

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบงานวิจัย

ในบทนี้จะทำการทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่เกิดจากการนำทฤษฎีที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้มาทำให้เกิดผล (Implementation) โดยจะขอเริ่มจากการกำหนดตัววัดสมรรถนะของระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application Performance Metrics) ที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ก่อน หลังจากนั้นผู้วิจัยได้แบ่งประเภทของการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ได้แก่ การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณภาระงานของแต่ละเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในระบบ การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดสรรทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมของลักษณะภาระงานที่แตกต่างกัน คือ ในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก และในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีแนวโน้มอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รวมถึงในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน โดยอ้างอิงลักษณะของภาระงานดังกล่าวจากงานวิจัย [5] และ [19] ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.1.4.2

สำหรับวิธีการจัดสรรทรัพยากรที่จะใช้ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละสภาพแวดล้อมนั้นจะใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสเกลิต (No Scale) วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยใช้วิธีการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละเครื่อง (Scale Each) และวิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยใช้วิธีในการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละหลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานก่อนล่วงหน้า (Scale Predict) ตามลำดับ

4.1 ตัววัดสมรรถนะของระบบ (Performance Metrics)

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดสมรรถนะของระบบเว็บแอปพลิเคชันใน 2 ด้านด้วยกันคือ

- 1) ปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบ (Average Throughput)
- 2) ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งาน (Average Response Time)

สำหรับปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบที่สามารถประมวลผลได้นั้นจะทำการวัดจากอัตราการตอบกลับ (Reply Rate) โดยเฉลี่ยที่ระบบได้ตอบกลับให้กับผู้ใช้งานในหนึ่งวินาที (replies/s) ซึ่งค่าปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบที่มีค่ามากย่อมแสดงว่าระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการประมวลผลที่ดี ส่วนค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานคือ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ผู้ใช้งานใช้ในการรอการตอบสนองจากระบบในหน่วยมิลลิวินาที (ms) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความพอใจในการใช้งานของผู้ใช้งานด้วย โดยระบบที่มีค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ใช้ในการตอบสนองของระบบต่อผู้ใช้งานในค่าที่น้อย ย่อมแสดงว่าระบบดังกล่าวให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า

4.2 การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณภาระงานของแต่ละเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในระบบ

ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการวัดประสิทธิภาพของแต่ละเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในระบบ ว่าในช่วงใดที่เว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เริ่มจะไม่สามารถรองรับปริมาณภาระงานได้ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณแอ็กทีฟคอนเนกชันมากที่สุด (Maximum Active Concurrent Connection) ที่แต่ละเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เริ่มจะไม่สามารถรองรับได้ด้วย รวมถึงข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อใช้ในการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันได้ต่อไป

4.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องที่ใช้จำลองภาระงานให้แก่ระบบ (Client Emulator)
 - ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Httpperf 0.9.0

2) เครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ของระบบ (Main Application Server)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- 1 ซีพียูเสมือน (1 Virtual CPU)
- หน่วยความจำเสมือน 450 เมกะไบต์
- ต่อประสานแบบบริดจ์ (Bridge network interface)
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS5.5
- Apache 2.2.3
- Tomcat 5.5.23
- Java 1.6.0_17

4.2.2 สภาพแวดล้อมและวิธีการทดลอง

ระบบเว็บแอปพลิเคชันในการทดลองนี้จะประกอบด้วยเครื่องเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์จำนวนหนึ่งเครื่องติดต่อกับเครื่องที่ใช้จำลองภาระงาน เริ่มต้นเครื่องที่ทำหน้าที่จำลองภาระงานจะทำการจำลองภาระงานเข้าสู่ระบบเว็บแอปพลิเคชันดังกล่าว โดยปริมาณภาระงานที่ใช้ในการทดลองจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากปริมาณน้อยไปหามาก คือจากระดับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และเพิ่มค่าขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 10 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที เพื่อพยายามหาว่าระดับภาระงานในช่วงใดที่แอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เริ่มจะไม่สามารถให้บริการได้ ซึ่งจะทำให้สามารถทราบถึงปริมาณค่าแอ็กทีฟคอนเนกชันมากที่สุดที่แต่ละแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เริ่มจะไม่สามารถรองรับได้ด้วย

4.2.3 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณภาระงานของแต่ละเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์

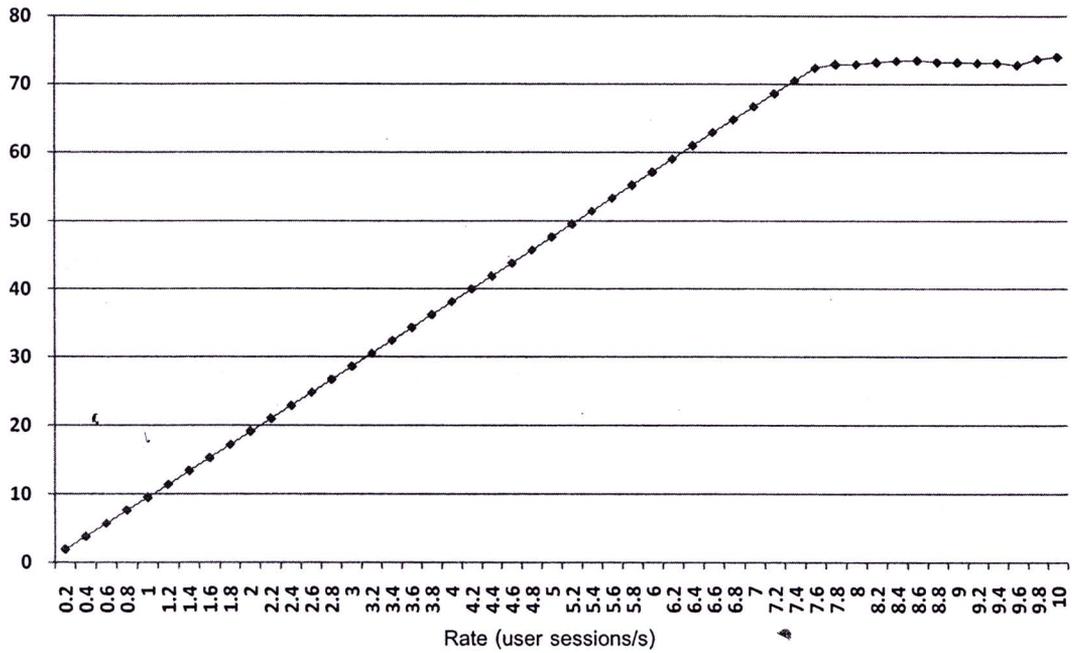
Rate (user sessions/s)	Average Throughput (replies/s)	Average Reply Time (ms)	Maximum Active Concurrent Connection
0.2	1.9	82.2	5
0.4	3.8	82.5	9
0.6	5.7	82.4	13
0.8	7.6	82	17
1	9.5	81.4	21
1.2	11.4	82.9	25
1.4	13.4	82	29
1.6	15.3	82.5	33
1.8	17.2	82.6	37
2	19.1	82.6	41
2.2	21	82.6	45
2.4	22.9	83.4	49
2.6	24.8	83.3	53
2.8	26.7	83.1	57

Rate (user sessions/s)	Average Throughput (replies/s)	Average Reply Time (ms)	Maximum Active Concurrent Connection
3	28.6	83.6	62
3.2	30.5	83.2	66
3.4	32.4	83.8	70
3.6	34.3	85	75
3.8	36.2	85.2	80
4	38.1	84.8	83
4.2	40	84.5	88
4.4	41.9	86	94
4.6	43.8	87.6	100
4.8	45.7	87.2	103
5	47.6	87.9	109
5.2	49.5	88.2	115
5.4	51.4	91.1	120
5.6	53.3	90.7	124
5.8	55.2	91.4	128
6	57.1	96.9	136
6.2	59	97.3	142
6.4	61	98.1	144
6.6	62.9	105.8	154
6.8	64.8	110.3	157
7	66.7	114.6	164
7.2	68.6	130.9	172
7.4	70.5	173.5	175
7.6	72.4	235.4	186
7.8	72.9	559	220
8	72.9	781.6	290

Rate (user sessions/s)	Average Throughput (replies/s)	Average Reply Time (ms)	Maximum Active Concurrent Connection
8.2	73.2	1084.2	357
8.4	73.4	1390.3	417
8.6	73.5	1650.7	465
8.8	73.2	1889.3	507
9	73.2	1991.3	562
9.2	73.1	2083.7	612
9.4	73.1	2169.2	662
9.6	72.8	2239.2	711
9.8	73.7	2228.9	737
10	74	2250.5	785

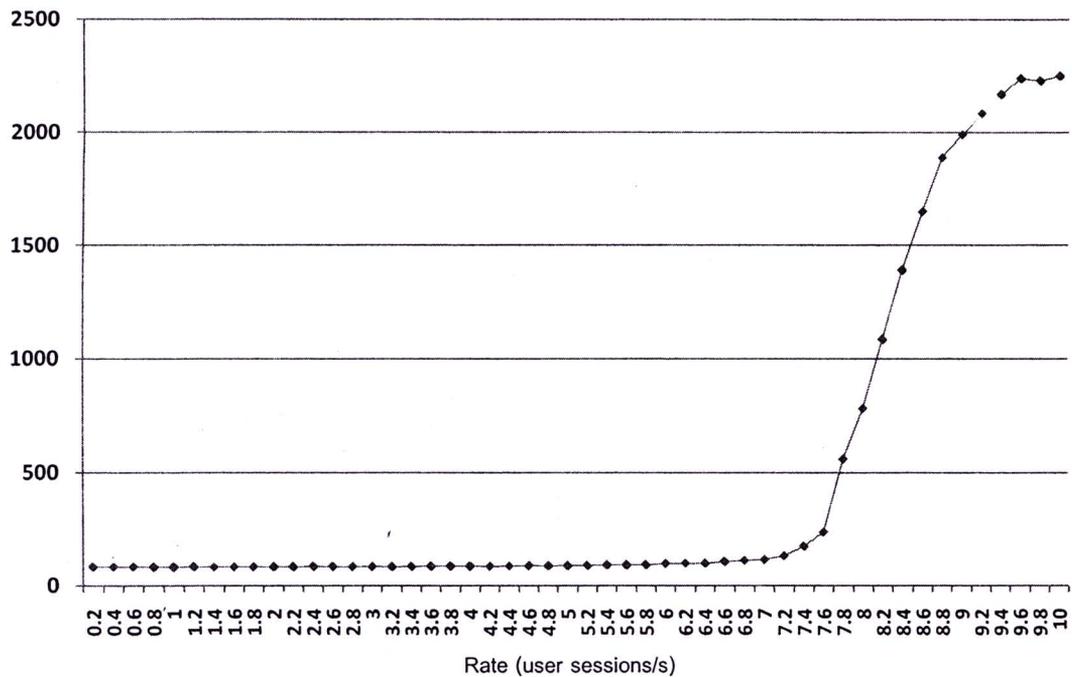
เนื่องจากค่าปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานจากการทดลองถูกกำหนดให้เป็นตัววัดสมรรถนะของระบบ ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเว็บแอปพลิเคชันในการรองรับปริมาณภาระงานดังกล่าว ดังนั้นเมื่อนำค่าปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบ และค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานจากตารางที่ 4.1 มาแสดงเป็นกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

Average Throughput (replies/s)



รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณงานโดยเฉลี่ยที่แต่ละเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ใช้ในการตอบสนองต่อ
ผู้ใช้งาน

Average Response Time (ms)



รูปที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่แต่ละเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ใช้ในการตอบสนองต่อ
ผู้ใช้งาน

4.2.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง ในรูปที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ภาระงานที่มีอัตราการเข้าใช้งานในระบบเว็บแอปพลิเคชันเท่ากับ 7.8 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที เว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในระบบเริ่มไม่สามารถรองรับปริมาณภาระงานที่มีปริมาณมากเหล่านั้นได้ สังเกตได้จากในรูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งาน ที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ในช่วงที่ภาระงานที่มีอัตราการเข้าใช้งานเท่ากับ 7.8 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ซึ่งมีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานในช่วงก่อนหน้านี้ อย่างชัดเจน และสอดคล้องกับค่าของปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบในรูปที่ 4.1 ที่เริ่มจะคงที่ตั้งแต่ในช่วงที่ภาระงานที่มีอัตราการเข้าใช้งานเท่ากับ 7.8 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที เป็นต้นไป

สำหรับอัตราการเข้าใช้งานในระดับดังกล่าว สามารถวัดปริมาณแอ็กทีฟคอนเนกชันมากที่สุดได้ประมาณ 220 การเชื่อมต่อที่พร้อมกัน (Active Concurrent Connections) และเนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ทุกๆแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน (Homogeneous) เพราะฉะนั้นจากการทดลองนี้ทำให้สามารถทราบได้ว่าแต่ละเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในระบบจะเริ่มไม่สามารถรองรับภาระงานที่มีปริมาณแอ็กทีฟคอนเนกชันมากที่สุดประมาณ 220 การเชื่อมต่อที่พร้อมกันด้วย

4.3 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดสรรทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก

ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรในลักษณะที่แตกต่างกันคือ ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสเกลิต (No Scale) ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยใช้วิธีการขยายขนาดของเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะทีละเครื่อง (Scale Each) และระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะทีละหลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานก่อนล่วงหน้า (Scale Predict) ตามลำดับ บนสภาพแวดล้อมที่ภาระงานของระบบเว็บแอปพลิเคชันมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก โดยจะใช้ลักษณะภาระงานที่อ้างอิงจากงานวิจัย [5] ตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.1.4.2

4.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องที่ใช้จำลองภาระงานให้แก่ระบบ (Client Emulator)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Httperf 0.9.0

2) เครื่องที่ใช้ในการกระจายภาระงาน (Load Balancer)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- PHP 5.1.6
- Mysql-Client 5.0.77

- UltraMonkey 3

- IP Virtual Server version 1.2.1
- heartbeat-2.1.3
- Linux Director v1.186-ha-2.1.3

3) เครื่องที่ใช้ในการจัดการระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Manager)

- ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

- ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Apache 2.2.3
- PHP 5.3.5
- Mysql-Server 5.0.77

4) เครื่องเวิร์กสเตชันในเวิร์กสเตชันพูล (Workstation Pool)

- ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

- ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- VirtualBox 4.0.0 hyperisor

5) เครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลักของระบบ (Main Application Server)

- ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียูเสมือน (1 Virtual CPU)
- หน่วยความจำเสมือน 450 เมกะไบต์
- ต่อประสานแบบบริดจ์ (Bridge network interface)
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

- ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Apache 2.2.3
- Tomcat 5.5.23
- Java 1.6.0_17

6) เครื่องเวอร์ชวลแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้จำลองขึ้นในระบบ (Virtual Application Server)

- ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียูเสมือน (1 Virtual CPU)
- หน่วยความจำเสมือน 450 เมกะไบต์

- ต่อประสานแบบบริดจ์ (Bridge network interface)

- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

- ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5

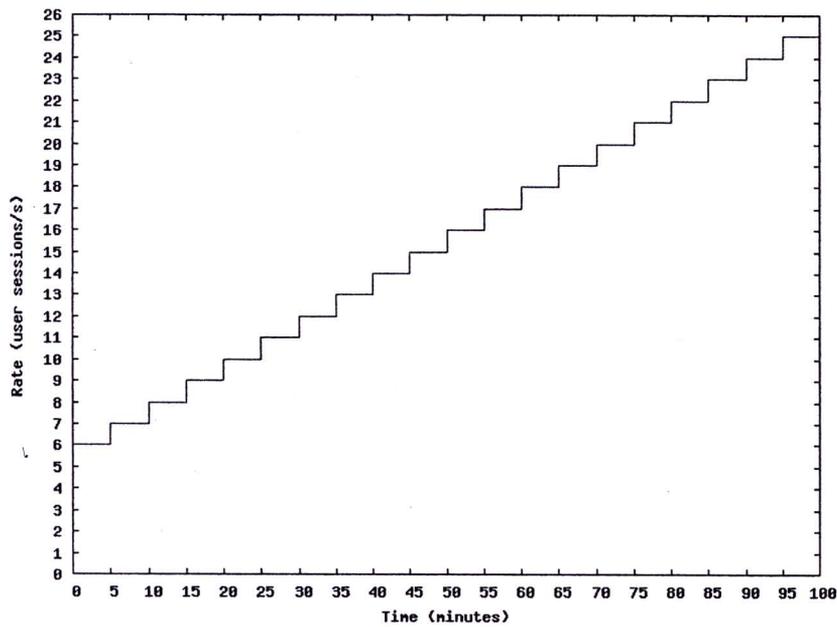
- Apache 2.2.3

- Tomcat 5.5.23

- Java 1.6.0_17

4.3.2 สภาพแวดล้อมและวิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้เครื่องที่ทำหน้าที่จำลองภาระงานจะทำการสร้างภาระงานให้แก่ระบบในลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.3 คือ เริ่มต้นในสภาวะปกติกำหนดให้ระบบเว็บแอปพลิเคชันมีอัตราการการเข้าใช้งานเท่ากับ 6 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที เพื่อใช้เป็นตัวแทนของปริมาณภาระงานในช่วงปกติที่ระบบเว็บแอปพลิเคชันสามารถรองรับได้โดยไม่จำเป็นต้องทำการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ และหลังจากนั้นในทุกๆ 5 นาที ปริมาณอัตราการเข้าใช้งานของระบบก็จะค่อยๆ มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งอัตราการเข้าใช้งานของระบบเว็บแอปพลิเคชันมีค่าเท่ากับ 25 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที (เนื่องจากปริมาณทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ในการทดลองมีจำกัด)

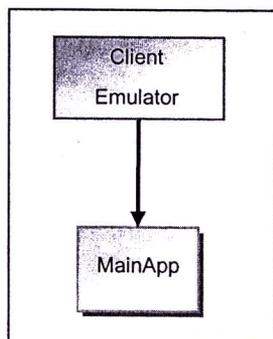


รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะของภาระงานที่มีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก

สำหรับสภาพแวดล้อมของวิธีการจัดสรรทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่จะใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพนั้นมีรายละเอียดดังนี้

4.3.2.1 ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิต (Static Allocation)

ในสภาพแวดล้อมนี้จะแสดงถึงระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ไม่ได้มีการปรับขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ คือจะเป็นลักษณะการอุทิศทรัพยากรแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลักให้กับระบบเว็บแอปพลิเคชันตลอดเวลา โดยสภาพแวดล้อมสำหรับการทดลองสามารถแสดงการเชื่อมต่อได้ดังในรูปที่ 4.4

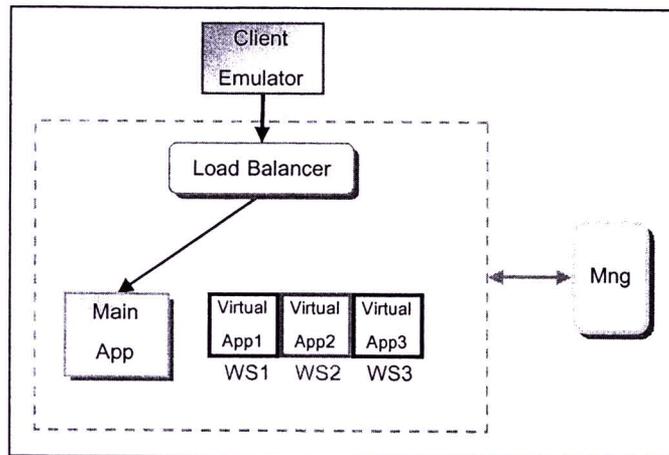


รูปที่ 4.4 แสดงสภาพแวดล้อมของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิต

จากรูปที่ 4.4 ได้ใช้เครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสมือน (Main App) จำนวน 1 เครื่องเป็นตัวแทนของทรัพยากรเว็บแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลักที่ได้อุทิศให้กับระบบเว็บแอปพลิเคชันเนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์เครื่องเซิร์ฟเวอร์จริงที่จะใช้ในการทดลอง และใช้เครื่องที่ทำหน้าที่จำลองภาระงานเพื่อสร้างภาระงานในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 4.3.2 เข้าสู่ระบบเว็บแอปพลิเคชันดังกล่าว

4.3.2.2 ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะทีละเครื่อง (Scale Each)

ในสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองนี้จะแสดงถึงระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะทีละเครื่อง โดยสภาพแวดล้อมสำหรับการทดลองสามารถแสดงการเชื่อมต่อได้ดังในรูปที่ 4.5

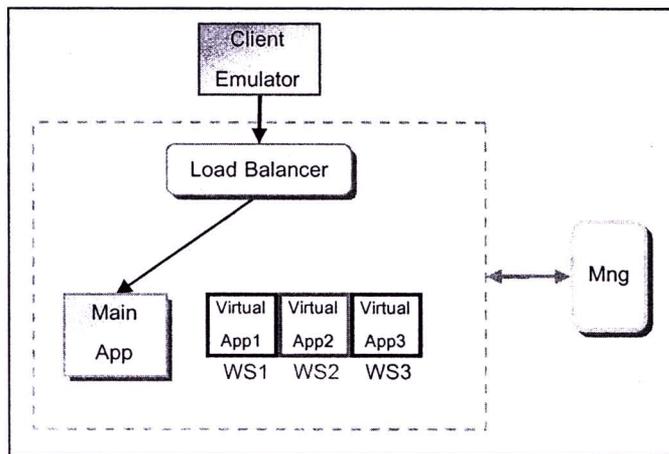


รูปที่ 4.5 แสดงสภาพแวดล้อมของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง

จากรูปที่ 4.5 เครื่อง VirtualApp1, VirtualApp2 และ VirtualApp3 หมายถึง เครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสมือนที่จะถูกจำลองขึ้นบนทรัพยากรเครื่องเวิร์กสเตชันที่มีอยู่แล้วในระบบและไม่ได้ถูกใช้งานอย่างเต็มที่ โดยในเบื้องต้นจะจำลองให้มีคุณลักษณะที่เหมือนกับเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลัก (MainApp) เริ่มแรกในระบบเว็บแอปพลิเคชันนี้จะมีทรัพยากรเฉพาะเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลักเท่านั้น ในกรณีที่ภาระงานมีปริมาณมากขึ้นทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลักอาจไม่เพียงพอที่จะใช้รองรับปริมาณภาระงานเหล่านั้น ส่วนของเครื่องที่ใช้ในการจัดการระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Mng) ก็จะทำการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ โดยการจำลองทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสมือนขึ้น (VirtualApp1, VirtualApp2, VirtualApp3) ในลักษณะที่ละเครื่องตามปริมาณภาระงานในขณะนั้นเพื่อช่วยแบ่งเบาปริมาณภาระงานให้กับระบบเว็บแอปพลิเคชันดังกล่าว และในสภาพแวดล้อมนี้ได้กำหนดให้ค่าขอบเขตบนสุดและค่าขอบเขตล่างสุดที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการปรับขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 3.3 ให้มีค่าเท่ากับ 90% และ 45% ตามลำดับ

4.3.2.3 ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละหลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานล่วงหน้า (Scale Predict)

ในสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองนี้จะแสดงถึงระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มของภาระงานที่จะเกิดขึ้นในอนาคตซึ่งสามารถแสดงการเชื่อมต่อได้ดังในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงสภาพแวดล้อมของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่อง

จากรูปที่ 4.6 สภาพแวดล้อมในส่วนของเครื่อง Load Balancer, MainApp, VirtualApp1, VirtualApp2 และ VirtualApp3 รวมถึงค่าขอบเขตบนสุดและค่าขอบเขตล่างสุดที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการปรับขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันนั้นจะมีลักษณะเหมือนกับในสภาพแวดล้อมของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.3.2.2 ต่างเพียงแค่เครื่องที่ใช้ในการจัดการระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Mng) จะใช้ขั้นตอนวิธีการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละหลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานที่จะเกิดขึ้นในอีก 5 นาทีข้างหน้าโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย แทนการใช้ขั้นตอนวิธีการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละเครื่อง

4.3.3 ผลการทดสอบ

สำหรับผลการทดลองค่าปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานในแต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรที่แตกต่างกันสามารถแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณงานโดยเฉลี่ยของแต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก

Time(minutes)	Rate (user sessions/s)	Scale Predict	Scale Each	No Scale
0-5	6	57.7	57.7	57.7
5-10	7	67.3	67.3	67.3
10-15	8	73.8	75.2	74.9
15-20	9	86.6	81.1	75.6
20-25	10	96.2	94.7	78.4
25-30	11	105.8	105.8	77.4
30-35	12	115.4	115.4	79.3
35-40	13	125.0	125.0	76.7
40-45	14	134.5	134.5	75.3
45-50	15	144.0	143.9	78.6
50-55	16	153.0	151.9	75.2
55-60	17	163.5	163.5	74.6

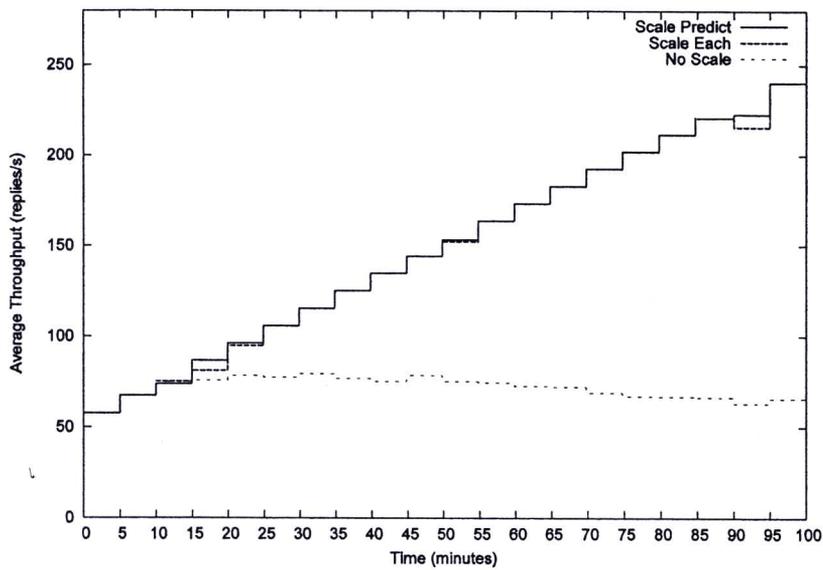
Time(minutes)	Rate (user sessions/s)	Scale Predict	Scale Each	No Scale
60-65	18	173.1	173.1	72.8
65-70	19	182.7	182.7	72.3
70-75	20	192.3	192.3	69.2
75-80	21	201.8	201.7	67.1
80-85	22	211.3	211.2	66.9
85-90	23	220.8	220.8	66.4
90-95	24	222.7	215.7	63.1
95-100	25	240.4	240.4	65.8

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่แต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันใช้ตอบสนองต่อผู้ใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการใช้ทำงานในลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณไม่มาก

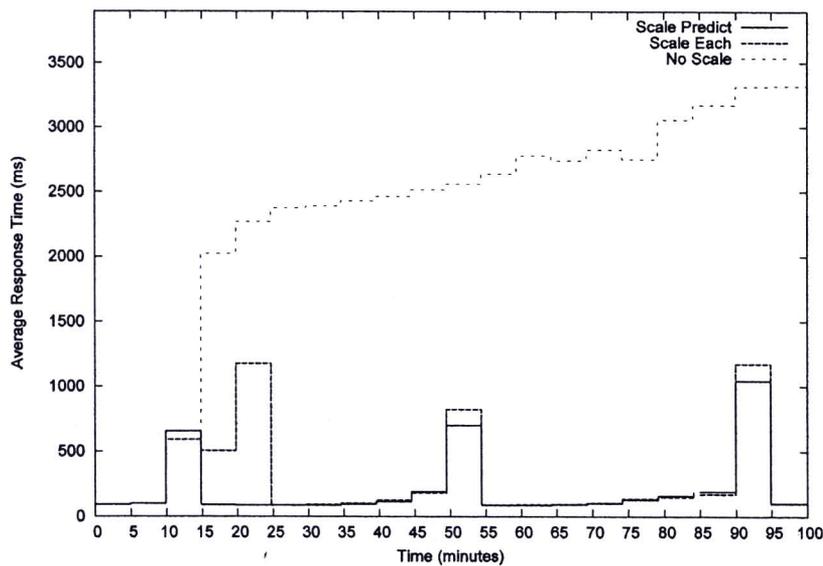
Time(minutes)	Rate (user sessions/s)	Scale Predict	Scale Each	No Scale
0-5	6	91.0	93.0	94.9
5-10	7	98.4	99.2	98.6
10-15	8	655.5	590.9	651.8
15-20	9	89.9	506.1	2020.6
20-25	10	86.5	1177.2	2269.9
25-30	11	87.2	85.8	2376.3

Time(minutes)	Rate (user sessions/s)	Scale Predict	Scale Each	No Scale
30-35	12	89.7	90.9	2391.8
35-40	13	95.5	99.2	2432.1
40-45	14	115.9	124.6	2464.7
45-50	15	192.4	181.0	2516.7
50-55	16	701.0	819.0	2560.7
55-60	17	90.0	89.0	2637.8
60-65	18	90.4	91.5	2780.8
65-70	19	94.7	96.1	2742.4
70-75	20	103.9	105.1	2827.9
75-80	21	130.9	135.7	2752.3
80-85	22	162.0	150.2	3057
85-90	23	189.4	171.5	3170.4
90-95	24	1044.3	1174.0	3313.8
95-100	25	102.2	100.1	3317.9

เมื่อนำค่าปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งาน จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 มาวาดกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

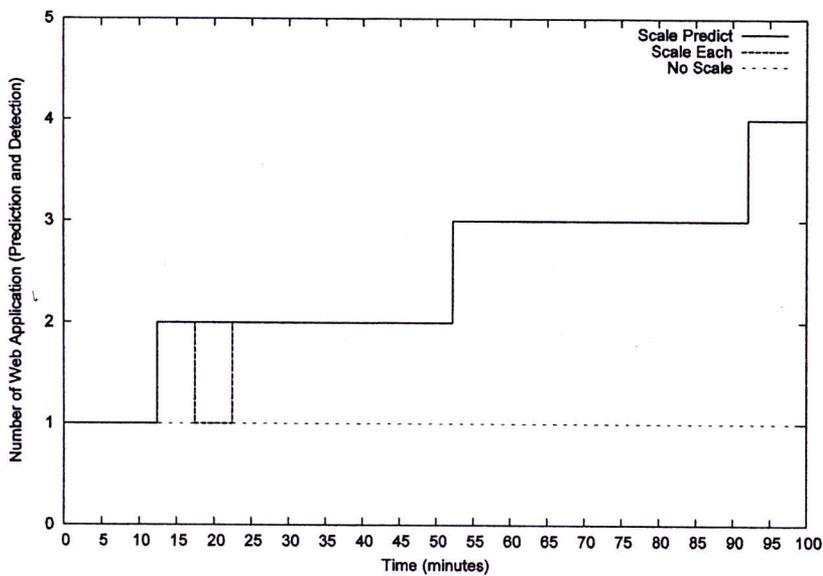


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงปริมาณงานโดยเฉลี่ยของแต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก

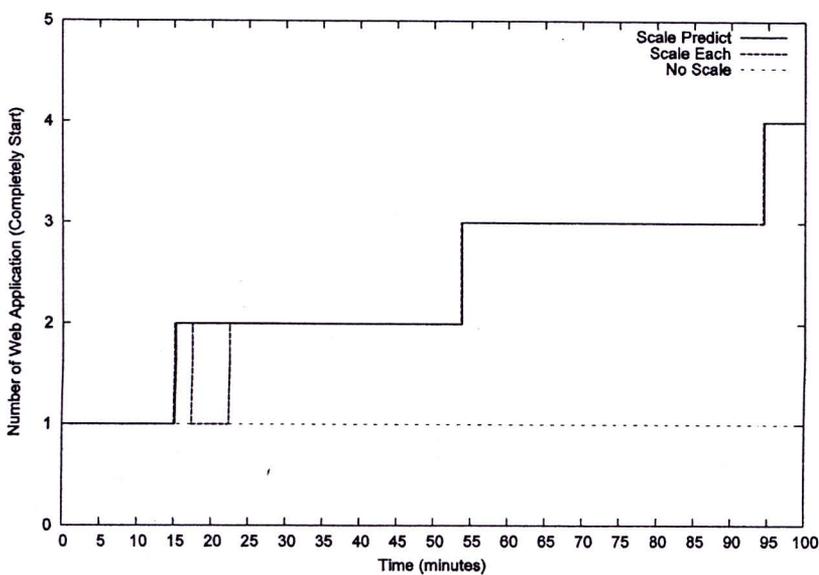


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่แต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันใช้ตอบสนองต่อผู้ใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก

สำหรับกราฟแสดงจำนวนเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์จากการทำนายและการตรวจพบของระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Prediction and Detection Graph) รวมถึงกราฟแสดงจำนวนเครื่องเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถเปิดให้บริการได้อย่างสมบูรณ์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

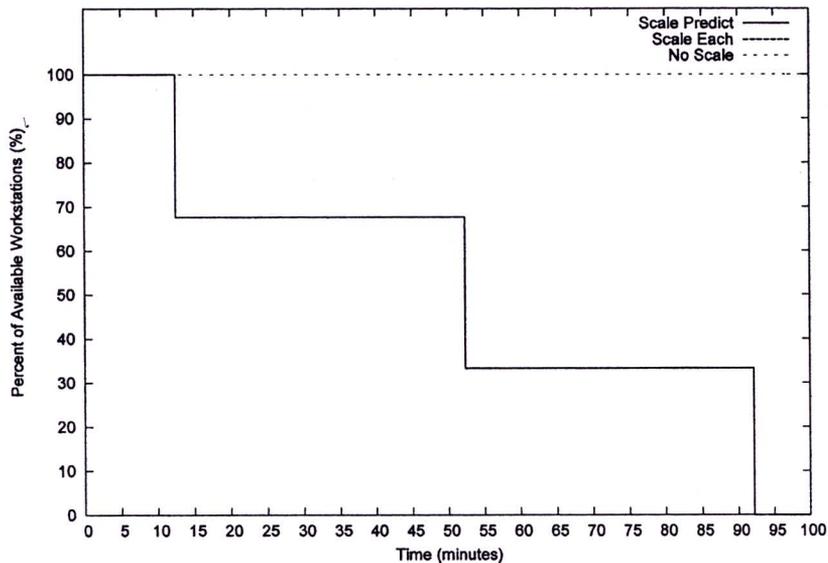


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงจำนวนเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์จากการทำนายและการตรวจพบในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก



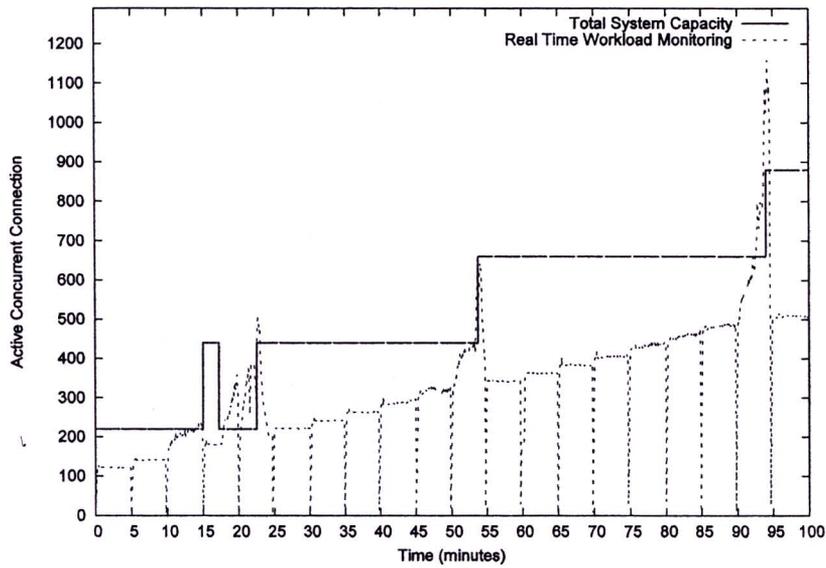
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงจำนวนเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ที่สามารถให้บริการได้อย่างสมบูรณ์ในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก

สำหรับกราฟแสดงปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันในระบบที่ผู้ใช้งานเครื่องเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้ และกราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Resources Utilization Graph) ระหว่างวิธีการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละเครื่อง และวิธีการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละหลายเครื่องโดยการคาดการณ์ลักษณะภาระงานก่อนล่วงหน้า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.11 ถึง 4.14

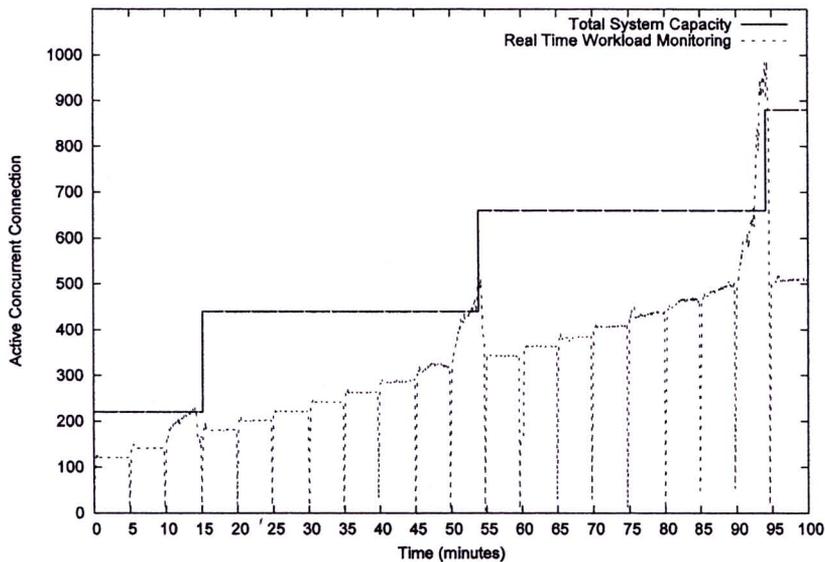


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันที่ผู้ใช้งานเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้ในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการใช้ใช้งานในลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก

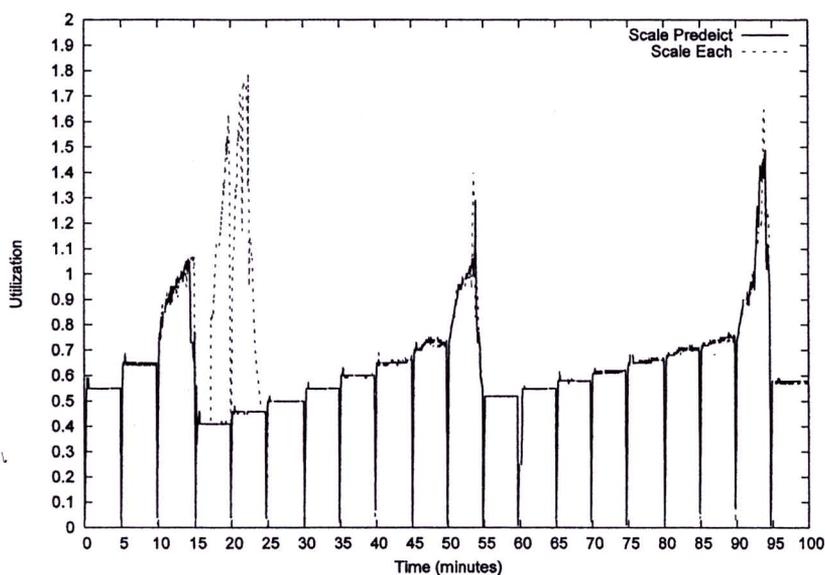
สำหรับรูปที่ 4.11 ค่าในแนวแกนวาย (Y) ใช้แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของเครื่องเวิร์กสเตชันในหน่วยงานที่ผู้ใช้งานเครื่องเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้ และเนื่องจากในการทดลองได้ใช้เครื่องเวิร์กสเตชันทั้งหมด 3 เครื่อง ในการทดสอบระบบ ดังนั้นค่า 100 เปอร์เซ็นต์ จึงหมายถึงช่วงที่ระบบมีปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันที่ผู้ใช้งานเครื่องเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้เท่ากับ 3 เครื่องด้วย



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดในลักษณะที่ละเครื่องในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.13 แสดงการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดในลักษณะที่หลายเครื่องโดยการคาดการณ์ล่วงหน้าในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานค่อยๆ เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้น

4.3.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง รูปที่ 4.7 และ 4.8 สำหรับระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิต (No Scale) โดยการอุทิศทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลักจำนวนหนึ่งเครื่องให้แก่ระบบนั้น จะสามารถรองรับปริมาณภาระงานในช่วงปกติคือในช่วง 10 นาทีแรก ที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานเท่ากับ 6 และ 7 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาทีได้เท่านั้น อย่างไรก็ตามสำหรับในช่วงที่อัตราการเข้าใช้งานของผู้ใช้งานในระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่ 8 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาทีเป็นต้นไป จากผลการทดลอง รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งมีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานในช่วงก่อนหน้านี้อย่างชัดเจน สอดคล้องกับค่าของปริมาณงานโดยเฉลี่ยในรูปที่ 4.7 ที่เริ่มจะมีค่าคงที่ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิตจะสามารถรองรับปริมาณภาระงานได้จำกัด เฉพาะในช่วงปกติที่ระบบมีปริมาณภาระงานในปริมาณที่ไม่มากเท่านั้น อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองเมื่อปริมาณภาระงานของระบบมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเกินกว่าทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลักของระบบที่จะสามารถรองรับได้ ย่อมส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบดังกล่าวมีค่าลดลงด้วย ในทางตรงกันข้ามสำหรับระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ใน

ลักษณะที่ละเครื่อง (Scale Each) และระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่องนั้น (Scale Predict) ได้ใช้ทรัพยากรของเครื่องเวิร์กสเตชันที่ไม่ได้ถูกใช้งานอย่างเต็มที่มาจำลองเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสมือน เพื่อใช้เป็นทรัพยากรเสริมสำหรับช่วยรองรับปริมาณภาระงานของระบบเว็บแอปพลิเคชัน ในช่วงที่มีปริมาณมากดังกล่าว จึงทำให้ค่าของปริมาณงานโดยเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานมีค่าที่ดีกว่าในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิต

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.8 และ 4.9 พบว่า ระบบเว็บแอปพลิเคชันเริ่มจะไม่สามารถรองรับปริมาณภาระงานได้ในช่วงเวลาที่ 10-15, 50-55 และช่วงเวลาที่ 90-95 ซึ่งเป็นช่วงที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานเท่ากับ 8, 16 และ 24 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาทีตามลำดับ สำหรับในช่วงดังกล่าวระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง ได้ทำการเพิ่มเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมเข้าสู่ระบบอีกจำนวน 1 เครื่องในช่วงที่มีอัตราการเข้าใช้งานเท่ากับ 8, 16 และ 24 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ตามลำดับ สำหรับในส่วนของการระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่องนั้น เนื่องมาจากในสภาพแวดล้อมที่ปริมาณภาระงานของระบบมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในปริมาณที่ไม่มาก ส่งผลให้ค่าแนวโน้มของปริมาณภาระงานที่ได้จากการคาดการณ์ล่วงหน้าของวิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่องมีอัตราการเพิ่มขึ้นในปริมาณน้อยตามไปด้วย เมื่อค่าแนวโน้มของปริมาณภาระงานที่ได้จากการคาดการณ์ล่วงหน้ามีปริมาณที่น้อย ส่งผลทำให้ระบบต้องการปริมาณทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสมือนที่จะใช้รองรับปริมาณภาระงานดังกล่าวในปริมาณที่น้อยตาม ซึ่งจากการทดลองพบว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่องได้ทำการเพิ่มเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมเข้าสู่ระบบอีกจำนวน 1 เครื่องในช่วงที่ระบบมีอัตราการเข้าใช้งานเท่ากับ 8, 16 และ 24 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาทีตามลำดับ ในลักษณะเช่นเดียวกันกับระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง จากลักษณะดังกล่าวจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง และระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่องได้ให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน

และจากผลการทดลองในรูปที่ 4.8 และ 4.9 สำหรับในช่วงเวลาที่ 10 ถึง 15 ซึ่งภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานเท่ากับ 8 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง และระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่หลายเครื่องได้ตรวจพบว่าทรัพยากรในระบบดังกล่าวเริ่มจะไม่สามารถรองรับปริมาณภาระงานได้แล้ว จึงทำการเพิ่มเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมให้แก่ระบบอีกหนึ่งเครื่อง และในช่วงเวลาต่อมาในนาที่ที่ 15 ถึง 20 เมื่อผู้ใช้งานมีอัตราการเข้าใช้งานเพิ่มขึ้นเป็น 9 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ปริมาณภาระงานที่เข้าสู่ระบบก็ได้ถูกกระจายแบ่งให้กับแต่ละแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าในขณะนั้นแต่ละแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์มีปริมาณแอ็กทีฟคอนเนกชันโดยเฉลี่ยประมาณ 42% ของปริมาณแอ็กทีฟคอนเนกชันมากที่สุด ที่แต่ละแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เริ่มจะไม่สามารถรองรับได้ ซึ่งถือว่ามีปริมาณที่ไม่มาก และเพื่อให้เห็นความแตกต่างของขั้นตอนวิธีการลดขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชัน ในการทดลองนี้ได้กำหนดให้ค่าขอบเขตล่างสุดสำหรับการปรับขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Lower-threshold) มีค่าเท่ากับ 45% ทำให้ในช่วงที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานเท่ากับ 9 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง ได้ทำการลดขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ลง เนื่องจากในขณะนั้นปริมาณแอ็กทีฟคอนเนกชันของแต่ละแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์มีปริมาณน้อยกว่าค่าขอบเขตล่างสุดสำหรับการปรับขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชัน และในเวลาต่อมาในช่วงเวลาที่ 20 ถึง 25 เมื่อภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 10 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ระบบที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง ก็ตรวจพบได้ว่าจำเป็นต้องเพิ่มทรัพยากรแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมดังกล่าวให้แก่ระบบอีก แต่ในทางตรงกันข้ามสำหรับระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่หลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มปริมาณภาระงานล่วงหน้า นั้น ในช่วงเวลาที่ 15 ถึง 20 ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 9 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ระบบจะยังไม่ทำการลดขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ลงทันที เนื่องจากได้คาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานล่วงหน้าพบว่าแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นและอาจต้องใช้ทรัพยากรดังกล่าวมาเป็นทรัพยากรเสริมอีก เพราะฉะนั้นจึงทำให้ในช่วงเวลาดังกล่าวที่อัตราการเข้าใช้งานมีค่าเท่ากับ 9 และ 10 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่หลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มภาระงานล่วงหน้าสามารถให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง ซึ่งไม่ได้มีการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานก่อนล่วงหน้า

สำหรับผลการทดลองในรูปที่ 4.11 และ 4.14 พบว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องและระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่หลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มปริมาณภาระงานก่อนล่วงหน้า นั้น ได้ให้ค่าปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันที่ผู้ใช้งานสามารถใช้บริการได้ในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงลักษณะการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากปริมาณเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมที่ได้เพิ่มเข้าสู่ระบบในแต่ละเวลานั้นมีปริมาณที่เท่ากัน และจากผลการทดลองในรูปที่ 4.14 พบว่าในช่วงวันที่ที่ 15 ถึง 25 ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องซึ่งไม่ได้คาดการณ์ลักษณะของภาระงานล่วงหน้า ได้เริ่มทำการลดขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันลงโดยการเปลี่ยนสถานะของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมให้มีสถานะเป็น Standby ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงส่งผลให้ทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถให้บริการได้มีปริมาณลดลง จึงทำให้ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่สูงกว่าวิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ที่มีการคาดการณ์แนวโน้มของภาระงานก่อนล่วงหน้า

4.4 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพสำหรับวิธีการจัดสรรทรัพยากรของระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีแนวโน้มอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรในลักษณะที่แตกต่างกันคือ ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิติ (No Scale) ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยใช้วิธีการขยายขนาดของเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละเครื่อง (Scale Each) และระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่หลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานก่อนล่วงหน้า (Scale Predict) ตามลำดับ บนสภาพแวดล้อมที่ภาระงานของระบบเว็บแอปพลิเคชันมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยอ้างอิงลักษณะภาระงานในสภาพแวดล้อมดังกล่าวจากงานวิจัย [19] ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.1.4.2

4.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องมือที่ใช้จำลองภาระงานให้แก่ระบบ (Client Emulator)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Httpperf 0.9.0

2) เครื่องมือที่ใช้ในการกระจายภาระงาน (Load Balancer)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- PHP 5.1.6
- Mysql-Client 5.0.77

- UltraMonkey 3
 - IP Virtual Server version 1.2.1
 - heartbeat-2.1.3
 - Linux Director v1.186-ha-2.1.3

3) เครื่องที่ใช้ในการจัดการระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Manager)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Apache 2.2.3
- PHP 5.3.5
- Mysql-Server 5.0.77

4) เครื่องเวิร์กสเตชันในเวิร์กสเตชันพูล (Workstation Pool)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

- ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- VirtualBox 4.0.0 hyperisor

5) เครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลักของระบบ (Main Application Server)

- ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- 1 ซีพียูเสมือน (1 Virtual CPU)
- หน่วยความจำเสมือน 450 เมกะไบต์
- ต่อประสานแบบบริดจ์ (Bridge network interface)
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

- ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Apache 2.2.3
- Tomcat 5.5.23
- Java 1.6.0_17

6) เครื่องเวอร์ชวลแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้จำลองขึ้นในระบบ (Virtual Application Server)

- ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- 1 ซีพียูเสมือน (1 Virtual CPU)
- หน่วยความจำเสมือน 450 เมกะไบต์

- ต่อประสานแบบบริดจ์ (Bridge network interface)

- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5

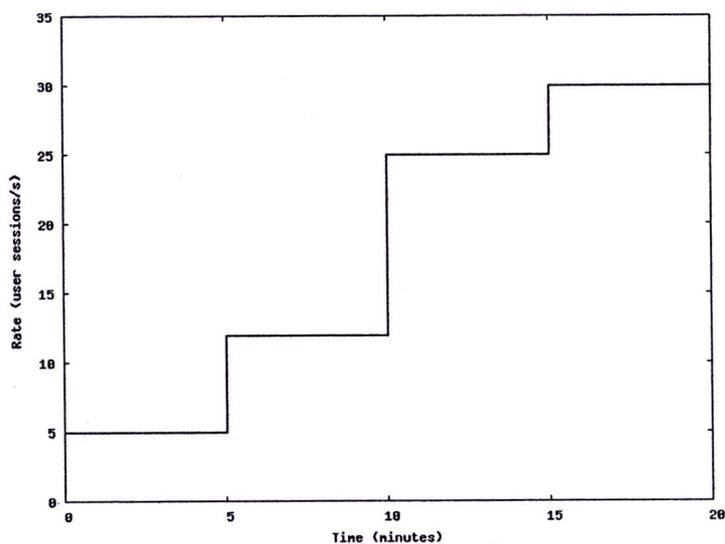
- Apache 2.2.3

- Tomcat 5.5.23

- Java 1.6.0_17

4.4.2 สภาพแวดล้อมและวิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้เครื่องที่ทำหน้าที่จำลองภาระงานให้แก่ระบบเว็บแอปพลิเคชันจะทำการสร้างภาระงานให้แก่ระบบในลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.15 คืออัตราการเข้าใช้งานเฉลี่ยของระบบเว็บแอปพลิเคชันจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 5 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ไปเป็น 12, 25 และ 30 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ตามลำดับในทุกๆ 5 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าเพียงแค่ 20 นาทีแรกเท่านั้น ปริมาณภาระงานโดยเฉลี่ยของระบบดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ยถึง 6 เท่าตัวของปริมาณภาระงานเริ่มต้น



รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะภาระงานในช่วงเวลา 20 นาทีแรกที่ระบบเว็บแอปพลิเคชันเริ่มมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

สำหรับสภาพแวดล้อมของวิธีการจัดสรรทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่จะใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้แก่ ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิต ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง และระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานก่อนล่วงหน้า ซึ่งรายละเอียดของแต่ละสภาพแวดล้อมได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.3.2.1, 4.3.2.2 และ 4.3.2.3 ตามลำดับ

4.4.3 ผลการทดสอบ

สำหรับผลการทดสอบค่าปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานของแต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรที่แตกต่างกันได้แสดงในตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

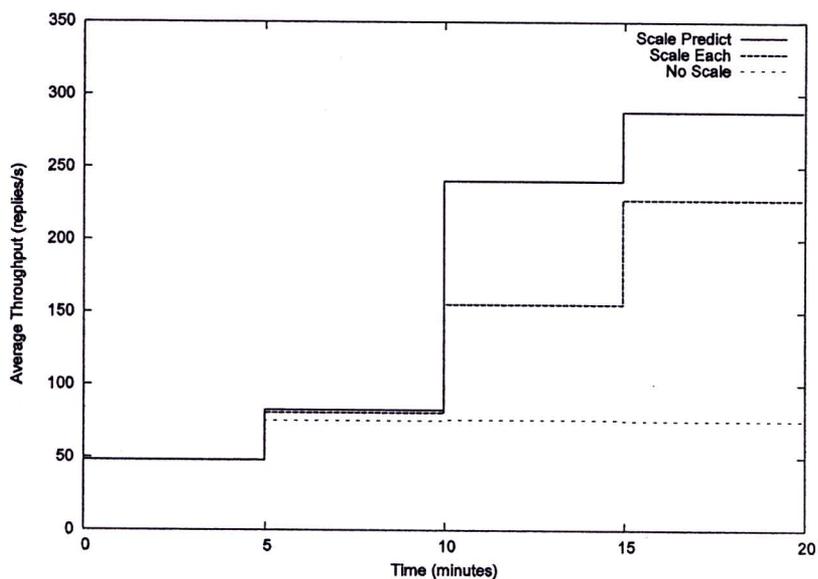
ตารางที่ 4.4 ปริมาณงานโดยเฉลี่ยของแต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันในช่วงเวลา 20 นาทีแรกที่ระบบเริ่มมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

Time (minutes)	Rate (user sessions/s)	Scale Predict	Scale Each	No Scale
0-5	5	48.1	48.1	48.1
5-10	12	82.8	80.8	75.2
10-15	25	240.4	155.4	76.0
15-20	30	287.9	227.5	75.2

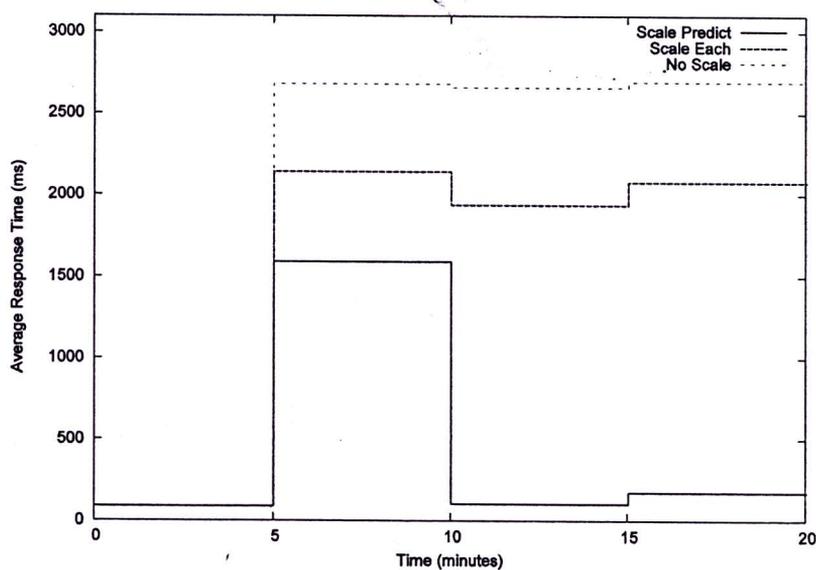
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่แต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันใช้ตอบสนองต่อผู้ใช้งานในช่วงเวลา 20 นาทีแรกที่ระบบเริ่มมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

Time (minutes)	Rate (user sessions/s)	Scale Predict	Scale Each	No Scale
0-5	5	86.9	87.0	87.5
5-10	12	1592.0	2140.8	2680.0
10-15	25	104.7	1936.5	2658.6
15-20	30	172.9	2077.1	2694.5

เมื่อนำค่าปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งาน จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 มาวาดกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17

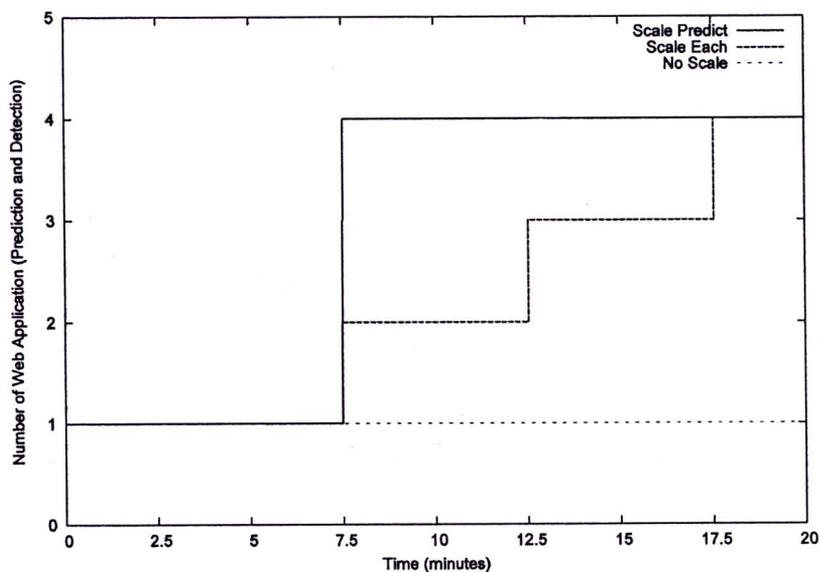


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงปริมาณงานโดยเฉลี่ยของแต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันในช่วงเวลา 20 นาทีแรกที่ระบบเริ่มมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

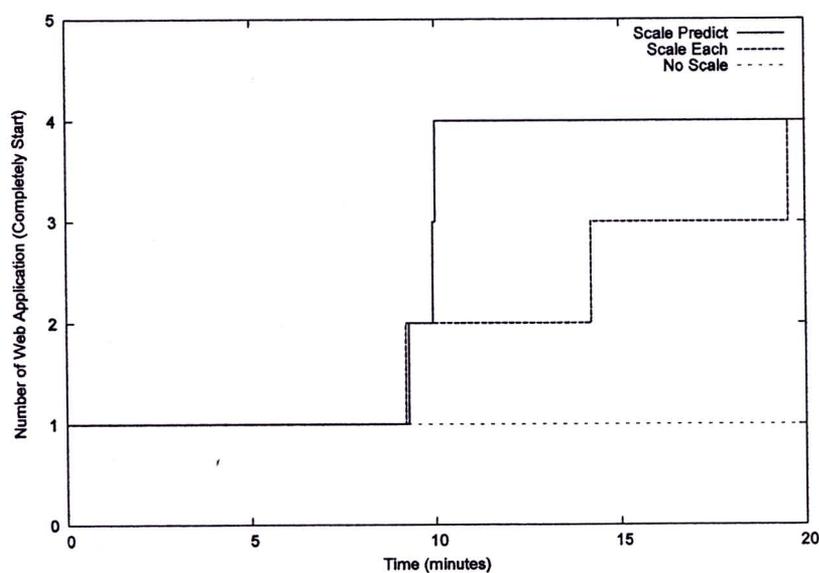


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่แต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันใช้ตอบสนองต่อผู้ใช้งานในช่วงเวลา 20 นาทีแรกที่ระบบเริ่มมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

สำหรับกราฟแสดงจำนวนเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์จากการทำนายและการตรวจพบของระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Prediction and Detection Graph) รวมถึงกราฟแสดงจำนวนเครื่องเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถเปิดให้บริการได้อย่างสมบูรณ์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ

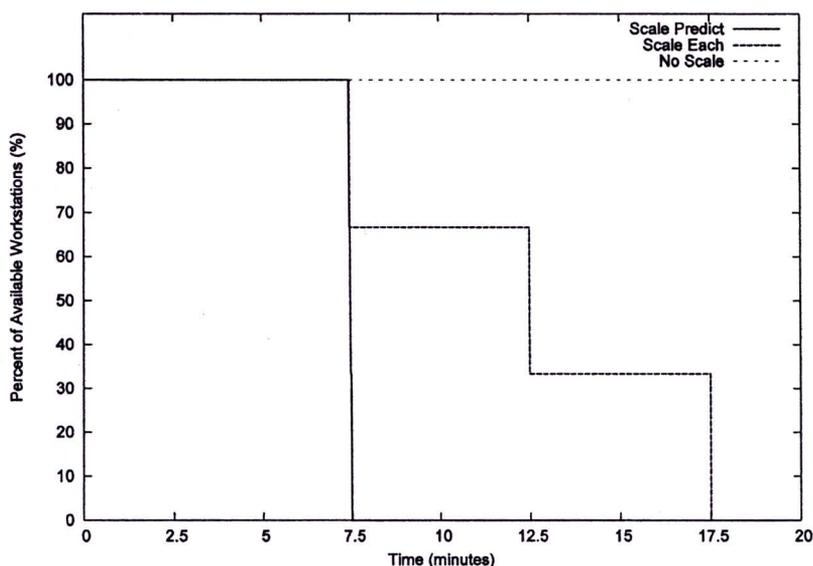


รูปที่ 4.18 แสดงจำนวนเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์จากการทำนายและการตรวจพบในช่วงเวลา 20 นาทีแรกที่ระบบเว็บแอปพลิเคชันเริ่มมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว



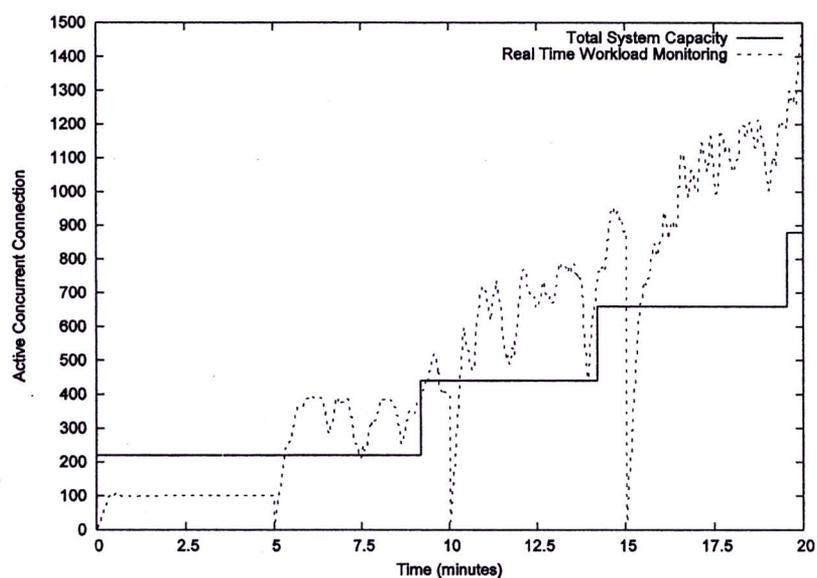
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงจำนวนเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ที่สามารถให้บริการได้อย่างสมบูรณ์ ในช่วง 20 นาทีแรกที่ระบบเว็บแอปพลิเคชันเริ่มมีอัตราการเข้าใช้งานเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

สำหรับกราฟแสดงปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันในระบบที่ผู้ใช้งานเครื่องเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้ และกราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Resources Utilization Graph) ระหว่างวิธีการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละเครื่อง และวิธีการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละหลายเครื่องโดยการคาดการณ์ลักษณะภาระงานก่อนล่วงหน้า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.20 ถึง 4.23

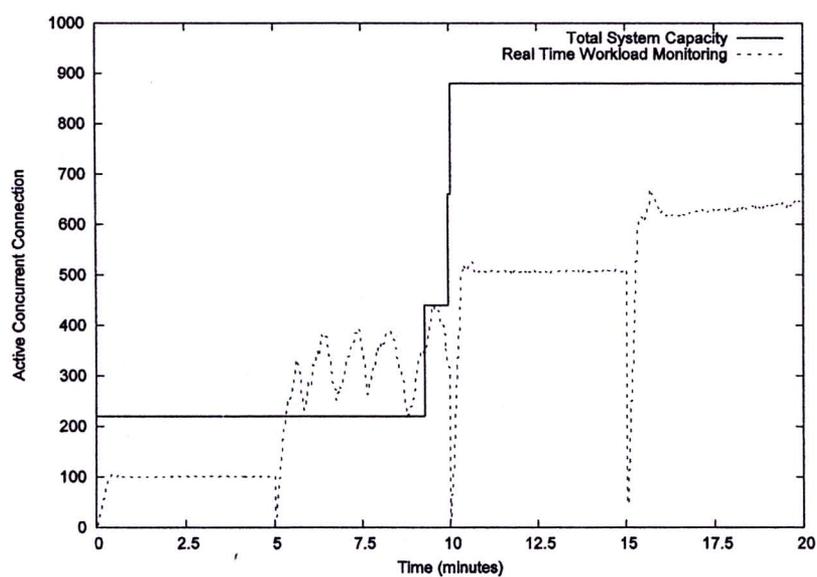


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันที่ผู้ใช้งานเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้ใน ช่วงเวลา 20 นาทีแรกที่ระบบเว็บแอปพลิเคชันเริ่มมีอัตราการใช้เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

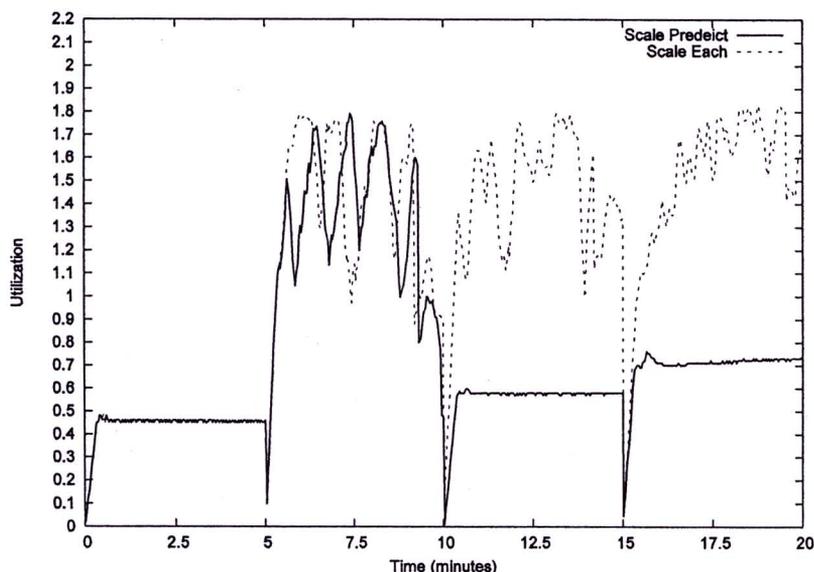
สำหรับรูปที่ 4.20 ค่าในแนวแกนวาย (Y) ใช้แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของเครื่องเวิร์กสเตชันในหน่วยงานที่ผู้ใช้งานเครื่องเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้ และเนื่องจากการทดลองได้ใช้เครื่องเวิร์กสเตชันทั้งหมด 3 เครื่อง ในการทดสอบระบบ ดังนั้นค่า 100 เปอร์เซ็นต์ จึงหมายถึงช่วงที่ระบบมีปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันที่ผู้ใช้งานเครื่องเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้เท่ากับ 3 เครื่องด้วย



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดในลักษณะทีละเครื่องในช่วง 20 นาทีแรกที่ระบบเริ่มมีการเข้าใช้งานเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.22 แสดงการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดในลักษณะทีละหลายเครื่องในช่วง 20 นาทีแรกที่ระบบเริ่มมีการเข้าใช้งานเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชัน ในช่วง 20 นาทีแรกที่ระบบเริ่มมีการเข้าใช้งานเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

4.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง สำหรับระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิต โดยการอุทิศทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลักจำนวนหนึ่งเครื่องให้แก่ระบบนั้น จะสามารถรองรับปริมาณภาระงานดังกล่าวในช่วง 5 นาทีแรกที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานเท่ากับ 5 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาทีได้เท่านั้น อย่างไรก็ตามสำหรับในช่วงที่อัตราการเข้าใช้งานของผู้ใช้งานในระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 12, 25 และ 30 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที จากผลการทดลองค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งมีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานในช่วงก่อนหน้านี้อย่างชัดเจน สอดคล้องกับค่าของปริมาณงานโดยเฉลี่ยในรูปที่ 4.16 ที่เริ่มจะมีค่าคงที่ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิตจะสามารถรองรับปริมาณภาระงานได้จำกัด เฉพาะในช่วง 5 นาทีแรกที่ระบบมีปริมาณภาระงานในปริมาณที่ไม่มากเท่านั้น ในทางตรงกันข้ามสำหรับระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องและที่ละหลายเครื่องนั้น ได้ใช้ทรัพยากร

ของเครื่องเวิร์กสเตชันที่ไม่ได้ถูกใช้งานอย่างเต็มที่มาจำลองเป็นเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสมือน เพื่อใช้เป็นทรัพยากรเสริมสำหรับช่วยรองรับปริมาณภาระงานของระบบในช่วงที่มีปริมาณมากดังกล่าว จึงทำให้ค่าของปริมาณงานโดยเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานมีค่าที่ดีกว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิต

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าในช่วงนาฬิกาที่ 5 ถึง 10 เป็นช่วงที่ปริมาณภาระงานของระบบมีอัตราการเข้าใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเป็น 12 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่แต่ละเครื่องได้ตรวจพบว่า ในขณะนั้นระบบมีปริมาณภาระงานที่เพิ่มสูงขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มทรัพยากรแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสมือนเพื่อช่วยรองรับปริมาณภาระงานเหล่านั้น โดยได้ทำการเพิ่มทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเสมือนอีกจำนวนหนึ่งเครื่องให้แก่ระบบเว็บแอปพลิเคชันดังกล่าว ในขณะที่เดียวกันระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่หลายเครื่องนั้น จะใช้ข้อมูลจำนวนแก็กที่พคอนเนกชันของระบบในขณะนั้นและข้อมูลจากในอดีตมาคำนวณแนวโน้มของปริมาณภาระงานในอีก 5 นาทีข้างหน้า และจากการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานดังกล่าว ระบบได้ทำการเพิ่มทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสมือนเพิ่มอีก 3 เครื่องเพื่อใช้รองรับปริมาณภาระงานเมื่อไว้ล่วงหน้า ในเวลาต่อมาเมื่อทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสมือนที่ได้เพิ่มเข้าสู่ระบบสามารถเปิดให้บริการได้อย่างสมบูรณ์รวมถึงปริมาณภาระงานได้กระจายให้กับทุกๆ แอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในระบบอย่างสมดุลแล้ว ปริมาณภาระงานของระบบในขณะนั้นก็มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 25 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาที และเมื่อระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่แต่ละเครื่องตรวจพบว่าปริมาณภาระงานของระบบในขณะนั้นมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น ทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่มีอยู่ในขณะนั้นยังคงไม่เพียงพอที่จะใช้รองรับปริมาณภาระงานดังกล่าวก็จะทำการเพิ่มทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสมือนขึ้นมาใหม่อีก 1 เครื่อง ในทางตรงกันข้ามระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่หลายเครื่องนั้นได้ทำการเพิ่มทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ให้กับระบบเมื่อไว้ก่อนล่วงหน้าแล้ว ดังนั้นจึงทำให้ระบบสามารถรองรับปริมาณภาระงานดังกล่าวได้ ส่งผลให้ค่าของปริมาณงานโดยเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานมีค่าที่ดีกว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่แต่ละเครื่อง โดยเฉพาะในช่วงที่ปริมาณภาระงานของระบบมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว

อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองในรูปที่ 4.20 พบว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องจะค่อยๆใช้ประโยชน์จากทรัพยากรเครื่องเซิร์ฟเวอร์ในในระบบส่งผลให้ปริมาณเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้งานได้นั้นมีปริมาณที่มากกว่าเมื่อเทียบกับระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการเพิ่มเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมเมื่อใช้ครั้งละหลายเครื่องก่อนล่วงหน้า และจากผลการทดลองในรูปที่ 4.23 พบว่าในช่วง 10 นาทีแรกลักษณะการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันของวิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง และวิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่องนั้นให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวทั้ง 2 ระบบต่างก็มีปริมาณทรัพยากรที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามสำหรับในช่วงเวลาที่ 10 ถึง 20 ‘พบว่าวิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องจะให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่สูงกว่า เนื่องจากลักษณะที่ค่อยๆเพิ่มของทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมในลักษณะที่ละเครื่อง จึงส่งผลให้ทรัพยากรโดยรวมของระบบมีปริมาณที่จำกัด เมื่อเทียบกับการเพิ่มปริมาณเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมเมื่อใช้ครั้งละหลายเครื่องก่อนล่วงหน้า จึงทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องจึงมีค่าที่สูงกว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่อง โดยการคาดการณ์ลักษณะของภาระงานก่อนล่วงหน้า

4.5 การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพสำหรับวิธีการจัดสรรทรัพยากรของระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน

ในการทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรในลักษณะที่แตกต่างกันคือ ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิต (No Scale) ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยใช้วิธีการขยายขนาดของเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละเครื่อง (Scale Each) และระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละหลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานก่อนล่วงหน้า (Scale Predict) ตามลำดับ บนสภาพแวดล้อมที่ภาระงานของระบบเว็บแอปพลิเคชันมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน โดยอ้างอิงลักษณะภาระงานในสภาพแวดล้อมดังกล่าวจากงานวิจัย [19] ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.1.4.2

4.5.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องที่ใช้จำลองภาระงานให้แก่ระบบ (Client Emulator)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Httperf 0.9.0

2) เครื่องที่ใช้ในการกระจายภาระงาน (Load Balancer)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- PHP 5.1.6
- Mysql-Client 5.0.77

- UltraMonkey 3

- IP Virtual Server version 1.2.1
- heartbeat-2.1.3
- Linux Director v1.186-ha-2.1.3

3) เครื่องที่ใช้ในการจัดการระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Manager)

- ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

- ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Apache 2.2.3
- PHP 5.3.5
- Mysql-Server 5.0.77

4) เครื่องเวิร์กสเตชันในเวิร์กสเตชันพูล (Workstation Pool)

- ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- ซีพียู อินเทล (Intel Pentium 4, 3.60GHz)
- หน่วยความจำหลัก 1 กิกะไบต์
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- VirtualBox 4.0.0 hyperisor

5) เครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์หลักของระบบ (Main Application Server)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- 1 ซีพียูเสมือน (1 Virtual CPU)
- หน่วยความจำเสมือน 450 เมกะไบต์
- ต่อประสานแบบบริดจ์ (Bridge network interface)
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Apache 2.2.3
- Tomcat 5.5.23
- Java 1.6.0_17

6) เครื่องเวอร์ชวลแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้จำลองขึ้นในระบบ (Virtual Application Server)

○ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware) และเครือข่าย (Network)

- 1 ซีพียูเสมือน (1 Virtual CPU)
- หน่วยความจำเสมือน 450 เมกะไบต์

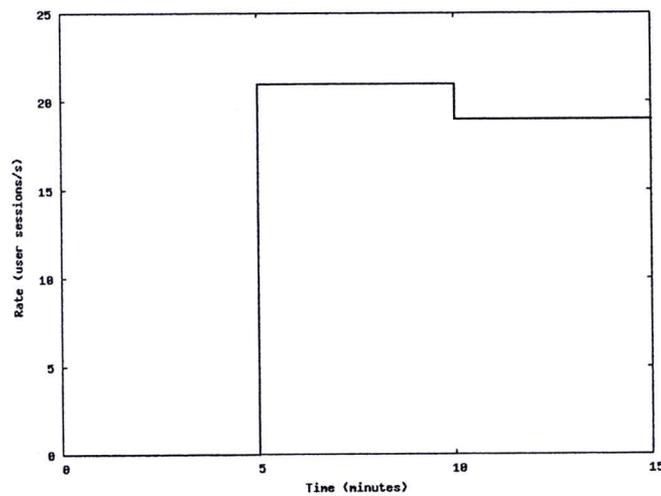
- ต่อประสานแบบบริดจ์ (Bridge network interface)
- เครือข่ายแลน (LAN bandwidth 100 MB/s)

○ ส่วนชุดคำสั่ง (Software)

- ระบบปฏิบัติการ CentOS 5.5
- Apache 2.2.3
- Tomcat 5.5.23
- Java 1.6.0_17

4.5.2 สภาพแวดล้อมและวิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้เครื่องที่ทำหน้าที่จำลองภาระงานให้แก่ระบบเว็บแอปพลิเคชันจะทำการสร้างภาระงานให้แก่ระบบในลักษณะแสดงดังรูปที่ 4.24 คือในช่วง 5 นาทีแรกจะยังไม่มีผู้ใช้งานในระบบเว็บแอปพลิเคชัน แต่หลังจากช่วง 5 นาทีแรกผ่านไป อัตราการเข้าใช้งานเฉลี่ยของระบบเว็บแอปพลิเคชันกลับเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหันเป็น 21 และ 19 ยูสเซอร์เซสชันต่อวินาทีตามลำดับ จากลักษณะดังกล่าวสามารถใช้เป็นตัวแทนของสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน เพื่อให้สำหรับทดสอบประสิทธิภาพของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรในลักษณะที่แตกต่างกันได้



รูปที่ 4.24 แสดงภาระงานในช่วงเวลา 15 นาทีแรกที่ระบบเว็บแอปพลิเคชันเริ่มมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน

สำหรับสภาพแวดล้อมของวิธีการจัดสรรทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่จะใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้แก่ ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิต ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง และระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่หลายเครื่องโดยการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณภาระงานก่อนล่วงหน้า ซึ่งรายละเอียดของแต่ละสภาพแวดล้อมได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.3.2.1, 4.3.2.2 และ 4.3.2.3 ตามลำดับ

4.5.3 ผลการทดสอบ

สำหรับผลการทดสอบค่าปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานของแต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรที่แตกต่างกันได้แสดงในตารางที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

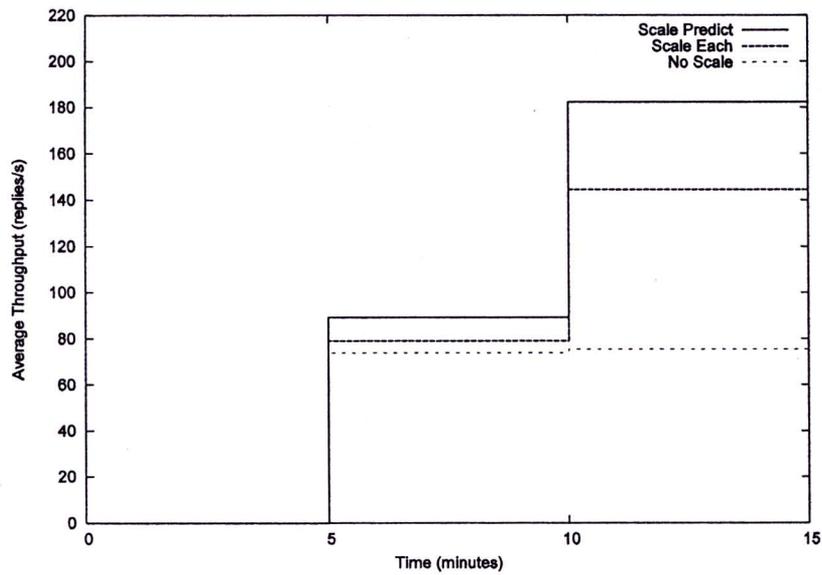
ตารางที่ 4.6 ปริมาณงานโดยเฉลี่ยของแต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน

Time (minutes)	Rate (user sessions/s)	Scale Predict	Scale Each	No Scale
0-5	0	0.0	0.0	0.0
5-10	21	89.3	79.0	73.8
10-15	19	182.3	144.5	75.3

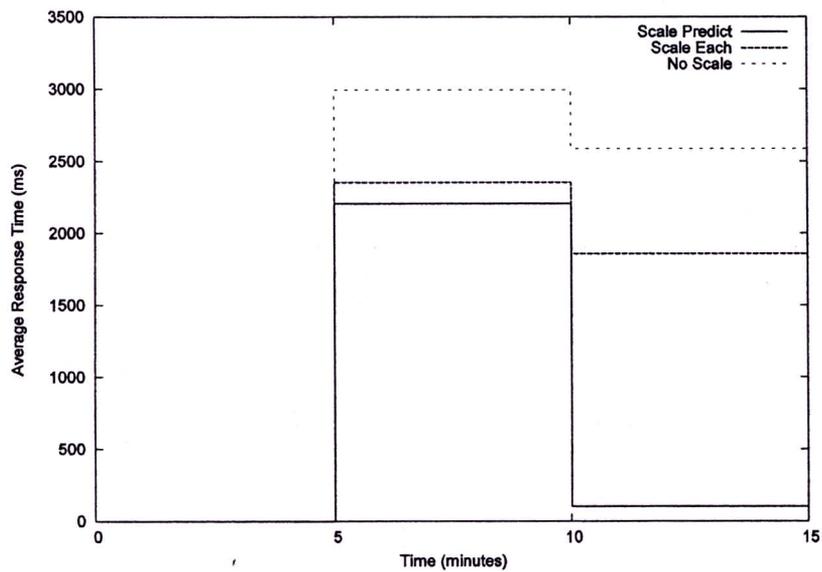
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยระยะเวลาที่แต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันใช้ตอบสนองต่อผู้ใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน

Time (minutes)	Rate (user sessions/s)	Scale Predict	Scale Each	No Scale
0-5	0	0.0	0.0	0.0
5-10	21	2207.3	2353.0	2996.0
10-15	19	104.2	1859.6	2589.5

เมื่อนำค่าปริมาณงานโดยเฉลี่ยของระบบและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งาน จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 มาวาดกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.25 และ 4.26

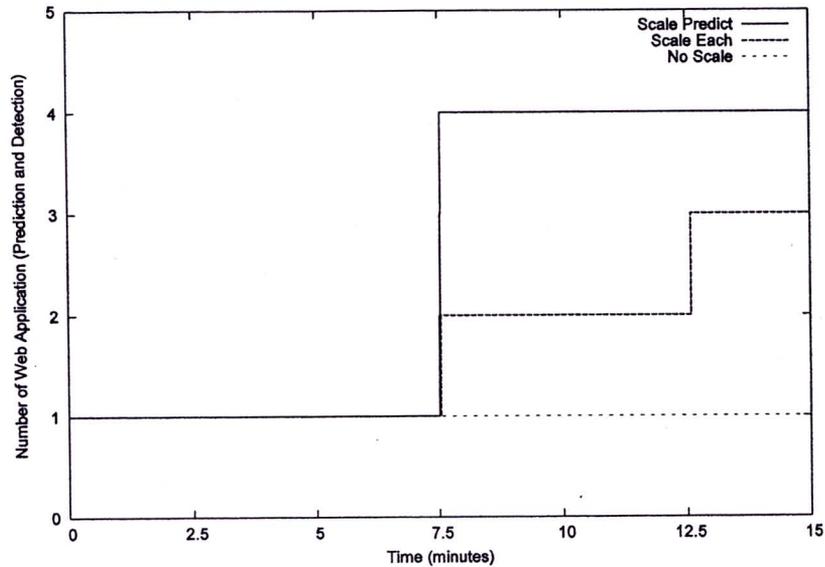


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงปริมาณงานโดยเฉลี่ยของแต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน

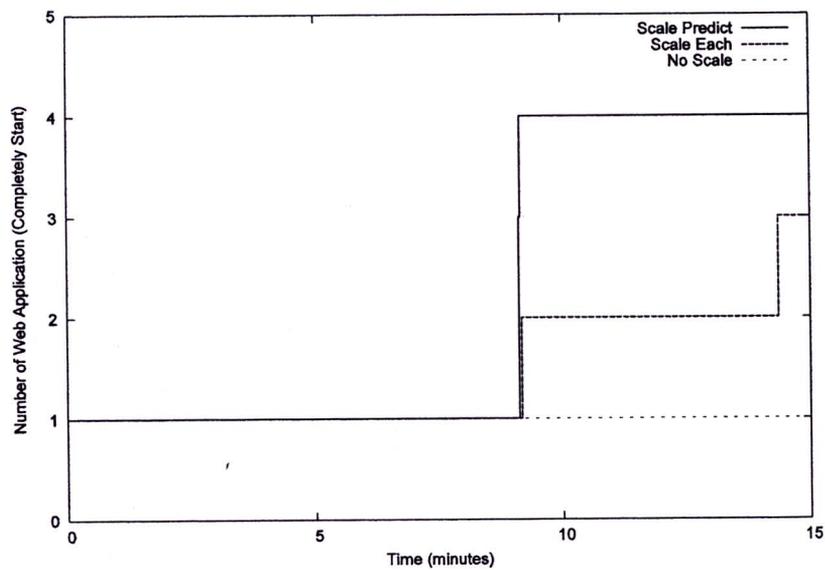


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่แต่ละระบบเว็บแอปพลิเคชันใช้ตอบสนองต่อผู้ใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน

สำหรับกราฟแสดงจำนวนเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์จากการทำนายและการตรวจพบของระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Prediction and Detection Graph) รวมถึงกราฟแสดงจำนวนเครื่องเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถเปิดให้บริการได้อย่างสมบูรณ์ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ

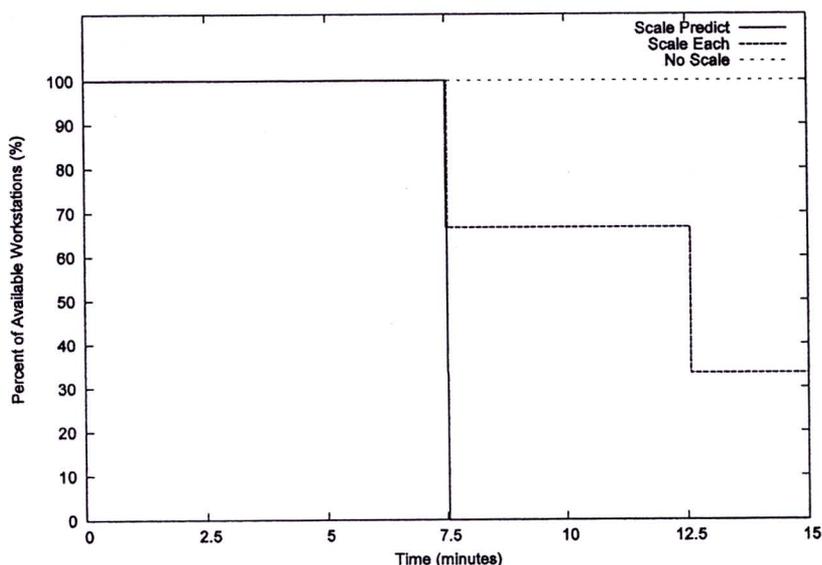


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงจำนวนเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์จากการทำนายและการตรวจพบในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน



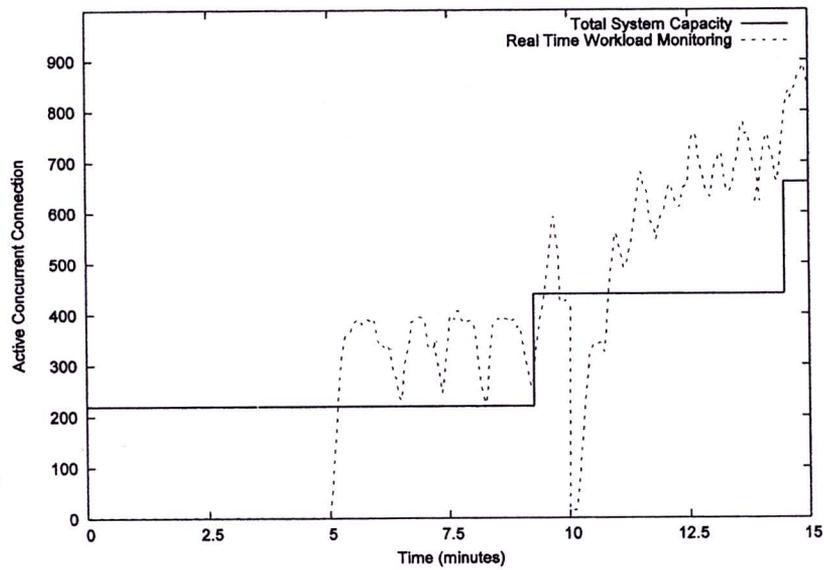
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงจำนวนเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ที่สามารถให้บริการได้อย่างสมบูรณ์ในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน

สำหรับกราฟแสดงปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันในระบบที่ผู้ใช้งานเครื่องเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้ และกราฟแสดงการเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Resources Utilization Graph) ระหว่างวิธีการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละเครื่อง และวิธีการขยายขนาดของระบบเว็บแอปพลิเคชันในลักษณะที่ละหลายเครื่องโดยการคาดการณ์ลักษณะภาระงานก่อนล่วงหน้า สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.29 ถึง 4.32

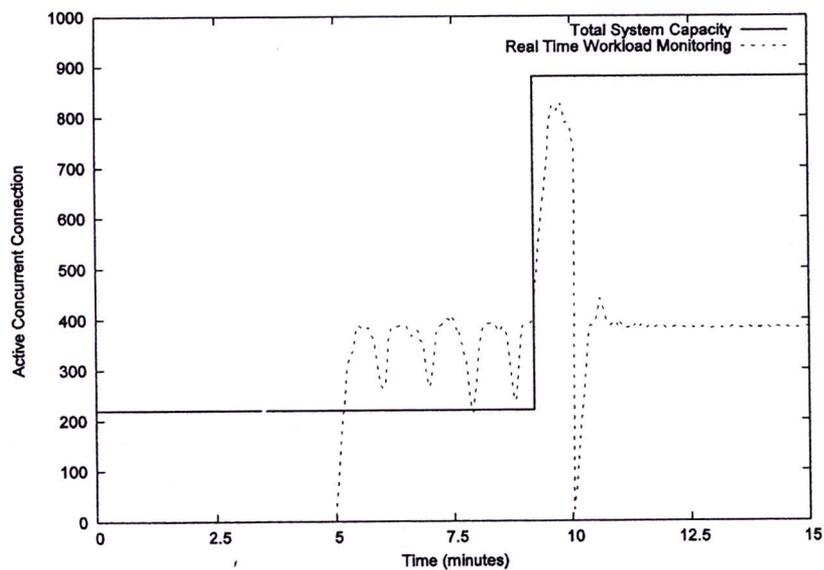


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันที่ผู้ใช้งานเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้ในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีอัตราการเข้าใช้งานในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน

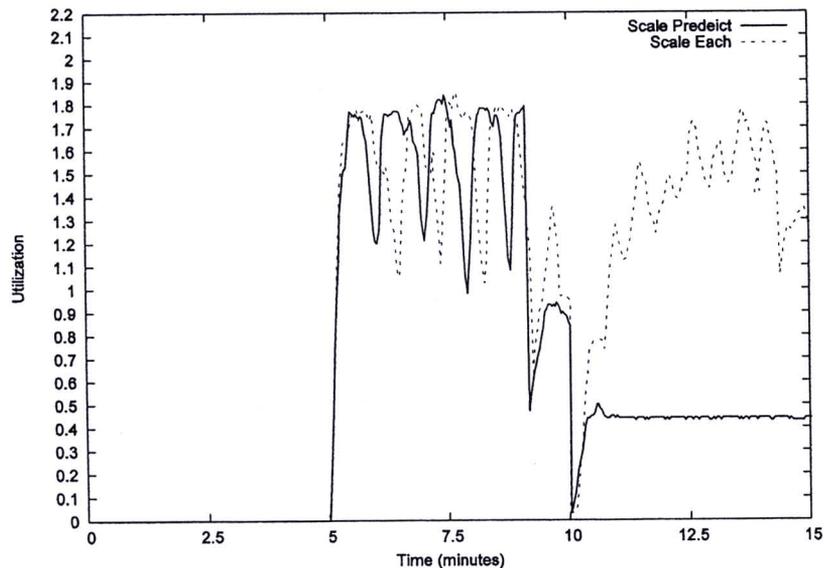
สำหรับรูปที่ 4.29 ค่าในแนวแกนวาย (Y) ใช้แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของเครื่องเวิร์กสเตชันในหน่วยงานที่ผู้ใช้งานเครื่องเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้ และเนื่องจากในการทดลองได้ใช้เครื่องเวิร์กสเตชันทั้งหมด 3 เครื่อง ในการทดสอบระบบ ดังนั้นค่า 100 เปอร์เซ็นต์ จึงหมายถึงช่วงที่ระบบมีปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันที่ผู้ใช้งานเครื่องเวิร์กสเตชันสามารถใช้บริการได้เท่ากับ 3 เครื่องด้วย



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดในลักษณะที่ละเครื่องในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดในลักษณะที่ละหลายเครื่องในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน



รูปที่ 4.32 กราฟเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันในสภาพแวดล้อมที่ภาระงานมีลักษณะเพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน

4.5.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.25 และ 4.26 พบว่าช่วงเวลาที่ 5 ถึง 10 ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรแบบสถิต ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง และระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่หลายเครื่อง ต่างก็ไม่สามารถรองรับปริมาณภาระงานในช่วงดังกล่าวได้เนื่องมาจากลักษณะภาระงานของระบบมีลักษณะที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องก็ได้ทำการเพิ่มเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมให้แก่ระบบอีก 1 เครื่อง ในขณะที่ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่หลายเครื่องจะทำการคาดการณ์ปริมาณแนวโน้มของปริมาณภาระงานในอีก 5 นาทีข้างหน้า และเนื่องมาจากในการทดลองนี้ลักษณะของภาระงานมีลักษณะที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างกะทันหัน ส่งผลให้ค่าแนวโน้มของปริมาณภาระงานที่ได้จากการคาดการณ์ล่วงหน้ามีอัตราการเพิ่มขึ้นในปริมาณที่มากตามไปด้วย ซึ่งจากผลการทดลองระบบได้คาดการณ์ว่าควรจะต้องการ

เพิ่มทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมอีกจำนวน 3 เครื่อง ระบบจึงได้ทำการเพิ่มเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมเข้าสู่ระบบในจำนวนเท่ากับ 3 เครื่อง และในเวลาต่อมาเมื่อทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเสริมที่ได้เพิ่มเข้าสู่ระบบสามารถเปิดให้บริการได้อย่างสมบูรณ์แล้ว ระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องก็จะตรวจพบว่า ทรัพยากรแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมที่ได้เพิ่มเข้าสู่ในระบบในช่วงก่อนหน้านี้ยังคงไม่เพียงพอในการใช้รองรับปริมาณภาระงานดังกล่าวได้ จึงทำการเพิ่มเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมเข้าสู่ในระบบเพิ่มอีก 1 เครื่อง ในทางตรงกันข้ามระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่องนั้น ได้ทำการเพิ่มทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันให้กับระบบเมื่อไว้ก่อนล่วงหน้าแล้ว ดังนั้นจึงทำให้ระบบสามารถรองรับปริมาณภาระงานดังกล่าวได้โดยไม่ต้องเพิ่มทรัพยากรแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมให้กับระบบในช่วงเวลาดังกล่าวอีก จากลักษณะดังกล่าวนี้จึงส่งผลให้ค่าของปริมาณงานโดยเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่ระบบใช้ในการตอบสนองต่อผู้ใช้งานมีค่าที่ดีกว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการจัดสรรทรัพยากรโดยการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง

อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองในรูปที่ 4.29 พบว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องจะค่อยๆ ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรเครื่องเวิร์กสเตชันในระบบส่งผลให้ปริมาณเครื่องเวิร์กสเตชันที่สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้งานได้นั้นมีปริมาณที่มากกว่าเมื่อเทียบกับระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการเพิ่มเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมเมื่อไว้ครั้งละหลายเครื่องก่อนล่วงหน้า และจากผลการทดลองในรูปที่ 4.32 พบว่าในช่วง 10 นาทีแรกลักษณะการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันของวิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่อง และวิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่องนั้นให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวทั้ง 2 ระบบต่างก็มีปริมาณทรัพยากรที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามสำหรับในช่วงเวลาที่ 10 ถึง 15 พบว่าวิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องจะให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่สูงกว่า เนื่องจากได้เพิ่มทรัพยากรเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมให้กับระบบอีก 1 เครื่อง เมื่อเทียบกับระบบเว็บแอปพลิเคชันที่เพิ่มเครื่องแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์เสริมเมื่อไว้ก่อนล่วงหน้าอีก 3 เครื่องจึงทำให้ค่าการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละเครื่องจึงมีค่าที่สูงกว่าระบบเว็บแอปพลิเคชันที่ใช้วิธีการขยายขนาดของแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ในลักษณะที่ละหลายเครื่องโดยการคาดการณ์ลักษณะของภาระงานก่อนล่วงหน้า