



เรด-พีท: ระบบจำลองการปรับแต่งประสิทธิภาพเรดคอนโทรลเลอร์

โดย

พรชัย พันธุ์วิเศษ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
พ.ศ. 2550

เรด-พีท: ระบบจำลองการปรับแต่งประสิทธิภาพเรดคอนโทรลเลอร์

โดย

พรชัย พันธุ์วิเศษ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
พ.ศ. 2550

# RAID-PeT: RAID Controller Performance Tuning Simulation

By

Ponchai Phanwised

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
พ.ศ. 2550

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นายพรชัย พันธุ์วิเศษ

เรื่อง

เรด-เพ็ท: ระบบจำลองการปรับแต่งประสิทธิภาพเรดคอนโทรลเลอร์

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 5 พฤษภาคม 2551

ประธานกรรมการ

\_\_\_\_\_  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดวงแก้ว สวามิภักดิ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

\_\_\_\_\_  
(ดร. วรวรรณ มะเร็งสิทธิ์)

กรรมการวิทยานิพนธ์

\_\_\_\_\_  
(ดร. วนิตา พฤทธิวิทยา)

กรรมการวิทยานิพนธ์

\_\_\_\_\_  
(ดร. ทิพย์รัตน์ ประโยชน์)

คณบดี

\_\_\_\_\_  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมชาย วิริยะยุทธกร)

## บทคัดย่อ

ความท้าทายของสถาปัตยกรรมระบบจัดเก็บข้อมูล นั้นคือการป้องกันข้อมูลสูญหายแม้ว่าจะเกิดความผิดพลาดทางกายภาพบนสื่อเก็บด้วยเหตุสุดวิสัย ระบบการจัดเก็บข้อมูลแบบเรด (RAID - Redundant Array of Independent Disks) เป็นคำตอบหนึ่งในการเพิ่มเสถียรภาพของการจัดเก็บข้อมูล โดยการรวมระบบการกู้คืนข้อมูล เข้ากับระบบการสำรองข้อมูล ซึ่งมีประสิทธิภาพความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล จากการทำงานพร้อมกันของทุกฮาร์ดดิสก์ในระบบ การปรับแต่งค่าการใช้งาน ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยค่าที่ปรับแต่งจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้านเวลาในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บงานวิจัยนี้นำเสนอการใช้แบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากการปรับแต่งระบบจัดเก็บแบบเรด ทั้งในเชิงเวลาเฉลี่ยเพื่อเข้าถึงข้อมูล (Access Time) อัตราการกู้คืนข้อมูล (Recovery) และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ (Utilization) เพื่อนำเสนอแนวทางในการใช้ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลอง มาใช้ปรับค่าเริ่มต้นของระบบจริง

## Abstract

The present-day challenge in the field of storage system architecture is the prevention of data damage due to disk failure. RAID or Redundant Array of Independent Disks is one of the most promising answers in improving the stability of storage systems by creating a recovery and a backup system. It has an efficient access time working in tandem with any hard disks in the system. Adjusting the technique in the tuning system improves the fault tolerance of the storage system which has an impact on access time, recovery and utilization.

This research introduces a simulation model to tune the effect of different factors in terms of *Access Time*, *Recovery* and *Utilization*. This opens an avenue for comparing the efficiencies of various factors which can be an initial point in building a real recovery system.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เรด-เพ็ท: ระบบจำลองการปรับแต่งประสิทธิภาพ เรดคอนโทรลเลอร์ (RAID-PeT: RAID Controller Performance Tuning Simulation)
ชื่อผู้เขียน	นายพรชัย พันธุ์วิเศษ (Mr. Ponchai Phanwised)
ระดับปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.วรวรรณ มะเร็งสิทธิ์
ปีการศึกษา	2550

#### บทคัดย่อ

ความท้าทายของสถาปัตยกรรมระบบจัดเก็บข้อมูล นั้นคือการป้องกันข้อมูลสูญหายแม้ว่าจะเกิดความผิดพลาดทางกายภาพบนสื่อเก็บด้วยเหตุสุดวิสัย ระบบการจัดเก็บข้อมูลแบบเรด (RAID - Redundant Array of Independent Disks) เป็นคำตอบหนึ่งในการเพิ่มเสถียรภาพของการจัดเก็บข้อมูล โดยการรวมระบบการกู้คืนข้อมูล เข้ากับระบบการสำรองข้อมูล ซึ่งมีประสิทธิภาพความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล จากการทำงานพร้อมกันของทุกฮาร์ดดิสก์ในระบบ การปรับแต่งค่าการใช้งาน ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยค่าที่ปรับแต่งจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพด้านเวลาในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บงานวิจัยนี้นำเสนอการใช้แบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากการปรับแต่งระบบจัดเก็บแบบเรด ทั้งในเชิงเวลาเฉลี่ยเพื่อเข้าถึงข้อมูล (Access Time) อัตราการกู้คืนข้อมูล (Recovery) และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ (Utilization) เพื่อนำเสนอแนวทางในการใช้ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลอง มาใช้ปรับค่าเริ่มต้นของระบบจริง

Thesis Title	RAID-PeT: RAID Controller Performance Tuning Simulation
Author	Mr. Ponchai Phanwised
Degree	Master of Science
Faculty	Faculty of Science and Technology
Thesis Advisor	Dr. Worawan Marurngsith
Year Submitted	2007

## ABSTRACT

The present-day challenge in the field of storage system architecture is the prevention of data damage due to disk failure. RAID or Redundant Array of Independent Disks is one of the most promising answers in improving the stability of storage systems by creating a recovery and a backup system. It has an efficient access time working in tandem with any hard disks in the system. Adjusting the technique in the tuning system improves the fault tolerance of the storage system which has an impact on access time, recovery and utilization.

This research introduces a simulation model to tune the effect of different factors in terms of *Access Time*, *Recovery* and *Utilization*. This opens an avenue for comparing the efficiencies of various factors which can be an initial point in building a real recovery system.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยและสมบูรณ์ ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร. วรวรรณ มะเวงสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาในการสั่งสอนและให้คำชี้แนะ สำหรับการเขียนบทความทางวิชาการ การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์และความถูกต้องของการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ทุกคน ที่ให้คำแนะนำในเรื่องต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่สาว ที่สนับสนุนในทุกด้าน และให้กำลังใจในการฝ่าฟันอุปสรรคแก่ผู้วิจัย

พรชัย พันธุ์วิเศษ

นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2550

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	(2)
กิตติกรรมประกาศ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(12)
สารบัญภาพประกอบ.....	(13)
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	3
1.5 คำจำกัดความของศัพท์เฉพาะ .....	4
1.6 รายละเอียดโครงสร้างวิทยานิพนธ์ .....	5
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1.1 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของระบบเสด .....	6
2.1.1.1 เรด 0 (RAID 0).....	8
2.1.1.2 เรด 1 (RAID 1).....	8
2.1.1.3 เรด 2 (RAID 2).....	10
2.1.1.4 เรด 3 (RAID 3).....	10
2.1.1.5 เรด 4 (RAID 4).....	11

2.1.1.6	เรด 5 (RAID 5).....	11
2.1.1.7	เรดระดับอื่น.....	12
2.1.2	โมเดลการเชื่อมต่อระบบเรด (RAID Topologies).....	13
2.1.3	เรดคอนโทรลเลอร์.....	14
2.1.4	ปัจจัยเชิงประสิทธิผลของระบบเรด.....	15
2.1.4.1	แบนด์วิดท์ของพีซีไอบัส (PCI Bus Bandwidth).....	15
2.1.4.2	ขนาดของแถบข้อมูล (Stripe Size).....	15
2.1.4.3	อัตราส่วนระหว่างคำสั่งการอ่านข้อมูลกับคำสั่งการเขียนข้อมูล (Ratio of Read versus Write Operations).....	16
2.1.4.4	ระดับเรด (RAID Level).....	16
2.1.4.5	จำนวนของดิสก์ (Number of Disks).....	16
2.1.4.6	แคชของไดรฟ์บนระบบเรด (RAID Logical Drive Cache).....	16
2.1.4.7	แคชของดิสก์ (Disk Cache).....	17
2.1.4.8	อัตราส่วนระหว่างการเข้าถึงข้อมูลแบบสุ่มกับแบบลำดับ (Ratio of Sequential versus Random Operations).....	17
2.1.5	ประโยชน์ของระบบเรด.....	17
2.1.6	ข้อผิดพลาดบนดิสก์ (Disk Errors).....	18
2.1.6.1	ความผิดพลาดที่แฝงในเซกเตอร์ (Latent Sector Error).....	18
2.1.6.2	ความผิดพลาดเนื่องจากสถานะไม่พร้อมทำงาน (Not-Ready-Condition Errors).....	18
2.1.6.3	ความผิดพลาดในระหว่างกู้คืนข้อมูล (Recovered Errors).....	19
2.1.6.4	ความผิดพลาดจากดิสก์เสื่อมสภาพ.....	19
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.2.1	งานวิจัยด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเรด.....	19
2.2.2	งานวิจัยด้านการใช้ระบบจำลอง.....	20
2.2.3	งานวิจัยด้านการสร้างความสอดคล้องข้อมูล.....	21
2.2.4	งานวิจัยด้านการปรับแต่งปัจจัยเชิงประสิทธิผล.....	22

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและการออกแบบระบบจำลอง.....	23
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	23
3.1.1 การศึกษาระบบเรด.....	24
3.1.2 การศึกษานโยบายการควบคุมความสอดคล้องกันของข้อมูลและปัจจัยเชิง ประสิทธิภาพของระบบเรด.....	24
3.1.3 การออกแบบโมเดลและรูปแบบการทำงานของระบบจำลอง.....	24
3.1.4 การพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลอง.....	25
3.1.5 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด.....	25
3.1.6 การทำการทดลองและสรุปผล .....	25
3.2 เครื่องมือสำหรับสร้างระบบจำลอง.....	26
3.2.1 ระบบจำลอง (Simulation Modeling).....	26
3.2.2 ซอฟต์แวร์แฮสย์.....	27
3.2.3 ขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์แฮสย์.....	27
3.3 การออกแบบระบบจำลองเรดเพ็ทบนแฮสย์.....	28
3.3.1 การออกแบบโมเดลของระบบจำลองเรดเพ็ทแบบเรดคอนโทรลเลอร์เดี่ยว.....	28
3.3.2 การออกแบบโมเดลของระบบจำลองเรดเพ็ทแบบเรดคอนโทรลเลอร์คู่.....	29
3.3.3 การออกแบบภาระงานในระบบ (Workload Generation) .....	30
4. การพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลองเรดเพ็ท.....	31
4.1 การพัฒนาระบบจำลอง.....	31
4.1.1 ภาพรวมของเรดเพ็ท (RAID-PeT Overview).....	31
4.1.2 ระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยว (Single Controller RAID-PeT Model).....	35
4.1.3 ระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์คู่ (Dual Controller RAID-PeT Model).....	36
4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลองเรดเพ็ท.....	37
4.2.1 นโยบายการสร้างความสอดคล้องของข้อมูล (Coherent Policy).....	38

4.2.2	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยวิธีแบล็คบ็อกซ์ (Black Box Testing).....	39
5.	การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด.....	42
5.1	การออกแบบการทดลอง.....	43
5.1.1	สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง (Experimental Environment) .....	43
5.1.2	ปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบเรด (RAID Performance Factor).....	44
5.1.3	คุณลักษณะของภาระงาน (Workload Characteristics).....	45
5.1.4	ตัววัดค่าประสิทธิภาพ (Performance Metrics).....	46
5.1.4.1	เวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล (Average Access Time).....	47
5.1.4.2	อัตราการกู้คืนข้อมูล (Recovery Percentage).....	48
5.1.4.3	การใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ (Disk Utilization) .....	50
5.1.5	ขั้นตอนการทดลอง .....	51
5.2	การทดลอง .....	53
5.2.1	การคัดเลือกปัจจัยกำหนด.....	53
5.2.1.1	การค้นหาจำนวนคำสั่งของภาระงานที่เหมาะสม (Command Size).....	54
5.2.1.2	การค้นหาคุณลักษณะเพื่อใช้เป็นตัวแทน .....	56
5.2.2	การศึกษาผลกระทบของปัจจัยปรับค่าต่อประสิทธิภาพของระบบเรด .....	58
5.2.3	การทดลองปรับปัจจัยกำหนด.....	62
5.3	การวิเคราะห์และประเมินผล.....	65
6.	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	67
	บรรณานุกรม.....	68
	ภาคผนวก.....	71
	ภาคผนวก ก.....	72
	ภาคผนวก ข.....	75

ภาคผนวก ค.....	76
ประวัติการศึกษา.....	86

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเรดแต่ละระดับ (Adaptec, 2005).....	13
5-1 (a),(b) ลักษณะภาระงานในการประมวลผล (Hsu et al., 2001) .....	46
5-2 ปัจจัยในการทดลองที่ 1-1.....	54
5-3 พารามิเตอร์ในการทดลองที่ 1-1.....	54
5-4 ปัจจัยในการทดลองที่ 1-2.....	57
5-5 พารามิเตอร์ในการทดลองที่ 1-2.....	57
5-6 ปัจจัยในการทดลองที่ 2.....	59
5-7 พารามิเตอร์ในการทดลองที่ 2.....	59
5-8 ปัจจัยในการทดลองที่ 3.....	63
5-9 พารามิเตอร์ในการทดลองที่ 3.....	63

## สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
2-1 สถาปัตยกรรมของเรด 1 (Adaptec, 2005).....	9
2-2 สถาปัตยกรรมของเรด 5 (Adaptec, 2005).....	11
2-3 สถาปัตยกรรมของเรด 10 (Adaptec, 2005).....	12
2-4 โมเดลการเชื่อมต่อแบบ MBOD (Chevalier, Ibbett, & Courtney, Dec 2004).....	13
2-5 โมเดลการเชื่อมต่อแบบ SBOD (Chevalier et al., Dec 2004).....	13
3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	23
3-2 สภาพแวดล้อมของโปรแกรมแฮสท์ (Maruringsith & Ibbett, 2004).....	27
3-3 สถาปัตยกรรมของแบบจำลองแบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยว.....	29
3-4 สถาปัตยกรรมของแบบจำลองแบบเรดคอนโทรลเลอร์คู่.....	29
4-1 โมเดลของระบบจำลองเรดเพ็ท (RAID-PeT Platform).....	32
4-2 ภาพรวมของระบบจำลองเรดเพ็ท (RAID-PeT Overview).....	33
4-3 สภาพแวดล้อมของระบบจำลองเรดเพ็ท (RAID-PeT Simulator Environment).....	34
4-4 ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยว.....	35
4-5 ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์คู่.....	36
4-6 ผังภาพแสดงสถานะการเข้าถึงข้อมูลในแพ็ท.....	38
4-7 การตรวจสอบแบบแบล็คบ็อกซ์.....	39
5-1 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง.....	43
5-2 สูตรคำนวณเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล.....	47
5-3 การบันทึกเวลาในการเข้าถึงข้อมูล.....	47
5-4 สูตรคำนวณอัตราการกู้คืนข้อมูล.....	48
5-5 ตารางแสดงกรณีคู่ดิสก์ที่เกิดข้อผิดพลาด.....	49
5-6 การกู้คืนข้อมูลเมื่อดิสก์เกิดข้อผิดพลาดที่ดิสก์ 0 และดิสก์ 1.....	50
5-7 สูตรคำนวณการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ.....	50
5-8 การแบ่งแถบข้อมูลเพื่อเขียนลงบนดิสก์.....	51
5-9 ผังงานขั้นตอนในการทดลอง.....	52

5-10	การเปรียบเทียบจำนวนคำสั่งต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลของเรด 1 และเรด 5.....	55
5-11	การเปรียบเทียบจำนวนคำสั่งต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลของอุปกรณ์ 4 ชนิด ในเรด 1.....	55
5-12	การเปรียบเทียบจำนวนคำสั่งต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลของอุปกรณ์ 4 ชนิด ในเรด 5.....	56
5-13	การเปรียบเทียบลักษณะภาระงานต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล.....	58
5-14	การเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล.....	60
5-15	การเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูล.....	60
5-16	การเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลต่อการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ .....	60
5-17	การเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูลของเรด 1.....	61
5-18	การเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูลของเรด 5.....	61
5-19	การเปรียบเทียบสัดส่วนของคำสั่งการอ่านกับการเขียนข้อมูล ต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล .....	63
5-20	การเปรียบเทียบสัดส่วนของคำสั่งการอ่านกับการเขียนข้อมูล ต่ออัตราการกู้คืนข้อมูล.....	64
5-21	การเปรียบเทียบสัดส่วนของคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูล ต่อการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ.....	64

# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันข้อมูลข่าวสารกลายเป็นสินค้าชนิดหนึ่งที่มีค่ามาก ดังนั้นการจัดเก็บข้อมูลไม่ให้สูญหาย แม้ว่าจะเกิดความผิดพลาดทางกายภาพบนสื่อเก็บข้อมูลเนื่องจากเหตุสุดวิสัย ย่อมถือเป็นความท้าทายต่อการออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบจัดเก็บข้อมูลมากที่สุดอย่างหนึ่ง เนื่องจากอินเทอร์เน็ตได้กลายเป็นแหล่งจัดเก็บและถ่ายทอดองค์ความรู้สำคัญในหลากหลายสาขา รวมทั้งเป็นแหล่งดำเนินธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นข้อมูลที่ให้บริการบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจึงกลายเป็นข้อมูลที่มีมูลค่าสูง การสูญเสียข้อมูลเหล่านั้นอาจก่อให้เกิดความเสียหายเป็นมูลค่ามหาศาล งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีเป้าหมายหลักเพื่อศึกษาสถาปัตยกรรมของระบบจัดเก็บที่มีการสำรองข้อมูล สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ให้บริการฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์ โดยเน้นที่การใช้แบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบจัดเก็บแบบเรด

บทนำนี้ นำเสนอภาพรวมเกี่ยวกับที่มาของปัญหาและความสำคัญของงานวิจัย พร้อมทั้งกล่าวถึงวัตถุประสงค์ ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย และการประมาณการถึงผลที่คาดว่าจะได้รับ รวมถึงให้คำจำกัดความของคำศัพท์เฉพาะ ในตอนท้ายเกริ่นนำถึงเนื้อความและประเด็นสำคัญในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยสังเขป

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ความท้าทายของสถาปัตยกรรมระบบจัดเก็บข้อมูลนั้นอยู่บนความจริงที่ว่า การใช้ฮาร์ดดิสก์ขนาดใหญ่แต่เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถป้องกันข้อมูลสูญหายเนื่องจากความผิดพลาดทางกายภาพบนสื่อเก็บข้อมูลด้วยเหตุสุดวิสัยได้ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมหาศาลให้สามารถบริการผู้ใช้เครือข่ายได้อย่างทั่วถึง จึงจำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อฮาร์ดดิสก์ขึ้นมาเป็นระบบ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของการจัดเก็บข้อมูล โดยการกระจายข้อมูลแบบเดียวกันไปจัดเก็บยังฮาร์ดดิสก์หลายตัวในเวลาเดียวกัน ซึ่งระบบนี้มีชื่อเรียกว่า **เรด**

เดิม **เรด (RAID ย่อมาจาก Redundant Arrays of Inexpensive Disks)** หมายถึง ระบบการเชื่อมต่อฮาร์ดดิสก์หลายตัวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในการลงทุนที่เท่าเดิม ปัจจุบัน**เรด (RAID ย่อมาจาก Redundant Arrays of Independent Disks)** หมายถึง ระบบการต่อเชื่อมฮาร์ดดิสก์อิสระหลายตัวเป็นชุด เพื่อจัดเก็บและสำรองข้อมูล ซึ่งระบบนี้นำเสนอครั้งแรกในช่วงต้น

ทศวรรษ 1980 (Patterson, Gibson, & Katz, 1988) จากการวิจัยของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย เบิร์กลีย์ (UC-Berkeley) นำมาใช้งานจริงครั้งแรกในปี 1990 (Adaptec, 2006) และได้มีการพัฒนาต่อเนื่อง เพื่อสนองความต้องการของผู้บริโภคในเรื่องของความเร็วและความปลอดภัยในการจัดเก็บข้อมูล

ทุกวันนี้ ระบบเรดสามารถพบได้ทุกที่ ตั้งแต่คอมพิวเตอร์ขนาดพกพา คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล จนถึงคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ที่มีฮาร์ดดิสก์จำนวนมาก (Adaptec, 2006) ซึ่งฮาร์ดดิสก์ทุกตัวจะต่อเชื่อมกับตัวควบคุมการทำงานหรือเรดคอนโทรลเลอร์ (RAID Controller) เดียวกัน หรือแบ่งเป็นกลุ่มย่อยต่อเชื่อมกับเรดคอนโทรลเลอร์แยกกัน โดยเรดคอนโทรลเลอร์ดังกล่าวจะทำการควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์เหล่านั้น ในลักษณะเดียวกันกับคอนโทรลเลอร์ของฮาร์ดดิสก์ตัวเดียว เสมือนว่าฮาร์ดดิสก์หลายตัวนั้นเป็นฮาร์ดดิสก์ตัวเดียวกัน ทั้งนี้ในการควบคุมการทำงานของระบบเรดนั้น ยังมีโปรแกรมที่ถูกติดตั้งอยู่ในคอมพิวเตอร์ โดยทำหน้าที่ในการบริหารจัดการข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ที่อยู่บนระบบเรดเดียวกัน

การนำระบบเรดไปใช้งานจริง อาจนำไปใช้ในลักษณะภาระงานที่แตกต่างกัน การปรับแต่งค่าปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบเรดให้เหมาะสมกับลักษณะภาระงาน จะทำให้ระบบเรดมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการปรับแต่งค่าเรดคอนโทรลเลอร์ให้เหมาะสมกับลักษณะภาระงาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบเรด โดยนำเสนอการใช้อย่างจำลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบจัดเก็บข้อมูลดังกล่าวเมื่อฮาร์ดดิสก์เกิดความผิดปกติทางกายภาพ รวมถึงค้นหาวิธีการที่จะนำผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ มาใช้เป็นแนวทางปรับค่าของระบบจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานระบบจัดเก็บแบบเรด ทั้งนี้เพื่อให้งานวิจัยดำเนินไปตามเป้าหมายดังกล่าว จึงได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัยไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาเทคนิคการสร้างความสอดคล้องของข้อมูล (Coherence Policy) ในระบบเรด สำหรับระบบคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่ให้บริการข้อมูลเชิงพาณิชย์บนอินเทอร์เน็ต
2. เพื่อสร้างแบบจำลองแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (DES: Discrete Event Simulation) ที่สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเรด ทั้งในเชิงเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล (Access Time) อัตราการกู้คืนข้อมูล (Recovery) และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ (Utilization)

3. เพื่อนำเสนอแนวทางการใช้ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเรดจากการทดลอง มาใช้ปรับค่าเริ่มต้นของระบบจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเรด ทั้งในเชิงเวลา การกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อเป็นกรอบในการดำเนินงานวิจัย ให้สามารถกรองเฉพาะประเด็นสำคัญตามวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวไว้ งานวิจัยชิ้นนี้จึงกำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้

1. เพื่อนำความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการสร้างความสะดวกคล่องของข้อมูลมาประยุกต์ใช้สร้างแบบจำลอง เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์
2. ศึกษาระบบเรดระดับ 1 และระบบเรดระดับ 5
3. ศึกษาถึงวิธีการอ่านและเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ โดยไม่คำนึงถึงระบบการผลิตประเภทของฮาร์ดดิสก์ และลักษณะทางกายภาพของฮาร์ดดิสก์
4. ตัวควบคุมเรดจะครอบคลุมเฉพาะแบบซอฟต์แวร์ ไม่ครอบคลุมแบบฮาร์ดแวร์และแบบผสม โดยทำการศึกษาเรดคอนโทรลเลอร์แบบซอฟต์แวร์ที่สามารถปรับคุณสมบัติได้
5. กำหนดภาระงานจากฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์เท่านั้น
6. ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบเรดระดับ 1 และระบบเรดระดับ 5
7. ประเมินประสิทธิภาพของเวลาเฉลี่ยเพื่อการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

หลังจากดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ภายใต้ขอบเขตการวิจัยที่กำหนดไว้แล้ว ประโยชน์ที่ได้รับจากการค้นคว้าเนื้อหาที่เกี่ยวข้องและการประเมินผลลัพธ์จากการทดลอง อาจสรุปได้ ดังนี้

1. มีการสร้างระบบจำลองของระบบเรดที่สามารถตรวจสอบความสะดวกคล่องกันของข้อมูลที่บันทึก

2. สามารถใช้แบบจำลองเพื่อค้นหาแนวทางสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ  
เวด
3. ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความเร็วในการค้นหาและจัดเก็บข้อมูล รวมทั้ง  
อัตราการกู้คืนข้อมูลและการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บของระบบเวดในระดับ 1 และ ระดับ 5
4. ผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนางานวิจัย  
ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น หรือเป็นแนวทางในการสร้างสรรค์ผลงานวิจัยด้านอื่นต่อไป

## 1.5 คำจำกัดความของศัพท์เฉพาะ

**"เรด"** หรือ **"ระบบเรด"** หมายถึง ระบบจัดเก็บข้อมูล (Storage system) หนึ่งระบบ ที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วน ได้แก่ (ก) ฮาร์ดดิสก์หลายตัวต่อกันแบบอาร์เรย์ และ (ข) ตัวควบคุม ให้ข้อมูลถูกเก็บซ้ำ หรือกระจายเก็บบนเนื้อที่ฮาร์ดดิสก์เหล่านั้น โดยมีเป้าหมายไม่ให้อข้อมูลสูญหาย แม้ว่าจะเกิดความผิดพลาดบนพื้นผิวทางกายภาพของฮาร์ดดิสก์ตัวใดตัวหนึ่ง หรือหลายตัวในอาร์เรย์ ซึ่งคำว่า "เรด" มาจากคำภาษาอังกฤษว่า RAID ย่อมาจาก Redundant Array of Independent Disks

**"ตัวควบคุมเรด"** หรือ **"เรดคอนโทรลเลอร์"** (RAID Controller) หมายถึง ฮาร์ดแวร์, ซอฟต์แวร์ หรือระบบผสมที่ติดตั้งในระบบเรด เพื่อทำหน้าที่เป็นหน่วยประสานงานรับส่งแฟ้มข้อมูล ระหว่าง ระบบคอมพิวเตอร์กับอาร์เรย์ของฮาร์ดดิสก์ ผู้ใช้สามารถปรับค่าระดับของเรดคอนโทรลเลอร์ได้ (มีตั้งแต่ระดับ 0 ถึง 5 และระดับผสมผสาน) เพื่อระบุวิธีการเก็บข้อมูลซ้ำหรือแบ่งข้อมูลเป็นส่วนเพื่อบันทึกบนฮาร์ดดิสก์หลายตัว โดยใช้ความสัมพันธ์ของระบบจำนวนเพื่อให้กู้คืนข้อมูลได้ในกรณีฮาร์ดดิสก์ผิดพลาด ซึ่งทำให้ระบบเรดจะถูกเรียกชื่อตามค่าระดับที่กำหนดในเรดคอนโทรลเลอร์ เช่น เรด 1 หรือ เรด 5 เป็นต้น

**"เทคนิคการกู้คืนข้อมูล"** (Data Recovery Techniques) หมายถึง กลวิธีที่เรดคอนโทรลเลอร์นำมาใช้ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดทางกายภาพบนฮาร์ดดิสก์ตัวหนึ่งหรือหลายตัว เพื่อกู้คืนข้อมูลที่เก็บบนฮาร์ดดิสก์ที่ผิดพลาดซึ่งได้สูญหายไป ในการกู้คืนข้อมูลนั้นอาจกระทำโดยการดึงข้อมูลจากดิสก์กระจกเงา (Mirror Disk) หรือ โดยการคำนวณจากความสัมพันธ์ตามระบบจำนวนหรือพาริตี (Parity) ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับระดับของเรด

## 1.6 รายละเอียดโครงสร้างวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 6 บท ได้แก่ บทนำ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การดำเนินงานวิจัย การพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลอง การทดลอง รวมทั้งบทสรุปและข้อเสนอแนะ โดยเนื้อความในรายงานบทถัดไปมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงกรอบแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ประกอบด้วย งานวิจัยทางการวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบเรด รวมไปถึงงานวิจัยทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึงข้อมูลของระบบเรด

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วยลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โครงสร้างของระบบ รวมทั้งเครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

บทที่ 4 การพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลอง กล่าวถึงภาพรวมของระบบ และวิธีการในการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลอง

บทที่ 5 การทดลอง ประกอบด้วย การแสดงผลการทดลอง และการประเมินประสิทธิภาพของระบบเรด

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรอบแนวคิดหลักในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเรดนั้น มีพื้นฐานจากการประมวลความเข้าใจในทฤษฎีการจัดเก็บข้อมูลแบบเรด ทฤษฎีดังกล่าวหมายถึง การทำงานและการใช้งานระบบเรด ปัจจัยเชิงประสิทธิภาพ และการกู้คืนข้อมูลในกรณีเกิดความผิดพลาดทางกายภาพบนฮาร์ดดิสก์ ในบทนี้กล่าวถึงบทความวิจัยในช่วงสิบห้าปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2549) ซึ่งนำเสนอการสร้างระบบจำลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบเรด โดยได้นำมาเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบเรด พร้อมทั้งสรุปซึ่งชี้ให้เห็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยขึ้นนี้

### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้ กล่าวสรุปทฤษฎีทางการจัดเก็บข้อมูลและเพิ่มประสิทธิภาพบนระบบเรด ซึ่งเป็นเป้าหมายของการวิจัย

#### 2.1.1 รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลของระบบเรด

ข้อมูลถือว่าเป็นสิ่งที่มีค่ามากที่สุดของการทำธุรกิจในปัจจุบัน (Adaptec, 2005) การที่ข้อมูลสูญหายนั้นหมายถึงความถึงธุรกิจสูญหายด้วย ดังนั้นการสำรองข้อมูลก่อนระบบเกิดข้อผิดพลาดเป็นการยืนยันว่าข้อมูลจะไม่สูญหายไป และสามารถใช้งานได้ตลอดเวลา แม้เกิดการขัดจังหวะในเหตุการณ์ที่ดิสก์ออนไลน์เกิดข้อผิดพลาด ซึ่งอุปกรณ์สำคัญในระบบจัดเก็บและสำรองข้อมูลแบบเรด คือ ฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk) คือ อุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญในการช่วยจัดการเครือข่ายข้อมูล เพราะจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นของข้อมูลที่มีมหาศาล จึงต้องการพื้นที่สำหรับจัดเก็บข้อมูลจำนวนมาก ไม่เพียงแต่ปริมาณความจุเท่านั้น ยังต้องคำนึงถึงการรองรับจำนวนผู้ใช้งานจำนวนมาก และไม่จำกัดเฉพาะการใช้งานส่วนบุคคล จึงต้องมีการออกแบบให้สามารถรองรับการเข้าถึงข้อมูลจากภายนอกได้พร้อมกันเป็นจำนวนมาก รวมไปถึงการส่งผ่านข้อมูลอย่างรวดเร็ว ที่สำคัญคือเรื่อง

ความปลอดภัยที่จะต้องมั่นใจได้ว่าข้อมูลที่มีอยู่มากมายนี้จะไม่สูญหายไปและสามารถใช้งานได้ตลอดเวลา ทั้งนี้ในระบบเรดจะประกอบด้วยฮาร์ดดิสก์จำนวนหลายตัวเพื่อเพิ่มปริมาณความจุตามที่ผู้ใช้งานต้องการ

**เรด (RAID - Redundant Arrays of Independent Disks)** คือ ระบบจัดเก็บข้อมูลที่ประกอบด้วยฮาร์ดดิสก์หลายตัว และมีความสามารถในการกู้คืนข้อมูลเมื่อระบบล้มเหลว (D. A. Patterson, 1988) แต่ฮาร์ดดิสก์เหล่านั้นถูกซ่อนจากผู้ใช้งาน ทำให้มองเสมือนว่าเป็นฮาร์ดดิสก์เพียงไดรฟ์ (Drive) เดียว ดังนั้นระบบเรดจึงสามารถขยายความจุได้ ซึ่งตัวดิสก์เสมือนนี้จะถูกสร้างและควบคุมโดยระบบปฏิบัติการ มีการติดตั้งซอฟต์แวร์จัดการระบบเรดไว้ในตัว ซอฟต์แวร์จะจัดการทั้งตัวดิสก์เสมือนและควบคุมการเข้าถึงไดรฟ์เหล่านี้ ด้วยการหาเส้นทางที่เหมาะสมและวิธีที่เร็วที่สุด

ระบบเรดสามารถตั้งค่าได้หลายค่าเพื่อประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ในเรื่องของความจุสูงสุดหรือความทนทานต่อความผิดพลาด เพื่อกำหนดการสื่อสารให้ไปในแนวทางเดียวกัน จึงมีการตั้งค่าการกำหนดประสิทธิภาพของระบบเรดไว้ 6 ระดับ ดังนี้ เรด 0, เรด 1, เรด 2, เรด 3, เรด 4 และเรด 5 ซึ่งตัวเลขเหล่านี้ นอกจากจะบ่งบอกถึงวิธีการในการสำรองข้อมูลที่มีผลต่อประสิทธิภาพแล้ว ยังระบุถึงซอฟต์แวร์กำหนดการทำงานที่ติดตั้งบนระบบแม่ข่าย (Host computer) เพื่อให้รองรับระบบเรดแต่ละระดับนี้ได้

ส่วนฮาร์ดแวร์ในระบบเรด มีหลักการทำงานเพื่อรวมฮาร์ดดิสก์หลายตัวเข้าไว้ด้วยกัน โดยอาศัย บอร์ดควบคุมระบบเรด หรือ บอร์ดของเรดคอนโทรลเลอร์ (RAID Controller Board) ทำหน้าที่เป็นโครงข่ายหลักซึ่งทำงานอยู่เบื้องหลัง บอร์ดของเรดคอนโทรลเลอร์มีช่องเสียบสำหรับต่อกับ ฮาร์ดดิสก์คอนโทรลเลอร์ (Hard Disk Controller) มีหน้าที่ ดังนี้ (ก) จัดการคำสั่งในการรับหรือส่ง (อินพุตหรือเอาต์พุต) ข้อมูล (ข) ระบุตำแหน่งของไดรฟ์ในช่องใส่ และ (ค) ทำให้แต่ละไดรฟ์ย่อยเหล่านี้เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งความเป็นอิสระต่อกันนั้นหมายความว่า การถอดเปลี่ยนหรือเคลื่อนย้ายไดรฟ์ย่อยตัวใดออกจากระบบจะไม่มีผลกระทบต่อการทำงานโดยรวมของระบบจัดเก็บ

นอกจากจากหน้าที่หลักสามประการที่กล่าวในข้างต้น คอนโทรลเลอร์ยังมีหน้าที่ควบคุมให้ระบบสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง แม้ว่าจะเกิดความผิดพลาด (Fault Tolerance) โดยหากพบปัญหาว่าไดรฟ์ตัวใดได้รับความเสียหาย คอนโทรลเลอร์มีหน้าที่กู้ข้อมูลและโอนย้ายข้อมูล ไปจัดเก็บในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อื่น ซึ่งคอนโทรลเลอร์แต่ละตัวมีวิธีการจัดการความผิดพลาดต่างกันตามระดับของระบบเรด หัวข้อย่อยต่อไปนี้จะสรุปถึงวิธีการจัดเก็บของระบบเรด 6 ระดับ เพื่อให้ระบบมีความทนต่อความผิดพลาด

### 2.1.1.1 เรด 0 (RAID 0)

เรด 0 มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ดิสก์หลายตัวเป็นสำคัญ แต่มีข้อเสียตรงที่ไม่สามารถแก้ไขข้อบกพร่องของระบบในกรณีที่เกิดการขัดข้องขึ้น ทำให้ข้อมูลอาจสูญหาย

เรด 0 นี้มีรูปแบบการทำงาน โดยการแบ่งข้อมูลเป็นส่วนย่อยที่เท่ากัน เรียกว่า **แถบ (Striping)** เนื่องจากเรด 0 นี้มีการจัดการกับข้อมูลเป็นแนวยาวในลักษณะของแถบ ไม่กระจัดกระจายดังเช่นระบบอื่น ตัวอย่างเช่น เรด 0 ประกอบด้วยฮาร์ดดิสก์ 4 ตัวต่อเชื่อมกัน แถบที่ 0, 1, 2 และ 3 จะถูกจัดสรรออกไปให้ฮาร์ดดิสก์ตัวที่ 0, 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และสำหรับแถบถัดไปคือ แถบ 4, 5, 6, 7 ฯลฯ และจะหมุนวนสลับกลับไปให้ฮาร์ดดิสก์ตัวที่ 0 (เก็บแถบที่ 4), ดิสก์ตัวที่ 1 (เก็บแถบที่ 5), ดิสก์ตัวที่ 2 (เก็บที่แถบ 6) และดิสก์ตัวที่ 3 (เก็บแถบที่ 7) และหมุนเวียนไปจนกว่าจะเก็บแถบข้อมูลไว้ทั้งหมด

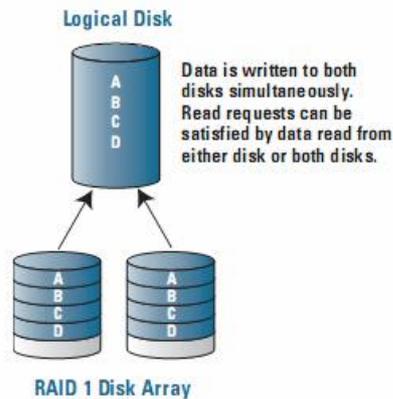
สาเหตุที่ระบบเรดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ได้ เพราะสามารถช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลแต่ละแถบได้พร้อมกัน แม้ว่าข้อมูลเหล่านั้นจะถูกจัดเก็บไว้ต่างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทำให้มีความเร็วเพิ่มมากขึ้นในการเข้าถึงข้อมูล ต่างจากการใช้ฮาร์ดดิสก์เพียงตัวเดียวในการเข้าถึงข้อมูลซึ่งทำให้เกิดปัญหาคอขวดได้ แต่เรด 0 นี้ สามารถทำให้ข้อมูลกระจายออกมาจากทุกไดรฟ์ในระบบอย่างพร้อมเพรียงกัน จึงสามารถเพิ่มความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลได้มากขึ้นหลายเท่าตัว

อย่างไรก็ตาม เรด 0 นี้มีข้อเสียตรงที่ไม่สามารถรับประกันการกู้คืนข้อมูล หากเกิดความผิดพลาดหรือขัดข้องในระหว่างการทำงาน เนื่องจากไม่มีการสำรองข้อมูลดังเช่นระบบเรดระดับอื่น นอกจากนี้ เรด 0 ยังมีข้อเสียในเรื่องการป้องกันความเสียหาย เนื่องจากระบบจะเพิ่มความเสี่ยงในการสูญเสียบางฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หนึ่งทำงานไม่ได้ จะไม่สามารถเรียกขุดข้อมูลที่ถูกแยกเก็บในแต่ละฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ออกมาได้

### 2.1.1.2 เรด 1 (RAID 1)

เรด 1 สามารถปกป้องข้อมูล ในกรณีพื้นผิวทางกายภาพของดิสก์เกิดความผิดพลาดได้ดีกว่าเรด 0 โดยใช้ระบบ **การสร้างดิสก์กระจกเงา (Disk Mirroring)** เป็นฮาร์ดดิสก์เสมือน (Logical Disk) เพื่อใช้เก็บข้อมูลที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์กายภาพ (Physical Disk) ซ้ำอีกชุดหนึ่ง ดังภาพ

ที่ 2-1 อย่างไรก็ตามการใช้เรด 1 นั้นทำให้ต้องสูญเสียพื้นที่จัดเก็บข้อมูลไปครึ่งหนึ่ง เพื่อเก็บข้อมูลซ้ำ



ภาพที่ 2-1 สถาปัตยกรรมของเรด 1 (Adaptec, 2005)

การตั้งค่าการทำงานของเรด 1 นี้ โปรแกรมจัดการการทำงานจะสั่งให้เรดคอนโทรลเลอร์จัดเก็บข้อมูลสำรองที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ย่อยภายในระบบเรด (ฮาร์ดดิสก์เสมือน 1 ไดรฟ์จะประกอบไปด้วยตัวฮาร์ดดิสก์ย่อยหลายตัวทำงานร่วมกัน) ซึ่งกล่าวได้ว่า ข้อมูลชุดเดียวกันจะถูกทำการบันทึกซ้ำไปตามฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ภายในระบบ ทำให้เมื่อเกิดกรณีข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หนึ่งสูญหาย จะสามารถกู้ข้อมูลที่ทำการสำรองไว้ที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อีกตัวกลับคืนมาได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้อาจกำหนดให้เรด 1 มีชุดดิสก์กระจก (Mirror Set) หนึ่งชุดหรือมากกว่าหนึ่งชุดได้ โดยชุดดิสก์กระจกแต่ละชุดอาจมีขนาดความจุที่แตกต่างกัน

ในขณะที่ความสามารถในการอ่านข้อมูลสามารถเพิ่มขึ้นได้ ด้วยการที่ระบบการบันทึกข้อมูลซ้ำนี้จะกระจายการบันทึกข้อมูลไปตามฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ย่อยภายในระบบ ซึ่งทำให้เมื่อมีการร้องขอข้อมูลมาจะช่วยลดปัญหาความคับคั่งของการเขียนและอ่านข้อมูลที่อาจเกิดขึ้น หากมีการบันทึกข้อมูลนั้นรวมอยู่บนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เดียวกันซึ่ง ตัวอย่างเช่น หากมีคำร้องเพื่อขออ่านข้อมูล 3 คำร้องเข้ามายังระบบ โดยที่คำร้องที่ 1 ต้องการอ่านข้อมูลที่ บล็อก (Block) หมายเลข 0 คำร้องที่ 2 และที่ 3 ต้องการอ่านข้อมูลจาก บล็อกหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ตามลำดับ ในเรด 1 คำร้องทั้งสามนี้สามารถทำพร้อมกันได้ เนื่องจากเป็นการเข้าถึงข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์คนละตัว นั้นหมายความว่าแต่ละบล็อกเปรียบเสมือนเป็นฮาร์ดดิสก์แต่ละตัว ที่ทำงานอยู่ภายใต้ระบบเรดระบบจึงสามารถอ่านข้อมูลได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน จึงช่วยลดภาระและลดเวลาในการเข้าถึงข้อมูลได้

### 2.1.1.3 เรด 2 (RAID 2)

เรด 2 เป็นระบบจัดเก็บที่พบในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อการใช้งานในทางธุรกิจทั่วไป จุดเด่นของเรดระดับนี้คือ ความสามารถในการปกป้องข้อมูลที่เหนือกว่าระดับอื่น ด้วยการสร้างระบบป้องกันปัญหาข้อมูลสูญหาย โดยการเพิ่ม รหัสแก้ไขข้อผิดพลาดหรือ รหัสอีซีซี (Error Correction Code หรือ ECC) สำหรับข้อมูลแต่ละแถบ ซึ่งรหัสอีซีซีที่ใช้บนเรด 2 นี้ คำนวณในรูปแบบเดียวกับรหัสตรวจสอบข้อผิดพลาดในโมเด็มหรือในหน่วยความจำทั่วไป ทั้งนี้เรด 2 จะสร้างบล็อกของรหัสอีซีซีสำหรับข้อมูลแต่ละบล็อก และจัดเก็บบล็อกของรหัสอีซีซีนี้ไว้บนดิสก์เสมือน

การสร้างบล็อกของรหัสอีซีซีนี้ ทำโดยการคำนวณผลบวกระดับบิตของชุดข้อมูลในบล็อก ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่าการตรวจสอบผลรวม (Checksum) โดยที่จะมีการเติมค่าผลรวมนี้ต่อท้ายแต่ละชุดข้อมูล เพื่อทำการระบุตัวตนและช่วยในการรวบรวมข้อมูลเมื่อมีความต้องการอ่านเกิดขึ้น

เมื่อมีการเรียกอ่านข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ระบบจะทำการประมวลผลตัวเลขค่าผลรวมนี้ทำการเปรียบเทียบกับรหัสแก้ไขข้อผิดพลาดที่กำหนดสูตรการคำนวณไว้ หากตัวเลขตรงกันชุดข้อมูลนั้นจะถูกอ่านขึ้นมาอย่างสมบูรณ์ แต่หากตัวเลขไม่ตรงกัน ข้อมูลที่สูญหายจะถูกคำนวณขึ้นมาใหม่ด้วยการใช้ค่าผลรวมที่อยู่ก่อนหน้าและถัดไปเป็นชุดอ้างอิง เพื่อทำการกู้ข้อมูลขึ้นมา

### 2.1.1.4 เรด 3 (RAID 3)

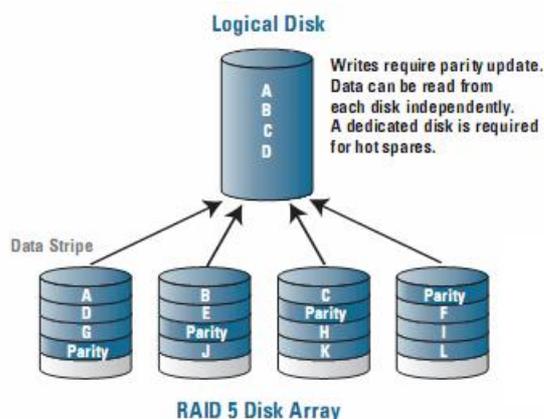
ระบบเรดระดับนี้เป็นารประยุกต์รูปแบบมาจากเรด 0 ซึ่งมีความสามารถด้านความจุและความเร็วในการอ่านเขียน แต่ยังคงไว้ซึ่งความสามารถในด้านปกป้องความเสียหาย โดยใช้ประโยชน์จากเทคนิคจัดเก็บข้อมูลจากเรด 0 โดยจะทำการบันทึกแต่ละแถบข้อมูลไปตามไดรฟ์ย่อยภายใต้ระบบเรด แต่จะยกเว้นไว้หนึ่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อจัดเก็บค่าข้อมูล ซึ่งใช้ในการเรียกข้อมูลขึ้นมา ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่จัดเก็บค่าข้อมูลนี้จะถูกแบ่งเป็นแถบข้อมูลเช่นเดียวกัน โดยค่าข้อมูลแต่ละแถบนี้จะบันทึกค่าข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูลหลักที่กระจายไปตามแต่ละฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งค่าที่จัดเก็บนี้จะเป็นค่าของข้อมูลที่ว่า อ่านข้อมูลจากที่ใดหรือเป็นการเขียนข้อมูลลงไปที่ใด ซึ่งด้วยวิธีนี้จะช่วยให้ในกรณีที่ข้อมูลเกิดปัญหาหรือเกิดสูญหายไป สามารถกู้ข้อมูลกลับโดยใช้ค่าข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์พิเศษเป็นค่าอ้างอิง

### 2.1.1.5 เรด 4 (RAID 4)

เรด 4 นี้มีแนวคิดที่คล้ายคลึงกับเรด 3 แต่จะเน้นความสำคัญไปที่ประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันที่ต่างกันไป ตัวอย่างเช่น โปรแกรมฐานข้อมูลที่ต้องเกี่ยวข้องกับไฟล์ขนาดใหญ่ที่มีความต่อเนื่องกันและยังมีความแตกต่าง นั่นคือระดับความลึกของแถบข้อมูลที่เรด 4 จะมีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งโดยปกติขนาดในเรด 2 จะช่วยให้โปรแกรมจัดการระบบเรดสามารถทำงานร่วมกับดิสก์แต่ละตัวได้อย่างเป็นอิสระต่อกันมากกว่าเรด 3 ซึ่งจะช่วยให้การจัดการเก็บข้อมูลและการเรียกอ่านข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ สามารถทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

อย่างไรก็ตาม สิ่งที่จะตามมาจากการใช้งานเรด 4 นั่นคือ ปัญหาการติดขัดของข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ใช้ในการจัดเก็บค่าพาริตี ซึ่งต้องใช้หลักการทำงานที่ยุ่งยากกว่าและเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ระบบเรดระดับนี้ไม่ได้รับความนิยมมากนัก

### 2.1.1.6 เรด 5 (RAID 5)



ภาพที่ 2-2 สถาปัตยกรรมของเรด 5 (Adaptec, 2005)

เรด 5 เป็นระดับที่ใช้งานกันมากที่สุด โดยจะทำการแก้ปัญหาการติดขัดในการเขียนข้อมูลที่เกิดขึ้นในเรด 4 ด้วยการกระจายแถบพาริตีไปตามฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ย่อย ดังภาพที่ 2-2 ซึ่งด้วยวิธีนี้จะช่วยบรรเทาการทำงานที่มุ่งไปที่ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพียงตัวเดียว จึงช่วยเพิ่มความสามารถของระบบโดยรวมได้มากยิ่งขึ้น โดยวิธีที่เรดระดับนี้ช่วยลดปัญหาการติดขัดในการเขียนข้อมูล จากการใช้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เดียวในการคำนวณพาริตี ทำให้มีความเสี่ยงของปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น จึง

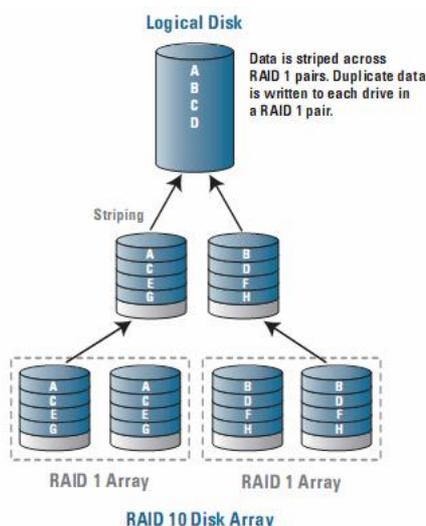
จัดการให้ทุกฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่อยู่ภายในระบบเรดทำการคำนวณพาริตี เพื่อทำการจัดเก็บค่าของข้อมูลกระจายไปตามแต่ละฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ วิธีนี้จึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพได้อย่างมาก

### 2.1.1.7 เรดระดับอื่น

นอกจากระดับมาตรฐานทั้ง 6 ระดับข้างต้น ยังมีระดับย่อยที่เกิดขึ้นตามความต้องการที่แตกต่างกันออกไป จึงต้องมีการออกแบบระบบเรด เพื่อตอบสนองความต้องการที่เกิดขึ้น โดยมีตัวอย่างเช่น

เรด 6 จะให้ความสำคัญกับความป้องกันความเสียหาย ในระดับสูงมาก

เรด 10 (หรือที่รู้จักกันในนามของเรด 0 และ 1) มีความสามารถในด้านการส่งผ่านข้อมูลเข้าและข้อมูลออก (Input/Output) และการปกป้องความเสียหาย ดังภาพที่ 2-3



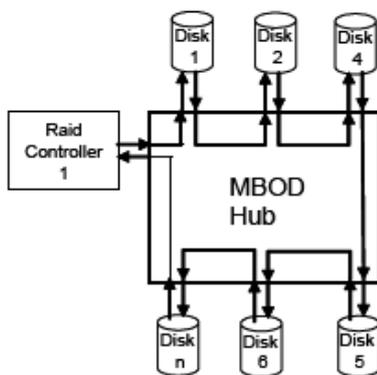
ภาพที่ 2-3 สถาปัตยกรรมของเรด 10 (Adaptec, 2005)

เรด 53 จะเป็นส่วนผสมของเรด 5 และเรด 3 เพื่อความสามารถในการอ่านและเขียนข้อมูล อย่างไรก็ตาม สามารถออกแบบระบบเรด เพื่อตอบสนองการทำงานที่เฉพาะเจาะจงได้ด้วยศักยภาพและความยืดหยุ่นของการออกแบบระบบเรด โดยผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเรดแต่ละระดับแสดงดังตารางที่ 2-1

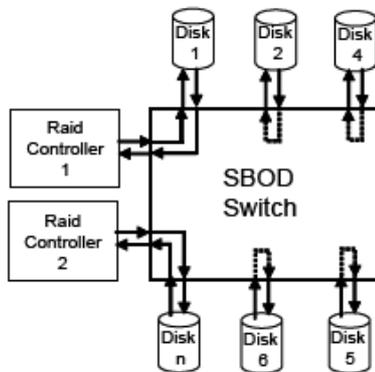
ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเรดแต่ละระดับ (Adaptec, 2005)

Features	RAID 0	RAID 1	RAID 1E	RAID 5	RAID 5EE	RAID 6	RAID 10	RAID 50	RAID 60
Minimum # Drives	2	2	3	3	4	4	4	6	8
Data Protection	No Protection	Single-drive failure	Single-drive failure	Single-drive failure	Single-drive failure	Two-drive failure	Up to one disk failure in each sub-array	Up to one disk failure in each sub-array	Up to two disk failures in each sub-array
Read Performance	High	High	High	High	High	High	High	High	High
Write Performance	High	Medium	Medium	Low	Low	Low	Medium	Medium	Medium
Read Performance (degraded)	N/A	Medium	High	Low	Low	Low	High	Medium	Medium
Write Performance (degraded)	N/A	High	High	Low	Low	Low	High	Medium	Low
Capacity Utilization	100%	50%	50%	67% - 94%	50% - 88%	50% - 88%	50%	67% - 94%	50% - 88%
Typical Applications	High end workstations, data logging, real-time rendering, very transitory data	Operating system, transaction databases	Operating system, transaction databases	Data warehousing, web serving, archiving	Data warehousing, web serving, archiving	Data archive, backup to disk, high availability solutions, servers with large capacity requirements	Fast databases, application servers	Large databases, file servers, application servers	Data archive, backup to disk, high availability solutions, servers with large capacity requirements

### 2.1.2 โมเดลการเชื่อมต่อระบบเรด (RAID Topologies)



ภาพที่ 2-4 โมเดลการเชื่อมต่อแบบ MBOD (Chevalier, Ibbett, & Courtney, Dec 2004)



ภาพที่ 2-5 โมเดลการเชื่อมต่อแบบ SBOD (Chevalier et al., Dec 2004)

ระบบเรดมีโมเดลการเชื่อมต่อหรือทอพอโลยี (Topology) สามรูปแบบด้วยกัน (Courtney & Chevalier, Feb 2005) ได้แก่ การเชื่อมต่อกลุ่มดิสก์หรือ เจบอด (Just a Bunch of Disks - JBOD), การเชื่อมต่อกลุ่มดิสก์พร้อมระบบจัดการหรือ เอ็มบอด (Managed Bunch of Disks - MBOD) ดังภาพที่ 2-4 และการเชื่อมต่อกลุ่มดิสก์ด้วยระบบสวิตช์หรือ เอสบอด (Switched Bunch of Disks - SBOD) ดังภาพที่ 2-5 ซึ่งในสองทอพอโลยีแรก มีข้อเสียด้านความไม่คงทนต่อความล้มเหลวของระบบ กล่าวคือเมื่อระบบเกิดความล้มเหลว ฮาร์ดดิสก์แต่ละส่วนจะไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ปัจจุบันจึงนิยมต่อเชื่อมระบบเรดโดยใช้ทอพอโลยีที่สาม คือการต่อเชื่อมโดยใช้สวิตช์ เนื่องจากมีการพัฒนาในส่วนของความคงทนต่อความล้มเหลวเพิ่มขึ้น

### 2.1.3 เรดคอนโทรลเลอร์

เรดคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานในคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์และระบบจัดเก็บข้อมูล สามารถติดตั้งได้ทั้งภายในคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ในลักษณะแผ่นวงจร (Card) หรือชิป (Chip) หรือติดตั้งภายนอกคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ในลักษณะเคส (Case) ที่แยกเป็นอิสระ เรดคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่จัดการระบบการเข้าถึงข้อมูลของระบบเรด โดยจะมองระบบเรดในทางกายภาพ (Physical) และทำหน้าที่ส่งข้อมูลเหล่านั้นไปที่คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ โดยคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์จะมองระบบเรดในเชิงตรรกะ (Logical) เช่น ระบบเรดมีฮาร์ดดิสก์ 6 ตัว ในทางกายภาพ แต่คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์จะมองเห็นเป็นเพียงไดรฟ์เพียงเท่านั้นในเชิงตรรกะ โดยอุปกรณ์นี้ถือว่าเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญที่สุดในระบบจัดเก็บแบบเรด เรดคอนโทรลเลอร์เป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนาจากการที่เครือข่ายพัฒนาให้ส่งข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น คอนโทรลเลอร์ของระบบการจัดเก็บข้อมูลจึงจำเป็นต้องพัฒนาให้สามารถทำงานได้กับการรับส่งข้อมูลในเครือข่ายที่มีความรวดเร็วขึ้นและมีปริมาณของข้อมูลมากขึ้น ดังนั้นอัตราการทำงานของเรดคอนโทรลเลอร์ต่อหนึ่งคำสั่งจะต้องมากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้ต้องมีการพัฒนาความสามารถของเรดคอนโทรลเลอร์ให้มีความสามารถในการจัดการความซับซ้อนของข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกัน อย่างไรก็ตามการแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนขึ้นทำให้เกิดปัญหาคอขวด (Bottle neck) ตามมา จึงมีความต้องการให้เรดคอนโทรลเลอร์สามารถจัดการกับปัญหาคอขวดได้ด้วย

## 2.1.4 ปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบเรด

ปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของเรด (Intel, 2005) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเรด โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 2.1.4.1 แบนด์วิธของพีซีไอบัส (PCI Bus Bandwidth)

ปัจจัยการส่งผ่านคำสั่งการอ่านและเขียนข้อมูลจากบัสฮอสต์แอดAPTERของเครื่องโฮสต์ (PC-based Host Bus Adapter - HBA) ไปสู่ระบบเรดต้องส่งข้อมูลผ่านระบบพีซีไอบัส ซึ่งระบบบัสคือท่อในการส่งข้อมูลทั้งการส่งผ่านและการส่งกลับข้อมูลไปยังอุปกรณ์พีซีไอ โดยเหตุที่บัสฮอสต์แอดAPTERของเครื่องโฮสต์ควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูลไปยังระบบเรดโดยตรง ทำให้ปริมาณข้อมูลที่ถูกส่งผ่านบัสพีซีไอเป็นสิ่งสำคัญต่อประสิทธิภาพ พิจารณาจากสูตรพีซีไอมาตรฐานอุตสาหกรรมดังนี้

$$PCI\ bus\ throughput\ (MBps) = PCI\ bus\ width / 8 * Bus\ Speed$$

งานวิจัยนี้กำหนดให้พีซีไอเป็นปัจจัยที่อยู่นอกเหนือการปรับแต่งค่า เพราะสามารถสรุปได้ว่าพีซีไอบัสที่ให้ค่าสูงจะส่งผลให้มีการส่งผ่านข้อมูลที่มากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อเวลาการประมวลผลให้เร็วขึ้น

### 2.1.4.2 ขนาดของแถบข้อมูล (Stripe Size)

ปัจจัยขนาดของแถบข้อมูลจะเกี่ยวข้องกับขนาดเซกเมนต์ (Segment) ของการอ่านเขียนข้อมูลและจำนวนของฮาร์ดดิสก์ในอาร์เรย์ ซึ่งคำสั่งการอ่านและเขียนข้อมูล แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ 1) การแบ่งเป็นหลายแถบข้อมูลและใช้ฮาร์ดดิสก์ทั้งหมดในอาร์เรย์ 2) การไม่แบ่งแถบข้อมูลและใช้ฮาร์ดดิสก์เพียงตัวเดียว ในงานวิจัยนี้จะใช้ปัจจัยขนาดของแถบข้อมูลที่ต่างกัน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการประมวลผล

### 2.1.4.3 อัตราส่วนระหว่างคำสั่งการอ่านข้อมูลกับคำสั่งการเขียนข้อมูล (Ratio of Read versus Write Operations)

ปัจจัยอัตราส่วนระหว่างคำสั่งการอ่านข้อมูลกับคำสั่งการเขียนข้อมูล ซึ่งความเร็วในการอ่านข้อมูลจะต่างจากการเขียนข้อมูล ดังนั้นภาระงานที่มีปริมาณคำสั่งอ่านและเขียนข้อมูลต่างกัน จะส่งผลต่อเวลาในการประมวลผล โดยงานวิจัยนี้นำภาระงานที่ได้จากระบบการทำงานจริงบนเซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูล (Database Server) ซึ่งมีอัตราการอ่านข้อมูลต่อการเขียนข้อมูลที่แตกต่างกัน มาใช้ในการทดลอง

### 2.1.4.4 ระดับเรด (RAID Level)

ปัจจัยระดับของเรดมีผลต่อประสิทธิภาพของการอ่านและเขียนข้อมูล เนื่องจากในแต่ละระดับของเรดมีการสำรองข้อมูลที่แตกต่างกัน ในระบบเรดที่มีการสำรองข้อมูล (Backup) จึงมีคำสั่งที่ใช้การเขียนข้อมูลมากกว่าระบบเรดที่มีเพียงการเขียนพาริตี ในการศึกษาถึงระดับของเรดนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกระบบเรดในระดับที่ผู้ใช้งานจริงมากที่สุดคือเรด 1 และเรด 5

### 2.1.4.5 จำนวนของดิสก์ (Number of Disks)

ปัจจัยจำนวนฮาร์ดดิสก์ในระบบเรดจะมีผลต่อประสิทธิภาพเช่นกัน โดยจำนวนฮาร์ดดิสก์มากจะทำให้สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้รวดเร็ว แต่จำเป็นต้องแลกกับการคำนวณแถบข้อมูลที่ ต้องเสียไป โดยงานวิจัยนี้กำหนดจำนวนฮาร์ดดิสก์ที่จะศึกษาไว้ที่ 8 ดิสก์

### 2.1.4.6 แคชของไดร์ฟบนระบบเรด (RAID Logical Drive Cache)

ปัจจัยแคชของไดร์ฟบนระบบเรด การเพิ่มแคชที่คอนโทรลเลอร์สามารถทำให้ประสิทธิภาพการเขียนข้อมูลดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การเพิ่มแคชนั้นจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลให้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เพราะวาระบบปฏิบัติการส่วนใหญ่จะมีฟีเจอร์ (Feature) การใช้แคชแบบในตัว (Built-in)

### 2.1.4.7 แคชของดิสก์ (Disk Cache)

ปัจจัยแคชของดิสก์จะเพิ่มประสิทธิภาพของการอ่านข้อมูลจากพื้นที่บนดิสก์ที่ติดต่อกันแบบเป็นลำดับ (Sequential) ให้สูงขึ้น การอ่านข้อมูลซึ่งโฮสต์คอมพิวเตอร์สามารถเข้าถึงข้อมูลจากดาต้าบัฟเฟอร์ (Data Buffer) ได้ แทนการเข้าถึงข้อมูลโดยตรงจากดิสก์จะทำให้เวลาแฝง (Latency Time) ต่ำ

อีกด้านหนึ่ง แคชดิสก์ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของการเขียนข้อมูลด้วย ดิสก์จะรับข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่บัฟเฟอร์ในทันที หลังจากนั้นดิสก์จะรายงานโฮสต์ว่าทำคำสั่งเขียนข้อมูลสำเร็จแล้ว โดยดิสก์จะสันนิษฐานไว้ก่อนว่าเขียนข้อมูลลงบนดิสก์แล้วและจากนั้นจะเขียนข้อมูลในภายหลัง

### 2.1.4.8 อัตราส่วนระหว่างการเข้าถึงข้อมูลแบบสุ่มกับแบบลำดับ (Ratio of Sequential versus Random Operations)

ปัจจัยอัตราส่วนระหว่างการเข้าถึงข้อมูลแบบสุ่มกับแบบลำดับ สภาพแวดล้อมของคำสั่งการอ่านข้อมูลจำนวนมากที่มีการอ่านข้อมูลในลักษณะเซกเตอร์ที่ติดกันและการทำนายข้อมูลบนแคช (Predictive caching) จะทำให้อัตราการอ่านข้อมูลพบ (Read-Ahead hits) ในจำนวนสูงแตกต่างจากการอ่านข้อมูลในสภาพแวดล้อมของข้อมูลที่เซกเตอร์ไม่ติดกัน (Random) จะทำให้เกิดเวลาแฝงสูงและการทำนายข้อมูลบนแคช จะทำให้อัตราการอ่านข้อมูลพบในอัตราที่ต่ำ

### 2.1.5 ประโยชน์ของระบบเรด

ระบบเรดแต่ละระบบนั้นแตกต่างกันที่ (ก) ระดับที่กำหนด (ข) เรดคอนโทรลเลอร์ และ (ค) การกำหนดค่าตั้งต้น เพราะประสิทธิภาพของระบบเรดจะขึ้นอยู่กับแอปพลิเคชัน (Application) ที่ใช้กับระดับของเรด แต่โดยทั่วไปแล้วจะใช้ระบบเรดเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลและเพิ่มระดับการปรับแต่งค่า (Configuration) ในการจัดเก็บด้วย ที่สำคัญป้องกันการจัดเก็บข้อมูลในกรณีที่ยาร์ดดิสก์ใดรพเกิดทำงานผิดพลาด

ระบบเรดยังสามารถขยายหน่วยความจำ โดยการผนวกหลายไดรฟ์เข้าด้วยกัน แต่ประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับระดับของเรดที่ใช้ด้วย ซึ่งโดยปกติแล้วระดับที่ใช้สำหรับการสำรองการเก็บ

ข้อมูลนั้น ต้องการหน่วยความจำสูงขึ้นเป็นสองเท่า และเหตุผลสุดท้ายในการนำระบบเรดมาใช้ ก็คือ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูลให้ดีขึ้น เพราะในแต่ละระดับของเรดที่เลือกใช้ ความแตกต่างของประสิทธิภาพก็จะแตกต่างกันไป โดยเฉพาะการใช้งานกับแอปพลิเคชันที่ต้องการความเร็วสูงนั้น ระบบจัดเก็บข้อมูลแบบเรดจะเหมาะสมที่สุด

ระบบเรดนั้นเป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาที่ดี สำหรับองค์กรที่ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพความเร็วในการจัดการกับข้อมูลและเพิ่มความจุของระบบฐานข้อมูล ระดับของเรดนั้นถูกแบ่งออกเป็นหลายระดับ ตั้งแต่ระดับแบบง่ายไปจนถึงแบบที่ซับซ้อนและมีราคาค่อนข้างแพง จากที่กล่าวมา ระบบเรดมีประโยชน์มาก แต่ข้อจำกัดอยู่ที่ระดับราคาที่สูง

## 2.1.6 ข้อผิดพลาดบนดิสก์ (Disk Errors)

ความผิดพลาดในการเข้าถึงข้อมูล คือเหตุการณ์ที่ไม่สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ โดยจำแนกข้อผิดพลาดได้ 4 ประเภท (Bairavasundaram, Goodson, Pasupathy, & Schindler, 2007) ดังนี้

### 2.1.6.1 ความผิดพลาดที่แฝงในเซกเตอร์ (Latent Sector Error)

ข้อผิดพลาดนี้เกิดจากเซกเตอร์บนฮาร์ดดิสก์ที่ไม่สามารถอ่านหรือเขียนข้อมูลได้ หรือเมื่อมีการตรวจสอบรหัสอีซีซีผิดพลาด ข้อมูลที่ถูกเก็บในเซกเตอร์นี้จะสูญหาย

### 2.1.6.2 ความผิดพลาดเนื่องจากสถานะไม่พร้อมทำงาน (Not-Ready-Condition Errors)

ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นเหล่านี้ อาจมีความหมายโดยนัยว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่พร้อมที่จะรับคำสั่งจากโฮสต์คอมพิวเตอร์ ข้อผิดพลาดนี้สามารถแสดงว่าฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ จึงสามารถแก้ปัญหาได้โดยการรอและการทำซ้ำ

### 2.1.6.3 ความผิดพลาดในระหว่างกู้คืนข้อมูล (Recovered Errors)

ข้อผิดพลาดเหล่านี้จะถูกส่งกลับมาจากฮาร์ดดิสก์ เมื่อการเข้าถึงเซกเตอร์ต้องทำซ้ำใน ระดับฮาร์ดดิสก์ หรือการตรวจสอบข้อผิดพลาดในการดึงข้อมูลขึ้นมา ถึงแม้ว่าการปฏิบัติการจะ เสร็จสมบูรณ์และส่งกลับข้อมูลได้ ข้อผิดพลาดเหล่านี้ทำงานดังเช่นการเตือน

### 2.1.6.4 ความผิดพลาดจากดิสก์เสื่อมสภาพ

ฮาร์ดดิสก์ที่มีอายุการใช้งานนาน ย่อมส่งผลต่อความเสื่อมสภาพของอุปกรณ์จนไม่ สามารถใช้งานได้ จึงทำให้ข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 งานวิจัยด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเรด

เนื่องด้วยในปัจจุบันระบบจัดเก็บข้อมูลได้เข้ามามีส่วนช่วยในการจัดการข้อมูลขององค์กร ประกอบกับการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของปริมาณข้อมูล ทำให้มีการพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูล รองรับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้น โดยระบบเรดได้รับความนิยมที่แพร่หลายในปัจจุบัน ทำให้ช่วง ทศวรรษที่ผ่านมา มีงานวิจัยหลายชิ้น นำเสนอแนวคิดเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของระบบเรด เพื่อให้การ จัดเก็บข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยแพทเธอร์สันเสนอแนวคิดในการออกแบบระบบการ จัดเก็บข้อมูลแบบเรดเป็นครั้งแรก (D. A. Patterson, 1988) (Wilkes, Golding, Staelin, & Sullivan, 1996) แต่ได้รับความนิยมอย่างมากในงานวิจัยของมหาวิทยาลัยแห่งรัฐแคลิฟอร์เนีย เบิร์คเลย์ (Wilkes et al., 1996) สำหรับการพัฒนาระบบเรดให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถูกเสนอไว้ใน หลายงานวิจัย โดยงานวิจัยของกลุ่มนักวิจัยดังกล่าว มีดังต่อไปนี้

ลีและหวัง (D. Li & Wang, 2004) ศึกษาแนวทางเพื่อลดการใช้พลังงานของระบบเรด ขนาดใหญ่ ที่ระดับของเรดคอนโทรลเลอร์ โดยการปรับปรุงให้เรดคอนโทรลเลอร์จัดการกับการ ควบคุมความซ้ำซ้อนของข้อมูล เลือกใช้นโยบายการจัดการแคชเลือกนำข้อมูลเข้าและส่งข้อมูล

ออก ตามอัตราการใช้พลังงาน ซึ่งผลการทดลองบนระบบต้นแบบพบว่า แนวทางดังกล่าวสามารถประหยัดพลังงาน ในเรด 1 และเรด 5 ได้ 19% และ 7% ตามลำดับ

งานวิจัยที่ปรับปรุงฮาร์ดแวร์ Brain White (White, Ng, & Hillyer, Jan 2001) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเรดที่ใช้ฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI (Small Computer System Interconnect) กับระบบเรดที่ใช้ฮาร์ดดิสก์แบบ IDE (Integrated Device Electronics) ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพนี้แสดงให้เห็นว่า ถ้าเป็นปริมาณงานแบบเรียงลำดับ ระบบเรดที่ใช้ฮาร์ดดิสก์แบบ IDE จะทำงานได้เร็วกว่าระบบเรดที่ใช้ฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI แต่ถ้าเป็นปริมาณงานแบบสุ่ม จะทำให้ระบบเรดที่ใช้ฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI ทำงานได้เร็วกว่าระบบเรดที่ใช้ฮาร์ดดิสก์แบบ IDE

งานวิจัยที่ปรับปรุงทอพอโลยีการเชื่อมต่อ นอกจากนี้ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์และการปรับแต่งค่าระบบเรดคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ระบบเรดมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้แก่ การปรับแต่งค่าของระบบการจับเก็บแบบเรด เพื่อเพิ่มความเร็วในการอ่านและเขียนข้อมูล (Courtney & Chevalier, Apr 2004) การปรับแต่งระบบการจับเก็บแบบเรด เพื่อลดการติดตั้งไดรเวอร์ (Courtney & Chevalier, Jul 2005) และการสร้างเครื่องมือที่ช่วยประเมินประสิทธิภาพของระบบการจับเก็บแบบเรด (Y. Li, Courtney, Chevalier, & Ibbett, 2006)

## 2.2.2 งานวิจัยด้านการใช้ระบบจำลอง

งานวิจัยที่ใช้ซอฟต์แวร์เสสย์ในการสร้างแบบจำลอง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ดังตัวอย่าง เสสย์นำมาใช้สร้างระบบจำลองในงานวิจัยการเปรียบเทียบทอพอโลยี (Topology) แบบ SBOD และแบบ MBOD โดยใช้ SPC-1 traffic ควบคุม (Courtney & Chevalier, 2005) และนำมาใช้ในการทดลองการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสถาปัตยกรรมระบบการจับเก็บข้อมูลที่ใช้ทอพอโลยีแบบ SBOD และแบบ MBOD โดยใช้ IOmeter (Chevalier et al., Dec 2004) เพื่อแสดงการจัดการปัญหาคอขวดในการประเมินประสิทธิภาพของโพรโทคอล (Protocol) การสื่อสาร ขณะเดียวกัน เสสย์นำมาใช้ในการแสดงการทำงานระบบที่ควบคุมด้วยโพรโทคอล FC-AL (Courtney & Chevalier, Jul 2005) และนำมาใช้ในการจำลองสถาปัตยกรรมการกู้คืนข้อมูลแบบ Dash ในหน่วยความจำ (Chevalier et al., Dec 2004)

นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์แฮสนำมาใช้ในการสร้างระบบจำลองที่ใช้ในการเรียนการสอนหรือ การสาธิต เช่น ระบบการสอนออนไลน์สำหรับสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ ซอฟต์แวร์นี้ถูกสร้างเป็น ตัวแทนสาธิตให้นักเรียนทำความเข้าใจในสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ การสาธิตเกี่ยวข้องกับ ช่วงเวลาก่อนและในขณะทำงานของระบบจำลองสถาปัตยกรรม DLX ซึ่งใช้แผนภาพอนิเมชันและ การแสดงลำดับของข้อความบนวินโดว์ (Windows) โดยอธิบายว่าเกิดอะไรขึ้นในระบบจำลองและ อธิบายถึงระบบจำลองอื่น เช่น Hazards, Multi-cycle Operations, Scoreboarding (Strom & Yemini, 1985)

ความนิยมในการใช้ระบบจำลอง สังเกตได้จากงานวิจัยที่ใช้ระบบจำลองกลายเป็นงาน หลักในการพัฒนาสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ แนวโน้มนี้ยืนยันโดยสถิติที่แสดงการเพิ่มจำนวน ของงานวิจัยที่ใช้เทคนิคบนระบบจำลอง โดยดูได้จากงานวิจัยในสัมมนาวิชาการ International Symposium on Computer Architecture (ISCA) แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ระบบจำลองเพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็วจากร้อยละ 28 ของงานวิจัยที่ใช้ระบบจำลองในปี ค.ศ.1981 เป็นร้อยละ 90 ในปี ค.ศ.2001 (Skadron et al., 2003) โดยทิศทางยังคงเป็นเช่นนี้ต่อไป

### 2.2.3 งานวิจัยด้านการสร้างความสอดคล้องข้อมูล

ไอสเลย์ และคณะ (Eisley, Peh, & Shang, 2006) ได้นำเสนอการใช้งานโปรโตคอลสร้างความ สอดคล้องข้อมูลบนแคชในเครือข่าย เพื่อจัดการกับข้อมูลที่ถูกรบกวนที่เรียกใช้บ่อยในหน่วยความจำ ใช้เวลาในการเข้าถึงได้ช้า โดยคัดลอกไว้ในแคชของเราเตอร์ โดยสามารถลดความล่าช้าจากการ เข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำได้

แกรห์น และ สเตนสตรอม (Grahn & Stenström, 1996) ได้ศึกษาถึงการลดอัตราการเกิด อ่านข้อมูลไม่พบบนแคช (Read Miss) บนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรโตคอลสร้างความ สอดคล้องข้อมูลบนแคชสำหรับหน่วยความจำที่เข้าร่วมกันของหลายหน่วยประมวลผล (Shared-memory Multiprocessors) โดยนำเสนอการอัปเดตข้อมูลบนแคชสองลักษณะคือ Competitive-update Mode และ Migratory Mode โดยผลที่ได้สามารถลดทราฟฟิก (Traffic) และอัตราการ อ่านข้อมูลไม่พบ (Read Miss) เมื่อเปรียบเทียบกับ Write-Invalidate Protocol

บริษัท อินเทล กล่าวถึงการนำเทคนิคความสอดคล้องกันของข้อมูลบนแคชดีส์มาใช้ 2 แบบ ดังนี้ (ก) Write Through และ Write Back

## 2.2.4 งานวิจัยด้านการปรับแต่งปัจจัยเชิงประสิทธิภาพ

พินไฮโร และคณะ (Pinheiro, Weber, & Barroso, Feb 2007) ศึกษาทิศทางการเกิดข้อผิดพลาดของระบบฮาร์ดดิสก์จำนวนมาก เปรียบเทียบการใช้งานของอายุดิสก์และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ พบว่าการดิสก์ที่มีอายุน้อยกว่าหนึ่งปีและดิสก์ที่มีอายุมากกว่าหนึ่งปีมีอัตราการเกิดข้อผิดพลาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดิสก์ที่มีอายุการใช้งานนานจะมีอัตราการเกิดข้อผิดพลาดที่สูง และอัตราการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บที่สูง จะทำให้อัตราการเกิดข้อผิดพลาดเพิ่มขึ้น

บริษัท อแดบเทค (Adaptec, 2005) กล่าวถึงประสิทธิภาพของระบบเรดที่ขึ้นอยู่กับรูปแบบการเข้าถึงข้อมูล (Access Pattern) เช่น การเข้าถึงแบบตามลำดับและแบบสุ่ม (Sequential/Random) และการเข้าถึงด้วยการอ่านหรือเขียนข้อมูล ซึ่งยังกล่าวถึงการปรับแต่งค่าระบบเรดซึ่งเป็นหนทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการเข้าถึงข้อมูลและการป้องกันข้อมูลสูญหายให้เหมาะสมกับการลงทุนมากที่สุด

ยอสเซฟ (Youssef, Aug 1995) ได้เพิ่มจำนวนของแคชบนดิสก์เพื่อช่วยในการอ่านและเขียนข้อมูล โดยไม่ต้องทำการค้นหาข้อมูลบนดิสก์ จึงไม่ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น และสามารถเพิ่มช่วงเวลาของการใช้พลังงานในแบตเตอรี่ให้ยาวนานขึ้น สำหรับคอมพิวเตอร์แบบพกพา

เดนีไฮ และคณะ (Denehy, Bent, Popovici, Arpaci-Dusseau, & Arpaci-Dusseau, 2004) ได้สร้างแอปพลิเคชันเชียร์ (Shear) เป็นเครื่องมือตรวจสอบคุณลักษณะการปรับแต่งค่าสำคัญของระบบเรดโดยอัตโนมัติ ฝ้าสังเกต (Monitor) ประสิทธิภาพ และตรวจหาค่าผิดพลาด (Error) จากการปรับแต่งค่าระบบเรดและข้อผิดพลาดบนดิสก์ เพื่อประโยชน์ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Parameter) แต่ละพารามิเตอร์ของดิสก์ในอาเรย์ และปรับปรุงประสิทธิภาพให้เพิ่มขึ้นจากข้อจำกัดของระบบที่มีเพียงดิสก์เดียว

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ทำให้เกิดคำถามเกี่ยวกับปรับแต่งค่าปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบเรดที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ ทั้งในเชิงประมาณงาน เวลาเฉลี่ยเพื่อเข้าถึงข้อมูล และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บข้อมูลบนดิสก์ ในสภาพการใช้งานจริงที่แตกต่างกัน

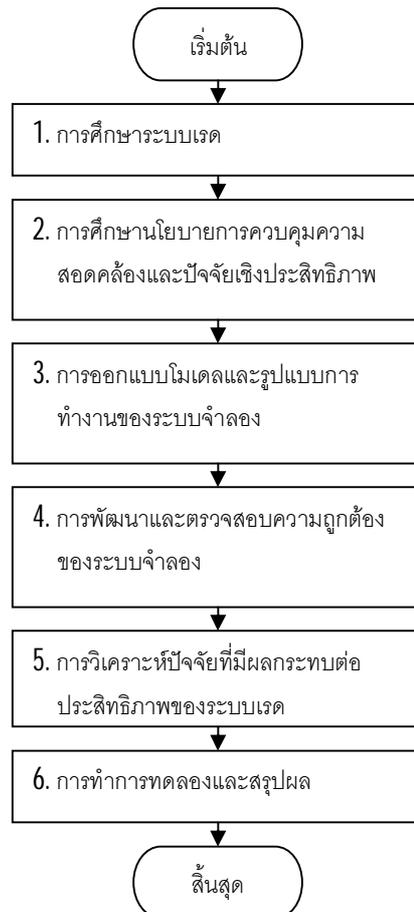
### บทที่ 3

#### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและการออกแบบระบบจำลอง

ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้ในบทนำ โดยส่วนแรกของบทจะกล่าวถึงลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ซึ่งอธิบายภาพรวมของลำดับขั้นตอนการศึกษาข้อมูล การทดลองปรับปัจจัยเชิงประสิทธิภาพ และการสรุปผลการทดลองในงานวิจัย ส่วนถัดมาของบทจะอธิบายเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ รวมทั้งรายละเอียดการออกแบบโครงสร้างของระบบจำลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยที่กระทำในงานวิจัยนี้ทั้งหมด สามารถจำแนกเป็น 6 ขั้นตอน ดังภาพที่ 3-1 มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1.1 การศึกษาระบบเรด

ขั้นตอนแรกของการทำงานวิจัยนี้ เริ่มต้นที่การศึกษาวิธีการทำงานของระบบเรด โดยจุดมุ่งหมายหลักเพื่อกำหนดระดับเรดที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัย ซึ่งระดับเรดที่เหมาะสมคือระดับ 1 และระดับ 5 เพราะมีลักษณะการทำสำรองข้อมูล เหตุที่เลือกเรดระดับนี้มาใช้ในงานวิจัย เนื่องจากเป็นระดับเรดที่นิยมใช้งาน (Yan, Chang-Sheng, Huai-yang, & Zhen, 2006) หากนำเรดระดับเหล่านี้ มาทำการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ค่าปัจจัยที่ให้ประสิทธิภาพเหมาะสมต่อระดับเรดเหล่านั้นแล้ว จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งที่จะนำไปปรับการตั้งค่าของระบบเรดในองค์กร

### 3.1.2 การศึกษานโยบายการควบคุมความสอดคล้องกันของข้อมูลและปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบเรด

หลังจากได้ศึกษาถึงระดับเรดที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานวิจัยเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือ ศึกษารูปแบบและขั้นตอนการทำงานของนโยบายการอ่านและเขียนข้อมูล ว่ามีลำดับขั้นตอนที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในระบบเป็นอย่างไร รวมถึงปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบเรด ที่สามารถนำมาปรับแต่งระบบให้เหมาะสมกับภาระงาน โดยในส่วนของปัจจัยเชิงประสิทธิภาพ จะศึกษาถึงปัจจัยที่ต้องปรับค่าตามลักษณะของภาระงาน ซึ่งการวิเคราะห์หรือการศึกษาความเป็นไปได้นี้ จะเน้นไปที่การศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการอ่านและเขียนข้อมูล การกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

### 3.1.3 การออกแบบโมเดลและรูปแบบการทำงานของระบบจำลอง

เมื่อทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้และสรุปได้ว่าสามารถปรับแต่งค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเรดได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การออกแบบโครงสร้างและรูปแบบการทำงานให้กับระบบจำลองที่จะพัฒนาขึ้น ซึ่งขั้นตอนการออกแบบนี้ประกอบด้วย การออกแบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบ รวมทั้งภาระงานและการรับส่งข้อมูลในระบบ การเลือกใช้เครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการสร้างระบบจำลอง โดยผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้ จะนำไปสร้างเป็นระบบจำลองในขั้นตอนถัดไป รายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.2

### 3.1.4 การพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลอง

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยในส่วนนี้ เป็นขั้นตอนของการลงมือพัฒนาระบบจำลอง เพื่อพิสูจน์หรือยืนยันแนวคิดของงานวิจัย ซึ่งก็คือการใช้ระบบจำลองปรับค่าปัจจัยเชิงประสิทธิภาพ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นหลังจากที่ได้ทำการออกแบบโครงสร้างและรูปแบบการทำงานของระบบจำลองเรียบร้อยแล้ว โดยในการทำงานของขั้นตอนนี้จะนำเอาโครงสร้างระบบจำลองที่ออกแบบไว้มาพัฒนาให้สามารถทำงานและปรับค่าปัจจัยเชิงประสิทธิภาพได้ รวมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของลำดับขั้นตอนการทำงานและผลลัพธ์ที่ได้จากระบบจำลอง

### 3.1.5 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด

หลังจากที่พัฒนาระบบจำลองสำเร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนการทำงานวิจัยต่อไปคือ นำระบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาทดลองปรับแต่งค่าปัจจัยเชิงประสิทธิภาพ โดยจำลองการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ได้รับคำสั่งจากภาระงานเชิงพาณิชย์ เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานทั้งในเชิงเวลา การกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ พร้อมทั้งบันทึกค่าที่ได้จากการทดลองในแต่ละครั้ง เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในขั้นตอนถัดไป

### 3.1.6 การทำการทดลองและสรุปผล

การวิเคราะห์ผลการทดลองเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการดำเนินงานวิจัย ซึ่งในขั้นตอนนี้จะนำเอาผลลัพธ์จากขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของระบบจำลองมาทำการวิเคราะห์ประเด็นที่ว่า ระบบเรดควรปรับค่าปัจจัยเชิงประสิทธิภาพแบบใดให้เหมาะสมกับภาระงานเชิงพาณิชย์ และควรเลือกระบบเรดระดับใดจึงจะเหมาะสมกับลักษณะภาระงานเชิงพาณิชย์ ซึ่งประเด็นที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ดังกล่าวคือ ตัวชี้วัดที่จะแสดงถึงผลสำเร็จของการปรับแต่งค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเรดที่เสนอในงานวิจัย โดยการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้จะแสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ผลการทดลองออกมาในรูปแบบกราฟเส้นและแผนภูมิที่แสดงแนวโน้มของปัจจัยเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพของระบบ

## 3.2 เครื่องมือสำหรับสร้างระบบจำลอง

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือในการสร้างระบบจำลองแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (DES: Discrete Event Simulation) ที่สามารถแสดงผลการทำงานในแต่ละขั้นตอน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานและผลลัพธ์ที่ได้ รายละเอียดของระบบจำลองและเครื่องมือที่ใช้ มีรายละเอียดดังนี้

### 3.2.1 ระบบจำลอง (Simulation Modeling)

ระบบจำลอง (Marumgsith & Ibbett, 2004) คือ เทคนิคของการใช้ตัวแทน เพื่อแทนระบบการทำงานจริง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการปฏิบัติงานแทนระบบการทำงานจริง โดยทั่วไปก่อนการนำระบบจำลองไปใช้ปฏิบัติงาน จะมีการศึกษาลักษณะ 4 ประการ เพื่อรวบรวมและกำหนดเป็นลำดับกฎของแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย (1) เวลา (Time) อธิบายถึงวิธีที่ระบบแจกจ่ายเวลา เช่น ระบบให้เวลาในการตอบสนองเป็นอย่างไร ยกตัวอย่างเช่น time-varying กับ time invariant หรือระบบมีการเปลี่ยนแปลงเวลาหรือไม่ เช่น static กับ dynamic (2) สถานะ (State) อธิบายถึงเงื่อนไขของค่าตัวแปรสถานะที่จะถูกกำหนดต่อไป นอกเหนือจากสถานะการหยุดชั่วคราว หรือสถานะที่แยกเป็นอิสระจากกัน เช่น continuous state กับ discrete state (3) ฟังก์ชัน (Functionality) คือ หลักในการทำงานของแต่ละฟังก์ชันสมาชิก เช่น time-driven กับ event-driven และวิธีการที่ฟังก์ชันสามารถเป็นตัวแทน เช่น descriptive กับ prescriptive และ analytic กับ numeric และ (4) การสุ่ม (Randomness) อธิบายส่วนประกอบของระบบที่ทำให้เกิดการเลือกที่ไม่ซ้ำ โดยเงื่อนไขหรือส่วนประกอบจะถูกเชื่อมโยงด้วยความน่าจะเป็นแบบสุ่ม

หน่วยของเวลาในระบบจำลอง (Simulation Clock) คือ สถานะที่แสดงออกมาอย่างชัดเจน (Law & Kelton, 2000) โดยเป็นตัวแปรในระบบจำลองที่ให้ค่าของเวลาจำลอง (Simulated Time) เมื่อโมเดลถูกเขียนด้วยภาษาโดยทั่วไป เช่น ฟอรัทแรน (FORTRAN) หรือ ซี (C) เวลาจะถูกสมมติให้เป็นพารามิเตอร์นำเข้า (Input Parameter) แบบเดียวกัน ดังนั้น โดยทั่วไปจะไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างเวลาจำลองกับเวลาที่ระบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ใช้ปฏิบัติงาน

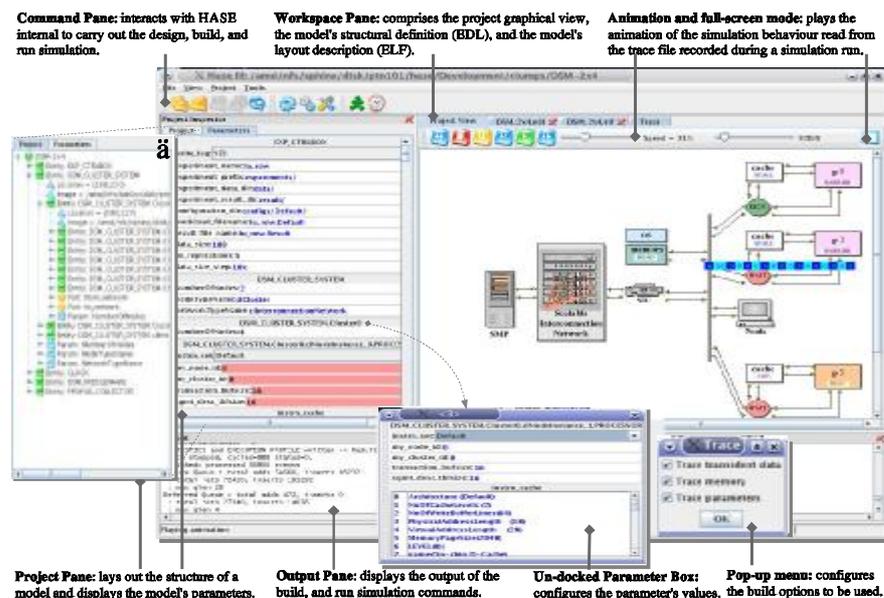
### 3.2.2 ซอฟต์แวร์เฮสซีย์

งานวิจัยนี้จึงเลือกซอฟต์แวร์เฮสซีย์ (HASE: Hierarchical computer Architecture design and Simulation Environment) สำหรับใช้ออกแบบและสร้างระบบจำลอง โดยสามารถสร้างระบบจำลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์และมีจุดเด่นในการสร้างภาพอนิเมชันได้ และเหมาะสมสำหรับสร้างระบบจำลองการทำงานของสถาปัตยกรรมคอมพิวเตอร์ที่มีความซับซ้อนหลายระดับ

### 3.2.3 ขั้นตอนการทำงานของซอฟต์แวร์เฮสซีย์

การใช้ซอฟต์แวร์เฮสซีย์ในการสร้างระบบจำลอง สามารถเขียนโปรแกรมภาษาซีพลัสพลัส (C++) เพื่อกำหนดการทำงานของแต่ละคอมโพเนนต์ได้ โดยเฮสซีย์จะมีเครื่องมือในการใช้คำสั่งคอมไพล์ (Compile) และรันการทำงานของระบบจำลอง ผ่านทางเมนูของซอฟต์แวร์เฮสซีย์ ดัง

ภาพที่ 3-2 โดยต้องกำหนดอินพุตคำสั่งจากเทรซไฟล์ (Trace File) ซึ่งเป็นแฟ้มข้อมูลที่ใช้ในการนำข้อมูลเข้าสู่ระบบจำลอง ซึ่งระหว่างการคอมไพล์ เฮสซีย์จะโหลด (Load) สิ่งเหล่านี้ไปประมวลผล สำหรับระบบจำลองนี้ ข้อมูลนำเข้าจะถูกสร้างขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ เพื่อใช้ทดสอบแต่ละปัจจัยของระบบ



ภาพที่ 3-2 สภาพแวดล้อมของโปรแกรมเฮสซีย์ (Maruringsith & Ibbett, 2004)

ระหว่างการทำงานของระบบจำลอง ซอฟต์แวร์แฮสซีย์จะสร้างเทรซไฟล์เอาต์พุต ซึ่งบันทึก รายละเอียดเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบจำลอง โดยซอฟต์แวร์แฮสซีย์จะอนุญาตให้ตรวจสอบผลลัพธ์ผ่านทางฟอร์มเอาต์พุต (Output Form) ในแต่ละคอมโพเนนต์ได้

ความสามารถที่ดีที่สุดของซอฟต์แวร์นี้คือ สามารถแสดงภาพอนิเมชันให้ตรวจสอบความถูกต้องของการปฏิบัติงานได้ โดยส่วนสร้างอนิเมชันในซอฟต์แวร์ใช้เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามลำดับที่ ถูกบันทึกในเทรซไฟล์ เพื่อแสดงภาพเสมือนของกิจกรรมที่เกิดขึ้นในระบบ ระบบจะส่งผ่านข้อมูล ไปมาระหว่างเอนทิตี ซึ่งจำลองเป็นภาพเสมือนของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในทางเดินข้อมูล ประโยชน์ที่สำคัญที่สุดของตัวสร้างอนิเมชันคือ ให้ผู้ใช้ตรวจสอบได้ว่าโมเดลทำงานตามลำดับ ขั้นตอนและสร้างผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

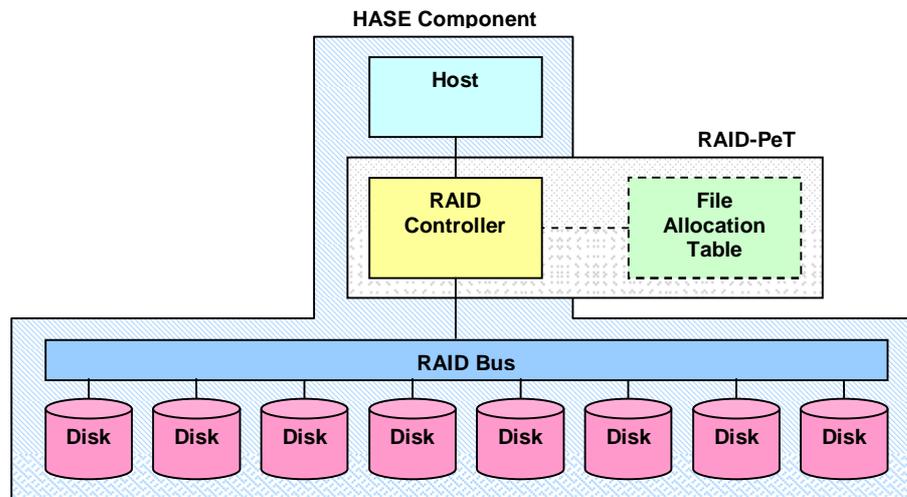
การใช้งานที่ง่ายและสะดวกนี้ทำให้ปฏิบัติการของระบบจำลองตรวจสอบได้ตลอดเวลา และสามารถสร้างระบบจำลอง เพื่อใช้ในการทดลองได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

### 3.3 การออกแบบระบบจำลองเรดเพ็ทบนแฮสซีย์

การออกแบบโครงสร้างระบบจำลอง เพื่อนำไปใช้ในการทดลองปรับค่าปัจจัยเชิงประสิทธิภาพ แบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้ แบบแรกคือ แบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยว (Single Controller) แบบที่สองคือ แบบคอนโทรลเลอร์คู่ (Dual Controller) มีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

#### 3.3.1 การออกแบบโมเดลของระบบจำลองเรดเพ็ทแบบเรดคอนโทรลเลอร์เดี่ยว

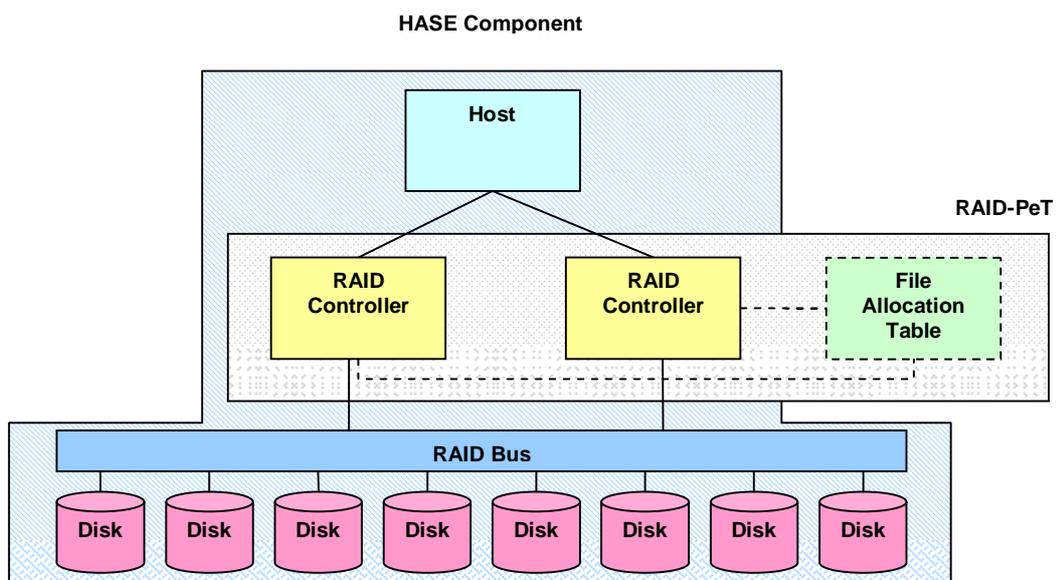
ระบบจำลองแบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยว ดังแสดงในภาพที่ 3-3 ประกอบไปด้วยเรดคอนโทรลเลอร์ 1 ตัว เชื่อมต่อกับฮาร์ดดิสก์จำนวน 8 ตัว



ภาพที่ 3-3 สถาปัตยกรรมของแบบจำลองแบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยว

### 3.3.2 การออกแบบโมเดลของระบบจำลองเรดพีทแบบเรดคอนโทรลเลอร์คู่

ระบบจำลองแบบคอนโทรลเลอร์คู่ ดังแสดงในภาพที่ 3-4 ประกอบไปด้วยเรดคอนโทรลเลอร์ 2 ตัว ที่ใช้หน่วยความจำแคชร่วมกันจากเครือข่าย และเชื่อมต่อกับฮาร์ดดิสก์จำนวน 8 ตัว



ภาพที่ 3-4 สถาปัตยกรรมของแบบจำลองแบบเรดคอนโทรลเลอร์คู่

โดยระบบจำลองทั้ง 2 แบบ จะแบ่งเอนทิตี (Entity) ออกเป็น 3 ลำดับชั้นดังนี้ เอนทิตี ลำดับชั้นที่ 1 เป็นโฮสต์คอมพิวเตอร์ที่ส่งภาระงานให้กับเรดคอนโทรลเลอร์ ในลำดับชั้นที่ 2 เป็นเรดคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ในระบบ ซึ่งขอบเขตงานวิจัยได้ครอบคลุมการทำงานในส่วนนี้ และลำดับชั้นสุดท้ายคือ ฮาร์ดดิสก์และระบบเรดบัส (RAID Bus) ทำหน้าที่ส่งผ่านข้อมูลไปจัดเก็บยังฮาร์ดดิสก์ปลายทาง โดยเรดคอนโทรลเลอร์ที่เป็นอุปกรณ์หลักในระบบจำลอง และลักษณะของภาระงานในระบบจำลอง จะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.3.3 การออกแบบภาระงานในระบบ (Workload Generation)

ภาระงานของระบบจำลองเป็นภาระงานจากฐานข้อมูลออนไลน์เชิงพาณิชย์ ประกอบไปด้วยคำสั่งการอ่านและเขียนข้อมูล ซึ่เพิ่มข้อมูลและขนาดเพิ่มข้อมูล ซึ่งสามารถปรับสัดส่วนคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูล และขนาดแถบข้อมูลได้ ทำให้ระบบจำลองสามารถปฏิบัติงานได้ใกล้เคียงกับระบบจริง และสะท้อนถึงประสิทธิภาพที่แท้จริงเมื่อมีการปรับแต่งค่าปัจจัย เพื่อหาค่าประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับเรดระดับ 1 และระดับ 5 จึงทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและไม่เกิดข้อผิดพลาดขึ้น

การออกแบบโมเดลของระบบจำลองในขั้นตอนนี้จะนำไปพัฒนาเป็นระบบจำลอง และตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานในบทถัดไป

## บทที่ 4

### การพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลองเรดเพ็ท

เป้าหมายของเรดเพ็ท คือ การสร้างเครื่องมือเพื่อใช้ประเมินประสิทธิภาพของระบบเรด ในสภาพการใช้งานที่แตกต่าง และมีการตรวจสอบขั้นตอนการทำงานและผลลัพธ์ของระบบจำลอง เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องที่แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบเรด

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการพัฒนาและการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลอง โดยใน ส่วนแรกของบทจะนำเสนอการพัฒนาและระบบจำลองจากโมเดลต้นแบบที่งานวิจัยนำเสนอ ส่วนถัด มาของบทจะกล่าวถึงวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลอง ซึ่งจะรวมเอาเนื้อหาในส่วน นโยบายการสร้างคุณสมบัติของข้อมูลมาใช้ เพื่อตรวจสอบว่าระบบจำลองนี้มีสภาพ ใกล้เคียงกับระบบจริงและสามารถนำไปตรวจสอบประสิทธิภาพได้

#### 4.1 การพัฒนาระบบจำลอง

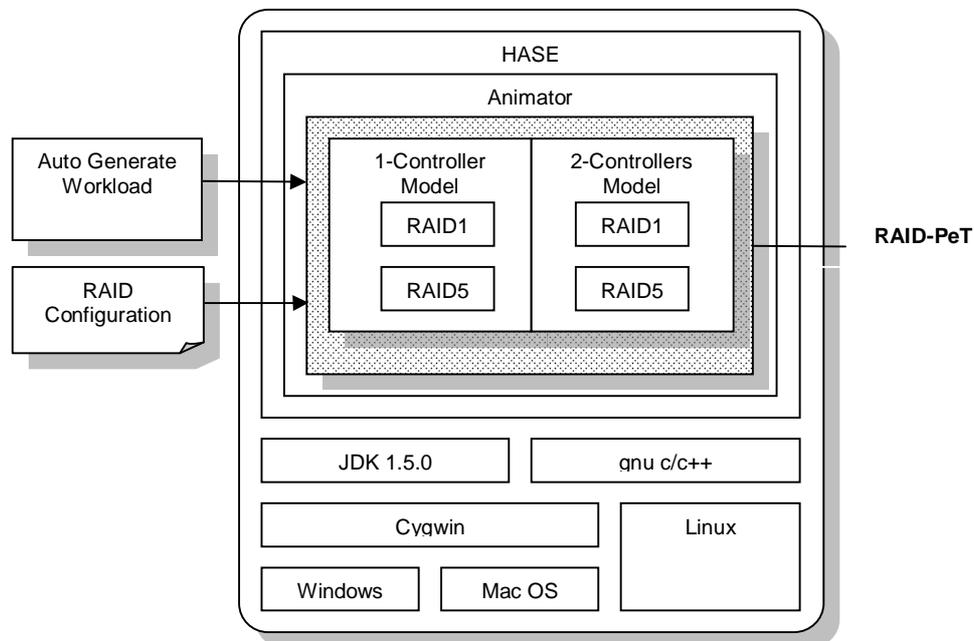
การดำเนินการพัฒนาระบบจำลองจะอ้างอิงกับโมเดลของระบบที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 โดยรายละเอียดภาพรวมของระบบจำลอง รวมทั้งขั้นตอนการทำงานของระบบจำลองจะอธิบายไว้ ดังนี้

##### 4.1.1 ภาพรวมของเรดเพ็ท (RAID-PeT Overview)

ภาพรวมของระบบจำลองเรดเพ็ทแสดงถึงโมเดลของระบบจำลอง รวมถึงข้อมูลนำเข้าและ ส่งออกจากระบบจำลอง ดังมีรายละเอียดดังนี้

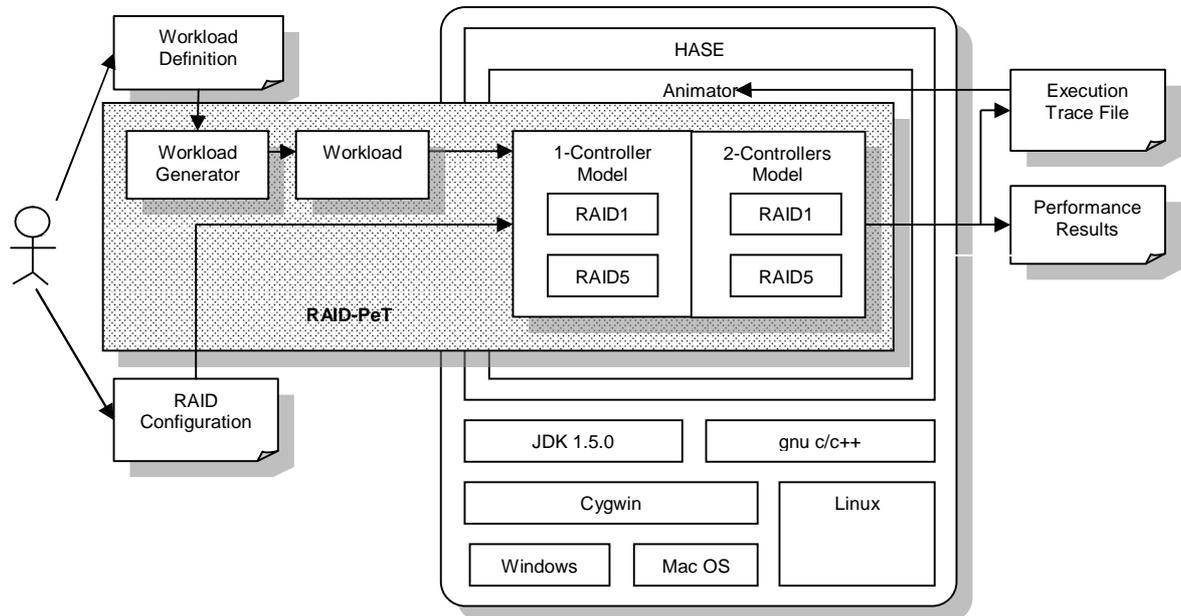
โมเดลของระบบจำลองเรดเพ็ท ดังภาพที่ 4-1 แสดงให้เห็นถึงโมเดลย่อย 2 แบบ คือ แบบ เรดคอนโทรลเลอร์เดี่ยว และแบบคอนโทรลเลอร์คู่ โดยระบบจำลองเรดเพ็ททำงานภายใต้ ซอฟต์แวร์เฮสซีย์ ซึ่งซอฟต์แวร์เฮสซีย์สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ แม็คโอเอส และ วินโดวส์ บนระบบปฏิบัติการแม็คโอเอส และวินโดวส์ จำเป็นต้องติดตั้งซอฟต์แวร์ซิกวิน (Cygwin)

เพิ่มเติม เพื่อใช้รันตัวแปลภาษาซีพลัสพลัส สำหรับตัวซอฟต์แวร์เฮสย์ทำงานโดยใช้ตัวแปลภาษาจาวาจึงต้องติดตั้งซอฟต์แวร์เจดีเค (JDK) ซึ่งทำหน้าที่รันซอฟต์แวร์เฮสย์ให้สามารถใช้งานได้



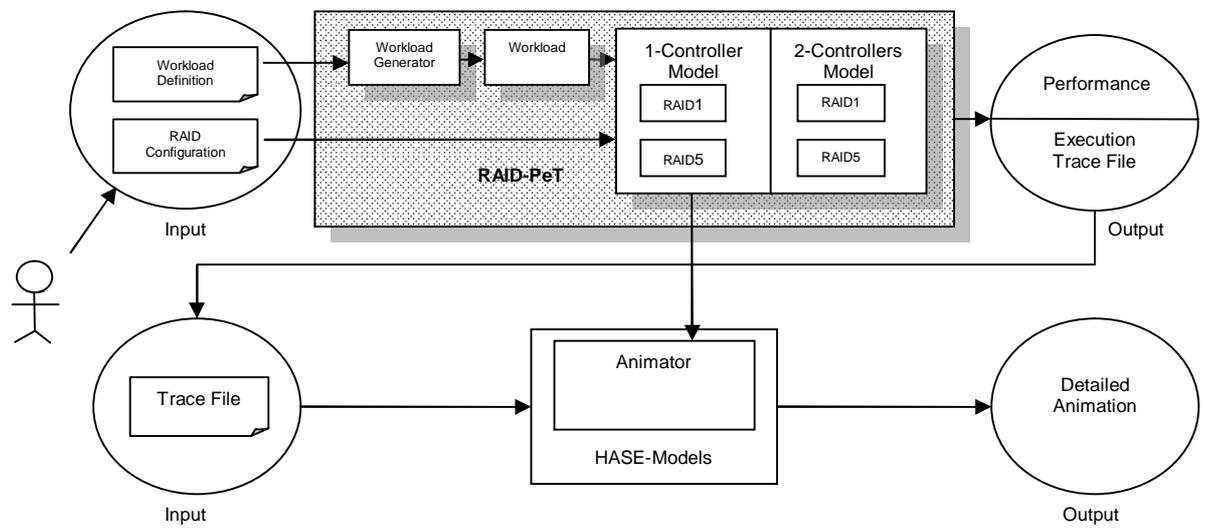
ภาพที่ 4-1 โมเดลของระบบจำลองเรดเพ็ท (RAID-PeT Platform)

ภาพรวมของระบบจำลองเรดเพ็ท ดังภาพที่ 4-2 กำหนดให้ผู้ใช้ต้องระบุค่าปรับแต่ง (RAID Configuration) และค่ากำหนดภาระงาน (Workload Definition) ให้กับระบบจำลองเรดเพ็ท โดยค่ากำหนดภาระงานจะส่งต่อไปยังตัวสร้างภาระงาน (Workload Generator) เพื่อสร้างภาระงานตามที่ใช้กำหนดไว้ จากนั้นภาระงานจะถูกส่งต่อไปยังโมเดลแบบเรดคอนโทรลเลอร์เดี่ยวหรือแบบคอนโทรลเลอร์คู่ ส่วนค่าปรับแต่งจะส่งต่อไปยังตัวโมเดลโดยตรง เมื่อระบบจำลองทำงานเสร็จสิ้นจะให้ผลลัพธ์เป็นค่าประสิทธิภาพของระบบ



ภาพที่ 4-2 ภาพรวมของระบบจำลองเรดเพ็ท (RAID-PeT Overview)

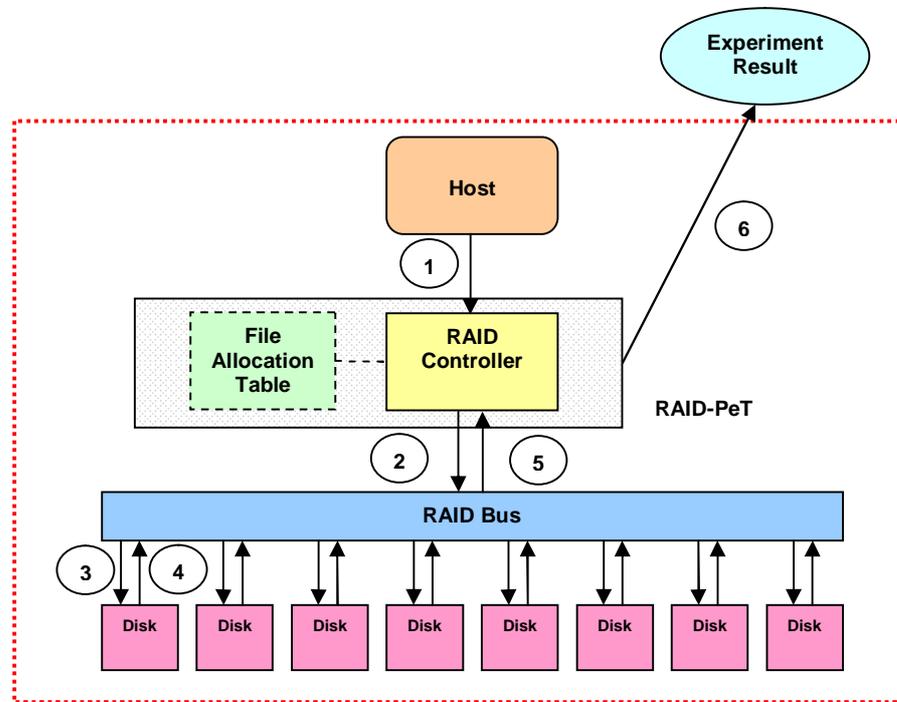
สภาพแวดล้อมการทำงานของระบบเรดเพ็ท ดังแสดงในภาพที่ 4-3 แสดงข้อมูลนำเข้าและส่งออกจากระบบจำลอง ข้อมูลนำเข้าประกอบด้วยค่าปรับแต่งและค่ากำหนดภาระงาน ซึ่งระบบจำลองจะปฏิบัติตามภาระงานและการตั้งค่าที่ถูกกำหนด หลังจากนั้นระบบจำลองจะส่งข้อมูลออกเป็นผลลัพธ์ค่าประสิทธิภาพและเทอร์ซไฟล์ที่บันทึกเหตุการณ์การทำงานของระบบทั้งหมด จากนั้นข้อมูลในเทอร์ซไฟล์จะส่งเป็นข้อมูลนำเข้าไปยังส่วนอนิเมเตอร์ในซอฟต์แวร์เฮสส์ เพื่อสร้างเป็นภาพอนิเมชันที่แสดงภาพการทำงานทั้งหมด



ภาพที่ 4-3 สภาพแวดล้อมของระบบจำลองเรดเพ็ท (RAID-PeT Simulator Environment)

ระบบจำลองเรดเพ็ท ทั้ง 2 โมเดล คือ ระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยว และระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์คู่ มีรายละเอียดขั้นตอนการทำงานดังนี้

#### 4.1.2 ระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยว (Single Controller RAID-PeT Model)



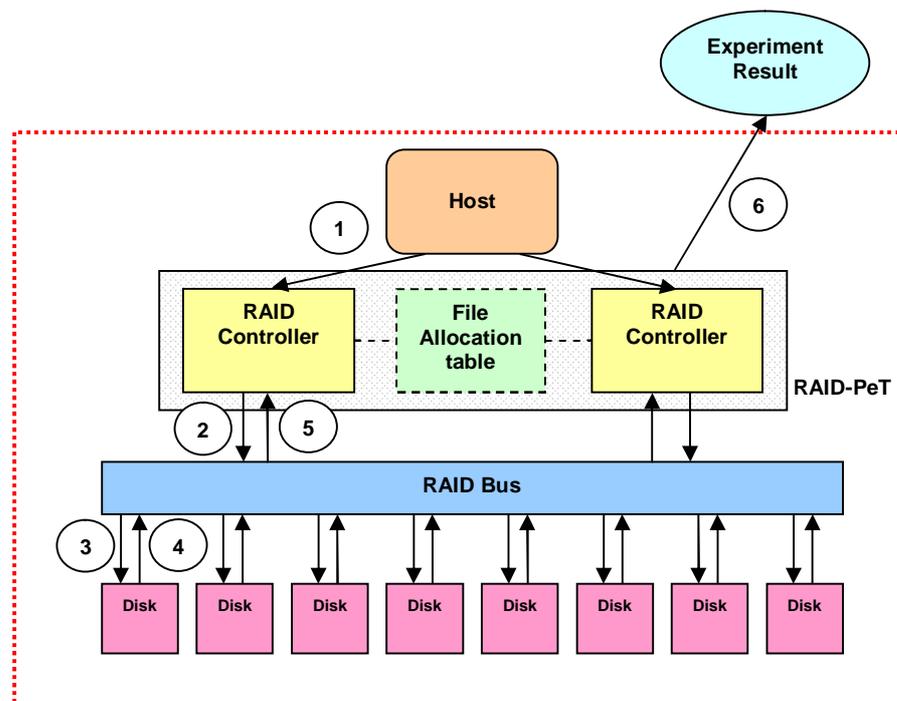
ภาพที่ 4-4 ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยว

รายละเอียดลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยว ดังแสดงในภาพที่ 4-4 สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้น เมื่อคอมพิวเตอร์หลักส่งคำสั่งในการอ่านหรือเขียนข้อมูลจากที่ผู้ใช้กำหนด ไปยังเรดคอนโทรลเลอร์ตามลำดับคำสั่ง
2. เรดคอนโทรลเลอร์จะรับคำสั่งเข้ามาและกำหนดฟังก์ชันการทำงาน พร้อมทั้งตรวจสอบสถานะการเข้าถึงและตำแหน่งของไฟล์บนฮาร์ดดิสก์จากรายการแฟต (FAT - File Allocation Table) หากเป็นคำสั่งการอ่านข้อมูล เรดคอนโทรลเลอร์จะทำการบันทึกสถานะเป็นการอ่านข้อมูลและส่งคำสั่งต่อไปยังเรดบัส ส่วนคำสั่งการเขียนข้อมูล เรดคอนโทรลเลอร์จะทำการบันทึกสถานะเป็นการเขียนข้อมูลและทำการแบ่งไฟล์ข้อมูลออกเป็นหลายแถบข้อมูล พร้อมทั้งบันทึกตำแหน่งการเขียนไฟล์ลงในรายการแฟต แล้วส่งคำสั่งต่อไปยังเรดบัส
3. เมื่อข้อมูลเข้าสู่เรดบัส จะทำหน้าที่เป็นเส้นทางในการส่งผ่านคำสั่งการอ่านหรือเขียนไฟล์ข้อมูล ต่อไปยังฮาร์ดดิสก์ปลายทางเพื่อดำเนินการต่อไป

4. เมื่อฮาร์ดดิสก์ได้รับคำสั่ง จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลบนดิสก์ตามคำสั่งที่ได้รับ เมื่อการอ่านหรือเขียนไฟล์ข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์เสร็จสิ้น ฮาร์ดดิสก์จะส่งผลตอบรับกลับไปยังเครือข่ายอีกครั้ง
5. จากนั้นเครือข่ายฮาร์ดดิสก์จะส่งผลตอบรับกลับไปยังเวดคอนโทรลเลอร์ เพื่อบันทึกความสำเร็จของการอ่านหรือเขียนข้อมูลลงบนตารางแพ็ต
6. รายละเอียดรวมทั้งหมดที่ใช้ในการอ่านหรือเขียนข้อมูล จะถูกบันทึกลงในเทรซไฟล์

#### 4.1.3 ระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์คู่ (Dual Controller RAID-PeT Model)



ภาพที่ 4-5 ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์คู่

รายละเอียดลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบจำลองเรดเพ็ทแบบเวดคอนโทรลเลอร์คู่ ดังแสดงในภาพที่ 4-5 ในภาพรวมมีการทำงานที่ใกล้เคียงกับแบบเวดคอนโทรลเลอร์เดี่ยว ต่างกัน ในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ในขั้นตอนที่ 2 เวดคอนโทรลเลอร์จะกำหนดฟังก์ชันการทำงานตามคำสั่งที่รับเข้ามา พร้อมทั้งตรวจสอบสถานะการเข้าถึงและตำแหน่งของไฟล์บนฮาร์ดดิสก์จากตารางแพ็ต โดยการ

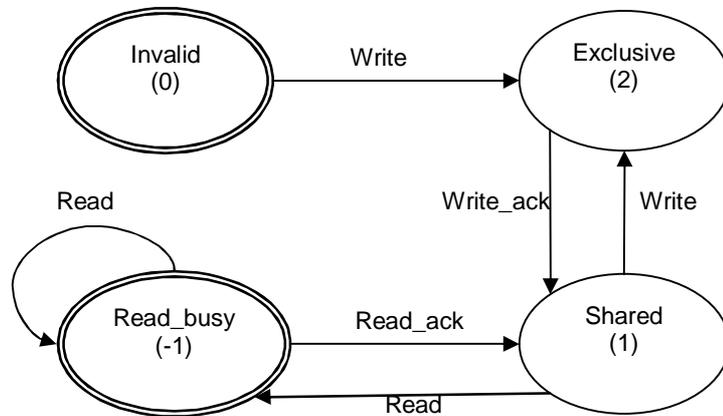
ทำงานของเวรคอนโทรลเลอร์ทั้งสองตัวจะทำงานพร้อมกัน แต่เป็นอิสระจากกันและใช้ตารางแพ็คเกจร่วมกัน หากเป็นคำสั่งการอ่านข้อมูล เวรคอนโทรลเลอร์จะทำการบันทึกสถานะเป็นการอ่านข้อมูลและส่งคำสั่งต่อไปยังเครือข่ายฮาร์ดดิสก์ ส่วนคำสั่งการเขียนข้อมูล เวรคอนโทรลเลอร์จะทำการบันทึกสถานะเป็นการเขียนข้อมูลและทำการแบ่งแถบข้อมูลของไฟล์ข้อมูลออกเป็นหลายแถบข้อมูล พร้อมทั้งบันทึกตำแหน่งการเขียนไฟล์ลงในตารางแพ็คเกจ แล้วส่งคำสั่งต่อไปยังเครือข่ายฮาร์ดดิสก์

นอกจากรายละเอียดลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบจำลองเวรเพ็ท ดังที่ได้แสดงในภาพที่ 4-4 และภาพที่ 4-5 แล้ว ในส่วนของการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลองเพื่อให้ค่าผลลัพธ์ที่ถูกต้อง เป็นส่วนการพัฒนาในงานวิจัยที่ถือว่าสำคัญที่สุดส่วนหนึ่งเช่นกัน ดังแสดงรายละเอียดในส่วนถัดไป

## 4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลองเวรเพ็ท

ระบบจำลองเวรเพ็ทที่พัฒนาเสร็จสมบูรณ์แล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ โดยใช้นโยบายการสร้างความสะดวกคล่องของข้อมูล ซึ่งระบบจำลองทั้งสองแบบมีวิธีการตรวจสอบที่ต่างกัน ระบบจำลองแบบคอนโทรลเลอร์เดี่ยวสามารถตรวจสอบได้โดยการทำงานแบบเรียงลำดับ ส่วนระบบจำลองแบบคอนโทรลเลอร์คู่จะนำนโยบายควบคุมความสะดวกคล่องของข้อมูลมาใช้ตรวจสอบผลลัพธ์ พร้อมทั้งตรวจสอบผลลัพธ์ด้วยวิธีตรวจสอบแบบแบล็คบ็อกซ์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

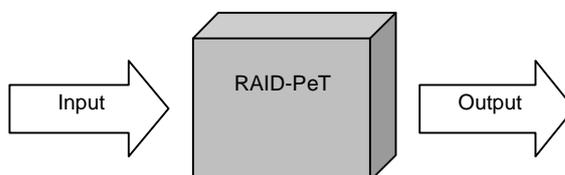
#### 4.2.1 นโยบายการสร้างความสอดคล้องของข้อมูล (Coherent Policy)



ภาพที่ 4-6 ผังภาพแสดงสถานะการเข้าถึงข้อมูลในแคช

งานวิจัยนี้ได้นำนโยบายการสร้างความสอดคล้องของข้อมูลมาประยุกต์ใช้ควบคุมการเข้าถึงข้อมูล เพื่อให้ระบบจำลองปฏิบัติงานได้ตามลำดับและผลลัพธ์ถูกต้อง ดังภาพที่ 4-6 เป็นผังภาพแสดงสถานะการเข้าถึงข้อมูลในแคช โดยแบ่งเป็นการควบคุมเขียนและการอ่านข้อมูล ในส่วนการเขียนข้อมูล สถานะของแต่ละแถบข้อมูลในแคช เมื่อเริ่มต้นจะมีสถานะเป็น *Invalid* เมื่อแถบข้อมูลนั้นกำลังทำการเขียนข้อมูล สถานะของแถบข้อมูลจะไม่อนุญาตให้มีการอ่านหรือเขียนข้อมูลได้ในขณะนั้น ซึ่งสถานะจะเปลี่ยนเป็น *Exclusive* หลังจากทำการเขียนข้อมูลเสร็จสิ้นสถานะจะเปลี่ยนเป็นอนุญาตให้อ่านหรือเขียนข้อมูลได้ โดยสถานะจะเปลี่ยนเป็น *Shared* หากมีการเขียนข้อมูลซ้ำลงไปที่แถบข้อมูลเดิมสถานะจะเปลี่ยนจาก *Shared* ไปเป็น *Exclusive* อีกครั้ง ส่วนการควบคุมการอ่านข้อมูลแถบข้อมูลที่ปฏิบัติคำสั่งการอ่านข้อมูลจะไม่อนุญาตให้มีการเขียนข้อมูลในระหว่างนั้น ซึ่งจะเปลี่ยนสถานะจาก *Shared* ไปเป็น *Read-busy* และเปลี่ยนกลับสู่สถานะ *Shared* เมื่อการอ่านข้อมูลเสร็จสิ้น

## 4.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยวิธีแบล็คบ็อกซ์ (Black Box Testing)



ภาพที่ 4-7 การตรวจสอบแบบแบล็คบ็อกซ์

การตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลองโดยใช้วิธีแบล็คบ็อกซ์ ดังภาพที่ 4-7 เป็นการตรวจสอบเพื่อยืนยันว่าการทำงานของระบบจำลองถูกต้อง และได้ผลลัพธ์เป็นไปตามที่คาดหวัง โดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขและวิธีการในการประมวลผล

ความหมายของวิธีการแบบแบล็คบ็อกซ์ คือ กระบวนการวิเคราะห์ระบบจำลอง เพื่อตรวจจับความแตกต่างระหว่างความต้องการของผู้ใช้กับสิ่งที่ระบบจำลองสามารถปฏิบัติได้ และประเมินความสามารถของระบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลองโดยใช้นโยบายการสร้างความสอดคล้องของข้อมูลแบ่งเป็น 8 กรณี คือ แบ่งการเข้าถึงข้อมูลได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ การเข้าถึงข้อมูลในตำแหน่งเดียวกันและการเข้าถึงข้อมูลต่างตำแหน่ง ซึ่งในแต่ละลักษณะประกอบด้วยลำดับการอ่านและเขียนข้อมูล 4 รูปแบบ คือ การอ่านหลังการเขียน Read after Write (RAW) การเขียนหลังการเขียน Write after Write (WAW) การอ่านหลังการอ่าน Read after Read (RAR) และการเขียนหลังการอ่าน Write after Read (WAR)

ผลการตรวจสอบแบบแบล็คบ็อกซ์บนระบบจำลองเรดเพ็ท ในกรณีการเข้าถึงข้อมูลทั้ง 8 กรณีแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลองเรดเพ็ท

Test ID	Description	Expect Results	Actual Results
Accessing Different Location			
1	Read after Write		
	Ctrl1	Ctrl2	Ctrl1 Ctrl2
	W f1 R f2	W f1 R f2	W f1 c1 R f2 c1
			W.ack f1 c2 R.ack f2 c2
2	Write after Write		
	Ctrl1	Ctrl2	Ctrl1 Ctrl2
	W f1 W f2	W f1 W f2	W f1 c1 W f2 c1
			W.ack f1 c2 W.ack f2 c2
3	Read after Read		
	Ctrl1	Ctrl2	Ctrl1 Ctrl2
	R f1 R f2	R f1 R f2	R f1 c1 R f2 c1
			R.ack f1 c2 R.ack f2 c2
4	Write after Read		
	Ctrl1	Ctrl2	Ctrl1 Ctrl2
	R f1 W f2	R f1 W f2	R f1 c1 W f2 c1
			R.ack f1 c2 W.ack f2 c2

การอ่านและเขียนข้อมูลที่ตำแหน่งต่างกันโดยใช้เรดคอนโทรลเลอร์คู่ เรดคอนโทรลเลอร์ทั้งสองตัวสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ในรอบเวลาเดียวกัน (C1) และมีผลตอบกลับในรอบเวลาถัดไป (C2)

ส่วนการอ่านและเขียนที่แถบข้อมูลเดียวกันโดยใช้เรดคอนโทรลเลอร์คู่ เรดคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1 จะทำการเข้าถึงข้อมูลได้ก่อน (C1) และมีผลตอบกลับในรอบเวลาถัดไป (C2) ส่วนเรดคอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2 จะหยุดรอหนึ่งรอบเวลาและเข้าถึงข้อมูลในรอบเวลาถัดไป (C2) และมีผลตอบกลับในรอบเวลาถัดไป (C3) แต่ในกรณีการอ่านหลังการอ่าน เรดคอนโทรลเลอร์ทั้งคู่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ในรอบเวลาเดียวกัน

ตารางที่ 4-1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของระบบจำลองเรดเพ็ท (ต่อ)

Test ID	Description	Expect Results	Actual Results
Accessing The Same Location			
1	Read after Write		
	Ctrl1	Ctrl2	Ctrl1 Ctrl2
	W f1 R f1	W f1 R f1	W f1 c1
			W.ack f1 c2 R f1 c2
			R.ack f1 c3
2	Write after Write		
	Ctrl1	Ctrl2	Ctrl1 Ctrl2
	W f1 W f1	W f1 W f1	W f1 c1
			W.ack f1 c2 W f1 c2
			W.ack f1 c3
3	Read after Read		
	Ctrl1	Ctrl2	Ctrl1 Ctrl2
	R f1 R f1	R f1 R f1	R f1 c1 R f1 c1
			R.ack f1 c2 R.ack f1 c2
4	Write after Read		
	Ctrl1	Ctrl2	Ctrl1 Ctrl2
	R f1 W f1	R f1 W f1	R f1 c1
			R.ack f1 c2 W f1 c2
			W.ack f1 c3
หมายเหตุ			
Ctrl1	= เวกอนโทรลเลอร์ตัวที่ 1	f1	= ไฟล์ข้อมูลทีหนึ่ง
Ctrl2	= เวกอนโทรลเลอร์ตัวที่ 2	f2	= ไฟล์ข้อมูลทีสอง
R	= คำสั่งการอ่านข้อมูล	c1	= รอบเวลาการทำงานที่ 1
W	= คำสั่งการเขียนข้อมูล	c2	= รอบเวลาการทำงานที่ 2
R.ack	= ผลตอบกลับการอ่านข้อมูล	c3	= รอบเวลาการทำงานที่ 3
W.ack	= ผลตอบกลับการเขียนข้อมูล		

จากการพัฒนาระบบจำลองให้สมบูรณ์และตรวจสอบความถูกต้องผลการทำงานของระบบจำลองแล้ว ทำให้สามารถเชื่อมั่นได้ว่า ระบบจำลองเรดเพ็ทให้ค่าผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำสามารถนำไปทดลองประสิทธิภาพในบตถัดไป

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด

ระบบจำลองเรดเพ็ทพัฒนาขึ้นมา มีเป้าหมายเพื่อเป็นเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกให้ผู้ดูแลระบบสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจัดเก็บข้อมูลแบบเรด ในสภาพการใช้งานประมวลผลเชิงพาณิชย์ที่หลากหลายได้ในเวลาจำกัด ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ดูแลระบบมีข้อมูลเพื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยในการปรับค่าระบบ ต่อประสิทธิภาพการเข้าถึงข้อมูล โดยระบบจำลองเรดเพ็ทเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ ความเร็วเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลในดิสก์ อัตราส่วนการกู้คืนข้อมูลได้ หากเกิดกรณีเนื้อที่ดิสก์เสียหาย และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ เนื้อหาบทนี้นำเสนอกระบวนการทดลอง เพื่อเป็นกรณีตัวอย่างในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรดสำหรับงานประมวลผลเชิงพาณิชย์โดยใช้เรดเพ็ท ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำเรดเพ็ท มาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินปัจจัยที่กระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด ดังเป้าหมายหลักที่ตั้งไว้

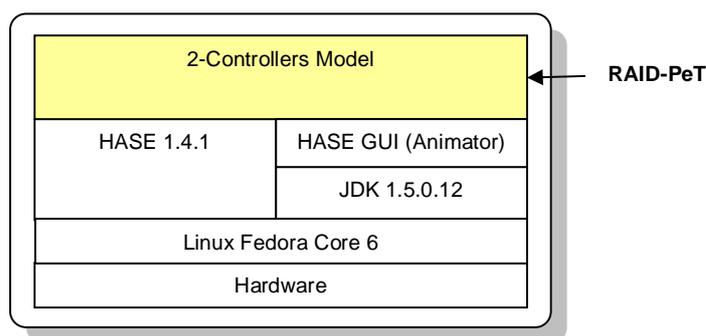
กระบวนการทดลองเพื่อประเมินปัจจัยที่กระทบต่อประสิทธิภาพที่นำเสนอในบทนี้ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรก เป็นการทดลองคัดเลือกปัจจัยที่สามารถกำหนดให้ระบบจำลองเก็บข้อมูลได้ในสภาวะเสถียร (Steady State) (Kelton & Barton, 2003) ซึ่งผลการทดลองในขั้นตอนแรกทำให้ได้จำนวนคำสั่งและคุณลักษณะของภาระงานที่เป็นตัวแทนการทดลองขั้นถัดไป *ขั้นตอนที่สอง* เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยขนาดแถบข้อมูลและระดับเรดต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล ผลการทดลองพบว่าขนาดแถบข้อมูลและระดับเรด มีผลต่อทั้งเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลและอัตราการกู้คืนข้อมูล การตั้งค่าขนาดแถบข้อมูลที่ 2,048 ไบต์ จะเป็นจุดเหมาะสมที่จะทำให้ทั้ง ความเร็วเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล และโอกาสความเป็นไปได้ในการกู้คืนข้อมูลกรณีดิสก์เสียจะมีแนวโน้มดีขึ้น ในขั้นสุดท้าย เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของแอปพลิเคชัน ซึ่งพบว่าสัดส่วนคำสั่งการอ่านข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงจะส่งผลต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล แต่ไม่ส่งผลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูลและการใช้ประโยชน์ต่อเนื้อที่เก็บ

เนื้อหาส่วนต่อไปอธิบายกระบวนการทดลองดังกล่าว และบทสรุปในรายละเอียด

## 5.1 การออกแบบการทดลอง

กระบวนการทดลองที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีเป้าหมายเพื่อเป็นกรณีตัวอย่างในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด สำหรับงานประมวลผลเชิงพาณิชย์โดยใช้เรดเพ็ท ทั้งนี้การออกแบบการทดลองเพื่อระบุขั้นตอนวิธีในการดำเนินการทดลองตามวัตถุประสงค์นั้นเริ่มต้นจาก การกำหนดสภาพแวดล้อมทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์เพื่อทำการทดลอง การคัดเลือกปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบเรด คุณลักษณะของภาระงาน ตัววัดค่าประสิทธิภาพ ที่จะใช้ในการทำการทดลอง การออกแบบในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 5.1.1 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง (Experimental Environment)



ภาพที่ 5-1 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด โดยใช้ระบบจำลองเรดเพ็ท ทุกขั้นตอนที่กล่าวในบทนี้ จัดทำในสภาพแวดล้อมเดียวกัน กล่าวคือ ดำเนินการบนระบบคอมพิวเตอร์ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ชุดเดียวกัน ส่วนของฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุคที่มีหน่วยประมวลผลยี่ห้ออินเทล (Intel) รุ่นเซเลรอน โมบาย (Celeron Mobile) ความเร็ว 2.0 กิกะเฮิรตซ์ (Gigahertz) ติดตั้งหน่วยความจำหลักซึ่งมีความจุ 1.0 กิกะไบต์ (Gigabyte) และในส่วนของซอฟต์แวร์ได้ติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์ รุ่นฟีโดรา เวอร์ชัน 6 (Linux Fedora Core 6) ส่วนซอฟต์แวร์ที่ใช้สร้างระบบจำลองคือ ซอฟต์แวร์แฮสซี (อ้างอิงจากบทที่ 2) เวอร์ชัน 1.4.1 (HASE 1.4.1) ทำงานบนคอมไพเลอร์จาวา เวอร์ชัน 1.5.0.12 (JDK 1.5.0.12)

ผู้วิจัยได้ติดตั้งระบบจำลองเรดเพ็ทแบบคอนโทรลเลอร์คู่ในสภาพแวดล้อมที่กล่าวมาดังภาพที่ 5-1 เพื่อทำการศึกษาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด ดังที่สรุปสาระสำคัญไว้ในหัวข้อถัดไป

## 5.1.2 ปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบเรด (RAID Performance Factor)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าปัจจัยเชิงประสิทธิภาพของระบบเรด อาจแบ่งได้เป็นสามกลุ่ม ได้แก่ (ก) กลุ่มปัจจัยที่ต้องปรับค่า (Performance Tuning Factors) ให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานของแอปพลิเคชัน จึงจะได้ประสิทธิภาพสูงสุด (ข) กลุ่มปัจจัยเสริมประสิทธิภาพ (Performance Enhancement Factors) ซึ่งหากมีการเพิ่มเข้าไปในระบบเรดจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในด้านความเร็วการเข้าถึงข้อมูล และ/หรือมีความสามารถในการสำรองข้อมูลสูงขึ้น และ (ค) กลุ่มปัจจัยกำหนด (Control Factors) ซึ่งเป็นกลุ่มปัจจัยที่ระบบคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้รองรับได้ จึงถูกกำหนดให้สอดคล้องกับระบบที่รองรับ

ปัจจัย 8 ประการที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด (Intel, 2005) ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้วนั้น สามารถจำแนกเป็นสามกลุ่มปัจจัยได้ดังนี้

(ก) กลุ่มปัจจัยที่ต้องปรับค่า

- 1) ขนาดของแถบข้อมูล (Stripe Size)
- 2) ระดับเรด (RAID Level)

(ข) กลุ่มปัจจัยเสริมประสิทธิภาพ

- 3) แคชของไดรฟ์บนระบบเรด (RAID Logical Drive Cache)
- 4) แคชของดิสก์ (Disk Cache)

(ค) กลุ่มปัจจัยกำหนด

- 5) แบนด์วิธของพีซีไอบัส (PCI Bus Bandwidth)
- 6) อัตราส่วนระหว่างคำสั่งการอ่านข้อมูลกับคำสั่งการเขียนข้อมูล (Ratio of Read versus Write Operations)
- 7) จำนวนของดิสก์ (Number of Disks)
- 8) อัตราส่วนระหว่างการเข้าถึงข้อมูลแบบสุ่มกับแบบลำดับ (Ratio of Sequential versus Random Operations)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ทำให้เห็นช่องว่างของการใช้เครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรดสำหรับงานประมวลผลเชิงพาณิชย์ ซึ่งทำให้เห็นถึงคำถามที่ยังไม่มีการตอบสนองประการได้แก่

**คำถามที่ 1** ปัจจัยที่ต้องปรับค่าทั้งสองปัจจัย ได้แก่ ขนาดของแถบข้อมูล และ ระดับเรด จะมีผลกระทบต่อความเร็วการเข้าถึงข้อมูลโดยเฉลี่ย และอัตราส่วนการกู้คืนข้อมูลหรือไม่ โดยหากทั้งสองปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบแล้วปัจจัยทั้งสองเป็นปัจจัยที่เสริมกันหรือไม่ และควรปรับค่าไปในทิศทางใด

**คำถามที่ 2** หากในอนาคตคุณลักษณะของงานประมวลผลมีการปรับเปลี่ยน ซึ่งเนื่องมาจากเทคโนโลยีการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์หรือระบบฐานข้อมูล แล้ว ปัจจัยควบคุมที่สำคัญได้แก่สัดส่วนการเข้าถึงข้อมูลในดิสก์เพื่ออ่านกับเพื่อเขียนที่เปลี่ยนไปนั้น จะมีผลกระทบต่อความเร็วการเข้าถึงข้อมูลโดยเฉลี่ย อัตราส่วนการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และเป็นไปในทิศทางใด

ก่อนที่จะออกแบบการทดลองเป็นลำดับขั้นตอนเพื่อตอบคำถามดังกล่าว ต้องมีการคัดเลือกภาระงานตัวแทน ที่จะใช้ทำการทดลอง โดยที่ภาระงานที่คัดเลือกนั้น จะต้องครอบคลุมคุณลักษณะสำคัญของแอปพลิเคชันเชิงพาณิชย์ได้อย่างชัดเจน

### 5.1.3 คุณลักษณะของภาระงาน (Workload Characteristics)

ลักษณะภาระงานที่นำมาศึกษาเพื่อหาตัวแทนสำหรับงานวิจัยนี้ คัดเลือกมาจากลักษณะงาน 7 ประเภท (Hsu, Smith, & Young, 2001) เป็นภาระงานจากฐานข้อมูลออนไลน์ (OLTP-Online Transaction Processing) เชิงพาณิชย์ 5 ลักษณะภาระงาน และภาระงานจากเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะทีซีพี (TCP Benchmark) 2 ภาระงาน คือ เกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะทีซีพีแบบซี และแบบดี (TCP-C & TCP-D) เหตุผลที่นำลักษณะภาระงานทั้ง 7 ประเภทนี้มาใช้ในการทดลองก็เพื่อที่จะเปรียบเทียบและสังเกตรูปแบบของเวลาในการเข้าถึงข้อมูลที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมของระบบการทำงานจริง โดยรายละเอียดลักษณะภาระงานทั้ง 7 ประเภทและลักษณะภาระงานอื่น แสดงดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 (a),(b) ลักษณะภาระงานในการประมวลผล (Hsu et al., 2001)

(a)

Trace	Bank	FinSvcs	Insurance	Retail	TelecomA
Source	Banking Corp.	Financial Services Firm	Insurance Company	Discount Store	Telecom. Company A
Read Ratio (%)	90.6	90.9	84.8	86.9	85.9
# Objects	1,281	3,124	1,953	434	521
Data Size (MB)	53,079	10,064	38,095	72,188	197,422
Footprint (MB)	9,600	2,127	1,732	6,769	2,986
# Reference	35,916,414	15,664,004	20,648,874	38,646,360	13,072,916

(b)

Trace	TPC-C	TPC-D
Source	TPC Benchmark C	TPC Benchmark D
Read Ratio (%)	90.9	90.9
# Objects	101	192
Data Size (MB)	70,246	77,824
Footprint (MB)	13,267	51,580
# Reference	196,067,649	218,130,354

ลักษณะภาระงานทั้ง 7 ประเภทนี้จะนำไปเป็นประเภทงานในการทดสอบปัจจัยเชิงประสิทธิภาพ โดยเน้นที่ความแตกต่างของสัดส่วนคำสั่งการอ่านและการเขียนข้อมูล ซึ่งการนำลักษณะภาระงานไปทดลองจะนำเสนอในบทของการทดลอง

#### 5.1.4 ตัววัดค่าประสิทธิภาพ (Performance Metrics)

เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยเชิงประสิทธิภาพ หน่วยที่เชื่อว่าสามารถสะท้อนค่าประสิทธิภาพของระบบจัดเก็บข้อมูลแบบเรด มี 3 หน่วยวัด ได้แก่ เวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ เรดเพ็ทจะเก็บพฤติกรรมการทำงานของระบบจำลองและนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเป็นปริมาณตัววัดค่าประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดของตัววัดดังนี้

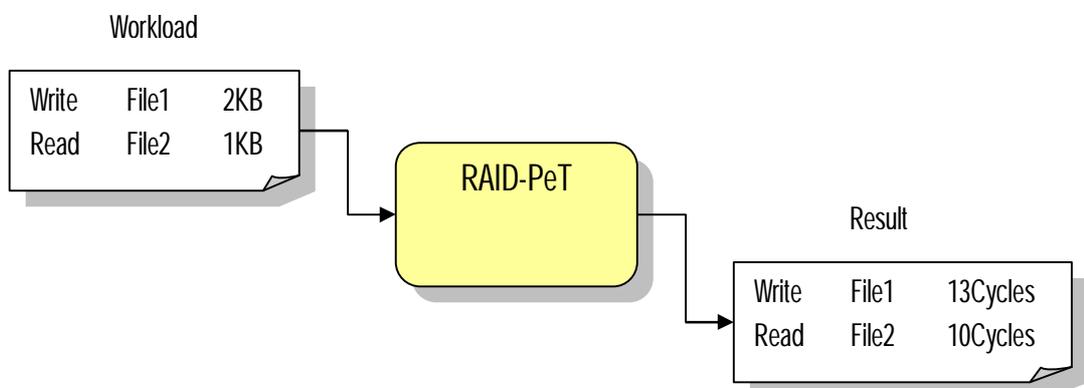
### 5.1.4.1 เวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล (Average Access Time)

เวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล เป็นค่าเฉลี่ยของเวลาที่ระบบเรดใช้ในการอ่านหรือเขียนข้อมูลเสร็จสิ้น ซึ่งคำนวณมาจากการประมวลผลของคำสั่งการอ่านและเขียนข้อมูลจากภาระงานที่เข้าสู่ระบบจำลอง โดยใช้หน่วยนับเป็นรอบการทำงาน (Cycles) ในการบันทึกข้อมูลนั้นมีรายละเอียดดังนี้ เมื่อเรดคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งการอ่านหรือเขียนข้อมูลจากโฮสต์ เรดคอนโทรลเลอร์จะทำการบันทึกเวลาเริ่มต้นการประมวลผล หลังจากนั้นคำสั่งจะถูกประมวลผลและส่งแพ็คเกจข้อมูลไปอ่านหรือเขียนข้อมูลที่ดิสก์ พร้อมรับแพ็คเกจตอบกลับ (Acknowledge packet) จากดิสก์ รอรับจนกระทั่งแพ็คเกจที่สุดท้าย จึงสิ้นสุดกระบวนการการปฏิบัติคำสั่งนั้น และบันทึกเวลาสิ้นสุดของการประมวลผลคำสั่งนั้น จากนั้นจะหาค่าแตกต่างระหว่างเวลาสิ้นสุดกับเวลาเริ่มต้นและบันทึกลงบนไฟล์ผลลัพธ์ ดังสูตรคำนวณในภาพที่ 5-2

$$\frac{\sum_{i=1}^n \text{เวลาในการเข้าถึงข้อมูลต่อหนึ่งคำสั่ง}}{n}$$

หมายเหตุ  $n$  คือ จำนวนคำสั่งทั้งหมด

ภาพที่ 5-2 สูตรคำนวณเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล



ภาพที่ 5-3 การบันทึกเวลาในการเข้าถึงข้อมูล

ดังตัวอย่างในภาพที่ 5-3 คำสั่งในการเขียนข้อมูลในไฟล์ที่หนึ่งขนาด 2 กิโลไบต์ ส่งไปประมวลผลยังระบบจำลองเรดเพ็ท และบันทึกเวลาการประมวลผลในไฟล์ผลลัพธ์ โดยใช้เวลาไป 13 รอบการทำงาน เมื่อประมวลผลทุกคำสั่งเสร็จสิ้นจึงนำหาค่าเฉลี่ยต่อหนึ่งคำสั่งการประมวลผลเพื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพต่อไป

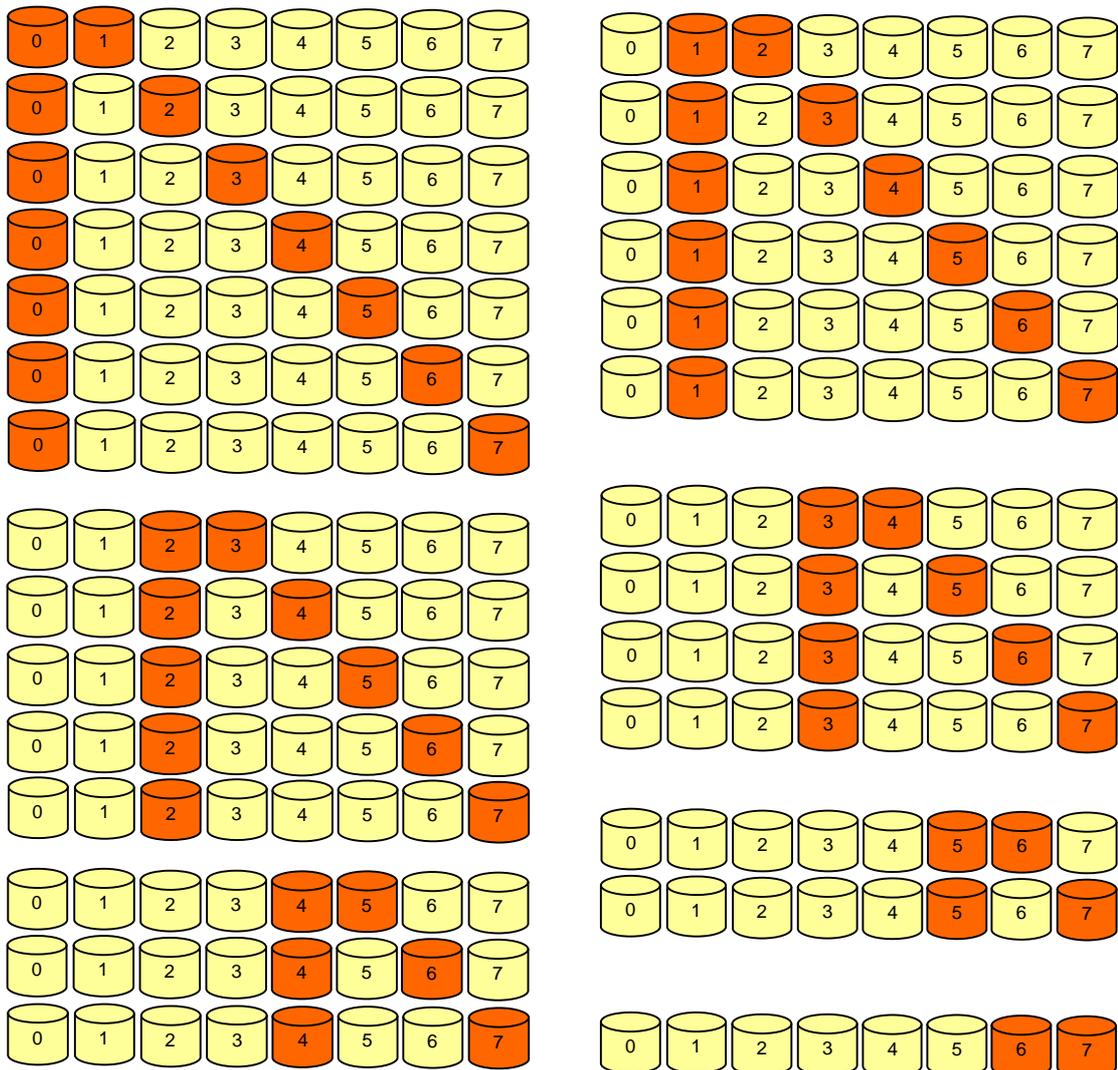
#### 5.1.4.2 อัตราการกู้คืนข้อมูล (Recovery Percentage)

อัตราการกู้คืนข้อมูล เป็นการวัดจำนวนไฟล์ข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้เมื่อระบบเกิดเหตุการณ์ที่ดิสก์ผิดพลาดพร้อมกันจำนวน 2 ดิสก์ เพื่อหาจำนวนไฟล์ข้อมูลที่ไม่เสียหายหรือเข้าถึงข้อมูลได้ต่อจำนวนไฟล์ข้อมูลทั้งหมดก่อนการผิดพลาด โดยไฟล์ข้อมูลที่ไม่เสียหายคือ ไฟล์ข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ทุกแถบข้อมูล จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าร้อยละของอัตราการกู้คืนข้อมูล ดังสูตรคำนวณในภาพที่ 5-4

$$\frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{จำนวนไฟล์ข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้}}{\text{จำนวนไฟล์ข้อมูลในดิสก์ทั้งหมด}} * 100 \right)}{n}$$

หมายเหตุ n คือ จำนวนกรณีทั้งหมดที่ดิสก์เกิดข้อผิดพลาดพร้อมกัน 2 ดิสก์

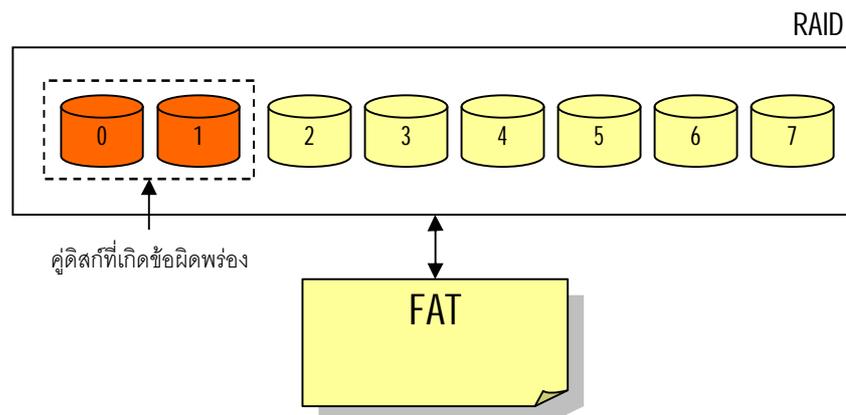
ภาพที่ 5-4 สูตรคำนวณอัตราการกู้คืนข้อมูล



ภาพที่ 5-5 ตารางแสดงกรณีคู่ดิสก์ที่เกิดข้อผิดพลาด

เนื่องจากรายละเอียดทั้งหมดของการบันทึกไฟล์และตำแหน่งไฟล์ข้อมูลในระบบจำลองบันทึกไว้ที่ตารางแพ็ค จึงสามารถวัดอัตราการกู้คืนข้อมูลได้จากตารางแพ็ค ซึ่งกรณีที่ดิสก์เกิดข้อผิดพลาดจำนวน 2 ดิสก์ สามารถกระจายทุกโอกาสความเป็นไปได้ของคู่ดิสก์ที่เกิดข้อผิดพลาดพร้อมกัน ดังภาพที่ 5-5

ยกตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 5-6 ในกรณีดิสก์ 0 และดิสก์ 1 เกิดข้อผิดพลาดขึ้น โดยดิสก์ 1 เป็นดิสก์กระจกเงาของดิสก์ 0 ไฟล์ที่มีบางแถบข้อมูลบันทึกบนดิสก์คู่นี้จะไม่สามารถกู้ข้อมูลได้ หากไฟล์ใดที่ไม่มีบางแถบข้อมูลบันทึกบนดิสก์คู่นี้ แสดงว่ากู้คืนข้อมูลได้ ทั้งนี้การกู้คืนข้อมูลในระบบจำลองจะทำการตรวจสอบบนตารางแพ็ค เพื่อนับจำนวนไฟล์ที่สามารถกู้คืนได้ แล้วนำไปหาค่าร้อยละ โดยเปรียบเทียบกับจำนวนไฟล์ข้อมูลบนระบบเรดทั้งหมด



ภาพที่ 5-6 การกู้คืนข้อมูลเมื่อดิสก์เกิดข้อผิดพลาดที่ดิสก์ 0 และดิสก์ 1

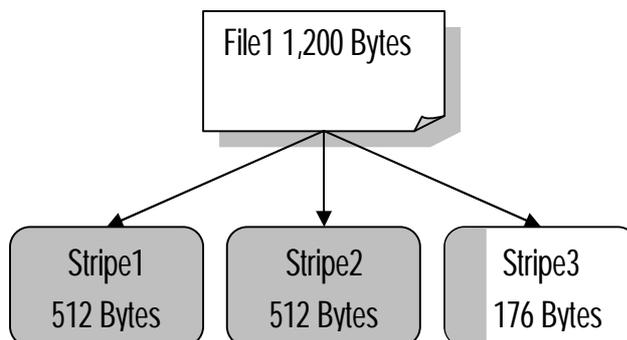
### 5.1.4.3 การใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ (Disk Utilization)

การใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ เป็นการวัดปริมาณพื้นที่ดิสก์ที่ใช้เก็บข้อมูลจริง เพื่อหาค่าของพื้นที่ดิสก์ที่สูญเสียไปจากการบันทึกข้อมูลไม่เต็มแถบข้อมูล โดยพื้นที่ที่สูญเสียไปนั้นเกิดจากการบันทึกข้อมูลในแถบข้อมูลไม่เต็มแถบข้อมูล จึงเหลือพื้นที่ว่างที่ไม่มีข้อมูลจริง แต่มีการบันทึกส่วนที่ว่างให้เต็มแถบข้อมูลตามการจัดเก็บแบบแพต การวัดค่าทำได้โดยนับจำนวนพื้นที่สูญเสียมีหน่วยเป็นไบต์ สูตรคำนวณดังภาพที่ 5-7 ตัวอย่าง เช่น บันทึกไฟล์ข้อมูลขนาด 1,200 ไบต์ลงบนดิสก์ โดยแบ่งเป็น 3 แถบข้อมูล แถบข้อมูลที่ 1 และ 2 บันทึกข้อมูลเต็ม 512 ไบต์ แต่แถบข้อมูลที่ 3 บันทึกข้อมูลเพียง 176 ไบต์ ทำให้สูญเสียพื้นที่บนแถบข้อมูลนั้น 336 ไบต์ ตัวอย่างดังภาพที่ 5-8

$$\frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{พื้นที่ที่ใช้เก็บข้อมูลจริงในหนึ่งไฟล์}}{\text{พื้นที่ที่ใช้เก็บข้อมูลบนดิสก์ในหนึ่งไฟล์}} * 100 \right)}{n}$$

หมายเหตุ n คือ จำนวนไฟล์ข้อมูลทั้งหมด

ภาพที่ 5-7 สูตรคำนวณการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ



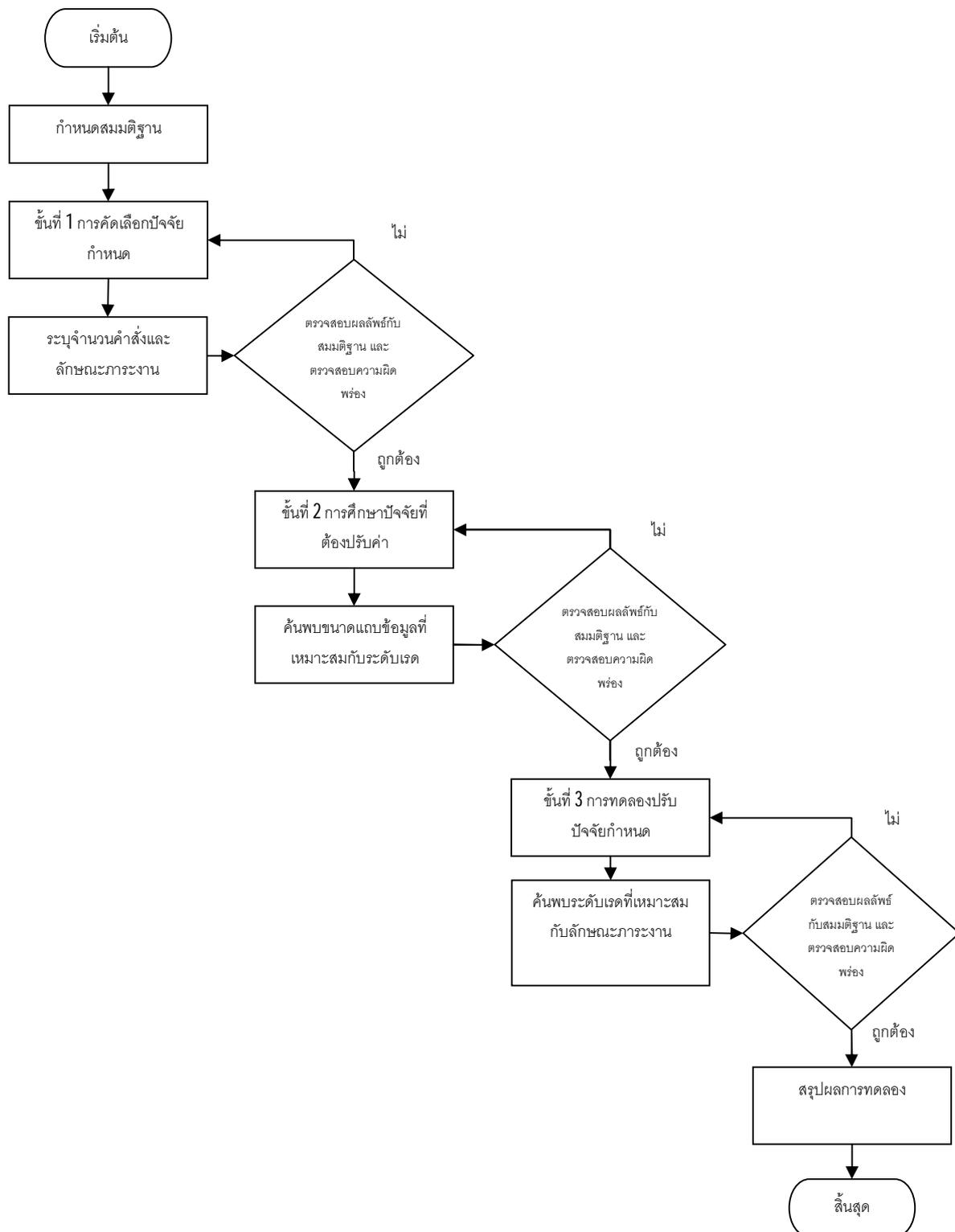
ภาพที่ 5-8 การแบ่งแถบข้อมูลเพื่อเขียนลงบนดิสก์

### 5.1.5 ขั้นตอนการทดลอง

มีหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด ทั้งด้านเวลาในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ การปรับแต่งค่าปัจจัยจะให้ค่าประสิทธิภาพไม่เท่ากัน เพื่อให้การกำหนดค่าเริ่มต้นสามารถนำไปใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูง จึงทำการทดลองเพื่อหาค่าปรับแต่งนั้น แบ่งเป็นการทดลอง 3 ชั้น แสดงดังภาพที่ 5-9 มีรายละเอียดดังนี้

รายละเอียดในภาพรวมนั้น หลังจากเริ่มต้นการทดลองและกำหนดสมมติฐานแล้ว จะเริ่มการทดลองขั้นที่ 1

**ขั้นที่ 1** การทดลองคัดเลือกปัจจัยกำหนด เพื่อค้นหาตัวแทนจำนวนคำสั่งในภาระงานและตัวแทนลักษณะภาระงาน ที่จะทำให้ระบบจำลองสะท้อนถึงพฤติกรรมที่แท้จริงของระบบในสถานะเสถียร การทดลองขั้นแรกนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ (1) การค้นหาตัวแทนจำนวนคำสั่งในภาระงาน จากจำนวนคำสั่งที่แตกต่างกัน 4 จำนวน ได้แก่ 100, 200, 400 และ 800 คำสั่ง ในการทดลองนี้จะบันทึกค่าของจำนวนรอบคำสั่งในการเข้าถึงข้อมูลซึ่งจะนำไปคำนวณเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ 4 ชนิด (เอกสารอ้างอิง ก) (2) การทดลองเปรียบเทียบประเภทของภาระงานต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล โดยใช้ลักษณะภาระงาน 7 ประเภท เพื่อค้นหาคุณลักษณะที่จะเป็นตัวแทนของภาระงานในกลุ่มฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์ และทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์กับสมมติฐานที่ตั้งไว้ รวมทั้งตรวจสอบความผิดพลาดของการทดลองด้วย หากไม่มีข้อผิดพลาดใด จะทำการทดลองในขั้นที่ 2



ภาพที่ 5-9 ฝั่งงานขั้นตอนในการทดลอง

ขั้นที่ 2 การศึกษาปัจจัยที่ต้องปรับค่า เพื่อหาขนาดแถบข้อมูลที่เหมาะสมกับระดับเรด โดยเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลที่เพิ่มขึ้น ต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล และเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลที่เพิ่มขึ้น ต่ออัตราการกู้คืนข้อมูล กรณีดิสก์เกิดข้อผิดพลาดพร้อมกันจำนวน 2 ดิสก์ และการใช้ประโยชน์บนเนื้อที่เก็บ โดยใช้ขนาดแถบข้อมูล 2 ขนาด คือ 512 ไบต์ และ 2,048 ไบต์ และทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์กับสมมติฐานที่ตั้งไว้ รวมทั้งตรวจสอบความผิดพลาดของการทดลองด้วย หากไม่มีข้อผิดพลาดใด จะทำการทดลองในขั้นที่ 3

ขั้นที่ 3 การทดลองปรับปัจจัยกำหนด เพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ โดยพิจารณาผลกระทบของสัดส่วนคำสั่งการอ่านและการเขียนข้อมูล ต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูลเมื่อดิสก์เกิดข้อผิดพลาดพร้อมกัน 2 ดิสก์ และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ โดยทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์กับสมมติฐานและตรวจสอบความผิดพลาด จากการทดลองเป็นขั้นสุดท้าย จึงสรุปผลต่อไป

สำหรับการวัดผลการทดลอง ทั้ง 3 การทดลองข้างต้นจะวัดผลในลักษณะเดียวกันคือ วัดผลค่าผลลัพธ์การทดลองละ 4 รอบ จนกระทั่งทำการทดลองครบทุกการทดลองจึงนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (Mean value) และนำไปวิเคราะห์และประเมินผล

## 5.2 การทดลอง

จากการออกแบบขั้นตอนและกำหนดรายละเอียดของการทดลอง ในบทนี้จะนำลำดับขั้นตอนนั้นมาทดลองกับระบบจำลองเรดเพ็ท เพื่อนำค่าผลลัพธ์ไปวิเคราะห์ประเมินผลต่อไป

### 5.2.1 การคัดเลือกปัจจัยกำหนด

เพื่อคัดเลือกปัจจัยกำหนด ได้แก่ จำนวนคำสั่งและอัตราส่วนระหว่างคำสั่งอ่านกับคำสั่งเขียนข้อมูล ที่จะใช้เป็นตัวแทนจำนวนคำสั่งและลักษณะภาระงานจากฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์ในการทดลองขั้นต่อไป แบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย โดยมีรายละเอียดของการทดลองแสดงดังนี้

### 5.2.1.1 การค้นหาจำนวนคำสั่งของภาระงานที่เหมาะสม (Command Size)

การทดลองค้นหาตัวแทนจำนวนคำสั่งของภาระงาน เพื่อหาตัวแทนของจำนวนคำสั่งที่แสดงค่าผลลัพธ์ในสถานะที่เสถียร และนำไปใช้ในการทดลองขั้นถัดไป โดยเป้าหมายของการทดลองนี้ เพื่อศึกษาว่าจำนวนคำสั่งของภาระงานจะไม่ส่งผลต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล

ปัจจัย (Factor) ที่ใช้ในการทดลองนี้ดังตารางที่ 5-2 คือ จำนวนภาระงาน โดยจำนวนภาระงานจะแบ่งออกเป็น 4 ระดับ แตกต่างกันในจำนวนคำสั่งคือ 100, 200, 400 และ 800 คำสั่ง ส่วนพารามิเตอร์ (Parameter) ของการทดลองนี้กำหนด 4 พารามิเตอร์ ดังตารางที่ 5-3 ระดับเรดนั้น กำหนดในงานวิจัยนี้ไว้ที่ 2 ระดับ คือ เรด 1 และเรด 5 ใช้ลักษณะภาระงานจากเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะที่ซีพีแบบซี มีสัดส่วนของคำสั่งการอ่านข้อมูลที่ร้อยละ 87.4 ขนาดแถบข้อมูล 512 ไบต์ (Bytes) และขนาดของไฟล์ข้อมูลไม่เกิน 2.5 กิโลไบต์ (Kilobytes)

ตารางที่ 5-2 ปัจจัยในการทดลองที่ 1-1

ปัจจัย	ระดับ
จำนวนคำสั่งภาระงาน	100, 200, 400, 800 คำสั่ง

ตารางที่ 5-3 พารามิเตอร์ในการทดลองที่ 1-1

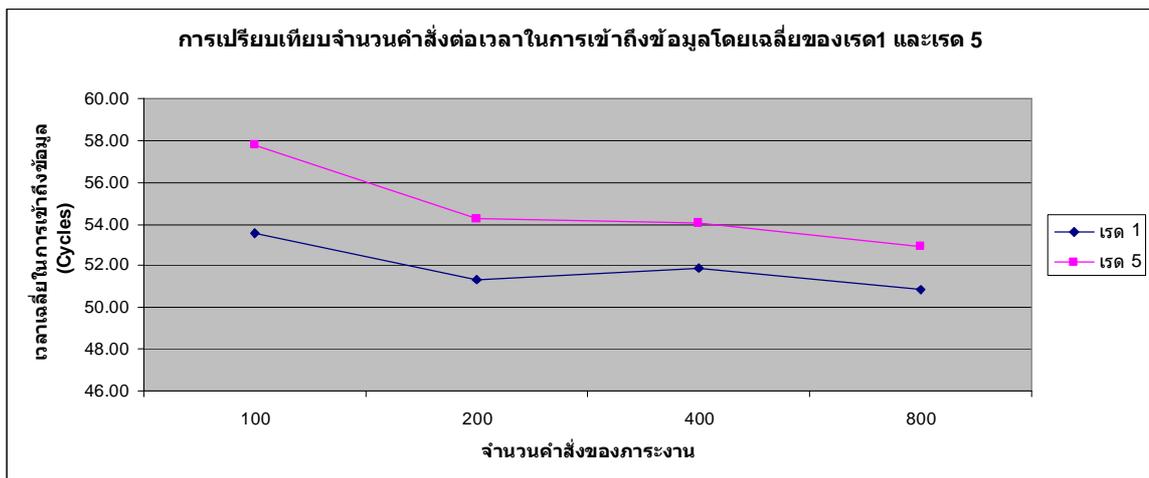
พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ระดับเรด	เรด 1, เรด 5
ขนาดแถบข้อมูล	512 ไบต์
ขนาดไฟล์ข้อมูลเฉลี่ย	2.5 กิโลไบต์
สัดส่วนคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูล	ร้อยละ 87.4

ปัจจัยและพารามิเตอร์ที่เสนอไว้ จะนำไปใช้ในการทดลอง โดยผลลัพธ์จากการทดลอง (Response Variable) มี 2 ผลลัพธ์ คือ เวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล (Simulation Cycles) และเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลของอุปกรณ์เรดคอนโทรลเลอร์ชนิด A, B, C และ D

ผลลัพธ์จากการทดลอง (เอกสารอ้างอิง ข) แสดงในรูปกราฟเส้นดังภาพที่ 5-10 โดยแสดงการเปรียบเทียบจำนวนคำสั่งต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลของเรด 1 และเรด 5 แสดงให้เห็นถึง

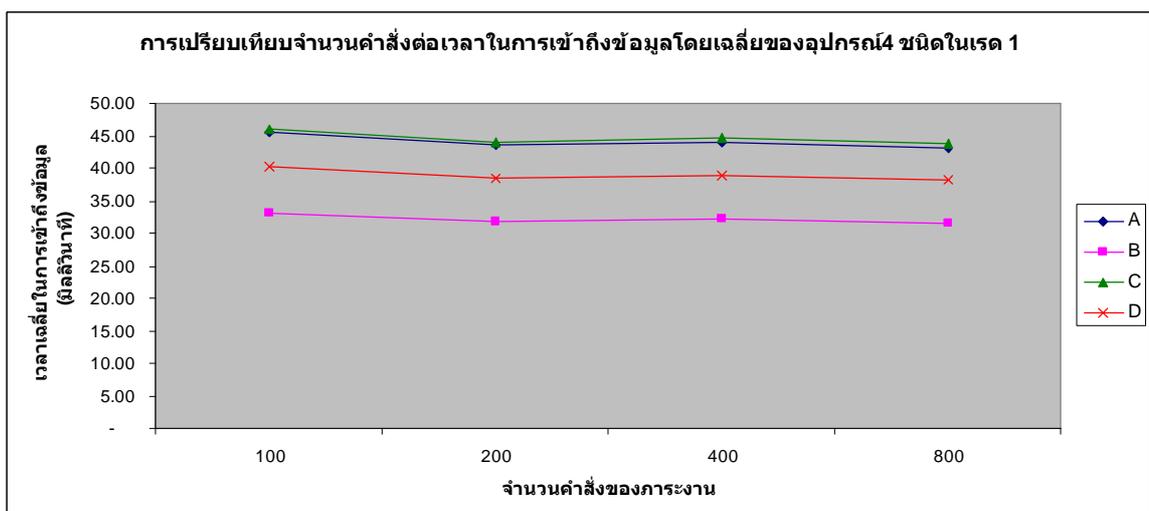
เวลาในการเข้าถึงข้อมูลเฉลี่ยต่อคำสั่งของเรต 1 ที่น้อยกว่าเรต 5 และค่าผลลัพธ์ในสภาวะเสถียร ในช่วงจำนวนคำสั่งที่ 200 ถึง 800 คำสั่ง

โดยผลลัพธ์จากการทดลอง คือ จำนวนรอบเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล

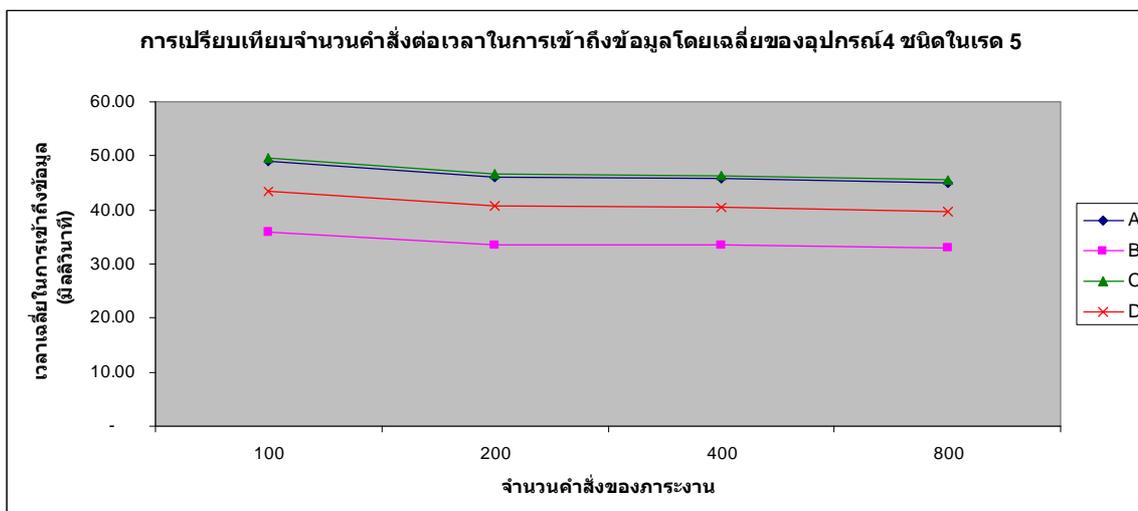


ภาพที่ 5-10 การเปรียบเทียบจำนวนคำสั่งต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลของเรต 1 และเรต 5

ผลลัพธ์จากการทดลอง ดังภาพที่ 5-11 และภาพที่ 5-12 โดยเปรียบเทียบจำนวนคำสั่งต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูลของเรต 1 และ เรต 5 ในการทดลองอุปกรณ์ A, B, C และ D แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่มีแนวโน้มคงเดิม เวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลของจำนวนคำสั่งที่ 200, 400 และ 800 คำสั่ง จะให้ค่าที่เสถียร



ภาพที่ 5-11 การเปรียบเทียบจำนวนคำสั่งต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลของอุปกรณ์ 4 ชนิดในเรต 1



ภาพที่ 5-12 การเปรียบเทียบจำนวนคำสั่งต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลของอุปกรณ์ 4 ชนิดในเรด 5

จากผลการทดลองดังภาพที่ 5-10 เมื่อนำไปวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี **One-way ANOVA** พบว่าทั้ง 4 จำนวนคำสั่ง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าทุกจำนวนคำสั่งที่สามารถเป็นตัวแทนได้ วิจัยนี้จึงกำหนดจำนวนคำสั่งที่ 400 คำสั่งเพื่อใช้ในการทดลองถัดไป เหตุที่เลือกจำนวนคำสั่งที่ 400 คำสั่งนั้น เพราะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยทั้ง 4 จำนวนคำสั่งที่นำมาทดลอง และเป็นจำนวนคำสั่งที่ทำให้ระบบจำลองเรดเพ็ทอยู่ในสถานะให้ผลการทดลองที่สม่ำเสมอ

### 5.2.1.2 การค้นหาคุณลักษณะเพื่อใช้เป็นตัวแทน

การทดลองคัดเลือกปัจจัยกำหนด เพื่อหาตัวแทนลักษณะของภาระงานที่จะนำไปใช้ในการทดลองขั้นถัดไป โดยให้ผลลัพธ์ที่สะท้อนค่าภาระงานจากฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์ โดยเป้าหมายของการทดลองนี้ กำหนดว่าลักษณะของภาระงานจะไม่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูล เนื่องจากเป็นภาระงานจากฐานข้อมูลออนไลน์เชิงพาณิชย์ทุกภาระงาน

ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองนี้ดังตารางที่ 5-4 คือ ลักษณะภาระงาน ซึ่งลักษณะภาระงานที่ใช้ในการทดลองนี้แบ่งออกเป็น 5 ลักษณะภาระงานจากฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์ ดังนี้ (1) ภาระงานการประกันภัย (Insurance Workload) (2) ภาระงานโทรคมนาคม (Telecom Workload) (3) ภาระงานการค้าปลีก (Retail Workload) (4) ภาระงานธนาคาร (Bank Workload) (5) ภาระงาน

การเงิน (Finance Workload) โดยสัดส่วนของคำสั่งการอ่านและเขียนข้อมูลของแต่ละภาระงาน เป็น ร้อยละ 84.8, 85.9, 86.9, 90.6 และ 90.9 ตามลำดับ ส่วนพารามิเตอร์ของการทดลองนี้ กำหนดไว้ 4 พารามิเตอร์ ดัง

ตารางที่ 5-5 ได้แก่ ระบบเรตกำหนดในงานวิจัยนี้ไว้ 2 ระดับ คือ เรต 1 และเรต 5 โดยทุกภาระงานใช้จำนวนคำสั่งที่ 400 คำสั่ง ขนาดของแถบข้อมูล 512 ไบต์ และขนาดของไฟล์ข้อมูลไม่เกิน 2.5 กิโลไบต์

โดยผลลัพธ์จากการทดลอง คือ จำนวนรอบเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล

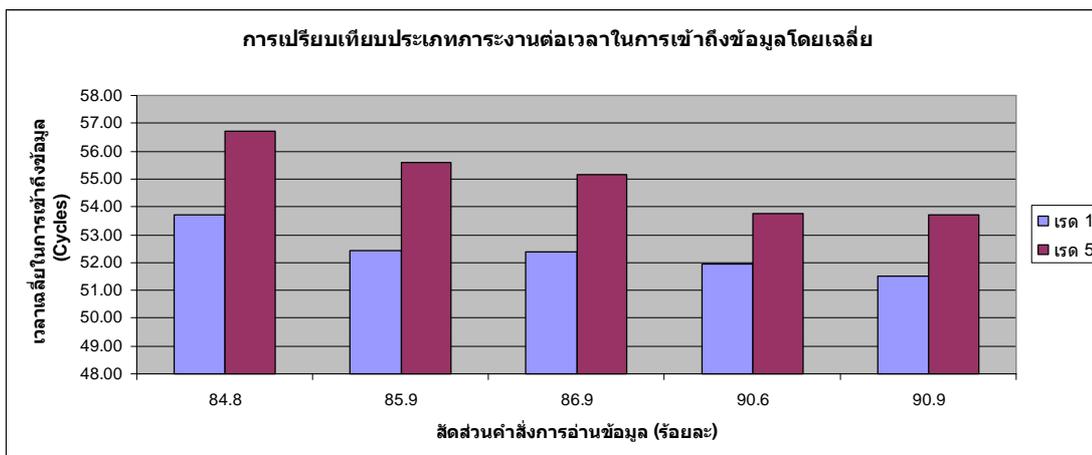
ตารางที่ 5-4 บัญชีในการทดลองที่ 1-2

ปัจจัย	รายละเอียด	
	ภาระงาน	อัตราส่วนคำสั่งการอ่าน ข้อมูล (ร้อยละ)
ลักษณะภาระงาน	การประกันภัย	84.8
	โทรคมนาคม	85.9
	การค้าปลีก	86.9
	ธนาคาร	90.6
	การเงิน	90.9

ตารางที่ 5-5 พารามิเตอร์ในการทดลองที่ 1-2

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ระดับเรต	เรต 1, เรต 5
ขนาดแถบข้อมูล	512 ไบต์
ขนาดไฟล์ข้อมูลเฉลี่ย	2.5 กิโลไบต์
จำนวนคำสั่งภาระงาน	400 คำสั่ง

ผลลัพธ์จากการทดลอง (เอกสารอ้างอิง ข) แสดงในรูปแบบแผนภูมิดังภาพที่ 5-13 โดยแสดงการเปรียบเทียบลักษณะภาระงานต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูลของเรต 1 และ เรต 5 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของเวลาที่ลดลงเมื่อสัดส่วนของคำสั่งการอ่านข้อมูลมีจำนวนมากขึ้น



ภาพที่ 5-13 การเปรียบเทียบลักษณะภาระงานต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล

จากผลการทดลองดังภาพที่ 5-13 เมื่อนำไปวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยใช้วิธี **One-way ANOVA** โดยวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าประเภทภาระงานการประกันภัยแตกต่างกับภาระงานการเงินอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้ลักษณะของภาระงานแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามสัดส่วนของคำสั่งการอ่านข้อมูล โดยกลุ่มแรกคือ ภาระงานประเภทการประกันภัย ส่วนลักษณะงานกลุ่มที่สองคือ ภาระงานประเภทโทรคมนาคม การค้าปลีก ธนาคาร และการเงิน ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกภาระงานจากกลุ่มที่สองที่มีจำนวนมากกว่ามาหาค่าเฉลี่ย ได้อัตราส่วนคำสั่งการอ่านข้อมูลที่ร้อยละ 88.58 มาเป็นตัวแทนของลักษณะภาระงานในการทดลองขั้นถัดไป ซึ่งจะเป็นตัวแทนของภาระงานประเภทโทรคมนาคม การค้าปลีก ธนาคาร และการเงิน

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ประเภทของภาระงานจะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูล เนื่องจากมีอัตราส่วนคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูลที่ไม่เท่ากัน

## 5.2.2 การศึกษาผลกระทบของปัจจัยปรับค่าต่อประสิทธิภาพของระบบเรด

การทดลองศึกษาปัจจัยขนาดแถบข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบขนาดของแถบข้อมูลที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

เป้าหมายของการทดลองนี้ กำหนดว่าขนาดของแถบข้อมูลจะส่งผลต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 5-6 มี 2 คือ ขนาดของแถบข้อมูล โดยแบ่งเป็น 2 ขนาด คือ 512 ไบต์ และ 2048 ไบต์

ส่วนพารามิเตอร์ของการทดลองนี้กำหนด 4 พารามิเตอร์ ดัง

ตารางที่ 5-7 ได้แก่ ลักษณะภาระงานในการทดลองนี้มีสัดส่วนของคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูลที่ร้อยละ 88.58 ส่วนระดับเรดมี 2 ระดับ คือ เรด 1 และเรด 5 ขนาดของแถบข้อมูล 512 ไบต์ ขนาดของไฟล์ข้อมูลไม่เกิน 5 กิโลไบต์

ปัจจัยและพารามิเตอร์ที่เสนอไว้ จะนำไปกำหนดใช้ในการทดลอง ผลลัพธ์จากการทดลอง มี 3 ค่า คือ เวลาในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

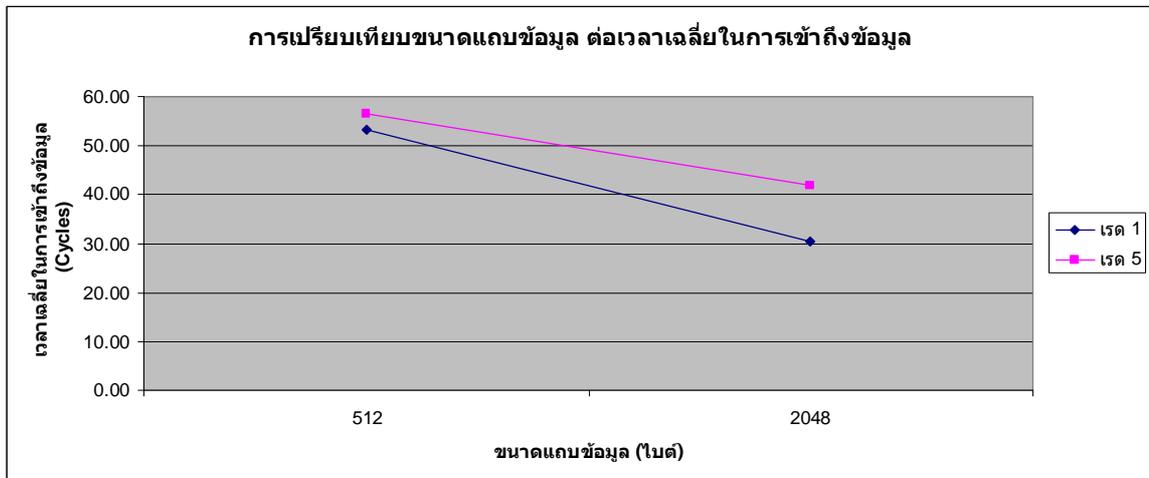
ตารางที่ 5-6 ปัจจัยในการทดลองที่ 2

ปัจจัย	รายละเอียด
ขนาดแถบข้อมูล	512, 2048 ไบต์

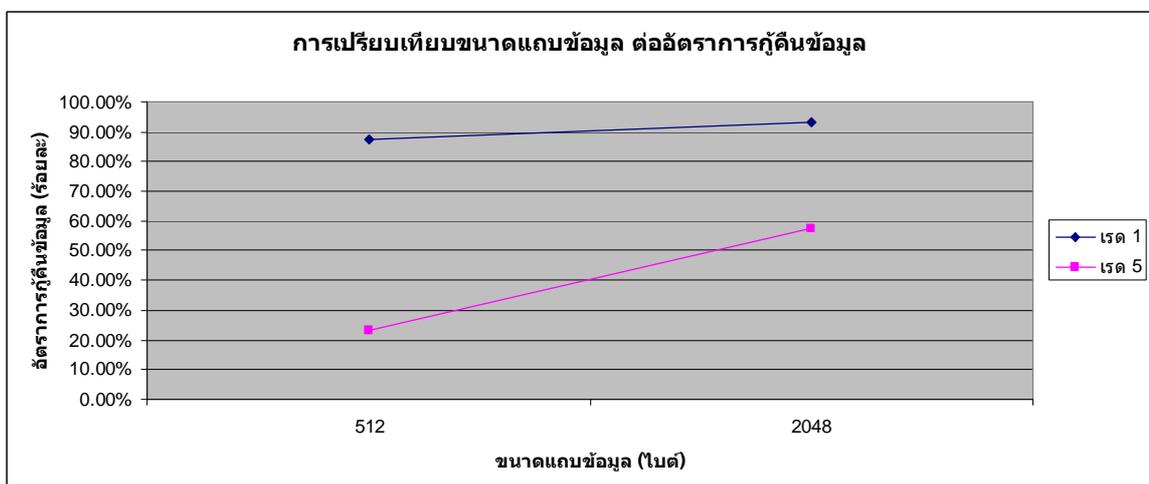
ตารางที่ 5-7 พารามิเตอร์ในการทดลองที่ 2

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ระดับเรด	เรด 1, เรด 5
ขนาดไฟล์ข้อมูลเฉลี่ย	2.5 ไบต์
จำนวนคำสั่งภาระงาน	400 คำสั่ง
สัดส่วนคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูล	ร้อยละ 88.58

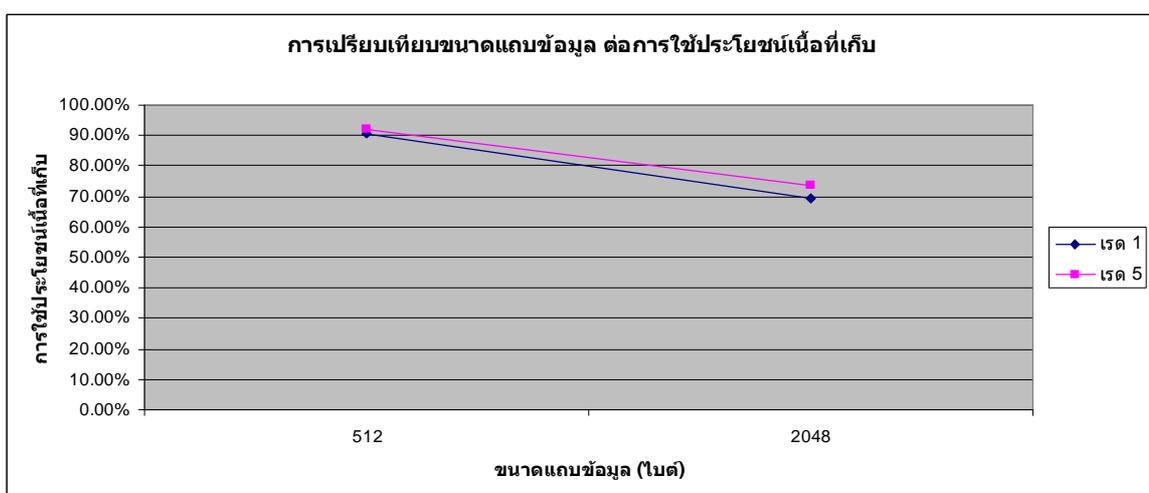
ผลลัพธ์จากการทดลอง (เอกสารอ้างอิง ข) แสดงในรูปแบบแผนภูมิดังภาพที่ 5-14 โดยแสดงการเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลของเรด 1 และ เรด 5



ภาพที่ 5-14 การเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล

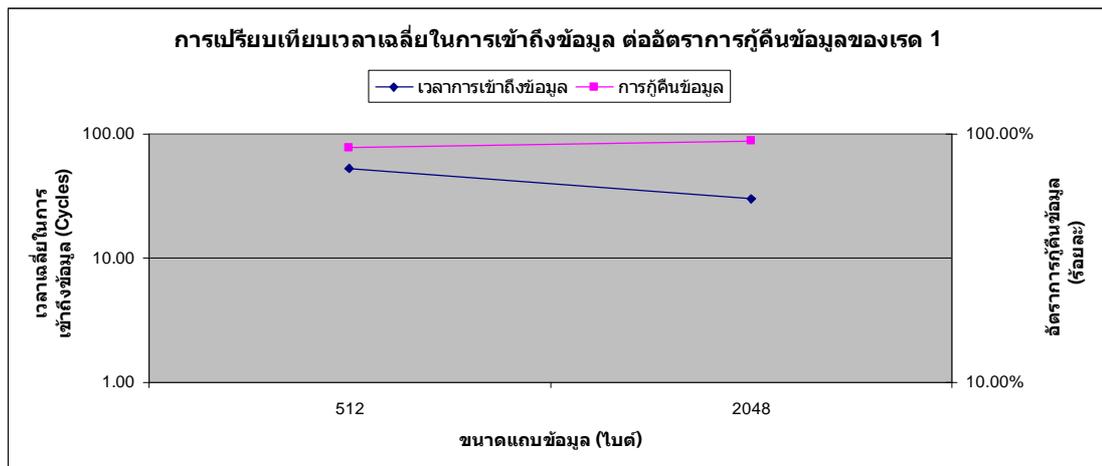


ภาพที่ 5-15 การเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูล

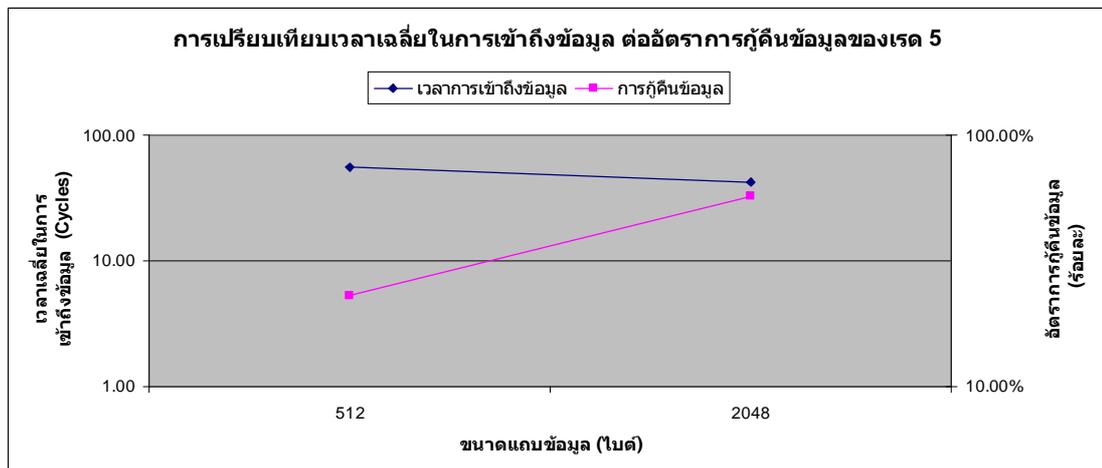


ภาพที่ 5-16 การเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลต่อการใช้ประโยชน์เนื้อที่เก็บ

จากภาพที่ 5-14 แสดงการเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล โดยแสดงแนวโน้มให้เห็นถึงเวลาในการเข้าถึงข้อมูลที่ลดลงเมื่อขนาดแถบข้อมูลเพิ่มขึ้น ส่วนภาพที่ 5-15 แสดงให้เห็นแนวโน้มอัตราการกู้คืนข้อมูลเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดแถบข้อมูลเพิ่มขึ้น และในภาพที่ 5-16 แสดงการเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูลต่อการใช้ประโยชน์เนื้อที่เก็บ ซึ่งขนาดแถบข้อมูลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อการใช้ประโยชน์บนดิสก์ที่ลดลง



ภาพที่ 5-17 การเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูลของเรด 1



ภาพที่ 5-18 การเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูลของเรด 5

จากผลการทดลองดังภาพที่ 5-17 และภาพที่ 5-18 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของแถบข้อมูล ต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล และอัตราการกู้คืนข้อมูล ของเรด 1 และเรด 5 ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่าเมื่อขนาดแถบข้อมูลเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เรดทั้ง 2 ระดับ มีเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล และอัตราการกู้คืนข้อมูลใกล้เคียงกันมากขึ้น

เมื่อนำไปวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี **One-way ANOVA** พบว่าขนาดของแถบข้อมูลไม่ส่งผลต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล และไม่ส่งผลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูลในกรณีดิสก์เสีย 2 ตัว โดยวิเคราะห์ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าขนาดของแถบข้อมูลส่งผลต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ ซึ่งตรงกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ จากการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ว่าการนำระบบเรดไปใช้งานจริงการกำหนดขนาดของแถบข้อมูลจะส่งผลต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

### 5.2.3 การทดลองปรับปัจจัยกำหนด

การทดลองที่ 3 การทดลองปรับปัจจัยกำหนด เพื่อศึกษาผลกระทบของสัดส่วนคำสั่งการอ่านข้อมูล ต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล ต่ออัตราการกู้คืนข้อมูลและการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

เป้าหมายของการทดลองนี้ กำหนดว่าสัดส่วนของคำสั่งในการอ่านต่อการเขียนข้อมูล จะส่งผลต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูลในกรณีดิสก์เสีย 2 ตัว และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองดังตารางที่ 5-8 คือ ลักษณะภาระงานที่ใช้ในการทดลองสำหรับการทดลองนี้ จะแบ่งออกเป็น 3 ชุด แตกต่างกันที่สัดส่วนของคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูล ดังนี้ (1) ภาระงานทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Workload) (Miller & Katz, 1991) (2) ภาระงานเชิงพาณิชย์ เป็นค่าเฉลี่ยจากจากภาระงานฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์ 4 ภาระงาน และ (3) ภาระงานที่ซีพีแบบดี ซึ่งมีสัดส่วนจำนวนคำสั่งการอ่านข้อมูลร้อยละ 69.78, 88.58 และ 97.80 ตามลำดับ เหตุผลที่นำลักษณะภาระงานทั้ง 3 มาใช้ในการทดลอง ก็เพื่อที่จะเปรียบเทียบและสังเกตรูปแบบของเวลาในการเข้าถึงข้อมูลจากลักษณะภาระงานที่แตกต่างกัน

ส่วนพารามิเตอร์ของการทดลองนี้กำหนด 4 พารามิเตอร์ ดัง

ตารางที่ 5-9 ส่วนปัจจัยระดับเรดนั้น กำหนดในงานวิจัยนี้ไว้ที่ 2 ระดับ คือ เรด 1 และเรด 5 ขนาดของแถบข้อมูล 512 ไบต์ ขนาดของไฟล์ข้อมูลไม่เกิน 2.5 กิโลไบต์

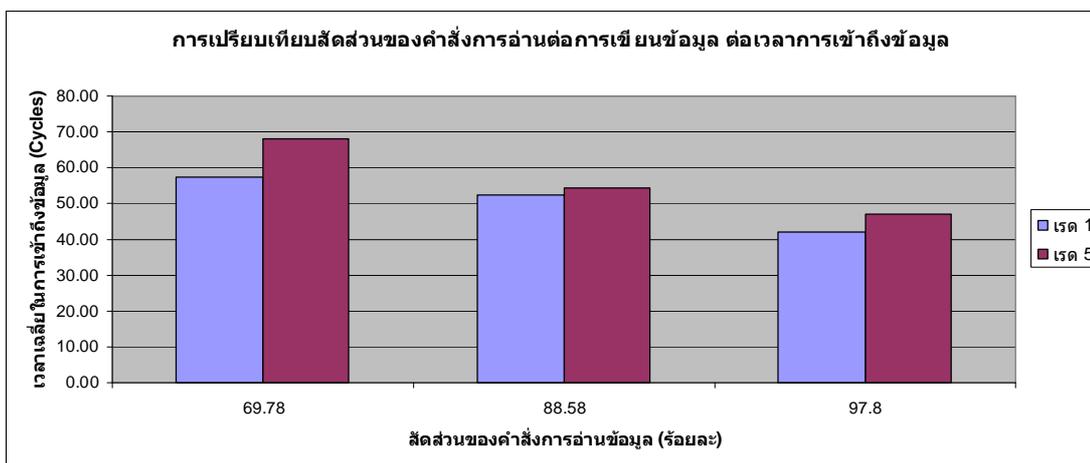
ปัจจัยและพารามิเตอร์ที่เสนอไว้ จะนำไปกำหนดใช้ในการทดลอง ผลลัพธ์จากการทดลอง มี 3 ค่า คือ เวลาในการเข้าถึงข้อมูล อัตราการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์บนเนื้อที่เก็บ

ตารางที่ 5-8 ปัจจัยในการทดลองที่ 3

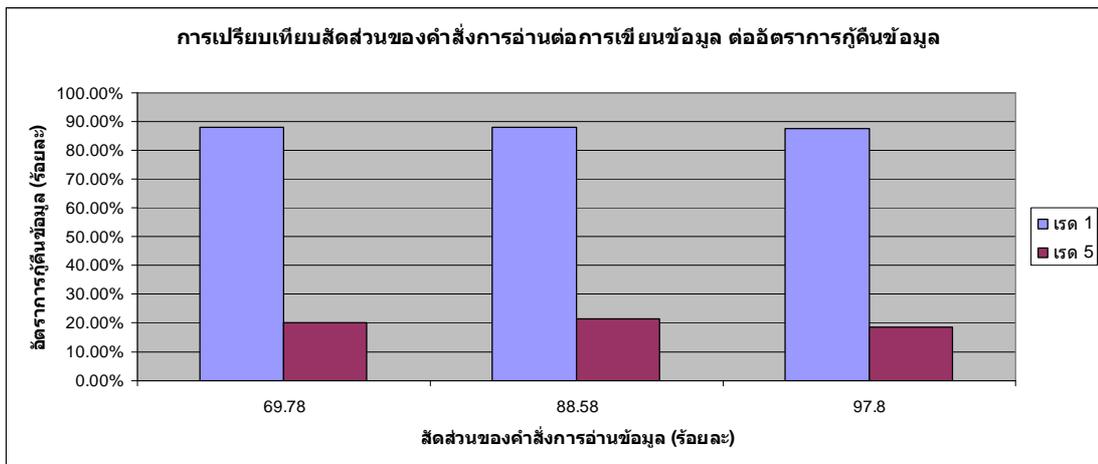
ปัจจัย	รายละเอียด	
	ลักษณะภาระงาน	ภาระงาน
	Scientific	69.78
	OLTP	88.58
	TCP-D	97.80

ตารางที่ 5-9 พารามิเตอร์ในการทดลองที่ 3

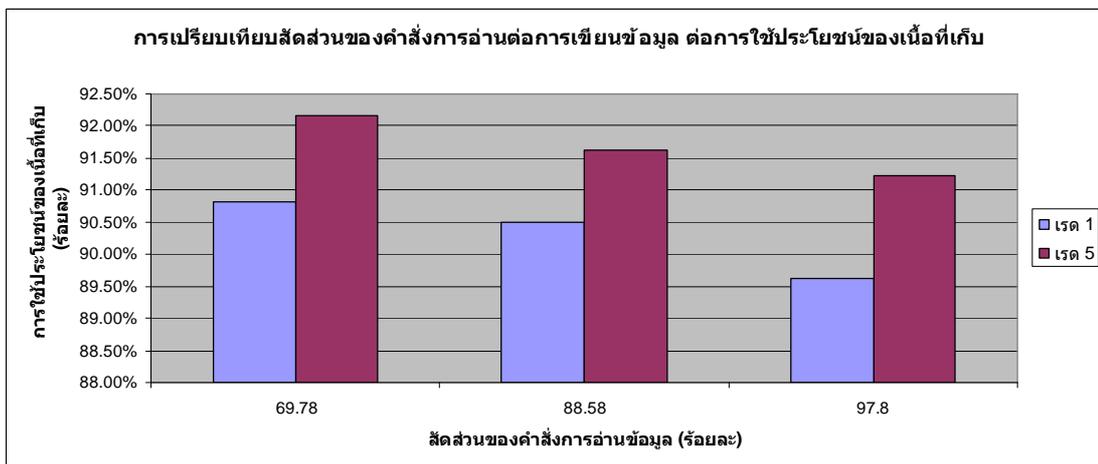
พารามิเตอร์	ลักษณะ
ระดับเรด	เรด 1, เรด 5
ขนาดแถบข้อมูล	512 ไบต์
ขนาดไฟล์ข้อมูลเฉลี่ย	5 ไบต์
จำนวนคำสั่งภาระงาน	400 คำสั่ง



ภาพที่ 5-19 การเปรียบเทียบสัดส่วนของคำสั่งการอ่านกับการเขียนข้อมูลต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล



ภาพที่ 5-20 การเปรียบเทียบสัดส่วนของคำสั่งการอ่านกับการเขียนข้อมูลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูล



ภาพที่ 5-21 การเปรียบเทียบสัดส่วนของคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูลต่อการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

จากผลการทดลองดังภาพที่ 5-19 และภาพที่ 5-20 เมื่อนำไปวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี **One-way ANOVA** พบว่าสัดส่วนของคำสั่งการอ่านข้อมูลต่อคำสั่งการเขียนข้อมูลส่งผลต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล แต่ไม่ส่งผลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูลในกรณีดิสก์เสีย 2 ตัว และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าอัตราคำสั่งการอ่านต่อคำสั่งการเขียนข้อมูลส่งผลต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูล แต่ไม่ส่งผลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูลในกรณีดิสก์เสีย 2 ตัว และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ ซึ่งขัดแย้งกับสมมติฐานที่ตั้งไว้เช่นเดียวกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าการนำระบบเรดไปใช้ในภาระงานที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและอัตราการกู้คืนข้อมูลในกรณีดิสก์เสีย 2 ตัว

### 5.3 การวิเคราะห์และประเมินผล

ผลการวิเคราะห์และประเมินปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบเบรคจากการทดลองทั้ง 3 ชั้นที่ผ่านมา มีรายละเอียดดังนี้

การคัดเลือกปัจจัยกำหนดมีผลการทดลอง ดังนี้ ผลการทดลองจากชั้นที่ 1-1 สรุปได้ว่าทั้ง 4 จำนวนคำสั่ง เมื่อเปรียบเทียบเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล พบว่าไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าพิจารณาจากกราฟเส้นจะเห็นว่าจำนวนคำสั่งที่ 100 มีค่าเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลที่แตกต่างกับจำนวนคำสั่งอื่นอย่างเห็นได้ชัด เพื่อให้ตัวแทนคำสั่งสะท้อนการทำงานของระบบการทำงานจริง งานวิจัยนี้เลือกคำสั่งที่ 400 คำสั่ง เพราะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยทั้ง 4 จำนวนคำสั่งที่นำมาทดลอง และเป็นจำนวนคำสั่งที่ทำให้ระบบจำลองเบรคที่อยู่ในสถานะให้ผลการทดลองที่สม่ำเสมอ และผลการทดลองที่ 1-2 สรุปได้ว่าลักษณะของภาระงานในกลุ่มของฐานข้อมูลเชิงพาณิชย์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มภาระงานที่มีอัตราคำสั่งการอ่านข้อมูล 84.8 และ กลุ่มภาระงานที่มีอัตราคำสั่งการอ่านข้อมูลระหว่าง 85.9 - 90.9 สะท้อนให้เห็นถึงอัตราคำสั่งการอ่านข้อมูลที่มีผลต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล โดยงานวิจัยนี้เลือกตัวแทนภาระงานเป็นค่าอัตราการอ่านข้อมูลเฉลี่ยจากกลุ่มภาระงานที่มีอัตราคำสั่งการอ่านข้อมูลระหว่าง 85.9 - 90.9 เนื่องจากมีจำนวนสมาชิกมากกว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้จะเป็นตัวแทนลักษณะภาระงานโทรคมนาคม การค้าปลีก ธนาคาร และการเงิน

การศึกษาผลกระทบของปัจจัยปรับค่าต่อประสิทธิภาพของระบบเบรค ดังผลการทดลองในชั้นที่ 2 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลที่ลดลงของทั้งเบรค 1 และเบรค 5 แนวโน้มของอัตราการกู้คืนที่มากขึ้น เมื่อขนาดแถบข้อมูลมีขนาดมากขึ้นของทั้งสองระดับ และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บที่ลดลงเมื่อมีการเพิ่มขนาดแถบข้อมูลขึ้น ดังสรุปได้ว่าทั้งเบรค 1 และเบรค 5 เหมาะสมกับขนาดแถบข้อมูลที่มีขนาดใหญ่

ส่วนการวิเคราะห์ในชั้นการทดลองสุดท้าย คือการทดลองปรับปัจจัยกำหนด อัตราส่วนระหว่างการอ่านข้อมูลต่อการเขียนข้อมูล พบว่าอัตราการอ่านข้อมูลต่อการเขียนข้อมูลที่เพิ่มขึ้นย่อมมีผลต่อเวลาการเข้าถึงข้อมูลที่ลดลง แต่ไม่มีผลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูลที่เพิ่มขึ้น และการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

จึงสามารถตอบคำถามที่ 1 ได้ว่า ขนาดของแถบข้อมูลและระดับเบรคมีผลต่อความเร็วการเข้าถึงข้อมูลโดยเฉลี่ย และมีผลต่ออัตราการกู้คืนข้อมูล โดยทั้งสองเป็นปัจจัยที่เสริมกัน และควรปรับไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นของขนาดแถบข้อมูล

ส่วนคำถามที่ 2 สรุปได้ว่าลักษณะของงานประมวลผลที่มีการปรับเปลี่ยน มีผลต่อความเร็ว การเข้าถึงข้อมูล แต่ไม่มีผลต่ออัตราส่วนการกู้คืนข้อมูล และการใช้ประโยชน์ต่อเนื้อที่เก็บ โดย สัดส่วนของคำสั่งการอ่านข้อมูลที่มากขึ้น จะส่งผลให้เวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลลดลง

## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เสนอระบบจำลองเรดเพ็ท โดยมีเป้าหมายเพื่อเป็นเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกให้ผู้ดูแลระบบ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจัดเก็บข้อมูลแบบเรด ในสภาพการใช้งานประมวผลเชิงพาณิชย์ที่หลากหลายได้ในเวลาจำกัด เพื่อให้ผู้ดูแลระบบมีข้อมูลเพื่อพิจารณาผลกระทบของปัจจัยในการปรับค่าระบบ ต่อประสิทธิภาพการเข้าถึงข้อมูล โดยระบบจำลองเรดเพ็ทเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ ความเร็วเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูลในดิสก์ อัตราส่วนการกู้คืนข้อมูลได้หากเกิดกรณีเนื้อที่ดิสก์เสียหาย และสัดส่วนการใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ

กรณีตัวอย่างในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรดสำหรับงานประมวผลเชิงพาณิชย์โดยใช้เรดเพ็ท ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำเรดเพ็ท มาใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินปัจจัยที่กระทบต่อประสิทธิภาพของระบบเรด ดังเป้าหมายหลักที่ตั้งไว้ เมื่อนำระบบจำลองเรดเพ็ทไปทดลองหาค่าปรับแต่งจากตัวแทนภาระงานเชิงพาณิชย์ พบว่าเป็นไปดังสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ ขนาดของแถบข้อมูล ระดับเรด และสัดส่วนคำสั่งการอ่านข้อมูล มีผลต่อเวลาเฉลี่ยในการเข้าถึงข้อมูล

ผลลัพธ์และกระบวนการดำเนินงานจากงานวิจัยนี้ ทำให้เกิดแนวคิดในการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต เกี่ยวกับการสร้างเครื่องมือเพื่อใช้เรดระดับผสม ที่ทำให้การปรับแต่งทำได้ยากกว่าระดับเรดทั่วไป

- Adaptec, I. (2005). Which RAID Level is Right for Me? *Storage Solutions White Paper*.
- Adaptec, I. (2006). Hardware RAID vs. Software RAID: Which Implementation is Best for my Application? *Storage Solutions White Paper*.
- Bairavasundaram, L. N., Goodson, G. R., Pasupathy, S., & Schindler, J. (2007). *An analysis of latent sector errors in disk drives*. Paper presented at the Proceedings of the 2007 ACM SIGMETRICS international conference on Measurement and modeling of computer systems.
- Chevalier, F., Ibbett, R., & Courtney, T. (Dec 2004). Iometer Performance Comparison of SBOD and MBOD. *WSEAS Transactions on Computers*, 3(6).
- Courtney, T., & Chevalier, F. (2005). *Comparison of SBOD and MBOD under SPC-1 Traffic*. Paper presented at the IASTED PDCN Proceeding.
- Courtney, T., & Chevalier, F. (Apr 2004). *Work in Progress: Low level simulation of back-end storage network using HASE*. Paper presented at the IEEE conference on Mass Storage systems and Technology, Maryland, USA.
- Courtney, T., & Chevalier, F. (Feb 2005). *Comparison of SBOD and MBOD Under SPC-1 Traffic*. Paper presented at the IASTED PDCN 2005, Innsbruck, Austria.
- Courtney, T., & Chevalier, F. (Jul 2005). *Overcoming the Driver Cost in Extreme Short Range Optical Interconnect*. Paper presented at the Proc. IASTED Optical Communication Systems and Networks Conference (OCSN), Banff, Canada.
- D. A. Patterson, G. G., R. H. Katz (1988). *A Case for Redundant Array of Inexpensive Disks (RAID)*. Paper presented at the ACM Conference on Management of Data (SIGMOD).
- Denehy, T. E., Bent, J., Popovici, F. I., Arpaci-Dusseau, A. C., & Arpaci-Dusseau, R. H. (2004). *Deconstructing storage arrays*. Paper presented at the Proceedings of the 11th international conference on Architectural support for programming languages and operating systems.

- Eisley, N., Peh, L.-S., & Shang, L. (2006). *In-Network Cache Coherence*. Paper presented at the Proceedings of the 39th Annual IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture.
- Grahn, H., & Stenström, P. (1996). Evaluation of a Competitive-Update Cache Coherence Protocol with Migratory Data Detection. *Journal of Parallel and Distributed Computing*.
- Hsu, W. W., Smith, A. J., & Young, H. C. (2001). Characteristics of production database workloads and the TPC benchmarks (Vol. 40, pp. 781-802): IBM Corp.
- Intel. (2005). Intel<sup>R</sup> RAID Controller SRCS16 Performance-Tuning White Paper.
- Kelton, W. D., & Barton, R. R. (2003). *Experimental design for simulation: experimental design for simulation*. Paper presented at the Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation.
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (2000). *Simulation Modeling and Analysis* (3 ed.): McGraw-Hill International Series.
- Li, D., & Wang, J. (2004). *EERAID: energy efficient redundant and inexpensive disk array*. Paper presented at the Proceedings of the 11th workshop on ACM SIGOPS European workshop: beyond the PC.
- Li, Y., Courtney, T., Chevalier, F., & Ibbett, R. (2006). *SimRAID: An Efficient Performance Evaluation Tool for RAID Systems*. Paper presented at the SCSC 2006, Calgary, Canada.
- Marunngsith, W., & Ibbett, R. N. (2004). *DSIMCluster: A Simulation Model for Efficient Memory Analysis Experiments of DSM Clusters*. Paper presented at the SCSC 2004.
- Miller, E. L., & Katz, R. H. (1991). *Analyzing The I/O Behavior of Supercomputer Applications*. Paper presented at the The Eleventh IEEE Symposium on Mass Storage Systems.
- Patterson, D. A., Gibson, G., & Katz, R. H. (1988). *A case for redundant arrays of inexpensive disks (RAID)*. Paper presented at the Proceedings of the 1988 ACM

- SIGMOD international conference on Management of data, Chicago, Illinois, United States.
- Pinheiro, E., Weber, W.-D., & Barroso, L. A. (Feb 2007). *Failure Trends in a Large Disk Drive Population*. Paper presented at the Proceedings of the 5th USENIX Conference on File and Storage Technologies (FAST 2007), San Jose, CA.
- Skadron, K., Martonosi, M., August, D. I., Hill, M. D., Lilja, D. J., & Pai, V. S. (2003). Challenges in Computer Architecture Evaluation. *Computer*, 36(8), 30-36.
- Strom, R., & Yemini, S. (1985). Optimistic recovery in distributed systems. *ACM Trans. Comput. Syst.*, 3(3), 204-226.
- White, B., Ng, W. T., & Hillyer, B. K. (Jan 2001). Performance Comparison of IDE and SCSI Disks. *Tech. rep., Bell Labs*.
- Wilkes, J., Golding, R., Staelin, C., & Sullivan, T. (1996). The HP AutoRAID hierarchical storage system. *ACM Trans. Comput. Syst.*, 14(1), 108-136.
- Yan, L., Chang-Sheng, X., Huai-yang, L., & Zhen, Z. (2006). *ERAID: a New Storage Architecture for Mid/Large RAID*. Paper presented at the VECPAR'06: International Meeting on High Performance Computing for Computational Science Faculty of Engineering of the University of Porto.
- Youssef, R. (Aug 1995). *RAID for Mobile Computers*. Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## ผลลัพธ์จากการทดลอง

## การทดลองที่ 1-1 การเปรียบเทียบจำนวนคำสั่งต่อเวลาการประมวลผล

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์จำนวนคำสั่งต่อเวลาการประมวลผล

การทดลองที่ 1		ประเภทฮาร์ดดิสก์	A	B	C	D
		<i>Clock Rate (Hz)</i>	66,000,000	66,000,000	66,000,000	66,000,000
		<i>Avg. Access (ms)</i>	8.49	6.2	8.59	7.5
		<i>Avg. Access (cycles)</i>	560,340	409,200	566,940	495,000
ระดับเรต	จำนวนคำสั่ง	เวลาการเข้าถึงข้อมูล ในระบบจำลอง (Cycles)	เวลาการเข้าถึงข้อมูล (มิลลิวินาที)			
			A	B	C	D
เรต 1	100	53.55	45.46	33.20	46.00	40.16
	200	51.33	43.58	31.83	44.10	38.50
	400	51.92	44.08	32.19	44.60	38.94
	800	50.86	43.18	31.53	43.69	38.15
เรต 5	100	57.81	49.08	35.84	49.66	43.36
	200	54.22	46.03	33.61	46.57	40.66
	400	54.04	45.88	33.51	46.42	40.53
	800	52.95	44.95	32.83	45.48	39.71

## การทดลองที่ 1-2 การทดลองเปรียบเทียบประเภทของภาระงาน ต่อเวลาที่ใช้ประมวลผล

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์เวลาการประมวลผลต่อภาระงาน

การเปรียบเทียบลักษณะภาระงานต่อเวลาในการเข้าถึงข้อมูลโดยเฉลี่ย			
ระดับเรด	ประเภทภาระงาน	สัดส่วนคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูล (ร้อยละ)	เวลาในการเข้าข้อมูลโดยเฉลี่ย (Cycles)
เรด 1	การประกันภัย	84.8	53.70
	โทรคมนาคม	85.9	52.45
	การค้าปลีก	86.9	52.40
	ธนาคาร	90.6	51.96
	การเงิน	90.9	51.49
เรด 5	การประกันภัย	84.8	56.72
	โทรคมนาคม	85.9	55.60
	การค้าปลีก	86.9	55.12
	ธนาคาร	90.6	53.76
	การเงิน	90.9	53.70

## การทดลองที่ 2 การศึกษาผลกระทบของขนาดแถบข้อมูล (Stripe Size)

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ขนาดของแถบข้อมูล (Stripe Size) ต่อเวลาในการประมวลผล

การทดลองเปรียบเทียบขนาดแถบข้อมูล				
ระดับเรด	ขนาดแถบข้อมูล	เวลาการเข้าถึงข้อมูล	อัตราการใช้พื้นที่ข้อมูล	การใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ
เรด 1	512	53.26	87.55%	90.46%
	2048	30.31	93.42%	69.19%
เรด 5	512	56.42	23.10%	91.80%
	2048	41.89	57.67%	73.62%

### การทดลองที่ 3 การศึกษาสัดส่วนของคำสั่งในการอ่านและเขียนข้อมูล

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การทดลองอัตราการอ่านต่อการเขียนข้อมูลและอัตราการกู้คืนข้อมูล

อัตราส่วนคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูล					
ระดับเรด	ประเภทภาระงาน	อัตราส่วนคำสั่งการอ่านต่อการเขียนข้อมูล	เวลาในการเข้าถึงข้อมูลโดยเฉลี่ย	อัตราการกู้คืนข้อมูล	การใช้ประโยชน์ของเนื้อที่เก็บ
เรด 1	Scientific	69.78	57.23	87.94%	90.82%
	OLTP	88.58	52.58	87.95%	90.49%
	TPC-D	97.8	42.30	87.67%	89.63%
เรด 5	Scientific	69.78	68.15	20.02%	92.17%
	OLTP	88.58	54.41	21.39%	91.63%
	TPC-D	97.80	47.20	18.78%	91.22%

## ภาคผนวก ข

---

**Drive Interface**

Failover from each storage processor to both Fibre Channel loops is possible.

<b>Nominal Capacity</b>	<b>73 GB 2 Gb/s (10,000)</b>	<b>146 GB 2 Gb/s (10,000)</b>	<b>300 GB 2 Gb/s (10,000)</b>	<b>500 GB 2 Gb/s (7,200)</b>	<b>73 GB 4 (15,000)</b>
<b>Formatted Capacity*</b> (520 bytes/sector, 1 MB = 1,048,576 bytes)	67.7 GB	135 GB	272 GB	465 GB	67.7 GB
<b>Form Factor</b>	3.5"	3.5"	3.5"	3.5"	3.5"
<b>Height</b>	1.0"	1.0"	1.0"	1.0"	1.0"
<b>Rotational Speed</b>	10,000 rpm	10,000 rpm	10,000 rpm	7,200 rpm	15,000 rpm
<b>Interface</b>	Fibre Channel	Fibre Channel	Fibre Channel	Fibre Channel	Fibre Channel
<b>Data Buffer</b>	16 MB	32 MB	32 MB	32 MB	32 MB
<b>Transfer Rates</b>					
<b>Buffer to/from Media</b>	59–118 MB/s	59–118 MB/s	59–118 MB/s	33–66 MB/s	max. 93 MB/s
<b>SP to/from Buffer (max.)</b>	200 MB/s	200 MB/s	200 MB/s	200 MB/s	400 MB/s
<b>Access Time</b>					
<b>Average Seek</b>	4.7 ms Read 5.4 ms Write	4.7 ms Read 5.4 ms Write	4.7 ms Read 5.4 ms Write	8.5 ms Read 9.5 ms Write	3.6 ms Read 4.1 ms Write
<b>Rotational Latency</b>	3.00 ms	3.00 ms	3.00 ms	4.17 ms	2 ms

\* Note: The FLARE<sup>®</sup> storage operating environment requires 33 GB of disk space on each of the first five controllers.

## ภาคผนวก ค

การทดลองที่ 1-1

(ก) เกรดระดับ 1

ANOVA					
Access Time					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	32.885	3	10.962	.595	.624
Within Groups	516.284	28	18.439		
Total	549.169	31			

## Multiple Comparisons

Access Time

Tukey HSD

(I) Command Size	(J) Command Size	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
100	200	2.21375	2.14702	.733	-3.6483	8.0758
	400	1.62750	2.14702	.872	-4.2345	7.4895
	800	2.68500	2.14702	.601	-3.1770	8.5470
200	100	-2.21375	2.14702	.733	-8.0758	3.6483
	400	-.58625	2.14702	.993	-6.4483	5.2758
	800	.47125	2.14702	.996	-5.3908	6.3333
400	100	-1.62750	2.14702	.872	-7.4895	4.2345
	200	.58625	2.14702	.993	-5.2758	6.4483
	800	1.05750	2.14702	.960	-4.8045	6.9195
800	100	-2.68500	2.14702	.601	-8.5470	3.1770
	200	-.47125	2.14702	.996	-6.3333	5.3908
	400	-1.05750	2.14702	.960	-6.9195	4.8045

(๑) ระดับ 5

ANOVA					
Access Time					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	107.270	3	35.757	2.267	.103
Within Groups	441.563	28	15.770		
Total	548.833	31			

## Multiple Comparisons

Access Time

Tukey HSD

(I) Command Size	(J) Command Size	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
100	200	3.59625	1.98558	.289	-1.8250	9.0175
	400	3.77000	1.98558	.252	-1.6513	9.1913
	800	4.86375	1.98558	.091	-.5575	10.2850
200	100	-3.59625	1.98558	.289	-9.0175	1.8250
	400	.17375	1.98558	1.000	-5.2475	5.5950
	800	1.26750	1.98558	.919	-4.1538	6.6888
400	100	-3.77000	1.98558	.252	-9.1913	1.6513
	200	-.17375	1.98558	1.000	-5.5950	5.2475
	800	1.09375	1.98558	.946	-4.3275	6.5150
800	100	-4.86375	1.98558	.091	-10.2850	.5575
	200	-1.26750	1.98558	.919	-6.6888	4.1538
	400	-1.09375	1.98558	.946	-6.5150	4.3275

การทดลองที่ 1-2

(ก) เรดระดับ 1

ANOVA					
Access Time					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21.780	4	5.445	1.092	.376
Within Groups	174.597	35	4.988		
Total	196.377	39			

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Access Time

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval			
						Workload	Workload	Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	1	2	1.24625	1.11675	.797	-1.9645	4.4570		
		3	1.30125	1.11675	.771	-1.9095	4.5120		
		4	1.74125	1.11675	.532	-1.4695	4.9520		
		5	2.21375	1.11675	.295	-.9970	5.4245		
	2	1	-1.24625	1.11675	.797	-4.4570	1.9645		
		3	.05500	1.11675	1.000	-3.1557	3.2657		
		4	.49500	1.11675	.992	-2.7157	3.7057		
		5	.96750	1.11675	.907	-2.2432	4.1782		
	3	1	-1.30125	1.11675	.771	-4.5120	1.9095		
		2	-.05500	1.11675	1.000	-3.2657	3.1557		
		4	.44000	1.11675	.995	-2.7707	3.6507		
		5	.91250	1.11675	.924	-2.2982	4.1232		
	4	1	-1.74125	1.11675	.532	-4.9520	1.4695		
		2	-.49500	1.11675	.992	-3.7057	2.7157		
		3	-.44000	1.11675	.995	-3.6507	2.7707		
		5	.47250	1.11675	.993	-2.7382	3.6832		
	5	1	-2.21375	1.11675	.295	-5.4245	.9970		
		2	-.96750	1.11675	.907	-4.1782	2.2432		
		3	-.91250	1.11675	.924	-4.1232	2.2982		
		4	-.47250	1.11675	.993	-3.6832	2.7382		

(๑) เรดระดับ 5

ANOVA					
Access Time					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	52.364	4	13.091	3.043	.030
Within Groups	150.585	35	4.302		
Total	202.950	39			

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: Access Time

	(I)	(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval			
						Workload	Workload	Lower Bound	Upper Bound
						Tukey HSD	1	2	1.11250
		3	1.59000	1.03712	.549	-1.3918	4.5718		
		4	2.95500	1.03712	.053	-.0268	5.9368		
		5	3.01500*	1.03712	.046	.0332	5.9968		
	2	1	-1.11250	1.03712	.819	-4.0943	1.8693		
		3	.47750	1.03712	.990	-2.5043	3.4593		
		4	1.84250	1.03712	.403	-1.1393	4.8243		
		5	1.90250	1.03712	.371	-1.0793	4.8843		
	3	1	-1.59000	1.03712	.549	-4.5718	1.3918		
		2	-.47750	1.03712	.990	-3.4593	2.5043		
		4	1.36500	1.03712	.683	-1.6168	4.3468		
		5	1.42500	1.03712	.648	-1.5568	4.4068		
	4	1	-2.95500	1.03712	.053	-5.9368	.0268		
		2	-1.84250	1.03712	.403	-4.8243	1.1393		
		3	-1.36500	1.03712	.683	-4.3468	1.6168		
		5	.06000	1.03712	1.000	-2.9218	3.0418		
	5	1	-3.01500*	1.03712	.046	-5.9968	-.0332		
		2	-1.90250	1.03712	.371	-4.8843	1.0793		
		3	-1.42500	1.03712	.648	-4.4068	1.5568		
		4	-.06000	1.03712	1.000	-3.0418	2.9218		

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## การทดลองที่ 2

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Access Time	Between Groups	1404.563	1	1404.563	54.984	.000
	Within Groups	357.629	14	25.545		
	Total	1762.192	15			
Recovery	Between Groups	.163	1	.163	2.098	.170
	Within Groups	1.091	14	.078		
	Total	1.254	15			

## การทดลองที่ 3

## (ก) เกรดระดับ 1

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Access Time	Between Groups	467.054	2	233.527	19.228	.001
	Within Groups	109.308	9	12.145		
	Total	576.362	11			
Recovery	Between Groups	.197	2	.098	.153	.861
	Within Groups	5.796	9	.644		
	Total	5.993	11			
Utilization	Between Groups	3.033	2	1.517	.993	.408
	Within Groups	13.745	9	1.527		
	Total	16.778	11			

## Multiple Comparisons

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) RW Ratio	(J) RW Ratio	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
						Lower Bound	Upper Bound	
Access Time	69.78	88.58	4.64250	2.46428	.199	-2.2378	11.5228	
		97.8	14.93000*	2.46428	.000	8.0497	21.8103	
	88.58	69.78	-4.64250	2.46428	.199	-11.5228	2.2378	
		97.8	10.28750*	2.46428	.006	3.4072	17.1678	
	97.8	69.78	-14.93000*	2.46428	.000	-21.8103	-8.0497	
		88.58	-10.28750*	2.46428	.006	-17.1678	-3.4072	
	Recovery	69.78	88.58	-.01510	.56747	1.000	-1.5995	1.5693
			97.8	.26365	.56747	.889	-1.3207	1.8480
88.58		69.78	.01510	.56747	1.000	-1.5693	1.5995	
		97.8	.27875	.56747	.877	-1.3056	1.8631	
97.8		69.78	-.26365	.56747	.889	-1.8480	1.3207	
		88.58	-.27875	.56747	.877	-1.8631	1.3056	
Utilization		69.78	88.58	.33000	.87385	.925	-2.1098	2.7698
			97.8	1.19250	.87385	.398	-1.2473	3.6323
	88.58	69.78	-.33000	.87385	.925	-2.7698	2.1098	
		97.8	.86250	.87385	.603	-1.5773	3.3023	
	97.8	69.78	-1.19250	.87385	.398	-3.6323	1.2473	
		88.58	-.86250	.87385	.603	-3.3023	1.5773	

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

(๑) ระดับ 5

ANOVA						
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Access Time	Between Groups	905.871	2	452.935	26.976	.000
	Within Groups	151.115	9	16.791		
	Total	1056.985	11			
Recovery	Between Groups	13.656	2	6.828	.241	.791
	Within Groups	255.093	9	28.344		
	Total	268.749	11			
Utilization	Between Groups	1.814	2	.907	.893	.443
	Within Groups	9.143	9	1.016		
	Total	10.956	11			

## Multiple Comparisons

Tukey HSD

Dependent Variable	(I) RW Ratio	(J) RW Ratio	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Access Time	69.78	88.58	13.73000*	2.89746	.003	5.6403	21.8197
		97.8	20.94750*	2.89746	.000	12.8578	29.0372
	88.58	69.78	-13.73000*	2.89746	.003	-21.8197	-5.6403
		97.8	7.21750	2.89746	.080	-.8722	15.3072
	97.8	69.78	-20.94750*	2.89746	.000	-29.0372	-12.8578
		88.58	-7.21750	2.89746	.080	-15.3072	.8722
Recovery	69.78	88.58	-1.37418	3.76455	.930	-11.8848	9.1365
		97.8	1.23772	3.76455	.943	-9.2729	11.7484
	88.58	69.78	1.37418	3.76455	.930	-9.1365	11.8848
		97.8	2.61189	3.76455	.773	-7.8987	13.1225
	97.8	69.78	-1.23772	3.76455	.943	-11.7484	9.2729
		88.58	-2.61189	3.76455	.773	-13.1225	7.8987
Utilization	69.78	88.58	.53250	.71269	.743	-1.4573	2.5223
		97.8	.95000	.71269	.413	-1.0398	2.9398
	88.58	69.78	-.53250	.71269	.743	-2.5223	1.4573
		97.8	.41750	.71269	.831	-1.5723	2.4073
	97.8	69.78	-.95000	.71269	.413	-2.9398	1.0398
		88.58	-.41750	.71269	.831	-2.4073	1.5723

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

## ประวัติการศึกษา

ชื่อ

พรชัย พันธุ์วิเศษ

วันเดือนปีเกิด

26 กันยายน 2524

วุฒิการศึกษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

สำเร็จการศึกษาปี 2546