บทที่ 2

ทฤษฎีความมั่นคง การวิเคราะห์คอนตินเจนซี และดัชนีสมรรถนะระบบของระบบไฟฟ้ากำลัง

2.1 ความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลัง

ในปัจจุบันนี้ได้มีสนใจเกี่ยวกับการลดการสูญเสียของการปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลังให้น้อยที่สุด ปัจจัยสำคัญในควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังคือความต้องการคงสภาพความมั่นคงของระบบ ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีความมั่นคง คือ ระบบไฟฟ้ากำลังที่สามารถทนต่อเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องต่างๆโดยที่ยังคงสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามปกติ ซึ่งเรียกเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่า คอนตินเจนซี ความมั่นคงของระบบรวมทั้งการปฏิบัติการได้ออกแบบเพื่อรักษาการปฏิบัติการของระบบเมื่อมีองค์ประกอบของระบบขัดข้อง ตัวอย่างเช่น หน่วยการผลิตจำเป็นต้องทำการปลดสายส่งออกเนื่องจากการขัดข้องของอุปกรณ์ หน่วยที่เหลืออยู่บนระบบสามารถทดแทนปริมาณที่ขาดโดยไม่มีการลดลงของความถี่ที่ต่ำเกินไปหรือจำเป็นต้องปลดทุกโหลดโดยการรักษาปริมาณกำลังสำรองที่เหมาะสม ในทำนองเดียวกัน สายส่งอาจจะเสียหายโดยลมพายุและถูกตัดออกโดยรีเลย์อัตโนมัติ ในการผลิตที่มีการทำ Unit Commitment และ Economic dispatch จะพิจารณารักษาการไหลของกำลังไฟฟ้าส่งจ่าย (Transmission flow) สายส่งที่เหลืออยู่สามารถนำโหลดเพิ่มขึ้นและยังคงเหลืออยู่ภายในขีดจำกัด

เนื่องจากเวลาที่จำกัดซึ่งเหตุการณ์เริ่มต้นก่อให้เกิดองค์ประกอบขัดข้องโดยไม่ได้คาดคิด ระบบต้องถูกปฏิบัติการตลอดเวลา โดยระบบควรจะไม่เหลืออยู่ในเงื่อนไขที่เป็นอันตรายทุกการเกิดขึ้นของเหตุการณ์เริ่มต้น แต่เนื่องจากอุปกรณ์ของระบบไฟฟ้าถูกออกแบบเพื่อปฏิบัติการภายในขีดจำกัดแน่นอน ชิ้นส่วนส่วนใหญ่ของอุปกรณ์ถูกป้องกันโดยอุปกรณ์อัตโนมัติซึ่งสามารถก่อให้เกิดอุปกรณ์ถูกปลดออกจากระบบถ้าขีดจำกัดถูกละเมิด ถ้าทุกการเกิดขึ้นของเหตุการณ์บนระบบเหลืออยู่ซึ่งการปฏิบัติการที่ละเมิดขีดจำกัด เหตุการณ์เหล่านั้นอาจจะติดตามด้วยความต่อเนื่องของการกระทำการต่อไปคือการปลดอุปกรณ์อื่นออกจากการบริการ ถ้ากระบวนการของการขัดข้องเป็นลำดับขั้นอย่างต่อเนื่องนี้เกิดขึ้น ระบบทั้งหมดหรือบริเวณกว้างๆ อาจจะเกิดไฟฟ้าดับเป็นวงกว้าง โดยปกติเรียกว่า System blackout

เหตุการณ์ต่อเนื่องซึ่งสามารถก่อให้เกิด System blackout อาจจะเริ่มต้นจากสายส่ง 1 เส้น (Single line) ถูกเปิดเนื่องจากการขัดข้อง วงจรส่งจ่ายที่เหลืออยู่ในระบบจะต้องรับเอาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่กำลังไหลอยู่บนสายส่งที่ถูกเปิด ถ้าหนึ่งของสายส่งที่เหลืออยู่มีโหลดหนัก

เกินไป อาจจะเปิดออกเนื่องจากการกระทำของรีเลย์ ดังนั้นจึงทำให้เกิดโหลดที่มากกว่าบนสายส่งที่เหลืออยู่เสมอ กระบวนการนี้ถูกเรียกว่าการขัดข้องแบบต่อเนื่อง (Cascading outage) ระบบไฟฟ้ากำลังส่วนใหญ่จะจัดการกับทุกเหตุการณ์ขัดข้องเริ่มต้นเดียว ซึ่งจะไม่ให้เหลือส่วนประกอบอื่นมีโหลดเกินหนักเกินไป โดยเฉพาะเพื่อหลีกเลี่ยงการขัดข้องแบบต่อเนื่อง

ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ส่วนมากติดตั้งอุปกรณ์เพื่อให้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ เพื่อแสดงผล (Monitor) และดำเนินการกับระบบในลักษณะที่เชื่อถือได้

ความมั่นคงของระบบสามารถแบ่งแยกออกเป็น 3 ฟังก์ชันใหญ่ๆ ตามการดำเนินการในศูนย์กลางควบคุมการปฏิบัติการ (Operation control center)

1. การแสดงผลระบบ (System monitoring)
2. การวิเคราะห์คอนตินเจนซี (Contingency analysis)
3. การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของข้อบังคับความมั่นคง (Security-constrained optimal power flow)

การแสดงผลระบบ จัดเตรียมข้อมูลทันสมัยที่เกี่ยวข้องบนเงื่อนไขของระบบไฟฟ้ากำลังไว้ให้ผู้ควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง การใช้ประโยชน์ของระบบนี้อยู่ไกลจากการจ่ายกลุ่มของโหลด การปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพของระบบจึงต้องการปริมาณการวัด และค่าของการวัดถูกส่งไปยังตำแหน่งศูนย์กลาง ดังนั้นระบบของการวัดและการส่งข้อมูลที่เรียกว่าระบบส่งข้อมูลระยะไกล (Telemetry system) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวางแผนการ ซึ่งสามารถแสดงผลแรงดัน กระแส การไหลของกำลังไฟฟ้า สถานะของเซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ในทุกสถานีย่อยในโครงข่ายส่งจ่ายของระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากนี้ยังสามารถส่งข้อมูลอื่นๆ ดังเช่น ความถี่ ขาออกของหน่วยเครื่องกำเนิด โหลด และตำแหน่งแท็ปหม้อแปลงได้อีกด้วย ด้วยข้อมูลที่ถูกส่งจำนวนมากอย่างทันทีทันใดไม่มีผู้ควบคุมคนใดสามารถตรวจสอบข้อมูลทั้งหมดในกรอบเวลาที่เหมาะสม สำหรับเหตุนี้คอมพิวเตอร์แบบดิจิตอลถูกติดตั้งในศูนย์กลางควบคุมการปฏิบัติการเพื่อรวบรวมข้อมูลที่ถูกส่ง ประมวลผลข้อมูล และใส่ข้อมูลลงในฐานข้อมูลจากซึ่งผู้ควบคุมสามารถแสดงผลข้อมูลบนเครื่องแสดงผลขนาดใหญ่ นอกจากนี้ คอมพิวเตอร์สามารถตรวจสอบข้อมูลที่เข้ามาเปรียบเทียบกับขีดจำกัดที่เก็บไว้ล่วงหน้าและเตือนผู้ควบคุมในเหตุการณ์โหลดเกินและแรงดันออกจากขีดจำกัด

ระบบเช่นนี้ถูกรวมโดยปกติกับระบบตรวจคุม (Supervisory Control system) ซึ่งให้ผู้ควบคุมได้ควบคุม เซอร์กิตเบรกเกอร์ สวิตช์ตัดต่อ และแท็ปหม้อแปลงจากระยะไกล ระบบเหล่านี้ถูกเรียกว่าระบบตรวจคุมและรวบรวมข้อมูล (Supervisory Control and Data Acquisition:

SCADA) ระบบ SCADA ยอมให้ผู้ควบคุมแสดงผลระบบการผลิตและการส่งจ่ายแรงดันสูง และเพื่อทำการกระทำการแก้ไขโหลดเกินและแรงดันออกจากขีดจำกัด

ฟังก์ชันความมั่นคงอันดับสอง คือ การวิเคราะห์คอนตินเจนซี เป็นการศึกษาถึงผลกระทบของคอนตินเจนซีที่มีผลต่อระบบไฟฟ้า เพื่อให้ทราบถึงระดับความรุนแรงของคอนตินเจนซีภายใต้สภาวะต่างๆของระบบไฟฟ้า ปัญหาจำนวนมากที่เกิดขึ้นบนระบบไฟฟ้ากำลังก่อให้เกิดความยุ่งยากภายในรอบเวลาที่รวดเร็วซึ่งผู้ควบคุมไม่สามารถกระทำการได้อย่างรวดเร็วพอ บ่อยครั้งเป็นกรณีการขัดข้องแบบต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการติดตั้งคอมพิวเตอร์ปฏิบัติการที่ทันสมัยกับโปรแกรมการวิเคราะห์คอนตินเจนซีซึ่งจำลองความยุ่งยากของระบบที่เป็นไปได้ก่อนเหตุการณ์ทั้งหลายเกิดขึ้น โปรแกรมนี้อาศัยแบบจำลองของระบบไฟฟ้ากำลังและถูกใช้เพื่อศึกษาเหตุการณ์ขัดข้องและแจ้งเตือนผู้ควบคุมต่อเหตุการณ์โหลดเกินและแรงดันออกจากขีดจำกัดที่เป็นไปได้ ตัวอย่างเช่น รูปแบบที่ง่ายที่สุดของการวิเคราะห์คอนตินเจนซีสามารถใส่ร่วมกับโปรแกรม Power flow มาตรฐาน พร้อมทั้งกระบวนการติดตั้งข้อมูล Power flow สำหรับแต่ละเหตุขัดข้องที่ถูกศึกษาโดยโปรแกรม Power flow หลายการเปลี่ยนแปลงของแบบแผนการวิเคราะห์คอนตินเจนซีรวมทั้งวิธีการหาคำตอบที่รวดเร็ว การณ์เลือกเหตุการณ์คอนตินเจนซีอย่างอัตโนมัติ การตั้งค่าเริ่มต้นอย่างอัตโนมัติของ Power flow ของคอนตินซีโดยการใช้ข้อมูลระบบจริง และกระบวนการการประเมินสถานะของระบบ

ฟังก์ชันความมั่นคงอันดับสามคือ การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของข้อบังคับความมั่นคง ในฟังก์ชันนี้ การวิเคราะห์คอนตินเจนซีถูกรวมกับการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม (Optimal power flow) ซึ่งค้นหาการทำการเปลี่ยนแปลงเพื่อการจ่ายไฟฟ้าแบบเหมาะสม (Optimal dispatch) ของการผลิตและการปรับอื่นๆ ดังนั้นเมื่อการวิเคราะห์ความมั่นคงได้ถูกทำขึ้นจะไม่มีผลของคอนตินเจนซีในการละเมิดขีดจำกัด เพื่อแสดงว่าสามารถทำได้อย่างไร เราจะแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังเป็น 4 สถานะปฏิบัติการ

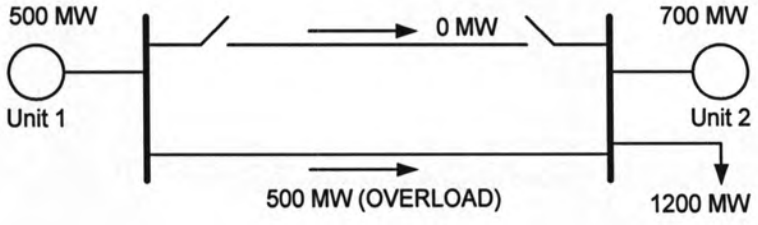
1. Optimal dispatch: คือสถานะของระบบอยู่ในก่อนหน้าต่อทุกคอนตินเจนซี ซึ่งเหมาะสมที่สุดเนื่องจากการปฏิบัติการตามหลักเศรษฐศาสตร์
2. Post contingency: คือสถานะของระบบไฟฟ้ากำลังหลังคอนตินเจนซีเกิดขึ้น จะสมมุติในที่นี้ว่าเงื่อนไขละเมิดความมั่นคง (การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งหรือหม้อแปลงมากกว่าขีดจำกัด หรือแรงดันบัสออกนอกขีดจำกัด)
3. Secure dispatch: คือสถานะของระบบไม่มีการขัดข้องของคอนตินเจนซี แต่ประกอบด้วยการแก้ไขต่อพารามิเตอร์ปฏิบัติการเพื่อปรับปรุงการละเมิดความมั่นคง
4. Secure post contingency: คือสถานะของระบบเมื่อเกิดคอนตินเจนซีถูกใช้กับเงื่อนไขการปฏิบัติการพื้นฐานพร้อมด้วยการแก้ไขต่อพารามิเตอร์ปฏิบัติการ

เราจะอธิบายสถานะการปฏิบัติการตัวอย่าง โดยสมมุติว่าระบบไฟฟ้ากำลังธรรมดา ประกอบด้วย 2 เครื่องกำเนิด 1 โหลด และสายส่งวงจรคู่ เครื่องกำเนิดทั้งสองเครื่องจ่ายโหลดดังแสดงในรูปที่ 2.1-รูปที่ 2.4 โดยละเลย Losses

รูปที่ 2.1 สถานะ Optimal dispatch

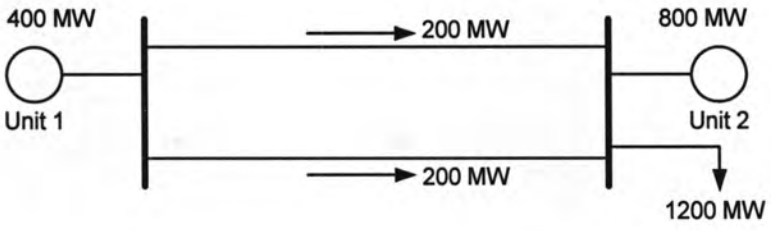
สมมุติว่าระบบดังที่แสดงอยู่ใน Economic dispatch ซึ่ง 500 MW จากหน่วยที่ 1 และ 500 MW จากหน่วยที่ 2 เป็นสถานะ Optimal dispatch แต่ละเส้นของสายวงจรคู่สามารถนำกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 400 MW ดังนั้นจึงไม่ปัญหาของโหลดในเงื่อนไขการการปฏิบัติการพื้นฐาน

ต่อไปเราจะสมมุติว่าสายส่งหนึ่งในสองเส้นถูกเปิดเนื่องจากการขัดข้องของสายส่ง 1 เส้น ผลที่เกิดขึ้นได้ดังรูปที่ 2.2



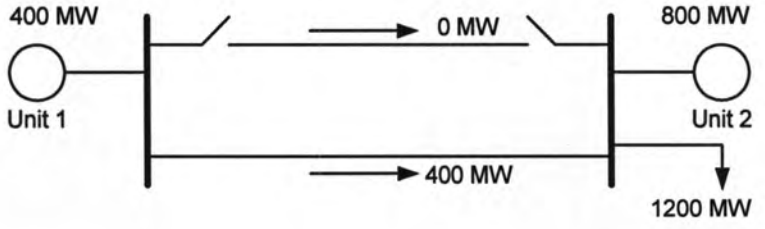
รูปที่ 2.2 สถานะ Post contingency

ตอนนี้มีโหลดเกินบนสายส่งที่เหลืออยู่ เราจะสมมุติสำหรับตัวอย่างนี้ว่า ไม่ต้องการให้เงื่อนไขนี้ให้เกิดขึ้น และเราจะแก้ไขเงื่อนไขนี้โดยการลดเครื่องกำเนิดในหน่วยที่ 1 เป็น 400 MW และเพิ่มเครื่องกำเนิดในหน่วยที่ 2 เป็น 800 MW ดังนั้นสถานะ Secure dispatch เป็น



รูปที่ 2.3 สถานะ Secure dispatch

ถ้าทำการวิเคราะห์คอนตินเจนซีเหมือนเดิม เงื่อนไขหลังคอนตินเจนซีจะได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สถานะ Secure post contingency

เราป้องกันสถานะการปฏิบัติการหลังคอนตินเจนซีจากการมีโหลดเกินโดยการปรับเครื่องกำเนิดหน่วยที่ 1 และหน่วยที่ 2 นี่คือปัจจัยที่ถูกเรียกว่า การแก้ไขความมั่นคง (Security correction) โปรแกรมซึ่งสามารถทำการปรับการควบคุมต่อการปฏิบัติการพื้นฐานหรือก่อนคอนตินเจนซีเพื่อป้องกันการละเมิดเงื่อนไข Post contingency ซึ่งถูกเรียกว่า Security-constrain optimal power flow หรือ SCOPF โปรแกรมเหล่านี้สามารถทำการคำนวณคอนตินเจนซีจำนวนมากและคำนวณการปรับ MW ของเครื่องกำเนิด แรงดันของเครื่องกำเนิด แท็ปหม้อแปลง การสับเปลี่ยนองค์ประกอบต่างๆ เป็นต้น

ฟังก์ชันของการแสดงผลของระบบ การวิเคราะห์คอนตินเจนซี และการวิเคราะห์การกระทำการแก้ไข ประกอบด้วยเซตของเครื่องมือที่ซับซ้อนมากซึ่งสามารถช่วยในการปฏิบัติการที่มั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลัง วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์คอนตินเจนซีเพื่อประเมินผลกระทบหรือความรุนแรงของการขัดข้องของอุปกรณ์เพื่อประกอบการตัดสินใจของผู้ควบคุมระบบในการที่จะเฝ้าระวัง หาวิธีการรับมือ หรือจะกระทำการใดๆต่อระบบต่อไป

2.2 การวิเคราะห์คอนตินเจนซี

เราจะสมมุติว่ากลุ่มของวิศวกรได้ออกแบบระบบส่งจ่ายและระบบผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังมีความเชื่อถือได้ในความคิด ซึ่งหมายถึง การผลิตถูกติดตั้งให้เพียงพอกับโหลดและการส่งจ่ายที่เพียงพอถูกติดตั้งเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าที่สร้างขึ้นไปยังโหลด การปฏิบัติการของระบบดำเนินต่อไปโดยไม่มีการขัดข้องทันทีหรือไม่มีการพบกับสถานะการปฏิบัติการที่ไม่คาดคิด ดังนั้นจะไม่มีปัญหาด้านความเชื่อถือได้หรือด้านความมั่นคงของระบบ แต่อย่างไรก็ตามทุกชิ้นของอุปกรณ์ในระบบสามารถขัดข้องได้เนื่องจากการเกิดขึ้นภายในหรือเนื่องจากการเกิดขึ้นภายนอก ดังเช่น ฟ้าผ่า วัตถุล้มตีเสาส่งจ่าย หรือความผิดพลาดของบุคคลตั้งค่ารีเลย์ การสร้างระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเผื่อไว้มากๆต่อการขัดข้องที่ไม่ก่อให้เกิดการตัดโหลดบนระบบ (สายส่งขนาดใหญ่ การผลิตสำรอง เป็นต้น) จะสิ้นเปลืองมากแต่ไม่ถึงกับเป็นไปไม่ได้ ดังนั้นระบบไฟฟ้ากำลังส่วนใหญ่ถูกออกแบบเผื่อไว้มากเพียงพอต่อการทนต่อเหตุการณ์ขัดข้องขนาดใหญ่ แต่ไม่ยืนยันว่าระบบจะเชื่อถือได้ 100%

ภายในการออกแบบและข้อจำกัดทางเศรษฐศาสตร์เป็นงานของผู้ปฏิบัติการหรือผู้ควบคุมต่อการพยายามทำให้เกิดความเชื่อถือได้ของระบบมากที่สุดทุกๆเวลาที่มีให้ โดยปกติระบบไฟฟ้ากำลังอาจจะมีการเกิดขึ้นของการขัดข้องหรือการบำรุงรักษาซึ่งอาจจะต้องนำอุปกรณ์ออกจากการบริการ ดังนั้นผู้ควบคุมระบบมีบทบาทสำคัญในการพิจารณาให้เห็นว่าระบบเชื่อถือได้หรือไม่ หรือจะกระทำการใดๆต่อระบบต่อไป

คอนตินเจนซีการขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบส่วนใหญ่เกิดจากอุปกรณ์ 2 ชนิดขนาดใหญ่ คือ การขัดข้องของสายส่ง/หม้อแปลงและการขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตัวอย่างของปัญหามีการอธิบายด้วยการใช้ระบบไฟฟ้ากำลัง 6 บัสซึ่งถูกใช้ในบทที่ 4 ผลของ Base-case power flow ตัวอย่างที่ 4A [3] ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การขัดข้องของสายส่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการไหลและแรงดันบนอุปกรณ์ส่งจ่ายที่ยังคงเชื่อมต่อบนระบบ และการขัดข้องเครื่องกำเนิดสามารถก่อให้เกิดการไหลและแรงดันต่อการเปลี่ยนแปลงในระบบส่งจ่ายกับการเพิ่มของปัญหาด้านพลวัต (Dynamic) รวมทั้งความถี่ และขาออกของเครื่องกำเนิด ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการวิเคราะห์คอนตินเจนซีที่เกิดขึ้นกับสายส่งและหม้อแปลงไฟฟ้าเท่านั้น

ในการประเมินความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลังดัชนีที่บอกถึงผลกระทบหรือความรุนแรงของคอนตินเจนซี (Contingency) สถานะไฟฟ้าอยู่ตัว (Steady state) คือค่าดัชนีสมรรถนะระบบ (Performance Indices: PI)

2.3 ดัชนีสมรรถนะระบบ (System Performance Indices: PI)

ดัชนีสมรรถนะ (PI) คือดัชนีที่แสดงถึงผลกระทบหรือความรุนแรง (Severity) ต่อระบบไฟฟ้ากำลังที่ จากการเกิดคอนตินเจนซีของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เงื่อนไขระบบสถานะไฟฟ้าอยู่ตัว (Steady state) ประกอบด้วยดัชนีสมรรถนะแรงดัน (Voltage Performance Index: PI_V) และดัชนีสมรรถนะกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power Performance Index หรือ MW Performance Index: PI_{MW})

2.3.1 ดัชนีสมรรถนะแรงดัน (Voltage Performance Index: PI_V) [2]

ดัชนีสมรรถนะแรงดัน (PI_V) คือดัชนีที่แสดงถึงผลกระทบหรือความรุนแรงต่อระบบไฟฟ้ากำลัง จากแรงดันบัสของระบบที่เกิดจากคอนตินเจนซีของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เงื่อนไขระบบสถานะไฟฟ้าอยู่ตัว ซึ่งคอนตินเจนซีอาจจะทำให้แรงดันบัสละเมิดขีดจำกัดแรงดันบัสของระบบได้ โดยขีดจำกัดแรงดันบัสถูกกำหนดในเทอมของขีดจำกัดสูงและขีดจำกัดต่ำ สามารถหาค่า PI_V ได้จาก (2.1)

$$PI_V = \sum_{i=1}^{NB} \left(\frac{w_{Vi}}{2n} \right) \left(\frac{\left(|V_i| - |V_i^{sp}| \right)}{\Delta V_i^{\lim}} \right)^{2n} \tag{2.1}$$

$$V_i^{sp} = \left(V_i^{\max} + V_i^{\min} \right) / 2 \tag{2.2}$$

$$\Delta V_i^{\lim} = \left(V_i^{\max} - V_i^{\min} \right) / 2 \tag{2.3}$$

โดยที่

PI_V คือ ดัชนีสมรรถนะแรงดัน

V_i^{sp} คือ ขนาดแรงดันบัสที่กำหนดของบัส i

V_i คือ แรงดันที่บัส i หลังจากคอนตินเจนซี

$\Delta V_i^{\lim}$ คือ ขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันบัส i

w_{Vi} คือ สัมประสิทธิ์ค่าถ่วงน้ำหนักของบัส i

n คือ Order ของเลขชี้กำลัง

NB คือ จำนวนบัสทั้งหมด

$V_i^{\max}$ คือ ขนาดแรงดันขีดจำกัดสูงสุดที่บัส i

$V_i^{\min}$ คือ ขนาดแรงดันขีดจำกัดต่ำสุดที่บัส i

PI_V นี้มีค่าน้อยเมื่อค่าอยู่ภายในขีดจำกัด และมีค่ามากเมื่อมีค่าของแรงดันละเมิดขีดจำกัด

2.3.2 ดัชนีสมรรถนะกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power Performance Index: PI_{MW}) [2]

ดัชนีสมรรถนะแรงดัน (PI_{MW}) คือ ดัชนีที่แสดงถึงผลกระทบหรือความรุนแรงต่อระบบไฟฟ้ากำลัง จากการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งไฟฟ้าที่เกิดจากคอนตินเจนซีของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เงื่อนไขระบบสถานะไฟฟ้าอยู่ตัว ซึ่งคอนตินเจนซีอาจจะทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งละเมิดขีดจำกัดการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงระบบได้ โดยขีดจำกัดการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงถูกกำหนดในเทอมของขีดจำกัดทางด้านความร้อนของสายส่ง สามารถหาค่า PI_{MW} ได้จาก (2.4)

$$PI_{MW} = \sum_{l=1}^{NL} \left(\frac{w_l}{2n}\right) \left(\frac{P_l}{P_l^{Lim}}\right)^{2n} \tag{2.4}$$

โดย

P_l คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งที่ l

P_l^{Lim} คือ ขีดจำกัดทางด้านความร้อนของสายส่งที่ l

w_l คือ สัมประสิทธิ์ค่าถ่วงน้ำหนักของสายส่งเส้นที่ l

n คือ Order ของเลขชี้กำลัง

NL คือ จำนวนสายส่งไฟฟ้าทั้งหมด

ดัชนีสมรรถนะระบบรวม คือ ผลรวมของดัชนีสมรรถนะแรงดันกับดัชนีสมรรถนะกำลังไฟฟ้าจริง

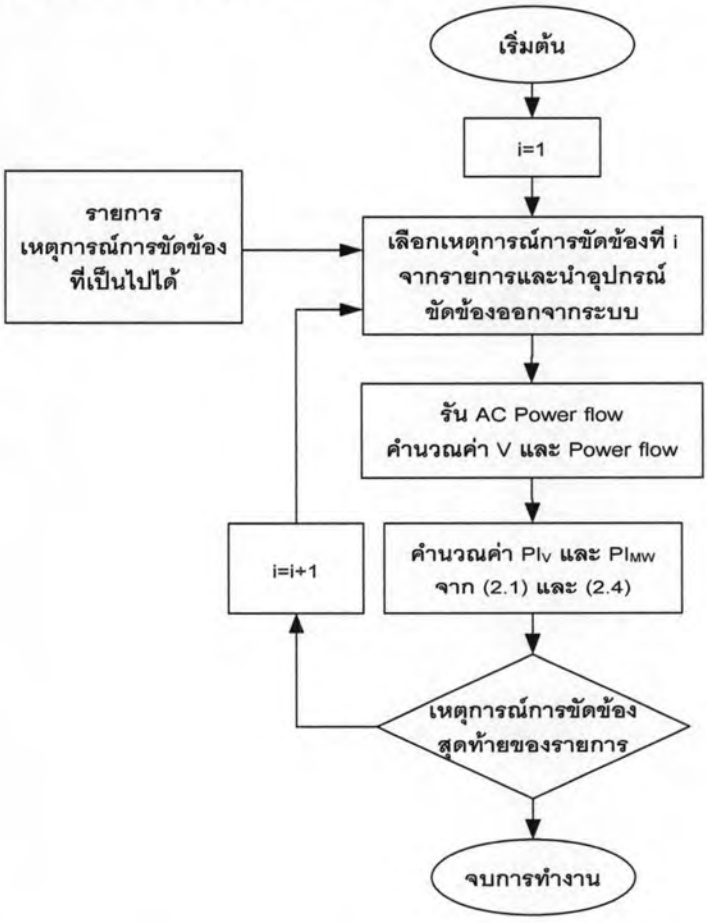
$$PI = \sum_{i=1}^{NB} \left(\frac{w_{vi}}{2m}\right) \left(\frac{\left(|V_i| - |V_i^{sp}|\right)}{\Delta V_i^{\lim}}\right)^{2m} + \sum_{l=1}^{NL} \left(\frac{w_l}{2n}\right) \left(\frac{P_l}{P_l^{Lim}}\right)^{2n} \tag{2.5}$$

วิธีการมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบคอนตินเจนซีสถานะไฟฟ้าอยู่ตัวที่ส่งผลต่อสมรรถนะระบบ คือ การทำเพาเวอร์โฟลว์ สำหรับเงื่อนไขสถานะอยู่ตัวตามการผิดพร่องของอุปกรณ์แต่ละชนิด วิธีที่นิยมหรือที่ใช้กันอยู่ คือ วิธี AC Power flow (ACPF)

2.4 การวิเคราะห์คอนตินเจนซีโดยใช้ AC Power Flow [1], [3]

AC Power flow ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาแต่ละกรณีคอนตินเจนซี เนื่องจากมีความแม่นยำในการหาคำตอบสูง ศูนย์กลางการควบคุมการปฏิบัติการส่วนใหญ่ใช้โปรแกรม AC power flow สำหรับการวิเคราะห์คอนตินเจนซีโดยใช้ Newton-Raphson หรือ Decoupled power flow

กระบวนการวิเคราะห์ความมั่นคงแบบ AC ที่ง่ายที่สุดประกอบด้วยการรัน AC Power flow สำหรับแต่ละการขัดข้องของเครื่องกำเนิด สายส่งและหม้อแปลงที่สามารถเกิดขึ้นได้ โดยสามารถกระทำได้ดังกระบวนการในรูปที่ 2.5 กระบวนการนี้จะกำหนดโหลดเกิน การละเมิดขีดจำกัดแรงดัน และคำนวณค่าดัชนีสมรรถนะได้อย่างแม่นยำ (อย่างน้อยที่สุดภายในความแม่นยำของโปรแกรม AC Power flow, ความแม่นยำของข้อมูลแบบจำลอง และความแม่นยำกับสิ่งที่เราได้รับจากเงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับ AC Power flow)



รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์คอนตินเจนซีโดยใช้ AC Power flow

วิธี AC Power flow ให้ความแม่นยำสูงแต่อาจจะใช้เวลามากหากระบบมีขนาดใหญ่หรือมีการวิเคราะห์คอนตินเจนซีจำนวนมาก