บทที่ 5

วิธีการคำนวณความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า

ในบทที่ 3 เราได้อธิบายถึงวิธีในการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดและในบทที่ 4 เราได้อธิบายถึง Modified Power Flow (MPF) ในบทที่ 5 นี้เราจะสรุปเป็นวิธีการหาค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จะใช้ในการคำนวณค่ากำลังส่งรวมซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการคำนวณความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้จะนำเสนอวิธีการคำนวณองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องในการคำนวณความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแยกตามองค์ประกอบเป็นลำดับถัดไป และในส่วนสุดท้ายเราจะสรุปวิธีการคำนวณความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นกระบวนการในการคำนวณคำตอบในบทที่ 6 ถัดไป

5.1 วิธีการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด

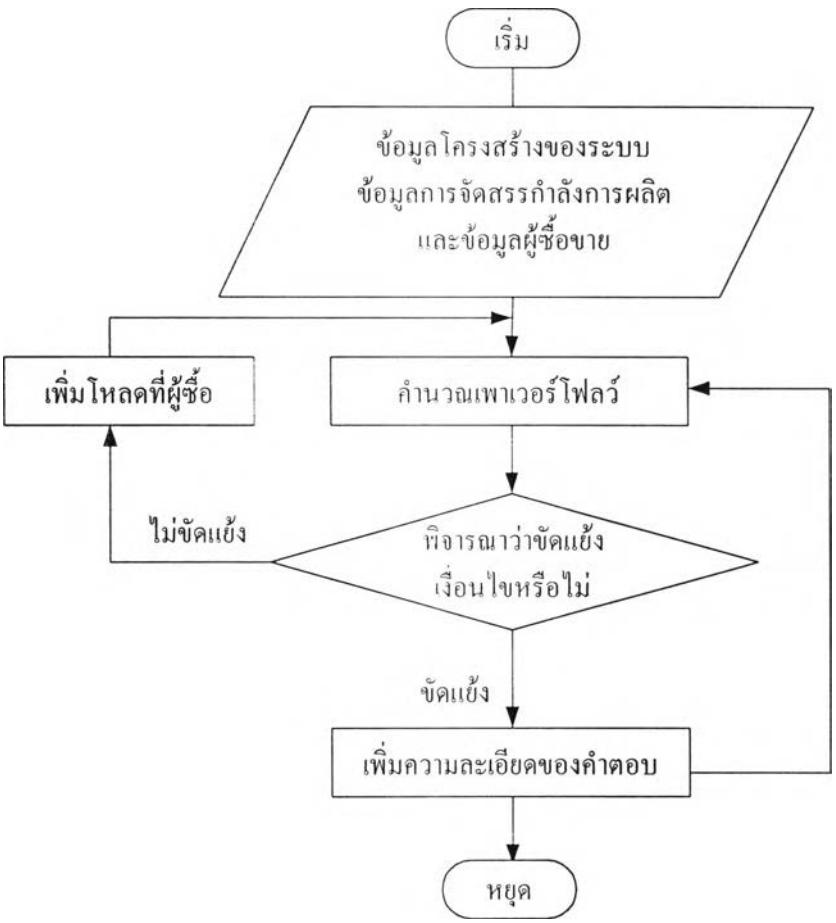
ค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ ค่าปริมาณการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขายที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะแสดงด้วยปริมาณโหลดสูงสุดที่เพิ่มได้ ณ ผู้ซื้อ โดยที่คำนึงถึงเงื่อนไขต่างๆ เหล่านี้

1. ขนาดแรงดันไฟฟ้า – ค่านี้จะต้องรักษาให้อยู่ในช่วง 0.95-1.05 p.u. ทั้งในกรณีที่ระบบอยู่ในสภาวะปกติและสภาวะเกิดเหตุขัดข้อง
2. ค่าพิกัดของสายส่งหรือหม้อแปลง – การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งหรือหม้อแปลงจะกำหนดให้ส่งค่าได้ไม่เกินค่าพิกัดทั้งในกรณีที่ระบบอยู่ในสภาวะปกติและสภาวะเกิดเหตุขัดข้อง
3. ค่าพิกัดกำลังการผลิตของผู้ขาย – การเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิต ณ บัสผู้ขายจะมีค่าไม่เกินค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พิจารณาการกำหนดความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าสำหรับสภาวะตลาดในอนาคต ดังนั้นเงื่อนไขด้านเสถียรภาพในช่วง transient และ dynamic จึงถูกละเลยไป จากนิยามและเงื่อนไขในการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงที่ได้สรุปไว้ข้างต้นรวมกับวิธีการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 ในหัวข้อที่ 5.1 นี้จะสรุปวิธีที่จะใช้เป็นองค์ประกอบหนึ่งในการคำนวณค่ากำลังส่งรวมทั้งหมด 3 วิธีซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

5.1.1 การคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์[4]

จากรายละเอียดการคำนวณที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 3.2 ในที่นี้เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบกับวิธีอื่น จึงแสดงแผนภาพแสดงการคำนวณอีกครั้งหนึ่งดังนี้

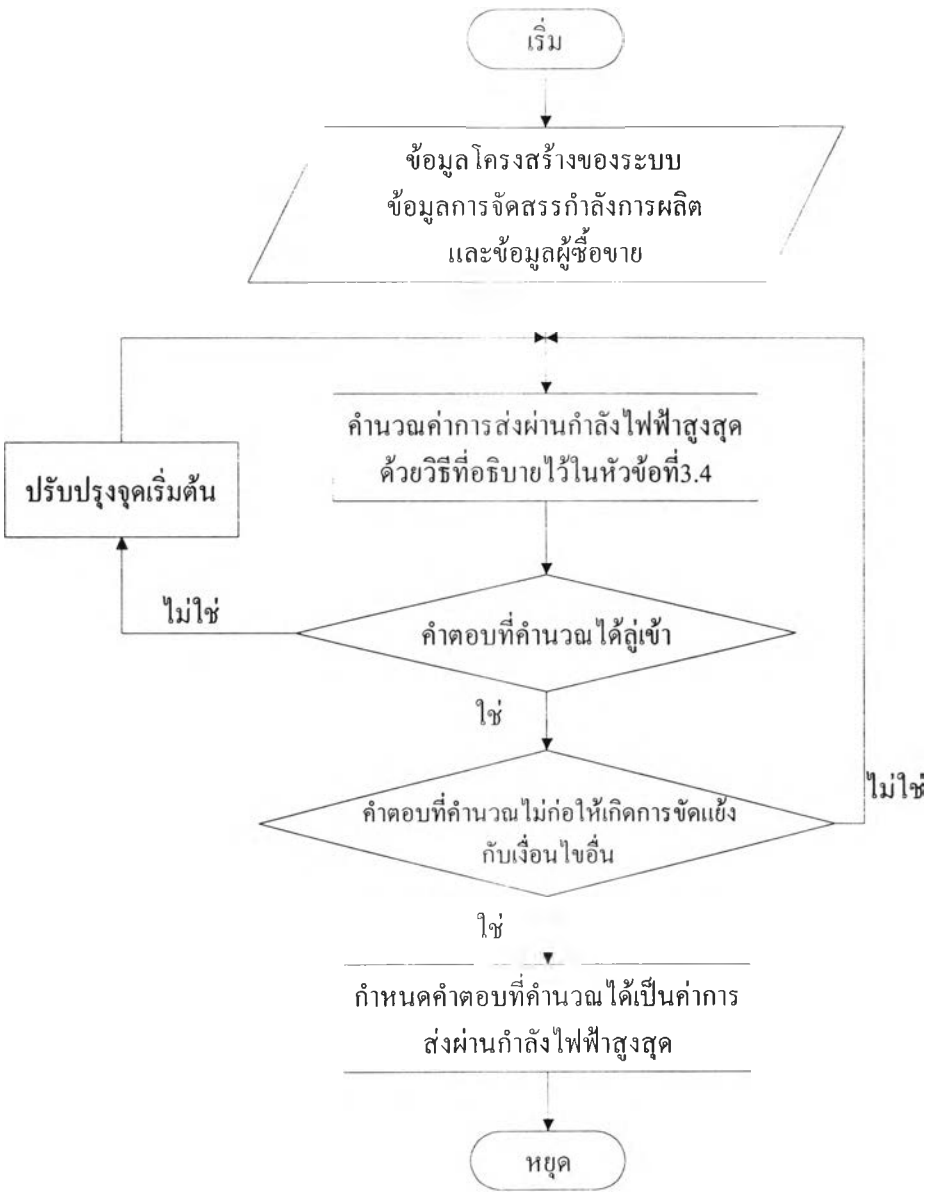


รูปที่ 5.1 แผนภาพการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์

5.1.2 การคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการประมาณแบบเชิงเส้นที่มีการคำนวณซ้ำ

เนื่องจากวิธีการประมาณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแบบเชิงเส้นวิธีที่ 2 ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.4 มีข้อดีคือสามารถคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้โดยอาศัยการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ หนึ่งครั้งต่อหนึ่งสถานะของระบบที่สนใจ อย่างไรก็ดีเนื่องจากเป็นวิธีนี้อาศัยสมมติฐานว่าค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสถานะของระบบมีค่าคงที่และเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลง ณ จุดเริ่มต้นการคำนวณ ซึ่งสำหรับกรณีที่คำตอบอยู่ไม่ห่างจากจุดเริ่มต้นมากนักวิธีนี้จะให้คำตอบที่อยู่ในเกณฑ์ที่พอยอมรับได้ แต่สำหรับกรณีที่คำตอบอยู่ห่างจากจุดเริ่มต้น ความไม่เป็น-

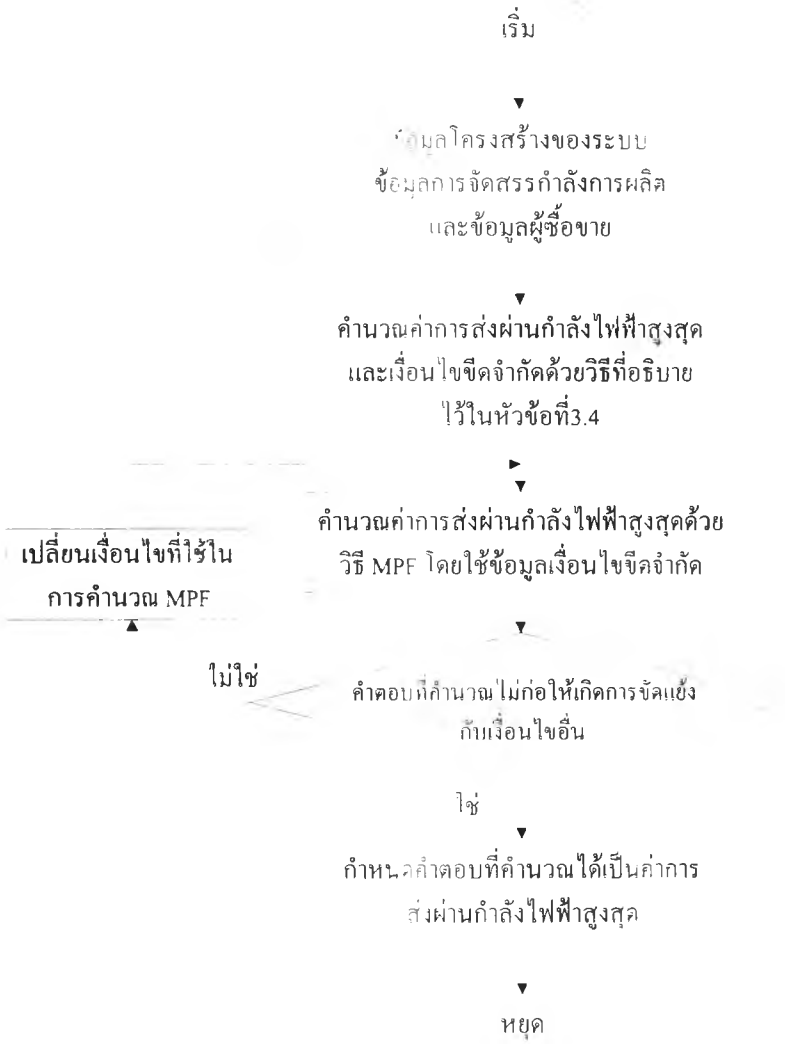
เชิงเส้นของระบบไฟฟ้ากำลังจะเข้ามามีผลต่อคำตอบที่คำนวณได้ซึ่งจะก่อให้เกิดความผิดพลาดมาก อย่างไรก็ดี เราสามารถลดความผิดพลาดนี้ลงได้โดยอาศัยคำตอบจากการคำนวณครั้งที่หนึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการคำนวณครั้งที่สอง และคำนวณเช่นนี้ไปจนกระทั่งเราสามารถสังเกตเห็นการลู่เข้าของคำตอบและหยุดการคำนวณเมื่อการเปลี่ยนแปลงของคำตอบมีค่าน้อยเกณฑ์ที่กำหนด แต่สิ่งหนึ่งที่อาจเกิดขึ้นได้ก็คือเงื่อนไขที่ทำนายว่าเป็นเงื่อนไขขีดจำกัดแรกนั้นในบางกรณีอาจไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีส่วนตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบที่คำนวณได้ด้วย เพื่อให้เข้าใจได้ดีขึ้นขั้นตอนการคำนวณถูกสรุปไว้อีกครั้งดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แผนภาพการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยวิธีการประมาณแบบเชิงเส้นที่มีการคำนวณซ้ำ

5.1.3 วิธีการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยอาศัยวิธีทำนายเงื่อนไขขีดจำกัดและคำนวณคำตอบด้วยการคำนวณเพาเวอร์โฟลว์ที่ได้รับการปรับปรุง

เนื่องจากวิธีการประมาณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแบบเชิงเส้นวิธีที่ 2 ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.4 มีข้อดีที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ สามารถทำนายเงื่อนไขขีดจำกัดแรกได้อย่างแม่นยำ (จากประสบการณ์ของผู้ทำวิจัยคือมากกว่า 90%) ข้อมูลดังกล่าวนี้มีความสำคัญมาก เนื่องจากถ้าเราสามารถทราบเงื่อนไขที่เป็นขีดจำกัดในการกำหนดค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วด้วยวิธี MPFจะทำให้เราสามารถคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ด้วยการคำนวณ MPF เพียงหนึ่งครั้งเท่านั้น อย่างไรก็ดี ในบางกรณีเงื่อนไขขีดจำกัดที่ทำนายได้มีความผิดพลาดซึ่งทำให้คำตอบที่คำนวณได้ไม่ใช่คำตอบที่แท้จริง ดังนั้นเมื่อได้คำตอบจากการคำนวณ MPF แล้วจึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องด้วย ซึ่งหากไม่ถูกต้องก็จะทำการคำนวณ MPF ใหม่โดยอาศัยเงื่อนไขขีดจำกัดที่พบ เพื่อให้เข้าใจได้ดีขึ้นขั้นตอนการคำนวณถูกสรุปไว้อีกครั้งดังนี้

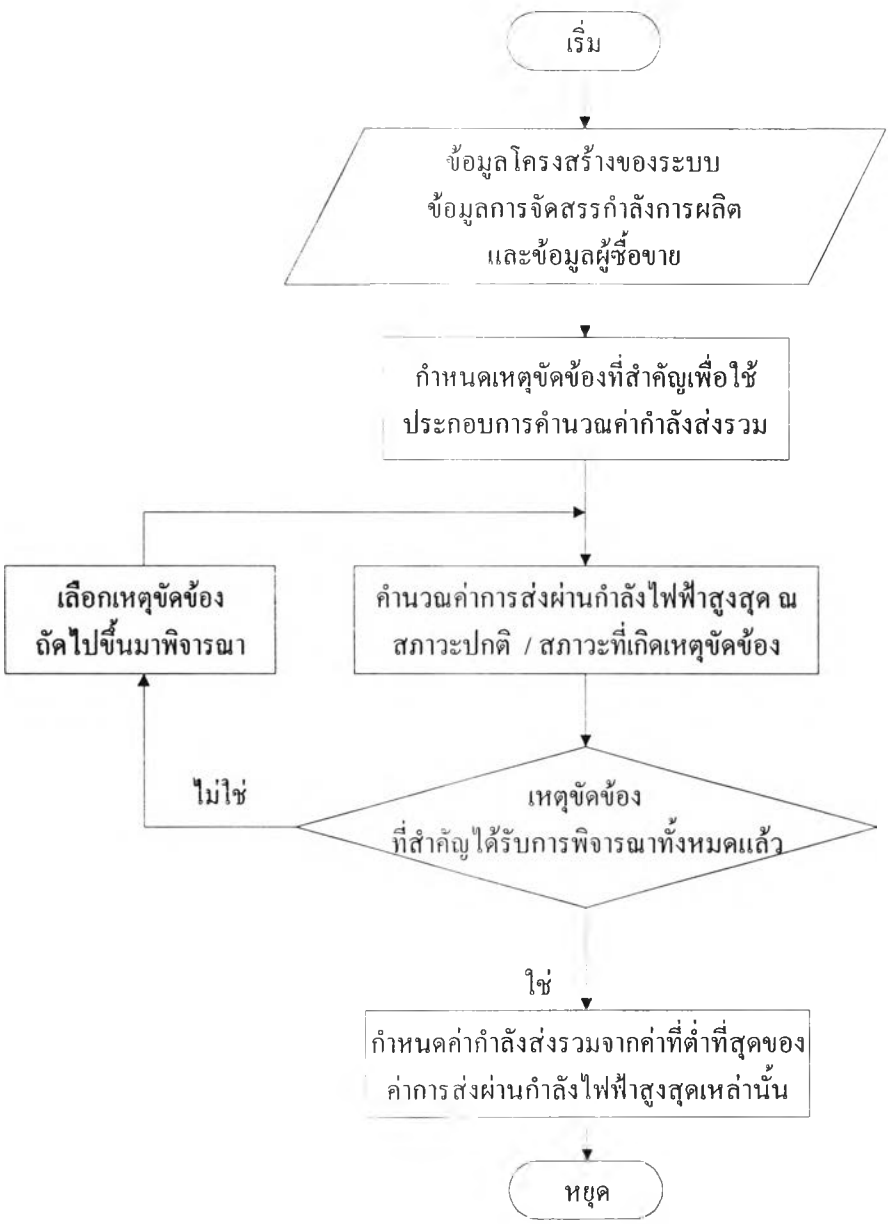


รูปที่ 5.3 แผนภาพวิธีการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยอาศัยวิธีทำนายเงื่อนไขขีด-จำกัดและคำนวณคำตอบด้วย Modified Power Flow

5.2 การคำนวณค่ากำลังส่งรวม

กำลังส่งรวม (TTC) คือ ค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (ตามนิยามในหัวข้อที่ 5.1) ที่สามารถส่งผ่านระบบส่งภายใต้สภาวะที่เชื่อถือได้ซึ่งคำนึงถึงผลของเหตุขัดข้องที่สำคัญ (N-1 Contingency)

จากนิยามเราจะสังเกตได้ว่าอันที่จริงแล้วการคำนวณค่ากำลังส่งรวมสามารถทำโดยการคำนวณค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ สภาวะพื้นฐาน (ไม่เกิดเหตุขัดข้อง) และ เมื่อเกิดเหตุขัดข้องทุกอย่างที่สำคัญ จากค่าการสงผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดเหล่านี้ค่าที่น้อยที่สุดจะถูกกำหนดเป็นค่ากำลังส่งรวม จากวิธีการดังกล่าวสามารถสรุปเป็นแผนภาพการคำนวณได้ดังรูปที่ 5.4



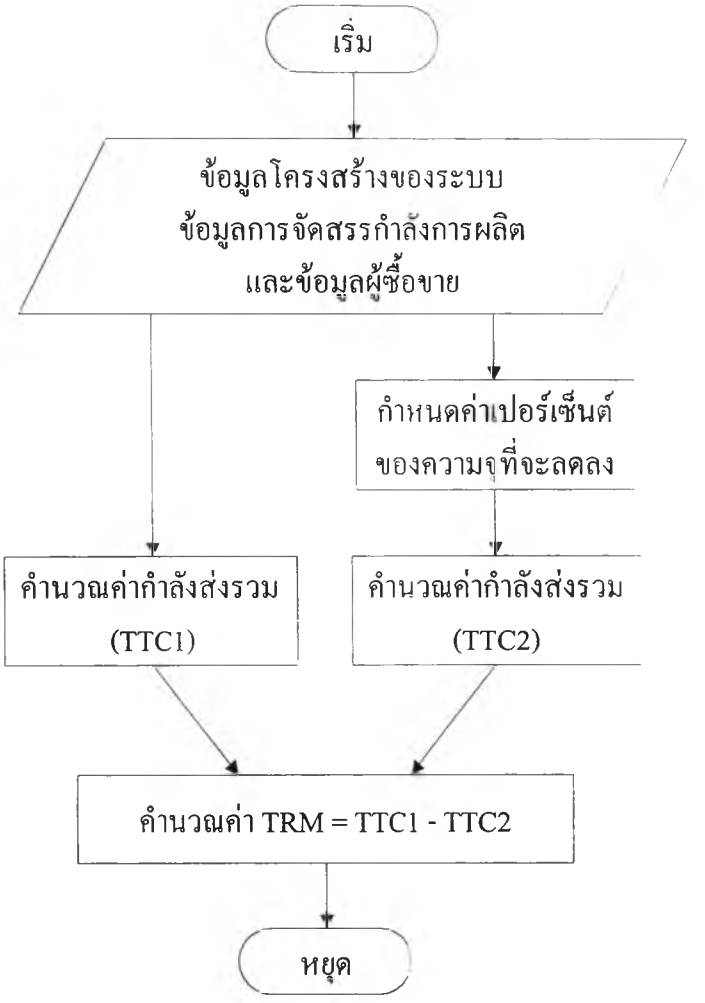
รูปที่ 5.4 แผนภาพการคำนวณค่ากำลังส่งรวม

5.3 การคำนวณค่า TRM

Transmission Reliability Margin (TRM) คือปริมาณกำลังส่งพร้อมมูล (ATC) ที่เตรียมไว้รองรับกับความไม่แน่นอนที่มีอยู่ในระบบ ตัวอย่างของความไม่แน่นอน ก็คือ ค่าโหลด โครงสร้างของระบบ ผลกระทบจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นอื่น การเปลี่ยนแปลงค่าการจัดสรรกำลังการผลิต ฯลฯ อย่างไรก็ดี การที่จะพิจารณาผลของความไม่แน่นอนทุกๆ กรณีคงเป็นการยากในทางปฏิบัติดังนั้น [2] จึงได้เสนอแนวทางเพื่อใช้กำหนดค่า TRM ทั้งหมด 3 วิธี ก็คือ

1. การหาค่ากำลังส่งรวมโดยคิดว่าข้อมูลพื้นฐานมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ Monte Carlo Simulation และกำหนดTRM เท่ากับผลต่างของกำลังส่งรวมในกรณีพื้นฐานกับกำลังส่งรวมที่ได้จากการคิดว่าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง
2. กำหนดTRM เท่ากับผลต่างของกำลังส่งรวมในกรณีพื้นฐานกับกำลังส่งรวมที่ได้จากการลดค่าความจุของสายส่งด้วยเปอร์เซ็นต์คงที่ เช่น 3%
3. กำหนดค่า TRM ด้วยค่า MW คงที่ เช่น 50 MW หรือ ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์คงที่ เช่น 5%

ซึ่งในที่นี้เลือกใช้วิธีที่ 2 เนื่องจากวิธีที่ 1 จะต้องอาศัยการคำนวณจำนวนมากดังนั้นจึงเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในทางปฏิบัติ สำหรับวิธีที่ 3 วิธีนั้นผู้ใช้จำเป็นต้องมีประสบการณ์ในการควบคุมระบบ มิฉะนั้นค่า TRM ที่กำหนดอาจไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และยังเป็นวิธีที่ขั้นตอนการคำนวณไม่ชัดเจน ดังนั้นหากมีการนำไปใช้ปฏิบัติงานจริงอาจทำให้เกิดความไม่ยุติธรรมต่อผู้มีส่วนร่วมในตลาดได้ ส่วนเหตุผลที่เลือกวิธีที่ 2 ก็คือ เป็นวิธีที่มีหลักการคิดแน่นอน และเวลาที่ใช้ในการคำนวณเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ แต่สิ่งควรให้ความสนใจสำหรับวิธีนี้ก็คือการเลือกค่าเปอร์เซ็นต์ความจุของสายส่งที่จะทำการลด (ในที่นี้ใช้ 3%) ซึ่งค่าที่เหมาะสมอาจจะต้องทำการวิเคราะห์หาเป็นของแต่ระบบหรือแต่ละสายส่งเป็นกรณีๆ ไป ในวิทยานิพนธ์นี้มิได้พิจารณาในส่วนดังกล่าว จากวิธีในการกำหนดค่า TRM ที่ได้จะเลือกใช้ในวิทยานิพนธ์นี้สามารถสรุปเป็นแผนภาพการคำนวณได้ดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.5 แผนภาพการคำนวณค่า TRM โดยแทนผลของความไม่แน่นอนต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบด้วย การลดลงของค่าความจุสายส่ง

5.4 การคำนวณค่า CBM [15]

Capability Benefit Margin (CBM) เป็นการสำรองความสามารถของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าอีกตัวหนึ่งนอกเหนือจากค่า TRM ที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.3 อย่างไรก็ดี วัตถุประสงค์ในการกำหนดค่า CBM นั้นแตกต่างกับของค่า TRM

CBM กำหนดขึ้นเพื่อสำรองความสามารถของส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในระบบของตนเพื่อให้สามารถใช้ค่ากำลังผลิตสำรองจากระบบที่ต่อเชื่อมอยู่เพื่อรักษาระดับความเชื่อถือได้ทางกำลังผลิตให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด การสำรองค่า CBM นี้จะมีประโยชน์ในแง่ที่ค่ากำลังผลิตสำรองในระบบสามารถลดค่าลงได้ต่ำกว่าค่ากำลังผลิตสำรองในขณะที่มิได้มีการต่อเชื่อมกับระบบข้างเคียงในขณะที่ยังคงรักษาระดับความเชื่อถือได้ทางด้านกำลังการผลิตไว้ตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ นอกจากนี้ค่า CBM มีแนวโน้มที่จะใช้เฉพาะในช่วงเวลาที่กำลังผลิตในระบบของตนไม่เพียงพอต่อความต้องการโหลดเท่านั้น

วิธีการคำนวณและระบุตำแหน่งของ CBM นี้จะเริ่มต้นจากการกำหนดความต้องการกำลังผลิตสำรองจากระบบข้างเคียงซึ่งโดยทั่วไปอาจจะกำหนดโดยการอาศัยการกำหนดค่าหรืออาศัยวิธีการทางด้านความน่าจะเป็น นอกจากนี้การรวมสองวิธีเขาด้วยกันก็เป็นแนวทางอีกอย่างหนึ่งที่น่าสนใจ [15] เนื่องจากถ้าเหตุการณ์ที่สนใจเป็นเหตุการณ์ที่ไม่ไกลนักจากเวลาในปัจจุบันการคำนวณด้วยวิธีการทางด้านความน่าจะเป็นจะไม่เหมาะสมเนื่องจากโดยทั่วไปค่าที่คำนวณได้จะมีค่าน้อยมาก อย่างไรก็ดี วิธีการทางด้านความน่าจะเป็นจะเหมาะสมกว่าหากระยะเวลาที่สนใจไกลจากเวลาปัจจุบันทั้งนี้เนื่องจากวิธีการทางด้านความน่าจะเป็นจะสามารถจัดการกับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของเวลาได้ดี จากปริมาณกำลังผลิตสำรองที่ต้องการเมื่อเราหักค่า TRM ออกเราจะได้ปริมาณ CBM ทั้งหมดที่ต้องการจากนั้นเราจะทำการจัดสรรค่า CBM ให้แก่เส้นทางการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแต่ละเส้นทางต่อไป

จากที่ได้อธิบายมาข้างต้นเราคงพอที่จะเข้าใจได้ว่าค่า CBM คืออะไรและสามารถคำนวณค่าได้อย่างไร อย่างไรก็ดี การกำหนดค่า CBM ในทางปฏิบัตินั้นเราจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงความเป็นธรรมต่อผู้มีส่วนร่วมในตลาดด้วย ทั้งนี้เนื่องจากการกำหนดค่า CBM จะทำให้ความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้ามีค่าลดลง ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะอธิบายว่าการกำหนดค่า CBM นั้นวิธีที่เหมาะสมหรือไม่เช่นไรในสภาวะที่ข้อกำหนดตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าและหลักเกณฑ์ในการจัดการระบบส่งยังไม่เป็นที่แน่นอน ในวิทยานิพนธ์นี้จะยังมิได้นำการคำนวณ CBM เข้าร่วมในการพิจารณาความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า

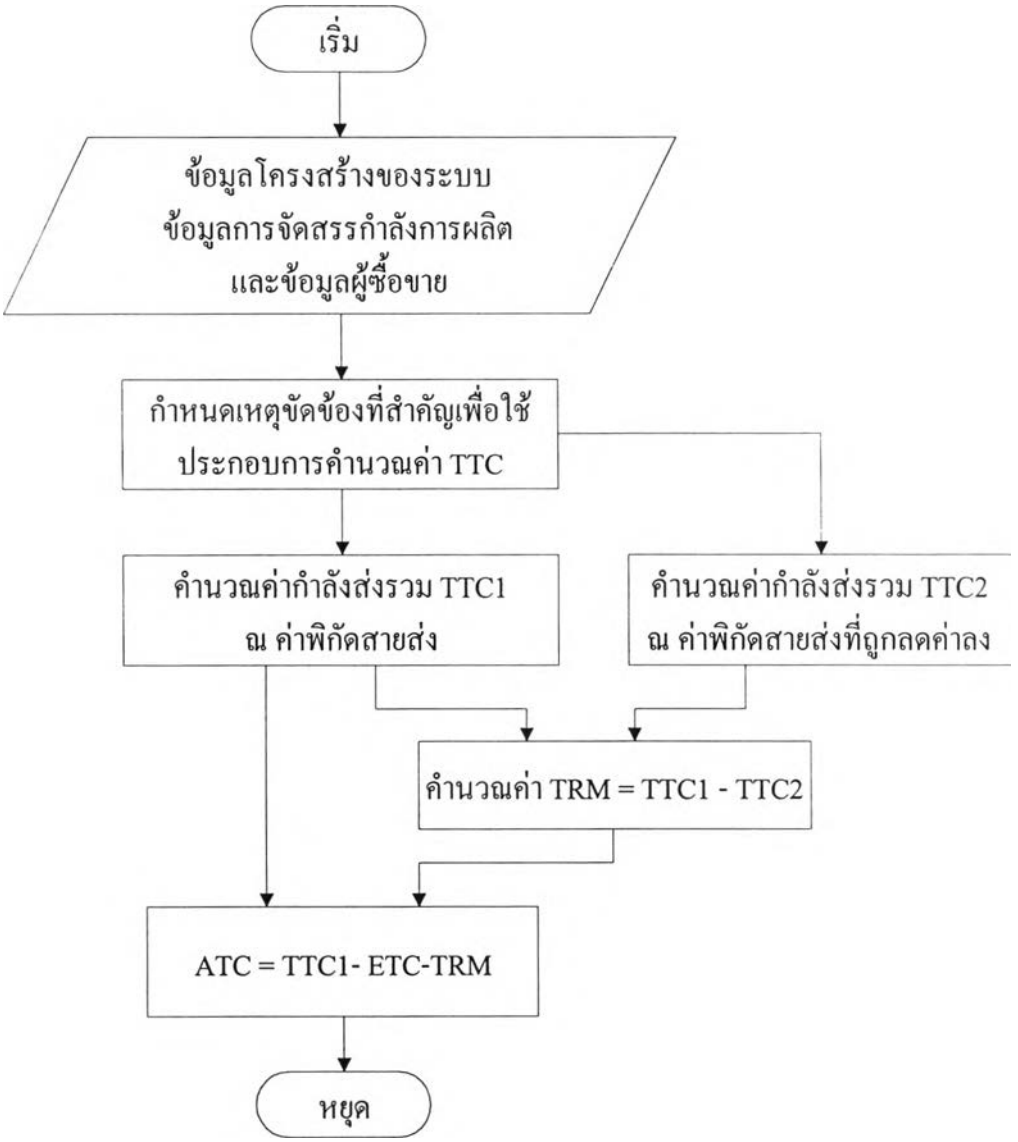
5.5 การคำนวณความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า

จากนิยามของความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าที่กำหนดโดย NERC ดังแสดงไว้ในหัวข้อที่ 2.1 เราพอที่จะสรุปได้ว่าความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า คือ ค่าความสามารถของระบบส่งในการที่จะส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมมากกว่าในสถานะปัจจุบัน และสามารถคำนวณได้จาก ค่ากำลังส่งรวม (TTC), TRM, CBM และ ค่าโหลดต่ออยู่กับระบบ ณ สภาวะปัจจุบัน (ETC) แต่เนื่องจากค่า CBM ยังมิได้ถูกนำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ ดังนั้นความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าจะคำนวณจาก

$$ATC = TTC - ETC - TRM \tag{5.1}$$

สมการนี้จะถูกใช้ในการกำหนดความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเพื่อแสดงตัวอย่างการคำนวณในบทถัดไป

สุดท้ายเพื่อให้เห็นภาพรวมในการคำนวณความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้า ในที่นี้จึงสรุปขั้นตอนทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องไว้ดังนี้



รูปที่ 5.6 แผนภาพขั้นตอนทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณความสามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าและองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง