



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การรองรับการบริการข้อมูลในเวลาจริงบนเครือข่ายไร้สาย

Multimedia Real-Time Support on Wireless LANs

นามผู้วิจัย นายศรันชญ์ อันตระกูล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยพร ใจแก้ว, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภูงศ์ อุตโยภาส, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

สิงสิงวิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การรองรับการบริการข้อมูลในเวลาจริงบนเครือข่ายไร้สาย

Multimedia Real-Time Support on Wireless LANs

โดย

นายศรัณยู ฮันตระกูล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศรัณยู อันตระกูล 2553: การรองรับการบริการข้อมูลในเวลาจริงบนเครือข่ายไร้สาย
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรม
คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D. 88 หน้า

ในเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐาน IEEE 802.11e ซึ่งเป็นการทำการรับประกันคุณภาพการบริการบนเครือข่ายไร้สาย โดยมีโหมดการทำงาน 2 แบบด้วยกัน คือ โหมด EDCA สำหรับการเข้าใช้สื่อแบบกระจาย และ HCCA สำหรับการเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์ โปรแกรมประยุกต์ที่เป็นลักษณะการใช้งานในเวลาจริง เช่น เสียง หรือ วิดิทัศน์ คือกลุ่มเป้าหมายของ HCCA อย่างไรก็ตาม HCCA ยังคงมีข้อจำกัดในการรับประกันคุณภาพการบริการอยู่ ในงานวิจัยนี้ เสนอ วิธีการ การจัดการคิวและการควบคุมการรับเข้า ที่เราเรียกว่า PHCCA วิธีการนี้รองรับการรับประกันคุณภาพการบริการบนพื้นฐานของลำดับความสำคัญ กับป้องกันปัญหาการไม่สามารถเข้ารับบริการได้ของคิวที่มีลำดับความสำคัญที่ต่ำ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่เรานำเสนอ หรือ PHCCA ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบ HCCA และ PHCCA สามารถรับเซสชันที่มีลำดับความสำคัญสูงได้มากกว่า ขณะเดียวกันจำนวนเซสชันที่มีลำดับความสำคัญรองลงมาและความสำคัญต่ำ ยังคงสามารถได้รับการบริการในจำนวนที่ยอมรับได้

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Saranyu Hantrakoon 2010: Multimedia Real-Time Support on Wireless LANs.
Master of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering,
Department of Computer Engineering. Thesis Advisor:
Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 88 pages.

IEEE 802.11 Wireless LANs are widely adopted. The IEEE 802.11e, a task group for QoS support, defines 2 working modes: EDCA for distributed access and HCCA for centralized control. Real-time application such as voice and video are targeted application for HCCA. However, the original standard itself still provides limited QoS supports. In this paper, the simple queue management and admission control, called PHCCA, have been proposed and analyzed. The proposed mechanism can provide priority based QoS with starvation protection for the less priority queue. The results reveal that the proposed PHCCA significantly outperforms the regular HCCA. The PHCCA can accept more session for high priority class while the other lower classes still got served with high acceptance rate.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้สอนกระบวนการคิด ให้คิดอย่างเป็นระบบ มีเหตุมีผล มีจุดประสงค์ที่แน่นอน รู้จักแยกแยะระหว่าง อารมณ์ และเหตุผลให้ข้าพเจ้านำไปใช้ในเรื่องชีวิตประจำวัน รวมไปถึงการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ อ.อภิรักษ์ จันทรสร้าง ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ แนวคิด และหาเครื่องมือต่างๆ ในการช่วยเหลือทำงานวิจัยนี้ ถ้าไม่ได้ อ.อภิรักษ์ งานวิจัยนี้คงไม่สำเร็จขอขอบพระคุณ อ.ดร.ชัยพร ใจแก้ว สำหรับคำแนะนำต่างๆ

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการ โครงการปริญญาโทที่ช่วยเหลือในด้านการประสานงานต่าง ๆ ให้งานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอบคุณกำลังใจจากพี่น้องและเพื่อน ๆ ทุกคนที่ทำให้ข้าพเจ้าทำงานจนสำเร็จลงได้

ศรัณยู อันตระกูล
เมษายน 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	31
ผล	31
วิจารณ์	83
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84
ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	86
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	88

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตัวแปรของกลุ่มต่างๆ	12
2	เฟรมร้องขอการส่ง	17
3	กำหนดการของแอคเซสพอยต์	18
4	เขตข้อมูลที่ถูกเพิ่มในเฟรมบิคอน	18
5	สรุปงานวิจัย	25
6	ค่าที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่การทดลองที่ 3.1 – 3.9	35
7	ค่าที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่การทดลองที่ 4.1 – 4.2	74

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การเชื่อมต่อแบบโครงข่าย	4
2 ลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบแอดฮอก	5
3 ปัญหาสถานีที่หลบซ่อน	5
4 ขนาดช่องว่างระหว่างเฟรม	6
5 ตัวอย่างการทำงานบน DCF	8
6 ตัวอย่างการทำงานบน PCF	9
7 ตัวอย่างช่วงเวลาการทำงานใน 1 ช่วงบิตคอน	13
8 กลไกการทำงานของ NPHCCA	18
9 ผังงานของวิธีการ CAC	24
10 กลไกการควบคุมการรับเข้า	25
11 กระบวนการควบคุมการรับเข้า	27
12 รูปแบบการเชื่อมต่อที่ใช้ในการทดลอง	31
13 สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของสถานีในคลาส 1 ที่ส่งสำเร็จเมื่อเทียบกับคลาส 2 และ 3 แบบ HCCA โดยที่ทำการปรับเปลี่ยนค่าความต้องการแบนด์วิดท์ของคลาส 2 และ 3 ของการทดลองที่ 1	33
14 เปอร์เซ็นต์ของสถานีในคลาส 1 ที่ส่งสำเร็จแบบ HCCA โดยที่ทำการปรับเปลี่ยนระยะเวลาที่อยู่ในระบบของคลาส 2 และ 3 ของการทดลองที่ 2	34
15 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.1	37
16 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.1	38
17 จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.1	38
18 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.1	39
19 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.1	39

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.2	41
21	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.2	42
22	จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.2	42
23	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.2	43
24	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.2	43
25	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.3	45
26	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.3	46
27	จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.3	46
28	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.3	47
29	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.3	47
30	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.4	49
31	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.4	50
32	จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.4	50
33	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.4	51
34	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.4	51
35	จำนวนการเข้าใช้งานของคลาส 1 - 3 ใน 1 การทดลองจากทั้งหมด 10 การทดลอง	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
36	จำนวนการเข้าใช้งานของคลาส 2 ใน 1 การทดลองจากทั้งหมด 10 การทดลอง	52
37	จำนวนการเข้าใช้งานของคลาส 3 ใน 1 การทดลองจากทั้งหมด 10 การทดลอง	52
38	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.5	55
39	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.5	55
40	จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.5	56
41	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.5	56
42	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.5	57
43	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.6	59
44	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.6	59
45	จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.6	60
46	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.6	60
47	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.6	61
48	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.7	63
49	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.7	63
50	จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.7	64
51	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.7	64
52	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.7	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
53	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.8	67
54	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.8	68
55	จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.8	68
56	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.8	69
57	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.8	69
58	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.9	71
59	จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.9	72
60	จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.9	72
61	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.9	73
62	จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.9	73
63	จำนวนเฉลี่ยของจำนวนเซสชันที่ส่งสำเร็จ จากการทดลอง 10 ครั้ง ของการทดลองที่ 4.1	76
64	จำนวนเฉลี่ยของจำนวนเซสชันที่ส่งสำเร็จ จากการทดลอง 10 ครั้ง ของการทดลองที่ 4.2	78
65	จำนวนการใช้งานของเซสชันคลาส 1 ในการช่วงการทดลอง 1,000 วินาทีแรก	79
66	จำนวนการใช้งานของเซสชันคลาส 2 ในการช่วงการทดลอง 1,000 วินาทีแรก	80
67	จำนวนการใช้งานของเซสชันคลาส 3 ในการช่วงการทดลอง 1,000 วินาทีแรก	80
68	จำนวนเซสชันของคลาส 1-3 ในการช่วงการทดลอง 100 วินาทีแรก	82
69	จำนวนเฉลี่ยของจำนวนเซสชันที่ส่งสำเร็จ จากการทดลอง 10 ครั้ง	83

การรองรับการบริการข้อมูลในเวลาจริงบนเครือข่ายไร้สาย

Multimedia Real-Time Support on Wireless LANs

คำนำ

ในระบบเครือข่ายไร้สาย ได้รับเป็นที่นิยมอย่างรวดเร็วเนื่องจากความสะดวกสบาย ความยืดหยุ่นต่อการใช้งาน ไม่มีข้อจำกัดเรื่องของการเชื่อมต่อโดยใช้สายสัญญาณ (สาย UTP) ระหว่างใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถที่จะเคลื่อนที่ไปมาได้ ซึ่งถ้าเป็นแบบเครือข่ายมีสายผู้ใช้งานจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยสะดวก เนื่องจากข้อจำกัดของสาย แต่เนื่องจากความเร็ว (แบนด์วิดท์) จากการสื่อสารไร้สาย ที่ได้ นั้น จะช้ากว่าแบบมีสาย แต่ในระบบการสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้พัฒนาความเร็วเพิ่มสูงขึ้นมาก (54 Mbps) และราคาอุปกรณ์ที่ไม่แพงมากนัก ทำให้มีผู้ใช้งานจำนวนมากนำไปติดตั้งตามสถานที่ต่างๆ เช่น บ้าน หอพัก โรงแรม อาคาร สำนักงาน และตามมหาวิทยาลัย เป็นต้น

ถึงแม้ว่าจะมี แบนด์วิดท์ถึง 54 Mbps แต่ถ้าในช่วงเวลาหนึ่งมีผู้ใช้งานอยู่เป็นจำนวนมาก หรือ มีการใช้งานบางประเภท เช่น FTP เพื่อดาวโหลดข้อมูล ก็อาจจะก่อให้เกิดปัญหา แบนด์วิดท์เต็ม โดยเฉพาะถ้าโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานเป็นประเภทวิดิทัศน์ ที่ต้องการทำงานแบบเวลาจริง อาจจะทำให้โปรแกรมประยุกต์นั้นขาดการเชื่อมต่อ หรือเกิดความไม่ต่อเนื่องได้ โดยเฉพาะถ้าเป็นการสื่อสารแบบเชิงโต้ตอบ อาจจะทำให้การสนทนานั้นไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้ ดังนั้นจึงได้มีการจัดทำมาตรฐาน IEEE 802.11e มาเพื่อเข้ามาแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยเฉพาะในโหมดการทำงานแบบ HCCA ซึ่งมีตัวกลางเป็นตัวควบคุมการเข้าใช้งานสื่อ สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่เนื่องจากในโหมดการทำงานแบบ HCCA นั้นการตอบรับการร้องขอการเข้าใช้งานเป็นไปในลักษณะตามลำดับก่อนหลัง (First come First serve) ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าการร้องขอที่มีความสำคัญกว่าแต่อาจจะมาทีหลังไม่สามารถเข้าใช้งานได้ เนื่องจากมีผู้ใช้งานที่มีความสำคัญเข้าใช้งานอยู่จนเต็ม

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการจัดลำดับความสำคัญบน โหมดการทำงานแบบ HCCA เพื่อแก้ปัญหาการร้องขอที่มีความสำคัญกว่าแต่อาจจะร้องขอมาลำดับหลัง ซึ่งอาจจะไม่สามารถเข้าใช้งานได้ เนื่องจากมีผู้ใช้งานที่มีความสำคัญเข้าใช้งานอยู่จนเต็ม และป้องกันปัญหา การเข้าใช้งานของ

ลำดับความสำคัญที่สูงกว่า จนการร้องขอการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญต่ำไม่สามารถเข้าใช้งานได้



วัตถุประสงค์

1. เสนอการปรับปรุงเพิ่มเติมในมาตรฐาน IEEE 802.11e ในโหมดการทำงานแบบ HCCA
2. เสนอวิธีการจัดแบ่งลำดับความสำคัญบน HCCA เพื่อป้องกันปัญหาการเข้าใช้งาน เป็นไปในลักษณะตามลำดับก่อนหลัง
3. เสนอวิธีป้องกันปัญหาการร้องขอการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญที่ต่ำ ไม่สามารถ รับการบริการได้ เนื่องจากการใช้งานที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่า

การตรวจเอกสาร

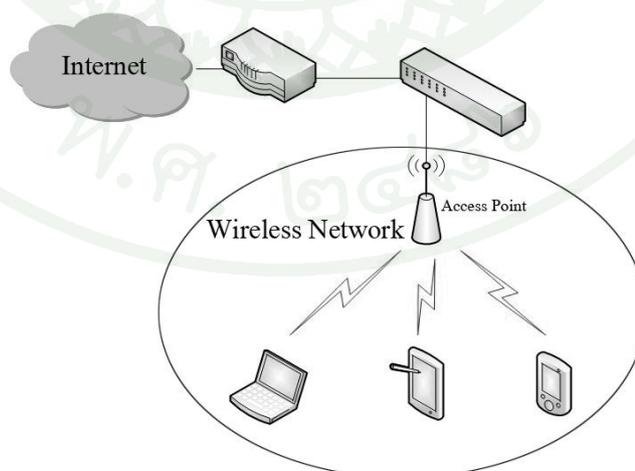
การตรวจเอกสารของวิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วย ความรู้พื้นฐานการทำงานของเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 วิธีการรับประกันคุณภาพตามมาตรฐาน IEEE 802.11e และรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้าน การรับประกันคุณภาพในเวลาจริงของเครือข่ายไร้สาย

การเชื่อมต่อบนเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11

การเชื่อมต่อบนเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11 มี 2 แบบ คือ แบบโครงข่าย (Infrastructure) และแบบแอดฮอค (Ad-hoc)

1. การเชื่อมต่อแบบโครงข่าย

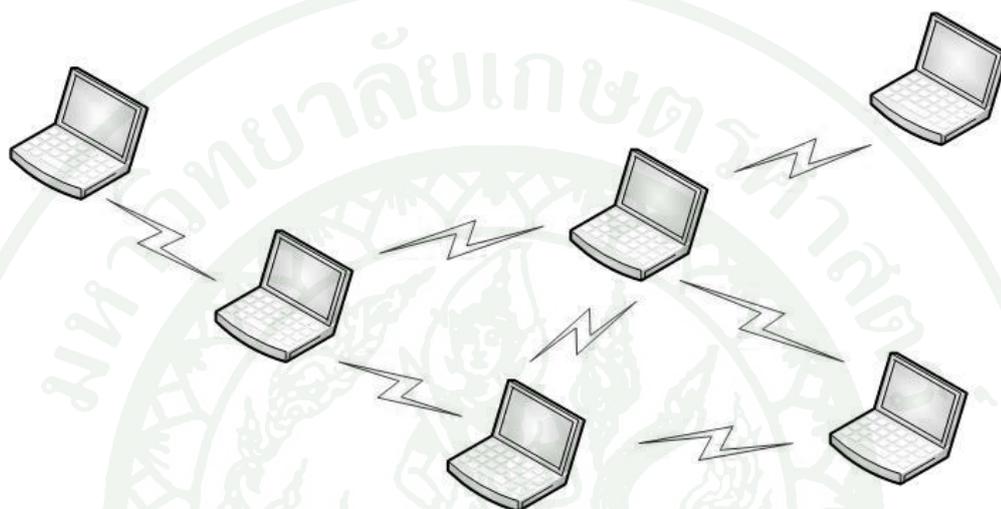
การเชื่อมต่อแบบโครงข่ายเป็นเครือข่ายที่ประกอบไปด้วยสถานีผู้ใช้งาน และสถานีแม่ข่าย โดยสถานีผู้ใช้งานได้แก่ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์พกพา หรือ PDA ที่มีอุปกรณ์รับส่งสัญญาณ สถานีแม่ข่ายได้แก่ อุปกรณ์แอคเซสพอยต์ (Access Point) ซึ่งมีตัวรับส่งสัญญาณไร้สาย และพอร์ตเชื่อมต่อกับระบบอีเทอร์เน็ต (IEEE 802.3 Ethernet LAN) ทำหน้าที่คอยรับส่งสัญญาณจากสถานีผู้ใช้งานไปยังปลายทาง หรือจากปลายทางไปยังสถานีผู้ใช้งาน รูปแบบการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 1



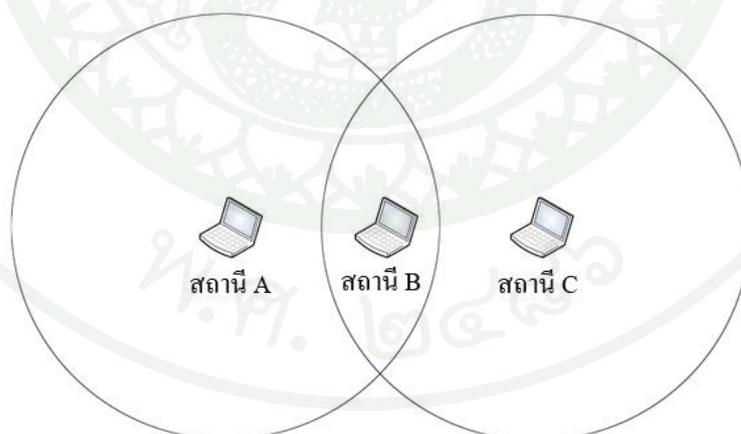
ภาพที่ 1 การเชื่อมต่อแบบโครงข่าย

2. การเชื่อมต่อแบบแอดฮอก

การเชื่อมต่อแบบแอดฮอกเป็นเครือข่ายที่ไม่มีสถานีแม่ข่ายเหมือนในแบบโครงข่าย แต่เป็นการเชื่อมต่อระหว่างสถานีผู้ใช้งานด้วยกันเอง ดังภาพที่ 2



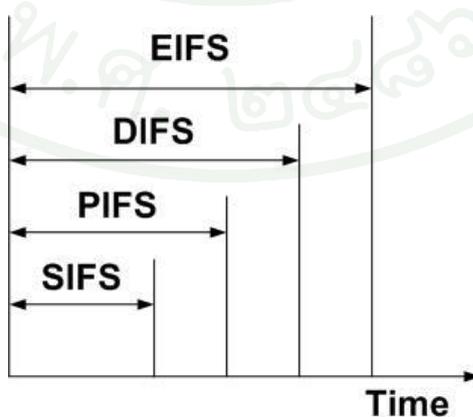
ภาพที่ 2 ลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบแอดฮอก



ภาพที่ 3 ปัญหาสถานีที่หลบซ่อน

การเข้าใช้ช่องสัญญาณในเครือข่ายไร้สาย

เนื่องจากในเครือข่ายไร้สายใช้ตัวกลางคืออากาศเป็นสื่อ ดังนั้นเมื่อมีสถานีใดสถานีหนึ่งส่งข้อมูลออกมา ส่งผลให้สถานีอื่นๆ ที่อยู่บริเวณข้างเคียงสามารถได้รับสัญญาณนั้นด้วย ถ้าหากมีหลายๆ สถานีส่งพร้อมกัน จะส่งผลให้เกิดการชนกันของสัญญาณได้ ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ใน IEEE 802.11 จึงใช้วิธีการ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) โดยอาศัยหลักหลีกเลี่ยงการชนกันของสัญญาณ กล่าวคือถ้าสถานีใดสถานีหนึ่งต้องการส่งสัญญาณข้อมูล จำเป็นต้องฟังก่อนว่า ณ ขณะนั้นมีสถานีอื่นส่งสัญญาณข้อมูลหรือไม่ ถ้าหากไม่มี ก็จะสุ่มรอเวลาอีกระยะหนึ่ง (Random Back-Off) ซึ่งถ้าสถานีใดได้สุ่มเวลารอคอยน้อยที่สุดถึงจะส่งสัญญาณข้อมูลออกไปได้ แต่เพียงแค่นี้ยังไม่พอ เพราะอาจจะเกิดปัญหาการส่งสัญญาณข้อมูลชนกันของสถานีที่หลบซ่อน (Hidden Terminal Problem) ได้ เช่น ดังภาพที่ 3 สถานี A ต้องการส่งสัญญาณข้อมูลไปยังสถานี B แต่ขณะเดียวกันสถานี C ก็ส่งสัญญาณข้อมูลไปยังสถานี B ดังนั้นที่สถานี B จึงเกิดการชนกันของสัญญาณข้อมูลของสถานี A และ C โดยที่สถานี A และ C ไม่ทราบเลยว่าเกิดการชนกัน เนื่องจากสัญญาณข้อมูลไปไม่ถึง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้ สถานีที่จะทำการส่งสัญญาณข้อมูล จะทำการส่งแพ็กเก็ตเล็กๆ ที่เรียก RTS (Request To Send) โดยในแพ็กเก็ตจะบอกถึงระยะเวลาที่ใช้ส่งสัญญาณข้อมูลจนเสร็จ เมื่อสถานีปลายทางได้รับ ก็จะตอบกลับด้วยแพ็กเก็ตที่เรียกว่า CTS (Clear To Send) ซึ่งในแพ็กเก็ตก็จะบอกถึงระยะเวลาที่ใช้รับสัญญาณข้อมูลจนแล้วเสร็จเหมือนกับ RTS ดังนั้น เมื่อสถานีอื่นๆ ที่ได้ยินสัญญาณแพ็กเก็ต RTS/CTS ก็จะทราบเวลาที่ช่องสัญญาณถูกใช้และตั้งค่า NAV (Network Allocation Vector) ให้ตรงกับเวลาที่ช่องสัญญาณถูกใช้งานที่ได้ยินมาจาก RTS/CTS เพื่อเป็นการบอกเวลาที่ยังไม่สามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณได้



ภาพที่ 4 ขนาดช่องว่างระหว่างเฟรม

การทำงานบนเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11

การทำงานบนเครือข่ายไร้สายมีการทำงาน 2 แบบ คือ การควบคุมการเข้าใช้สื่อแบบกระจาย (Distributed Coordination Function หรือ DCF) และการเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์ (Pointed Coordination Function หรือ PCF) ซึ่งทั้ง 2 แบบมีรูปแบบการทำงานที่แตกต่างกัน

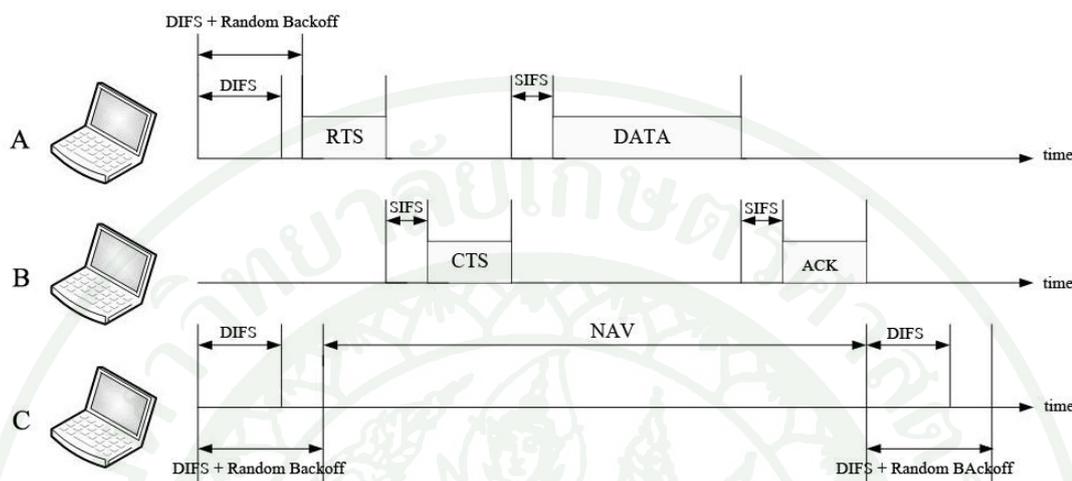
อุปกรณ์หรือสถานีแต่ละตัวที่จะใช้ช่องสัญญาณ จำเป็นต้องมีระยะการรอกหว่างเฟรม (Inter Frame Space) ถึงจะสามารถเข้าใช้ช่องสัญญาณ โดยเฟรมแต่ละประเภทจะมีช่วงเวลารอคอยที่ไม่เท่ากันดังภาพที่ 4 ระยะเวลารอคอยระหว่างเฟรมแบ่งได้เป็น 3 แบบ

1. EIFS (Extended Inter-Frame Space) มีช่วงเวลารอคอยนานที่สุด หรือมีลำดับความสำคัญต่ำที่สุด ใช้เมื่อมีความผิดพลาดในเฟรมที่จะส่ง
2. DIFS (DCF Inter-Frame Space) มีช่วงเวลารอคอยน้อยกว่าแบบอีไอเอฟเอส หรือมีลำดับความสำคัญที่สูงกว่าแบบอีไอเอฟเอส ซึ่งใช้ในการทำงานแบบการควบคุมการเข้าใช้สื่อแบบกระจาย
3. PIFS (PCF Inter-Frame Space) มีช่วงเวลารอคอยน้อยกว่าแบบดีไอเอฟเอส หรือมีลำดับความสำคัญที่สูงกว่าแบบดีไอเอฟเอส ใช้ในการทำงานแบบการเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์
4. SIFS (Short Inter-Frame Space) มีช่วงเวลารอคอยที่สั้นที่สุด หรือมีลำดับความสำคัญที่สูงที่สุด ใช้สำหรับเฟรมในการควบคุมการทำงานของเครือข่าย เช่น RTS/CTS เป็นต้น

1. การควบคุมการเข้าใช้สื่อแบบกระจาย (DCF)

การควบคุมการเข้าใช้สื่อแบบกระจายเป็นการเข้าใช้สื่อแบบแข่งขันกัน (CP: Contention Period) หรือไม่มีตัวกลางคอยควบคุมการเข้าใช้สื่อ การเข้าใช้สื่อจะอาศัยหลักการของ CSMA/CA และระยะเวลารอคอยระหว่างเฟรม ดังภาพที่ 5 สถานี A และ C ต้องการส่งสัญญาณข้อมูลไปยัง สถานี B ซึ่งสถานี A และ C ต้องรอเป็นระยะเวลา DIFS ซึ่งจากภาพ สถานี A จะได้ส่งเพราะระยะเวลาในการสุ่มใช้น้อยกว่า C โดยเฟรมที่ใช้ส่งในตอนแรกเป็นเฟรม RTS เมื่อสถานี C จะส่งสัญญาณ แต่จะไต่ขึ้นเฟรม RTS ของสถานี A ก่อน จึงทำการตั้งค่า NAV ส่วนที่สถานี B เมื่อได้รับเฟรม RTS จะรอเป็นระยะเวลา SIFS แล้วส่งเฟรม CTS ไปหาสถานี A เมื่อสถานี A ได้รับเฟรม

CTS จะรอเป็นระยะเวลา SIFS แล้วจึงส่งเฟรมข้อมูล เมื่อสถานี B ได้รับข้อมูลเสร็จ จะรอเป็นระยะเวลา SIFS แล้วส่งเฟรมตอบรับกลับไป

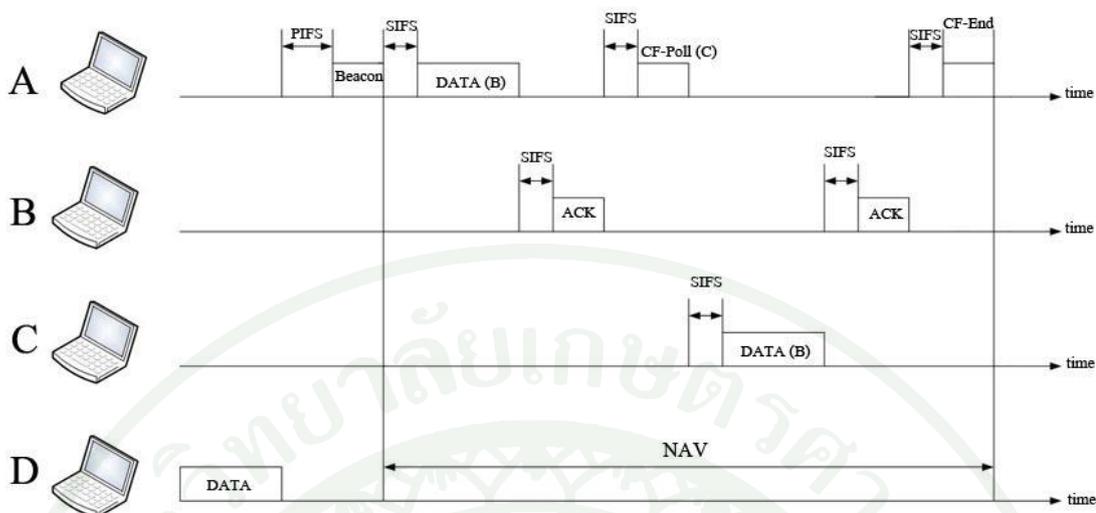


ภาพที่ 5 ตัวอย่างการทำงานบน DCF

2. การควบคุมการเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์ (PCF)

การเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์เป็นการเข้าใช้สื่อแบบไม่มีการแข่งขัน (CFP: Contention Free Period) กล่าวคือ มีสถานีกลางคอยควบคุมการเข้าใช้สื่อ (PC: Point Coordinator) ซึ่งสถานีกลางอาจจะเป็นคอมพิวเตอร์ หรือแอคเซสพอยต์ โดยสถานีกลางจะเป็นผู้ตัดสินใจอนุญาตให้สถานีใดๆ สามารถเข้าใช้สื่อได้

การทำงานการเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์ สถานีกลางจะรอระยะเวลาเป็น PIFS แล้วจึงส่งเฟรมบีคอน (Beacon) ซึ่งระยะเวลา PIFS นั้น มีระยะเวลาที่น้อยกว่าแบบ DIFS ดังนั้น สถานีกลางจึงสามารถแย่งเข้าใช้สื่อได้ ในเฟรมบีคอนนั้นจะระบุค่าระยะเวลาที่สถานีกลางเข้าครอบครองสื่อ ซึ่งถ้าสถานีใดๆ ได้ยินเฟรมบีคอนนี้ จะทำการตั้งค่า NAV ดังนั้นจึงไม่มีสถานีใดสามารถแย่งเข้าใช้สื่อได้ หลังจากส่งเฟรมบีคอนไปแล้ว จะรอระยะเวลาอีก SIFS สถานีกลางจึงสามารถส่งข้อมูล ไปยังสถานีอื่น หรือจะส่งเฟรม CF-Poll (Contention Free Poll) ซึ่งเฟรม CF-Poll จะทำหน้าที่บอกให้สถานีปลายทางที่ได้รับเฟรม CF-Poll สามารถส่งข้อมูลได้ (ส่งได้ทีละ 1 เฟรมข้อมูล) แต่ถ้าสถานีปลายทางไม่มีข้อมูลที่จะส่งก็สามารถปฏิเสธได้เช่นกัน ตัวอย่างลักษณะการทำงานแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการทำงานบน PCF

ภาพที่ 6 หลังจากสถานี D ส่งข้อมูลเสร็จ สถานี A รอเป็นระยะเวลา PIFS แล้วจึงส่งบีคอนเฟรมไป ซึ่งจากตรงนี้ทำให้สถานี B C และ D ตั้งค่า NAV ไว้ หลังจากนั้นสถานี A จึงส่งข้อมูลไปให้สถานี B หลังจากสถานี B ได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ตอบเฟรม ACK กลับไปยังสถานี A จากนั้นสถานี A ส่ง CF-Poll ไปยังสถานี C เพื่อให้สิทธิ์สถานี C ส่งข้อมูล เมื่อสถานี C ได้รับเฟรม CF-Poll จึงส่งข้อมูลไปยังสถานี B เมื่อสถานี B ได้รับข้อมูลแล้ว ตอบเฟรม ACK กลับไปยังสถานี C เมื่อสถานี A ทราบว่าสถานี C ส่งข้อมูลเสร็จแล้ว จึงทำการส่งเฟรม CF-End เพื่อกลับสู่การเข้าใช้สื่อแบบปกติ หรือการเข้าใช้สื่อแบบกระจาย

จากที่กล่าวมาข้างต้น กระบวนการทำงานนั้นยังไม่เหมาะสมที่จะทำงานประเภท โปรแกรมประยุกต์ในเวลาจริง ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.11b, g ที่มีความเร็วมากขึ้นกว่าในอดีตที่ผ่านมา แต่ความต้องการแบนด์วิดท์นั้น ก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย มีงานวิจัยกล่าวถึงความต้องการของ โปรแกรมประยุกต์ต่างๆ (Fattah et al., 2002) ยกตัวอย่าง เช่น โปรแกรมประยุกต์ประเภท เสียง หรือ โปรแกรมประยุกต์ที่มีความต้องการแบนด์วิดท์คงที่ (CBR, constant bit rate) มีความต้องการแบนด์วิดท์ประมาณ 32 Kbps ถึง 2 Mbps ข้อมูลประเภทดิจิทัลวิดีโอ (digital video) หรือ การประชุมผ่านทางวิดีโอ (video conference) มีความต้องการประมาณ 1 – 10 Mbps และ 128 Kbps – 6 Mbps ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลประเภทนี้ อาจจะเป็นแบบ VBR (variable bit rate) ขณะที่โปรแกรมประยุกต์ทั่วไป เช่น FTP ใช้แบนด์วิดท์ประมาณ 1 -10 Mbps

กล่าวถึงงานวิจัยที่ผ่านมาของเครือข่ายไร้สายที่ทำการรับประกันคุณภาพในเวลาจริง เช่น งานวิจัยของ (Banchs et al., 2001) ได้เสนอวิธีการทำการรับประกันคุณภาพ โดยใช้วิธีการยิงสัญญาณที่เป็นลักษณะ Blackburst ออกไปเพื่อจองช่องสัญญาณ วิธีการของ (Deng et al., 1999) ใช้วิธีการปรับค่าช่องว่างระหว่างเฟรม โดยที่ลำดับความสำคัญที่สูงกว่าจะมีช่องว่างระหว่างเฟรมที่น้อยกว่าจึงมีโอกาสที่จะแย่งการเข้าใช้งานได้ดีกว่า ซึ่งวิธีการนี้ก็เป็นเทคนิคส่วนหนึ่งที่น่ามาพัฒนาบนมาตรฐาน IEEE 802.11e ในโหมดการทำงานแบบ EDCA แต่ถ้ามีการเข้าใช้งานเป็นจำนวนมาก อาจเกิดปัญหาการชนกันของสัญญาณ และอาจเกิดปัญหาการร้องขอที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่าไม่สามารถเข้าใช้งานได้

งานวิจัยประเภทการควบคุมการเข้าใช้งานของ (Skyrianoglou et al., 2005) ใช้วิธีเทียบอัตราส่วนระหว่าง ช่วงเวลาที่ไม่ว่าง (busy period) กับ เวลาทั้งหมดของคาบนั้น โดยถ้าอัตราส่วนเกิน 0.95 จะไม่รับการร้องขอนั้น งานวิจัยของ (El-Kadi et al., 2000) ใช้วิธีการจัดการแบนด์วิดท์ในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยกำหนดคลาสออกเป็น 2 คลาส คืองานที่ใช้ในเวลาจริงกับงานทั่วไป โดยงานที่ใช้ในเวลาจริงสามารถยืมแบนด์วิดท์จากงานทั่วไปได้ (Malla et al., 2003) ใช้วิธีการ MAX-MIN Fairness เพื่อพัฒนาในส่วนการยืมแบนด์วิดท์ของงานวิจัย (El-Kadi et al., 2000) งานวิจัยของ (Shin et al., 2008) ใช้วิธีการทำนายจากประวัติการใช้งานของ VoIP ซึ่งระบบจะใช้ค่าทำนายนี้ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจว่ารับ หรือไม่รับของการร้องขอการเข้าใช้บริการอันใหม่

ในปัจจุบันได้มีมาตรฐานในการรับประกันคุณภาพการบริการ นั่นคือ IEEE 802.11e ซึ่งมีรายละเอียดที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

การรับประกันข้อมูลบนเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11e

เนื่องจากการทำงานตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ไม่เหมาะต่อแอปพลิเคชันที่ใช้งานในเวลาจริง เช่น ถ้าในกรณีการทำงานในแบบการเข้าใช้สื่อแบบกระจาย จะเป็นลักษณะการแข่งขัน และแย่งเข้าใช้งาน และแต่ละสถานีก็มีช่องว่างระหว่างเฟรมที่เท่ากัน ดังนั้นอาจจะถูกแย่งใช้งานจากสถานีอื่นได้ และถ้ากรณีถ้ามีสถานีเข้าใช้งานพร้อมๆ กันเป็นจำนวนมาก อาจจะไม่สามารถเข้าใช้งานได้เลย ส่วนกรณีถ้าเป็นแบบการเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์ เนื่องจากไม่มีการแบ่งลำดับความสำคัญ และความไม่แน่นอนของการได้รับสิทธิในการเข้าใช้ช่องสัญญาณของแต่ละสถานี ทำ

ให้วิธีการนี้ยังไม่เหมาะสม จึงได้กำหนดวิธีการ การรับประกันข้อมูลบนเครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน IEEE 802.11e เรียกการเข้าใช้สื่อแบบนี้ว่า HCF (Hybrid Coordination Function) โดยได้แบ่งเป็น 2 รูปแบบการเข้าใช้ช่องสัญญาณคือ การควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) และแบบ HCCA (HCF Control Channel Access)

1. การควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ EDCA

การควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ EDCA จะเป็นลักษณะการควบคุมการเข้าใช้สื่อแบบกระจาย คือเป็นลักษณะการแย่งกันใช้ช่องสัญญาณ แต่ได้มีการแบ่งลำดับความสำคัญของแต่ละประเภทข้อมูล โดยที่ข้อมูลที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่าจะมีโอกาสแย่งเข้าใช้งานได้มากกว่า

ใน EDCA ได้มีการจัดแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็น 4 กลุ่ม

1. AC_BK (Access Category: Background) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญต่ำที่สุด
2. AC_BE (Access Category: Best Effort) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญกว่า AC_BK เหมาะสมกับโปรแกรมประยุกต์ที่ทนต่อการหน่วงเวลาได้สูง เช่น HTTP, FTP เป็นต้น
3. AC_VI (Access Category: Video) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญสูง เหมาะสมกับโปรแกรมประยุกต์ที่ทนต่อการหน่วงเวลาได้น้อย เช่น วิดิทัศน์
4. AC_VO (Access Category: Voice) เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญสูงที่สุด เหมาะสมกับโปรแกรมประยุกต์ที่ต้องการตอบสนองอย่างรวดเร็ว เช่น VoIP (Voice Over IP)

การแบ่งลำดับความสำคัญจะใช้ 2 ตัวแปรหลักในการกำหนดลำดับความสำคัญ คือค่าเวลารอคอยระหว่างเฟรม AIFS (Arbitrary Interframe Space) และค่าคู่เวลารอคอย CW (Contention Window) ค่า AIFS สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 โดยค่า AIFSN ของแต่ละกลุ่มได้ถูกกำหนดไว้ดังตารางที่ 1 ดังนั้น ถ้าค่า AIFSN มีค่ามาก ก็ส่งผลให้ระยะเวลาอคอยระหว่างเฟรม ใช้เวลามากขึ้นด้วย

$$\text{AIFS}[AC] = \text{SIFS} + \text{AIFSN}[AC] \times \text{Slot Time} \quad (1)$$

ค่าสุ่มเวลารอคอย หรือค่า Random Backoff ถ้ากลุ่มที่มีความสำคัญสูงกว่า จะมีช่วงค่าการ สุ่มเวลาที่น้อยกว่าแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดใน EDCA กลุ่ม AC_VO ที่มีความสำคัญสูงสุด จะมี ระยะเวลาว่างเฟรมน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ DIFS ส่งผลให้ กลุ่มนี้สามารถแย่งการเข้าใช้งานได้ ก่อนกลุ่มอื่นๆ กลุ่ม AC_VI และกลุ่ม AC_BE มีระยะเวลาว่างเฟรมที่เท่ากัน แต่กลุ่มของ AC_VI นั้นใช้เวลาจากการสุ่มที่น้อยกว่า จึงมีโอกาสแย่งการเข้าใช้งานได้ดีกว่ากลุ่ม AC_BE ส่วนกลุ่ม AC_BK นั้นมีลำดับความสำคัญต่ำที่สุด จึงมีระยะเวลาว่างเฟรมที่นานที่สุด

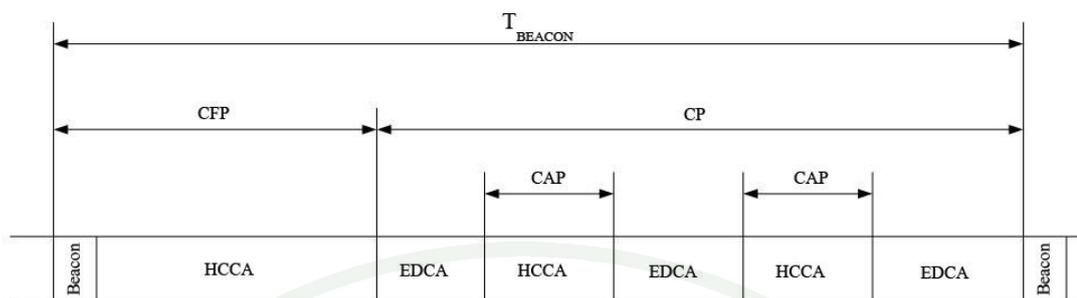
ตารางที่ 1 ตัวแปรของกลุ่มต่างๆ

กลุ่ม	CW_{MIN}	CW_{MAX}	AIFSN
AC_BK	CW_{MIN}	CW_{MAX}	7
AC_BE	CW_{MIN}	CW_{MAX}	3
AC_VI	$(CW_{MIN}+1)/2 - 1$	CW_{MIN}	3
AC_VO	$(CW_{MIN}+1)/4 - 1$	$(CW_{MIN}+1)/2 - 1$	2

แต่ในการทำงานแบบ EDCA นั้นก็ยังมีข้อเสียอยู่ ถ้าหากมีสถานีจำนวนมากใช้งาน ทำให้มี โอกาสการชนกันของสัญญาณข้อมูล และอาจส่งผลให้โปรแกรมประยุกต์นั้นไม่สามารถใช้งานได้ ถึงแม้ว่าจะอยู่ในกลุ่มที่มีลำดับความสำคัญสูงสุด

2. การควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ HCCA

การควบคุมการเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบ HCCA เป็นการควบคุมการเข้าใช้สื่อแบบรวมศูนย์ คือมีสถานีกลางคอยควบคุมการส่งข้อมูลซึ่งจะเรียกว่า QAP (Q = Quality of Service) และสถานีที่ ได้รับการประกันคุณภาพการรับบริการเรียกว่า QSTA ในการทำงานแบบ PCF จะสามารถเข้าใช้ได้ใน ช่วงที่ไม่มีการแข่งขัน (CFP) แต่ในกรณีของ HCCA นั้นคงเหมือน PCF แต่สามารถเข้าใช้สื่อได้ แม้เป็นช่วงเวลาที่มีการแข่งขัน (CP) และสามารถรับประกันการรับบริการของแต่ละสถานีได้ แต่ ในกรณีที่ไม่สามารถรับบริการได้ก็จะปฏิเสธไป แต่ในกรณี PCF จะไม่มีการตรวจสอบในส่วนนี้



ภาพที่ 7 ตัวอย่างช่วงเวลาการทำงานใน 1 ช่วงบีคอน

การทำงานของ HCCA แสดงได้ดังภาพที่ 7 ใน 1 ช่วงบีคอนจะประกอบไปด้วยช่วงเวลา CFP และ CP ซึ่งในช่วงเวลาของ CFP เป็นช่วงเวลาการทำงานของ HCCA คือ QAP ทำหน้าที่ไหลไปยัง QSTA เพื่อให้สถานี QSTA ได้ส่งข้อมูล เมื่อมาถึงช่วง CP เป็นช่วงเวลาที่มีการแข่งขัน จะเป็นการทำงานในแบบ EDCA แต่ละสถานีพยายามแย่งกันส่งสัญญาณข้อมูล แต่ในช่วงเวลานี้ QAP ก็ยังสามารถแย่งเข้าใช้งานได้ โดยที่สถานี QAP จะมีช่วงเวลาการรอระหว่างเฟรมที่ PIFS ดังนั้น จึงสามารถครอบครองการใช้งานในช่วงเวลา CP ได้ (สถานีที่อยู่ในโหมดการทำงานแบบ EDCA ใช้ช่องว่างระหว่างเฟรมคือ AIFS ซึ่งใช้เวลานานกว่า PIFS) ซึ่งช่วงเวลานี้เราเรียกว่า CAP (Controlled Access Period) เมื่อจบช่วงเวลาของ CAP ก็จะกลับมาทำงานในแบบ EDCA ปกติ แต่เพื่อป้องกันปัญหา QAP ครอบครองการใช้งานมากเกินไป จนสถานีที่มีความสำคัญต่ำ ไม่สามารถใช้งานได้เลย จึงได้กำหนดค่าสูงสุดของช่วงเวลา CAP (CAP Limit) โดยที่ QAP จะไม่สามารถแทรกช่วงเวลา CP ได้ไม่เกินค่า CAP Limit

การร้องขอใช้งานในแบบ HCCA สถานี QSTA จะส่งเฟรมเพื่อบอกถึงความต้องการต่างๆ เช่น ความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล ขนาดของเฟรมที่ใช้ ค่าหน่วงเวลาสูงสุดที่สามารถรับได้ และช่วงระยะห่างที่มากที่สุดที่ต้องได้รับบริการ หรือ RSI (Required Service Interval) จากนั้นแอสเซสพอยต์ หรือ QAP จะรับข้อมูลตรงนี้นำมาคำนวณเพื่อตัดสินใจจะรับการร้องขอนั้นได้หรือไม่ โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

1. หากค่า SI (Service Interval) โดยค่า SI นั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่าค่า RSI ของ QSTA ทั้งหมดที่กำลังใช้งานอยู่ และจะต้องเป็นตัวประกอบผลคูณของค่าช่วงระยะห่างของบีคอน (T_{BEACON})

2. หาจำนวนเฟรมที่สามารถส่งได้ใน 1 ช่วง SI ดังสมการที่ 2 ให้ N คือจำนวนเฟรมที่สามารถส่งได้ใน 1 ช่วงเวลา SI ของสถานี M คือความเร็วเฉลี่ยในการส่งข้อมูล (bps) L คือขนาดเฟรม (bits) ที่ใช้

$$N_i = \frac{SI \times M_i}{L_i} \quad (2)$$

3. หาค่าโอกาสในการส่ง หรือ TXOP (Transmission Opportunity) ดังสมการที่ 3 ให้ R คืออัตราการส่ง (Physical transmission rate) O คือโอเวอร์เฮด (overhead)

$$TXOP_i = \max\left(\frac{N_i \times L_i}{R} + O, \frac{L_{\max}}{R} + O\right) \quad (3)$$

4. ตัดสินใจการรับการร้องขอ โดยจะตัดสินใจรับก็ต่อเมื่อสอดคล้องกับสมการที่ 4 ให้ T_{Beacon} คือช่วงเวลาระหว่างเฟรมบีคอน $T_{\text{CAP Limit}}$ คือค่าของเวลา CAP มากที่สุดที่ยอมรับได้

$$\sum_{i=1}^n \frac{TXOP_i}{SI} + \frac{TXOP_{i+1}}{SI} \leq \frac{T_{\text{CAP Limit}}}{T_{\text{Beacon}}} \quad (4)$$

จากตรงนี้จะเห็นว่า ใน HCCA นั้นไม่มีการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูล ซึ่งไม่เหมือนในกรณีของ EDCA ที่มีการจัดลำดับความสำคัญ และลักษณะการให้บริการเป็นแบบใครร้องขอก่อนได้ก่อน ซึ่งในการบริการบางอย่างอาจมีความสำคัญมากกว่า เช่น เสียง, การประชุมผ่านทางวิดีโอ เป็นต้น ควรที่จะสามารถใช้งานได้ก่อนประเภทอื่น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยต่างๆ เพื่อมาแก้ไขปัญหาของมาตรฐาน IEEE 802.11e หรือ เสนอวิธีการควบคุมการรับเข้าเพื่อทำการรับประกันคุณภาพ ดังต่อไปนี้

1. เทคนิคการควบคุมการรับเข้าโดยใช้ค่า SI ในโหมคการทำงานแบบ EDCA

(Zhu et al., 2007) ได้เสนอ CAC (Call admission control) ขั้นตอนวิธี สำหรับ EDCF ซึ่งจะคล้ายๆ HCCA เนื่องจากใน EDCF เป็นการแข่งขันแบบแย่งกันเอง ไม่มีตัวกลางมาควบคุม จึงไม่มีค่า SI ที่กำหนดเอาไว้ในเซสชันทั้งหมดของ EDCF ดังนั้นจึงกำหนด SI ขึ้นมาใหม่เรียกว่าค่า SI เสมือน (Virtual SI, VSI) ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดของความยาวช่องเสียบเฉลี่ยที่สามารถใช้ได้มากที่สุดสำหรับเครือข่ายนั้น ค่า SI เสมือน สามารถคำนวณได้โดยขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของเครือข่ายขณะนั้น และความต้องการของค่านว่งเวลาของเซสชัน นั้นๆ ในคลาสต่างๆ ถ้าความยาวช่องเสียบเฉลี่ย และเซสชันใหม่ที่เข้ามามีค่าน้อยกว่าค่า SI เสมือน จะสามารถรับเข้ามาได้ ดังนั้นวิธีนี้ใช้ปริมาณงาน และค่านว่งเวลา (นำค่ามาคำนวณค่า SI เสมือน) มาเป็นตัวตัดสินใจเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพ และค่านว่งเวลาตามความต้องการ แต่ถ้าสถานการณ์ของเครือข่ายมีการใช้งานเป็นจำนวนมาก อาจเกิดการชนกันของสัญญาณ ได้ เพราะใน โหมคการทำงานเป็นแบบ EDCF ซึ่งยังคงเกิดการแย่งกันการเข้าใช้งานเครือข่าย

2. เทคนิคการปรับเปลี่ยนค่าช่องว่างระหว่างข้อมูลใน IEEE802.11e (EDCA)

(Didi et al., 2008) ได้เสนอวิธีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ คือ AIFSN, CWmin และ CWmax ของข้อมูลที่เป็นประเภททั่วไป (http, ftp) เพื่อลดการชนกันของสัญญาณ อันเนื่องมาจากการใช้งานของข้อมูลประเภททั่วไป

วิธีการนี้ใช้ก็ต่อเมื่อปริมาณงานของเครือข่ายสูงกว่าหรือเท่ากับ 70% ของปริมาณงานมากที่สุดของเครือข่าย และจำนวนการใช้งานของข้อมูลที่เป็นประเภททั่วไปเกินกว่าค่าขีดแบ่ง (ค่าขีดแบ่ง คือจำนวนของสถานีที่กำลังใช้งานหารด้วย 3) ส่วนสาเหตุที่ต้องเป็นเงื่อนไขปริมาณงานของเครือข่ายสูงกว่าหรือเท่ากับ 70% เพราะถ้าค่าปริมาณของเครือข่ายมากกว่านี้จะทำให้เกิดการชนกันของสัญญาณเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดปัญหาการเข้าใช้งานไม่ได้ของการใช้งานประเภททั่วไป จึงจำเป็นต้องขยายช่องว่างระหว่างเฟรมเพื่อลดการชนกันของสัญญาณ และเพื่อเพิ่มการใช้ช่องสัญญาณให้เป็นประโยชน์มากขึ้น

2.1 ขั้นตอนวิธีการทำงาน

ที่ฝั่งแอสเซสพอยด์มีกำหนดการ ถ้าปริมาณการใช้งานเครือข่ายน้อยกว่า 70% การทำงานจะเหมือนกับการทำงานตามมาตรฐาน IEEE 802.11e ในกรณีถ้าการใช้งานเครือข่ายเกิน 70% แอสเซสพอยด์คำนวณค่าโอกาสในการส่งของแต่ละการใช้งานต่างๆ ของทุกสถานี ตามสมการที่ 5

$$TXOP_{ij} = \frac{\text{interval beacon [s]} \times \text{averagesize of frame for flow j [bit]}}{\text{interarrival time of flow j [s]} \times \text{rate transmi of station [bps]}} \quad (5)$$

i = สถานีที่กำลังใช้งาน

j = ข้อมูลที่กำลังใช้งาน

จากสมการที่ 5 ดังนั้นสามารถคำนวณค่าโอกาสในการส่งของสถานีที่ i ได้ตามสมการที่ 6

$$TXOP_i = \sum_{j=1}^{\text{Active flows}} TXOP_{ij} \quad (6)$$

กรณีมีสถานีใหม่เข้าใช้งาน จะสามารถรับเข้าใช้งานได้ตามเงื่อนไขสมการที่ 7

$$\frac{TXOP_{k+1}}{SI} + \sum_{i=1}^k \frac{TXOP_i}{SI} \leq \frac{T_{CAPLimit}}{T_{Beacon}} \quad (7)$$

ที่ $T_{CAPLimit}$ แสดงขอบเขตเวลามากที่สุดของ HCCA และ T_{Beacon} แสดงความยาวของช่วงเวลาบีคอน ในกรณีข้อมูลกำลังใช้งานมีความต้องการแบนด์วิดท์ไม่คงที่ และเกิดการละทิ้งกลุ่มข้อมูลมากกว่า 10% แอสเซสพอยด์จะคำนวณค่าโอกาสในการส่งใหม่อีกครั้ง

2.2 สรุปผลงานวิจัย

สรุปงานวิจัยนี้ทำ 2 ส่วน ส่วนแรกในกรณีปริมาณงานของเครือข่ายสูงกว่า 70% ขยายช่องว่างระหว่างเฟรมของเฟรมข้อมูลทั่วไป และกรณีถ้าเกิดการละทิ้งกลุ่มข้อมูลเป็นจำนวนมาก แอสเซสพอยด์จะทำการคำนวณค่าโอกาสในการส่งใหม่อีกครั้ง เพื่อขยายช่วงเวลาโอกาสในการส่ง แต่งานวิจัยนี้ไม่มีการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูล ดังนั้นการร้องขอที่มีความสำคัญกว่าแต่อาจจะ

ร้องขอมาลำดับหลังอาจจะไม่สามารถเข้าใช้งานได้เนื่องจากมีผู้ใช้งานที่มีความสำคัญต่ำใช้งานอยู่จนเต็ม

3. เทคนิคการพัฒนาประสิทธิภาพการโพลใน HCCA

(Chen et al., 2008) เสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการโพลใน HCCA เนื่องจากใน HCCA ปกติจะทำการโพลไปยังสถานีที่ได้รับประกันคุณภาพ แต่บางทีการโพลไปอาจจะไม่เกิดประโยชน์ เพราะในสถานีที่ได้รับประกันคุณภาพ อาจจะไม่มียุทธศาสตร์ที่ต้องการส่ง ดังนั้นจึงได้ปรับปรุงวิธีแก้ไขทั่วโลก การทำงานของ HCCA

3.1 ขั้นตอนวิธีการทำงาน

งานวิจัยนี้ปรับปรุงการทำงานของ HCCA โดยใช้วิธีการ non-polling based HCCA (NPHCCA) สถานีที่มีเฟรมข้อมูลรอคอยที่จะส่ง จะส่งเฟรมเพื่อร้องขอที่จะส่งไปยังแอสเซสเซอร์ โดยรูปแบบเฟรมต่างๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

3.1.1 เฟรมร้องขอการส่งข้อมูลของสถานีประกอบไปด้วยเขตข้อมูล 3 เขต คือ STA_ID ตัวระบุสถานี Priority ตัวระบุลำดับความสำคัญของเฟรมข้อมูล และ Queue ตัวระบุถึงจำนวนเฟรมที่อยู่ในแถวคอยการส่ง หรือแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เฟรมร้องขอการส่ง

เขตข้อมูล	ความหมาย
STA_ID	ตัวระบุสถานี (1-63, 6 บิต)
Priority	ลำดับความสำคัญของเฟรมที่จะส่ง (1-3, 2 บิต)
Queue	ขนาดแถวคอยของเฟรมที่จะส่ง (0-255, 8 บิต)

3.1.2 ตารางกำหนดการของแอสเซสเซอร์ประกอบไปด้วยขอบเขตข้อมูล 4 เขต คือ STA_ID, Sequence, Duration, และ Remainder ในตารางกำหนดการของแอสเซสเซอร์จะกำหนดหน้าที่

เก็บข้อมูลของสถานะ การส่งของแต่ละสถานี (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ตารางที่ 3) ข้อมูลในตารางนี้จะถูกนำมาตัดสินใจสถานีใดที่จะได้รับสิทธิ์ในการส่ง

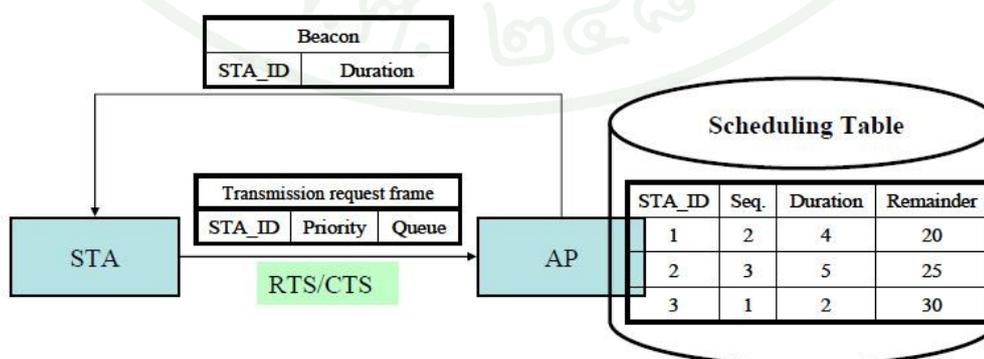
ตารางที่ 3 กำหนดการของแอสเซสพอยด์

เขตข้อมูล	ความหมาย
STA_ID	ตัวระบุสถานี (1-63, 6 บิต)
Sequence	ลำดับการส่งของสถานี (1-63, 6 บิต)
Duration	จำนวนของเฟรมค้างอยู่สามารถถูกส่ง (1-3, 2 บิต)
Remainder	จำนวนที่เหลือของเฟรมที่ค้างอยู่ (0-255, 8 บิต)

3.1.3 เฟรมบีคอนมีขอบเขตข้อมูลเพิ่มมา 2 เขต คือ STA_ID, และ Duration ในบีคอนเฟรม (ดูเพิ่มเติมได้ในตารางที่ 4) เมื่อเฟรมบีคอนถูกแพร่สัญญาณโดยแอสเซสพอยด์เพื่อประสานเวลากับซูปเปอร์เฟรม STA_ID และ Duration จะถูกประกาศไปยังสถานีที่ได้รับสิทธิ์ในการส่ง

ตารางที่ 4 เขตข้อมูลที่ถูกรวมในเฟรมบีคอน

เขตข้อมูล	ความหมาย
STA_ID	ตัวระบุสถานี (1-63, 6 บิต)
Duration	จำนวนของเฟรมค้างอยู่สามารถถูกส่ง (1-3, 2 บิต)



ภาพที่ 8 กลไกการทำงานของ NPHCCA

ภาพที่ 8 แสดงกลไกการทำงานของ NPHCCA เมื่อสถานีมีข้อมูลค้างอยู่ในแถวคอยเพื่อจะส่ง สถานีส่งการร้องขอไปยังแอสเซมบลี ซึ่งเฟรมร้องขอจะประกอบไปด้วย STA_ID, Priority และ Queue

สารสนเทศของการส่งข้อความร้องขอจากสถานีทั้งหมดถูกเก็บไว้ในตารางกำหนดการของแอสเซมบลี ดังนั้นแอสเซมบลีสามารถกำหนดลำดับกำหนดการโดยใช้สารสนเทศในตารางกำหนดการ แอสเซมบลีจะใช้ข้อมูลนี้แจ้งไปยังสถานีเพื่อให้สถานีได้ส่งข้อมูลโดยแจ้งผ่านทางกระจายสัญญาณเฟรมบีคอน ซึ่งแอสเซมบลีจะไม่แจ้งไปยังสถานีที่ไม่มีข้อมูลที่จะส่ง กลไกส่วนนี้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งได้

มีช่วงเวลาสามช่วงในกลไกการทำงานของ NPHCCA ช่วงเวลาแรกเรียก Beacon_Time ซึ่งช่วงเวลานี้สถานีทั้งหมดจะฟังเฟรมบีคอนที่ถูกกระจายสัญญาณมาโดยแอสเซมบลี เฟรมบีคอนถูกใช้ประสานเวลากับสถานีที่เชื่อมต่อกับแอสเซมบลี เพื่อแจ้งกำหนดการไปยังสถานีที่จะส่งข้อมูล ช่วงเวลาที่สองเรียกว่าช่วงเวลา Req_Time สถานีทั้งหมดสามารถส่งการร้องขอการส่งข้อมูลไปยังแอสเซมบลี ช่วงเวลาสุดท้ายเรียก TX_Time ช่วงเวลานี้ถูกระบุโดยเขตข้อมูล Duration ในเฟรมบีคอนที่ถูกกระจายสัญญาณออกมา สถานีที่ถูกแจ้งจะส่งข้อมูลในช่วงเวลานี้หรือจนกระทั่งข้อมูลที่จะส่งในแถวคอยหมดลง

3.2 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้แก้ไขในโหมมการงานแบบ HCCA โดยปรับปรุงในส่วนการแจ้งไปยังสถานี เพื่อให้สถานีส่งข้อมูล ซึ่งตัวแอสเซมบลีจะพิจารณาโดยเฉพาะจำนวนข้อมูลที่ค้างอยู่ในแถวคอย เพื่อป้องกันปัญหาการแจ้งไปยังสถานีเพื่อให้สถานีมีสิทธิ์ส่งข้อมูลแต่ไม่มีข้อมูลที่จะส่ง

4. เทคนิคการควบคุมการรับเข้าโดยอาศัยค่าอัตราประโยชน์ของช่องสัญญาณ

(Karia et al., 2008) เสนอวิธีการ Connection Admission Control (CAC) โดยการรักษาการเชื่อมต่อที่ใช้งานอยู่ โดยการจัดสรรพื้นที่แบนด์วิดท์ให้กับโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในเวลาจริง และจัดสรรพื้นที่บางส่วนให้กับ โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานทั่วไป

4.1 ขั้นตอนวิธีการทำงาน

นโยบายการควบคุมการรับเข้าใช้อัตราส่วนความยุ่งของช่องสัญญาณ R_u หรือ อัตราส่วนเวลาช่องสัญญาณที่ใช้งานต่อเวลาทั้งหมด โดยที่เวลาทั้งหมดนั้นจะรวมถึงเวลาสำหรับเฟรม RTS, CTS, Data, ACK และช่องว่างระหว่างเฟรมอื่นๆ เช่น SIFS ส่วนเวลาที่ช่องสัญญาณที่ใช้งานจะวัดจาก NAV ซึ่งถ้าเป็นกรณีอื่นๆ จะถือว่าช่องสัญญาณว่าง ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณการส่งข้อมูลไปยังช่องสัญญาณ จะทำให้ค่า อัตราส่วนของสัญญาณที่ใช้อยู่ต่อเวลาทั้งหมดเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นเป็นในลักษณะเส้นตรง จนกระทั่งถึงจุดที่ค่าอัตราส่วนมีค่า 0.95 เมื่อเพิ่มปริมาณการส่งข้อมูลไปอีกจะทำให้ปริมาณงานของเครือข่ายลดลงอย่างรวดเร็ว และเกิดการหน่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นตามมา

เพื่อที่จะรักษาการรับประกันคุณภาพของข้อมูลไว้ และได้ปริมาณงานสูงสุด ควรจะให้ค่า อัตราส่วนเวลาของช่องสัญญาณที่ใช้อยู่ต่อเวลาทั้งหมด ให้ใกล้เคียง 0.95 มากที่สุด

ในงานวิจัยนี้จะให้แอสซายด์เป็นตัวตัดสินใจว่าจะให้รับเซสชันของข้อมูลใหม่หรือไม่ โดยจะสามารถรับเซสชันของข้อมูลได้ถ้าช่องสัญญาณมีแบนด์วิดท์เหลือมากพอที่จะให้รองรับการบริการนั้นได้ แบนด์วิดท์จะแบ่งเป็น 2 ส่วน เป็นแบบให้บริการในเวลาจริง 75 % และแบบการให้บริการทั่วไป 25 % ตามสมการที่ 8 และ 9 ตามลำดับ

$$B_M = 0.75 \times C_u \quad (8)$$

$$B_N = 0.25 \times C_u \quad (9)$$

B_M = แบนด์วิดท์สำหรับข้อมูลประเภทในเวลาจริง

B_N = แบนด์วิดท์สำหรับข้อมูลประเภททั่วไป

C_u = อัตราส่วนเวลาของสัญญาณที่ใช้อยู่ต่อเวลาทั้งหมด (ในการทดลองกำหนดให้

$C_u = 0.95$)

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบจำลองข้อมูลประเภทเสียงเป็นแบบความต้องการแบนด์วิดท์ไม่คงที่ และข้อมูลทั่วไปใช้งานเป็นแบบความต้องการแบนด์วิดท์คงที่ พารามิเตอร์ R , R_{peak} และ len ถูกนำมาใช้เพื่อบอกลักษณะความต้องการของแบนด์วิดท์ของข้อมูลต่างๆ ที่ R คืออัตราเฉลี่ย (บิต ต่อ

วินาที) R_{peak} อัตราสูงสุด (บิต ต่อวินาที) และ len คือความยาวกลุ่มข้อมูลโดยเฉลี่ยในหน่วยของบิต สำหรับในกรณีของข้อมูลที่ต้องการแบนด์วิดท์คงที่จะได้ $R = R_{peak}$ และในกรณีของความถี่ของความต้องการแบนด์วิดท์ไม่คงที่ $R < R_{peak}$

ข้อมูลที่เป็นประเภทเสียงจะถูกแปลงผันเป็นในรูปอัตราประ โยชน์ของช่องสัญญาณ ตามสมการที่ 10 และ 11

$$u = \frac{R}{len} \times T_{successful} \quad (10)$$

$$u_{peak} = \frac{R_{peak}}{len} \times T_{successful} \quad (11)$$

ขณะเดียวกันถ้าเป็นอัตราประ โยชน์ของช่องสัญญาณของข้อมูลประเภททั่วไป แสดงได้ดังสมการที่ 12

$$v = \frac{R}{len} \times T_{successful} \quad (12)$$

ที่ $T_{successful}$ คือเวลาในการส่ง 1 กลุ่มข้อมูล รวมถึง RTS, CTS, Data และ ACK และช่องว่างระหว่างเฟรมอื่นๆ ที่จำเป็น เช่น DIFS, SIFS ดังนั้น $T_{successful}$ จะแสดงได้ดังสมการที่ 13a และในกรณีที่ไม่มีการเฟรม RTS/CTS แสดงได้ดังสมการ 13b

$$T_{successful} = Data + ACK + RTS + CTS + 3 \times SIFS + DIFS \quad (13a)$$

$$T_{successful} = Data + ACK + SIFS + DIFS \quad (13b)$$

ดังนั้น (u, u_{peak}) ระบุความต้องการแบนด์วิดท์ของข้อมูลประเภทเสียง และ (v) ระบุความต้องการแบนด์วิดท์ของข้อมูลประเภททั่วไป

เมื่อสถานีต้องการส่งข้อมูลใหม่ ข้อมูลนั้นจะต้องถูกแปรผันเป็นความต้องการแบนด์วิดท์ในรูปแบบของ (u, u_{peak}) หรือ (v) และส่งการร้องขอพร้อมกับความต้องการแบนด์วิดท์นั้นไปยังแอสเซสซพอยด์ เมื่อแอสเซสซพอยด์รับการร้องขอเข้ามาจะตรวจสอบความต้องการนั้นดังสมการที่ 14 เป็นกรณีของความถี่ของข้อมูลประเภทเสียง

$$(u_A + u) \leq B_M \& (u_{\text{peak}A} + u_{\text{peak}}) \leq C_U \quad (14)$$

ที่ u_A คือค่าความต้องการแบนด์วิธของข้อมูลประเภทเสียงของ A ที่ถูกแปลงในรูปแบบอรรถประโยชน์ของข้อสัญญา

ที่ $u_{\text{peak}A}$ คือค่าความต้องการแบนด์วิธสูงสุดของข้อมูลประเภทเสียงของ A ที่ถูกแปลงในรูปแบบอรรถประโยชน์ของข้อสัญญา

ถ้าความต้องการแบนด์วิธของข้อมูลประเภทเสียงของ A สอดคล้องกับสมการ แอคเซสพอยด์จะรับการร้องขอ แต่กรณีที่ไม่สอดคล้องกับสมการ จะทำการปฏิเสธการร้องนั้น กรณีถ้าเป็นการร้องขอของข้อมูลประเภททั่วไป จะตรวจสอบความต้องการดังสมการที่ 15

$$(v_A + v) \leq B_N \quad (15)$$

ถ้าความต้องการแบนด์วิธของข้อมูลประเภททั่วไปของ A สอดคล้องกับสมการ แอคเซสพอยด์จะรับการร้องขอ แต่กรณีที่ไม่สอดคล้องกับสมการ จะนำข้อมูลนั้นไปตรวจสอบเงื่อนไขตามสมการที่ 16

$$v \leq B_M \quad (16)$$

ในกรณีถ้าสอดคล้องกับสมการที่ 16 จะสามารถรับการร้องขอได้ แต่เป็นไปลักษณะการรับเข้าแบบชั่วคราวใน 1 คาบเวลา เมื่อหมดใน 1 คาบเวลาแอคเซสพอยด์จะทำการละทิ้งการร้องขอนั้น แต่กรณีไม่สอดคล้องกับสมการที่ 16 แอคเซสพอยด์จะปฏิเสธการร้องขอนั้น

เมื่อสถานีใช้งานของข้อมูลเสร็จจะส่งข้อความ “connection terminated” ไปยังแอคเซสพอยด์ เพื่อยกเลิกการใช้งานนั้น เมื่อแอคเซสพอยด์ได้รับจะส่งข้อความกลับไปยังสถานีนั้น เพื่อเป็นการยืนยัน และทำการปรับปรุค่า $(u_A, u_{\text{peak}A})$ หรือ (v_A) การทำงานแสดงได้ดังภาพที่ 9 ฝั่งงานของวิธีการ CAC ที่ใช้ในการตัดสินใจการควบคุมการรับเข้า

4.2 สรุปผลงานวิจัย

วิธีการนี้สามารถช่วยให้ใช้ช่องสัญญาณได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และได้ทำการแบ่งพื้นที่สำหรับ โปรแกรมประยุกต์ในเวลาจริง เช่น เสียง มากกว่าในแบบทั่วไป แต่วิธีการแบบนี้ อาจจะทำให้มีการแบ่งการใช้งานที่อาจจะไม่มีประสิทธิภาพมากนัก ถ้าหากเกิดในกรณีที่การใช้งานส่วนใหญ่เป็นในแบบทั่วไป เป็นต้น

5. เทคนิคการรับประกันคุณภาพโปรแกรมประยุกต์ MPEG-4 โดยการปรับปรุงการทำงานใน HCCA

(J Pak et al., 2007) นำเสนอวิธีการควบคุมการรับเข้า โดยใช้วิธีการแบ่งชนิดของเฟรมใน MPEG-4 ออกเป็น 3 คลาส เพื่อจัดแบ่งลำดับความสำคัญของเฟรมใน MPEG-4 ซึ่งเฟรมใน MPEG 4 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ I-Frame, P-Frame และ B-Frame โดยที่ I-Frame เป็นเฟรมที่เกี่ยวกับการเข้ารหัสรูปภาพ ดังนั้น I-Frame จึงมีความสำคัญมากที่สุด ความสำคัญรองลงมาคือ P-Frame และ B-Frame มีความสำคัญต่ำที่สุด

5.1 ขั้นตอนวิธีการทำงาน

การทำงานตามมาตรฐาน IEEE 802.11 e HCCA นั้นยังไม่เหมาะสมสำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับวิดีโอ เช่น MPEG-4 เนื่องจากเฟรมใน MPEG-4 นั้นมีขนาดของเฟรมแต่ละประเภทที่แตกต่างกัน และลำดับความสำคัญในการถอดรหัสที่ต่างกัน ซึ่งกลไกการทำงานแสดงถึงภาพที่ 10 ภาพที่ 10 แทนที่สถานีจะร้องขอการเข้าใช้งานเพียง 1 สายข้อมูลของวิดีโอ ให้แบ่งออกเป็น 3 สายข้อมูล โดยแบ่งเป็น I-Frame, P-Frame และ B-Frame โดยที่ I-Frame จะใช้ขนาดสูงสุดของเฟรมในการคำนวณค่า TXOP P-Frame ใช้ขนาดของเฟรมเฉลี่ย และ B-Frame ใช้ขนาด Frame ที่เล็กที่สุด ตามสมการที่ 17, 18 และ 19 ตามลำดับ

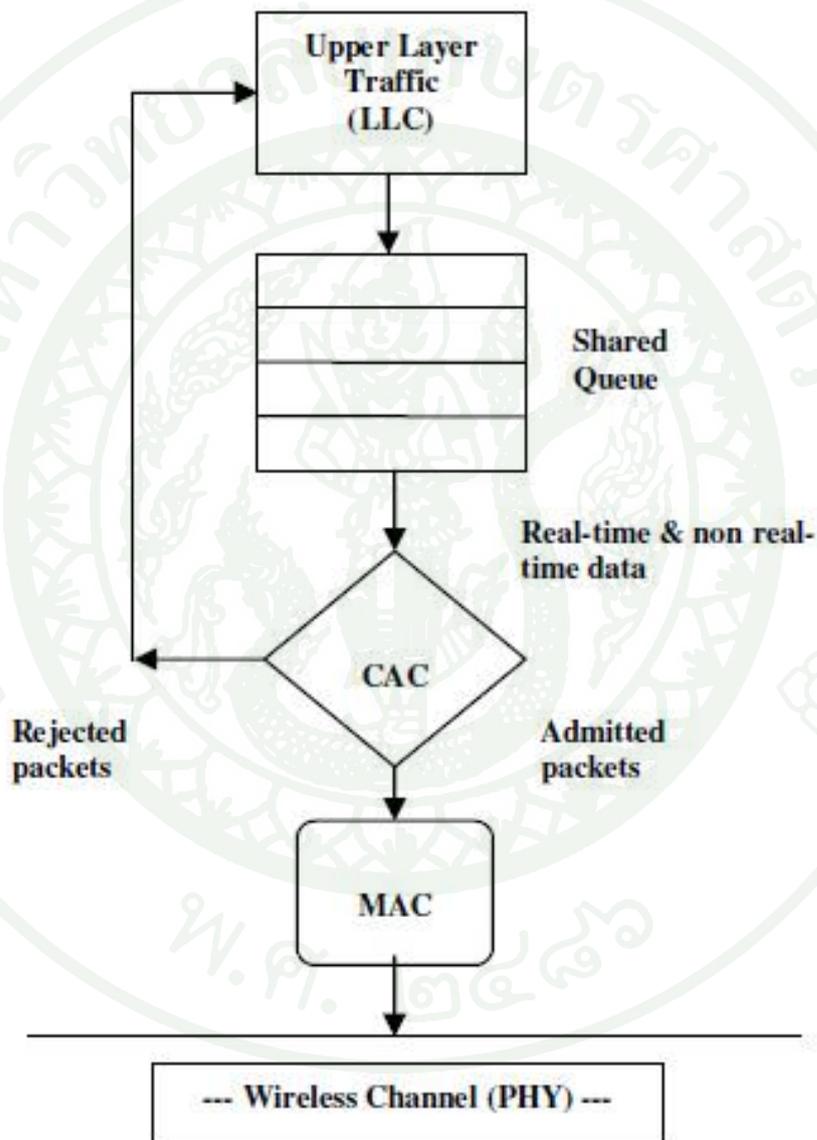
$$TXOP_I = \max\left(\frac{\text{Peak Frame Size}}{R_i} + 0, \frac{M}{R_i} + 0\right) \quad (17)$$

$$TXOP_P = \max\left(\frac{\text{Mean Frame Size}}{R_i} + 0, \frac{M}{R_i} + 0\right) \quad (18)$$

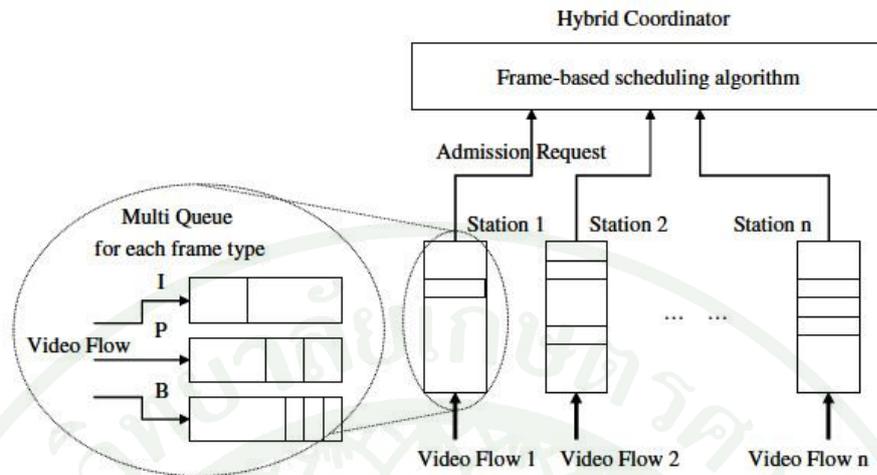
$$TXOP_B = \max\left(\frac{\text{Minimum Frame Size}}{R_i} + 0, \frac{M}{R_i} + 0\right) \quad (19)$$

5.2 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ช่วยให้สามารถใช้งาน MPEG-4 ได้ดีขึ้น แต่ข้อเสียของวิธีการนี้ คือ เหมาะสมสำหรับงานบางอย่างที่มีคุณลักษณะเฉพาะ ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้กับงานประเภทอื่นได้



ภาพที่ 9 ผังงานของวิธีการ CAC



ภาพที่ 10 กลไกการควบคุมการรับเข้า

งานวิจัยที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่างานวิจัยที่มีการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลในเวลาจริงนั้น ไม่ได้เน้นการแก้ปัญหาการใช้งานไม่ได้ของคลาสที่มีลำดับความสำคัญที่ต่ำกว่า งานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้เอกเซพรอยด์เป็นตัวกลางในการตัดสินใจ และทำหน้าที่ควบคุมการชนกันของสัญญาณ แบ่งลำดับความสำคัญของข้อมูลในเวลาจริง และทำการป้องกันปัญหาการใช้งานไม่ได้ของข้อมูล หรือการร้องขอที่มีลำดับความสำคัญที่ต่ำกว่า (ปัญหาสตาร์เวชั่น)

ตารางที่ 5 สรุปงานวิจัย

วิธีการ	ควบคุมการชนกันของสัญญาณ	จัดลำดับความสำคัญของข้อมูลในเวลาจริง	ป้องกันปัญหาสตาร์เวชั่น
Zhu <i>et al.</i> (2007)	-	/	-
Didi <i>et al.</i> (2008)	-	/	-
Chen <i>et al.</i> (2008)	/	-	/
Karia <i>et al.</i> (2008)	/	-	/
J Pak <i>et al.</i> (2007)	/	/	-

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. โปรแกรมซิมูเลชัน ns2.29 (Network Simulator 2.29)
3. patch ns2hcca-2.29-060823 สำหรับการทำงานใน โหมด HCCA

วิธีการ

การเข้าใช้งานในเครือข่ายไร้สายในโหมดการทำงานแบบกระจายนั้น ไม่เหมาะสำหรับที่จะทำการรับประกันคุณภาพของข้อมูล เนื่องจากการเข้าใช้สื่ออยู่บนพื้นฐานของการแย่งกันใช้ช่องสัญญาณ และไม่มีสถานีกลางคอยควบคุมการรับส่งของสถานีที่ร้องขอเข้ามาใช้งาน ดังนั้นเมื่อมีสถานีต่างๆ ร้องขอการเข้าใช้งานจำนวนมาก จะเกิดปัญหาการชนกันของสัญญาณ ซึ่งอาจจะทำให้ ณ เวลานั้นอาจจะไม่สามารถเข้าใช้งานได้เลย หรือถ้าใช้วิธีการกำหนดลำดับความสำคัญ โดยการปรับค่าเวลาช่องว่างระหว่างเฟรม ซึ่งถ้าหากใช้วิธีการนี้ อาจจะทำให้เกิดปัญหาของการร้องขอการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่า อาจจะไม่สามารถเข้าใช้งานได้

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการรับประกันคุณภาพบนพื้นฐานของลำดับความสำคัญ และการควบคุมการรับเข้าที่เรียกว่า PHCCA (Priority based HCCA) ซึ่งอยู่ในโหมดการทำงานแบบรวมศูนย์ โดยมีสถานีกลางทำหน้าที่คอยตัดสินใจในการควบคุมการรับเข้าใช้สื่อของระบบ และแบ่งลำดับความสำคัญของการร้องขอการเข้าใช้งานเป็น 3 คลาส (ในมาตรฐานไม่ได้มีการแบ่งลำดับความสำคัญ) คลาสเหล่านี้จะถูกอ้างอิงมาจาก IEEE 802.3d

คลาส 1 เป็นคลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงสุด เหมาะสำหรับ โปรแกรมประยุกต์ประเภทเสียง เช่น VoIP คลาส 2 เป็นคลาสที่มีความสำคัญลำดับรองลงมา เหมาะสำหรับ โปรแกรมประยุกต์ประเภทวิดีโอ และคลาส 3 เป็นคลาสที่ต่ำที่สุด เหมาะสำหรับ FTP หรือ HTTP ใดๆก็ตาม

อาจจะแบ่งตามลำดับความสำคัญของผู้ใช้งานแทนก็ได้ เช่น ผู้ใช้งานเป็นผู้บริหาร จัดอยู่คลาส 1 หรือผู้ใช้งานเป็นพนักงานทั่วไปอาจจะอยู่คลาส 3

1. การทำงานที่ฝั่งร้องขอการเข้าใช้งาน

สถานีที่ร้องขอการเข้าใช้งาน หรือ QSTA จะส่งเฟรมร้องขอการเข้าใช้งานไปยังสถานีควบคุมหรือ QAP โดยเฟรมจะบอกความต้องการของทรัพยากรต่างๆ ที่ต้องการ ได้แก่ ขนาดของเฟรม อัตราเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งข้อมูล ค่า RSI และระดับความสำคัญของข้อมูล

2. กระบวนการพิจารณาการรับเข้า

การควบคุมการรับเข้านั้นจะขึ้นอยู่กับลำดับความสำคัญของการร้องขอ โดยการร้องเพื่อที่สนับสนุนการร้องขอของลำดับความสำคัญสูงๆ ซึ่งอาจจะมาทีหลัง ซึ่งในขณะนั้นแบนด์วิดท์ได้ถูกใช้ไปจนหมดแล้ว และระบบจะดำเนินการตามวิธีการทำงานดังภาพที่ 11 รายละเอียดกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

```

For each new request
  If a new request is class#3
    If ( $B_R < B_A$ ), accept the request
    Else reject the request
  Else If a new request is class#2
    If ( $B_R < (B_A + B_{B3})$ ), accept the request
    Else reject the request
  Else If a new request is class#1
    If ( $B_R < B_A + B_{B3}$ ), accept the request
    Else If ( $B_R < (B_A + B_{B3} + B_{B2})$ ), accept the request
    Else reject the request
  Else
    reject the request
  
```

ภาพที่ 11 กระบวนการควบคุมการรับเข้า

3. วิธีการยืมแบนด์วิดท์

เซสชันที่มีลำดับความสำคัญสูงจะสามารถยืมแบนด์วิดท์จากเซสชันที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่าได้ กระบวนการวิธีการยืมคืนแบนด์วิดท์แสดงดังต่อไปนี้

ให้ B_T คือแบนด์วิดท์ทั้งหมดของระบบ และ B_A คือแบนด์วิดท์ของระบบที่สามารถเอาไปใช้ได้ B_{R1}, B_{R2}, B_{R3} คือแบนด์วิดท์ที่ร้องขอสำหรับคลาส 1, 2 และ 3 ตามลำดับ B_1, B_2 และ B_3 คือแบนด์วิดท์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของคลาส 1, 2 และ 3 ตามลำดับ แบนด์วิดท์สำหรับแต่ละคลาสนั้นจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ตัวอย่าง เช่น B_{B3} และ B_{NB3} สำหรับคลาส 3 ให้ B_{B3} คือแบนด์วิดท์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของคลาส 3 ที่สามารถถูกยืมโดยคลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่า เช่น คลาส 1 และ คลาส 2 และให้ B_{NB3} คือแบนด์วิดท์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่ไม่สามารถถูกยืมสำหรับคลาสอื่นได้ หรือเป็นพื้นที่ที่จองเอาไว้สำหรับคลาส 3 เพื่อป้องกันปัญหาการใช้งานไม่ได้ของคลาส 3 เนื่องจากการเข้าใช้งานของคลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่า แบนด์วิดท์ที่จองไว้นั้นจะจงเป็นพื้นที่ขนาดเล็กเมื่อเทียบกับแบนด์วิดท์ทั้งหมด ถ้าการจัดสรรแบนด์วิดท์สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยปราศจากการจองเอาไว้แล้ว อาจจะทำให้คลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่าไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากไม่สามารถไปตัดการเชื่อมต่อการใช้งานของเซสชันที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาการใช้งานของคลาส 3 ไม่ได้เนื่องจากการเข้าใช้งานของคลาสที่สูงกว่า

สังเกตได้ว่า B_{NB1} ไม่มีความจำเป็นต้องกำหนดขึ้นมา เพราะว่าเป็นคลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงสุด ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องป้องกันสำหรับปัญหาสแตร์เวชัน ดังนั้น

$$B_A = B_T - \sum_{i=1}^3 B_i \quad (20)$$

$$B_{B2} = B_2 - B_{NB2} \quad (21)$$

$$B_{B3} = B_3 - B_{NB3} \quad (22)$$

3.1 การร้องขอเข้าใช้งานของคลาส 1

คลาส 1 เป็นคลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงสุด ดังนั้นจึงสามารถยืมแบนด์วิดท์จากคลาส 2 และ 3 ได้ แต่ไม่ทั้งหมด เนื่องจากคลาส 2 และ คลาส 3 มีการจองแบนด์วิดท์เพื่อป้องกันปัญหาการใช้งานไม่ได้ของคลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่า ระบบจะตรวจสอบและยอมรับการร้องขอก็ต่อเมื่อ ถ้าแบนด์วิดท์ทั้งหมดที่ได้รับจากการยืมคลาส 2 และคลาส 3 มีค่ามากกว่าการร้องขอแบนด์วิดท์ของคลาส 1 ดังแสดงในสมการที่ (23)

$$B_{R1} \leq B_A + B_{B2} + B_{B3} \quad (23)$$

กระบวนการยืมจะเริ่มจากคลาส 3 (เป็นคลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำที่สุด) โดยการหาค่า B_{B3} (แสดงในสมการที่ 22) เราได้กำหนดวิธีการแบบง่ายๆ สำหรับการตัดการเชื่อมต่อเซสชันออกไป โดยที่เซสชันที่อยู่ในระบบนานที่สุดจะถูกตัดการเชื่อมต่อออกไปก่อน

หลังจากที่ยืมแบนด์วิดท์มาจากคลาส 3 แล้ว และแบนด์วิดท์ยังคงไม่เพียงพอสำหรับการร้องขอของคลาส 1 ($B_A + B_{B3} < B_{R1}$), คลาส 2 จะถูกเข้าสู่กระบวนการถูกยืม B_{B2} (แสดงในสมการที่ 21) โดยที่จะตัดการเชื่อมต่อเซสชันที่อยู่ในระบบนานที่สุดออก คลาส 1 ที่ร้องขอจะยอมรับได้เพียงอย่างเดียวเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขของสมการที่ 23 ถ้าเป็นกรณีอื่นๆ จะปฏิเสธไป

3.2 การร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 2

คลาส 2 เป็นคลาสที่มีความสำคัญลำดับที่ 2 ดังนั้นจึงสามารถยืมแบนด์วิดท์จากคลาส 3 มาได้ การร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 2 จะยอมรับได้ก็ต่อเมื่อสอดคล้องกับสมการที่ (24) กรณีอื่นๆ จะทำการปฏิเสธการร้องขอนั้นออกไป

$$B_{R2} \leq B_A + B_{B3} \quad (24)$$

B_{B3} จะทำการตัดการเชื่อมต่อเซสชันที่นานที่สุดออกไปของคลาส 3

3.3 การร้องขอการขอเข้าใช้งานของคลาส 3

คลาส 3 เป็นคลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำที่สุด ดังนั้นจึงไม่สามารถยืมแบนด์วิดท์จากคลาสอื่นๆ ได้ ดังนั้นการที่จะรับคลาส 3 เข้ามาใช้งานได้ต้องสอดคล้องกับสมการที่ (25) กรณีอื่นๆ จะถูกปฏิเสธการขอเข้าใช้งาน

$$B_{R3} \leq B_A \quad (25)$$

3.4 การคืนแบนด์วิดท์ที่ถูกยึดไป

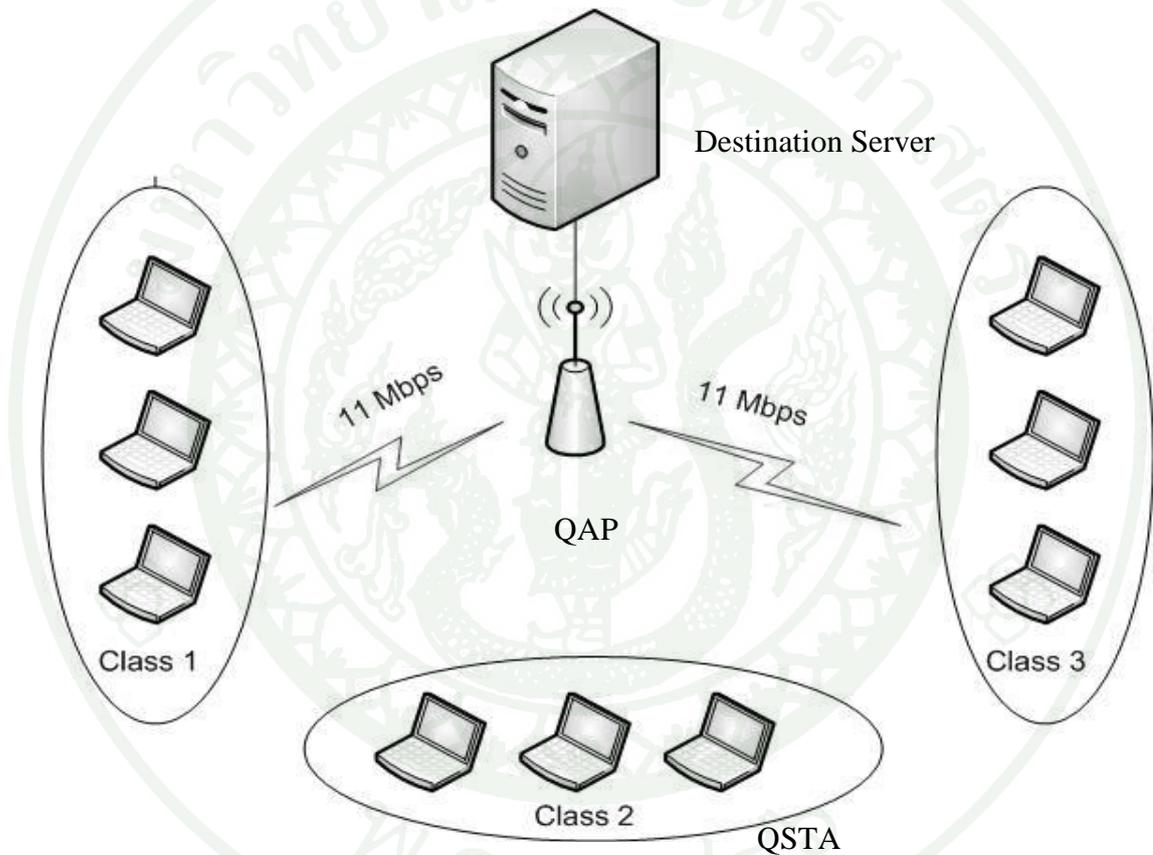
หลังจากที่เซสชันใช้งานเสร็จเรียบร้อยแล้ว (QSTA เลิกการใช้เซสชันนั้น) ระบบจะไม่คืนแบนด์วิดท์โดยตรงไปยังคลาสที่ถูกยึด แต่จะคืนแบนด์วิดท์ไปยังส่วนกลาง (B_A)



ผลและวิจารณ์

ผล

งานวิจัยนี้ใช้การทดสอบโดยใช้โปรแกรมจำลองเลชัน NS (Network Simulator) เวอร์ชัน 2.29 โดยได้ลงแพตช์ (patch) ns2hcca-2.29-060823 เพิ่มเติมเพื่อจำลองการทำงานในโหมด HCCA



ภาพที่ 12 รูปแบบการเชื่อมต่อที่ใช้ในการทดลอง

รูปแบบการเชื่อมต่อที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 12 โดยประกอบไปด้วย แอคเซสพอยต์ เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งเป็นเซิร์ฟเวอร์ปลายทาง โดยที่ แอคเซสพอยต์เชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ผ่านทางอีเธอร์เน็ตเพื่อป้องกันปัญหาคอขวดที่อาจจะเกิดขึ้นตรงจุดนี้ แอคเซสพอยต์เชื่อมต่อกับสถานีที่ร้องขอการเข้าใช้งานโดยใช้มาตรฐาน IEEE802.11b ซึ่งมีความเร็วที่ 11 Mbps แต่ละสถานีร้องขอการเข้าใช้งานแบบ CBR (Constant bit rate)

การทดลองที่ 1

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อตรวจสอบดูว่าขนาดของแบนด์วิดท์ที่ร้องขอ มีผลต่อการเข้าใช้งานหรือไม่

2. วิธีการทดลอง

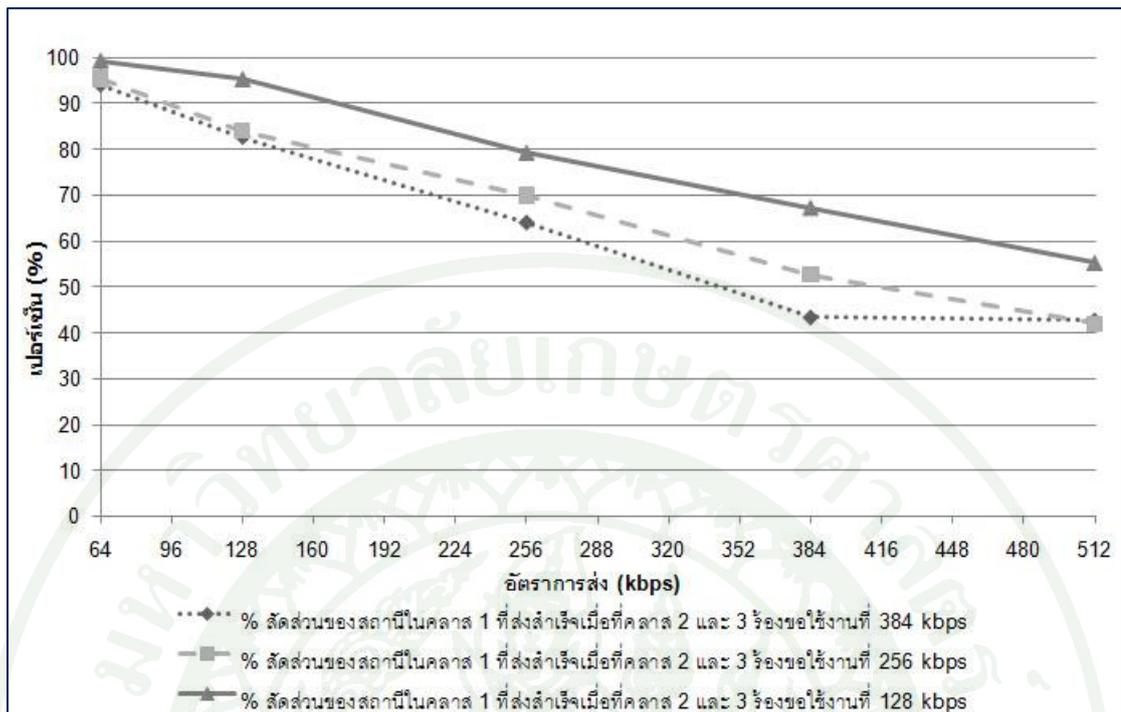
1. วิธีการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 12
2. ทดลองในโหมดการทำงานแบบ HCCA
3. กำหนดให้ระยะเวลาการเข้าใช้งานของแต่ละสถานีคือ 50 วินาที
4. การทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 คลาส โดยที่แต่ละคลาสจะมีลำดับความสำคัญที่เท่ากัน และแต่ละคลาสจะประกอบไปด้วยจำนวนสถานี 10 สถานี
5. ทดลองโดยการกำหนดการร้องขอขนาดแบนด์วิดท์ที่ต้องการของคลาส 2 และคลาส 3 มีค่าเท่ากัน และทำการปรับค่าการร้องขอขนาดแบนด์วิดท์ที่ต้องการของคลาส 1 เป็นค่าต่างๆ โดยมีค่า 64, 128, 256, 384 และ 512 kbps ตามลำดับ
6. ผลการทดลองในแต่ละจุดที่ได้ เกิดจากการทำการทดลองเป็นจำนวน 15 ครั้งแล้วนำค่ามาเฉลี่ย

3. ผลการทดลองที่ 1

ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 13 แกนแนวนอนแสดงถึงแบนด์วิดท์ที่ต้องการใช้งานของคลาส 1 แกนแนวตั้งแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสถานีที่อยู่ในคลาส 1 ที่สามารถเข้าใช้งานได้ และไม่ถูกละทิ้งระหว่างใช้งาน

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 1

ภาพที่ 13 แสดงให้เห็นว่าขนาดการร้องขอ ของแบนด์วิดท์ที่ใช้งาน กรณีที่ใช้แบนด์วิดท์มาก โอกาสที่จะสามารถเข้าใช้งานได้น้อย ขณะเดียวกันเมื่อแบนด์วิดท์ที่ต้องการใช้มีขนาดน้อย จะมีโอกาสได้เข้าใช้งานได้สูงกว่า



ภาพที่ 13 สัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของสถานีในคลาส 1 ที่ส่งสำเร็จเมื่อเทียบกับคลาส 2 และ 3 แบบ HCCA โดยที่ทำการปรับเปลี่ยนค่าความต้องการแบนด์วิธของคลาส 2 และ 3 ของการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อตรวจสอบว่าระยะเวลาการเข้าใช้งาน มีผลต่อการเข้าใช้งานหรือไม่

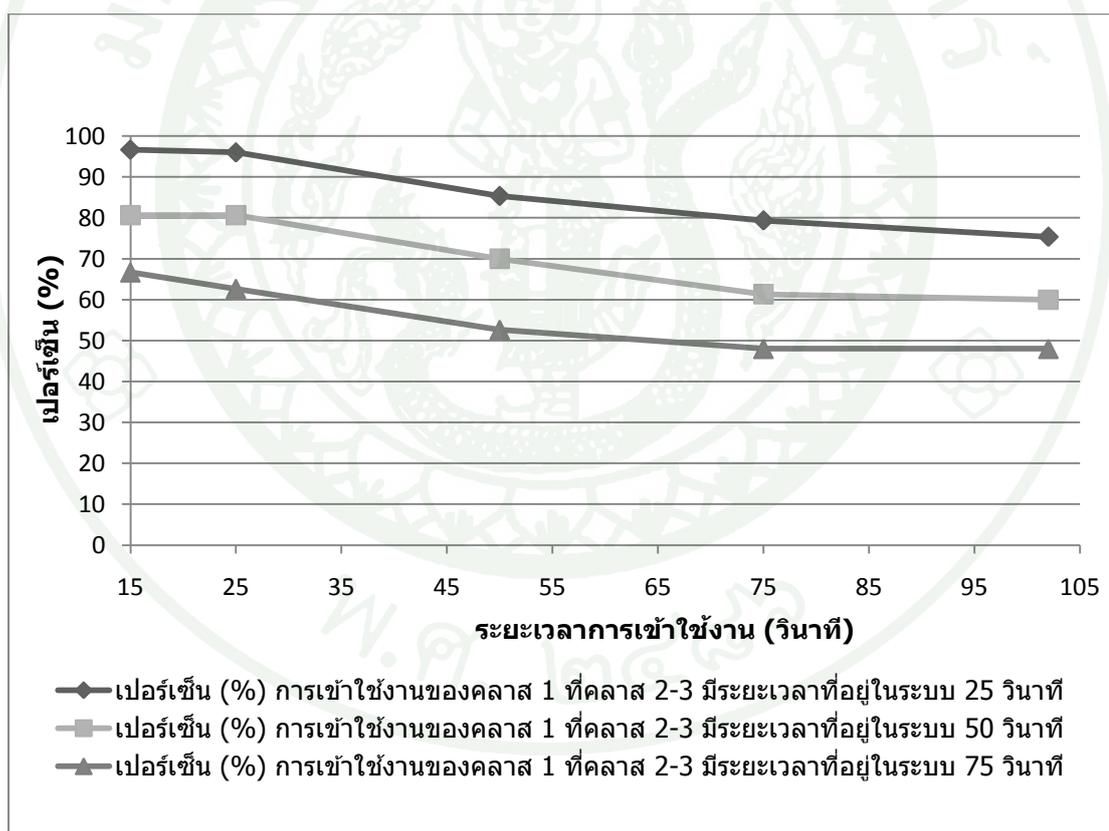
2. วิธีการทดลอง

1. ทดลองในโหมด HCCA
2. กำหนดให้แบนด์วิธของคลาส 1, 2 และ 3 มีขนาดเท่ากัน (256 kbps)
3. ทดลองโดยการกำหนดระยะเวลาการใช้งานของคลาส 2 และ 3 มีค่าเท่ากันและทำการปรับค่าของระยะเวลาการเข้าใช้งานเป็นค่าต่างๆ โดยมีค่า 15, 25, 50, 75 และ 100 วินาที ตามลำดับ

4. การทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 คลาส โดยที่แต่ละคลาสจะมีลำดับความสำคัญที่เท่ากัน และแต่ละคลาสจะประกอบไปด้วยจำนวนสถานี 10 สถานี
5. ผลการทดลองในแต่ละจุดที่ได้เกิดจากการทำการทดลองเป็นจำนวน 15 ครั้งแล้วนำค่ามาเฉลี่ย

3. ผลการทดลองที่ 2

ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 14 แกนแนวนอนแสดงถึงระยะเวลาที่คลาส 1 เข้าใช้งาน แกนแนวตั้งแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนสถานีที่อยู่ในคลาส 1 ที่สามารถเข้าใช้งานได้และไม่ถูกตัดการเชื่อมต่อระหว่างใช้งาน



ภาพที่ 14 เปอร์เซ็นของสถานีในคลาส 1 ที่ส่งสำเร็จแบบ HCCA โดยที่ทำการปรับเปลี่ยนระยะเวลาที่อยู่ในระบบของคลาส 2 และ 3 ของการทดลองที่ 2

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 2

เมื่อเพิ่มระยะเวลาการเข้าใช้งานจะส่งผลให้การเข้าใช้งานใช้งานได้ลดลง

ตารางที่ 6 ค่าที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่การทดลองที่ 3.1 – 3.9

ลำดับที่	ตัวแปรสำหรับการทดลอง	ค่าที่ตั้ง
1	ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง	400 วินาที
2	เวลาที่ร้องขอการเข้าใช้งานใช้วิธีการสุ่มแบบยูนิฟอร์ม	ช่วงที่สุ่ม 0 – 350 วินาที
3	ระยะเวลาการใช้งาน	50 วินาที
4	กำหนดให้แต่ละสถานีร้องขอการเข้าใช้งานแบนด์วิดท์ที่เท่ากันที่	256 kbps
5	แต่ละสถานีร้องขอการเข้าใช้งาน	1 ครั้ง
6	ผลการทดลองแต่ละจุด ใช้จำนวนผลการทดลอง 10 ครั้งแล้วจึงนำมาเฉลี่ย	-

การทดลองที่ 3.1

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบการเข้าใช้งานแบบมีลำดับความสำคัญของคลาส 1

2. วิธีการทดลอง

1. การทดลองจะแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็น 3 คลาส โดยแบ่งออกเป็นคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด คลาส 2 มีความสำคัญรองลงมา และคลาส 3 มีความสำคัญต่ำที่สุด แต่ละคลาสประกอบไปด้วย คลาส 1 เริ่มที่จำนวน 0 สถานี โดยเพิ่มทีละ 5 สถานีจนถึง 25 สถานี คลาส 2 จำนวน 10 สถานี และคลาส 3 จำนวน 10 สถานี

2. ไม่ได้จองพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการไม่สามารถใช้งานได้ของคลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่า เนื่องจากคลาสที่สูงกว่าเข้าใช้งาน

3. ผลการทดลองที่ 3.1

ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 15 ถึงภาพที่ 19 โดยภาพที่ 15 แสดงผลในรูปแบบของจำนวนเซสชันของแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ (สามารถเข้าใช้งานได้ และระหว่างการใช้งานไม่ถูกตัดการใช้งานออกไป) โดยที่แกนแนวดิ่งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงถึงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

ภาพที่ 16 แสดงเหมือนกับภาพที่ 15 แต่แสดงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยที่แกนแนวดิ่งแสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

ภาพที่ 17 แสดงจำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ที่แกนแนวดิ่งแสดงจำนวนการรับหรือการปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 แกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1 ภาพที่ 18 และ 19 แสดงจำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 และ 3 ตามลำดับ แกนแนวดิ่งแสดงจำนวนการรับเข้า หรือตัดการเข้าใช้งานหรือปฏิเสธการร้องขอ ของคลาส 2 ตามภาพที่ 18 และของคลาส 3 ตามภาพที่ 19 และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1 ของภาพที่ 18 และ 19

4. สรุปผลการทดลองที่ครั้งที่ 3.1

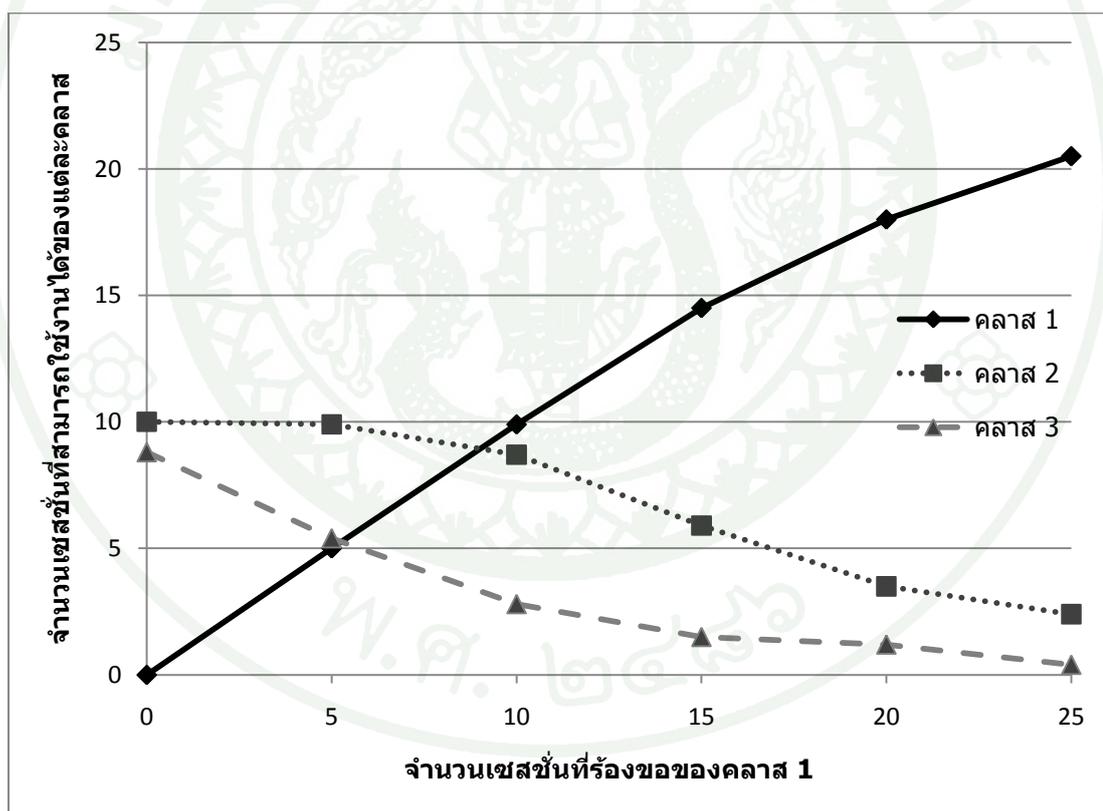
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มการร้องขอของเซสชันที่เป็นคลาส 1 จะส่งผลให้เซสชันที่สามารถใช้งานได้ของคลาส 2 และ 3 ลดลง (ดูได้จากภาพที่ 15, 16) เนื่องจากคลาส 1 มีลำดับความสำคัญที่สูงสุดจึงสามารถยืมแบนด์วิดท์จากคลาสที่ 2 และ 3 ได้

การใช้งานของคลาส 3 จะลดลงเร็วกว่าคลาส 2 ในช่วงที่คลาส 1 ร้องขอการเข้าใช้งานในจำนวนไม่เกิน 10 เซสชัน โดยดูจากภาพที่ 15 หรือ 16 เพราะว่าคลาส 3 มีลำดับความสำคัญที่ต่ำกว่าคลาส 2 ซึ่งระบบจะทำการตัดการเชื่อมต่อของคลาส 3 ก่อนคลาส 2 ส่วนช่วงที่คลาส 1 ร้องขอการเข้าใช้งานมากกว่า 10 เซสชัน การเข้าใช้งานของคลาส 2 จะลดลงในอัตราที่มากกว่าคลาส 3 เนื่องจาก คลาส 3 ได้ถูกตัดการเชื่อมต่อออกไปจนหมด (ดูได้จากภาพที่ 15 หรือ ภาพที่ 19 ที่การร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1 ที่ 25 เซสชัน) ระบบจึงตัดการเชื่อมต่อคลาส 2 เพื่อให้คลาส 1

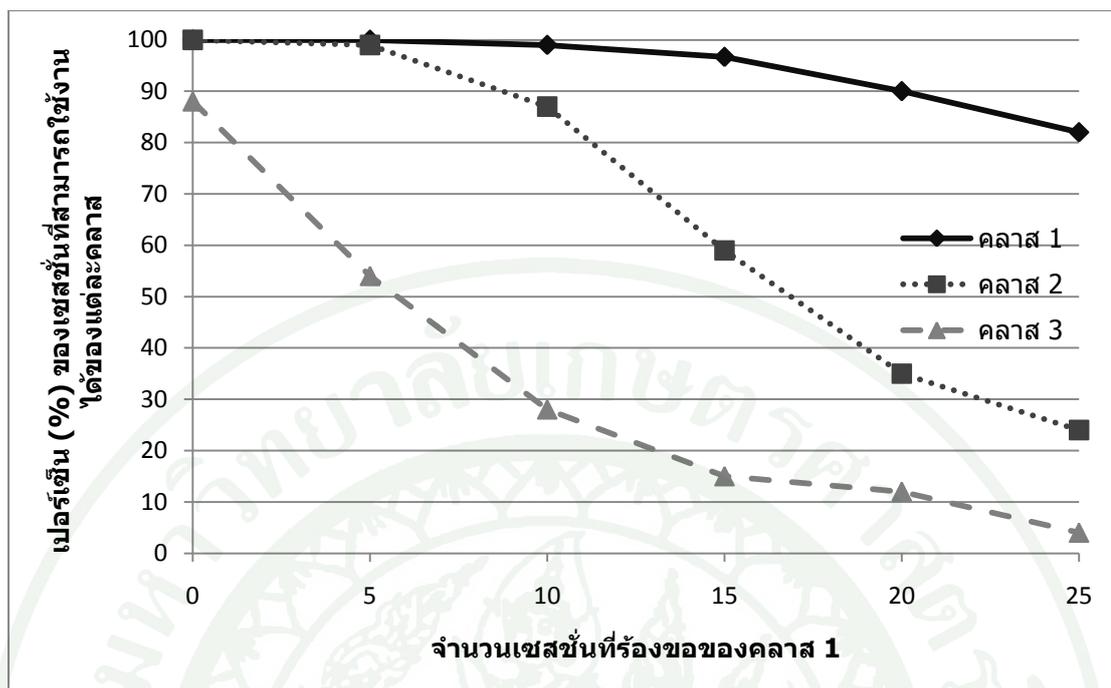
สามารถเข้าใช้งานได้ และในขณะเดียวกัน คลาส 1 ในช่วงท้ายๆ จะเริ่มไม่สามารถเข้าใช้งานได้ เนื่องจาก มีการเข้าใช้งานที่เยอะจน ระบบไม่สามารถให้บริการได้ จึงปฏิเสธการร้องขอของเซสชัน คลาส 1 ออกไป โดยดูได้จากภาพที่ 16 หรือ 17 ที่คลาส 1 เริ่มมีการถูกปฏิเสธการร้องขอ

ภาพที่ 17 คลาส 1 จะไม่มีการถูกตัดการใช้งานเนื่องจากเป็นคลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงสุด ดังนั้นจึงมีแค่ส่วนที่สามารถใช้งานได้และส่วนที่ถูกปฏิเสธ

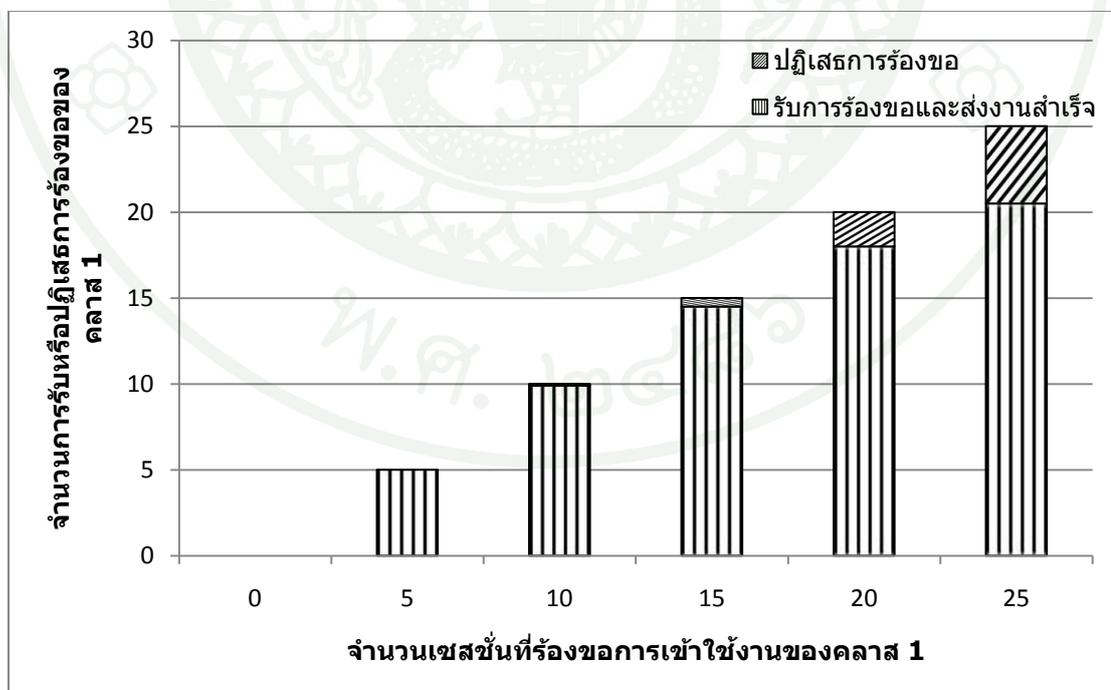
ที่การร้องขอของเซสชันคลาส 1 ที่ 25 เซสชัน จะเห็นได้ว่าคลาส 3 นั้น แทบจะไม่สามารถใช้งานได้เลย (จากภาพที่ 15 หรือ 19) เนื่องจาก ถูกแย่งการเข้าใช้งาน ดังนั้น ถ้าไม่มีการจองแบนด์วิดท์ไว้ จะส่งผลให้คลาสที่มีความสำคัญลำดับต่ำ ไม่สามารถใช้งานได้



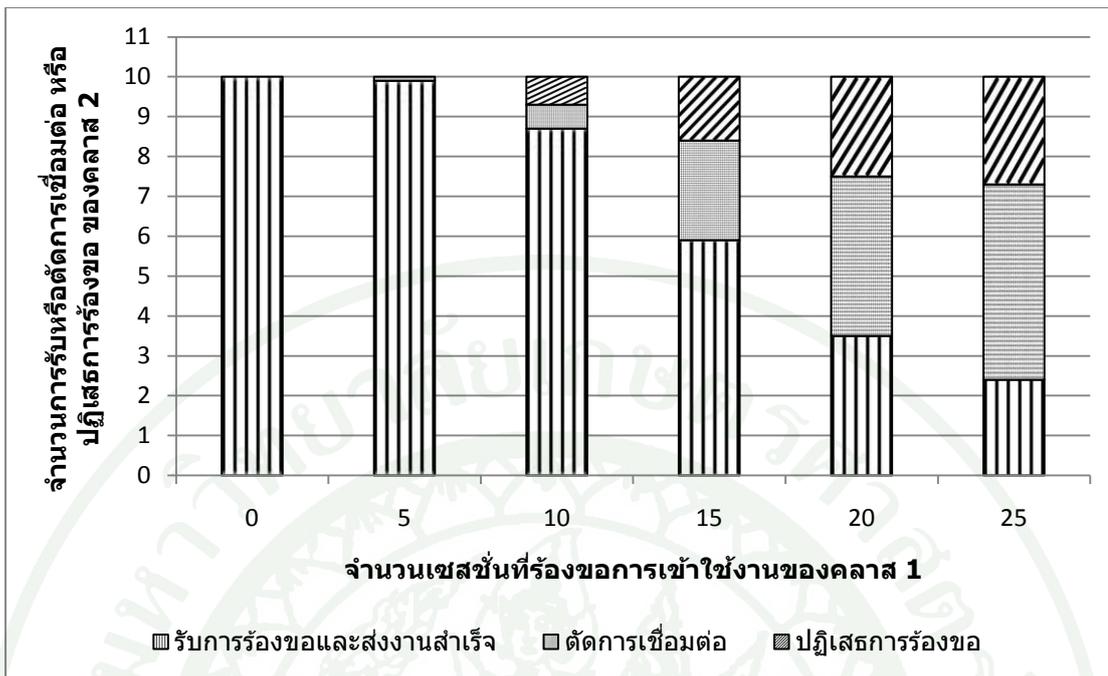
ภาพที่ 15 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.1



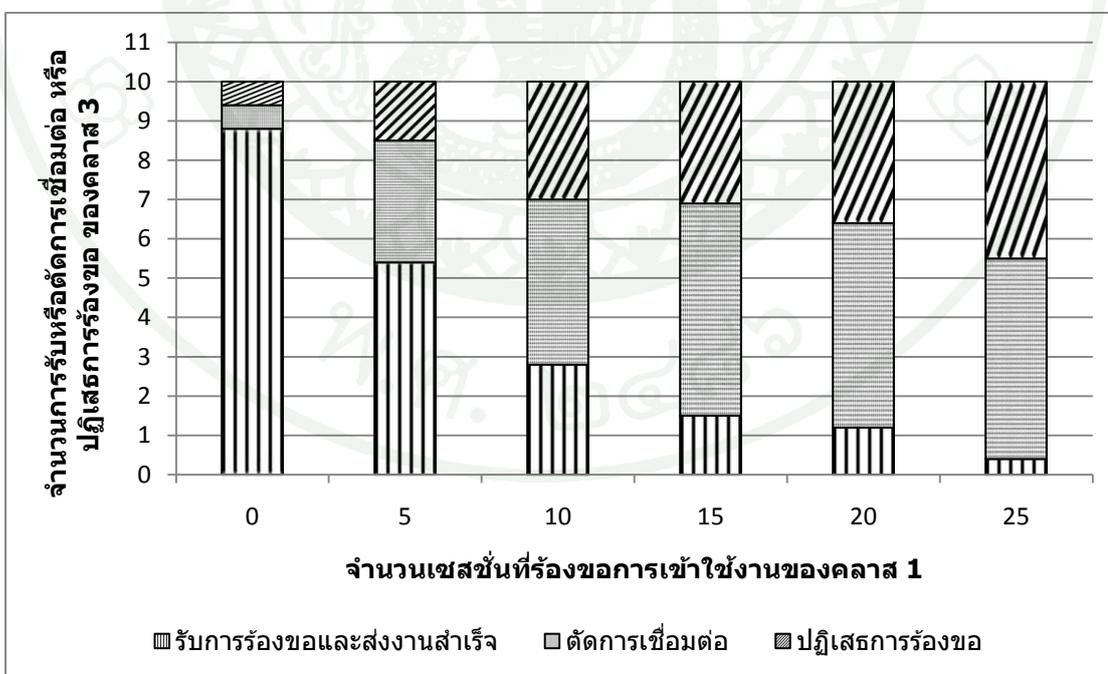
ภาพที่ 16 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.1



ภาพที่ 17 จำนวนการรับเข้าและฝึกเสริมการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.1



ภาพที่ 18 จำนวนการรับเข้า การตัดการใ้ใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.1



ภาพที่ 19 จำนวนการรับเข้า การตัดการใ้ใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.1

การทดลองที่ 3.2

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการเข้าใช้งานแบบมีลำดับความสำคัญของคลาส 2

2. วิธีการทดลอง

1. การทดลองจะแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็น 3 คลาส โดยแบ่งออกเป็นคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด คลาส 2 มีความสำคัญรองลงมา และคลาส 3 มีความสำคัญต่ำที่สุด แต่ละคลาสประกอบไปด้วย คลาส 1 จำนวน 10 สถานี คลาส 2 เริ่มที่จำนวน 0 สถานี โดยเพิ่มทีละ 5 สถานีจนถึง 25 สถานี และคลาส 3 จำนวน 10 สถานี

2. ไม่ได้จองพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการไม่สามารถใช้งานได้ของคลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่า เนื่องจากคลาสที่สูงกว่าเข้าใช้งาน

3. ผลการทดลองที่ 3.2

ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 20 - 24 ภาพที่ 20 แสดงจำนวนเซสชันของแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ (สามารถเข้าใช้งานได้ และระหว่างการใช้งานไม่ถูกตัดการใช้งานออกไป) โดยที่ค่อยๆ เพิ่มจำนวนการร้องขอของคลาส 2 โดยที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงถึงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 2

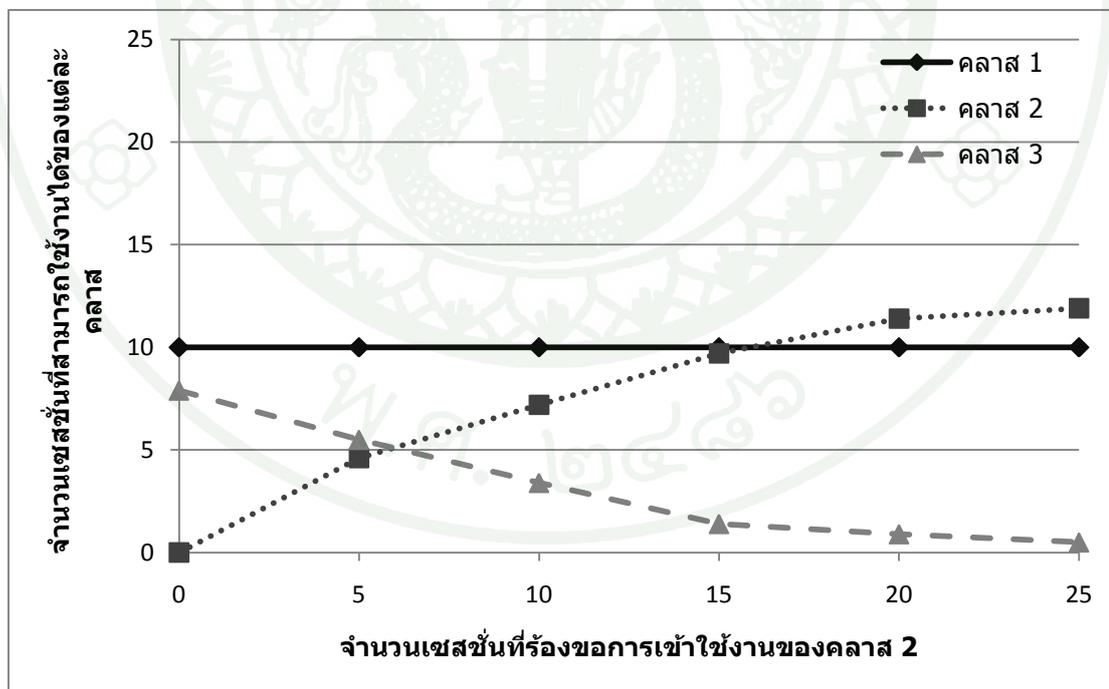
ภาพที่ 21 เหมือนกับภาพที่ 20 แต่แสดงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยที่แกนแนวตั้ง แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 2

ภาพที่ 22 แสดงจำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับหรือการปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 แกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

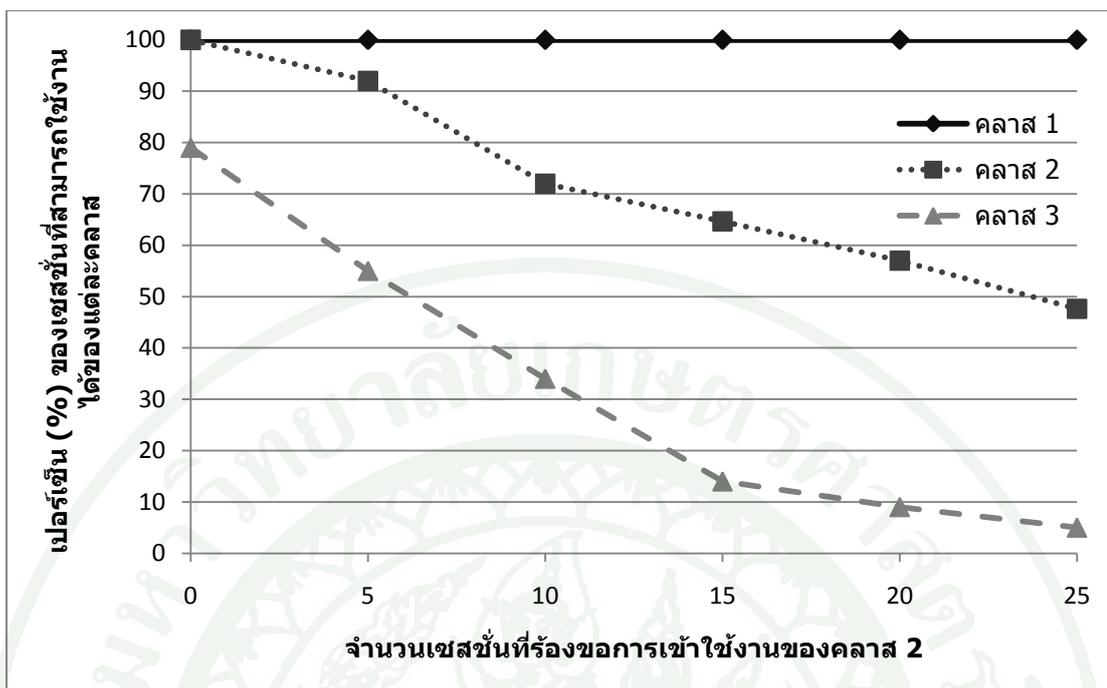
ภาพที่ 23 และ 24 แสดงจำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของ คลาส 2 และ 3 ตามลำดับ แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับเข้า หรือตัดการเข้าใช้งาน หรือปฏิเสธ การร้องขอ ของคลาส 2 ตามภาพที่ 23 และของคลาส 3 ตามภาพที่ 24 และแกนแนวนอนแสดง จำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 2 ของภาพที่ 23 และ 24

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3.2

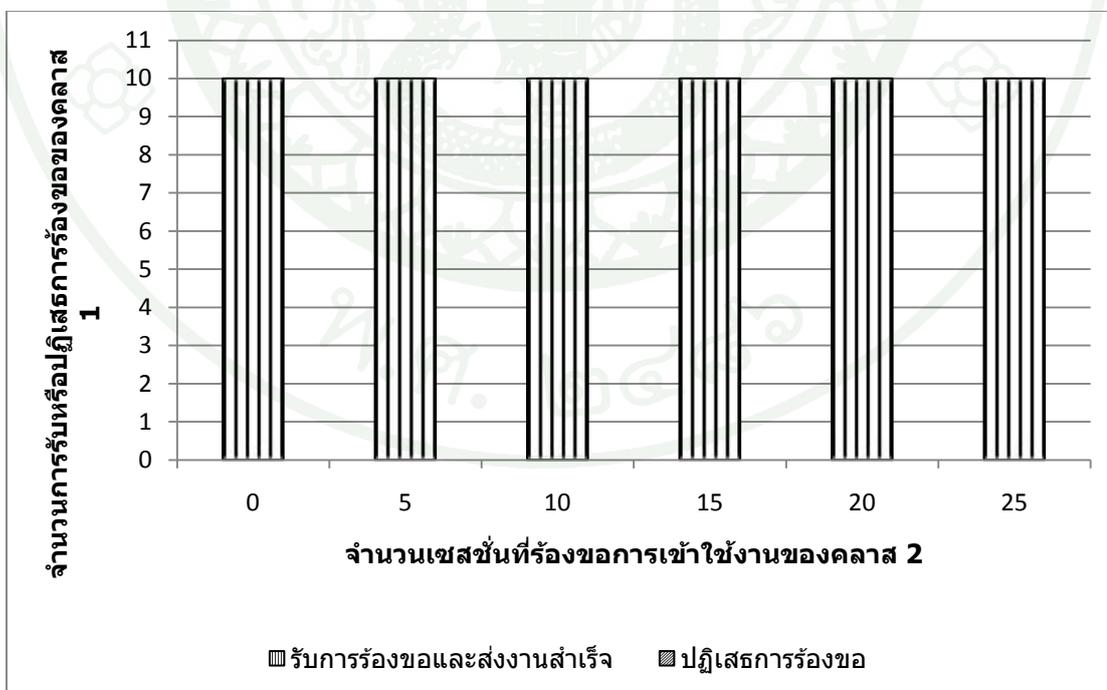
ภาพที่ 20 - 21 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนการร้องขอการเข้าใช้งานของเซสชันที่เป็น คลาส 2 นั้น ไม่มีผลต่อการเข้าใช้งานของคลาส 1 เนื่องจาก คลาส 2 มีลำดับความสำคัญที่ต่ำกว่า คลาส 1 จึงไม่สามารถยืมแบนด์วิดท์จากคลาส 1 ได้ แต่การเพิ่มขึ้นจำนวนการร้องขอของคลาส 2 นั้นจะมีผลต่อการเข้าใช้งานของคลาส 3 เนื่องจากถ้าคลาส 2 เพิ่มจำนวนการใช้งาน เมื่อระบบไม่มี พื้นที่ว่างเพียงพอจะไปทำการยืมคลาส 3 มาใช้โดยการ ตัดการเชื่อมต่อของคลาส 3 ออกไป ดังนั้น จึงเห็นจำนวนเซสชันการเข้าใช้งานของคลาส 3 ลดลง ขณะที่จำนวนเซสชันการเข้าใช้งานของ คลาส 2 เพิ่มขึ้น



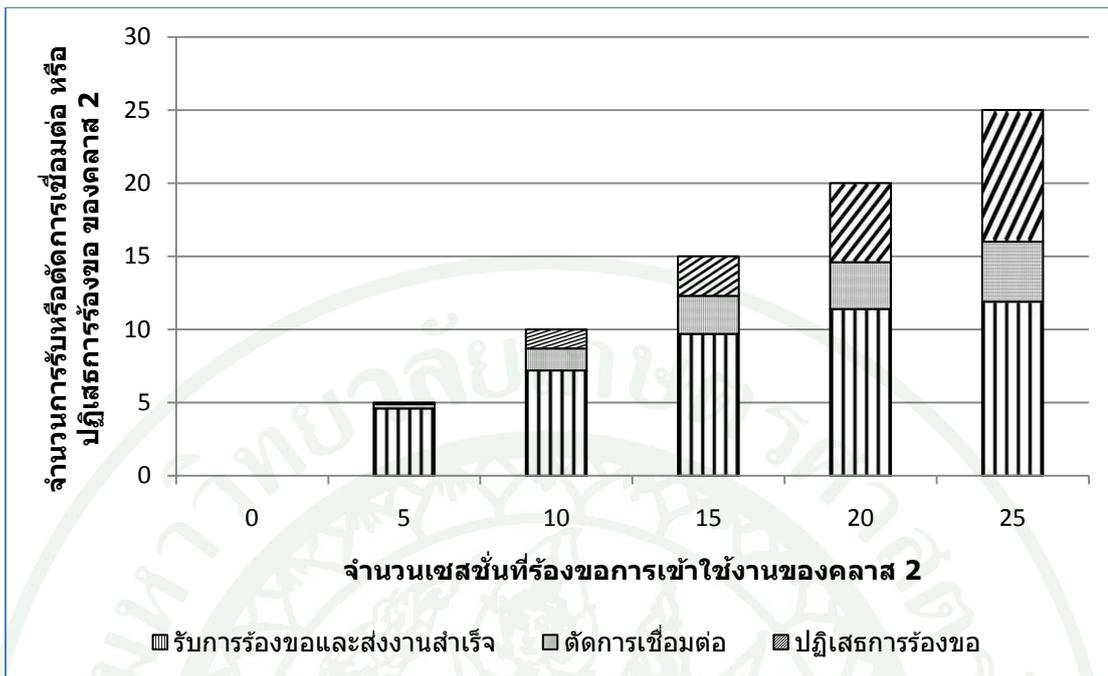
ภาพที่ 20 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.2



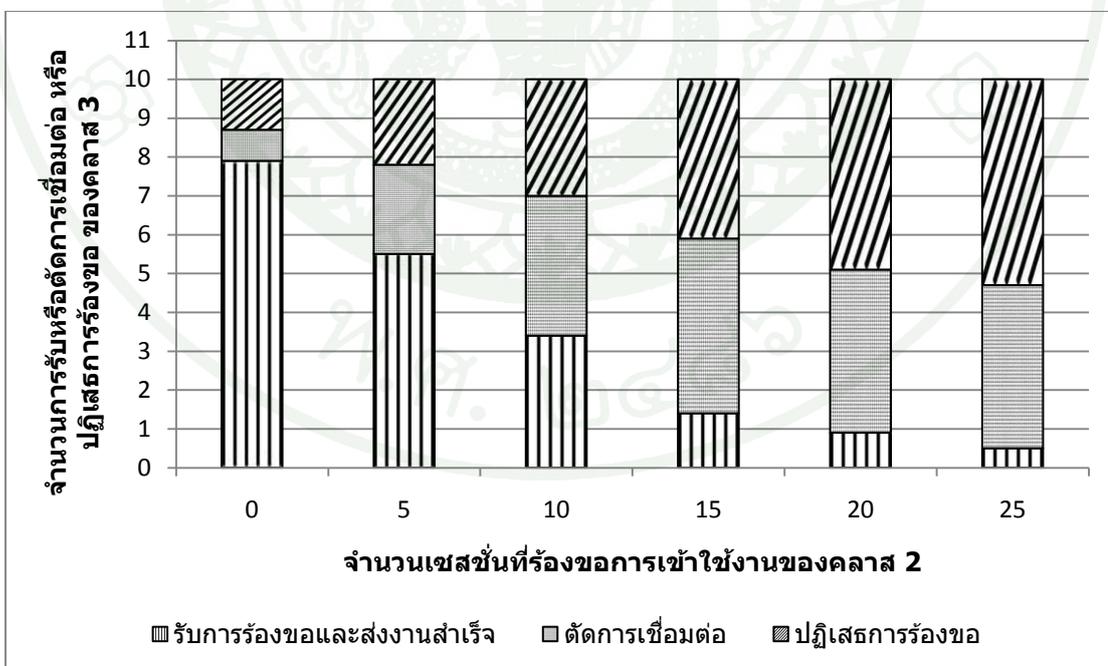
ภาพที่ 21 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.2



ภาพที่ 22 จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.2



ภาพที่ 23 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.2



ภาพที่ 24 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.2

ภาพที่ 24 เห็นได้ว่าจำนวนครั้งการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันในคลาส 3 เริ่มจะคงที่ (ที่การร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 2 ที่ 15-25 เซสชัน) เนื่องจากคลาส 3 ไม่มีเซสชันอยู่ในระบบทำให้คลาส 2 ยึด ส่งผลให้การปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 เพิ่มมากขึ้น ดูได้จากภาพที่ 23

การทดลองที่ 3.3

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบในการเข้าใช้งานแบบมีลำดับความสำคัญของคลาส 3

2. วิธีการทดลอง

1. การทดลองจะแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็น 3 คลาส โดยแบ่งออกเป็นคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด คลาส 2 มีความสำคัญรองลงมา และคลาส 3 มีความสำคัญต่ำที่สุด แต่ละคลาสประกอบไปด้วยคลาส 1 จำนวน 10 สถานี คลาส 2 จำนวน 10 สถานี และคลาส 3 เริ่มที่จำนวน 0 สถานี โดยเพิ่มทีละ 5 สถานีจนถึง 25 สถานี

2. ไม่ได้จองพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการไม่สามารถใช้งานได้ของคลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่า เนื่องจากคลาสที่สูงกว่าเข้าใช้งาน

3. ผลการทดลองที่ 3.3

ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 25-29 ภาพที่ 25 แสดงผลในรูปแบบของจำนวนเซสชันของแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ (สามารถเข้าใช้งานได้ และระหว่างการใช้งานไม่ถูกตัดการใช้งานออกไป) โดยที่ค่อยๆ เพิ่มจำนวนการร้องขอของคลาส 3 แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงถึงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 3

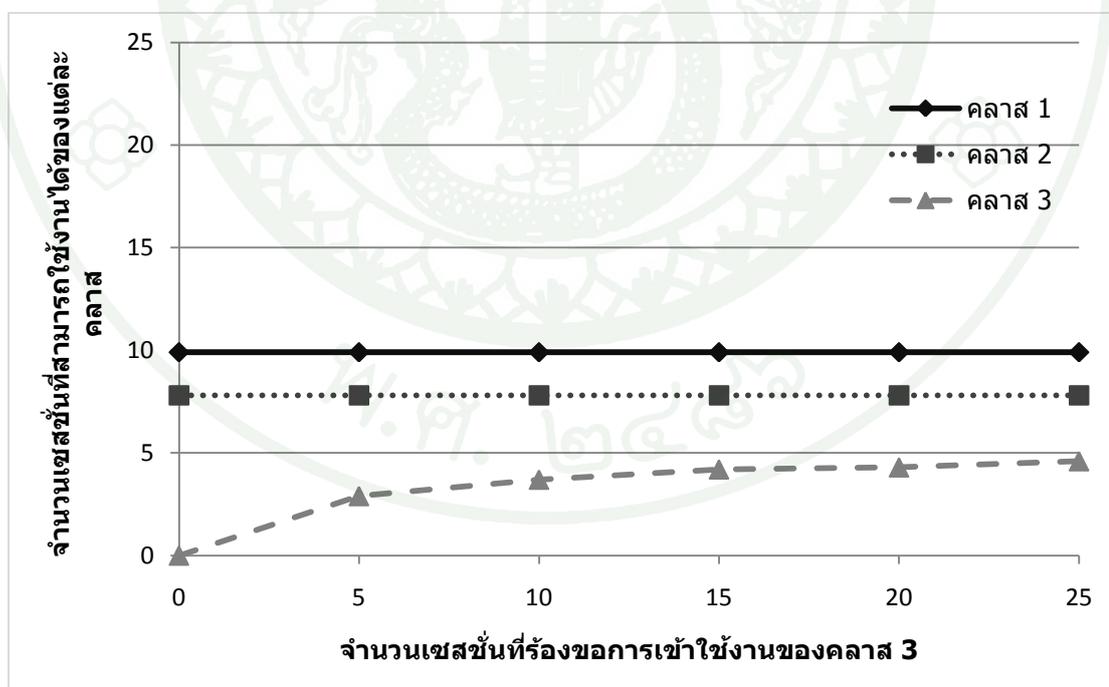
ภาพที่ 26 แสดงเหมือนภาพที่ 25 แต่แสดงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยที่แกนแนวตั้งแสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 3

ภาพที่ 27 แสดงจำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับหรือการปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 แกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

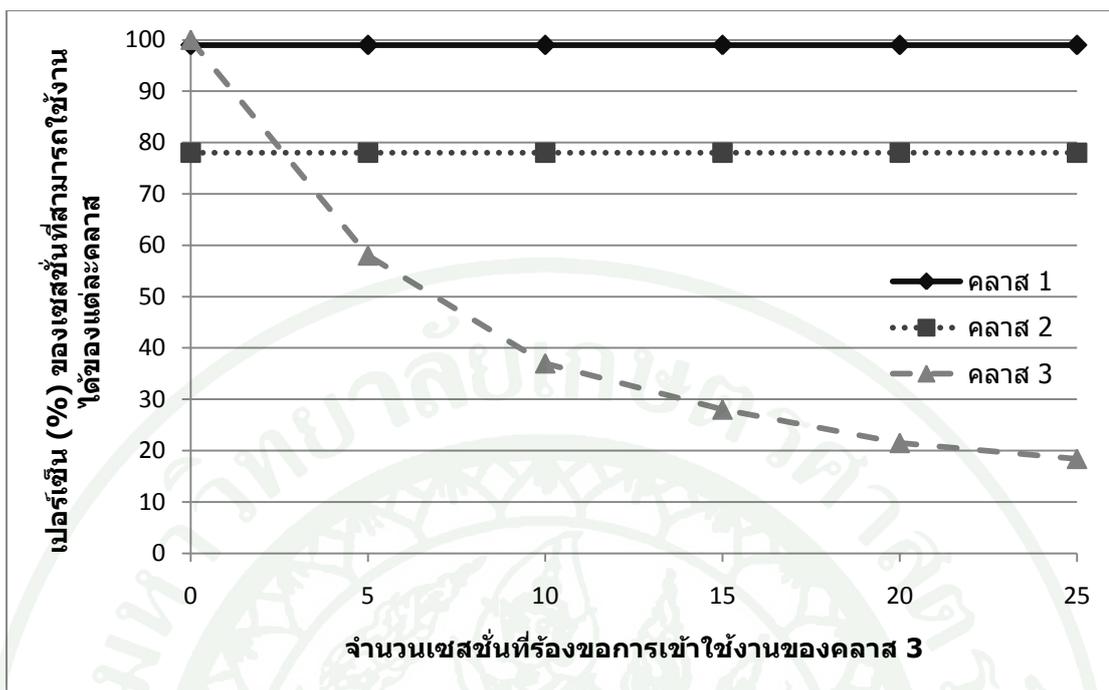
ภาพที่ 28 และ 29 แสดงจำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 และ 3 ตามลำดับ แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับเข้า หรือตัดการเข้าใช้งาน หรือปฏิเสธการร้องขอ ของคลาส 2 ตามภาพที่ 28 และของคลาส 3 ตามภาพที่ 29 และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 3 ของภาพที่ 28 และ 29

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3.3

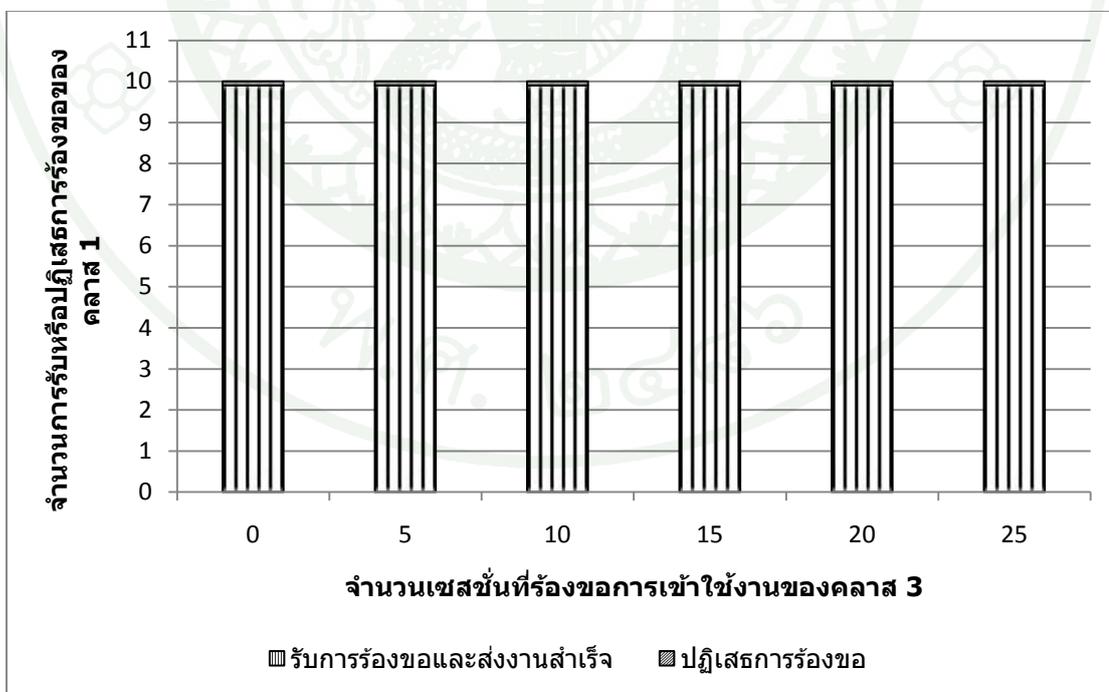
ภาพที่ 25 และ 26 เห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซสชันของการเข้าใช้งานของคลาส 3 นั้น ไม่มีผลต่อการเข้าใช้งานของคลาส 1 และ 2 เนื่องจากคลาส 3 มีลำดับความสำคัญที่ต่ำกว่าคลาส 1 และคลาส 2



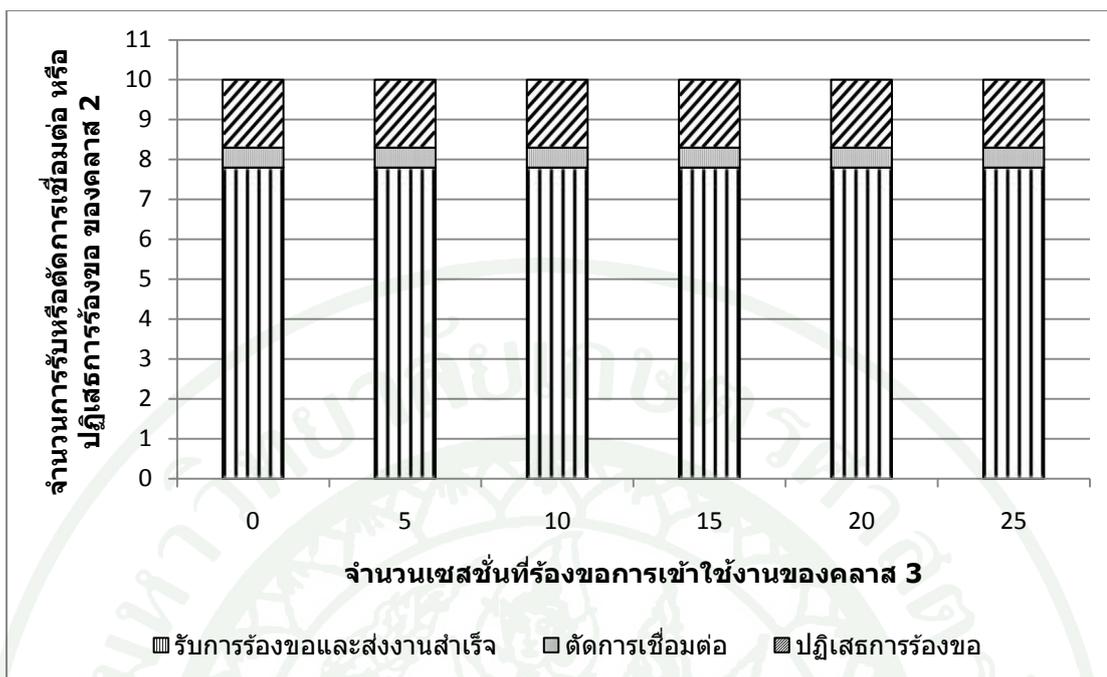
ภาพที่ 25 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.3



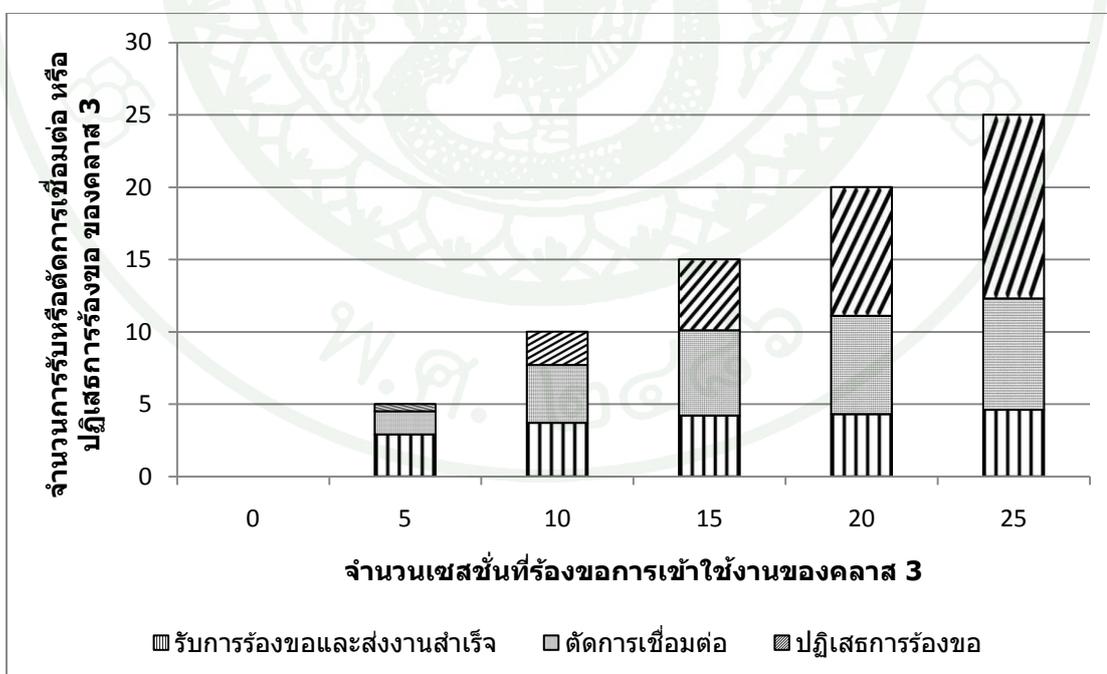
ภาพที่ 26 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.3



ภาพที่ 27 จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.3



ภาพที่ 28 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.3



ภาพที่ 29 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.3

การทดลองครั้งที่ 3.4

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบการเข้าใช้งานแบบมีลำดับความสำคัญของคลาส 1 กรณีที่มีการจองพื้นที่สำหรับคลาส 2 และ คลาส 3 อย่างละ 1 เซสชัน

2. วิธีการทดลอง

1. การทดลองจะแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็น 3 คลาส โดยแบ่งออกเป็นคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด คลาส 2 มีความสำคัญรองลงมา และคลาส 3 มีความสำคัญต่ำที่สุด แต่ละคลาสประกอบไปด้วยคลาส 1 เริ่มที่จำนวน 0 สถานี โดยเพิ่มทีละ 5 สถานีจนถึง 25 สถานี คลาส 2 จำนวน 10 สถานี และคลาส 3 จำนวน 10 สถานี
2. จองพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการเข้าใช้งานไม่ได้ของคลาส 2 และ 3 เนื่องจากการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญที่สูงกว่า อย่างละ 1 เซสชัน

3. ผลการทดลองที่ 3.4

ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 30 - 37 ภาพที่ 30 แสดงจำนวนเซสชันของแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ (สามารถเข้าใช้งานได้ และระหว่างการใช้งานไม่ถูกตัดการใช้งานออกไป) โดยที่ค่อยๆ เพิ่มจำนวนการร้องขอของเซสชันคลาส 1 โดยที่คลาส 2 และคลาส 3 สามารถใช้งานขั้นต่ำได้คลาสละ 1 เซสชัน แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงถึงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

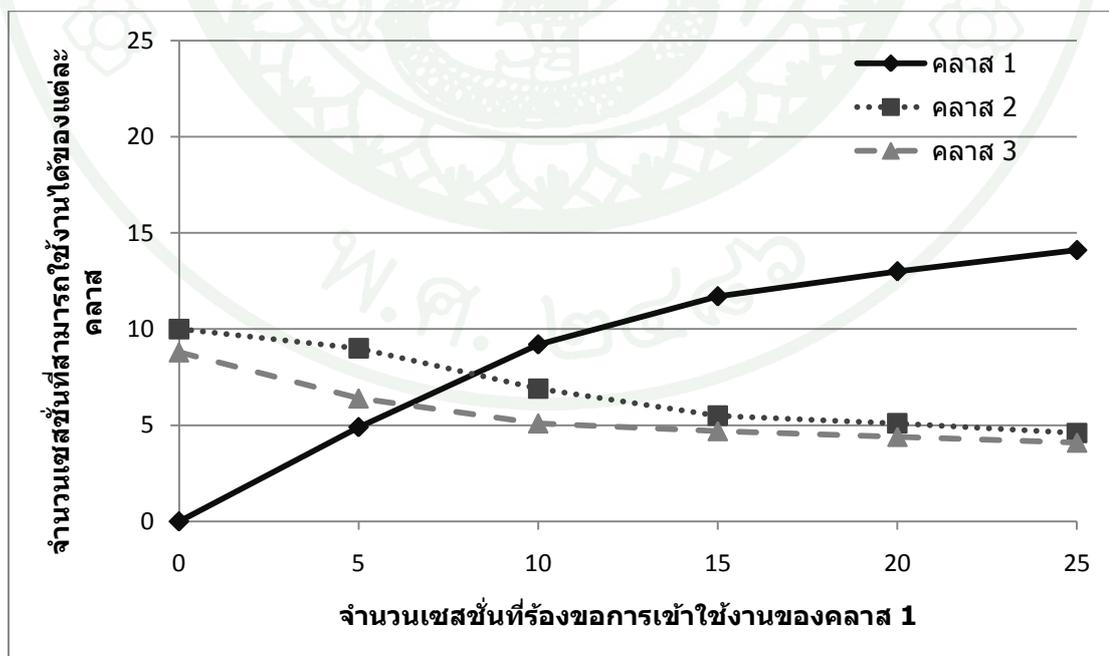
ภาพที่ 31 แสดงเหมือนภาพที่ 30 แต่แสดงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยที่แกนแนวตั้งแสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

ภาพที่ 32 แสดงจำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับหรือการปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 แกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

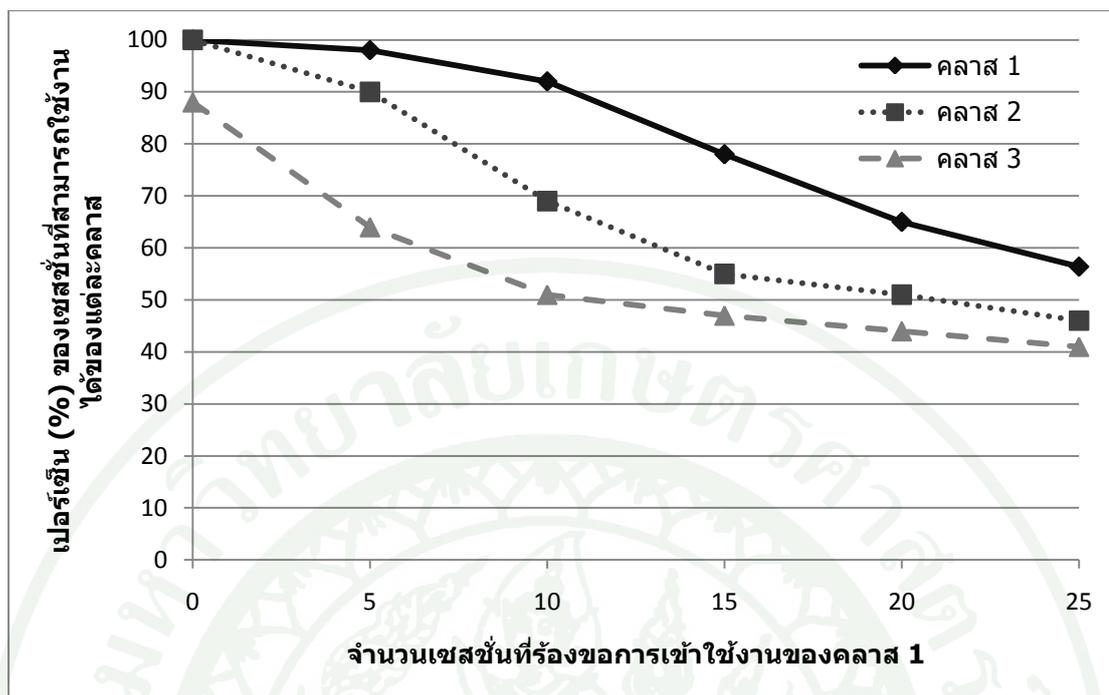
ภาพที่ 33 และ 34 แสดงจำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 และ 3 ตามลำดับ แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับเข้า หรือตัดการเข้าใช้งาน หรือปฏิเสธการร้องขอ ของคลาส 2 ตามภาพที่ 33 และของคลาส 3 ตามภาพที่ 34 และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1 ของภาพที่ 33 และ 34

ภาพที่ 35 แสดงจำนวนการเข้าใช้งานของคลาส 1 - 3 ใน 1 การทดลองจากทั้งหมด 10 การทดลอง โดยแกนแนวตั้งแสดงถึงจำนวนเซสชันที่ใช้งาน และแกนแนวนอนแสดงถึงเวลาในการทดลองในหน่วยวินาที

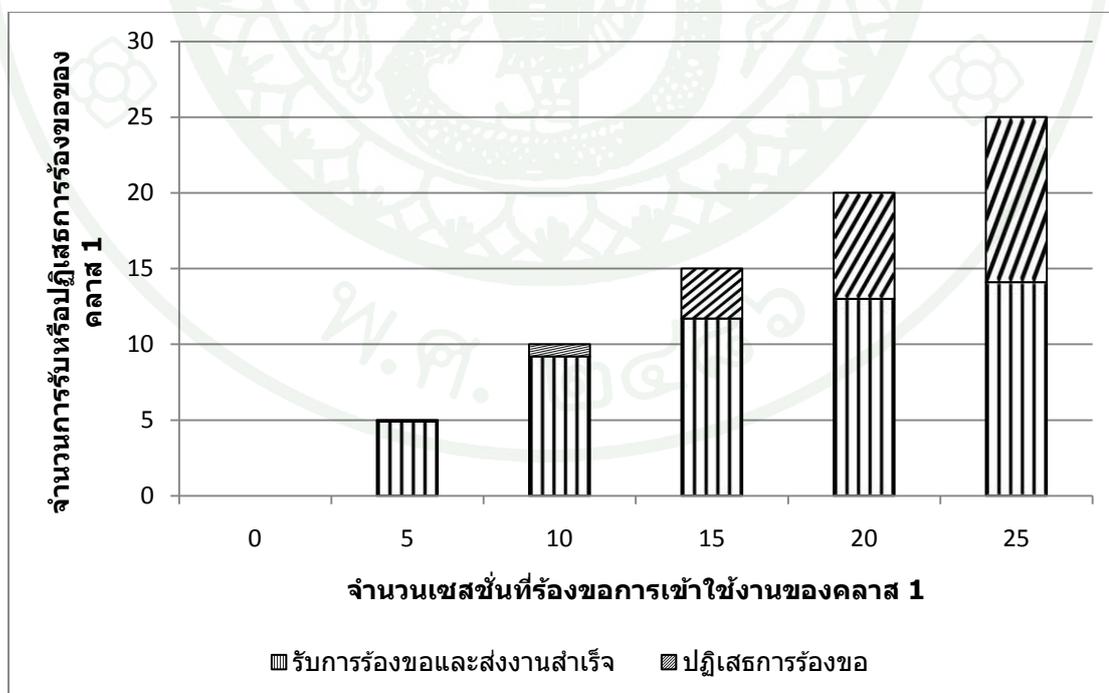
ภาพที่ 36 และ 37 แสดงจำนวนการเข้าใช้งานของคลาส 2 และคลาส 3 ตามลำดับ แกนแนวตั้งแสดงถึงจำนวนเซสชันที่ใช้งาน และแกนแนวนอนแสดงถึงเวลาในการทดลองในหน่วยวินาที ของภาพที่ 36 และ 37



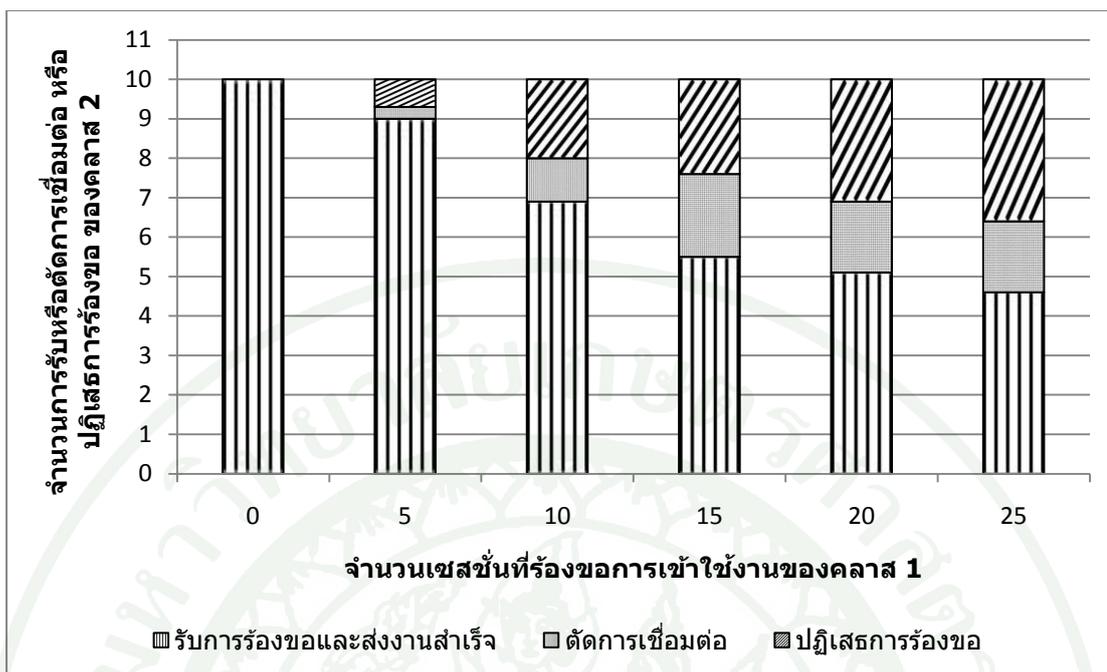
ภาพที่ 30 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.4



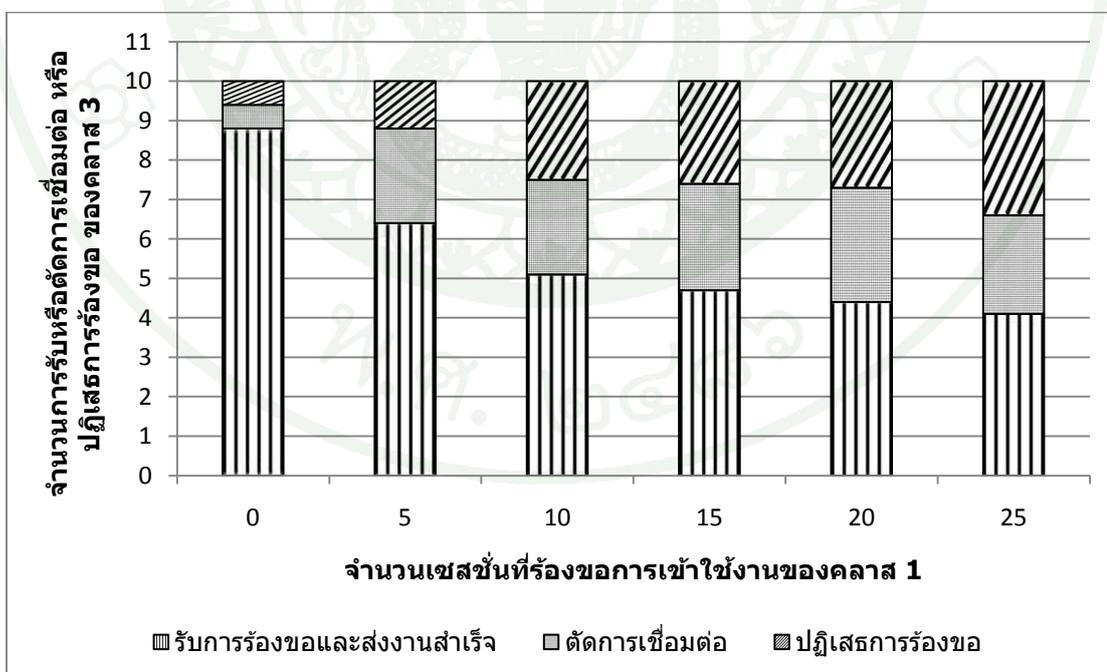
ภาพที่ 31 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.4



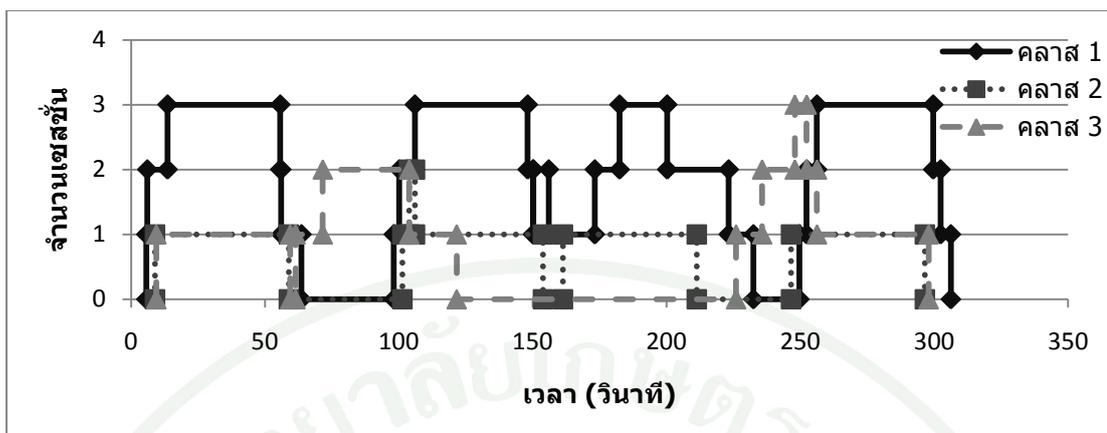
ภาพที่ 32 จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.4



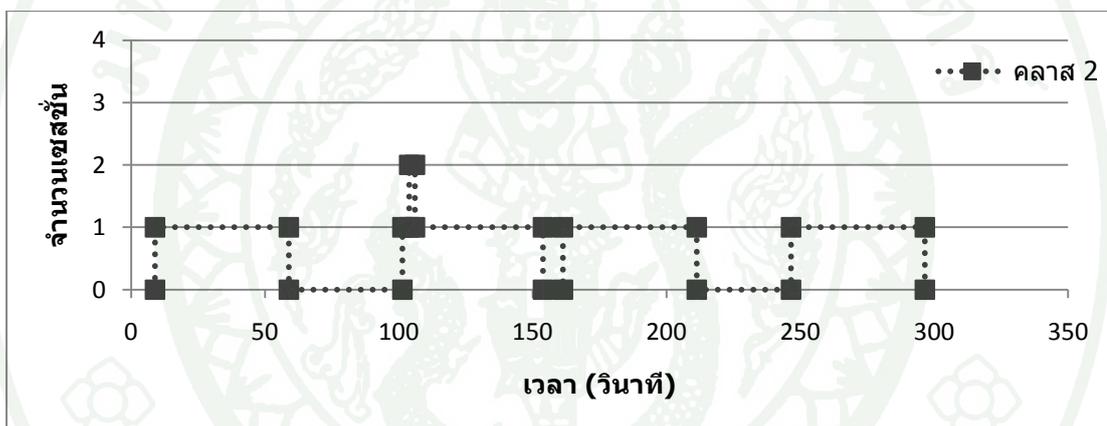
ภาพที่ 33 จำนวนการรับเข้า การตัดการใ้ใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.4



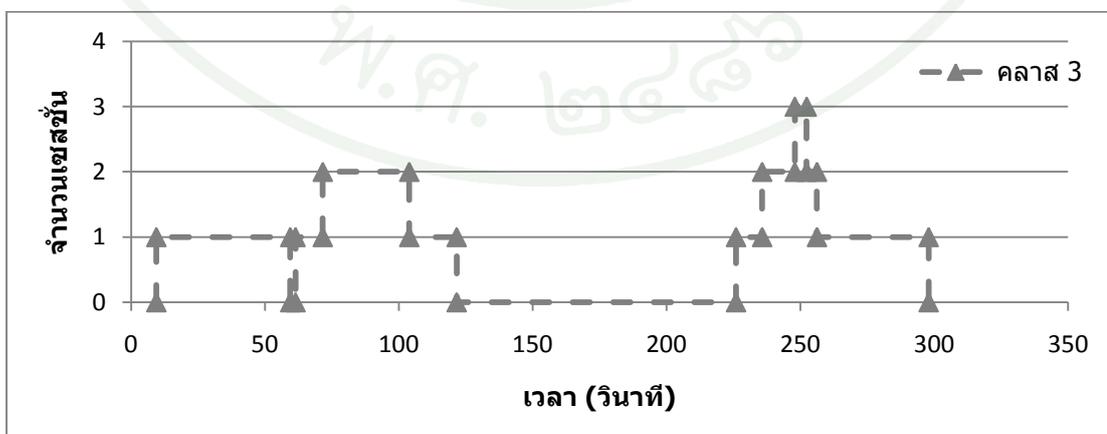
ภาพที่ 34 จำนวนการรับเข้า การตัดการใ้ใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.4



ภาพที่ 35 จำนวนการเข้าใช้งานของคลาส 1 - 3 ใน 1 การทดลองจากทั้งหมด 10 การทดลอง



ภาพที่ 36 จำนวนการเข้าใช้งานของคลาส 2 ใน 1 การทดลองจากทั้งหมด 10 การทดลอง



ภาพที่ 37 จำนวนการเข้าใช้งานของคลาส 3 ใน 1 การทดลองจากทั้งหมด 10 การทดลอง

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3.4

ภาพที่ 30 และ 31 เมื่อทำการจองพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการใช้งานไม่ได้ของคลาส 2 และคลาส 3 เนื่องจากการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่า โดยให้ใช้งานได้ขั้นต่ำต่าคลาสละ 1 เซสชัน จะเห็นได้ว่า การเข้าใช้งานของคลาส 2 และคลาส 3 สามารถใช้งานได้เพิ่มมากขึ้น ขณะที่คลาส 1 สามารถเข้าใช้งานได้ลดลง เมื่อดูจากภาพที่ 32 จะพบว่าคลาส 1 ถูกปฏิเสธการเข้าใช้งานมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงที่คลาส 1 ร้องขอการใช้งานที่ 20 – 25 เซสชัน ขณะเดียวกัน การตัดการเชื่อมต่อ และการถูกปฏิเสธการเข้าใช้งานของคลาส 2 มีจำนวนที่ลดลง (จากภาพที่ 33 และ 34)

ภาพที่ 33 และ 34 จะเห็นได้ว่า การเข้าใช้งานของคลาส 2 และคลาส 3 เข้าใช้งานได้ประมาณ 4-5 เซสชัน ถึงแม้จะมีการจองพื้นที่ขั้นต่ำในการใช้งาน 1 เซสชันในคลาส 2 และคลาส 3 แต่การใช้งานใน 1 เซสชันนั้น ใช้เวลา 50 วินาที แต่เวลาดังกล่าวของการทดลองที่ใช้นั้นอยู่ที่ 350 วินาที ดังนั้น จึงมีโอกาสที่เซสชันของคลาส 2 หรือ คลาส 3 จะใช้งาน ในต่างเวลากัน โดยที่ไม่ซ้อนทับกัน ดังตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 35 - 37 โดยเฉพาะในภาพที่ 36 จะเห็นได้ชัดว่า มีการใช้งานส่งจนแล้วเสร็จถึง 4 เซสชัน โดยที่ไม่ถูกตัดการใช้งาน เพราะอยู่ในพื้นที่ที่จองไว้

การทดลองครั้งที่ 3.5

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบการเข้าใช้งานแบบมีลำดับความสำคัญของคลาส 2 กรณีมีการจองพื้นที่สำหรับคลาส 2 และ คลาส 3 อย่างละ 1 เซสชัน

2. วิธีการทดลอง

1. การทดลองจะแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็น 3 คลาส โดยแบ่งออกเป็นคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด คลาส 2 มีความสำคัญรองลงมา และคลาส 3 มีความสำคัญต่ำที่สุด แต่ละคลาสประกอบไปด้วยคลาส 1 จำนวน 10 สถานี คลาส 2 เริ่มที่จำนวน 0 สถานี โดยเพิ่มทีละ 5 สถานีจนถึง 25 สถานี และคลาส 3 จำนวน 10 สถานี

2. จอพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการเข้าใช้งานไม่ได้ของคลาส 2 และ 3 เนื่องจากการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญที่สูงกว่า อย่างละ 1 เซสชัน

3. ผลการทดลองที่ 3.5

ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 38 - 42 ภาพที่ 38 แสดงผลในรูปแบบของจำนวนเซสชันของแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ (สามารถเข้าใช้งานได้ และระหว่างการใช้งานไม่ถูกตัดการใช้งานออกไป) โดยที่ค่อยๆ เพิ่มจำนวนการร้องขอของคลาส 2 โดยที่คลาส 2 และคลาส 3 สามารถใช้งานขั้นต่ำได้คลาสละ 1 เซสชัน

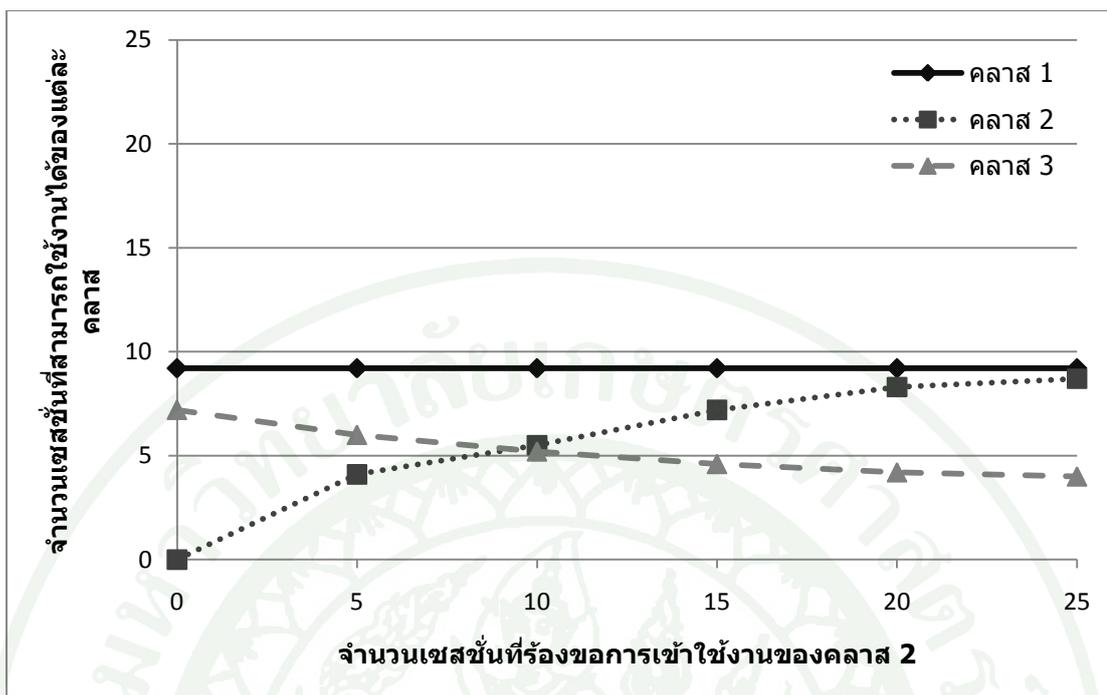
ภาพที่ 39 เหมือนภาพที่ 38 แต่แสดงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยที่แกนแนวตั้ง แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 2

ภาพที่ 40 แสดงจำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับหรือการปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 แกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

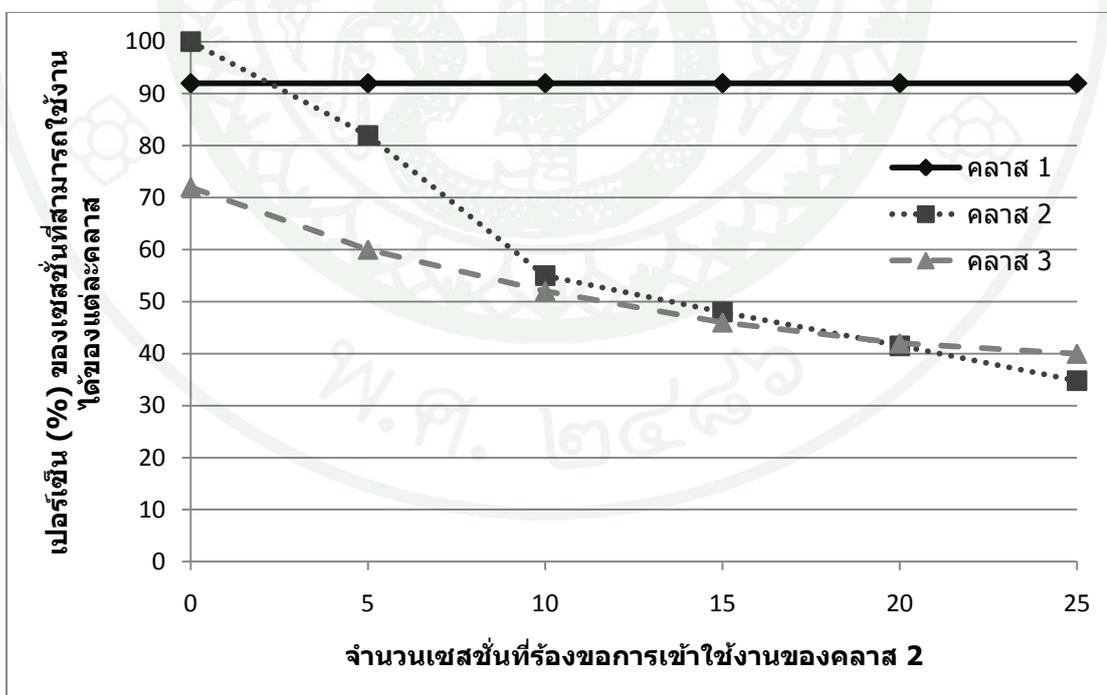
ภาพที่ 41 และ 42 แสดงจำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 และ 3 ตามลำดับ แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับเข้า หรือตัดการเข้าใช้งาน หรือปฏิเสธการร้องขอ ของคลาส 2 ตามภาพที่ 41 และของคลาส 3 ตามภาพที่ 42 และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 2 ของภาพที่ 41 และ 42

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3.5

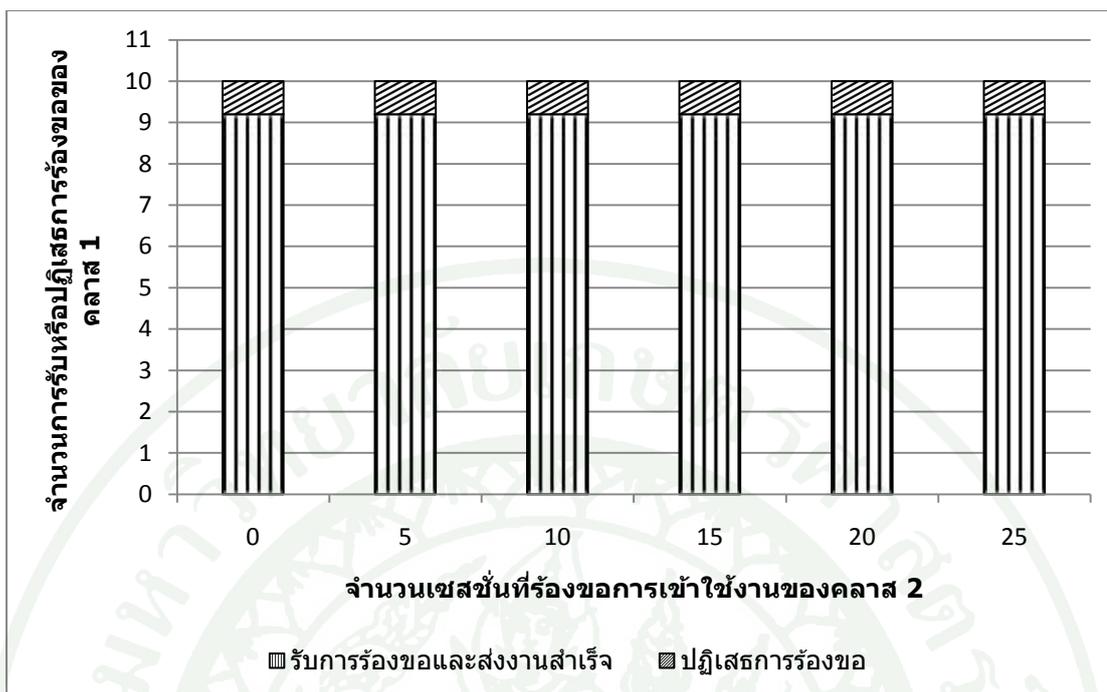
ภาพที่ 38 และ 39 คลาส 2 สามารถรับการเข้าใช้งานได้ลดลง เมื่อเทียบกับแบบไม่มีการจองพื้นที่เพื่อป้องกันการเข้าใช้งานไม่ได้ของคลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำ เนื่องจากการเข้าใช้งานขอคลาสที่มีลำดับความสำคัญที่สูงกว่า ของการทดลองที่ 3.2 ดังภาพที่ 20 – 21 เนื่องจากคลาส 2 สามารถยืมแบนด์วิดท์จากคลาส 3 ได้ลดน้อยลง



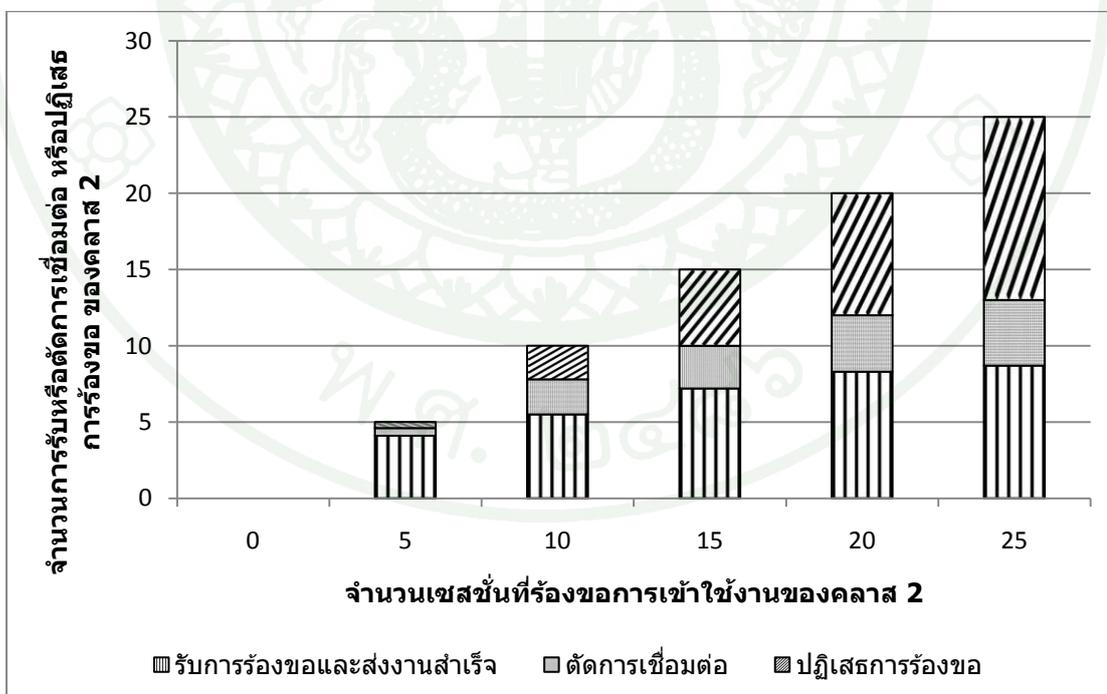
ภาพที่ 38 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.5



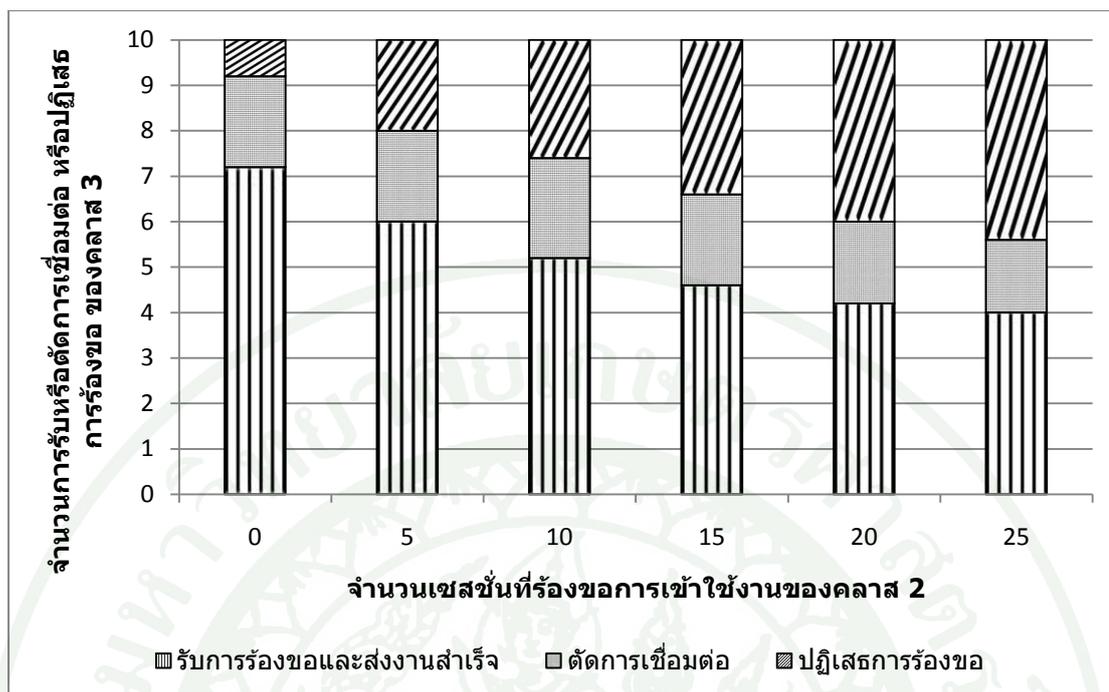
ภาพที่ 39 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.5



ภาพที่ 40 จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.5



ภาพที่ 41 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.5



ภาพที่ 42 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.5

การทดลองครั้งที่ 3.6

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบการใช้งานแบบมีลำดับความสำคัญของคลาส 3 กรณีมีการจองพื้นที่สำหรับคลาส 2 และ คลาส 3 อย่างละ 1 เซสชัน

2. วิธีการทดลอง

1. การทดลองจะแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็น 3 คลาส โดยแบ่งออกเป็นคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด คลาส 2 มีความสำคัญรองลงมา และคลาส 3 มีความสำคัญต่ำที่สุด แต่ละคลาสประกอบไปด้วยคลาส 1 จำนวน 10 สถานี คลาส 2 จำนวน 10 สถานี และคลาส 3 เริ่มที่จำนวน 0 สถานี โดยเพิ่มทีละ 5 สถานีจนถึง 25 สถานี

2. จอพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการเข้าใช้งานไม่ได้ของคลาส 2 และ 3 เนื่องจากการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญที่สูงกว่า อย่างละ 1 เซสชัน

3. ผลการทดลองที่ 3.6

ผลการทดลองแสดงได้ดังภาพที่ 43 - 47 ภาพที่ 43 แสดงผลในรูปแบบของจำนวนเซสชันของแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ (สามารถเข้าใช้งานได้ และระหว่างการใช้งานไม่ถูกตัดการใช้งานออกไป) โดยที่ค่อยๆ เพิ่มจำนวนการร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 3 คลาส 2 และคลาส 3 สามารถใช้งานขึ้นต่ำได้คลาสละ 1 เซสชัน แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงถึงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 3

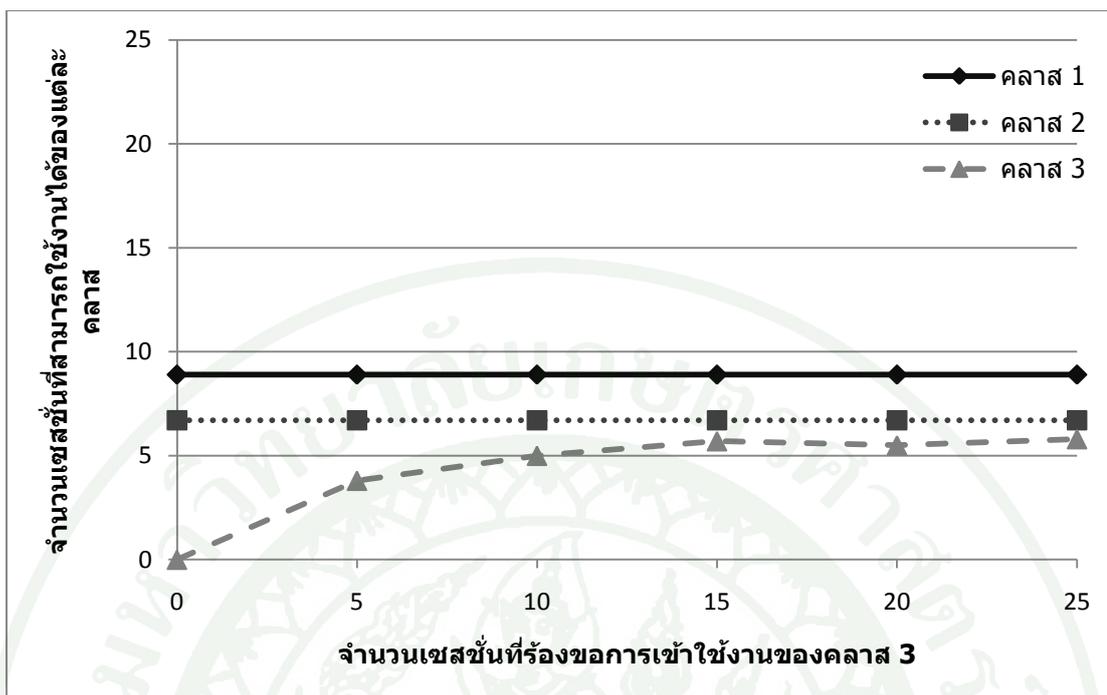
ภาพที่ 44 เหมือนภาพที่ 43 แต่แสดงในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ โดยที่แกนแนวตั้ง แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 3

ภาพที่ 45 แสดงจำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับหรือการปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 แกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

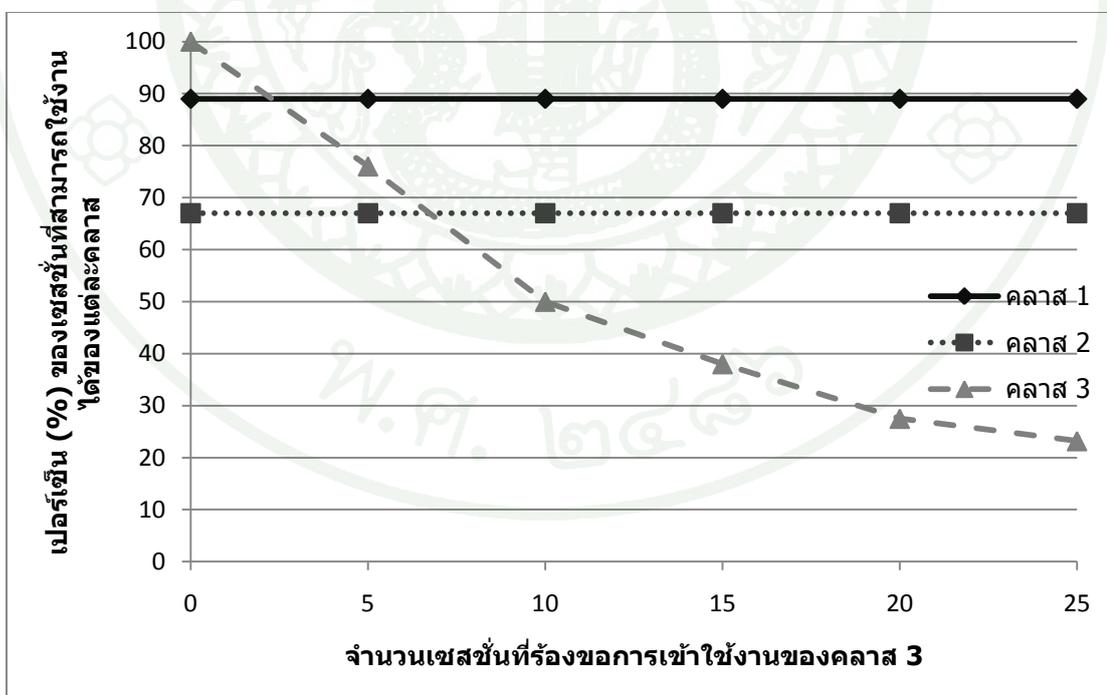
ภาพที่ 46 และ 47 แสดงจำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 และ 3 ตามลำดับ แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับเข้า หรือตัดการเข้าใช้งาน หรือปฏิเสธการร้องขอ ของคลาส 2 ตามภาพที่ 46 และของคลาส 3 ตามภาพที่ 47 และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 2 ของภาพที่ 46 และ 47

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3.6

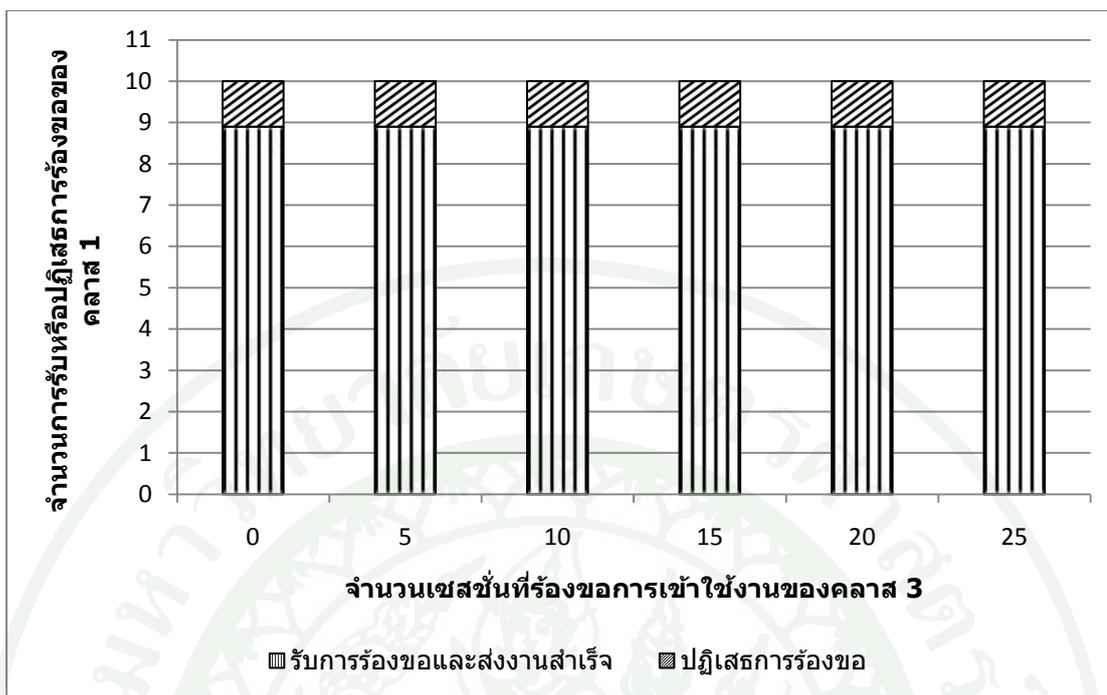
ภาพที่ 43 คลาส 3 สามารถใช้งานได้มากขึ้น เมื่อเทียบกับแบบไม่มีการจองขั้นต่ำของผลการทดลองที่ 3.3 (ภาพที่ 25) เนื่องจากคลาส 3 มีการจองพื้นที่ขั้นต่ำ ดังนั้นทำให้คลาส 1 และคลาส 2 ไม่สามารถยืมแบนด์วิดท์ในส่วนที่คลาส 3 จองไว้



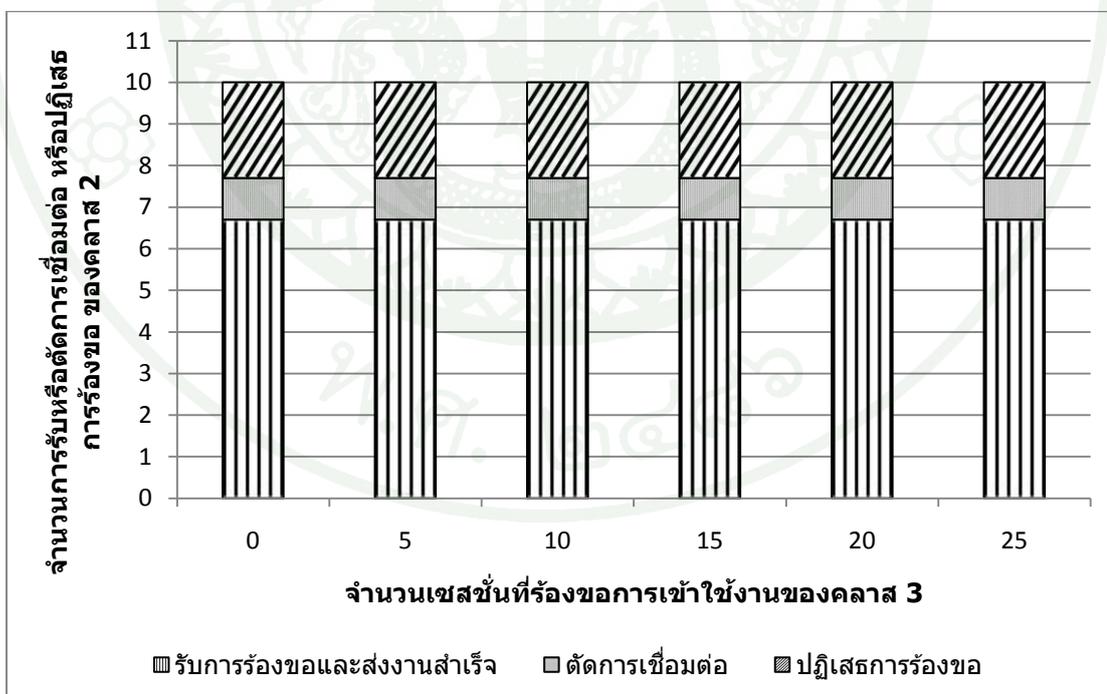
ภาพที่ 43 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.6



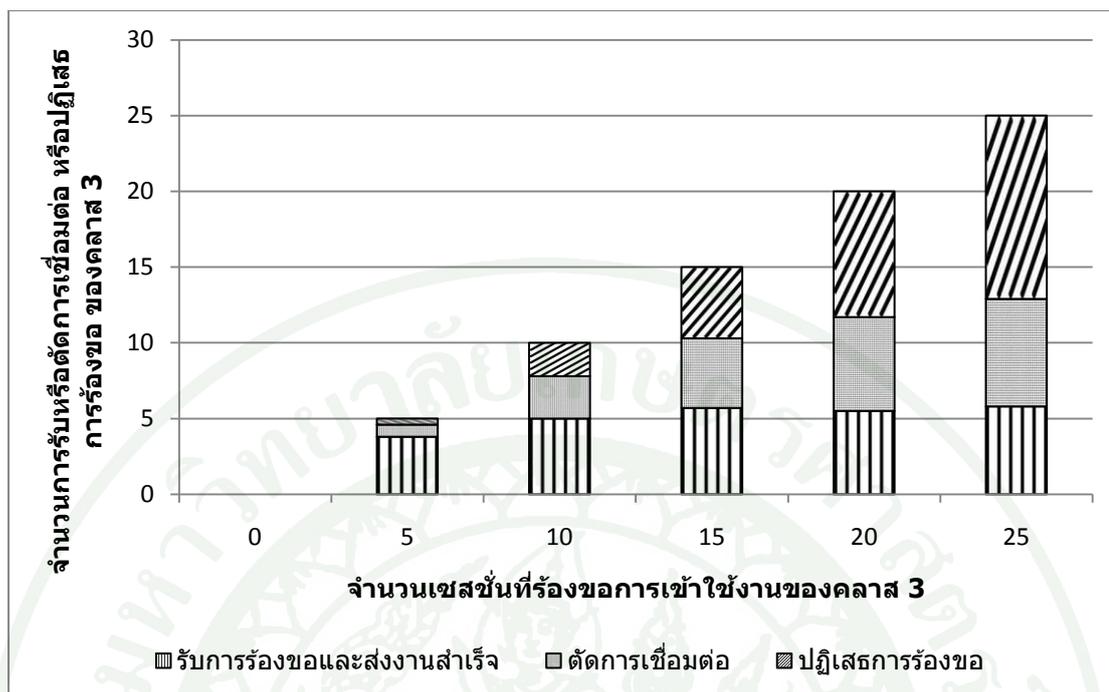
ภาพที่ 44 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.6



ภาพที่ 45 จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.6



ภาพที่ 46 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.6



ภาพที่ 47 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.6

การทดลองครั้งที่ 3.7

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบการเข้าใช้งานแบบมีลำดับความสำคัญของคลาส 1 กรณีมีการจองพื้นที่สำหรับคลาส 2 และ คลาส 3 อย่างละ 2 เซสชัน

2. วิธีการทดลอง

1. การทดลองจะแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็น 3 คลาส โดยแบ่งออกเป็นคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด คลาส 2 มีความสำคัญรองลงมา และคลาส 3 มีความสำคัญต่ำที่สุด แต่ละคลาสประกอบไปด้วยคลาส 1 เริ่มที่จำนวน 0 สถานี โดยเพิ่มทีละ 5 สถานีจนถึง 25 สถานีคลาส 2 จำนวน 10 สถานี และคลาส 3 จำนวน 10 สถานี

2. จอพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการเข้าใช้งานไม่ได้ของคลาส 2 และ 3 เนื่องจากการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญที่สูงกว่า อย่างละ 2 เซสชัน

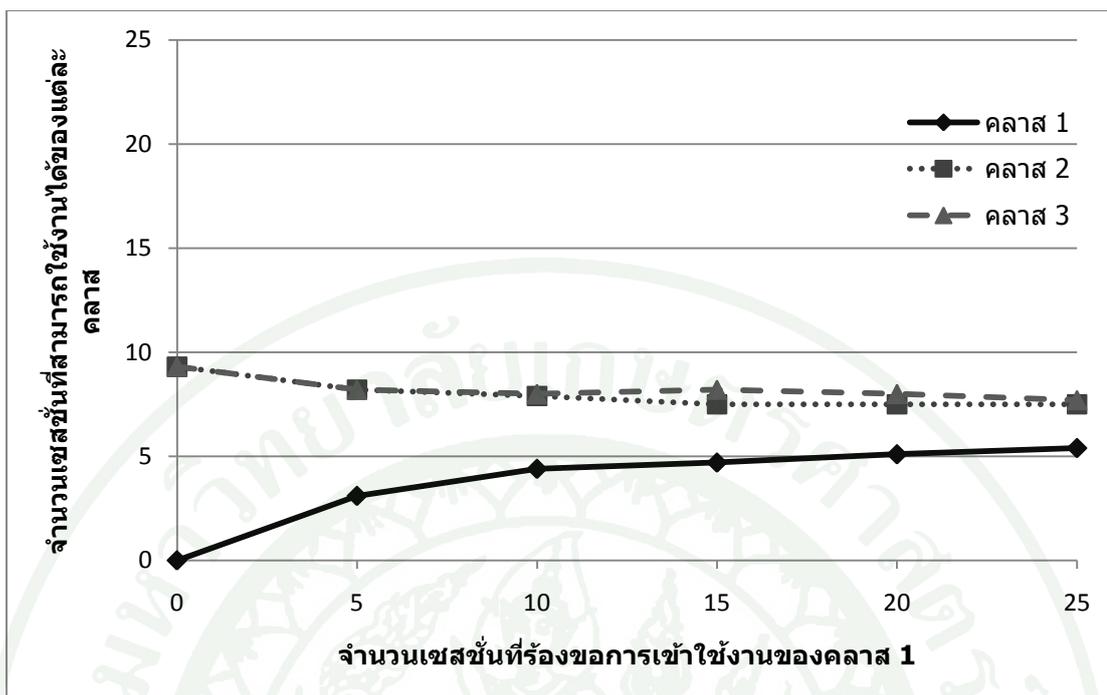
3. ผลการทดลองที่ 3.7

ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 48 - 52 ภาพที่ 48 แสดงผลในรูปแบบของจำนวนเซสชันของแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ (สามารถเข้าใช้งานได้ และระหว่างการใช้งานไม่ถูกตัดการใช้งานออกไป) โดยที่ค่อยๆ เพิ่มจำนวนการร้องขอของคลาส 1 คลาส 2 และคลาส 3 สามารถใช้งานขั้นต่ำได้คลาสละ 2 เซสชัน โดยที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงถึงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

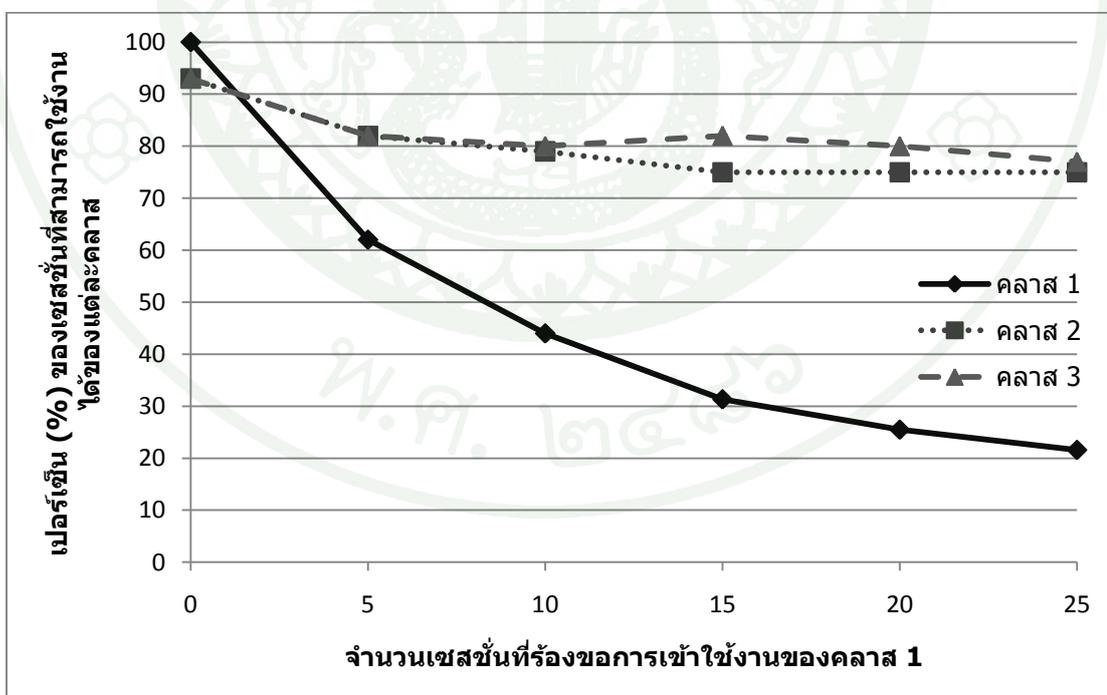
ภาพที่ 49 เหมือนกับภาพที่ 48 แต่แสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ โดยที่แกนแนวตั้ง แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

ภาพที่ 50 แสดงจำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับหรือการปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 แกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

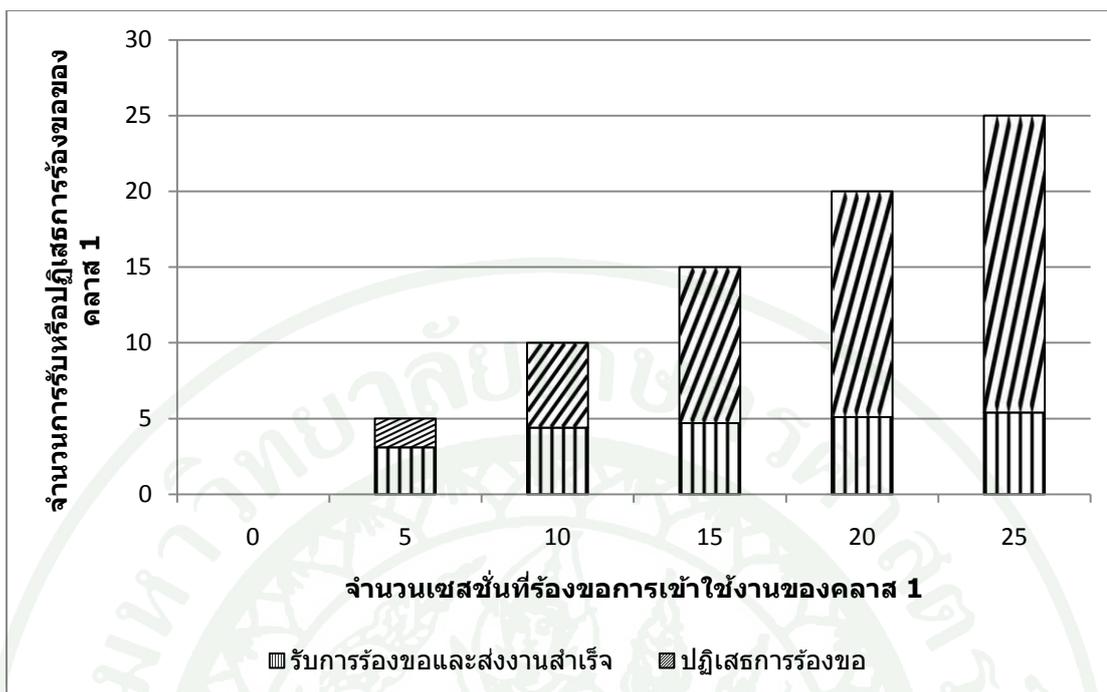
ภาพที่ 51 และ 52 แสดงจำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 และ 3 ตามลำดับ แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับเข้า หรือตัดการเข้าใช้งาน หรือปฏิเสธการร้องขอ ของคลาส 2 ตามภาพที่ 51 และของคลาส 3 ตามภาพที่ 52 และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1 ของภาพที่ 51 และ 52



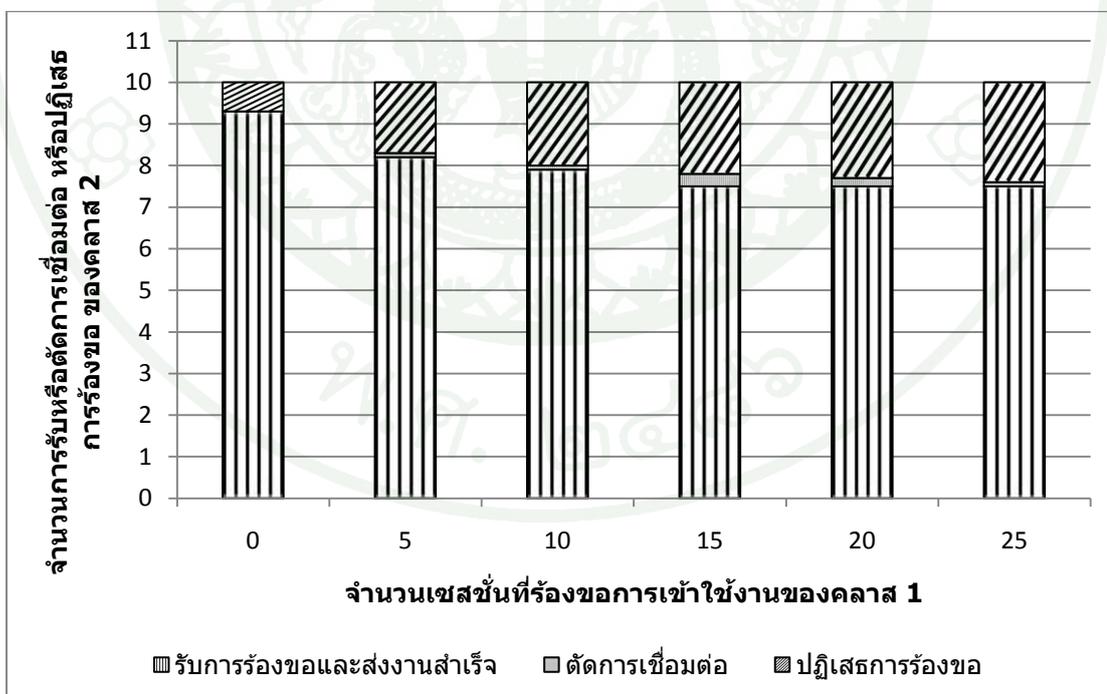
ภาพที่ 48 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.7



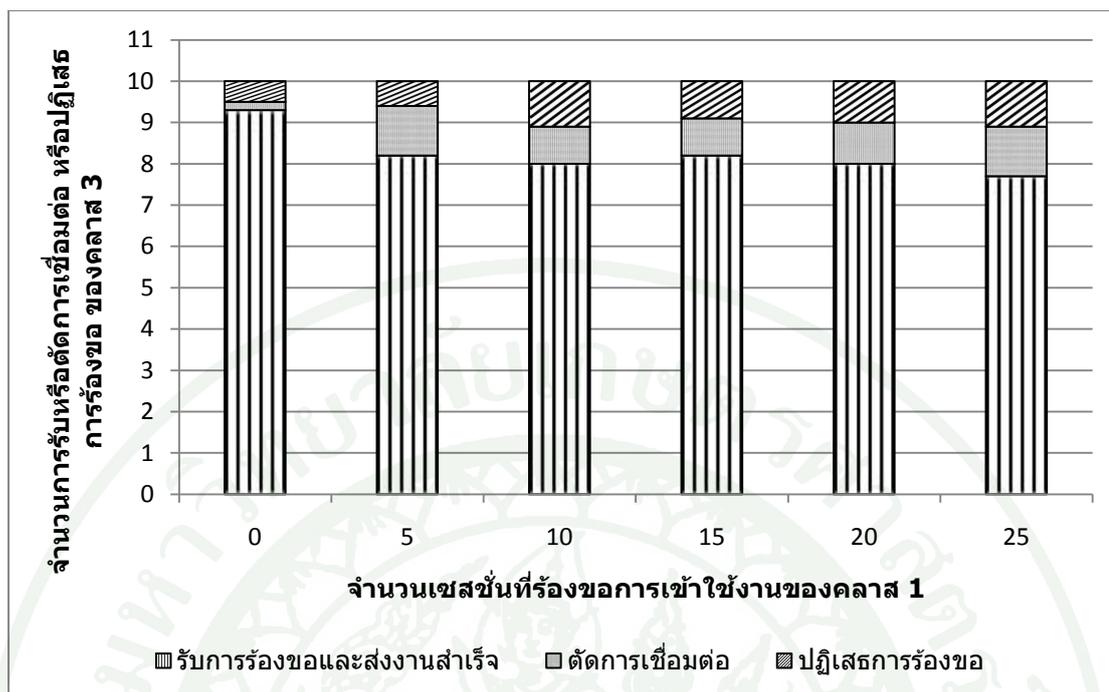
ภาพที่ 49 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.7



ภาพที่ 50 จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.7



ภาพที่ 51 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.7



ภาพที่ 52 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.7

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3.7

จากผลการทดลองดังภาพที่ 40 และ 41 เห็นได้ว่าการเพิ่มการจองพื้นที่ขั้นต่ำสำหรับคลาส 2 และคลาส 3 อย่างละ 2 เซสชันแล้ว ส่งผลให้คลาส 1 สามารถใช้งานได้ลดลง ซึ่งน้อยกว่าคลาส 2 และ คลาส 3 เมื่อมาดูที่ภาพ 42 จะพบว่าคลาส 1 ถูกปฏิเสธการเข้าใช้งานเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะช่วงที่คลาส 1 ร้องขอการใช้งานที่จำนวน 10 เซสชันขึ้นไป คลาส 1 แทบจะใช้งานได้ไม่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อมาพิจารณาภาพที่ 43 และ 44 พบว่าการตัดการเชื่อมต่อของคลาส 2 เกิดขึ้นน้อยมาก ขณะที่คลาส 3 การตัดการเชื่อมต่อเกิดขึ้นประมาณ 1 ครั้ง สาเหตุเป็นเพราะว่า ระบบสามารถให้บริการพร้อมกันได้ถึง 5 เซสชัน ดังนั้น เมื่อจองพื้นที่ไปแล้วคลาสละ 2 เซสชัน ส่งผลให้คลาส 1 สามารถใช้งานได้สูงสุดเพียงแค่ 1 เซสชัน ในหนึ่งช่วงเวลา

การทดลองครั้งที่ 3.8

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบการเข้าใช้งานแบบมีลำดับความสำคัญของคลาส 2 กรณีมีการจองพื้นที่สำหรับคลาส 2 และ คลาส 3 อย่างละ 2 เซสชัน

2. วิธีการทดลอง

1. การทดลองจะแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็น 3 คลาส โดยแบ่งออกเป็นคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด คลาส 2 มีความสำคัญรองลงมา และคลาส 3 มีความสำคัญต่ำที่สุด แต่ละคลาสประกอบไปด้วยคลาส 1 จำนวน 10 สถานี คลาส 2 เริ่มที่จำนวน 0 สถานี โดยเพิ่มทีละ 5 สถานีจนถึง 25 สถานี และคลาส 3 จำนวน 10 สถานี
2. จองพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการเข้าใช้งานไม่ได้ของคลาส 2 และ 3 เนื่องจากการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญที่สูงกว่า อย่างละ 2 เซสชัน

3. ผลการทดลองที่ 3.8

ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 53 - 57 ภาพที่ 53 แสดงผลในรูปแบบของจำนวนเซสชันของแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ (สามารถเข้าใช้งานได้ และระหว่างการใช้งานไม่ถูกตัดการใช้งานออกไป) โดยที่ค่อยๆ เพิ่มจำนวนการร้องขอของคลาส 1 คลาส 2 และคลาส 3 สามารถใช้งานขั้นต่ำได้คลาสละ 2 เซสชัน โดยที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงถึงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

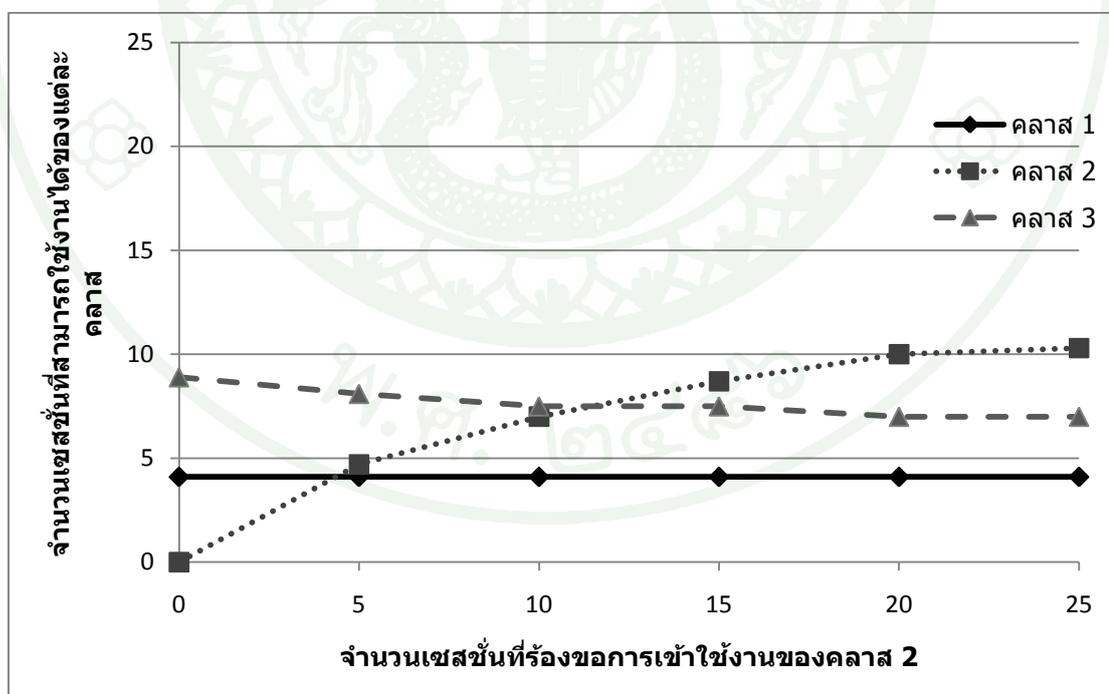
ภาพที่ 54 เหมือนกับภาพที่ 53 แต่แสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ โดยที่แกนแนวตั้ง แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

ภาพที่ 55 แสดงจำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับหรือการปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 แกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

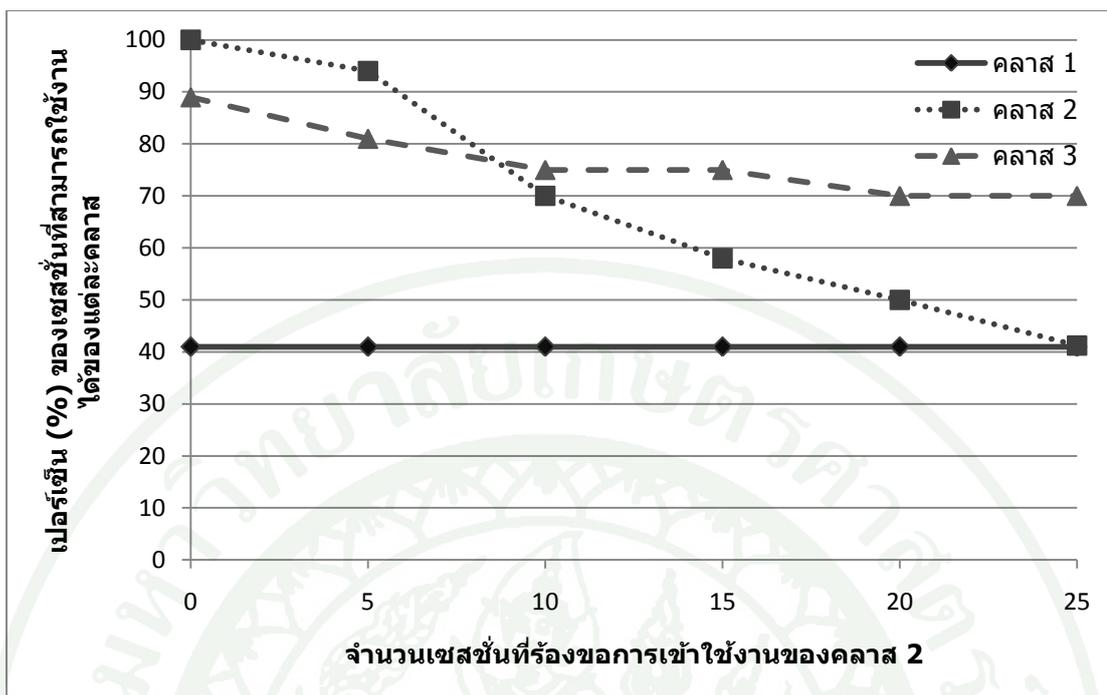
ภาพที่ 56 และ 57 แสดงจำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 และ 3 ตามลำดับ แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับเข้า หรือตัดการเข้าใช้งาน หรือปฏิเสธการร้องขอ ของคลาส 2 ตามภาพที่ 56 และของคลาส 3 ตามภาพที่ 57 และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1 ของภาพที่ 56 และ 57

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3.8

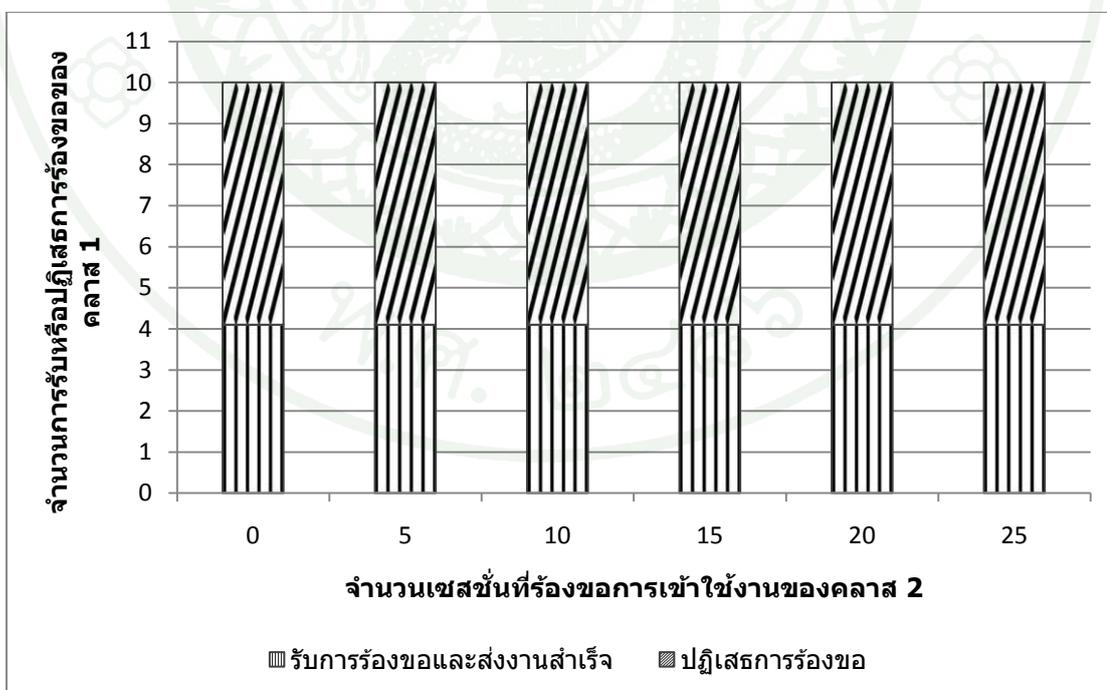
คลาส 2 สามารถรับการเข้าใช้งานได้เพิ่มขึ้นเมื่อกับผลการทดลองที่ 3.5 ถึงแม้ว่าคลาส 2 จะสามารถยืมแบนด์วิดท์จากคลาส 3 ได้น้อยลง แต่ผลเนื่องมาจากการจองแบนด์วิดท์ขั้นต่ำของคลาส 2 ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้คลาส 2 ถูกการแย่งแบนด์วิดท์จากคลาส 1 ได้ลดลง



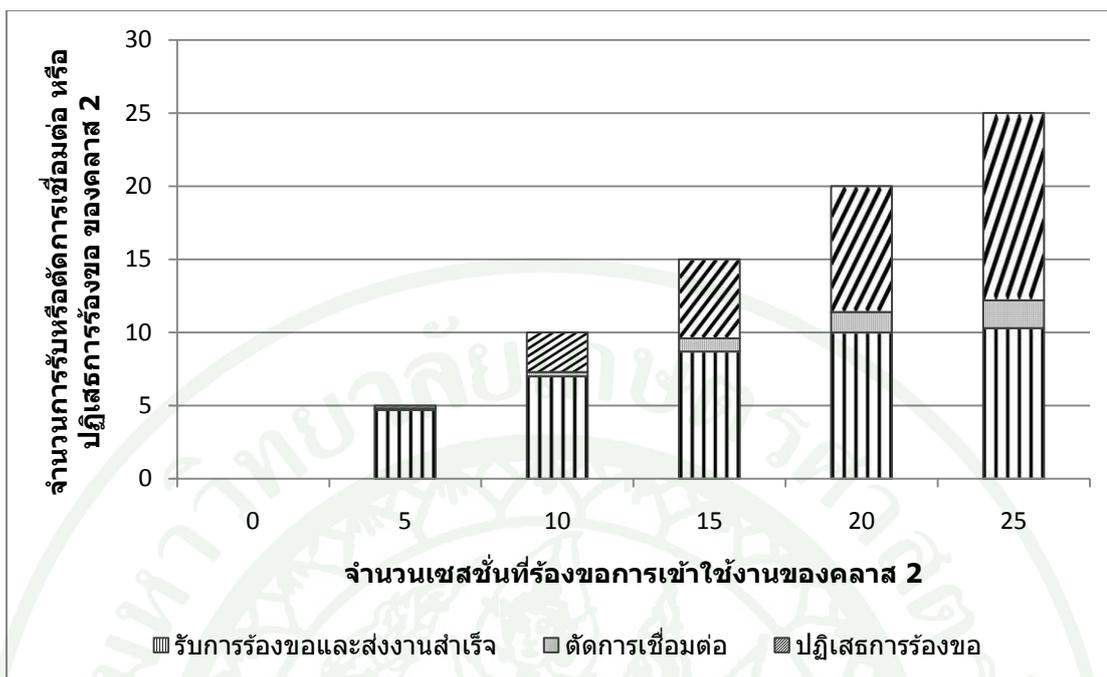
ภาพที่ 53 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.8



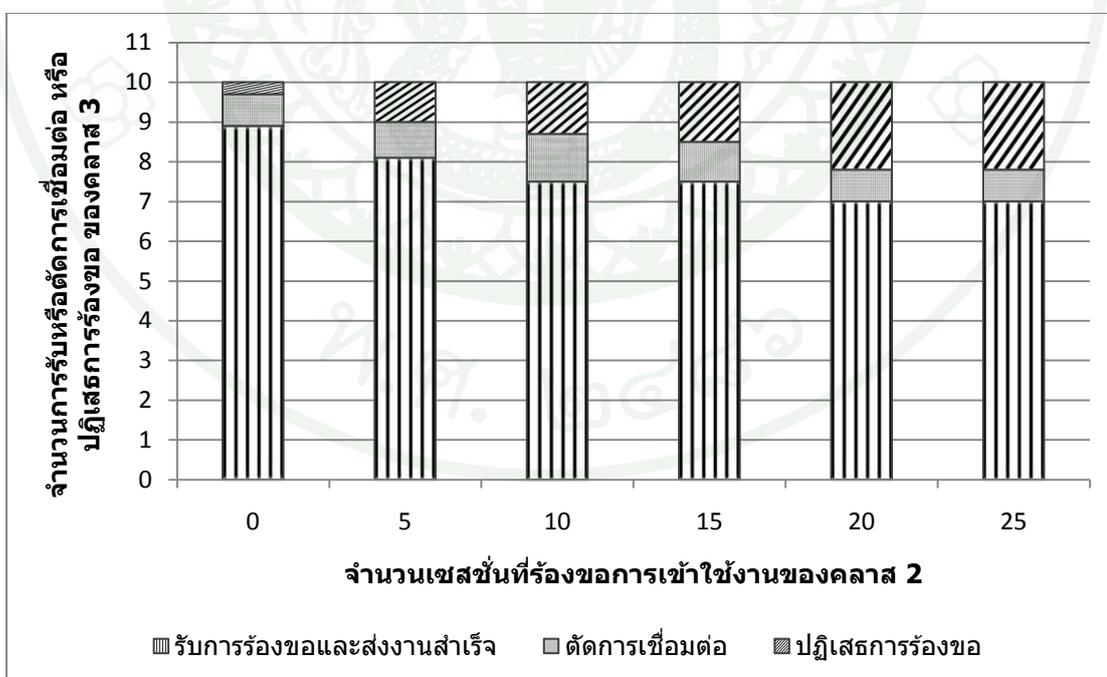
ภาพที่ 54 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.8



ภาพที่ 55 จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.8



ภาพที่ 56 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.8



ภาพที่ 57 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.8

การทดลองครั้งที่ 3.9

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบการเข้าใช้งานแบบมีลำดับความสำคัญของคลาส 2 กรณีมีการจองพื้นที่สำหรับคลาส 2 และ คลาส 3 อย่างละ 2 เซสชัน

2. วิธีการทดลอง

1. การทดลองจะแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็น 3 คลาส โดยแบ่งออกเป็นคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด คลาส 2 มีความสำคัญรองลงมา และคลาส 3 มีความสำคัญต่ำที่สุด แต่ละคลาสประกอบไปด้วยคลาส 1 จำนวน 10 สถานี คลาส 2 จำนวน 10 สถานี และคลาส 3 เริ่มที่จำนวน 0 สถานี โดยเพิ่มทีละ 5 สถานีจนถึง 25 สถานี
2. จองพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการเข้าใช้งานไม่ได้ของคลาส 2 และ 3 เนื่องจากการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญที่สูงกว่า อย่างละ 2 เซสชัน

3. ผลการทดลองที่ 3.9

ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 58 - 62 ภาพที่ 58 แสดงผลในรูปแบบของจำนวนเซสชันของแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ (สามารถเข้าใช้งานได้ และระหว่างการใช้งานไม่ถูกตัดการใช้งานออกไป) โดยที่ค่อยๆ เพิ่มจำนวนการร้องขอของคลาส 1 คลาส 2 และคลาส 3 สามารถใช้งานขั้นต่ำได้คลาสละ 2 เซสชัน โดยที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงถึงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

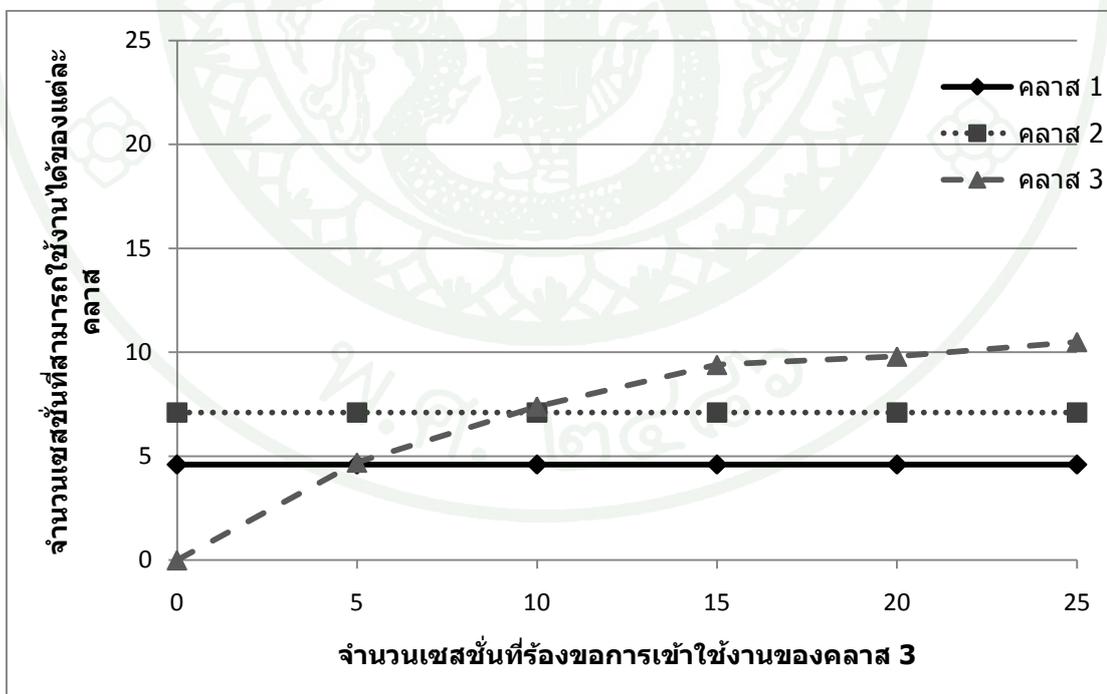
ภาพที่ 59 เหมือนกับภาพที่ 58 แต่แสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ โดยที่แกนแนวตั้ง แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของแต่ละคลาส และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันทั้งหมดที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

ภาพที่ 60 แสดงจำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับหรือการปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 แกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1

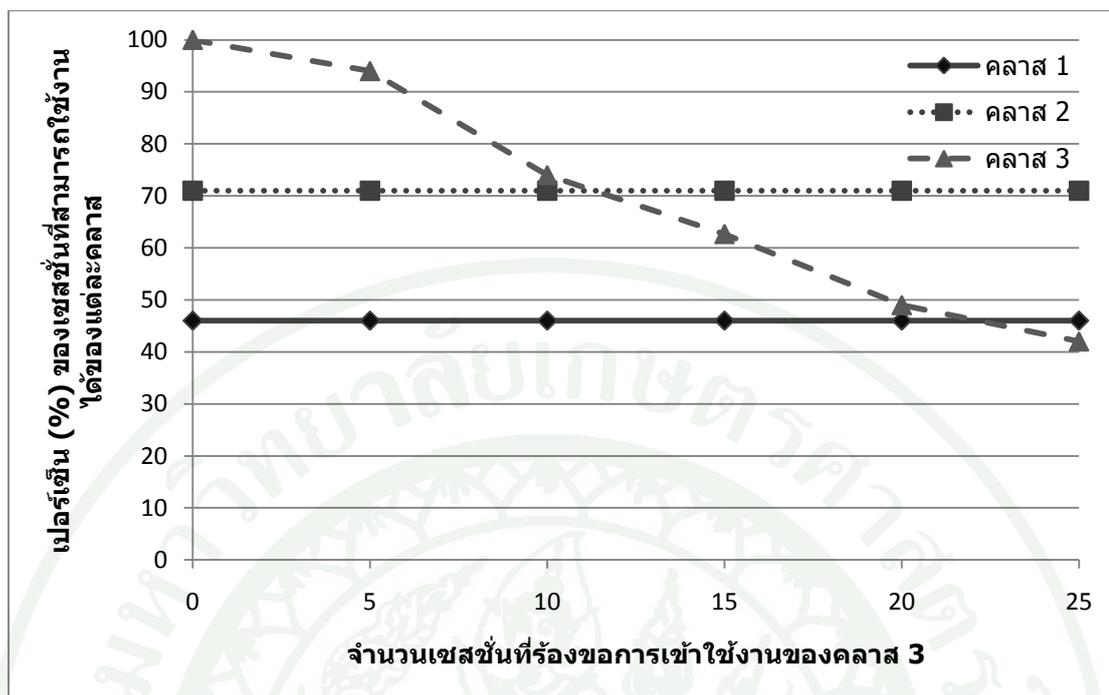
ภาพที่ 61 และ 62 แสดงจำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 และ 3 ตามลำดับ แกนแนวตั้งแสดงจำนวนการรับเข้า หรือตัดการเข้าใช้งาน หรือปฏิเสธการร้องขอ ของคลาส 2 ตามภาพที่ 61 และของคลาส 3 ตามภาพที่ 62 และแกนแนวนอนแสดงจำนวนเซสชันที่ร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1 ของภาพที่ 61 และ 62

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3.9

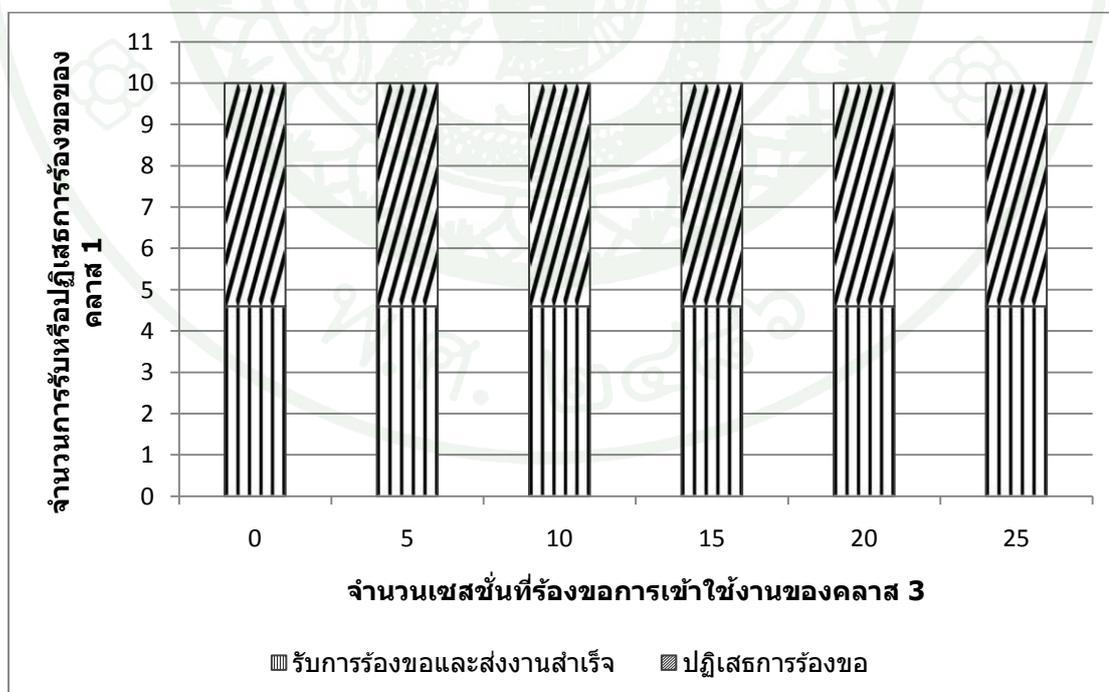
คลาส 3 สามารถรับการเข้าใช้งานได้เพิ่มขึ้นเมื่อกับผลการทดลองที่ 3.6 เนื่องมาจากการจองแบนด์วิดท์ขั้นต่ำของคลาส 3 ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้คลาส 3 ถูกการแย่งแบนด์วิดท์จากคลาส 1 และคลาส 2 ได้ลดลง



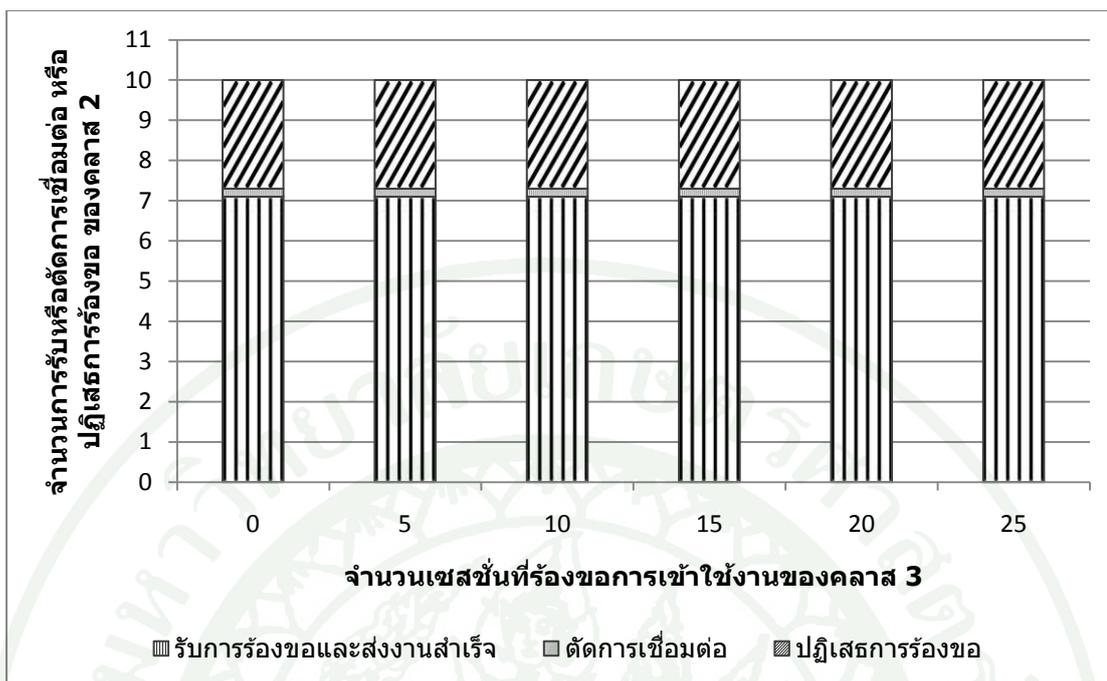
ภาพที่ 58 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้ ของการทดลองที่ 3.9



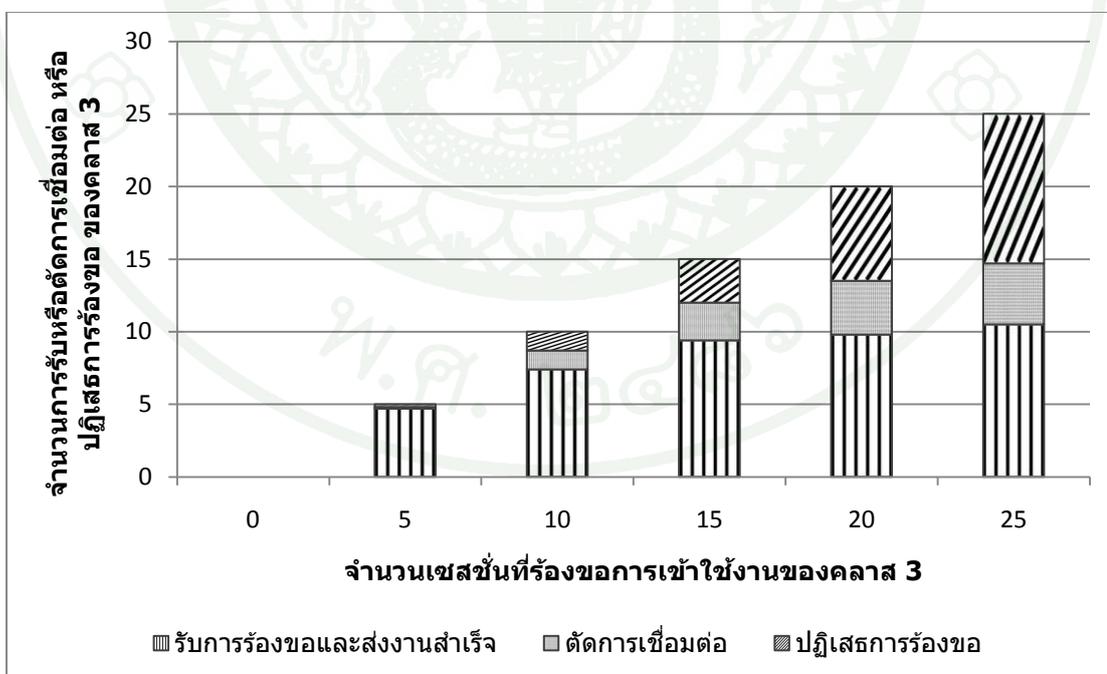
ภาพที่ 59 จำนวนเซสชันแต่ละคลาสที่สามารถใช้งานได้แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ ของการทดลองที่ 3.9



ภาพที่ 60 จำนวนการรับเข้าและปฏิเสธการร้องขอของคลาส 1 ของการทดลองที่ 3.9



ภาพที่ 61 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 2 ของการทดลองที่ 3.9



ภาพที่ 62 จำนวนการรับเข้า การตัดการใช้งาน และปฏิเสธการร้องขอของคลาส 3 ของการทดลองที่ 3.9

สรุปผลการทดลองครั้งที่ 3.1 ถึง 3.9

ในการแบ่งใช้งานออกเป็นหลายๆ คลาส ถ้าไม่มีการจองพื้นที่ให้กับคลาสที่มีความสำคัญลำดับต่ำ จะส่งผลให้เกิดปัญหาคลาสที่ลำดับความสำคัญต่ำ ไม่สามารถเข้ามาใช้งานได้ เนื่องจากถูกคลาสที่มีลำดับความสำคัญที่สูงกว่าแย่งเข้าใช้งาน แต่ถ้าการจองพื้นที่ จองไว้มากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาได้เช่นกัน เนื่องจากคลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงสุดจะใช้งานได้น้อย เพราะเข้าไปใช้งานในพื้นที่ที่ถูกจองเอาไว้ได้

ตารางที่ 7 ค่าที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่การทดลองที่ 4.1 – 4.2

ลำดับที่	ตัวแปรสำหรับการทดลอง	ค่าที่ตั้ง
1	จำนวนสถานีของคลาส 1	10 สถานี
2	จำนวนสถานีของคลาส 2	10 สถานี
3	จำนวนสถานีของคลาส 3	10 สถานี
4	ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง	350 วินาที
5	ระยะเวลาการใช้งาน	50 วินาที
6	กำหนดให้แต่ละสถานีร้องขอการใช้งานแบนด์วิดท์ที่เท่ากันที่	256 kbps
5	แต่ละสถานีร้องขอการเข้าใช้งาน	1 ครั้ง
6	จองพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการไม่สามารถใช้งานได้ของคลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่า เนื่องจากคลาสที่สูงกว่าเข้าใช้งาน	(ไม่มีการจองพื้นที่ขั้นต่ำ)
7	ทำการทดลองทั้งหมดเป็นจำนวน	10 ครั้ง

การทดลองครั้งที่ 4.1

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อเปรียบเทียบการทำงาน ในการทำงานแบบ PHCCA ระหว่างการตัดการเชื่อมต่อของ เซสชันที่อยู่ในระบบนานที่สุด กับการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่สั้นที่สุด ในกรณี เวลาร้องขอเข้าใช้งานมีการกระจายตัวแบบยูนิฟอร์ม

2. วิธีการทดลอง

1. เวลาที่ร้องขอเข้าใช้งานใช้วิธีการสุ่มแบบยูนิฟอร์มในช่วง 0 – 300 วินาที
2. ทดลองโดยการปรับเปลี่ยนวิธีการยืมแบนด์วิดท์ดังต่อไปนี้
 - 2.1 ยืมแบนด์วิดท์โดยการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่นานที่สุด
 - 2.2 ยืมแบนด์วิดท์โดยการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่สั้นที่สุด

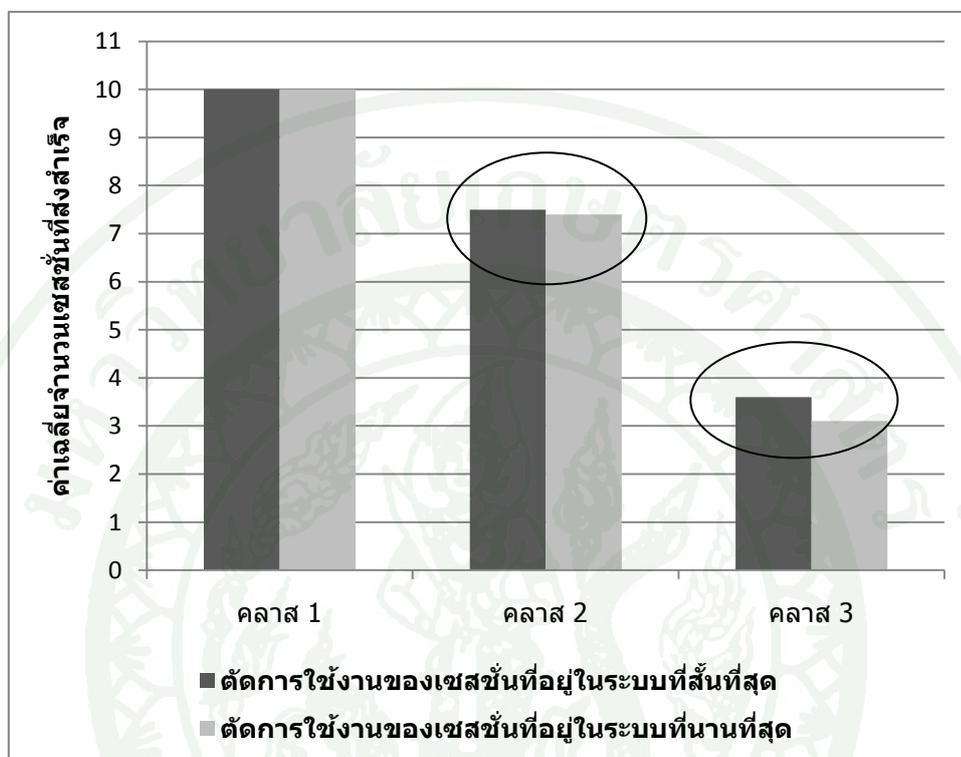
3. ผลการทดลองที่ 4.1

ผลการทดลองแสดงคังภาพที่ 63 แสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ โดยที่ไม่ถูกตัดการเชื่อมต่อระหว่างใช้งาน โดยที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ และแกนแนวนอนแสดงถึงคลาส 1 คลาส 2 และคลาส 3 โดยที่กราฟแท่งสีเทาเข้ม แสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ โดยใช้วิธีการยืมแบนด์วิดท์โดยการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่สั้นที่สุด และกราฟแท่งสีเทาแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ โดยใช้วิธีการยืมแบนด์วิดท์โดยการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่นานที่สุด

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 4.1

ภาพที่ 63 จำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของคลาส 2 และคลาส 3 โดยวิธีการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่สั้นที่สุด มีจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้มากกว่า แบบการตัดการเชื่อมต่อที่อยู่ในระบบนานที่สุดออก เนื่องจากการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่สั้นที่สุดออก จะทำให้เซสชันที่อยู่ในระบบนาน จะมีโอกาสส่งสำเร็จได้ (ไม่ถูกตัดการเชื่อมต่อไป

ก่อน) ขณะที่การตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่นานที่สุดออก ทำให้เซสชันไม่สามารถส่งได้สำเร็จ (ซึ่งเซสชันนั้นอาจจะใกล้ใช้งานเสร็จ)



ภาพที่ 63 จำนวนเฉลี่ยของจำนวนเซสชันที่ส่งสำเร็จ จากการทดลอง 10 ครั้ง ของการทดลองที่ 4.1

การทดลองครั้งที่ 4.2

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อเปรียบเทียบการทำงาน ในการทำงานแบบ PHCCA ระหว่างการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบนานที่สุด กับการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่สั้นที่สุด ในกรณีเวลาร้องขอเข้าใช้งานมีการกระจายตัวแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential)

2. วิธีการทดลอง

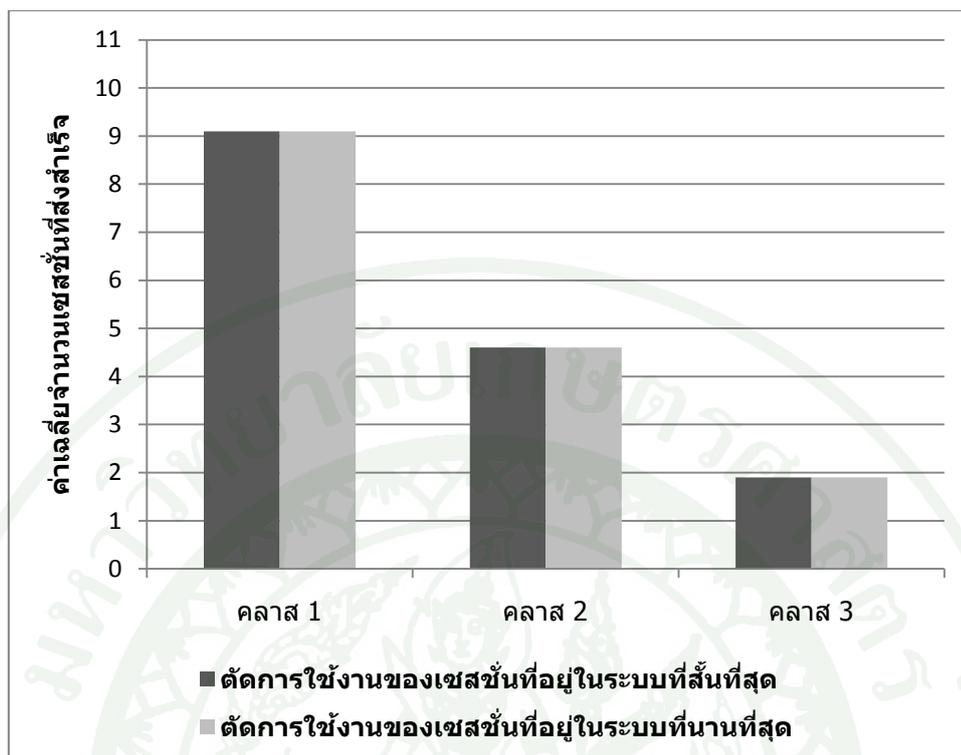
1. เวลาที่ร้องขอเข้าใช้งานใช้วิธีการสุ่มแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ที่ค่าเฉลี่ย 75 วินาที (average inter arrival time)
2. ทดลองโดยการปรับเปลี่ยนวิธีการยืมแบนด์วิดท์ดังต่อไปนี้
 - 2.1 ยืมแบนด์วิดท์โดยการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่นานที่สุด
 - 2.2 ยืมแบนด์วิดท์โดยการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่สั้นที่สุด

3. ผลการทดลองที่ 4.2

ผลการทดลองแสดงคังภาพที่ 64 แสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ โดยที่ไม่ถูกตัดการเชื่อมต่อระหว่างใช้งาน โดยที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ และแกนแนวนอนแสดงถึงคลาส 1 คลาส 2 และคลาส 3 โดยที่กราฟแท่งสีเทาเข้ม แสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ โดยใช้วิธีการยืมแบนด์วิดท์โดยการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่สั้นที่สุด และกราฟแท่งสีเทาแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ โดยใช้วิธีการยืมแบนด์วิดท์โดยการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่นานที่สุด

4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 4.2

ภาพที่ 64 จำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของคลาส 2 และคลาส 3 โดยวิธีการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันที่อยู่ในระบบที่สั้นที่สุด มีจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้เท่ากับแบบการตัดการเชื่อมต่อที่อยู่ในระบบนานที่สุดออก เนื่องจากเวลาการเข้าใช้งานเป็นการกระจายตัวแบบ เอ็กซ์โปเนนเชียล ดังนั้นจึงมีการร้องขอการใช้งานเป็นจำนวนมากในช่วงประมาณ 100 วินาทีแรก ทำให้เกิดกระบวนการยืมแบนด์วิดท์เป็นจำนวนมากในช่วงนี้ จึงส่งผลให้เซสชันของคลาส 2 และคลาส 3 ถูกยืมจากคลาส 1 จนหมด



ภาพที่ 64 จำนวนเฉลี่ยของจำนวนเซสชันที่ส่งสำเร็จ จากการทดลอง 10 ครั้ง ของการทดลองที่ 4.2

การทดลองครั้งที่ 5

1. วัตถุประสงค์การทดลอง

เพื่อเปรียบเทียบการทำงานระหว่างแบบ HCCA และ PHCCA ในแต่ละคลาส

2. วิธีการทดลอง

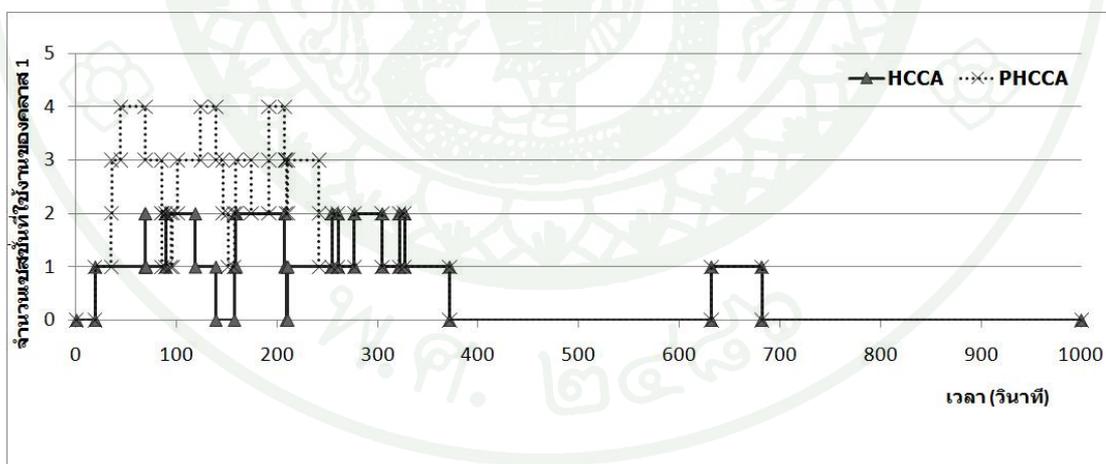
- กำหนดให้สถานีร้องขอการใช้งานแบนด์วิดท์ของคลาส 1 ร้องขอใช้งานที่ 256 kbps คลาส 2 ร้องขอใช้งานที่ 256 kbps และคลาส 3 ร้องขอใช้งานที่ 128 kbps
- แต่ละคลาสมีสถานี 10 สถานี (ทั้งหมดมี 30 สถานี)
- แต่ละสถานีร้องขอการเข้าใช้งาน 2 ครั้ง
- จองพื้นที่เพื่อป้องกันปัญหาการเข้าใช้งานไม่ได้ของคลาส 2 และ 3 เนื่องจากการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญที่สูงกว่า อย่างละ 1 เซสชัน

5. เวลาที่เริ่มใช้งานแต่ละเซสชัน เกิดจากการสุ่มแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ที่ค่าเฉลี่ย 200 วินาที
6. เวลาที่ใช้ในการทดลอง 1,000 วินาที
7. ผลการทดลองแต่ละจุด ใช้ผลการทดลอง 10 ครั้งแล้วนำมาเฉลี่ย

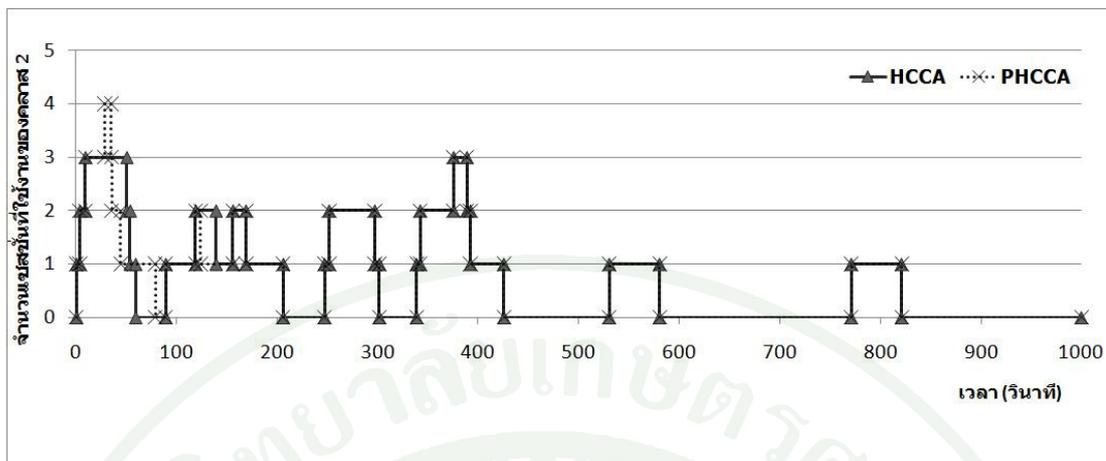
3. ผลการทดลองที่ 5

ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 65 – 69 ภาพที่ 65 – 67 แสดงจำนวนการใช้งานของเซสชันคลาส 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในช่วงการทดลอง 1,000 วินาทีแรก แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่ใช้งาน และแกนแนวนอนแสดงเวลาในการทดลองในหน่วยวินาที

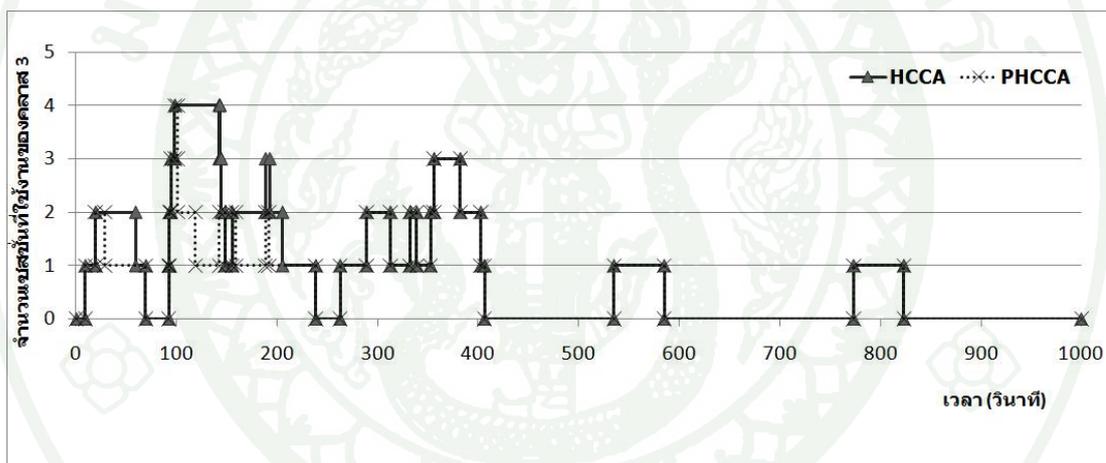
ภาพที่ 68 ประกอบไปด้วยกราฟ 3 อัน โดยกราฟบนสุดแสดงจำนวนการใช้งานของเซสชันคลาส 1 ถัดลงมาเป็นกราฟแสดงจำนวนการใช้งานของเซสชันคลาส 2 และกราฟล่างสุดแสดงแสดงจำนวนการใช้งานของเซสชันคลาส 3 ใน 100 วินาทีแรก เพื่อดูรายละเอียดของพฤติกรรมการทำงานในช่วง 100 วินาทีแรก



ภาพที่ 65 จำนวนการใช้งานของเซสชันคลาส 1 ในการช่วงการทดลอง 1,000 วินาทีแรก



ภาพที่ 66 จำนวนการใช้งานของเซสชันคลาส 2 ในการช่วงการทดลอง 1,000 วินาทีแรก



ภาพที่ 67 จำนวนการใช้งานของเซสชันคลาส 3 ในการช่วงการทดลอง 1,000 วินาทีแรก

ที่เวลา t_1 (วินาทีที่ 28.9027 ภาพที่ 68) เป็นเวลาที่คลาส 2 ร้องขอการเข้าใช้งาน ถ้าเป็นในกรณีของ HCCA การร้องขอนั้นจะถูกปฏิเสธไปเนื่องจากไม่มีแบนด์วิดท์ว่างเพียงพอที่จะรับเข้ามาได้ แต่ในกรณีของ PHCCA นั้น สามารถรับเข้ามาได้ โดยการยืมแบนด์วิดท์จากคลาส 3 มา โดยการตัดการเชื่อมต่อของเซสชันในคลาส 3 ออก 1 เซสชัน

ที่เวลา t_2 (วินาทีที่ 29.5269 ภาพที่ 68) มีการร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 3 ซึ่งจะถูกปฏิเสธการร้องขอเข้าใช้งานออกไปในแบบ HCCA ส่วนแบบ PHCCA ก็จะถูกปฏิเสธการร้องขอ

เข้าใช้งานเช่นกัน เนื่องจากเป็นคลาส 3 ซึ่งมีลำดับความสำคัญต่ำที่สุด จึงไม่สามารถยืมแบนด์วิดท์จากคลาสอื่นๆ ได้

ที่เวลา t_3 (วินาทีที่ 35.371 ภาพที่ 68) มีการร้องขอการเข้าใช้งานของคลาส 1 ถ้าเป็นกรณี HCCA จะถูกปฏิเสธการร้องขอเข้าใช้งานออกไป เหมือนกับเหตุการณ์ก่อนหน้าที่เวลา t_1 แต่สำหรับ PHCCA ถึงแม้ว่าคลาส 3 จะมาถึงจุดที่จองพื้นที่ ก็ไม่สามารถยืมแบนด์วิดท์จากคลาส 3 ได้ แต่คลาส 1 ยังคงสามารถยืมจากคลาส 2 มาแทน จึงสามารถรับเข้าใช้งานได้

ที่เวลา t_4, t_5 (วินาทีที่ 35.6507 และ 44.6164 ตามลำดับ แสดงภาพที่ 68) คลาส 2 ถูกตัดการเข้าใช้งานเพื่อให้คลาส 1 เข้ามาใช้งาน

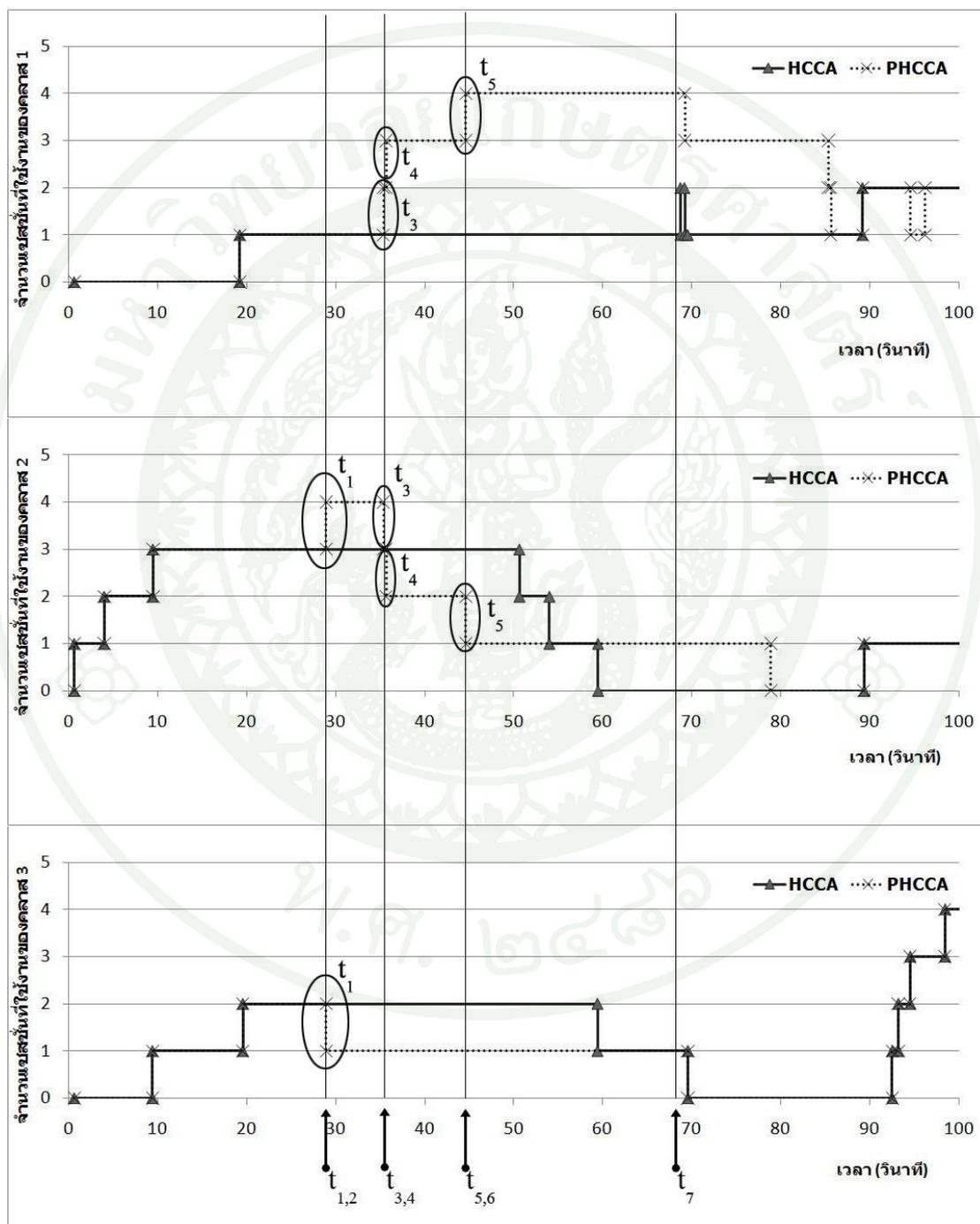
ที่เวลา t_6, t_7 (วินาทีที่ 45.2433, 68.6761 ภาพที่ 68) คลาส 1 ร้องขอการเข้าใช้งาน แต่ไม่สามารถเข้าใช้งานได้เนื่องจากแบนด์วิดท์ของคลาส 2 มาถึงพื้นที่ ที่จองไว้

ภาพที่ 69 แสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ โดยที่ไม่ถูกตัดการใช้งานระหว่างใช้งาน โดยที่แกนแนวตั้งแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ และแกนแนวนอนแสดงถึงคลาส 1 คลาส 2 และคลาส 3 โดยที่กราฟแท่งสีเทาเข้ม แสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของการทำงานแบบ HCCA และกราฟแท่งสีเทาแสดงจำนวนเซสชันที่สามารถใช้งานได้ของการทำงานแบบ PHCCA

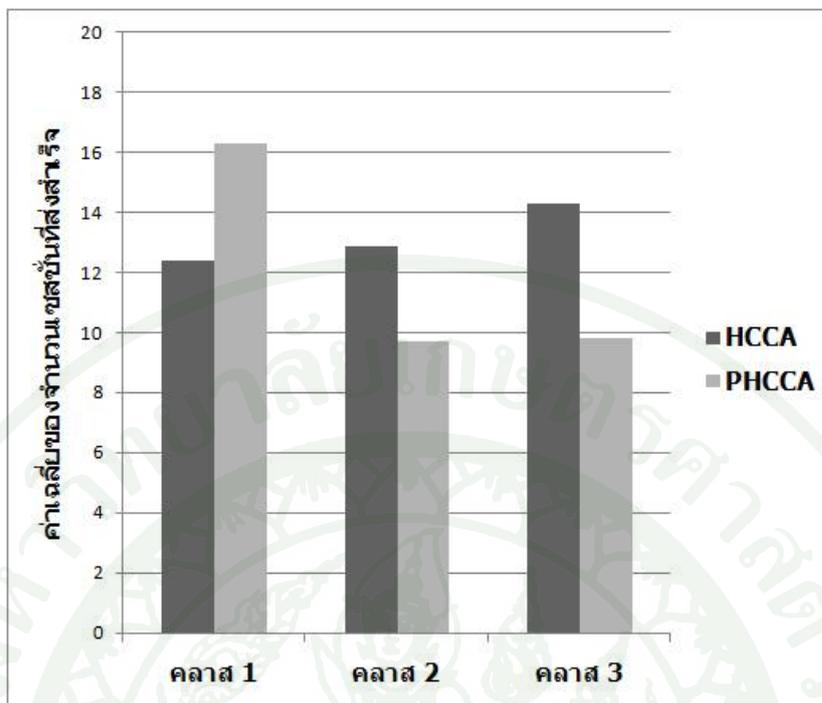
4. สรุปผลการทดลองครั้งที่ 5

จากการทดลองจะเห็นได้ว่ากระบวนการยืม คินแบนด์วิดท์ นั้นจะเกิดขึ้นบ่อยในช่วงเวลาประมาณ 400 วินาทีแรก เนื่องจากมีการเข้าการใช้งานก่อนค้างเยอะ ส่วนช่วงตอนท้าย หรือวินาทีที่ 400 ขึ้นไป จะไม่ค่อยมีกระบวนการยืมคิน หรือ HCCA กับ PHCCA ได้ผลออกมาค่อนข้างจะเหมือนกัน เนื่องจากมีการร้องขอเข้าใช้งานเป็นจำนวนน้อย และระบบสามารถให้บริการได้ทั้งหมดอย่างเพียงพอ

ผลการทดลองทั้ง 10 ครั้งสรุปได้ดังรูปที่ 69 ซึ่งผลการทดลองจะเห็นได้ว่า คลาส 1 แบบ PHCCA สามารถเข้าใช้งานได้ดีกว่าแบบ HCCA อย่างเห็นได้ชัด ขณะเดียวกันคลาส 2 และคลาส 3 ยังสามารถใช้งานได้ดีที่สูง



ภาพที่ 68 จำนวนเซสชันของคลาส 1-3 ในการช่วงการทดลอง 100 วินาทีแรก



ภาพที่ 69 จำนวนเฉลี่ยของจำนวนเซสชันที่ส่งสำเร็จ จากการทดลอง 10 ครั้ง ของการทดลองที่ 5

วิจารณ์

จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่า ขนาดของแบนด์วิดท์ที่ร้องขอการเข้าใช้งานนั้น มีผลต่อการเข้าใช้งาน โดยที่ถ้าร้องขอแบนด์วิดท์ปริมาณมากจะทำให้โอกาสการได้รับการเข้าใช้งานได้ลดลง ขณะเดียวกันถ้าร้องขอแบนด์วิดท์ในปริมาณน้อย โอกาสการได้รับการเข้าใช้งานจะมีได้มากขึ้น

การแบ่งลำดับความสำคัญออกเป็นหลายๆ คลาส ในกรณีที่มีการใช้งานเป็นจำนวนมาก จะส่งผลให้คลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำ ไม่สามารถใช้งานได้ ในกรณีถ้าไม่มีการจองพื้นที่ขั้นต่ำสำหรับคลาสที่มีลำดับความสำคัญต่ำ แต่ ถ้าจองพื้นที่มากเกินไป จะส่งผลให้การเข้าใช้งานของคลาสที่มีลำดับความสูง ใช้งานได้พร้อมกันได้จำนวนน้อยลง ดังนั้นการกำหนดการจองพื้นที่ขั้นต่ำนั้น ถ้าระบบสามารถคาดการณ์ได้ว่ามีคลาสไหนร้องขอการเข้าใช้งานเข้ามา ระบบอาจจะสามารถปรับขนาดการจองแบนด์วิดท์ขั้นต่ำให้มประสิทธิภาพมากขึ้นได้ มากกว่าแบบการกำหนดแบบคงที่

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การทำงานตามมาตรฐาน IEEE802.11e ในโหมด HCCA นั้น เป็นการทำงานในลักษณะใดก็ตามก่อนได้เข้าใช้งานก่อน ซึ่งอาจจะทำให้ การร้องขอที่อาจจะมีค่าสำคัญกว่า แต่มาทีหลังไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงปรับปรุงการทำงานของ HCCA ให้มีลำดับความสำคัญ เพื่อให้สามารถรับการร้องขอที่มีค่าสำคัญกว่า แต่มาทีหลังได้

การแบ่งลำดับความสำคัญนั้น อาจจะแบ่งตามความสำคัญของการใช้งาน เช่น โปรแกรมประยุกต์ ที่ใช้งานในเวลาจริง มีความสำคัญมากกว่า โปรแกรมที่ใช้งานทั่วไป เช่น http เป็นต้น หรือแบ่งตามผู้ที่มีสิทธิ์ใช้งาน เช่น ผู้บริหาร มีสิทธิการใช้งานในลำดับความสำคัญที่สูงกว่า พนักงานทั่วไป เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้เพิ่มการแบ่งลำดับความสำคัญเป็น 3 คลาส คลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงสุด คลาส 2 มีลำดับความสำคัญรองลงมา และคลาส 3 มีลำดับความสำคัญที่ต่ำที่สุด โดยที่คลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่า สามารถยืมแบนด์วิดท์ของคลาสที่มีลำดับความสำคัญที่ต่ำกว่าได้

กระบวนการยืมแบนด์วิดท์นั้น จะเริ่มยืมจากคลาสที่ต่ำที่สุดก่อน กรณีถ้ายืมจากคลาสต่ำสุดไม่พอจะยืมแบนด์วิดท์ของคลาสที่มีความสำคัญลำดับถัดไป โดยวิธีการยืมนั้นจะทำการตัดการเชื่อมต่อที่มีการใช้งานที่สุดออกก่อน ซึ่งวิธีการตัดการเชื่อมต่อที่นานที่สุดออกนั้น อาจจะไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุดเสมอไป แต่ที่เลือกใช้วิธีนี้เนื่องจาก เป็นการป้องกัน การเข้ามางานเป็นระยะเวลานาน จนไม่สามารถรับการเชื่อมต่อใหม่ได้

การแบ่งลำดับความสำคัญนั้น ก็อาจจะส่งผลเสียเช่นกัน เช่น ในกรณีที่มีการร้องขอการใช้งานที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่า จะส่งผลให้การร้องขอการเข้าใช้งานที่มีลำดับความสำคัญที่ต่ำกว่า อาจจะไม่สามารถใช้งานได้เลย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจองพื้นที่ สำหรับคลาสที่ต่ำกว่า เพื่อป้องกันปัญหานี้ แต่ในกรณีที่จองพื้นที่ไม่เหมาะสม เช่น จองพื้นที่มากเกินไปก็อาจจะส่งผลให้คลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงเข้ามาใช้งานได้น้อย

โอกาสที่จะได้รับการเข้าใช้งานนั้น ทรัพยากรที่ร้องขอ หรือแบนด์วิดท์ ก็มีส่วนสำคัญคือ ในกรณีที่การร้องขอการเข้าใช้งานใช้แบนด์วิดท์ที่มีขนาดเล็กน้อย จะมีโอกาสที่ขอแล้วมีโอกาสได้รับการบริการที่สูงกว่าการร้องขอแบนด์วิดท์ที่มีขนาดใหญ่สูง เนื่องจาก การร้องขอที่มีความต้องการแบนด์วิดท์มาก ระบบหรือแอสเซสพอยต์อาจจะไม่สามารถรับเข้ามาได้เนื่องจากไม่มีพื้นที่แบนด์วิดท์เหลือเพียงพอที่จะให้บริการ

ข้อเสนอแนะ

การทดลองครั้งต่อไป ทดสอบกรณีที่สถานีที่ร้องขอการเข้าใช้งานมีการเคลื่อนที่ไปด้วยว่าจะส่งผลกระทบต่อระบบอย่างไรบ้าง หรือกรณีที่การร้องขอนั้นเป็นในลักษณะแบบความต้องการ การใช้งานที่ไม่คงที่ว่าจะส่งผลกระทบต่อระบบอย่างไรบ้าง และจะต้องเพิ่มพารามิเตอร์ในการพิจารณาส่วนไหนบ้างเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

อนันต์ ผลเพิ่ม. 2550. แลนไร้สาย. บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน) กรุงเทพฯ

A. Banchs, X. Perez, M. Radimirsch and H.J. Stuttgen. 2001. Service differentiation extensions for elastic and real-time traffic in 802.11 wireless LAN. **2001 IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing.**

A. Malla, M. El-Kadi, S. Olariu and P. Todorova. 2003. A fair resource allocation protocol for multimedia wireless networks. *IEEE Trans. Parallel Distrib.*

D.-J. Deng and R.-S. Chang. 1999. A priority scheme for IEEE 802.11 DCF access method. **IEICE Transactions on Communications.**

D. Skyrianoglou, N. Passas and A. Salkintzis. 2005. Traffic Scheduling for Multimedia QoS over Wireless LANs. **ICC 2005.**

Deepak C. Karia and Uttam D. Kole. 2008. Performance Analysis of Real and Non Real Time Traffic over WLAN Using Connection Admission Control Policy. **Computer Modeling and Simulation, 2008. EMS '08.**

F. Didi, M. Feham, H. Labiod and G. Pujolle. 2008. Dynamic Admission Control Algorithm for WLANs 802.11. **ICTTA 2008.**

H. Fattah and C. Leung. 2002. An Overview of Scheduling Algorithms in Wireless Multimedia Networks. **IEEE Wireless.**

H. Saranyu and P. Anan 2010. Priority based HCCA for IEEE 802.11e. **The 2010 International Conference on Communications and Mobile Computing (CMC2010).**

J Pak, Y Kwon and K Han. 2007. An Adaptive Frame-Based Admission Control for Multimedia Traffic in Wireless LAN. **Human Interface, Part1, HCII 2007, LNCS 4557.**

J Zhu and AO Fapojuwo. 2007. A New Call Admission Control Method for Providing Desired Throughput and Delay Performance in IEEE802.11e Wireless LANs. **IEEE transactions on wireless communications.**

M. El-Kadi, S. Olariu and H. Abdel-Wahab. 2000. A Rate-Based Borrowing Scheme for QoS Provisioning in Multimedia Wireless Networks. **Proc. IFIP Sixth Int'l Conf. Intelligence in Networks.**

S. Shin and H. Schulzrinne. 2008. Call Admission Control in IEEE 802.11 WLANs using QP-CAT. **IEEE Infocom 2008.**

YS Chen, YW Lee and GH Huang. 2008. Modified HCCA Mechanism for Improving QoS Support in IEEE 802.11e Network. **Proceedings of the international conference on mobile technology, applications, and systems.**

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายศรัณยู อินตระกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	16 กุมภาพันธ์ 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานครฯ
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรเครือข่าย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักบริการคอมพิวเตอร์ ม.เกษตรศาสตร์ บางเขน
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	