บทที่ 4

การวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าโดยการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร

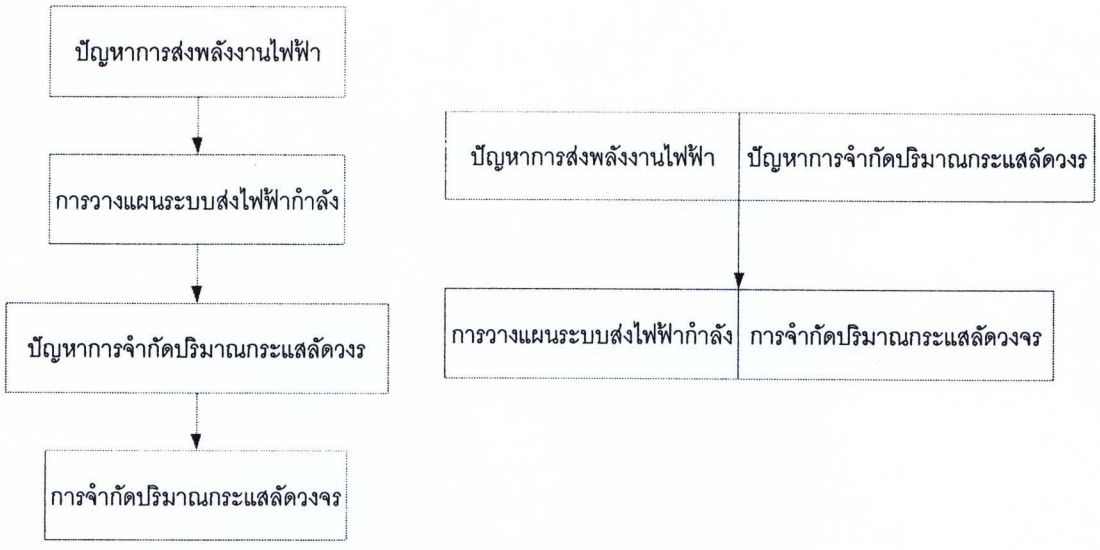
ในบทนี้จะกล่าวถึงการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้า ร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร โดยจะเริ่มจากการกล่าวถึงรูปแบบของปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร และการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยวิธีที่นำเสนอ คือ การติดตั้ง CLR จากนั้นจะกล่าวถึงการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าโดยการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร และส่วนสุดท้ายจะกล่าวถึงการแก้ไขปัญหาโดยการประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม

4.1 ปัญหาการวางแผนขยายระบบส่ง ร่วมกับการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยวิธีที่นำเสนอ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้า โดยจะเริ่มจากการแสดงปัญหาการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้า ในการพิจารณาเรื่องการไหลของกำลังไฟฟ้า ประกอบกับการพิจารณาเรื่องการเพิ่มขึ้นกระแสลัดวงจรในระบบไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่ต้องการ โดยเพิ่มทางเลือกในการแก้ไขปัญหากระแสลัดวงจรโดยการติดตั้ง CLR แทนการเปิดวงจรสายส่งในกรณีที่มีการละเมิดเงื่อนไขกระแสลัดวงจร

4.1.1 การพิจารณาปัญหา

โดยทั่วไปการศึกษา และในทางปฏิบัติ การพิจารณาปัญหาในการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้าเพื่อแก้ไขปัญหาในการส่งกำลังไฟฟ้า อันเนื่องมาจากกำลังไฟฟ้าที่มีการเพิ่มมากขึ้น เป็นเรื่องที่มีความละเอียดและซับซ้อน โดยมักจะพิจารณาแยกออกจากการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจร โดยการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรนั้นจะถูกนำมาคิดหลังจาก การวางแผนระบบส่งไฟฟ้ากำลังเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้ว ดังรูปที่ 4.1 ก) ซึ่งเป็นแนวคิดที่ง่ายในทางปฏิบัติแต่อาจไม่ใช่วิธีการแก้ไขปัญหาทั้ง 2 สองสิ่งที่เหมาะสม แตกต่างจากการพิจารณาปัญหาในเรื่องการวางแผนระบบส่งไปพร้อมกับการพิจารณาปัญหาการจำกัดกระแสลัดวงจร ดังรูปที่ 4.1 ข) ถึงแม้จะซับซ้อน และใช้เวลาที่นานกว่า แต่นำมาซึ่งคำตอบที่มีความครอบคลุมและรอบคอบมากยิ่งขึ้นอีก ทั้งยังไม่ต้องสูญเสียสายส่งไปในการเปิดวงจรเพื่อแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าโดยเปล่าประโยชน์



ก) การแก้ไขปัญหาโดยทั่วไป ข) การแก้ไขปัญหาโดยวิธีที่นำเสนอ

รูปที่ 4.1 การแก้ไขปัญหาโดยวิธีที่นำเสนอ

ในการคัดเลือกสายส่งโดยการสุ่มสายส่งแต่ละวงจรเพื่อนำมาใช้เป็นแผนในการก่อสร้างสายส่งเพิ่มแล้วนำมาพิจาณาแต่ละเงื่อนไขที่กำหนดนั้นถึงแม้ว่าจะเป็นวิธีที่รอบคอบและละเอียดก็ตาม แต่นำมาซึ่งการสูญเสียเวลาในการคำนวณจำนวนมหาศาล

ยกตัวอย่างเช่น ระบบที่ใช้ในการทดสอบมีสายส่งทางเลือกทั้งหมดทั้งหมด 50 วงจร จะต้องใช้จำนวนรอบหรือเหตุการณ์ในการพิจารณาทั้งหมด เป็น 2^{50} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,125.89 ล้านล้านรอบ

นอกจากนั้นหากนำหลักการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการติดตั้ง CLR เพิ่มโดยเป็นการพิจารณาเลือกตำแหน่งรวมไปถึงขนาดของ CLR ที่ทำการติดตั้งร่วมกับการพิจารณาการวางแผนเพิ่มสายส่งเข้าไปด้วยจะทำให้การพิจารณา การวางแผนสายส่งนั้นมีความยากและซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

ยกตัวอย่างเช่น ระบบที่ใช้ในการทดสอบมีสายส่งทางเลือกทั้งหมด 50 วงจร และมีตำแหน่งที่สามารถเลือกติดตั้ง CLR 5 ตำแหน่ง จะต้องใช้จำนวนรอบหรือเหตุการณ์ในการพิจารณาทั้งหมดที่มากกว่าเดิมรวมทั้งในแต่ละตำแหน่งยังสามารถที่จะพิจารณาเลือกขนาดของ CLR ได้หลายขนาดอีก นับว่าเป็นการพิจารณาหาคำตอบที่ต้องใช้เวลา และซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

โดยที่ปัญหาในการวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรนั้น เป็นปัญหาการหาแผนก่อสร้างสายส่ง รวมไปถึงหาตำแหน่งและขนาดที่ทำการติดตั้ง CLR ให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

เพื่อให้การวางแผนมีประสิทธิภาพ และครอบคลุมกับขอบเขตเงื่อนไขต่างๆ จึงจำเป็นต้องมีการนำวิธีทางคณิตศาสตร์มาช่วย ซึ่งในที่นี้คือ วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม (Genetic algorithm) โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสายส่งน้อยที่สุดรวมถึงสะท้อนการเปลี่ยนแปลงระบบน้อยที่สุดในกรณีของการเปิดวงจร และการ By-pass

4.2 การจำกัดกระแสลัดวงจรโดยวิธีที่นำเสนอ

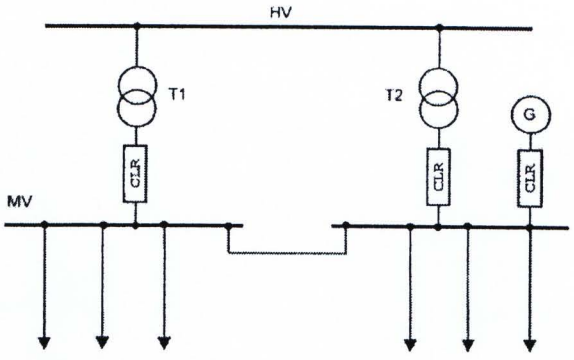
จากการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรทั้ง 3 วิธีในบริเวณกรุงเทพมหานครที่กล่าวไปในบทที่ 3 ได้แก่ การแบ่งแยกบัส การเปิดวงจร และการ By-pass สายส่ง ซึ่งถือว่าเป็นการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรที่สามารถลดปริมาณกระแสลัดวงจรลงได้ แต่ถือว่าเป็นการพิจารณาการแก้ไขปัญหาระยะสั้น และในกรณีฉุกเฉินเท่านั้น เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือน้อย อีกทั้งยังสะท้อนปัญหาในเรื่องการสูญเปล่าของสายส่งในกรณีของการแก้ไขโดยการเปิดวงจรออกที่สะท้อนถึงการสูญเสียสายส่งที่ได้มีการก่อสร้างไว้แล้ว

ในหัวข้อนี้นำเสนอการจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรในระบบส่งไฟฟ้า โดยการพิจารณานำ CLR มาประยุกต์ใช้งานในการแก้ไขปัญหาโดยการประยุกต์ใช้ CLR โดยพิจารณาติดตั้งระหว่างสายส่งให้เหมาะสม เพื่อเพิ่มเป็นทางเลือกในการแก้ไขปัญหากรณีที่แผนการขยายระบบส่งไฟฟ้ามีปัญหา

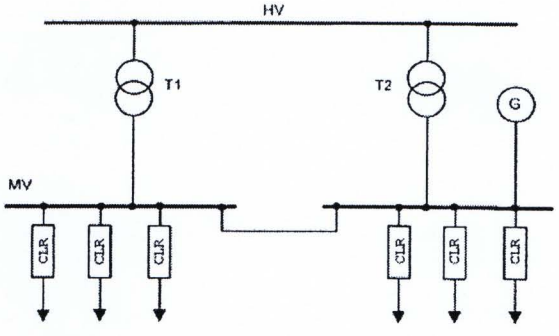
4.2.1 การประยุกต์ใช้ CLR

วิธีการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยการประยุกต์ใช้ CLR เป็นวิธีการที่ติดตั้งอุปกรณ์จำกัดกระแสลัดวงจรเพิ่มเข้าไปในระบบไฟฟ้า โดยได้นำเสนอไปแล้วในบทที่ 3

วิธีการติดตั้ง CLR มีการนำไปแก้ปัญหาจริงในแก้ไขปัญหากระแสลัดวงจรในหลายประเทศประเทศ โดยมีการติดตั้งหลายแบบ แต่ลักษณะการติดตั้งที่ถูกนำไปใช้งานประเภทที่ถูกนำมาพิจารณาในหัวข้อนี้ คือการติดตั้งในตำแหน่งที่เชื่อมโยงระหว่างบัสที่แรงดันต่างกัน การติดตั้งในตำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่างสายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 การติดตั้ง CLR เชื่อมโยงระหว่างบัสที่แรงดันต่างกัน



รูปที่ 4.3 การติดตั้ง CLR เชื่อมโยงระหว่างสายส่ง

การติดตั้ง CLR ในลักษณะนี้ เป็นการทำให้อิมพีแดนซ์ของระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้กระแสลัดวงจรลดลง แล้วยังทำให้ไม่ต้องสูญเสียสายส่งไปในการเปิดวงจร ซึ่งเป็นสิ่งที่มีประโยชน์กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเปิดวงจรแบบถาวร ทำให้ในการพิจารณาเงื่อนไขบังคับการทำงานของระบบเมื่อทำการแก้ปัญหากระแสลัดวงจรสูงมีความยืดหยุ่นในการพิจารณามากกว่า และมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ในแง่ความมั่นคงของระบบ

การติดตั้งทั้งสองแบบที่กล่าวไปสามารถถึงพิจารณาข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันได้ดังนี้

<u>การติดตั้ง CLR เชื่อมโยงระหว่างบัสที่แรงดันต่างกัน</u>

ข้อดีเมื่อเปรียบเทียบการติตั้ง CLR กับการเปิดวงจร

1. สามารถช่วยในการแบ่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เมื่อมีการติดตั้ง CLR แทนการเปิดวงจรที่ตำแหน่งที่ติดตั้ง CLR ตามรูปที่ 4.2
2. สามารถจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรได้ตามต้องการที่จุดนั้นๆ เช่น สามารถจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรที่ไหลมาจากหม้อแปลงตัว T1 โดยขึ้นอยู่กับขนาดของ CLR ที่พิจารณาแต่ในกรณีการเปิดวงจร นั้นกระแสลัดวงจรจะถูกจำกัดไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งตลอด

ข้อเสียเมื่อเปรียบเทียบการติดตั้ง CLR กับการเปิดวงจร

1. เนื่องจากในสภาวะปกติจะมีกำลังไหลผ่าน CLR ที่เปรียบเสมือนเป็นตัวต้านทานแบบหนึ่ง จึงเกิดกำลังสูญเสียขึ้นในระบบ
2. มีค่าใช้จ่ายที่มากกว่า รวมไปถึงต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้ง

<u>การติดตั้ง CLR เชื่อมโยงระหว่างสายส่ง</u>

ข้อดีเมื่อเปรียบเทียบการติตั้ง CLR กับการเปิดวงจร

1. สามารถช่วยในการแบ่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เมื่อมีการติดตั้ง CLR แทนการเปิดวงจรที่ตำแหน่งที่ติดตั้ง CLR ตามรูปที่ 4.3
2. สามารถจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรได้ตามต้องการที่จุดนั้นๆ เช่น สามารถจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรที่ไหลมาจากหม้อแปลงตัว T1 โดยขึ้นอยู่กับขนาดของ CLR ที่พิจารณาแต่ในกรณีการเปิดวงจร นั้นกระแสลัดวงจรจะถูกจำกัดไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งตลอด

ข้อเสียเมื่อเปรียบเทียบการติดตั้ง CLR กับการเปิดวงจร

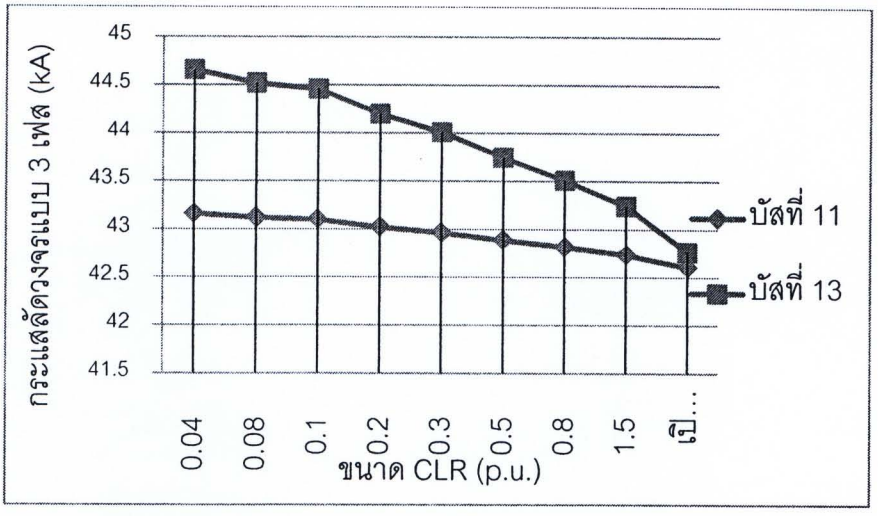
1. เนื่องจากในสภาวะปกติจะมีกำลังไหลผ่าน CLR ที่เปรียบเสมือนเป็นตัวต้านทานแบบหนึ่ง จึงเกิดกำลังสูญเสียขึ้นในระบบ
2. มีค่าใช้จ่ายที่มากกว่า รวมไปถึงต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้ง

ข้อดีของการติดตั้ง CLR แบบเชื่อมโยงระหว่างสายส่งที่ดีกว่าแบบเชื่อมโยงระหว่างบัสที่แรงดันต่างกัน คือความสะดวกในการจัดการควบคุมที่สามารถควบคุมการเชื่อมต่อเป็นจุดที่พิจารณานั้นๆได้ แต่จำเป็นต้องอาศัยเงินลงที่ที่มากกว่า เช่นหากต้องการจำกัดปริมาณกระแสลัดวงจรที่มาจากหม้อแปลงตัวที่ T1 ตามรูปที่ 4.3 การติดตั้งแบบเชื่อมโยงระหว่างสายส่งจำเป็นต้องติดตั้ง CLR หลายตัว

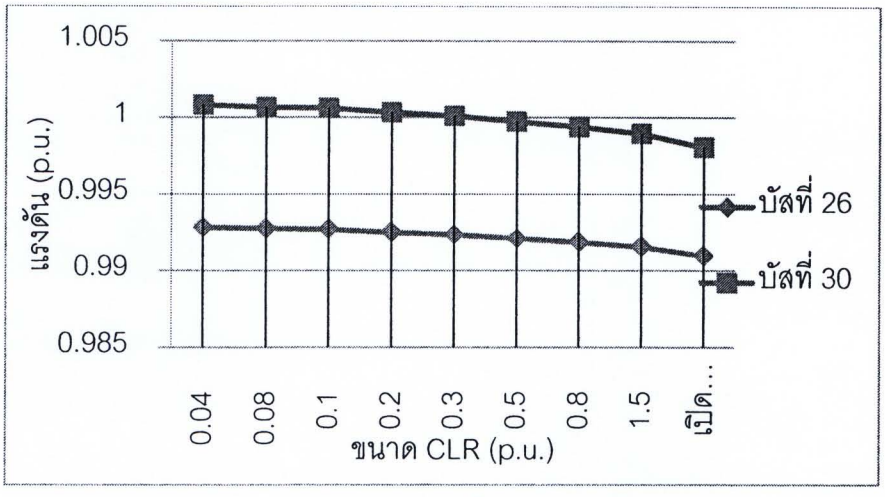
4.2.2 ผลกระทบในการประยุกต์ใช้ CLR

ในการทำการปรับเปลี่ยนขนาดของ CLR ที่เชื่อมต่อสายส่งระหว่างบัส โดยทำการทดสอบติดตั้งไปสายส่งในระบบทดสอบ IEEE 30 บัส พบว่าส่งผลต่อกระแสลัดวงจรที่บัส คือ เมื่อทำการเพิ่มขนาดของ CLR ขึ้นส่งผลให้ค่ากระแสลัดวงจรที่บัสมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 4.4 (ก) ซึ่งสอดคล้องตามหลักการที่ขนาดของ CLR ที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของอิมพีแดนซ์ในระบบ และเมื่อขนาดของ CLR มีค่าเป็นอนันต์จะเปรียบเสมือนเป็นการเปิดวงจร เมื่อพิจารณาผลของแรงดันตามรูปที่ 4.4 (ข) พบว่าค่าแรงดันที่บัสมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเพิ่มขนาดของ CLR ที่เชื่อมต่อระหว่างสาย ทำให้การพิจารณาต้องมีการเลือกขนาดของ CLR อย่างรอบคอบเพื่อป้องกันการที่แรงดันตกเกินค่าที่ใช้ในทางปฏิบัติ (0.98-1.05 p.u.) อีกทั้งหากพิจารณาในแง่ของ

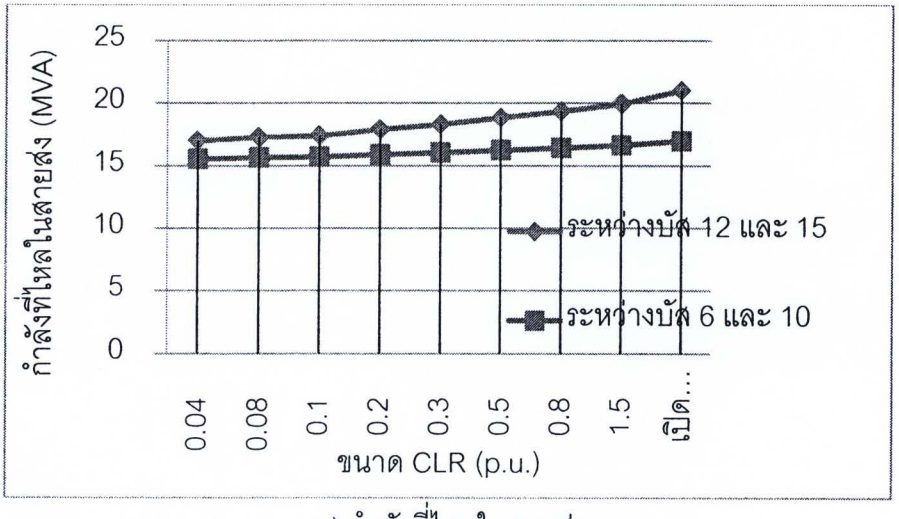
กำลังที่ไหลในสายส่ง ตามรูปที่ 4.4 (ค) พบว่าเมื่อขนาดของ CLR มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้กำลังที่ไหลใยสายส่งบางวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



ก) กระแสลัดวงจร



ข) แรงดัน



ค) กำลังที่ไหลในสายส่ง

รูปที่ 4.4 ผลกระทบเมื่อติดตั้ง CLR

4.3 การแก้ไขปัญหาการวางแผนขยายระบบส่ง ร่วมกับการจำกัดกระแสลัดวงจรโดยประยุกต์ใช้วิธีทางพันธุกรรม

การแก้ไขปัญหาโดยวิธีทางพันธุกรรม เป็นวิธีการแก้ปัญหาค่าขีดสุดแบบสุ่ม (Stochastic optimization) ประเภทหนึ่งที่อาศัยหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมทางธรรมชาติเพื่อหาค่าเหมาะสมโดยรวม (Global optimum) โดยเริ่มจากการสมมติจุดคำตอบขึ้นมาหลายๆจุด (Population of solutions) แล้วใช้หลักการค้นหาจุดที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีโอกาสที่จะอยู่รอด (Survival of the fittest) มากที่สุด เพื่อไปสู่การหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอด (Generation) โดยที่ในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอดจะมีการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness) หรือความแข็งแรงของคำตอบแต่ละตำตอบแล้วพิจารณาเลือกคำตอบใหม่จากค่าความเหมาะสมนี้ โดยอาศัยกระบวนการในการคัดเลือกสายพันธุ์ โดยวิธีต่างๆ ประกอบด้วย การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์ และการผ่าเหล่า โดยที่คำตอบแต่ละคำตอบประกอบไปด้วยสตริง (String) ของตัวแปรที่ถูกลงรหัสไว้เรียกว่าโครโมโซม (Chromosomes)

ความแตกต่างของวิธีการแก้ปัญหาขีดสุดโดยวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมกับวิธีการแก้ปัญหาค่าขีดสุดวิธีอื่นๆ มีดังนี้

1) เป็นวิธีที่สะดวกในการแก้ปัญหากับตัวแปรได้หลายชนิดโดยไม่จำเป็นต้องเป็นตัวแปรชนิดต่อเนื่อง เนื่องจาก ใช้รหัสของตัวแปรเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาค่าขีดสุดแทนที่จะใช้ค่าของตัวแปรโดยตรง
2) เป็นวิธีที่คำตอบที่ได้เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมโดยรวม เนื่องจากขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เป็นวิธีการแก้ปัญหาค่าขีดสุดที่หาจากจุดเริ่มต้นหลายๆ
3) สามารถใช้กับฟังก์ชันเป้าหมายได้ทุกชนิด ไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องหรือหาอนุพันธ์ได้ เนื่องจาก ใช้ข้อมูลเพียงแค่ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายเท่านั้น

4.3.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialization)

การสร้างประชากรเริ่มต้น คือ การหารูปแบบของคำตอบที่เป็นไปได้โดยไม่ละเมิดเงื่อนไขบังคับต่างๆในรูปแบบของโครโมโซมขึ้นมาจำนวนหนึ่งโดยการสุ่ม เพื่อทำให้กระบวนการทางพันธุกรรมสามารถดำเนินต่อไปได้

นอกจากนี้การหาในการวางแผนขยายระบบส่งไฟฟ้ากำลัง ร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรไฟฟ้าที่เป็นไปได้นั้นจะต้องคำนึงถึงเวลาในการคำนวณซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนรูปแบบที่ต้องทำการวิเคราะห์ จากเหตุผลดังกล่าวการกำหนดประชากรเริ่มต้นที่ดีจึงต้องมี

ค่าไม่มากจนทำให้เสียเวลาในการคำนวณเริ่มต้นมาก แต่ก็ต้องไม่น้อยจนเกินไปเพื่อทำให้มีการผสมสายพันธุ์ที่หลากหลาย โดยที่การพิจารณาเลือกประชากรเริ่มต้นนั้นถือว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความจำเป็นที่นำไปสู่คำตอบในเวลาแตกต่างกันไป

4.3.2 **ฟังก์ชันเป้าหมาย** (Objective function)

ฟังก์ชันเป้าหมายเป็นตัวหลักในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อเป็นตัวชี้คุณภาพของคำตอบ ซึ่งในการคำนวณหาคำตอบโดยวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมนี้พิจารณาหาค่าที่น้อยที่สุด หรือเป็นการ minimize ปัญหาซึ่งในที่นี้คือค่าใช้จ่ายในการวางแผนการขยายระบบส่งไฟฟ้าร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรที่สามารถสร้างในรูปสมการคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (4.1)

$$\text{Minimize } V = \sum (c_{i,j} * s_{i,j}) + \sum (CLR_k * h_k) \tag{4.1}$$

โดยที่

V คือ ค่าราคาในการก่อสร้างสายส่ง และแก้ปัญหากระแสลัดวงจรทั้งหมด

$c_{i,j}$ คือ ค่าราคาในการก่อสร้างสายส่งระหว่างบัส i กับบัส j

$s_{i,j}$ คือ ตัวแปรจำนวนเต็มบวก แทนจำนวนของสายส่งที่จะก่อสร้างระหว่างบัส i กับ บัส j

CLR_k คือ ราคาค่าใช้จ่ายของการติดตั้ง CLR ที่บัส k

h_k คือ ตัวแปรจำนวนเต็มแทนสถานะ การติดตั้งของ CLR ที่บัส k

เมื่อ

$$\sum (c_{i,j} * s_{i,j}) \text{ = ค่าใช้จ่ายการรวมในการก่อสร้างสายส่ง} \tag{4.2}$$

$$\sum (CLR_k * h_k) \text{ = ค่าใช้จ่ายในติดตั้ง CLR เพื่อ จำกัดกระแสลัดวงจร} \tag{4.3}$$

สมการที่ (4.1) แสดงราคาค่าใช้จ่ายในการลงทุนก่อสร้างสายส่งเพิ่มรวมโดยพิจารณาในการวางแผนแบบชั้นเดียว (Single stage planning) รวมไปถึงค่าใช้จ่ายค่าหม้อแปลงในกรณีที่เป็นสายส่งที่เชื่อมต่อแรงดันที่แตกต่างกันด้วย นอกจากนั้นมีการรวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง CLR เพื่อการจำกัดกระแสลัดวงจรอีกด้วย ดังสมการที่ (4.3)

4.3.3 เงื่อนไขบังคับ (Constraint)

เนื่องจากการเปิดวงจร และการ By-pass สายส่งออกย่อมส่งผลต่อปริมาณกระแสที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นในสภาวะปกติ รวมไปถึง ผลกระทบด้านอื่นๆต่อระบบ ยกตัวอย่างเช่น

- ผลกระทบต่อสายส่ง คือ สายส่งที่มีอยู่ในระบบบางเส้นต้องรับภาระในการส่งกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้เกินค่าขีดจำกัดของสายส่งนั้น

- ผลกระทบของแรงดันในแต่ละบัส ซึ่งอาจก่อให้เกิดแรงดันมากกว่าหรือต่ำกว่าที่กำหนด

ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดจำเป็นต้องมีการพิจารณา เงื่อนไขบังคับต่างๆ เพื่อเป็นตัวกำหนดความเหมาะสมของคำตอบที่ได้ หรือเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของคำตอบนั้น กล่าวอีกนัยหนึ่งเป็นตัวแสดงให้เห็นถึงความเหมาะสม และความรอบคอบของแผนในการแก้ไขปัญหาการวางแผนสายส่ง โดยการหาคำตอบโดยวิธีที่นำเสนอประกอบไปด้วยเงื่อนไขบังคับดังต่อไปนี้

1. เงื่อนไขรูปร่างของโครงข่าย (Network configuration)
2. เงื่อนไขความสมดุลของโหลด (Load balance)

$$P_i = P_{G_i} - P_{D_i} - P_{loss} \tag{4.4}$$

$$Q_i = Q_{G_i} - Q_{D_i} - Q_{loss} \tag{4.5}$$

3. เงื่อนไขขีดจำกัดการจ่ายกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$P_{G_i}^{\min} \le P_{G_i} \le P_{G_i}^{\max} \tag{4.6}$$

$$Q_{G_i}^{\min} \le Q_{G_i} \le Q_{G_i}^{\max} \tag{4.7}$$

4. เงื่อนไขขีดจำกัดเรื่องแรงดันในแต่ละบัส

$$\left|LV\right|_i \le \left|V\right|_i \le \left|UV\right|_i \tag{4.8}$$

5. เงื่อนไขพิกัดของกระแสลัดวงจรในแต่ละบัส

$$\left|I_{f,i}\right| \le WC_i \tag{4.9}$$

6. เงื่อนไขพิกัดของกำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละวงจร

$$S_{j,k} \le FL_{j,k} \tag{4.10}$$

7. ข้อกำหนดอื่นๆ

$$0 \le s_{ij} \le s_{ij}^{\max} \tag{4.11}$$

$$ij \in \varepsilon \cup C; i \in N \tag{4.12}$$

$$k \in O \tag{4.13}$$

โดยที่

P_i , Q_i คือ กำลังจริง และกำลังปรากฏที่ฉีดเข้าบัส i

P_{G_i} , Q_{G_i} คือ กำลังจริง และกำลังปรากฏที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าฉีดเข้าบัส i

P_{D_i} , Q_{D_i} คือ กำลังจริง และกำลังปรากฏที่โหลดที่บัส *i*

P_{loss} , Q_{loss} คือ กำลังจริง และกำลังปรากฏที่สูญเสีย

$P_{G_i}^{\max}$, $Q_{G_i}^{\max}$ คือ พิกัดมากสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายได้ทั้งกำลังจริง และกำลังปรากฏ

$P_{G_i}^{\min}$, $Q_{G_i}^{\min}$ คือ พิกัดน้อยสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายได้ทั้งกำลังจริง และกำลังปรากฏ

$|V|_i$ คือ ขนาดของแรงดันที่บัส *i* (p.u.)

$|LV|_i$ คือ ขนาดของแรงดันที่น้อยสุดที่บัส *i* (p.u.)

$|UV|_i$ คือ ขนาดของแรงดันที่มากสุดที่บัส *i* (p.u.)

$|I_{f,i}|$ คือ ขนาดของกระแสผิดพร่อง (กระแสลัดวงจร) ที่บัส *i* (A)

WC_i คือ ขนาดของพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่บัส *i* (A)

$S_{j,k}$ คือ กำลังที่ไหลในสายส่ง *j-k* (MVA)

$FL_{j,k}$ คือ พิกัดของสายส่ง *j-k* (MVA)

ε คือ เซ็ตของเส้นทาง *ij* ที่มีสายส่งติดตั้งอยู่แล้วในระบบ

C คือ เซ็ตของเส้นทาง *ij* ที่ใช้เป็นทางเลือกในการก่อสร้างสายส่ง

N คือ เซ็ตของบัสในระบบไฟฟ้า

$s_{ij}^{\max}$ คือ จำนวนวงจรของสายส่งที่สามารถก่อสร้างได้สูงสุดระหว่างบัส *i* กับบัส *j*

O คือ เซ็ตของตำแหน่งที่พิจารณาสามารถติดตั้ง CLR ได้

เงื่อนไขที่แสดงด้านบนแสดงถึงกระบวนการคำนวณหาคำตอบในวางแผนขยายระบบส่งร่วมกับการพิจารณาการจำกัดกระแสลัดวงจรต้องอยู่ในเงื่อนไขความปลอดภัยต่างๆด้วย โดยมีความหมายดังต่อไปนี้

<u>รูปร่างของโครงข่าย</u> <u>(Network configuration)</u>

เงื่อนไขนี้ถูกพิจารณาเป็นเงื่อนไขแรก เนื่องมาจากการปลดสายส่งบางวงจรก่อให้เกิดลักษณะระบบที่แบ่งแยกกัน (Islanding) ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการคือระบบจะแบ่งออกไปคนละส่วน ซึ่งอาจก่อให้เกิดการได้รับพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอได้ในบางจุดโหลด อีกทั้งเป็นการลดภาระการคำนวณที่สำคัญอย่างหนึ่งโดยการไม่ต้องเสียเวลาพิจารณาเงื่อนไขบังคับอื่นหากละเมิดเงื่อนไขบังคับนี้

<u>ความสมดุลของโหลด</u> <u>(Load balance)</u> **<u>และ ขีดจำกัดการจ่ายกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า</u>**

เงื่อนไขบังคับนี้เป็นเงื่อนไขบังคับพื้นฐานกล่าวคือระบบต้องอยู่ในสถานะที่โหลดได้รับพลังงานไฟฟ้าเพียงพอ รวมไปถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเครื่องต้องไม่เกินค่าพิกัดของกำลังการผลิต

ขีดจำกัดเรื่องแรงดันในแต่ละบัส

เนื่องจากผลกระทบของการเปลี่ยนสถานะของสายส่งส่งผลกระทบต่อเรื่องแรงดัน จึงจำเป็นที่จะพิจารณาเงื่อนไขแรงดันประกอบร่วมด้วย โดยที่ในทางปฏิบัติกำหนดไว้ที่ 0.98-1.05 p.u.

พิกัดของกระแสลัดวงจรในแต่ละบัส

พิกัดในเรื่องกระแสลัดวงจรในการวิจัยนี้ถือว่าเป็นเรื่องที่พิจารณาเป็นหลัก โดยไม่ได้เพียงแต่แสดงถึงพิกัดของอุปกรณ์ ป้องกันเพียงอย่างเดียวแต่ค่ากระแสลัดวงจรที่อาจเกิดขึ้นที่บัสใดๆ ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งค่านี้อาจเป็นค่าที่ทางด้านระบบแรงดันปานกลางเป็นตัวกำหนดเพื่อป้องกันไม่ให้กระแสลัดวงจรที่มีค่านั้นๆที่ระบบแรงดันสูง ส่งผลกระทบกับระบบแรงดันปานกลาง

พิกัดของกำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น

การปลดสายส่งบางวงจรออกนั้นส่งผลให้ สายส่งวงจรที่เหลืออยู่ต้องแบกรับภาระการส่งพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น เพื่อเป็นการป้องกันการส่งพลังงานเกินพิกัดของสายส่ง ซึ่งนำมา ซึ่งความเสียหาย จึงจำเป็นต้องพิจารณาพิกัดทางความร้อนของสายส่งร่วมด้วย

4.3.4 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Value)

การประเมินค่าความเหมาะสมแต่ละค่าคำตอบที่ผ่านการถอดรหัสจากโครโมโซมในขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะถูกประเมินความเหมาะสมโดยทั่วไปค่าความเหมาะสมนี้จะขึ้นอยู่กับค่าของฟังก์ชั่นเป้าหมาย สำหรับโครงร่างวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการให้ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุด นั่นคือ ต้องการให้ค่าของฟังก์ชั่นเป้าหมายมีค่าน้อยๆ จึงกำหนดให้ค่าความเหมาะสมมีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่าฟังก์ชั่นเป้าหมายดังสมการที่ (4.14)

$$Fitness = \frac{1}{Obj.} \tag{4.14}$$

โดยที่

$Fitness$ คือ ค่าความเหมาะสม

$Obj.$ คือ ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย

ค่าความเหมาะสมได้มีการปรับปรุงโดยมีค่าปรับโทษ (Penalty) มาช่วยในการคำนวณเพื่อให้เงื่อนไขบังคับต่างๆในวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม มีบทบาทในการค้นหาคำตอบมากขึ้น คือนอกจากพิจารณาเพียงละเมิดหรือไม่ละเมิดเงื่อนไขบังคับเท่านั้น แต่ได้มีการให้ค่าความเหมาะสมของคำตอบที่ละเมิดหรือไม่ละเมิด เงื่อนไขบังคับใดๆ ที่แตกต่างกันไปด้วย โดยค่าเหล่านี้มาจาก

การทดลองจากการวิจัยที่ผ่านมา พบว่าส่งผลต่อประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ โดยสามารถแสดงค่าความเหมาะสมของคำตอบได้ดังสมการ (4.15)

$$Fitness = \frac{1}{Obj. + penNet + penPF + penV + penIL + penIf} \tag{4.15}$$

โดยที่

$Fitness$	คือ	ค่าความเหมาะสม
$Obj.$	คือ	ค่าฟังก์ชันเป้าหมาย
$penNet$	คือ	ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขรูปร่างของโครงข่าย
$penPF$	คือ	ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขการคำนวณ Power Flow
$penV$	คือ	ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขขีดจำกัดเรื่องแรงดันในแต่ละบัส
$penIL$	คือ	ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัดของกำลังที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น
$penIf$	คือ	ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัดของกระแสลัดวงจรในแต่ละบัส

โดยค่าปรับโทษเหล่านี้นำมาช่วยในการพิจารณาความเหมาะสมของคำตอบนั้น ซึ่งนำมาใช้ในการพิจารณากระบวนการทางพันธุกรรมต่อไป

4.3.5 **การคัดเลือก** (Reproduction)

การคัดเลือก เป็นขั้นตอนในการเลือกการอยู่รอดของโครโมโซมแต่ละโครโมโซมในกลุ่มประชากร โดยจะพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละโครโมโซม โครโมโซมใดที่มีค่าความเหมาะสมสูงจะโอกาสที่จะอยู่รอดมาก โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำจะมีโอกาสอยู่รอดน้อย ซึ่งอธิบายได้ดังสมการที่ (4.16) โดยหลักการนี้เรียกว่า วิธีวงล้อรูเลตต์

$$P_i = \left(f_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} f_i \right) * 100 \tag{4.16}$$

โดยที่

f_i	คือ	เป็นค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
n	คือ	เป็นจำนวนประชากรโครโมโซมทั้งหมด (Population Size)
P_i	คือ	โอกาสของโครโมโซมที่ถูกเลือก (Probability of Selection)

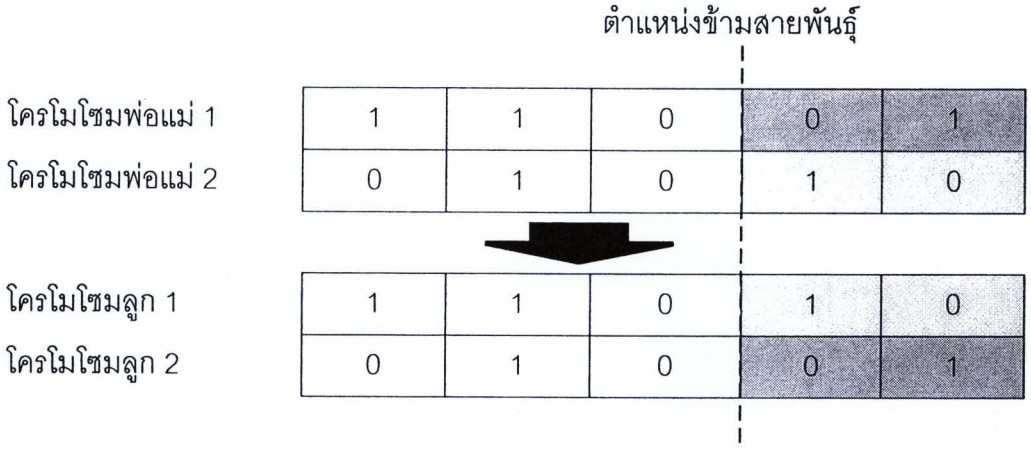
4.3.6 **การข้ามสายพันธุ์** (Crossover)

การข้ามสายพันธุ์ เป็นกระบวนการในการแลกเปลี่ยนบิตระหว่างโครโมโซมคู่หนึ่งๆโดย ซึ่งโครโมโซมคู่หนึ่งที่สุ่มขึ้นมาเรียกว่า โครโมโซมพ่อแม่ (Parent Chromosomes) หลังจากนั้นจะมี

การพิจารณาการแลกเปลี่ยนกันในบางตำแหน่งเพื่อสร้างโครโมโซมตัวใหม่ๆ ขึ้นมาด้วยความน่าจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ (Probability of crossover; P_c)

โดยกระบวนการข้ามสายพันธุ์มีขั้นตอนดังนี้

1) สุ่มโครโมโซมเพื่อนำมาพิจารณาการข้ามสายพันธุ์ (โครโมโซมพ่อแม่) หนึ่งคู่
2) สุ่มตัวเลขในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาเป็นความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ ถ้าตัวเลขที่สุ่มนี้มีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะไม่ทำการข้ามสายพันธุ์ แต่ถ้าเลขที่สุ่มขึ้นมานั้นมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะทำการข้ามสายพันธุ์
3) สุ่มตำแหน่งในการข้ามสายพันธุ์ (Cross site) ขึ้นมา เพื่อทำการแลกเปลี่ยนบิตในตำแหน่งที่อยู่หลังตำแหน่งนี้เป็นต้นไปเพื่อให้กำเนิดโครโมโซมใหม่ขึ้นมาเรียกว่าโครโมโซมลูก ตามรูปที่ 4.5
4) วนทำซ้ำตามข้อ 1) จนได้โครโมโซมชุดใหม่ขึ้นมาครบตามจำนวนประชากรที่กำหนด



รูปที่ 4.5 การข้ามสายพันธุ์พื้นฐาน

การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธีนี้เรียกว่า การข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว (Single point crossover) โดยการข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียวดังกล่าวจะให้ผลที่ไม่ดีนัก เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น และมีจำนวนตัวแปรควบคุมมากขึ้น

ด้วยเหตุผลที่กล่าวไปได้มีการปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ (Uniform Crossover) นำมาประยุกต์ในวิทยานิพนธ์นี้ โดยเป็นวิธีที่การข้ามสายพันธุ์มีโอกาสเกิดขึ้นที่ทุกบิตในโครโมโซมเท่าเทียมกัน ไม่ขึ้นกับตำแหน่งข้ามสายพันธุ์หรือความยาวบิตของโครโมโซมพ่อแม่

โดยกระบวนการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธีนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

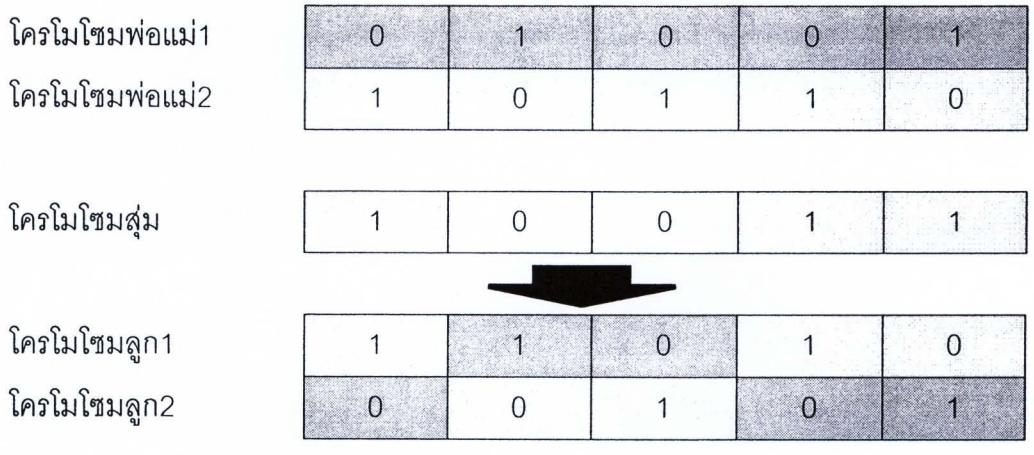
1) สุ่มโครโมโซมเพื่อนำมาพิจารณาการข้ามสายพันธุ์ (โครโมโซมพ่อแม่) หนึ่งคู่
2) สุ่มเลขระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมาเป็นความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ โดยถ้าเลขสุ่มดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะทำการข้ามสายพันธุ์ แต่ถ้าเลขสุ่มดังกล่าวสูงกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะไม่ทำการข้ามสายพันธุ์ เป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ (4.17)
3) การสุ่มบิตโครโมโซม 0 ถึง 1 ที่มีความยาวเท่ากับความยาวบิตของโครโมโซมพ่อแม่ขึ้นมาชุดหนึ่ง โดยเป็นตัวชี้การแลกเปลี่ยนบิตของโครโมโซมพ่อแม่ คือถ้าตำแหน่งใดของบิตโครโมโซมที่สุ่มขึ้นมามีค่าเป็น 1 จะทำการแลกเปลี่ยนบิตตำแหน่งนั้น ถ้าตำแหน่งใดของบิตสตริงที่สุ่มขึ้นมามีค่าเป็น 0 บิตตำแหน่งนั้นเหมือนเดิม ดังรูปที่ 4.6

$$P_R \leq P_C \tag{4.17}$$

โดยที่

P_R คือ ความน่าจะเป็นที่ถูกสุ่มขึ้นมาในแต่ละคู่โครโมโซม

P_C คือ ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์



รูปที่ 4.6 การปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์

4.3.7 การผ่าเหล่า (Mutation)

การผ่าเหล่า เป็นกระบวนการที่ป้องกันการลู่เข้าก่อนกำหนด และไม่ให้สูญเสียข้อมูลที่สำคัญไปในระหว่างกระบวนการถ่ายทอด โดยกำหนดความน่าจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า (Probability of mutation; P_M)

โดยกระบวนการผ่าเหล่ามีขั้นตอนดังนี้

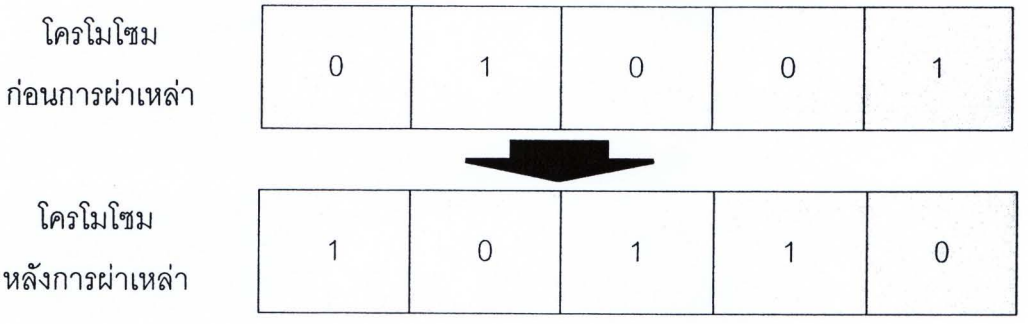
1) สุ่มเลขในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 เป็นค่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า ที่ทุกๆบิตของโครโมโซม
2) เปรียบเทียบเลขที่สุ่มแต่ละบิตกับความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า ถ้าเลขที่สุ่มตำแหน่งใดมีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าบิตตำแหน่งนั้นจะไม่ทำการผ่าเหล่า แต่ถ้าเลขที่สุ่มในบิตตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าจะทำการผ่าเหล่าที่บิตตำแหน่งนั้น โดยเปลี่ยนบิตที่ตำแหน่งนั้นจาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 เป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ (4.18)

$$P_{R_i} \leq P_M \tag{4.18}$$

โดยที่

P_{R_i} คือ ความน่าจะเป็นที่ถูกสุ่มขึ้นมาในแต่ละบิตโครโมโซม

P_M คือ ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า



รูปที่ 4.7 การผ่าเหล่า

4.3.8 การเลือกโครโมโซมเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป

การเลือกโครโมโซมเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป เพื่อเป็นหลักประกันว่าโครโมโซมที่ดีที่สุดในรอบถัดไปจะดีกว่าในรอบก่อนหน้านี้เสมอโดยการเก็บโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของการถ่ายทอดเอาไว้ในรอบถัดไป เนื่องจากกระบวนการทางพันธุกรรมเป็นกระบวนการที่อาศัยความ

น่าจะเป็นในการถ่ายทอดประชากรจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่ง จึงไม่มีหลักประกันว่าในรอบถัดไปจะมีประชากรที่ดีกว่ารุ่นก่อนหน้า และในบางกรณีอาจสูญเสียโครโมโซมที่ดีไปในระหว่างการถ่ายทอด หลักการในการเลือกโครโมโซมเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป นี้เรียกว่า อิลิทิสซึม (Elitism)

4.3.9 เงื่อนไขการหยุด

เงื่อนไขการหยุดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เงื่อนไขการหยุดของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมก็คือ หยุดหาคำตอบเมื่อครบจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุดที่กำหนดเอาไว้ หรือค่าฟังก์ชันเป้าหมายในแต่ละรุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงครบจำนวนครั้งที่กำหนดไว้

สรุปขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมมีดังนี้

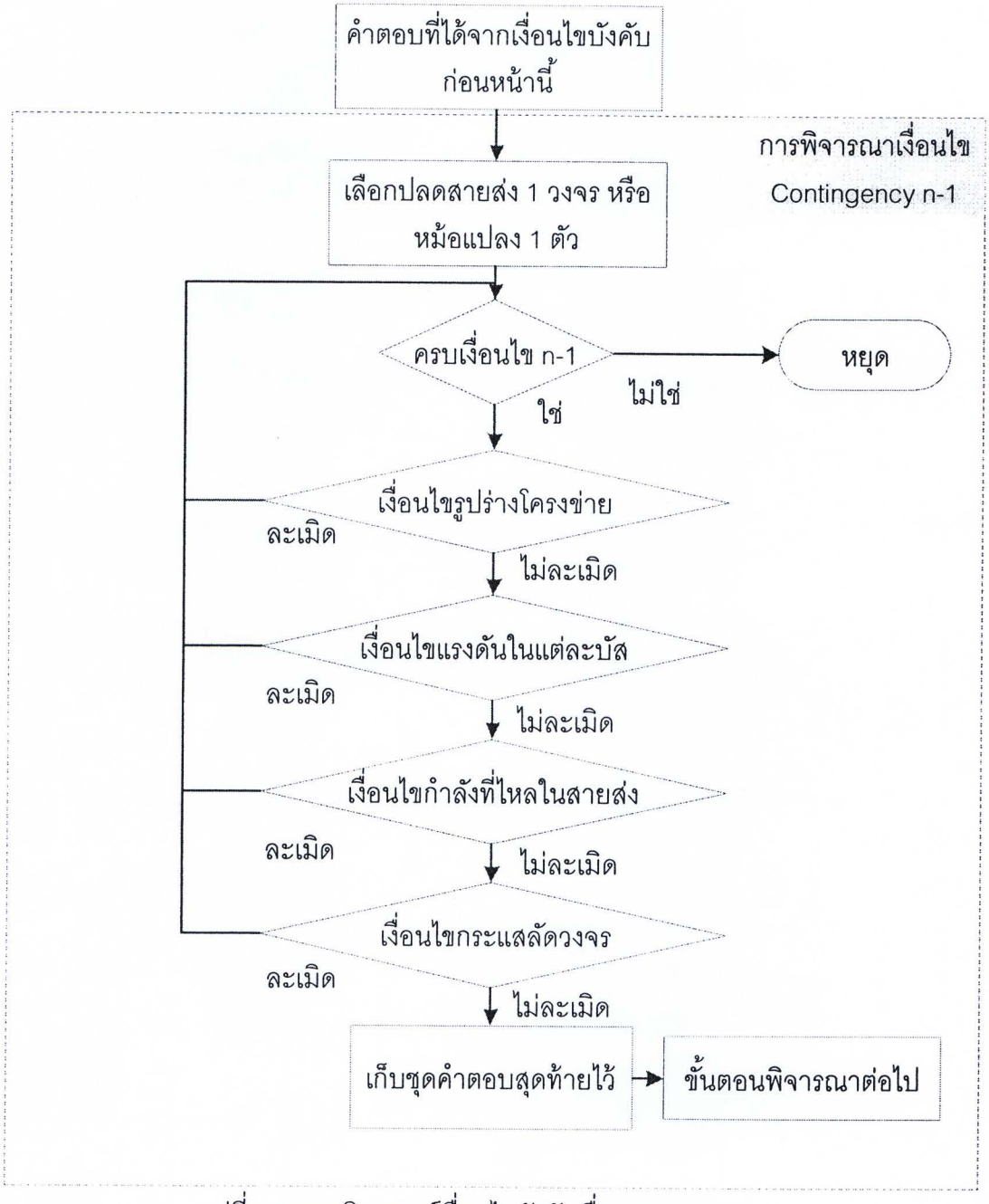
1) กำหนดประชากรเริ่มต้นโดยการสุ่ม ภายใต้เงื่อนไขบังคับต่างๆ
2) หาค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว จากขั้นตอนที่อธิบายในหัวข้อ 4.3.4
3) จากประชากรทั้งหมด จะเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด (มีความเหมาะสมมากที่สุด) เก็บเอาไว้
4) นำโครโมโซมที่ไม่ได้รับคัดเลือกไปผ่านขั้นตอนการคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์และการผ่าเหล่า โดยให้เป็นไปตามเงื่อนไขบังคับต่างๆ
5) นำโครโมโซมจากขั้นที่ 3) และขั้นที่ 4) มารวมกัน
6) ย้อนไปทำขั้นที่ 2) จนผ่านเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้

4.3.10 การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของระบบ (Contingency analysis) [43]-[47]

เนื่องมาจากปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการวางแผนของระบบไฟฟ้ากำลัง คือ ความน่าเชื่อถือของระบบ (Reliability) ที่เป็นตัวสะท้อนความมีประสิทธิภาพที่ดีอย่างหนึ่ง ในการวิจัยนี้จึงนำเอาหลักการ การวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของระบบ (Contingency Analysis) มาเป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนการปลดสายส่งบางวงจร ให้มีความน่าเชื่อถือที่มากขึ้น โดยเพิ่มเป็นเงื่อนไขบังคับอีกตัวหนึ่ง

การวิเคราะห์เรื่อง Contingency ในการวิจัยนี้ เป็นการพิจารณาผลกระทบของระบบเมื่อมีอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งหลุดจากระบบ หรือ ที่เรียกว่า n-1 Contingency เมื่อ n แทนจำนวนของอุปกรณ์ที่พิจารณาในระบบ (ในที่นี้เป็นจำนวนของสายส่งที่ที่เหลืออยู่หลังจากการพิจาณาการเงื่อนไขด้านบน) ยกตัวอย่างเช่น สายส่งบางเส้นหลุดไปเนื่องจากการ trip ของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ การหลุดออกของหม้อแปลง เป็นต้น โดยการพิจาณาจะใช้การวนทำซ้ำทีละรอบเพื่อสมมติเหตุการณ์ที่อุปกรณ์หรือส่วนประกอบหลุดออกไปหนึ่งตัว

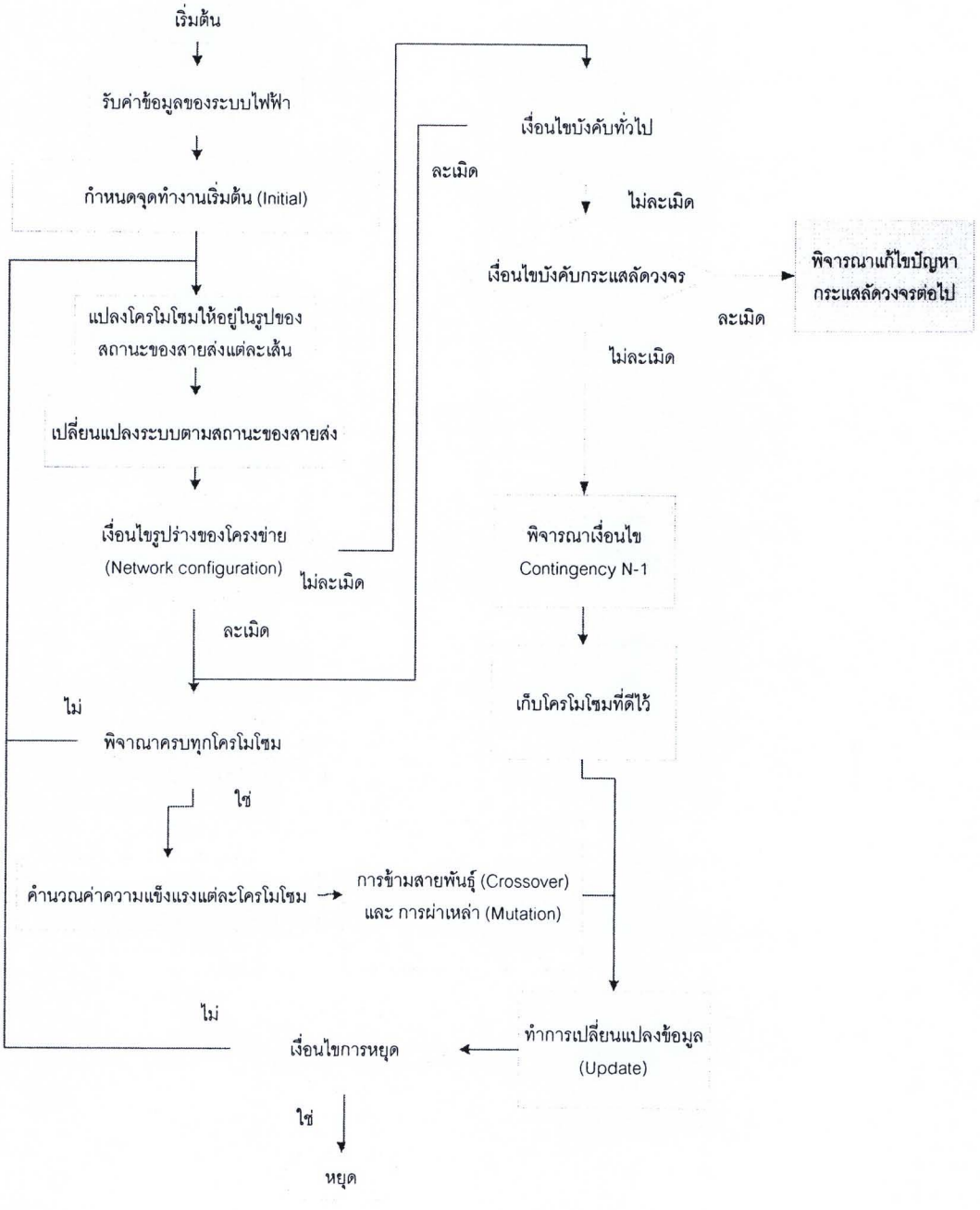
โดยการพิจารณาเงื่อนไข n-1 นี้ใช้การคำนวณโดยการสมมติกรณีสายส่งหลุดออกไปหนึ่งวงจรแล้วพิจารณาถึงเงื่อนไขบังคับต่างๆของระบบด้วย เพื่อทำการสมมติเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้น ความผิดพร่องที่อาจเกิดขึ้นของแต่ละสายส่ง และพิจาณาว่าละเมิดเงื่อนไขบังคับหรือไม่ หากมีการละเมิดเงื่อนไขเพียงข้อใดข้อหนึ่ง ดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ จะไม่พิจาณาว่าเป็นคำตอบของปัญหา การวิเคราะห์เงื่อนไขนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การวิเคราะห์เงื่อนไขบังคับเรื่อง Contingency

4.3.11 หลักการวิเคราะห์

การลดกระแสลัดวงจรโดยการเลือกปลดสายส่งบางเส้นในการวิจัยชิ้นนี้เริ่มจากการหาจุดทำงานเริ่มต้น (Initial) ก่อนโดยจุดเริ่มต้นนี้มาจากการสุ่มสถานะต่างๆของสายส่งในแต่ละเส้นมาก่อน จากนั้นนำมาคำนวณโดยวิธีทางพันธุกรรมประกอบกับการพิจารณาเงื่อนไขบังคับร่วมด้วย โดยแสดงแผนภาพแนวคิดโดยรวมไว้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แผนภาพแนวคิดโดยรวม

โดยกำหนดให้ การคำนวณโดยวิธีทางพันธุกรรมนี้ มีโครโมโซม แบ่งออกเป็นสองส่วนต่อกันโดยส่วนที่หนึ่ง โครมโมโซมแต่ละตัวแทนสถานะของสายส่งทุกวงจรโดยที่แต่ละบิตของโครโมโซมแทนสถานะของสายส่งนั้นๆ และส่วนที่สองแต่ละบิตสถานะของการติดตั้ง CLR ดังรูปที่ 4.10 โดยการแปลความหมายของสถานะของสายส่งแต่ละวงจรในรูปของโครโมโซม สามารถแสดงโดยบิตของโครโมโซม 2 บิต ด้วยกันโดยพิจารณาเป็นเลขฐานสอง ดังนี้

<u>ส่วนที่หนึ่ง</u>

00 แทน สถานะ 0 ของสายส่ง หมายความว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

01 แทน สถานะ 1 ของสายส่ง หมายความว่า มีการเปลี่ยนแปลงโดยการสร้างสายส่งขนานเพิ่ม 1 วงจร จากสายส่งวงจรเดิม

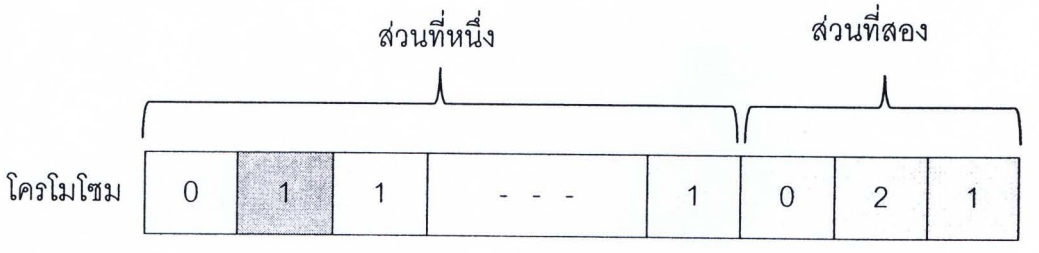
<u>ส่วนที่สอง</u>

00 แทน สถานะ 0 ของ CLR หมายความว่า ไม่มีการติดตั้ง CLR ขนาด 0.05 p.u.

01 แทน สถานะ 1 ของ CLR หมายความว่า มีการติดตั้ง CLR ขนาด 0.05 p.u.

10 แทน สถานะ 2 ของ CLR หมายความว่า มีการติดตั้ง CLR ขนาด 0.1 p.u.

10 แทน สถานะ 2 ของ CLR หมายความว่า มีการติดตั้ง CLR ขนาด 0.2 p.u.



รูปที่ 4.10 โครโมโซมแทนสถานะของสายส่ง