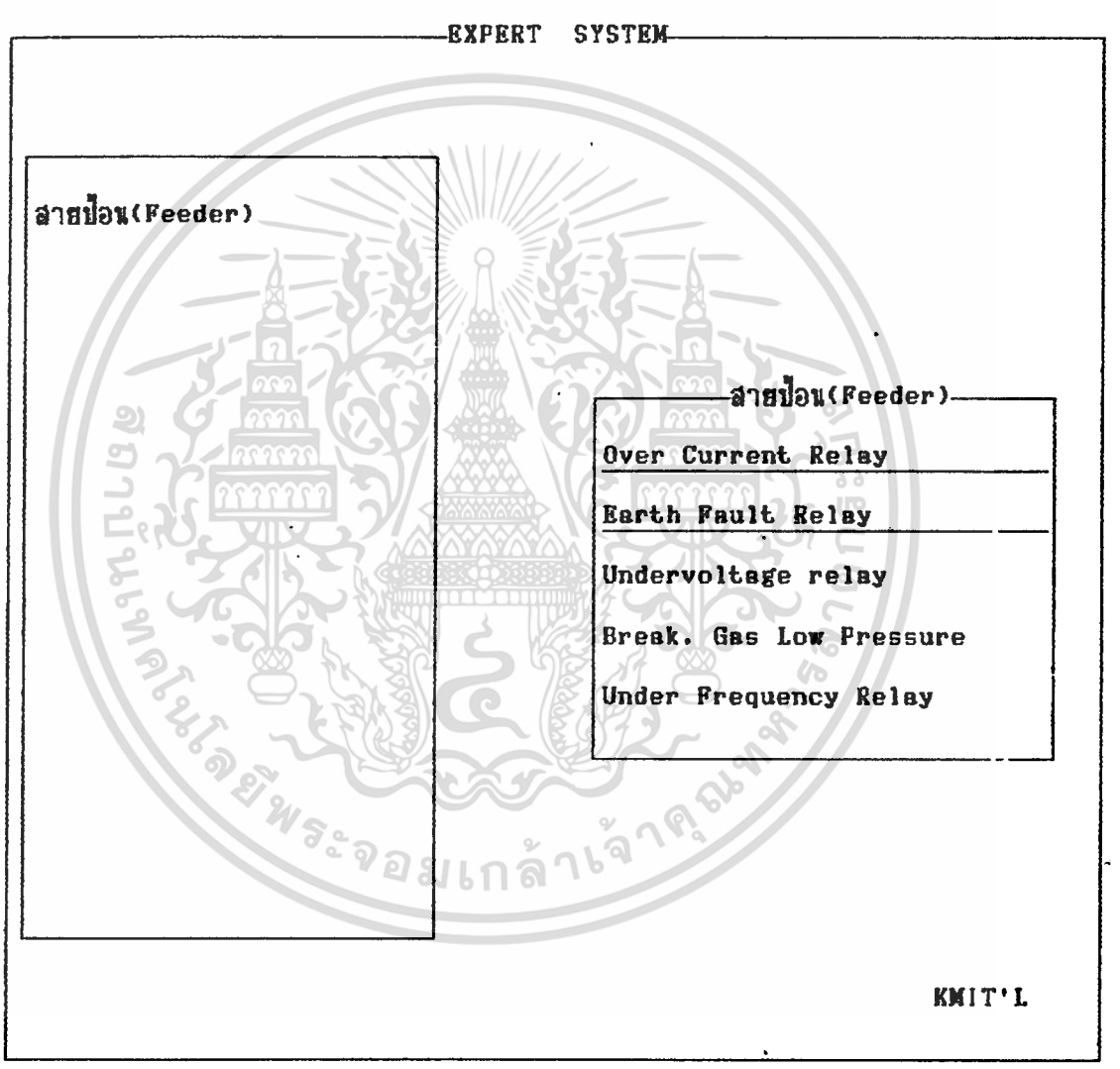
รูปที่ 5-10(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-11 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

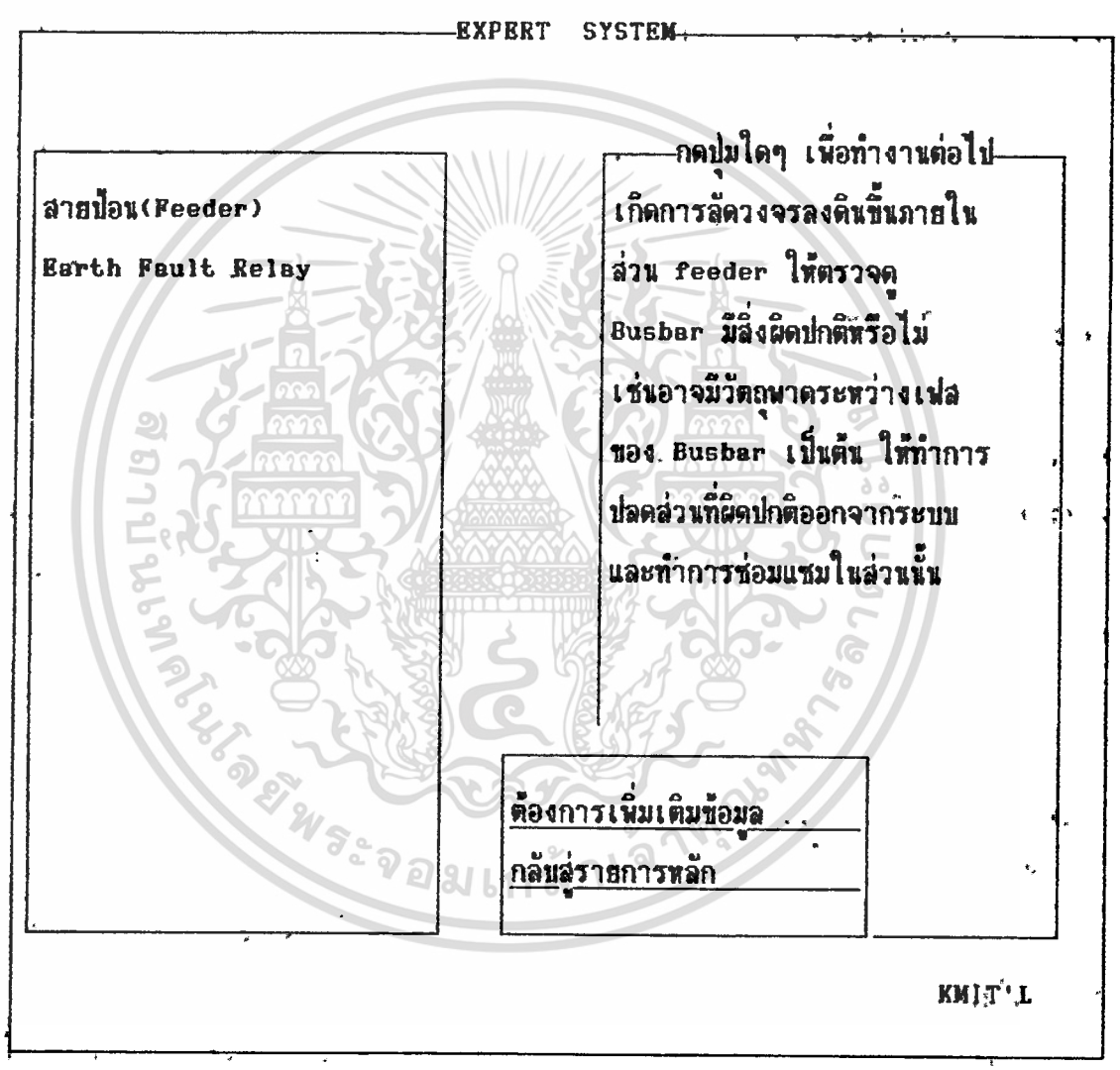


รูปที่ 5-11(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5-11(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-11(ต่อ) ตัวอย่างการวิเคราะห์ความผิดปกติในส่วนของบัสบาร์แรงต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยระบบนี้ ขั้นตอนที่ลำบากที่สุด คือการจำแนกปัญหาเกี่ยวกับลักษณะของความผิดปกติทางไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งหมด และการนำความรู้และประสบการณ์ในการวิเคราะห์ความผิดปกติเหล่านั้นจากผู้เชี่ยวชาญ มาแทนให้อยู่ในรูปแบบที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถนำไปประมวลผลได้ แต่อย่างไรก็ตาม ระบบนี้ก็ยังมีความสามารถในการวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าในขอบเขตของฐานความรู้ที่กำหนดไว้ได้ดีพอสมควร

6.1 การประเมินผลการใช้งานของระบบ

การประเมินผลหลังจากการทดลองใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญระบบนี้ ทำให้มองเห็นประโยชน์ของระบบในหลายด้านด้วยกัน

1) ในด้านประสิทธิภาพ ระบบนี้สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดปกติทางไฟฟ้าได้ภายใต้ขอบเขตของการทำงานของรีเลย์ชนิดต่าง ๆ ในระบบป้องกัน ซึ่งความผิดปกติทางไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจริง ก็จะถูกตรวจจับและป้องกันได้ด้วยรีเลย์เหล่านี้ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าระบบนี้สามารถวิเคราะห์ปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นได้ ในงานป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

2) ในด้านความสะดวกในการใช้งาน นอกจากระบบนี้จะสามารถใช้งานได้ง่ายแม้ว่าผู้ใช้จะไม่ใช่ผู้ที่เชี่ยวชาญในการใช้คอมพิวเตอร์ เนื่องจากโปรแกรมมีการแบ่งออกเป็นเมนูที่ชัดเจน และยังสามารถติดต่อกับผู้ใช้โดยใช้ภาษาไทยอีกด้วย จึงเป็นการพัฒนาที่ตรงกับจุดประสงค์ที่จะมุ่งให้คำแนะนำกับผู้ปฏิบัติการประจำสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

3) ในด้านของการศึกษาระบบผู้เชี่ยวชาญ เป็นการแสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาช่วยในงานวิเคราะห์ความผิดปกติทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย

4) ในด้านการศึกษาเกี่ยวกับระบบป้องกันภัยทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับวิศวกรในสาขาไฟฟ้ากำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบต่อไป

ถึงแม้ระบบผู้เชี่ยวชาญระบบนี้จะสามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่กำหนดไว้เบื้องต้นได้เป็นส่วนใหญ่ แต่ยังมีบางจุดซึ่งเป็นคุณลักษณะของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ยังขาดไป ได้แก่

- ความยืดหยุ่นในการปรับปรุงฐานความรู้ ถึงแม้ระบบจะมีเมนูที่ให้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงข้อความในส่วนของผลการวิเคราะห์ในแต่ละกรณีของปัญหาได้ แต่ผู้ใช้โปรแกรมไม่สามารถที่จะปรับปรุงฐานความรู้ได้ด้วยตนเอง ทำให้การขยายขีดความสามารถของระบบต้องอาศัยผู้พัฒนาระบบผู้เท่านั้น

- ขอบเขตของฐานความรู้ ถึงแม้ระบบผู้เชี่ยวชาญนี้จะมีขอบเขตของฐานความรู้ที่พอจะให้ข้อมูลและคำแนะนำเกี่ยวกับความผิดปกติทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย แก่ผู้ที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญในด้านนี้ได้ แต่ฐานความรู้ที่มีอยู่ก็ยังไม่ครอบคลุมทุกสถานการณ์ของความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้ จึงไม่อาจกล่าวได้ว่า สามารถที่จะนำระบบนี้ไปใช้งานประจำอยู่ในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย (คลองสาน) ได้ในขณะนี้

ในการพัฒนาระบบนี้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจะต้องทำการพัฒนาต่อไปใน 2 ส่วนดังกล่าว สำหรับกรณีแรกผู้พัฒนาระบบจะต้องทำความเข้าใจในหลักการของระบบผู้เชี่ยวชาญให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น และจะต้องค้นหาวิธีการที่จะใช้ภาษาโปรแกรมในการจัดการกับฐานข้อมูลที่มีอยู่ให้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบด้อยลงไป ส่วนในกรณีที่สองผู้พัฒนาระบบจะต้องใช้เวลาให้มากขึ้นในการติดต่อกับผู้เชี่ยวชาญ เพื่อดึงเอาความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญนั้นมาเพิ่มเติมให้กับระบบ จนกว่าระบบจะมีประสิทธิภาพสูงจนเป็นที่ยอมรับจากผู้เชี่ยวชาญว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดี ก็เนื่องด้วยคำชี้แนะของท่าน รศ.ศุลี บรรจงจิตร และต้องขอขอบคุณ คุณสมพงศ์ เปี่ยมการุณวงศ์ พี่ๆ ที่การไฟฟ้านครหลวง ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับระบบการทำงาน,ปัญหา,การแก้ไขและข้อมูลของสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย พี่ๆที่บริษัท ยูต้า อุตสาหกรรม จำกัด ตลอดจนเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำงานและให้คำแนะนำที่ดีตลอดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

สุรศักดิ์ วิริยวานิช, เอกสารประกอบคำบรรยาย Substation Equipment, แผนกอุปกรณ์สถานีย่อย การไฟฟ้านครหลวง, 5 มกราคม 2536.

กองระบบรีเลย์ การไฟฟ้านครหลวง, รีเลย์และระบบป้องกันการจ่ายพลังงานไฟฟ้า, การไฟฟ้านครหลวง.

กองระบบรีเลย์ การไฟฟ้านครหลวง, Automatic Function และรายละเอียดการทำงาน, การไฟฟ้านครหลวง.

สัทธา ถนัดอักษร, SCADA, การไฟฟ้านครหลวง, 15 มิถุนายน 2526.

ศุลี บรรจงจิตร, อุปกรณ์และการติดตั้งในงานระบบไฟฟ้า, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, 2535.

ศิลา ตั้งวาริธร, การใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญควบคุมปฏิบัติการบิน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2532.

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, เทอร์โบโปรล็อกและระบบผู้เชี่ยวชาญ, พิสิกส์เซ็นเตอร์, 2531.

Turbo Prolog, Borland International, Inc., 1986.

Schildt, Herbert, Advanced Turbo Prolog, Borland Osborne/McGraw-Hill, 1987.

C.A. Protopapas, K.P. Psaltiras, A.V. Machais, An Expert System for Substation Fault Diagnosis and Alarm Processing, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.6, NO.2, April 1991.

Robert I.Levine, Diane E.Drang, Barry Edelson, AI and Expert System, McGraw Hill, Inc., 1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้