หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การวิเคราะห์กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองโดยอาศัยค่าชี้ความเชื่อถือได้

บทนี้จะแสดงถึง หลักการทำงานของโปรแกรมการวิเคราะห์กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองโดยอาศัยค่าชี้ความเชื่อถือได้ โดยอาศัยวิธีการซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 2 และ บทที่ 3 ตัวอย่างการวิเคราะห์ในบทจะใช้กับระบบทดสอบของ IEEE ขนาด 5 บัส 6 สายส่ง และ 14 บัส 20 สายส่ง ส่วน Reliability Test System ซึ่งมีขนาด 24 บัส 38 สายส่ง ตามมาตรฐาน IEEE จะใช้สำหรับทดสอบผลลัพธ์จากโปรแกรมที่เขียนขึ้น เนื้อหาในบทจะเริ่มต้นด้วยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ถึงความเชื่อถือได้ของระบบ และ เกณฑ์กำหนดที่ใช้ในการพิจารณา จากนั้นจะกล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ของโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นเพื่อคำนวณหากำลังผลิตสำรองที่เหมาะสม และการเพิ่มสายส่งเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง

5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์กำลังผลิตไฟฟ้าสำรองโดยอาศัยค่าชี้ความเชื่อถือได้ จะแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักดังนี้

5.1.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตัวแปรซึ่งเก็บข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วย

NG	คือ	จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ
GBUS	คือ	หมายเลขประจำบัสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่
C	คือ	ขนาดกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
F	คือ	อัตราการล้มเหลวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
R	คือ	อัตราการซ่อมแซมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
TYPE	คือ	ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

5.1.2 ข้อมูลเกี่ยวกับสายส่ง

ตัวแปรซึ่งเก็บข้อมูลของสายส่งประกอบด้วย

NL คือ จำนวนของสายส่งในระบบ

SB คือ หมายเลขประจำบัสที่สายส่งต่ออยู่

EB คือ หมายเลขประจำบัสอีกบัสที่สายส่งต่ออยู่

LF คือ อัตราการล้มเหลวของสายส่ง

LR คือ อัตราการซ่อมแซมของสายส่ง

LCAP คือ ขนาด (MW) ของสายส่ง

LIMP คือ ความต้านทานของสายส่ง

LRET คือ ค่ารีแอคแทนต์ของสายส่ง

LCHRG คือ ค่าลายชาร์จชิ่งของสายส่ง

5.1.3 ข้อมูลเกี่ยวกับบัส

ตัวแปรซึ่งเก็บข้อมูลของบัสประกอบด้วย

NB คือ หมายเลขประจำบัส (Bus Number)

TYP คือ หมายเลขรหัส ซึ่งจะบอกชนิดของบัสนั้นว่าเป็นบัสชนิดใด โดยที่บัสชนิดที่ 0,1 และ 2 หมายถึง สแล็คบัส, P V บัส และโหลดบัสตามลำดับ

V_VEC คือ ค่าขนาดของแรงดันบัสที่กำหนดสำหรับบัสชนิดที่ 0 และชนิดที่ 1

SGP คือ ขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าที่บัส

QMAX คือ ขีดจำกัดสูงสุดของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (MVAR) ที่ใช้ในบัสชนิดที่ 1

QMIN คือ ขีดจำกัดต่ำสุดของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (MVAR) ที่ใช้ในบัสชนิดที่ 1

5.1.4 ข้อมูลเกี่ยวกับค่าประมาณและความไม่แน่นอนของโหลดสูงสุด

ในการวิเคราะห์จะต้องทราบค่าของโหลดที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือค่าโหลดของระบบ และ ค่าโหลดที่บัสต่าง ๆ ในระบบ

โดยการทำนายหรือคาดการณ์ค่าของโหลดในอนาคตนั้นจะทำนายจากปีฐาน จากนั้นจึงประมาณค่าโหลดที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละของโหลดสูงสุด โดยข้อมูลทั้ง 2 ส่วนมีรายละเอียดดังนี้

5.1.4.1 ค่าโหลดของระบบ

จาก load duration curve ที่ใช้ในการคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้า ซึ่งจำลองด้วยสมการเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าจริงของโหลด (MW) และระยะเวลาที่ค่าโหลดเหล่านั้นเกิดขึ้น จะประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

Max คือ ค่าโหลดสูงสุดประจำปี (Annual Peak Load)

Min คือ ค่าโหลดพื้นฐาน (Base Load)

5.1.4.2 ค่าโหลดที่บัสต่าง ๆ ในระบบ

ใช้สำหรับคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของโหลดบัส และความเชื่อถือได้ของทั้งระบบโดยแบบจำลองของโหลดที่บัสนี้ จะคิดเฉพาะโหลดสูงสุดเพียงระดับเดียว เพื่อสะดวกต่อการคำนวณ และถือเป็นค่าที่มีผลทางด้านความปลอดภัยสูงกว่า

ในด้านความไม่แน่นอนของการคาดคะเนโหลดนั้น จะนำโค้งการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ของข้อมูลมาใช้ ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.2 ข้อมูลที่ทำการป้อนเข้าจะประกอบด้วย

PRC คือ ร้อยละของการคลาดเคลื่อนจากค่าโหลดสูงสุดที่ประมาณไว้ในปีอนาคต

STP คือ จำนวนระดับชั้นของค่าความคลาดเคลื่อนที่จะใช้พิจารณา โดยแบ่งระดับของความคลาดเคลื่อนออกเป็น 5, 7, 9 และ 11 ระดับ

5.1.5 ข้อมูลเกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์

เป็นข้อมูลของจำนวนปีที่ต้องการวิเคราะห์ โดยโปรแกรมที่เขียนขึ้นสามารถวิเคราะห์ได้เป็นจำนวน 10 ปี โดยเก็บข้อมูลจำนวนปีที่ต้องการวิเคราะห์ ไว้ที่ตัวแปร YR

5.2 การสร้าง และพัฒนาโปรแกรม

โปรแกรมการกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองโดยอาศัยค่าชี้ความเชื่อถือได้ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

5.2.1 การสร้างตารางความน่าจะเป็นของกำลังผลิตไฟฟ้าที่เกิดขัดข้อง เป็นการสร้างแบบจำลองของกำลังการผลิตไฟฟ้า ได้ถูกเขียนขึ้นไว้ใน procedure ชื่อ PROBTABLE โดยอาศัยรีเคอร์ซีฟเทคนิคซึ่งมีขั้นตอนวิธีดัง แสดงรายละเอียดไว้ที่ หัวข้อ 2.1.2 ในบทที่ 2

5.2.2 การคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง ได้ถูกเขียนไว้ใน procedure ชื่อ LOLE ซึ่งอาศัยแบบจำลองโหลดเป็นแบบเส้นตรงเข้าร่วมคำนวณกับตารางความน่าจะเป็นที่ถูกสร้างขึ้นในหัวข้อ 5.2.1 ทำให้สามารถคำนวณค่า LOLE และ EENS ได้ ดังแสดงรายละเอียดไว้ที่ หัวข้อ 2.3 ในบทที่ 2

5.2.3 การสมมติหรือการสร้างเหตุการณ์ขัดข้องที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบในระบบในแต่ละครั้ง ได้ถูกเขียนไว้ใน procedure ชื่อ SELCONT โดยระดับชั้นของการเกิดเหตุการณ์ที่จะนำมาพิจารณาได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ของ บทที่ 3

5.2.4 การจัดโครงสร้างของระบบใหม่เนื่องจากเหตุการณ์ขัดข้องที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งจากหัวข้อที่ 5.2.3 ได้ถูกเขียนขึ้นไว้ใน procedure ชื่อ REARRANGE โดยโครงสร้างของระบบที่ทำการเก็บไว้ในรูปเมตริกซ์ที่ตัวแปร NETW ซึ่งมีขนาด (nb + 1) x (nb + 2) เมื่อ nb คือ จำนวนบัสในระบบ โดย NETW[1,1] หมายถึง ปมรวมแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งถูกกำหนดให้มีค่า 10^5 สำหรับค่า NETW ในแถวที่ 1 ของเมตริกซ์ซึ่งกำหนดเป็น Netw [1,i+1] จะเป็นข้อมูลขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทั้งหมดซึ่งต่ออยู่ที่บัส i ส่วนค่า NETW ในคอลัมน์ที่ nb + 2 ของเมตริกซ์ซึ่งกำหนดเป็น NETW [j+1, nb+2] จะเป็นข้อมูลขนาดของโหลดซึ่งมีอยู่ที่บัส j ส่วนค่า NETW [i+1, j+1] ใดๆ ซึ่งไม่อยู่ในแถวที่ 1 และคอลัมน์ที่ nb+2 จะเป็นข้อมูลขนาดของสายส่งรวมทั้งหมดที่ต่ออยู่ระหว่างบัส i และ j

เมื่อเกิดเหตุการณ์ขัดข้องขึ้นกับส่วนประกอบในระบบตามหัวข้อที่ 5.2.3 จะทำให้โครงสร้างของระบบที่เก็บไว้ในตัวแปร NETW เปลี่ยนแปลง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 5 MW ซึ่งต่ออยู่ที่บัส 2 เกิดขัดข้อง ค่าของ Netw [1, 3] จะลดลง 5 MW หรือ สายส่งที่ต่ออยู่ระหว่างบัส 3 และ บัส4 ซึ่งมีขนาด 100 MW เกิดขัดข้อง ค่าของ NETW [4,5] ก็จะลดลง 100 MW เช่นกัน

5.2.5 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าซึ่งโหลดที่บัสต่างๆ จะได้รับ และค่าชี้ความเชื่อถือได้ที่บัสนั้นๆ ได้ถูกสร้างขึ้นไว้ที่ procedure ชื่อ NETFLOW เมื่อมีการสมมติหรือกำหนดเหตุการณ์ขัดข้องจากหัวข้อ 5.2.3 ทำให้ระบบมีโครงสร้างเปลี่ยนแปลงตามหัวข้อที่ 5.2.4 จากนั้นจึงทำ

การคำนวณค่าพลังงานที่โหลดบัสต่าง ๆ ได้รับโดยอาศัยวิธี ลีเนียร์กราฟฟลว์ ซึ่งได้แสดงขั้นตอนวิธีและรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ของบทที่ 3 เมื่อพลังงานที่จ่ายให้โหลดที่บัสใดๆ มีค่าไม่เพียงพอ ค่าโอกาสและความถี่ที่จะเกิดเหตุการณ์ขัดข้องนั้นๆ ก็จะถูกสะสมเอาไว้ จนกระทั่งสิ้นสุดเหตุการณ์ขัดข้องก็จะทำให้ได้ค่าความเชื่อถือได้ของโหลดที่บัสต่างๆ และของทั้งระบบออกมา โฟลว์ชาร์ทซึ่งแสดงขั้นตอนการคำนวณในหัวข้อที่ 5.2.3 ถึง 5.2.5 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 ของบทที่ 3

5.2.6 ขั้นตอนการคำนวณกำลังผลิตสำรองและสายส่งที่เพิ่มเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง

การเพิ่มกำลังผลิตสำรองหรือสายส่งตามโปรแกรมที่ถูกสร้างนี้จะทำงานในลักษณะ อินเทอแอคทีฟ ซึ่งขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ใช้โปรแกรม โดยอาศัยกฎเกณฑ์และค่าสำหรับช่วยในการตัดสินใจอันประกอบด้วย

- ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง
- ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของโหลดบัส และของทั้งระบบ
- กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่ง
- กฎเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสิน ประกอบด้วย กฎเกณฑ์การตัดสินใจและกฎเกณฑ์ความน่าจะเป็น ซึ่งอาศัยทฤษฎีที่แสดงไว้ในบทที่ 2-4

เมื่อนำวิธีการสร้างโปรแกรมตามหัวข้อที่ 5.2.1 ถึง 5.2.5 รวมเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองขึ้นได้ โดยมีขั้นตอนการคำนวณกำลังผลิตสำรองและสายส่งที่เพิ่มเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลัง แสดงได้ดังรูปที่ 5.1 เริ่มจาก

ขั้นที่ 1 การป้อนข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณซึ่งกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.1 รวมถึงขีดจำกัดของค่า LOLE โดยใช้เป็นค่ากำหนดความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง เพื่อใช้ในการกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง

ขั้นที่ 2 คำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตกำลังไฟฟ้า โดยเริ่มจากการสร้างตารางแบบจำลองการผลิตโดยอาศัยรีเคอร์ซีฟเทคนิค (Recursive Technique) จากนั้นจึงรวมเข้ากับแบบจำลองของโหลดในปีที่ต้องการศึกษาเพื่อคำนวณหาค่า LOLE และ EENS

ขั้นที่ 3 เป็นการตรวจสอบค่า LOLE จากการคำนวณในขั้นที่ 2 ว่าเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้จากขั้นที่หนึ่งหรือไม่ ถ้าเกินให้ไปขั้นที่ 4 ถ้าไม่เกินให้ไปขั้นที่ 5

ขั้นที่ 4 เมื่อค่า LOLE ซึ่งคำนวณจากขั้นที่ 3 มีค่าสูงกว่าขีดจำกัด แสดงว่าต้องมีการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ แต่จะเพิ่มสายส่งด้วยหรือไม่นั้นจะใช้ผลลัพธ์จากโหลดโฟลว์ในการหากำลังไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในสายส่งว่ามีค่าเข้าใกล้ขีดจำกัดของสายส่งหรือไม่ จากนั้นผู้ใช้โปรแกรมจะเป็นผู้ตัดสินใจอีกครั้ง ส่วนการเพิ่มกำลังการผลิตก็จะใช้ได้ 2 วิธี คือ

1. กำหนดค่าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะเพิ่มเข้าสู่ระบบโดยผู้ใช้โปรแกรม

2. คำนวณหาขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะเพิ่มเข้าสู่ระบบโดยการเพิ่มค่าขึ้นทีละขั้นด้วยคอมพิวเตอร์จนได้ค่า LOLE อยู่ในขีดจำกัดที่ตั้งไว้ในขั้นที่ 1

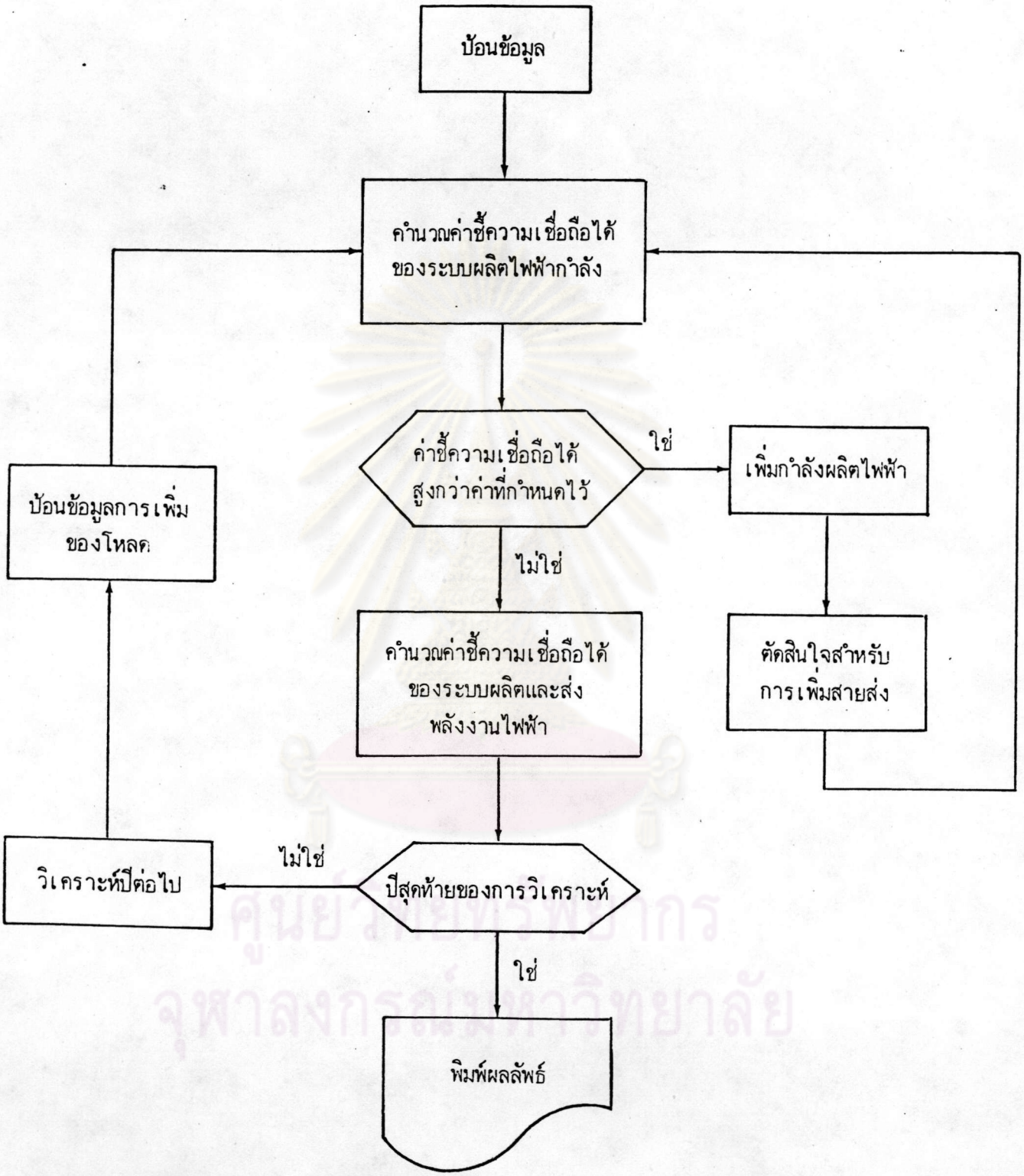
ขั้นที่ 5 เป็นการคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของโหลดบัส และของทั้งระบบเพื่อใช้ประกอบในการตัดสินถึงตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทำการเพิ่มเข้าสู่ระบบ รายละเอียดของขั้นนี้ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

ขั้นที่ 6 ตรวจสอบการวางแผนถึงปีสุดท้ายที่ต้องการศึกษาหรือไม่ ถ้ายังไม่ถึงก็จะเป็นการศึกษาในปีต่อไปโดยจะมีการเพิ่มของโหลดในปีนั้น ๆ ซึ่งจะเข้าสู่ขั้นที่ 7 ในกรณีถึงปีสุดท้ายก็จะทำการพิมพ์ผลลัพธ์

ขั้นที่ 7 การเพิ่มของโหลดในปีอนาคต จะเป็นการประมาณค่าการเพิ่มขึ้นของค่าโหลดสูงสุดของระบบ และค่าโหลดสูงสุดที่แต่ละบัส โดยประมาณการเพิ่มเป็นร้อยละของโหลดสูงสุดของปีที่ทำการศึกษาผ่านมา ซึ่งจะใช้ข้อมูลของความไม่แน่นอนของค่าที่ประมาณไว้รวมถึงระดับชั้นของความคลาดเคลื่อนด้วย

ขั้นที่ 8 ส่วนของการพิมพ์ผลประกอบด้วย

1. ตารางแสดงแบบจำลองการผลิต
2. ตารางแสดงการคำนวณค่า LOLE
3. ตารางแสดงการคำนวณค่า EENS
4. ตารางแสดงการคำนวณค่าโอกาสที่เกิดความล้มเหลวของโหลดบัส
5. ตารางแสดงการคำนวณค่าความถี่ที่จะเกิดความล้มเหลวของโหลดบัส
6. ตารางแสดงการคำนวณค่า ELC , EENS และ EDLC ของโหลดบัส
7. ตารางคำนวณค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า
8. ตารางแสดงการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงผ่านสายส่งในระบบ
9. ค่าขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือสายส่ง และตำแหน่งที่เพิ่มเข้าสู่ระบบ



รูปที่ 5.1 โฟลว์ชาร์ทแสดงขั้นตอนการคำนวณกำลังผลิตสำรองและสายส่งที่เพิ่มเข้าสู่ระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์

ตัวอย่างที่ 1 เป็นตัวอย่างที่นำมาจาก " IEEE RELIABILITY TEST SYSTEM " [18] เพื่อใช้ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม เป็นระบบที่มีขนาด 24 บัส 38 สายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ส่วนข้อมูลเบื้องต้นสำหรับใช้ทดสอบมีดังต่อไปนี้

แบบจำลองโหลด

ทำการพิจารณาในช่วงเวลา 52 สัปดาห์ โดยโหลดสูงสุดประจำปีของระบบทดสอบมีค่า 2850 MW ซึ่งเกิดขึ้นในสัปดาห์ที่ 51 สำหรับค่าโหลดสูงสุดประจำสัปดาห์ถูกกำหนดเป็นร้อยละของโหลดสูงสุดประจำปี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.1

สำหรับค่าโหลดสูงสุดประจำวันในแต่ละสัปดาห์ ถูกกำหนดเป็นร้อยละของโหลดสูงสุดในแต่ละสัปดาห์นั้น ๆ และถือว่าเกิด weekly peak load cycle เหมือนกันทุกสัปดาห์ โดยมีข้อมูลแสดงไว้ในตารางที่ 5.2

ระบบผลิตไฟฟ้า

กำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดของระบบมีค่า 3405 MW ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 5.3

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองกำลังการผลิต ถูกต้องตรงตาม [18] ทุกประการ โดยสถานะที่มีค่าการเกิดต่ำกว่า $1*10^{-10}$ จะถูกตัดออกจากการพิจารณา ทำให้มีสถานะที่เกิดขึ้นทั้งหมดจำนวน 2090 สถานะ ซึ่งได้แสดงรายละเอียดทั้งหมดไว้ในภาคผนวก ก.

ตัวอย่างของผลลัพธ์บางค่าซึ่งคัดเลือกจากภาคผนวก ก. ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.4 และ 5.5 โดยตารางที่ 5.4 แสดงถึงทุกสถานะในแบบจำลองกำลังการผลิตไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในช่วง 0 ถึง 60 MW ส่วนช่วงที่สูงกว่า 60 MW แสดงค่าของสถานะที่จะเกิดขึ้นทุก ๆ 20 MW สำหรับตารางที่ 5.5 แสดงถึงสถานะที่จะเกิดขึ้นในช่วง 1500 ถึง 2150 MW ทุก ๆ 50 MW

ในส่วนของการคำนวณค่า LOLE ของระบบ ได้ทำการสรุปโอกาสที่จะเกิดการสูญเสียโหลดขึ้นในแต่ละสัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 5.6 ส่วนรายละเอียดการคำนวณค่าโอกาสที่จะเกิดการสูญเสียโหลดของทุก ๆ วันใน 52 สัปดาห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

จากตารางที่ 5.6 และสมการที่ 2.3 ในบทที่ 3 ทำให้สามารถคำนวณค่า LOLE ได้ดังต่อไปนี้

$$LOLE = \sum_{i=1}^{n} P_i(C_i - L_i)$$

โดย C_i หมายถึง กำลังการผลิตที่มีอยู่ ณ.วันที่ i ในที่นี้มีค่า 3405 MW

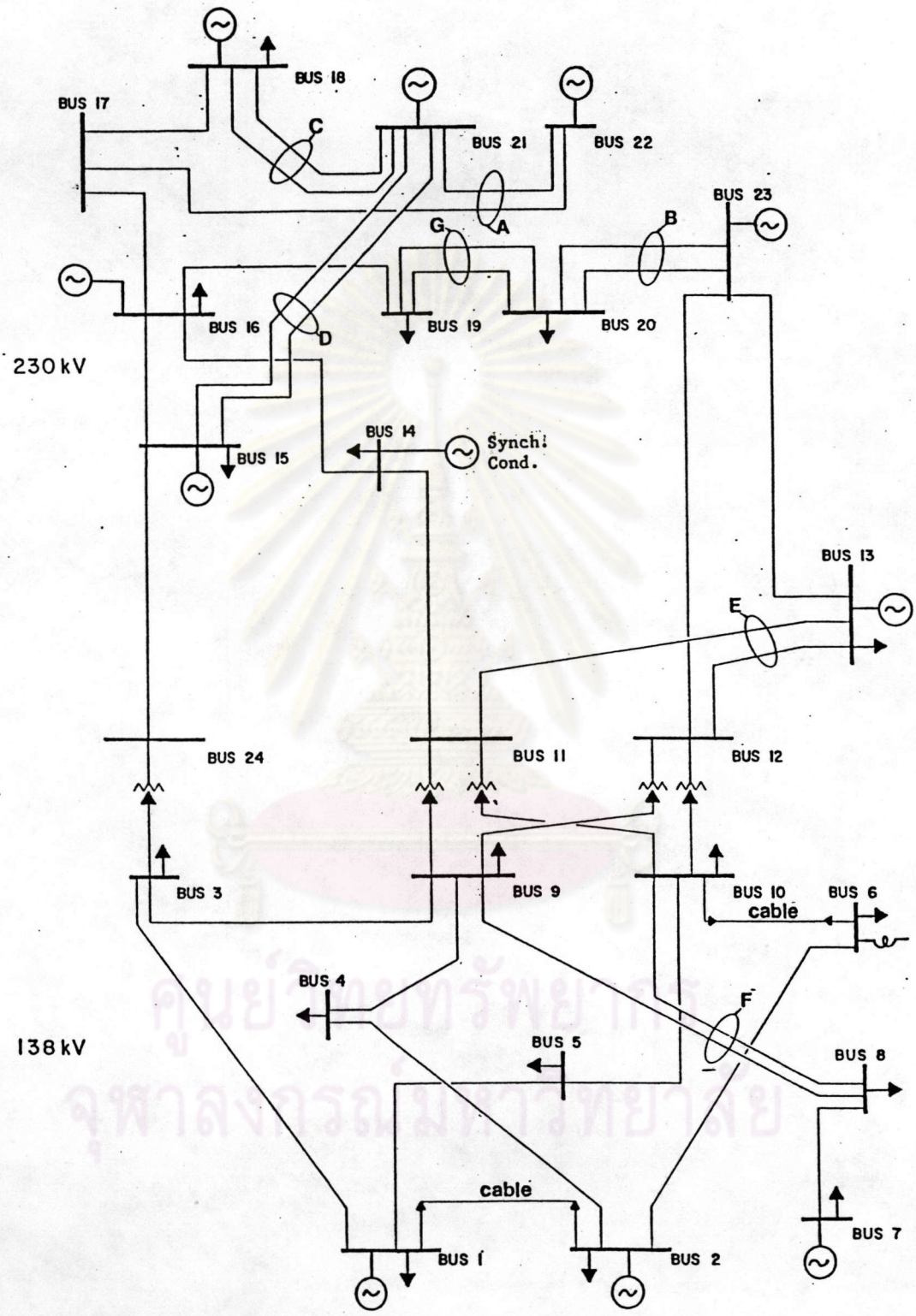
L_i หมายถึง ค่าโหลดสูงสุดประจำวันที่ i

$P_i(C_i-L_i)$ หมายถึง ความน่าจะเป็นสะสมของการสูญเสียโหลด ณ.วันที่ i ซึ่งค่านี้ได้จากตารางแบบจำลองกำลังการผลิต ในภาคผนวก ก.

ผลจากการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 5.6 ทำให้ระบบมีค่า

LOLE = 1.3889498553 วัน/ปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 ระบบทดสอบความเชื่อถือได้ตามมาตรฐาน IEEE ขนาด 24 บัส 38 สายส่ง

ตารางที่ 5.1 แสดงโหลดสูงสุดประจำสัปดาห์เป็นค่าร้อยละของโหลดสูงสุดประจำปี

สัปดาห์ที่	โหลดสูงสุด	สัปดาห์ที่	โหลดสูงสุด
1	86.20	27	75.50
2	90.00	28	81.60
3	87.80	29	80.10
4	83.40	30	88.00
5	88.00	31	72.20
6	84.10	32	77.60
7	83.20	33	80.00
8	80.60	34	72.90
9	74.00	35	72.60
10	73.70	36	70.50
11	71.50	37	78.00
12	72.70	38	69.50
13	70.40	39	72.40
14	75.00	40	72.40
15	72.10	41	74.30
16	80.00	42	74.40
17	75.40	43	80.00
18	83.70	44	88.10
19	87.00	45	88.50
20	88.00	46	90.90
21	85.60	47	94.00
22	81.10	48	89.00
23	90.00	49	94.20
24	88.70	50	97.00
25	89.60	51	100.00
26	86.10	52	95.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 แสดงโหลดสูงสุดประจำวันเป็นค่าร้อยละของโหลดสูงสุดประจำสัปดาห์

วัน	โหลดสูงสุด
จันทร์	93
อังคาร	100
พุธ	98
พฤหัส	96
ศุกร์	94
เสาร์	77
อาทิตย์	75

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ค่าพิกัด (MW)	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	FOR	MTTF (hours)	MTTR (hours)
12	5	0.02	2940	60
20	4	0.10	450	50
50	6	0.01	1980	20
76	4	0.02	1960	40
100	3	0.04	1200	50
155	4	0.04	960	40
197	3	0.05	950	50
350	1	0.08	1150	100
400	2	0.12	1100	150

ตารางที่ 5.4 แบบจำลองกำลังกำลังผลิตไฟฟ้า (0 - 1600 MW)

X	P(X)	X	P(X)	X	P(X)
0	1.0000000000	420	0.1869639957	1020	0.0036237438
12	0.7626048809	440	0.1514033121	1040	0.0032568171
20	0.7394829299	460	0.1372189624	1060	0.0028568752
24	0.6344184326	480	0.1268196964	1080	0.0025636084
32	0.6334338631	500	0.1225162184	1100	0.0023530211
36	0.6227129961	520	0.1080574714	1120	0.0020418688
40	0.6226929028	540	0.1012137016	1140	0.0018884320
44	0.6051821532	560	0.0841661915	1160	0.0012736802
48	0.6047445668	580	0.0750383589	1180	0.0009251575
50	0.6047443618	600	0.0621128606	1200	0.0007912522
52	0.5904173849	620	0.0543169967	1220	0.0006902984
56	0.5886305737	640	0.0509547305	1240	0.0006033391
60	0.5886216434	660	0.0473841706	1260	0.0004896148
80	0.5599309697	680	0.0447691298	1280	0.0004296655
100	0.5476011445	700	0.0424613456	1300	0.0004005223
120	0.5120591413	720	0.0400813486	1320	0.0003048644
140	0.4956939168	740	0.0389416473	1340	0.0002571638
160	0.4508122120	760	0.0309347198	1360	0.0001637770
180	0.4250724071	780	0.0264430062	1380	0.0001221184
200	0.3813281004	800	0.0247193961	1400	0.0001017231
220	0.3559907050	820	0.0187160019	1420	0.0000840423
240	0.3460933113	840	0.0154670817	1440	0.0000711478
260	0.3357474517	860	0.0134161304	1460	0.0000563207
280	0.3281850559	880	0.0121362295	1480	0.0000455154
300	0.3206538341	900	0.0116078478	1500	0.0000404351
320	0.3145814617	920	0.0096214988	1520	0.0000267530
340	0.3117521164	940	0.0086553961	1540	0.0000197877
360	0.2836191775	960	0.0064951711	1560	0.0000134499
380	0.2679025535	980	0.0054326477	1580	0.0000095593
400	0.2618734307	1000	0.0043408742	1600	0.0000080396

X คือ MW OUTAGE
P(X) คือ ความน่าจะเป็นสะสมของการเกิด OUTAGE ที่มีขนาดสูงกว่า หรือเท่ากับ X

ตารางที่ 5.5 แบบจำลองกำลังกำลังผลิตไฟฟ้า (1500 - 2150 MW)

X	P(X)	X	P(X)
1500	0.0000404351	1850	0.0000001529
1550	0.0000149042	1900	0.0000000469
1600	0.0000080396	1950	0.0000000215
1650	0.0000040758	2000	0.0000000072
1700	0.0000015833	2050	0.0000000029
1750	0.0000007216	2100	0.0000000008
1800	0.0000002912	2150	0.0000000003

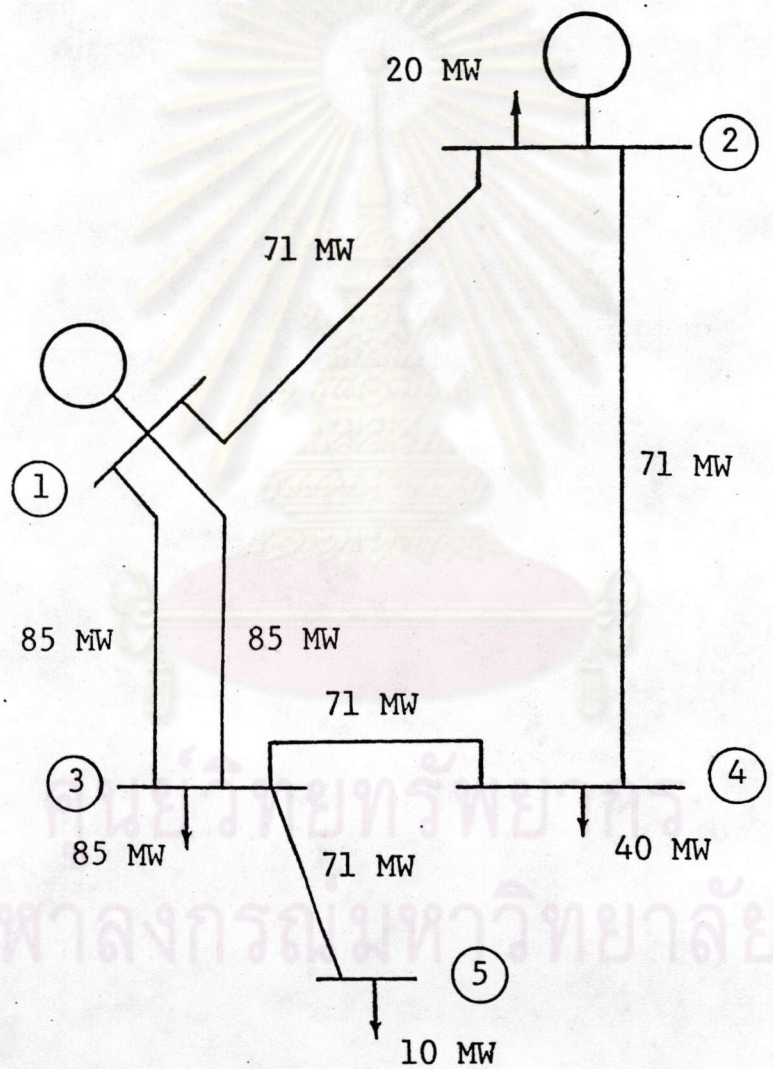
X คือ MW OUTAGE
P(X) คือ ความน่าจะเป็นสะสมของการเกิด OUTAGE ที่มีขนาดสูงกว่าหรือเท่ากับ X

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.6 แสดงค่าโอกาสที่จะเกิดการสูญเสียโหลดในแต่ละสัปดาห์

สัปดาห์ที่	โหลดสูงสุด (MW)	P(C -L)	สัปดาห์ที่	โหลดสูงสุด (MW)	P(C -L)
1	2457	0.0204423308	27	2152	0.0013884762
2	2565	0.0449127334	28	2326	0.0068272793
3	2502	0.0282710725	29	2283	0.0048633136
4	2377	0.0098492651	30	2508	0.0311876530
5	2508	0.0311876530	31	2058	0.0004026408
6	2397	0.0115341223	32	2212	0.0023452254
7	2371	0.0095608970	33	2280	0.0045772545
8	2297	0.0053186273	34	2078	0.0005977777
9	2109	0.0009445815	35	2069	0.0005726262
10	2100	0.0008852993	36	2009	0.0002727816
11	2038	0.0003811574	37	2223	0.0026060458
12	2072	0.0005826175	38	1981	0.0001916910
13	2006	0.0002675489	39	2063	0.0005449049
14	2138	0.0011679731	40	2063	0.0005449049
15	2055	0.0004513393	41	2118	0.0009777025
16	2280	0.0045772941	42	2120	0.0009862146
17	2149	0.0013729497	43	2280	0.0045772545
18	2385	0.0105419798	44	2511	0.0316681794
19	2480	0.0237838501	45	2522	0.0324143453
20	2508	0.0311876530	46	2591	0.0531809164
21	2440	0.0172945936	47	2679	0.1038482033
22	2311	0.0063648844	48	2537	0.0357105506
23	2565	0.0449127334	49	2685	0.1050364204
24	2528	0.0329404736	50	2765	0.1637208100
25	2554	0.0399386601	51	2850	0.2730737461
26	2454	0.0191720978	52	2713	0.1289885493

ตัวอย่างที่ 2 เป็นระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กตามมาตรฐาน IEEE ซึ่งมีขนาด 5 บัส 6 สายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.2 ทำการวิเคราะห์เป็นระยะเวลา 3 ปี โดยกำหนดเกณฑ์ความเชื่อถือได้ด้วยค่า LOLE ที่ 1 วันต่อปี ส่วนข้อมูลที่ใช้แสดงไว้ในตารางที่ 5.7 ถึง 5.9



รูปที่ 5.3 ระบบทดสอบตามมาตรฐาน IEEE ขนาด 5 บัส 6 สายส่ง

จากตารางที่ 5.7 พบว่าระบบไฟฟ้านี้มีกำลังการผลิต 210 MW ส่วนแบบจำลองโหลดที่ใช้ให้มีค่า demand factor = 80% เมื่อให้โหลดสูงสุดของระบบมีค่าเท่ากับโหลดสูงสุดของทุกบัสรวมกันซึ่งมีค่า 155 MW ดังนั้นโหลดพื้นฐานมีค่า 155*0.8 = 124 MW ทำให้กำลังผลิตสำรองต่ำสุดมีค่า 55 MW และ กำลังผลิตสำรองสูงสุดมีค่า 86 MW ค่า LOLE แสดงไว้ในตารางที่ 5.10 มีค่า 0.00086097 วันต่อปี ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำแสดงว่าในปีแรกของการวิเคราะห์ระบบผลิตไฟฟ้ากำลังมีความเชื่อถือได้สูงหรือพิจารณาจาก EENS ในตารางที่ 5.11 มีค่า 0.07 MWh ต่อปี ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำเช่นเดียวกัน ส่วนค่าชี้ความเชื่อถือได้ของโหลดบัสแสดงไว้ในตารางที่ 5.12 แสดงถึงบัสที่ 2 , 3, 4 และ 5 มีความเชื่อถือได้เรียงตามลำดับ ส่วนค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบแสดงไว้ในตารางที่ 5.13 สำหรับตารางแสดงรายละเอียดผลการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ค.

ในปีที่ 2 ค่าของโหลดทั้งระบบ และโหลดที่บัสต่าง ๆ ถูกประมาณการเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 13 เท่ากัน ทำให้ข้อมูลโหลดเปลี่ยนไปดังนี้

โหลดทั้งระบบ	-	โหลดสูงสุด	= 175.15 MW
	-	โหลดพื้นฐาน	= 140.12 MW
โหลดที่บัสต่าง ๆ	-	บัส 2	= 22.60 MW
	-	บัส 3	= 96.05 MW
	-	บัส 4	= 45.02 MW
	-	บัส 5	= 11.30 MW

จากข้อมูลข้างต้น พบว่ากำลังผลิตสำรองในปีที่ 2 มีค่าลดลงจากปีที่ 1 เหลือค่าสูงสุด 69.88 MW และค่าต่ำสุด 34.85 MW นั่นทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตกำลังไฟฟ้าต่ำลง คือค่า LOLE ของปีที่ 2 ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.14 มีค่า 0.04322456 วัน นั่นหมายถึงโอกาสที่กำลังการผลิตไฟฟ้าในปีที่ 2 มีค่าไม่พอจ่ายพลังงานให้กับโหลดมากกว่าในปีที่ 1 แต่ยังคงมีความเชื่อถือได้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือต่ำกว่า 1 วันต่อปี สำหรับรายละเอียดของตารางการคำนวณค่า LOLE ในปีที่ 2 ถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

ในกรณีที่โหลดสูงสุดมีค่าการเพิ่มสูงกว่าร้อยละ 13 ซึ่งได้คาดไว้นั้นระบบจะมีกำลังผลิตสำรองต่ำลงซึ่งอาจจะทำให้ระบบผลิตไฟฟ้ากำลังมีความเชื่อถือได้ไม่ดีนัก จากการพิจารณาถึงการเพิ่มในช่วงร้อยละ 13 ถึงร้อยละ 20 พบว่าค่า LOLE เพิ่มขึ้น และยังมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้คือ 1 วันต่อปี นั่นแสดงให้เห็นว่าความผิดพลาดของการคาดคะเนโหลดสูงสุดในปีที่ 2 นี้ มีผลกระทบ

ต่อความเชื่อถือได้ของระบบไม่มาก สำหรับผลของค่า LOLE และ กำลังผลิตสำรองจากการพิจารณานี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.15 และ กราฟรูปที่ 5.4 ซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่า LOLE เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดสูงขึ้น ส่วนตารางที่ 5.16 และ 5.17 เป็นการสรุปค่าชี้ความเชื่อถือได้ของโหลดบัสและของทั้งระบบในปีที่ 2 ตามลำดับ

ในปีที่ 3 ค่าของโหลดทั้งระบบและโหลดที่บัสต่าง ๆ ยังคงถูกประมาณการเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 13 เท่ากัน ทำให้ข้อมูลโหลดเปลี่ยนไปดังนี้

โหลดทั้งระบบ	-	โหลดสูงสุด	= 197.92 MW
	-	โหลดพื้นฐาน	= 158.34 MW
โหลดที่บัสต่าง ๆ	-	บัส 2	= 25.54 MW
	-	บัส 3	= 108.54 MW
	-	บัส 4	= 51.08 MW
	-	บัส 5	= 12.77 MW

จากข้อมูลข้างต้นพบว่ากำลังผลิตสำรองสูงสุดในปีที่ 3 ลดลงเหลือ 51.66 MW ส่วนค่ากำลังผลิตสำรองต่ำสุดเหลือ 12.08 MW ทำให้ค่า LOLE ที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.8 มีค่า 1.7654743 วันต่อปี ซึ่งสูงกว่า 1 วันต่อปี แสดงว่าระบบผลิตไฟฟ้ากำลังมีความเชื่อถือได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจึงต้องทำการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้า จากการคำนวณด้วยโปรแกรมที่เขียนขึ้น เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เพิ่มมีขนาด 5 MW อัตราการล้มเหลว (λ) มีค่า 1 ครั้งต่อปี อัตราการซ่อมแซม (μ) มีค่า 99 ครั้งต่อปี ทำให้ค่า LOLE ลดเหลือ 0.76428040 วันต่อปี ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด จากนั้นทำการตรวจสอบถึงการเพิ่มสายส่งเข้าสู่ระบบโดยพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลผ่านสายส่ง โดยคำนวณจากทฤษฎีโหลดโฟลว์ ผลที่ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 5.18 พบว่าสายส่งยังสามารถรับกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลผ่านได้อีกจำนวนหนึ่ง จึงตัดสินใจยังไม่ทำการเพิ่มสายส่ง สำหรับรายละเอียดของตารางการคำนวณทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

ในปีที่ 3 นี้ กรณีที่โหลดสูงสุดมีค่าการเพิ่มสูงกว่าร้อยละ 13 ซึ่งได้คาดไว้นั้นระบบจะมีกำลังผลิตสำรองต่ำลงอีก ซึ่งทำให้ระบบผลิตไฟฟ้ากำลังมีความเชื่อถือได้ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.19 จากการพิจารณาถึงการเพิ่มในช่วงร้อยละ 13 ถึงร้อยละ 20 พบว่าในการที่จะรักษาให้ระบบมีความเชื่อถือได้ตามที่กำหนดไว้ต้องมีการเพิ่มกำลังผลิตสำรองขนาดแตกต่างกันไป ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.20 ตัวอย่างจากตารางนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อโหลดสูงสุด

เพิ่มในอัตราร้อยละ 15 ค่าเหมาะสมของกำลังผลิตสำรองที่ควรเพิ่มเข้าสู่ระบบมีค่า 8 MW ซึ่งในทางปฏิบัติอาจเลือกใช้ค่า 10 MW

จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อกำหนดเกณฑ์ความเชื่อถือได้อยู่ที่ 1 วันต่อปี และพิจารณาโหลดสูงสุดเพียงระดับเดียว ผลจากตารางที่ 5.21 และ 5.22 พบว่า เมื่อกำลังผลิตสำรองของระบบมีค่าต่ำกว่า 20 MW จะทำให้ค่า LOLE สูงกว่าที่กำหนดไว้ นั่นหมายถึง ค่ากำลังผลิตสำรองที่พอเหมาะของระบบมีค่า 20 MW

ในกรณีที่ใช้กฎเกณฑ์การตัดสินใจ เมื่อกำหนดกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดของระบบ นั่นคือกำลังผลิตสำรองมีค่า 20 MW จากตารางที่ 5.21 พบว่า LOLE มีค่า 0.55423988 วันต่อปี ส่วนเมื่อกำหนดด้วยร้อยละ 20 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด นั่นหมายถึงกำลังผลิตสำรองมีค่า 35 MW จากตารางที่ 5.23 พบว่า LOLE มีค่า 0.26147027 วันต่อปี จะเห็นได้ว่าระบบมีความเชื่อถือได้สูงซึ่งหมายถึง การใช้กฎเกณฑ์การตัดสินใจยังพอที่จะใช้กับระบบเล็ก ๆ เช่นนี้ได้

สำหรับความไม่แน่นอนในทางสถิติเนื่องจากการคาดคะเนโหลดสูงสุดในปีที่ 1 ซึ่งมีผลต่อค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบผลิตไฟฟ้ากำลัง เมื่อพิจารณาถึงร้อยละของความเคลื่อนจากโหลดสูงสุด และจำนวนระดับชั้นที่ใช้พิจารณาโค้งแจกแจงปกติ ได้สรุปเป็นค่า LOLE ไว้ในตารางที่ 5.24 พบว่า $LOLE_u/LOLE_o$ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.25 และ กราฟในรูปที่ 5.5 ถึง 5.8 มีการเปลี่ยนแปลงมาก สำหรับตัวอย่างรายละเอียดของการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ.

โดย $LOLE_u$ หมายถึง ค่า LOLE ที่พิจารณาถึงความไม่แน่นอนในการคาดคะเน

$LOLE_o$ หมายถึง ค่า LOLE ที่ระดับโหลดสูงสุดซึ่งคาดคะเนไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง

UNIT NO.	BUSBAR NO.	CAPACITY (MW)	FAILURES PER YEAR	REPAIR PER YEAR	TYPE
1	1	20.00	1.10	72.23	THERMAL
2	1	20.00	1.10	72.23	THERMAL
3	1	20.00	1.10	72.23	THERMAL
4	1	20.00	1.10	72.23	THERMAL
5	2	5.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
6	2	5.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
7	2	5.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
8	2	5.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
9	2	5.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
10	2	5.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
11	2	5.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
12	2	15.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
13	2	20.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
14	2	20.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
15	2	20.00	0.50	99.50	GAS TURBINE
16	2	20.00	0.50	99.50	GAS TURBINE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลสายส่งของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง

LINE NO.	BUSBAR I	BUSBAR J	CAPACITY (MW)	FAILURES PER YEAR	REPAIR PER YEAR	IMPEDANCE R	IMPEDANCE X	Ypq/2
1	1	3	85.00	1.50	876.00	0.0342	0.1800	0.0106
2	2	4	71.00	5.00	876.00	0.1140	0.6000	0.0352
3	1	2	71.00	4.00	876.00	0.0912	0.4800	0.0282
4	3	4	71.00	1.00	876.00	0.0228	0.1200	0.0071
5	3	5	71.00	1.00	876.00	0.0228	0.1200	0.0071
6	1	3	85.00	1.50	876.00	0.0342	0.1800	0.0106

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลบัสของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง

BUS NO.	BUS TYPE	V.MAG (P.U.)	GENERATION (MW)	MVAR LIMIT MIN	MVAR LIMIT MAX	PEAK LOAD MW	PEAK LOAD MVAR	Yc
1	0	1.0200	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
2	1	1.0000	130.00	40.00	-10.00	20.00	0.00	0.0000
3	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	85.00	0.00	0.0000
4	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.0000
5	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.0000

ตารางที่ 5.10 แสดงค่า LOLE ในปีที่ 1

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROPABILITY	TOTAL TIME	LOLE
0.00	0.88638394	0.00	0.00000000
5.00	0.03117933	0.00	0.00000000
10.00	0.00047004	0.00	0.00000000
15.00	0.00445813	0.00	0.00000000
20.00	0.07196642	0.00	0.00000000
25.00	0.00252833	0.00	0.00000000
30.00	0.00003810	0.00	0.00000000
35.00	0.00036117	0.00	0.00000000
40.00	0.00246562	0.00	0.00000000
45.00	0.00008648	0.00	0.00000000
50.00	0.00000130	0.00	0.00000000
55.00	0.00001234	0.00	0.00000000
60.00	0.00004638	16.13	0.00074800
65.00	0.00000162	32.26	0.00005234
70.00	0.00000002	48.39	0.00000118
75.00	0.00000023	64.52	0.00001491
80.00	0.00000052	80.65	0.00004212
85.00	0.00000002	96.77	0.00000196
90.00	0.00000000	100.00	0.00000046

LOLE OF THE SYSTEM = 0.00086097 days
MINIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 55.00 MW
MAXIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 86.00 MW

ตารางที่ 5.11 แสดงค่า EENS ในปีที่ 1

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROPABILITY	ENERGY CURTAIL (MWh)	EXPECTATION (MWh)
0.00	0.88638394	0.00	0.00
5.00	0.03117933	0.00	0.00
10.00	0.00047004	0.00	0.00
15.00	0.00445813	0.00	0.00
20.00	0.07196642	0.00	0.00
25.00	0.00252833	0.00	0.00
30.00	0.00003810	0.00	0.00
35.00	0.00036117	0.00	0.00
40.00	0.00246562	0.00	0.00
45.00	0.00008648	0.00	0.00
50.00	0.00000130	0.00	0.00
55.00	0.00001234	0.00	0.00
60.00	0.00004638	967.74	0.04
65.00	0.00000162	3870.97	0.01
70.00	0.00000002	8709.68	0.00
75.00	0.00000023	15483.87	0.00
80.00	0.00000052	24193.55	0.01
85.00	0.00000002	34838.71	0.00
90.00	0.00000000	46800.00	0.00

EENS OF THE SYSTEM = 0.07 MWh/year

ตารางที่ 5.12 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ที่โหลดบัสในปีที่ 1 ของระบบ 5 บัส

LOAD BUS NO.	INDICES				
	Q	F	ELC	EENS	EDLC
2	0.00000000	0.0000000	0.00	0.00	0.00
3	0.00003906	0.0652987	0.49	2.68	0.34
4	0.00006085	0.1030242	3.93	19.74	0.53
5	0.00609403	5.5876104	53.92	514.25	53.38

Q = PROBABILITY OF FAILURE
F = FREQUENCY OF FAILURE
ELC = EXPECTED LOAD CURTAILED
EENS = EXPECTED ENERGY NOT SUPPLIED
EDLC = EXPECTED DURATION OF LOAD CURTAILMENT

ตารางที่ 5.13 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบในปีที่ 1

```
**********************************************************************
                    ANNUALIZED SYSTEM INDICES
                   ==========================
BULK POWER INTERRUPTION INDEX =    0.376 MW/MW-yr
BULK POWER SUPPLY AVERAGE MW CURTAILMENT/DISTURBANCE =  10.135 MW
BULK POWER ENERGY CURTAILMENT INDEX =    3.462 MWh/MW-yr
**********************************************************************
```

ตารางที่ 5.14 สรุปค่า LOLE และกำลังผลิตสำรองในแต่ละปี

YEAR NO.	LOLE (days/year)	MIN. RESERVE (MW)	MAX. RESERVE (MW)	REMARK
1	0.00086097	55.00	86.00	
2	0.04322456	34.85	69.88	
3	1.76547432	12.08	51.66	LOLE IS OVER LIMIT
3	0.76428040	17.08	56.66	AFTER ADD 5 MW UNIT

ตารางที่ 5.15 สรุปค่า LOLE และกำลังผลิตสำรอง เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดในปีที่ 2 แตกต่างกัน

% OF LOAD INCREASING	LOLE (days/year)	MIN. RESERVE (MW)	MAX. RESERVE (MW)
13	0.04322456	34.85	69.88
14	0.05589752	33.30	68.64
15	0.06834730	31.75	67.40
16	0.08058242	30.20	66.16
17	0.09274986	28.65	64.92
18	0.10472675	27.10	63.68
19	0.11650235	25.55	62.44
20	0.13487850	24.00	61.20

ตารางที่ 5.16 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ที่โหลดบัสในปีที่ 2 ของระบบ 5 บัส

LOAD BUS NO.	INDICES				
	Q	F	ELC	EENS	EDLC
2	0.00000000	0.0000000	0.00	0.00	0.00
3	0.00033257	0.3611648	4.29	32.66	2.91
4	0.00046697	0.4395066	8.03	60.76	4.09
5	0.01437790	10.9398100	73.45	802.84	125.95

Q = PROBABILITY OF FAILURE
F = FREQUENCY OF FAILURE
ELC = EXPECTED LOAD CURTAILED
EENS = EXPECTED ENERGY NOT SUPPLIED
EDLC = EXPECTED DURATION OF LOAD CURTAILMENT

ตารางที่ 5.17 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบในปีที่ 2

```
**************************************************************************
                      ANNUALIZED SYSTEM INDICES
                     ==========================
BULK POWER INTERRUPTION INDEX =  85.78 MW/MW-yr
BULK POWER SUPPLY AVERAGE MW CURTAILMENT/DISTURBANCE =   7.31 MW
BULK POWER ENERGY CURTAILMENT INDEX = 896.26 MWh/MW-yr
**************************************************************************
```

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.18 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลผ่านสายส่งในปีที่ 3

LINE NO.	FROM BUS P	TO BUS Q	FLOW FROM BUS P (MW)	FLOW TO BUS Q (MW)	LINE CAPACITY (MW)
1	1	3	61.60	-60.32	85.00
2	2	4	55.32	-51.82	71.00
3	1	2	-46.90	49.14	71.00
4	3	4	-0.72	0.74	71.00
5	3	5	12.81	-12.77	71.00
6	1	3	61.60	-60.32	85.00

ตารางที่ 5.19 สรุปค่า LOLE และกำลังผลิตสำรอง เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดในปีที่ 3 แต่กต่างกัน

% OF LOAD INCREASING	LOLE (days/year)	MIN. RESERVE (MW)	MAX. RESERVE (MW)
13	1.76547436	12.08	51.66
14	2.10908899	10.33	50.26
15	2.44976446	8.57	48.86
16	2.78209932	6.83	47.46
17	3.11142374	5.07	46.06
18	3.56048759	3.32	44.66
19	4.00702670	1.57	43.26
20	4.82564691	-0.18	41.86

ตารางที่ 5.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า LOLE หลังจากเพิ่มกำลังผลิตสำรอง เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดในปีที่ 3 แตกต่างกัน

% OF LOAD INCREASING	LOLE1 (days/year)	OPTIMUM ADDED UNIT (MW)	OPTIMUM RESERVE MIN (MW)	OPTIMUM RESERVE MAX (MW)	LOLE2 (days/year)	RECOMMEND ADDED UNIT (MW)
13	1.76547436	4	16.08	55.66	0.95806312	5
14	2.10908899	6	16.33	56.26	0.90528421	10
15	2.44976446	8	16.57	56.86	0.85515227	10
16	2.78209932	9	15.83	56.46	0.99123729	10
17	3.11142374	11	16.07	57.06	0.94121036	15
18	3.56048759	13	16.32	57.66	0.89166050	15
19	4.00702670	15	16.57	58.26	0.84299277	20
20	4.82564691	16	15.82	57.86	0.98134650	20

LOLE1 = LOLE BEFORE GENERATOR UNIT IS ADDED
LOLE2 = LOLE AFTER GENERATOR UNIT IS ADDED

ตารางที่ 5.21 แสดงค่า LOLE เมื่อกำลังผลิตสำรองมีค่า 20 MW

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROBABILITY	TOTAL TIME	LOLE
0.00	0.88638151	0.00	0.00000000
5.00	0.03117925	0.00	0.00000000
10.00	0.00047004	0.00	0.00000000
15.00	0.00445812	0.00	0.00000000
20.00	0.07196869	0.00	0.00000000
25.00	0.00252841	100.00	0.25284119
30.00	0.00003810	100.00	0.00381009
35.00	0.00036118	100.00	0.03611833
40.00	0.00246578	100.00	0.24657758
45.00	0.00008648	100.00	0.00864806
50.00	0.00000130	100.00	0.00013024
55.00	0.00001234	100.00	0.00123379
60.00	0.00004638	100.00	0.00463804
65.00	0.00000162	100.00	0.00016228
70.00	0.00000002	100.00	0.00000244
75.00	0.00000023	100.00	0.00002311
80.00	0.00000052	100.00	0.00005224
85.00	0.00000002	100.00	0.00000202
90.00	0.00000000	100.00	0.00000046

LOLE OF THE SYSTEM = 0.55423988 days/year
MINIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 20.00 MW
MAXIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 20.00 MW

ตารางที่ 5.22 แสดงค่า LOLE เมื่อกำลังผลิตสำรองมีค่าต่ำกว่า 20 MW

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROBABILITY	TOTAL TIME	LOLE
0.00	0.88638151	0.00	0.00000000
5.00	0.03117925	0.00	0.00000000
10.00	0.00047004	0.00	0.00000000
15.00	0.00445812	0.00	0.00000000
20.00	0.07196869	100.00	7.19686873
25.00	0.00252841	100.00	0.25284119
30.00	0.00003810	100.00	0.00381009
35.00	0.00036118	100.00	0.03611833
40.00	0.00246578	100.00	0.24657758
45.00	0.00008648	100.00	0.00864806
50.00	0.00000130	100.00	0.00013024
55.00	0.00001234	100.00	0.00123379
60.00	0.00004638	100.00	0.00463804
65.00	0.00000162	100.00	0.00016228
70.00	0.00000002	100.00	0.00000244
75.00	0.00000023	100.00	0.00002311
80.00	0.00000052	100.00	0.00005224
85.00	0.00000002	100.00	0.00000202
90.00	0.00000000	100.00	0.00000046

LOLE OF THE SYSTEM = 7.75110861 days/year
MINIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 19.90 MW
MAXIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 19.90 MW

ตารางที่ 5.23 แสดงค่า LOLE เมื่อกำลังผลิตสำรองมีค่า 35 MW

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROPABILITY	TOTAL TIME	LOLE
0.00	0.88638151	0.00	0.00000000
5.00	0.03117925	0.00	0.00000000
10.00	0.00047004	0.00	0.00000000
15.00	0.00445812	0.00	0.00000000
20.00	0.07196869	0.00	0.00000000
25.00	0.00252841	0.00	0.00000000
30.00	0.00003810	0.00	0.00000000
35.00	0.00036118	0.00	0.00000000
40.00	0.00246578	100.00	0.24657758
45.00	0.00008648	100.00	0.00864806
50.00	0.00000130	100.00	0.00013024
55.00	0.00001234	100.00	0.00123379
60.00	0.00004638	100.00	0.00463804
65.00	0.00000162	100.00	0.00016228
70.00	0.00000002	100.00	0.00000244
75.00	0.00000023	100.00	0.00002311
80.00	0.00000052	100.00	0.00005224
85.00	0.00000002	100.00	0.00000202
90.00	0.00000000	100.00	0.00000046

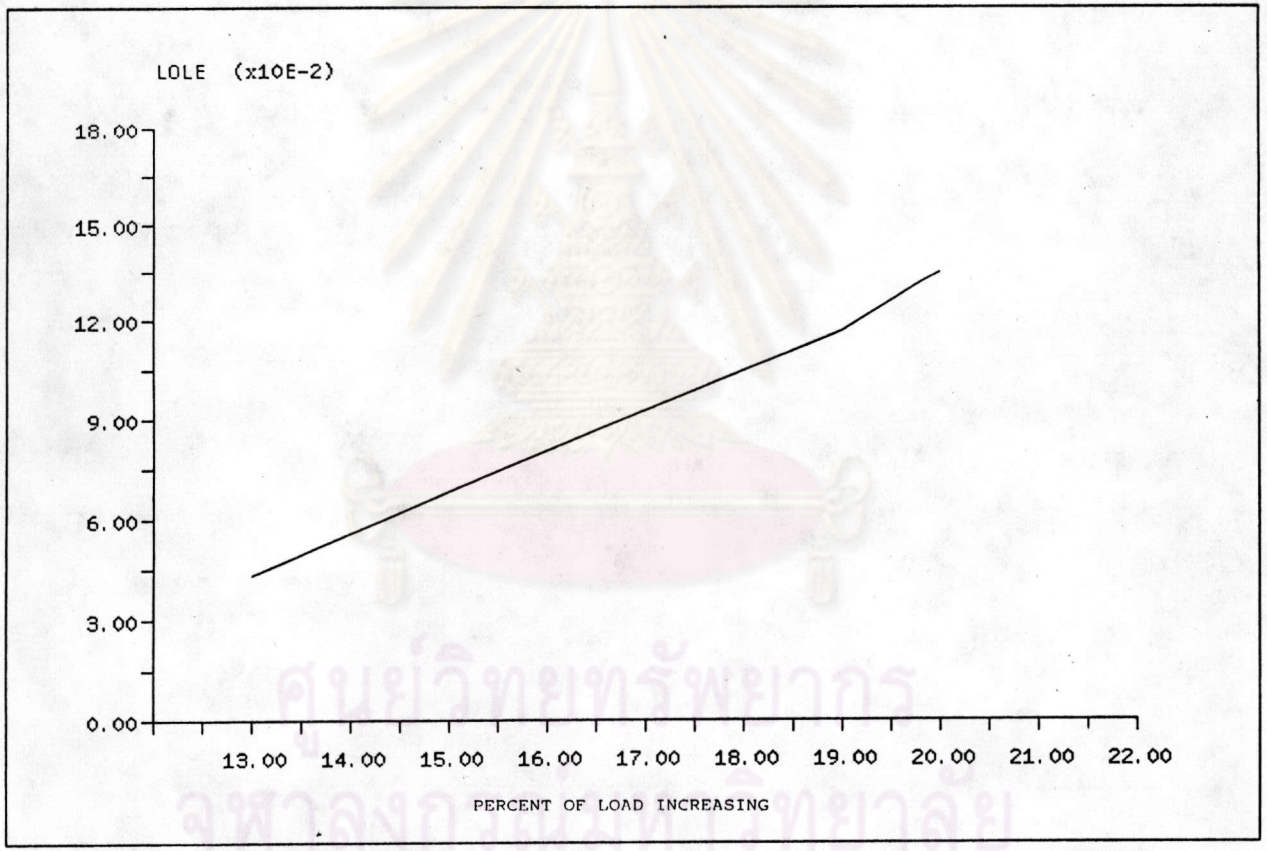
LOLE OF THE SYSTEM = 0.26147027 days
MINIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 35.00 MW
MAXIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 35.00 MW

ตารางที่ 5.24 ค่า LOLE ในปีที่ 1 ของระบบ 5 บัสเมื่อร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนระดับขั้นที่ใช้พิจารณาการแจกแจงปกติ แตกต่างกัน

% OF DEVIATION	NO. OF STEPS APPROXIMATION			
	5	7	9	11
0	0.00086097	0.00086097	0.00086097	0.00086097
2	0.00087594	0.00091249	0.00094452	0.00099621
4	0.00092087	0.00125484	0.00208598	0.00358777
6	0.00126555	0.00353443	0.00840080	0.02087096
8	0.00188951	0.01002952	0.03351330	0.11303278
10	0.00298788	0.02586011	0.14041746	0.45299606
12	0.01063337	0.08522232	0.36774906	1.01377386
14	0.02585221	0.29462187	1.04152146	2.34340596
16	0.04074008	0.49126692	1.66205174	3.51651307
18	0.07635958	0.80118892	2.41163495	4.76696852
20	0.22341205	1.75601620	4.09950238	7.03240137

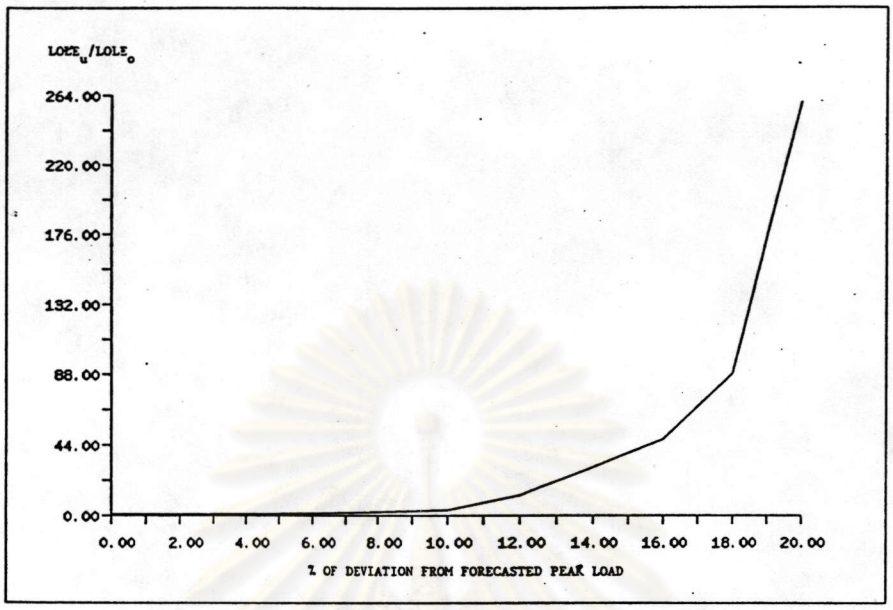
ตารางที่ 5.25 ค่า $LOLE_{\alpha}/LOLE_{0}$ ในปีที่ 1 ของระบบ 5 บัสเมื่อร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจำนวนระดับขั้นที่ใช้พิจารณาการแจกแจงปกติ แตกต่างกัน

% OF DEVIATION	NO. OF STEPS APPROXIMATION			
	5	7	9	11
0	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.02	1.59	1.10	1.16
4	1.07	1.46	2.42	4.17
6	1.47	4.11	9.76	24.24
8	2.19	11.65	38.93	131.29
10	3.47	30.04	163.09	526.15
12	12.35	98.98	427.13	1177.48
14	30.03	342.20	1209.71	2721.83
16	47.32	570.60	1930.44	4084.36
18	88.69	930.57	2801.07	5536.74
20	259.49	2039.58	4761.49	8168.00

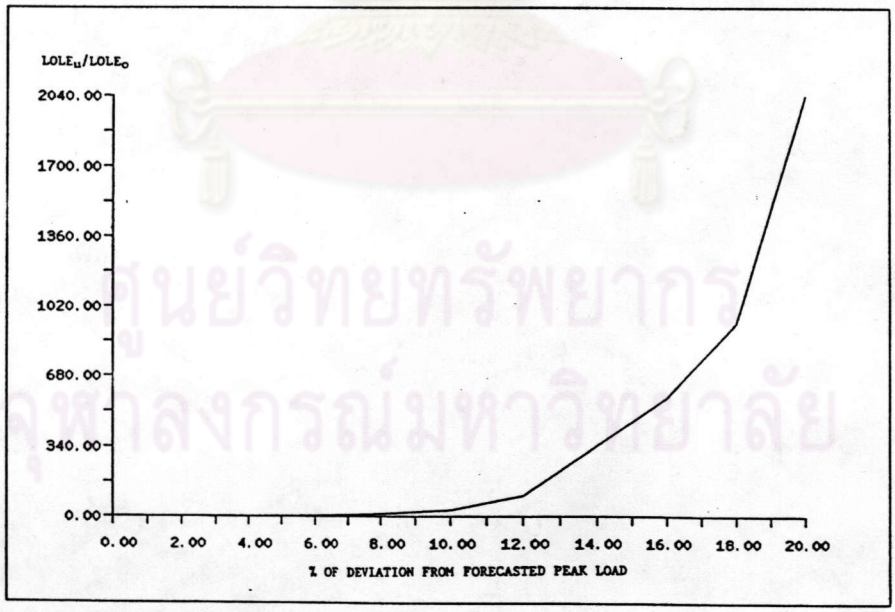


รูปที่ 5.4 กราฟแสดงค่า LOLE ของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดในปีที่ 2 แตกต่างกัน

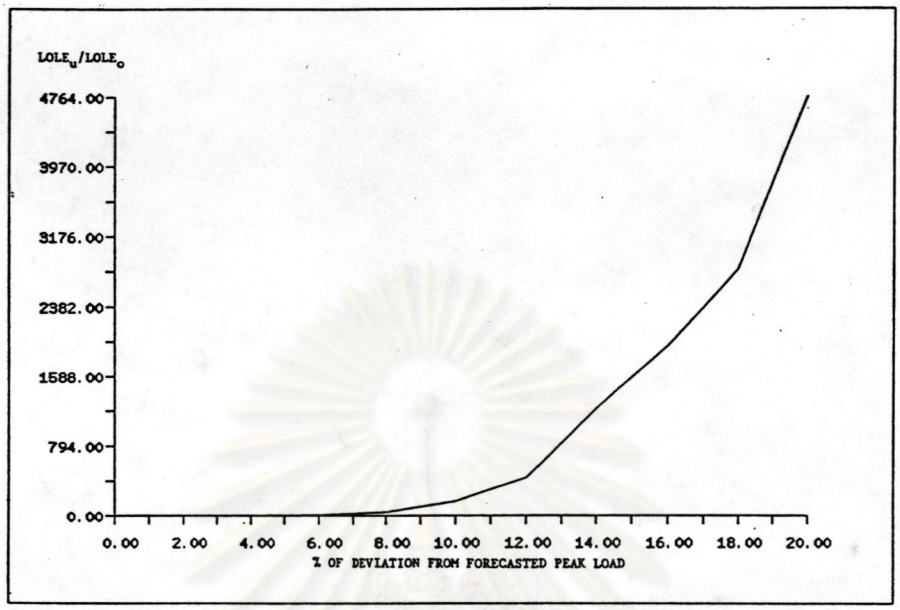
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



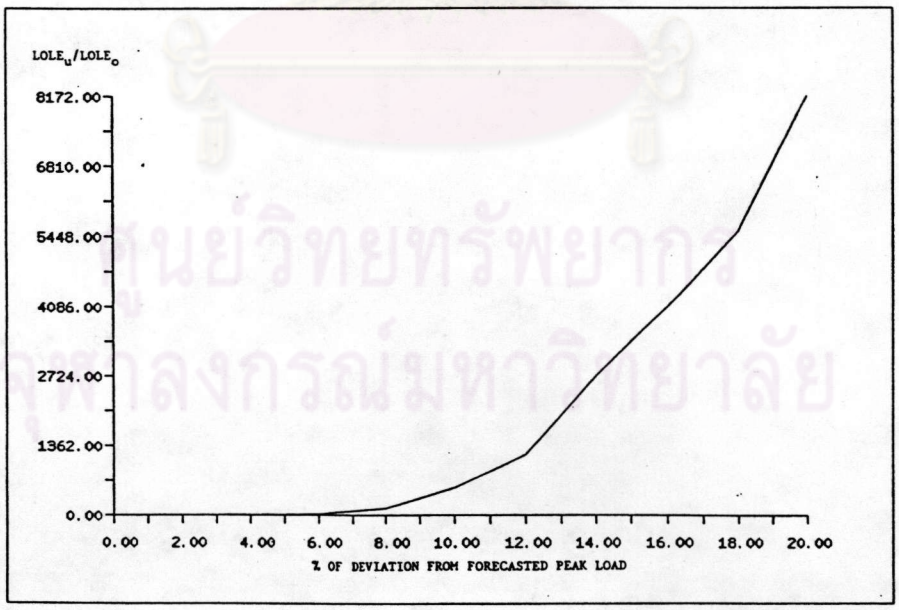
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาการแจกแจงปกติออกเป็น 5 ระดับ



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาการแจกแจงปกติออกเป็น 7 ระดับ

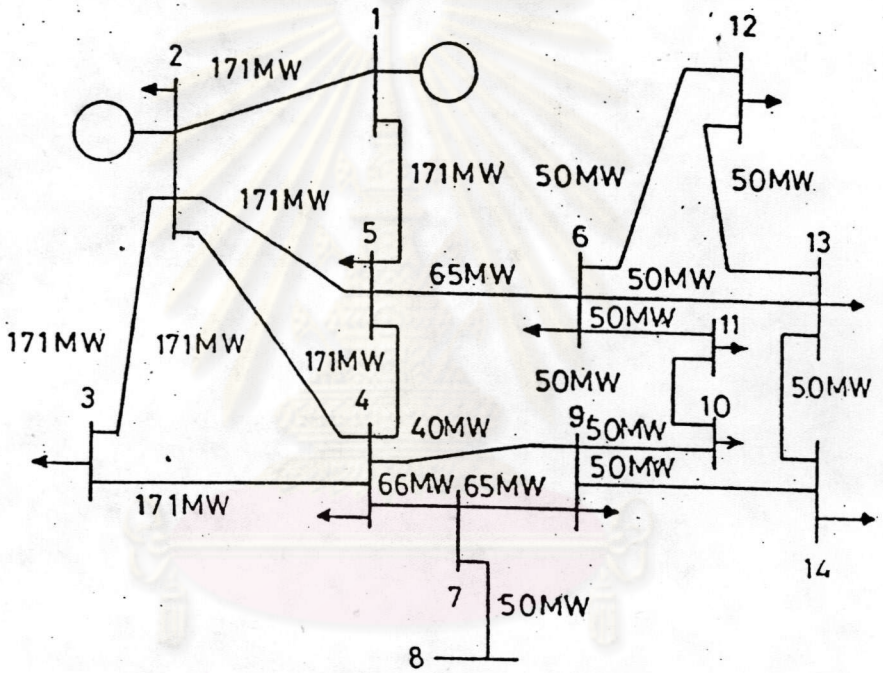


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงค่า LOLE$_u$/LOLE$_o$ ของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาโค้งแจกแจงปกติออกเป็น 9 ระดับ



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงค่า LOLE$_u$/LOLE$_o$ ของระบบ 5 บัส 6 สายส่ง เมื่อเกิดความผิดพลาดในการคาดคะเนโหลดสูงสุด โดยพิจารณาโค้งแจกแจงปกติออกเป็น 11 ระดับ

ตัวอย่างที่ 3 เป็นระบบไฟฟ้ากำลังตามมาตรฐาน IEEE ซึ่งมีขนาด 14 บัส 20 สายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.9 ส่วนข้อมูลที่ใช้แสดงไว้ในตารางที่ 5.26 ถึง 5.28



รูปที่ 5.9 ระบบทดสอบตามมาตรฐาน IEEE ขนาด 14 บัส 20 สายส่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 5.26 กำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบนี้มีค่า 390 MW แบบจำลองโหลดของระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะประมาณค่าโหลดพื้นฐาน มีค่า 70% ของโหลดสูงสุด การวิเคราะห์จะให้โหลดสูงสุดของระบบมีค่าเท่ากับโหลดสูงสุดของทุก ๆ บัสรวมกันซึ่งมีค่า 259 MW ดังนั้นโหลดพื้นฐานมีค่า 259*0.7 = 181.3 MW ทำให้ค่ากำลังการผลิตสำรองต่ำสุดเท่ากับ 131 MW และ ค่ากำลังการผลิตสำรองสูงสุดเท่ากับ 208 MW LOLE ของระบบแสดงไว้ในตารางที่ 5.29 มีค่า 0.00214314 วันต่อปี ซึ่งเป็นค่าที่แสดงว่าระบบผลิตมีความเชื่อถือได้สูง EENS ที่แสดงไว้ในตาราง 5.30 มีค่า 0.54 MWh/year ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่คาดว่าโหลดจะไม่ได้รับ ส่วนค่าชี้ความเชื่อถือได้ที่โหลดบัสต่าง ๆ และ ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของโหลดทั้งระบบได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.31 และ 5.32 ตามลำดับ สำหรับการตรวจสอบพลังงานไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งนั้นแสดงไว้ในตารางที่ 5.33 พบว่าสายส่งเส้นที่ 1 มีกำลังไฟฟ้าจริงไหลผ่านมากที่สุดซึ่งต่ำกว่าขนาดที่จะรับได้ไม่มากนักดังนั้นการเพิ่มสายส่งเพื่อช่วยรับพลังงานจากเส้นที่ 1 จึงถูกนำมาพิจารณาซึ่งจะกล่าวถึงในย่อหน้าต่อไป ส่วนสายส่งเส้นอื่น ๆ ของระบบยังรับพลังงานไฟฟ้าที่จะไหลผ่านเพิ่มขึ้นได้อีกจำนวนหนึ่ง

จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อกำหนดเกณฑ์ค่า LOLE ที่ 1 วันต่อปี และพิจารณาโหลดสูงสุดเพียงระดับเดียว ผลจากตารางที่ 5.34 และ 5.35 พบว่า เมื่อกำลังผลิตสำรองของระบบมีค่าต่ำกว่า 80 MW จะทำให้ค่า LOLE สูงกว่าที่กำหนดไว้ นั่นหมายถึง ค่ากำลังผลิตสำรองที่พอเหมาะของระบบมีค่า 80 MW ส่วนผลจากตารางที่ 5.31 พบว่า บัส 2 ซึ่งเป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่มี ความเชื่อถือได้สูงที่สุด โดยบัสที่ 4, 3, 5, 6 มีความเชื่อถือได้ใกล้เคียงกัน และต่ำกว่าบัสอื่นๆ ที่กล่าวมาในตอนต้น กรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 14 ซึ่งมีอยู่ที่บัส 2 เพียงเครื่องเดียวเกิดขัดข้องพร้อม ๆ กับสายส่งหมายเลขที่ 1 ซึ่งมีค่าพลังงานไฟฟ้าไหลผ่านสูง และหมายเลขที่ 4 จะทำให้ไม่สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดที่ทุก ๆ บัสได้ นั่นหมายถึง จะเกิดไฟฟ้าดับขึ้นกับผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งระบบโดยอาศัยข้อมูลในตารางที่ 5.26 พบว่าโอกาสที่จะเกิดขึ้นของเหตุการณ์นี้มีค่าเท่ากับ 7.6390461×10^{-8} ซึ่งมีค่าสูงกว่า 1×10^{-8} ดังนั้นถือว่าอาจเกิดขึ้นได้ เพื่อแก้ไขปัญหานี้จะทดลองเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลข 15 เข้าที่บัส 2 ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลขที่ 14 ทุกประการ เทียบกับการเพิ่มสายส่งพลังงานไฟฟ้า หมายเลขที่ 21 ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนสายส่งหมายเลข 1 ทุกประการ ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของระบบจากการแก้ไขโดยวิธีทั้งสองนี้แสดงไว้ในตารางที่ 5.36 ถึง 5.39

ผลจากการเปรียบเทียบตารางที่ 5.36 และ 5.38 พบว่าค่าชี้ความเชื่อถือได้ที่ทุก ๆ โหลดบัส จากการเพิ่มสายส่งหมายเลข 21 มีค่าต่ำกว่า ค่าที่คำนวณได้จากการเพิ่มเครื่องกำเนิดหมายเลขที่ 15 และดีขึ้นกว่าขณะที่ยังไม่ได้เพิ่มสายส่งมาก โดยบัส 2 ยังคงมีความเชื่อถือได้สูงสุด เท่ากับบัส 4 ส่วนบัสที่ 12 มีความเชื่อถือได้ต่ำที่สุด จากผลการวิเคราะห์นี้สามารถทำให้ทราบได้ว่าการเพิ่มสายส่งหมายเลขที่ 21 ทำให้ระบบมีความมั่นคงหรือความเชื่อถือได้สูงขึ้นมากกว่า การเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมายเลขที่ 15

จากการพิจารณาถึงการเพิ่มขึ้นของโหลดในช่วงร้อยละ 11 ถึงร้อยละ 20 พบว่า ค่า LOLE เพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่สูง และยังมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้คือ 1 วันต่อปี นั่นแสดงให้เห็นว่าความผิดพลาดของการคาดคะเนโหลดสูงสุดนี้ มีผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ของระบบไม่มาก ส่วนผลของค่า LOLE และกำลังผลิตสำรองจากการพิจารณานี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.40 ส่วนกราฟรูปที่ 5.10 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่า LOLE เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดสูงขึ้น

ส่วนผลเนื่องจากความไม่แน่นอนในทางสถิติของการคาดคะเนโหลด แสดงไว้ในตารางที่ 5.41 พบว่าค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 5.42 และ กราฟในรูปที่ 5.11 ถึง 5.14 ยังคงมีค่าสูงขึ้นตามจำนวนระดับของค่าความผิดพลาดที่ใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.26 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง

UNIT NO.	BUSBAR NO.	CAPACITY (MW)	FAILURES PER YEAR	REPAIR PER YEAR	TYPE
1	1	10.00	2.00	98.00	THERMAL
2	1	20.00	2.00	98.00	THERMAL
3	1	20.00	2.00	98.00	THERMAL
4	1	20.00	2.00	98.00	THERMAL
5	1	20.00	2.00	98.00	THERMAL
6	1	20.00	2.00	98.00	THERMAL
7	1	30.00	3.00	97.00	THERMAL
8	1	30.00	3.00	97.00	THERMAL
9	1	30.00	3.00	97.00	THERMAL
10	1	30.00	3.00	97.00	THERMAL
11	1	40.00	3.00	71.44	THERMAL
12	1	40.00	3.00	71.44	THERMAL
13	1	40.00	3.00	71.44	THERMAL
14	2	40.00	3.00	71.44	GAS TURBINE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.27 ข้อมูลสายส่งของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง

LINE NO.	BUSBAR I	BUSBAR J	CAPACITY (MW)	FAILURES PER YEAR	REPAIR PER YEAR	IMPEDANCE R	IMPEDANCE X	Ypq/2
1	1	2	171.00	1.06	876.00	0.0194	0.0592	0.0264
2	2	3	171.00	1.78	876.00	0.0470	0.1980	0.0219
3	2	4	171.00	1.58	876.00	0.0581	0.1763	0.0187
4	1	5	171.00	2.00	876.00	0.0540	0.2230	0.0246
5	2	5	171.00	1.56	876.00	0.0569	0.1739	0.0170
6	3	4	171.00	1.53	876.00	0.0670	0.1710	0.0173
7	4	5	171.00	0.38	876.00	0.0133	0.0421	0.0064
8	5	6	65.00	0.04	26.07	0.0000	0.2520	0.0000
9	4	7	65.00	0.04	26.07	0.0000	0.2091	0.0000
10	7	8	50.00	0.00	26.07	0.0000	0.1761	0.0000
11	4	9	40.00	0.04	26.07	0.0000	0.5562	0.0000
12	7	9	65.00	0.00	26.07	0.0000	0.1100	0.0000
13	9	10	50.00	0.49	876.00	0.0318	0.0845	0.0000
14	6	11	50.00	1.14	876.00	0.0950	0.1989	0.0000
15	6	12	50.00	1.47	876.00	0.1229	0.2558	0.0000
16	6	13	50.00	0.75	876.00	0.0661	0.1303	0.0000
17	9	14	50.00	1.55	876.00	0.1271	0.2704	0.0000
18	10	11	50.00	1.10	876.00	0.0820	0.1921	0.0000
19	12	13	50.00	1.15	876.00	0.2209	0.1999	0.0000
20	13	14	50.00	2.00	876.00	0.1709	0.3480	0.0000

ตารางที่ 5.28 ข้อมูลบัสของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง

BUS NO.	BUS TYPE	V.MAG (P.U.)	GENERATION (MW)	MVAR LIMIT MIN	MVAR LIMIT MAX	PEAK LOAD MW	PEAK LOAD MVAR	Yc
1	0	1.0600	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
2	1	1.0450	40.00	-40.00	50.00	21.70	12.70	0.0000
3	1	1.0100	0.00	-6.00	40.00	94.20	19.00	0.0000
4	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	47.80	3.90	0.0000
5	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	7.60	1.60	0.0000
6	1	1.0700	0.00	-6.00	24.00	11.20	7.50	0.0000
7	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
8	1	1.0900	0.00	-6.00	24.00	0.00	0.00	0.0000
9	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	29.50	16.60	0.1900
10	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	9.00	5.80	0.0000
11	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	3.50	1.80	0.0000
12	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	6.10	1.60	0.0000
13	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	13.50	5.80	0.0000
14	2	1.0000	0.00	0.00	0.00	14.90	5.00	0.0000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.29 แสดงค่า LOLE ของระบบ 14 บัส

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROPABILITY	TOTAL TIME	LOLE
0.00	0.66525075	0.00	0.00000000
10.00	0.01357655	0.00	0.00000000
20.00	0.06788273	0.00	0.00000000
30.00	0.08368442	0.00	0.00000000
40.00	0.11619190	0.00	0.00000000
50.00	0.01073485	0.00	0.00000000
60.00	0.01544813	0.00	0.00000000
70.00	0.01447824	0.00	0.00000000
80.00	0.00818311	0.00	0.00000000
90.00	0.00165740	0.00	0.00000000
100.00	0.00141545	0.00	0.00000000
110.00	0.00096468	0.00	0.00000000
120.00	0.00031193	0.00	0.00000000
130.00	0.00010955	0.00	0.00000000
140.00	0.00006595	11.58	0.00076391
150.00	0.00003067	24.45	0.00075001
160.00	0.00000778	37.32	0.00029023
170.00	0.00000360	50.19	0.00018049
180.00	0.00000161	63.06	0.00010146
190.00	0.00000048	75.93	0.00003608
200.00	0.00000014	88.80	0.00001281
210.00	0.00000006	100.00	0.00000571
220.00	0.00000002	100.00	0.00000192
230.00	0.00000001	100.00	0.00000052

LOLE OF THE SYSTEM = 0.00214314 days
MINIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 131.00 MW
MAXIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 208.70 MW

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.30 แสดงค่า EENS ของระบบ 14 บัส

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROPABILITY	ENERGY CURTAIL (MWh)	EXPECTATION (MWh)
0.00	0.66525075	0.00	0.00
10.00	0.01357655	0.00	0.00
20.00	0.06788273	0.00	0.00
30.00	0.08368442	0.00	0.00
40.00	0.11619190	0.00	0.00
50.00	0.01073485	0.00	0.00
60.00	0.01544813	0.00	0.00
70.00	0.01447824	0.00	0.00
80.00	0.00818311	0.00	0.00
90.00	0.00165740	0.00	0.00
100.00	0.00141545	0.00	0.00
110.00	0.00096468	0.00	0.00
120.00	0.00031193	0.00	0.00
130.00	0.00010955	0.00	0.00
140.00	0.00006595	1250.97	0.08
150.00	0.00003067	5575.29	0.17
160.00	0.00000778	12988.42	0.10
170.00	0.00000360	23490.35	0.08
180.00	0.00000161	37081.08	0.06
190.00	0.00000048	53760.62	0.03
200.00	0.00000014	73528.96	0.01
210.00	0.00000006	96360.00	0.01
220.00	0.00000002	120360.00	0.00
230.00	0.00000001	144360.00	0.00

EENS OF THE SYSTEM = 0.54 MWh/year

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.31 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ที่โหลดบัส ของระบบ 14 บัส

LOAD BUS NO.	INDICES				
	Q	F	ELC	EENS	EDLC
2	0.00000013	0.0002507	0.01	0.03	0.00
3	0.00001335	0.0244282	1.97	9.43	0.12
4	0.00000253	0.0046333	0.22	1.06	0.02
5	0.00014106	0.1484867	0.08	0.53	1.24
6	0.00016240	0.1657562	1.85	15.78	1.42
9	0.00356594	3.5075357	8.25	70.57	31.24
10	0.00356247	3.5005340	31.50	280.87	31.21
11	0.00349182	3.4199225	11.96	106.96	30.59
12	0.00499977	3.6024654	21.98	267.17	43.80
13	0.00349096	3.4115199	46.06	412.84	30.58
14	0.00350425	3.4394716	51.17	456.96	30.70

Q = PROBABILITY OF FAILURE
F = FREQUENCY OF FAILURE
ELC = EXPECTED LOAD CURTAILED
EENS = EXPECTED ENERGY NOT SUPPLIED
EDLC = EXPECTED DURATION OF LOAD CURTAILMENT

ตารางที่ 5.32 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ทั้งระบบ ของระบบ 14 บัส

```
**********************************************************************
                    ANNUALIZED SYSTEM INDICES
                    =========================
BULK POWER INTERRUPTION INDEX = 175.05 MW/MW-yr
BULK POWER SUPPLY AVERAGE MW CURTAILMENT/DISTURBANCE =    8.25 MW
BULK POWER ENERGY CURTAILMENT INDEX = 1622.19 MWh/MW-yr
**********************************************************************
```

ตารางที่ 5.33 กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลผ่านสายส่งของระบบ 14 บัส

LINE NO.	FROM BUS P	TO BUS Q	FLOW FROM BUS P		FLOW TO BUS Q	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	2	156.96	-20.42	-152.66	27.71
2	2	3	73.34	3.55	-71.01	1.64
3	2	4	56.10	-0.46	-54.42	1.57
4	1	5	75.44	4.41	-72.68	1.67
5	2	5	41.52	1.91	-40.61	-2.76
6	3	4	-23.19	4.64	23.57	-7.22
7	4	5	-61.06	12.70	61.57	-12.43
8	5	6	44.13	-20.30	-44.13	25.65
9	4	7	28.06	-21.62	-28.06	24.11
10	7	8	-0.00	-17.74	0.00	18.24
11	4	9	16.06	-6.79	-16.06	8.38
12	7	9	28.06	5.73	-28.06	-4.93
13	9	10	5.21	4.02	-5.20	-3.98
14	6	11	7.37	3.77	-7.32	-3.65
15	6	12	7.80	2.53	-7.72	-2.38
16	6	13	17.76	7.32	-17.54	-6.90
17	9	14	9.41	3.48	-9.29	-3.24
18	10	11	-3.80	-1.82	3.82	1.85
19	12	13	1.62	0.78	-1.62	-0.77
20	13	14	5.66	1.88	-5.61	-1.76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.34 แสดงค่า LOLE เมื่อกำลังผลิตสำรองมีค่า 80 MW

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROBABILITY	TOTAL TIME	LOLE
0.00	0.66525075	0.00	0.00000000
10.00	0.01357655	0.00	0.00000000
20.00	0.06788273	0.00	0.00000000
30.00	0.08368442	0.00	0.00000000
40.00	0.11619190	0.00	0.00000000
50.00	0.01073485	0.00	0.00000000
60.00	0.01544813	0.00	0.00000000
70.00	0.01447824	0.00	0.00000000
80.00	0.00818311	0.00	0.00000000
90.00	0.00165740	100.00	0.16574009
100.00	0.00141545	100.00	0.14154516
110.00	0.00096468	100.00	0.09646760
120.00	0.00031193	100.00	0.03119344
130.00	0.00010955	100.00	0.01095528
140.00	0.00006595	100.00	0.00659510
150.00	0.00003067	100.00	0.00306716
160.00	0.00000778	100.00	0.00077760
170.00	0.00000360	100.00	0.00035959
180.00	0.00000161	100.00	0.00016089
190.00	0.00000048	100.00	0.00004751
200.00	0.00000014	100.00	0.00001442
210.00	0.00000006	100.00	0.00000571
220.00	0.00000002	100.00	0.00000192
230.00	0.00000001	100.00	0.00000052

LOLE OF THE SYSTEM = 0.45693199 days/year
MINIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 80.00 MW
MAXIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 80.00 MW

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.35 แสดงค่า LOLE เมื่อกำลังผลิตสำรองมีค่าต่ำกว่า 80 MW

CAPACITY OUT OF SERVICE (MW)	INDIVIDUAL PROBABILITY	TOTAL TIME	LOLE
0.00	0.66525075	0.00	0.00000000
10.00	0.01357655	0.00	0.00000000
20.00	0.06788273	0.00	0.00000000
30.00	0.08368442	0.00	0.00000000
40.00	0.11619190	0.00	0.00000000
50.00	0.01073485	0.00	0.00000000
60.00	0.01544813	0.00	0.00000000
70.00	0.01447824	0.00	0.00000000
80.00	0.00818311	100.00	0.81831053
90.00	0.00165740	100.00	0.16574009
100.00	0.00141545	100.00	0.14154516
110.00	0.00096468	100.00	0.09646760
120.00	0.00031193	100.00	0.03119344
130.00	0.00010955	100.00	0.01095528
140.00	0.00006595	100.00	0.00659510
150.00	0.00003067	100.00	0.00306716
160.00	0.00000778	100.00	0.00077760
170.00	0.00000360	100.00	0.00035959
180.00	0.00000161	100.00	0.00016089
190.00	0.00000048	100.00	0.00004751
200.00	0.00000014	100.00	0.00001442
210.00	0.00000006	100.00	0.00000571
220.00	0.00000002	100.00	0.00000192
230.00	0.00000001	100.00	0.00000052

LOLE OF THE SYSTEM = 1.27524252 days/year
MINIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 79.90 MW
MAXIMUM RESERVE POWER OF THE SYSTEM = 79.90 MW

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.36 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของโหลดบัสหลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมายเลข 15

LOAD BUS NO.	INDICES				
	Q	F	ELC	EENS	EDLC
2	0.00000000	0.0000000	0.00	0.00	0.00
3	0.00001320	0.0241962	1.54	7.37	0.12
4	0.00000250	0.0045893	0.22	1.05	0.02
5	0.00000776	0.0103341	0.04	0.18	0.07
6	0.00002209	0.0208585	0.23	2.02	0.19
9	0.00030282	0.3308484	0.75	5.45	2.65
10	0.00030892	0.3413535	3.06	24.27	2.71
11	0.00029204	0.3091677	1.08	8.90	2.56
12	0.00180408	0.5046317	3.08	96.40	15.80
13	0.00029357	0.3032537	4.04	34.25	2.57
14	0.00348191	3.4256181	29.60	262.00	30.50

Q = PROBABILITY OF FAILURE
F = FREQUENCY OF FAILURE
ELC = EXPECTED LOAD CURTAILED
EENS = EXPECTED ENERGY NOT SUPPLIED
EDLC = EXPECTED DURATION OF LOAD CURTAILMENT

ตารางที่ 5.37 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบหลังจากเพิ่มเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมายเลข 15

```
**************************************************************************
                    ANNUALIZED SYSTEM INDICES
                   ==========================
BULK POWER INTERRUPTION INDEX =  43.64 MW/MW-yr
BULK POWER SUPPLY AVERAGE MW CURTAILMENT/DISTURBANCE =    8.27 MW
BULK POWER ENERGY CURTAILMENT INDEX = 441.90 MWh/MW-yr
**************************************************************************
```

ตารางที่ 5.38 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของโหลดบัสหลังจากเพิ่มสายส่ง หมายเลข 21

LOAD BUS NO.	INDICES				
	Q	F	ELC	EENS	EDLC
2	0.00000000	0.0000000	0.00	0.00	0.00
3	0.00000659	0.0120612	1.14	5.44	0.06
4	0.00000000	0.0000000	0.00	0.00	0.00
5	0.00000019	0.0003561	0.00	0.00	0.00
6	0.00001141	0.0077180	0.08	0.97	0.10
9	0.00002124	0.0330837	0.12	0.81	0.19
10	0.00002075	0.0315115	0.28	1.64	0.18
11	0.00001972	0.0265856	0.09	5.55	0.17
12	0.00153778	0.2242480	1.37	82.17	13.47
13	0.00001893	0.0203611	0.27	2.24	0.17
14	0.00002425	0.0337487	0.50	3.12	0.21

Q = PROBABILITY OF FAILURE
F = FREQUENCY OF FAILURE
ELC = EXPECTED LOAD CURTAILED
EENS = EXPECTED ENERGY NOT SUPPLIED
EDLC = EXPECTED DURATION OF LOAD CURTAILMENT

ตารางที่ 5.39 ค่าชี้ความเชื่อถือได้ของทั้งระบบหลังจากเพิ่มสายส่ง หมายเลข 21

```
**************************************************************************
                    ANNUALIZED SYSTEM INDICES
                   ==========================
BULK POWER INTERRUPTION INDEX =   3.85 MW/MW-yr
BULK POWER SUPPLY AVERAGE MW CURTAILMENT/DISTURBANCE =   9.89 MW
BULK POWER ENERGY CURTAILMENT INDEX =  96.94 MWh/MW-yr
**************************************************************************
```

ตารางที่ 5.40 สรุปค่า LOLE และกำลังผลิตสำรอง เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดแตกต่างกัน

% OF LOAD INCREASING	LOLE (days/year)	MIN. RESERVE (MW)	MAX. RESERVE (MW)
11	0.02376431	102.51	188.76
12	0.02813666	99.92	186.94
13	0.03046690	97.33	185.13
14	0.04466666	94.74	183.32
15	0.05272112	92.15	181.50
16	0.06143979	89.56	179.69
17	0.07392591	86.97	177.88
18	0.08619958	84.38	176.07
19	0.09827680	81.79	174.25
20	0.11716385	79.20	172.44

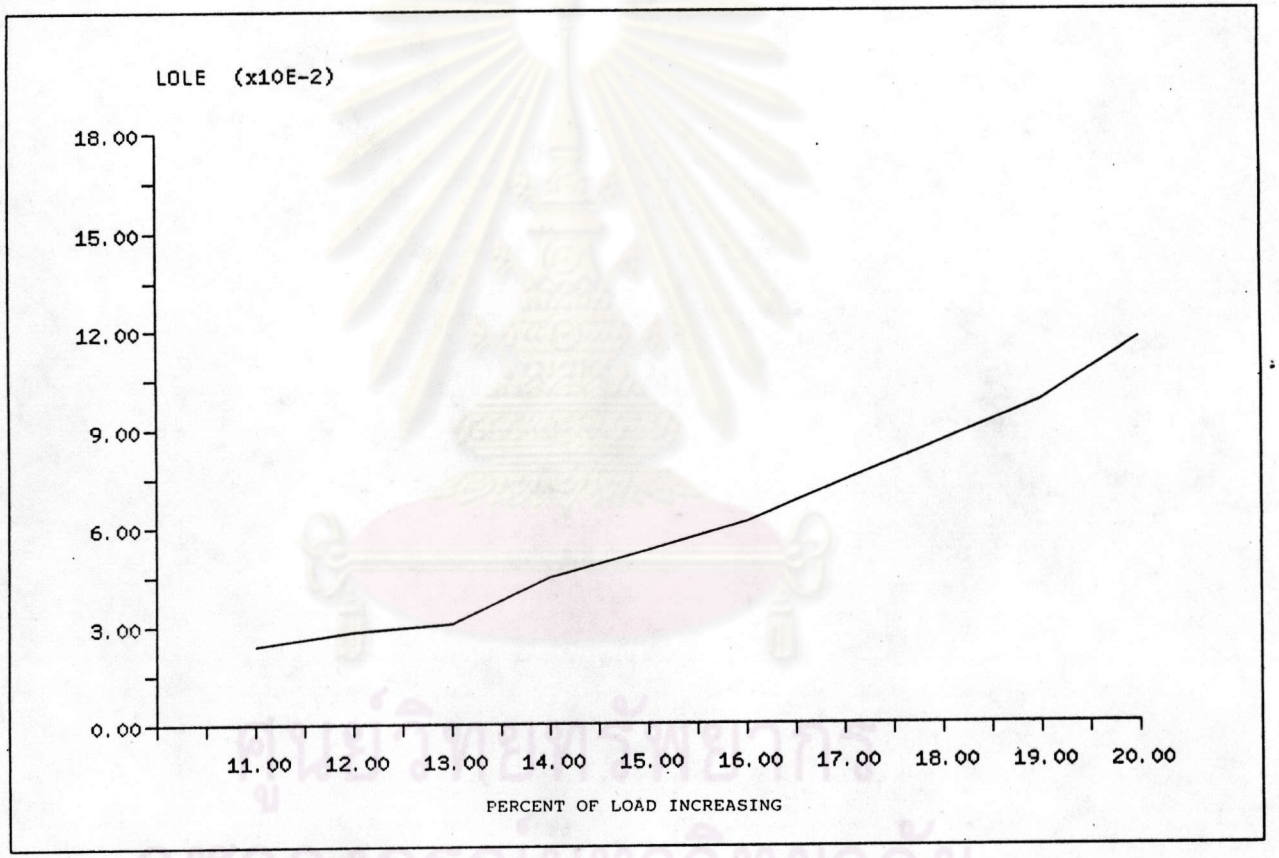
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.41 การเปลี่ยนแปลงค่า LOLE ของระบบ 14 บัสเมื่อร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ จำนวนระดับชั้นที่ใช้พิจารณาโค้งแจกแจงปกติ แตกต่างกัน

% OF DEVIATION	NO. OF STEPS APPROXIMATION			
	5	7	9	11
0	0.00214314	0.00214314	0.00214314	0.00214314
2	0.00221743	0.00237825	0.00250373	0.00268024
4	0.00235581	0.00301840	0.00382810	0.00507750
6	0.00283239	0.00506861	0.00808732	0.01369040
8	0.00349460	0.00891005	0.01852919	0.03952924
10	0.00500509	0.01748525	0.04585360	0.11035513
12	0.00750194	0.03467581	0.10174381	0.26760255
14	0.01238689	0.07477798	0.24415196	0.60752004
16	0.01867337	0.13025486	0.43318318	1.03174844
18	0.02898085	0.23646022	0.75927189	1.68237382
20	0.05043212	0.42422529	1.24532449	2.55559730

ตารางที่ 5.42 ค่า $LOLE_u/LOLE_o$ ของระบบ 14 บัสเมื่อร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ จำนวนระดับชั้นที่ใช้พิจารณาโค้งแจกแจงปกติ แตกต่างกัน

% OF DEVIATION	NO. OF STEPS APPROXIMATION			
	5	7	9	11
0	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.03	1.11	1.17	1.25
4	1.10	1.41	1.79	2.37
6	1.32	2.37	3.77	6.39
8	1.63	4.16	8.65	18.44
10	2.34	8.16	21.40	51.49
12	3.50	16.18	47.47	124.86
14	5.78	34.89	113.92	283.47
16	8.71	60.78	202.13	481.42
18	13.52	110.33	354.28	785.00
20	23.53	197.95	581.07	1192.45



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงค่า LOLE ของระบบ 14 บัส 20 สายส่ง เมื่ออัตราการเพิ่มของโหลดแตกต่างกัน