



## บทที่ 3

## การคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตและส่งกำลังไฟฟ้า

ด้วยวิธีการทางความน่าจะเป็น เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่แสดงถึงพฤติกรรมของส่วนประกอบในระบบผลิตไฟฟ้ากำลังและระบบส่งไฟฟ้ากำลัง (Transmission System) มาคำนวณร่วมกัน จะทำให้สามารถหาค่าความเชื่อถือได้ของระบบได้โดยค่าความเชื่อถือได้ของระบบนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน [1,7,8] คือ

1. ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของจุดโหลด (Load Point Indices)
2. ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบ (Overall System Indices)

ค่าทั้งสองส่วนนี้จะใช้พิจารณาถึงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าร่วมกัน โดยค่าชี้ความเชื่อถือได้ของจุดโหลดจะแสดงถึงความเพียงพอของพลังงานที่จะจ่ายให้กับโหลดที่แต่ละบัสในระบบ ส่วนค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบนั้น หมายถึง ความเพียงพอของพลังงานทั้งหมดในระบบที่จะจ่ายให้กับโหลดทั้งหมดของระบบ สำหรับการคำนวณนั้นจะต้องจัดการกับปัญหาหลัก 2 ประการคือ

1. สถานะจำนวนมากที่เกิดขึ้นเนื่องจากส่วนประกอบในระบบเกิดขัดข้อง
2. ผลกระทบต่อโหลดที่บัสต่าง ๆ เนื่องจากส่วนประกอบในระบบเกิดขัดข้อง

ปัญหาประการแรกนั้น เกี่ยวกับการจัดการจำนวนสถานะของเหตุการณ์ขัดข้องที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ งานทางทฤษฎีการคำนวณค่าความเพียงพอของระบบนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์ถึงทุก ๆ สถานะที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้กับระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งทำให้คอมพิวเตอร์ใช้เวลามาก สำหรับการแก้ไขปัญหานี้จะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.1 ส่วนปัญหาประการที่สองนั้น เมื่อดำเนินถึงผลของระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่มีต่อความเชื่อถือได้ของระบบ จะต้องคำนึงถึงความสามารถของระบบที่จะส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิตเพื่อส่งให้กับโหลด ณ. ที่ต่าง ๆ โดยมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดตามปกติ ค่ากำลังไฟฟ้าที่จะส่งให้กับโหลด ณ. จุดต่าง ๆ นั้นสามารถคำนวณได้จากทฤษฎีโหลดฟลักซ์ซึ่งให้รายละเอียดครบถ้วนกว่าทฤษฎีลีเนียร์กราฟฟลัวร์ แต่เนื่องจากการคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ต้องคำนึงถึงเหตุการณ์ขัดข้องจำนวนมาก ดังที่กล่าวถึงในปัญหาแรก การคำนวณของคอมพิวเตอร์โดยวิธีทฤษฎีโหลดฟลักซ์จะเสียเวลามากเมื่อเทียบกับทฤษฎีลีเนียร์กราฟฟลัวร์



ดังนั้นการศึกษาปัญหาประการที่สองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึง เลือกใช้ทฤษฎีลิเนียร์กราฟพลว์ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อ 3.2

### 3.1 จำนวนสถานะของระบบ [3,11]

จากแนวความคิดทางความน่าจะเป็นที่ใช้ในการพิจารณาความเชื่อถือได้ของระบบผลิตและส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งถือว่าแต่ละส่วนประกอบในระบบมีอยู่ 2 สถานะ คือ

"0" หมายถึง ส่วนประกอบนั้นอยู่ในสภาพพร้อมมูล

"1" หมายถึง ส่วนประกอบนั้นไม่อยู่ในสภาพพร้อมมูล

ค่าของโอกาสที่แต่ละส่วนประกอบอยู่ในสภาพไม่พร้อมมูลจะถูกกำหนดด้วยค่า FOR (Forced Outage Rate) ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1 ส่วนค่าของโอกาสที่แต่ละส่วนประกอบอยู่ในสภาพพร้อมมูลจะมีค่าเป็น  $1-\text{FOR}$  นั่นคือในระบบไฟฟ้าใด ๆ ที่มีส่วนประกอบอยู่  $m$  จำนวน เมื่อ  $m = 1, 2, \dots, E$  จะมีแบบจำลองสถานะที่เป็นไปได้จำนวน  $2^E$  สถานะ โดยแต่ละสถานะมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นดังสมการที่ 3.1

$$f(X_i) = \prod_{m=1}^E f(V_m) \quad (3.1)$$

โดย  $V_m$  คือ ส่วนประกอบที่  $m$  ของระบบ

$X_i$  คือ สถานะที่  $i$  ของระบบ

$f(V_m) = 1-\text{FOR}$  เมื่อ  $V_m$  อยู่ในสถานะ "1"

$f(V_m) = \text{FOR}$  เมื่อ  $V_m$  อยู่ในสถานะ "0"

สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ที่มีส่วนประกอบในระบบเป็นจำนวนมาก สถานะทั้งหมดจำนวน  $2^E$  จะมีค่าสูงมาก เช่นระบบที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 16 หน่วย สายส่ง 20 หน่วย จะมีจำนวนสถานะทั้งหมดเป็น  $2^{36}$  ซึ่งมีค่าสูงมากทำให้การคำนวณผลเนื่องจากทุกสถานะที่เกิดขึ้นโดยคอมพิวเตอร์นั้นต้องใช้เวลาานมากเกินไป การกำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง (Contingency Level) ของส่วนประกอบในระบบให้เหมาะสมกับขนาดของระบบนั้นจึงถูกนำมาพิจารณาใช้กับปัญหานี้ โดยการกำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องให้เหมาะสม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สมนั้นจะขึ้นกับขนาดของระบบ ความน่าจะเป็นและความถี่ที่เหตุการณ์นั้นจะเกิดขึ้น เวลาที่คอมพิวเตอร์ใช้คำนวณจะสูงขึ้นมากเมื่อเลือกระดับการเกิดเหตุการณ์ที่เกิดขัดข้องสูงขึ้น การกำหนดระดับการเกิดเหตุการณ์ขัดข้องในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้เกณฑ์การตัดออก (Cut Off Criteria) ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนดังนี้

1. เมื่อเหตุการณ์หรือสถานะของระบบมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นต่ำกว่า  $10^{-8}$  จะถูกตัดออกจากการพิจารณา
2. ระดับการเกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบจะกำหนดไว้ในตารางที่ 3.1 ส่วนเหตุการณ์หรือสถานะนอกจากที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 จะไม่นำมาพิจารณาเนื่องจากมีโอกาที่จะเกิดขึ้นต่ำมาก

ตารางที่ 3.1 แสดงระดับการเกิดเหตุขัดข้องของอุปกรณ์ในระบบที่ใช้ในการพิจารณา

อุปกรณ์ที่เกิดเหตุขัดข้อง	ระดับการเกิดเหตุขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ระดับการเกิดเหตุขัดข้องของสายส่ง
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	1-3	-
สายส่ง	-	1-2
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสายส่ง	1-3	1-2

### 3.2 ลีเนียร์กราฟฟลว์ ( Linear Graph Flow ) [6,9]

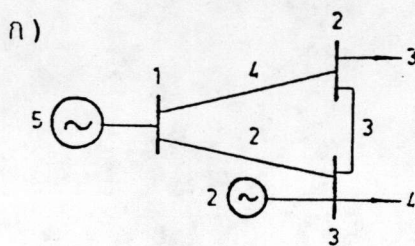
ตามปกติการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งจากแหล่งผลิตไปยังโหลดที่อยู่แต่ละแห่งของระบบนั้นจะใช้ทฤษฎีโหนดโพลาร์ แต่การคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ถึงแม้จะมีการกำหนดจำนวนสถานะของระบบดังกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 แล้วก็ตาม จำนวนสถานะที่ต้องพิจารณาก็ยังมีอยู่มาก การใช้ทฤษฎีโหนดโพลาร์จะทำให้การคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าเสียเวลามากเกินไป เพื่อแก้ไขปัญหานี้ทฤษฎีลีเนียร์กราฟฟลว์จึงถูกเลือกใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



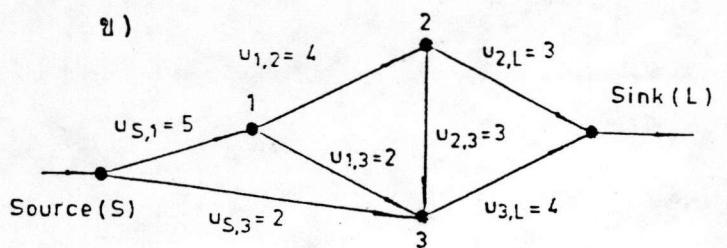
แทนเนื่องจากทฤษฎีลีนีเยร์กราฟฟลว์ มีข้อได้เปรียบ คือเวลาที่ใช้ในการคำนวณของคอมพิวเตอร์จะต่ำเมื่อเทียบกับไหลตรีพลว์ และ สะดวกต่อการใช้แก้ปัญหาของเหตุการณ์ที่เกิดขัดข้องบางเหตุการณ์ซึ่งเป็นปัญหาเมื่อใช้วิธีไหลตรีพลว์ เช่น เหตุการณ์ขัดข้องที่ก่อให้เกิดโครงสร้างของระบบเป็นแบบ Islanding ข้อได้เปรียบอีกข้อของทฤษฎีเนทเวอร์คฟลว์คือ ผลการคำนวณจะอยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขัดข้องซึ่งใช้ในการคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ แต่ข้อเสียคือทฤษฎีลีนีเยร์กราฟฟลว์ไม่ได้คำนึงถึงปัญหาเรื่องแรงดันที่บัสต่าง ๆ ในระบบ โดยยึดหลักเพียงกฎกระแสของเคอร์ชอฟเท่านั้น ดังนั้นจึงมีข้อบกพร่องเมื่อใช้กับระบบที่มีสายส่งขนาดยาว และไม่ได้ชดเชยกำลังรีแอคทีฟทำให้เกิดปัญหาแรงดันตก (Voltage Drop) แต่ข้อผิดพลาดนี้จะมีค่าน้อยเมื่อระบบนั้นมีสายส่งขนาดไม่ยาวนัก และมีการชดเชยด้วยกำลังรีแอคทีฟแล้ว การคำนวณค่าพลังงานที่ส่งไปยังไหลตรีโดยอาศัยทฤษฎีลีนีเยร์กราฟฟลว์ นี้จะใช้ขั้นตอนวิธีการหาลำโพงไฟฟ้ไหลในระบบสูงสุด (Maximum Flow Algorithm) ซึ่งมีรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.1

3.2.1 กำลังไฟฟ้ไหลสูงสุดในระบบ (Maximum Flow)

การคำนวณหาลำโพงไฟฟ้ไหลสูงสุดในระบบนั้นจะใช้ ลีนีเยร์กราฟฟลว์ไดอะแกรม (Linear Graph Flow Diagram) ซึ่งจะกำหนดด้วยบม (Node) จำนวน  $n$  บม และ ทิศทางของเส้นกราฟที่เชื่อมระหว่างบม  $i$  และ  $j$  รูปที่ 3.1 ก) แสดงระบบไฟฟ้ขนาด 3 บัส 3 สายส่ง ซึ่งขนาดของไหลตรี สายส่ง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ถูกกำหนดในหน่วย per unit รูปที่ 3.1 ข) แสดงกราฟของระบบซึ่งมีบมเพิ่มขึ้นจากรูป 3.1 ก) จำนวน 2 บม คือ S และ L โดย S คือบมของที่เป็นจุดรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ในระบบ และ L คือ บมที่เป็นจุดรวมของไหลตรี สำหรับกำลังไฟฟ้ที่ไหลระหว่างบม  $(i, j)$  จะถูกกำหนดเป็น  $x_{ij}$  และขนาดของสายส่งที่เชื่อมระหว่างบม  $i$  และ  $j$  จะถูกกำหนดเป็น  $U_{ij}$



รูปที่ 3.1 ก) ตัวอย่างระบบ 3 บัส



3.1 ข) กราฟ ระบบ 3 บัส



โดยขั้นตอนวิธีการในการหาค่าลึงไฟฟ้าไหลสูงสุดคือ กระบวนการคำนวณการเพิ่มของค่าลึงไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นกราฟจากแหล่งผลิตส่ง ไปยังโหนดจนกระทั่งค่าลึงไฟฟ้าที่ส่งผ่านเป็นค่าสูงสุด โดยขั้นตอนการคำนวณจะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

#### ขั้นที่ 1 ขั้นตอนวิธีการเขียนกำกับ (Labeling Algorithm)

คือ การเขียนกำกับ (Label) บม (Node) ที่มีเส้นกราฟเชื่อมต่อกับบมรวมแหล่งผลิตค่าลึงไฟฟ้า (S) ไปยังบมรวมของโหนด (L) โดยเส้นทางระหว่างบมเหล่านั้นยังสามารถเพิ่มค่าลึงไฟฟ้าส่งผ่านได้ เริ่มต้นขั้นตอนด้วยการเขียนกำกับบมของเส้นทางใด ๆ ซึ่งสามารถต่อจากบมแหล่งผลิตค่าลึงไฟฟ้าไปยังบมของโหนดได้ โดยบมรวมแหล่งผลิตจะเป็นบมแรกที่ถูกเขียนกำกับเสมอ กระบวนการนี้จะสิ้นสุดต่อเมื่อบมที่อยู่ติดกับบมแหล่งผลิตไม่สามารถเขียนกำกับได้ ซึ่งค่าลึงไฟฟ้าทั้งหมดที่ไหลเข้าสู่บมรวมโหนดจะเป็นค่าลึงไฟฟ้าไหลสูงสุด

#### ขั้นที่ 2 ขั้นตอนวิธีการเพิ่ม (Augmentation Algorithm)

คือการเพิ่มค่าลึงไฟฟ้าที่ไหลระหว่างบมรวมแหล่งผลิต และบมรวมโหนดซึ่งจะถูกกำหนดจนขั้นตอนการเขียนกำกับเมื่อเพิ่มค่าลึงไฟฟ้าที่ไหลระหว่างบมเสร็จเรียบร้อย บมที่ถูกเขียนกำกับไว้จะถูกลบออกหมด แล้วจึงย้อนกลับไปยังขั้นตอนการเขียนกำกับอีก

รายละเอียดของขั้นตอนทั้งสองมีดังนี้

#### - ขั้นตอนการเขียนกำกับ (Labeling Algorithm)

การเขียนกำกับบม ประกอบด้วยค่า  $i$  และ  $\Delta$  ซึ่งเขียนกำกับเป็น  $(i, \Delta)$  โดย  $i$  หมายถึงหมายเลขของบม ซึ่งบมที่จะถูกเขียนกำกับต่อเชื่อมอยู่และสามารถเพิ่มค่าลึงไฟฟ้าที่ไหลผ่านได้ ส่วน  $\Delta$  หมายถึงค่าค่าลึงไฟฟ้าที่สามารถส่งผ่านเพิ่มขึ้นได้จากบม  $i$  บมที่ถูกเขียนกำกับซึ่งจะเป็นส่วนที่ใช้ในการเพิ่มค่าลึงไฟฟ้าที่ส่งผ่านจากบมรวมแหล่งผลิตไปสู่บมรวมโหนด

ขั้นที่ 1 เลือกบม  $i$  (เริ่มต้นที่บม S และ เขียนกำกับเป็น  $S, \infty$ ) ที่ถูกเขียนกำหนดและยังไม่ได้ถูกตรวจสอบ (Unscanned) ซึ่งถูกเขียนกำกับเป็น  $(k, \Delta i)$  พร้อมทั้งเลือกบม  $j$  ทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับบม  $i$  เขียนกำกับบม  $j$  เหล่านี้เป็น  $(i, \Delta j)$  โดย  $\Delta j$  จะถูกคำนวณได้จากหลักเกณฑ์ 2 ประการดังนี้

ก) ถ้ากราฟระหว่าง  $i$  และ  $j$  มีทิศทางไปสู่  $j$  (เขียนเป็น  $(i, j)$ ) แล้ว

$$\Delta j = \min (\Delta i, U_{ij} - x_{ij}) \quad (3.2)$$



ข) ถ้ากราฟระหว่าง  $i$  และ  $j$  มีทิศทางไปสู่  $i$  (เขียนเป็น  $(j,i)$ ) แล้ว

$$\Delta_j = \min(\Delta_j, U_{j,i} - X_{j,i}) \tag{3.3}$$

เมื่อเสร็จขั้นตอนดังกล่าว จะถือว่า ปม  $j$  ถูกเขียนกำกับแล้วแต่ยังไม่ได้ถูกตรวจสอบ

ขั้นที่ 2 ทำขั้นที่ 1 ซ้ำจนกระทั่งปมโหนดถูกเขียนกำกับหรือไม่สามารถเขียนกำกับได้ ตัวอย่างการซ้ำขั้นตอนการเขียนกำกับจะมีดังนี้ จากกราฟรูปที่ 3.1 ข) เริ่มต้นโดยให้ กำลังไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละสายส่งมีค่าเป็นศูนย์ก่อน แล้วเขียนกำกับปม  $S$  เป็น  $(S, \infty)$  ปม 1 เป็นปมซึ่งต่ออยู่กับปม  $S$  และยังไม่ถูกเขียนกำกับ ดังนั้นเขียนกำกับปม 1 เป็น  $(S, \Delta_1)$  ค่า  $\Delta_1$  คำนวณได้จากสมการที่ 3.2

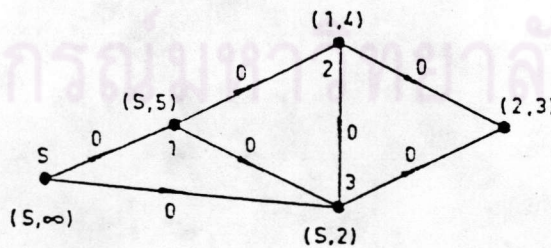
$$\text{โดย } \Delta_1 = \min(\infty, U_{S,1} - X_{S,1}) = \min(\infty, 5 - 0) = 5$$

ปมอื่นที่ต่ออยู่กับปม  $S$  คือ ปม 3 จะถูกเขียนกำหนดได้เป็น  $(S, \Delta_2)$  ณ จุดนี้ ปม  $S$  จะถือว่าถูกตรวจสอบ (Scanned) หมดแล้ว เนื่องจากไม่มีปมอื่นต่อกับปม  $S$  อีกแล้ว

ต่อไป ปมที่ถูกเขียนกำหนดและยังไม่ได้ถูกตรวจสอบต่อไปคือปม 1 ที่ ปม 2 ซึ่งต่ออยู่กับปม 1 และยังไม่ถูกเขียนกำกับ จะถูกเขียนกำกับเป็น  $(1, \Delta_2)$  ค่า  $\Delta_2$  คำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{โดย } \Delta_2 = \min(5, 4 - 0) = 4$$

จากนี้ ปม 2 จะถือว่าถูกตรวจสอบแล้วส่งผลให้ปม  $L$  ถูกเขียนกำหนดเป็น  $(2, 3)$  ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กราฟซึ่งถูกเขียนกำกับ

ด้วยขั้นตอนวิธีการเขียนกำหนดเช่นนี้ กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านกราฟจะถูกทราบได้ด้วยขั้นตอนวิธีการเพิ่ม (Augmentation Algorithm) ซึ่งใช้ขั้นตอนการเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นกราฟ (สายส่ง)

- ขั้นตอนการเพิ่ม (Augmentation Algorithm)

ปมสุดท้าย (L) ซึ่งถูกเขียนกำกับมาแล้วขั้นตอนวิธีการเขียนกำกับ (Labeling Algorithm) เป็น  $(i, \Delta_L)$  นั้น กำลังที่ส่งผ่านจากปมแหล่งผลิตไปยังปมรวมไหลซึ่งเพิ่มขึ้นจำนวน  $\Delta_L$  ได้ด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 เริ่มต้นจากปมไหลโดยให้  $j = L$

ขั้นที่ 2 ปม  $j$  ซึ่งถูกเขียนกำกับเป็น  $(i, \Delta_j)$  โดยกำลังไหลเพิ่มขึ้นระหว่างปม  $i$  และ  $j$  จะคำนวณได้จากหลักเกณฑ์ 2 ประการดังนี้

ก) ถ้ากราฟระหว่าง ปม  $i$  และ  $j$  มีทิศทางไปยัง  $j$  แล้ว

$$X_{ij} = X_{ij} + \Delta_L \quad (3.4)$$

ข) ถ้ากราฟระหว่างปม  $i$  และ  $j$  มีทิศทางไปยัง  $i$  แล้ว

$$X_{ji} = X_{ji} - \Delta_L \quad (3.5)$$

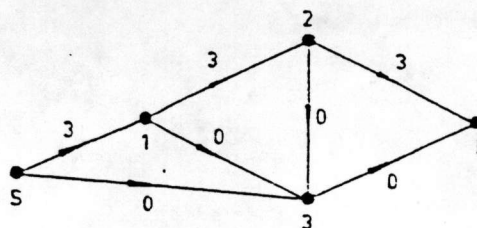
โดย  $X_{ij}$  คือกำลังที่ไหลจากปม  $i$  ไปปม  $j$

ขั้นที่ 3 ขั้นตอนนี้จะสิ้นสุดเมื่อปม  $i$  คือปมแหล่งผลิต ปมที่ถูกเขียนกำกับไว้จะถูกลบออกทั้งหมด จากนั้นขั้นตอนวิธีการเขียนกำกับจะถูกใช้อีก ในกรณีที่ปม  $i$  ยังไม่เข้าปมแหล่งผลิตที่กำหนด  $j = i$  แล้วย้อนกลับไปสู่ขั้นที่ 2

ตัวอย่างของขั้นตอนวิธีการเพิ่ม จะใช้ระบบในรูปที่ 3.1 เช่นเดิม โดยพิจารณาจากรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นกราฟที่ถูกเขียนกำกับแล้ว ปม L ซึ่งถูกเขียนกำกับเป็น  $(2, 3)$  ทำให้ค่า  $j = 2$  และ  $\Delta_L = 3$  กำลังที่ไหลเพิ่มขึ้นระหว่างปม 2 และ ปม L จะคำนวณได้ด้วยสมการที่ 3.4

$$\text{โดย } X_{2,L} = 0 + 3 = 3$$

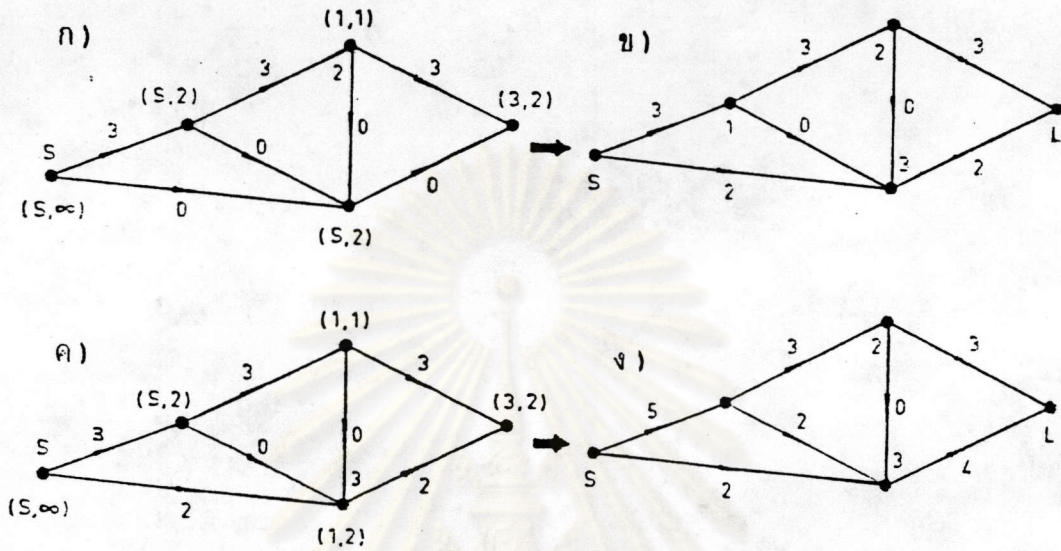
เนื่องจากปม 2 ยังไม่เข้าปม S ดังนั้นขั้นตอนวิธีการเพิ่มยังคงดำเนินต่อ ซึ่งจะได้ว่ากำลังที่ไหลเพิ่มระหว่างปม 1 และ 2 รวมทั้งปม S และ 1 จะมีค่าเท่ากับ 3 ดังแสดงได้รูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง



การหาค่ากำลังไฟฟ้าไหลสูงสุดจะได้จากการทำซ้ำจนกระทั่งทำการเขียนกำกับ หรือ เพิ่มกำลังไฟฟ้าไหลผ่านกราฟอีกไม่ได้แล้ว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ก ถึง 3.4 ง



รูปที่ 3.4 ก) และ ค) กราฟซึ่งถูกเขียนกำกับ  
 ข) และ ง) ผลลัพธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านเส้นกราฟ

จากรูปที่ 3.4 ง ไม่สามารถจะเขียนกำกับที่ปม L ซึ่งมี  $\Delta_L = 0$  ได้แล้ว ดังนั้นจึง เป็นการสิ้นสุดกระบวนการหาค่ากำลังไฟฟ้าไหลสูงสุด โดย ค่ากำลังไฟฟ้าไหลสูงสุด ( $F_{max}$ ) จะ มีค่าเท่ากับผลรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ไหลเข้าสู่ปม L ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F_{max} = \sum_i X_{i,L} \tag{3.6}$$

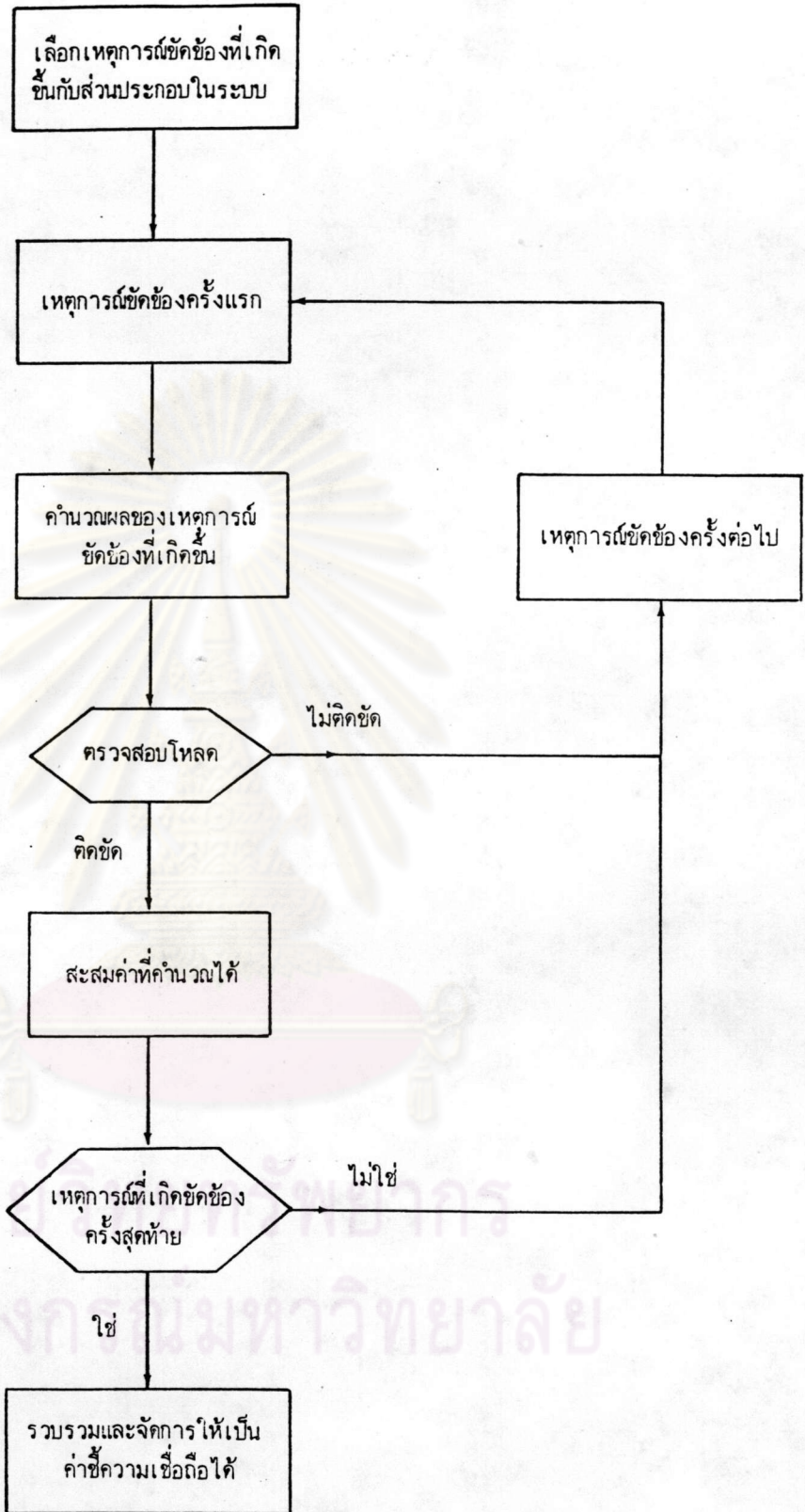
จากระบบ 3 บัส 3 สายส่งที่ยกเป็นตัวอย่างนี้จะได้

$$F_{max} = 3+4 = 7 \text{ ซึ่งมีค่าเท่ากับโหลด ดังนั้นกรณีนี้โหลดจะ ไม่มีการติดขัดเกิดขึ้น}$$

### 3.3 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบและโหลดบัส [1,7,8]

จากหลักการในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 จะสามารถนำมาคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ ของระบบและโหลดบัส โดยมีขั้นตอนการคำนวณแสดงไว้ในรูปที่ 3.5





รูปที่ 3.5 โพลีชาร์ตแสดงการคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบและโหลคบัล



เริ่มด้วยการหากำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละบัสได้รับขณะที่ยังไม่มีเหตุการณ์ขัดข้องเกิดขึ้นในระบบ จากนั้นจึงเริ่มการเลือกเหตุการณ์ขัดข้องโดยมีหลักการในการเลือกสถานะที่เกิดขึ้นตามหัวข้อที่ 3.1 เช่น ในระดับที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องหนึ่งเกิดเสียหายทำให้จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบที่ทำงานได้เปลี่ยนแปลง ตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงคำนวณผลของการขัดข้องนี้โดยวิธีวิธีเนียร์กราฟพล์ ซึ่งกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 เมื่อเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในระบบถูกเลือกมาตรวจสอบจนหมดก็จะสามารถสร้างตารางกำลังผลิตไฟฟ้าที่เกิดขัดข้อง ( Probability Capacity Outage Table ) ซึ่งใช้คำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบและโหลดบัสได้

โดยค่าชี้พื้นฐานได้แก่ความน่าจะเป็นและความถี่ที่จะเกิดความล้มเหลวของโหลดแต่ละบัสโดยค่าชี้อื่น ๆ จะคำนวณได้จากค่าพื้นฐานทั้งสองนี้ ในกรณีที่ค่าชี้เหล่านี้คำนวณจากโหลดสูงสุดเพียงระดับเดียว ซึ่งใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และใช้ช่วงเวลาเท่ากับ 1 ปี ค่าชี้เหล่านี้จะถูกเรียกเป็น "ค่าประจำปี" (Annualised)

### 3.3.1 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ ณ จุดโหลด (Load Point Indices)

ค่าชี้ประจำปี ณ จุดโหลดแต่ละบัสของระบบสามารถคำนวณได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

#### 3.3.1.1 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลว (Probability of Failure)

$$Q_k = \sum P_j P_{kj} \quad (3.7)$$

#### 3.3.1.2 ค่าความถี่ที่จะเกิดความล้มเหลว (Frequency of Failure)

$$F_k = \sum F_j P_{kj} \quad (3.8)$$

เมื่อ  $j$  คือ สถานะที่เกิดเหตุการณ์ขัดข้อง

$P_j$  คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดของสถานะที่  $j$

$F_j$  คือ ความถี่ที่จะเกิดของสถานะที่  $j$

$P_{kj}$  คือ ความน่าจะเป็นของโหลดที่บัส  $k$  ซึ่งมีค่าเกินกว่าโหลดสูงสุดที่บัส  $k$  ที่จะสามารถได้รับจากสถานะที่  $i$



### 3.3.1.3 ค่าโหลดที่คาดว่าจะลดลง (Expected Load Curtailed (MW))

$$ELC \text{ (MW/year)} = \sum_{j \in X} L_{kj} F_j \quad (3.9)$$

### 3.3.1.4 ค่าพลังงานที่คาดว่าจะลดลง (Expected Energy Not Supplied)

$$EENS \text{ (MWh/year)} = \sum_{j \in X} L_{kj} P_j * 8760 \quad (3.10)$$

เมื่อ  $j \in X$  หมายถึง ผลจากเหตุการณ์ขัดข้องที่  $j$  ซึ่งทำให้โหลดที่บัส  $k$  ได้รับความเสียหายเนื่องจากการจ่ายพลังงานลดลงเพื่อช้แก้ไขปัญหการเกิด overload ของสายส่ง

$L_{kj}$  หมายถึง ค่าลดลงของโหลด (load curtailment) ที่บัส  $k$  เพื่อที่จะช่วยแก้ไขปัญหการเกิด overload ของสายส่งหรือค่าโหลดที่ไม่ได้รับการจ่ายเนื่องจากเกิด isolation ที่บัส  $k$  อันเกิดจากเหตุการณ์ขัดข้องที่  $j$

### 3.3.1.5 ช่วงเวลาที่คาดว่าจะโหลดจะได้รับพลังงานไม่เพียงพอ (Expected Duration of Load Curtailment)

$$EDLC \text{ (hours)} = \sum_{j \in X} P_j * 8760 \quad (3.10)$$

### 3.3.2 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบ

ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบที่ทำการคำนวณประกอบด้วย

#### 3.3.2.1 Bulk power interruption Index (MW/MW year)

$$= \frac{\sum_k \sum_{j \in X} L_{kj} F_j}{L_s} \quad (3.11)$$

เมื่อ  $L_s$  คือ โหลดทั้งหมดของระบบ



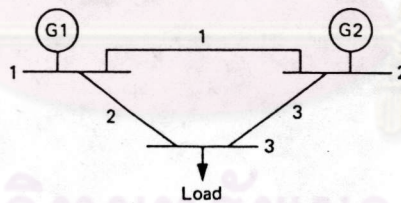
3.3.2.2 Bulk power-supply average MW curtailment/disturbance  
(MW/disturbance)

$$= \frac{\sum_k \sum_{j \in X} L_{kj} F_j}{\sum_{j \in X} F_j} \quad (3.12)$$

3.3.2.3 Bulk power/energy curtailment index (MWh/MW-year)

$$= \frac{\sum_k \sum_{j \in X} 60 L_{kj} D_{kj} F_j}{L_s} \quad (3.13)$$

การนำเอาหลักการทางความน่าจะเป็น และหลักการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 ถึง 3.3 มาใช้คำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ จะแสดงได้ด้วยระบบง่าย ๆ ขนาด 3 บัส 3 สายส่ง ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.6 และ ข้อมูลแสดงไว้นาดารางที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.6 ระบบ 3 บัส

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หมายเลข	จำนวน	ขนาด	ค่า
บัส	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	(MW)	FOR
1	4	20	0.01
2	2	30	0.05



### ตารางที่ 3.3 ข้อมูลสายส่ง

หมายเลข สายส่ง	เชื่อมระหว่าง		ขนาด (MW)	$\lambda$ (ครั้ง/ปี)	r (ชั่วโมง)
	บัส p	บัส q			
1	1	2	115	4	8
2	1	3	115	5	8
3	2	3	115	3	10

จากค่า  $\mu = 1/r$  และ  $FOR = \frac{\lambda}{\mu + \lambda}$

ดังนั้น ค่า FOR ของสายส่ง เส้นที่ 1 = 0.003639

ค่า FOR ของสายส่ง เส้นที่ 2 = 0.004545

ค่า FOR ของสายส่ง เส้นที่ 3 = 0.003413

จากค่า FOR ซึ่งแสดงถึงความไม่พร้อมมูลของส่วนประกอบในระบบ จะนำมาพิจารณาถึงโอกาส (Probability) ที่จะเกิดเหตุขัดข้องต่าง ๆ ขึ้นกับระบบได้

เมื่อพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ บัส 1 จำนวน 1 เครื่องเกิดขัดข้องซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นเท่ากับ 0.034623 โดยทฤษฎีลิเนียร์กราฟพบว่าเหตุการณ์ดังกล่าวไม่ทำให้โหลดได้รับการจ่ายพลังงานลดลง แต่ในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ บัส 2 จำนวน 1 เครื่องเกิดขัดข้องซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นเท่ากับ 0.090202 พบว่าเหตุการณ์ดังกล่าวทำให้โหลดได้รับการจ่ายกำลังไฟฟ้าลดลงเป็นจำนวน 5 MW

ด้วยหลักการดังกล่าวเมื่อทำการเลือกเหตุขัดข้องต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นกับระบบ พร้อมทั้งคำนวณค่า โอกาสที่จะเกิดขึ้นของแต่ละเหตุการณ์เหล่านั้น ก็จะสามารถสร้างตารางที่แสดงถึงโอกาสที่โหลดแต่ละบัสจะได้รับพลังงานไม่เพียงพอ ได้ดังตารางที่ 3.4 ถึง 3.7 ซึ่งแสดงค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบและโหลดบัส โดยช่วงระยะเวลาที่ทำการพิจารณา คือ 1 ปี

จากตารางที่ 3.4 พบว่าโอกาสที่บัส 3 จะได้รับกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอมีค่า 0.09799544 ตารางที่ 3.5 แสดงถึง ความถี่ที่บัส 3 จะได้รับกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอมีค่า 13.2615474 ครั้งต่อปี ส่วนตารางที่ 3.6 แสดงถึงค่าชี้อื่น ๆ ที่บัส 3 ซึ่งจะเกิดขึ้นในระยะ 1 ปี เช่นกัน ตารางที่ 3.7 แสดงถึงค่าชี้ต่าง ๆ ของระบบซึ่งรวมทั้งระบบผลิตและส่งกำลังไฟฟ้า



ตารางที่ 3.4 ค่าโอกาสของโหลดที่บัส 3 จะได้รับพลังงานไม่เพียงพอ

STATE	AVAILABLE CAPACITY(MW)	PROBABILITY P(Bj)	P1j	FAILURE PROBABILITY
1	115.00	0.90192568	0.0	0.00000000
2	110.00	0.09125257	1.0	0.09125257
3	100.00	0.00053070	1.0	0.00053070
4	90.00	0.00368697	1.0	0.00368697
5	80.00	0.00241679	1.0	0.00241679
6	70.00	0.00005586	1.0	0.00005586
7	60.00	0.00003560	1.0	0.00003560
8	30.00	0.00000150	1.0	0.00000150
9	0.00	0.00001543	1.0	0.00001543

FAILURE PROBABILITY OF BUS NO.3 = 0.09799544

ตารางที่ 3.5 ค่าความถี่ของโหลดที่บัส 3 จะได้รับพลังงานไม่เพียงพอ

STATE	AVAILABLE CAPACITY(MW)	FREQUENCY (occ/yr)	P1j	FAILURE FREQUENCY
1	115.00	37.5386334	0.0	0.00000000
2	110.00	11.6634215	1.0	11.6634215
3	100.00	0.1240856	1.0	0.1240856
4	90.00	0.8325727	1.0	0.8325727
5	80.00	0.5479320	1.0	0.5479320
6	70.00	0.0180893	1.0	0.0180893
7	60.00	0.0410987	1.0	0.0410987
8	30.00	0.0034561	1.0	0.0034561
9	0.00	0.0308915	1.0	0.0308915

FAILURE FREQUENCY OF BUS NO.3 = 13.2615474



ตารางที่ 3.6 ค่า ELC, EENS และ EDLC ของโหลดที่บัส 3

STATE	AVAILABLE CAPACITY(MW)	ELC (MW)	EENS (MWh)	ELDC (hours)
1	115.00	0.00	0.00	0.00
2	110.00	58.32	3996.86	799.37
3	100.00	1.86	69.73	4.65
4	90.00	20.81	807.45	32.30
5	80.00	19.18	740.99	21.17
6	70.00	0.81	22.02	0.49
7	60.00	2.26	17.15	0.31
8	30.00	0.29	1.12	0.01
9	0.00	3.55	15.54	0.14

EXPECTED LOAD CURTAILED (ELC) = 107.09 MW  
 EXPECTED ENERGY NOT SUPPLIED (EENS) = 5670.87 MWh  
 EXPECTED DURATION OF LOAD CURTAILMENT (EDLC) = 858.44 hours

ตารางที่ 3.7 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบ

\*\*\*\*\*  
 ANNUALIZED SYSTEM INDICES  
 =====  
 BULK POWER INTERRUPTION INDEX = 0.93 MW/MW-yr  
 BULK POWER SUPPLY AVERAGE MW CURTAILMENT/DISTURBANCE = 8.08 MW  
 BULK POWER ENERGY CURTAILMENT INDEX = 49.31 MWh/MW-yr  
 \*\*\*\*\*