รายงานการวิจัย พัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์

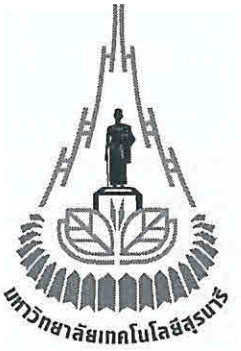
เรื่อง

# เว็บเซิร์ฟเวอร์คลัสเตอร์เคลื่อนที่พร้อมใช้จาก มทส.
# (SUT-MIWEC: SUT-Mobile Instant WEb Cluster)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย พัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์จาก
กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว




รายงานการวิจัย พัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์

เรื่อง

# เว็บเซิร์ฟเวอร์คลัสเตอร์เคลื่อนที่พร้อมใช้จาก มทส.
# (SUT-MIWEC: SUT-Mobile Instant WEb Cluster)

หัวหน้าโครงการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมพันธุ์ ชาญศิลป์
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย พัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์จาก
กองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
ประจำปี พ.ศ. 2552

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว
กันยายน 2561

# บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ เป็นงานวิจัยประยุกต์ ทำให้ได้ผลงานเป็น เว็บเซิร์ฟเวอร์คลัสเตอร์เคลื่อนที่พร้อมใช้ บรรจุในแผ่นดีวีดี เพื่อนำไปใช้งานได้ทันที สิ่งที่ได้คือระบบปฏิบัติการลินุกซ์ที่ได้ทำการคอนฟิกและติดตั้งโปรแกรมต่างๆ สำหรับการติดตั้งให้เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์คลัสเตอร์ นั่นคือ สามารถนำไปติดตั้งลงในคอมพิวเตอร์ตั้งหนึ่งเครื่องไปจนถึงสูงสุด 4 เครื่อง โดยเครื่องเหล่านั้นจะทำงานร่วมกันเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเว็บเซิร์ฟเวอร์ รวมทั้งยังมีความพร้อมใช้งานสูง ระบบเว็บเซิร์ฟเวอร์คลัสเตอร์ที่ได้จะประกอบด้วยเว็บเซิร์ฟเวอร์ Apapce ภาษาสั่งงาน PHP และดาต้าเบส MySQL นอกจากนั้นระบบนี้ยังเหมาะสำหรับการเริ่มต้นติดตั้งที่เครื่องเดียวก่อน จากนั้นเมื่อโหลดมากขึ้นจึงติดตั้งลงบนเครื่องอื่นเพิ่มเติม เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ติดตั้งไม่จำเป็นต้องมี Spec เดียวกัน และสามารถเป็นเครื่องพีซีธรรมดาได้ บนแผ่นมีคู่มือการใช้งานในรูปแบบของไฟล์มัลติมีเดียพร้อมการบรรยาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย พัฒนานวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ เรื่อง เว็บเซิร์ฟเวอร์คลัสเตอร์เคลื่อนที่พร้อมใช้จาก มทส. ดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความร่วมมือหลายฝ่าย อันประกอบด้วยกองทุนนวัตกรรมและสิ่งประดิษฐ์ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ให้การสนับสนุนด้านเงินทุน นายปรัชญ์ พงษ์พานิช นักศึกษาที่เป็นผู้ช่วยวิจัย และเจ้าหน้าที่ของศูนย์คอมพิวเตอร์หลายท่านที่อำนวยความสะดวกในการใช้คอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่เทคโนธานีที่ได้ช่วยในการอบรมเผยแพร่ผลงาน ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เกี่ยวของทุกท่านไว้ในที่นี้

สมพันธุ์ ชาญศิลป์
กันยายน 2561

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# สารบัญ

บทคัดย่อ.....ก
กิตติกรรมประกาศ.....ข
สารบัญ.....ค
สารบัญรูป.....ง
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมา และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของของการวิจัย.....1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....1
1.4 สมมติฐานและหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย.....1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2
1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย.....2
1.7 แผนวิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่.....2
1.8 ระยะเวลาทำการวิจัยและแผนดำเนินงานตลอดโครงการ.....3
1.9 อุปกรณ์ที่จำเป็นในการวิจัย.....3
บทที่ 2 ศึกษาการทำงานของเว็บคลัสเตอร์.....4
2.1 หลักการทำงานของเว็บคลัสเตอร์.....4
2.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบคลัสเตอร์.....4
2.3 การใช้ข้อมูลที่เก็บในรูปแบบไฟล์ร่วมกันระหว่างเครื่องคลัสเตอร์โหนดต่าง ๆ.....6
2.4 การใช้ข้อมูลที่เก็บในดาต้าเบสร่วมกันระหว่างเครื่องคลัสเตอร์โหนดต่าง ๆ.....6
บทที่ 3 การพัฒนาเว็บคลัสเตอร์ การติดตั้งโปรแกรมและการคอนฟิก.....7
3.1 การออกแบบโครงสร้างของระบบ.....7
3.2 รูปแบบเว็บคลัสเตอร์ที่เลือกใช้.....7
3.3 รายละเอียดเว็บคลัสเตอร์ที่พัฒนา.....8
3.4 ทำงานในรูปแบบคลัสเตอร์.....8
3.5 โปรแกมสำคัญที่ใช้.....9
3.6 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมและการคอนฟิกระบบ.....9
บทที่ 4 การทดสอบและอภิปรายการทดสอบ.....15
4.1 ทดสอบความถูกต้องของการทำงานของระบบเว็บคลัสเตอร์.....15
4.2 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบเว็บคลัสเตอร์.....16
4.3 โปรแกรมที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพ.....17
4.4 คำสั่งที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพ.....18
4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ.....19
บทที่ 5 การติดตั้งและการใช้งาน.....24
บทที่ 6 การฝึกอบรมเผยแพร่ผลงาน.....25
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ.....30
7.1 ข้อสรุป.....30
7.2 ข้อเสนอแนะ.....30
เอกสารอ้างอิง.....31

# สารบัญรูป

รูปที่ 1 Web clustering layout....2
รูปที่ 2 การทำ Load balance แบบ NAT....4
รูปที่ 3 การทำ Load balance แบบ Direct Routing....5
รูปที่ 4 การทำ Load balance แบบ IP Tunneling....5
รูปที่ 5 รูปแบบเว็บคลัสเตอร์....7
รูปที่ 6 รายละเอียดของระบบเว็บคลัสเตอร์....8
รูปที่ 7 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับการทดสอบความถูกต้อง....15
รูปที่ 8 ทดสอบเครื่อง Server class ติดตั้งโปรแกรมปกติ....16
รูปที่ 9 ทดสอบเครื่องพีซีติดตั้งโปรแกรมปกติ....17
รูปที่ 10 ทดสอบเครื่องพีซีติดตั้งโปรแกรมแบบเว็บคลัสเตอร์....17
รูปที่ 11 จำนวนเวลาที่ใช้ในการทำงาน (ค่าน้อยแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)....20
รูปที่ 12 อัตราการรับส่งข้อมูลใน 1 วินาที (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)....20
รูปที่ 13 จำนวน Transaction ใน 1 วินาที (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)....21
รูปที่ 14 จำนวนการเชื่อมต่อที่สามารถรองรับได้พร้อมกัน (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)....21
รูปที่ 15 จำนวนเวลาที่ใช้ในการทำงาน (ค่าน้อยแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)....22
รูปที่ 16 อัตราการรับส่งข้อมูลใน 1 วินาที (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)....22
รูปที่ 17 จำนวน Transaction ใน 1 วินาที (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)....23
รูปที่ 18 จำนวนการเชื่อมต่อที่สามารถรองรับได้พร้อมกัน (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)....23
รูปที่ 19 กำหนดการอบรม....25
รูปที่ 20 รูปปกแผ่นดีวีดี....25
รูปที่ 21 รูปปกกล่องดีวีดี....26
รูปที่ 22 หน้าแรกของการนำเสนอในการอบรม....26
รูปที่ 23 ระหว่างการอบรม 1....27
รูปที่ 24 ระหว่างการอบรม 2....27
รูปที่ 25 ระหว่างการอบรม 3....28
รูปที่ 26 ระหว่างการอบรม 4....28
รูปที่ 27 ระหว่างการอบรม 5....29
รูปที่ 28 ระหว่างการอบรม 6....29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความเป็นมา และที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ผู้วิจัยได้รับความไว้วางใจจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี แต่งตั้งให้เป็นประธานคณะอนุกรรมการตรวจสอบการใช้งานระบบสารสนเทศของมหาวิทยาลัย โดยในช่วงปี 2549, 2550 จนถึงต้นปี 2551 ได้มีโอกาสเข้าไปตรวจการใช้งานระบบสารสนเทศของหน่วยงานหลักของมหาวิทยาลัยแทบทุกหน่วยงาน อาทิเช่น ศูนย์คอมพิวเตอร์ ศูนย์บริการการศึกษา การเงิน MIS และศูนย์บรรณสารเป็นต้น สิ่งที่ทางคณะอนุกรรมการฯ ตรวจพบและคิดว่าเป็นปัญหาที่สำคัญที่ควรได้รับการแก้ไขโดยด่วนมี 2 เรื่องใหญ่ คือ การออกแบบระบบฐานข้อมูลของทุกหน่วยงาน ยังไม่มีการแบ่งเก็บเป็นส่วน ๆ ทุกอย่างอยู่รวมกันเป็นก้อนเดียว และข้อมูลในนั้นโตขึ้นเรื่อยๆ รอวันจะปริแตก ส่วนเรื่องที่สองคือ บางหน่วยงานมีปัญหาเรื่องการให้บริการผ่านทางเว็บ ตัวอย่างเช่นศูนย์บริการการศึกษา ที่มีผู้ใช้จำนวนมากเรื่อยๆ โดยเฉพาะในช่วงของการดูผลการเรียน ลงทะเบียน และการสมัครเข้าเรียนจากบุคคลภายนอก ปัญหาทั้งสองเรื่องสามารถแก้ไขได้ แต่สำหรับงานวิจัยนี้ เลือกที่จะจัดการกับปัญหาที่สอง เพราะเป็นเรื่องที่ไม่สลับซับซ้อนจนเกินไป ประกอบกับผมได้มีโอกาสประชุมเกี่ยวกับการจัดการเรื่อง eLearning กับมหาวิยาลัยต่างๆ บ่อยครั้ง ทุกแห่งมีปัญหาเดียวกัน คือ ในรอบปีหนึ่งๆ จะปรากฏวันที่มีโหลดจำนวนมากเข้ามายังเครื่องเว็บเซิร์ฟเวอร์อยู่ไม่กี่วัน ทุกที่รวมทั้งที่ มทส. ด้วย จัดการแก้ไขเรื่องนี้ด้วยการซื้อฮาร์ดแวร์ที่เป็นเครื่องเซิร์ฟเวอร์เพิ่ม ผมคิดว่าการแก้ไขปัญหานี้มีอีกหนทางหนึ่ง ที่น่าจะนำมาใช้มากกว่าการที่ต้องเสียเงินซื้อเครื่องเพิ่ม และเสียเงินค่าลิขสิทธ์ซอร์ฟแวร์เพิ่ม เป็นเงินหลายแสนไปจนถึงเป็นหลักล้านบาท สำหรับรองรับโหลดไม่กี่วันในรอบปี สิ่งที่เสนอในงานวิจัยนี้คือ ในวันสำคัญที่มีโหลดเข้ามายังเครื่องเซิร์ฟเวอร์เป็นปริมาณมาก ๆ เช่นนั้น เราควรที่จะนำคอมพิวเตอร์ที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการ มาเชื่อมต่อกันเข้าและให้ทำงานร่วมกันเป็นเว็บคลัสเตอร์ เมื่อวันนั้นผ่านไป เราก็นำเครื่องทั้งหลายนั้น กลับไปใช้งานในห้องปฏิบัติการเช่นเดิม สิ่งที่กำลังกล่าวถึงนี้เป็นสิ่งที่ได้เกิดมีขึ้นบ้างแล้ว โดยถ้าเราค้นทางอินเทอร์เน็ตว่า web cluster ก็จะพบข้อมูลจำนวนมาก ในงานวิจัยครั้งนี้ จึงต้องการรวบรวม เครื่องมือ นำมาปรับแต่ง และหรือทำการพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ สิ่งที่เรียกว่า **เว็บเซิร์ฟเวอร์คลัสเตอร์เคลื่อนที่พร้อมใช้จาก มทส.** นั่นคือต้องการระบบที่พร้อมใช้อยู่บนแผ่น DVD ที่พร้อมสำหรับนำเป็นติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปในห้องปฏิบัติการ 4 เครื่อง หรือ 8 เครื่อง หรือมากกว่า เสร็จภายใน 5-10 นาที แล้วเครื่องเหล่านั้นจะสามารถทำงานร่วมกัน เพื่อรองรับการบริการทางเว็บ โดยเลือกที่จะใช้ซอร์ฟแวร์ทั้งหมดที่เป็นโอเพนซอร์สทั้งนี้เพื่อสนองต่อนโยบายเศรษฐกิจพอเพียง ลดค่าใช้จ่ายเรื่องซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ โดยพยายามลดขั้นตอนการคอนฟิก (Configure) ระบบด้วยมือให้มากที่สุดจนถึงขั้นสามารถใช้คำว่า **เป็นระบบที่พร้อมใช้** ได้เป็นอย่างดี ซึ่งผู้วิจัยในฐานะเคยได้รับเงินสนับสนุนการวิจัยด้านโอเพ่นซอร์สจากมหาวิทยาลัยมาถึง 5 ปี และมีประสบการณ์ในการทำระบบสอบออนไลน์มาแล้ว จึงมีความชำนาญเพียงพอที่จะทำงานวิจัยชิ้นนี้ให้สำเร็จลุล่วง ผลงานที่ได้นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานต่าง ๆ ในมหาวิทยาลัยแล้วยังน่าจะเป็นประโยชน์ต่อสถาบันการศึกษาอื่น ๆ อีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของของการวิจัย

1. ศึกษาวิจัยการนำคอมพิวเตอร์พีซีทั่วไป มาทำงานรวมกันเป็นเว็บและดาต้าเบส MySQL คลัสเตอร์
2. สร้างแผ่น SUT-Mobile Instant WEb Cluster สำหรับการนำไปติดตั้งใช้งานโดยให้มีการคอนฟิกด้วยมือน้อยที่สุด
3. ติดตั้งอุปกรณ์และ Simulate การทำงาน โดยศึกษาด้วยการจำลองโหลด
4. ติดตั้งอุปกรณ์และทดสอบการใช้งานจริงพร้อมเก็บข้อมูลร่วมกับศูนย์บริการการศึกษา
5. ฝึกอบรมเผยแพร่ผลงาน

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

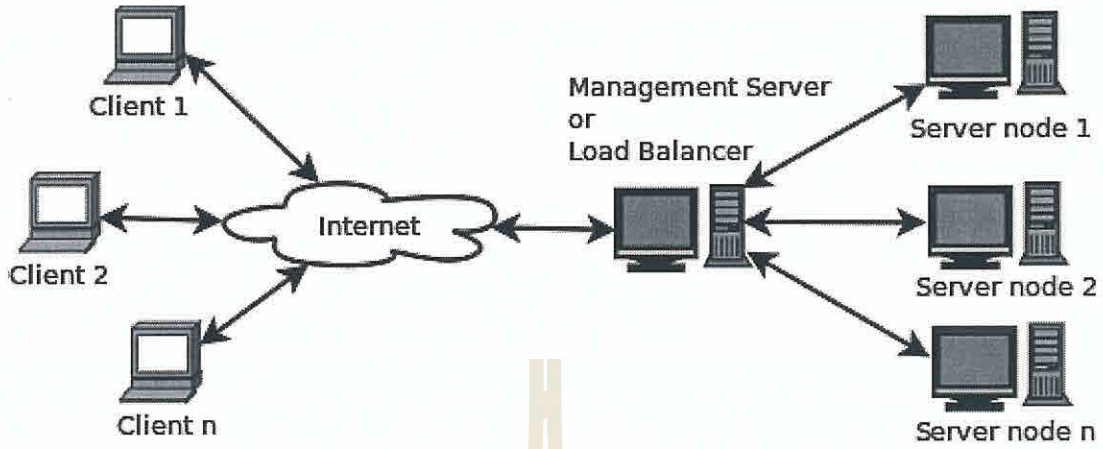
พัฒนาระบบให้สมบูรณ์ ที่มีความสามารถตามระบุในวัตถุประสงค์ และทดลองใช้งานจริง พร้อมเก็บข้อมูลและรายงานผล

## 1.4 สมมติฐานและหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

การทำเว็บคลัสเตอร์ สิ่งที่ต้องพิจารณาทำให้เป็นคลัสเตอร์ร่วมกัน มีสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์และส่วนที่เป็นดาต้าเบสเซิร์ฟเวอร์ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าโครงสร้างของระบบน่าจะคล้ายดังรูปที่ 1 Web clustering layout ด้านล่าง นั่นคือ ระบบจะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประกอบด้วยสองส่วนคือส่วนหน้า ใช้สำหรับรองรับการติดต่อจากเครื่องไคลเอ็นท์ (Client) และขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม และประสานการทำงานของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่โหนดต่างๆ




รูปที่ 1 Web clustering layout

จากแนวคิดนี้ ผู้ใช้ที่เครื่องไคลเอ็นท์สามารถต่อเข้ามายังเครื่องเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) ผ่านทางเครื่องเซิร์ฟเวอร์จัดการ (Management Server) โดยเครื่องนี้จะส่งการควบคุมไปยังเครื่องเว็บเซิร์ฟเวอร์โหนด (Server Node) ต่างๆ ที่แต่ละโหนดประกอบด้วยตัวเว็บเซิร์ฟเวอร์อาปาเช่ (Apache web server) และดาต้าเบสเซิร์ฟเวอร์มายเอสคิวเอล (Mysql server) ที่เป็นตัวประมวลผลเว็บและดาต้าเบส ส่วนจำนวนโหนด จะมากหรือน้อย เช่นอาจเป็น 2, 4, 8, 16 หรือมากกว่า ขึ้นอยู่กับโหลดและความต้องการของผู้ดูแลระบบ โดยสรุป จะใช้เครื่องหนึ่งเป็นตัวควบคุม เครื่องที่เหลือจะเป็นเครื่องที่ทำคลัสเตอร์ทั้งเว็บและดาต้าเบส สำหรับแผ่น SUT-Mobile Instant WEb Cluster ที่จะทำขึ้นนั้น จะสามารถใช้ติดตั้งได้ทั้งเครื่อง ควบคุมและเครื่องคลัสเตอร์โหนดต่างๆ บนแผ่นเดียวกัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

แผ่น SUT-Mobile Instant WEb Cluster ที่จะได้จากผลการวิจัยครั้งนี้ พร้อมกับคู่มือ จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานที่ต้องดูแลเว็บเซิร์ฟเวอร์ และต้องการรองรับโหลดที่มีมากเป็นพิเศษในไม่กี่วันในรอบปี และเมื่อมีการใช้งานมากขึ้นจนเกิดความมั่นใจ อาจไปเป็นได้ที่จะเปลี่ยนการซื้อฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ราคาแพงมาเป็นการใช้โอเพ่นซอร์สแทน ซึ่งจะทำให้หน่วยงานและประเทศชาติประหยัดเป็นจำนวนเงินมหาศาล

1.6 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี หรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

เมื่อได้ผลงานวิจัยแล้วทำการเขียนใส่แผ่นดีวีดีเพื่อแจกแก่ผู้เข้าอบรม ทำการรับสมัครผู้เข้าอบรมจำนวน 50 คน ทำการอบรมการใช้งานเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

1.7 แผนวิธีดำเนินการวิจัยและสถานที่

ศึกษาการทำงานของ Apache เว็บคลัสเตอร์ และดาต้าเบส MySQL คลัสเตอร์ สำรวจ tools และโปรแกรมต่างๆ ที่มีอยู่ ทำการทดลอง ปรับแต่ง หรือพัฒนาโปรแกรม เพิ่มเติม ทำแผ่นดิสก์ทริบิวชั่นที่เรียกว่า SUT-Mobile Instant WEb Cluster ทดสอบติดตั้งบนเครื่องต่างๆ ทดสอบการทำงานด้วยวิธี Simulation ของโหลดที่จะเข้ามา ทำการเปรียบเทียบ การใช้เซิร์ฟเวอร์เครื่องเดียวกับการทำเป็นแบบคลัสเตอร์ ติดต่อประสานงานกับศูนย์บริการการศึกษาเพื่อจะได้ทดลองการใช้งานจริงโดยเลือกส่วนที่ไม่กระทบกับฐานข้อมูลหลัก มาทดสอบการทำงาน จากนั้นทำการเก็บข้อมูลและสรุปผล โดยจะดำเนินการวิจัยและทดสอบการใช้งานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.8 ระยะเวลาทำการวิจัยและแผนดำเนินงานตลอดโครงการ

ใช้เวลา 12 เดือน

| เดือนเดือนเดือนเดือนกิจกรรม (Activities) | เดือน | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1. ศึกษาการทำงานของเว็บคลัสเตอร์และ MySQL คลัสเตอร์ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 2. ออกแบบระบบ จัดการทำแผ่น SUT-Mobile Instant WEb Cluster | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 3. ทดสอบการใช้งาน ด้วยวิธี simulation รวมการปรับปรุงแก้ไข | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 4. ทดสอบการใช้งานจริง ร่วมกับศูนย์บริการการศึกษา เก็บข้อมูล | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | |
| 5. ฝึกอบรม เผยแพร่ผลงาน | | | | | | | | | | | ■ | ■ |
| 6. สรุปผลและจัดทำรายงาน | | | | | | | | | | | | ■ |

1.9 อุปกรณ์ที่จำเป็นในการวิจัย

อุปกรณ์การวิจัยที่จำเป็นต้องใช้คือคอมพิวเตอร์ที่ต่อเป็นระบบเน็ตเวิร์กจำนวน 7 เครื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# บทที่ 2 ศึกษาการทำงานของเว็บคลัสเตอร์

## 2.1 หลักการทำงานของเว็บคลัสเตอร์

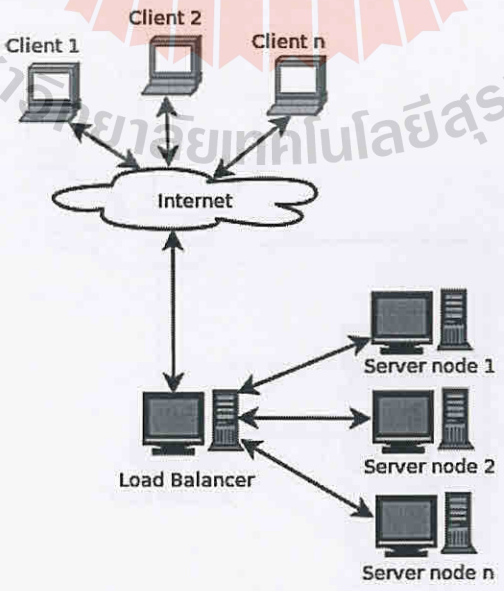
เว็บคลัสเตอร์คือเว็บหนึ่งเว็บที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผลร่วมกันหลายเครื่อง เครื่องที่ประมวลผลร่วมกันเหล่านี้เราเรียกว่าคลัสเตอร์โหนด (Cluster node) หรือเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนด หรือบางครั้งเรียกว่าเครื่องเซิร์ฟเวอร์จริง เมื่อเราพิจารณาว่าเว็บหนึ่งเว็บมีส่วนประกอบอะไรบ้างที่สำคัญ จะพบว่า ส่วนประกอบที่สำคัญคือ เนื้อหาเว็บ และ ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลของเว็บทั้งในรูปแบบของไฟล์และดาต้าเบส เมื่อเว็บหนึ่งเว็บที่ประกอบด้วยเครื่องประมวลผลหลายเครื่อง สิ่งที่จำเป็นคือต้องมีเครื่อง ๆ หนึ่งเป็นเครื่องหน้าด้านที่เรียกว่าเครื่องกระจายงาน (Load Balancer) สำหรับรองรับการเชื่อมต่อจากผู้ใช้หรือเครื่องไคลเอ็นต์ เมื่อมีการร้องขอการบริการ (Request) เข้ามายังเครื่องกระจายงาน เครื่องนี้จะต้องทำการส่งต่อ คำร้องขอการบริการไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์จริงที่เป็นคลัสเตอร์โหนดต่าง ๆ และเมื่อเครื่องโหนดนั้น ๆ ทำงานเสร็จแล้ว ผลการประมวลผลจะถูกส่งกลับไปยังเครื่องไคลเอ็นต์ สำหรับอัลกอริทึมที่เครื่องกระจายงาน ใช้สำหรับการกระจายงาน อาจเป็นแบบวนเรียงตามลำดับ (Round-robin) หรือเป็นแบบเลือกโหนดที่มีการเชื่อมต่อน้อยที่สุด (Least-Connection) ในขณะนั้น เป็นต้น

## 2.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบคลัสเตอร์

เมื่อพิจารณาลักษณะการตอบกลับการร้องขอโดยเครื่องที่เป็นคลัสเตอร์โหนดไปยังจากเครื่องไคลเอ็นต์ เว็บคลัสเตอร์จะสามารถทำได้ 3 รูปแบบด้วยกันดังนี้

### 2.2.1. Network Address Translation (NAT)

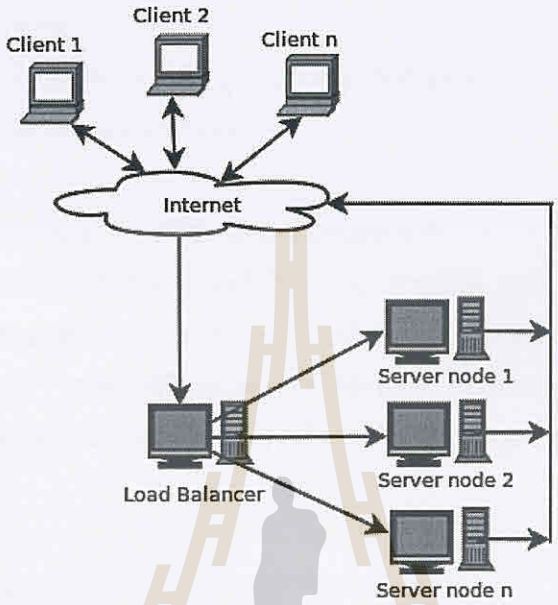
ดูรูปที่ 2 ประกอบ เมื่อเครื่องไคลเอ็นท์ร้องขอการบริการ คำร้องขอจะส่งตรงไปยังเครื่องกระจายงาน จากนั้นคำร้องขอจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนดที่อยู่ในระบบ แล้วเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนดเหล่านั้นจะตอบกลับไปยังเครื่องกระจายงานแล้วเครื่อง กระจายงานจะส่งผลนั้นต่อไปยังเครื่องไคลเอ็นท์อีกทอดหนึ่ง




รูปที่ 2 การทำ Load balance แบบ NAT

2.2.2. Direct Routing

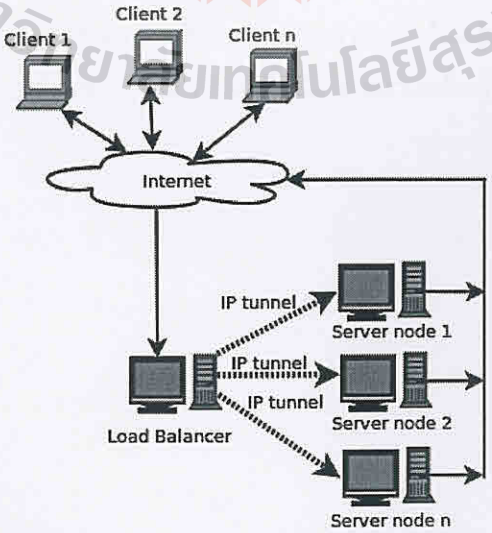
ดูรูปที่ 3 ประกอบ เมื่อเครื่องไคลเอ็นท์ร้องขอการบริการ คำร้องขอนั้นจะส่งตรงไปยังเครื่องกระจายงาน หรือเครื่อง Linux Director ในรูป จากนั้นคำร้องขอจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนดที่อยู่ในระบบ แล้วเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนดเหล่านั้นจะตอบกลับไปยังเครื่องไคลเอ็นท์ที่ร้องขอบริการนั้น ๆ โดยตรง




รูปที่ 3 การทำ Load balance แบบ Direct Routing

2.2.3. IP Tunneling

ดูรูปที่ 4 ประกอบ เมื่อเครื่องไคลเอ็นท์ร้องขอการบริการ คำร้องขอนั้นจะส่งตรงไปยังเครื่องกระจายงาน จากนั้นคำร้องขอจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนด ผ่านทางการทำ IP Tunneling แล้วเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนดเหล่านั้นจะตอบกลับไปยังเครื่องไคลเอ็นท์ที่ร้องขอบริการนั้น ๆ โดยตรง




รูปที่ 4 การทำ Load balance แบบ IP Tunneling

2.3 การใช้ข้อมูลที่เก็บในรูปแบบไฟล์ร่วมกันระหว่างเครื่องคลัสเตอร์โหนดต่าง ๆ

การแชร์ข้อมูลประเภทนี้ร่วมกันทำได้ 2 รูปแบบคือ

2.3.1 แบบ Shared-disk

เป็นรูปแบบที่เครื่องคลัสเตอร์โหนดต่าง ๆ ใช้ข้อมูลร่วมกันที่ถูกเก็บไว้บนฮาร์กดิสก์ที่เดียวกัน เช่นการทำงานของระบบ NFS: Network File System เป็นต้น

2.3.2 แบบ Distributed file systems

เป็นรูปแบบที่เครื่องคลัสเตอร์โหนดต่าง ๆ ใช้ข้อมูลร่วมกันที่ถูกเก็บกระจายไว้บนฮาร์กดิสก์ที่เครื่องคลัสเตอร์โหนดต่าง ๆ เช่น โปรแกรมเสริมประเภทปลั๊กอิน Gluster เป็นต้น

2.4 การใช้ข้อมูลที่เก็บในดาต้าเบสร่วมกันระหว่างเครื่องคลัสเตอร์โหนดต่าง ๆ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ ใช้โอเพนซอร์ส ดังนั้นดาต้าเบสจึงใช้ Mysql การทำให้ Mysql สามารถทำงานในระบบคลัสเตอร์ได้ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือเสริม จากการศึกษาพบว่า Galera Cluster ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภทปลั๊กอิน ที่จะช่วยให้ MYSQL/InnoDB ที่ติดตั้งลงบนเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่โหนดต่าง ๆ สามารถมีข้อมูลเหมือนกันได้อัตโนมัติ ไม่ว่าจะเขียนข้อมูลเข้าสู่ดาต้าเบสที่เครื่องโหนดใด ข้อมูลนั้นจะถูกสำเนา (Replicate) ต่อไปยังเครื่องโหนดอื่น ๆ ด้วย เป็นผลให้การอ่านข้อมูลจากดาต้าเบสจากเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่โหนดใด ๆ ได้ข้อมูลเหมือนกัน

2.5 ความพร้อมใช้งานสูง (High Availability)

คือการที่ระบบสามารถรองรับการเรียกใช้งานจากไคลเอ็นต์ได้อย่างไม่ติดขัด ทำได้โดยการใช้โปรแกรมคอยตรวจสอบเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนดต่าง ๆ ในระบบว่ายังทำงานอยู่หรือไม่ เมื่อตรวจพบว่าเครื่องใดเกิดปัญหาก็จะให้เครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนดตัวอื่นให้บริการแทน ซึ่งมีรูปแบบการทำงาน 2 รูปแบบดังนี้

2.5.1 แบบ Active – Standby

รูปแบบนี้คือการที่มีเครื่องเซิร์ฟเวอร์ให้บริการอยู่เครื่องเดียวส่วนอีกเครื่องหนึ่งคอยรอไว้ เมื่อใดที่เครื่องที่ให้บริการอยู่นั้นขัดข้อง เครื่องที่รออยู่นั้นจะให้บริการแทน รูปแบบนี้ทำให้เราใช้งานเครื่องในระบบได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ

2.5.2 แบบ Active – Active

รูปแบบนี้คือเครื่องเซิร์ฟเวอร์ทั้งหมดให้บริการพร้อมกัน ถ้ามีเครื่องใดเครื่องหนึ่งขัดข้องเครื่องนั้นจะหยุดการให้บริการ ส่วนเครื่องอื่น ๆ ยังคงทำงานต่อ รูปแบบนี้ทำให้เราใช้งานเครื่องในระบบได้เต็มประสิทธิภาพ

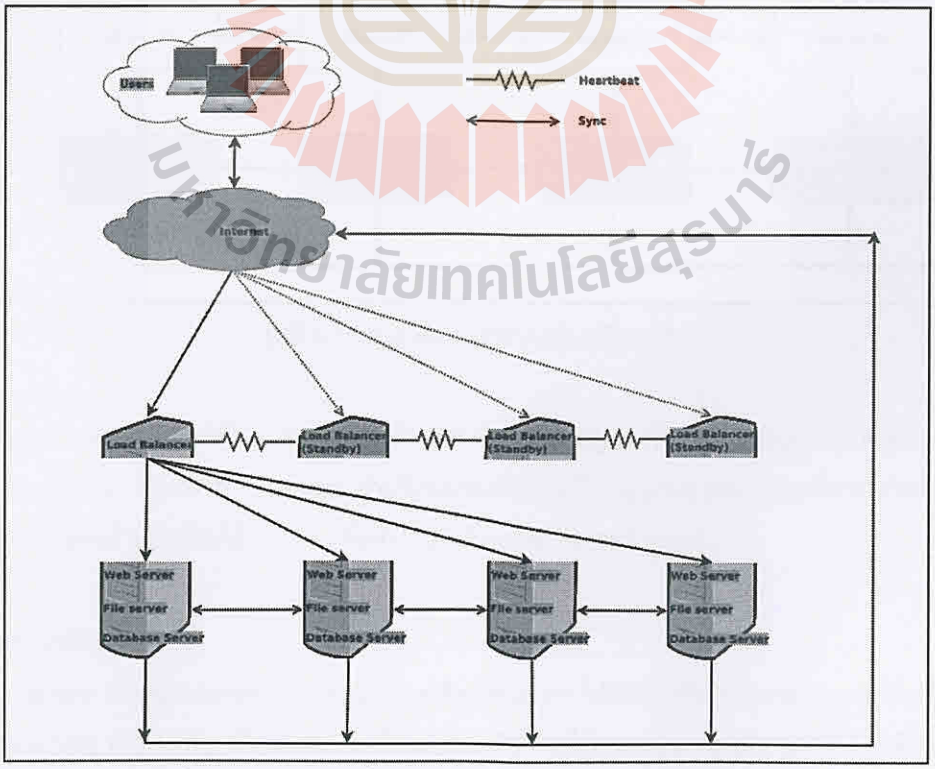
# บทที่ 3 การพัฒนาเว็บคลัสเตอร์ การติดตั้งโปรแกรมและการคอนฟิก

## 3.1 การออกแบบโครงสร้างของระบบ

หลังจากการศึกษาและทำการทดลองเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ข้อสรุปว่า การใช้งานเว็บคลัสเตอร์ควรจะเป็นไปในลักษณะ เริ่มด้วยการติดตั้งระบบเว็บคลัสเตอร์ที่เครื่อง ๆ เดียวก่อน หลังจากการใช้งานผ่านไป อาจจะเป็นเพราะมีจำนวนผู้ใช้มากขึ้น พบว่าระบบช้าลง ต้องการความเร็วในการบริการเพิ่มขึ้น จึงทำการติดตั้งระบบเว็บคลัสเตอร์ลงบนเครื่องที่ 2 ก็จะได้โหนดที่ 2 แล้วให้ทั้งสองโหนดทำงานร่วมกัน ต่อมาเมื่อต้องการความเร็วเพิ่มขึ้นอีก จึงติดตั้งระบบเว็บคลัสเตอร์ลงที่เครื่องที่ 3 และเครื่องที่ 4 ตามลำดับ หลังจากนั้นซึ่งหน้าจะผ่านไปหลายปี ถ้าต้องการเพิ่มความเร็วขึ้นอีก ควรซื้อฮาร์ดแวร์ชุดใหม่ที่เร็วกว่าเดิม แล้วเริ่มการทำเว็บคลัสเตอร์ใหม่ตั้งแต่หนึ่งเครื่อง ไปจนถึง 4 เครื่อง ด้วยเห็ตผลนี้ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบเว็บคลัสเตอร์ให้รองรับจำนวนโหนดสูงสุดได้ 4 โหนด จำนวนโหนดที่เริ่มทำงานในครั้งแรกและจำนวนโหนดที่ติดตั้งเพิ่มขึ้นในแต่ละครั้งไม่มีการจำกัดจำนวน แต่เมื่อรวมกันแล้ว จำนวนโหนดทั้งหมดต้องไม่เกิน 4 โหนด และเพื่อเป็นการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด งานวิจัยนี้จึงทำการกำหนดการกระจายงาน (Load balancer) ลงบนเครื่องคลัสเตอร์โหนดหนึ่งโหนดในนั้น เครื่องที่ใช้ติดตั้งระบบควรเป็นเครื่องพีซีทั่วๆ ไป และไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน

## 3.2 รูปแบบเว็บคลัสเตอร์ที่เลือกใช้

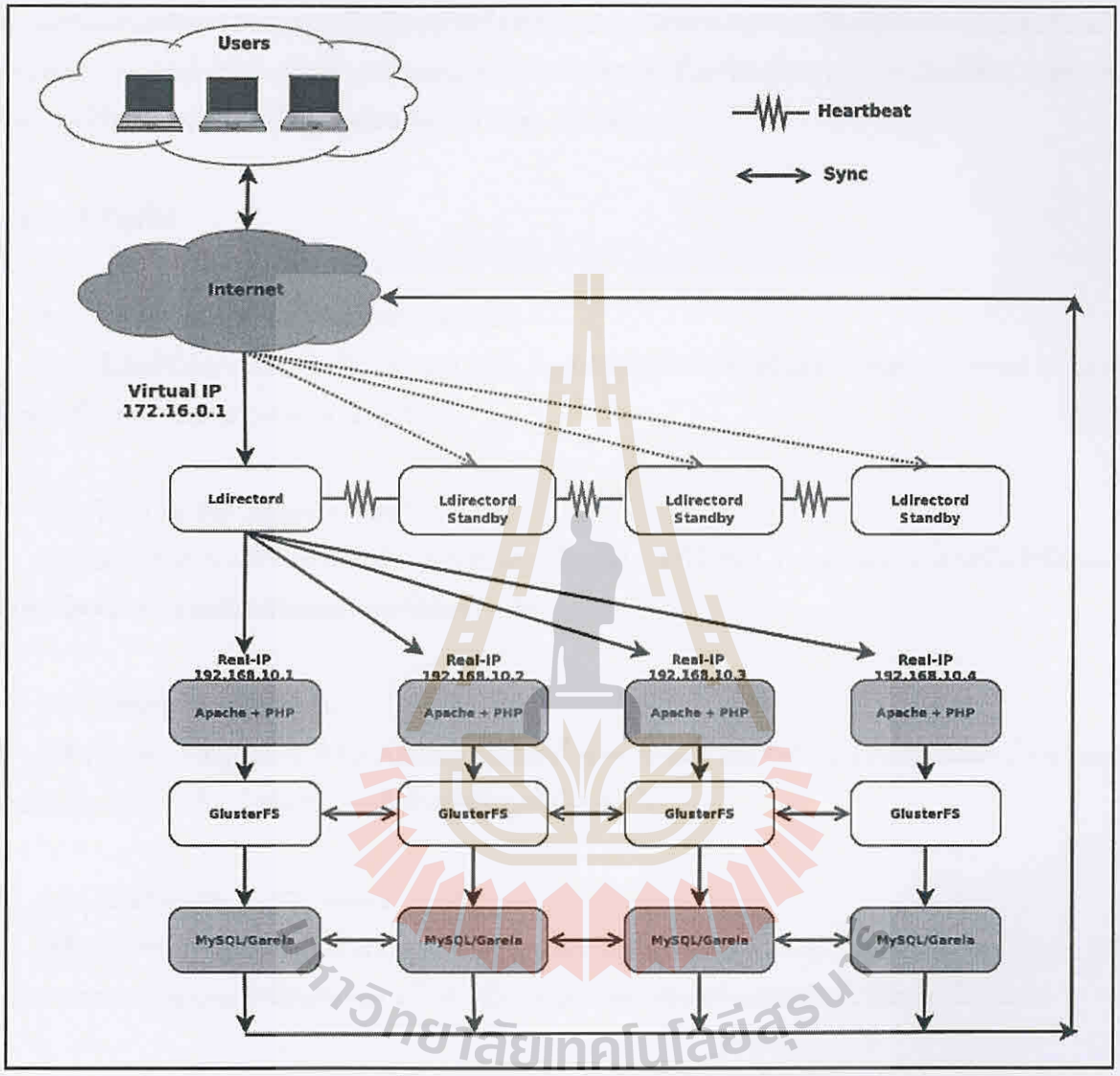
จากเหตุผลตามหัวข้อ 3.1 รูปแบบเว็บคลัสเตอร์ที่เลือกใช้ จึงคล้ายดังรูป 5 ระบบคลัสเตอร์ซึ่งประกอบด้วยเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนดสูงสุด 4 โหนด ในแต่ละเครื่องจะประกอบด้วยโปรแกรมการทำงานของระบบคลัสเตอร์ที่สำคัญ 4 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นตัวกระจายงาน (Load balancer) ส่วนที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web server) ส่วนที่เป็นไฟล์เซิร์ฟเวอร์ (File server) และส่วนที่เป็นดาต้าเบสเซิร์ฟเวอร์ (Database server) ส่วนสำคัญทั้ง 4 ในทุกโหนดจะทำงานร่วมกันและทำการสำเนาข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลในแต่ละส่วนในทุกโหนดเหมือนกัน ในขณะหนึ่งๆ จะมีเพียงโหนดเดียวเท่านั้นที่ตัวกระจายงานทำงาน




รูปที่ 5 รูปแบบเว็บคลัสเตอร์

3.3 รายละเอียดเว็บคลัสเตอร์ที่พัฒนา

เนื่องจากต้องการให้ระบบคลัสเตอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ทุกคนสามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องเสียเงินซื้อ และใช้ได้อย่างเสรี จึงเลือกที่จะใช้ซอฟท์แวร์โอเพนซอร์ส ด้วยการเลือกใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์อูบุนตู (Ubuntu Linux) และโปรแกรมต่าง ๆ ดังรูปที่ 6




รูปที่ 6 รายละเอียดของระบบเว็บคลัสเตอร์

รูปที่ 6 แสดงรายละเอียดการใช้โปรแกรมในการสร้างส่วนต่างๆ ที่สำคัญสำหรับระบบคลัสเตอร์ทั้ง 4 ส่วน คือในส่วนแรกตัวกระจายงาน (Load balancer) ใช้โปแกรม Ldirector ส่วนที่สองเว็บเซิร์ฟเวอร์ใช้ Apache และ ภาษาสั่งงาน PHP ส่วนที่สามไฟล์เซิร์ฟเวอร์ใช้ GlusterFS และส่วนสุดท้ายใช้ Garela เพื่อทำงานดาต้าเบสเซอร์ฟเวอร์ Mysql

3.4 ทำงานในรูปแบบคลัสเตอร์

ดูรูปที่ 5 ประกอบ เริ่มต้นของการทำงานโปรแกรมจะเลือกโหนดแรก ให้ทำหน้าที่เป็นตัวกระจายงาน ที่เครื่องกระจายงานจะมีการทำไอพีเสมือน (VIP) 172.16.0.1 เพื่อรองรับการเชื่อมต่อจากผู้ใช้ ถ้าผู้ใช้อยู่บนอินเทอร์เน็ต (Internet) ต้องกำหนดไอพีนี้ให้เป็นไอพีสาธารณะ (Public IP) ที่สามารถใช้บนอินเทอร์เน็ตได้ ในขณะเดียวกันก็ให้กำหนดไอพีของเครื่องที่เป็นโหนดต่างๆ เพื่อใช้

เชื่อมภายในให้มีไอพีเป็น 192.168.10.1 ถึง 192.168.10.4 ตามลำดับ ผู้ใช้เรียกใช้บริการด้วยการเชื่อมต่อเข้ามาที่ตัวกระจายงานไอพี 172.16.0.1 ตัวกระจายงานจะทำการส่งผ่านคำร้องขอนั้นไปยังเครื่องใดเครื่องหนึ่งใน 4 เครื่องขึ้นอยู่กับอัลกอลิทึมที่ใช้ ซึ่งอาจจะส่งให้เครื่องตนเองก็ได้ เมื่อเครื่องโหนดได้รับการร้องขอ จะทำการประมวลผลแล้วส่งผลไปยังเครื่องผู้ใช้โดยตรงซึ่งวิธีนี้เรียกว่า Direct Routing ดังกล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ในระหว่างการทำงานอยู่นั้นโปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่ามีเครื่องโหนดใดไม่พร้อมใช้ เมื่อตรวจพบจะปลดเครื่องโหนดนั้นออกจากระบบ หรือเมื่อพบว่าเครื่องกระจายงานเกิดขัดข้องจะปลดเครื่องนี้ออกจากระบบเช่นกัน แล้วโปรแกรมจะเลือกโหนดต่อไปให้เป็นตัวกระจายงานแทนและกำหนดไอพีเสมือนขึ้นมาให้เครื่องกระจายงานใหม่นี้ด้วย การทำงานได้เช่นนี้จึงกล่าวได้ว่าระบบคลัสเตอร์นี้มีความพร้อมใช้งานสูง (High Availability)

## 3.5 โปรแกมสำคัญที่ใช้

### 3.5.1 โปรแกรมเสริม Pacemaker และ Corosync

นำมาใช้เพื่อทำให้ระบบมีความพร้อมใช้งานสูง (High Availability) มีหน้าที่สำหรับสร้างไอพีเสมือน (Virtual IP) และตรวจสอบเซิร์ฟเวอร์ในระบบคลัสเตอร์ว่ายังทำงานอยู่หรือไม่

### 3.5.2 โปรแกรมเสริม Ldirectord และ IPVS

IPVS (IP Virtual Server) ใช้สำหรับทำ Load Balance ในระดับเน็ตเวิร์กชั้นที่ 4 ส่วน Ldirectord จะมีหน้าที่ส่งต่อการเรียกเว็บจากไคลเอ็นต์ไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนดที่ให้บริการเว็บ

### 3.5.3 โปรแกรมเสริม Glusterfs

ใช้สำหรับจัดการข้อมูลต่าง ๆ ที่เก็บเป็นไฟล์ เช่น เนื้อหาเว็บและ session ของ PHP ในระบบเว็บคลัสเตอร์ให้ทุกโหนดมีข้อมูลเหมือนกัน แม้ว่าการเขียนไฟล์การลบจะเกิดขึ้นจริงที่โหนดใดโหนดหนึ่ง

### 3.5.4 โปรแกรมเสริม MySQL/Garela

ใช้สำหรับจัดการข้อมูลในส่วนของระบบฐานข้อมูลในรูปแบบที่เป็นการทำงานพร้อมกันทั้งระบบ (active – active ) ทำให้ข้อมูลของดาต้าเบสของทุกโหนดเหมือนกันหมด แม้ว่าการเขียนการลบข้อมูลของดาต้าเบสจะเกิดขึ้นที่โหนดหนึ่งโหนดใด

## 3.6 ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมและการคอนฟิกระบบ

หลังจากติดตั้งอูบุนตูเสร็จแล้วให้ติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มดังต่อไปนี้

ติดตั้งซอฟต์แวร์ผ่านระบบตามคำสั่งนี้

```
sudo apt-get install ldirectord pacemaker corosync glusterfs openntpd
```

สำหรับ MySQL-Galera ต้องดาวน์โหลดมาติดตั้งเพิ่ม

http://launchpad.net/galera/1.x/21.1.0/+download/galera-21.1.0-amd64.deb

http://launchpad.net/codership-mysql/5.1/5.1.58-21.1/+download/mysql-server-wsrep-5.1.58-21.1-amd64.deb

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จากนั้นทำการติดตั้งตามคำสั่งด้านล่าง

```
sudo apt-get remove mysql-server-5.1
sudo dpkg --force-overwrite -i mysql-server-wsrep-5.1.58-21.1-amd64.deb
sudo dpkg -i galera-21.1.0-amd64.deb
sudo ln -s /etc/apparmor.d/usr.sbin.mysqld /etc/apparmor.d/disable/usr.sbin.mysqld
```

* เป็นการรวมเฉพาะขั้นตอนการติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติมทั้งหมดก่อนที่จะกำหนดไอพีเพราะอาจทำให้ไม่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้

**การตั้งค่าข้อมูลพื้นฐานของทุกเครื่อง (ตัวอย่างจะเป็น 2 เครื่อง)**

| เครื่องที่ 1 | เครื่องที่ 2 |
|---|---|
| Hostname: sv2 | Hostname : sv2 |
| IP : 192.168.10.1 | IP : 192.168.10.2 |

ไฟล์ /etc/hosts ต้องมี hostname และไอพีของทุกเครื่อง

**ตั้งค่าให้เวลาของเครื่องตรงกันทั้งหมด (NTP)**

**[ทุกเครื่อง] แก้ไขไฟล์ /etc/ntp.conf**

โดยใส่เครื่องหมาย # ต้นบรรทัดที่มีคำว่า server ทั้งหมดและเพิ่มข้อมูลดังนี้

```
restrict 192.168.10.0 mask 255.255.255.0 nomodify notrap
server 127.127.1.0
fudge 127.127.1.0 stratum 10
```

**[เครื่อง 1] สั่งรัน ntpd ด้วยคำสั่งนี้**

```
sudo /etc/init.d/ntp start
```

**[เครื่องอื่นๆ] ทำการ sync เวลาด้วยคำสั่งนี้**

```
sudo ntpdate 192.168.10.1
```

**การตั้งค่าเครื่องในระบบทำงานแบบ High Availability และ Load Balance**

**[เครื่อง 1] สร้างคีย์ของ Corosync**

ทำการสร้างคีย์ด้วยคำสั่งนี้จากนั้นทำการคัดลอกไฟล์คีย์ที่ได้ (/etc/corosync/authkey) ไปวางในทุกเครื่องและต้องกำหนดสิทธิ์เป็น 400

```
sudo corosync-keygen
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**[ทุกเครื่อง] Configure Corosync**

แก้ไขไฟล์ /etc/corosync/corosync.conf โดยเปลียนข้อมูลเป็นดังนี้ เพื่อทำให้เครื่องในระบบทั้งหมดค้นหากันได้

```
bindnetaddr: 192.168.10.0
```

**[ทุกเครื่อง] รัน Corosync ด้วยคำสั่งนี้**

```
sudo /etc/init.d/corosync start
```

หลังจากรันครบทุกเครื่องแล้วให้ใช้คำสั่งดังนี้เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องทั้งหมดได้เชื่อมต่อกันหรือยัง

```
sudo crm status
```

**[ทุกเครื่อง] แก้ปัญหาเรื่อง Arp สำหรับโหมด Direct Route**

แก้ไขไฟล์ /etc/sysctl.conf โดยเพิ่มข้อมูลดังนี้

```
net.ipv4.conf.all.arp_ignore = 1
net.ipv4.conf.eth0.arp_ignore = 1
net.ipv4.conf.all.arp_announce = 2
net.ipv4.conf.eth0.arp_announce = 2
```

**[ทุกเครื่อง] เพิ่ม lo:0**

แก้ไขไฟล์ /etc/network/interfaces (ต้องกำหนดไอพีสำหรับ eth0 ไว้ตามข้อมูลด้านบน ) โดยเพิ่มข้อมูลดังนี้

```
auto lo:0
iface lo:0 inet static
address 172.16.0.1
netmask 255.255.255.255
gateway 172.16.0.254
```

**[ทุกเครื่อง] ตั้งค่า ldirectord**

สร้างไฟล์ /etc/ha.d/ldirectord.cf โดยให้มีข้อมูลดังนี้

```
checktimeout=3
checkinterval=5
autoreload=yes
logfile="/var/log/ldirectord.log"
quiescent=yes
virtual=172.16.0.1:80
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```
real=192.168.10.1:80 gate
real=192.168.10.2:80 gate
fallback=127.0.0.1:80
service=http
scheduler=rr
protocol=tcp
checktype=connect
```

ยกเลิกการรัน ldirectord ทุกครั้งที่บูตระบบเพราะจะให้ pacemaker จัดการแทนด้วยคำสั่งนี้

```
sudo update-rc.d -f ldirectord remove
```

**[เครื่องแรก] ตั้งค่า Pacemaker**

ทำการนำเข้าไฟล์ที่สร้างเพื่อใช้ตั้งค่าให้กับ Pacemaker ด้วยคำสั่งนี้

```
sudo crm edit
```

ให้แก้ไขข้อมูลให้เป็นตามด่านล่าง

```
node sv1
node sv2
primitive ldirectord ocf:heartbeat:ldirectord \
    params configfile="/etc/ha.d/ldirectord.cf" \
    op monitor interval="15s" timeout="20s" \
    meta migration-threshold="10" target-role="Started"
primitive vip ocf:heartbeat:IPaddr2 \
    params ip="172.16.0.1" nic="eth0" cidr_netmask="32" broadcast="172.16.0.255" \
    lvs_support="true" \
    op monitor interval="1s"
group group1 vip ldirectord
order ip_before_lvs inf: vip:start ldirectord:start
property $id="cib-bootstrap-options" \
    dc-version="1.0.9-da7075976b5ff0bee71074385f8fd02f296ec8a3" \
    cluster-infrastructure="openais" \
    expected-quorum-votes="2" \
    stonith-enabled="false" \
    no-quorum-policy="ignore"
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**การตั้งค่าให้ระบบใช้ไฟล์ร่วมกัน (Sync)**

**[ทุกเครื่อง] ตั้งค่า GlusterFS**

ต้องไดเรกทอรีสร้างที่เก็บไฟล์จริงและไดเรกทอรีที่สำหรับเป็น mount point โดยใช้คำสั่งดังนี้

```
sudo mkdir /export
sudo mkdir /mnt/glusterfs
```

สั่งรัน glusterd และตั้งค่าให้ glusterd ทำงานทุกครั้งที่บูตระบบดังนี้

```
sudo /etc/init.d/glusterd start
```

**[เครื่องแรก] ตั้งค่า GlusterFS ให้ทำงานร่วมกันกับเครื่องอื่นๆ**

ตั้งค่าให้ระบบใช้ไฟล์ร่วมกันโดยใช่คำสั่งดังนี้

```
sudo gluster peer probe sv2
sudo gluster volume create datafs replica 2 transport tcp sv1:/exportsv1 sv2:/exportsv2
sudo gluster volume start datafs
```

[ทุกเครื่อง] ตั้งค่าให้ระบบทำการ mount /mnt/glusterfs ทุกครั้งที่บูตระบบ
ใช้คำสั่งดังนี้

```
sudo update-rc.d glusterd defaults
```

และแก้ไขไฟล์ /etc/fstab โดยเพิ่มข้อมูลดังนี้ (sv1 หมายถึง hostname ของแต่ละเครื่องต้องเปลี่ยนตามเครื่องนั้นๆ)

```
sv1:/datafs /mnt/glusterfs glusterfs defaults,_netdv 0 0
```

ให้ใช้คำสั่งนี้เพื่อ mount

```
sudo mount -a
```

**[ทุกเครื่อง] ตั้งค่าการเก็บ session ของ PHP และที่เก็บไฟล์ต่าง ๆ ของเว็บ (Apache)**

เพื่อทำให้ทุกเครื่องมีข้อมูลเว็บชุดเดียวกันเสมอ โดยใช้คำสั่งดังนี้

```
cd /mnt/glusterfs
sudo mv /var/www/html/ .
sudo mv /var/lib/php5/ .
```

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**การตั้งค่า MySQL-Galera มีฐานข้อมูลเหมือนกันทุกเครื่อง**

**[เครื่อง 1] แก้ไขไฟล์ /etc/mysql/conf.d/wsrep.cnf โดยเพิ่มข้อมูลดังนี้**

```
wsrep_provider=/usr/lib/galera/libgalera_smm.so
wsrep_cluster_address='gcomm://'
```

ตั้งค่าฐานข้อมูลด้วยคำสั่งนี้

```
sudo mysql -pmeroot -uroot -e "SET GLOBAL wsrep_cluster_address='gcomm://';"
sudo /etc/init.d/mysql restart
```

* ในตัวอย่างนี้ MySQL มี user คือ root และรหัสผ่านคือ meroot

**[เครื่องอื่นๆ] แก้ไขไฟล์ /etc/mysql/conf.d/wsrep.cnf โดยเพิ่มข้อมูลดังนี้**

```
wsrep_provider=/usr/lib/galera/libgalera_smm.so
wsrep_cluster_address='gcomm://192.16.10.1:4567
```

ตั้งค่าฐานข้อมูลด้วยคำสั่งนี้

```
sudo mysql -pmeroot -uroot -e "SET GLOBAL wsrep_cluster_address='gcomm://192.168.10.1:4567';"
sudo /etc/init.d/mysql restart
```

**การทดสอบระบบ**

สามารถทดสอบได้โดยการเรียกเว็บผ่านไอพีเสมือน (VIP) ผ่านทางโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

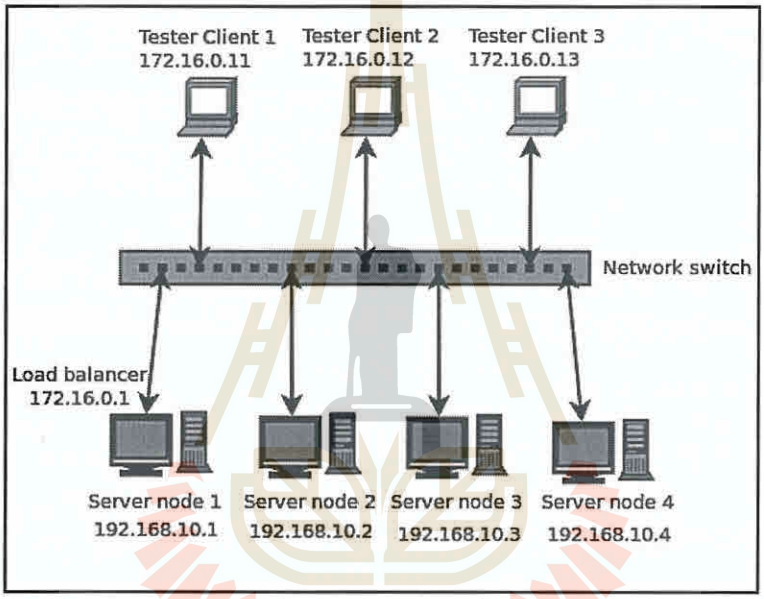
# บทที่ 4 การทดสอบและอภิปรายการทดสอบ

## 4.1 ทดสอบความถูกต้องของการทำงานของระบบเว็บคลัสเตอร์

สำหรับการทดสอบความถูกต้องของเว็บคลัสเตอร์ ผู้วิจัยเริ่มด้วยการเซ็ตอัพการเชื่อมต่อของคอมพิวเตอร์ ตามรูปแบบดังรูปที่ 7 โดยในที่นี้จะพบว่า เครื่องไคลเอ็นท์สำหรับจำลองผู้ใช้จะมีสามเครื่องคือเครื่องหมายเลขไอพี 172.16.0.11, 172.16.0.12 และ 172.16.0.13 สำหรับเว็บคลัสเตอร์ จะประกอบไปด้วยเครื่องครบทั้ง 4 โหนด การทกสอบจะทำในสามกรณีคือ

1. ทดสอบเท็กไฟล์ในโหมด อ่าน เขียน และลบ
2. ทดสอบการสร้าง session ของ PHP ในโหมด login, access และ logout
3. ทดสอบการเข้าถึงดาต้าเบสในโหมด insert, read, update และ delete

ในแต่ละการทดสอบจะให้เครื่องไคลเอ็นท์ทำการร้องขอบริการเข้ามายังเว็บที่ 172.16.0.1 พร้อมๆ กันจำนวน 1000 ครั้ง แล้วตรวจสอบความถูกต้อง




รูปที่ 7 การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับการทดสอบความถูกต้อง

การทดสอบทั้งสามกรณีไม่พบข้อผิดพลาดใดๆ ผลเป็นดังนี้

```
benchmark correctness for text file: read, write, delete
Using 4 clients:
Ip 172.16.0.11 to 172.16.0.13
Cluster 172.16.0.1 up 4 nodes.(sv1,sv2,sv3 and sv4)
each client run try=1000
result: all correct

benchmark correctness for session: login, access, logout
Using 3 clients:
Ip 172.16.0.11 to 172.16.0.13
Cluster 172.16.0.1 up 4 nodes.(sv1,sv2,sv3 and sv4)
each client run try=1000
result: all correct

benchmark correctness for database: insert, read, update, delete
Using 3 clients:
Ip 172.16.0.11 to 172.16.0.13
Cluster 172.16.0.1 up 4 nodes.(sv1,sv2,sv3 and sv4)
each client run try=1000
result: all correct
```

4.2 ทดสอบประสิทธิภาพของระบบเว็บคลัสเตอร์

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพผู้วิจัยได้ทดสอบ 3 กรณีคือ

1. ทดสอบบนเครื่องที่เป็น Server class ติดตั้ง Server software ตามปกติ ซึ่งมี spec ดังนี้

```
Acer server
CPU: Intel(R) Xeon(R) CPU E5506 @ 2.13GHz 4 cores
RAM 4GB
Harddisk: SCSI Disk SMC2108 500 GB
Network Connection: 82576 Gigabit
```

ดังรูปที่ 8

2. ทดสอบบนเครื่องพีซี ติดตั้ง Server software ตามปกติ ซึ่งมี spec ดังนี้

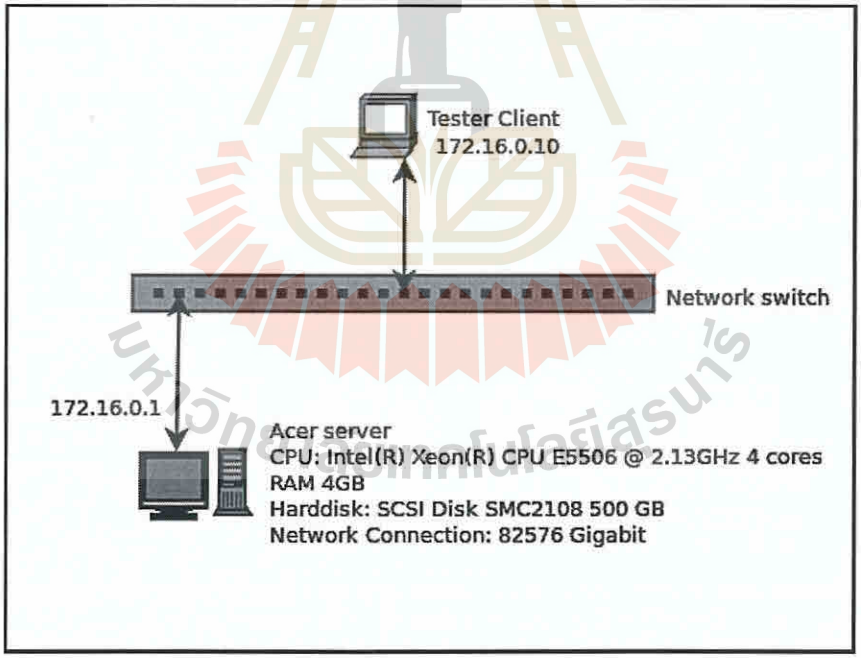
```
PC Desktop
CPU: Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E7400 @ 2.80GHz 2 cores
RAM 2GB
Harddisk: ATA Disk Seagate 500GB
Network Connection: AR8121/AR8113/AR8114 Gigabit
```

ดังรูปที่ 9

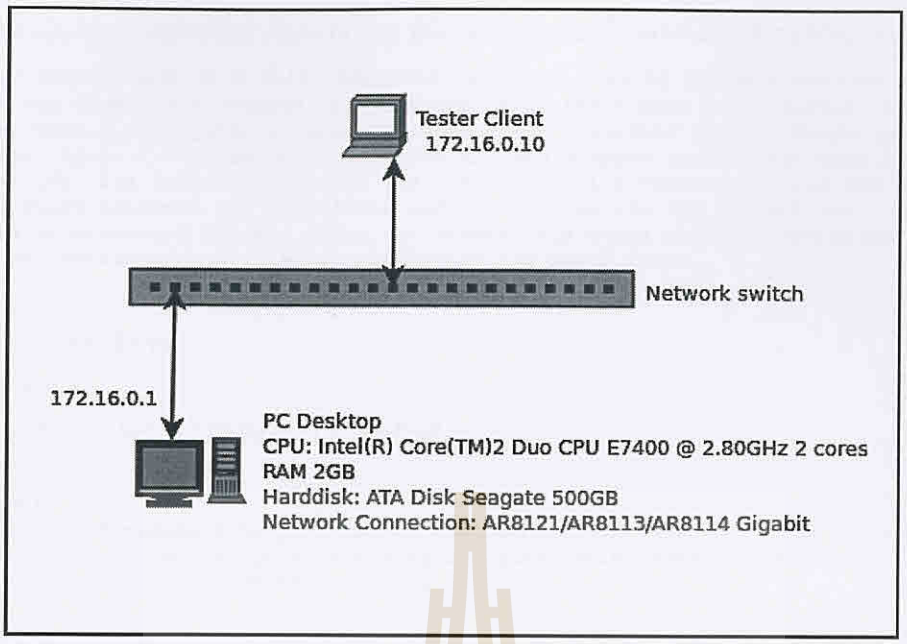
3. ทดสอบบนเครื่องพีซี ติดตั้งให้เป็นเว็บคลัสเตอร์ ซึ่งแต่ละเครื่องมี spec เดียวกันดังนี้

```
PC Desktop
CPU: Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E7400 @ 2.80GHz 2 cores
RAM 2GB
Harddisk: ATA Disk Seagate 500GB
Network Connection: AR8121/AR8113/AR8114 Gigabit
```

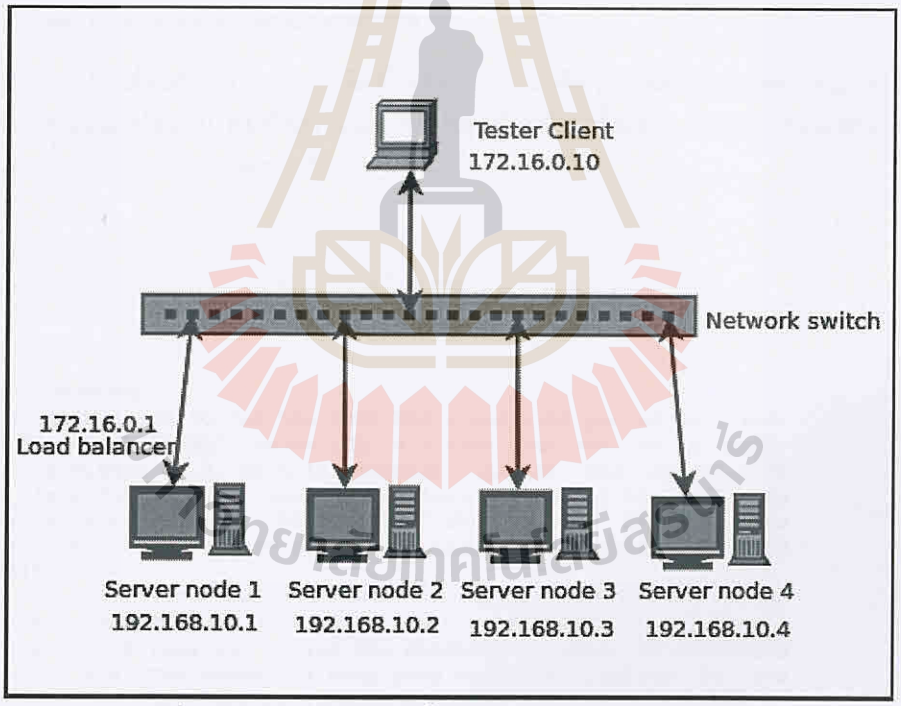
ดังรูปที่ 10




รูปที่ 8 ทดสอบเครื่อง Server class ติดตั้งโปรแกรมปกติ




รูปที่ 9 ทดสอบเครื่องพีซีติดตั้งโปรแกรมปกติ




รูปที่ 10 ทดสอบเครื่องพีซีติดตั้งโปรแกรมแบบเว็บคลัสเตอร์

4.3 โปรแกรมที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพ

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิ์ภาพของระบบจะใช้โปรแกรม 2 ตัวคือ ab และ siege รายละเอียดมีดังนี้

4.3.1 ap เป็นโปรแกรมสำหรับทำ benchmark ของ Apache ด้านล่างคือคำอธิบายของโปรแกรม

[From man page] Apache Bench (ab) is a common tool for measuring the performance of HTTP servers in a Linux environment. It works by generating a flood of requests to a given URL and returns some easily digestible performance related metrics to the screen. This simplicity makes it appealing for running quick and dirty load tests, and a nice benefit to uncovering limits in your web stack or a service bottleneck that you did not anticipate.

4.3.2 siege เป็นโปรแกรมสำหรับทำ benchmark ที่ต้องติดตั้งเพิ่มเติม ด้านล่างคือคำอธิบายของโปรแกรม

```
[From man page] Siege is a multi-threaded http load testing and benchmarking utility. It was
designed to let web developers measure the performance of their code under duress. It allows one to
hit a web server with a configurable number of concurrent simulated users.  Those users place the
webserver  "under  siege."   Performance measures include elapsed time, total data transferred,
server response time, its transaction rate, its throughput, its concurrency and the number of times
it returned OK. These measures are quantified and reported at the end of each run.  Their meaning
and significance is discussed below.  Siege has essentially three modes of operation: regression
(when invoked  by  bombardment), internet simulation and brute force.
```

## 4.4 คำสั่งที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพ

4.4.1 คำสั่งของ ab

sudo ab -n $nn -c $cc -r 172.16.0.1 2>/dev/null

เมื่อ

```
-n requests
       Number of requests to perform for the benchmarking session.  The
       default  is to just perform a single request which usually leads
       to non-representative benchmarking results.


-c concurrency
       Number of multiple requests to perform at a time. Default is one
       request at a time.

-r     Don't exit on socket receive errors.
```

ค่า $nn ให้มีค่าเท่ากับค่า $cc มีค่าตั้งแต่ 200 ถึง 1000 เพิ่มขึ้นครั้งละ 200 นั่นคือ ab จะส่งการร้องขอ (reques) ไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ครั้งแรก 200 การร้องขอพร้อมกัน, ครั้งที่สอง 400 การร้องขอพร้อมกัน, ครั้งที่สาม 600 การร้องขอพร้อมกัน, ครั้งที่สี่ 800 การร้องขอพร้อมกัน และครั้งที่ห้า 1000 การร้องขอพร้อมกัน

4.4.1 คำสั่งของ ab

sudo siege -t $test_time -c $cc -b -R siege.conf 172.16.0.1 1>& a.txt

เมื่อ

```
-t NUMm, --time=NUMm
       TIME, allows you to run the test for a selected period of  time.
       The format is "NUMm", where NUM is a time unit and the "m" modi-
       fier is either S, M, or H for seconds, minutes  and  hours.  To
       run siege for an hour, you could select any one of the following
       combinations: -t3600S, -t60M, -t1H.  The modifier  is  not  case
       sensitive,  but  it does require no space between the number and
       itself.

-c NUM, --concurrent=NUM
       CONCURRENT, allows you to set the concurrent number of simulated
       users to num. The number of simulated users is  limited  to  the
       resources on the computer running siege.

-b, --benchmark
       BENCHMARK, runs the test with NO DELAY for throughput benchmark-
       ing.  By  default each simulated user is invoked with at least a
       one second delay. This option removes that  delay.   It  is  not
       recommended that you use this option while load testing.

-R SIEGERC, --rc=SIEGERC
       RC, sets the siegerc file for the run. This option overrides the
       environment variable SIEGERC  and  the  default  resource  file,
       $HOME/.siegerc
```

```
siege.conf
==================================
verbose = false
show-logfile = false
logging = true
protocol = HTTP/1.1
chunked = true
cache = false
connection = close
concurrent = 15
delay = 1
timeout = 120
internet = false
benchmark = true
accept-encoding = gzip
spinner = true
```

ค่า $test_time=2M คือกำหนดเวลาใน 2 นาที ให้ $cc มีค่าตั้งแต่ 200 ถึง 1000 เพิ่มขึ้นครั้งละ 200 นั่นคือ siege จะส่งการร้องขอ (reques) ไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์รอบแรกส่ง 200 การร้องขอพร้อมกันไปยังเซิร์ฟเวอร์แล้วหยุด 1 วินาทีแล้วส่งไปอีก ทำเช่นนี้ไปจนครบ 2 นาที, รอบที่สองส่ง 400 การร้องขอไปจนครบ 2 นาที, รอบที่สามส่ง 600 การร้องขอไปจนครบ 2 นาที, รอบที่สี่ส่ง 800 การร้องขอไปจนครบ 2 นาที, รอบที่ห้าส่ง 1000 การร้องขอไปจนครบ 2 นาที

การวัดประสิทธิภาพของแต่ละระบบมี 2 รูปแบบดังนี้

1. Delay test

คือการวัดประสิทธิภาพของแต่ละระบบในการเรียกใช้งานหน้าเว็บ PHP อย่างเดียวโดยไม่มีการเชื่อมต่อฐานข้อมูลหรือเขียนไฟล์ลงในระบบแต่อย่างใด

2. WsessionWmysqlWdatafile test

คือการวัดประสิทธิภาพของแต่ละระบบในการเรียกใช้งานหน้าเว็บ PHP ที่มีการใช้งาน session เชื่อมต่อฐานข้อมูลและไฟล์ของระบบเพื่ออ่านและเขียน

4.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

รหัสย่อในการทดสอบมีดังนี้

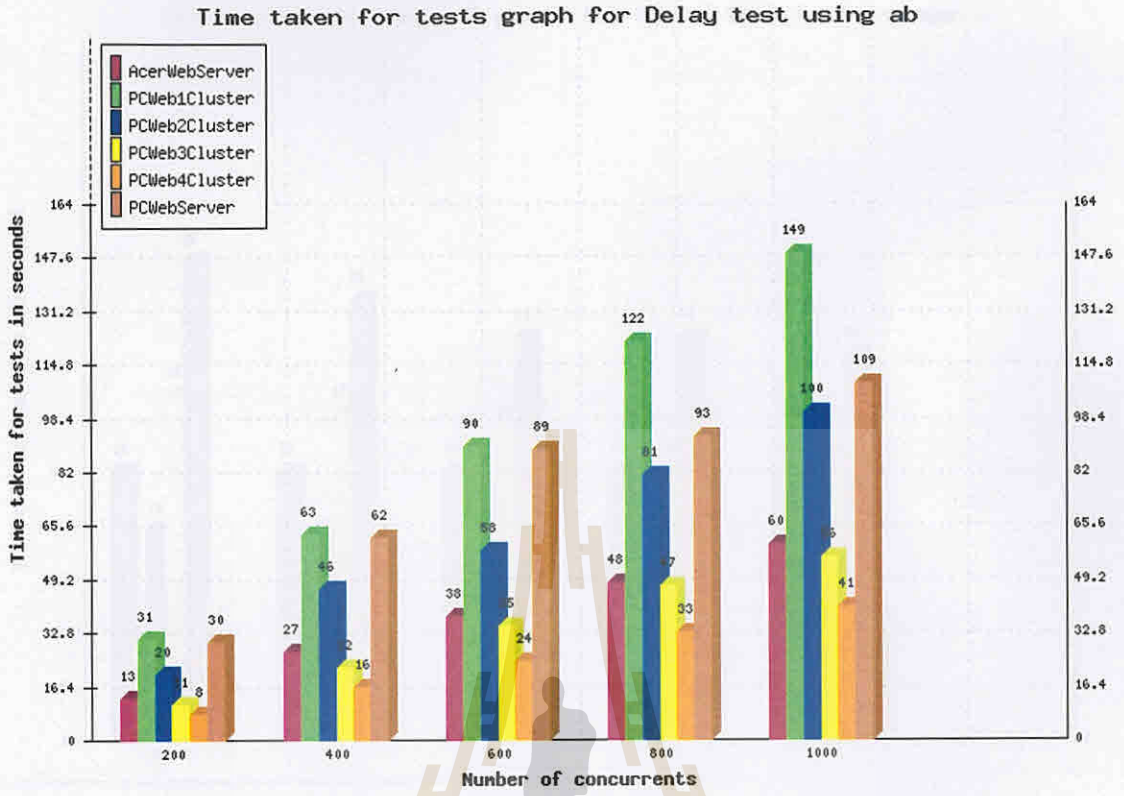
1. AcerWebServer คือเครื่อง server class ติดตั้งเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์แบบปกติ
2. PCWeb1Cluster คือเครื่องพีซีติดตั้งให้เป็นระบบเว็บคลัสเตอร์จำนวนหนึ่งโหนด
3. PCWeb2Cluster คือเครื่องพีซีติดตั้งให้เป็นระบบเว็บคลัสเตอร์จำนวนสองโหนด
4. PCWeb3Cluster คือเครื่องพีซีติดตั้งให้เป็นระบบเว็บคลัสเตอร์จำนวนสามโหนด
5. PCWeb4Cluster คือเครื่องพีซีติดตั้งให้เป็นระบบเว็บคลัสเตอร์จำนวนสี่โหนด
6. PCWebServer คือเครื่องพีซีติดตั้งเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์แบบปกติ

ผลที่ได้จากการทดลองสรุปได้ดังนี้

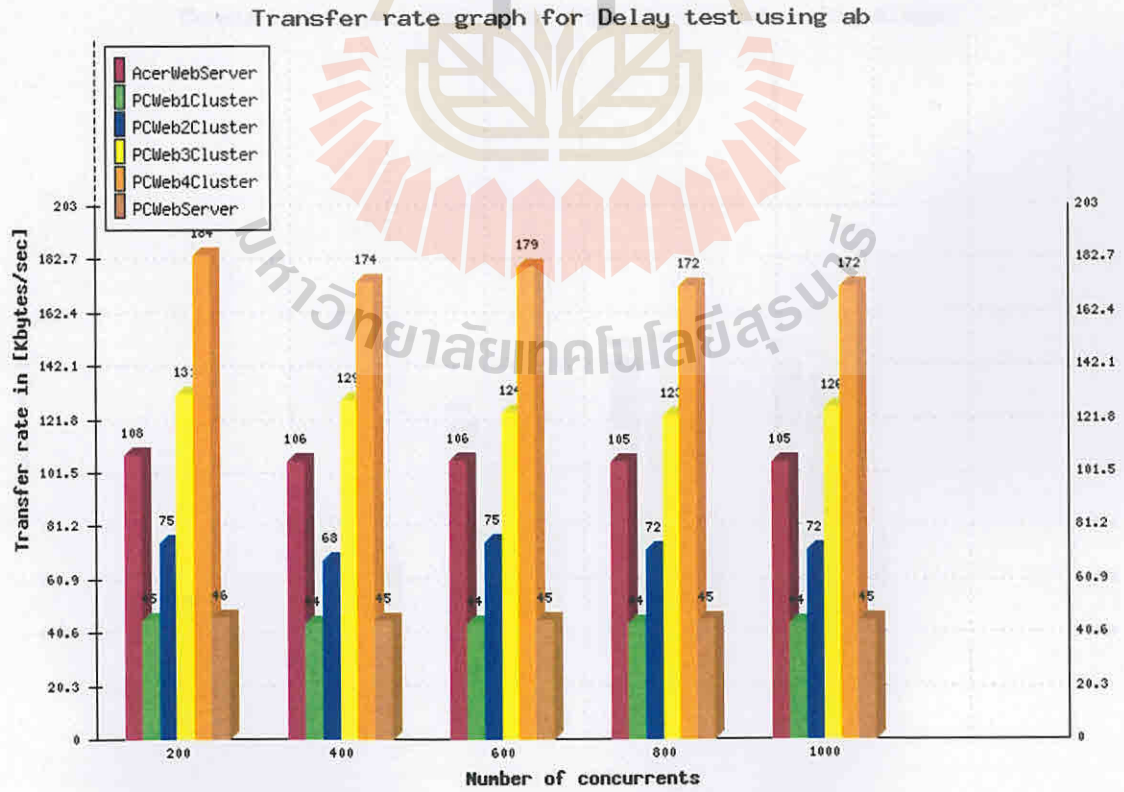
สำหรับเรื่อง delay test (ดูรูปที่ 11, 12, 13 และ 14 ประกอบ) PCWebServer ทำงานได้ดีกว่า PCWeb1Cluster เล็กน้อยเนื่องจาก over head ดังคาดหมาย เครื่องคลัสเตอร์ยิ่งมีมากโหนดประสิทธิภาพยิ่งดี เครื่องคลัสเตอร์จำนวนสามโหนด (โหนดหนึ่งราคาประมาณสองหมื่นบาท) ขึ้นไปจึงจะมีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่อง server class ที่นำมาทดสอบ(ราคาประมาณหนึ่งแสนสองหมื่นบาท)

สำหรับเรื่อง WsessionWmysqlWdatafile test (ดูรูปที่ 15, 16, 17 และ 18 ประกอบ) เครื่องคลัสเตอร์ยิ่งมีมากโหนดประสิทธิภาพยิ่งดี พบว่า PCWeb1Cluster ทำงานได้ดีกว่า PCWebServer เมื่อต้องจัดการกับไฟล์และดาต้าเบส อาจจะเป็นเพราะระบบคลัสเตอร์สามารถมีการจัดการได้ดีกว่า และยังพบว่า เครื่องคลัสเตอร์จำนวนตั้งแต่สองโหนดขึ้นไปจะมีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่อง server class ที่นำมาทดสอบ

กราฟ delay test จากโปรแกรม ab

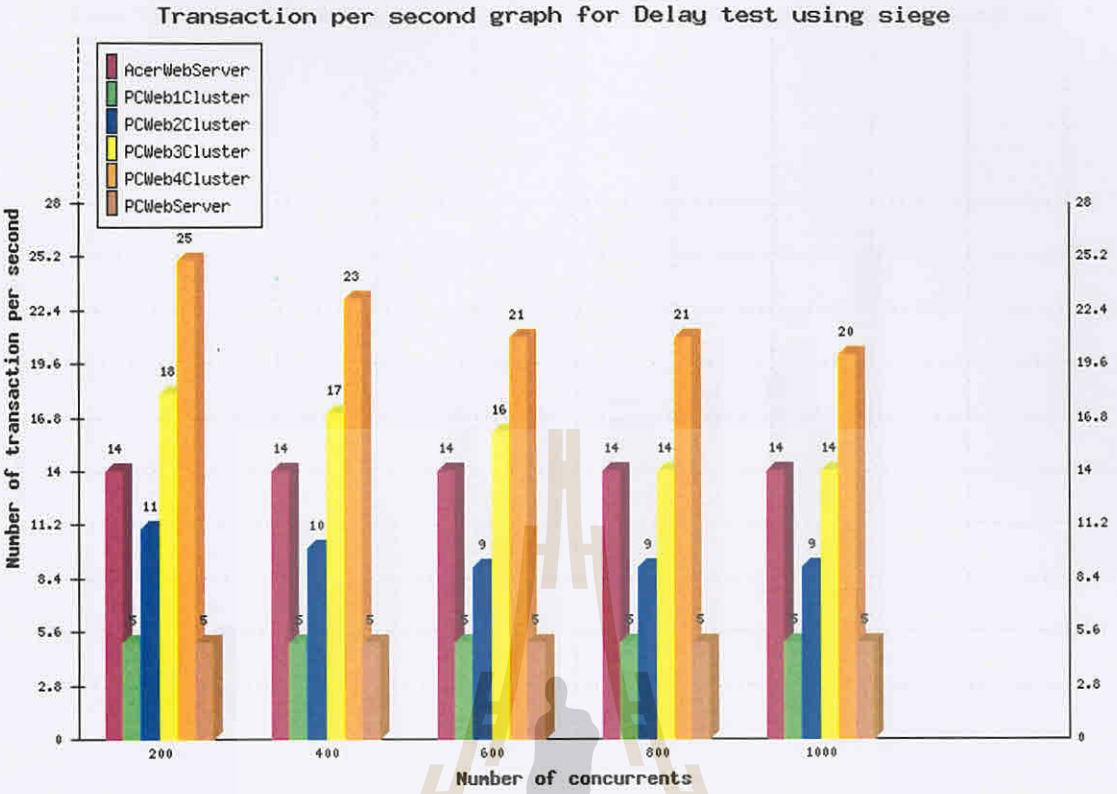



รูปที่ 11 จำนวนเวลาที่ใช้ในการทำงาน (ค่าน้อยแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)

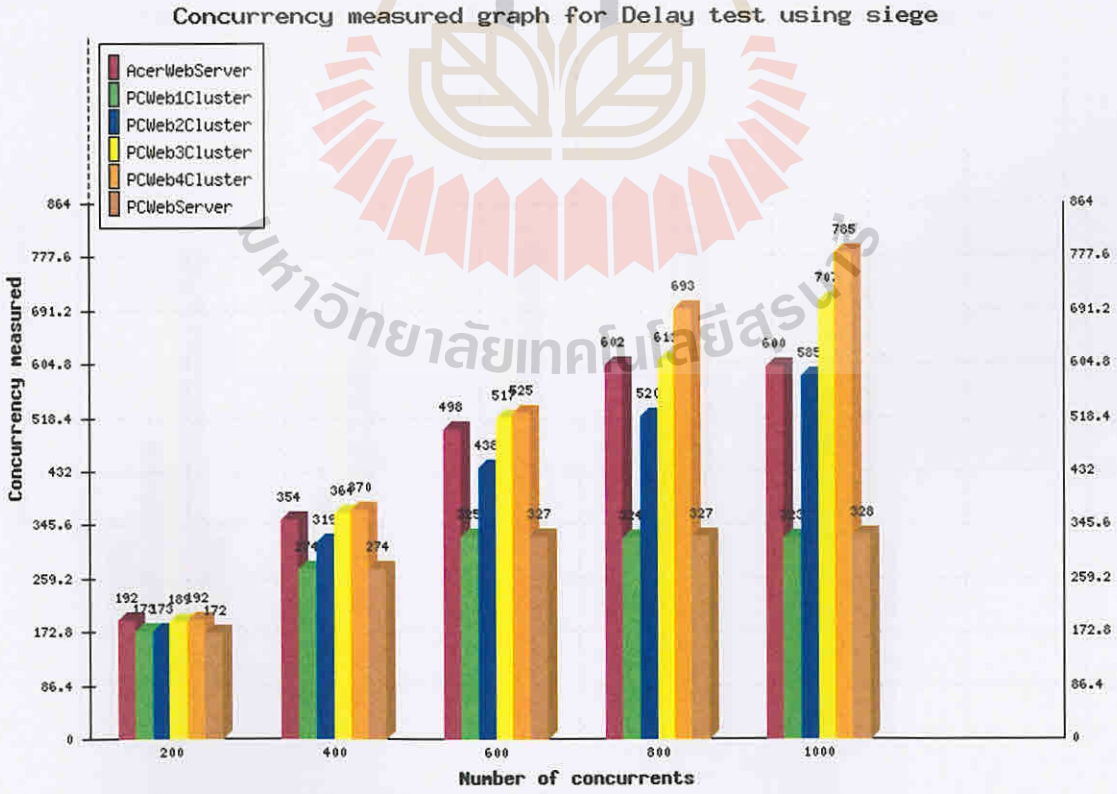



รูปที่ 12 อัตราการรับส่งข้อมูลใน 1 วินาที (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)

กราฟ delay test จากโปรแกรม siege

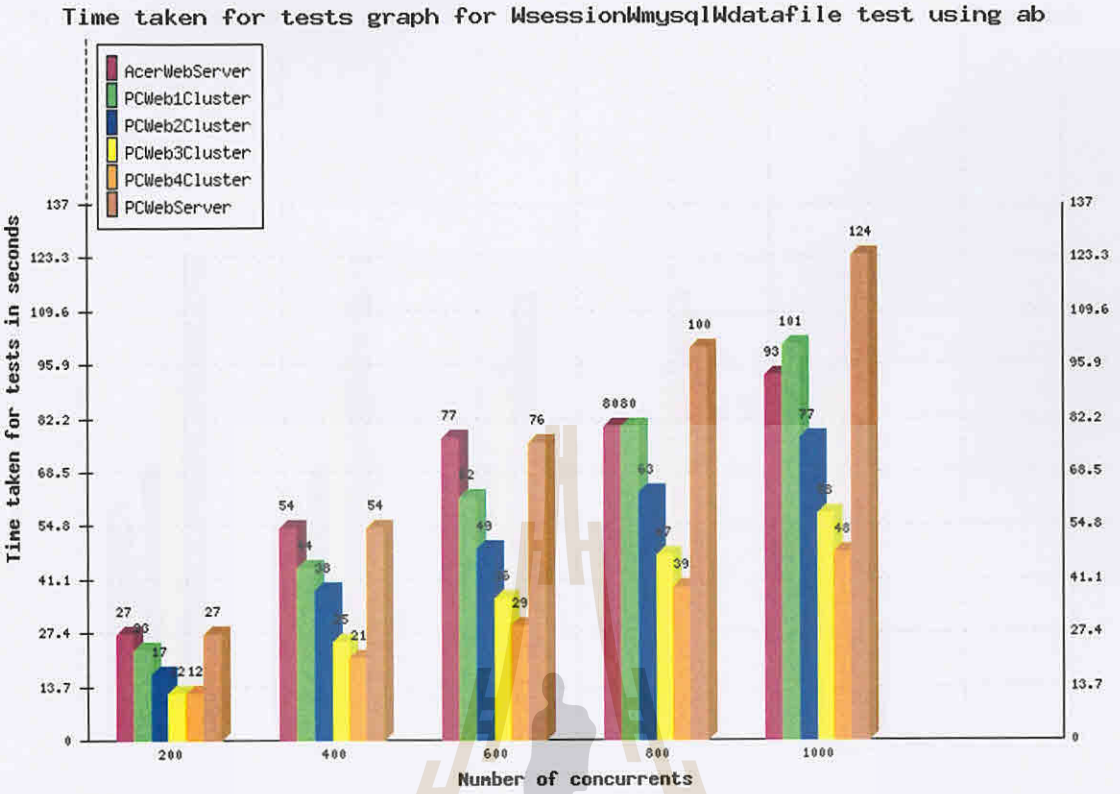



รูปที่ 13 จำนวน Transaction ใน 1 วินาที (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)

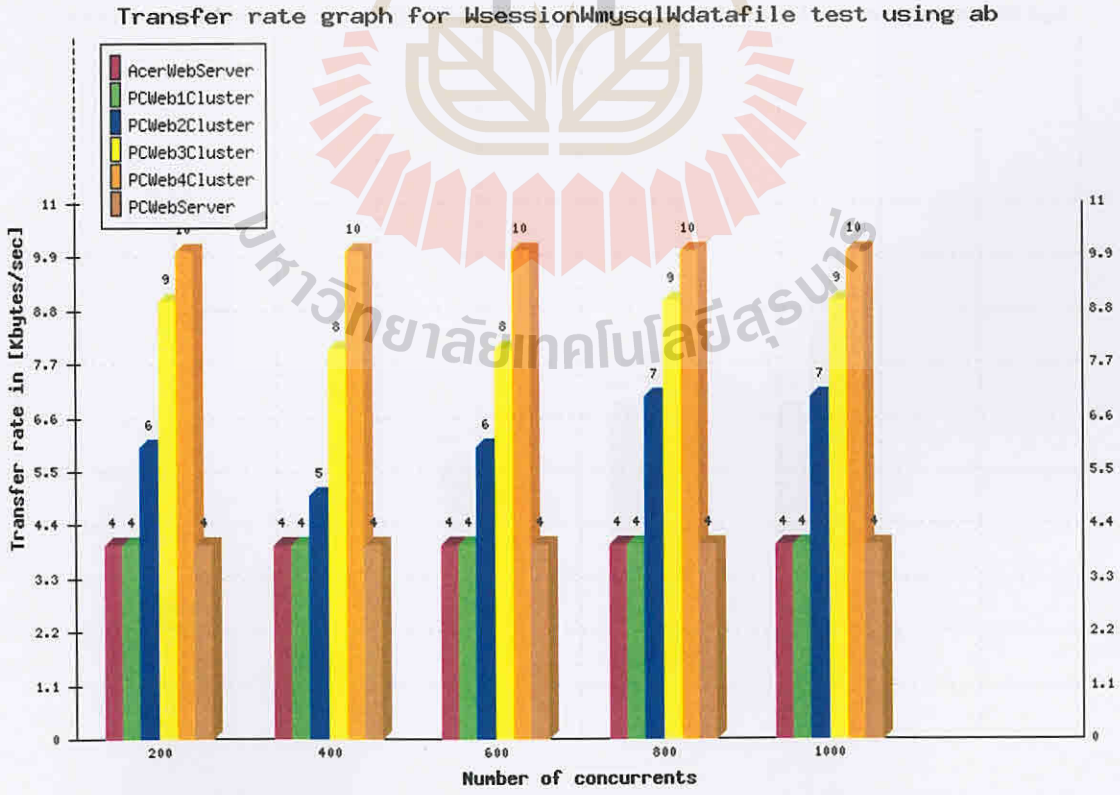



รูปที่ 14 จำนวนการเชื่อมต่อที่สามารถรองรับได้พร้อมกัน (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)

กราฟ WsessionWmysqlWdatafile test จากโปรแกรม ab

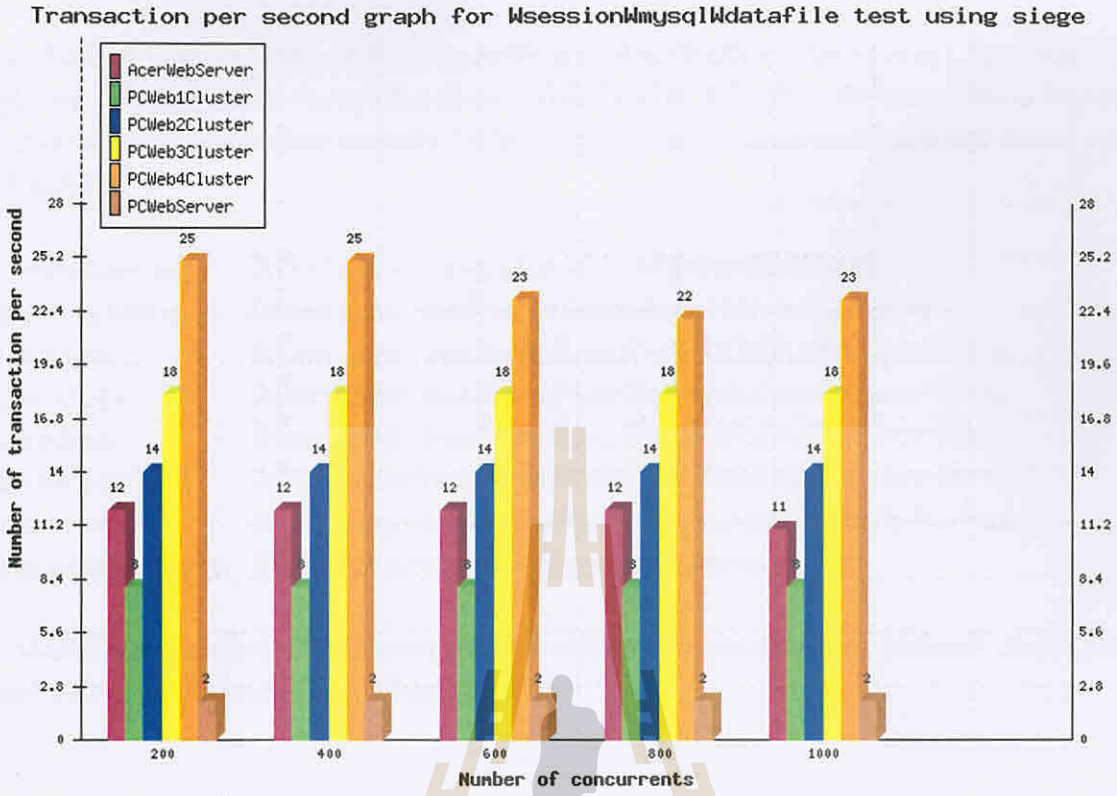



รูปที่ 15 จำนวนเวลาที่ใช้ในการทำงาน (ค่าน้อยแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)

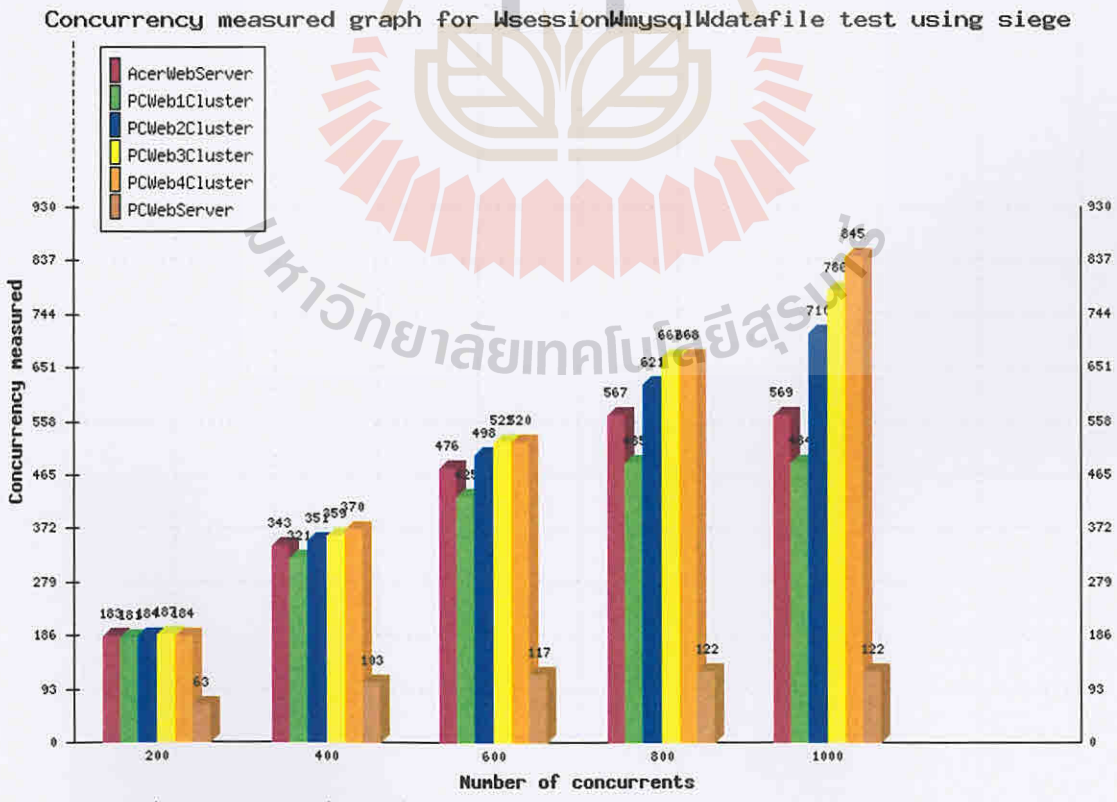



รูปที่ 16 อัตราการรับส่งข้อมูลใน 1 วินาที (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)

กราฟ WsessionWmysqlWdatafile test จากโปรแกรม siege




รูปที่ 17 จำนวน Transaction ใน 1 วินาที (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)




รูปที่ 18 จำนวนการเชื่อมต่อที่สามารถรองรับได้พร้อมกัน (ค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง)

# บทที่ 5 การติดตั้งและการใช้งาน

เนื่องจากงานวิจัยนี้ ได้ถูกออกแบบสำหรับการทำเว็บคลัสเตอร์ที่ประกอบด้วยเครื่องเซิร์ฟเวอร์โหนดจำนวน 1 ถึง 4 โหนด ตามเหตุผลดังปรากฏในบทที่ 4 ที่ผ่านมา ประกอบกับ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสมัยใหม่ ดังนั้นคู่มือการติดตั้งและการใช้งาน จึงถูกออกแบบให้อยู่ในรูปของไฟล์วีดีโอ ซึ่งประกอบด้วยภาพและเสียง โดยได้บรรจุคู่มือทั้งหมดไว้บนแผ่นโปรแกรมในโฟลเดอร์ cluster_video อันประกอบด้วยไฟล์ดังนี้

| | |
|---|---|
| intro-webcluster.ogv | มีเนื้อหา อธิบายความหมายและหลักการทำงานของเว็บคลัสเตอร์ |
| install-mots-5401.mp4 | มีเนื้อหา แสดงการติดตั้งระบบลงในคอมพิวเตอร์ ไม่ว่าจะเป็นโหนดไหน |
| setup-sv1.ogv | มีเนื้อหา แสดงการคอนฟิกคอมพิวเตอร์ที่จะใช้ทำเป็นโหนดที่ 1 ก่อนการใช้งาน |
| setup-sv2.ogv | มีเนื้อหา แสดงการคอนฟิกคอมพิวเตอร์ที่จะใช้ทำเป็นโหนดที่ 2 ก่อนการใช้งาน |
| setup-sv3.ogv | มีเนื้อหา แสดงการคอนฟิกคอมพิวเตอร์ที่จะใช้ทำเป็นโหนดที่ 3 ก่อนการใช้งาน |
| setup-sv4.ogv | มีเนื้อหา แสดงการคอนฟิกคอมพิวเตอร์ที่จะใช้ทำเป็นโหนดที่ 4 ก่อนการใช้งาน |
| first-connect.ogv | มีเนื้อหา แสดงการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่เป็นโหนดต่างๆ เข้าด้วยกันเป็นครั้งแรก |
| cluster-basic-testing.ogv | มีเนื้อหา แสดงการทดสอบการทำงานเบื้องต้นของระบบ |

สำหรับการติดตั้งระบบลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์นอกจากจะดูได้จากไฟล์ install-mots-5401.mp4 ในโฟลเดอร์ cluster_video แล้ว ยังสามารถอ่านได้จากไฟล์ how-to-install.pdf ซึ่งอยู่บนแผ่นดีวีดี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# บทที่ 6 การฝึกอบรมเผยแพร่ผลงาน

หลังจากผลงานวิจัยเสร็จ ผู้วิจัยได้ร่วมกับ หน่วยบริการอบรมและสัมมนา เทคโนธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จัดการอบรมเพื่อเผยแพร่ผลงาน ที่ห้องอบรมคอมพิวเตอร์ เทคโนธานี ชั้น 2 ในวันศุกร์ที่ 29 มิถุนายน 2555 ซึ่งมีผู้สนใจเข้าร่วมอบรมจำนวน 50 คน เป็นการอบรมที่ผู้เข้าอบรมไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ที่ได้รับแจกแผ่นโปรแกรมคนละ 1 กล่อง พร้อมอาหารว่าง และอาหารเที่ยง

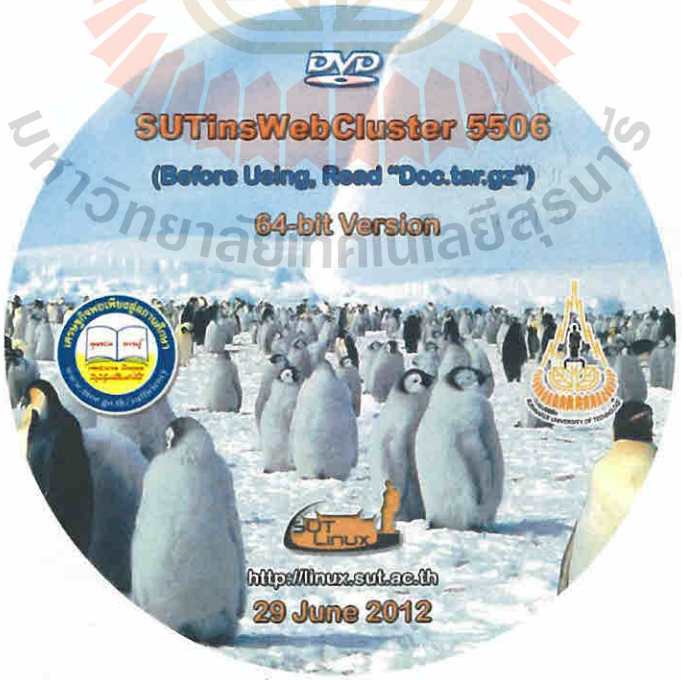
โปรแกรมการอบรมดังรูป

**วันศุกร์ที่ 29 มิถุนายน 2555**

| เวลา | ระยะเวลา | กิจกรรม |
|---|---|---|
| 8.30-9.00 | 30 นาที | ลงทะเบียนแจกแผ่นโปรแกรม |
| 9.00 - 10.30 | 1 ชม. 30 นาที | แนะนำ SUTinsWebCluster 5506 |
| 10.30-10.45 | 15 นาที | พักเบรกช่วงเช้า |
| 10.45-12.30 | 1 ชม. 30นาที | การใช้งานเว็บคลัสเตอร์ |
| 12.30 -13.00 | 1 ชม. | พักรับประทานอาหารกลางวัน |
| 13.00-14.30 | 1 ชม. 30นาที | ติดตั้งใช้งานเว็บคลัสเตอร์ 1 |
| 14.30-14.45 | 15 นาที | พักเบรกช่วงบ่าย |
| 14.45-16.15 | 1 ชม. 30นาที | ติดตั้งใช้งานเว็บคลัสเตอร์ 2 |

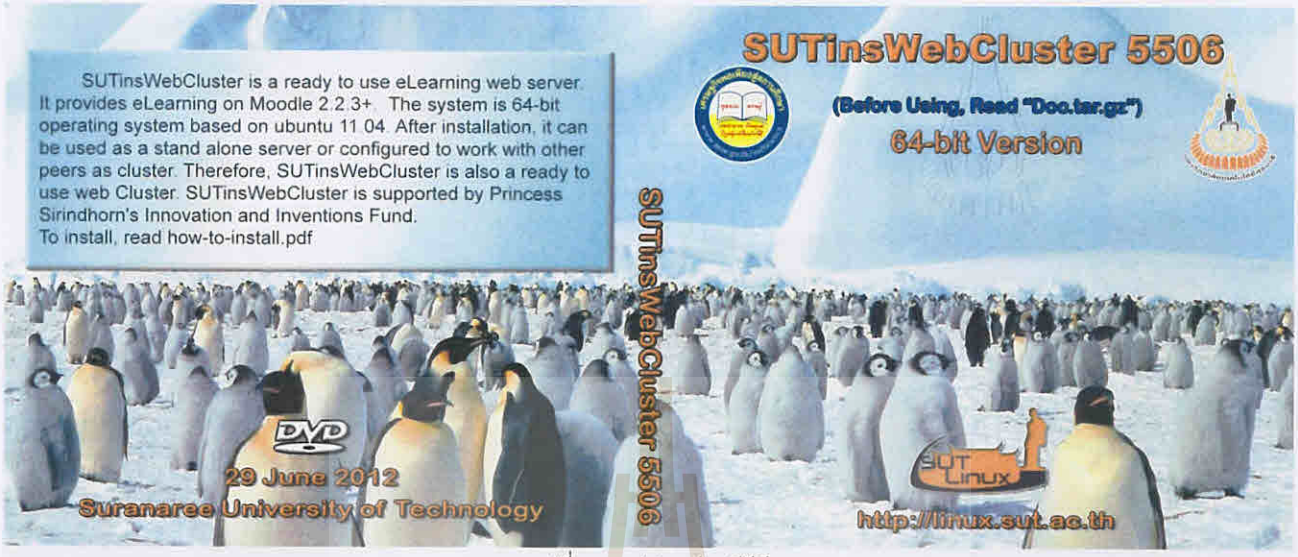
รูปที่ 19 กำหนดการอบรม

แผ่นโปรแกรมที่แจกมีปกเป็นดังรูป



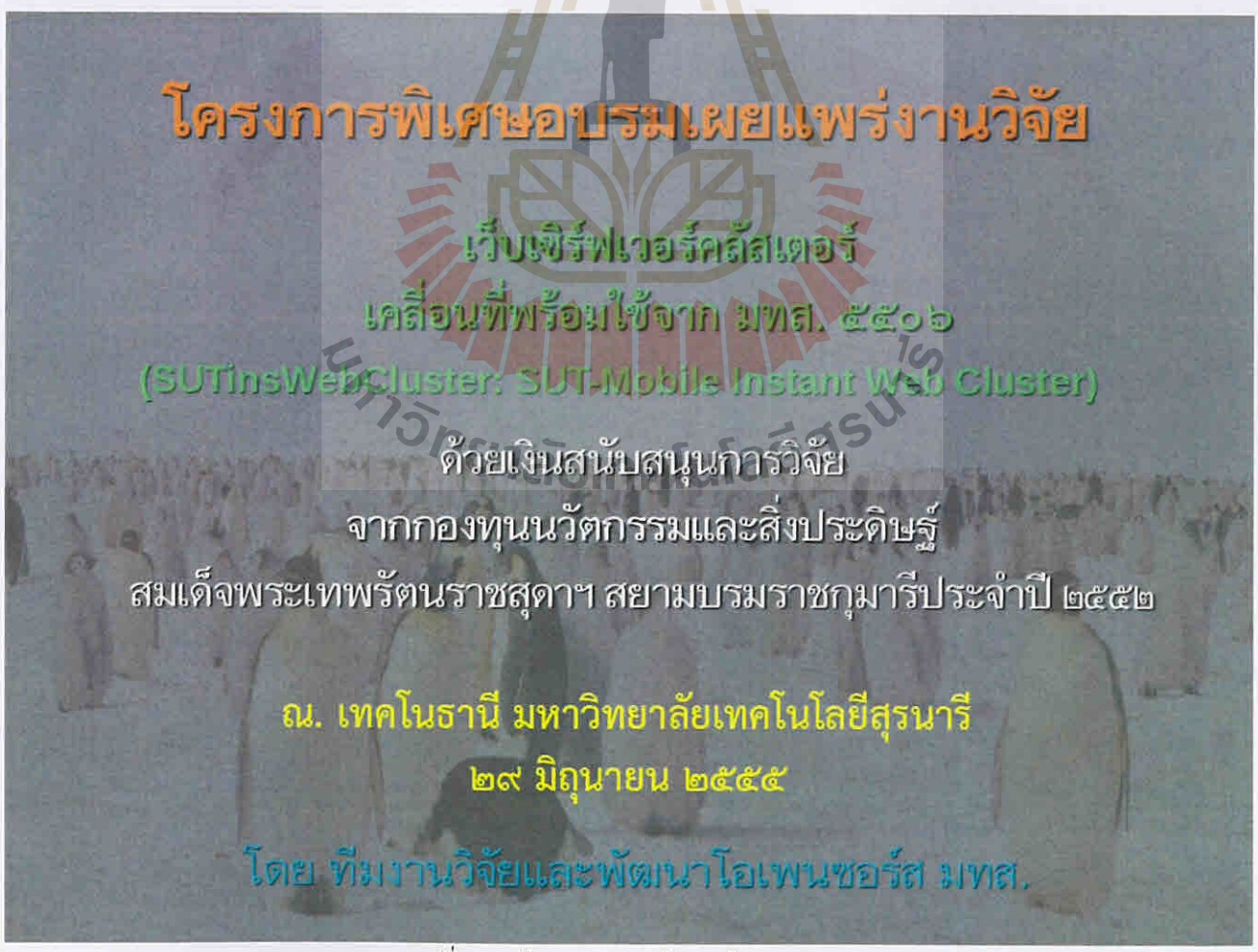

รูปที่ 20 รูปปกแผ่นดีวีดี

กล่องโปรแกรมที่แจกเป็นดังรูป




รูปที่ 21 รูปปกกล่องดีวีดี

รูปหน้าแรกของการนำเสนอในการอบรม




รูปที่ 22 หน้าแรกของการนำเสนอในการอบรม

รูประหว่างการอบรมมีดังต่อไปนี้

รูปที่ 23 ระหว่างการอบรม 1

รูปที่ 24 ระหว่างการอบรม 2

รูปที่ 25 ระหว่างการอบรม 3

รูปที่ 26 ระหว่างการอบรม 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 27 ระหว่างการอบรม 5

รูปที่ 28 ระหว่างการอบรม 6

# บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ

## 7.1 ข้อสรุป

งานวิจัยชิ้นนี้ ได้สำเร็จตามวัตถุประสงค์เกือบทุกประการ ยกเว้นจุดประสงค์หนึ่ง คือ การนำผลงานไปใช้งานจริงที่ศูนย์บริการการศึกษาเพื่อรองรับการใช้งานของนักศึกษาในช่วงลงทะเบียน ที่ยังไม่สามารถกระทำได้ ทั้งนี้เนื่องจากศูนย์บริการการศึกษากังวลว่าถ้าเกิดข้อผิดพลาดขึ้น จะต้องมีผู้รับผิดชอบ ประกอบกับทางศูนย์ฯ ได้ซื้อฮาร์ดแวร์ชุดใหม่เข้ามาใช้ จึงทำให้ระบบดีขึ้นมาก อย่างไรก็ตามผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยชิ้นนี้ จะสามารถเป็นต้นแบบ เพื่อจุดประกายความคิด ในการวิจัยพัฒนา นำเอาโอเพนซอร์สมาใช้งานให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศชาติต่อไป

## 7.2 ข้อเสนอแนะ

เทคโนโลยีทางด้านโอเพนซอร์สมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เพราะเป็นงานที่นักวิจัยทั่วโลกสามารถนำมาศึกษาและพัฒนาต่อยอดได้อย่างถูกต้องตามลิขสิทธิ์ ดังนั้นการพัฒนาเว็บคลัสเตอร์ตามรูปแบบที่นำเสนอนี้ ในขณะที่ทำงานวิจัยชิ้นนี้อยู่ เครื่องมือหรือโปรแกรมต่าง ๆ ที่ช่วยในการทำงานของระบบ ยังคงกระจัดกระจาย ผู้วิจัยต้องนำมา ปรับแต่ง และรวมกันเข้าให้เหมาะสมและถูกต้อง เมื่อเวลาผ่านไป การทำเว็บคลัสเตอร์อาจจะง่ายขึ้นและให้ประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ดังนั้นควรมีการศึกษา วิจัยและพัฒนาในเรื่องนี้อย่างต่อเนื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

# เอกสารอ้างอิง


1. What is the Linux Virtual Server, เข้าถึงได้จาก http://www.linuxvirtualserver.org/
   (วันที่สืบค้นข้อมูล: 15 มกราคม 2552)
2. Virtual Server via Direct Routing, เข้าถึงได้จาก http://www.linuxvirtualserver.org/VS-DRouting.html
   (วันที่สืบค้นข้อมูล: 16 มกราคม 2552)
3. Virtual Server via NAT, เข้าถึงได้จาก http://www.linuxvirtualserver.org/VS-NAT.html
   (วันที่สืบค้นข้อมูล: 16 มกราคม 2552)
4. Virtual Server via IP Tunneling, เข้าถึงได้จาก http://www.linuxvirtualserver.org/VS-IPTunneling.html
   (วันที่สืบค้นข้อมูล: 16 มกราคม 2552)
5. Cluster Computing / Computer Clusters,
   เข้าถึงได้จาก http://www.bestpricecomputers.co.uk/glossary/cluster-computing.htm
   (วันที่สืบค้นข้อมูล: 5 มีนาคม 2552)
6. Clustered file system, เข้าถึงได้จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Clustered_file_system
   (วันที่สืบค้นข้อมูล: 5 มีนาคม 2552)
7. GlusterFS Documentation, เข้าถึงได้จาก https://docs.gluster.org/en/latest/
   (วันที่สืบค้นข้อมูล: 5 มีนาคม 2552)
8. Galera Cluster Documentation, เข้าถึงได้จาก http://galeracluster.com/documentation-webpages/
   (วันที่สืบค้นข้อมูล: 5 มีนาคม 2552)
9. ClusterLabs, เข้าถึงได้จาก http://clusterlabs.org/
   (วันที่สืบค้นข้อมูล: 5 มีนาคม 2552)
10. Natty, เข้าถึงได้จาก https://wiki.ubuntu.com/ClusterStack/Natty
    (วันที่สืบค้นข้อมูล: 5 มีนาคม 2552)
11. Computer cluster, เข้าถึงได้จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_cluster
    (วันที่สืบค้นข้อมูล: 5 มีนาคม 2552)
12. ldirectord, เข้าถึงได้จาก http://horms.net/projects/ldirectord/
    (วันที่สืบค้นข้อมูล: 5 มีนาคม 2552)
13. Linux Clusters Overview, เข้าถึงได้จาก https://computing.llnl.gov/tutorials/linux_clusters/
    (วันที่สืบค้นข้อมูล: 15 มีนาคม 2552)
14. Alex Vrenios. Linux Cluster Architecture, Sams Publishing Indianapolis, Indiana 46240, 2002
15. Charles Bookman. Linux Clustering: Building and Maintaining Linux Cluster, First edition 25 June 25, New Riders Publishing, 2002
16. Baron Schwartz, Peter Zaitsev, Vadim Tkachenko, Jeremy D. Zawodny,Arjen Lentz, and Derek J. Balling. High Performance MySQL, Second Edition, O'Reilly Media, Inc., 2008