# การวิเคราะห์ความพร้อมในการใช้งานของระบบเครือข่ายไคลแอนท์เซิฟเวอร์

# AVAILABILITY ANALYSIS IN CLIENT/SERVER

T121076

กังสดาล ชุณหเพสย์

Kangsadal Chunhapes

T121076

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...121076
วัน, เดือน, ปี...12..มิ.ย..2555

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2543

ISBN 974-648-021-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# AVAILABILITY ANALYSIS IN CLIENT/SERVER

KANGSADAL CHUNHAPES

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN COMPUTER SCIENCE AND

INFORMATION TECHNOLOGY

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

ISBN 974-648-021-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**COPYRIGHT 2000**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การวิเคราะห์ความพร้อมในการใช้งานของระบบเครือข่ายไคล แอนท์เซิฟเวอร์ |
| นักศึกษา | พันตรีหญิง กังสดาล ชุณหเพสย์ |
| รหัสประจำตัว | 37064404 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต |
| สาขาวิชา | วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ |
| พ.ศ. | 2543 |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | ผศ.บรรจง ปิยธำรง |

# บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้กล่าวถึงการใช้ทฤษฎีความน่าเชื่อถือ(Reliability Theory) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการประเมินความน่าเชื่อถือในการใช้งานระบบคอมพิวเตอร์ที่มีการเชื่อมต่อการทำงานเป็นระบบเครือข่าย โดยเฉพาะระบบที่มีการทำงานในลักษณะ Client/Server โดยทำการทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแบ่งเวลาในการซ่อมแซม เพื่อกำหนดสัดส่วนเวลาที่เหมาะสมให้กับอุปกรณ์ที่จะให้ความสำคัญในการกู้คืนสภาพ ว่าอุปกรณ์ใดควรใช้เวลามากน้อยเพียงใดที่จะทำให้ค่าความพร้อมในการใช้งานมีค่าสูงสุด ผลจากการทดลองดังกล่าวสามารถบ่งชี้ได้ว่า การเพิ่มหรือลดลงของค่า MTTR ของอุปกรณ์แต่ละชนิดจะส่งผลกระทบต่อค่าความน่าเชื่อถือ และค่าความพร้อมในการใช้งานโดยรวม และสามารถนำมาเป็นแนวทางกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมในการให้เวลาในการซ่อมแซมแก่อุปกรณ์ต่างๆในระบบเครือข่าย แนวคิดดังกล่าวอาจเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายการดูแลรักษาระบบ หรือกำหนดอุปกรณ์สำรอง(Spare Parts) ที่เหมาะสม ซึ่งการกำหนดนโยบายที่เหมาะสมจะส่งผลให้ค่าความน่าเชื่อถือ และค่าความพร้อมในการใช้งานระบบเครือข่ายมีค่าสูงขึ้นด้วย นั่นคือ ทำให้ระบบเครือข่ายมีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| Thesis Title | Availability Analysis in Client/Server |
| Student | Major Kangsadal Chunhapes |
| Student ID. | 37064404 |
| Degree | Master of Science |
| Programme | Information Technology |
| Year | 2000 |
| Thesis Advisor | Prof. Bunjong Piyathamrong |

# ABSTRACT

The main Purpose here is to establish some simple time-dependent reliability model to analyze the reliability and availability of a network having various failure and repair states . We devided minimum repair times that the budget of organization can support into 5 values for 5 element in network . Then we calculated to find the maximum availability for each route from clients to the target server . Then , we compare each result to find the best set of MTTR that give the highest availability . The experiment gives the proper MTTR for each element . This behavior is useful for predicting and evaluating the reliability and availability of system that help us to preparing the repairment strategy .This thesis try to test another way to find the proper maintenance strategy . In the budget limitation , if the system can be quickly returned to service , the effect of a failure is minimizeed .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้อย่างดีด้วยการให้คำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.บรรจง ปิยธำรง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์จากท่าน ที่ได้กรุณาสละเวลาและให้ความเอาใจใส่ จนสามารถทำการวิจัยให้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ พ.ต.ธีรนันท์ นันทขว้าง ซึ่งมีส่วนสำคัญในการให้แนวความคิด และให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาบางอย่างที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการวิจัย เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และแหล่งข้อมูล ซึ่งมีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ พลตรี อานันท์และคุณน้ำค้าง ชุณหเพสย์ คุณพ่อคุณแม่ของผู้วิจัย ผู้มีส่วนสำคัญในการให้กำลังใจเป็นอย่างมากตลอดเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณสามี พ.ต.วชิระ แก้วภักดี ที่ได้ช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย รวมทั้งดูแลและให้กำลังใจต่อผู้วิจัยอย่างใกล้ชิดตลอดมา และขอขอบคุณน้องชาย รวมทั้งเพื่อนๆที่ทำงาน และเพื่อนนักศึกษาทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กังสดาล ชุณหเพสย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....2

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....3

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....3

บทที่ 2 เนื้อหาหลัก.....5

2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....5

2.1.1 กล่าวนำ.....5

2.1.2 ความน่าเชื่อถือ(Reliability) และความพร้อมในการใช้งาน (Availability).....6

2.1.2.1 กล่าวโดยทั่วไป.....6

2.1.2.2 ความหมายและความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability)กับค่าความพร้อมในการใช้งาน(Availability) ระบบเครือข่าย.....6

2.1.2.3 ความแตกต่างระหว่างค่าความน่าเชื่อถือกับค่าความ พร้อมในการใช้งานระบบเครือข่าย.....8

2.1.3 แนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับค่าความน่าเชื่อถือ(Reliability).....9

2.1.3.1 Reliability Function.....10

2.1.3.2 Reliability Measures.....13

2.1.3.2.1 Mean Time To Failure : MTTF.....14

2.1.3.2.2 Mean Time To Repair : MTTR.....14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2.1.3.2.3 Mean Time Between Failure : MTBF.....14

2.1.3.2.4 Mean Time Between Repair : MTBR.....14

2.1.3.2.5 สรุปความสัมพันธ์ของค่า MTTF , MTTR และ ค่า MTBF.....15

2.1.4 แนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับค่าความพร้อมในการใช้งาน (Availability)..... .....15

2.1.4.1 Availability Function.....15

2.1.4.2 ค่าความพร้อมในการใช้งานของระบบที่เชื่อมต่ออุปกรณ์แบบอนุกรม.....17

2.1.4.3 ค่าความพร้อมในการใช้งานของระบบที่เชื่อมต่ออุปกรณ์แบบขนาน.....18

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย..... ...18

2.2.1 การออกแบบและสร้างแบบจำลองเครือข่ายย่อยที่ใช้ในการทดลอง.....19

2.2.1.1 เครือข่ายย่อยที่ 1 – ระบบเครือข่าย Token Ring.....19

2.2.1.2 เครือข่ายย่อยที่ 2 – ระบบเครือข่าย Ethernet LAN.....20

2.2.1.3 เครือข่ายย่อยที่ 3 – ระบบเครือข่าย LAN/WAN.....20

2.2.1.4 เครือข่ายย่อยที่ 4 – ระบบเครือข่าย Remote User.....20

2.2.1.5 เครื่องเซิฟเวอร์ที่ใช้ในระบบเครือข่าย.....21

2.2.1.6 อุปกรณ์อื่นๆ.....21

2.2.2 ทดลองเพื่อหาสัดส่วนของการจัดสรรเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมที่เหมาะสม ให้กับอุปกรณ์ที่ให้ความสำคัญในนโยบายการดูแลรักษาระบบ.....21

2.2.2.1 การทดลองที่ 1.....22

2.2.2.2 การทดลองที่ 2.....24

2.2.3 ลักษณะข้อมูล การเลือกข้อมูล และเหตุผลในการคัดเลือก.....26

2.2.3.1 ข้อมูลค่า MTTR.....26

2.2.3.2 ข้อมูลค่า MTTF.....26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 ผลการทดลอง.....42
2.3.1 ผลการทดลองที่ 1.....42
2.3.2 ผลการทดลองที่ 2.....47
2.4 อภิปรายผล.....52

บทที่ 3 บทสรุป.....54

บรรณานุกรม.....55

ภาคผนวก ก สมการตามหลักการของ Poisson.....56

ภาคผนวก ข โปรแกรมภาษาปาสคาลที่ใช้ในการทดลอง.....60

ประวัติผู้เขียน.....70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงการแจกแจงเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการเปลี่ยนสถานะ ของอุปกรณ์.....13

2.2 แสดงการแจกแจงเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการเปลี่ยนสถานะ ของอุปกรณ์ในระบบที่มีการซ่อมแซมเข้ามาเกี่ยวข้อง.....17

2.3 แสดงค่า MTTF ของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง.....36

2.4 แสดงสัดส่วนของเวลาในการซ่อมแซมทั้งหมด 120 แบบ ที่จัดสรรให้กับอุปกรณ์ต่างๆ 5 ชนิด .....37

2.5 แสดงผลการทดลองที่ 1.....42

2.6 แสดงรายละเอียดเวลาในการซ่อมแซมที่เหมาะสมที่ควรจัดสรร ให้กับอุปกรณ์ 5 ชนิด ในนโยบายการดูแลรักษาระบบ ซึ่งเป็นผล ที่ได้จากการทดลอง.....47

2.7 แสดงผลการทดลองที่ 2.....47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


ภาพที่ หน้า

2.1 แสดงการเปลี่ยนสถานะของระบบจากสถานะการทำงาน (“0”) ไปสู่สถานะล้มเหลว(“1”)..... .....10

2.2 แสดงความแตกต่างของแนวโน้มของค่า R(t) และค่า F(t) บนแกนเวลา.....11

2.3 แสดงช่วงเวลาที่อธิบายตามหลักการของ Poisson.....12

2.4 แสดงไดอะแกรมสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่า MTTF , MTTR และ MTBF.....15

2.5 แสดงการเปลี่ยนสถานะของระบบระหว่างสถานะการทำงาน (“0”) กับสถานะล้มเหลว (“1”).....16

2.6 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบอนุกรม.....17

2.7 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบขนาน.....18

2.8 แสดงระบบเครือข่ายย่อย Token Ring.....27

2.9 แสดงระบบเครือข่ายย่อย Ethernet LAN.....28

2.10 แสดงระบบเครือข่ายย่อย LAN/WAN.....29

2.11 แสดงระบบเครือข่ายย่อย Remote User.....30

2.12 แสดงรายละเอียดของเครื่อง Server ทั้งสองเครื่องที่ใช้ในระบบเครือข่าย.....31

2.13 ไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายสำหรับการทดลองที่ 1.....32

2.14 ไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายสำหรับการทดลองที่ 2.....33

2.15 ไดอะแกรมแสดงเส้นทางต่างๆระหว่าง Client และ ServerM (Server เป้าหมาย) ในระบบเครือข่ายสำหรับการทดลองที่ 1.....34

2.16 ไดอะแกรมแสดงเส้นทางต่างๆระหว่าง Client และ ServerM (Server เป้าหมาย) ในระบบเครือข่ายสำหรับการทดลองที่ 2.....35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกู้ซ่อมระบบ โดยใช้งบประมาณที่มีอยู่อย่างเหมาะสมและคุ้มค่ามากที่สุด นอกจากนี้ยังเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าในเรื่องนี้ต่อไป

**1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา**

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาวิธีการที่จะช่วยให้สามารถระบุให้ทราบได้ว่า อุปกรณ์ชนิดใด หรือชิ้นส่วนประกอบใดบ้างของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบ เป็นส่วนที่ถือได้ว่าเป็นจุดอ่อนของระบบเครือข่าย ซึ่งเราควรจัดสรรเวลาแบบเร่งรีบมากน้อยในแต่ละอุปกรณ์ ซึ่งในบางครั้งหากประเมินด้วยสายตา อาจไม่สามารถคาดเดาได้ถูกต้อง ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความพร้อมในการใช้งาน (Availability Theory) และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability Theory)ของระบบเครือข่ายมาใช้ประกอบกัน โดยนำมาประยุกต์ใช้ในการหาสัดส่วนเวลาในการซ่อมแซมที่จะจัดสรรให้กับอุปกรณ์ที่ควรกำหนดให้มีความเร่งรีบในการซ่อมแซมแต่ละอุปกรณ์มากน้อยต่างๆกัน ในระบบเครือข่ายไคลแอนท์เซิฟเวอร์ที่มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่เป็นอันมาก ซึ่งจุดอ่อนที่แท้จริงที่ควรกำหนดให้ใช้เวลาซ่อมแซมไม่มากเกินไปของระบบเครือข่ายนี้ หากเกิดความเสียหายขึ้นแล้ว จะมีผลเกิดความเสียหายต่อทั้งระบบเครือข่ายด้วย แนวคิดดังกล่าว อาจนำมาใช้เป็นปัจจัยหนึ่ง หรือเป็นส่วนหนึ่งของข้อพิจารณาในการกำหนดจุดที่ส่งผลกระทบต่อระบบเครือข่าย ซึ่งจะให้ความสำคัญเป็นอันดับแรกในนโยบายการกู้คืนระบบ เนื่องจากในความเป็นจริงนั้น คงจะเป็นการดีกว่าหากว่าจะพิจารณาจากปัจจัยหลายๆข้อ และหากสามารถหาข้อพิจารณาได้มากขึ้นเพียงใด การกำหนดก็จะยิ่งมีความถูกต้องมากขึ้นเท่านั้น

**1.3 สมมุติฐานของการศึกษา**

ในการวิจัยครั้งนี้ มีแนวความคิดว่าในระบบเครือข่ายไคลแอนท์เซิฟเวอร์ขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนของอุปกรณ์เชื่อมต่อมากๆนั้น สามารถนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความพร้อมในการใช้งาน (Availability Theory) มาประยุกต์ใช้ได้ โดยการหาค่าความพร้อมในการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่าย และหาค่าความพร้อมในการใช้งานของเส้นทางติดต่อระหว่าง Client จุดต่างๆไปยัง Server ที่กำหนดในระบบเครือข่าย แล้วนำมาเปรียบเทียบหาสัดส่วนเวลาในการซ่อมแซมที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งให้ค่าความพร้อมในการใช้งานมีค่าสูงสุด โดยค่าความพร้อมในการใช้งานนั้น มีความเกี่ยวข้องและหาได้จากทฤษฎีความน่าเชื่อถือ (Reliability Theory) ของระบบเครือข่าย ซึ่งทฤษฎีความน่าเชื่อถือนี้เกี่ยวข้องกับโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์ใดจะมีโอกาสเข้าสู่สภาวะล้มเหลว หรือสภาวะที่มีการทำงานได้มากน้อยต่างๆ กัน จากการเปรียบเทียบค่าความพร้อมในการใช้งานที่ได้จากการทดลอง ในสภาวะแวดล้อมที่อุปกรณ์ต่อเชื่อมกันในลักษณะต่างๆที่กำหนดขึ้น จะทำให้สามารถบอกได้ว่า อุปกรณ์ใดที่หากเกิดความเสียหายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นผลให้ทั้งระบบเสียหายไปด้วยมากที่สุด จุดนั้นก็คือจุดที่ควรกำหนดให้ใช้เวลาในการซ่อมแซมน้อยที่สุด สำหรับระบบเครือข่ายไคลแอนท์เซิฟเวอร์ในการทดลองนี้

**1.4 ขอบเขตของการศึกษา**

ในการวิจัยครั้งนี้ จะทำการทดลองเพื่อหาจุดอ่อนที่แท้จริงของระบบเครือข่ายไคลแอนท์เซิฟเวอร์ ที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากๆ โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีความพร้อมในการใช้งาน (Availability Theory) และทฤษฎีความน่าเชื่อถือ (Reliability Theory) โดยกำหนดขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.4.1 ความเสียหายหรือสภาวะล้มเหลวที่เกิดขึ้น เกิดจากปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์เท่านั้น ไม่รวมถึงความเสียหายที่เกิดจากปัญหาทางด้านซอฟแวร์ของระบบเครือข่าย

1.4.2 การทดลองนี้ เป็นการกระทำในลักษณะการทดลองเชิงการคำนวณบนระบบเครือข่ายที่เป็นการจำลองการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ โดยใช้พื้นฐานทฤษฎีการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไคลแอนท์เซิฟเวอร์ ไม่ใช่การทดลองบนอุปกรณ์จริง

1.4.3 การทำงานของระบบเครือข่ายที่จำลองขึ้นนี้ กำหนดให้เป็นระบบที่ต้องมีการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

**1.5 ขั้นตอนของการศึกษา**

ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยในลักษณะการทดลองเชิงการคำนวณ โดยประยุกต์ใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ ที่ได้มาจากทฤษฎีการวิเคราะห์ความพร้อมในการใช้งาน (Availability Theory) และทฤษฎีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่าย (Reliability Theory) ดังได้กล่าวข้างต้นแล้ว โดยมีขั้นตอนในการทำการวิจัยดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าเรื่องราวที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการวิเคราะห์ความพร้อมในการใช้งาน (Availability Theory) และทฤษฎีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่าย (Reliability Theory) ทำให้เกิดแนวความคิดในการทำการทดลองในครั้งนี้

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีระบบเครือข่ายไคลแอนท์เซิฟเวอร์ และค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและลักษณะของอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ

1.5.3 สร้างโมเดลจำลองระบบเครือข่ายไคลแอนท์เซิฟเวอร์ให้มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนของอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ ทั้งนี้ โดยอาศัยพื้นความรู้เรื่องระบบเครือข่าย และความรู้เรื่องอุปกรณ์ต่างๆที่ต่ออยู่ในระบบ

1.5.4 ค้นหาแหล่งที่มาของค่า MTTF(Mean Time To Failure) และหาค่า MTTF จากแหล่งที่มานั้นของอุปกรณ์ทุกชนิดที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายจำลอง ค่า MTTF นี้จะนำมาใช้ในการคำนวณตามโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาจากประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์ความพร้อมในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งาน (Availability Theory) และทฤษฎีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่าย (Reliability Theory)

1.5.5 กำหนดค่า MTTR ให้กับอุปกรณ์ต่างๆที่ต่ออยู่ในระบบ โดยค่า MTTR นี้เป็นตัวแปรเวลา เพื่อใช้ในการทดลองเชิงการคำนวณดังกล่าวแล้ว ในการกำหนดค่า MTTR นั้น เป็นค่าที่สมมติขึ้นในลักษณะที่ใกล้เคียงความเป็นจริงส่วนหนึ่ง และเพื่อความสะดวกในการทดลองตามสูตรคณิตศาสตร์ด้วยอีกส่วนหนึ่ง

1.5.6 สร้างสูตรคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณในแต่ละระบบเครือข่าย โดยอาศัยการประยุกต์ใช้สูตรคณิตศาสตร์ตามทฤษฎีการวิเคราะห์ความพร้อมในการใช้งาน (Availability Theory) และทฤษฎีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่าย (Reliability Theory)

1.5.7.2 ทดลองหาสัดส่วนของค่า MTTR ที่เหมาะสมที่จัดสรรให้กับแต่ละอุปกรณ์ โดยสมมุติค่า MTTR ต่ำสุดที่งบประมาณขององค์กรจะสามารถสนับสนุนได้ โดยสัดส่วนของค่า MTTR ที่เหมาะสมที่จัดสรรให้แก่อุปกรณ์บางชนิดที่สนใจนี้ จะทำให้ค่าความพร้อมในการใช้งานระบบเครือข่ายมีค่าสูงสุด

1.5.8 สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# เนื้อหาหลัก

## 2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1.1 กล่าวนำ

ในระบบเครือข่ายนั้น ไม่ว่าจะเป็นระบบเครือข่ายขนาดเล็ก หรือระบบเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากๆก็ตาม ผู้ที่ออกแบบระบบเครือข่ายย่อมต้องการทราบหรือคาดการณ์ได้ว่าระบบนั้นประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่อเชื่อมกันในลักษณะที่เอื้ออำนวยต่อการทำงานในระบบเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้ระบบโดยรวมเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงไปด้วยหรือไม่ ในการออกแบบระบบเครือข่ายนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นแก้ปัญหาในการจัดเรียงอุปกรณ์ต่างๆที่จะต่อขึ้นในระบบเครือข่าย ในแนวทางที่ทำให้เกิดจุดเหมาะสมระหว่างประสิทธิภาพของระบบเครือข่าย และการใช้ต้นทุนต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้(Network Optimization) ซึ่งแนวทางดังกล่าวนี้ หากมองในแง่ของประสิทธิภาพของระบบเครือข่าย ปัญหาที่สำคัญประการหนึ่งซึ่งหยิบยกมาเป็นหัวข้อวิจัยในครั้งนี้คือเรื่อง ความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่าย (Reliability) ซึ่งจะมีผลต่อความพร้อมในการทำงานของระบบเครือข่าย(Availability)

ความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่าย(Reliability) หมายถึง ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์หรือระบบเครือข่ายสามารถทำงานได้เป็นปกติอย่างมีประสิทธิภาพตลอดช่วงเวลาที่กำหนด ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่เฉพาะเจาะจง จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 4 ปัจจัยด้วยกันคือ ความน่าจะเป็น , การทำงานได้เป็นปกติตามเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ , เวลาและเงื่อนไขที่เฉพาะเจาะจง ซึ่งอธิบายได้ดังต่อไปนี้

**1. ความน่าจะเป็น**

เป็นเรื่องของเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่เราใช้ในการวัดประสิทธิภาพ เมื่ออุปกรณ์ที่เราสนใจจำนวนหนึ่ง ทำงานภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน อาจคาดการณ์ถึงเหตุการณ์ที่จะเกิดความล้มเหลวขึ้นได้ ณ เวลาต่างๆ ภายในช่วงเวลาที่กำหนด และเราจะกล่าวถึงความล้มเหลวในการทำงานในเชิงของทฤษฎีความน่าจะเป็น

**2. การทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ**

เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดการให้ปัจจัยทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ คงมีอยู่อย่างสมบูรณ์ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งสิ่งเหล่านี้แสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ปัจจัยเหล่านี้ มักจะถูกกำหนดไว้ในคุณลักษณะเฉพาะ (Specification) ของระบบ เช่น bit error rate ,throughput และ delay time เป็นต้น

**3. เวลา**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสิ่งที่มักจะถูกกำหนดให้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการกำหนดวิธีการวัดความน่าเชื่อถือของระบบ เนื่องจากมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องสามารถคาดการณ์ได้ถึงความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่ระบบจะทำงานได้ ณ เวลาที่กำหนด

**4. เงื่อนไขที่เฉพาะเจาะจงสำหรับการทำงาน**

กรณีนี้จะรวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางกายภาพ เช่น ลักษณะที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของระบบ บรรยากาศบริเวณที่ระบบจะต้องสัมผัส (อุณหภูมิ , ลม , ความชื้น เป็นต้น) นอกจากนี้ ยังรวมถึง ความสั่นสะเทือนโดยรอบ และความเสียหายที่เกิดจากแมลง หรือสัตว์กัดแทะต่างๆ ปัจจัยเหล่านี้ ล้วนมีผลต่อการเกิดสภาวะล้มเหลวของระบบ หรือความน่าเชื่อถือของระบบทั้งสิ้น

ในภาพรวมโดยทั่วไป การวัดความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่าย มักพิจารณาในแง่ของความพยายามคงไว้ซึ่งการเชื่อมต่อในโทโปโลยีต่างๆในระบบเครือข่าย(Topological Connectivity) หรือหากจะกล่าวให้ละเอียดคือ ความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่ายนั้น สามารถอธิบายได้ด้วยอัตราการสูญเสียการเชื่อมต่อระหว่างกันของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ และเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดขึ้นดังกล่าว

ทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ ทฤษฎีความน่าเชื่อถือ (Reliability Theory) และทฤษฎีการวิเคราะห์ความพร้อมในการใช้งาน (Availability Theory) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด ดังจะอธิบายการประยุกต์ใช้ดังต่อไปนี้

**2.1.2 ความน่าเชื่อถือ (Reliability) และความพร้อมในการใช้งาน (Availability)**

**2.1.2.1 กล่าวโดยทั่วไป**

ความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่ายนั้น เกี่ยวข้องกับโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่ระบบหรืออุปกรณ์จะเกิดความล้มเหลวขึ้นหรือไม่ มากน้อยเพียงใด ภายในระยะเวลาหนึ่ง ส่วนความพร้อมในการใช้งานระบบเครือข่ายนั้น นอกจากจะมีความเกี่ยวข้องกับโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่ระบบจะเกิดความล้มเหลวแล้ว ยังมีความเกี่ยวข้องกับระยะเวลาในการซ่อมแซมในอุปกรณ์หรือระบบกลับสู่สภาวะปกติอีกด้วย เนื่องจากความพร้อมในการใช้งานนั้น เราสนใจเพียง ณ ขณะใดขณะหนึ่ง อุปกรณ์อยู่ในสภาวะการทำงานหรือไม่ โดยไม่สนใจว่า อุปกรณ์ที่กำลังทำงานอยู่นั้นจะเป็นอุปกรณ์ที่เคยเกิดความล้มเหลวมาแล้วและถูกซ่อมแซมให้กลับสู่สภาวะปกติอันทำให้อุปกรณ์นั้นมีค่าความน่าเชื่อถือลดลงหรือไม่

**2.1.2.2 ความหมายและความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) กับค่าความพร้อมในการใช้งานระบบเครือข่าย (Availability)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากกล่าวในแง่ของอุปกรณ์แต่ละชิ้น เมื่ออุปกรณ์เกิดสภาวะล้มเหลวขึ้นนั้น หมายถึง อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานต่อไปได้ตามปกติ จนกว่าจะมีการซ่อมแซม หรือนำอุปกรณ์ชิ้นใหม่มาสับเปลี่ยนทดแทน แต่ในบางครั้งระบบเครือข่ายที่ใช้งานอยู่นั้น เป็นระบบที่มีอุปกรณ์ต่อเชื่อมอยู่เป็นจำนวนมากมายหลายชนิด ชนิดละหลายชิ้น การจะกล่าวถึงความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่ายนั้น จะต้องพิจารณาถึงความสามารถของระบบเครือข่ายที่จะสามารถทำงานต่อได้แม้เมื่อมีอุปกรณ์บางชิ้นเกิดความเสียหายขึ้น เนื่องจากระหว่างที่ระบบกำลังทำงานอยู่นั้นอาจมีอุปกรณ์บางชิ้นในระบบเกิดสถานะล้มเหลวขึ้นได้ตลอดเวลา และผู้ดูแลระบบจะทำการซ่อมแซม หรือเปลี่ยนชิ้นส่วน ให้จุดที่อุปกรณ์ชิ้นนั้นต่อเชื่อมอยู่สามารถกลับมาทำงานได้เร็วที่สุด หรือหากอยู่ในสภาวะที่ไม่สามารถทำงานต่อได้ ก็ควรสามารถแก้ไขให้กลับสู่สถานะการทำงานได้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ยิ่งระบบเครือข่ายนั้นสามารถทำงานอย่างต่อเนื่องได้นานเท่าใด โดยที่แม้ในระหว่างนั้น จะมีอุปกรณ์บางชนิดเกิดความเสียหายโดยไม่เสียหายทั้งระบบก็ตาม ระบบเครือข่ายนั้นก็จะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นเท่านั้น

ระบบเครือข่ายหนึ่ง ซึ่งจะมีสถานะของการล้มเหลว (Failure States) และสถานะของการซ่อมแซมให้สามารถทำงานได้ (Repair States) เกิดขึ้นได้มากมายตลอดเวลานั้น มีแง่คิดที่น่าสนใจ 2 ประการ ดังนี้

1. เมื่อระบบมีการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา อาจมีโหนดต่างๆ ในระบบ โหนดใดโหนดหนึ่งหรือหลายโหนด เกิดสภาวะล้มเหลวขึ้น ทำให้การทำงานตรงจุดนั้นล้มเหลว ซึ่งอาจจะทำให้ทั้งระบบล้มเหลวหรือไม่ก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่า ตรงจุดที่เกิดสภาวะล้มเหลวนั้น เป็นจุดอ่อนของระบบหรือไม่ หากว่าจุดที่เกิดสภาวะล้มเหลวนั้น เป็นจุดอ่อนของระบบ การซ่อมแซมให้กลับสู่สถานะการทำงาน ควรจะสามารถกระทำได้ทันเวลา หรือรวดเร็วที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้

2. การที่จะสำรองชิ้นส่วนอุปกรณ์เพื่อการซ่อมแซม ให้กับอุปกรณ์ทุกโหนดในระบบ หรือให้ความสำคัญกับการกู้คืนสภาพในทุกๆโหนดนั้น ย่อมเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากข้อจำกัดในหลายๆด้าน เช่น ด้านงบประมาณ และการสูญเปล่าของทรัพยากร นั่นคือ เราจำเป็นต้องหาวิธีการที่จะทำนายว่า ควรให้ความสำคัญในการกู้คืนสภาพกับอุปกรณ์ ณ จุดใดในระบบมากน้อยต่างกัน และในการวิจัยครั้งนี้ ค่าที่จะนำมาใช้ในการทำนายคือ ค่าความพร้อมในการใช้งาน(Availability) ซึ่งได้มาจากการคำนวณค่าความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์(Reliability)

ความน่าเชื่อถือ(Reliability) นั้น สามารถกล่าวได้ใน 2 แง่ คือ ทั้งในแง่ความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์แต่ละชิ้น และในแง่ความน่าเชื่อถือของทั้งระบบเครือข่าย โดยมีความหมายถึง ความน่าจะเป็นที่ระบบเครือข่ายหนึ่งๆ หรืออุปกรณ์หนึ่งๆ ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายสามารถทำงานได้อย่างเป็นปกติ ตลอดช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งเราเรียกค่าความน่าจะเป็นนี้ว่า ค่าความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่าย หรือ ค่า Reliability , R(t) โดย t มีความหมายเป็นช่วงของเวลา

การพิจารณาความพร้อมในการใช้งาน(Availability)นั้น ก็มีความหมายได้ใน 2 แง่ เช่นเดียวกับความน่าเชื่อถือ คือ เป็นความหมายทั้งในแง่ความพร้อมในการใช้งานของอุปกรณ์แต่ละชิ้น และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแง่ความพร้อมในการใช้งานของทั้งระบบเครือข่าย โดยมีความหมายถึง ความน่าจะเป็นที่ระบบเครือข่ายหนึ่งๆ หรืออุปกรณ์หนึ่งๆ ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายจะอยู่ในสถานะที่กำลังทำงานได้อย่างเป็นปกติ ณ เวลาที่กำหนด

นั่นคือ ในด้านความพร้อมในการใช้งานระบบเครือข่ายนั้น เราจะพิจารณาความน่าจะเป็นที่ระบบเครือข่ายหนึ่งๆ หรืออุปกรณ์ที่ต่อในระบบเครือข่ายจะอยู่ในสถานะการทำงาน ณ เวลาที่กำหนด ซึ่งเราเรียกค่าความน่าจะเป็นนี้ว่า ค่าความพร้อมในการใช้งานของระบบเครือข่าย หรือ ค่า Availability , A(t) โดย t มีความหมายเป็นเวลา ณ ขณะใดๆ

จะเห็นได้ว่า ความแตกต่างของทั้งสองค่านี้ อยู่ที่ความหมายของตัวแปรเวลา โดยในค่า R(t) นั้น ตัวแปรเวลาคิดเป็นช่วงของเวลา ส่วนค่า A(t) ตัวแปรเวลามีความหมายเป็นเวลา ณ ขณะใดๆ และค่าความพร้อมในการใช้งานเป็นฟังก์ของค่าความน่าเชื่อถือดังจะได้กล่าวต่อไป

ระบบจะได้รับการกู้คืนสภาพให้กลับมาทำงานได้อย่างเป็นปกติ โดยการซ่อมแซมอุปกรณ์ที่เกิดสถานะล้มเหลวให้สามารถกลับมาทำงานต่อได้ หากสามารถทำการกู้คืนระบบให้กลับสู่สภาวะปกติได้เร็วเท่าใด ก็หมายความว่า ระบบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นเท่านั้น และนั่นคือ ระบบก็มีความพร้อมในการใช้งานมากขึ้นด้วย ดังนั้น จะเห็นได้ว่า ค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability , R(t)) มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับค่าความพร้อมในการใช้งาน (Availability , A(t)) โดยค่าความน่าเชื่อถือจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าความพร้อมในการใช้งานของอุปกรณ์และระบบ

**2.1.2.3 ความแตกต่างระหว่างค่าความน่าเชื่อถือ(Reliability) และค่าความพร้อมในการใช้งานระบบเครือข่าย(Availability)**

เมื่อพิจารณาว่าในระบบเครือข่ายนั้น เมื่อเกิดความล้มเหลวขึ้นระบบจะถูกทำให้กลับมาอยู่ในสภาวะการทำงานใหม่ได้อีก นั่นหมายความว่า มีอีกสภาวะหนึ่งซึ่งเราต้องนำมาเกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ระบบเครือข่ายด้วย นั่นคือ ต้องคิดถึงสภาวะของการซ่อมแซมให้ระบบหรืออุปกรณ์กลับมาทำงานได้ตามปกติ เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซม เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการวิเคราะห์ความพร้อมในการใช้งานระบบเครือข่าย

เมื่อมีค่าที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมมาเป็นปัจจัยเพิ่มขึ้น ในการวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องคำนวณค่าการซ่อมแซมเพิ่มขึ้นด้วย โดยการคิดค่าความน่าจะเป็นที่อาจเกิดเหตุการณ์ที่ระบบเกิดความล้มเหลวขึ้น ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ภายในช่วงเวลา [0,t] รวมถึงเหตุการณ์ที่อุปกรณ์ได้รับการซ่อมแซมให้กลับสู่การทำงานปกติ และเหตุการณ์ที่อุปกรณ์ยังอยู่ในสภาวะของการล้มเหลวเมื่อถึงเวลา t

ในเหตุการณ์เช่นนี้ จะมีค่าความน่าจะเป็น 2 ค่า ที่มีประโยชน์ในการนำมาใช้วิเคราะห์ คือ ค่าความน่าเชื่อถือ(Reliability) และค่าความพร้อมในการใช้งาน(Availability) การเปรียบเทียบทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่านี้ของอุปกรณ์หรือของระบบ มีประโยชน์ในการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก ค่าความน่าจะเป็นทั้งสองค่าดังกล่าว อธิบายความแตกต่างได้ดังนี้

กำหนดให้

- ณ เวลา t = 0 มีอุปกรณ์ N ชิ้น กำลังอยู่ในสภาวะการทำงาน และให้บริการอยู่ในระบบเครือข่าย

- จำนวนอุปกรณ์ซึ่งไม่เกิดความเสียหายขึ้นเลย ตั้งแต่เริ่มให้บริการ (t = 0) จนถึงเวลาที่กำหนด ($t = t_1$) มีจำนวน $n(t_1)$

- จำนวนอุปกรณ์ซึ่งอยู่ในสภาวะปกติของการทำงาน ณ เวลา $t_1$ มีจำนวน $n'(t_1)$ ในกรณีนี้ $n'(t_1)$ ย่อมรวมทั้งอุปกรณ์ที่เกิดสภาวะการล้มเหลวภายในช่วงเวลา $[0,t_1]$ แล้วได้รับการซ่อมแซมให้กลับมาทำงานได้อย่างปกติภายในเวลา $t_1$ และอุปกรณ์ที่ไม่เกิดสภาวะการล้มเหลวขึ้นเลยตลอดช่วงเวลา $[0,t_1]$

จากคำจำกัดความของ $n(t_1)$ และ $n'(t_1)$ จะได้

$$n'(t_1) \geq n(t_1) \quad \text{.....(1)}$$

และ

$$\text{Reliability}, r(t_1) = \frac{n(t_1)}{N} \quad \text{.....(2)}$$

$$\text{Availability}, a(t_1) = \frac{n'(t_1)}{N} \quad \text{.....(3)}$$

ดังนั้น สรุปได้ว่า

$$a(t_1) \geq r(t_1) \quad \text{.....(4)}$$

ความน่าเชื่อถือของระบบจะสนใจว่าระบบนั้นมีอุปกรณ์ที่เคยทำงานหรือเคยล้มเหลวมาแล้ว อยู่ปริมาณเท่าใด หรืออีกนัยหนึ่งมีอุปกรณ์สภาพเก่าเพียงใด ความน่าเชื่อถือก็ยิ่งต่ำลงเพียงใด

ความพร้อมในการใช้งานของระบบสนใจเพียง ณ ขณะใดขณะหนึ่ง มีอุปกรณ์ที่กำลังทำงานอยู่เท่าใด โดยไม่สนใจอายุหรือประวัติความเสียหายของอุปกรณ์หากแต่จะมีค่าของเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมมาเป็นปัจจัยที่ใช้พิจารณาเพิ่มขึ้น

### 2.1.3 แนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับค่าความน่าเชื่อถือ(Reliability)

หลักการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในทฤษฎีการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบเครือข่ายนั้น ใช้หลักทฤษฎีความน่าจะเป็นของ Poisson ซึ่งเป็นการกำหนดความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ที่สนใจในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งในที่นี้ เหตุการณ์ที่กำลังสนใจคือ เหตุการณ์ที่อุปกรณ์หรือระบบเครือข่ายเกิดสภาวะล้มเหลวขึ้น โดยเราจะมองว่า ในช่วงเวลาหนึ่งๆ ระบบเครือข่ายซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์จำนวนมากนั้น จะมีอุปกรณ์บางชิ้นเข้าสู่สภาวะล้มเหลว และการทำงานของอุปกรณ์ชิ้นนั้นจะมีอุปกรณ์ชิ้นอื่นมารับผิดชอบทำหน้าที่แทน ทำให้ระบบโดยรวมไม่เกิดความล้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลวขึ้น ความน่าจะเป็นของ Poisson เป็นการคาดการณ์ถึงโอกาส และความถี่ที่จะเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวนั้น

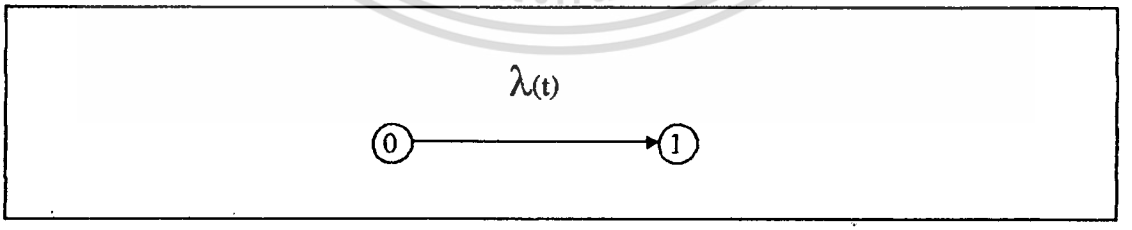
หากอุปกรณ์ชนิดใดเกิดล้มเหลวขึ้นแล้วทำให้ความน่าจะเป็นของการล้มเหลวทั้งระบบมีค่าสูงขึ้น นั่นหมายถึง ระบบมีค่าความน่าเชื่อถือที่เกิดจากอุปกรณ์ชิ้นนั้นต่ำลง หรือมีความน่าเชื่อถือน้อยลง ในทำนองเดียวกัน จะกล่าวในแง่อุปกรณ์ก็ได้ว่า อุปกรณ์ใดมีความน่าจะเป็นที่จะล้มเหลวสูง อุปกรณ์นั้นก็มีค่าความน่าเชื่อถือน้อย เช่น อุปกรณ์ที่เคยใช้งานมาแล้วระยะหนึ่งหรือเคยมีประวัติความเสียหายมาแล้วย่อมมีความน่าจะเป็นที่จะล้มเหลวสูงกว่า และมีค่าความน่าเชื่อถือน้อยกว่าอุปกรณ์ใหม่ที่ยังไม่เคยใช้งานมาก่อนเลย เป็นต้น

หลักการทฤษฎีความน่าจะเป็นของ Poisson นั้น แสดงไว้ในภาคผนวก จะเห็นได้ว่า โดยหลักการของการคาดคะเนนั้น จำเป็นอยู่เองที่จะต้องอนุมานว่า ความล้มเหลวนั้นเกิดขึ้นคิดเป็นจำนวนครั้งเท่าใดในช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนด นั่นคือ จะมีค่าๆหนึ่งในทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นตัวแปรในการคาดคะเนความเป็นไปได้ที่จะเกิดความล้มเหลวขึ้น ค่าดังกล่าวคือ อัตราความล้มเหลวของระบบเครือข่าย แทนค่าด้วยสัญลักษณ์ $\lambda$ โดยอนุมานว่า อัตราความล้มเหลวของระบบเครือข่ายมีค่าคงที่

โดยสรุปคือค่าความน่าเชื่อถือใน Reliability Model นี้เป็นการวิเคราะห์โดยใช้เงื่อนไขของเวลา ซึ่งมีลักษณะที่สำคัญ ดังนี้

1. อุปกรณ์แต่ละชนิดในระบบ จะดำรงอยู่ในสองสถานะคือ สถานะที่การทำงาน ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ "0" และสถานะที่เกิดความล้มเหลว ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ "1"

2. สำหรับระบบเครือข่ายหนึ่ง หรืออุปกรณ์หนึ่ง การเปลี่ยนสถานะระหว่างสถานะที่ระบบหรืออุปกรณ์มีการทำงาน(สถานะ"0") ไปเป็นสถานะที่ระบบหรืออุปกรณ์เกิดความล้มเหลว(สถานะ "1") ในช่วงเวลา [0,t] นั้น กำหนดให้อัตราความล้มเหลวเท่ากับ $\lambda(t)$ ดังภาพที่ 2.1




**ภาพที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนสถานะของระบบจากสถานะการทำงาน ("0") ไปสู่สถานะล้มเหลว ("1")**

**2.1.3.1 Reliability Function**

ดังได้กล่าวแล้วว่า ในการวิเคราะห์ค่าความน่าเชื่อถือนี้ ใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในเรื่องความน่าจะเป็นของ Poisson ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความน่าเชื่อถือ(Reliability,R(t)) คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ระบบจะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องได้เป็นปกติตลอดช่วงเวลา [0,t]

ด้วยเหตุที่การหาค่าความน่าเชื่อถือของระบบนี้ เกี่ยวข้องกับการเกิดความเสียหายหรือการเกิดสภาวะล้มเหลวขึ้นบ่อยครั้งหรือไม่เพียงใด ดังนั้น จึงต้องกล่าวเกี่ยวโยงถึงความน่าจะเป็นที่ระบบหรืออุปกรณ์ใดๆจะเกิดความล้มเหลวขึ้น ดังต่อไปนี้

ในระหว่างช่วงเวลา [0,t] นั้น อาจเป็นไปได้ที่จะเกิดความล้มเหลวของอุปกรณ์ใดๆในระบบ โดยที่ความล้มเหลวนั้นอาจมีผลให้เกิดความเสียหายทั้งระบบหรือไม่ก็ได้ ดังนั้น เราสามารถกล่าวได้ว่า มีค่าความน่าจะเป็นหรือโอกาสค่าหนึ่งที่จะทำให้ทั้งระบบเกิดสภาวะล้มเหลวขึ้นได้ในช่วงเวลา [0,t] นั่นคือ ค่านี้มีความหมายในทางตรงกันข้ามกับค่าความน่าเชื่อถือที่ได้กล่าวมาแล้ว เราจะเรียกค่านี้ว่า ค่า Unreliability,F(t)

ค่า Unreliability,F(t) คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ทั้งระบบเครือข่ายจะเกิดความล้มเหลวขึ้นภายในช่วงเวลา [0,t] หรือความน่าจะเป็นที่ระบบจะไม่สามารถทำงานได้ติดต่อกันอย่างต่อเนื่องภายในช่วงเวลาที่กำหนด [0 , t] ดังนั้น จากคำจำกัดความของค่า Reliability และค่า Unreliability จะได้สมการต่อไปนี้

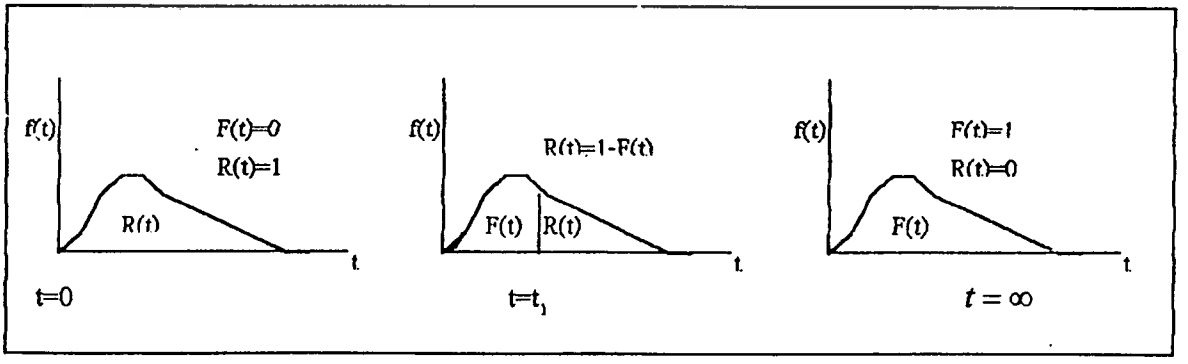
$$R(t) = 1 - F(t) \quad \text{.....(5)}$$

เราทราบแล้วว่า F(t) เกิดจากการที่อาจเกิดความล้มเหลวย่อยๆของอุปกรณ์ต่างๆที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายภายในช่วงเวลา [0,t] ดังนั้น หากเราใช้สัญญลักษณ์ f(t) เป็นฟังก์ชันของความน่าจะเป็นของการเกิดความล้มเหลวย่อยๆภายในระบบ หรือเป็น Unreliability ย่อยๆที่ต่ออยู่ในระบบ เราจะได้สมการ Failure Distribution Function คือ

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx \quad \text{.....(6)}$$

$$R(t) = \int_t^\infty f(x)dx \;=\; 1 - F(t) \quad \text{.....(7)}$$

ลักษณะแนวโน้มของค่า R(t) ดังแสดงในภาพที่ 2.2




**ภาพที่ 2.2 แสดงความแตกต่างของแนวโน้มของค่า R(t) และค่า F(t) บนแกนเวลา**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

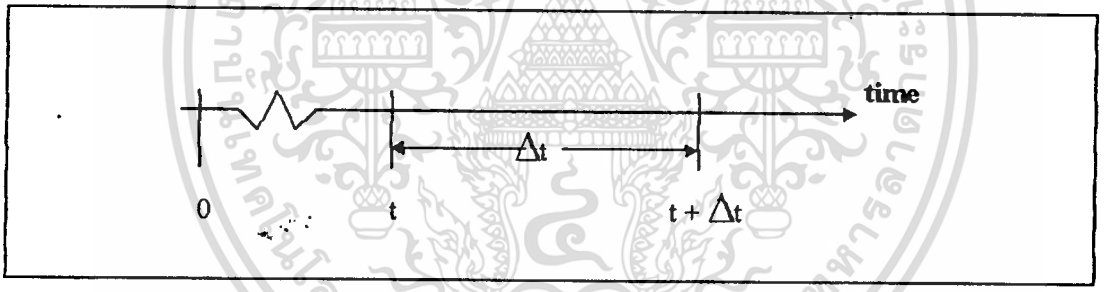
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนสถานะตามรูปที่ เป็นการแสดงการเปลี่ยนสถานะของระบบที่มีอุปกรณ์หนึ่งชิ้น และมีการเปลี่ยนสถานะจากสถานะเริ่มต้นที่มีการทำงานไปสู่สถานะสุดท้ายที่ระบบเกิดความล้มเหลว(จากสถานะ 0 ไปสู่สถานะ 1) โดยที่อัตราการล้มเหลวมีค่าเท่ากับ $\lambda(t)$ และยังไม่พิจารณาการซ่อมแซมให้ระบบกลับคืนสู่สภาพการทำงานปกติ

การพิจารณาโดยใช้หลักการของ Poisson เราสนใจความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะหนึ่งไปสู่อีกสถานะหนึ่ง ในช่วงเวลาที่สั้นมากๆ ($\Delta t$) โดยความน่าจะเป็นนี้เป็นไปตามหลักการของ Poisson 2 ข้อ ตามที่อธิบายไว้ในภาคผนวก ดังนี้

1. ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะมีค่าเท่ากับ $\lambda(t)\,\Delta t$ โดยที่ $\lambda(t)$ คือ อัตราการล้มเหลว หรือในที่นี้คืออัตราการเปลี่ยนสถานะนั่นเอง

2. ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเปลี่ยนสถานะมากกว่าหนึ่งครั้ง ตลอดช่วงเวลา $\Delta t$ มีค่าน้อยมาก จนถือว่าสามารถละทิ้งได้

จากคำจำกัดความของค่าความของค่าความน่าเชื่อถือดังกล่าว เราจะหาค่า R(t) โดยคิดค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามภาพที่ 2.3 ดังนี้




***ภาพที่ 2.3 แสดงช่วงเวลาที่อธิบายตามหลักการของ Poisson***

กำหนดความหมายของค่าตัวแปรต่างๆดังนี้

$P_0(t)$ = ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ 0 ณ เวลา t

$P_1(t)$ = ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ 1 ณ เวลา t

$P_0(t+\Delta t)$ = ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ 0 ณ เวลา $t+\Delta t$

$P_1(t+\Delta t)$ = ความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ที่สถานะ 1 ณ เวลา $t+\Delta t$

เหตุการณ์ทั้งหมดที่จะเป็นไปได้สำหรับระบบอุปกรณ์หนึ่งชิ้น ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการซ่อมแซมสามารถแจกแจงได้ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการแจกแจงเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์

| สถานะเริ่มต้น ณ เวลา t | สถานะสุดท้าย ณ เวลา $t+\Delta t$ | เหตุการณ์ | ชื่อเหตุการณ์ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | ไม่เกิดสถานะความล้มเหลว | E1 |
| 1 | 0 | กำหนดว่าไม่มีการซ่อมแซม | E2 |
| 0 | 1 | เกิดสถานะความล้มเหลว | E3 |
| 1 | 1 | ล้มเหลวและไม่มีการซ่อมแซม | E4 |

จากตารางสรุปสมการต่างๆได้ดังนี้

$$P_0(t+\Delta t) = P(E1) + P(E2) \quad \text{.....(8)}$$

$$P_0(t+\Delta t) = \left[P_0(t)\times\left(1-\lambda(t)\Delta t\right)\right] + \left[P_1(t)\times 0\right] \quad \text{.....(9)}$$

$$P_1(t+\Delta t) = P(E3) + P(E4) \quad \text{.....(10)}$$

$$P_1(t+\Delta t) = \left[P_0(t)\times\left(\lambda(t)\Delta t\right)\right] + \left[P_1(t)\times 1\right] \quad \text{.....(11)}$$

จากสมการที่ (9) จะได้

$$P_0(t+\Delta t) = P_0(t)\times -\lambda(t)\Delta t P_0(t) + 0 \quad \text{.....(12)}$$

$$P_0(t+\Delta t) - P_0(t) = -\lambda(t)\Delta t P_0(t) \quad \text{.....(13)}$$

$$\frac{P_0(t+\Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = -\lambda(t)P_0(t) \quad \text{.....(14)}$$

$$\frac{dP_0(t)}{\Delta t} + \lambda(t)P_0(t) = 0 \quad \text{.....(15)}$$

ในทำนองเดียวกัน จากสมการที่ (11) จะได้

$$\frac{dP_1(t)}{\Delta t} - \lambda(t)P_0(t) = 0 \quad \text{.....(16)}$$

ณ เวลาเริ่มต้น t=0 ซึ่งกำหนดว่า $P_0(0) = 1$ และ $P_1(0) = 0$ แทนค่าในสมการที่(15) และ (16) จะได้สมการดังนี้

$$P_0(t) = 1 - P_1(t) \quad \text{.....(17)}$$

โดยที่ $P_0(t) = R(t)$ .....(18)

$$= \exp\left[-\int_0^t \lambda(x)dx\right] \quad \text{.....(19)}$$

$$= e^{-\lambda(t)t} \quad \text{.....(20)}$$

นั่นคือ ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะสมการแบบ Poisson ที่สามารถอนุมานได้ว่าความล้มเหลวเกิดขึ้นเป็นอัตราคงที่เท่ากับ $\lambda$

**2.1.3.2 Reliability Measures**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังได้กล่าวแล้วว่า ค่าที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือนั้น มีลักษณะเป็นช่วงเวลาที่อธิบายถึงปริมาณการเกิดสภาวะล้มเหลวภายในช่วงเวลานั้น โดยมีลักษณะของค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

**2.1.3.2.1 ค่า Mean Time To Failure : MTTF**

ค่า MTTF หมายถึง ช่วงเวลาเฉลี่ยที่อุปกรณ์ทำงานมาตามปกติ จนกระทั่งเริ่มเข้าสู่สภาวะความล้มเหลว หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งหมายถึง ค่าชีวิตเฉลี่ยของอุปกรณ์หรือระบบนั้นๆ ค่า MTTF นี้มีความสัมพันธ์กับฟังก์ชันของความน่าเชื่อถือตามสมการต่อไปนี้

$$MTTF = \int_0^\infty R(t)dt = \frac{1}{\lambda} \quad \text{.....(21)}$$

โดยที่อนุมานว่าอัตราการล้มเหลวมีค่าคงที่

ค่า MTTF นี้ อาจอธิบายให้เข้าใจง่ายขึ้นได้ว่า ในช่วงเวลาหนึ่งหน่วยเวลาที่กำหนดขึ้นนั้น ระบบหรืออุปกรณ์เกิดความล้มเหลวขึ้นเป็นจำนวน $\lambda$ ครั้ง ดังนั้น ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งตามโอกาสหรือค่าความน่าเชื่อถือ ณ ช่วงเวลานั้นๆ($dt$) ย่อมเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1/\lambda$ หน่วยเวลา ซึ่งเราถือเป็นค่าเวลาเฉลี่ยที่ระบบทำงานจนเข้าสู่สภาวะล้มเหลวดังกล่าวนั่นเอง

**2.1.3.2.2 ค่า Mean Time To Repair : MTTR**

ค่า MTTR หมายถึง ค่าช่วงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ไปในระหว่างที่กำลังทำการซ่อมแซมอุปกรณ์หรือระบบ

ในทำนองเดียวกับอัตราความล้มเหลวที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อเกิดความล้มเหลวขึ้นเมื่อใดย่อมต้องมีสภาวะการซ่อมแซมเกิดขึ้น เราสามารถอนุมานได้ว่าช่วงเวลาในการซ่อมแซมเป็นฟังก์ชันในลักษณะเดียวกับฟังก์ชันของอัตราความล้มเหลว และเกิดขึ้นในลักษณะเป็นค่าคงที่เช่นกัน โดยใช้สัญลักษณ์ $\mu$ ดังนั้น เช่นเดียวกับสมการที่ จะได้สมการของค่า MTTR ดังนี้

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad \text{.....(22)}$$

**2.1.3.2.3 ค่า Mean Time Between Failure : MTBF**

ค่า MTBF หมายถึง ช่วงเวลาเฉลี่ยทั้งหมดนับจากที่ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะล้มเหลว แล้วเกิดสภาวะการซ่อมแซมจนสามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติไปจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะล้มเหลวครั้งต่อไป

ค่า MTBF สามารถอธิบายได้ตามสมการข้างล่างนี้

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad \text{.....(23)}$$

**2.1.3.2.4 ค่า Mean Time Between Repair : MTBR**

ค่า MTBR หมายถึง ช่วงเวลาเฉลี่ยทั้งหมดนับจากที่เริ่มสภาวะการซ่อมแซมจนสามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติไปจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะล้มเหลว และเริ่มทำการซ่อมแซมครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

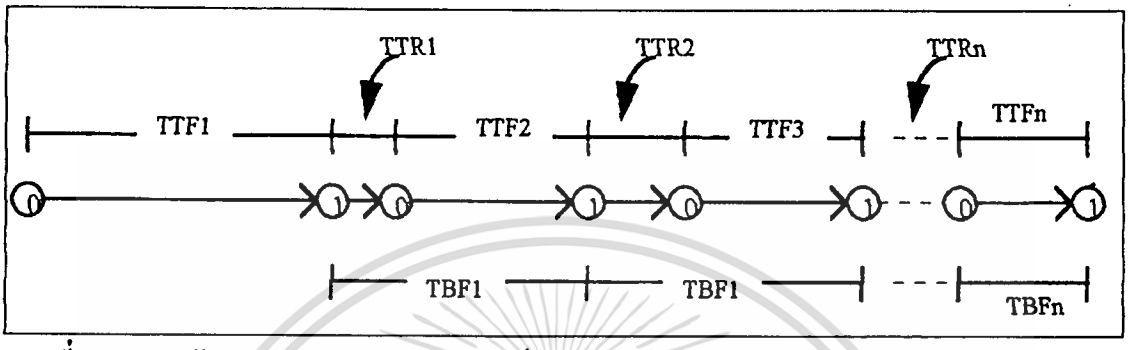
ค่า MTBR สามารถอธิบายได้ตามสมการข้างล่างนี้

$$MTBR = MTTR + MTTF \quad \text{.....(24)}$$

$$MTBR = MTBF \quad \text{.....(25)}$$

**2.1.3.2.5 สรุปความสัมพันธ์ของค่า MTTF , MTTR และ MTBF**

ค่าเวลาเฉลี่ยต่างๆที่กล่าวมาแล้ว สรุปได้เป็นไดอะแกรมตามภาพที่ 2.4




**ภาพที่ 2.4 แสดงไดอะแกรมสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่า MTTF , MTTR และ MTBF**

จากคำจำกัดความและภาพที่ 4 สรุปเป็นสูตรได้ดังนี้

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^{n} TTF_i}{n} \quad \text{.....(26)}$$

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^{n} TTR_i}{n} \quad \text{.....(27)}$$

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^{n} TBF_i}{n} \quad \text{.....(28)}$$

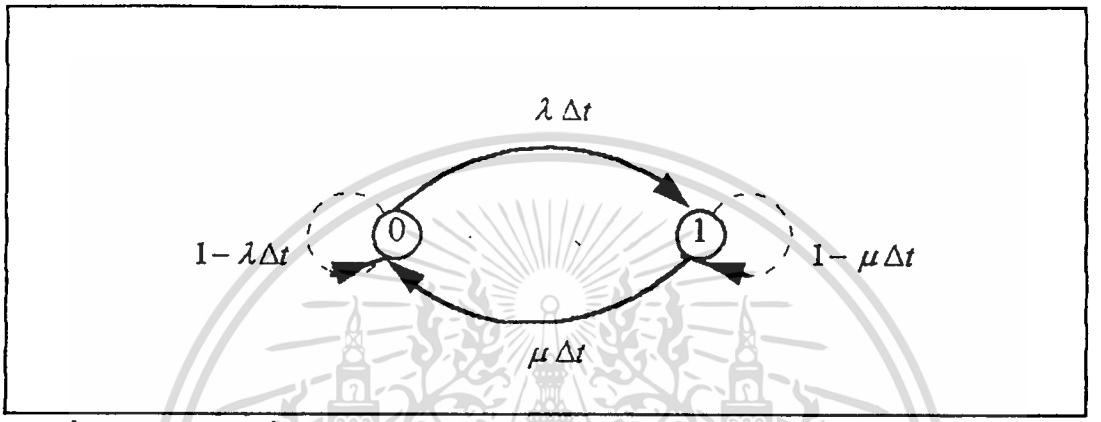
**2.1.4 แนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับค่าความพร้อมในการใช้งาน(Availability)**

ค่าความพร้อมในการใช้งานนั้น มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับค่าความน่าเชื่อถือดังที่ได้กล่าวมาบ้างแล้ว โดยในการพิจารณาค่าความพร้อมในการใช้งาน จะพิจารณาระบบซึ่งนอกจากจะมีสภาวะของการทำงาน สภาวะของการล้มเหลวแล้ว ยังคำนึงถึงสถาวะของการซ่อมแซมหรือกู้คืนสภาพให้อุปกรณ์หรือระบบกลับมาทำงานเป็นปกติอีกครั้งหนึ่งด้วย ทั้งนี้ ในการคาดคะเนค่าอัตราการซ่อมแซมตามหลักการของ Poisson เป็นไปในทำนองเดียวกับ ค่าอัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ $\lambda(t)$ นั่นคือ กำหนดให้ค่าอัตราการซ่อมแซมมีค่าคงที่เท่ากับ $\mu(t)$ ดังภาพที่ 2.5

**2.4.1 Availability Function**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกล่าวถึงค่าความพร้อมในการใช้งานนั้น มีความแตกต่างจากความน่าเชื่อถือของระบบ เนื่องจากระบบจะมีความพร้อมในการใช้งานสูงเพียงใด ขึ้นอยู่กับว่า ระบบนั้นมีอุปกรณ์ต่างๆที่สามารถทำงานได้อย่างปกติเป็นเวลานานเท่าใด และเมื่อเกิดสภาวะล้มเหลวของอุปกรณ์เหล่านั้นขึ้น อุปกรณ์สามารถกลับมาทำงานเป็นปกติได้ภายในเวลารวดเร็วเพียงใด หากสามารถซ่อมแซมอุปกรณ์ให้กลับมาทำงานได้เร็วเท่าใด ก็จะมีความพร้อมในการใช้งานสูงเท่านั้น




**ภาพที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนสถานะของระบบระหว่างสถานะการทำงาน("0") กับสถานะล้มเหลว ("1")ในช่วงเวลา $\Delta t$**

ในการหาค่าความพร้อมในการใช้งานนั้น จำเป็นต้องรู้ค่าความน่าเชื่อถือบางค่า เนื่องจากสมการของค่าความพร้อมในการใช้งานนั้น เป็นสมการของตัวแปรความน่าจะเป็นที่ระบบจะอยู่ในสถานะการทำงานภายในช่วงเวลาที่กำหนดหรือไม่ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เป็นสมการของค่าความน่าเชื่อถือนั่นเอง

จากภาพที่ 2.5 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์หรือระบบเครือข่ายออกจากสถานะการทำงานเป็นปกติ เข้าสู่สภาวะของความล้มเหลวด้วยอัตราการล้มเหลวคงที่ตามหลักการการหาความน่าจะเป็นของ Poisson คือเท่ากับ $\lambda(t)$ และอัตราการซ่อมแซมให้ระบบกลับมาทำงานได้อย่างปกติด้วยอัตราคงที่เช่นกัน เท่ากับค่า $\mu(t)$ จะเห็นได้ว่า ในระบบที่มีการซ่อมแซมเข้ามาเกี่ยวข้องจะเกิดเหตุได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และสรุปสมการความน่าจะเป็นได้ดังนี้

$$P_0(t+\Delta t) = P(E1) + P(E2) \quad \text{.....(29)}$$

$$P_0(t+\Delta t) = \left[P_0(t)\times\left(1-\lambda(t)\Delta t\right)\right] + \left[P_1(t)\times\mu(t)\Delta t\right] \quad \text{.....(30)}$$

$$P_1(t+\Delta t) = P(E3) + P(E4) \quad \text{.....(31)}$$

$$P_1(t+\Delta t) = \left[P_0(t)\times\left(\lambda(t)\Delta t\right)\right] + \left[P_1(t)\times(1-\mu(t)\Delta t)\right] \quad \text{.....(32)}$$

$$P_0'(t) = -\lambda(t)P_0(t) + \mu(t)P_1(t) \quad \text{.....(33)}$$

$$P_1'(t) = \lambda(t)P_0(t) - \mu(t)P_1(t) \quad \text{.....(34)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงการแจกแจงเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ในระบบที่มีการซ่อมแซมเข้ามาเกี่ยวข้อง

| สถานะเริ่มต้น ณ เวลา t | สถานะสุดท้าย ณ เวลา t+$\Delta$t | เหตุการณ์ | ชื่อเหตุการณ์ |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | ไม่เกิดสถานะความล้มเหลว | E1 |
| 1 | 0 | ล้มเหลวและมีการซ่อมแซม | E2 |
| 0 | 1 | เกิดสถานะความล้มเหลวในภายหลัง | E3 |
| 1 | 1 | ล้มเหลวและไม่มีการซ่อมแซม | E4 |

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\mu+\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \quad \text{.....(35)}$$

$$= A(t)$$

หากพิจารณาในกรณีที่ช่วงเวลา [0 , t] มีค่ามากขึ้นเรื่อยๆเพื่อสังเกตุพฤติกรรมของระบบที่อยู่ใน steady state สามารถเขียนสมการของค่าความพร้อมในการใช้งานได้ดังนี้

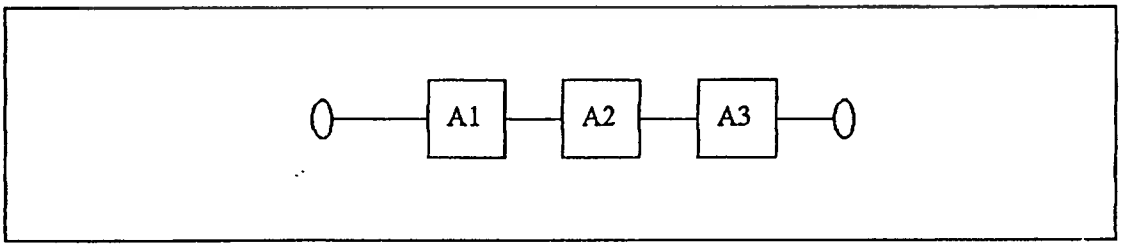
$$A_{ss} = \lim_{t\to\infty} A(t) = \lim_{t\to\infty} P_0(t) = \frac{\mu}{\mu+\lambda} \quad \text{.....(36)}$$

จากสมการที่ (21) และ (22) จะได้

$$A_{ss} = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad \text{.....(37)}$$

**2.1.4.2 ค่าความพร้อมในการใช้งานของระบบที่เชื่อมต่ออุปกรณ์แบบอนุกรม**

ค่าความพร้อมในการใช้งานของระบบซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชนิดต่อกันแบบอนุกรมดังภาพที่ 2.6 นั้น สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 38 ดังนี้




**ภาพที่ 2.6 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบอนุกรม**

คำนวณค่า A ได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_{ss}=\prod_{i=1}^{n} A_i \quad \text{.....(38)}$$

$$=A_1 \times A_2 \times A_3 \times \ \times A_n \quad \text{.....(39)}$$

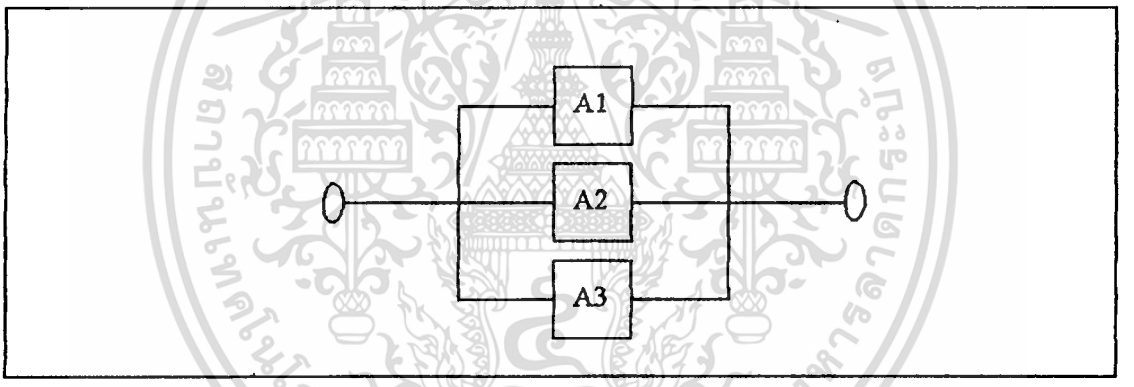
โดยที่ n เท่ากับจำนวนอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่ในระบบ

และ Ai เท่ากับค่าความพร้อมในการใช้งานของอุปกรณ์ลำดับที่ i ซึ่งหาได้โดยสูตรที่ (40) ดังนี้

$$A_i=\frac{MTTF_i}{MTTF_i+MTTR_i} \quad \text{.....(40)}$$

**2.1.4.3 ค่าความพร้อมในการใช้งานของระบบที่เชื่อมต่ออุปกรณ์แบบขนาน**

ค่าความพร้อมในการใช้งานของระบบซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชนิดต่อกันแบบขนาน ดังภาพที่ 2.7 นั้น สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (41) ดังนี้




**ภาพที่ 2.7 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบขนาน**

คำนวณค่า A ได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$A_{ss}=1-\prod_{i=1}^{n}(1-A_i) \quad \text{.....(41)}$$

$$=1-(1-A_1)(1-A_2)(1-A_3)...(1-A_n) \quad \text{.....(42)}$$

โดยที่ n เท่ากับจำนวนอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่ในระบบ

และ Ai เท่ากับค่าความพร้อมในการใช้งานของอุปกรณ์ลำดับที่ i ซึ่งหาได้โดยสูตรที่ (37) เช่นกัน

**2.2 วิธีดำเนินการวิจัย**

ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้การวิจัยทดลองเชิงการคำนวณ บนระบบเครือข่ายสมมุติที่ออกแบบขึ้นมาให้มีความซับซ้อน และมีความหลากหลายของโทโปโลยี รวมทั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ โดยจะนำ

เอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาหาค่าความพร้อมในการใช้งาน หรือนำไปสู่การหาสัดส่วนของการจัดสรรเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมที่เหมาะสม ให้กับอุปกรณ์ที่ให้ความสำคัญในนโยบายการดูแลรักษาระบบระบบ

ขั้นตอนดังกล่าว สรุปได้เป็น 3 หัวข้อ ดังนี้ คือ

2.2.1 การออกแบบ และการสร้างแบบจำลองเครือข่ายสมมุติที่ใช้ในการทดลอง

2.2.2 ทดลองเพื่อหาสัดส่วนของการจัดสรรเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมที่เหมาะสม ให้กับอุปกรณ์ที่ให้ความสำคัญในนโยบายการดูแลรักษาระบบระบบ

**2.2.1 การออกแบบและสร้างแบบจำลองเครือข่ายย่อยที่ใช้ในการทดลอง**

ในการทดลองครั้งนี้ เป็นการทดลองเชิงการคำนวณ ซึ่งกระทำบนเครือข่ายจำลองสมมุติที่ออกแบบให้มีความซับซ้อน มีความหลากหลายของโทโปโลยี และอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ ระบบเครือข่ายที่ออกแบบเพื่อจะนำมาทดลองในครั้งนี้ กำหนดให้มีเครือข่ายย่อย 4 เครือข่าย มีอุปกรณ์ LAN Switch และ Server เชื่อมต่อกันอยู่ในแบบต่างๆ ในแต่ละการทดลอง

เครือข่ายย่อยทั้ง 4 เครือข่าย ได้แก่

เครือข่ายย่อยที่ 1 คือ ระบบเครือข่ายที่ใช้มาตรฐาน IEEE 802.5 ซึ่งเป็นโทโปโลยีแบบ Token Ring

เครือข่ายย่อยที่ 2 คือ ระบบเครือข่ายที่ใช้มาตรฐาน IEEE 802.3i ซึ่งเป็นโทโปโลยีแบบ Ethernet (10 BaseT)

เครือข่ายย่อยที่ 3 คือ ระบบเครือข่าย LAN/WAN โดยระบบ LAN ใช้มาตรฐาน IEEE 802.3i ซึ่งเป็นโทโปโลยีแบบ Ethernet (10 BaseT) และระบบ WAN ใช้มาตรฐาน X.25

เครือข่ายย่อยที่ 4 คือ ระบบเครือข่ายของกลุ่มผู้ใช้งานระยะไกล (Remote User) ที่เชื่อมต่อผ่าน Remote Access Server (RAS)

นอกจากนี้ ยังมีอุปกรณ์เชื่อมต่ออีก 2 ชนิด คือ LAN Switch และ Server ที่เป็นส่วนประกอบในระบบเครือข่ายที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ระบบเครือข่ายย่อย 4 เครือข่าย และอุปกรณ์ดังกล่าว มีรายละเอียดทางด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟแวร์ดังต่อไปนี้

**2.2.1.1 เครือข่ายย่อยที่ 1 - ระบบเครือข่าย Token Ring**

ระบบเครือข่าย Token Ring ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ประกอบด้วย

- เครื่อง Multiuser Access Unit (MAU) จำนวน 4 เครื่อง

- เครื่อง PC ที่ใช้ CPU ชนิด Pentium II 166 Mhz ของ Intel มีหน่วยความจำหลัก 32 MB หน่วยความจำสำรอง 1.7 GB จำนวน 32 เครื่อง ใช้เป็นเครื่องไคลแอนท์ โดย PC จำนวน 8 เครื่องต่ออยู่กับเครื่อง MAU แต่ละเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Network Interface Card (NIC) ที่ใช้กับเครือข่าย Token Ring ของ 3COM ติดตั้งบนเครื่อง PC แต่ละเครื่อง

- ซอฟแวร์ที่ใช้บนเครื่องไคลแอนท์ ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows 95 ติดตั้งซอฟแวร์ Borland Delphi version 2 ทำหน้าที่เป็นส่วน Front End ของระบบไคลแอนท์เซิฟเวอร์

**2.2.1.2 เครือข่ายย่อยที่ 2 - ระบบเครือข่าย Ethernet LAN**

ระบบเครือข่ายย่อย Ethernet LAN ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ประกอบด้วย

- เครื่อง HUB ของ Cabletron 2200 จำนวน 4 เครื่อง

- เครื่อง PC ที่ใช้ CPU ชนิด Pentium II 166 Mhz ของ Intel มีหน่วยความจำหลัก 32 MB หน่วยความจำสำรอง 1.7 GB จำนวน 48 เครื่อง ใช้เป็นเครื่องไคลแอนท์ โดย PC จำนวน 12 เครื่อง ต่ออยู่กับ HUB แต่ละเครื่อง

- Network Interface Card (NIC) ที่ใช้กับเครือข่าย Ethernet ของ DEC รุ่น Turbo Plus ติดตั้งบนเครื่อง PC แต่ละเครื่อง

- ซอฟแวร์ที่ใช้บนเครื่องไคลแอนท์ ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows 95 ติดตั้งซอฟแวร์ Borland Delphi version 2 ทำหน้าที่เป็นส่วน Front End ของระบบไคลแอนท์เซิฟเวอร์

**2.2.1.3 เครือข่ายย่อยที่ 3 - ระบบเครือข่าย LAN/WAN**

ระบบเครือข่ายย่อย LAN/WAN ดังแสดงในภาพที่ 2.10 ประกอบด้วย

- เครื่อง HUB ของ Cabletron 2200 จำนวน 3 เครื่อง

- เครื่อง PC ที่ใช้ CPU ชนิด Pentium II 166 Mhz ของ Intel มีหน่วยความจำหลัก 32 MB หน่วยความจำสำรอง 1.7 GB จำนวน 36 เครื่อง ใช้เป็นเครื่องไคลแอนท์ โดย PC จำนวน 12 เครื่อง ต่ออยู่กับ HUB แต่ละเครื่อง

- Network Interface Card (NIC) ที่ใช้กับเครือข่าย Ethernet ของ DEC รุ่น Turbo Plus ติดตั้งบนเครื่อง PC แต่ละเครื่อง

- Router ของ 3COM รุ่น NETBuilder ใช้ในส่วนของระบบเครือข่าย WAN

- CSU/DSU ของ PARADYNE 3550 ใช้ในส่วนของระบบเครือข่าย WAN

- ซอฟแวร์ที่ใช้บนเครื่องไคลแอนท์ ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows 95 ติดตั้งซอฟแวร์ Borland Delphi version 2 ทำหน้าที่เป็นส่วน Front End ของระบบไคลแอนท์เซิฟเวอร์

**2.2.1.4 เครือข่ายย่อยที่ 4 - ระบบเครือข่าย Remote User**

ระบบเครือข่ายย่อย Remote User ดังแสดงในภาพที่ 2.11 ประกอบด้วย

- เครื่อง Remote Access Server (RAS) ของ 3COM จำนวน 3 เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่อง MODEM จำนวน 24 เครื่อง

- เครื่อง PC ที่ใช้ CPU ชนิด Pentium II 166 Mhz ของ Intel มีหน่วยความจำหลัก 32 MB หน่วยความจำสำรอง 1.7 GB จำนวน 24 เครื่อง ใช้เป็นเครื่องไคลแอนท์ โดย PC จำนวน 8 เครื่อง เชื่อมต่อกับ RAS แต่ละเครื่อง

- ซอฟแวร์ที่ใช้บนเครื่องไคลแอนท์ ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows 95 ติดตั้งซอฟแวร์ Borland Delphi version 2 ทำหน้าที่เป็นส่วน Front End ของระบบไคลแอนท์เซิฟเวอร์

**2.2.1.5 เครื่องเซิฟเวอร์ที่ใช้ในระบบเครือข่าย**

เครื่องเซิฟเวอร์ดังแสดงในภาพที่ 2.12 มีรายละเอียดดังนี้

- เป็นเครื่องที่ใช้ CPU ชนิด Pentium II 200 MHz ของ Intel หน่วยความจำสำรอง 2 GB จำนวน 2 หน่วย และช่องขับเทปขนาด 4 มม.

- ใช้ Network Interface Card (NIC) ที่ใช้กับเครือข่าย Ethernet ของ DEC รุ่น Turbo Plus ติดตั้งจำนวน 2 card

- ใช้ Network Interface Card (NIC) ที่ใช้กับเครือข่าย Token Ring ของ 3COM ติดตั้ง จำนวน 1 card

- ซอฟแวร์ที่เป็นระบบปฏิบัติการ Windows NT 4.0 ติดตั้งระบบจัดการฐานข้อมูล SQL Server version 6.5 เชื่อมต่อและส่งผ่านข้อมูลระหว่างส่วน Front End กับส่วน Database Engine ด้วย Middleware คือ ODBC ของ Microsoft Borland Delphi

**2.2.1.6 อุปกรณ์อื่นๆ**

ประกอบด้วย

- LAN Switch ของ Cabletron ใช้เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย

- สายสัญญาณที่ใช้ในระบบเครือข่ายใช้สาย UTP

**2.2.2 ทดลองเพื่อหาสัดส่วนของการจัดสรรเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมที่เหมาะสม ให้กับอุปกรณ์ที่ให้ความสำคัญในนโยบายการดูแลรักษาระบบ**

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้ระบบเครือข่ายจำลองดังแสดงในภาพที่ 2.13 และ 2.14 สำหรับการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ตามลำดับ โดยประกอบด้วยระบบเครือข่ายย่อย และอุปกรณ์ต่างๆที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.2.1

2. กำหนดอุปกรณ์ที่สนใจ 5 ชนิด ซึ่งเป็นการให้ความสำคัญกับอุปกรณ์ที่เป็นจุดอ่อนซึ่งควรให้ความสนใจในการกำหนดนโยบายการดูแลรักษาระบบ ในที่นี้สมมุติให้อุปกรณ์ที่จะให้ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญเร่งด่วนในการซ่อมแซมนั้น มี 5 ชนิด คือ LAN Switch , Remote Access Server(RAS) , HUB , Multistation Access Unit(MAU) , CPU ของ Server และองค์กรมีงบประมาณจำกัดในการจัดสรรให้กับการดูแลระบบ ดังนั้น ต้องทำการแบ่งสัดส่วนของเวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์ทั้ง 5 ให้เหมาะสมสอดคล้องกับงบประมาณที่มีอยู่ โดยใช้ค่าความพร้อมในการใช้งานเป็นตัววัดความเหมาะสมดังกล่าว

กำหนดให้เวลาน้อยที่สุดที่สอดคล้องกับงบประมาณที่มีอยู่เท่ากับ 697946 ชั่วโมงแบ่งให้กับ 5 อุปกรณ์เป็น 5 ค่า คือ 30 , 247 , 3406 , 46955 และ 647308 ชั่วโมง ตามลำดับ

3. ทำการทดลอง โดยคำนวณค่าความพร้อมในการใช้งานที่เกิดจากการติดต่อสื่อสารระหว่าง Client แต่ละจุดในระบบเครือข่ายมายัง Server ที่กำหนด โดยใช้ค่า MTTR แต่ละชุดในตารางที่ 2.4 ในการคำนวณ

จากนั้นเลือกเส้นทางที่ให้ค่าความพร้อมในการใช้งานในเส้นทางกรณี worse case ของค่า MTTR แต่ละชุด นั่นคือ เส้นทางที่ให้ค่าความพร้อมในการใช้งานต่ำสุด ในแต่ละชุดของค่า MTTR ดังนั้น เมื่อทำการทดลองจนครบชุดของค่า MTTRทั้งหมด 120 ชุด จะได้ค่าความพร้อมในการใช้งานที่เป็น worse case ทั้งหมด 120 ค่า จากทั้งหมด 120 ค่านี้ ค่าความพร้อมในการใช้งานที่มากที่สุดถือเป็นค่าที่มาจากการจัดสรรสัดส่วนเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการจัดสรรให้กับอุปกรณ์ 5 ชนิดที่กำหนดให้มีความสำคัญในนโยบายการดูแลรักษาระบบ

ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 จะกำหนดชุดที่เป็น Server เป้าหมาย ณ ตำแหน่งที่แตกต่างกัน และใช้การคำนวณหาค่าความพร้อมในการใช้งานตามสูตรคณิตศาสตร์และขั้นตอนต่างๆที่กล่าวมาแล้ว โดยใช้สัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 กับอุปกรณ์ 5 ชนิดที่กำหนด ส่วนค่า MTTR ของอุปกรณ์อื่นๆกำหนดให้เท่ากับ 1

**2.2.2.1 การทดลองที่ 1**

ในการทดลองที่ 1 กำหนดเส้นทางต่างๆดังแสดงในภาพที่ 2.15 และสูตรในการทดลองดังต่อไปนี้

$$A_1 = A_ServerM1 \times A_MAU \times A_MAU \times A_Server12 \times A_LANswitch \times A_HUB \times A_Client_{Ether1}$$

$$A_2 = A_ServerM1 \times A_MAU \times A_MAU \times A_Server12 \times A_LANSWITCH \times A_WAN \times A_HUB \times A_Client_{LAN/WAN}$$

$$A_3 = A_ServerM1 \times A_MAU \times A_MAU \times A_Server12 \times A_LANSWITCH \times A_RAS \times A_MODEM \times A_MODEM \times A_Client_{Remote}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_4 = A_ServerM1 \times A_MAU \times A_MAU \times A_Server0 \times A_HUB \times A_Client_{Ether2}$$

$$A_5 = A_ServerM1 \times A_MAU \times A_MAU \times A_Client_{TokM4}$$

$$A_6 = A_ServerM1 \times A_MAU \times A_MAU \times A_MAU \times A_Client_{TokM3}$$

$$A_7 = A_ServerM1 \times A_MAU \times A_MAU \times A_Client_{TokM2}$$

$$A_8 = A_ServerM1 \times A_MAU \times A_Client_{TokM1}$$

โดยที่ตัวแปรต่างๆมีความหมายดังต่อไปนี้

A_1 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM1 ตามเส้นทางที่ 1

A_2 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM1 ตามเส้นทางที่ 2

A_3 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM1 ตามเส้นทางที่ 3

A_4 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM1 ตามเส้นทางที่ 4

A_5 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM1 ตามเส้นทางที่ 5

A_6 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM1 ตามเส้นทางที่ 6

A_7 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM1 ตามเส้นทางที่ 7

A_8 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM1 ตามเส้นทางที่ 8

A_MAU คือ ค่า Availability ของอุปกรณ์ Multistation Access Unit

A_Server12 คือ ค่า Availability รวม ของระบบเครื่อง Server เครื่องที่ 1 และ Server เครื่องที่ 2 ของระบบเครือข่าย

A_LANswitch คือ ค่า Availability ของ LAN Switch

A_HUB คือ ค่า Availability ของ HUB

$A_Client_{Ether1}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายย่อย Ethernet1

$A_Client_{LAN/WAN}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายย่อย LAN/WAN

$A_Client_{Remote}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายย่อย Remote Use

$A_Client_{Ether2}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายย่อย Ethernet2

$A_Client_{TokM4}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่กับ Multistation Access Unit ตัวที่ 4 ในระบบเครือข่ายย่อย Token Ring

$A_Client_{TokM3}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่กับ Multistation Access Unit ตัวที่ 3 ในระบบเครือข่ายย่อย Token Ring

$A_Client_{TokM2}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่กับ Multistation Access Unit ตัวที่ 2 ในระบบเครือข่ายย่อย Token Ring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$A_Client_{TokM1}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่กับ Multistation Access Unit ตัวที่ 1 ในระบบเครือข่ายย่อย Token Ring

A_WAN คือ ค่า Availability ของระบบ WAN

A_RAS คือ ค่า Availability ของ Remote Access Server ในระบบเครือข่ายย่อย Remote User

A_MODEM คือ ค่า Availability ของอุปกรณ์ MODEM ในระบบเครือข่ายย่อย Remote User

A_Server0 คือค่า Availability ของ Server เครื่องที่ต่อระหว่าง Token Ring และ LAN Ethernet

**2.2.2.2 การทดลองที่ 2**

ในการทดลองที่ 1 กำหนดเส้นทางต่างๆดังแสดงในภาพที่ 2.15 และสูตรในการทดลองดังต่อไปนี้

$$A_1 = A_ServerM2 \times A_MOD \times A_MOD \times A_RAS \times A_LANswitch \times A_HUB \times A_Client_{Ether1}$$

$$A_2 = A_ServerM2 \times A_MOD \times A_MOD \times A_RAS \times A_LANswitch \times A_WAN \times A_HUB \times A_Client_{LAN/WAN}$$

$$A_3 = A_ServerM2 \times A_MOD \times A_MOD \times A_RAS \times A_RAS \times A_MOD \times A_MOD \times A_Client_{Remote1}$$

$$A_4 = A_ServerM2 \times A_MOD \times A_MOD \times A_RAS \times A_MOD \times A_MOD \times A_Client_{Remote2}$$

$$A_5 = A_ServerM2 \times A_MOD \times A_MOD \times A_RAS \times A_LANswitch \times A_Server12 \times A_MAU \times A_MAU \times A_MAU \times A_Server0 \times A_HUB \times A_Client_{Ether2}$$

$$A_6 = A_ServerM2 \times A_MOD \times A_MOD \times A_RAS \times A_LANswitch \times A_Server12 \times A_MAU \times A_Client_{TokM4}$$

$$A_7 = A_ServerM2 \times A_MOD \times A_MOD \times A_RAS \times A_LANswitch \times A_Server12 \times A_MAU \times A_MAU \times A_Client_{TokM3}$$

$$A_8 = A_ServerM2 \times A_MOD \times A_MOD \times A_RAS \times A_LANswitch \times A_Server12 \times A_MAU \times A_MAU \times A_MAU \times A_Client_{TokM2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ตัวแปรต่างๆมีความหมายดังต่อไปนี้

A_1 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM2 ตามเส้นทางที่ 1

A_2 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM2 ตามเส้นทางที่ 2

A_3 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM2 ตามเส้นทางที่ 3

A_4 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM2 ตามเส้นทางที่ 4

A_5 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM2 ตามเส้นทางที่ 5

A_6 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM2 ตามเส้นทางที่ 6

A_7 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM2 ตามเส้นทางที่ 7

A_8 คือ ค่า Availability รวม ของเส้นทางจาก Client ถึง ServerM2 ตามเส้นทางที่ 8

A_MAU คือ ค่า Availability ของอุปกรณ์ Multistation Access Unit

A_Server12 คือ ค่า Availability รวม ของระบบเครื่อง Server เครื่องที่ 1 และ Server เครื่องที่ 2 ของระบบเครือข่าย

A_LANswitch คือ ค่า Availability ของ LAN Switch

A_HUB คือ ค่า Availability ของ HUB

$A_Client_{Ether1}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายย่อย Ethernet1

$A_Client_{LAN/WAN}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายย่อย LAN/WAN

$A_Client_{Remote}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายย่อย Remote Use

$A_Client_{Ether2}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายย่อย Ethernet2

$A_Client_{TokM4}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่กับ Multistation Access Unit ตัวที่ 4 ในระบบเครือข่ายย่อย Token Ring

$A_Client_{TokM3}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่กับ Multistation Access Unit ตัวที่ 3 ในระบบเครือข่ายย่อย Token Ring

$A_Client_{TokM2}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่กับ Multistation Access Unit ตัวที่ 2 ในระบบเครือข่ายย่อย Token Ring

$A_Client_{TokM1}$ คือ ค่า Availability ของ Client ที่ต่ออยู่กับ Multistation Access Unit ตัวที่ 1 ในระบบเครือข่ายย่อย Token Ring

A_WAN คือ ค่า Availability ของระบบ WAN

A_RAS คือ ค่า Availability ของ Remote Access Server ในระบบเครือข่ายย่อย Remote User

A_MODEM คือ ค่า Availability ของอุปกรณ์ MODEM ในระบบเครือข่ายย่อย Remote User

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A_Server0 คือค่า Availability ของ Server เครื่องที่ต่อระหว่าง Token Ring และ LAN Ethernet

**2.2.3 ลักษณะข้อมูล การเลือกข้อมูล และเหตุผลในการคัดเลือก**

ข้อมูลที่ใช้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

2.3.1 ข้อมูลค่า MTTR

2.3.2 ข้อมูลค่า MTTF

**2.2.3.1 ข้อมูลค่า MTTR**

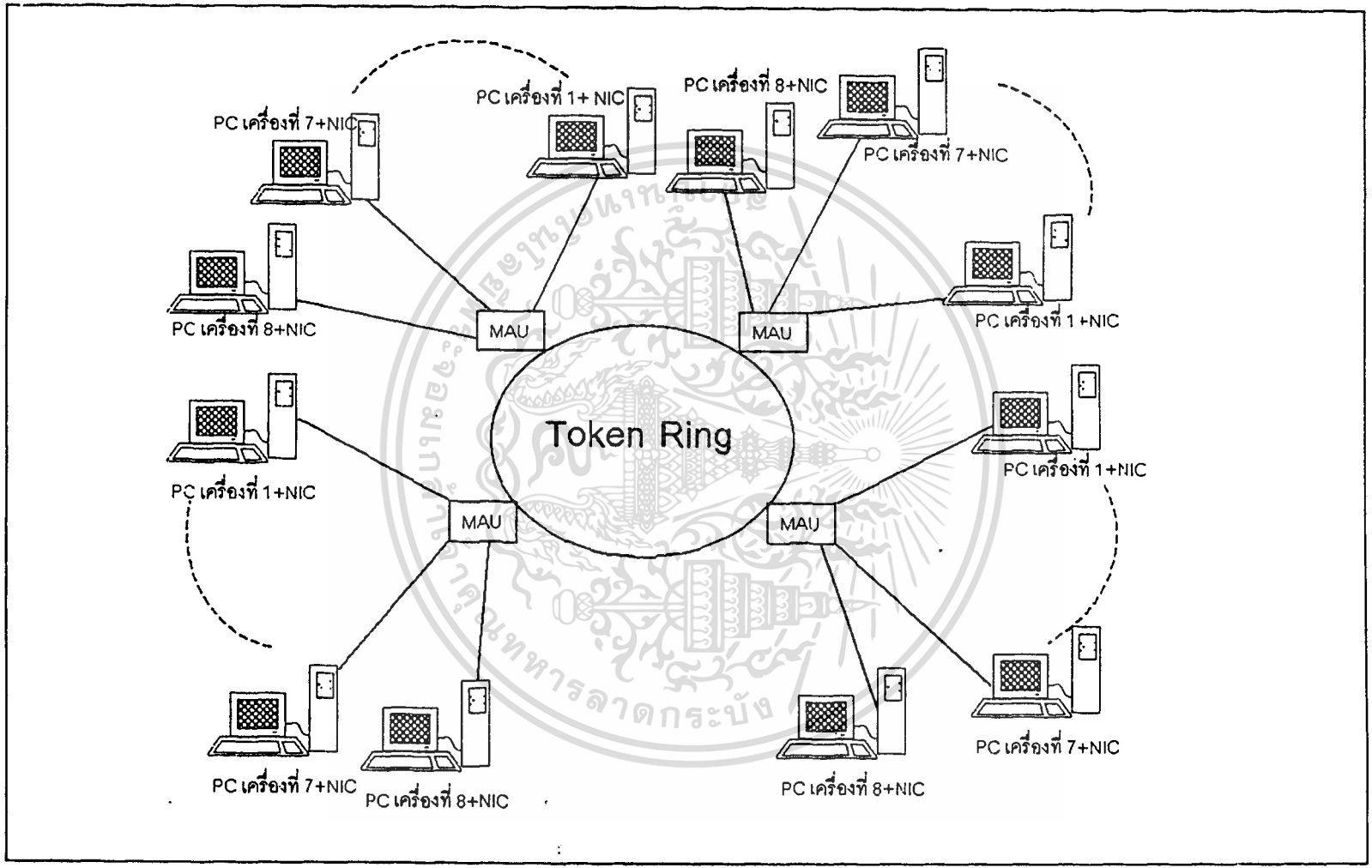
การทดลองตามหัวข้อ 2.2.2 คือ ทดลองเพื่อหาสัดส่วนของการจัดสรรเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมที่เหมาะสม ให้กับอุปกรณ์ที่ให้ความสำคัญในนโยบายการดูแลรักษาระบบระบบ ข้อมูลในส่วนนี้ คัดเลือกมาจากค่า MTTR ตามตารางที่ โดยเลือกให้มีความช่วงห่างระหว่างค่า MTTR ทั้ง 5 ค่า ที่จะทำให้ผลการทดลองมีความแตกต่างของค่าความพร้อมในการใช้งานสูงสุดที่ได้ในแต่ละการทดลอง การเลือกค่า MTTR ที่มีค่าค่อนข้างต่ำ อาจจะทำให้ผลการทดลองที่ได้ไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างของค่าความพร้อมในการใช้งานที่ได้จากการคำนวณค่า MTTR นั้นๆได้ชัดเจน แม้อาจเป็นข้อมูลที่ดูใกล้เคียงกับความเป็นจริง ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นการวิจัยในลักษณะที่นำเสนอเป็นแนวคิด จึงจำเป็นต้องใช้ค่า MTTR ที่มีค่าค่อนข้างสูง ทั้งหมด 5 ค่า มาจัดสรรกับอุปกรณ์ 5 ชนิด คือ MTTR ที่มีค่า 30 , 247 , 3406 , 46955 และ 647308 ชั่วโมง ตามลำดับ

**2.2.3.2 ข้อมูลค่า MTTF**

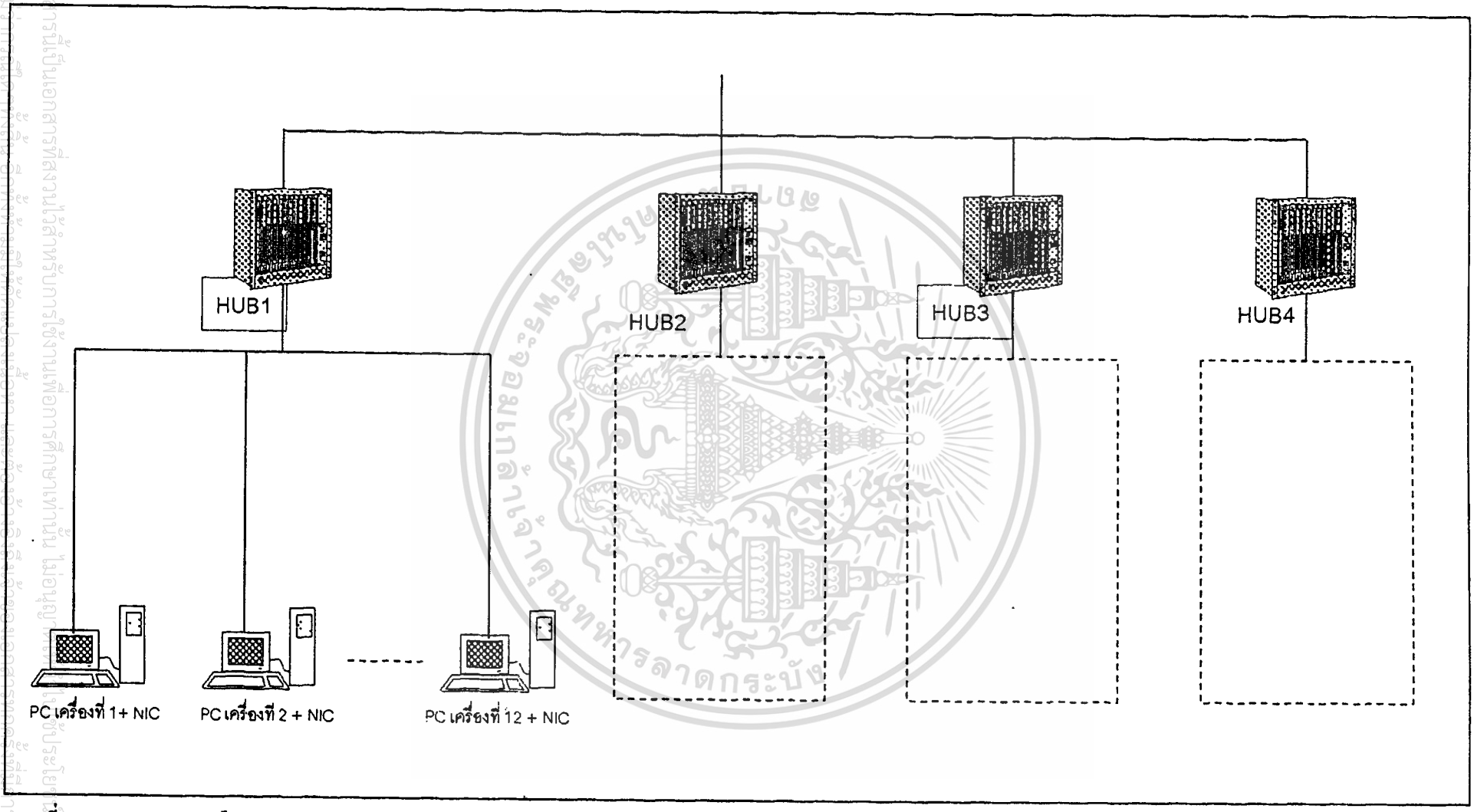
ค่า MTTF (Mean Time To Failure) เป็นค่าที่ใช้ในการทดลองตามสูตรที่ (37) โดยค่า MTTF นี้ โดยทั่วไปแล้ว กำหนดหน่วยของการนับเป็นหน่วยของชั่วโมง ค่า MTTF นี้ อาจวิเคราะห์ได้มาจากการคำนวณ โดยคิดจากจำนวนชั่วโมงที่กำหนดให้อุปกรณ์ทำงานหารด้วยจำนวนครั้งที่เกิดสภาวะความล้มเหลวขึ้นในช่วงเวลานั้น หรือในบางบริษัทอาจใช้วิธีหาค่า MTTF ของอุปกรณ์ชนิดหนึ่งโดยวิธีทดลองใช้อุปกรณ์ชนิดนั้นทำงานไปจนกว่าจะเกิดสภาวะล้มเหลวหรือเกิดความเสียหายขึ้น แล้วบันทึกเวลาเป็นชั่วโมงที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยทำการทดลองกับอุปกรณ์ชนิดนั้นหลายๆชิ้น แล้วนำค่าเวลาที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย เมื่อได้ค่า MTTF ของอุปกรณ์แต่ละชนิดแล้วก็จะกำหนดไว้ใน Specification ของอุปกรณ์นั้นๆ

ดังนั้น ในการทดลองครั้งนี้ ค่า MTTF นั้น จะใช้ค่าตาม Specification ที่กำหนดจากโรงงานผู้ผลิต ดังแสดงในตารางที่ 2.3

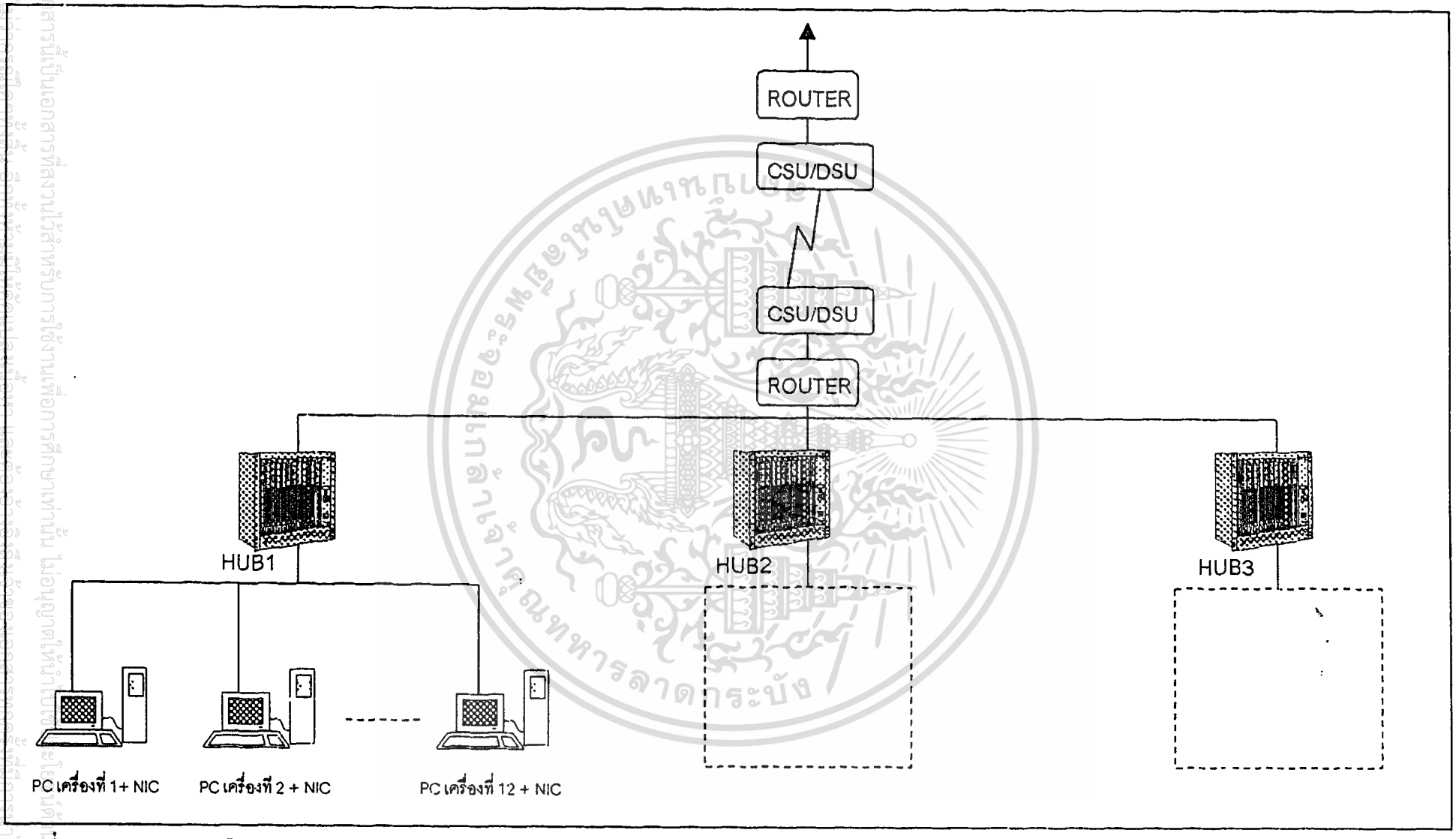
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



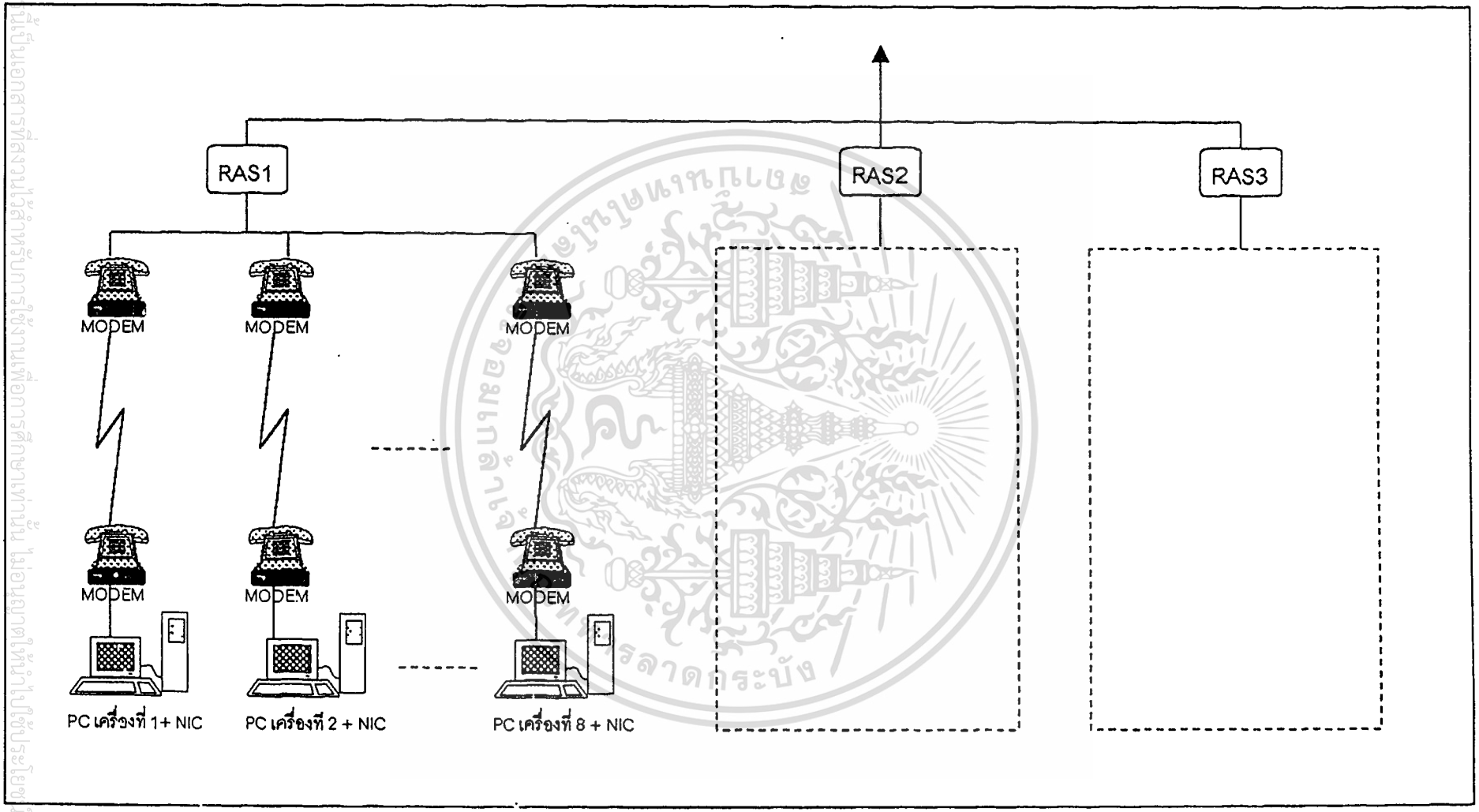

**ภาพที่ 2.8 แสดงระบบเครือข่ายย่อย Token Ring**



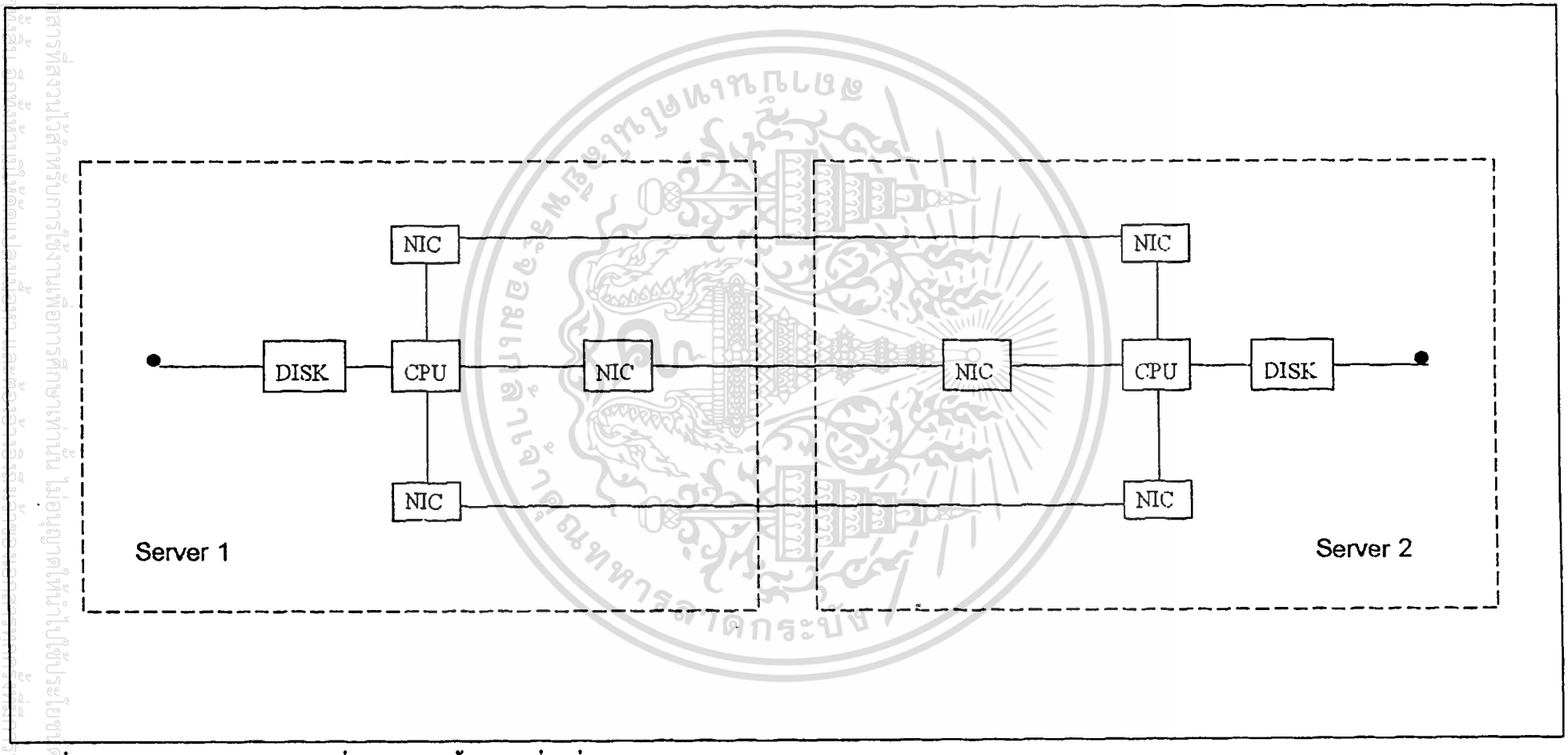

**ภาพที่ 2.9 แสดงระบบเครือข่ายย่อย Ethernet LAN**



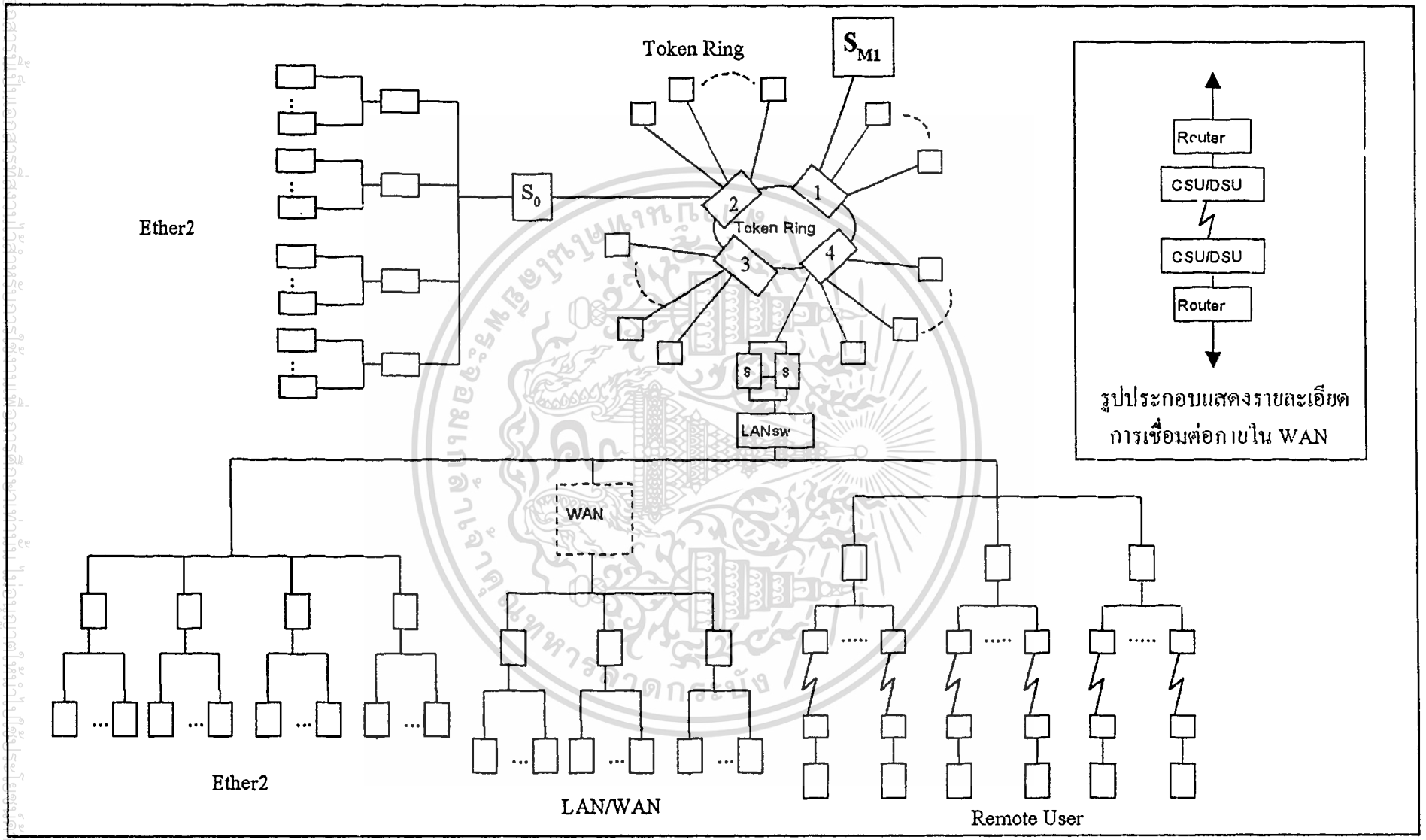

**ภาพที่ 2.10 แสดงระบบเครือข่ายย่อย LAN/WAN**



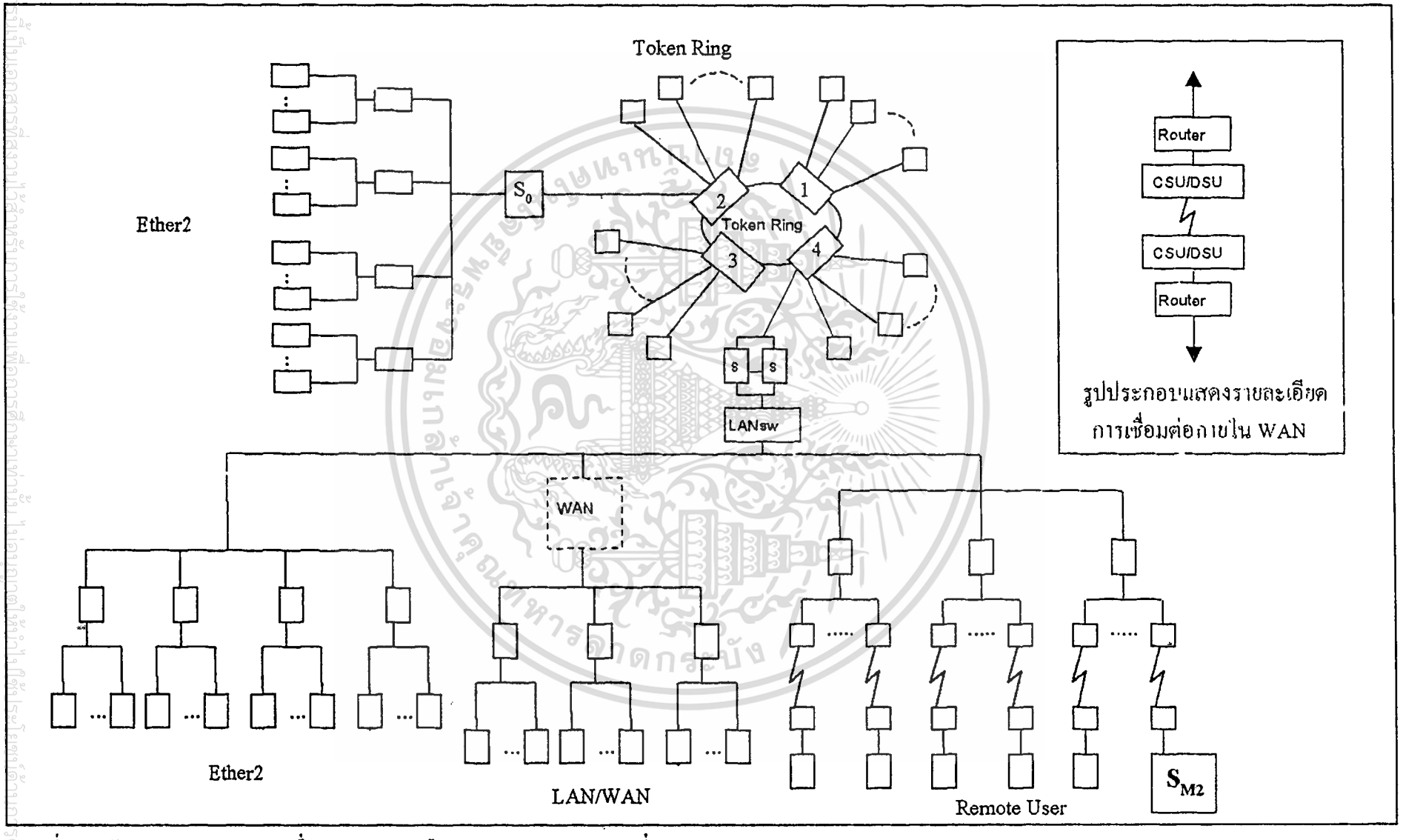

**ภาพที่ 2.11 แสดงระบบเครือข่ายย่อย Remote User**



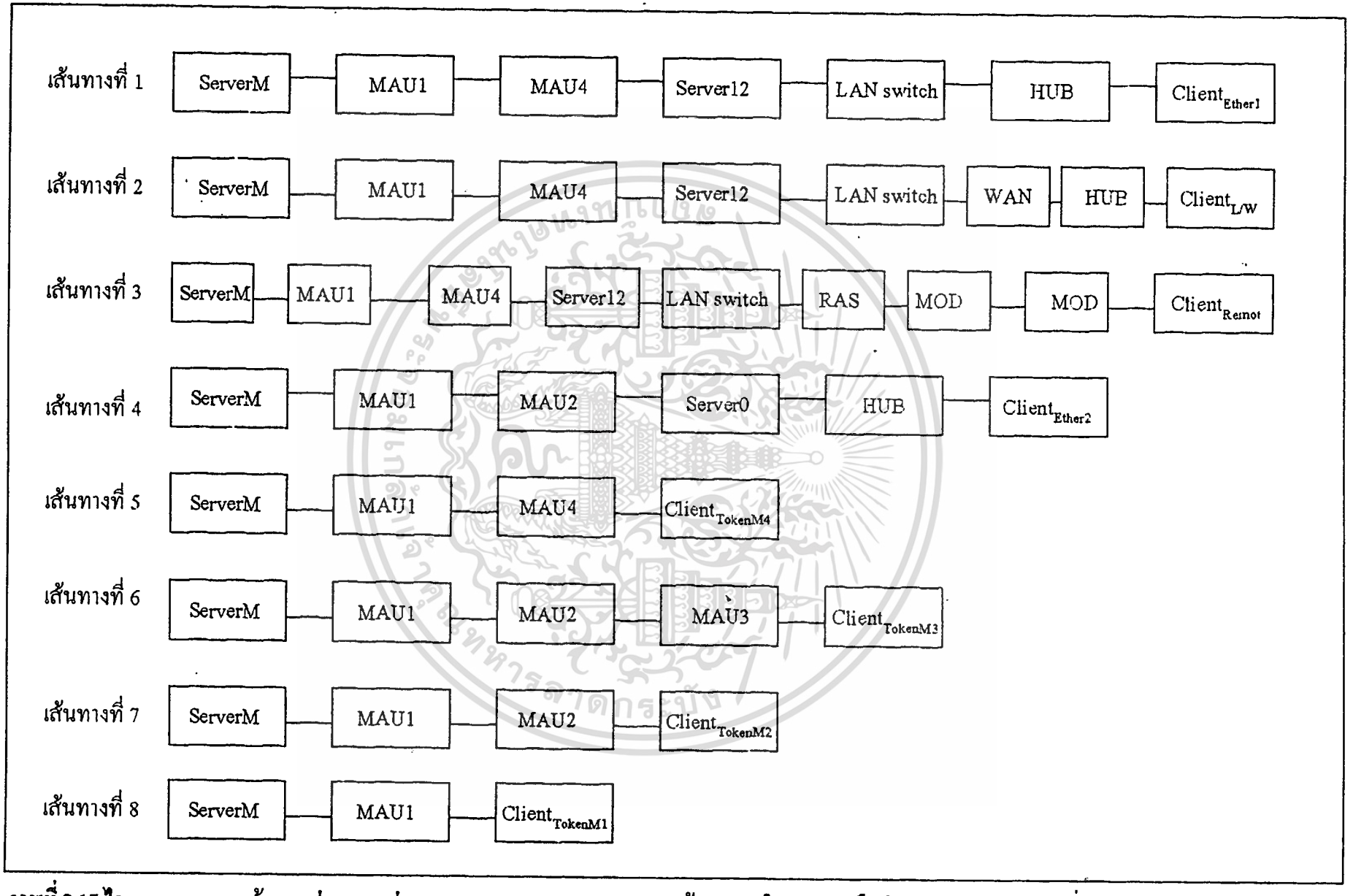

ภาพที่ 2.12 แสดงรายละเอียดของเครื่อง Server ทั้งสองเครื่องที่ใช้ในระบบเครือข่าย



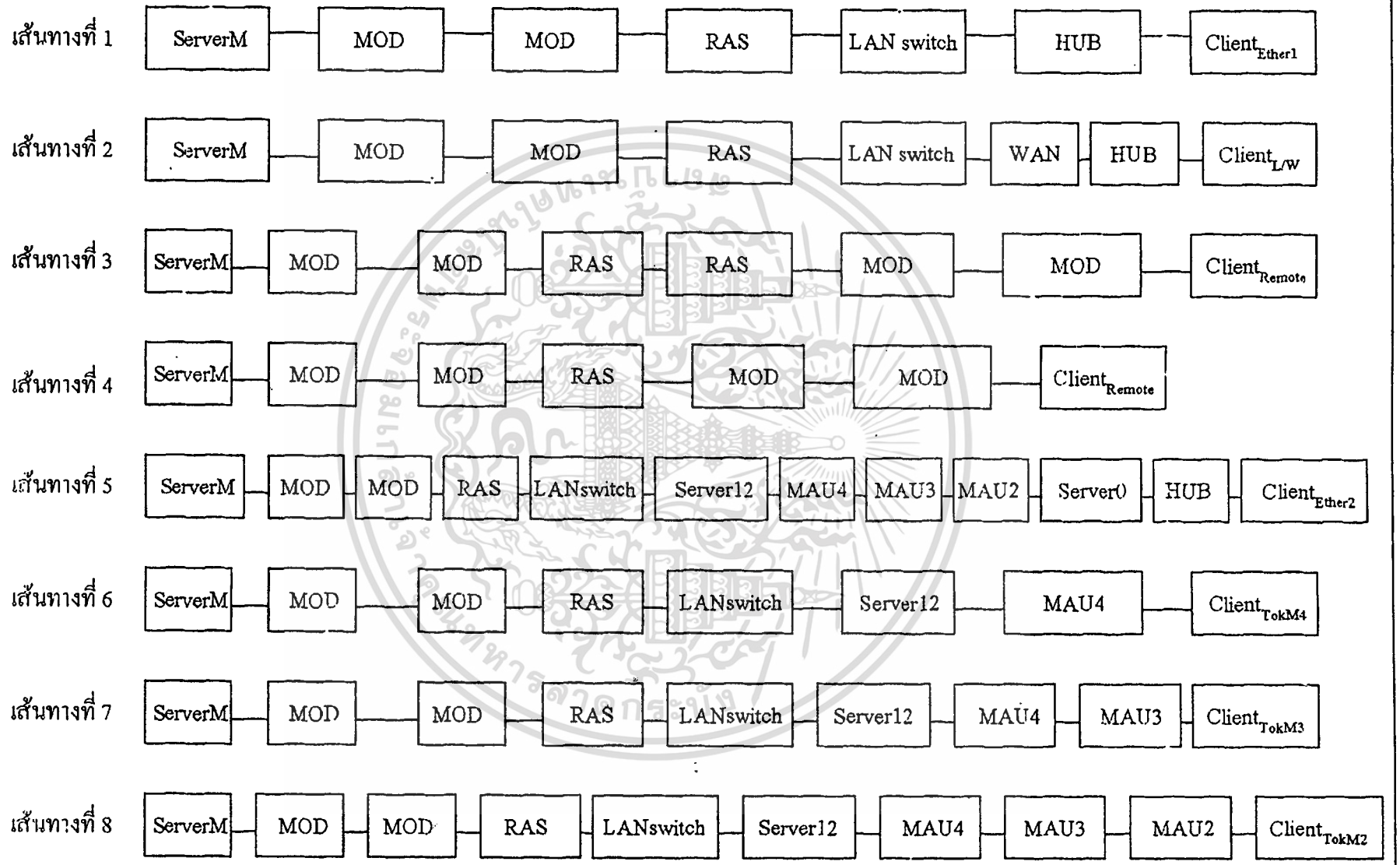

**ภาพที่ 2.13 ไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายสำหรับการทดลองที่ 1**




**ภาพที่ 2.14 ไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายสำหรับการทดลองที่ 2**




**ภาพที่ 2.15 ไดอะแกรมแสดงเส้นทางต่างๆระหว่าง Client และ ServerM (Server เป้าหมาย) ในระบบเครือข่ายสำหรับการทดลองที่ 1**




**รูปที่ 2.16 ไดอะแกรมแสดงเส้นทางต่างๆระหว่าง Client และ ServerM (Server เป้าหมาย) ในระบบเครือข่ายสำหรับการทดลองที่ 2**

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า MTTF ของอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

| ลำดับ | รายการอุปกรณ์ | MTBF (ชั่วโมง) |
|---|---|---|
| 1. | เครื่อง PC | 300,000 |
| 2. | NIC Ethernet | 58,740 |
| 3. | NIC Token Ring | 2,102,400 |
| 4. | LAN Switch | 399,287 |
| 5. | Router | 116,000 |
| 6. | Remote Access Server | 404,203 |
| 7. | HUB | 200,000 |
| 8. | MAU | 160,216 |
| 9. | MODEM | 2,312,640 |
| 10. | CSU / DSU | 1,734,480 |
| 11. | Server | |
| | - CPU | 1,752,000 |
| | - NIC Ethernet | 58,740 |
| | - NIC Token Ring | 2,102,400 |
| | - DISK | 300,000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงสัดส่วนของเวลาในการซ่อมแซมทั้งหมด 120 แบบ ที่จัดสรรให้กับอุปกรณ์ต่างๆ 5 ชนิด

| ลำดับ | เวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ (ชั่วโมง) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | LAN Switch | RAS | HUB | MAU | CPU ของ Server |
| 1 | 30 | 247 | 3406 | 46955 | 647308 |
| 2 | 30 | 247 | 3406 | 647308 | 46955 |
| 3 | 30 | 247 | 46955 | 3406 | 647308 |
| 4 | 30 | 247 | 46955 | 647308 | 3406 |
| 5 | 30 | 247 | 647308 | 3406 | 46955 |
| 6 | 30 | 247 | 647308 | 46955 | 3406 |
| 7 | 30 | 3406 | 247 | 46955 | 647308 |
| 8 | 30 | 3406 | 247 | 647308 | 46955 |
| 9 | 30 | 3406 | 46955 | 247 | 647308 |
| 10 | 30 | 3406 | 46955 | 647308 | 247 |
| 11 | 30 | 3406 | 647308 | 247 | 46955 |
| 12 | 30 | 3406 | 647308 | 46955 | 247 |
| 13 | 30 | 46955 | 247 | 3406 | 647308 |
| 14 | 30 | 46955 | 247 | 647308 | 3406 |
| 15 | 30 | 46955 | 3406 | 247 | 647308 |
| 16 | 30 | 46955 | 3406 | 647308 | 247 |
| 17 | 30 | 46955 | 647308 | 247 | 3406 |
| 18 | 30 | 46955 | 647308 | 3406 | 247 |
| 19 | 30 | 647308 | 247 | 3406 | 46955 |
| 20 | 30 | 647308 | 247 | 46955 | 3406 |
| 21 | 30 | 647308 | 3406 | 247 | 46955 |
| 22 | 30 | 647308 | 3406 | 46955 | 247 |
| 23 | 30 | 647308 | 46955 | 247 | 3406 |
| 24 | 30 | 647308 | 46955 | 3406 | 247 |
| 25 | 247 | 30 | 3406 | 46955 | 647308 |
| 26 | 247 | 30 | 3406 | 647308 | 46955 |
| 27 | 247 | 30 | 46955 | 3406 | 647308 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

| ลำดับ | เวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ (ชั่วโมง) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | LAN Switch | RAS | HUB | MAU | CPU ของ Server |
| 28 | 247 | 30 | 46955 | 647308 | 3406 |
| 29 | 247 | 30 | 647308 | 3406 | 46955 |
| 30 | 247 | 30 | 647308 | 46955 | 3406 |
| 31 | 247 | 3406 | 30 | 46955 | 647308 |
| 32 | 247 | 3406 | 30 | 647308 | 46955 |
| 33 | 247 | 3406 | 46955 | 30 | 647308 |
| 34 | 247 | 3406 | 46955 | 647308 | 30 |
| 35 | 247 | 3406 | 647308 | 30 | 46955 |
| 36 | 247 | 3406 | 647308 | 46955 | 30 |
| 37 | 247 | 46955 | 30 | 3406 | 647308 |
| 38 | 247 | 46955 | 30 | 647308 | 3406 |
| 39 | 247 | 46955 | 3406 | 30 | 647308 |
| 40 | 247 | 46955 | 3406 | 647308 | 30 |
| 41 | 247 | 46955 | 647308 | 30 | 3406 |
| 42 | 247 | 46955 | 647308 | 3406 | 30 |
| 43 | 247 | 647308 | 30 | 3406 | 46955 |
| 44 | 247 | 647308 | 30 | 46955 | 3406 |
| 45 | 247 | 647308 | 3406 | 30 | 46955 |
| 46 | 247 | 647308 | 3406 | 46955 | 30 |
| 47 | 247 | 647308 | 46955 | 30 | 3406 |
| 48 | 247 | 647308 | 46955 | 3406 | 30 |
| 49 | 3406 | 30 | 247 | 46955 | 647308 |
| 50 | 3406 | 30 | 247 | 647308 | 46955 |
| 51 | 3406 | 30 | 46955 | 247 | 647308 |
| 52 | 3406 | 30 | 46955 | 647308 | 247 |
| 53 | 3406 | 30 | 647308 | 247 | 46955 |
| 54 | 3406 | 30 | 647308 | 46955 | 247 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

| ลำดับ | เวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ (ชั่วโมง) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | LAN Switch | RAS | HUB | MAU | CPU ของ Server |
| 55 | 3406 | 247 | 30 | 46955 | 647308 |
| 56 | 3406 | 247 | 30 | 647308 | 46955 |
| 57 | 3406 | 247 | 46955 | 30 | 647308 |
| 58 | 3406 | 247 | 46955 | 647308 | 30 |
| 59 | 3406 | 247 | 647308 | 30 | 46955 |
| 60 | 3406 | 247 | 647308 | 46955 | 30 |
| 61 | 3406 | 46955 | 30 | 247 | 647308 |
| 62 | 3406 | 46955 | 30 | 647308 | 247 |
| 63 | 3406 | 46955 | 247 | 30 | 647308 |
| 64 | 3406 | 46955 | 247 | 647308 | 30 |
| 65 | 3406 | 46955 | 647308 | 30 | 247 |
| 66 | 3406 | 46955 | 647308 | 247 | 30 |
| 67 | 3406 | 647308 | 30 | 247 | 46955 |
| 68 | 3406 | 647308 | 30 | 46955 | 247 |
| 69 | 3406 | 647308 | 247 | 30 | 46955 |
| 70 | 3406 | 647308 | 247 | 46955 | 30 |
| 71 | 3406 | 647308 | 46955 | 30 | 247 |
| 72 | 3406 | 647308 | 46955 | 247 | 30 |
| 73 | 46955 | 30 | 247 | 3406 | 647308 |
| 74 | 46955 | 30 | 247 | 647308 | 3406 |
| 75 | 46955 | 30 | 3406 | 247 | 647308 |
| 76 | 46955 | 30 | 3406 | 647308 | 247 |
| 77 | 46955 | 30 | 647308 | 247 | 3406 |
| 78 | 46955 | 30 | 647308 | 3406 | 247 |
| 79 | 46955 | 247 | 30 | 3406 | 647308 |
| 80 | 46955 | 247 | 30 | 647308 | 3406 |
| 81 | 46955 | 247 | 3406 | 30 | 647308 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

| ลำดับ | เวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ (ชั่วโมง) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | LAN Switch | RAS | HUB | MAU | CPU ของ Server |
| 82 | 46955 | 247 | 3406 | 647308 | 30 |
| 83 | 46955 | 247 | 647308 | 30 | 3406 |
| 84 | 46955 | 247 | 647308 | 3406 | 30 |
| 85 | 46955 | 3406 | 30 | 247 | 647308 |
| 86 | 46955 | 3406 | 30 | 647308 | 247 |
| 87 | 46955 | 3406 | 247 | 30 | 647308 |
| 88 | 46955 | 3406 | 247 | 647308 | 30 |
| 89 | 46955 | 3406 | 647308 | 30 | 247 |
| 90 | 46955 | 3406 | 647308 | 247 | 30 |
| 91 | 46955 | 647308 | 30 | 247 | 3406 |
| 92 | 46955 | 647308 | 30 | 3406 | 247 |
| 93 | 46955 | 647308 | 247 | 30 | 3406 |
| 94 | 46955 | 647308 | 247 | 3406 | 30 |
| 95 | 46955 | 647308 | 3406 | 30 | 247 |
| 96 | 46955 | 647308 | 3406 | 247 | 30 |
| 97 | 647308 | 30 | 247 | 3406 | 46955 |
| 98 | 647308 | 30 | 247 | 46955 | 3406 |
| 99 | 647308 | 30 | 3406 | 247 | 46955 |
| 100 | 647308 | 30 | 3406 | 46955 | 247 |
| 101 | 647308 | 30 | 46955 | 247 | 3406 |
| 102 | 647308 | 30 | 46955 | 3406 | 247 |
| 103 | 647308 | 247 | 30 | 3406 | 46955 |
| 104 | 647308 | 247 | 30 | 46955 | 3406 |
| 105 | 647308 | 247 | 3406 | 30 | 46955 |
| 106 | 647308 | 247 | 3406 | 46955 | 30 |
| 107 | 647308 | 247 | 46955 | 30 | 3406 |
| 108 | 647308 | 247 | 46955 | 3406 | 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

| ลำดับ | เวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ (ชั่วโมง) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | LAN Switch | RAS | HUB | MAU | CPU ของ Server |
| 109 | 647308 | 3406 | 30 | 247 | 46955 |
| 110 | 647308 | 3406 | 30 | 46955 | 247 |
| 111 | 647308 | 3406 | 247 | 30 | 46955 |
| 112 | 647308 | 3406 | 247 | 46955 | 30 |
| 113 | 647308 | 3406 | 46955 | 30 | 247 |
| 114 | 647308 | 3406 | 46955 | 247 | 30 |
| 115 | 647308 | 46955 | 30 | 247 | 3406 |
| 116 | 647308 | 46955 | 30 | 3406 | 247 |
| 117 | 647308 | 46955 | 247 | 30 | 3406 |
| 118 | 647308 | 46955 | 247 | 3406 | 30 |
| 119 | 647308 | 46955 | 3406 | 30 | 247 |
| 120 | 647308 | 46955 | 3406 | 247 | 30 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3 ผลการทดลอง**

จากการทดลองในหัวข้อ 2.2.2 โดยการใช้สัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 ทำการคำนวณค่าความพร้อมในการใช้งานของเส้นทางการติดต่อระหว่าง Client แต่ละจุดในระบบเครือข่ายมายัง Server เป้าหมาย โดยเลือกเส้นทางที่ให้ค่าความพร้อมในการใช้งานต่ำสุด(worse case) ในแต่ละชุดของค่าสัดส่วน MTTR มาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูว่า สัดส่วนค่า MTTR สัดส่วนใดจะให้ค่าความพร้อมในการใช้งานสูงสุดในกรณี worse case สัดส่วนค่า MTTR ชุดนั้น ถือว่า เป็นสัดส่วนที่มีความเหมาะสมในการจัดสรรเวลาให้แก่ 5 อุปกรณ์ ที่ถือว่าต้องให้ความสำคัญเร่งด่วนตามการทดลองนี้

**2.3.1 ผลการทดลองที่ *1***

จากการทดลองที่ 1 ได้ผลการทดลองดังแสดงตามตารางที่ 2.5 โดยพบว่า สัดส่วนค่า MTTR ที่ทำให้ค่าความพร้อมในการใช้งานของเส้นทางกรณี worse case มีค่า สูงสุด เมื่อเทียบกับสัดส่วนค่า MTTR อื่นๆ ได้แก่ สัดส่วนลำดับที่ 47 โดยเมื่อนำใช้คำนวณแล้วได้ผลลัพธ์ค่าความพร้อมในการใช้งานเท่ากับ 3.81781E-01 ทั้งนี้ สัดส่วนค่า MTTR ลำดับที่ 47 มีรายละเอียดการจัดสรรเวลาให้แก่อุปกรณ์ 5 ชนิด ตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 แสดงผลการทดลองที่ 1

| ลำดับของสัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 | เส้นทางที่ให้ค่า A กรณี worse case | ค่า A กรณี worse case |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 2.28936E-01 |
| 2 | 6 | 7.60600E-03 |
| 3 | 2 | 2.81761E-01 |
| 4 | 6 | 7.79469E-03 |
| 5 | 2 | 2.09030E-01 |
| 6 | 2 | 1.40334E-01 |
| 7 | 3 | 2.30894E-01 |
| 8 | 6 | 7.60600E-03 |
| 9 | 2 | 3.14318E-01 |
| 10 | 6 | 7.80875E-03 |
| 11 | 2 | 2.17341E-01 |
| 12 | 2 | 1.41094E-01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

| ลำดับของสัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 | เส้นทางที่ให้ค่า A กรณี worse case | ค่า A กรณี worse case |
|---|---|---|
| 13 | 3 | 3.34427E-01 |
| 14 | 6 | 7.79469E-03 |
| 15 | 3 | 3.47724E-01 |
| 16 | 6 | 7.80875E-03 |
| 17 | 2 | 2.33922E-01 |
| 18 | 2 | 2.26195E-01 |
| 19 | 3 | 3.40419E-01 |
| 20 | 3 | 2.28543E-01 |
| 21 | 3 | 3.53954E-01 |
| 22 | 3 | 2.29781E-01 |
| 23 | 3 | 3.80857E-01 |
| 24 | 3 | 3.68374E-01 |
| 25 | 2 | 2.28812E-01 |
| 26 | 6 | 7.60600E-03 |
| 27 | 2 | 3.02134E-01 |
| 28 | 6 | 7.79470E-03 |
| 29 | 2 | 2.08917E-01 |
| 30 | 2 | 1.40258E-01 |
| 31 | 3 | 2.30768E-01 |
| 32 | 6 | 7.60600E-03 |
| 33 | 2 | 3.15000E-01 |
| 34 | 6 | 7.80971E-03 |
| 35 | 2 | 2.17812E-01 |
| 36 | 2 | 1.41070E-01 |
| 37 | 3 | 3.34246E-01 |
| 38 | 6 | 7.79469E-03 |
| 39 | 3 | 3.48478E-01 |
| 40 | 6 | 7.80871E-03 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

| ลำดับของสัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 | เส้นทางที่ให้ค่า A กรณี worse case | ค่า A กรณี worse case |
|---|---|---|
| 41 | 2 | 2.34428E-01 |
| 42 | 2 | 2.26157E-01 |
| 43 | 3 | 3.40254E-01 |
| 44 | 3 | 2.28419E-01 |
| 45 | 3 | 3.54721E-01 |
| 46 | 3 | 2.29742E-01 |
| 47 | 3 | 3.81781E-01 |
| 48 | 3 | 3.68310E-01 |
| 49 | 2 | 2.30600E-01 |
| 50 | 6 | 7.60600E-03 |
| 51 | 2 | 3.11683E-01 |
| 52 | 6 | 7.80875E-03 |
| 53 | 2 | 2.15519E-01 |
| 54 | 2 | 1.39911E-01 |
| 55 | 3 | 2.30746E-01 |
| 56 | 6 | 7.60600E-03 |
| 57 | 2 | 3.12527E-01 |
| 58 | 6 | 7.80971E-03 |
| 59 | 2 | 2.16103E-01 |
| 60 | 2 | 1.39963E-01 |
| 61 | 3 | 3.44809E-01 |
| 62 | 6 | 7.80875E-03 |
| 63 | 3 | 3.45744E-01 |
| 64 | 6 | 7.80971E-03 |
| 65 | 2 | 2.33850E-01 |
| 66 | 2 | 2.33304E-01 |
| 67 | 3 | 3.50987E-01 |
| 68 | 3 | 2.27855E-01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

| ลำดับของสัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 | เส้นทางที่ให้ค่า A กรณี worse case | ค่า A กรณี worse case |
|---|---|---|
| 69 | 3 | 3.51938E-01 |
| 70 | 3 | 2.27939E-01 |
| 71 | 3 | 3.80839E-01 |
| 72 | 3 | 3.79951E-01 |
| 73 | 2 | 3.33607E-01 |
| 74 | 6 | 7.79470E-03 |
| 75 | 2 | 3.41484E-01 |
| 76 | 6 | 7.80875E-03 |
| 77 | 2 | 2.09324E-01 |
| 78 | 2 | 2.02410E-01 |
| 79 | 3 | 3.33820E-01 |
| 80 | 6 | 7.79470E-03 |
| 81 | 2 | 3.42410E-01 |
| 82 | 6 | 7.80971E-03 |
| 83 | 2 | 2.09891E-01 |
| 84 | 2 | 2.02485E-01 |
| 85 | 3 | 3.44403E-01 |
| 86 | 6 | 7.80875E-03 |
| 87 | 3 | 3.45337E-01 |
| 88 | 6 | 7.80971E-03 |
| 89 | 2 | 2.11028E-01 |
| 90 | 2 | 2.10536E-01 |
| 91 | 3 | 3.40897E-01 |
| 92 | 3 | 3.29637E-01 |
| 93 | 3 | 3.41821E-01 |
| 94 | 3 | 3.29760E-01 |
| 95 | 3 | 3.43673E-01 |
| 96 | 3 | 3.42871E-01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

| ลำดับของสัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 | เส้นทางที่ให้ค่า A กรณี worse case | ค่า A กรณี worse case |
|---|---|---|
| 97 | 2 | 3.37461E-01 |
| 98 | 2 | 2.26557E-01 |
| 99 | 2 | 3.45429E-01 |
| 100 | 2 | 2.24247E-01 |
| 101 | 2 | 3.06220E-01 |
| 102 | 2 | 2.96106E-01 |
| 103 | 3 | 3.37678E-01 |
| 104 | 3 | 2.26702E-01 |
| 105 | 2 | 3.46366E-01 |
| 106 | 2 | 2.24330E-01 |
| 107 | 2 | 3.07050E-01 |
| 108 | 2 | 2.96216E-01 |
| 109 | 3 | 3.48383E-01 |
| 110 | 3 | 2.26164E-01 |
| 111 | 3 | 3.49327E-01 |
| 112 | 3 | 2.26248E-01 |
| 113 | 2 | 3.08713E-01 |
| 114 | 2 | 3.07993E-01 |
| 115 | 3 | 3.38766E-01 |
| 116 | 3 | 3.27577E-01 |
| 117 | 3 | 3.39684E-01 |
| 118 | 3 | 3.27698E-01 |
| 119 | 3 | 3.41525E-01 |
| 120 | 3 | 3.40728E-01 |

จากตารางที่ 2.5 เมื่อเปรียบเทียบแล้วค่าความพร้อมในการใช้งานของเส้นทางระหว่าง Client กับ Server เป้าหมาย กรณี worse case สูงที่สุดอยู่ที่ลำดับสัดส่วนที่ 47 โดยมีรายละเอียดการจัดสรรเวลาตามตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงรายละเอียดเวลาในการซ่อมแซมที่เหมาะสมที่ควรจัดสรรให้กับอุปกรณ์ 5 ชนิด ในนโยบายการดูแลรักษาระบบ ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดลอง

| อุปกรณ์ | เวลาในการซ่อมแซม(MTTR) ของสัดส่วนลำดับที่ 47 ตามตารางที่ 2.4 |
|---|---|
| 1. Multistation Access Unit (MAU) | 30 |
| 2. LAN Switch | 247 |
| 3. CPU ของ Server | 3,406 |
| 4. HUB | 46,955 |
| 5. Remote Access Server (RAS) | 647,308 |

**2.3.2 ผลการทดลองที่ 2**

จากการทดลองที่ 2 ได้ผลการทดลองดังแสดงตามตารางที่ 2.7 โดยพบว่า สัดส่วนค่า MTTR ที่ทำให้ค่าความพร้อมในการใช้งานของเส้นทางกรณี worse case มีค่า สูงสุด เมื่อเทียบกับสัดส่วนค่า MTTR อื่นๆ ได้แก่ สัดส่วนลำดับที่ 47 เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยเมื่อนำใช้คำนวณแล้วได้ผลลัพธ์ค่าความพร้อมในการใช้งานเท่ากับ 3.39726E-01 ทั้งนี้ สัดส่วนค่า MTTR ลำดับที่ 47 มีรายละเอียดการจัดสรรเวลาให้แก่อุปกรณ์ 5 ชนิด ตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.7 แสดงผลการทดลองที่ 2

| ลำดับของสัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 | เส้นทางที่ให้ค่า A กรณี worse case | ค่า A กรณี worse case |
|---|---|---|
| 1 | 5 | 1.29206E-01 |
| 2 | 5 | 6.90344E-03 |
| 3 | 5 | 2.01343E-01 |
| 4 | 5 | 6.27166E-03 |
| 5 | 5 | 1.99218E-01 |
| 6 | 5 | 1.08253E-01 |
| 7 | 5 | 1.30227E-01 |
| 8 | 5 | 6.95800E-03 |
| 9 | 5 | 2.27254E-01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

| ลำดับของสัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 | เส้นทางที่ให้ค่า A กรณี worse case | ค่า A กรณี worse case |
|---|---|---|
| 10 | 5 | 6.26805E-03 |
| 11 | 5 | 2.09580E-01 |
| 12 | 5 | 1.08190E-01 |
| 13 | 5 | 2.38824E-01 |
| 14 | 5 | 6.93379E-03 |
| 15 | 5 | 2.49276E-01 |
| 16 | 5 | 6.87546E-03 |
| 17 | 5 | 2.08851E-01 |
| 18 | 5 | 1.98411E-01 |
| 19 | 3 | 1.43905E-01 |
| 20 | 3 | 1.47475E-01 |
| 21 | 3 | 1.43905E-01 |
| 22 | 3 | 1.47741E-01 |
| 23 | 3 | 1.47475E-01 |
| 24 | 3 | 1.47741E-01 |
| 25 | 5 | 1.29205E-01 |
| 26 | 5 | 6.90340E-03 |
| 27 | 5 | 2.16017E-01 |
| 28 | 5 | 6.27162E-03 |
| 29 | 5 | 1.99217E-01 |
| 30 | 5 | 1.08252E-01 |
| 31 | 5 | 1.30298E-01 |
| 32 | 5 | 6.96177E-03 |
| 33 | 5 | 2.28054E-01 |
| 34 | 5 | 6.26775E-03 |
| 35 | 5 | 2.10319E-01 |
| 36 | 5 | 1.08185E-01 |
| 37 | 5 | 2.38953E-01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

| ลำดับของสัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 | เส้นทางที่ให้ค่า A กรณี worse case | ค่า A กรณี worse case |
|---|---|---|
| 38 | 5 | 6.93754E-03 |
| 39 | 5 | 2.50154E-01 |
| 40 | 5 | 6.87513E-03 |
| 41 | 5 | 1.73380E-01 |
| 42 | 5 | 3.06215E-01 |
| 43 | 5 | 2.89872E-01 |
| 44 | 5 | 3.38716E-01 |
| 45 | 5 | 1.74853E-01 |
| 46 | 5 | 1.74750E-01 |
| 47 | 5 | 3.39726E-01 |
| 48 | 5 | 3.06039E-01 |
| 49 | 5 | 3.04950E-01 |
| 50 | 5 | 3.37538E-01 |
| 51 | 5 | 3.20664E-01 |
| 52 | 5 | 3.38543E-01 |
| 53 | 5 | 3.20476E-01 |
| 54 | 5 | 3.35696E-01 |
| 55 | 5 | 3.34501E-01 |
| 56 | 5 | 6.96110E-03 |
| 57 | 5 | 2.28033E-01 |
| 58 | 5 | 6.26715E-03 |
| 59 | 5 | 2.10299E-01 |
| 60 | 5 | 1.08175E-01 |
| 61 | 5 | 2.51358E-01 |
| 62 | 5 | 6.93289E-03 |
| 63 | 5 | 2.52107E-01 |
| 64 | 5 | 6.92880E-03 |
| 65 | 5 | 2.09446E-01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

| ลำดับของสัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 | เส้นทางที่ให้ค่า A กรณี worse case | ค่า A กรณี worse case |
|---|---|---|
| 66 | 5 | 2.08701E-01 |
| 67 | 3 | 1.43905E-01 |
| 68 | 3 | 1.47741E-01 |
| 69 | 3 | 1.43905E-01 |
| 70 | 3 | 1.47759E-01 |
| 71 | 3 | 1.47741E-01 |
| 72 | 3 | 1.47759E-01 |
| 73 | 5 | 2.38519E-01 |
| 74 | 5 | 6.92492E-03 |
| 75 | 5 | 2.48957E-01 |
| 76 | 5 | 6.86667E-03 |
| 77 | 5 | 2.08584E-01 |
| 78 | 5 | 1.98157E-01 |
| 79 | 5 | 2.38649E-01 |
| 80 | 5 | 6.92871E-03 |
| 81 | 5 | 2.49836E-01 |
| 82 | 5 | 6.86638E-03 |
| 83 | 5 | 2.09320E-01 |
| 84 | 5 | 1.98149E-01 |
| 85 | 5 | 2.51062E-01 |
| 86 | 5 | 6.92473E-03 |
| 87 | 5 | 2.51810E-01 |
| 88 | 5 | 6.92065E-03 |
| 89 | 5 | 2.09198E-01 |
| 90 | 5 | 2.08455E-01 |
| 91 | 3 | 1.47475E-01 |
| 92 | 3 | 1.47741E-01 |
| 93 | 3 | 1.47475E-01 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

| ลำดับของสัดส่วนค่า MTTR ตามตารางที่ 2.4 | เส้นทางที่ให้ค่า A กรณี worse case | ค่า A กรณี worse case |
|---|---|---|
| 94 | 3 | 1.47759E-01 |
| 95 | 3 | 1.47741E-01 |
| 96 | 3 | 1.47759E-01 |
| 97 | 5 | 3.21793E-01 |
| 98 | 5 | 1.74858E-01 |
| 99 | 5 | 3.35876E-01 |
| 100 | 5 | 1.73387E-01 |
| 101 | 5 | 3.05138E-01 |
| 102 | 5 | 2.89884E-01 |
| 103 | 5 | 3.21969E-01 |
| 104 | 5 | 1.74954E-01 |
| 105 | 5 | 3.37062E-01 |
| 106 | 5 | 1.98401E-01 |
| 107 | 3 | 1.43905E-01 |
| 108 | 3 | 1.47475E-01 |
| 109 | 3 | 1.43905E-01 |
| 110 | 3 | 1.47759E-01 |
| 111 | 3 | 1.47475E-01 |
| 112 | 3 | 1.47759E-01 |
| 113 | 5 | 1.30214E-01 |
| 114 | 5 | 6.95729E-03 |
| 115 | 5 | 2.27231E-01 |
| 116 | 5 | 6.26741E-03 |
| 117 | 5 | 2.09559E-01 |
| 118 | 5 | 1.08180E-01 |
| 119 | 5 | 1.30285E-01 |
| 120 | 5 | 6.96110E-03 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.4 อภิปรายผล**

จากผลการทดลองตามหัวข้อที่ 2.2.2 ซึ่งทดลองเพื่อหาสัดส่วนของการจัดสรรเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมที่เหมาะสม ให้กับอุปกรณ์ที่ให้ความสำคัญในนโยบายการดูแลรักษาระบบ จะเห็นได้ว่า ระบบเครือข่ายที่ใช้ในการทดลองทั้งสองการทดลองให้ผลของการคำนวณเช่นเดียวกัน โดยอุปกรณ์ที่ควรเพ่งเล็งหรือให้ความสำคัญในการซ่อมแซมก่อนเป็นลำดับแรกได้แก่ อุปกรณ์ Multistation Access Unit ลำดับต่อมาได้แก่ อุปกรณ์ LAN Switch และ CPU ของ Serverส่วนอุปกรณ์อื่นๆ นั้น อาจไม่จำเป็นต้องกำหนดเป็นนโยบายเร่งรีบในการซ่อมแซมให้กลับสู่สภาะการทำงาน เนื่องจากมีผลกระทบต่อระบบเครือข่ายน้อยมาก

เหตุที่เป็นเช่นนี้ จะเห็นได้ว่า อุปกรณ์ทั้งสามดังกล่าว เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อในตำแหน่งที่เป็นตำแหน่งสำคัญของระบบเครือข่าย เช่น อุปกรณ์ Multistation Access Unit (MAU) นั้น เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบ Token Ring ซึ่งหาก MAU เครื่องใดเสีย จะทำให้ระบบ Token Ring ทั้งระบบไม่สามารถทำงานได้ จึงเป็นอุปกรณ์ที่มีอิทธิพลต่อระบบเครือข่ายเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ ในกรณีอุปกรณ์ LAN switch นั้น จะเห็นได้ว่า เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในตำแหน่งที่เปรียบเสมือนเป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายหนึ่งไปยังอีกระบบเครือข่ายหนึ่ง จึงเป็นอีกจุดหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อระบบเครือข่าย หากอุปกรณ์เกิดความเสียหายขึ้น และไม่สามารถกลับมาทำงานได้อย่างรวดเร็วเท่าที่ควร

จะเห็นได้ว่า จากการทดลอง สามารถบอกได้ว่าอุปกรณ์ใด เราควรให้ความสำคัญก่อนหลัง ซึ่งหากจะประเมินด้วยสายตา อาจมองข้ามอุปกรณ์ที่เป็นจุดอ่อนบางชนิดไป เช่น ในกรณีนี้อาจมองข้ามอุปกรณ์ MAU โดยอาจเข้าใจว่า ควรให้ความสำคัญกับอุปกรณ์ LAN switch มากกว่า MAU เนื่องจากมองเห็นความสำคัญจากตำแหน่งของการเชื่อมต่อได้ชัดเจนกว่า เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้ อาจทำให้การกำหนดนโยบายในการดูแลรักษาระบบเกิดความผิดพลาด หรือไม่เกิดความคุ้มค่ากับงบประมาณการดูแลรักษาระบบที่ได้ใช้ไป

นอกจากนี้ จะเห็นได้ว่า ในสัดส่วนที่ทำให้ค่าความพร้อมในการใช้งานระบบเครือข่ายมีค่าสูงสุดนั้น ค่าความพร้อมในการใช้งานสูงสุดของแต่ละระบบเครือข่ายมีค่าไม่เท่ากัน โดยในระบบเครือข่ายแบบที่ใช้ในการทดลองที่ 1 ซึ่งกำหนดให้ Server เป้าหมาย ต่ออยู่กับ MAU เครื่องที่ 1 ในระบบเครือข่ายย่อย Token Ring จะให้ค่าความพร้อมในการใช้งานในเส้นทางกรณี worse case สูงกว่า ในระบบเครือข่ายที่ใช้ในการทดลองที่ 2 ซึ่งกำหนดให้ Server เป้าหมาย ต่ออยู่กับ MODEM ปลายทาง ในระบบเครือข่ายย่อย Remote User รายละเอียดตามตารางที่ 2.9

กรณีดังกล่าว แสดงให้เห็นได้ในสองกรณี คือกรณีเส้นทางที่ให้ค่าความพร้อมในการใช้งานต่ำสุดในแต่ละชุดของการใช้ค่าสัดส่วน MTTR หรือเส้นทางกรณี worse case นั่นเอง กับกรณีค่าความพร้อมในการใช้งานสูงสุดที่ได้จากสัดส่วนค่า MTTR สัดส่วนลำดับที่ 47 กล่าวคือ จะสังเกตเห็นได้ว่า เส้นทางที่ได้จากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 ต่างเป็นเส้นทางที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับระบบเครือข่ายย่อย Token Ring และระบบเครือข่ายย่อย Remote User ทั้งสองการทดลอง ซึ่งอาจเป็นเพราะ เป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อด้วยโทโปโลยีที่มีความอ่อนตัวน้อย ทั้งนี้มักเป็นเส้นทางที่มีการเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนมากกว่าเส้นทางอื่นด้วย ดังนั้น จากข้อมูลนี้ อาจเป็นแนวทางให้เราเพ่งเล็งหรือให้ความสนใจได้สำหรับกรณีระบบเครือข่ายอื่น ที่มีระบบเครือข่ายย่อยทั้งสองดังกล่าวอยู่ หรืออาจใช้เป็นแนวทางในการหาข้อมูลในการออกแบบระบบเครือข่ายอื่นๆต่อไป

ตารางที่ 2.9 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2

| การทดลอง | สัดส่วนค่า MTTR ที่เหมาะสม | ค่า A ที่ได้จากสัดส่วนค่า MTTR ที่เหมาะสม | เส้นทางกรณี worse case |
|---|---|---|---|
| 1 | 47 | 3.81781E-01 | 3 |
| 2 | 47 | 3.39726E-01 | 5 |

กรณีค่าความพร้อมในการใช้งานสูงสุดที่ได้จากสัดส่วนค่า MTTR สัดส่วนลำดับที่ 47 จากทั้งสองการทดลองนั้น จะเห็นได้ว่า ค่าความพร้อมในการใช้งานที่ได้จากการทดลองที่ 1 มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองที่ 2 ในเบื้องต้นนี้ อาจกล่าวได้ว่า การกำหนดให้ Server เป้าหมายเชื่อมต่ออยู่กับ อุปกรณ์ Multistation Access Unit ในระบบเครือข่าย Token Ring นั้น น่าจะทำให้ระบบเครือข่ายมีประสิทธิภาพมากกว่า การกำหนดให้ Server เป้าหมาย เชื่อมต่ออยู่กับ อุปกรณ์ MODEM ในระบบเครือข่าย Remote User ซึ่งแนวทางดังกล่าวนี้ อาจนำไปพัฒนาให้เป็นแนวทางที่เป็นมาตรฐานในการใช้วิเคราะห์หรือออกแบบระบบเครือข่ายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# บทสรุป

## 3.1 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยครั้งนี้ สรุปได้ว่า ระบบเครือข่ายหนึ่งๆ เมื่อเริ่มเข้าสู่สถานะการทำงานนั้น ค่าความพร้อมในการใช้งานของระบบเครือข่ายจะมีค่าสูงสุด และจะค่อยๆลดลงเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่ออยู่ในระบบเครือข่ายนั้น ต่างก็มีค่าความพร้อมในการใช้งานของแต่ละอุปกรณ์ลดลงไปเรื่อยๆ นั่นเอง เมื่ออุปกรณ์ถูกใช้งานไประยะหนึ่งและเกิดความเสียหายขึ้นตามอายุการใช้งาน ก็จะเกิดสภาวะการซ่อมแซมขึ้นกับอุปกรณ์นั้นๆ และสภาวะการซ่อมแซมนี้จะกินเวลาช่วงหนึ่ง(Mean Time To Repair : MTTR) เพื่อให้อุปกรณ์สามารถกลับมาทำงานได้อย่างเดิม หากช่วงเวลาในการซ่อมแซมนี้ยิ่งมากขึ้นเท่าใด ค่าความพร้อมในการใช้งานของอุปกรณ์นั้นๆ ก็จะยิ่งลดลงเท่านั้น

ค่าความพร้อมในการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ มีผลต่อค่าความพร้อมในการใช้งานของทั้งระบบเครือข่าย กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ยิ่งเวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์เพิ่มขึ้น ค่าความพร้อมในการใช้งานของระบบเครือข่ายโดยรวมก็จะลดลง และอุปกรณ์ต่างๆเราอาจกำหนดการจัดสรรค่าเวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์ไม่เท่ากัน โดยขึ้นอยู่กับนโยบายในการดูแลรักษาระบบขององค์กรว่าจะให้ความสำคัญกับอุปกรณ์ใดมากน้อยเท่าใด โดยอุปกรณ์ที่เราให้ความสำคัญเป็นอันดับแรกนั้นเราย่อมกำหนดให้เวลาในการซ่อมแซมมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่งบประมาณที่มีอยู่จะสามารถรองรับได้ อุปกรณ์ที่ให้ความสำคัญลำดับรองลงมา ก็อาจกำหนดเวลาในการซ่อมแซมให้นานขึ้นได้ตามลำดับ

ในการวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการจัดสรรเวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ ที่เราให้ความสำคัญเหล่านั้น โดยการใช้การคำนวณค่าความพร้อมในการใช้งานเป็นเครื่องมือในการหาคำตอบ โดยในการทดลองตามหัวข้อ 2.2.2 เป็นการนำเสนอแนวคิดวิธีการหนึ่ง ที่อาจนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาสัดส่วนเวลาที่เหมาะสมที่สุด โดยอาจทำการเปลี่ยนค่าเวลาสำหรับอุปกรณ์ต่างๆที่สนใจ ซึ่งจะใช้ในการคำนวณเป็นค่าใดก็ได้ ขึ้นอยู่กับการพิจารณา หรือการตัดสินใจของผู้มีหน้าที่กำหนดนโยบายการดูแลรักษาระบบ ซึ่งอาจกำหนดขึ้นจากการพิจารณาข้อมูลทางด้านงบประมาณขององค์กรหรือสภาพแวดล้อมอื่นๆขององค์กร เช่น ความพร้อมของช่างซ่อมประจำองค์กร เป็นต้น

จากแนวคิดต่างๆที่นำเสนอในการวิจัยในครั้งนี้ มุ่งหวังในการนำเสนอวิธีการหนึ่งในการหาข้อพิจารณาให้ได้มากที่สุดในการกำหนดนโยบายการดูแลรักษาระบบ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าทั้งทางด้านทรัพยากรและงบประมาณขององค์กรที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยหวังว่าแนวคิดนี้อาจทำให้เกิดความสนใจและให้ความสำคัญเพิ่มขึ้นกับการพยายามค้นหาวิธีการที่จะกำหนดความสำคัญให้อุปกรณ์ในระบบเพื่อเพ่งเล็งการให้เวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์แหล่านั้นมากน้อยต่างกัน อันจะทำให้เกิดการพัฒนาแนวคิดดังกล่าวให้เป็นมาตรฐาน และมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม

วิรัชช พานิชวงศ์. 2524. **ลินทิกรัลแคลคูลัส** . สงขลา : โครงการบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ .

ศูนย์ภาษาคอมพิวเตอร์. 2528. **โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาปาสคาล**. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์.

ศรีเพ็ญ ทรัพย์มนชัย . 2539. **สถิติเพื่อการตัดสินใจ**. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Balagurusamy , E. 1984. **Reliability Enginerring**. New Delhi : McGraw – Hill.

Grosh , D.L. 1989. **A Primer of Reliability Theory** . Singapore : John Wiley & Sons , Inc.

Keiser , G.E. 1989. **Local Area Network**. New York : McGraw – Hill.

Renaud . P.E. 1993. **Introduction to Client/Server Systems**. New York : John Wiley & Sons , Inc.

Srinath , L.S. 1975. **Concept In Reliability**. New Delhi : Affiliated East – West Press Private Limited.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก

**The Poisson Process**

เราจะพิจารณากลุ่มของอุปกรณ์หลากหลายชนิด ซึ่งพร้อมที่จะทำงานในแต่ละหน้าที่ของอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านั้น เมื่อเวลา $T = 0$ เราถือว่า อุปกรณ์ชิ้นหนึ่งในกลุ่มเข้าสู่สภาวะการทำงานไปจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะล้มเหลว ณ เวลา $T_1$ และมีอุปกรณ์อีกชิ้นหนึ่งเข้าสู่สภาวะการทำงานแทนที่โดยทันที อุปกรณ์ชิ้นที่สองนี้ ก็จะทำงานไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเข้าสู่สภาวะล้มเหลวอีกครั้งหนึ่ง ณ เวลา $T_2$ และจะถูกแทนที่ด้วยอุปกรณ์ชิ้นใหม่ในกลุ่มโดยทันทีอีกเช่นกัน เป็นอย่างนี้เรื่อยไป ปรากฏการณ์นี้แสดงให้เห็นเป็นภาพได้ในลักษณะลำดับของความล้มเหลวที่เกิดขึ้นบนแกนเวลา ดังภาพ

ความล้มเหลวที่เกิดขึ้น ณ เวลาใดๆ ขึ้นอยู่กับกฎของความน่าจะเป็น ดังอธิบายได้ดังนี้

ให้ $N(t)$ หมายถึง จำนวนความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา t โดยเป็นค่าจำนวนเต็มแบบสุ่ม

$N(t+s) - N(t)$ หมายถึง จำนวนความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา s โดยเริ่มนับจากเวลา t

$P_n(t)$ หมายถึง ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลว n ครั้ง ในช่วงเวลา t

$$P_n(t) = P(N(t) = n)$$

กระบวนการของการเกิดความล้มเหลวในหลักการของ Poisson นั้น มีหลักการที่สำคัญ 5 ข้อ ดังต่อไปนี้

**หลักการข้อ 1**

$$P_0(0) = 1 \quad \text{โดยที่} \quad N(0) = 0$$

หมายถึง ณ จุดเริ่มต้น $t = 0$ นั้น ความล้มเหลวเกิดขึ้น 0 ครั้ง ใช้สมการนี้เพื่อเป็นการตั้งค่าเริ่มต้น

**หลักการข้อ 2**

ในช่วงเวลาที่สั้นมากๆ ($\Delta t$) คือ $\Delta t$ มีค่าเข้าหา 0 สมการเป็นดังนี้

$$P[N(t + \Delta t) - N(t) = 1] = \lambda \Delta t + O_1 \Delta t$$

โดยที่ $O_1 \Delta t$ เป็นฟังก์ชันดิฟเฟอเรนเชียลอันดับสูงขึ้น ซึ่งจะมีผลให้ค่า $O_1 \Delta t$ มีค่าเข้าหา 0 ในอัตราเร็วกว่าพจน์ $\lambda \Delta t$ มาก

จากสมการนี้ สรุปได้ว่า ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลวเพียง 1 ครั้ง ในช่วงเวลาสั้นๆ $\Delta t$ นั้น เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความกว้างของช่วง $\Delta t$ นั้น โดยที่ $\lambda$ คือ ค่าคงที่ของสัดส่วนนี้ ที่เรียกว่าเป็นอัตราการเกิดความล้มเหลว (failure rate) นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หลักการข้อ 3**

ในช่วงเวลาที่สั้นมากๆ ($\Delta t$) คือ $\Delta t$ มีค่าเข้าหา 0 สมการเป็นดังนี้

$$P\,[\,N(t+\Delta t)-N(t)\geq 2\,] \quad = \quad O_2\Delta t$$

โดยที่ $O_1\Delta t$ เป็นฟังก์ชันดิฟเฟอเรนเชียลอันดับสูงขึ้น

จากหลักการข้อนี้ หมายความว่า ความน่าจะเป็นที่จะเกิดความล้มเหลวได้ตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไป ในช่วงเวลาที่สั้นมากๆ $\Delta t$ นั้น มีค่าใกล้เคียง 0 สรุปได้ว่า ในช่วงเวลา $\Delta t$ นั้น การเกิดความล้มเหลวมากกว่า 1 ครั้งนั้น ถือว่าเป็นไปไม่ได้

**หลักการข้อ 4**

หากมีช่วงเวลาที่เกี่ยวข้องกัน 3 ช่วง คือ $t$, $t'$ และ $s$ สมการจะเป็นดังนี้

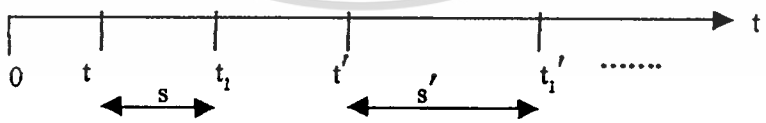
$$P\,[\,N(t+s)-N(t)=n\,] \quad = \quad P\,[\,N(t'+s)-N(t')=n\,]$$

หลักการข้อนี้แสดงให้เห็นว่า ในช่วงเวลา $s$ ใดๆที่เท่ากัน ความน่าจะเป็นของการเกิดความล้มเหลวในจำนวนครั้งเท่าๆกันนั้น จะมีค่าเท่ากัน หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า ความน่าจะเป็นมีค่าคงที่สำหรับการเกิดความล้มเหลว $n$ ครั้ง ในช่วงเวลา $s$ ใดๆ

**หลักการข้อ 5**

หากมีช่วงเวลาที่เกี่ยวข้องกัน 4 ช่วงคือ $t$, $t'$, $s$ และ $s'$ โดยที่ $t' \geq t+s$ จะได้สมการดังนี้

$$\mathrm{cov}[\,N(t+s)-N(t),\,N(t'+s')-N(t')\,] \quad = \quad 0$$




หมายความว่า จำนวนความล้มเหลวในช่วงเวลาใดๆ ที่ไม่คาบเกี่ยวกันนั้นเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีผลกระทบซึ่งกันและกัน

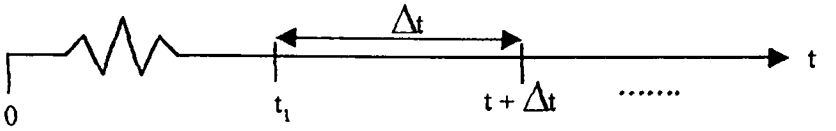
จากหลักการที่กล่าวมานั้น ในหลักข้อ ในหลักข้อ 2 และ 3 สามารถสรุปได้ว่า สำหรับช่วงเวลาสั้นๆ $\Delta t$ นั้น จะได้สมการดังนี้

$$P[\,N(t+\Delta t)-N(t)=0] \quad = \quad 1-\lambda\Delta t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น หากพิจารณาช่วง $\Delta t$ ดังกล่าว โดยเริ่มจากเวลา t และพิจารณาสถานะของระบบ ตั้งแต่เริ่ม (เวลา t ) ไปจนจบช่วงเวลา ($\Delta t$) จะพิจารณาได้เป็น 2 กรณีคือ

**กรณีที่ 1**




| State t | Activity | State t+Δt | Event |
|---|---|---|---|
| n | No arrival | n | $E_1$ |
| n -1 | One arrival | n | $E_2$ |

จากภาพและตารางดังกล่าว มีเหตุการณ์สองเหตุการณ์ที่เป็นไปได้คือ $E_1$ และ $E_2$ ซึ่งเมื่อถึงเวลา $t + \Delta t$ จะมีความล้มเหลวเกิดขึ้นทั้งหมด n ครั้ง ทั้งสองเหตุการณ์

จากหลักการข้อ 3 ความเป็นไปได้ทั้งหมดคือ

$$P(t + \Delta t) = P[E_1 \text{ or } E_2]$$

จากหลักการข้อ 4 และข้อ 5 เหตุการณ์ทั้งสองเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น ความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์ เป็นผลจากความน่าจะเป็นย่อยๆ ดังนี้

$$P(t + \Delta t) = P[E1] + [E_2]$$

$$= P[\text{ ณ เวลา t เกิดความล้มเหลว n ครั้ง , และช่วงเวลา } \Delta t \text{ ไม่เกิดความล้มเหลวขึ้นเลย }] + P[\text{ ณ เวลา t เกิดความล้มเหลว } n-1 \text{ ครั้ง ,และช่วงเวลา } \Delta t \text{ เกิดความล้มเหลว 1 ครั้ง }]$$

$$= \{ P[\text{ณ เวลา t เกิดความล้มเหลว n ครั้ง}] \times P[\text{ช่วงเวลา } \Delta t \text{ ไม่เกิดความล้มเหลวขึ้นเลย }]\} + \{P[\text{ ณ เวลา t เกิดความล้มเหลว } n-1 \text{ ครั้ง}] \times P[\text{ช่วงเวลา } \Delta t \text{ เกิดความล้มเหลว 1 ครั้ง }]\}$$

$$= P_n(t)(1 - \lambda\Delta t) + P_{n-1}(t)\,\lambda\Delta t$$

$$= P_n(t) - \lambda\Delta t\, P_n(t) + P_{n-1}(t)\,\lambda\Delta t$$

$$\frac{P_n(t - \Delta t) - P_n(t)}{\Delta t} = -\lambda P_n(t) + \lambda P_{n-1}(t)$$

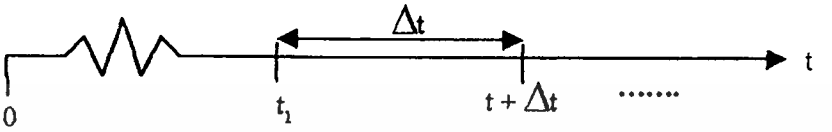
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dP_n(t)}{dt} = P'_n(t)$$

$$= -\lambda P_n(t) + \lambda P_{n-1}(t)$$

โดยที่ n = 1, 2, 3,...

**กรณีที่ 2**




| State at t | Activity | State at t+Δt | Event |
|---|---|---|---|
| 0 | No arrival | 0 | $E_3$ |

จากภาพและตารางดังกล่าว หาก ณ เวลา $t + \Delta t$ มีจำนวนครั้งของการล้มเหลวเป็น 0 แล้ว นั่นหมายความว่า ณ เวลา t จำนวนครั้งของการล้มเหลวย่อมมีค่าเป็น 0 ด้วย นั่นคือตลอดช่วงเวลา $\Delta t$ ต้องไม่มีการล้มเหลวเกิดขึ้น

$P_0(t + \Delta t)$ = P[ณ เวลา t ความล้มเหลวเกิดขึ้น 0 ครั้ง , และไม่มีการล้มเหลวตลอดช่วงเวลา $\Delta t$]

$= P_0(t)(1 - \Delta t)$

$$\frac{P_0(t + \Delta t) - P_0(t)}{\Delta t} = -\lambda P_0(t)$$

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t)$$

$$P_0(t) = e^{-\lambda t}$$

นำสมการที่ได้จากกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 มาใช้ร่วมกันเพื่อหาสมการรวม โดยการแทนค่าสมการที่ได้จากกรณีที่ 1 ด้วยด้วยค่า n = 1,2,3.... และแทนที่ $P_0(t)$ จากสมการที่ 2 ด้วยค่าที่ได้จากการแทนที่ในสมการที่ 1 จะได้ผลลัพธ์เป็นสมการดังนี้

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t}(\lambda t)^n}{n!}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

```
program Exper1;
Uses Printer,Crt;
const
   B_pc = 300000;   B_nicT = 2102400;  B_nicE = 58740;     B_lanSw = 399287;
   B_rout = 116000;  B_ras = 404203;     B_hub = 200000;   B_mau = 160216;
   B_mod = 2312640;     B_csud = 1734480; B_cpuS = 1752000;  B_niceS = 58740;
   B_nictS = 2102400; B_diskS = 300000;  B_tapeS = 160000;     B_nicD = 58740;
   MTTR_G = 1;

type
  Sq = Record
    fi : real;      se : real;      th : real;      fo : real;      ff : real;
  end;
  arrA = ARRAY [1..8] of real;
var
  ap : arrA;   SF : Sq;   SqF : file of Sq;
  Mn , Mx , Min , Max , MTTR_E , Ai : real;
  rec , recmx,recmn,i,j,c , cnt ,cntM,a : integer; M_File , A_File : File of real;
  A_total1 , A_token , A_Server , A_LANsw , A_SubconnectELR : real;
  A_Ether1 , A_Ether2 , A_LANWAN , A_Remote , A_LAN , A_WAN : real;
  A_MAU1 , A_MAU2 , A_MAU3 , A_MAU4 , A_ServerM : real;
  A_Subtoken1 , A_Subtoken2 , A_Subtoken3 , A_Subtoken4 : real;
  A_MAU234Token , A_Server12 , A_NICTotal , A_CDT , A_CDTi: real;
  A_NICDir , A_DiskS , A_DiskSi , A_Client : real;
  A_DiskS0 , A_CDTS0 , A_NICS0 , A_Server0 : real;
  A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8 : real;
  A_9, A_10, A_11, A_12, A_13, A_14, A_15 ,A_16 : real;
  x0 , x1 , x1i,x2 , x2i , x3 , x3i , x4 , x5 ,x161 ,x162 , x162i  : real;
  x141 , x142 , x142i : real;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   MTTR_G4 , MTTR_G6 , MTTR_G7 , MTTR_G8 , MTTR_G11 : real;
procedure readDAT;
begin
    read(SqF,SF);
    MTTR_G4 := SF.fi;    MTTR_G6 := SF.se;    MTTR_G7 := SF.th;
    MTTR_G8 := SF.fo;    MTTR_G11 := SF.ff;
end;

procedure FindMinMax;
begin
    reset(A_File);    Min := 1;    Max := 0;    cnt := 1;    recmx := 1;    recmn := 1;
    while not eof(A_File) do
     begin
       read(A_File,Mn);
       if Min >= Mn then
         begin
            Min := Mn;              recmn := cnt;
         end;

       if Max <= Mn then
         begin
            Max := Mn;              recmx := cnt;
         end;
       cnt := cnt +1;
     end;
     writeln('Finalmin is rec. ',recmn,'/',Min);
     writeln('Finalmax is rec. ',recmx,'/',Max);
end;

Procedure Init_Avail;
begin
   A_1 := B_pc/(B_pc + MTTR_G);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    A_2 := B_nicE/(B_nicE + MTTR_G);
    A_3 := B_nicT/(B_nicT + MTTR_G);
    A_4 := B_lanSw/(B_lanSw + MTTR_G4);
    A_5 := B_rout/(B_rout + MTTR_G);
    A_6 := B_ras/(B_ras + MTTR_G6);
    A_7 := B_hub/(B_hub + MTTR_G7);
    A_8 := B_mau/(B_mau + MTTR_G8);
    A_9 := B_mod/(B_mod + MTTR_G);
    A_10 := B_csud/(B_csud + MTTR_G);
    A_11 := B_cpuS/(B_cpuS + MTTR_G11);
    A_12 := B_niceS/(B_niceS + MTTR_G);
    A_13 := B_nictS/(B_nictS + MTTR_G);
    A_14 := B_diskS/(B_diskS + MTTR_G);
    A_15 := B_tapeS/(B_tapeS + MTTR_G);
    A_16 := B_nicD/(B_nicD + MTTR_G);
end;
Procedure Exp1;
Begin
    { Find A_Client }
        A_Client :=  (A_1*A_2);
    { Find A_WAN }
            A_WAN := A_5 * A_10 * A_10 * A_5;
    {Find A_Server12 }
            A_NICDir := A_2 * A_2;
            x1 := 1 - A_13 * A_12;
            x2 := 1 - A_13 * A_NICDir * A_12;
            A_NICTotal := 1 - x1 * x1 * x2 * x2;
            A_DiskS := 1 - (1-A_14)*(1-A_14);
            A_CDT := A_11 * ( A_DiskS + A_15 - (A_DiskS * A_15) );
            A_Server12 := A_NICTotal * A_CDT * A_CDT;
    { A_Server0 }
            A_DiskS0 := 1 - (1-A_14)*(1-A_14);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        A_CDTS0 := A_11 * ( A_DiskS0 + A_15 - (A_DiskS0 * A_15) );
        A_NICS0 := 1 - (1-A_12) * (1-A_13);
        A_Server0 := A_NICS0 * A_CDTS0;
{ A_ServerM }
        A_ServerM := A_Server0 ;
{ Final .... A_MnP }
ap[1] := A_ServerM * A_8 * A_8 * A_Server12 * A_4 * A_7 * A_Client;
ap[2] := A_ServerM * A_8 * A_8 * A_Server12 * A_4 * A_WAN * A_7 * A_Client;
ap[3] := A_ServerM * A_8 * A_8 * A_Server12 * A_4 * A_6 * A_9 * A_9 * A_Client;
ap[4] := A_ServerM * A_8 * A_8 * A_Server0 * A_7 * A_Client;
ap[5] := A_ServerM * A_8 * A_8 * A_Client;
ap[6] := A_ServerM * A_8 * A_8 * A_8 * A_Client;
ap[7] := A_ServerM * A_8 * A_8 * A_Client;
ap[8] := A_ServerM * A_8 * A_Client;

    Mn := 1;        Mx := 0;        cnt := 1;        recmx := 1;        recmn := 1;
for a := 1 to 8 do
  begin
   if Mn >= ap[a] then
     begin
       Mn := ap[a];          recmn := cnt;
     end;

   if Mx <= ap[a] then
     begin
       Mx := ap[a];          recmx := cnt;
     end;
   cnt := cnt +1;
 end;
write(A_File,Mn);
writeln('min is arr. ',recmn,'/',Mn);
writeln('max is arr. ',recmx,'/',Mx);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
End;
begin
   clrscr;   assign(A_File,'A_file.dat');
   rewrite(A_File);   assign(SqF,'M1_File.dat');   reset(SqF);   rec := 1;
   while not eof(SqF) do
    begin
      readDAT;        Init_Avail;        Exp1;        write(rec,'/',Mn,',');
      rec := rec+1;
    end;
    writeln;
    FindMinMax;
    readln;
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
program Exper2;
Uses Printer,Crt;
const
    B_pc = 300000;   B_nicT = 2102400;  B_nicE = 58740;     B_lanSw = 399287;
    B_rout = 116000;  B_ras = 404203:     B_hub = 200000;   B_mau = 160216;
    B_mod = 2312640;     B_csud = 1734480: B_cpuS = 1752000;  B_niceS = 58740;
    B_nictS = 2102400; B_diskS = 300000;  B_tapeS = 160000;     B_nicD = 58740;
    MTTR_G = 1;
type
   Sq = Record
     fi : real;      se : real;      th : real;      fo : real;      ff : real;
   end;
   arrA = ARRAY [1..8] of real;
var
   ap : arrA;   SF : Sq;   SqF : file of Sq;   Mn , Mx , Min , Max , MTTR_E , Ai : real;
   rec , recmx,recmn,i,j,c , cnt ,cntM,a : integer;
   M_File , A_File : File of real;
   A_total1 , A_token , A_Server , A_LANsw , A_SubconnectELR : real;
   A_Ether1 , A_Ether2 , A_LANWAN , A_Remote , A_LAN , A_WAN : real;
   A_MAU1 , A_MAU2 , A_MAU3 , A_MAU4 , A_ServerM : real;
   A_Subtoken1 , A_Subtoken2 , A_Subtoken3 , A_Subtoken4 : real;
   A_MAU234Token , A_Server12 , A_NICTotal , A_CDT , A_CDTi: real;
   A_NICDir , A_DiskS , A_DiskSi , A_Client : real;
   A_DiskS0 , A_CDTS0 , A_NICS0 , A_Server0 : real;
   A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8 : real;
   A_9, A_10, A_11, A_12, A_13, A_14, A_15 ,A_16 : real;
   x0 , x1 , x1i,x2 , x2i , x3 , x3i , x4 , x5 ,x161 ,x162 , x162i  : real;
   x141 , x142 , x142i : real;
   MTTR_G4 , MTTR_G6 , MTTR_G7 , MTTR_G8 , MTTR_G11 : real;

procedure readDAT;
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    read(SqF,SF);
    MTTR_G4 := SF.fi;    MTTR_G6 := SF.se;    MTTR_G7 := SF.th;    MTTR_G8 := SF.fo;
    MTTR_G11 := SF.ff;
end;

procedure FindMinMax;
begin
   reset(A_File);    Min := 1;    Max := 0;    cnt := 1;    recmx := 1:    recmn := 1;
   while not eof(A_File) do
    begin
      read(A_File,Mn);
      if Min >= Mn then
        begin
          Min := Mn;              recmn := cnt;
        end;
      if Max <= Mn then
        begin
          Max := Mn;              recmx := cnt;
        end;
      cnt := cnt +1;
    end;
    writeln(Lst,'Finalmin is rec. ',recmn,'/',Min);
    writeln(Lst,'Finalmax is rec. ',recmx,'/',Max);
end;
Procedure Init_Avail;
begin
   A_1 := B_pc/(B_pc + MTTR_G);
   A_2 := B_nicE/(B_nicE + MTTR_G);
   A_3 := B_nicT/(B_nicT + MTTR_G);
   A_4 := B_lanSw/(B_lanSw + MTTR_G4);
   A_5 := B_rout/(B_rout + MTTR_G);
   A_6 := B_ras/(B_ras + MTTR_G6);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    A_7 := B_hub/(B_hub + MTTR_G7);    A_8 := B_mau/(B_mau + MTTR_G8);
    A_9 := B_mod/(B_mod + MTTR_G);     A_10 := B_csud/(B_csud + MTTR_G);
    A_11 := B_cpuS/(B_cpuS + MTTR_G11);    A_12 := B_niceS/(B_niceS + MTTR_G);
    A_13 := B_nictS/(B_nictS + MTTR_G);
    A_14 := B_diskS/(B_diskS + MTTR_G);
    A_15 := B_tapeS/(B_tapeS + MTTR_G);
    A_16 := B_nicD/(B_nicD + MTTR_G);
end;

Procedure Exp1;
Begin
    { Find A_Client }
        A_Client :=  (A_1*A_2);
    { Find A_WAN }
            A_WAN := A_5 * A_10 * A_10 * A_5;
    {Find A_Server12 }
            A_NICDir := A_2 * A_2;
            x1 := 1 - A_13 * A_12;
            x2 := 1 - A_13 * A_NICDir * A_12;
            A_NICTotal := 1 - x1 * x1 * x2 * x2;
            A_DiskS := 1 - (1-A_14)*(1-A_14);
            A_CDT := A_11 * ( A_DiskS + A_15 - (A_DiskS * A_15) );
            A_Server12 := A_NICTotal * A_CDT * A_CDT;
    { A_Server0 }
            A_DiskS0 := 1 - (1-A_14)*(1-A_14);
            A_CDTS0 := A_11 * ( A_DiskS0 + A_15 - (A_DiskS0 * A_15) );
            A_NICS0 := 1 - (1-A_12) * (1-A_13);
            A_Server0 := A_NICS0 * A_CDTS0;
    { A_ServerM }
            A_ServerM := A_Server0 ;
    { Final .... A_MnP }
    ap[1] := A_ServerM * A_9 * A_9 * A_6 * A_4 * A_7 * A_Client;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    ap[2] := A_ServerM * A_9 * A_9 * A_6 * A_4 * A_WAN * A_7 * A_Client;
    ap[3] := A_ServerM * A_9 * A_9 * A_6 * A_6 * A_9 * A_9 * A_Client;
    ap[4] := A_ServerM * A_9 * A_9 * A_6 * A_9 * A_9 * A_Client;
    ap[5] := A_ServerM*A_9*A_9*A_6*A_4*A_Server12*A_8*A_8*A_8*
             A_Server0*A_7* A_Client;
    ap[6] := A_ServerM * A_9 * A_9 * A_6 * A_4 * A_Server12 * A_8 *A_Client;
    ap[7] := A_ServerM * A_9 * A_9 * A_6 * A_4 * A_Server12 *A_8 *A_8 *
             A_Client;
    ap[8] := A_ServerM * A_9 * A_9 * A_6 * A_4 * A_Server12 *A_8 *A_8 *A_8*
             A_Client;

        Mn := 1;        Mx := 0;        cnt := 1;        recmx := 1;        recmn := 1;
    for a := 1 to 8 do
      begin
       if Mn >= ap[a] then
         begin
            Mn := ap[a];            recmn := cnt;
         end;
       if Mx <= ap[a] then
         begin
            Mx := ap[a];            recmx := cnt;
         end;
       cnt := cnt +1;
      end;
     write(A_File,Mn);
     write(Lst,'min is arr. ',recmn,'/',Mn);      writeln(Lst,'max is arr. ',recmx,'/',Mx);
End;


begin
   clrscr;
   assign(A_File,'A_file.dat');
   rewrite(A_File);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    assign(SqF,'M1_File.dat');
    reset(SqF);
    rec := 1;
    while not eof(SqF) do
     begin
        readDAT;
        Init_Avail;
        Exp1;
        writeln(Lst,rec,'/',Mn,',');
        rec := rec+1;
     end;
     writeln;      FindMinMax;      readln;
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อ | พันตรีหญิง กังสดาล ชูณเหเพสย์ |
| วัน เดือน ปี เกิด | 3 มิถุนายน 2510 |
| สถานที่เกิด | จังหวัดอุตรดิตถ์ |
| วุฒิการศึกษา | เภสัชศาสตร์บัณฑิต |
| สถานศึกษา | มหาวิทยาลัยมหิดล |
| ปี พ.ศ.ที่สำเร็จการศึกษา | 2533 |
| สถานที่ทำงาน | 8/1 กองคลังแพทย์ กรมแพทย์ทหารบก ถนนพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ |
| ประสบการณ์การทำงาน | รักษาราชการ หัวหน้าแผนกเภสัชกรรม รพ.ค่ายรามราชนิเวศน์ 2 ปี , ประจำแผนก กรมแพทย์ทหารบก 8 ปี |
| ตำแหน่งปัจจุบัน | ประจำแผนก กองคลังแพทย์ กรมแพทย์ทหารบก |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้