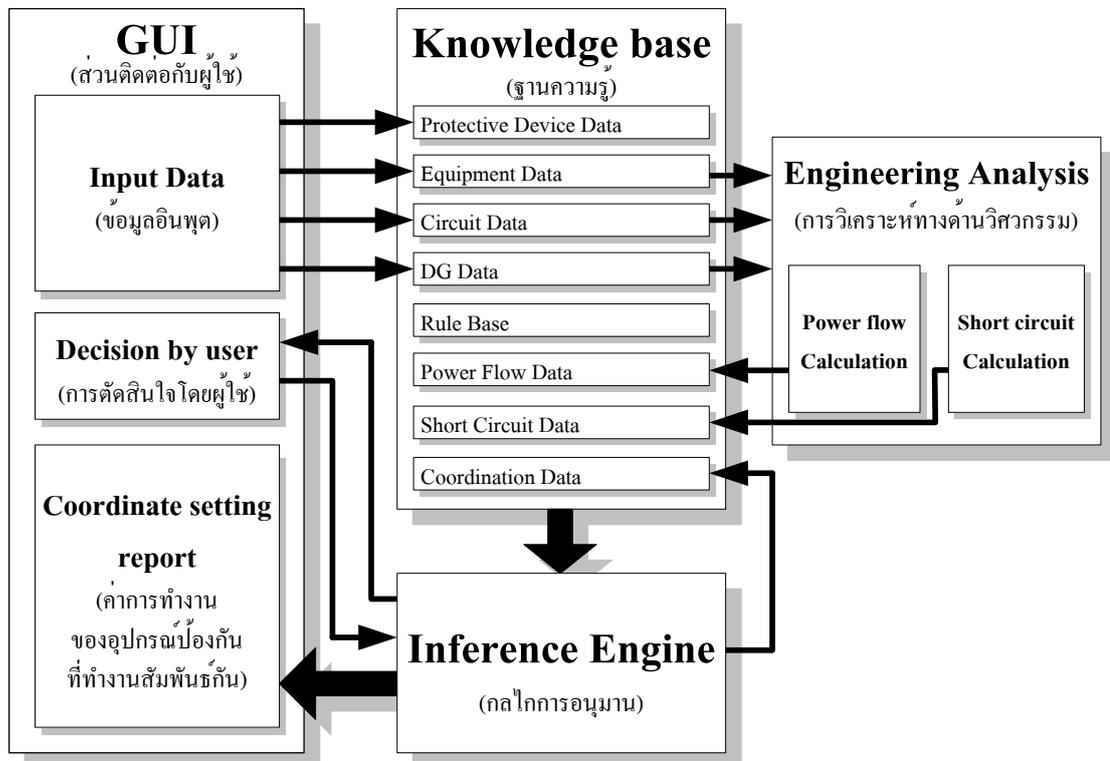


บทที่ 4

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ได้มีผู้ออกแบบโครงสร้างของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันแล้วหลายท่าน [9-10, 26] ซึ่งแต่ละแบบก็มีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน แต่เนื่องจากโครงสร้างดังกล่าวมิได้พิจารณาถึงกรณีที่ต้องการเชื่อมต่อ DG เข้ากับระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบโครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญใหม่ เพื่อให้มีประสิทธิภาพและง่ายต่อการพัฒนา สำหรับโครงสร้างของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้พัฒนาขึ้นนี้เป็นดังหัวข้อ 4.1 โดยโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ ใช้โปรแกรม DELPHI ในการพัฒนา ซึ่งสามารถใช้งานโปรแกรมดังกล่าว ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Window 2000/ XP

4.1 โครงสร้างของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ

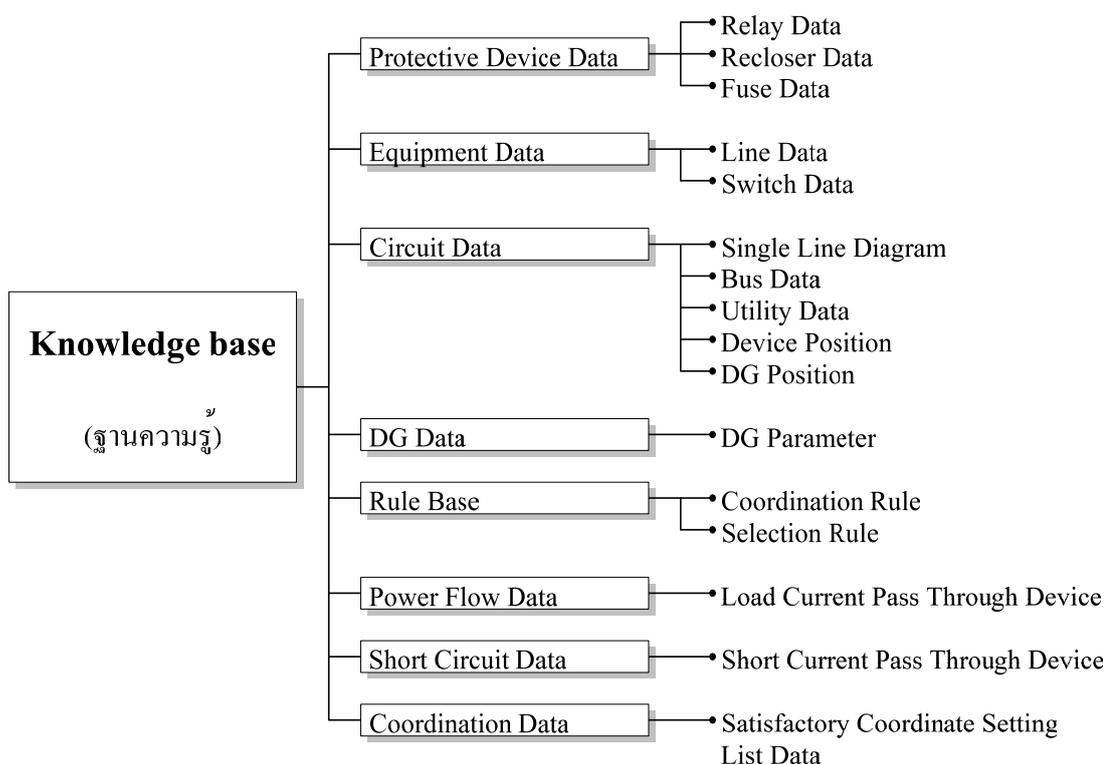


รูป 4.1 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน ในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล ที่มีการเชื่อมต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

จากรูป 4.1 โครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนฐานความรู้ (Knowledge Base), ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม (Engineering Analysis), ส่วนกลไกอนุมาน (Inference Engine), ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (GUI: Graphic user interface) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละส่วนเป็นดังหัวข้อถัดไป

4.2 ส่วนฐานความรู้ (Knowledge Base)

ในส่วนฐานความรู้แบ่งออกเป็นส่วนย่อยต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูป 4.2 โครงสร้างของส่วนฐานความรู้

4.2.1 ข้อมูลอุปกรณ์ป้องกัน (Protective Device Data)

ข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันจะถูกเก็บอยู่ในไฟล์ฐานข้อมูล Microsoft Access ชื่อไฟล์ว่า EsLineco.mdb ซึ่งอยู่ในโฟลเดอร์ Bin ของโฟลเดอร์หลักของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยโปรแกรมจะติดต่อฐานข้อมูลดังกล่าวผ่านทาง ODBC ของ Windows และในฐานข้อมูลดังกล่าวจะประกอบด้วยตารางหลายตาราง ซึ่งมีลักษณะดังรูป 4.3

สำหรับการแก้ไขหรือเพิ่มข้อมูลในส่วนของอุปกรณ์ป้องกันนี้ผู้ใช้สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม Microsoft Access เปิดไฟล์ดังกล่าวแล้วเข้าไปแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูลได้ด้วยตนเอง



รูป 4.3 แสดงข้อมูลตารางในไฟล์ EsLineco.mdb ซึ่งเป็นฐานข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน

สำหรับข้อมูลอุปกรณ์ป้องกัน สามารถแยกออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลของรีเลย์ ซึ่งประกอบด้วย

- ชื่อผู้ผลิต เช่น WESTING HOUSE, GE, SIEMEN เป็นต้น
- ชนิดของเส้นโค้งเวลา – กระแส (TCC: Time Current Curve) ของรีเลย์ ทางด้านเฟส และกราวนด์ เช่น CO-9, CGD11, IEC Very Inverse เป็นต้น
- ค่า Tab Range ทางด้านเฟส และกราวนด์
- ค่า Pickup ทางด้านเฟส และกราวนด์
- ค่า Time Dial ทางด้านเฟส และกราวนด์
- ค่ากระแส Instantaneous และเวลา ทางด้านเฟส และกราวนด์
- ค่า Reset time

สำหรับการจัดเก็บข้อมูลของรีเลย์ในตารางของฐานข้อมูล EsLineco.mdb นั้น มีด้วยกัน 4 ตารางคือ

- ตาราง Relay ซึ่งเป็นตารางที่เก็บข้อมูล Time Dial ของรีเลย์แต่ละชนิด ในกรณีที่รีเลย์สามารถปรับ Time Dial ได้แบบละเอียด เช่นค่า Time Dial Min, Time Dial Max, Time Dial Step เป็นต้น รวมทั้งยังเก็บข้อมูลทั่วไปของรีเลย์อีกด้วย โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูล 1 แถว ต่อรีเลย์ 1 ชนิด ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.4

DevId	DEVICE_NUM	RELAY_CATEGORY_NAME	MANUFACTURER	TIMEDIAL_FORMAT	MIN_TIMEDIAL	MAX_TIMEDIAL	TIMEDIAL_STEP	TYPE
CDG-EI	50/51	OVER-CURRENT	GEC		0	.1	1	.1 CDG
CDG-LT	51	OVER-CURRENT	GEC		0	.1	1	.1 CDG
CDG-NI	50/51	OVER-CURRENT	GEC		0	.1	1	.1 CDG
CDG-NI_ANSI	50/51	OVER-CURRENT	GEC		0	.1	1	.1 CDG
CDG-STNI	50/51	OVER-CURRENT	GEC		0	.1	1	.1 CDG
CDG-VI	50/51	OVER-CURRENT	GEC		0	.1	1	.1 CDG
CO	50/51	OVER-CURRENT	WESTINGHOUSE		0	.5	11	CO
CO-10	50/51	OVER-CURRENT	WESTINGHOUSE		0	.5	11	CO-10
CO-11	50/51	OVER-CURRENT	WESTINGHOUSE		0	.5	11	CO-11
CO-2	50/51	OVER-CURRENT	WESTINGHOUSE		0	.5	11	CO-2
CO-5	50/51	OVER-CURRENT	WESTINGHOUSE		0	.5	11	CO-5
CO-6	50/51	OVER-CURRENT	WESTINGHOUSE		0	.5	11	CO-6

รูป 4.4 ข้อมูลในตาราง Relay ในไฟล์ EsLineco.mdb

- ตาราง Relay_Manufacturers เป็นตารางสำหรับเก็บชื่อของผู้ผลิตรีเลย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.5

MANUFACTURER	NUM
GEC	
WESTINGHOUSE	

รูป 4.5 ข้อมูลในตาราง Relay_Manufacturers ในไฟล์ EsLineco.mdb

- ตาราง RelayCatalog เป็นตารางที่เก็บค่า Pickup ในแต่ละ Tab Range ของรีเลย์แต่ละชนิด โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูล 1 แถว ต่อ 1 Tab Range ของรีเลย์ ซึ่งรีเลย์ 1 ชนิด อาจมีได้หลาย Tab Range ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.6

Devid	Devindex	TAP_RANGE_ID	AVAILABLE_TAP_SETTINGS	MIN_TAP_SET	MAX_TAP_SET	TAP_STEP	INST_RANGE	INST_STEP	SUPERVISING
CO-8	43	R1	0,5,0,6,0,8,1,0,1,5,2,0,2,5				2-8,4-16,10-40		
CO-8	44	R2	2,2,5,3,3,5,4,5,6				2-8,4-16,10-40		
CO-8	45	R3	4,5,6,7,8,10,12				2-8,4-16,10-40		
CO-9	46	R1	0,5,0,6,0,8,1,0,1,5,2,0,2,5				2-8,4-16,10-40		
CO-9	47	R2	2,2,5,3,3,5,4,5,6				2-8,4-16,10-40		
CO-9	48	R3	4,5,6,7,8,10,12				2-8,4-16,10-40		
WHMCO-	329	R1		.5	12	.1	1-20		5
WHMCO-	330	R2		.1	2.4	.1	1-20		5
WHMCO-	331	R1		.5	12	.1	1-20		5
WHMCO-	332	R2		.1	2.4	.1	1-20		5
WHMCO-	333	R1		.5	12	.1	1-20		5
WHMCO-	334	R2		.1	2.4	.1	1-20		5

รูป 4.6 ข้อมูลในตาราง RelayCatalog ในไฟล์ EsLineco.mdb

- ตาราง RelayCurve เป็นตารางที่เก็บค่ากระแส และ เวลา ของ TCC ในแต่ละ Time Dial ของรีเลย์แต่ละชนิด ซึ่งข้อมูลจะแบ่งออกเป็นชุด ไม่มีจำนวนแถวของแต่ละ TCC ที่แน่นอน แต่โดยทั่วไปจะมีข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 30 แถวต่อ TCC 1 เส้น และในกรณีที่รีเลย์สามารถปรับค่า Time Dial แบบละเอียดได้ ก็จะมี TCC เป็นข้อมูลเพียงชุดเดียว ซึ่งในการคำนวณที่ Time Dial ค่าอื่นจะนำข้อมูลชุดดังกล่าว มาคูณกับตัวคูณที่อยู่ในตาราง Relay ที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นแล้วต่อไป ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.7

DevId	Time_Dial	Time	Current
CO-9	2	.285	8.204
CO-9	2	.243	10.173
CO-9	2	.215	12.635
CO-9	2	.194	17.122
CO-9	2	.177	25.987
CO-9	2	.169	35.378
CO-9	2	.165	48.405
CO-9	1	5.238	1.259
CO-9	1	3.525	1.406
CO-9	1	2.509	1.558
CO-9	1	1.889	1.725
CO-9	1	1.44	1.908

รูป 4.7 ข้อมูลในตาราง RelayCurve ในไฟล์ EsLineco.mdb

2) ข้อมูลของรีโคลสเซอร์ ซึ่งประกอบด้วย

- ชื่อผู้ผลิต เช่น COOPER เป็นต้น
- ชนิดของตู้คอนโทรลรีโคลสเซอร์ เช่น Form 3A, 4C, FXB เป็นต้น
- ค่า Trip Coil Rating
- ค่า Curve Group
- ค่า Minimum Trip Current ทางด้านเฟส และกราวนด์
- Time Current Curve ของ Curve แบบเร็ว, ช้า ทางด้านเฟส, กราวนด์
- ค่า Trip operation time ของ Curve แบบเร็ว, ช้า ทางด้านเฟส, กราวนด์
- ค่า Minimum response time ของ Curve แบบเร็ว, ช้า ทางด้านเฟส, กราวนด์
- ค่า Time Adder ของ Curve แบบเร็ว, ช้า ทางด้านเฟส, กราวนด์
- ค่า High Current และ Trip time delay ของ Curve แบบเร็ว, ช้า ทางด้านเฟส และกราวนด์
- ค่า Reset time และ ค่า Re-closing time

สำหรับการจัดเก็บข้อมูลของรีโคลสเซอร์ในตารางของฐานข้อมูล

EsLineco.mdb นั้น มีด้วยกัน 5 ตารางคือ

- ตาราง RecloserMfrspecs ซึ่งเป็นตารางที่เก็บข้อมูล Time Multiplier ทางด้าน เฟสและกราวนด์ ของรีโคลสเซอร์แต่ละชนิด รวมทั้งข้อมูลทั่วไปของรีโคลสเซอร์ โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูล 1 แถว ต่อรีโคลสเซอร์ 1 ชนิด ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.8

DEVID	MANID	REC_TYPE	P_TIME_MULTIPLIER	G_TIME_MULTIPLIER	NOM_VOLT	CON_TYPE
CME-FORM3	CME	Form 2,3,3A Control	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10		Electronic
CME-FORM4	CME	Form 4A,4C,5,5/TS,6,FX,FXA,FXB Control	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10		Electronic

รูป 4.8 ข้อมูลในตาราง RecloserMfrspecs ในไฟล์ EsLineco.mdb

- ตาราง Recloser_Manufacturers เป็นตารางสำหรับเก็บชื่อของผู้ผลิต รีโคลสเซอร์ทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.9

MANID	MANUFACTURER
CME	COOPER/MCGRAW

รูป 4.9 ข้อมูลในตาราง Recloser_Manufacturers ในไฟล์ EsLineco.mdb

- ตาราง RecloserGroupCurve เป็นตารางที่เก็บรายการของชื่อ TCC ของ รีโคลสเซอร์ แต่ละกลุ่ม ของรีโคลสเซอร์แต่ละชนิด เนื่องจากในทางปฏิบัติ แม้ว่ารีโคลสเซอร์จะมี TCC มากมาย แต่การตั้งค่า TCC ของรีโคลสเซอร์จริง จะเลือก TCC ได้แต่เฉพาะที่มีอยู่ใน Curve Group ของตนเท่านั้น โดยการ เก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูล 1 แถว ต่อ 1 Curve Group ของรีโคลสเซอร์ ซึ่ง รีโคลสเซอร์ 1 ชนิด อาจมีได้หลาย Curve Group ซึ่งมีลักษณะดังรูป 4.10

DEVID	GROUP_NAME	PHASE_FAST_LIST	PHASE_SLOW_LIST	GROUND_FAST_LIST	GROUND_SLOW_LIST
CME-FORM4	GROUP 1	101	105,117,133,116,132,104,162,138	102	111,135,140,142,165,106,141,131,114,
CME-FORM4	GROUP 2	101	105,117,133,116,132,104,138,164,118,161,163,107	102	111,135,140,106,113,152,112
CME-FORM4	GROUP 3	101	105,117,133,116,132,104,115,121,122,137,134,120	102	111,135,140,106,103,151,139
CME-FORM4	GROUP 4	101	105,117,133,116,132,104,200,201,202	102	111,135,140,106,141,131,114,136,119
CME-FORM3	MEA216	1	2,3,4,5,6,7,8,9,11,13,14,15,16,17,18,KG	1	2,3,4,5,6,7,8,9,11,13,14,15,16,17,18,KC
CME-FORM3	MEA217	A	B,C,D,E,F,G,H,J,K,L,M,N,P,R,T,V,W,Y,Z	A	B,C,D,E,F,G,H,J,K,L,M,N,P,R,T,V,W,Y
CME-FORM3	Ph_MEA217-Gn	A	B,C,D,E,F,G,H,J,K,L,M,N,P,R,T,V,W,Y,Z	1	2,3,4,5,6,7,8,9,11,13,14,15,16,17,18,KC

รูป 4.10 ข้อมูลในตาราง RecloserGroupCurve ในไฟล์ EsLineco.mdb

- ตาราง RecloserRating เป็นตารางที่เก็บค่า Minimum Trip Current ทั้ง ทางด้านเฟสและกราวด์ในแต่ละ Trip Coil Rating ของรีโคลสเซอร์แต่ละ ชนิด โดยการเก็บข้อมูล จะเก็บข้อมูล 1 แถว ต่อ 1 Trip Coil Rating ของ รีโคลสเซอร์ ซึ่งรีโคลสเซอร์ 1 ชนิด อาจมีได้หลาย Trip Coil Rating ซึ่งมี ลักษณะของตารางดังรูป 4.11

DEVID	TRIP_COIL_RATING	P_MIN_TRIP_TAP_LIST	P_MIN_TRIP_TAP_MIN	P_MIN_TRIP_TAP_MAX	P_MIN_TRIP_TAP_STEP	G_MIN_TRIP_TAP_LIST	G_MIN
CME-FORM3	Normal	25,35,50,70,100,120,140				25,35,50,70,100,120,140	
CME-FORM3	Xtra	25,35,50,70,100,120,140				25,35,50,70,100,120,140	
CME-FORM4	Normal		30	560	10		
CME-FORM4	VeryXtra		100	2240	10		
CME-FORM4	Xtra		50	1120	10		
*			0	0	0		

รูป 4.11 ข้อมูลในตาราง RecloserRating ในไฟล์ EsLineco.mdb

- ตาราง RecloserTCCCurve เป็นตารางที่เก็บค่ากระแส และ เวลา ของแต่ละ TCC ของรีโคลสเซอร์แต่ละชนิด ซึ่งข้อมูลจะแบ่งออกเป็นชุด ไม่มีจำนวนแถวของแต่ละ TCC ที่แน่นอน แต่โดยทั่วไปจะมีข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 20 แถวต่อ TCC 1 เส้น ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.12

CURVE_PTR	CURVE_SET_I	X	Y
FORM4	102	98	.339
FORM4	102	117	.16
FORM4	102	139	.091
FORM4	102	159	.051
FORM4	102	180	.036
FORM4	102	202	.027
FORM4	102	235	.023
FORM4	102	302	.019
FORM4	102	358	.017
FORM4	102	434	.016
FORM4	102	575	.016

รูป 4.12 ข้อมูลในตาราง RecloserTCCCurve ในไฟล์ EsLineco.mdb

- 3) ข้อมูลของฟิวส์ ซึ่งประกอบด้วย
- ชื่อผู้ผลิต เช่น CHANCE เป็นต้น
 - ชนิดของฟิวส์ เช่น ชนิด K (ขาดเร็ว) เป็นต้น

สำหรับการจัดเก็บข้อมูลของฟิวส์ในตารางของฐานข้อมูล EsLineco.mdb นั้น มีด้วยกัน 4 ตารางคือ

- ตาราง Fuse ซึ่งเป็นตารางที่เก็บข้อมูลทั่วไปของฟิวส์ โดยการเก็บข้อมูล จะเก็บข้อมูล 1 แถว ต่อฟิวส์ 1 ชนิด ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.13

DevId	MANUFACTURER	NOMINAL_RATING
M100KA	CHANCE	100K
M10KA	CHANCE	10K
M12KA	CHANCE	12K
M140KA	CHANCE	140K
M15KA	CHANCE	15K
M20KA	CHANCE	20K
M25KA	CHANCE	25K
M30KA	CHANCE	30K
M40KA	CHANCE	40K
M50KA	CHANCE	50K
M65KA	CHANCE	65K
M8KA	CHANCE	8K

รูป 4.13 ข้อมูลในตาราง Fuse ในไฟล์ EsLineco.mdb

- ตาราง Fuse_Manufacturers เป็นตารางสำหรับเก็บชื่อของผู้ผลิตฟิวส์ทั้งหมดที่มีอยู่ในฐานข้อมูล ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.14

MANUFACTURER
CHANCE

รูป 4.14 ข้อมูลในตาราง Fuse_Manufacturers ในไฟล์ EsLineco.mdb

- ตาราง FuseCatalog เป็นตารางที่เก็บค่าขนาดกระแสไหลดที่ฟิวส์รองรับการทำงานได้ตามปกติของฟิวส์แต่ละชนิด โดยการเก็บข้อมูลจะเก็บข้อมูล 1 แถวต่อ ฟิวส์ 1 ชนิด ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.15

DevId	MODEL	SPEED_CHARACTERISTIC	SYM_AMPERS
M6KA	TYPE Kaa	FAST	6
M8KA	TYPE Kwe	FAST	8
M10KA	TYPE Kw	FAST	10
M12KA	TYPE Ke	FAST	12
M15KA	TYPE K1	FAST	15
M20KA	TYPE K2	FAST	20
M25KA	TYPE K3	FAST	25
M30KA	TYPE K4	FAST	30
M40KA	TYPE K5	FAST	40
M50KA	TYPE K6	FAST	50
M65KA	TYPE K7	FAST	65
M80KA	TYPE K8	FAST	80

รูป 4.15 ข้อมูลในตาราง FuseCatalog ในไฟล์ EsLineco.mdb

- ตาราง FuseCurve เป็นตารางที่เก็บค่ากระแส และ เวลา ของ TCC ที่เป็นเส้นโค้งเส้นเวลาต่ำสุดเริ่มหลอมละลาย (Minimum melting time curve) และเส้นโค้งเวลารวมตัดวงจร (Total clearing time curve) และ ของฟิวส์

แต่ละชนิด ซึ่งข้อมูลจะแบ่งออกเป็นชุด ไม่มีจำนวนแถวของ แต่ละ TCC ที่แน่นอน แต่โดยทั่วไปจะมีข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 35 แถวต่อ TCC 1 เส้น ซึ่งมีลักษณะของตารางดังรูป 4.16

DevId	CurveType	Time	Current
M100KA	MM	.02853	2744.895
M100KA	MM	.02104	3166.332
M100KA	MM	.01692	3449.125
M100KA	MM	.01529	3705.273
M100KA	MM	.01422	3867.809
M100KA	MC	295.9737	239.6756
M100KA	MC	224.5648	246.9049
M100KA	MC	170.37	247.103
M100KA	MC	127.4051	258.2742
M100KA	MC	93.89641	266.0871
M100KA	MC	64.34963	274.1941
M100KA	MC	46.74268	286.6143

รูป 4.16 ข้อมูลในตาราง FuseCurve ในไฟล์ EsLineco.mdb

4.2.2 ข้อมูลอุปกรณ์ในระบบจำหน่าย (Equipment Data)

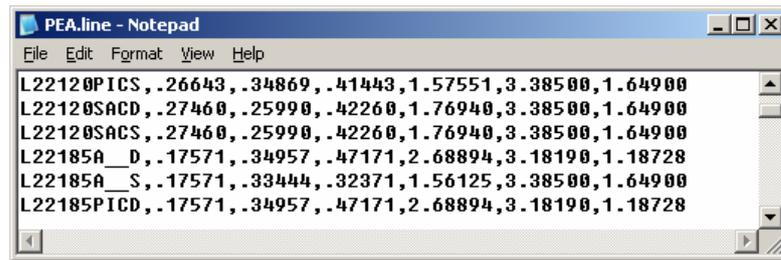
ข้อมูลอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายได้แก่

1) ข้อมูลของสายไฟ ประกอบด้วย

- ค่าระยะทางเป็นกิโลเมตร
- ชนิดและขนาดของสายไฟ เช่น สายเปลือยขนาด 185 ตร.มม. เป็นต้น
- ค่าพารามิเตอร์ของสายไฟสำหรับการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและการคำนวณกระแสลัดวงจร ซึ่งได้แก่

- o Positive sequence resistance (R1)
- o Positive sequence reactance (X1)
- o Zero sequence resistance (R0)
- o Zero sequence reactance (X0)
- o Positive sequence charging admittance (Y1)
- o Zero sequence charging admittance (Y0)

สำหรับข้อมูลในส่วนพารามิเตอร์ของสายไฟจะถูกจัดเก็บในรูปแบบของไฟล์นามสกุล line ซึ่งมีลักษณะการจัดเก็บเป็น Comma File ซึ่งสามารถเปิดหรือทำการแก้ไขเพิ่มเติมได้ด้วยโปรแกรม Notepad ของ Microsoft Windows หรือ โปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งข้อมูลในแต่ละแถวหมายถึงชื่อของชนิดสายไฟ, R1, X1, R0, X0, Y1, Y0 ตามลำดับการขึ้นด้วยเครื่องหมายจุดภาค ดังรูป 4.17



รูป 4.17 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลสายไฟ ในไฟล์นามสกุล line

- 2) ข้อมูลของ Switch จะถูกเก็บอยู่ในรูปของไฟล์นามสกุล case เช่นสถานะ การเปิด/ปิดวงจร

4.2.3 ข้อมูลวงจรไฟฟ้า (Circuit Data)

ข้อมูลวงจรไฟฟ้าจะถูกเก็บอยู่ในรูปของไฟล์นามสกุล case ได้แก่

- 1) ข้อมูลแผนผังของวงจรระบบจำหน่ายแบบเส้นเดียว (Single line diagram)
- 2) ข้อมูลบัส เช่น ตำแหน่งของบัส เป็นต้น
- 3) ข้อมูล Utility ซึ่งประกอบด้วย
 - Scheduled voltage
 - ค่าพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและการคำนวณกระแสลัดวงจร ซึ่งได้แก่
 - o Positive sequence resistance (R1)
 - o Positive sequence reactance (X1)
 - o Zero sequence resistance (R0)
 - o Zero sequence reactance (X0)
 - o Grounding resistance
 - o Grounding reactance
- 4) ข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ
- 5) ข้อมูลตำแหน่งของ DG

4.2.4 ข้อมูลของ DG (DG Data)

ข้อมูลของ DG จะถูกเก็บอยู่ในรูปของไฟล์นามสกุล case ได้แก่ค่าพารามิเตอร์ของ DG สำหรับใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและการคำนวณกระแสลัดวงจร ซึ่งได้แก่

- ชนิดการควบคุมของ DG เช่น PV หรือ PQ
- Nominal rating (kVA)
- Nominal Voltage (kV)
- Scheduled real power distributed (kW)
- Scheduled reactive power distributed (kVar)

4.2.5 ฐานกฎ (Rule Base)

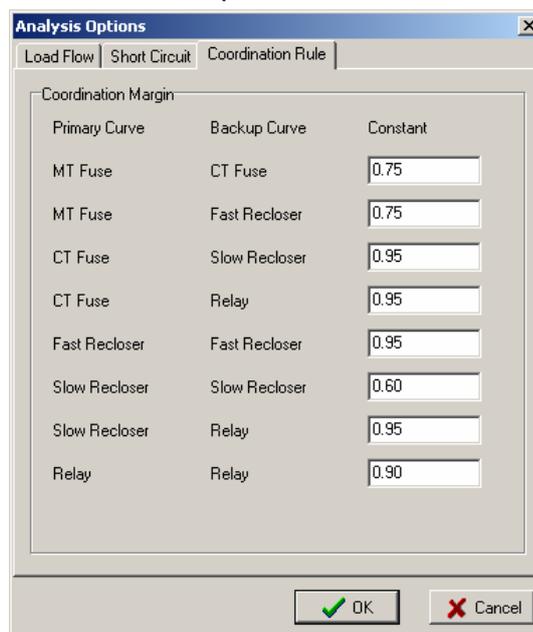
ในส่วนของฐานกฎ แบ่งออกเป็นดังนี้

- 1) ฐานกฎสำหรับใช้ในการจัดความสัมพันธ์ของคู่อุปกรณ์ป้องกัน (Coordination rule) โดยฐานกฎนี้สามารถเขียนเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ฐานกฎสำหรับใช้ในการจัดความสัมพันธ์ของคู่อุปกรณ์ป้องกัน [9-10]

ลำดับ ที่	กฎ	ค่าคง ที่
1	Primary fuse clearing time \leq ค่าคงที่ \times Backup fuse melting Time	0.75
2	Backup fast recloser trip time \times ค่าคงที่ \leq Primary fuse melting time	1.25
3	Primary fuse clearing time \leq ค่าคงที่ \times Backup slow recloser trip time	0.95
4	Primary fuse clearing time \leq ค่าคงที่ \times Backup relay trip time	0.95
5	Primary fast recloser trip time \leq ค่าคงที่ \times Backup fast recloser trip time	0.95
6	Primary slow recloser trip time \leq ค่าคงที่ \times Backup slow recloser trip time	0.6
7	Primary slow recloser trip time \leq ค่าคงที่ \times Backup relay trip time	0.95
8	Primary relay trip time \leq ค่าคงที่ \times Backup relay trip time	0.90

เนื่องจากฐานกฎสำหรับใช้ในการจัดความสัมพันธ์ของคู่อุปกรณ์ป้องกัน เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งผู้ใช้ไม่สามารถเพิ่มเติมข้อมูลในส่วนนี้ได้ แต่ผู้ใช้สามารถแก้ไขค่าคงที่ ที่ใช้ในฐานกฎได้จากส่วน Option ของโปรแกรม ดังรูป 4.19



รูป 4.19 การกำหนดค่าคงที่ในฐานกฎสำหรับใช้ในการจัดความสัมพันธ์ของคู่อุปกรณ์ป้องกัน

- 2) ฐานกฎสำหรับใช้ในการเลือกค่าการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของอุปกรณ์ป้องกัน (Selection rule) โดยฐานกฎนี้สามารถเขียนเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ฐานกฎสำหรับใช้ในการเลือกค่าการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของอุปกรณ์ป้องกัน

ลำดับ ที่	กฎ	ค่าคงที่
1	ขนาดของฟิวส์ จะต้องมากกว่า กระแสไหลดที่ไหลผ่านฟิวส์ \times ค่าคงที่	1.25
2	ค่า Minimum Trip Current ทางด้านเฟสของรี โคลสเซอร์ จะต้องมากกว่า กระแสไหลดที่ไหลผ่านรี โคลสเซอร์ \times ค่าคงที่	2
3	ค่า Minimum Trip Current ทางด้านกราวด์ของรี โคลสเซอร์ต้องมีค่าใกล้เคียงค่า Minimum Trip Current ทางด้านเฟสของรี โคลสเซอร์ \times ค่าคงที่	0.25
4	ค่ากระแส Pickup ทางด้านเฟสของรีเลย์ ต้องมีค่ามากกว่า กระแสไหลดที่ไหลผ่านรีเลย์ \times ค่าคงที่	2
5	ค่ากระแส Pickup ทางด้านกราวด์ของรีเลย์ ต้องมีค่ามากกว่า ค่ากระแส Pickup ทางด้านเฟสของรีเลย์ \times ค่าคงที่	0.25
6	อุปกรณ์ป้องกันทุกชิ้นจะต้องตรวจจับกระแสลัดวงจรสูงสุด และ ต่ำสุด ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ป้องกันของอุปกรณ์ได้	-
7	เลือกค่า Time Multiplier ของรี โคลสเซอร์ให้มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่สามารถเลือกได้	-
8	เลือกค่า Time Dial ของรีเลย์ให้มีค่าต่ำที่สุดเท่าที่สามารถเลือกได้	-
9	รี โคลสเซอร์จะต้องทำการ Off – fast operation หากมี DG เชื่อมต่ออยู่ในพื้นที่ป้องกัน	-
10	ในกรณีที่อุปกรณ์ป้องกันทางด้านออสตรีมไม่มีอุปกรณ์ชิง โครไนส์ความถี่รีเลย์ของ DG จะต้องทำงานก่อนที่อุปกรณ์ป้องกันทางด้านออสตรีมจะปิดกลับเมื่อเกิดลัดวงจรขึ้นในพื้นที่ที่อุปกรณ์ทั้งสองจะต้องทำงาน	-

เนื่องจากฐานกฎสำหรับใช้ในการเลือกค่าการทำงานที่เหมาะสมที่สุดของอุปกรณ์ป้องกันเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งผู้ใช้ไม่สามารถเพิ่มเติมข้อมูลในส่วนนี้ได้

4.2.6 ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow data)

ข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้า เป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยส่วนคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ข้อมูลกระแสไหลที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกัน รวมทั้งทิศทางของการไหลของกระแส โดยข้อมูลนี้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ขณะที่ทำการประมวลผล

4.2.7 ข้อมูลการลัดวงจร (Short circuit data)

ข้อมูลการลัดวงจร เป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยส่วนคำนวณการลัดวงจร ซึ่งได้แก่ ข้อมูลกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกัน เมื่อมีการลัดวงจรในตำแหน่งต่างๆ รวมทั้งทิศทางของการไหลของกระแส ของการลัดวงจรแบบต่าง ดังนี้

- 1) กระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟสลงดิน (3 phase to ground fault)
- 2) กระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงดิน (Single line to ground fault)
- 3) กระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟส ลงดินผ่านอิมพีแดนซ์ (Single line to ground through impedance fault)
- 4) กระแสลัดวงจรแบบเฟสสองเฟส (Line to line fault)
- 5) กระแสลัดวงจรแบบเฟสสองเฟส ลงดิน (Double line to ground fault)
- 6) กระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส (ungrounded 3 phase fault)

โดยข้อมูลนี้จะถูกเก็บไว้ในไฟล์ชั่วคราว (Temporary File) ของคอมพิวเตอร์ ขณะที่ทำการประมวลผล ซึ่งไฟล์ดังกล่าวมีรูปแบบเป็น Text File ซึ่งมีลักษณะดังรูป 4.20

fault.tmp - Notepad															
File Edit Format View Help															
Number of UseBus For Fault Calculation = 61															
Number of Protection Device = 28															
Load Current	Breaker1	208.7									Recloser1	149.6			
Fault Current	Breaker1	3PH	PH-G	PH-G+Zf	PHPH-G	PHPHGZF	UNC3PH				Recloser1	3PH	PH-G	PH-G+Zf	PHPH
Fault at Kao Po	Breaker1	131280	99917.3	99917.3	113692	123354	131280				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at 3.5 km	Breaker1	9456.3	4718.9	4718.9	8189.4	8691.2	9456.3				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at 10.15km	Breaker1	3420.7	1679.2	1679.2	2962.4	3142.7	3420.7				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at 16.45km	Breaker1	2131.7	1042.8	1042.8	1846.1	1958.3	2131.7				Recloser1	2131.7	1042.8	1042.8	1846.1
Fault at 20.65km	Breaker1	1703.7	832.5	832.5	1475.4	1565.1	1703.7				Recloser1	1703.7	832.5	832.5	1475.4
Fault at SPP	Breaker1	1555.0	759.5	759.5	1346.7	1428.5	1555.0				Recloser1	1555.0	759.5	759.5	1346.7
Fault at Bus10	Breaker1	2005.5	1122.5	1122.5	1736.8	1915.0	2005.5				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus14	Breaker1	3496.2	1890.7	1890.7	3027.8	3300.6	3496.2				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus15	Breaker1	3286.9	1783.4	1783.4	2846.5	3106.1	3286.9				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus16	Breaker1	2528.9	1389.0	1389.0	2190.1	2398.6	2528.9				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus17	Breaker1	1987.7	1147.9	1147.9	1721.4	1911.7	1987.7				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus18	Breaker1	2134.6	1180.1	1180.1	1848.6	2028.4	2134.6				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus19	Breaker1	2054.4	1137.3	1137.3	1779.2	1953.1	2054.4				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus20	Breaker1	1988.1	1097.5	1097.5	1714.8	1883.1	1988.1				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus22	Breaker1	1919.2	1071.0	1071.0	1662.1	1828.6	1919.2				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus23	Breaker1	1910.9	1060.4	1060.4	1654.9	1817.9	1910.9				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus24	Breaker1	1878.1	1042.8	1042.8	1626.5	1787.0	1878.1				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus26	Breaker1	1631.4	976.2	976.2	1412.8	1584.2	1631.4				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus27	Breaker1	1588.4	954.6	954.6	1375.6	1544.3	1588.4				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus29	Breaker1	1925.0	1118.5	1118.5	1667.1	1854.5	1925.0				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus31	Breaker1	1854.1	1035.6	1035.6	1605.7	1767.1	1854.1				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus45	Breaker1	1852.4	921.8	921.8	1604.2	1710.8	1852.4				Recloser1	0.0	0.0	0.0	0.0
Fault at Bus85	Breaker1	1307.9	659.5	659.5	1132.7	1213.1	1307.9				Recloser1	1307.9	659.5	659.5	1132.7
Fault at Bus86	Breaker1	1146.5	586.2	586.2	992.9	1067.6	1146.5				Recloser1	1146.5	586.2	586.2	992.9
Fault at Bus87	Breaker1	1079.7	555.2	555.2	935.0	1007.1	1079.7				Recloser1	1079.7	555.2	555.2	935.0
Fault at Bus88	Breaker1	1129.4	578.0	578.0	978.1	1051.1	1129.4				Recloser1	1129.4	578.0	578.0	978.1
Fault at Bus89	Breaker1	1155.2	601.6	601.6	1000.4	1081.7	1155.2				Recloser1	1155.2	601.6	601.6	1000.4
Fault at Bus90	Breaker1	1068.0	550.8	550.8	924.9	997.0	1068.0				Recloser1	1068.0	550.8	550.8	924.9
Fault at Bus91	Breaker1	1068.0	550.8	550.8	924.9	997.0	1068.0				Recloser1	1068.0	550.8	550.8	924.9
Fault at Bus92	Breaker1	1001.6	518.7	518.7	867.4	936.1	1001.6				Recloser1	1001.6	518.7	518.7	867.4
Fault at Bus93	Breaker1	929.8	490.6	490.6	805.2	873.7	929.8				Recloser1	929.8	490.6	490.6	805.2

รูป 4.20 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลการลัดวงจร ในไฟล์ชั่วคราว

4.2.8 ข้อมูลการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination Data)

ข้อมูลการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน ได้แก่รายการของค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่สามารถทำงานได้สัมพันธ์กัน (Satisfactory coordinate setting list data) เป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยกลไกการอนุมาน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการเรียนรู้ของระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยข้อมูลนี้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ ขณะที่ทำการประมวลผล

4.3 ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม (Engineering Analysis)

ในส่วนการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมจะเป็นส่วนที่รับเอาข้อมูลวงจรไฟฟ้า และข้อมูลของ DG จากฐานความรู้ มาใช้ในการประมวลผล ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณถือเป็นส่วนหนึ่งของฐานความรู้ ซึ่งจะนำไปใช้ในส่วนกลไกการอนุมานต่อไป โดยแบ่งออกเป็นส่วนย่อยต่างๆ ดังต่อไปนี้

4.3.1 ส่วนคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow calculation)

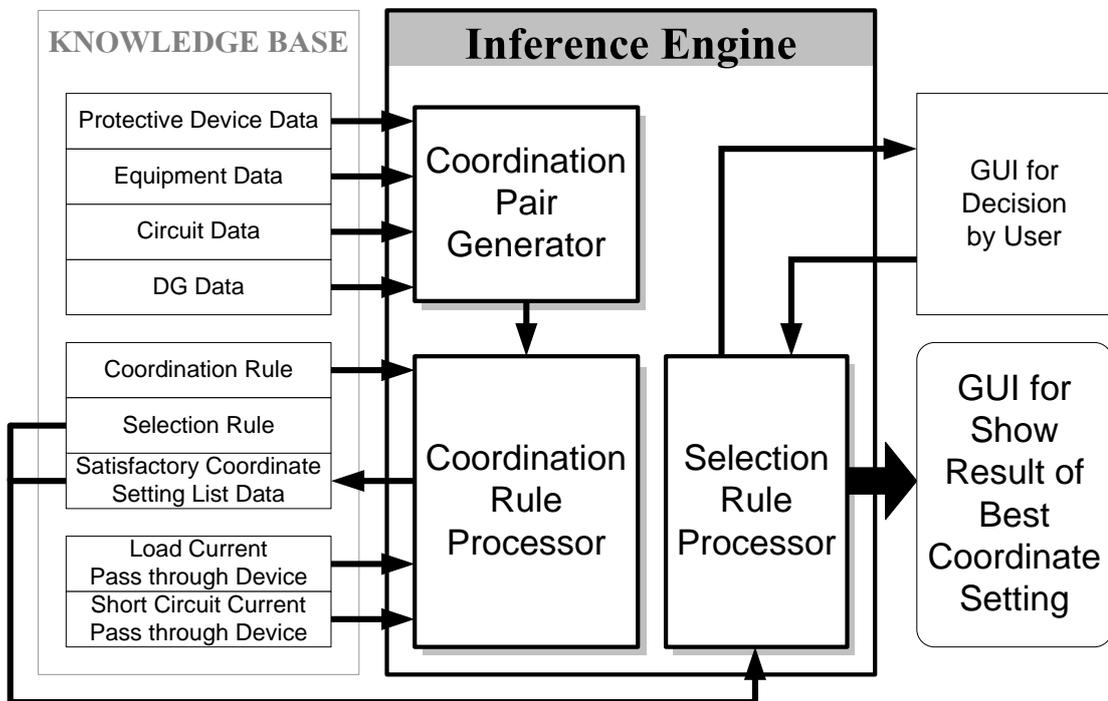
ส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายรวมทั้งทิศทาง ซึ่งจะเป็ข้อมูลสำหรับใช้ในการเลือกค่าการทำงานเริ่มต้นของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่าย โดยการคำนวณการไหลของระบบกำลังไฟฟ้านี้ ใช้วิธี Ybus และ เกาส์ไชเดล (Gauss-Seidel) ในการคำนวณ

4.3.2 ส่วนคำนวณการลัดวงจร (Short circuit calculation)

ส่วนนี้เป็นส่วนที่ทำการคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายรวมทั้งทิศทางขณะที่เกิดการลัดวงจรในแต่ละตำแหน่งของระบบจำหน่าย ซึ่งจะเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการเลือกค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่าย โดยการคำนวณการลัดวงจรของระบบกำลังไฟฟ้านี้ ใช้วิธี Zbus direct method ในการคำนวณ

4.4 ส่วนกลไกอนุมาน (Inference Engine)

ในส่วนกลไกอนุมานแบ่งออกเป็นส่วนย่อยต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูป 4.21 โครงสร้างของส่วนกลไกอนุมาน

4.4.1 ส่วนการกำหนดคู่ของอุปกรณ์ป้องกันสำหรับการจัดความสัมพันธ์

(Coordination pair generator)

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่นำข้อมูลอุปกรณ์ป้องกัน ข้อมูลอุปกรณ์ในระบบจำหน่าย ข้อมูลวงจรไฟฟ้า และ ข้อมูลของ DG จากฐานความรู้ มาประมวลผลเพื่อกำหนดคู่ของอุปกรณ์ป้องกันที่จะต้องนำมาพิจารณาจัดความสัมพันธ์ต่อไป ซึ่งจะต้องมีการกำหนดว่าอุปกรณ์ใดเป็นอุปกรณ์ป้องกันหลัก อุปกรณ์ใดเป็นอุปกรณ์ป้องกันสำรอง โดยข้อมูล

ที่ทำการประมวลผลแล้วจะถูกเก็บอยู่ในรูปของอาร์เรย์ (Array) แล้วส่งไปยังส่วนประมวลผล การจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันต่อไป

4.4.2 ส่วนประมวลผลการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination Rule Processor)

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่นำอุปกรณ์ป้องกันแต่ละคู่ที่กำหนดโดยส่วนการกำหนดคู่ของอุปกรณ์ป้องกันมาใช้ในการจัดความสัมพันธ์ มาดำเนินการจัดความสัมพันธ์ตามฐานกฎสำหรับการจัดความสัมพันธ์ของคู่อุปกรณ์ป้องกัน โดยใช้ข้อมูลกระแสไหลและกระแสลัดวงจรที่ไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันในแต่ละกรณีจากส่วนการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมมาใช้ในการประมวลผล ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเก็บไว้ใน รายการของค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่สามารถทำงานได้สัมพันธ์กัน เพื่อนำมาใช้ในการประมวลผลการเลือกค่าการทำงานที่เหมาะสมต่อไป

4.4.3 ส่วนประมวลผลการเลือกค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม (Selection Rule Processor)

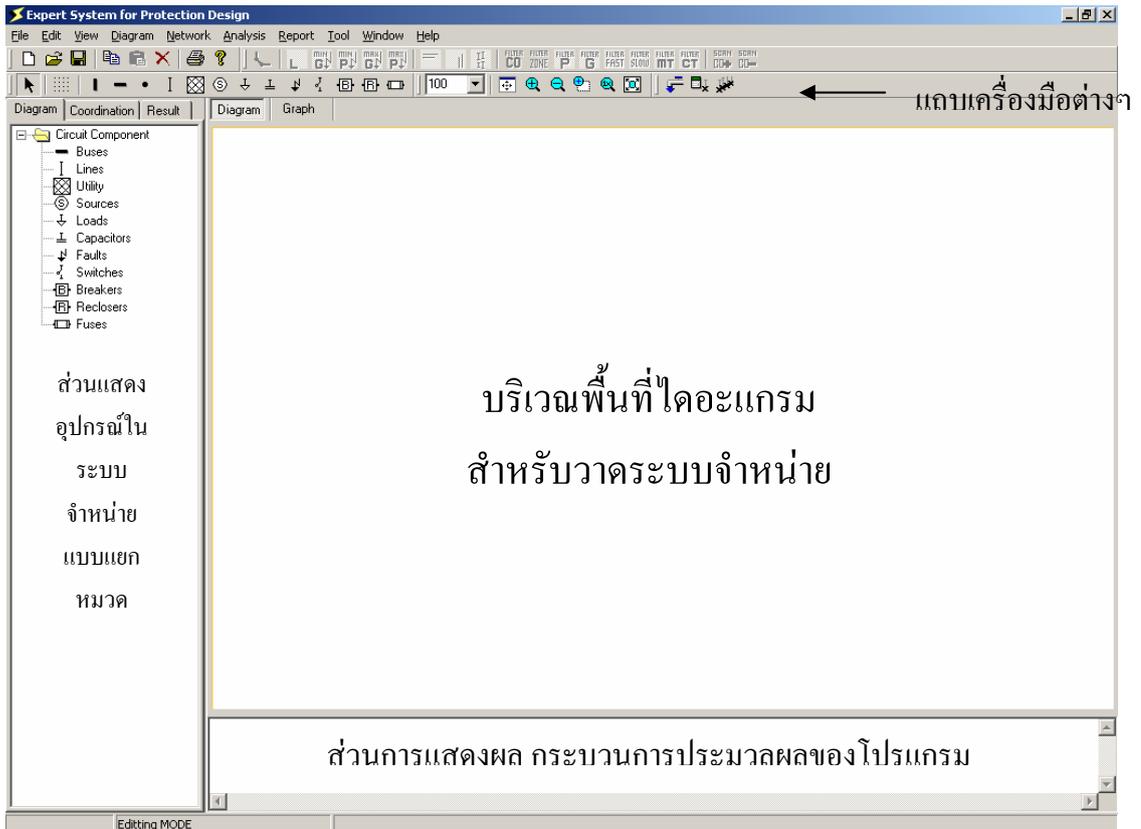
ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่นำ รายการของค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่สามารถทำงานได้สัมพันธ์กัน มาพิจารณาเลือกค่าที่เหมาะสมที่สุด ตามฐานกฎสำหรับการเลือกค่าการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์ป้องกัน และในกรณีที่ระบบผู้เชี่ยวชาญไม่สามารถตัดสินใจได้ ก็จะมีการสอบถามไปยังผู้ใช้งานผ่านทางส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (GUI for decision by user) เพื่อให้ผู้ใช้งานตัดสินใจเลือกวิธีการตามตัวเลือกที่ระบบผู้เชี่ยวชาญนำเสนอ เมื่อการประมวลผลเสร็จสิ้นผลลัพธ์ที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (GUI for show result of best coordinate setting) ต่อไป

4.5 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (GUI : Graphic user interface)

ในส่วนติดต่อกับผู้ใช้แบ่งออกเป็นส่วนย่อยต่างๆ ดังต่อไปนี้

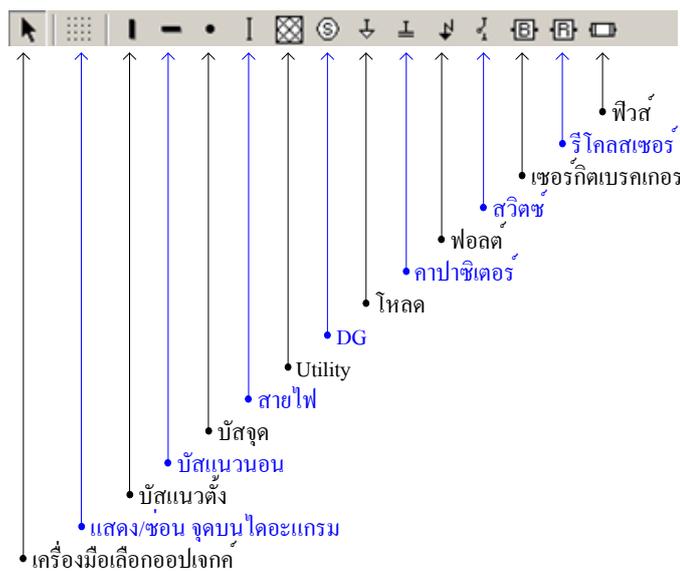
4.5.1 ส่วนการรับข้อมูลอินพุต (Input Data)

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้รับข้อมูลจากผู้ใช้งานมาเก็บไว้ในฐานความรู้ โดยโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้พัฒนาขึ้นในส่วนติดต่อกับผู้ใช้นี้ มีลักษณะเป็นดังรูป 4.22



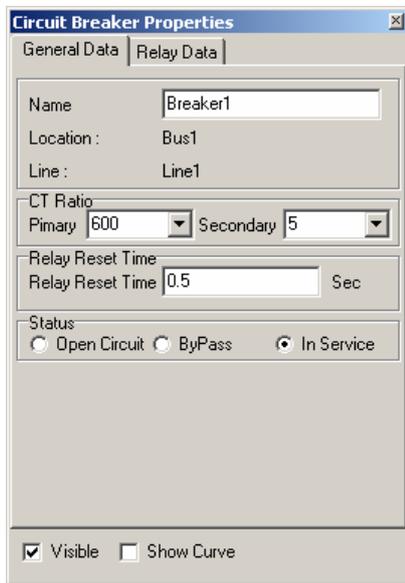
รูป 4.22 GUI ของโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญที่ได้พัฒนาขึ้น

ในการป้อนข้อมูลให้กับโปรแกรมระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือบนแถบเครื่องมือด้านบน เพื่อทำการวาดวงจรระบบจำหน่ายดังรูป 4.23

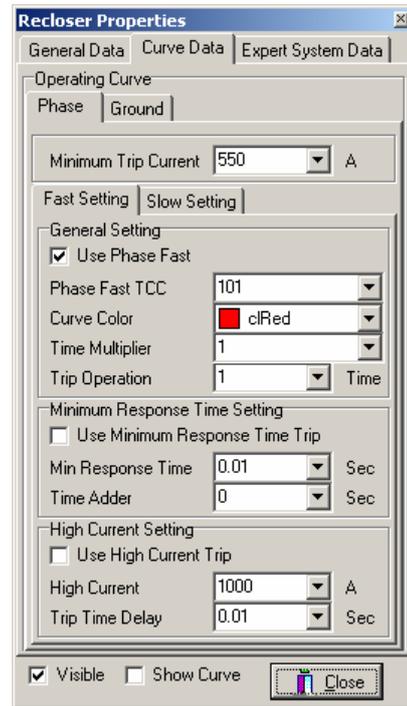


รูป 4.23 แถบเครื่องมือสำหรับวาดระบบจำหน่าย

การวาดวงจรระบบจำหน่ายโดยใช้เครื่องมือดังกล่าวสามารถทำได้โดยง่าย เพียงคลิกที่ปุ่มของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายที่ต้องการจะวาด จากนั้นก็เลื่อนเมาส์ไปคลิกที่ไดอะแกรมเพื่อทำการวาด และเมื่อต้องการป้อนค่าให้กับอุปกรณ์นั้นๆ ก็เพียงดับเบิลคลิกที่รูปของอุปกรณ์นั้นบนไดอะแกรม ก็จะปรากฏหน้าต่างสำหรับรับค่าของอุปกรณ์นั้นขึ้นมา โดยในหน้าต่างดังกล่าวก็จะมีช่องสำหรับกรอกข้อมูลหรือมีตัวเลือกให้เลือก ซึ่งข้อมูลที่กรอกนี้ มีรายละเอียดดังที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อ 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 และ 4.2.4 สำหรับตัวอย่างของหน้าต่างสำหรับใช้ในการป้อนข้อมูลเป็นดังรูป 4.24



ก) หน้าต่างรับข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์



ข) หน้าต่างรับข้อมูลของรีโคลสเซอร์

รูป 4.24 ตัวอย่างหน้าต่างรับข้อมูลจากผู้ใช้งาน เมื่อมีการดับเบิลคลิกที่รูปอุปกรณ์บน ไดอะแกรม

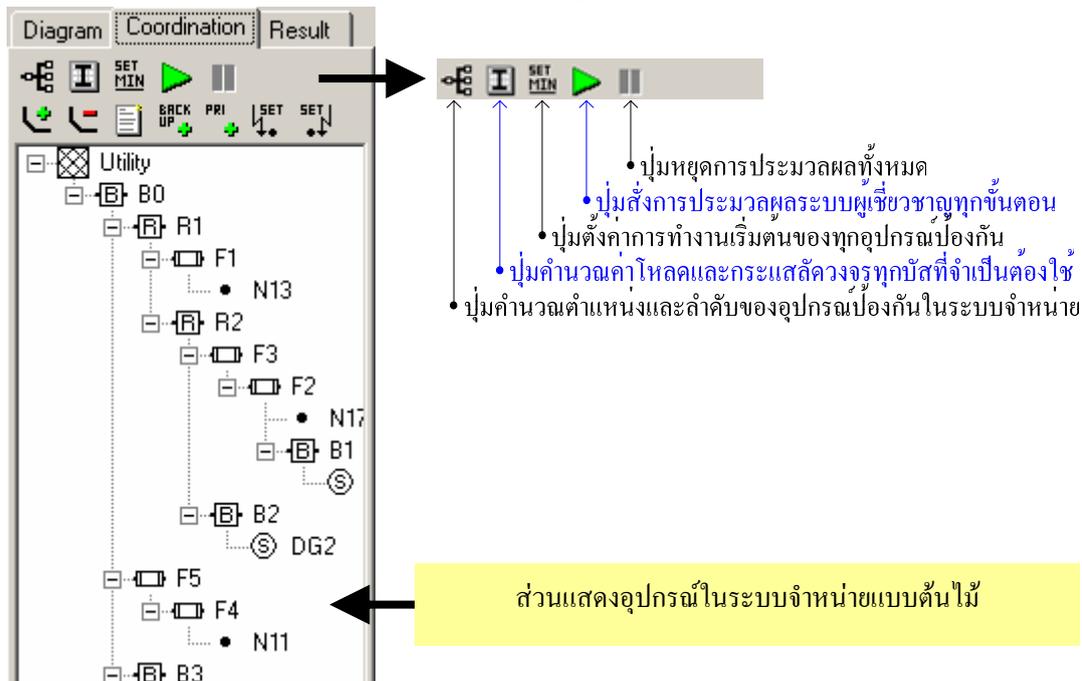
สำหรับการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม ผู้ใช้งานสามารถสั่งให้โปรแกรมทำการคำนวณได้โดยคลิกที่ปุ่มบนแถบเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม ซึ่งมีลักษณะดังรูป 4.25



- การคำนวณกระแสลัดวงจรแบบทุบัส
- การวิเคราะห์การลัดวงจร ณ บัสที่กำหนดใน ไดอะแกรม
- การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

รูป 4.25 แถบเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม

ส่วนการประมวลผลระบบผู้เชี่ยวชาญในการจัดความสัมพันธ์ของระบบจำหน่ายนั้น ผู้ใช้งานสามารถสั่งให้โปรแกรมทำการประมวลได้โดยคลิกที่ปุ่มบนแถบเครื่องมือสำหรับการประมวลผลระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจะอยู่ในแท็บ Coordination บนส่วนแสดงอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายแบบต้นไม้ ซึ่งมีลักษณะดังรูป 4.26



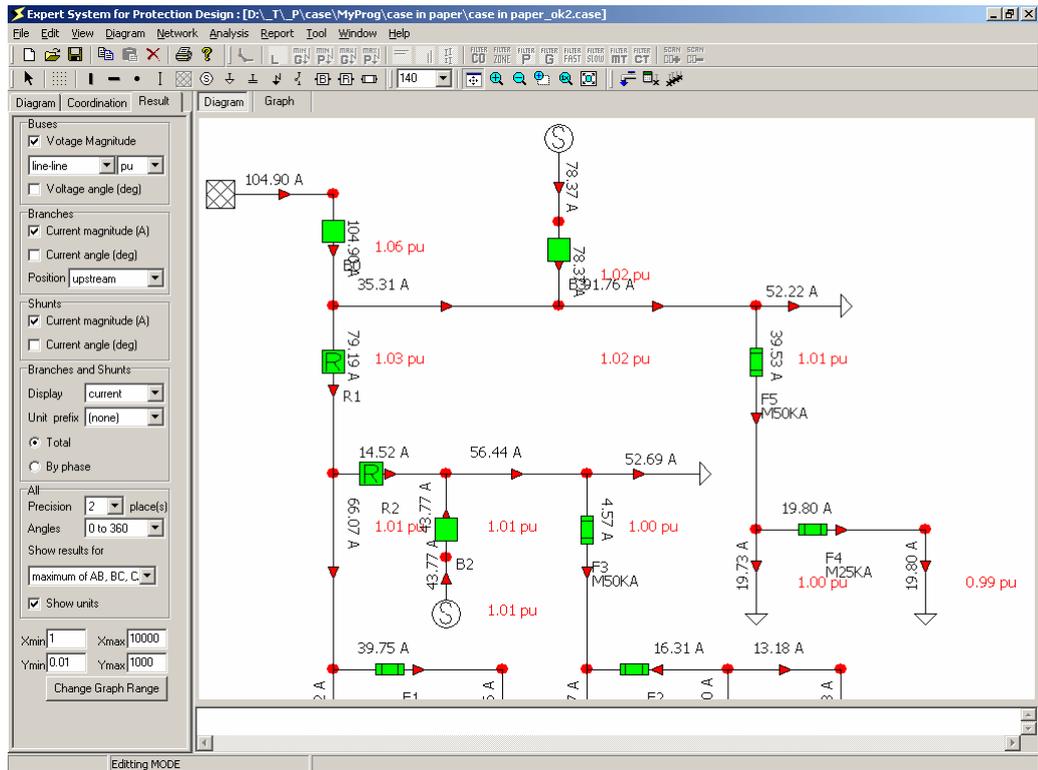
รูป 4.26 แถบเครื่องมือสำหรับการประมวลผลระบบผู้เชี่ยวชาญ

4.5.2 ส่วนแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล (Output Result)

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนแสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม และส่วนแสดงผลลัพธ์ของการประมวลผลระบบผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

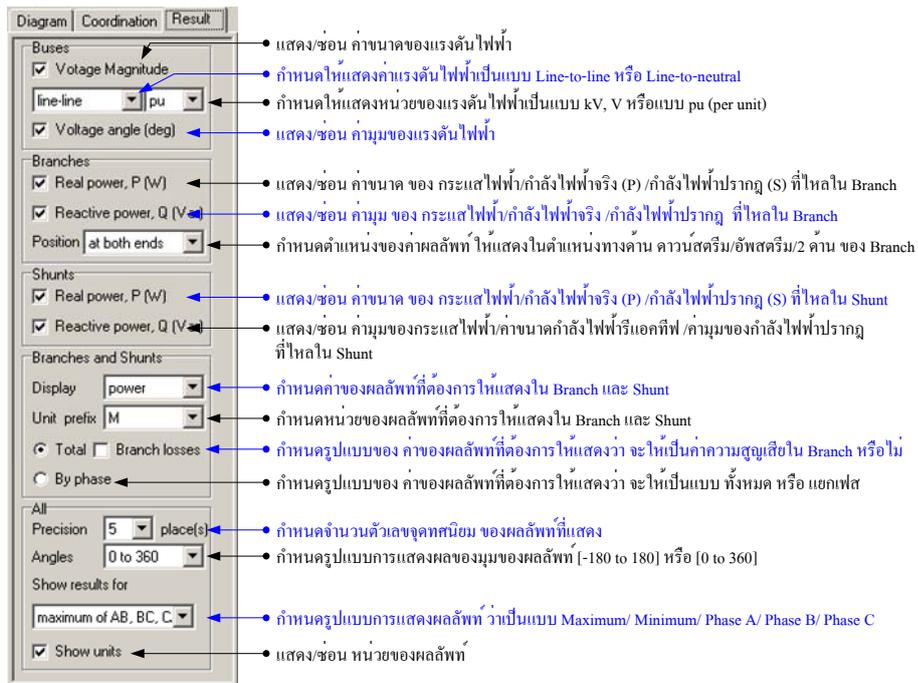
4.5.2.1 ส่วนแสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Real Power), กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power), ค่ากระแสไฟฟ้า, ค่าแรงดันไฟฟ้า, ค่ามุมทางไฟฟ้า และ ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะแสดงอยู่ในรูปของตัวอักษรหรือตัวเลข บนไดอะแกรมของโปรแกรม เมื่อโปรแกรมได้คำนวณเสร็จแล้ว ซึ่งตัวอย่างของการแสดงผลลัพธ์เป็นดังรูป 4.27 ซึ่งผู้ใช้สามารถเข้าใจได้โดยง่าย



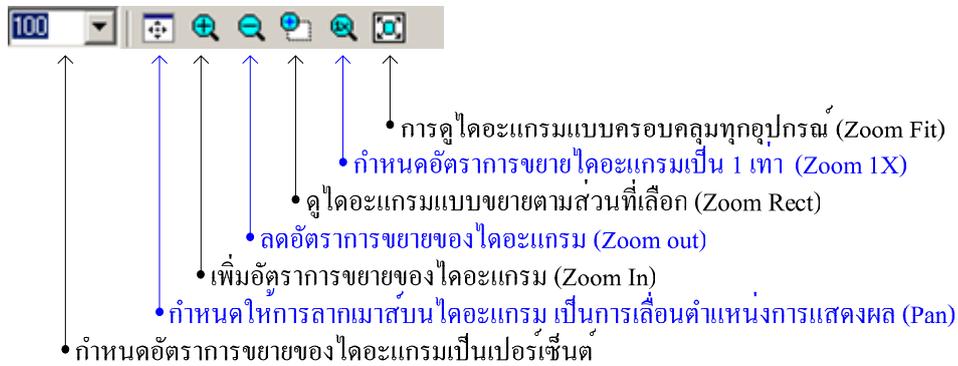
รูป 4.27 การแสดงผลพีชของการวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรม

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการเลือกแสดงค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณ จะอยู่ในแท็บ Result ทางด้านซ้ายมือของโปรแกรม ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกแสดงค่าผลลัพธ์ได้ตามต้องการ โดยมีรายละเอียดดังรูป 4.28



รูป 4.28 เครื่องมือที่ใช้ในการเลือกแสดงค่าผลลัพธ์

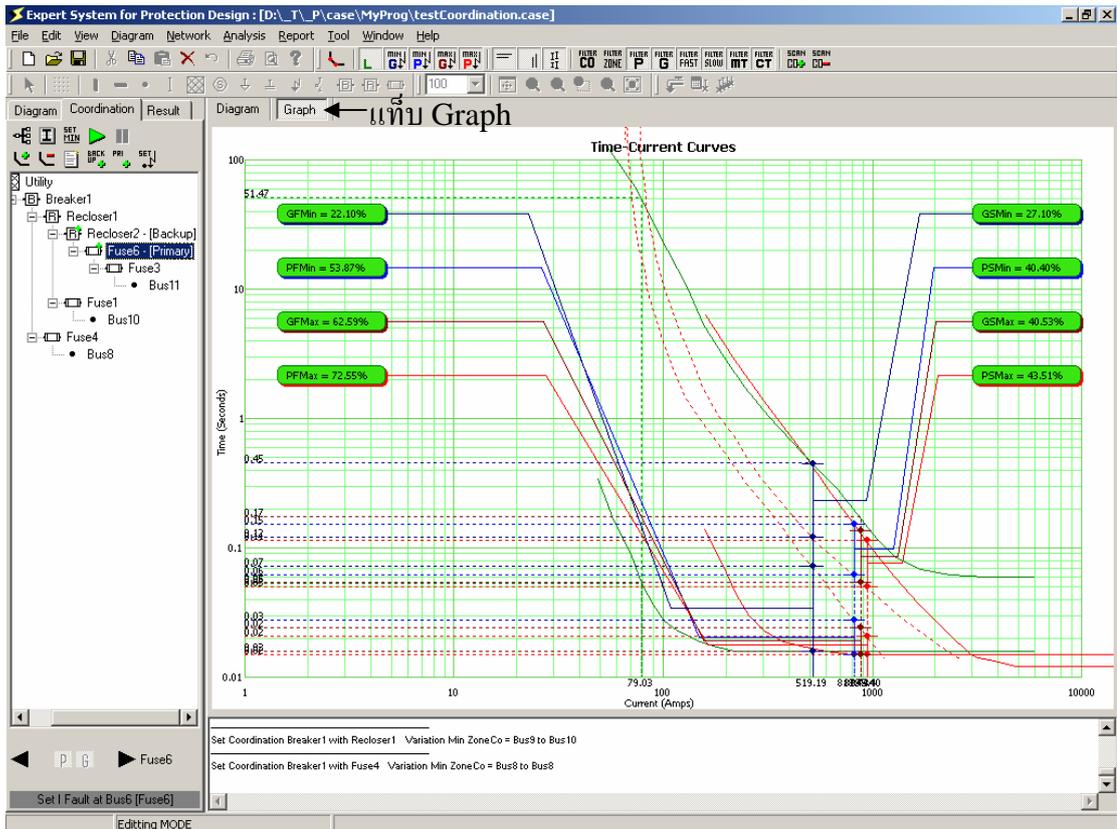
นอกจากนี้ยังมีแถบเครื่องมือสำหรับเลื่อน, ย่อ/ขยาย ไดอะแกรม ซึ่งช่วยในการดูข้อมูลบนไดอะแกรมได้สะดวกยิ่งขึ้นอีกด้วย ดังรูป 4.29



รูป 4.29 เครื่องมือสำหรับเลื่อน, ย่อ/ขยาย ไดอะแกรม

4.5.2.2 ส่วนแสดงผลลัพธ์ของการประมวลผลระบบผู้เชี่ยวชาญ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลระบบผู้เชี่ยวชาญก็คือ ค่าการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์ป้องกันนั่นเอง แต่เนื่องจากการแสดงผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบตัวเลขหรือตัวอักษรของค่าการทำงานของอุปกรณ์เลย โดยที่ผู้ใช้ไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยตนเองว่าค่าการทำงานดังกล่าวมีลักษณะเป็นอย่างไรนั้นค่อนข้างไม่เหมาะสม ทางผู้วิจัยจึงได้จัดทำระบบการแสดงผลลัพธ์ดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบของ TCC ของแต่ละอุปกรณ์ที่ได้ทำการจัดความสัมพันธ์แล้ว รวมทั้งค่า Margin ต่างๆ เพื่อง่ายในการพิจารณาความถูกต้องของผลลัพธ์ โดยสามารถดูผลลัพธ์ดังกล่าวได้โดยคลิกที่แท็บ Graph ดังรูป 4.30

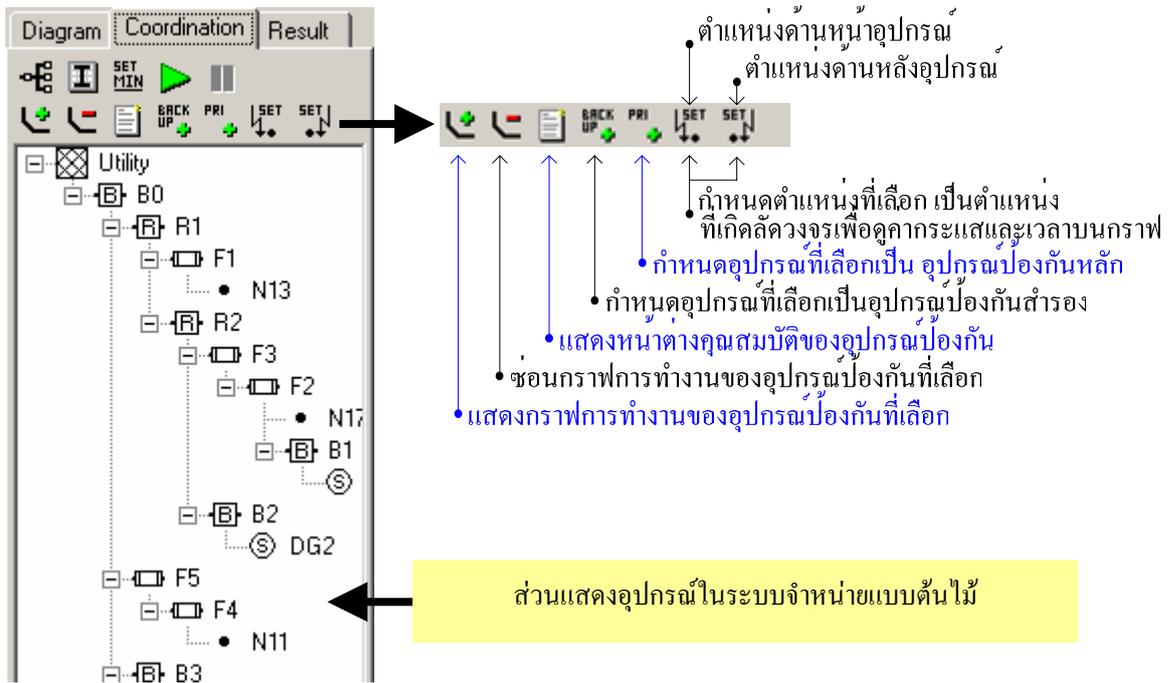


รูป 4.30 การแสดงผลลัพธ์ของการประมวลผลระบบผู้เชี่ยวชาญ

สำหรับเครื่องมือที่ช่วยในการเลือกดู TCC ของอุปกรณ์ป้องกันที่ได้ทำการจัดความสัมพันธ์โดยการประมวลผลระบบผู้เชี่ยวชาญนั้นเป็นดังรูป 4.31 ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นปุ่มกด และ ส่วนที่แสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ป้องกันแบบต้นไม้ (Coordination Tree view) โดยทั้งสองส่วนจะต้องใช้งานร่วมกัน

การใช้งานเครื่องมือที่ช่วยในการเลือกดู TCC ตามรูป 4.31 นั้น ใช้งานง่าย โดยหากต้องการดู TCC ของอุปกรณ์ใด ก็เลือกที่อุปกรณ์นั้น แล้วกดปุ่ม  เพื่อเพิ่ม TCC ของอุปกรณ์นั้นเข้าไปในกราฟ แต่ถ้าต้องการลบ TCC ของอุปกรณ์ออกจากกราฟ ก็ให้เลือกที่อุปกรณ์นั้น แล้วกดปุ่ม 

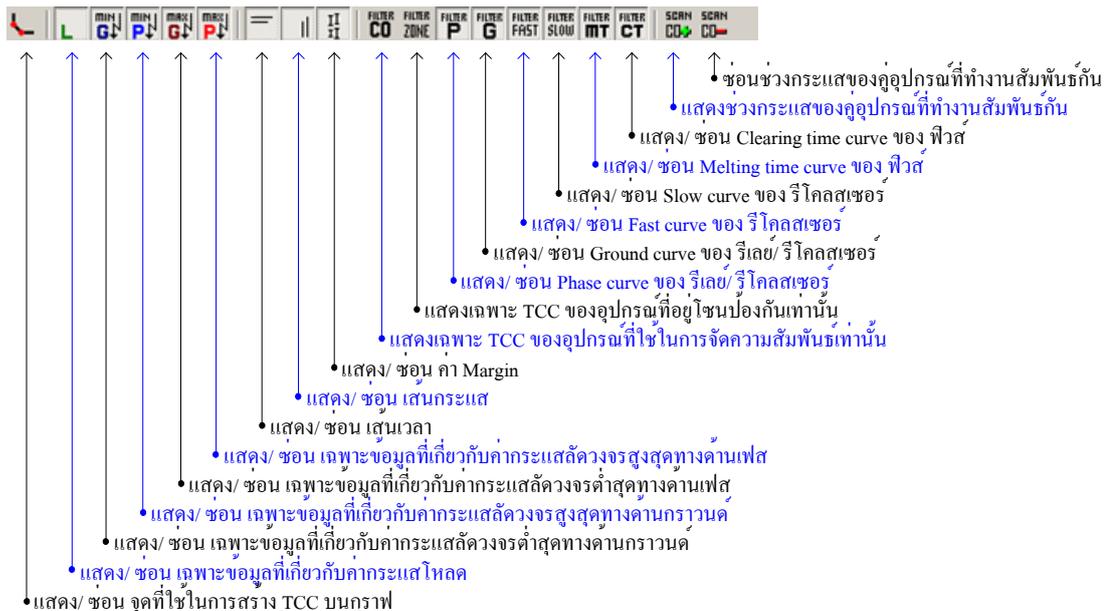
และในกรณีที่ต้องการดูค่า Margin ของ TCC ของแต่ละคู่ของอุปกรณ์ จะต้องกำหนดอุปกรณ์ป้องกันหลัก (Primary device) โดยเลือกที่อุปกรณ์นั้นแล้วกดปุ่ม  และกำหนดอุปกรณ์ป้องกันสำรอง (Back up device) โดยเลือกที่อุปกรณ์นั้นแล้วกดปุ่ม  ก่อน จากนั้นให้เลือกตำแหน่งที่ต้องการดูกระแสลัดวงจรแล้วกดปุ่ม  หรือปุ่ม  เพื่อดูค่า Margin ในแต่ละตำแหน่งลัดวงจรนั้น



รูป 4.31 เครื่องมือที่ช่วยในการเลือกดู TCC ของอุปกรณ์ป้องกัน

นอกจากนี้ยังมีแถบเครื่องมือช่วยในการพิจารณา TCC อื่นๆ เช่นเครื่องมือช่วยในการกรอง TCC เพื่อดูเฉพาะ TCC ที่ต้องการพิจารณา เช่นต้องการดูเฉพาะทางด้านเฟส หรือกราวนด์เท่านั้น หรือเครื่องมือที่ใช้สำหรับ ตรวจสอบช่วงของกระแสลัดวงจรที่คู่ของอุปกรณ์สามารถทำงานได้สัมพันธ์กัน ซึ่งมีรายละเอียดดังรูป

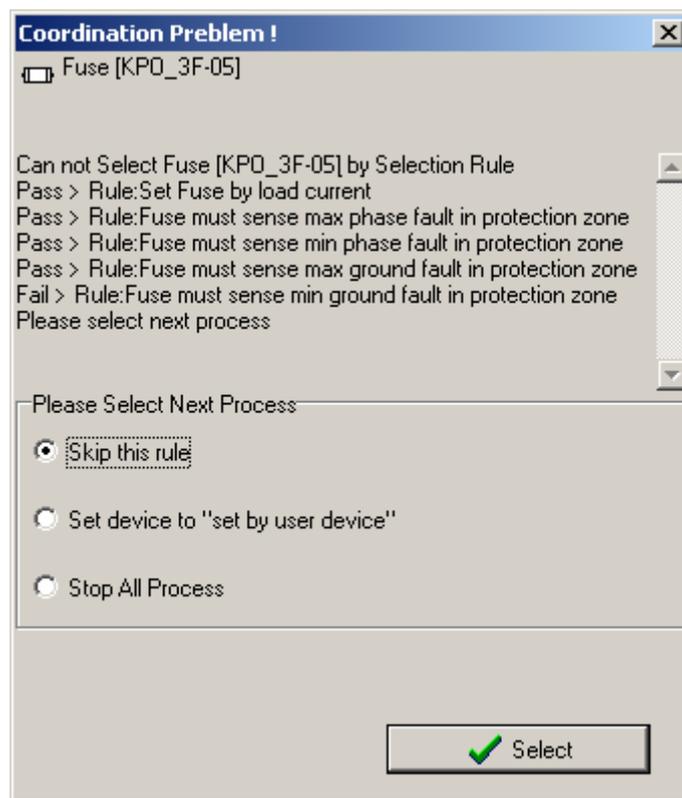
4.32



รูป 4.32 เครื่องมือช่วยในการกรอง TCC เพื่อดูเฉพาะ TCC ที่ต้องการพิจารณา

4.5.3 ส่วนแสดงข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้งานตัดสินใจ (GUI for Decision by user)

ในกรณีที่ระบบผู้เชี่ยวชาญมีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะดำเนินการประมวลผลให้เสร็จสิ้น ระบบผู้เชี่ยวชาญจะแสดงข้อมูลส่วนที่ต้องการให้ผู้ใช้ทราบเพื่อให้ผู้ใช้ตัดสินใจเลือก ขั้นตอน หรือวิธีการ หรืออื่นๆ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการหาผลลัพธ์ ซึ่งการแสดงผลในส่วนนี้จะปรากฏขณะที่มีการประมวลผลระบบผู้เชี่ยวชาญอยู่ ตัวอย่างของส่วนแสดงผลนี้เป็นดังรูป 4.33

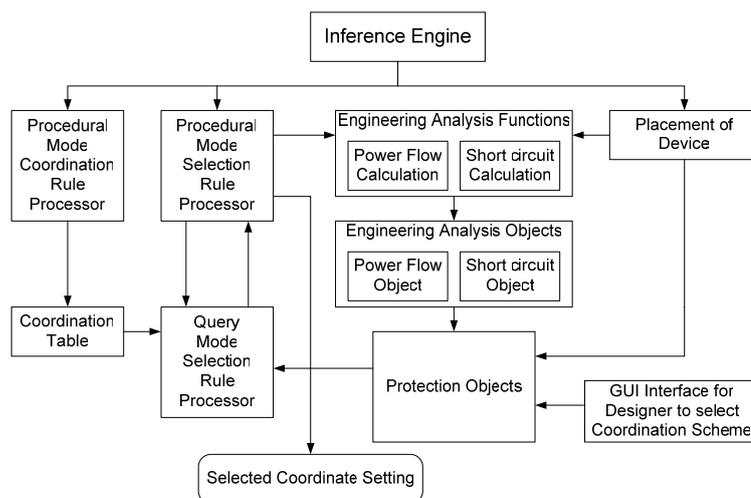


รูป 4.33 ส่วนแสดงผลข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้ตัดสินใจ

4.6 กระบวนการทำงาน (Work flow) ของระบบผู้เชี่ยวชาญ

4.6.1 กระบวนการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญในอดีต

ในปี ค.ศ. 1993 Broadwater และคณะ ได้นำเสนอบทความทางวิชาการเรื่องการนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาใช้ในการจัดความสัมพันธ์ของระบบป้องกันในระบบจำหน่าย [9-10] ซึ่งในบทความดังกล่าว ได้นำเสนอกระบวนการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญในการประมวลผลเพื่อหาค่าการทำงานที่เหมาะสมของอุปกรณ์ โดยในส่วนของกลไกอนุमान มีโครงสร้างลักษณะดังรูป 4.34



รูป 4.34 โครงสร้างของส่วนกลไกอนุมาณที่พัฒนาขึ้น โดย Broadwater และคณะ

จากโครงสร้างฯ ดังรูป 4.34 กระบวนการเรียนรู้ กับ กระบวนการใช้ความรู้ นั้น ได้ถูกแยกกันโดยสิ้นเชิง โดยกระบวนการเรียนรู้ซึ่งก็คือหน่วยประมวลผลตามกฎการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันแบบวนลูป (Procedural Mode Coordination Rule Processor) จะประมวลผลเพื่อหาค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดและสูงสุดที่อุปกรณ์ป้องกันสามารถทำงานได้สัมพันธ์กันของในแต่ละค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันทั้งหมดที่มีอยู่ฐานความรู้ แล้วนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดเก็บในตารางการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination Table) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการใช้ความรู้ในส่วนของ หน่วยประมวลผลตามกฎการเลือกค่าที่เหมาะสม (Selection Rule Processor) ต่อไป ยกตัวอย่างเช่น ในฐานความรู้มีข้อมูลฟิวส์จำนวน 3 ขนาด ได้แก่ฟิวส์ขนาด 6K, 25K และ 65K เป็นต้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าว เมื่อนำไปเข้าสู่หน่วยประมวลผลตามกฎการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันแบบวนลูป จะได้ผลลัพธ์เป็นดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงตารางการจัดความสัมพันธ์ระหว่างฟิวส์กับฟิวส์

อุปกรณ์ป้องกันหลัก	อุปกรณ์ป้องกันสำรอง	ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่คู่ อุปกรณ์ทำงานสัมพันธ์กัน (A)	ค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดที่คู่ อุปกรณ์ทำงานสัมพันธ์กัน (A)
ฟิวส์ 6 K	ฟิวส์ 25 K	51	810
ฟิวส์ 6 K	ฟิวส์ 65 K	128	2135
ฟิวส์ 25 K	ฟิวส์ 6 K	-	-
ฟิวส์ 25 K	ฟิวส์ 65 K	128	2134
ฟิวส์ 65 K	ฟิวส์ 6 K	-	-
ฟิวส์ 65 K	ฟิวส์ 25 K	-	-

ซึ่งตารางการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน ดังกล่าว อาจจะแยกชนิดของคู่อุปกรณ์ป้องกัน หรืออาจไม่แยกก็ได้ ขึ้นอยู่กับผู้เขียน โปรแกรม โดยในกรณีที่แยกชนิดนั้น ตารางการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันก็จะมีหลายตาราง เช่น ตารางการจัดความสัมพันธ์ของ ฟิวส์กับฟิวส์ ตารางการจัดความสัมพันธ์ของ รีโคสเซอร์กับฟิวส์ ตารางการจัดความสัมพันธ์ของ รีเลย์กับฟิวส์ เป็นต้น ตัวอย่างของการออกแบบตารางการจัดความสัมพันธ์ของรีโคสเซอร์กับฟิวส์ มีลักษณะดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงตัวอย่างของตารางการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีโคสเซอร์ กับ ฟิวส์

ชนิดของการลัดวงจร	ฟิวส์ป้องกันหลัก	รีโคสเซอร์ ป้องกันสำรอง			ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่คู่อุปกรณ์ทำงานสัมพันธ์กัน (A)	ค่ากระแสลัดวงจรต่ำสุดที่คู่อุปกรณ์ทำงานสัมพันธ์กัน (A)
	ขนาด	TCC Curve	Min trip current	Time multiplier		
ชั่วคราว	6 K	101	70	1	97	118
ชั่วคราว	6 K	101	80	1	-	-
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
ชั่วคราว	25 K	102	90	1	90	688
ชั่วคราว	25 K	102	100	1	100	689
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
ถาวร	6 K	116	200	2	200	4501
ถาวร	6 K	116	210	2	210	4727
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
ถาวร	65 K	165	300	5	300	unlimited
ถาวร	65 K	165	310	5	310	unlimited

จากตารางที่ 4.4 เห็นได้ชัดเจนว่าข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นโดย หน่วยประมวลผลตามกฎการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันแบบวนรูป เป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มาก ยกตัวอย่างเช่นในกรณีมีข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันในฐานความรู้อันประกอบด้วย รีเลย์กระแสเกิน จำนวน 3 ชนิด แต่ละชนิด มี TCC 3 แบบ TCC แต่ละแบบ สามารถปรับค่า Pick Up ได้ 8 แท็บ และ ปรับค่า Time Dial ได้ 12 แท็บ นั่นหมายความว่ารีเลย์กระแสเกินในฐานความรู้ มีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างกันทั้งสิ้น 864 แบบ และนอกจากนี้ยังมีรีโคสเซอร์อีก 6 ชนิด แต่ละชนิดมี TCC 3 แบบ และสามารถปรับ

Min Trip current ได้ 6 ค่า ดังนั้น รีโคสเซอร์ จะมีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างกันทั้งสิ้น 108 แบบ รวมทั้ง ยังมีฟิวส์อีก 200 แบบ ดังนั้น ตารางการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน ที่หน่วยประมวลผลตามกฎการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันแบบวนลูป จะต้องประมวลผล มีประมาณ 1.37 ล้านแถว [9-10] แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการเรียนรู้ของหน่วยประมวลผลตามกฎการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันแบบวนลูป จะทำเพียงครั้งเดียว หลังจากที่ป้อนข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันลงในฐานความรู้เสร็จแล้วเท่านั้น

สำหรับกระบวนการในการใช้ความรู้ในส่วนของ หน่วยประมวลผลตามกฎการเลือกค่าที่เหมาะสม (Selection Rule Processor) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยประมวลผลตามกฎการเลือกค่าที่เหมาะสมแบบวนลูป (Procedural Mode Selection Rule Processor) กับ หน่วยประมวลผลตามกฎการเลือกค่าที่เหมาะสมแบบคิวรี (Query Mode Selection Rule Processor) โดยส่วนหน่วยประมวลผลตามกฎการเลือกค่าที่เหมาะสมแบบคิวรี จะทำการเลือกค่าการทำงานของคู่อุปกรณ์ป้องกันจากตารางการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน โดยอ้างอิงกฎในฐานกฎ และข้อมูลจากส่วนประมวลผลทางด้านวิศวกรรม รวมถึงข้อมูลจากผู้ใช้ด้วย ซึ่งค่าการทำงานที่ถูกเลือกแล้ว จะส่งไปให้ หน่วยประมวลผลตามกฎการเลือกค่าที่เหมาะสมแบบวนลูป เพื่อเลือกค่าที่การทำงานที่ดีที่สุด ต่อไป

ข้อดีของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ Broadwater และคณะ เป็นผู้คิดค้นขึ้นนี้คือ ผู้ใช้ สามารถเพิ่มเติมฐานกฎการเลือกค่าที่เหมาะสมของการได้โดยง่าย โดยใช้คำสั่ง SQL

ส่วนข้อเสียคือ จะต้องทำการประมวลผลตามกฎการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันแบบวนลูป ทุกครั้งที่มีการแก้ไขเพิ่มเติมฐานความรู้ในส่วนของอุปกรณ์ป้องกัน หรือ ข้อมูลฐานกฎการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งต้องใช้เวลาในการประมวลผลนานมาก

ในช่วงเริ่มดำเนินงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้ทดลองนำระบบผู้เชี่ยวชาญที่ Broadwater และคณะเป็นผู้คิดค้นขึ้น นำมาทดลองใช้กับงานวิจัย ปรากฏว่า มีข้อไม่สะดวกหลายประการ เช่น เมื่อมีการแก้ไขค่าตัวแปรหรือ Margin ของฐานกฎการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกัน หรือมีการแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูลอุปกรณ์ป้องกัน จะต้องทำการประมวลผลตามกฎการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันแบบวนลูปใหม่ทุกครั้ง ซึ่งในแต่ละครั้ง ใช้เวลาในการประมวลผลนานมาก จากการทดลองประมวลผลข้อมูลจำนวน 4 หมื่นแถว พบว่า ต้องใช้เวลาถึง 30 นาที นอกจากนี้ยังใช้เนื้อที่ของหน่วยความจำในการเก็บข้อมูลมากถึง 140 เมกะไบต์ และเนื่องจากปัจจุบัน ข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายมีลักษณะเป็นแบบไมโคร โพรเซสเซอร์ ซึ่งสามารถปรับตั้งค่าการทำงานได้ละเอียดมาก ยกตัวอย่างเช่น รีโคสเซอร์ผลิตภัณฑ์ COOPER รุ่น Form-4C มี TCC จำนวน 42 แบบ ซึ่งแต่ละแบบ ปรับตั้งค่า Min Trip Current ได้ตั้งแต่ 25 A – 560 A โดยปรับได้ที่ละ 1

A ปรับค่า Time Multiplier ได้ตั้งแต่ 1 ถึง 10 โดยปรับได้ที่ละ 1 ดังนั้น รีโกลสเซอร์รุ่นดังกล่าว จึงมีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างกันถึง 225,120 แบบ ดังนั้นการ ประมวลผลตามกฎการจัด ความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันแบบวนลูบจะต้องทำการคำนวณ แล้วเก็บข้อมูลดังกล่าวลงใน ตารางการจัดความสัมพันธ์ระหว่างรีโกลสเซอร์กับรีโกลสเซอร์ จำนวนทั้งสิ้น 50,679,014,400 แถว ซึ่งผู้วิจัยมีความเห็นว่า ระบบผู้เชี่ยวชาญที่ Broadwater และคณะเป็นผู้คิดค้นขึ้นนี้ มีความ ไม่เหมาะสม กับลักษณะของข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันในปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงได้ทำการคิดค้นกระบวนการ ทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญขึ้นมาใหม่ ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อถัดไป

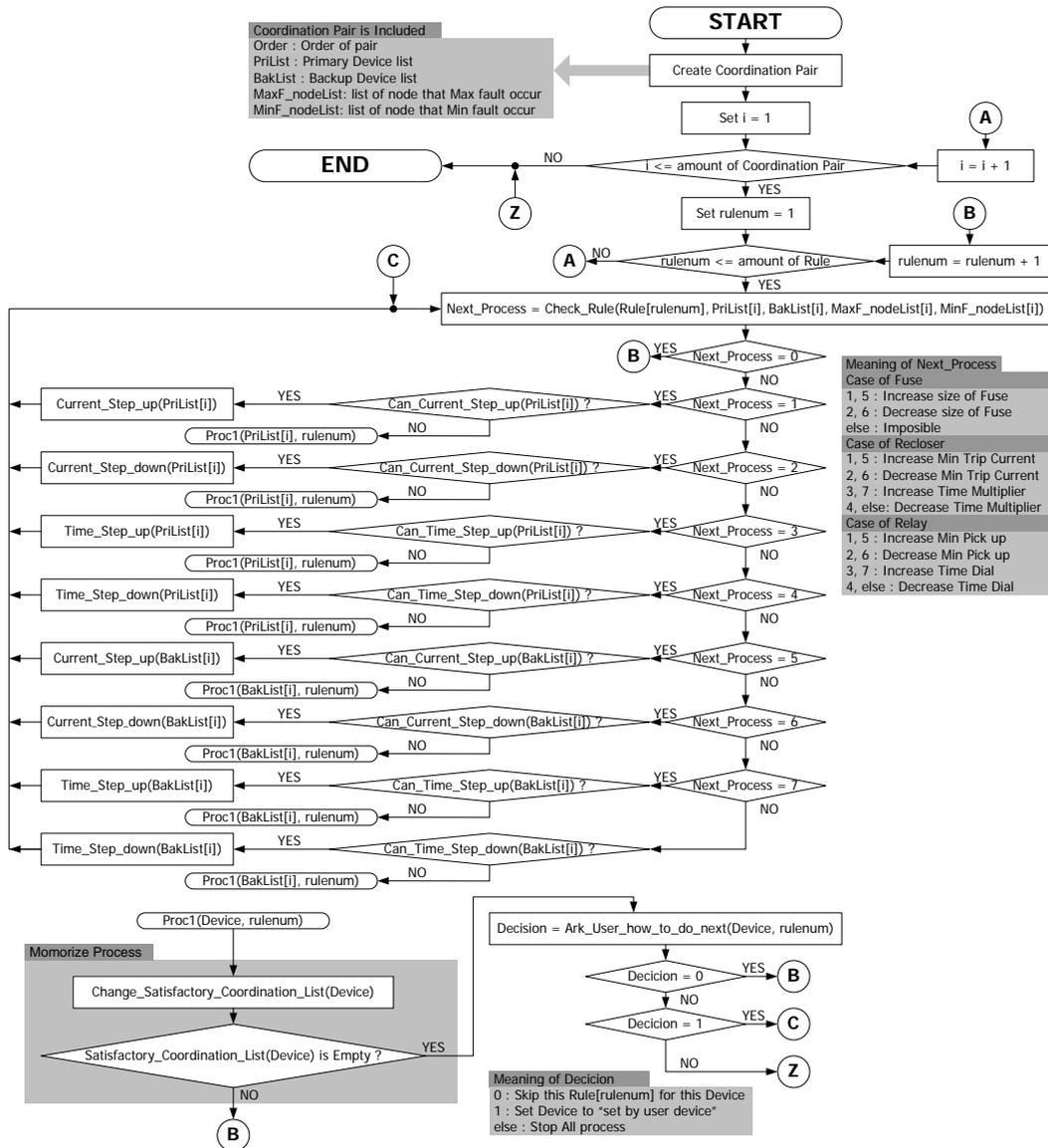
4.6.2 กระบวนการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ผู้วิจัยเป็นผู้พัฒนา

กระบวนการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ผู้วิจัยได้คิดค้นขึ้นมาใหม่นี้ ยึดหลักการคือ เลียนแบบพฤติกรรมของผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ ในการดำเนินการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ ป้องกัน เป็นหลัก ซึ่งการดำเนินการจัดความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันของผู้เชี่ยวชาญที่เป็น มนุษย์ สามารถอธิบายเป็นข้อๆตามลำดับ ได้ดังนี้

- 1.) นำข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่าย มากำหนดคู่ของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination Pair) รวมทั้งตรวจสอบหาตำแหน่งที่เกิดกระแสลัดวงจรสูงสุด และ ต่ำสุด ในพื้นที่ป้องกันของแต่ละคู่ของอุปกรณ์
- 2.) ตรวจสอบว่ามีอุปกรณ์ป้องกันใดที่อยู่ทางด้านปลายสาย แล้วเริ่มกำหนดค่าการทำงานของ อุปกรณ์ป้องกันปลายสายโดยพิจารณาจากค่ากระแสไหลลัดที่ไหลผ่านอุปกรณ์ ดังกล่าวเป็นหลัก
- 3.) การจัดความสัมพันธ์ของคู่อุปกรณ์ป้องกัน จะพิจารณาคู่ที่อยู่ปลายสายก่อน แล้วจึง ขยับเข้ามาหาคู่ที่อยู่ทางด้านต้นกำลัง ตามลำดับ
- 4.) ในการจัดความสัมพันธ์ของคู่อุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ป้องกันหลักและ อุปกรณ์ป้องกันสำรอง เนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันหลักได้ถูกกำหนดค่าการทำงาน ที่เหมาะสมไว้แล้ว ซึ่งถูกกำหนดโดย ค่ากระแสไหลลัดสูงสุด หรือค่ากระแสลัดวงจร ต่ำสุด หรือได้จัดความสัมพันธ์กับคู่อุปกรณ์อื่นไว้แล้ว ดังนั้น ผู้เชี่ยวชาญจะไม่ทำการ ปรับค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันหลัก แต่จะปรับเฉพาะค่าการทำงานของ อุปกรณ์ป้องกันสำรองเท่านั้น แต่หากมีความจำเป็นจะต้องปรับค่าการทำงานของ อุปกรณ์ป้องกันหลัก ผู้เชี่ยวชาญจำเป็นต้องตรวจสอบว่าเมื่อปรับแล้วจะมีผลกระทบต่อ การทำงานอื่นๆด้วยหรือไม่ด้วย ซึ่งการปรับค่าดังกล่าว ผู้เชี่ยวชาญจะปรับค่า ทีละขั้น จนกระทั่งสามารถทำงานได้สัมพันธ์กัน ซึ่งในการปรับค่าการทำงาน

ในแต่ละครั้ง ผู้เชี่ยวชาญจะมีการจดจำว่า ค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ทำการปรับนั้น สามารถปรับเพิ่มได้อีกเท่าใด หรือลดค่าได้อีกหรือไม่

สำหรับกระบวนการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ผู้วิจัยได้คิดค้นขึ้นมาใหม่โดย เลียนแบบพฤติกรรมของผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ ที่ทำงานทางด้านจัดความสัมพันธ์ ตามที่ได้อธิบายในข้างต้น สามารถเขียนเป็น แผนผังขั้นตอน (Flow chart) ได้ดังรูป 4.35



รูป 4.35 แสดงแผนผังขั้นตอนกระบวนการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญที่ผู้วิจัยเป็นผู้พัฒนา