หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ และตัวอย่างการวิเคราะห์ระบบ

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการหาค่าความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังแบบผสมด้วยวิธีระบุเหตุขัดข้องแล้ว ผู้เขียนได้พัฒนาโปรแกรคอมพิวเตอร์ขึ้นเพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังแบบผสมตามวิธีการที่ได้ศึกษามา โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ผู้เขียนได้พัฒนาขึ้นมีชื่อว่าโปรแกรม *COMRE* (**Com**posite System **Re**liability **E**valuation) ซึ่งพัฒนาด้วยโปรแกรมคอมพายเลอร์เทอร์โบซี เวอร์ชั่น 2 (Turbo C Version 2) สามารถใช้ได้กับไมโครคอมพิวเตอร์ขนาด 16 บิต,32 บิต ของไอบีเอ็ม (*IBM*) หรือเครื่องเทียบเท่า (*IBM* Compatible) ซึ่งทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการดอส (DOS) โปรแกรม *COMRE* สามารถคำนวณได้ทั้งค่าดัชนีบัสและค่าดัชนีระบบ

คุณลักษณะทั่วไปของโปรแกรม *COMRE*

1.เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาซี โดยใช้คอมพายเลอร์เทอร์โบซี เวอร์ชั่น 2.0 เมื่อทำการคอมพายล์และลิงค์โปรแกรมเรียบร้อยแล้ว จะได้ไฟล์โปรแกรมชื่อ *COMRE*

2.สามารถใช้ได้กับไมโครคอมพิวเตอร์ขนาด 16 บิต,32 บิต ของไอบีเอ็ม (*IBM*) หรือเครื่องเทียบเท่า (*IBM* Compatible) ภายใต้ระบบปฏิบัติการดอส (DOS)

3.สามารถอ่านข้อมูลของระบบไฟฟ้าได้โดยการป้อนข้อมูลทางแป้นพิมพ์ หรืออ่านข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลซึ่งถูกบันทึกอยู่ในแผ่นดิสก์ (Diskette) และสามารถบันทึกข้อมูลของระบบไฟฟ้าไว้ในแผ่นดิสก์เพื่อนำมาใช้งานได้ใหม่ในภายหลัง

4.การจองหน่วยความจำของตัวแปร จะใช้วิธีจองแบบพลวัต (Dynamic Allocation) ทำให้ขนาดของระบบไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ ขึ้นอยู่กับหน่วยความจำของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้

5.โปรแกรม *COMRE* จะพิจารณาเลือกเหตุขัดข้องเพื่อทดสอบบางเหตุขัดข้องเท่านั้น โดยจะพิจารณาการขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจนถึงอันดับที่ 3 , พิจารณาการขัดข้องของสายส่งจนถึงอันดับที่ 2 ส่วนการขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมกับสายส่ง จะพิจารณาจนถึงอันดับที่ 3 โดยที่ในแต่ละเหตุขัดข้องที่พิจารณานั้น จะมีการขัดข้องของสายส่งได้ไม่เกิน 2 สายส่ง นอกจากนี้จะไม่พิจารณาเหตุขัดข้องที่มีความน่าจะเป็นของการเกิดขึ้นต่ำกว่า 10^{-8} หรือเหตุขัดข้องที่มีความถี่ของการเกิดขึ้นต่ำกว่า 10^{-6}

6.โปรแกรม *COMRE* จะใช้วิธีวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบฟาสดีคัปเปิล (Fast Decoupled Load Flow) สำหรับการทดสอบเหตุขัดข้อง ส่วนเหตุขัดข้องที่การวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบฟาสดีคัปเปิลไม่สามารถหาคำตอบได้ จะเปลี่ยนมาใช้การวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบดี.ซี. (D.C. Load Flow) แทน

7.โปรแกรม *COMRE* จะใช้วิธีการจัดสรรกำลังผลิตใหม่และการตัดโหลด (Generation Rescheduling and Load Shedding) เพื่อระงับปัญหาสายส่งมีโหลดเกิน ก่อนที่จะทำการสะสมค่าดัชนีต่อไป

8. ค่าดัชนีความเชื่อถือได้จะประกอบไปด้วยค่าดัชนีบัสและค่าดัชนีระบบ ดังต่อไปนี้

ค่าดัชนีบัส

- Probability of Failure (Q_K)
- Expected Frequency of Failure (F_K)
- Expected Number of Voltage Violation (*ENVV*)
- Expected Number of Load Curtailments (*ENLC*)
- Expected Load Curtailed (*ELC*)
- Expected Energy not Supplied (*EENS*)
- Expected Duration of Load Curtailment (*EDLC*)
- Maximum Load Curtailed (*MLC*)
- Maximum Energy Curtailed (*MEC*)
- Maximum Duration of Load Curtailment (*MDLC*)
- Average Load Curtailed (*ALC*)
- Average Energy not Supplied (*AENS*)
- Average Duration of Load Curtailment (*ADLC*)

ค่าดัชนีระบบ

- Bulk Power Interruption Index (*BPII*)
- Bulk Power Supply Average MW Curtailment/Disturbance (*BPAC*)
- Bulk Power Energy Curtailment Index (*BPECI*)
- Modified Bulk Power Energy Curtailment Index (*MPECI*)
- Severity Index (*SI*)

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่อำนวยความสะดวกทั่วไป

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่อำนวยความสะดวกทั่วไป เก็บอยู่ในไฟล์ชื่อ *TOOL.C* และเก็บการประกาศไว้ในไฟล์ *TOOL.H* ไฟล์ *TOOL.C* ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆดังนี้

-transp()	ทำหน้าที่ในการหาทรานสโพสของเมตริกซ์
-mul()	ทำหน้าที่ในการคูณเมตริกซ์
-inverse()	ทำหน้าที่ในการหาอินเวอร์สของเมตริกซ์
-add()	ทำหน้าที่ในการบวกเมตริกซ์
-inv()	ทำหน้าที่ในการหาอินเวอร์สของเลขเชิงซ้อน
-com()	ทำหน้าที่ในการหาค่า Combination ของตัวเลข
-getline()	ทำหน้าที่ในการอ่านข้อความ (ใช้เมื่ออ่านชื่อของระบบไฟฟ้า)
-waittogo()	ทำหน้าที่ในหยุดรอการกดคีย์ใด ๆ
-title()	ทำหน้าที่แสดงหน้าจอขณะเริ่มโปรแกรม
-showrun()	ทำหน้าที่แสดงหน้าจอขณะที่โปรแกรมทำงานทดสอบเหตุขัดข้องต่าง ๆ

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับข้อมูลของระบบไฟฟ้า

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับข้อมูลของระบบไฟฟ้า ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆซึ่งทำหน้าที่ในการอ่านข้อมูล แก้ไขและเก็บบันทึกข้อมูลของระบบไฟฟ้า โดยจะเก็บฟังก์ชั่นต่าง ๆเหล่านี้ไว้ในไฟล์ *DATA.C* และเก็บการประกาศไว้ในไฟล์ *DATA.H* ไฟล์ *DATA.C* ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆดังนี้

-fromdisk()	ทำหน้าที่อ่านข้อมูลของระบบไฟฟ้าจากไฟล์ข้อมูลที่บันทึกอยู่ในดิสเกตต์
-fromkey()	ทำหน้าที่อ่านข้อมูลของระบบไฟฟ้าจากคีย์บอร์ด

-savedisk()	ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลของระบบไฟฟ้าลงในดิสเกตต์
-menu()	ทำหน้าที่แสดงเมนูหลัก เพื่อให้ผู้ใช้เลือกแสดงข้อมูล เปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือว่าคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้
-showdata()	ทำหน้าที่แสดงข้อมูลต่าง ๆของระบบไฟฟ้าออกทางจอภาพ
-correctdata()	ทำหน้าที่แก้ไขข้อมูลต่าง ๆของระบบไฟฟ้า
-readbus()	ทำหน้าที่อ่านข้อมูลของบัส
-readline()	ทำหน้าที่อ่านข้อมูลของสายส่ง
-readgen()	ทำหน้าที่อ่านข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
-readshunt()	ทำหน้าที่อ่านข้อมูลขององค์ประกอบชันต์
-readcommon()	ทำหน้าที่อ่านข้อมูลของการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่สร้างเมตริกซ์ต่าง ๆ

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่สร้างเมตริกซ์ต่าง ๆ ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นซึ่งทำหน้าที่ในการสร้างเมตริกซ์ $[Y_{bus}]$,$[B']$,$[B'']$,$[B''']$ และดัดแปลงเมตริกซ์ $[Y_{bus}]$ ในกรณีที่มีสายส่งเกิดขัดข้องโดยจะเก็บฟังก์ชั่นเหล่านี้ไว้ในไฟล์ *YBUS.C* และเก็บการประกาศไว้ในไฟล์ *YBUS.H* ไฟล์ *YBUS.C* ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆดังนี้

-initYbus()	ทำหน้าที่ตั้งค่าสมาชิกของเมตริกซ์ $[Y_{bus}]$ ให้มีค่าเป็นศูนย์
-formYbus()	ทำหน้าที่สร้างเมตริกซ์ $[Y_{bus}]$ ในกรณีปกติ (Base Case)
-formYbus2()	ทำหน้าที่สร้างเมตริกซ์ $[Y_{bus}]$ ในกรณีเกิดการแยกตัวของบัส (Bus Isolation)
-findB()	ทำหน้าที่สร้างเมตริกซ์ $[B']$
-findB2()	ทำหน้าที่สร้างเมตริกซ์ $[B'']$
-findB3()	ทำหน้าที่สร้างเมตริกซ์ $[B''']$
-findMYbus()	ทำหน้าที่ดัดแปลงเมตริกซ์ $[Y_{bus}]$ เมื่อมีสายส่งบางสายส่งเกิดขัดข้องหลุดออกจากระบบ

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่เลือกเหตุขัดข้อง

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่เลือกเหตุขัดข้อง ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นซึ่งทำหน้าที่ในการเลือกเหตุขัดข้องอย่างเป็นระบบเพื่อนำไปทดสอบโดยการวิเคราะห์โหลดโฟลว์ต่อไป โปรแกรมส่วนนี้จะเก็บอยู่ในไฟล์ *CONTING.C* และเก็บการประกาศไว้ในไฟล์ *CONTING.H* ไฟล์ *CONTING.C* ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆดังนี้

-*conting*()	ทำหน้าที่ในการเลือกสถานะเหตุขัดข้องเพื่อนำมาทดสอบ
-*select*()	ทำหน้าที่เลือกหมายเลขของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งจะถูกสมมติให้เกิดขัดข้อง

รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการเลือกเหตุขัดข้อง

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่วิเคราะห์โหลดโฟลว์

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่วิเคราะห์โหลดโฟลว์ ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นซึ่งทำหน้าที่ในการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบฟาสดีคัปเปิลและการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบ ดี.ซี โปรแกรมส่วนนี้จะเก็บอยู่ในไฟล์ *LOADFLOW.C* และเก็บการประกาศไว้ในไฟล์ *LOADFLOW.H* ไฟล์ *LOADFLOW.C* ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆดังนี้

-*loadflow*()	ทำหน้าที่หลักในการวิเคราะห์โหลดโฟลว์
-*findang*()	ทำหน้าที่เปลี่ยนค่ามุมเฟสของแรงดันบัส ตามค่า [$\Delta\delta$] ที่คำนวณได้
-*findmag*()	ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าขนาดของแรงดันบัส ตามค่า [ΔV] ที่คำนวณได้
-*checkP*()	ทำหน้าที่ตรวจสอบว่าค่า [ΔP] ที่ได้ มีค่าต่ำจนสามารถยอมรับได้หรือไม่

-checkQ()	ทำหน้าที่ตรวจสอบว่าค่า [ΔQ] ที่ได้ มีค่าต่ำจนสามารถยอมรับได้หรือไม่
-findP()	ทำหน้าที่คำนวณหาค่ากำลังจริง P ที่แต่ละบัส
-findQ()	ทำหน้าที่คำนวณหาค่ากำลังรีแอกทีฟ Q ที่แต่ละบัส
-copydata()	ทำหน้าที่คัดลอกข้อมูล
-findresult()	ทำหน้าที่คำนวณค่ากำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟของแต่ละบัสหลังจากการวิเคราะห์โหลดโฟลว์สิ้นสุดลง
-moddelP()	ทำหน้าที่ปรับปรุงค่า [ΔP] ให้ถูกต้อง
-moddelQ()	ทำหน้าที่ปรับปรุงค่า [ΔQ] ให้ถูกต้อง
-dclf()	ทำหน้าที่วิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบ ดี.ซี. ในกรณีที่การวิเคราะห์แบบ เอ.ซี.ไม่สามารถหาคำตอบได้ (Divergence)

สำหรับขั้นตอนของการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบฟาสดีคัปเปิลและการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบ ดี.ซี จะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 ตามลำดับ

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดสรรกำลังผลิตใหม่และตัดโหลด

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการจัดสรรกำลังผลิตใหม่และตัดโหลด ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นซึ่งทำหน้าที่ในการจัดสรรกำลังผลิตใหม่และการตัดโหลด เพื่อระงับปัญหาสายส่งมีโหลดเกิน โปรแกรมส่วนนี้จะเก็บอยู่ในไฟล์ *GRLS.C* และเก็บการประกาศไว้ในไฟล์ *GRLS.H* ไฟล์ *GRLS.C* ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆดังนี้

-grls()	ทำหน้าที่หลักในการจัดสรรกำลังผลิตใหม่และการตัดโหลดเพื่อระงับปัญหาสายส่งมีโหลดเกิน
-linecurrent()	ทำหน้าที่เก็บรายละเอียดของสายส่งที่มีโหลดเกิน และสร้างเมตริกซ์ [A]และเมตริกซ์ [A^{-1}]

-*findlinecurrent*() ทำหน้าที่คำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละสายส่ง พร้อมทั้งตรวจสอบการเกิดโหลดเกินของสายส่งด้วย

-*directcut*() ทำหน้าที่ในการตัดโหลด ในกรณีที่ใช้การวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบ ดี.ซี.แล้วพบว่าสายส่งบางสายส่งมีโหลดเกิน

-*findA*() ทำหน้าที่สร้างเมตริกซ์ [A]

-*pseudoinv* ทำหน้าที่สร้างเมตริกซ์ [A^{-1}]

-*updatebusdata*() ทำหน้าที่ปรับปรุงค่ากำลังผลิต,โหลด และแรงดันบัสที่แต่ละบัส

-*findincP*() ทำหน้าที่คำนวณหาเวกเตอร์ [ΔP]

-*findincQ*() ทำหน้าที่คำนวณหาเวกเตอร์ [ΔQ]

-*findincang*() ทำหน้าที่คำนวณหาเวกเตอร์ [$\Delta\delta$]

-*findincmag*() ทำหน้าที่คำนวณหาเวกเตอร์ [ΔV]

รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการสรรกำลังผลิตใหม่และการตัดโหลด

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่ทดสอบเหตุขัดข้อง

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการทดสอบเหตุขัดข้อง ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นต่างๆ ซึ่งทำหน้าที่ในการทดสอบเหตุขัดข้องที่ได้เลือกขึ้นมา โปรแกรมส่วนนี้จะเก็บอยู่ในไฟล์ *TEST.C* และเก็บการประกาศไว้ในไฟล์ *TEST.H* ไฟล์ *TEST.C* ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆดังนี้

-*test*() ทำหน้าที่หลักในการทดสอบเหตุขัดข้องต่าง ๆที่เลือกขึ้นมาทดสอบ

-*findnewgout*() ทำหน้าที่หาหมายเลขของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ขัดข้อง

-*modgbus*() ทำหน้าที่ปรับปรุงข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเนื่องจากมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องขัดข้อง

-remodgbus()	ทำหน้าที่ปรับปรุงข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากลับคืนเดิม
-findnewline()	ทำหน้าที่ปรับปรุงข้อมูลของสายส่งเนื่องจากมีสายส่งบางสายส่งขัดข้อง
-findnlout()	ทำหน้าที่หาจำนวนสายส่งที่ขัดข้อง
-testiso()	ทำหน้าที่ตรวจสอบการแยกตัวออกของบัส (Bus Isolation)
-moddata()	ทำหน้าที่ปรับปรุงข้อมูลต่าง ๆของระบบไฟฟ้าในกรณีที่เกิดการแยกตัวออกของบัส (Bus Isolation)
-testisland()	ทำหน้าที่ตรวจสอบการแยกของระบบ (Network Islanding) หรือไม่
-runisland()	ทำหน้าที่ทดสอบระบบย่อยซึ่งเกิดจากการแยกของระบบ (Network Islanding)

รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการทดสอบเหตุขัดข้อง

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่สะสมค่าดัชนีบัสและการคำนวณค่าดัชนีระบบ

ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการคำนวณค่าดัชนี ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นซึ่งทำหน้าที่สะสมค่าดัชนีบัสและคำนวณค่าดัชนีระบบ โดยจะเก็บฟังก์ชั่นต่าง ๆเหล่านี้ไว้ในไฟล์ *INDEX.C* และเก็บการประกาศไว้ในไฟล์ *INDEX.H* ไฟล์ *INDEX.C* ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นต่าง ๆดังนี้

-comid( )	ทำหน้าที่คำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของบัส
-comid2()	ทำหน้าที่คำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของบัส ในกรณีที่เกิดการแยกตัวของบัส (Bus Isolation)
-initbindex()	ทำหน้าที่ตั้งค่าดัชนีบัสของแต่ละบัสให้มีค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์
-initmindex()	ทำหน้าที่ตั้งค่าดัชนีบัสสูงสุดของแต่ละบัสให้มีค่าเริ่มต้นเป็นศูนย์

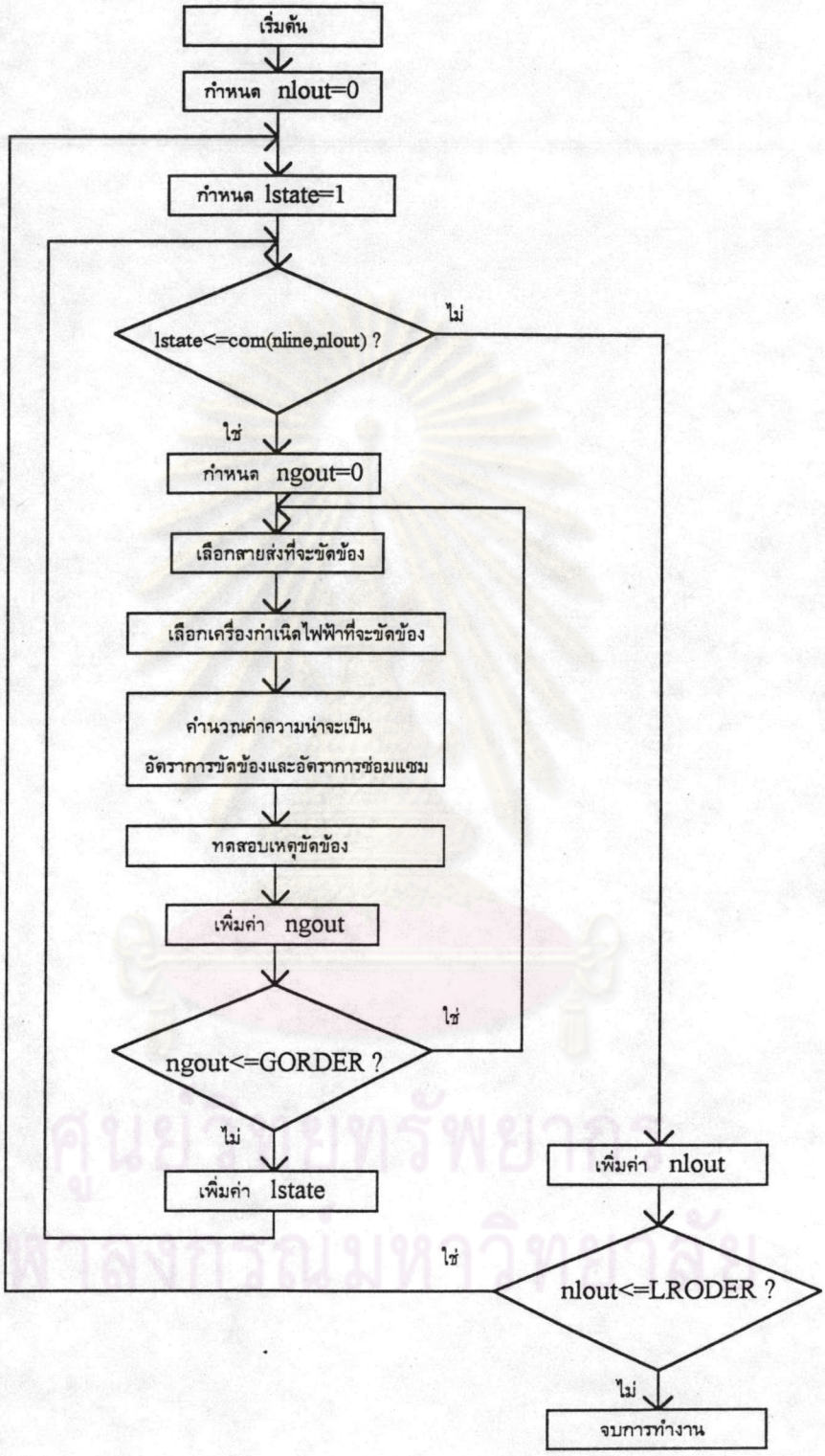
-*busindex*()	ทำหน้าที่แสดงค่าดัชนีบัสของแต่ละบัสออกทางจอภาพ
-*mlcindex*()	ทำหน้าที่แสดงค่าดัชนี *MLC* ของแต่ละบัสออกทางจอภาพ
-*mecindex*()	ทำหน้าที่แสดงค่าดัชนี *MEL* ของแต่ละบัสออกทางจอภาพ
-*mdlcindex*()	ทำหน้าที่แสดงค่าดัชนี *MDLC* ของแต่ละบัสออกทางจอภาพ
-*avgindex*()	ทำหน้าที่แสดงค่าดัชนีเฉลี่ยของแต่ละบัสออกทางจอภาพ
-*sysindex*()	ทำหน้าที่แสดงค่าดัชนีระบบออกทางจอภาพ

ส่วนของโปรแกรมหลัก

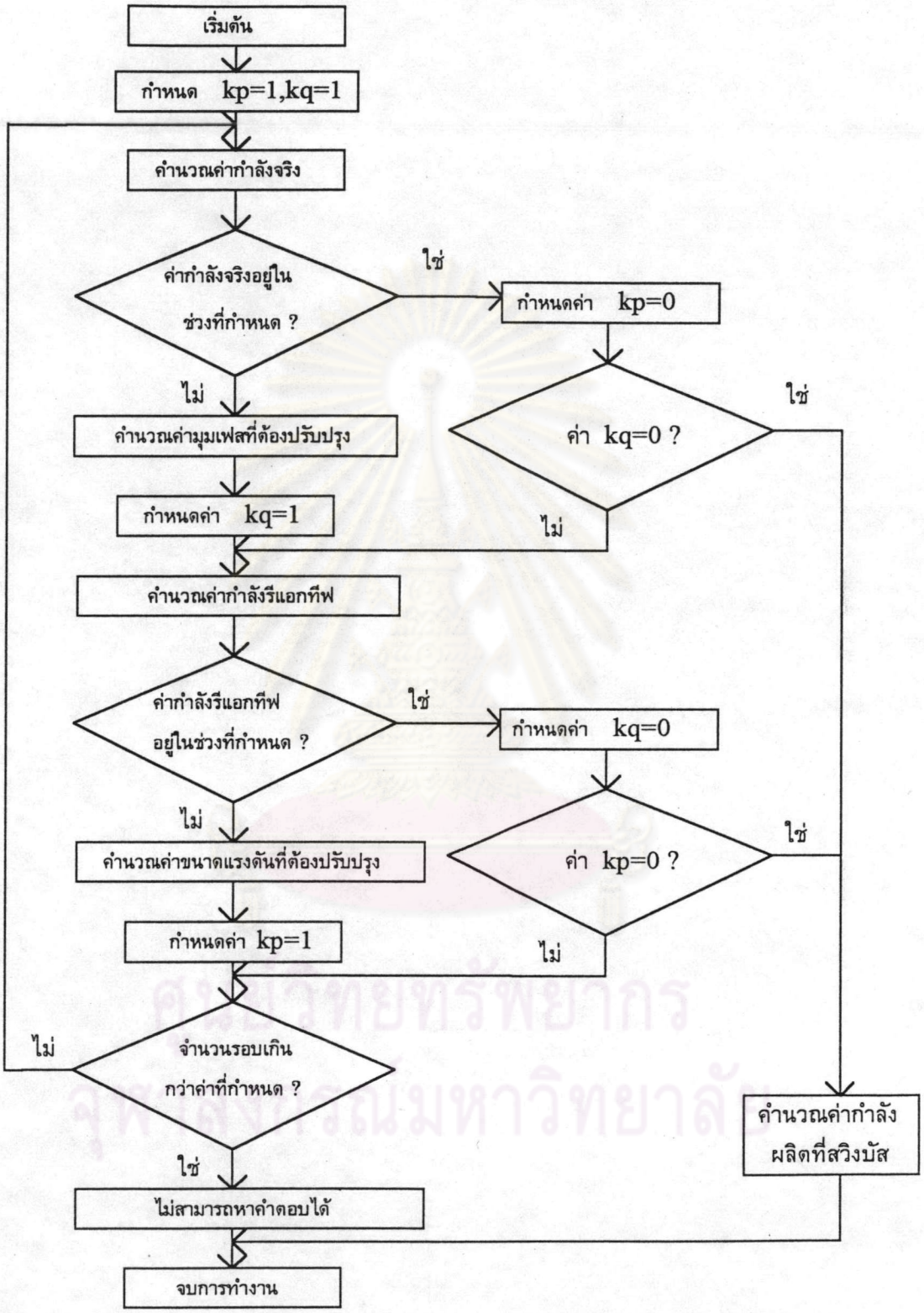
ส่วนของโปรแกรมหลักทำหน้าที่เรียกใช้ฟังก์ชั่นต่าง ๆตามลำดับการทำงาน โปรแกรมส่วนนี้จะเก็บอยู่ในไฟล์ *COMRE.C*

รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม *COMRE*

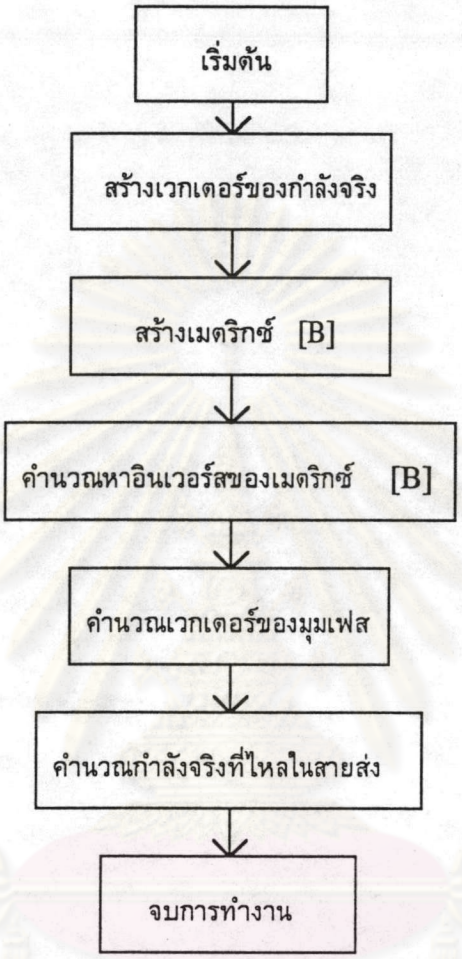
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการเลือกเหตุขัดข้อง

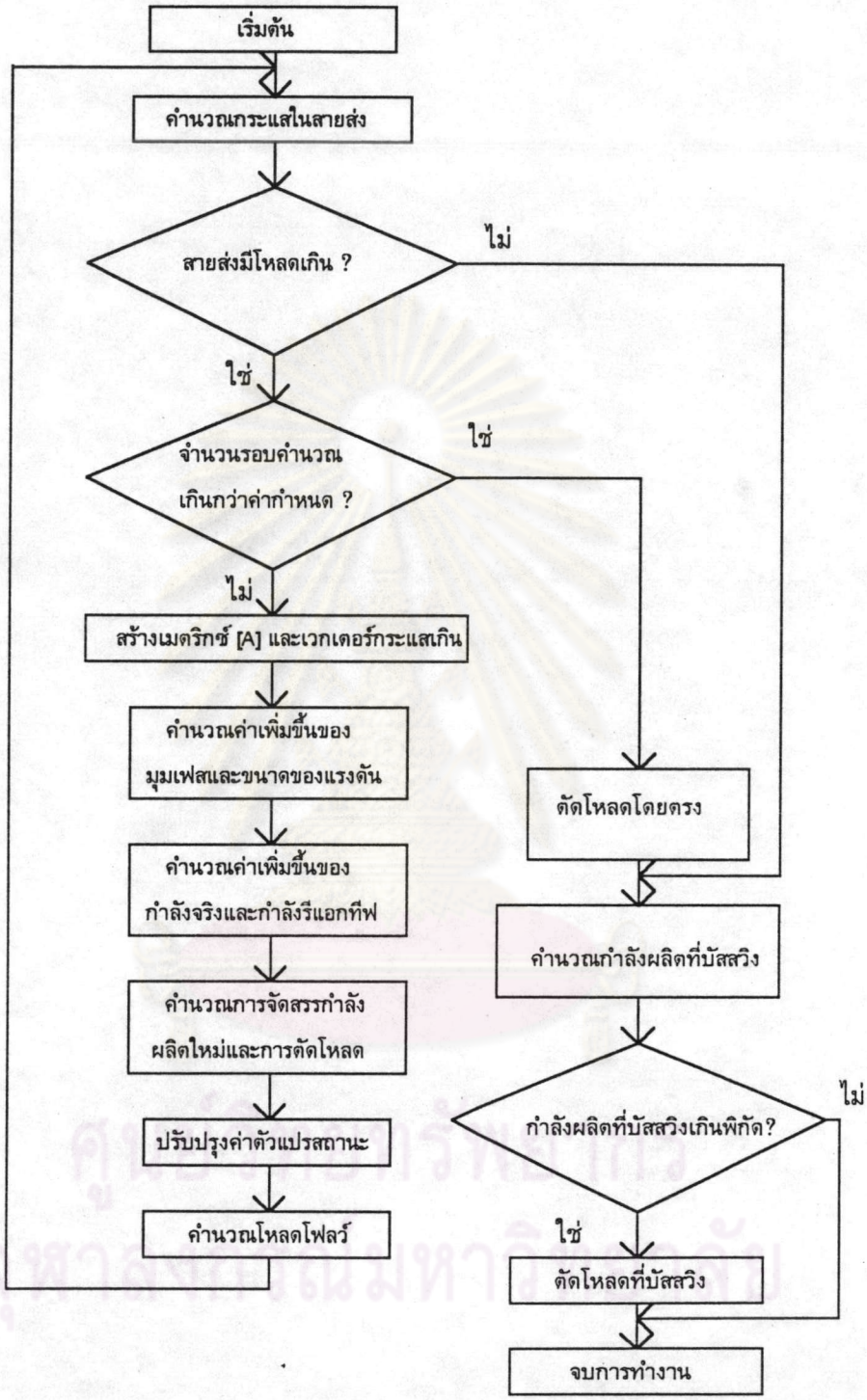


รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบฟาสดีคัปเปิล

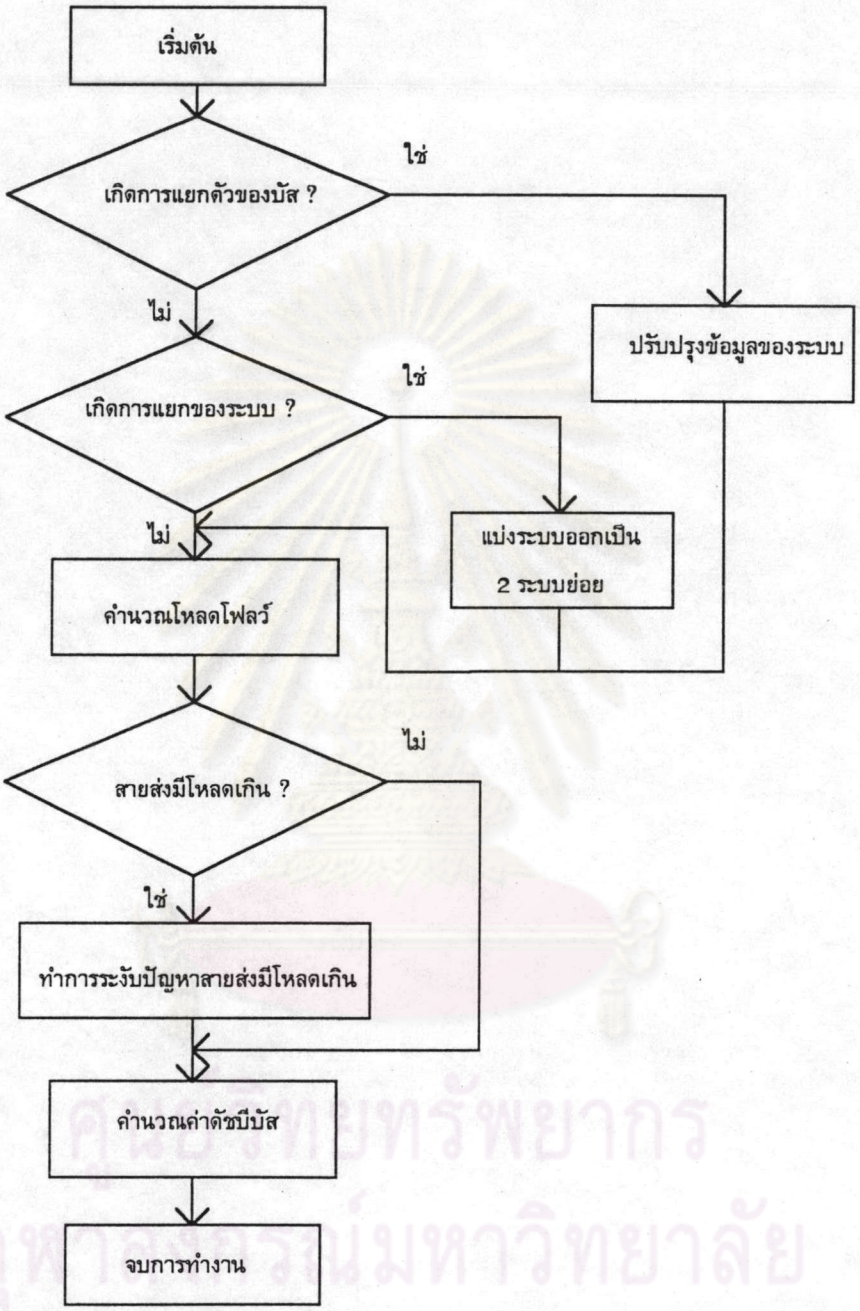


รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบ ดี.ซี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

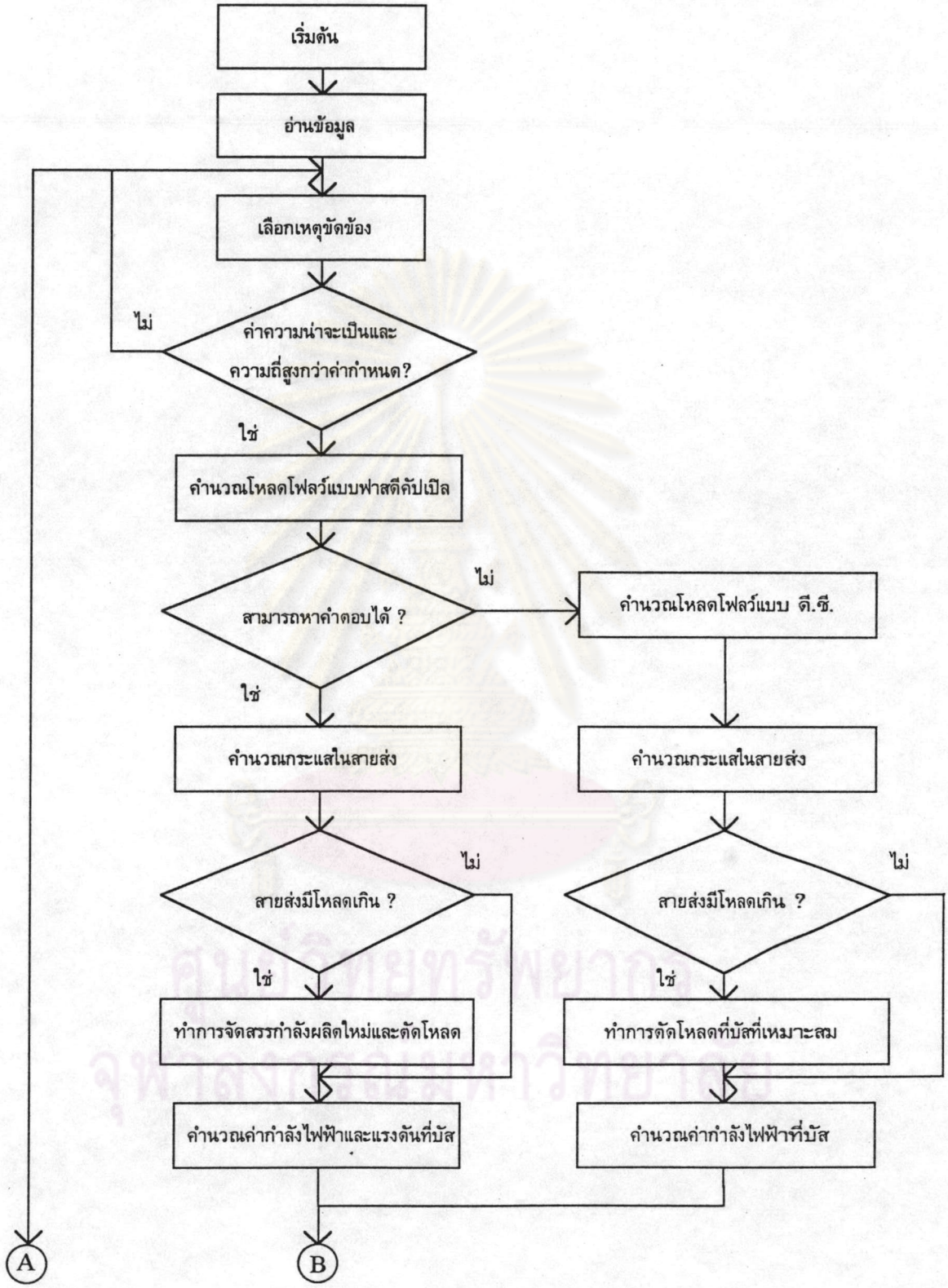


รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการสรรกำลังผลิตใหม่และการตัดโหลด

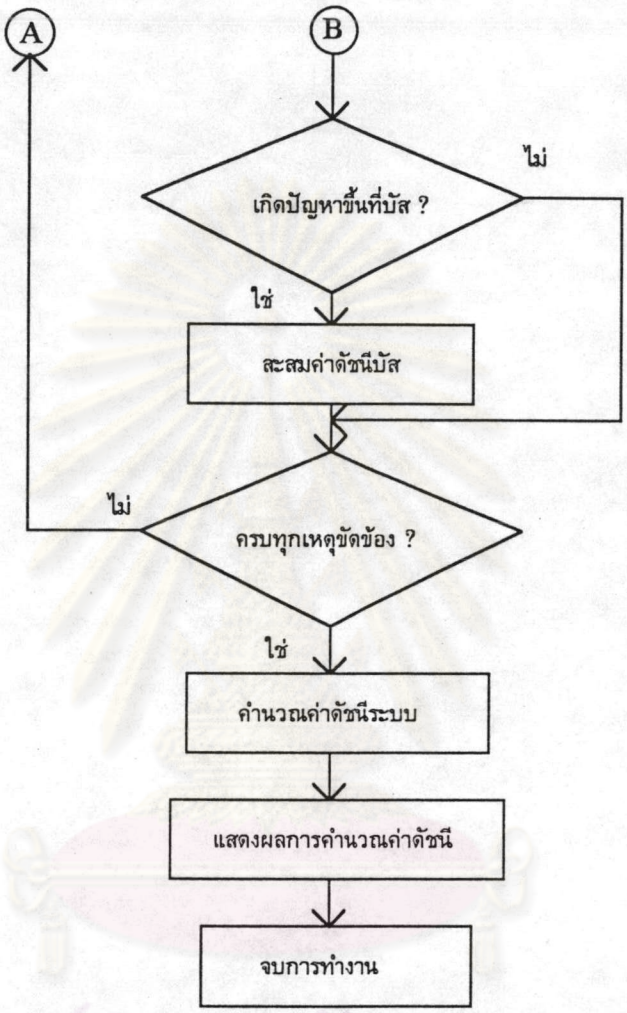


รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการทดสอบเหตุขัดข้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม *COMRE*



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม *COMRE* (ต่อ)

โครงสร้างของข้อมูลที่สำคัญ

โครงสร้างข้อมูลของบัสประกอบด้วย 8 เรคคอร์ด ดังนี้

int busnum	=	หมายเลขของบัส
float Pg	=	กำลังผลิตจริง
float P_l	=	โหลดกำลังจริง
float Q_g	=	กำลังผลิตรีแอกทีฟ
float Q_l	=	โหลดกำลังรีแอกทีฟ
float mag	=	ขนาดของแรงดันบัส
float ang	=	มุมเฟสของแรงดันบัส
float Pgmax	=	กำลังผลิตจริงสูงสุด

โครงสร้างข้อมูลของสายส่งประกอบด้วย 10 เรคคอร์ด ดังนี้

int linenum	=	หมายเลขของสายส่ง
int from	=	บัสเริ่มต้น
int to	=	บัสสิ้นสุด
float r	=	ค่าความต้านทานของสายส่ง
float x	=	ค่ารีแอกแตนซ์ของสายส่ง
float b	=	ค่าครึ่งหนึ่งของไลน์ชาร์จจิ้งของสายส่ง
float linecap	=	ค่าพิกัดกระแสของสายส่ง
float lineflr	=	ค่าอัตราการขัดข้องของสายส่ง
float linerpr	=	ค่าอัตราการซ่อมแซมของสายส่ง
float lineprob	=	ค่าความพร้อมมูลใช้งาน (Availability) ของสายส่ง

ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วย 7 เรคคอร์ด ดังนี้

int gennum	=	หมายเลขของกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
int genbus	=	หมายเลขบัสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่
int geniden	=	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมือนกัน
float gencap	=	ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
float genflr	=	ค่าอัตราการขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
float genrpr	=	ค่าอัตราการซ่อมแซมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
float genprob	=	ค่าความพร้อมมูลใช้งาน (Availability) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ข้อมูลขององค์ประกอบชันต์ประกอบด้วย 3 เรคคอร์ด ดังนี้

int shuntnum	=	หมายเลขขององค์ประกอบชันต์
int busnum	=	หมายเลขบัสที่องค์ประกอบชันต์ต่ออยู่
float value	=	ค่าขององค์ประกอบชันต์

ข้อมูลของการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกันประกอบด้วย 7 เรคคอร์ด ดังนี้

int comnum	=	หมายเลขของการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน
int line1	=	หมายเลขของสายส่งที่เกี่ยวข้องสายที่หนึ่ง
int line2	=	หมายเลขของสายส่งที่เกี่ยวข้องสายที่สอง
float cmrate	=	ค่าอัตราการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

float cmflr - ค่าอัตราการขัดข้องเมื่อรวมการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน

float cmrpr - ค่าอัตราการซ่อมแซมเมื่อรวมการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน

float cmprob - ค่าความพร้อมมูลเมื่อรวมการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน

ข้อมูลของกระแสที่ไหลในสายส่งประกอบด้วย 3 เรคคอร์ด ดังนี้

float re - ส่วนจริงของกระแสที่ไหลในสายส่ง

float im - ส่วนจินตภาพของกระแสที่ไหลในสายส่ง

float mag - กระแสที่ไหลในสายส่ง

ข้อมูลของค่าดัชนีบัสประกอบด้วย 8 เรคคอร์ด ดังนี้

float pb - ค่าความน่าจะเป็นของการขัดข้อง

float fq - ค่าความถี่ของการขัดข้อง

float nlc - ค่าดัชนี *NLC*

float elc - ค่าดัชนี *ELC*

float eens - ค่าดัชนี *EENS*

float edlc - ค่าดัชนี *EDLC*

float vvpb - ค่าดัชนี *VVPB*

float vvio - ค่าดัชนี *VVIO*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวแปรที่สำคัญ

ตัวแปรที่สำคัญในโปรแกรม *COMRE* ได้แก่

nbus	=	จำนวนบัส
nline	=	จำนวนสายส่ง
ngen	=	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
ngengroup	=	จำนวนกลุ่มของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
nvbus	=	จำนวนบัสควบคุมแรงดัน
nshunt	=	จำนวนองค์ประกอบชันต์
ncommon	=	จำนวนการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน
bus	=	โครงสร้างข้อมูลของบัส
line	=	โครงสร้างข้อมูลของสายส่ง
gen	=	โครงสร้างข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
shunt	=	โครงสร้างข้อมูลขององค์ประกอบชันต์
common	=	โครงสร้างข้อมูลของการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน
bindex	=	โครงสร้างข้อมูลของค่าดัชนีบัส
mindex	=	โครงสร้างข้อมูลของค่าดัชนีบัสสูงสุด
basemva	=	ค่า *MVA* ฐาน
vmin	=	ค่าแรงดันต่ำสุด
name	=	ชื่อของระบบไฟฟ้า
Ybus	=	เมตริกซ์ $[Y_{bus}]$
B	=	เมตริกซ์ $[B']$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการวิเคราะห์ระบบ

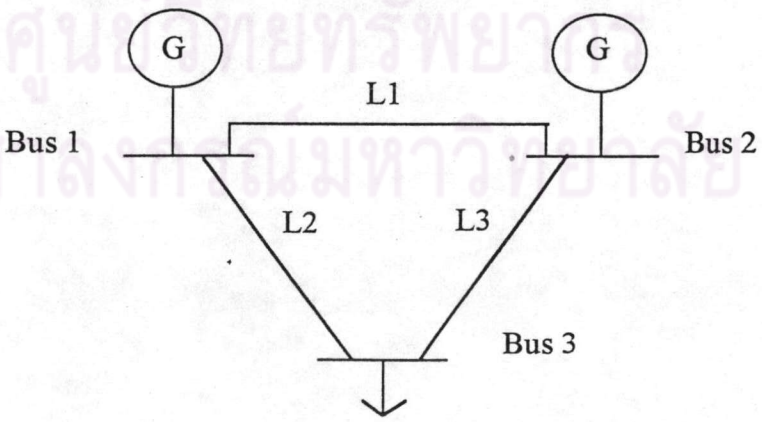
เพื่อเป็นการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น จึงได้นำโปรแกรม *COMRE* มาทดสอบกับระบบไฟฟ้าจำนวน 2 ระบบ ได้แก่

1. ระบบ 3 บัส
2. ระบบ RBTS (Roy Billinton Test System)

โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

1. ระบบ 3 บัส

ระบบ 3 บัส มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.7 ประกอบไปด้วย บัสจำนวน 3 บัส สายส่งจำนวน 3 สายส่ง มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งอยู่ที่บัสที่ 1 จำนวน 4 เครื่อง และบัสที่ 2 จำนวน 2 เครื่อง มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) 110 MW โดยมีรายละเอียดของข้อมูลบัส, สายส่ง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.7 ระบบ 3 บัส

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลบัสของระบบ 3 บัส

Bus Number	Load P (MW)	Load Q (MVAR)	Scheduled Generation (MW)	Initial Voltage (p.u.)	Shunt Susceptance (p.u.)
1	-	-	60	1.00	-
2	-	-	60	1.00	-
3	110	-	-	1.00	-

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลสายส่งของระบบ 3 บัส

Line No.	From Bus	To Bus	Impedance			Current Rating (p.u.)	Failure Rate (f/yr)	Repair Rate (f/yr)
			R (p.u.)	X (p.u.)	B/2 (p.u.)			
1	1	2	0.0912	0.480	0.0282	0.80	4	1095
2	1	3	0.0800	0.500	0.0212	1.00	5	1095
3	2	3	0.0798	0.420	0.0275	0.90	3	876

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ 3 บัส

Unit Number	Bus Connect	Rating (MW)	*FOR*	Failure Rate (f/yr)	Repair Rate (f/yr)	MVAR max	MVAR min
1	1	20	0.01	1	99	12	-7
2	1	20	0.01	1	99	12	-7
3	1	20	0.01	1	99	12	-7
4	1	20	0.01	1	99	12	-7
5	2	30	0.05	3	57	15	-10
6	2	30	0.05	3	57	15	-10

เมื่อนำข้อมูลของระบบ 3 บัส มาทดสอบกับโปรแกรม *COMRE* ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 ถึง ตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าดัชนีบัสของระบบ 3 บัส

Bus Indices

Bus	Probability	Frequency	NLC	ELC(MW)	EENS(MWh)	EDLC(hrs.)	VV
3	0.1051945	16.576923	16.58	207.14	7161.09	921.50	0.12

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าดัชนี *MLC* ของระบบ 3 บัส

Maximum Load Curtailed (MLC)

Bus	MLC (MW)	Probability	Outage Condition				
			Generator No.			Line No.	
3	110.0000	0.00001340	0	0	0	2	3

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าดัชนี *MEC* ของระบบ 3 บัส

Maximum Energy Curtailed (MEC)

Bus	MEC (MWh)	Probability	Outage Condition				
			Generator No.			Line No.	
3	2392.1538	0.00237374	5	6	0	0	0

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าดัชนี *MDLC* ของระบบ 3 บัส

Maximum Duration of Load Curtailment (MDLC)

Bus	MDLC (hr)	Probability	Outage Condition				
			Generator No.			Line No.	
3	115.2632	0.04510114	5	0	0	0	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าดัชนีเฉลี่ยของระบบ 3 บัส

Average Bus Indices

Bus	Load Curtailed (MW)	Energy not Supplied (MWh)	Duration of Curtailment (hours)
3	12.496	431.992	55.590

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าดัชนีระบบของระบบ 3 บัส

System Indices

1.Bulk Power Interruption Index	:	1.88309 MW/MW-Yr
2.Bulk Power Energy Curtailment Index	:	65.10085 MWh/MW-Yr
3.Bulk Power Supply Average MW Curtailment Index	:	12.49568 MW/Dist.
4.Modified Bulk Power Energy Curtailment Index	:	0.00743
5.Severity Index	:	3906.05127 System-Min.

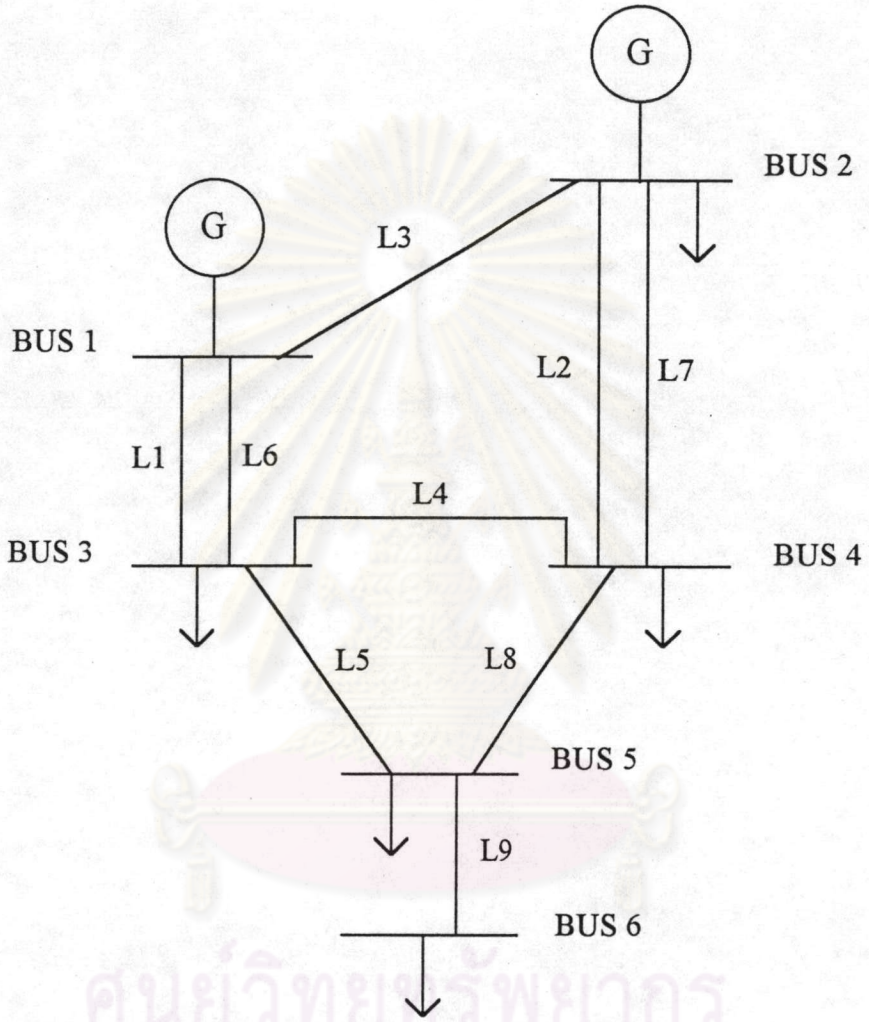
จากตารางแสดงค่าดัชนีต่างๆของระบบ 3 บัส สรุปได้ว่าที่บัส 3 ซึ่งเป็นบัสโหลดมีค่าดัชนีความเชื่อถือได้สูงซึ่งแสดงว่ามีความเชื่อถือได้ต่ำ เนื่องจากบัส 3 ต่ออยู่กับบัส 1 และ 2 โดยเชื่อมโยงผ่านสายส่งจากแต่ละบัส 1 สายส่ง ถ้าหากว่าสายส่งใดสายส่งหนึ่งเกิดหลุดออกจากระบบ จะทำให้สายส่งที่เหลือมีโหลดเกิน จึงต้องทำการตัดโหลดบางส่วนที่บัส 3 นอกจากนี้ในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 ขัดข้องเพียง 1 เครื่อง หรือว่ามีการขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพร้อมกันในระบบ 2 เครื่องขึ้นไป ก็จะทำให้กำลังผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า ทำให้ต้องตัดโหลดที่บัส 3 ออกบางส่วน จึงทำให้ค่าดัชนีที่คำนวณได้มีค่าสูง

2. ระบบ RBTS (Roy Billinton Test System)

ระบบ RBTS (Roy Billinton Test System) [20,21] ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มนักวิจัยทางด้านระบบไฟฟ้ากำลังของมหาวิทยาลัย Saskatchewan เพื่อใช้เป็นระบบไฟฟ้าสำหรับทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อการศึกษาเรื่องความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังโดยเฉพาะ ระบบ RBTS มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.8 ประกอบไปด้วยบัสจำนวน 6 บัส เป็นบัส PV 2 บัส และ บัส PQ 4 บัส สายส่งจำนวน 9 สายส่ง และมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวนทั้งหมด 11 เครื่อง ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 5 MW ไปจนถึง 40 MW ระดับแรงดัน 230 kV โดยมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) รวม 185 MW และมีกำลังผลิตติดตั้งทั้งหมด 240 MW โดยมีรายละเอียดของข้อมูลบัส, สายส่ง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ถึง ตารางที่ 4.12 ส่วนข้อมูลของการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน (Common Mode Outage) แสดงอยู่ในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลบัสของระบบ RBTS

Bus Number	Load P (MW)	Load Q (MVAR)	Scheduled Generation (MW)	Initial Voltage (p.u.)	Shunt Susceptance (p.u.)
1	-	-	100	1.05	-
2	20	-	120	1.05	-
3	85		-	1.00	-
4	40		-	1.00	-
5	20		-	1.00	-
6	20	-	-	1.00	-



รูปที่ 4.8 ระบบ RBTS

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลสายส่งของระบบ RBTS

Line No.	From Bus	To Bus	Impedance			Current Rating (p.u.)	Failure Rate (f/yr)	Repair Rate (f/yr)
			R (p.u.)	X (p.u.)	B/2 (p.u.)			
1	1	3	0.0342	0.180	0.0106	0.85	1.5	876
2	2	4	0.1140	0.600	0.0035	0.71	5.0	876
3	1	2	0.0912	0.480	0.0282	0.71	4.0	876
4	3	4	0.0228	0.120	0.0071	0.71	1.0	876
5	3	5	0.0228	0.120	0.0071	0.71	1.0	876
6	1	3	0.0342	0.180	0.0106	0.85	1.5	876
7	2	4	0.1140	0.600	0.0352	0.71	5.0	876
8	4	5	0.0228	0.120	0.0071	0.71	1.0	876
9	5	6	0.0228	0.120	0.0071	0.71	1.0	876

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ RBTS

Unit Number	Bus Connect	Rating (MW)	*FOR*	Failure Rate (f/yr)	Repair Rate (f/yr)	MVAR max	MVAR min
1	1	40	0.030	6	194	17	-15
2	1	40	0.030	6	194	17	-15
3	1	10	0.020	4	196	7	0
4	1	20	0.025	5	195	12	-7
5	2	5	0.010	2	198	5	0

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ RBTS (ต่อ)

Unit Number	Bus Connect	Rating (MW)	*FOR*	Failure Rate (f/yr)	Repair Rate (f/yr)	MVAR max	MVAR min
6	2	5	0.010	2	198	5	0
7	2	40	0.020	3	147	17	-15
8	2	20	0.015	2.4	157.6	12	-7
9	2	20	0.015	2.4	157.6	12	-7
10	2	20	0.015	2.4	157.6	12	-7
11	2	20	0.015	2.4	157.6	12	-7

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลของการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน

Line 1	Line 2	Outage Rate (f/yr)	Outage Duration (hr.)
1	6	0.150	16.0
2	7	0.500	16.0

เมื่อนำข้อมูลของระบบ RBTS มาทดสอบกับโปรแกรม *COMRE* ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นหลายกรณีดังนี้

กรณีที่ 1 เป็นกรณีปกติ (Base Case) ซึ่งกรณีอื่นๆจะเป็นการเปรียบเทียบกับกรณีนี้ โดยกรณีปกติจะกำหนดให้การคำนวณเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนี้

-พิจารณาการขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจนถึงอันดับที่ 3
-พิจารณาการขัดข้องของสายส่งจนถึงอันดับที่ 2
-ไม่พิจารณาเหตุขัดข้องที่มีความน่าจะเป็นของการเกิดขึ้นต่ำกว่า 10^{-8} หรือเหตุขัดข้องที่มีความถี่ของการเกิดขึ้นต่ำกว่า 10^{-6}
-แรงดันต่ำสุดมีค่า 0.97 p.u.
-ไม่พิจารณาการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน
-ในกรณีที่กำลังผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขัดข้อง จะทำการตัดโหลดออกบางส่วนที่บัสที่เกิดปัญหาก่อน จากนั้นจึงตัดโหลดที่บัสข้างเคียงกับบัสที่เกิดปัญหา

เมื่อใช้โปรแกรม *COMRE* เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ RBTS ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.14 ถึง ตารางที่ 4.19

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ค่าดัชนีบัสของระบบ RBTS

Bus Indices

Bus	Probability	Frequency	NLC	ELC(MW)	EENS(MWh)	EDLC(hrs.)	VV
2	0.0082537	3.566288	3.57	17.10	333.22	72.30	0.00
3	0.0074136	3.491304	3.49	33.57	577.43	64.94	0.05
4	0.0001712	0.196360	0.14	3.78	21.21	1.24	0.05
5	0.0000304	0.055575	0.00	0.05	0.22	0.01	0.05
6	0.0011690	1.179580	1.13	22.53	199.70	9.98	0.05

ตารางที่ 4.15 ค่าดัชนี *MLC* ของระบบ RBTS

Maximum Load Curtailed (MLC)

Bus	MLC (MW)	Probability	Outage Condition				
			Generator No.			Line No.	
2	20.0000	0.00001550	1	2	7	0	0
3	85.0000	0.00000011	7	0	0	1	2
4	40.0000	0.00002070	0	0	0	2	3
5	20.0000	0.00000103	0	0	0	5	8
6	20.0000	0.00090649	0	0	0	9	0

ตารางที่ 4.16 ค่าดัชนี *MEC* ของระบบ RBTS

Maximum Energy Curtailed (MEC)

Bus	MEC (MWh)	Probability	Outage Condition				
			Generator No.			Line No.	
2	341.8537	0.00000376	8	9	7	0	0
3	722.2972	0.00001550	1	2	7	0	0
4	194.5478	0.00002070	0	0	0	2	3
5	96.8973	0.00000103	0	0	0	5	8
6	187.7612	0.00090649	0	0	0	9	0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 ค่าดัชนี *MDLC* ของระบบ RBTS

Maximum Duration of Load Curtailment (MDLC)

Bus	MDLC (hours)	Probability	Outage Condition				
			Generator No.			Line No.	
2	24.5172	0.00024679	7	8	0	0	0
3	22.4558	0.00050122	1	7	0	0	0
4	17.0927	0.00000376	8	9	7	0	0
5	4.8449	0.00000103	0	0	0	5	8
6	9.3881	0.00090649	0	0	0	9	0

ตารางที่ 4.18 ค่าดัชนีเฉลี่ยของระบบ RBTS

Average Bus Indices

Bus	Load Curtailed (MW)	Energy not Supplied (MWh)	Duration of Curtailment (hours)
2	4.795	93.435	20.274
3	9.615	165.391	18.601
4	26.392	148.218	8.693
5	20.000	95.295	4.765
6	20.000	177.301	8.865

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ค่าดัชนีระบบของระบบ RBTS

System Indices

1.Bulk Power Interruption Index	:	0.41632 MW/MW-Yr
2.Bulk Power Energy Curtailment Index	:	6.11768 MWh/MW-Yr
3.Bulk Power Supply Average MW Curtailment Index	:	9.24675 MW/Dist.
4.Modified Bulk Power Energy Curtailment Index	:	0.00070
5.Severity Index	:	367.06079 System-Min.

จากตารางแสดงค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ RBTS พบว่าที่บัส 2 และบัส 3 จะมีค่าดัชนีสูงกว่าบัสอื่นๆ เนื่องจากในกรณีที่กำลังผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขัดข้อง จะทำการตัดโหลดออกบางส่วนที่บัสที่อยู่บริเวณเดียวกับบัสที่เกิดปัญหาขึ้น ดังนั้นการขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 และ/หรือ 2 ซึ่งทำให้กำลังผลิตไม่เพียงพอ บัสที่จะถูกพิจารณาตัดโหลดได้แก่บัส 2,3 และ 4 ส่วนบัส 5 และ 6 จะไม่จำเป็นต้องถูกตัดโหลดเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขัดข้อง สำหรับการตัดโหลดที่บัส 6 ส่วนใหญ่จะเกิดเนื่องจากเกิดการแยกของบัส (Bus Isolation) ของบัสนี้เมื่อสายส่งหมายเลข 9 ขัดข้อง

สำหรับค่าดัชนีระบบ จะได้ค่าดัชนี *BPII* มีค่า 0.41632 MW/MW-Yr ซึ่งแสดงว่าการตัดโหลดของระบบทั้งหมดในหนึ่งปีมีค่า 0.41632 เท่าของค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ของระบบ ในทำนองเดียวกันจะได้ค่าดัชนี *BPECI* มีค่า 6.11768 MWh/MW-Yr แสดงว่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ไม่สามารถจ่ายได้ต่อปีมีค่าเท่ากับระบบทั้งหมดไม่ได้รับการจ่ายไฟภายใต้สภาวะต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load Condition) เป็นระยะเวลา 6.11768 ชั่วโมง

กรณีที่ 2 กำหนดให้แรงดันต่ำสุดมีค่า 0.92 p.u. เมื่อใช้โปรแกรม *COMRE* เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.20 ถึง ตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.20 ค่าดัชนีบัสของระบบ RBTS เมื่อกำหนดแรงดันต่ำสุดมีค่า 0.92 p.u.

Bus Indices

Bus	Probability	Frequency	NLC	ELC(MW)	EENS(MWh)	EDLC(hrs.)	VV
2	0.0082537	3.566288	3.57	17.10	333.22	72.30	0.00
3	0.0074136	3.491304	3.49	33.57	577.43	64.94	0.00
4	0.0001420	0.143087	0.14	3.78	21.21	1.24	0.00
5	0.0000013	0.002301	0.00	0.05	0.22	0.01	0.00
6	0.0011398	1.126306	1.13	22.53	199.70	9.98	0.00

ตารางที่ 4.21 ค่าดัชนีระบบของระบบ RBTS เมื่อกำหนดแรงดันต่ำสุดมีค่า 0.92 p.u.

System Indices

1.Bulk Power Interruption Index	:	0.41632 MW/MW-Yr
2.Bulk Power Energy Curtailment Index	:	6.11768 MWh/MW-Yr
3.Bulk Power Supply Average MW Curtailment Index	:	9.24675 MW/Dist.
4.Modified Bulk Power Energy Curtailment Index	:	0.00070
5.Severity Index	:	367.06079 System-Min.

ในกรณีที่กำหนดให้แรงดันต่ำสุดมีค่า 0.92 p.u. ค่าดัชนีที่คำนวณได้จะแตกต่างจากกรณีที่กำหนดให้แรงดันต่ำสุดมีค่า 0.97 p.u. เล็กน้อย เนื่องจากมีเพียงบางเหตุขัดข้องเท่านั้นที่เกิดปัญหาเกี่ยวกับเรื่องแรงดันบัสและเหตุขัดข้องเหล่านี้มีค่าความน่าจะเป็นและความถี่ต่ำ ค่าดัชนีจึงต่างจากกรณีที่ 1 เล็กน้อย ส่วนค่าดัชนี *VV* ที่แต่ละบัสจะมีค่าเป็นศูนย์

กรณีที่ 3 พิจารณาการขัดข้องของสายส่งและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงอันดับที่ 1 นั่นคืออุปกรณ์ในระบบขัดข้องได้เพียงอุปกรณ์เดียว เมื่อใช้โปรแกรม *COMRE* เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.22 ถึง ตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.22 ค่าดัชนีบัสของระบบ RBTS เมื่อพิจารณาการขัดข้องเพียงอันดับหนึ่ง

Bus Indices

Bus	Probability	Frequency	NLC	ELC(MW)	EENS(MWh)	EDLC(hrs.)	VV
2	0.0000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.0000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.0000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.0000000	0.000000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.0009065	0.845847	0.85	16.92	158.82	7.94	0.00

ตารางที่ 4.23 ค่าดัชนีระบบของระบบ RBTS เมื่อพิจารณาการขัดข้องเพียงอันดับหนึ่ง

System Indices

1.Bulk Power Interruption Index	:	0.09144 MW/MW-Yr
2.Bulk Power Energy Curtailment Index	:	0.85847 MWh/MW-Yr
3.Bulk Power Supply Average MW Curtailment Index	:	20.00000 MW/Dist.
4.Modified Bulk Power Energy Curtailment Index	:	0.0001
5.Severity Index	:	51.50829 System-Min.

กรณีที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการขัดข้องของสายส่งเพียงสายส่งเดียวหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น จะได้ว่าค่าดัชนีบัสของแต่ละบัสมีค่าเป็นศูนย์ยกเว้นบัสที่ 6 เนื่องจากการขัดข้องของสายส่งหมายเลข 9 จะทำให้บัส 6 แยกออกจากระบบ ส่วนค่าดัชนีระบบจะมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ 1 อย่างชัดเจน

กรณีที่ 4 พิจารณาการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน (Common Mode Outage) เมื่อใช้โปรแกรม *COMRE* เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.24 ถึง ตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.24 ค่าดัชนีบัสของระบบ RBTS เมื่อพิจารณาการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน

Bus Indices

Bus	Probability	Frequency	NLC	ELC(MW)	EENS(MWh)	EDLC(hrs.)	VV
2	0.0082551	3.589607	3.59	17.33	333.73	72.31	0.00
3	0.0074688	3.571803	3.57	34.69	584.14	65.43	0.06
4	0.0002425	0.363451	0.30	7.37	34.42	1.82	0.06
5	0.0000362	0.066208	0.00	0.05	0.22	0.01	0.06
6	0.0011744	1.191754	1.13	22.56	199.63	9.98	0.06

ตารางที่ 4.25 ค่าดัชนีระบบของระบบ RBTS เมื่อพิจารณาการขัดข้องที่มีสาเหตุร่วมกัน

System Indices

1.Bulk Power Interruption Index	:	0.44325 MW/MW-Yr
2.Bulk Power Energy Curtailment Index	:	6.22779 MWh/MW-Yr
3.Bulk Power Supply Average MW Curtailment Index	:	9.54497 MW/Dist.
4.Modified Bulk Power Energy Curtailment Index	:	0.00071
5.Severity Index	:	373.66739 System-Min.

กรณีที่ 5 ในกรณีที่กำลังผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขัดข้อง จะทำการตัดโหลดออกบางส่วนที่บัสทุกบัสจำนวนเท่าๆกัน เมื่อใช้โปรแกรม *COMRE* เพื่อคำนวณหาค่าดัชนีความเชื่อถือได้ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.26 ถึง ตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.26 ค่าดัชนีบัสของระบบ RBTS กรณีตัดโหลดทุกบัสเมื่อกำลังผลิตไม่เพียงพอ

Bus Indices

Bus	Probability	Frequency	NLC	ELC(MW)	EENS(MWh)	EDLC(hrs.)	VV
2	0.0082831	3.603913	3.60	8.38	161.24	72.56	0.00
3	0.0085704	3.949891	3.95	13.91	198.52	75.08	0.00
4	0.0083341	3.697160	3.70	11.88	178.05	73.01	0.00
5	0.0082842	3.605966	3.61	8.42	161.44	72.57	0.00
6	0.0094228	4.729972	4.73	30.90	360.92	82.54	0.00

ตารางที่ 4.27 ค่าดัชนีระบบของระบบ RBTS กรณีตัดโหลดทุกบัสเมื่อกำลังผลิตไม่เพียงพอ

System Indices

1.Bulk Power Interruption Index	:	0.39719 MW/MW-Yr
2.Bulk Power Energy Curtailment Index	:	5.73068 MWh/MW-Yr
3.Bulk Power Supply Average MW Curtailment Index	:	3.75152 MW/Dist.
4.Modified Bulk Power Energy Curtailment Index	:	0.00065
5.Severity Index	:	343.84097 System-Min.

ในกรณีนี้จะได้ค่าดัชนีที่แต่ละบัสใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีตัดโหลดออกบางส่วนที่บัสทุกบัสจำนวนเท่าๆกันเมื่อกำลังผลิตไม่เพียงพอ ทำให้ทุกบัสได้รับผลกระทบเนื่องจากกำลังผลิตไม่เพียงพอ จึงมีค่าดัชนีใกล้เคียงกัน

ผลการเปรียบเทียบค่าดัชนีบัสและดัชนีระบบในกรณีต่าง ๆแสดงอยู่ในตารางที่ 4.28 ถึงตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีความน่าจะเป็น (Q_K)ในกรณีต่าง ๆ

กรณีที่	บัส 2	บัส 3	บัส 4	บัส 5	บัส 6
1	0.0082537	0.0074136	0.0001712	0.0000304	0.0011690
2	0.0082537	0.0074136	0.0001420	0.0000013	0.0011398
3	0	0	0	0	0.0009065
4	0.0082551	0.0074688	0.002425	0.0000362	0.0011744
5	0.0082831	0.0085704	0.0083341	0.0082842	0.0094228

ตารางที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีความถี่ (F_K)ในกรณีต่าง ๆ

กรณีที่	บัส 2	บัส 3	บัส 4	บัส 5	บัส 6
1	3.566288	3.491304	0.196360	0.055575	1.179580
2	3.566288	3.491304	0.143087	0.002301	1.126306
3	0	0	0	0	0.845847
4	3.589607	3.571803	0.363451	0.066208	1.191754
5	3.603913	3.949891	3.697160	3.605966	4.729972

ตารางที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีระบบในกรณีต่างๆ

กรณีที่	*BPII*	*BPAC*	*BPECI*	*MPECI*	*SI*
1	0.41632	6.11768	9.24675	0.00070	367.06079
2	0.41632	6.11768	9.24675	0.00070	367.06079
3	0.09144	0.85847	20.00000	0.0001	51.50829
4	0.44325	6.22779	9.54497	0.00071	373.66739
5	0.39719	5.73068	3.75152	0.00065	343.84097

สำหรับค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ RBTS จากบทความในวารสาร *IEEE* Transactions on power system [21] มีค่าแสดงในตารางที่ 4.31 และ 4.32

ตารางที่ 4.31 แสดงค่าดัชนีบัสจากบทความในวารสาร *IEEE*

Bus Indices

Bus	Probability	Frequency	NLC	ELC(MW)	EENS(MWh)	EDLC(hrs.)	VV
2	0.0062284	2.684012	2.68	6.03	121.93	54.56	0.00
3	0.0087344	4.246576	4.25	47.46	824.50	76.51	0.01
4	0.0063303	2.841613	2.84	13.91	264.67	55.45	0.00
5	0.0002065	0.292930	0.29	0.44	2.76	1.78	0.01
6	0.0011610	1.158784	1.15	22.60	199.74	10.14	0.01

ตารางที่ 4.32 แสดงค่าดัชนีระบบจากบทความในวารสาร *IEEE*

System Indices

1.Bulk Power Interruption Index	:	0.48886 MW/MW-Yr
2.Bulk Power Energy Curtailment Index	:	7.64115 MWh/MW-Yr
3.Bulk Power Supply Average MW Curtailment Index	:	15.72272 MW/Dist.
4.Modified Bulk Power Energy Curtailment Index	:	0.00087228
5.Severity Index	:	458.469 System-Min.

เมื่อนำผลการคำนวณค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในกรณีที่ 1 ซึ่งเป็นกรณีปกติ (Base Case)มาเปรียบเทียบกับค่าดัชนีความเชื่อถือได้จากบทความในวารสาร *IEEE* ดังกล่าว พบว่ามีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.33 และ ตารางที่ 4.34 เนื่องจากในบทความดังกล่าวได้กำหนดกฎเกณฑ์ในการคำนวณค่าดัชนีที่แตกต่างจากกฎเกณฑ์ที่ได้ใช้ในโปรแกรม *COMRE* หลายกฎเกณฑ์ด้วยกัน ได้แก่ การพิจารณาการขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจนถึงอันดับที่ 4 การพิจารณาการขัดข้องของสายส่งจนถึงอันดับที่ 3 นอกจากนี้กฎในการแก้ไขปัญหาในกรณีที่สายส่งมีโหลดเกินก็มีความแตกต่างกันด้วย ทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่คำนวณได้มีค่าต่างกัน

ตารางที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีบัส
จากบทความ *IEEE* และจากโปรแกรม *COMRE*

		จากโปรแกรม *COMRE*	จากบทความ *IEEE*
บัส 2	Probability	0.0082537	0.0062284
	Frequency	3.566288	2.684012
บัส 3	Probability	0.0074136	0.0087344
	Frequency	3.491304	4.246576
บัส 4	Probability	0.0001712	0.0063303
	Frequency	0.196360	2.841613
บัส 5	Probability	0.0000304	0.0002065
	Frequency	0.055575	0.292930
บัส 6	Probability	0.0011690	0.0011610
	Frequency	1.179580	1.158784

ตารางที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีระบบ
จากบทความ *IEEE* และจากโปรแกรม *COMRE*

	จากโปรแกรม *COMRE*	จากบทความ *IEEE*
BPII	0.41632	0.48889
BPAC	6.11768	7.64115
BPECI	9.24675	15.72272
MPECI	0.00070	0.00087228
SI	367.061	458.469