บทที่ 1

บทนำทั่วไป

จากสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบันในยุคโลกาภิวัฒน์หรือยุคไร้พรมแดน มีการแข่งขันทางการค้าและเทคโนโลยีอย่างสูง ปัจจัยสำคัญในการแข่งขันในการค้าขึ้นอยู่กับต้นทุนการผลิตที่ต่ำและมีเทคโนโลยีในการผลิตที่ทันสมัย พลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยสำหรับกระบวนการผลิตที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง ซึ่งอาจใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ถึงอัตราการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างหนึ่ง เมื่อกระบวนการผลิตต้องใช้พลังงานไฟฟ้า การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจึงต้องมีเสถียรภาพ มีคุณภาพและสามารถควบคุมได้ ณ เวลาต่าง ๆ

ระบบไฟฟ้ากำลัง คือระบบพลังงานระบบหนึ่งซึ่งทำหน้าที่ดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าและส่งพลังงานไฟฟ้าไปจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค ผู้บริโภคจะนำพลังงานไฟฟ้าเหล่านี้ไปแปลงรูปเป็นพลังงานรูปอื่นๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานแสง พลังงานกล เพื่อใช้สำหรับการดำรงชีวิตตลอดจนการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม หรือเกษตรกรรม ระบบไฟฟ้ากำลังที่ดีต้องเป็นระบบพลังงานที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือ กล่าวคือระบบต้องสามารถดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้า และส่งไปจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคได้ตามความต้องการของผู้บริโภค โดยที่องค์ประกอบต่างๆ ของระบบต้องทำงานได้อย่างถูกต้องมีประสิทธิภาพและไม่เกิดความเสียหายใดๆ ดังนั้นวิศวกรระบบไฟฟ้ากำลังจึงจำเป็นต้องดำเนินการออกแบบระบบ สร้างระบบ วางแผนดำเนินงาน และควบคุมให้ระบบไฟฟ้ากำลังทำงานได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญที่จำเป็นต้องกระทำเมื่อทำการออกแบบ วางแผนดำเนินงาน หรือการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง การวิเคราะห์ระบบจะถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบผลการออกแบบ การวางแผนดำเนินงาน หรือ การตัดสินใจดำเนินการควบคุมระบบเพื่อลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความมั่นใจแก่วิศวกรและผู้บริโภค

1.1 สภาวะการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง

สภาวะการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังสามารถจำแนกได้ดังแผนภาพในรูปที่ 1.1 [1] การจำแนกสภาวะการทำงานในลักษณะนี้ได้จำแนกตามสภาพการทำงานว่ามีความสอดคล้องกับข้อบังคับ (Constraint) ในการทำงานเพียงไร ซึ่งข้อบังคับที่สำคัญ มี 2 ข้อ คือ

(1) ข้อบังคับที่เท่ากัน (E : equality constraint) เป็นข้อบังคับที่แสดงถึงสภาพการสมดุลของกำลังไฟฟ้าในระบบ คือ กำลังผลิตของระบบจะมีค่าเท่ากับผลรวมของกำลังสูญเสียในระบบ และกำลังไฟฟ้าที่ผู้บริโภคต้องการ

$$P_G = P_L + P_D \tag{1.1}$$

โดยที่ P_G คือ กำลังผลิตรวมของระบบ [pu.]

P_L คือ กำลังสูญเสียรวมของระบบ [pu.]

P_D คือ กำลังไฟฟ้าที่ผู้บริโภคทั้งระบบต้องการ [pu.]

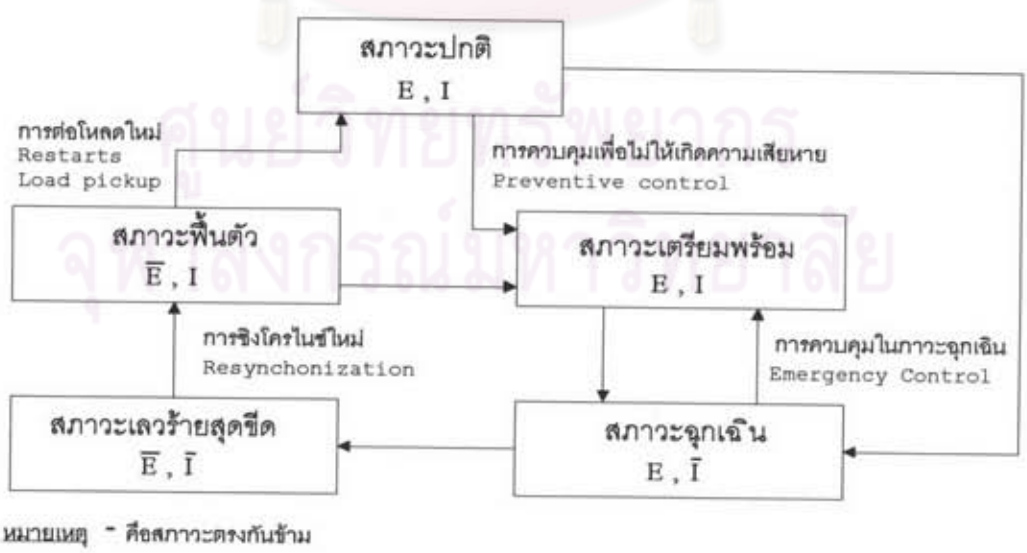
(2) ข้อบังคับที่ไม่เท่ากัน (I : inequality constraint) เป็นข้อบังคับที่แสดงถึงขอบเขตการทำงานของเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งติดตั้งในระบบนั้น ขอบเขตการทำงานนี้อาจถูกกำหนดจาก สภาพความคงทนต่อความร้อน ความมีเสถียรภาพ เป็นต้น ตัวอย่างสมการซึ่งแสดงข้อบังคับที่ไม่เท่ากันของกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส คือ

$$P_{GP\min} < P_{GP} < P_{GP.\max} \tag{1.2}$$

โดยที่ $P_{GP.min}$ คือกำลังผลิตต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายูนิต p [pu.]

$P_{GP.max}$ คือกำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายูนิต p [pu.]

P_{GP} คือกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายูนิต p [pu.]



รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงสภาวะการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง

วิศวกรผู้ควบคุมการดำเนินงานของระบบต้องควบคุมให้ระบบทำงานในสภาวะปกติ (Normal state) ซึ่งระบบสามารถดำเนินงานได้สอดคล้องกับข้อบังคับทั้ง 2 ข้อ นั่นหมายความว่า ระบบสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ผู้บริโภคได้ตามความต้องการของผู้บริโภคและเครื่องจักรกล ตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ล้วนแต่กำลังทำงานภายในขอบเขตการทำงานดังกล่าวทั้งสิ้น

ในขณะที่ระบบกำลังดำเนินงานในสภาวะปกตินั้นอาจเกิดสิ่งผิดปกติ (Fault) ขึ้น ซึ่งอาจมีความรุนแรงไม่มากนัก เช่น การเปลี่ยนแปลงโหลดโดยทันที หรืออาจมีความรุนแรงมาก เช่น การเกิดลัดวงจร เป็นต้น ผลของการเกิดสิ่งผิดปกติขึ้นนี้อาจทำให้สภาวะการทำงานของระบบเปลี่ยนแปลงจากสภาวะปกติไปสู่สภาวะเตรียมพร้อม (Alert state) หรือสภาวะฉุกเฉิน (Emergency state) ในสภาวะดังกล่าวนี้ วิศวกรต้องรีบดำเนินการแก้ไขเพื่อผลักดันให้ระบบกลับไปทำงานในสภาวะปกติให้ได้ ถ้าดำเนินการแก้ไขไม่สำเร็จหรือแก้ไขช้าเกินไปสภาวะการทำงานอาจเปลี่ยนไปสู่สภาวะเลวร้ายสุดขีด (Extremis state) ซึ่งในสภาวะนี้ระบบป้องกันจะดำเนินการปลดเครื่องจักรกลและอุปกรณ์ต่างๆ ออกจากระบบ ทำให้ระบบไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ผู้บริโภคได้เลย หรืออาจกล่าวง่ายๆ ว่าเกิดสภาวะไฟดับหมดทั้งระบบ (Black out) หลังจากนั้นระบบต้องเริ่มต้นดำเนินงานใหม่ สภาวะการทำงานของระบบเริ่มเปลี่ยนไปสู่สภาวะฟื้นตัว (Restorative state) แล้วค่อยๆ เปลี่ยนไปสู่สภาวะปกติอีกครั้ง

การลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความมั่นใจในการตัดสินใจดำเนินการแก้ไขระบบอาจทำได้โดยการวิเคราะห์การทำงานของระบบก่อนการสั่งการแก้ไข ถ้าผลการวิเคราะห์ยืนยันว่าตัดสินใจถูกต้องแล้วจึงสั่งการแก้ไขไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์การทำงานปัจจุบันนี้ คือ การวิเคราะห์การทำงานของระบบกำลังไฟฟ้าโดยใช้คอมพิวเตอร์ การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยวิเคราะห์ระบบนี้ได้ถูกพัฒนาจนกระทั่งคอมพิวเตอร์สามารถตัดสินใจดำเนินการแก้ไขสิ่งผิดปกติในระบบแทนวิศวกรได้ ซึ่งเรียกว่าระบบเชี่ยวชาญ (Expert system) แต่ว่าการคำนวณในแต่ละกระบวนการต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุด เพื่อให้การตัดสินใจทันต่อเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้น

1.2 ความหมายของการวิเคราะห์โหลดโฟลว์

ในการควบคุมการวิเคราะห์การทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกติซึ่งเรียกกันว่าการวิเคราะห์โหลดโฟลว์ เป็นการวิเคราะห์การจำลองสภาวะการทำงานของระบบ โดยกำหนดเงื่อนไขว่าเมื่อระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่โหลดทั้งระบบคงที่ค่าหนึ่ง ถ้าหากทำการควบคุมสภาพการทำงานบางอย่างในระบบ เช่น ควบคุมกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องและควบคุมขนาดแรงดันของบางบัส แล้วระบบจะยังคงทำงานในสภาวะปกติได้หรือไม่ การตรวจสอบว่า

ระบบจะทำงานได้ตามปกติหรือไม่นั้นต้องดำเนินการวิเคราะห์หาค่าของตัวแปรที่ไม่ถูกควบคุม ตลอดจนกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านสายส่ง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะสะท้อนให้เห็นว่าระบบจะสามารถดำเนินงานในสภาวะปกติได้ต่อไปหรือไม่ การวิเคราะห์โหลดโฟลว์ในระบบไฟฟ้ากำลังจึงมีประโยชน์ที่สำคัญ 3 ประการ คือ

(1) ช่วยสำหรับการดำเนินงานควบคุมการทำงานของระบบ

(2) ช่วยสำหรับการออกแบบระบบ

(3) ช่วยสำหรับการวางแผนดำเนินงานระบบ

ผลที่ได้จากการคำนวณโหลดโฟลว์โดยทั่วไปประกอบด้วย ขนาดและมุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ในระบบ กระแสและกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งทุกเส้น ค่าต่างๆ ที่ได้รับจากการศึกษาโหลดโฟลว์ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของแรงดันหรือกระแสไฟฟ้าต่างต้องนำมาพิจารณาว่า อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ คือแรงดันไฟฟ้าทุกจุดในระบบมีค่าไม่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไป กระแสที่ไหลผ่านจุดต่างๆ มีค่าไม่มากกว่าอัตราของอุปกรณ์หรือสายที่จะยอมรับได้ ดังนั้นการศึกษาโหลดโฟลว์จึงเป็นหัวใจสำคัญอันหนึ่งในการวางแผนการจ่ายไฟฟ้าและการปฏิบัติงานของแต่ละการไฟฟ้า เพื่อให้ยังคงสามารถส่งจ่ายพลังงานให้แก่ผู้บริโภคได้ และมีความสูญเสียในระบบต่ำหรือมีค่าใช้จ่ายในการผลิตและดำเนินการต่ำสุด

การคำนวณโหลดโฟลว์เริ่มมีการศึกษามานานหลายสิบปี และได้มีงานวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนวิธีในการคำนวณเรื่อยมาจนถึงปัจจุบันนี้ เพื่อให้ใช้เวลาในการคำนวณลดลงและสามารถใช้ได้กับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ขึ้น [2] วิธีการคำนวณโหลดโฟลว์แบบดั้งเดิมที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน คือ วิธีนิวตัน-ราฟสัน และวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล ซึ่งเป็นการคำนวณแบบกระทำซ้ำ (Iterative) [3,4] และเมื่อมีการพัฒนาเครือข่ายประสาทเพื่อแก้ปัญหาต่างๆ ทางวิศวกรรม จึงได้มีการประยุกต์ใช้เครือข่ายประสาทในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง และเริ่มมีการวิจัยการคำนวณโหลดโฟลว์โดยใช้เครือข่ายประสาท [5] เพื่อให้ใช้เวลาในการคำนวณเร็วขึ้น เนื่องจาก การวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างประหยัด การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบ การวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า และการวิเคราะห์อื่นๆ ของระบบไฟฟ้าต้องใช้ข้อมูลจากโหลดโฟลว์เป็นพื้นฐานในการคำนวณ

1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.3.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การคำนวณโหลดโฟลว์โดยใช้เครือข่ายประสาท

1.3.2 เพื่อออกแบบและสร้างโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณโหลดโฟลว์

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.4.1 ในวิทยานิพนธ์นี้ศึกษาเฉพาะสภาวะปกติเท่านั้น

1.4.2 นำทฤษฎีเครือข่ายประสาทมาประยุกต์ใช้กับการคำนวณโหลดโฟลว์สำหรับระบบ 6 บัส, 14 บัส, 30 บัส และ 57 บัส

1.4.3 การคำนวณโหลดโฟลว์แบบดั้งเดิมจะใช้ 3 วิธี คือ วิธีนิวตัน-ราฟสันแบบอนุพันธ์อันดับที่หนึ่งและแบบอนุพันธ์อันดับที่สอง และวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล

1.4.4 ทำการเปรียบเทียบผลความแตกต่างระหว่างการคำนวณโหลดโฟลว์แบบดั้งเดิมกับการคำนวณโหลดโฟลว์โดยใช้เครือข่ายประสาท

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

แบ่งออกเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีเครือข่ายประสาทโดยทั่วไปจากหนังสือและวารสารต่างๆ

1.5.2 ศึกษาการคำนวณโหลดโฟลว์แบบดั้งเดิมรวมทั้งเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

1.5.3 ศึกษาการประยุกต์นำทฤษฎีเครือข่ายประสาทมาใช้ในการคำนวณโหลดโฟลว์

1.5.4 ออกแบบและเขียนโปรแกรมพร้อมทั้งทดสอบผลลัพธ์

1.5.6 วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการวิจัย

1.5.7 งานเขียน งานพิมพ์ ตรวจสอบ แก้ไข และจัดรูปเล่ม

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการคำนวณโหลดโฟลว์ ที่ใช้เวลาในการคำนวณต่ำกว่าวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพื่อจะได้นำไปพัฒนาใช้กับระบบไฟฟ้าจริง และสามารถทำการควบคุมระบบไฟฟ้า ณ เวลาจริงได้ เนื่องจากการคำนวณโหลดโฟลว์เป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังอื่นๆ เวลาในการคำนวณจึงต้องมีความรวดเร็วมาก มิฉะนั้นการคำนวณอื่นๆ ที่ใช้โหลดโฟลว์เป็นส่วนประกอบจะช้าลงไปด้วย อันอาจทำให้การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังไม่ทันต่อเหตุผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้ระบบไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้แก่ผู้บริโภคได้ และการใช้เครือข่ายประสาทคำนวณโหลดโฟลว์ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเครือข่ายประสาทในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังอื่นๆ

1.7 เนื้อหาในวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์นี้มีเนื้อหา 6 บท และภาคผนวกจำนวน 3 ส่วน กล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ คือบทที่กำลังอ่านอยู่ขณะนี้ เป็นการกล่าวถึงภาพโดยรวมความเป็นมาและความสำคัญ ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 การคำนวณโหลดโฟลว์ดั้งเดิม กล่าวถึงการคำนวณโหลดโฟลว์แบบดั้งเดิมด้วยกระบวนการทำซ้ำ (Iterative) ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน 3 วิธีคือ วิธีนิวตัน-ราฟสันแบบอนุพันธ์อันดับหนึ่งและแบบอนุพันธ์อันดับสอง และวิธีฟาสต์ดีคัปเปิล

บทที่ 3 ทฤษฎีเครือข่ายประสาท กล่าวถึงการจำลองเซลล์ประสาท สถาปัตยกรรมของเครือข่ายประสาท กฎการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาท เครือข่ายประสาทอย่างง่าย เพอร์เซฟตรอน และเครือข่ายประสาทแบบหลายชั้น ในบทนี้ทฤษฎีเครือข่ายประสาทจะเป็นเครือข่ายแบบป้อนไปสู่ข้างหน้า (Feed-forward network) และกระบวนวิธีการแพร่กระจายความผิดพลาดกลับ (Back-propagation algorithm)

บทที่ 4 การคำนวณโหลดโฟลว์โดยใช้เครือข่ายประสาท กล่าวถึงการสร้างข้อมูลที่ใช้ปรับสอน วิธีการปรับสอนเครือข่าย และการใช้เครือข่ายประสาทคำนวณโหลดโฟลว์

บทที่ 5 ตัวอย่างและผลการวิเคราะห์ เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์การนำเครือข่ายประสาท คำนวณโหลดโฟลว์ของระบบไฟฟ้า 6 บัส 14 บัส 30 บัส และ 57 บัส โดยเปรียบเทียบกับผลการคำนวณโหลดโฟลว์วิธีดั้งเดิม และเปรียบเทียบกฎการปรับสอนด้วยวิธีการแพร่กระจายกลับร่วมกับโมเมนตัม และกฎเดลตา-บาร์-เดลตา ว่าแบบใดจะเหมาะสมกับการคำนวณโหลดโฟลว์

บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ เป็นการสรุปการนำเครือข่ายประสาทคำนวณโหลดโฟลว์และข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่สนใจที่จะนำไปพัฒนาต่อไป

สำหรับภาคผนวก ก. เป็นการใช้โปรแกรมการคำนวณโหลดโฟลว์โดยใช้เครือข่ายประสาท ภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลของระบบทดสอบที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ และภาคผนวก ค. เป็นข้อมูลทดสอบการคำนวณโหลดโฟลว์โดยใช้เครือข่ายประสาท