บทที่ 2
ทฤษฎี แนวคิดและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเรื่อง "แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ชนิดฟัซซี่เพื่อแก้ปัญหาการสับเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย" ผู้ศึกษาได้ศึกษา ค้นคว้าทฤษฎี แนวคิดและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางศึกษาโดยมีรายละเอียดตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

2.1 การวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ

2.2 การประมาณกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

2.3 โปรแกรมเชิงเส้นชนิดฟัซซี่

2.4 วิธีเชิงพันธุกรรม

2.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ (Low Voltage Distribution System Planning)

การวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำเป็นวิธีการที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ช่วยให้การดำเนินการด้านการลงทุน ด้านการปฏิบัติการสอดคล้องกับสถานการณ์ ทันต่อเหตุการณ์และสามารถจัดหางบประมาณ จัดหาอุปกรณ์ได้ทันต่อความต้องการใช้โหลดที่เพิ่มขึ้น ทั้งเป็นการป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต ซึ่งวัตถุประสงค์การวางแผนทางด้านแรงต่ำ มีดังนี้

(1) เพื่อให้หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมีกำลังไฟฟ้าเพียงพอที่จะจ่ายให้กับโหลดที่เพิ่มขึ้น

(2) เพื่อให้มีสายจำหน่ายแรงต่ำที่สามารถรองรับโหลดปัจจุบันและอนาคตได้อย่างเหมาะสม

(3) เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการร้องเรียนเรื่องแรงดันไฟฟ้าตกจากผู้ใช้ไฟฟ้า

(4) เพื่อลดอัตราการชำรุดของหม้อแปลงในระบบจำหน่าย เนื่องจากการใช้ไฟเกินพิกัด

(5) เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ

(6) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและความมั่นคงในการจ่ายไฟ

2.1.1 หลักเกณฑ์การออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ

กฟภ.ได้กำหนดหลักเกณฑ์การออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ เพื่อให้ผู้ที่ทำหน้าที่ในการออกแบบ วางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำในแต่ละพื้นที่รับผิดชอบ ใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการ มีเงื่อนไขข้อกำหนดสรุปได้ดังนี้

(1) กรณีจ่ายไฟปกติโหลดสูงสุดของหม้อแปลงจำหน่ายไม่เกิน 80% ของพิกัดหม้อแปลง

(2) ควรออกแบบติดตั้งหม้อแปลงในตำแหน่งที่ใกล้ศูนย์กลางโหลดมากที่สุดและสะดวกต่อการปฏิบัติงานบำรุงรักษา

(3) ตำแหน่งที่ติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายต้องตั้งใกล้ศูนย์กลางโหลดมากที่สุด

(4) แรงดันตกที่จุดซื้อ-ขายไฟฟ้าระหว่าง กฟภ. กับผู้ใช้ไฟที่อยู่ปลายสายไม่เกิน 10%

(5) ขนาดสายป้อนแรงต่ำขึ้นอยู่กับขนาดหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งตามแบบมาตรฐานของ กฟภ.

(6) สายป้อนแรงสูงเดิมที่เป็นระบบ 1 เฟส ที่มีหม้อแปลงจำหน่ายติดตั้งรวมตั้งแต่ 150 kVA ขึ้นไปควรปรับปรุงเป็นระบบ 3 เฟส ทั้งนี้ให้รวมถึงการขยายเขตติดตั้งหม้อแปลงใหม่

(7) การพิจารณาขนาดหม้อแปลงและเลือกขนาดสายป้อนแรงต่ำให้คำนึงถึงโหลดในอนาคต

(8) ให้พยายามจัดแบ่งโหลดในแต่ละเฟสให้สมดุลกัน

(9) การออกแบบติดตั้งหม้อแปลงของ กฟภ. ควรมีขนาดไม่เกิน 160 kVA

2.1.2 การประมาณค่าอัตราการเพิ่มของโหลดสำหรับหม้อแปลงจำหน่าย

หม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้าของ กฟภ. มีเป็นจำนวนมาก ซึ่งหากจะประมาณค่าอัตราการเพิ่มของโหลดสำหรับหม้อแปลงจำหน่ายทุกเครื่องจะทำให้ต้องเก็บข้อมูลจำนวนมาก ดังนั้นจึงใช้วิธีการประมาณค่าอัตราการเพิ่มของโหลดให้กับกลุ่มของหม้อแปลงที่คาดว่าจะมีอัตราการเพิ่มของโหลดใกล้เคียงกัน โดยการนำผลการพยากรณ์ระดับจุลภาค (Micro Forecast) ได้แก่ การพยากรณ์โหลดรายสถานีไฟฟ้ามาประยุกต์ใช้เพื่อประมาณค่าอัตราการเพิ่มของโหลดสำหรับหม้อแปลงจำหน่าย

สำหรับการประมาณค่าอัตราการเพิ่มของโหลดสำหรับหม้อแปลงจำหน่ายในกรณีดังกล่าวจะนำค่าอัตราการเพิ่มของโหลดที่สถานีไฟฟ้าในปี 2548, 2549, ..., 2559 ตามลำดับ ไปกำหนดให้เป็นค่าอัตราการเพิ่มของโหลดสำหรับหม้อแปลงจำหน่าย บนสมมุติฐานว่าให้อัตราการเพิ่มของโหลดสำหรับหม้อแปลงจำหน่ายมีค่าเท่ากับอัตราการเพิ่มของโหลดที่สถานีไฟฟ้า ซึ่งจากข้อมูลการพยากรณ์ระดับจุลภาคของ กฟภ.พบว่า อัตราการเพิ่มของโหลดที่สถานีไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 7%

2.1.3 ขั้นตอนการวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำถ้าพิจารณาจากนิยามแล้วจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ส่วนของหม้อแปลงจำหน่ายและส่วนของสายไฟจำหน่ายระบบแรงต่ำ ในการวางแผนปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำนั้นจะต้องมีการตรวจสอบความต้องการใช้ไฟฟ้า เพื่อนำมาพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าและเตรียมรองรับโหลดที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำมาพิจารณา เช่น ข้อมูลการวัดโหลด ข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า นอกจากนี้อาจใช้ข้อมูลในส่วนอื่นมาประกอบการพิจารณา เช่น ข้อมูลด้านการลงทุนของภาคอุตสาหกรรม, ข้อมูลทางด้านผังเมืองซึ่งแสดงการขยายตัวของชุมชน อัตราการเพิ่มของผู้ใช้ไฟฟ้า อัตราการเพิ่มของการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น การวางแผนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ การวางแผนระยะสั้นมีช่วงระยะเวลาในการวางแผนเป็นวัน/เดือน การวางแผนระยะปานกลางมีช่วงระยะเวลาในการวางแผน 1–3 ปี และการวางแผนระยะยาวมีช่วงระยะเวลาในการวางแผนมากกว่า 3 ปีขึ้นไป โดยการเลือกวางแผนในระยะต่างๆ นั้น ใช้การพิจารณาตามความจำเป็นของงานแต่ละงาน ซึ่งพิจารณาจากข้อมูลของโหลดและระดับแรงดันปลายสายของงานนั้นๆ ส่วนขั้นตอนการดำเนินการแก้ไขต่าง ๆ จะเป็นในแนวทางเดียวกันตามขั้นตอนดังนี้

(1) การวิเคราะห์ปัญหา เป็นการรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ เช่น ข้อมูลการวัดโหลดในช่วงการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลง การตรวจสอบโหลดหม้อแปลงตามวาระ ข้อมูลการประมาณโหลดจากผังมิเตอร์ เป็นต้น เพื่อแยกแยะและจัดลำดับของปัญหา

(2) การเลือกวิธีดำเนินการ เป็นการพิจารณาทางเลือกในการปรับปรุงระบบจำหน่าย เช่น กรณีหม้อแปลงจ่ายโหลดใกล้จะเกินพิกัดหม้อแปลงก็อาจจะทำการเพิ่มขนาดหรือติดตั้งหม้อแปลงเสริมโดยคำนึงถึงขนาดของสายแรงต่ำในระบบจำหน่ายเดิมว่าสามารถรองรับการใช้งานได้หรือไม่ เป็นต้น

(3) การวิเคราะห์ทางเทคนิค เป็นการใช้เครื่องมือและเทคนิคทางวิศวกรรมในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีที่จะดำเนินการ อาทิ การใช้โปรแกรมวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า, การประมาณกำลังไฟฟ้าสูญเสีย เป็นต้น

(4) การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เป็นการนำทางเลือกที่ผ่านการวิเคราะห์ทางเทคนิคแล้วมาวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ แนวทางในการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ สิ่งที่สนใจได้แก่

-รายรับ ได้แก่ ค่าไฟฟ้าที่จำหน่าย, ค่ากำลังสูญเสียที่ลดลง, มูลค่าซาก เป็นต้น

-รายจ่าย ได้แก่ เงินลงทุน ซึ่งได้จากการประมาณการคิดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง/ปรับปรุงระบบจำหน่ายของ กฟภ. ในกรณีตัวอย่างใช้ราคาต่อชุดโดยประมาณ, ต้นทุนจากการปฏิบัติการและบำรุงรักษา (Operation and Maintenance Cost) ซึ่งระบบส่งกำลังไฟฟ้าจะมีค่าประมาณ 0.033-0.125% ของเงินลงทุน

ทั้งนี้ การนำมาประยุกต์ใช้งานนั้นอาจมีทางเลือกอื่นที่มีความเหมาะสม อาทิ การวางแผนภาพรวมของหม้อแปลงทั้งหมดที่หน่วยงานรับผิดชอบ จะทำให้เห็นลำดับการใช้หม้อแปลงในแต่ละพื้นที่เป็นรายปีซึ่งอาจจะมีการจัดสลับการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ เป็นต้น

2.2 การประมาณกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Energy Loss Estimation)

2.2.1 ค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงจำหน่าย

ค่าตัวประกอบการใช้งานของหม้อแปลงจำหน่าย (Utilization Factor; UF) สามารถหาได้จากกำลังไฟฟ้าสูงสุดเทียบกับกำลังไฟฟ้าตามพิกัดขนาดของหม้อแปลงจำหน่าย หากมีค่าเท่ากับหนึ่งแสดงว่าโหลดสูงสุดเท่ากับพิกัดของหม้อแปลงจำหน่าย ดังสมการ (2.1)

$$UF_j = \frac{S_{peak,j}}{S_{rated,j}} \tag{2.1}$$

โดยที่ UF_j คือ ค่าตัวประกอบการใช้งานของหม้อแปลงจำหน่ายเครื่องที่ j

$S_{peak,j}$ คือ กำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงจำหน่ายเครื่องที่ j ขณะที่จ่ายโหลดสูงสุด (โวลท์-แอมแปร์)

$S_{rated,j}$ คือ กำลังไฟฟ้าตามพิกัดของหม้อแปลงจำหน่ายเครื่องที่ j (โวลท์-แอมแปร์)

2.2.2 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ความต้องการใช้ไฟฟ้าที่รับกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งหม้อแปลงจำหน่ายหรือสายจำหน่ายก่อให้เกิดกำลังสูญเสียขึ้นตามค่าผลคูณระหว่างกำลังสองของกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานในสายตัวนำ อย่างไรก็ตามการคำนวณค่ากำลังสูญเสียทุกช่วงเวลาตามความต้องการใช้ไฟฟ้าที่แปรเปลี่ยนตามเวลานั้นจำเป็นต้องใช้เวลาการคำนวณมาก อีกทั้งการพยากรณ์ค่าโหลดรายชั่วโมงล่วงหน้าเป็นระยะเวลานาน ๆ มีความไม่แน่นอนสูงและการประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงจำหน่ายจำเป็นต้องทราบข้อมูลโหลดประจำหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้าทุกตัวทุกช่วงเวลาที่เราต้องการประเมินเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ

วิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินกำลังไฟฟ้าสูญเสียคือ การประมาณค่าโดยอาศัยค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss Factor; LSF) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าตัวประกอบโหลด[1] (Load Factor; LF) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.1 และสมการ (2.2)

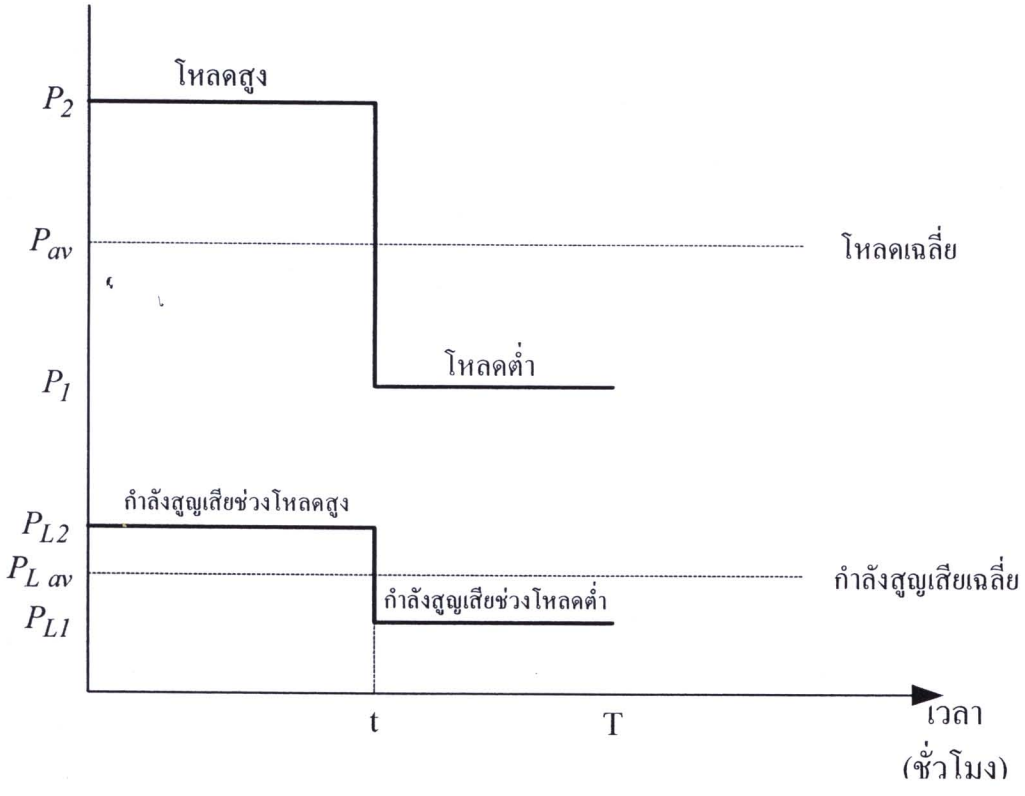
$$LSF = (a)LF + (b)LF^2 \tag{2.2}$$

---

[1] ค่าตัวประกอบโหลด (Load Factor) คือ อัตราส่วนระหว่าง โหลดเฉลี่ย (Average Load) กับโหลดสูงสุด (Peak Load) ในช่วงเวลาใดๆ ที่พิจารณา ปกติแล้วค่าองค์ประกอบการใช้ไฟฟ้า จะมีค่าไม่เกิน 1

ที่ 2 ได้แสดงให้เห็นเป็นตัวอย่างจากสายป้อนของ กฟภ.ว่าค่าสัมประสิทธิ์ a และ b มีค่าประมาณ 0.33 และ 0.67 ตามลำดับ จะได้ดังสมการ (2.3)

$$LSF = 0.33LF + 0.67LF^2 \qquad (2.3)$$

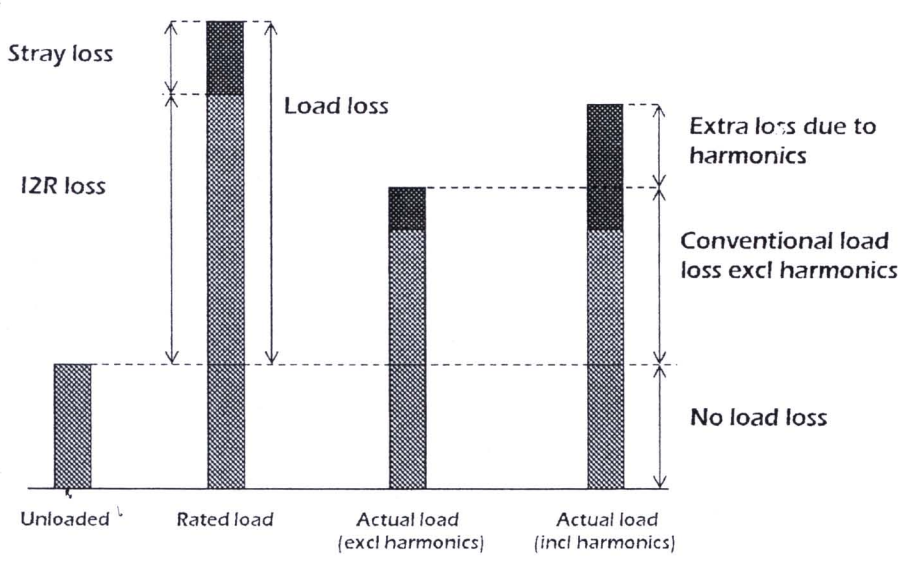


รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบโหลดกับตัวประกอบกำลังสูญเสีย

2.2.3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่าย

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงและประสิทธิภาพของหม้อแปลงมีส่วนสำคัญต่อการวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมตลอดอายุการใช้งานของหม้อแปลง (Life-cycle Cost; LCC) ซึ่งประกอบด้วย ราคาเริ่มต้นของหม้อแปลง ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงและต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูญเสียตลอดอายุการใช้งาน

โดยทั่วไปการเลือกใช้งานหม้อแปลงที่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียต่ำ ประสิทธิภาพสูงจะต้องมีการลงทุนเริ่มต้นที่สูงแต่จะทำให้ประหยัดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าสูญเสียตลอดอายุการใช้งานของหม้อแปลง ดังนั้นหากยอมลงทุนมากขึ้นก็อาจจะคุ้มค่ากว่าการใช้งานหม้อแปลงมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงกว่า อย่างไรก็ตามผลการประหยัดที่เกิดขึ้นจะคุ้มค่ากับส่วนต่างที่ต้องลงทุนเพิ่มขึ้นหรือไม่นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ที่ใช้งานหรือหน่วยงานนำมาใช้ในการพิจารณาในการเลือกใช้งานหม้อแปลงให้เหมาะสม



รูปที่ 2.2 แสดงสัดส่วนโดยประมาณของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลง

(1) กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (No-Load Loss, Iron loss or Core loss)

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กเกิดขึ้นตลอดเวลาแม้ว่าหม้อแปลงจะไม่ได้จ่ายโหลด ประกอบด้วย การสูญเสียของฟลักซ์แม่เหล็ก (Hysteresis Loss) ซึ่งทำให้เกิดความร้อนในแกนเหล็กของหม้อแปลง, การสูญเสียกระแสไหลวน (Eddy Current Loss) ซึ่งเป็นการการสูญเสียทางความร้อนจากกระแสไหลในแกนเหล็กขณะที่ไม่ได้จ่ายโหลด ส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดการสูญเสียจากของฟลักซ์แม่เหล็กและกระแสไหลวน ซึ่งในการพิจารณาโดยทั่วไปสามารถละเลยการสูญเสียอื่นได้

(2) กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดหม้อแปลง (Load Loss or Copper Loss)

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดหรือการสูญเสียเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลด ประกอบด้วย การสูญเสียที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดของหม้อแปลงซึ่งเป็นการสูญเสียส่วนใหญ่ที่เกิดจากความร้อนจากความต้านทานในขดลวด (I^2R Loss) ซึ่งการออกแบบหม้อแปลงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่ากระแสได้เนื่องจากขึ้นอยู่กับความต้องการตามโหลดที่จ่าย ส่วนค่าความต้านทานของขดลวดสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยการใช้ตัวนำที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ขึ้น และการสูญเสียสเตรย์ (Stray Loss) ซึ่งเกิดจากกระแสไหลวนที่ขดลวดตัวนำและกระแสไหลวนในตัวถังและส่วนที่เป็นตัวนำอื่นในหม้อแปลง ซึ่งการสูญเสียสเตรย์จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับขนาดของตัวนำและมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลดที่มีกระแสฮาร์มอนิคสูงขึ้น

(3) ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่าย (Transformer Efficiency)

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงคือตัวบ่งชี้ความสามารถในการจ่ายโหลดของหม้อแปลงหรือกำลังงานที่สูญเสียภายในหม้อแปลง มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าด้านออกต่อกำลังไฟฟ้าด้านเข้าของหม้อแปลงจำหน่าย โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงจำหน่ายจะถูกใช้งานที่ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด ซึ่งประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่ายสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.4)

$$\%Efficiency(\eta_j) = \frac{P_{out,j}}{P_{out,j} + P_{core,j} + P_{Cu,j}} \times 100 \qquad (2.4)$$

โดยที่ η_j คือ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงจำหน่ายเครื่องที่ j

$P_{out,j}$ คือ กำลังด้านออกของหม้อแปลงจำหน่ายเครื่องที่ j (วัตต์)

$P_{core,j}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงจำหน่ายเครื่องที่ j (วัตต์)

$P_{iron,j}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดของหม้อแปลงจำหน่ายเครื่องที่ j (วัตต์)

เนื่องจากหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟภ.มีการป้อนไฟตลอดทั้งวันและจ่ายโหลดในลักษณะไม่คงที่ การพิจารณาประสิทธิภาพจึงต้องคำนึงถึงการใช้งานหม้อแปลงจำหน่ายในแต่ละช่วงเวลาของวัน โดยการหาประสิทธิภาพตลอดวัน (All-day Efficiency) ซึ่งเป็นการพิจารณาในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง; kWh) ดังสมการ (2.5)

$$\%All\text{-}day\ Efficiency = \frac{1}{24}\sum_{j=1}^{24}\eta_j \times 100 \qquad (2.5)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและประสิทธิภาพของหม้อแปลงสามารถทราบและคำนวณได้จากข้อมูลทางเทคนิคของหม้อแปลงจากรายงานผลการทดสอบของผู้ผลิต ซึ่โดยทั่วไปแล้วราคาของหม้อแปลงจะแปรผกผันกับกำลังไฟฟ้าสูญเสีย สำหรับข้อมูลทางเทคนิคของหม้อแปลงที่ใช้ในระบบจำหน่ายซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดในการจัดซื้อหม้อแปลงจำหน่ายชนิด 3 เฟส ระบบ 22000/400-230 โวลท์ ของ กฟภ.แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่ากำลังสูญเสียในหม้อแปลงจำหน่ายชนิด 3 เฟส ของ กฟภ.

พิกัดขนาด (kVA)	No Load Losses (Watt)		Load Losses @75°C (Watt)	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
50	210	160	1,050	950
100	340	250	1,750	1,550
160	480	360	2,350	2,100
250	670	500	3,250	2,950
315	800	600	3,900	3,500
400	960	720	4,600	4,150

หมายเหตุ.- ก่อน-หลัง หมายถึง หม้อแปลงที่จัดซื้อก่อน-หลังการปรับปรุงค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลง สำหรับหม้อแปลงที่ กฟภ.จัดซื้อตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 เป็นต้นมา

2.2.4 การลดกำลังสูญเสียในหม้อแปลงจำหน่าย

ผลการวิจัยจากรายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยเพื่อลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระยะที่ 2 โดย กฟภ.ร่วมกับศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้กำหนดแนวทางการลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟภ. สรุปได้ดังนี้

2.2.4.1 การลดขนาดของหม้อแปลงจำหน่าย

กำลังสูญเสียในหม้อแปลงจำหน่ายเกิดจากกำลังสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อแปลงมีสัดส่วนสูงมากเป็นส่วนใหญ่ ในการปรับปรุงจึงอาจพิจารณาเริ่มตั้งแต่การปรับปรุงแนวทางการกำหนดขนาดหม้อแปลง ซึ่งสถานภาพในปัจจุบันชี้ให้เห็นชัดเจนว่า หม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ.ปัจจุบันมีขนาดใหญ่เกินไป การลดขนาดหม้อแปลงจำหน่ายให้เหมาะสมจะช่วยลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียดังกล่าวด้วย การกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกขนาดหม้อแปลงจำหน่ายซึ่งพิจารณาว่าโหลดสูงสุดปกติของหม้อแปลงจำหน่ายควรใช้งานประมาณ 80% ของขนาดหม้อแปลงนั้น ในทางทฤษฎีอาจเหมาะสมแต่หากในทางปฏิบัติการประมาณโหลดสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้านั้นสูงเกินจริง และมิได้นำค่าตัวประกอบการเบี่ยงเบน[2] (Diversity Factor) หรือค่าตัวประกอบโคอินซิเดนซ์ (Coincident Factor) มาร่วมพิจารณาก็จะทำให้โหลดสูงสุดของวงจรสายป้อนนั้นๆ มีค่าสูงเกินจริง ซึ่งนำไปสู่การเลือกขนาดหม้อแปลงจำหน่ายที่ใหญ่เกินความจำเป็น

---

[2] ค่าตัวประกอบการเบี่ยงเบน (Diversity Factor) คือ อัตราส่วนระหว่างผลรวมของความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของผู้ใช้ไฟแต่ละราย (หรือแต่ละกลุ่ม) ในหม้อแปลงจำหน่าย ต่อค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดรวมของหม้อแปลงจำหน่าย สำหรับค่าตัวประกอบการโคอินซิเดนซ์ (Coincident Factor) เป็นส่วนกลับของค่าตัวประกอบการเบี่ยงเบน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังพบว่าการประมาณโหลดสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าของ กฟภ.มีแนวโน้มที่จะสูงเกินความเป็นจริง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากการเผื่อขนาดของโหลดไว้จะทำให้มีความปลอดภัยในการเลือกใช้อุปกรณ์และการปฏิบัติงาน ดังนั้นการพิจารณาเลือกขนาดของหม้อแปลงจำหน่ายโดยอาศัยเฉพาะค่าโหลดสูงสุดเพียงประการเดียวอาจไม่เหมาะสมและนำไปสู่การกำหนดขนาดหม้อแปลงที่ใหญ่เกินความจำเป็น การนำค่าโหลดเฉลี่ยมาร่วมประกอบการพิจารณาอาจทำให้การเลือกขนาดหม้อแปลงที่ดีขึ้น เช่น กฟภ. มีค่าตัวประกอบโหลดในภาพรวมอยู่ที่ประมาณ 0.6 ดังนั้นเกณฑ์การเลือกขนาดของหม้อแปลงจำหน่ายตามโหลดเฉลี่ยก็อาจมีค่าประมาณ 0.6*0.8 หรือเท่ากับ 0.48 ของขนาดหม้อแปลง เป็นต้น ดังนั้นในการเสนอการเลือกขนาดหม้อแปลงจำหน่ายอาจปรับปรุงได้เป็นโหลดสูงสุดปกติของหม้อแปลงควรมีค่าไม่เกิน 80% และโหลดเฉลี่ยของหม้อแปลงควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 45% ของขนาดหม้อแปลง ทั้งนี้หาก ณ วันเริ่มติดตั้งโหลดสูงสุดของหม้อแปลงจำหน่ายมีค่าประมาณ 70% ของขนาดหม้อแปลงและโหลดสูงสุดมีอัตราการเพิ่มประมาณปีละ 5% หม้อแปลงจำหน่ายที่ได้รับการติดตั้งใหม่แต่ละตัวจะจ่ายโหลดได้ประมาณ 7–8 ปี จนกว่าโหลดจะเพิ่มสูงขึ้นจนเต็มค่าพิกัด การดำเนินการในลักษณะดังกล่าวย่อมทำให้ภาระงานของเจ้าหน้าที่เพิ่มมากขึ้น แต่ในทางกลับกันประสิทธิภาพการจัดจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ก็จะดีขึ้นตามไปด้วย

2.2.4.2 การเพิ่มค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลง

นอกจากการปรับปรุงเกณฑ์การกำหนดขนาดหม้อแปลงจำหน่ายจะนำไปสู่การลดขนาดหม้อแปลงจำหน่ายที่จะนำไปติดตั้งในระบบแล้ว สำหรับหม้อแปลงจำหน่ายที่ติดตั้งอยู่ในระบบเดิมก็ควรมีค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ตามปกติสูงขึ้นด้วย เพื่อให้มีการใช้งานหม้อแปลงจำหน่ายอย่างเต็มที่และมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ตามหลักการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานโดยทั่วไปนั้น ปัจจัยสำคัญประเด็นหนึ่งคือ การรู้สภาพการทำงานหรือการจัดจำหน่ายไฟฟ้าของตนเองเป็นอย่างดี การทำงานที่ปราศจากการสอดส่องดูแลอย่างเข้มข้นย่อมนำไปสู่การทำงานที่ด้อยประสิทธิภาพ ตามสภาพความเป็นจริงนั้นเจ้าหน้าที่ กฟภ. ที่อยู่ที่สถานีไฟฟ้าย่อยหรือในแต่ละพื้นที่หน้างานจะทราบสถานการณ์จัดจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ตนเองได้ดีที่สุด ดังนั้นการมอบหมายแนวนโยบายให้ทำการตรวจสอบและประเมินค่าการใช้งานของหม้อแปลงโดยรวมเทียบกับค่าโหลดประจำสายป้อนที่บันทึกไว้อยู่แล้ว โดยทำการคำนวณค่าตัวประกอบโหลดและค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลงประจำสายป้อนและนำผลที่ได้มาก็จะช่วยให้การจัดจำหน่ายโหลดของ กฟภ. มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 04 ต.ค. 2555

2.3 โปรแกรมเชิงเส้นชนิดฟัซซี่ (Fuzzy Linear Programming)

โปรแกรมเชิงเส้นเป็นเทคนิคเชิงปริมาณในการแก้ปัญหาทางการจัดสรรทรัพยากรหรือปัจจัยซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ทั้งขนาด ปริมาณ หรือ ขอบเขตการใช้งาน โปรแกรมเชิงเส้นเป็นวิธีการที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรทรัพยากรหรือตัวแปรปัจจัยที่เกี่ยวข้องกันในลักษณะเชิงเส้นตรง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาและตัดสินใจให้เกิดผลตามแนวทางการดำเนินงานที่ดีที่สุด (Optimal) ได้แก่ ทำให้เกิดกำไรสูงสุดหรือเกิดต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำสุด การสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นตรงจะต้องรวบรวมรายละเอียดทั้งหมดที่มีอยู่ กำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นให้ชัดเจน แล้วตั้งสัญลักษณ์เป็นตัวแปรที่ต้องการทราบ โดยค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้องเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นปฏิภาคโดยตรง เมื่อพิจารณาแล้วดำเนินการดังต่อไปนี้คือ

(1) สร้างสมการเป้าหมาย (Objective Function) คือสมการที่เราต้องการหาค่าดีที่สุด จะต้องมีสมการเป้าหมายเดียว เช่น ต้องการหากำไรสูงสุดหรือต้นทุนต่ำสุด

(2) สร้างข้อจำกัด (Constraints) จะต้องค้นหาว่าปัญหานี้มีข้อจำกัดอะไรบ้างที่เกี่ยวกับเป้าหมายที่ตั้งไว้ ข้อจำกัดของปัญหาอาจอยู่ในรูปสมการ (Linear Equation) หรืออยู่ในรูปอสมการ (Linear Inequalities)

(3) สร้างตัวแปรทุกตัวให้ค่าเท่ากับหรือมากกว่าศูนย์ (Non-Negativity Restriction) หมายความว่า คำตอบที่ได้มานั้นค่าตัวแปรจะเป็นลบไม่ได้

แต่ในสภาพความเป็นจริง ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรในแต่ละปัญหาอาจมีความคลุมเครือไม่ชัดเจนในมุมมองของผู้ตัดสินใจ เซตของฟัซซี่ (Fuzzy Set) สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการตัดสินใจในกรณีดังกล่าวได้โดยการแทนค่าสัมประสิทธิ์เหล่านั้นด้วยปริมาณฟัซซี่และแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมเชิงเส้นชนิดฟัซซี่ ซึ่งมีข้อได้เปรียบคือ สามารถนำมาใช้ในสถานการณ์ที่เงื่อนไขของแบบจำลองที่ไม่สามารถกำหนดขอบเขตที่ชัดเจน โดยการแทนด้วยเงื่อนไขที่มีความยืดหยุ่น คลุมเครือในช่วงๆ หนึ่ง ซึ่งเป็นสิ่งที่ทำให้โปรแกรมเชิงเส้นชนิดฟัซซี่มีความแตกต่างจากโปรแกรมเชิงเส้นปกติที่คำตอบของโปรแกรมเชิงเส้นนั้นจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ หากมีการละเมิดหรือไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

โปรแกรมเชิงเส้นชนิดฟัซซี่ (Fuzzy Linear Programming) นำเสนอครั้งแรกโดย Zimmermann กลายเป็นหัวข้อที่แพร่หลายในการวิจัยเกี่ยวกับระบบฟัซซี่ในระยะเวลากว่าทศวรรษที่ผ่านมาและถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานหลายประเภท อาทิ การวางแผนระบบชลประทาน การหาค่าที่ดีที่สุดในการจัดการเครื่องจักรในโรงงาน ปัญหาการวางแผนการผลิตรวมและใช้สร้างแบบจำลองแสดงราคาสินทรัพย์ เป็นต้น

โดยทั่วไปแบบจำลองของโปรแกรมเชิงเส้นเป็นแบบจำลองที่ช่วยในการตัดสินใจในสถานการณ์ที่มีความแน่นอน ซึ่งเป้าหมายจะถูกแทนด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ถูกจำกัดให้คำตอบในช่วงที่ถูกกำหนดด้วยเงื่อนไข โดยรูปแบบเหล่านี้อยู่ภายใต้ข้อกำหนดที่สัมประสิทธิ์ของตัวแปรเป็นปริมาณตัวเลข (Crisp Number)

$$Maximize \qquad Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \tag{2.6}$$

เป็นไปตามเงื่อนไข $$\sum_{j=1}^{n} a_{kj} x_j \leq b_k, \; k = 1,2,3,...,m \tag{2.7}$$

และ $$x \geq 0, \; j = 1,2,3,...,n \tag{2.8}$$

ปัญหาในสมการ (2.6) ถึง (2.8) สามารถแก้ปัญหาด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) เมื่อทราบค่าของ c_j, a_{kj} และ b_k ที่ $j = 1,2,3,...,n$ และ $k = 1,2,3...,m$ ซึ่งในสภาพความเป็นจริงค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้อาจเป็นค่าที่ไม่แน่นอน คลุมเครือหรือเป็นค่าที่ยืดหยุ่นได้ ดังนั้นสามารถแทนค่าที่คลุมเครือเหล่านี้ด้วยปริมาณฟัซซี่ (Fuzzy Number) จากสมการ (2.9) ถึง (2.11) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$Maximize \qquad Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \tag{2.9}$$

เป็นไปตามเงื่อนไข $$\sum_{j=1}^{n} \widetilde{a}_{kj} x_j \leq \widetilde{b}_k, \; k = 1,2,3,...,m \tag{2.10}$$

และ $$x \geq 0, \; j = 1,2,3,...,n \tag{2.11}$$

เครื่องหมาย (~) แสดงถึงรูปแบบสมการฟัซซี่ ซึ่งข้อจำกัดบางประการในสมการที่ 2.10 นั้นผู้ตัดสินใจยอมรับการละเมิดข้อจำกัดที่ระดับความพึงพอใจต่างๆ ดังนั้นข้อจำกัดแบบฟัซซี่สามารถแทนด้วยฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิก μ_k

$$\mu_k : n \rightarrow [0,1], k = 1,2,...,m \tag{2.12}$$

ทุกตัวแปร $x \in \Re^n$ ค่า μ_k แสดงถึงระดับความพึงพอใจที่ตัวแปร x เป็นไปตามเงื่อนไข k

2.4 วิธีเชิงพันธุกรรม

วิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการหาคำตอบที่เลียนแบบการคัดเลือกเพื่อความอยู่รอดและการสืบพันธุ์ตามธรรมชาติ โดยเริ่มจากการสร้างชุดคำตอบปัญหาเริ่มต้นแบบสุ่มที่เรียกว่าประชากร (Population) และประชากรแต่ละตัวจะเรียกว่าโครโมโซม (Chromosome) โดยปกติแล้วโครโมโซมจะเป็นลักษณะของรหัสต่างๆ ซึ่งแต่ละตำแหน่งที่แทนค่ารหัสภายในโครโมโซมเรียกว่า ยีนส์ (Genes) และโครโมโซมเหล่านี้จะถูกทำให้ผ่านการวิวัฒนาการไปในแต่ละรุ่น (Generation) ทำให้ได้โครโมโซมที่มีลักษณะดีขึ้นจนได้เป็นคำตอบตามต้องการในที่สุด

โครโมโซมที่ดี คือโครโมโซมที่เหมาะสมที่จะเป็นคำตอบของปัญหา เช่น หากกำหนดฟังก์ชันการหาค่าความเหมาะสมให้ค่าศูนย์ คือค่าคำตอบที่ดีที่สุด และค่าจำนวนจริงบวกมากเป็นคำตอบที่แย่ลงตามลำดับ จะเห็นได้ว่า โครโมโซมที่ดี คือโครโมโซมที่มีค่าเป็นจำนวนจริงบวกที่เข้าใกล้ค่าศูนย์นั่นเอง และหากโครโมโซมมีค่าความเหมาะสมเท่ากับศูนย์ก็คือ โครโมโซมที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นเป้าหมายของการค้นหาคำตอบเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของวิธีเชิงพันธุกรรมนั่นเอง

โครโมโซมต่างๆของประชากรจะถูกถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของแต่ละตัวไปสู่โครโมโซมรุ่นลูก โดยผ่านกระบวนการทางวิธีเชิงพันธุกรรม 2 แบบได้แก่ การครอสโอเวอร์ (Crossover) และการมิวเทชั่น (Mutation) ซึ่งกระบวนการทั้งสองนี้จะช่วยทำให้โครโมโซมรุ่นลูกที่ได้มีลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งอาจได้ทั้งโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีขึ้นหรือแย่ลง โดยโครโมโซมรุ่นลูกเหล่านี้ จะถูกนำไปผ่านการคัดเลือก (Selection) ทำให้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีมีโอกาสอยู่รอดไปเป็นประชากรในรุ่นถัดไปและโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมแย่จะมีโอกาสถูกกำจัดออกไป เมื่อผ่านขบวนการวิวัฒนาการของวิธีเชิงพันธุกรรมไปเรื่อยๆจึงได้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีขึ้นจนได้เป็นโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่เป็นคำตอบของการแก้ปัญหาในที่สุด

2.4.1 การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding)

การเข้ารหัสโครโมโซม คือการเข้ารหัสจากคำตอบของปัญหาไปเป็นรหัสที่สามารถใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการแก้ไขปัญหานั้นๆได้ โดยประชากรแต่ละตัวจะเรียกว่า โครโมโซม (Chromosome) โดยในโครโมโซมประกอบด้วยยีนส์ (Genes) ต่างๆซึ่งถูกเข้ารหัสโดยแทนด้วยชุดของตัวเลขที่มีลักษณะเป็นสาย (String) โครโมโซมเหล่านี้มีรูปแบบของการจัดเรียงของยีนส์ภายในที่ต่างกันออกไป ทำให้มีค่าความเหมาะสมแตกต่างกันไป ทั้งนี้การกำหนดฟังก์ชันในการหาค่าความเหมาะสมขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบในการประยุกต์ใช้แก้ไขปัญหาต่างๆกันไป

การเข้ารหัสของโครโมโซมสามารถทำได้หลายวิธีตามแนวคิดของผู้ออกแบบ และลักษณะของปัญหาที่ต้องการแก้ไขนั้นๆ เช่น การเข้ารหัสของโครโมโซมที่แทนด้วยเลขฐานสอง การเข้ารหัสของโครโมโซมที่แทนด้วยเลขจำนวนเต็ม การเข้ารหัสของโครโมโซมที่แทนด้วยเลขจำนวนจริง และการเข้ารหัสของโครโมโซมที่แทนด้วยสัญลักษณ์ของตัวอักษรใดๆ เป็นต้น

การเข้ารหัสที่ดีนั้นมีความสำคัญมากที่จะทำให้การค้นหาคำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลักการสำคัญในการเข้ารหัสที่ถูกต้องมีดังนี้

(1) การเข้ารหัสโครโมโซมและการถอดรหัสเป็นคำตอบของปัญหาควรมีความสัมพันธ์แบบ 1 ต่อ 1 หมายถึง รหัสของโครโมโซมใดๆควรแทนคำตอบได้เพียง 1 คำตอบเท่านั้นและไม่ควรมีโครโมโซม 2 ตัวใดที่สามารถถอดรหัสได้คำตอบที่เหมือนกันทุกประการ ซึ่งการเข้ารหัสและ

ถอดรหัส ที่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นแบบ 1 ต่อ 1 นั้น เรียกว่าความซ้ำซ้อนของการถอดรหัสและความซ้ำซ้อนของโครโมโซม ตามลำดับ

(2) โครโมโซมรุ่นลูกที่เกิดจากการมิวเทชั่นหรือครอสโอเวอร์ของโครโมโซม รุ่นพ่อแม่ควรเป็นโครโมโซมที่สามารถถอดรหัสเป็นคำตอบได้ เนื่องจากหากมีโครโมโซมรุ่นลูกที่เกิดจากการมิวเทชั่นหรือครอสโอเวอร์เป็นโครโมโซมที่ไม่สามารถถอดรหัสเป็นคำตอบได้ (Illegal Chromosome) จะต้องมีขบวนการพิเศษที่เพิ่มเข้าไปเพื่อกำจัดโครโมโซมที่ผิดพลาดเหล่านี้ออกไป ซึ่งทำให้การทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมช้าลงได้

2.4.2 การกำหนดประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

ลักษณะที่เป็นต้นแบบหรือต้นกำเนิดที่จะนำเข้าไปในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยการสุ่มเลือกจากการสร้างประชาการต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้ากระบวนการของวิธีเชิงพันธุกรรม โดยประชากรกลุ่มแรกหรือประชากรต้นกำเนิดจะเกิดจากการสุ่มเลือกขึ้นมาจากกลุ่มของประชากรทั้งหมดที่มีอยู่

2.4.3 ฟังก์ชันค่าความเหมาะสม (Fitness Function)

ฟังก์ชันจุดประสงค์คือ ฟังก์ชันที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดว่าโครโมโซมแต่ละตัวนั้นสมควรที่จะเป็นคำตอบของปัญหามากเพียงใด สำหรับฟังก์ชันค่าความเหมาะสม (Fitness Function) จะถูกใช้ในขั้นตอนการเลือกเท่านั้น โดยฟังก์ชันค่าความเหมาะสมสามารถหาได้จากฟังก์ชันจุดประสงค์นั่นเอง ดังนั้นในบางงานวิจัยจึง นิยมใช้ฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นฟังก์ชันค่าความเหมาะสมด้วย แต่จุดสำคัญที่แตกต่างกันระหว่างค่าฟังก์ชันจุดประสงค์และฟังก์ชันค่าความเหมาะสม คือ ฟังก์ชันจุดประสงค์จะใช้เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบว่าโครโมโซมแต่ละตัวเป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ ดังนั้นในทุกรอบของการทำงานจึงต้องใช้ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์เดียวกันเท่านั้น เพื่อที่จะทำให้สามารถเปรียบเทียบได้ว่า โครโมโซมในประชากรรุ่นใหม่ดีกว่าหรือแย่กว่าในประชากรรุ่นก่อน แต่ฟังก์ชันค่าความเหมาะสมเป็นเพียงฟังก์ชันที่จะใช้กำหนดโอกาสในการถูกเลือกในขั้นตอนการเลือกเท่านั้น เช่น อาจกำหนดให้ความกดดันในการเลือกโครโมโซมไปเป็นประชากรรุ่นต่อไปในรุ่นแรกมีความกดดันต่ำเพื่อให้โครโมโซมที่ยังมีค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ที่ไม่ดีพอ ยังสามารถอยู่รอดในประชากรรุ่นถัดไปได้ เพราะในบางครั้งอาจมีส่วนที่ดีแฝงอยู่ในตัวโครโมโซมเหล่านั้นได้ และจะเพิ่มความกดดันในการเลือกเมื่อผ่านจำนวนรอบการทำงานมากขึ้น จึงสามารถเปลี่ยนรูปแบบหรือค่าพารามิเตอร์บางตัวในฟังก์ชันค่าความเหมาะสมได้ ดังนั้นฟังก์ชันค่าความเหมาะสมในแต่ละ

รุ่นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีค่าเท่ากัน ตัวอย่างการแก้ปัญหา เช่น ต้องการหาค่า x ที่ทำให้ค่า y ในสมการ (2.13) มีค่ามากที่สุด

$$y = 21.5 + x_1 \sin(4\pi x_1) + x_2 \sin(20\pi x_2) \qquad (2.13)$$

ค่า x_1 และ x_2 เป็นตัวแปรอิสระ และค่า y เป็นตัวแปรตาม โดยคำตอบของปัญหาที่ต้องการคือ ต้องการทราบค่า x_1 และ x_2 ที่ทำให้ค่า y มีค่ามากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถ้าค่า y มีค่ามาก ก็จะเป็นคำตอบที่ดี และค่า y น้อย จะเป็นคำตอบที่ไม่ดีนั่นเองสำหรับการหาค่าความเหมาะสมนั้น อาจกำหนดให้ใช้ฟังก์ชันดังสมการ (2.14)

$$Fitness = (21.5 + x_1 \sin(4\pi x_1) + x_2 \sin(20\pi x_2))^{generation/10} \qquad (2.14)$$

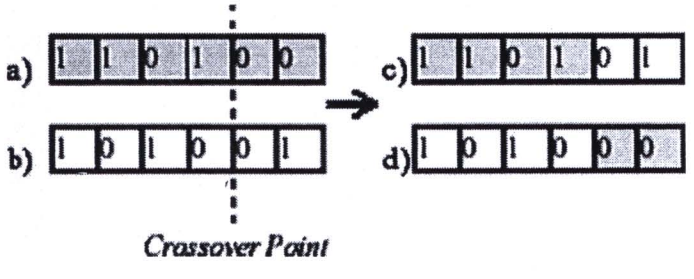
เมื่อ $Fitness$ คือ ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

$generation$ คือ จำนวนรุ่นการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม

จากสมการ (2.14) จะเห็นว่า ในรุ่นแรกๆ ค่าความเหมาะสมจะถูกยกกำลังด้วยค่า generation/10 หรือก็คือการถอดรากที่ generation/10 ซึ่งจะทำให้ค่าความเหมาะสมถูกปรับให้มีค่าเข้าใกล้ค่า 1 เช่น รากที่ 2 ของ 0.01 เท่ากับ 0.1 และรากที่สองของ 100 มีค่าเท่ากับ 10 เป็นต้น และเมื่อถึงจำนวนรอบที่ 10 ฟังก์ชันค่าความเหมาะสมจะมีค่าเหมือนกับฟังก์ชันจุดประสงค์ และเมื่อจำนวนรอบการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมมากขึ้นจะเพิ่มความกดดันในการเลือกให้สูงขึ้น

2.4.4 การครอสโอเวอร์ (Crossover)

การครอสโอเวอร์เป็นขบวนการที่ใช้แลกเปลี่ยนลักษณะของยีนส์ภายในโครโมโซมรุ่นพ่อแม่สองตัว ซึ่งจะทำให้ได้รุ่นลูกที่ได้ยีนส์มาจากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่นั่นเอง โดยตัวอย่างของการครอสโอเวอร์อย่างง่าย คือ การครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว (One-point Crossover) โดยทำการสุ่มเลือกจุดที่ต้องการครอสโอเวอร์ จากนั้นจึงนำยีนส์ของรุ่นพ่อแม่ 2 ตัว สลับกันระหว่างจุดครอส โอ-เวอร์ทั้งสองด้านนี้ ซึ่งจะทำให้ได้โครโมโซมรุ่นลูกจำนวน 2 ตัวเช่นเดิม



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการครอสโอเวอร์แบบจุดเดียว

การครอสโอเวอร์มีข้อดีคือ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนยีนส์ต่างๆภายในโครโมโซม ซึ่งอาจมียีนส์ที่ดี (ยีนส์ที่ทำให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมที่ดี) ปะปนอยู่ในโครโมโซมต่างๆ ดังนั้นเมื่อ

โครโมโซมเหล่านี้ถูกนำมาครอสโอเวอร์จะทำให้มีโอกาสที่ยีนส์เหล่านี้ถูกเลือกเปลี่ยนกัน ทำให้ได้รุ่นลูกที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้นนั่นเอง

สำหรับข้อจำกัดของการครอสโอเวอร์ที่ควรระวังคือ หากโครโมโซมที่ถูกเลือกมาครอสโอเวอร์นั้น มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ จะทำให้รุ่นลูกที่ได้จากการครอสโอเวอร์ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากโครโมโซมรุ่นพ่อแม่เลย ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดการวิวัฒนาการขึ้น นอกจากนี้การครอสโอเวอร์ควรคำนึงถึงลักษณะของยีนส์ภายในโครโมโซมในรุ่นลูกด้วย คือ โครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จากการครอสโอเวอร์ไม่ควรได้เป็นโครโมโซมที่ไม่สามารถหาค่าได้ ซึ่งหากมีโครโมโซมรุ่นลูกเหล่านี้เกิดขึ้นในประชากรแล้ว ทำให้ต้องเสียเวลาในการค้นหาโครโมโซมเหล่านี้เพื่อกำจัดให้หมดไปจากประชากร ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้น

2.4.5 การมิวเทชั่น (Mutation)

การมิวเทชั่น เป็นการเลียนแบบการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตทางธรรมชาติในอีกรูปแบบหนึ่ง โดยมีแนวคิดคล้ายกับการกลายพันธุ์ กล่าวคือ การมิวเทชั่นจะสุ่มโครโมโซมจากประชากรรุ่นพ่อแม่ขึ้นมาจากนั้นจึงเปลี่ยนแปลงค่าของยีนส์ ณ ตำแหน่งหนึ่งๆ ภายในโครโมโซมที่ถูกเลือกมานั้น เป็นผลให้โครโมโซมตัวนี้มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ได้เป็นโครโมโซมรุ่นลูก ซึ่งมีค่าความเหมาะสมที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม การมิวเทชั่นนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นลูกที่มีลักษณะผิดแปลกไปจากโครโมโซมเดิมในรุ่นพ่อแม่ ซึ่งจะมีเพิ่มโอกาสให้วิธีเชิงพันธุกรรมสามารถค้นหาคำตอบที่แปลกใหม่ได้นั่นเอง

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการมิวเทชั่นแบบกลับบิท (Bit Flipping Mutation)

การครอสโอเวอร์และมิวเทชันเป็นการสร้างและการเปลี่ยนแปลงของต้นกำเนิดสายพันธุ์ ซึ่งให้ผลเป็นโครโมโซมรุ่นลูกหลาน การครอสโอเวอร์มีผลให้โครโมโซมรุ่นลูกหลานได้รับสายพันธุ์จากต้นกำเนิด โดยโครโมโซมรุ่นลูกหลานจะได้รับสวนที่ดีจากส่วนย่อยของต้นกำเนิดสายพันธุ์ ในขณะที่การทำมิวเทชั่นเป็นการสร้างความแปรผันขึ้นในโครโมโซมลูกหลาน เพื่อให้เกิดประชากรใหม่ที่ดีกว่าขึ้น ปฏิบัติการทางสายพันธุทั้งสองถูกใช้ในวิธีเชิงพันธุกรรมโดยหวังว่าจะการเปลี่ยนแปลงที่จะมีผลทำให้โครโมโซมลูกหลานมีสายพันธุที่ดีขึ้นอันจะนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดต่อไป

2.4.6 การเลือก (Selection)

เมื่อได้โครโมโซมรุ่นลูกจากการครอสโอเวอร์และมิวเทชั่นแล้ว ต่อไปจึงใช้การเลือก เพื่อหาโครโมโซมที่จะเป็นประชากรในรุ่นถัดไป โดยจะอาศัยหลักของกฎการยู่รอดของสิ่งมีชีวิต คือ โครโมโซมใดที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีจะมีโอกาสที่จะถูกเลือกไปเป็นประชากรในรุ่นต่อไปได้มาก และในทำนองเดียวกันโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมแย่จะมีโอกาสที่จะถูกกำจัดออกไปจากประชากรในรุ่นต่อไปในที่สุด

การเลือกสายพันธุ์เป็นขั้นตอนในการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดจากภายในกลุ่มประชากรทั้งหมด ซึ่งโครโมโซมที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นต้นกำเนิดสายพันธุ์เพื่อใช้ในการให้กำเนิดลูกหลานในรุ่นถัดไป โดยปกติแล้วเพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่ดีต้นกำเนิดของสายพันธุ์จะต้องดีด้วย จึงกลายเป็นปัญหาว่าจะทำการเลือกต้นกำเนิดสายพันธุ์ที่ดีได้อย่างไร การเลือกสายพันธุ์เป็นการจำลองการคัดเลือกโครโมโซมที่จะสามารถอยู่รอดได้ในแต่ละรุ่น สำหรับวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะทำการเลือกโครโมโซมโดยการพิจารณาที่ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมนั้นๆ ดังนั้น โครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมที่ดีย่อมหมายถึงการเป็นโครโมโซมที่ดีและควรมีโอกาสที่จะให้ลูกหลานที่ดีกว่าได้ ซึ่งย่อมเป็นการบ่งบอกว่าโอกาสในการอยู่รอดในรุ่นถัดไปก็จะมีเพิ่มมากไปยิ่งขึ้นด้วย

วิธีการเลือกที่นิยมใช้ทั่วไป เช่น วิธีการแบ่งเป็นสัดส่วน (Proportionate) วิธีของโบลท์ซมานน์ (Boltzmann) วิธีการจัดอันดับ (Ranking) วิธีจัดการแข่งขัน (Tournament) ฯลฯ และอาจใช้ร่วมกับการแปลงค่าโอกาสไปเป็นจำนวนโครโมโซมลูกหลาน หรือที่เรียกว่าการชักตัวอย่าง (Sampling) เช่น วิธีของวงล้อรูเล็ท (Roulette Wheel Sampling) หรือวิธีกระบวนการเฟ้นสุ่มครอบจักรวาล (Stochastic Universal Sampling) เป็นต้น

2.4.7 การแทนที่ (Replacement)

การแทนที่เป็นขั้นตอนหลังจากที่วิธีเชิงพันธุกรรมได้โครโมโซมรุ่นลูกหลานแล้วและจะนำโครโมโซมลูกหลานใหม่นี้ไปแทนที่ประชากรรุ่นเดิม จุดประสงค์ในการแทนที่นั้นค่อนข้างชัดเจน กล่าวคือ การนำโครโมโซมลูกหลานมาแทนที่ประชากรรุ่นก่อนซึ่งจะทำให้ประชากรรุ่นใหม่ประกอบไปด้วยโครโมโซมใหม่ๆ ซึ่งเป็นโครโมโซมที่ดีกว่าเพราะได้สืบสายพันธุ์ที่ดีจากต้นกำเนิดสายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว การแทนที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

(1) การแทนที่ประชากรทั้งรุ่น เป็นการนำประชากรลูกหลานไปแทนที่ประชากรเก่าทั้งหมด ดังนั้นถ้าในระบบหนึ่งมีจำนวนประชากรเท่ากับ N จำนวนของโครโมโซมลูกหลานที่จะมาแทนที่จะต้องมีขนาด N เช่นกัน วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีขั้นตอนของการคัดเลือกว่าประชากรส่วนไหนจะถูกแทนที่ แต่การที่ไม่มีขั้นตอนดังกล่าวกลายเป็นข้อเสีย คือทำให้โครโมโซม

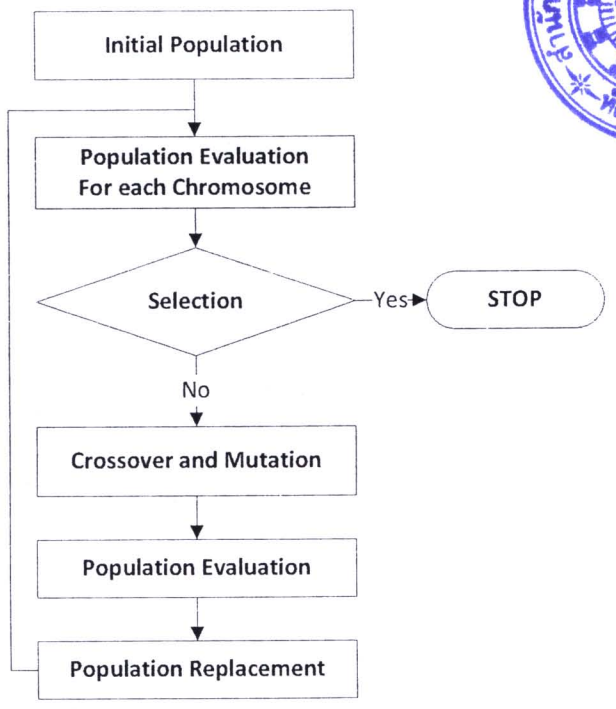
ที่ดีในรุ่นก่อนจะถูกแทนที่ไปด้วย วิธีการแก้ปัญหาคือ ก่อนที่จะทำการแทนที่ให้คัดเลือกเก็บโครโมโซมที่ดีที่สุด 2-3 ตัวแรกเอาไว้ วิธีดังกล่าวอาจเรียกได้ว่าเป็นกลยุทธ์คัดเลือกหัวกระทิ (Elitist Strategy) อย่างไรก็ตามประชากรที่เหลืออยู่อาจจะถูกครอบงำด้วยโครโมโซมหัวกระทินี้ได้โดยง่าย กล่าวคือถ้าไม่มีโครโมโซมใหม่ที่ดีกว่าเกิดขึ้นโครโมโซมที่ดีที่สุดจากรุ่นก่อนก็จะถูกเก็บไว้ตลอดไปและไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ขึ้น ทำให้วิธีเชิงพันธุกรรมไม่สามารถสร้างวิวัฒนาการโครโมโซมใหม่ๆ ขึ้นมาได้ ถึงแม้ว่าผลของโครโมโซมหัวกระทิจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้แต่วิธีนี้ก็ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าทำให้ระบบโดยรวมดีขึ้น

(2) การแทนที่ประชากรแบบบางส่วน เป็นการนำเอาประชากรลูกหลานไปแทนที่ประชากรเดิมเพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นจะต้องมีการคัดเลือกประชากรที่จะถูกแทนที่ ซึ่งโดยปกติจะพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของโครโมโซมนั่นเอง โครโมโซมเก่าจะถูกแทนที่ด้วยโครโมโซมใหม่เพียงบางส่วนเท่านั้น กลวิธีในการแทนที่มีอยู่หลายวิธี เช่น การแทนที่ประชากรที่ด้อยที่สุดหรือการแทนที่ประชากรโดยการสุ่มเลือก เป็นต้น

2.4.8 โครงสร้างการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม

การทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมจะเริ่มต้นจากการสุ่มประชากรเริ่มต้นขึ้นเป็นประชากรในรุ่นพ่อแม่รุ่นแรก จากนั้นจึงนำประชากรเหล่านี้มาหาค่าความเหมาะสมก่อนและเก็บค่าคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมดีที่สุดไว้เป็นคำตอบของปัญหา จากนั้นจึงนำประชากรรุ่นพ่อแม่นี้มาผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์และมิวเทชั่น ซึ่งจะทำให้ได้โครโมโซมรุ่นลูกเกิดขึ้น จากนั้นจึงนำโครโมโซมรุ่นลูกที่ได้นี้ รวมทั้งโครโมโซมของประชากรในรุ่นพ่อแม่ทั้งหมดมาผ่านการเลือกตามสัดส่วนของค่าความเหมาะสม โดยโครโมโซมตัวใดมีค่าความเหมาะสมที่ดีจะมีโอกาสถูกคัดเลือกไปเป็นประชากรในรุ่นถัดไปได้มากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมแย่ ซึ่งมีโอกาสที่โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีจะถูกคัดเลือกไปเป็นประชากรในรุ่นถัดไปได้มากกว่า 1 ครั้ง ในทำนองเดียวกันโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมแย่อาจจะไม่ถูกเลือกไปเป็นประชากรรุ่นถัดไปเลยได้ ทั้งหมดนี้เรียกว่าเป็นการวนทำงานครบ 1 รอบ (Epoch) จากนั้นจึงนำประชากรรุ่นใหม่ที่ได้นี้ไปวนหาค่าความเหมาะสมผ่านขบวนการครอสโอเวอร์และมิวเทชั่นและการเลือกต่อไป จนกว่าจะพบโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีที่สุดจึงหยุดการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมโดยโครงสร้างการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



รูปที่ 2.5 โครงสร้างการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม

2.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การวางแผนระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ

การเลือกขนาดหม้อแปลงจำหน่ายจำเป็นต้องพิจารณาถึงประเด็นทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงความจำเป็นของสภาพงานซึ่งจะมีผลต่อการวางแผนช่วงระยะการใช้งานหม้อแปลง **การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2547)** ได้นำเสนอการวิเคราะห์ทางเลือกการวางแผนระบบจำหน่ายที่เหมาะสม ซึ่งต้องมีการพิจารณาทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ประกอบกัน โดยใช้แบบจำลองอัตราการเติบโตการใช้โหลดหม้อแปลงจำหน่ายจากการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งพบว่ามีค่าเฉลี่ยของอัตราการเพิ่มของโหลดหม้อแปลงจำหน่ายโดยภาพรวมที่ประมาณ 7% ต่อปี นอกเหนือจากนั้นยังได้กำหนดหลักเกณฑ์สำหรับการประเมินโหลดการใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรับโหลดของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำ และนำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาปรับปรุงระบบจำหน่ายเพื่อรองรับโหลดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีแนวทางหลักนั้นมีอยู่ 2 ทางเลือก ได้แก่ การเปลี่ยนขนาดหม้อแปลงให้ใหญ่ขึ้นและการติดตั้งหม้อแปลงเสริม ซึ่งการพิจารณาความเหมาะสมของทางเลือกนั้นจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยโดยเฉพาะช่วงระยะเวลาในการวางแผน งบประมาณสำหรับดำเนินการ การจัดเตรียมพัสดุให้ทันกับความต้องการ เป็นต้น

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2548) ได้นำเสนอโครงการวิจัยสำหรับการลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้การตรวจวัดหน่วยสูญเสียจากสายป้อนตัวอย่างในระบบจำหน่ายโดยติดตั้งมิเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่สายป้อนตัวอย่างและข้อมูลโหลดของหม้อแปลงจำหน่าย รวมทั้งสิ้น 31 เครื่อง พบว่าพลังงานสูญเสียรวมของหม้อแปลงจำหน่ายมีค่าประมาณ 0.73-1.03% ของพลังงานไฟฟ้าที่ขายในระบบจำหน่าย แยกเป็นพลังงานสูญเสียในส่วนแกนเหล็ก ประมาณ 0.6-0.95% และพลังงานสูญเสียของขดลวด 0.32-0.47%โดยประมาณ

ผลจากการวิจัยยังได้พบว่ากำลังสูญเสียส่วนใหญ่เกิดจากกำลังสูญเสียในแกนเหล็กของหม้อ-แปลงจำหน่ายที่มีขนาดใหญ่และหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟภ. มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้งานโดยเฉลี่ยเพียงประมาณร้อยละ 20 ซึ่งบ่งชี้ว่าหม้อแปลงจ่ายโหลดอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับขนาดพิกัดทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าสูงเกินควร ดังนั้นควรปรับเปลี่ยนขนาดหม้อ-แปลงที่ติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงที่มีขนาดเล็กลง ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กลง เพิ่มค่าตัวประกอบการใช้ประโยชน์ของหม้อแปลง เพื่อให้มีการใช้งานหม้อแปลงเต็มที่และมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งการปรับเปลี่ยนเพื่อลดขนาดหม้อแปลงที่ติดตั้งอยู่เดิมด้วยหม้อแปลงใหม่ที่มีขนาดเล็กลง หากสามารถโยกย้ายสลับหม้อแปลงเก่าที่ยังอยู่ในสภาพดีไปใช้ทดแทนหม้อแปลงเดิมที่มีขนาดใหญ่เกินได้ ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ก็จะมีเฉพาะค่ารื้อถอนและนำหม้อแปลงขึ้นไปติดตั้งใหม่ซึ่งมีค่าไม่สูงมากนัก ดังนั้นย่อมมีโอกาสคุ้มค่าและมีผลตอบแทนทางการเงินที่ดีแก่ กฟภ.

นอกจากนี้ยังได้ระบุในรายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยเพื่อลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระยะที่ 2 ไว้ว่าการเผื่อขนาดของหม้อแปลงจำหน่ายของ กฟภ. เพื่อให้สามารถรองรับการเติบโตของโหลดได้เป็นระยะเวลา 10 ปีนั้น เป็นการเผื่อที่มากเกินไป เนื่องจากจะทำให้หม้อแปลงจำหน่ายมีขนาดใหญ่และส่งผลต่อพลังงานไฟฟ้าสูญเสียสูงขึ้นโดยไม่จำเป็น แม้ว่าการเผื่อขนาดของหม้อแปลงจำหน่ายดังกล่าวจะมีข้อดีคือ ทำให้เกิดความสะดวกและลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเปลี่ยนหม้อแปลงจำหน่าย แต่ก็มีข้อเสียคือทำให้เกิดค่าใช้จ่ายอันมาเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นทุกๆปี นอกจากนี้ ผลเสียทางอ้อมที่ไม่อาจประเมินได้ก็คือทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในภาพรวมของ กฟภ. มีค่าสูง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อภาพลักษณ์การดำเนินการของ กฟภ. และอาจส่งผลเสียหากมีการนำดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้าสูญเสียกลับมาประเมินผลการดำเนินงานของ กฟภ. ในอนาคต และ กฟภ.ควรทบทวนระยะเวลา และอัตราการเติบโตของโหลดที่เหมาะสมในการ เผื่อขนาดของหม้อแปลงจำหน่ายเพื่อรองรับการเติบโตของ

โหลดในอนาคต จะต้องทำการศึกษาวิจัยถึงข้อดีข้อเสียและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการปรับเปลี่ยนเพิ่มเติม

2.5.2 โปรแกรมเชิงเส้นชนิดฟัซซี่

โปรแกรมเชิงเส้นเป็นวิธีการที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรทรัพยากรหรือตัวแปรปัจจัยที่เกี่ยวข้องกันในลักษณะเชิงเส้นตรงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาและตัดสินใจให้เกิดผลตามแนวทางการดำเนินงานที่ดีที่สุด ทำให้เกิดกำไรสูงสุดหรือค่าใช้จ่ายต่ำสุด ซึ่งการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นเป็นทางเลือกหนึ่งที่เป็นที่นิยมในกรณีที่แก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นที่มีจำนวนตัวแปรมากและมีความซับซ้อน

Vasant *et al.* (2002) ใช้โปรแกรมเชิงเส้นชนิดฟัซซี่ ในการการผลิตสินค้าหลายชนิดเพื่อให้ได้ปริมาณสินค้ามากที่สุดที่แต่ละระดับความพึงพอใจ (Degree of Satisfaction) ปัญหาการเลือกผลิตสินค้าถูกจำกัดด้วยปริมาณของวัตถุดิบและขีดความสามารถในการผลิต รวมถึงเงื่อนไขอื่นรวมทั้งสิ้น 29 เงื่อนไขและมีตัวแปรได้แก่ ชนิดของสินค้าที่ผลิตจำนวน 8 ชนิด และแทนค่าความเป็นสมาชิกของส่วนประกอบและวัตถุดิบซึ่งเป็นปริมาณฟัซซี่ด้วยฟังก์ชั่นไม่เป็นเชิงเส้นแบบ Modified S-Curve เนื่องจากปริมาณของส่วนประกอบและวัตถุดิบเป็นปริมาณที่ไม่แน่นอน โดยในการวิจัยใช้ข้อมูลของโรงงานผลิตช็อคโกแล็ต ซึ่งมีสินค้าจำนวน 8 รูปแบบซึ่งจะต้องใช้วัตถุดิบที่ใช้ส่วนผสมต่างกัน กรรมวิธีการผลิตที่ใช้ระยะเวลาในแต่ละกระบวนการไม่เท่ากัน รวมถึงสินค้าแต่ละชนิดมีปริมาณความต้องการที่ต่างกัน สิ่งเหล่านี้ถูกใช้เป็นเงื่อนไข โดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือปริมาณการผลิตที่สูงสุด และใช้ Linear Programming Toolbox ใน MATLAB ในการแก้ปัญหาโดยมีตัวแปรอินพุทได้แก่ ค่าความคลุมเครือ (Vagueness) และระดับความพึงพอใจ ผลการวิจัยสรุปได้ว่าโรงงานแห่งนี้สามารถผลิตสินค้ารวมเป็นปริมาณต่ำที่สุด 2,755.4 ชิ้น ปริมาณสูงสุด 3,034.9 ชิ้น กรณีที่ผลิตสูงสุดที่ปริมาณสูงสุดค่าความคลุมเครือจะมีค่าสูงแต่ระดับความพึงพอใจจะมีค่าต่ำ ในทางกลับกันเมื่อผลิตที่ปริมาณต่ำที่สุดระดับความพึงพอใจจะมีค่าสูงแต่ค่าความคลุมเครือจะมีค่าต่ำ ดังนั้นช่วงปริมาณการผลิตที่ดีที่สุดควรจะอยู่ในระดับกลางได้แก่ 2,851 ถึง 2,950 ชิ้น ซึ่งมีค่าความคลุมเครือระหว่าง 13 ถึง 27 จะทำให้ระดับความพึงพอใจที่พอเหมาะ

โปรแกรมเชิงเส้นชนิดฟัซซี่ได้นำมาใช้ในปัญหาการวางผังระบบการผลิตแบบเซลล์ (Cellular Production) ถูกนำเสนอโดย **Mahdavi *et al.* (2008)** ซึ่งกำหนดให้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือ ทำให้ต้นทุนรวมที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายภายในเซลล์หรือระหว่างเซลล์ และต้นทุนที่เกิดจากเครื่องจักรมีค่าน้อยที่สุดภายใต้ข้อจำกัดทางการผลิต ฟัซซี่เซตถูกนำมาใช้สำหรับส่วนการผลิตจำนวน 8 ส่วนและพิกัดการทำงานของเครื่องจักรจำนวน 6 เครื่องในสภาวะที่การผลิตอาจมีความ

ไม่นอน โดยใช้ฟัซซี่เซตที่มีฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกแบบเชิงเส้นไม่ต่อเนื่อง (Piecewise Linear Membership Function) และ Convex Exponential ตามลำดับ แบบจำลองนี้ใช้โปรแกรม LINDO 8.0 ด้วยวิธีการแตกกิ่งแบบ Branch and Bound โดยการป้อนลำดับการผลิตและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตในแต่ละส่วนการผลิตเป็นอินพุท และกำหนดพารามิเตอร์ที่เป็นต้นทุนต่างๆ ผลลัพธ์ที่ได้ที่การสมมติระดับความพึงพอใจ (μ) ระหว่าง 0.7-1 พบว่าผู้ตัดสินยอมรับต้นทุนรวมที่ค่า $\mu = 0.7$ (ระดับความไม่แม่นยำ 0.3) ซึ่งทำให้ได้ค่าเป้าหมายที่ดีที่สุด รวมถึงแสดงทางเลือกอื่นในการเลือก μ ค่าที่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์อื่น ในขณะที่ **Sheu *et al.* (2005)** ใช้โปรแกรมเชิงเส้นชนิดฟัซซี่ร่วมกับการจัดกลุ่มฟัซซี่ (Fuzzy Clustering) เพื่อแก้ปัญหาการแจกจ่ายสิ่งของความช่วยเหลือเมื่อเกิดภัยพิบัติ โดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือ ใช้ระยะเวลาในการเข้าถึงในพื้นที่ประสบภัยพิบัติให้น้อยที่สุดโดยลดระยะทางระหว่างจุดที่ประสบภัยพิบัติและระหว่างจุดที่ประสบภัยพิบัติกับศูนย์ช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติ ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของอุปสงค์และอุปทานสำหรับสิ่งของบรรเทาสาธารณภัยถูกแทนด้วยเซตของฟัซซี่ชนิดสามเหลี่ยมตัดครึ่งขวา-ซ้าย (Right- and Left- Skewed Triangle Membership Function) เนื่องจากมีปริมาณที่ไม่แน่นอน และกำหนดให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการเดินทางขึ้นอยู่กับระยะทาง การวิจัยได้ทำการค้นหาเส้นทางและปริมาณการแจกจ่ายสิ่งของที่เหมาะสมในแต่ละจุดโดยใช้โปรแกรม LINDO ผลการวิจัยทำให้ทราบลำดับของเส้นทางในการให้ความช่วยเหลือและเทคนิคการจัดกลุ่มฟัซซี่แสดงให้ระยะทางที่ลดลงเมื่อเทียบกับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบปกติ

2.5.3 การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในระบบการทำงานและกระบวนการต่างๆ

วิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการในการแก้ปัญหาหรือค้นหาข้อแก้ไขหรือคำตอบของปัญหาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละปัญหา โดยเลียนแบบกระบวนการการถ่ายทอดพันธุกรรมของยีน วิธีการนี้เป็นวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์อีกวิธีหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในงานวิจัยในปัจจุบัน เนื่องจากมีข้อกำหนดทางคณิตศาสตร์น้อย สามารถใช้ได้กับสมการเป้าหมายได้ทุกแบบ โดยสมการเงื่อนไขสามารถเป็นได้ทั้งระบบงานต่อเนื่อง (Continuous System) ระบบงานไม่ต่อเนื่อง (Discrete system) หรือระบบงานแบบผสม จึงนำไปใช้แก้ปัญหาระบบงานได้หลากหลายรูปแบบ จึงทำให้การหาคำตอบของปัญหาได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

วิธีเชิงพันธุกรรมได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น งานวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ การจัดการ และอื่น ๆ บ่อยครั้งที่การทำงานมักจะเกี่ยวข้องกับการหาจุดที่เหมาะสมที่สุด หรือจุดที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่น การออกแบบเครื่องบินให้มีน้ำหนักต่ำสุดและมีความแข็งแกร่งสูงสุด การหาเส้นทางโคจรของดาวเทียมให้ได้ระยะที่เหมาะสมที่สุด การออกแบบโครงสร้างของ

อาคารให้มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด การออกแบบแหล่งเก็บน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วมให้มีความแข็งแกร่ง การพยากรณ์พฤติกรรมของโครงสร้างโดยที่ลดพลังงานให้มากที่สุด การตัดแผ่นโลหะให้มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด การออกแบบปั๊มและอุปกรณ์ส่งถ่ายความร้อนให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด หาจุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะกำเนิดไฟฟ้าได้สูงสุด โดยที่มีพลังงานสูญเสียน้อยที่สุด หาจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวางแผนและจัดการเวลา เป็นต้น

การพัฒนาและปรับปรุงงานวิจัยด้านวิธีเชิงพันธุกรรมมีมาอย่างต่อเนื่อง ในช่วงปี ค.ศ. 2002-2010 ได้มีการพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับการการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการทำงานและกระบวนการต่างๆในด้านต่างๆ เช่น การแพทย์ การประยุกต์ใช้ด้านวิศวกรรม การแก้ปัญหา Traveling Salesman Problem ความชาญฉลาดของเครื่องกล การออกแบบเครือข่ายและเส้นทาง และเครือข่ายการสื่อสารแบบไร้สาย เป็นต้น มีหลายปัญหาที่ไม่มีโครงสร้างที่แน่นอน เป็นปัญหาที่ยากจะสร้างเป็นโมเดลได้และมีหลายปัจจัยที่ไม่ปกติโดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาทางด้านวิศวกรรมมักจะมีความซับซ้อน เช่น ปัญหาการจัดตารางของงานตารางเวลา การจัดตารางการเดินทาง หรือปัญหาการวางผังโรงงาน การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมดังกล่าวจะช่วยให้ได้คำตอบของปัญหาที่ดีและเหมาะสมที่สุด ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยที่ได้นำเอาวิธีเชิงพันธุกรรมไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดไปแก้ปัญหาของแต่ละระบบการทำงาน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่างานวิจัยทางด้านวิธีการเชิงพันธุกรรมนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เช่น ในงานวิจัยของ **Pongcharoen *et al.* (2002)** ได้นำมาใช้ในด้านการจัดตารางการผลิตเพื่อให้ลดระยะการจัดหาชิ้นส่วนประกอบและอุปกรณ์ประกอบ และลดเวลาการส่งมอบ ส่วนในด้านการนำไปใช้ในระบบการทำงานด้านไฟฟ้า **De Oliveira and Wazlawick (2004)** ได้นำวิธีการเชิงพันธุกรรมการจัดสรรหม้อแปลง เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ก็ยังมีงานวิจัยของ **Ramezani *et al.* (2006)** ที่ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาสำหรับการเลือกจุดติดตั้งและขนาดที่เหมาะสมสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่าย โดยใช้อุปกรณ์ พลังงานสูญเสียในสายป้อนและหม้อแปลง พื้นที่จ่ายไฟและชนิดของสายป้อนเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของต้นทุนและประยุกต์ใช้แบบจำลองฟัซซี่รูปสามเหลี่ยมสำหรับจุดจ่ายโหลดที่ปริมาณโหลดแตกต่างกันร่วมกับการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม โดยกำหนดเงื่อนไขให้มีการหม้อแปลงแต่ละลูกจ่ายโหลดปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดหม้อแปลงและแรงดันตกที่ปลายสายระบบจำหน่ายไฟฟ้ามีค่าไม่เกินช่วงแรงดันที่กำหนด ผลจากการทดลองแสดงถึงขนาดของหม้อแปลงและจุดติดตั้งที่เหมาะสมของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

จะเห็นได้ว่าเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงและขนาดของปัญหาใหญ่เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด เนื่องจากกระบวนการค้นหาคำตอบมีความรวดเร็วกว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดทางคณิตศาสตร์ทั่วไป ตัวอย่างที่นำมาใช้งานได้แก่ การแก้ปัญหาการเลือกจุดติดตั้งที่เหมาะสมของอุปกรณ์ไฟฟ้า การลดพลังงานสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าและการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและขนส่ง

งานวิจัยของ **Haesen *et al.* (2005)** นำเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมมาใช้สำหรับการเลือกขนาดและจุดติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยมีเป้าหมายเพื่อลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียภายใต้การจำลองสภาพโหลดที่แตกต่างกัน โดยได้แบ่งลักษณะของโหลดออกเป็น 3 รูปแบบได้แก่ โหลดมีปริมาณต่ำ โหลดมีปริมาณปานกลางและโหลดมีปริมาณสูง แต่ละลักษณะโหลดยังแยกย่อยออกเป็นโหลดในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว ผู้วิจัยใช้การเข้ารหัสวิธีเชิงพันธุกรรมแบบเลขฐานสองจำนวน 200 บิต แทนด้วยค่าของสถานะเปิด/ปิด ปริมาณการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โหนดทางเลือกสำหรับติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแสดงถึงชนิด จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีจุดติดตั้งที่เหมาะสมแตกต่างกันในแต่ละสภาพโหลดและฤดูกาล และแสดงให้เห็นว่าการเลือกจุดติดตั้งที่ไม่เหมาะสมเป็นผลให้เกิดพลังงานสูญเสียเพิ่มขึ้น ต่อมา **Hooshmand and Ataei (2007)** นำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการลดการสูญเสียและควบคุมแรงดันในระบบการจำหน่าย ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวเก็บประจุ ส่วน **Park *et al.* (2009)** ก็ได้ทำศึกษาในส่วนของการวางแผนกระบวนการและลดต้นทุนการดำเนินการการติดตั้งคาปาซิเตอร์ในระบบการจำหน่าย โดยให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดด้วย เช่นเดียวกับงานวิจัยของ **Masoum *et al.* (2004), Haghifam and Malik (2007), Da Silva Jr *et al.* (2008), Fonseca *et al.* (2009), Swarnkar *et al.* (2010)** และ **Ziari *et al.* (2010)** ได้ศึกษาในแนวทางเดียวกัน โดยนำวิธีเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการหาที่ตั้งและขนาดที่เหมาะสมของคาปาซิเตอร์ในระบบจำหน่าย ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบการจำหน่ายดียิ่งขึ้น โดยพิจารณาในด้านต้นทุนค่าใช้จ่าย พลังงานสูญเสียและความเสถียรของระดับแรงดันโดยใช้วิธีถ่วงน้ำหนัก ผลการวิจัยพบว่าผลลัพธ์ของต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ดีที่สุดจะทำให้ผลลัพธ์ของวัตถุประสงค์อื่นอยู่ในระดับที่ดีได้ ส่วนกรณีให้ผลลัพธ์พลังงานสูญเสียหรือความเสถียรของระดับแรงดันอยู่ในระดับที่ดีที่สุดจะทำให้วัตถุประสงค์อื่นไม่ได้คำตอบที่ดี อย่างไรก็ตามการพิจารณาแบบหลายวัตถุประสงค์สำหรับงานวิจัยเพื่อติดตั้งออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้าเสมือน (Static VAR Compensator) ได้ใช้ตัวปรับโทษ (Penalty Factor) ร่วมกับวิธีการถ่วงน้ำหนักโดย **Pisica *et al.* (2009)** เพื่อเป็นการบังคับค่าความเหมาะสมของผลลัพธ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดทางเทคนิคไม่ให้เป็นค่าความเหมาะสมที่ดีได้ นอกจากนี้งานวิจัยของ **Reddy M. and Reddy**

V. (2008) ได้นำแบบจำลองฟัซซี่มาใช้ร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมในใช้ในการหาจุดติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับคาปาซิเตอร์เพื่อลดพลังงานสูญเสียในระบบจำหน่ายได้อย่างมีประสิทธิผล โดยแบ่งขั้นตอนการแก้ปัญหาเริ่มจากใช้วิธีการของฟัซซี่ในการแก้ปัญหาเลือกจุดติดตั้งที่เหมาะสมในมุมมองของขนาดของแรงดันและพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่ไม่เท่ากันในแต่ละจุดร่วม จากนั้นใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบเข้ารหัสจริงในการเลือกขนาดที่เหมาะสมของคาปาซิเตอร์ งานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้กับแบบจำลองระบบ 15 และ 69 บัสของ IEEE พบว่า คาปาซิเตอร์ที่มีขนาดและจุดติดตั้งที่เหมาะสมจะช่วยลดกำลังสูญเสียในระบบลงได้อย่างมีประสิทธิผล

นอกจากนี้แล้วเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมถูกนำมาใช้แก้ปัญหาการจัดลำดับความสำคัญเพื่อหาตำแหน่งสำหรับก่อสร้างสถานีบริการเติมเชื้อเพลิงรถยนต์ในมหานครโตเกียว ประเทศญี่ปุ่นโดย **Koyanagi *et al.* (2006)** มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนดำเนินการซึ่งประกอบด้วยต้นทุนค่าก่อสร้างค่าติดตั้งอุปกรณ์กับราคาที่ดิน และต้นทุนการเดินทางของลูกค้าที่มาใช้บริการ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางที่ใช้เดินทางมายังสถานีบริการ ปริมาณรถยนต์ ประชากรที่ใช้รถยนต์และความคับคั่งของการจราจรซึ่งมีการกำหนดเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการให้น้ำหนักแยกเป็นแต่ละโซน วิธีการของงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งพื้นที่ออกเป็น 215 โซนแทนด้วยยีนส์ของวิธีเชิงพันธุกรรม 215 บิตและกำหนดฟังก์ชั่นค่าความเหมาะสมเป็นต้นทุนของการก่อสร้างรวมกับต้นทุนของการใช้งาน ผลการวิจัยจะได้ตำแหน่งสำหรับสถานีบริการเติมเชื้อเพลิงรถยนต์ประมาณ 65-70 แห่งเพื่อรองรับปริมาณรถยนต์ในช่วง 3 ปีถัดไป

ตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในระบบการทำงานด้านต่างๆ

Author (Year)	*Application type*	*Description*	*Learning Algorithm*	*Research Field*
Pongcharoen *et al.* (2002).	Production scheduling	To minimize the penalties due to both the early supply of components and assemblies and the late delivery of final products	Genetic Algorithm-based Scheduling Tool (GAST)	Mechanical Material and Manufacturing Engineering
De Oliveira and *Wazlawick* (2004).	Reallocation of transformers optimization	To compare probabilistic model with one deterministic model, based on the genetic algorithm technique	Genetic Algorithm	Electrical Engineering
Masoum *et al.* (2004).	Radial distribution networks in the presence of voltage and current harmonics	To select candidate buses for capacitor placement based on an initial generation of chromosomes	Genetic Algorithm, MSS, MSS-LV, Fuzzy set algorithm	Electrical Engineering
Haesen *et al.* (2005)	Optimal size and location of distributed generation units	To find the optimal size and location of distributed generation units in a residential distribution grid	Genetic Algorithm	Electrical Engineering
Koyanagi *et al.* (2006)	Optimal refueling stations	To use genetic algorithm (GA) to estimate optimal refueling stations	Genetic Algorithm, decision making approach	Mechanical Engineering

ตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในระบบการทำงานด้านต่างๆ (ต่อ)

Author (Year)	*Application type*	*Description*	*Learning Algorithm*	*Research Field*
Ramezani *et al.* (2006).	Optimal location and sizing of distribution transformers	To solve optimal sizing, sitting and determination the service area of MV/LV transformers	Genetic Algorithm, LR Fuzzy	Electrical Engineering
Hooshmand and Ataei (2007).	Loss reduction and controlling the voltages of distribution systems	To find the optimal values of the fixed and switched capacitors in the distribution networks based on the Real-Coded Genetic Algorithm (RCGA)	Real-Coded Genetic Algorithm (RCGA)	Electrical Engineering
Pongcharoen *et al.* (2007).	Screening experiment to configure parameters and operators	To find a shortest distance in a classical Travelling Salesman Problem (TSP)	TSP, Genetic Algorithm, Latin Square	Industrial Engineering
Da Silva Jr *et al.* (2008).	Optimal capacitor placement on distribution systems	To apply methodology to two power distribution systems, and the results are compared with those obtained using a genetic algorithm approach	Heuristic constructive algorithm (HCA), Nonlinear mixed integer optimization, Genetic Algorithm	Electrical Engineering
Reddy M. and Reddy V. (2008)	The placement of capacitors on the primary feeders of the radial distribution system	To find the optimal capacitor locations and use Real Coded Genetic Algorithm to find the sizes of the capacitors	fuzzy and Real Coded Genetic Algorithm (RCGA)	Electrical Engineering

ตารางที่ 2.2 การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในระบบการทำงานด้านต่างๆ (ต่อ)

Author (Year)	*Application type*	*Description*	*Learning Algorithm*	*Research Field*
Fonseca *et al.* (2009)	Allocation of capacitor banks in a real distribution grid	To determine the smallest possible cost, the placement and the dimension of each capacitor bank to be installed in the electrical distribution grid with the additional objectives of minimizing the voltage deviations and power losses	Genetic Algorithm	Electrical Engineering
Park *et al.* (2009).	Process planning and operation cost	To plan method for capacitor installation in a distribution system to reduce the installation costs and minimize the loss of electrical energy	Genetic Algorithm	Electrical Engineering
Swarnkar *et al.* (2010).	Optimal location and sizing of fixed and switched shunt capacitors in radial distribution systems	formulated to maximize the net annual savings by minimizing real power loss and optimizing the purchase cost of shunt capacitors	Genetic Algorithm	Electrical Engineering
Ziari *et al.* (2010).	Optimal placement and size capacitors in a distribution system	To find the optimal placement and size of capacitors in a distribution system and validate the proposed method to apply to the problem and study about its robustness and accuracy	Pure DPSO, Genetic Algorithm, Nonlinear programming	CMA