

บทที่ 5

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะเป็นการทดสอบการวางแผนระบบส่ง ร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการทดสอบและการวิเคราะห์ประกอบไปด้วย 3 กรณี โดยเริ่มจากกรณีแรกเป็นการทดสอบการจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรโดยการประยุกต์ใช้งาน CLR กับระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัส กรณีที่สองเป็นการทดสอบการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าร่วมกับการจำกัดกระแสลัดวงจร โดยทำการทดสอบกับระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัส และสุดท้ายเป็นกรณีศึกษาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้ากำลังร่วมกับการจำกัดกระแสลัดวงจรในระบบส่งบริเวณกรุงเทพมหานครโดยวิธีที่นำเสนอ

การทดสอบในบทนี้ จะใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วย MATLAB โดยในส่วนวิธีการออปติไมเซชันทางคณิตศาสตร์ นั้นพัฒนาโดยเขียนโปรแกรมบน MATLAB สำหรับการคำนวณ power flow ในขั้นตอนของวิธีที่นำเสนอ จะทำโดยโปรแกรม MATPOWER 4.0

5.1 การสอบการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการติดตั้ง CLR กับระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัส โดยประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมในการหาคำตอบ

ในหัวข้อนี้ จะทำการทดสอบการวางแผนการจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรในระบบทดสอบด้วยวิธีการออปติไมเซชันโดยวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม โดยทดสอบกับระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัส ที่ได้มีการปรับปรุงข้อมูลบางส่วนเพื่อให้มีความสอดคล้องกับในทางปฏิบัติมากยิ่งขึ้น คือ ได้มีการเพิ่มข้อมูลค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณค่ากระแสลัดวงจร รูปที่ 5.1 แสดงระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัสที่ใช้ในการทดสอบ สำหรับรายละเอียดของข้อมูลบัส ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และข้อมูลสายส่งในระบบ แสดงไว้ในภาคผนวก ก.1

โดยที่วัตถุประสงค์ของการทดสอบในหัวข้อนี้ คือ ต้องการศึกษามลการติดตั้ง CLR กับ การแก้ไขปัญหาระยะสั้นโดยการเปิดวงจรสายส่ง รวมไปถึงต้องการพิจารณาถึงประสิทธิภาพของการใช้กระบวนการวิธีทางพันธุกรรมเป็นเครื่องมือในการคัดเลือกตำแหน่ง และขนาดของ CLR ที่ต้องการทำการติดตั้ง เพื่อจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจร

นอกจากนั้นเพื่อแสดงให้เห็นข้อแตกต่างของวิธีการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยวิธีที่นำเสนอ กับวิธีแก้ไขปัญหาลเฉพาะหน้าที่ใช้ในทางปฏิบัติ ในส่วนการทดลองนี้จึงได้แบ่งเป็น 2 กรณีในการจำกัดกระแสลัดวงจรดังนี้

กรณีที่ 1 การพิจารณาเลือกตำแหน่งเปิดวงจรบางวงจรออกเพื่อจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรโดยมีวัตถุประสงค์ คือมีการเปิดวงจรน้อยที่สุด โดยใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมในการหาคำตอบ

กรณีที่ 2 การเลือกตำแหน่ง และขนาดของ CLR ที่ต้องการทำการติดตั้ง เพื่อจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรโดยมีวัตถุประสงค์ คือมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งน้อยที่สุด โดยใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมในการหาคำตอบ

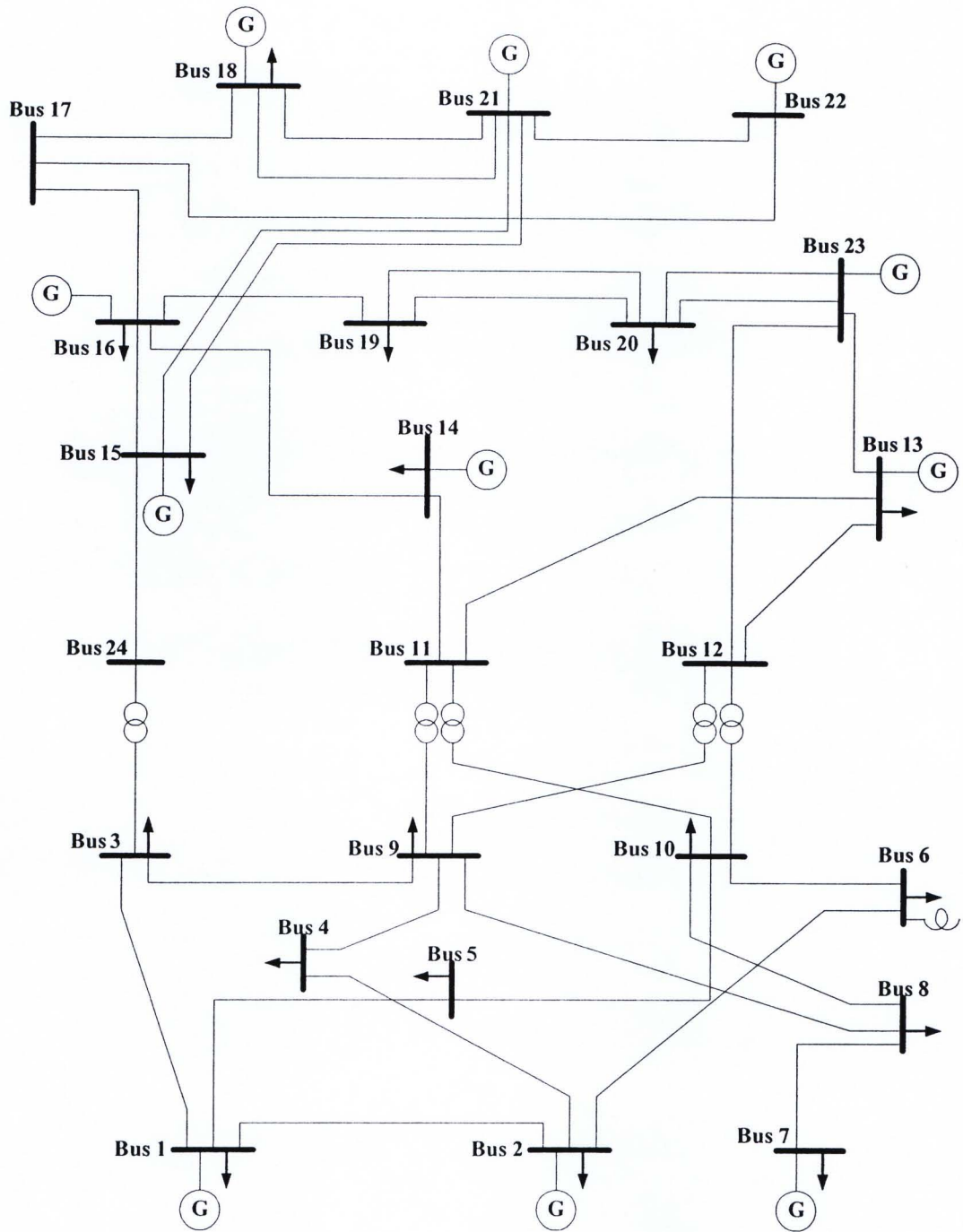
ในการวิเคราะห์การจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเบื้องต้นพิจารณาเพียงเงื่อนไขบังคับข้อทั่วไปไม่ได้พิจารณาเงื่อนไขบังคับ contingency n-1

โดยจะนำผลของการจำกัดกระแสลัดวงจรทั้ง 2 กรณีมาเปรียบเทียบในเงื่อนไขของระบบดังกล่าวต่อไป

ข้อมูลค่าพิกัด และค่าพารามิเตอร์

พิกัดของเงื่อนไขบังคับ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในระบบทดสอบนี้มีการกำหนด ดังนี้

- ขนาดของแรงดันที่น้อยสุดที่บัสใดๆ ($|LV|_i$) เท่ากับ 0.95 p.u.
- ขนาดของแรงดันที่มากที่สุดที่บัสใดๆ ($|UV|_i$) เท่ากับ 1.05 p.u.
- ขนาดของพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่บัสใดๆ (WC_i) เท่ากับ 15 kA
- พิกัดกำลังของสายส่งใดๆ ($FL_{j,k}$) เท่ากับ 400 MVA
- ขนาดของ CLR ที่ทำการติดตั้ง คือ 0.01 p.u., 0.03 p.u., 0.05 p.u. และ 0.1 p.u.



รูปที่ 5.1 ระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัส

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบทั้ง 2 กรณีการเลือกสายส่งที่จะเปิดวงจรได้คำตอบดังนี้

กรณีที่ 1 คำตอบของตำแหน่งในการเปิดวงจรที่ได้จากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม คือ เลือกเปิดวงจร 2 วงจร คือ สายส่งระหว่างบัสที่ 1 และ บัสที่ 2 และสายส่งระหว่างบัสที่ 15 และ บัสที่ 16

กรณีที่ 2 คำตอบของตำแหน่ง และขนาดในการติดตั้ง CLR ที่ได้จากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม คือ ติดตั้ง CLR 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่ 1 ติดตั้งระหว่างสายส่งระหว่างบัสที่ 1 และ บัสที่ 2 และตำแหน่งที่ 2 ติดตั้งระหว่างสายส่งระหว่างบัสที่ 15 และ บัสที่ 16

จากผลการทดสอบทั้งสองกรณีสามารถวิเคราะห์ผลกระทบในเรื่องกระแสลัดวงจร ผลกระทบในเรื่องกำลังที่ไหลในสายส่ง และผลกระทบในเรื่องแรงดันได้ดังต่อไปนี้

ผลกระทบในเรื่องกระแสลัดวงจร

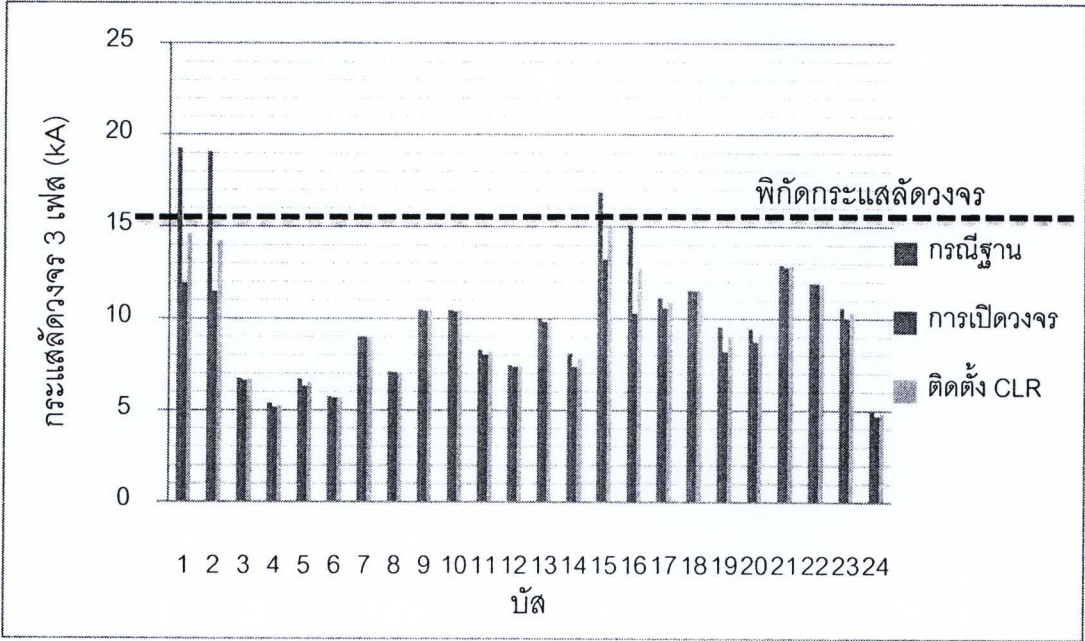
เมื่อคำนวณกระแสลัดวงจรแบบสามเฟสทั้งสองกรณีการทดสอบ รวมไปถึงกรณีของระบบที่ยังไม่มีการแก้ไขปัญหากระแสลัดวงจรซึ่งกำหนดให้เป็น **กรณีฐาน** สามารถแสดงดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 กระแสลัดวงจร 3 เฟส ในการทดสอบ 5.1

บัส	กระแสลัดวงจร 3 เฟส (kA)		
	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
1	19.281	11.9416	14.6427
2	19.0753	11.4875	14.2362
3	6.7756	6.6687	6.7273
4	5.4163	5.1823	5.2947
5	6.7284	6.3476	6.5277
6	5.7659	5.7044	5.7342
7	9.0192	9.0159	9.0177
8	7.0974	7.0875	7.0932
9	10.5064	10.4435	10.4783
10	10.4915	10.413	10.4562
11	8.3087	8.054	8.2058
12	7.4875	7.3846	7.4453

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) กระแสลัดวงจร 3 เฟส ในการทดสอบ 5.1

บัส	กระแสลัดวงจร 3 เฟส (kA)		
	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
13	10.03	9.8375	9.9525
14	8.1173	7.3911	7.8179
15	16.8745	13.2349	14.979
16	15.0696	10.2978	12.7812
17	11.1439	10.604	10.9269
18	11.5574	11.5263	11.5434
19	9.5796	8.229	9.0053
20	9.4705	8.7403	9.1713
21	12.9225	12.8022	12.8775
22	11.927	11.9255	11.9261
23	10.5951	10.011	10.3585
24	4.9539	4.7252	4.8653



รูปที่ 5.2 กระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในการทดสอบ 5.1

สรุปผลกระทบในเรื่องกระแสลัดวงจร

จากผลการคำนวณกระแสลัดวงจรตามตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.2 แสดงได้ว่าการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการเปิดวงจร และการติดตั้ง CLR สามารถที่จะจำกัดกระแสลัดวงจรไม่เกินค่าที่กำหนดได้ในกรณีนี้ คือ กระแสลัดวงจรที่บัส 1 บัส 2 บัส 15 และที่บัส 16 แต่ปริมาณของกระแสลัดวงจรที่ลดลงนั้น การเปิดวงจรจะสามารถลดปริมาณกระแสลัดวงจรได้มากกว่าการติดตั้ง CLR เนื่องจากการเปิดวงจรเปรียบเสมือนการติดตั้ง CLR ขนาดอนันต์ที่มีผลต่ออิมพีแดนซ์ของระบบมากกว่าอันนำมาซึ่งกระแสลัดวงจรที่มีมีค่าน้อยกว่า

ผลกระทบในเรื่องกำลังที่ไหลในสายส่ง

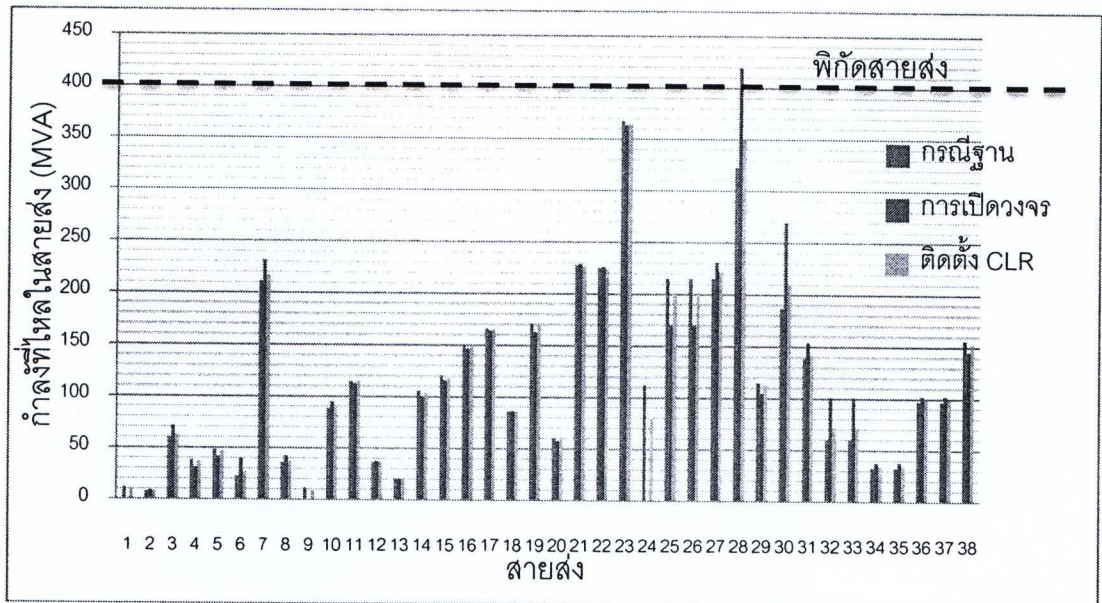
เมื่อคำนวณกำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจรทั้งสองกรณีการทดสอบ รวมไปถึงกรณีของระบบที่ยังไม่มีการแก้ไขปัญหakerแสลัดวงจรซึ่งกำหนดให้เป็น **กรณีฐาน** สามารถแสดงดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 กำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร ใน การทดสอบ 5.1

สายส่ง		กำลังที่ไหลในสายส่ง (MVA)		
จากบัส	ถึงบัส	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
1	2	11.93993	-	9.748273
1	3	7.966741	9.229612	8.719998
1	5	60.02686	71.76128	62.97178
2	4	38.43584	31.60087	37.21002
2	6	48.50056	42.06555	47.53831
3	9	22.89815	40.10048	27.78743
3	24	211.2061	231.3128	216.8683
4	9	36.15132	42.906	37.35373
5	10	11.71379	0.730446	8.841326
6	10	88.59219	95.13188	89.51183
7	8	115	112.8784	115
8	9	36.9232	37.88476	37.06773
8	10	21.19435	21.15389	21.05072
9	11	105.9185	100.1734	104.028

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) กำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร ใน การทดสอบ 5.1

สายส่ง		กำลังที่ไหลในสายส่ง (MVA)		
จากบัส	ถึงบัส	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
9	12	120.4662	116.1114	118.9379
10	11	151.1768	147.3262	149.9405
10	12	166.7389	164.3623	165.889
11	13	86.14569	86.5438	85.90835
11	14	171.7731	163.1496	168.8656
12	13	60.51412	58.02912	59.56536
12	23	227.7015	228.8116	226.2574
13	23	225.3027	226.2584	224.1519
14	16	367.551	363.8172	364.5863
15	16	112.3009	-	79.61769
15	21	214.9193	170.4542	201.5309
15	21	214.9193	170.4542	201.5309
15	24	215.5377	231.313	221.4442
16	17	322.6765	419.6139	349.262
16	19	115.0827	104.9552	112.351
17	18	186.9409	269.319	210.4701
17	22	139.0883	154.4653	142.7028
18	21	60.28924	101.4718	72.13054
18	21	60.28924	101.4718	72.13054
19	20	33.17494	38.14985	34.53144
19	20	33.17494	38.14985	34.53144
20	23	97.28808	102.465	98.64834
20	23	97.28808	102.465	98.64834
21	22	156.4638	145.5347	152.8104



รูปที่ 5.3 กำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร ในการทดสอบ 5.1

สรุปผลกระทบในเรื่องกำลังที่ไหลในสายส่ง

จากผลการคำนวณกำลังที่ไหลในสายส่งตามตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 แสดงได้ว่าการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการเปิดวงจร ถึงแม้จะจำกัดกระแสลัดวงจรได้แต่มีโอกาสทำให้กำลังที่ไหลในสายส่งเกินค่าพิกัดที่ตั้งไว้ได้ในกรณีนี้ คือ สายส่งจากบัส 16 ไปบัส 17 ที่มีกำลังไหลเกินค่าที่ตั้งไว้ คือ 400 MVA เนื่องมาจากการเปิดสายส่งออกทำให้สายส่งที่เหลืออยู่ในระบบต้องแบกรับภาระการส่งกำลังที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแตกต่างจากการติดตั้ง CLR ถึงแม้จะส่งผลต่อการแบกรับภาระของสายส่งที่เพิ่มขึ้น แต่มีค่าน้อยกว่าการเปิดวงจรอย่างชัดเจน

ผลกระทบในเรื่องแรงดัน

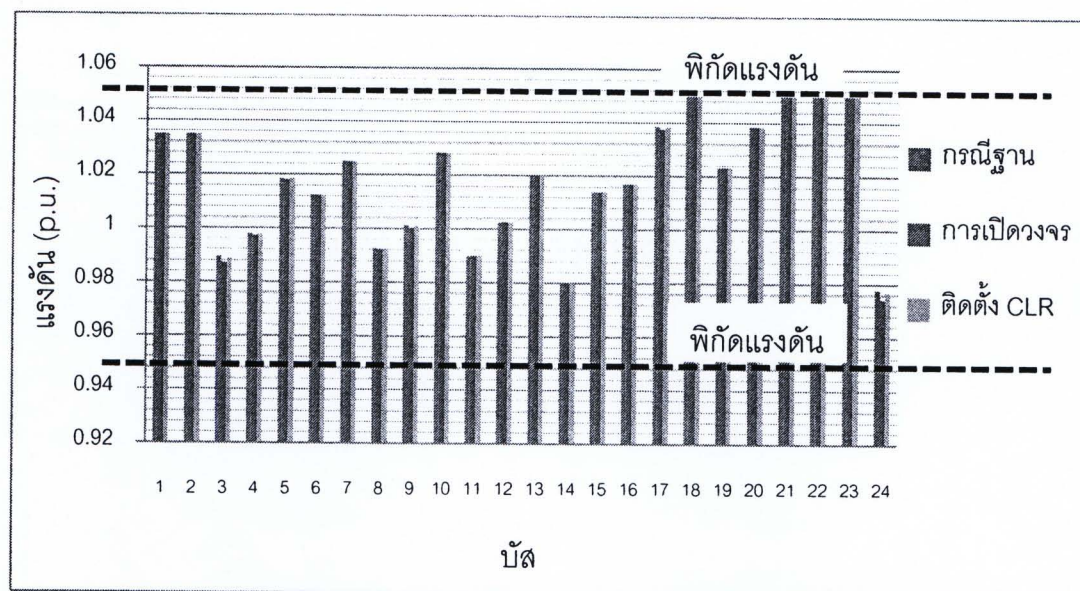
เมื่อคำนวณค่าแรงดันในแต่ละบัสทั้งสองกรณีการทดสอบ รวมไปถึงกรณีของระบบที่ยังไม่มีการแก้ไขปัญหากระแสลัดวงจรซึ่งกำหนดให้เป็น กรณีฐาน สามารถแสดงดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.4

ตารางที่ 5.3 แรงดันในแต่ละบัส ในการทดสอบ 5.1

บัส	แรงดัน (p.u.)		
	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
1	1.035	1.035	1.035
2	1.035	1.035	1.035
3	0.989378	0.987045	0.988763

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) แรงดันในแต่ละบัส ในการทดสอบ 5.1

บัส	แรงดัน (p.u.)		
	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
4	0.997945	0.997334	0.997799
5	1.018532	1.01814	1.018466
6	1.012401	1.01239	1.012413
7	1.025	1.025	1.025
8	0.992665	0.992383	0.9926
9	1.001335	1.000295	1.001075
10	1.02846	1.028246	1.028437
11	0.989894	0.990117	0.989978
12	1.002533	1.00279	1.002631
13	1.02	1.02	1.02
14	0.98	0.98	0.98
15	1.014	1.014	1.014
16	1.017	1.017	1.017
17	1.038552	1.037516	1.03828
18	1.05	1.05	1.05
19	1.023248	1.023254	1.023251
20	1.03849	1.038471	1.038485
21	1.05	1.05	1.05
22	1.05	1.05	1.05
23	1.05	1.05	1.05
24	0.977862	0.974262	0.976834



รูปที่ 5.4 แรงดันในแต่ละบัส ในการทดสอบ 5.1

สรุปผลกระทบในเรื่องแรงดัน

จากผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสตามตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 แสดงได้ว่าการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการเปิดวงจร และการติดตั้ง CLR นั้นไม่มีการละเมิดเงื่อนไขพิกัดแรงดันที่ตั้งไว้ แต่การติดตั้ง CLR นั้นอาจส่งผลกระทบในเรื่องแรงดันในแต่ละบัสน้อยกว่าการเปิดวงจรในแง่ที่ทำให้แรงดันในแต่ละบัสลดลง

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

การแก้ปัญหาการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยวิธีการเลือกเปิดวงจรมันถึงแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าการติดตั้ง CLR แต่ผลกระทบต่อระบบจะมีมากกว่าการติดตั้ง CLR อย่างเห็นได้ชัดทั้งในแง่ของกำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร และแรงดัน

สรุปผลการทดสอบ

การแก้ปัญหาการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการพิจารณาติดตั้ง CLR แทนการเปิดวงจรเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่าการเปิดวงจรอย่างเห็นได้ชัดในแง่ของเงื่อนไขบังคับต่างๆ ที่กล่าวมาแต่จำเป็นต้องใช้ค่าใช้จ่ายที่มากกว่า ด้วยเหตุนี้การติดตั้ง CLR จำเป็นที่จะต้องมีการพิจารณาหาตำแหน่ง และขนาดที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าใช้จ่ายมีค่าน้อยที่สุด การประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมมาเป็นเครื่องมือในการหาคำตอบจะสามารถช่วยในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมทั้งในแง่ค่าใช้จ่าย และความน่าเชื่อถือของระบบที่ตามมา

5.2 การสอบการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการติดตั้ง CLR กับระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัส โดยประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมในการหาคำตอบ

ในหัวข้อนี้ จะทำการทดสอบการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าร่วมกับการจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรในระบบทดสอบด้วยวิธีการออปติไมเซชันโดยวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม โดยทดสอบกับระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัส ที่ได้มีการปรับปรุงข้อมูลบางส่วนเพื่อให้มีความสอดคล้องกับในทางปฏิบัติมากยิ่งขึ้น คือ ได้มีการเพิ่มข้อมูลค่ารีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้ในการคำนวณค่ากระแสลัดวงจร รูปที่ 5.1 แสดงระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัสที่ใช้ในการทดสอบสำหรับรายละเอียดของข้อมูลบัส ข้อมูลกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และข้อมูลสายส่งในระบบ แสดงไว้ในภาคผนวก ก.1 สำหรับระบบทดสอบซึ่งประกอบด้วยบัสจำนวนบัสจำนวน 24 บัส สายส่งจำนวน 38 วงจร มีความต้องการใช้ไฟฟ้ารวม 2,850.0 MW และมีกำลังการผลิตรวม 2,901.2 MW โดยมีการปรับปรุงการทดลองโดยการสมมติการขยายตัวของระบบไฟฟ้าภายในเวลาที่กำหนดคือ 5 ปีดังนี้

1. ความต้องการใช้ไฟฟ้าที่พิจารณารวม 2,850.0 MW เปลี่ยนแปลงให้มีการเพิ่มขึ้นทุกจุดโหลดปีละ 5 % ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในเขตที่พิจารณามีค่า 3,562.5 MW
2. กำลังการผลิตภายในบริเวณที่พิจารณารวม 2,901.2 MW เปลี่ยนแปลงให้มีการเพิ่มขึ้นทุกจุดปีละ 5 % กำลังการผลิตภายในบริเวณที่พิจารณารวมมีค่า 3,642.3 MW

โดยที่วัตถุประสงค์ของการทดสอบในหัวข้อนี้ คือ ศึกษาผลการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรในระบบในที่นี่คือ ระบบระบบทดสอบ IEEE-RTS 24 บัส โดยวิธีหาตำแหน่ง และขนาดในการติดตั้ง CLR อีกทั้งศึกษาผลกระทบที่ตามมาเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลง เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาได้อย่างเหมาะสมโดยประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

นอกจากนั้นเพื่อแสดงให้เห็นข้อแตกต่างของวิธีวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยวิธีที่นำเสนอกับวางแผนขยายระบบส่งโดยทั่วไปโดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 กรณีรวมไปถึงระบบที่มีการขยายตัวแต่ยังไม่ได้มีการวางแผนขยายระบบส่งโดยมี 3 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 ระบบที่มีการขยายตัวแต่ไม่มีการพิจารณาการวางแผนขยายระบบส่ง เพื่อใช้เป็นกรณีเปรียบเทียบกับแผนการแก้ปัญหาที่ได้

กรณีที่ 2 การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าโดยการเลือกตำแหน่ง การก่อสร้างสายส่งใหม่ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสายส่งเพิ่มน้อยที่สุด โดยประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

กรณีที่ 3 การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร โดยการเลือกตำแหน่ง การก่อสร้างสายส่งใหม่ และหาตำแหน่ง รวมไปถึงขนาดของ CLR ที่ทำการติดตั้งเพื่อจำกัดกระแสลัดวงจร ซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสายส่งเพิ่ม และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง CLR น้อยที่สุด โดยประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

ในการวิเคราะห์การจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเบื้องต้นพิจารณาเพียงเงื่อนไขบังคับข้อทั่วไปไม่ได้พิจารณาเงื่อนไขบังคับ contingency n-1

โดยจะนำผลระบบต่อระบบไฟฟ้าทั้ง 3 กรณี และระบบก่อนการพิจารณาการขยายตัวเป็น กรณีฐาน ในการทดสอบมาเปรียบเทียบกับเงื่อนไขของระบบดังกล่าวต่อไป

ข้อมูลค่าพิกัด และค่าพารามิเตอร์

พิกัดของเงื่อนไขบังคับ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในระบบทดสอบนี้มีการกำหนด ดังนี้

- ขนาดของแรงดันที่น้อยสุดที่บัสใดๆ ($|LV|_i$) เท่ากับ 0.95 p.u.
- ขนาดของแรงดันที่มากที่สุดที่บัสใดๆ ($|UV|_i$) เท่ากับ 1.05 p.u.
- ขนาดของพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่บัสใดๆ (WC_i) เท่ากับ 15 kA
- พิกัดกำลังของสายส่งใดๆ ($FL_{j,k}$) เท่ากับ 400 MVA
- ค่าราคาในการก่อสร้างสายส่งระหว่างบัส i กับบัส j ($c_{i,j}$) เท่ากับ 10 ล้านบาท
- ขนาดของ CLR ที่ทำการติดตั้ง คือ 0.01 p.u., 0.03 p.u., 0.05 p.u. และ 0.1 p.u. โดยมีราคา 1 ล้านบาท 1.2 ล้านบาท 1.5 ล้านบาท 2 ล้านบาท ตามลำดับ

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบทั้ง 3 กรณีได้คำตอบดังนี้

กรณีที่ 1 ระบบที่ไม่มีการขยายตัวแต่ไม่มีการวางแผนขยายระบบส่ง

กรณีที่ 2 คำตอบในการวางแผนขยายระบบส่ง คือทำการก่อสร้างสายส่งใหม่ 2 วงจร โดยมีรายละเอียดของสายส่งที่ทำการก่อสร้างเพิ่ม ดังตารางที่ 5.9

กรณีศึกษาที่ 3 คำตอบในการวางแผนขยายระบบส่ง คือทำการก่อสร้างสายส่งใหม่ 2 วงจร โดยมีรายละเอียดของสายส่งที่ทำการก่อสร้างเพิ่ม ดังตารางที่ 5.4 และคำตอบของตำแหน่ง และขนาดในการติดตั้ง CLR ที่ได้จากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม คือ ติดตั้ง CLR 2 ตำแหน่ง ตำแหน่งที่ 1 ติดตั้งระหว่างสายส่งระหว่างบัสที่ 1 และ บัสที่ 2 ขนาด 0.1 p.u. และตำแหน่งที่ 2 ติดตั้งระหว่างสายส่งระหว่างบัสที่ 15 และ บัสที่ 16 ขนาด 0.1 p.u.

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลสายส่งในแผนก่อสร้างเพิ่มในการทดสอบกรณีศึกษาที่ 2 และ 3 การทดสอบ 5.2

สายส่ง		ความ ต้านทาน (p.u.)	ค่ารีแอก แตนซ์ (p.u.)	ตัววัด ประจุสาย ส่ง (p.u.)	ขีดจำกัด ทางความ ร้อน (MVA)	อัตราส่วน หม้อแปลง (ratio)	มุม ของ หม้อ แปลง
จากบัส	ถึงบัส						
1	2	0.0026	0.0139	0.4611	175	0	0
15	16	0.0022	0.0173	0.0364	500	0	0

จากผลการทดสอบทั้งสามกรณีสามารถวิเคราะห์ผลกระทบในเรื่องกำลังที่ไหลในสายส่ง ผลกระทบในเรื่องกระแสลัดวงจร และผลกระทบในเรื่องแรงดันได้ดังต่อไปนี้

ผลกระทบในเรื่องกำลังที่ไหลในสายส่ง

เมื่อคำนวณกำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจรทั้งสามกรณีการทดสอบ รวมไปถึงกรณีระบบก่อนการพิจารณาการขยายตัวเป็น **กรณีฐาน** สามารถแสดงดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 กำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร ใน การทดสอบ 5.2

สายส่ง		กำลังที่ไหลในสายส่ง (MVA)			
จากบัส	ถึงบัส	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
1	2	11.93993	14.67272	11.74218	9.811445
1	3	7.966741	9.489713	3.469536	4.714971
1	5	60.02686	74.81732	71.72764	74.90382
2	4	38.43584	47.64039	46.67673	45.54562
2	6	48.50056	60.77722	58.81224	58.01608
3	9	22.89815	25.93643	13.52434	19.34848

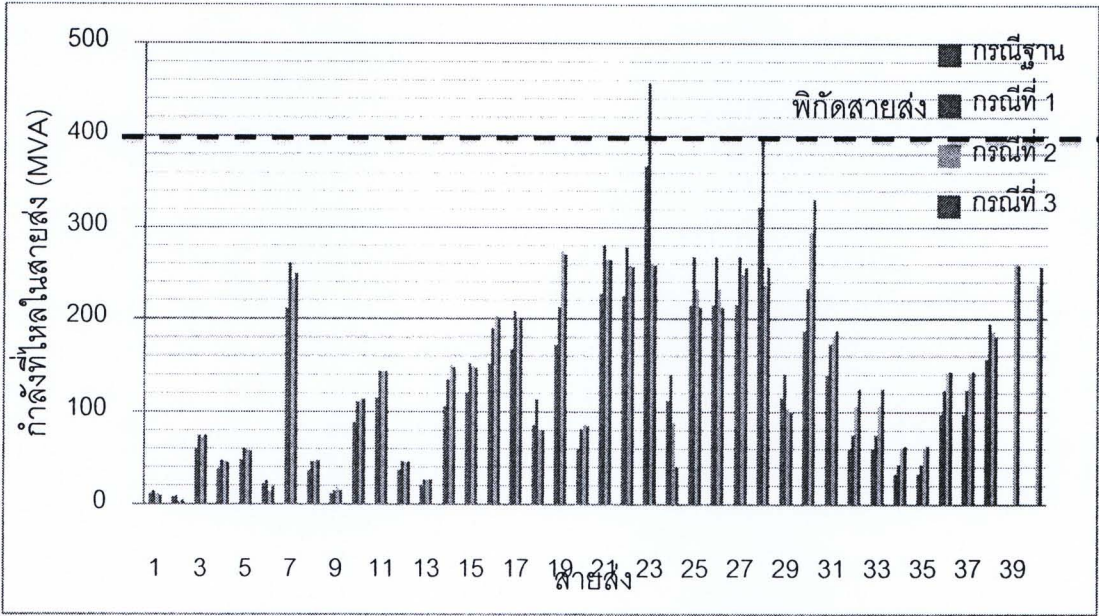
ตารางที่ 5.5 (ต่อ) กำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร ใน การทดสอบ 5.2

สายส่ง		กำลังที่ไหลในสายส่ง (MVA)			
จากบัส	ถึงบัส	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
3	24	211.2061	261.0379	242.4644	249.5649
4	9	36.15132	45.78799	46.71959	47.82485
5	10	11.71379	15.11159	18.11222	15.0273
6	10	88.59219	110.9679	112.8258	113.5794
7	8	115	143.7501	143.7501	143.7501
8	9	36.9232	46.6361	45.91076	46.10527
8	10	21.19435	26.74076	27.46123	27.26769
9	11	105.9185	134.7071	150.6778	148.1675
9	12	120.4662	152.4933	148.9191	147.0286
10	11	151.1768	189.9916	202.8106	201.2237
10	12	166.7389	208.739	201.5919	200.652
11	13	86.14569	113.3729	80.81682	80.84067
11	14	171.7731	212.6542	274.2346	270.0798
12	13	60.51412	81.77934	85.97738	84.79021
12	23	227.7015	281.0792	266.0605	264.3953
13	23	225.3027	278.1945	257.9555	256.6312
14	16	367.551	457.7892	260.5609	258.4173
15	16	112.3009	139.8789	89.52894	41.03483
15	21	214.9193	267.6477	232.6875	212.1751
15	21	214.9193	267.6477	232.6875	212.1751
15	24	215.5377	267.9164	248.3459	255.8153
16	17	322.6765	401.21	236.8152	257.1893
16	19	115.0827	140.6937	103.2994	100.1402
17	18	186.9409	233.3792	295.1926	331.102
17	22	139.0883	172.9694	182.0555	187.5222
18	21	60.28924	75.29832	106.5131	124.6531
18	21	60.28924	75.29832	106.5131	124.6531

ตารางที่ 5.5 (ต่อ) กำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร ใน การทดสอบ 5.2

สายส่ง		กำลังที่ไหลในสายส่ง (MVA)			
จากบัส	ถึงบัส	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
19	20	33.17494	43.08661	61.64732	63.21724
19	20	33.17494	43.08661	61.64732	63.21724
20	23	97.28808	123.2352	141.8812	143.4599
20	23	97.28808	123.2352	141.8812	143.4599
21	22	156.4638	195.0865	185.8585	180.2928
15*	16	-	-	260.5609	258.4173
1*	2	-	-	236.8152	257.1893

*หมายเหตุ: สายส่งที่ก่อสร้างใหม่



รูปที่ 5.5 กำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร ในการทดสอบ 5.2

สรุปผลกระทบในเรื่องกำลังที่ไหลในสายส่ง

จากการคำนวณกำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจรทั้งสามกรณีการทดสอบพบว่า เมื่อระบบทดสอบมีการขยายตัวจะเกิดการละเมิดขีดจำกัดของกำลังที่ไหลในสายส่งได้ในที่นี้คือ สายส่งระหว่างบัสที่ 14 และบัสที่ 16 โดยปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการวางแผนระบบส่งดังกรณีการทดสอบกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3

ผลกระทบในเรื่องกระแสลัดวงจร

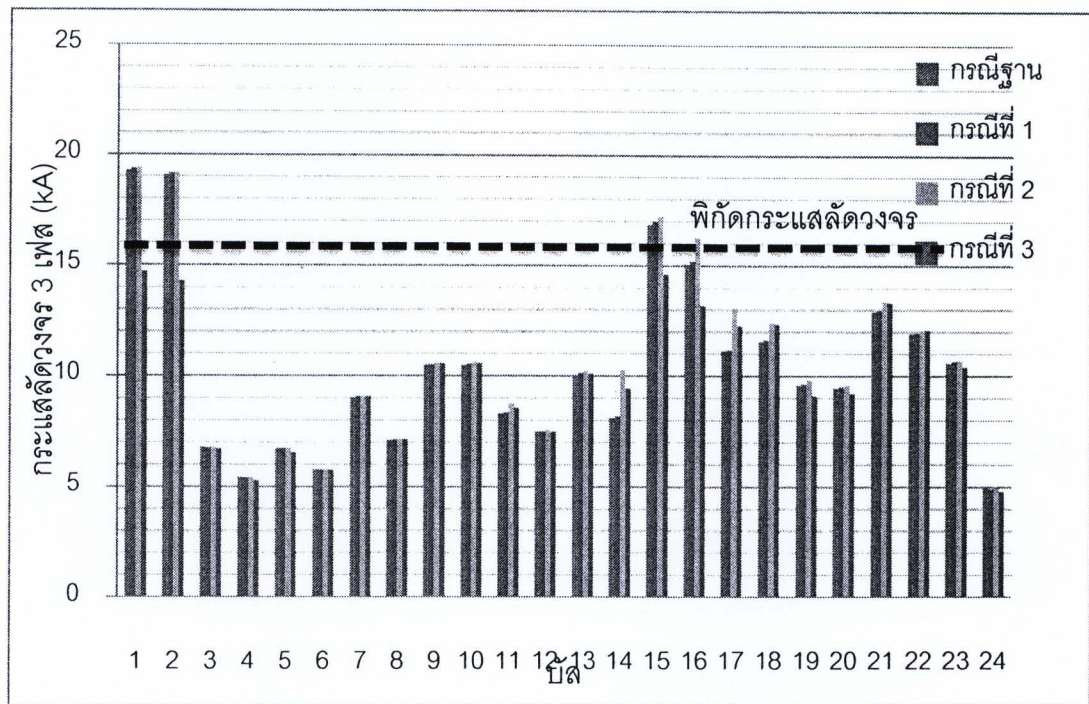
เมื่อคำนวณกระแสลัดวงจรแบบสามเฟสทั้งสามกรณีการทดสอบ รวมไปถึงกรณีระบบก่อนการพิจารณาการขยายตัวเป็น **กรณีฐาน** สามารถแสดงดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 กระแสลัดวงจร 3 เฟส ในการทดสอบ 5.2

บัส	กระแสลัดวงจร 3 เฟส (kA)			
	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
1	19.281	19.3719	19.3853	14.7074
2	19.0753	19.165	19.1792	14.3006
3	6.7756	6.7563	6.7752	6.7158
4	5.4163	5.4066	5.4167	5.2942
5	6.7284	6.726	6.7374	6.5341
6	5.7659	5.7703	5.785	5.7512
7	9.0192	9.08	9.0841	9.082
8	7.0974	7.1195	7.1315	7.1261
9	10.5064	10.5365	10.6135	10.5781
10	10.4915	10.5482	10.6265	10.5759
11	8.3087	8.3538	8.7489	8.5607
12	7.4875	7.4919	7.5407	7.4825
13	10.03	10.1335	10.2273	10.1124
14	8.1173	8.19	10.2627	9.4384
15	16.8745	16.9924	17.2158	14.6174
16	15.0696	15.1943	16.2618	13.1912
17	11.1439	11.1913	13.0705	12.2845
18	11.5574	11.6263	12.4431	12.3602
19	9.5796	9.641	9.8349	9.1134
20	9.4705	9.529	9.6039	9.2309
21	12.9225	12.9867	13.3684	13.3294
22	11.927	11.9374	12.0897	12.0811
23	10.5951	10.6641	10.7142	10.4168

ตารางที่ 5.6 (ต่อ) กระแสลัดวงจร 3 เฟส ในการทดสอบ 5.2

บัส	กระแสลัดวงจร 3 เฟส (kA)			
	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
24	4.9539	4.917	4.9445	4.8009



รูปที่ 5.6 กระแสลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในการทดสอบ 5.2

สรุปผลกระทบในเรื่องกระแสลัดวงจร

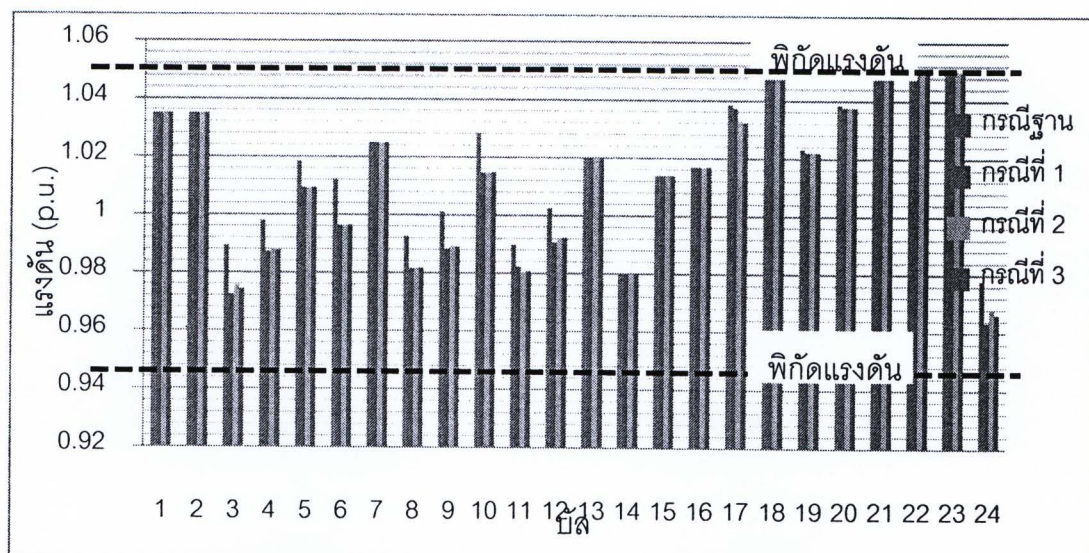
จากการคำนวณกระแสลัดวงจรทั้งสามกรณีการทดสอบพบว่า การวางแผนขยายระบบส่งเพียงอย่างเดียว (กรณีที่ 2) จะเกิดปัญหากระแสลัดวงจรเกินค่าพิกัดได้ในที่นี้ คือ ที่บัส 1 บัส 2 บัส 15 และบัส 16 ซึ่งปัญหานี้จะไม่เกิดขึ้นในกรณีการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร (กรณีที่ 3)

ผลกระทบในเรื่องแรงดัน

เมื่อคำนวณในเรื่องแรงดันในแต่ละบัสทั้งสามกรณีการทดสอบ รวมไปถึงกรณีระบบก่อนการพิจารณาการขยายตัวเป็น กรณีฐาน สามารถแสดงดังตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 แรงดันในแต่ละบัส ในการทดสอบ 5.2

บัส	แรงดัน (p.u.)			
	กรณีฐาน	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
1	1.035	1.035	1.035	1.035
2	1.035	1.035	1.035	1.035
3	0.989378	0.972522	0.975374	0.974402
4	0.997945	0.98731	0.987874	0.987718
5	1.018532	1.009419	1.0095	1.009473
6	1.012401	0.996385	0.996488	0.996568
7	1.025	1.025	1.025	1.025
8	0.992665	0.981581	0.981827	0.981778
9	1.001335	0.988372	0.98937	0.9891
10	1.02846	1.014754	1.014799	1.014867
11	0.989894	0.98225	0.980507	0.980708
12	1.002533	0.990704	0.99222	0.9924
13	1.02	1.02	1.02	1.02
14	0.98	0.98	0.98	0.98
15	1.014	1.014	1.014	1.014
16	1.017	1.017	1.017	1.017
17	1.038552	1.037416	1.0327	1.03239
18	1.05	1.05	1.05	1.05
19	1.023248	1.022107	1.022086	1.02208
20	1.03849	1.037714	1.037594	1.037581
21	1.05	1.05	1.05	1.05
22	1.05	1.05	1.05	1.05
23	1.05	1.05	1.05	1.05
24	0.977862	0.963583	0.967785	0.966255



รูปที่ 5.7 แรงดันในแต่ละบัส ในการทดสอบ 5.2

สรุปผลกระทบในเรื่องแรงดัน

จากการคำนวณกระแสลัดวงจรทั้งสามกรณีการทดสอบพบว่า การวางแผนขยายระบบส่งเพียงอย่างเดียว (กรณีที่ 2) และการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร (กรณีที่ 3) จะไม่มีการละเมิดเงื่อนไขพิกัดแรงดัน

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวางแผนขยายระบบส่งเพียงอย่างเดียว (กรณีที่ 2) ซึ่งเป็นการวางแผนขยายระบบส่งโดยทั่วไป สามารถที่จะแก้ปัญหาการเกินพิกัดกำลังที่ไหลในสายส่งได้ แต่อาจเกิดปัญหาในเรื่องค่ากระแสลัดวงจรซึ่งปัญหานี้จะสามารถแก้ไขได้โดยการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร

สรุปผลการทดสอบ

การวางแผนขยายระบบส่งโดยทั่วไปถึงแม้จะแก้ไขปัญหาในเรื่องการส่งกำลังได้แต่อาจเกิดปัญหาค่ากระแสลัดวงจรที่มากเกินไปพิกัด ซึ่งทำให้ต้องกลับมาพิจารณาปัญหาหลายรอบ การวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการติดตั้ง CLR (วิธีที่นำเสนอ) จะสามารถแก้ไขปัญหาการส่งกำลังไฟฟ้า และปัญหาค่ากระแสลัดวงจรได้อย่างพร้อมกัน โดยที่คำตอบที่ได้จากวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมจะเป็นค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดทั้งการก่อสร้างสายส่งและการติดตั้ง CLR

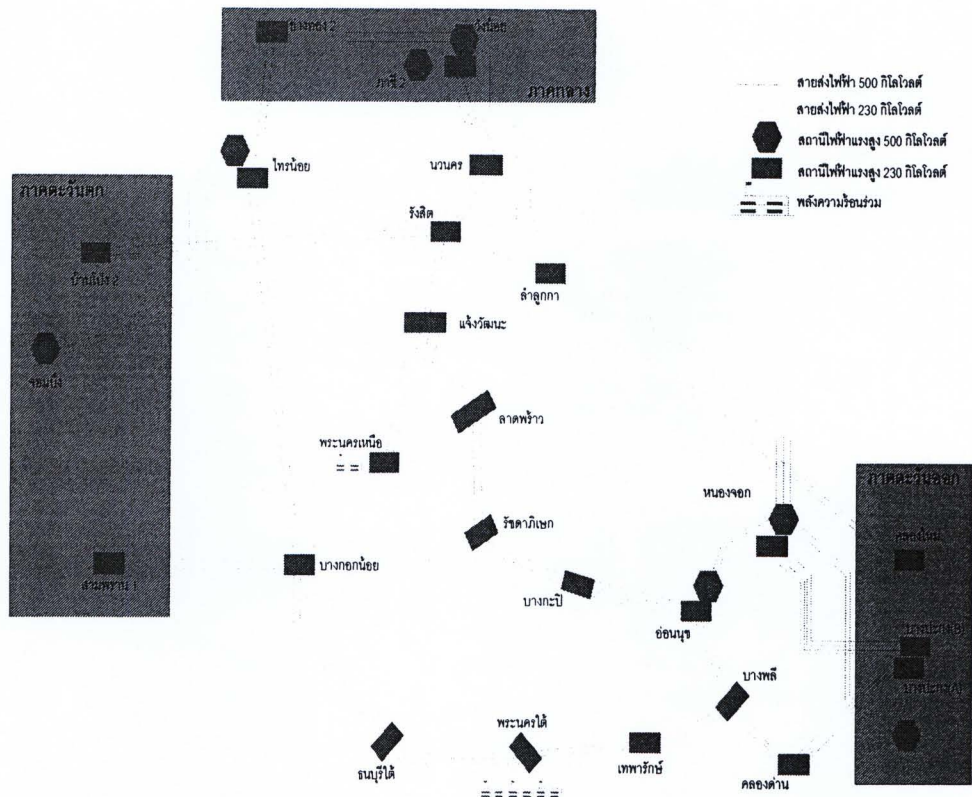
5.3 กรณีศึกษาการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร โดยการติดตั้ง CLR กับระบบส่งบริเวณเขตกรุงเทพมหานคร โดยประยุกต์ใช้วิธี ขั้นตอนทางพันธุกรรมในการหาคำตอบ

ในหัวข้อนี้ เป็นกรณีศึกษาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าร่วมกับการจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรในระบบส่งในเขตกรุงเทพมหานครของประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วยบัสจำนวนบัสจำนวน 254 บัส สายส่งจำนวน 429 วงจร มีความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในเขตที่พิจารณารวม 17,519.6 MW และมีกำลังการผลิตภายในบริเวณที่พิจารณารวม 25,547.7 MW โดยมีการปรับปรุงการทดลองโดยการสมมติการขยายตัวของระบบไฟฟ้าภายในเวลาที่กำหนดคือ 5 ปีดังนี้

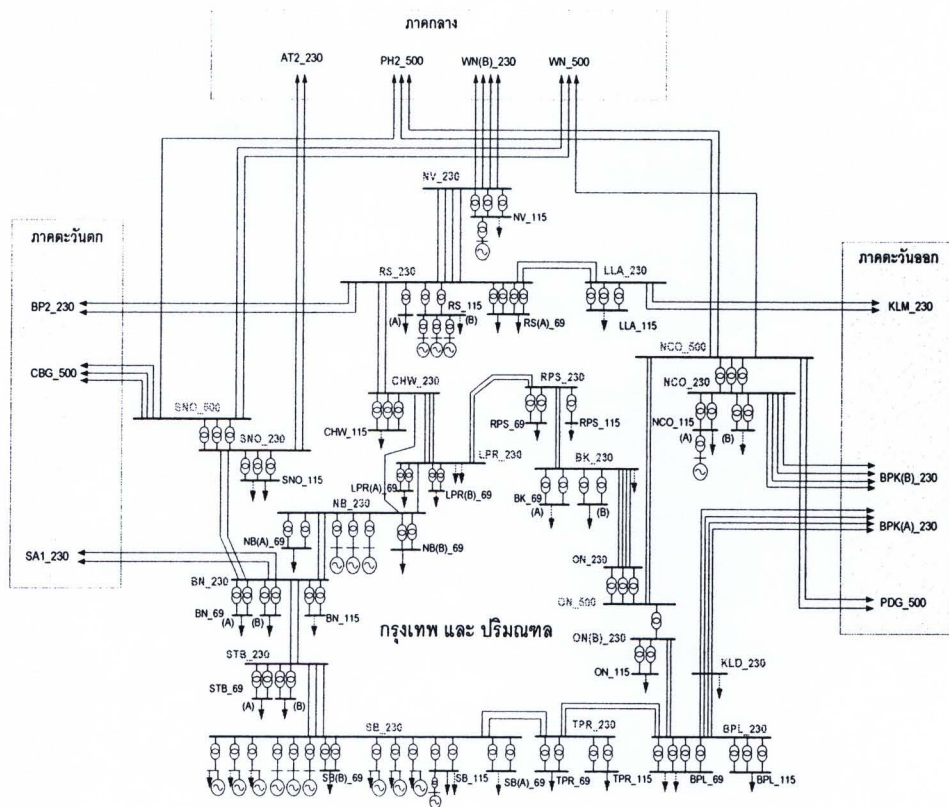
1. ความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในเขตที่พิจารณารวม 17,519.6 MW เปลี่ยนแปลงให้มีการเพิ่มขึ้นทุกจุดปีละ 5 % ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในเขตที่พิจารณามีค่า 21,751.5 MW หรือมีค่าเพิ่มขึ้น 4,231.9 MW
2. กำลังการผลิตภายในบริเวณที่พิจารณารวม 25,547.7 MW เปลี่ยนแปลงให้มีการเพิ่มขึ้นทุกจุดปีละ 5 % กำลังการผลิตภายในบริเวณที่พิจารณารวมมีค่า 30,476.1 MW หรือมีค่าเพิ่มขึ้น 4,928.4 MW

โดยที่การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น 5 % นี้พิจารณาอ้างอิงจากแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 [48]

รูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 แสดงแผนที่ระบบไฟฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร และแผนภาพเส้นเดียวของระบบส่งกำลังไฟฟ้าในเขตกรุงเทพ และปริมาณโหลดตามลำดับ สำหรับรายละเอียดข้อมูลบัส กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในบริเวณที่พิจารณา สายส่งและหม้อแปลงรวมทั้งข้อมูลต่างๆ แสดงอยู่ในภาคผนวก ก.2



รูปที่ 5.8 แผนที่ระบบไฟฟ้าในเขตกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 5.9 แผนภาพเส้นเดียวของระบบส่งกำลังไฟฟ้าในเขตกรุงเทพ และปริมณฑล

ในกรณีศึกษานี้ได้มีการพิจารณาแนวทางที่ใช้ในการทดสอบถึงผลกระทบต่อระบบ เมื่อพิจารณาแนวทางในการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าร่วมกับการจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจร โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 พิจารณาระบบที่ได้มีการขยายตัวแต่ไม่ได้มีการแก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบส่ง และปัญหากระแสลัดวงจร

กรณีที่ 2 พิจารณาระบบที่ได้มีการขยายตัว โดยมีการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าโดยการเลือกตำแหน่ง การก่อสร้างสายส่งใหม่ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสายส่งเพิ่มน้อยที่สุด โดยประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

กรณีที่ 3 พิจารณาระบบที่ได้มีการขยายตัว โดยมีการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการเลือกตำแหน่ง การก่อสร้างสายส่งใหม่ และหาตำแหน่ง รวมไปถึงขนาดของ CLR ที่ทำการติดตั้งเพื่อจำกัดกระแสลัดวงจร ซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสายส่งเพิ่ม และค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง CLR น้อยที่สุด โดยประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

นอกจากทั้ง 3 กรณีที่กล่าวมาในกรณีศึกษานี้ได้มีการพิจารณาระบบก่อนทำการแบ่งแยกบัสพระนครใต้ (SB) และบัสพระนครเหนือ (NB) เป็นกรณีฐานเพื่อให้เห็นปริมาณของกระแสลัดวงจรที่มีค่ามาก

โดยจะนำผลของการเปลี่ยนแปลงโครงข่ายต่อระบบไฟฟ้าทั้ง 3 กรณีมาเปรียบเทียบในเงื่อนไขของระบบดังจะกล่าวต่อไป ในกรณีศึกษาหัวข้อนี้มีการนำเอา Contingency $n-1$ เข้ามาเป็นเงื่อนไขบังคับเพิ่มเติมด้วยโดยการพิจารณานั้นไม่ได้คำนวณ การหลุดออกของสายส่งทั้ง 429 วงจร เนื่องจากในบางตำแหน่งที่มีการเชื่อมระหว่างบัสโดยสายส่งที่มากกว่าหนึ่งวงจร สามารถที่จะพิจารณาเพียงสายส่งวงจรใดวงจรหนึ่งหลุดออก ก็มีความเพียงพอสำหรับเงื่อนไข $n-1$

วัตถุประสงค์ของการทดสอบในหัวข้อนี้ คือ ศึกษาผลการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรในระบบของจริงในที่นี้คือ ระบบไฟฟ้าบริเวณกรุงเทพมหานคร อีกทั้งศึกษาผลกระทบที่ตามมาเมื่อระบบมีการเปลี่ยนแปลงจาก 3 กรณีข้างต้น เพื่อนำผลการศึกษาที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาได้อย่างเหมาะสม

ข้อมูลค่าพิกัด และพารามิเตอร์

พิกัดของเงื่อนไขบังคับต่างๆที่ใช้ในระบบทดสอบนี้มีการกำหนด ดังนี้

- ขนาดของแรงดันที่น้อยสุดที่บัสใดๆ ($|LV|_i$) เท่ากับ 0.95 p.u.
- ขนาดของแรงดันที่มากที่สุดที่บัสใดๆ ($|UV|_i$) เท่ากับ 1.05 p.u.
- ขนาดของพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่บัสใดๆ (WC_i) ไม่เกินค่ามากที่สุดที่คำนวณได้ก่อนระบบมีการขยายตัวในที่นี่คือ 48 kA
- พิกัดกำลังของสายส่งใดๆ ($FL_{j,k}$) ไม่เกิน 95% ของพิกัดของสายส่งวงจรนั้นๆ

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามสมการฟังก์ชันเป้าหมายสมการที่ 4.1 ถูกกำหนดไว้ดังนี้

- ค่าราคาในการก่อสร้างสายส่งระหว่างบัส i กับบัส j ($c_{i,j}$) เท่ากับ 10 ล้านบาท
- ขนาดของ CLR ที่ทำการติดตั้ง คือ 0.01 p.u., 0.03 p.u., 0.05 p.u. และ 0.1 p.u. โดยมีราคา 1 ล้านบาท 1.2 ล้านบาท 1.5 ล้านบาท 2 ล้านบาท ตามลำดับ

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบทั้ง 3 กรณีได้คำตอบดังนี้

กรณีที่ 1 ระบบที่ไม่มีการขยายตัวแต่ไม่มีการวางแผนขยายระบบส่ง

กรณีที่ 2 คำตอบในการวางแผนขยายระบบส่ง คือทำการก่อสร้างสายส่งใหม่ 2 วงจร โดยมีรายละเอียดของสายส่งที่ทำการก่อสร้างเพิ่ม ดังตารางที่ 5.8

กรณีที่ 3 คำตอบในการวางแผนขยายระบบส่ง คือทำการก่อสร้างสายส่งใหม่ 2 วงจร โดยมีรายละเอียดของสายส่งที่ทำการก่อสร้างเพิ่ม ดังตารางที่ 5.8 และคำตอบของตำแหน่ง และขนาดในการติดตั้ง CLR ที่ได้จากขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม ดังนี้

1. ติดตั้งระหว่างบัสแจ่งวัฒนะ (11804) และบัสลาดพร้าว (11806) ขนาด CLR 0.05 p.u.
2. ติดตั้งระหว่างบัสรังสิต (11810) และบัสนวนคร (11819) ขนาด CLR 0.05 p.u.
3. ติดตั้งระหว่างบัสรังสิต(11810) และบัสลำลูกกา (11820) ขนาด CLR 0.05 p.u.

โดยรายละเอียดของแผนการขยายระบบส่ง และแผนการขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณากระแสลัดวงจร แสดงไว้ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลสายส่งในแผนก่อสร้างเพิ่มในการทดสอบกรณีที่ 2 และ 3 การทดสอบ 5.3

จากบัส	ถึงบัส	ความ ต้านทาน (p.u.)	ค่ารีแอก แตนซ์ (p.u.)	ตัวอัด ประจุสาย ส่ง (p.u.)	ขีดจำกัด ทางความ ร้อน (MVA)	อัตราส่วน หม้อ แปลง (ratio)	มุม ของ หม้อ แปลง
11909	11839	0	0.018	0	1000	0.95	0
11813	11011	0	0.06993	0	140	1.05	30
11813	11012	0	0.07143	0	140	1.05	30
11813	11013	0	0.06957	0	140	1.05	30
11812	11712	0	0.05867	0	300	0.99794	0

จากผลการทดสอบทั้งสามกรณีสามารถวิเคราะห์ผลกระทบในเรื่องกำลังที่ไหลในสายส่ง ผลกระทบในเรื่องกระแสลัดวงจร และผลกระทบในเรื่องแรงดันได้ดังต่อไปนี้

ผลกระทบในเรื่องกำลังที่ไหลในสายส่ง

เมื่อคำนวณกำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจรทั้งสามกรณีการทดสอบ รวมไปถึงกรณีระบบก่อนการพิจารณาการขยายตัวเป็น **กรณีฐาน** สามารถแสดงดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 กำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร ในการทดสอบ 5.3

สายส่ง		พิกัด สายส่ง (MVA)	กำลังที่ไหล			% กำลังที่ไหลเทียบกับพิกัด ของสายส่ง		
จากบัส	ถึงบัส		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
11813	11011	140	135	67.5	67.5	96.42	48.21	48.21
11813	11012	140	135	67.5	67.5	96.42	48.21	48.21
11813	11013	140	137.5	68.75	68.75	98.21	49.1	49.1
11808	11031	307	287.5	287.5	287.5	93.64	93.64	93.64

ตารางที่ 5.9 (ต่อ) กำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร ในการทดสอบ 5.3

สายส่ง		พิกัด สายส่ง (MVA)	กำลังที่ไหล			% กำลังที่ไหลเทียบกับพิกัด ของสายส่ง		
จากบัส	ถึงบัส		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
11808	11032	307	287.5	287.5	287.5	93.64	93.64	93.64
11808	11033	330	300	300	300	90.9	90.9	90.9
11811	11611	300	270.79	270.79	270.79	90.26	90.26	90.26
11811	11611	300	270.79	270.79	270.79	90.26	90.26	90.26
11707	15003	52.94	50	50	50	94.44	94.44	94.44
11812	11712	300	296.32	222.69	222.69	98.77	74.23	74.23
11812	11712	300	296.32	222.69	222.69	98.77	74.23	74.23
11812	11712	300	303.55	228.12	228.12	101.18	76.04	76.04
11807	11737	200	180.96	180.96	180.96	90.48	90.48	90.48
11909	11809	1000	897.27	862.44	875.04	89.72	86.24	87.5
11909	11809	1000	897.27	862.44	875.04	89.72	86.24	87.5
11909	11809	1000	897.27	862.44	875.04	89.72	86.24	87.5
11912	11812	750	701.26	700.81	701.21	93.5	93.44	93.49
11912	11812	750	701.26	700.81	701.21	93.5	93.44	93.49
11912	11812	750	701.26	700.81	701.21	93.5	93.44	93.49
11909	11839	1000	937.19	552.8	542.78	93.71	55.28	54.27

สรุปผลกระทบในเรื่องกำลังที่ไหลในสายส่ง

จากการคำนวณกำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจรทั้งสามกรณีการทดสอบพบว่า เมื่อระบบทดสอบมีการขยายตัวจะเกิดการละเมิดพิกัดของกำลังที่ไหลในสายส่งได้ในที่นี้คือ สายส่งระหว่างบัสที่ 11813 และบัสที่ 11013 สายส่งระหว่างบัสที่ 11812 และบัสที่ 11712 โดยปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการวางแผนระบบส่งดังกรณีการทดสอบกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3

ผลกระทบในเรื่องกระแสลัดวงจร

เมื่อคำนวณกระแสลัดวงจรแบบสามเฟสทั้งสามกรณีการทดสอบ รวมไปถึงกรณีระบบก่อนการพิจารณาการขยายตัวเป็น **กรณีฐาน** สามารถแสดงดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 กระแสลัดวงจร 3 เฟส ในการทดสอบ 5.3

บัส	ระดับแรงดัน	กระแสลัดวงจร (kA)				
		ระบบก่อนแบ่งแยกบัส	กรณีที่ 0	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
11602	69	46.08315	40.9604	41.55127	43.19678	43.10317
11603	69	21.19213	20.0176	20.20266	20.22802	20.22791
11606	69	23.27565	21.9014	22.49915	22.50738	22.37317
11608	69	27.08308	23.3349	23.45205	23.47752	23.47741
11610	69	37.68631	35.7014	36.37627	36.38003	36.01578
11611	69	30.98036	29.3188	30.11808	30.14709	29.98602
11613	69	24.97462	21.8383	22.22255	22.54946	22.53098
11614	69	21.51092	20.1515	20.42533	20.45961	20.45953
11615	69	22.35321	20.8407	21.04016	21.40054	21.38024
11631	69	23.14578	22.3506	22.96988	22.99451	22.92545
11633	69	22.72338	21.363	21.57392	21.60322	21.60309
11636	69	31.53168	29.1597	29.93919	29.95387	29.71285
11638	69	27.33367	24.4221	25.17169	25.1802	25.08055
11643	69	24.61473	22.1696	22.47973	22.55251	22.55243
11644	69	21.21474	19.8964	20.15927	20.19254	20.19246
11702	115	22.36418	20.389	20.74877	21.38369	21.34756
11703	115	16.66918	15.5181	15.6509	15.67528	15.67518
11704	115	23.97259	21.9992	22.69115	22.69938	22.49043
11707	115	15.58001	15.5641	15.72709	15.74086	15.74027
11709	115	14.16504	13.5853	13.7612	14.37544	14.36862
11710	115	10.71305	10.4032	10.56978	10.57031	10.51961
11711	115	8.729833	8.4513	8.627384	8.631489	8.608678

ตารางที่ 5.10 (ต่อ) กระแสลัดวงจร 3 เฟส ในการทดสอบ 5.3

บัส	ระดับแรงดัน	กระแสลัดวงจร (kA)				
		ระบบก่อนแบ่งแยกบัส	กรณีที่ 0	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
11712	115	20.64055	20.0635	20.29411	24.59385	24.59337
11713	115	17.75947	15.7697	15.98863	16.19754	16.18573
11715	115	14.13719	13.1199	13.27683	13.51874	13.5051
11719	115	23.94143	23.103	23.42061	23.42295	23.0786
11720	115	19.06067	18.5631	18.94686	18.95959	18.01211
11737	115	13.01245	12.9991	13.0415	13.05163	13.05119
11740	115	20.06619	19.5002	19.82126	19.82237	19.71643
11801	230	48.97743	40.3059	41.97114	42.25078	41.37829
11802	230	51.70046	35.1293	36.04001	40.69988	40.41855
11803	230	65.26393	39.934	41.03138	41.43611	41.43358
11804	230	60.91753	42.7339	44.64809	44.71061	43.12737
11806	230	60.45302	41.1607	43.07979	43.17885	41.49715
11807	230	38.71619	38.5559	38.87948	39.06851	39.0584
11808	230	60.10486	26.7237	27.0598	27.18906	27.18833
11809	230	48.2498	41.3079	42.80966	43.19357	42.48833
11810	230	59.67065	47.0713	48.89961	48.92118	46.82095
11811	230	51.6388	39.9926	41.75019	41.9393	40.80964
11812	230	43.98872	38.7484	39.46003	39.55712	39.55378
11813	230	62.03505	31.5582	32.30291	32.881	32.87998
11814	230	61.05589	36.3863	37.38136	37.83955	37.83774
11815	230	52.17773	32.7374	33.57149	37.28401	37.06293
11816	230	46.24361	36.6081	37.40608	40.318	39.80769
11819	230	47.95557	41.2899	42.44043	42.45784	40.01155
11820	230	32.49948	30.026	30.77987	30.85312	26.399
11838	230	36.23649	33.4571	35.00059	35.0558	34.36179
11839	230	36.23649	29.5549	30.15377	37.74618	37.64632

ตารางที่ 5.10 (ต่อ) กระแสลัดวงจร 3 เฟส ในการทดสอบ 5.3

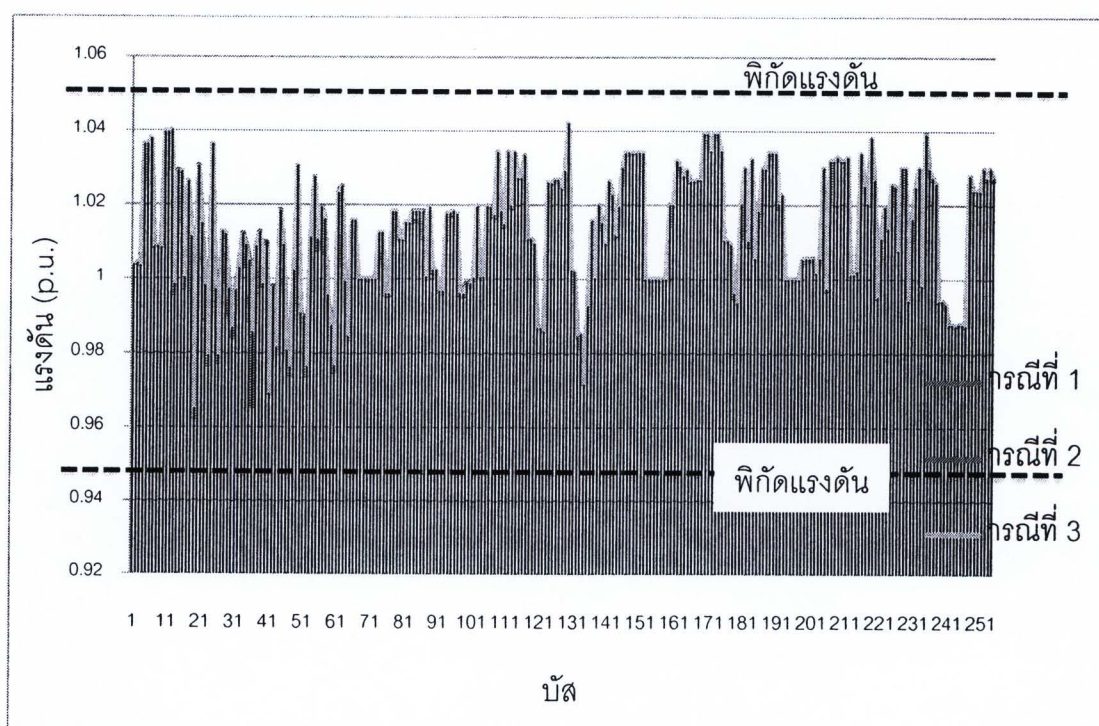
บัส	ระดับแรงดัน	กระแสลัดวงจร (kA)				
		ระบบก่อนแบ่งแยกบัส	กรณีที่ 0	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
11843	230	29.74616	28.1006	28.74637	30.88329	30.75938
11907	500	43.58718	39.9894	40.58851	41.76792	41.69223
11909	500	36.39364	33.7723	34.39506	35.78759	35.69055
11912	500	37.12565	34.8268	35.12606	35.29873	35.2848

สรุปผลกระทบในเรื่องกระแสลัดวงจร

จากการคำนวณกระแสลัดวงจรทั้งสามกรณีการทดสอบพบว่า การวางแผนขยายระบบส่งเพียงอย่างเดียว (กรณีที่ 2) จะเกิดปัญหากระแสลัดวงจรเกินค่าพิกัดได้ ซึ่งปัญหานี้จะไม่เกิดขึ้นในกรณีการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร (กรณีที่ 3)

ผลกระทบในเรื่องแรงดัน

เมื่อคำนวณในเรื่องแรงดันในแต่ละบัสทั้งสามกรณีการทดสอบ รวมไปถึงกรณีระบบก่อนการพิจารณาการขยายตัวเป็น กรณีฐาน สามารถแสดงดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 แรงดันในแต่ละบัส ในการทดสอบ 5.3



สรุปผลกระทบในเรื่องแรงดัน

จากการคำนวณกระแสลัดวงจรทั้งสามกรณีการทดสอบพบว่า การวางแผนขยายระบบส่งเพียงอย่างเดียว (กรณีที่ 2) และการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร (กรณีที่ 3) จะไม่มีการละเมิดเงื่อนไขพิกัดแรงดัน

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

การวางแผนขยายระบบส่งเพียงอย่างเดียว (กรณีที่ 2) ซึ่งเป็นการวางแผนขยายระบบส่งโดยทั่วไป สามารถที่จะแก้ปัญหาค่ากระแสลัดวงจรเกินพิกัดกำลังที่ไหลในสายส่งได้ แต่อาจเกิดปัญหาในเรื่องค่ากระแสลัดวงจรซึ่งปัญหานี้จะสามารถแก้ไขได้โดยการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร

สรุปผลการทดสอบ

การวางแผนขยายระบบส่งโดยทั่วไปถึงแม้จะแก้ไขปัญหาค่ากระแสลัดวงจรเกินพิกัดกำลังได้แต่อาจเกิดปัญหาค่ากระแสลัดวงจรที่มากเกินไปจนเกินพิกัด ทำให้ต้องกลับมาพิจารณาปัญหาลายรอบ การวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการติดตั้ง CLR (วิธีที่นำเสนอ) จะสามารถแก้ปัญหาค่ากระแสลัดวงจรเกินพิกัดกำลังไฟฟ้า และปัญหาค่ากระแสลัดวงจรได้อย่างพร้อมกัน โดยที่คำตอบที่ได้จากวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมจะเป็นค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดทั้งการก่อสร้างสายส่งและการติดตั้ง CLR