กรณีศึกษาการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์ผ่านไอพีด้วยเลขหมายในหมวด 06 กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานและโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทย

ศุภชัย คลังทอง[1] พรพิมล ฉายรัศมี[2]และ สุขสันต์ พาณิชพาพิบูล[3]
[1, 2] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม [3]คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail: supachaik@gmail.com[1] , kcpornpi@kmitl.ac.th[2] and kpsooksa@kmitl.ac.th[3]

บทคัดย่อ

ปัจจุบัน การเชื่อมต่อสื่อสารในรูปแบบโทรศัพท์ผ่านไอพีในหมวดเลขหมาย 06 ไปยังโครงข่ายโทรศัพท์แบบอื่นๆ ในประเทศไทย ยังไม่มีการให้บริการอย่างเป็นรูปธรรม เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเทคนิคของผู้ให้บริการโทรศัพท์ รวมไปถึงความต้องการทางด้านคุณภาพเสียงของกลุ่มผู้บริโภคซึ่งการสื่อสารในรูปแบบโทรศัพท์ผ่านไอพีไม่สามารถตอบสนองความพึงพอใจได้ งานวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพของการสื่อสารและการเชื่อมต่อโดยใช้ E-Model ตามมาตรฐาน ITU-T G.107 ซึ่งทดสอบที่มาตรฐาน Codec G.711, G.723 และ G.729 ภายใต้สมมติฐานการส่งผ่านขนาด Voice Payload Size ของแต่ละมาตรฐาน Codec ไปบนโพรโตคอล ICMP รวมไปถึงการวัดค่าพารามิเตอร์มาตรฐานและคุณภาพการให้บริการโทรคมนาคมประเภทเสียงตามประกาศคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ผลการทดสอบตามมาตรฐาน Codec ดังกล่าวปรากฏว่าค่า MOS และค่า R-value รวมไปถึงคุณภาพการให้บริการโทรคมนาคมประเภทเสียงอยู่ในระดับที่สูงกว่ามาตรฐานที่ กทช. กำหนด แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความแปรปรวนของเวลาหรือการประวิงเวลาที่ใช้ในการเดินทางของแพ็กเก็ตที่เป็นสัญญาณเสียง ซึ่งจะทำให้ค่าพารามิเตอร์มาตรฐานทางด้านคุณภาพเสียงมีการเปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ-- VoIP ในหมวดเลขหมาย 06; E-Model; R-Value; MOS

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยี Voice over Internet Protocol หรือ VoIP เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง ไม่เว้นแม้แต่ประเทศไทยที่มีอัตราการเจริญเติบโตของเทคโนโลยี VoIP อย่างต่อเนื่อง ทั้งกลุ่มผู้ให้บริการและกลุ่มของผู้บริโภค การเชื่อมต่อเทคโนโลยี VoIP เพื่อให้บริการในประเทศไทยนั้น ส่วนใหญ่เป็นลักษณะการให้บริการผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ให้บริการ VoIP จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของผู้ให้บริการที่ได้รับอนุญาต รวมไปถึงการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์ประเภท IP หรือผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า Softphone และสื่อสารผ่านอุปกรณ์ที่ติดตั้งภายในหน่วยงานเพื่อใช้ติดต่อกันระหว่างสาขาผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ตหรืออินทราเน็ต การเชื่อมต่อโครงข่ายโทรศัพท์ผ่านไอพีกับโครงข่ายโทรศัพท์ประเภทอื่นๆ เดิมการเรียกสายจากโทรศัพท์พื้นฐาน และโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังเลขหมายของ VoIP ไม่สามารถเรียกได้โดยตรง เนื่องจากอุปกรณ์ VoIP ไม่มีเลขหมายประจำเครื่อง ทำให้การสื่อสารหรือการเรียกไปยังเลขหมายของอุปกรณ์ VoIP ไม่สามารถทำได้ สิ่งที่ระบุถึงตัวตนของอุปกรณ์ปลายทาง VoIP เป็นเพียงเลขหมาย IP Address ของอุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายสำหรับเรียกไปยังโครงข่ายโทรศัพท์ประเภทอื่นๆ ดังนั้นทางสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ได้มีการจัดสรรเลขหมายให้กับโครงข่าย VoIP ในหมวด 06 [1] เพื่อทำการทดสอบ และให้บริการ ระหว่างผู้ให้บริการโทรศัพท์ประเภทต่างๆ ทั้งนี้การทดสอบและให้บริการต้องคำนึงถึงข้อกำหนดและหลักเกณฑ์ที่ กทช. กำหนดขึ้น

การวัดคุณภาพเสียงในงานวิจัยนี้ใช้ E-Model ตามมาตรฐาน ITU G.107 ที่มีข้อดีคือ มีต้นทุนที่ต่ำกว่า และสามารถนำไปใช้งานได้สะดวกมากกว่าการวัดคุณภาพเสียงแบบ PSQM ตามมาตรฐาน ITU-T P.861 และ PESQ ตามมาตรฐาน ITU-T P.861 [2]

2. ทฤษฎีและองค์ประกอบของระบบ

ทฤษฎีและองค์ประกอบของระบบ เพื่อใช้ศึกษาความสามารถในการใช้งานร่วมกันของการเชื่อมต่อโครงข่ายประกอบด้วย

2.1 มาตรฐานการเข้ารหัสบริการโทรศัพท์ผ่านไอพี

Codec (Coder/Decoder) คือวิธีเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงที่รับส่งระหว่างการสนทนาเพื่อให้มีความถูกต้อง และเป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้สามารถส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรืออินทราเน็ตได้ [3] โดย ITU เป็นผู้กำหนดมาตรฐาน Codec ของ VoIP ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการใช้งานมาตรฐาน Codec แต่ละประเภท [3]

Codec	Bit Rate	Ethernet Overhead Bandwidth	Total Bandwidth
G.711	64 kbps	31.2 kbps	95.2 kbps
G.723	6.3 kbps	31.2 kbps	37.5 kbps
G.729	8 kbps	31.2 kbps	39.2 kbps

2.2 การประเมินคุณภาพของ VoIP

การประเมินคุณภาพของ VoIP มีตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาดังต่อไปนี้

2.2.1 อัตราส่วนคุณภาพการส่งโดยรวม (R-Value)

เป็นค่าตัวแปรที่บอกถึงระดับคุณภาพของการสื่อสารเสียง (Transmission Rating Factor) พิจารณาจากปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น Delay, Packet Loss และ Jitter เป็นต้น พิจารณาจากอุปกรณ์ต้นทางถึงอุปกรณ์ปลายทาง (End to End) ค่า R-Value สามารถคำนวณจากสมการ E-Model ดังนี้ [4]

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e-eff} + A \qquad (1)$$

โดยที่ R_0 = Basic Signal to Noise Ratio

I_s = A Combination of All Impairments Simultaneously

I_d = Impairment Caused by Delay

I_{e-eff} = The Packet-Loss Dependent Effective Equipment Impairment factor

A = Advantage Factor

2.2.2 Mean Opinion Score (MOS)

MOS คือวิธีการประเมินคุณภาพเสียงในลักษณะของการประเมินเชิงคุณภาพ (Subjective) ค่าที่ได้จะเป็นค่าตัวเลขระหว่าง 1 ถึง 5 โดย 5 หมายถึงคุณภาพที่ดีที่สุด และระดับคุณภาพจะลดลงตามคะแนนที่ต่ำลงจนถึงระดับ 1 หมายถึงคุณภาพที่ไม่สามารถยอมรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 2 ค่า MOS คำนวณได้ ดังนี้ [5]

สำหรับ $R < 0$: $MOS = 1$

สำหรับ $0 < R < 100$:

$$MOS = 1 + 0.035R + R(R-60)(100-R)7 \times 10^{-6}$$

สำหรับ $R > 100$ $MOS = 4.5$ (2)

ตารางที่ 2 ค่า MOS และระดับคุณภาพของเสียง [6]

MOS	คุณภาพ	ลักษณะ
5	ยอดเยี่ยม	คาดไม่ถึง
4	ดี	ใช้ได้ดี
3	พอใช้	น่าหงุดหงิดเล็กน้อย
2	ไม่ดี	ไม่น่าพอใจ
1	แย่	ไม่พอใจ

2.3 ประเภทของบริการเสียงผ่านบริการอินเทอร์เน็ต

ประเภทของบริการเสียงผ่านบริการอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย ซึ่งกำหนดไว้ในประกาศของ กทช. สามารถแบ่งได้ 4 ประเภท [7] คือ

บริการประเภทที่ 1: บริการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้อุปกรณ์ IP ด้วยกัน อาทิ การติดต่อระหว่างผู้ใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยอาศัยโปรแกรมที่มีความเข้ากันได้

บริการประเภทที่ 2: บริการติดต่อสื่อสารจากผู้ใช้อุปกรณ์ IP ไปยังเครื่องโทรศัพท์ อาทิ การติดต่อจากผู้ใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไปยังผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์โดยอาศัยโปรแกรมเฉพาะ

บริการประเภทที่3: บริการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์โดยผ่านโครงข่าย IP ซึ่งผู้ใช้ต้นทางใช้เลขหมายปกตินอกเหนือจากเลขหมายในกลุ่ม 06

บริการประเภทที่4: บริการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์ โดยผ่านโครงข่าย IP ซึ่งผู้ใช้ต้นทางใช้เลขหมายในกลุ่ม 06

งานวิจัยนี้ทดสอบคุณภาพการให้บริการ VoIP ตามข้อกำหนดประเภทที่ 4 ดังแสดงในตารางที่ 3

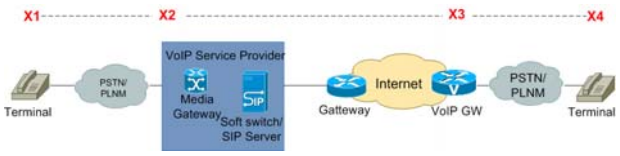
ตารางที่ 3 ข้อกำหนดทางเทคนิคสำหรับคุณภาพการให้บริการ [7]

พารามิเตอร์	ประเภท			
	1	2	3	4
R-Value	ไม่กำหนด	> 50	> 80	> 70
End to End delay (ms)	ไม่กำหนด	< 400	< 100	< 150
Call Failure Rate	ไม่กำหนด	≤ 0.15	≤ 0.15	≤ 0.15

2.4 การวัดคุณภาพเสียง

2.4.1 การออกแบบระบบการเชื่อมต่อโครงข่าย

การวัด Delay Time และ Packet Loss สามารถทดสอบโดยการจำลองข้อมูลตามขนาด Voice Payload Size ของแต่ละมาตรฐาน Codec แล้วส่งไปบนโพรโตคอล ICMP (Internet Control Message Protocol) กรณีทดสอบเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์ผ่านไอพีด้วยเลขหมายในหมวด 06 วัดจากจุด X1 ถึง X4 และกรณีทดสอบเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์ผ่านไอพีด้วยเลขหมายในหมวด 06 กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานและโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ วัดจากจุด X1 ถึง X3 ดังแสดงในรูปที่ 1 [8]



รูปที่ 1 การออกแบบระบบการเชื่อมต่อโครงข่าย

2.4.2 สมมุติฐานการวัดคุณภาพเสียงและความจุช่องสัญญาณโดยรวมของโทรศัพท์ผ่านไอพี

การวัดคุณภาพเสียงทำได้โดยการจำลองข้อมูลตามขนาดแพ็กเกตโดยรวม (Voice Packet Size) ของแต่ละมาตรฐาน Codec แล้วส่งผ่านโพรโตคอล ICMP ขนาดของแพ็กเกตโดยรวม คำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ [9]

$$VPS = MLPPP + PH + PS \quad (3)$$

โดย VPS คือขนาดของแพ็กเก็ตโดยรวม (Voice Packet Size) หน่วย Bytes
MLPPP คือ Multilink Point to Point Protocol ขนาด 6 Bytes
PH คือ IP/UDP/RTP Protocol Header ขนาด 2 Bytes
PS คืออัตราการส่งสัญญาณเสียง (Payload Size) หน่วย Bytes

ความจุช่องสัญญาณโดยรวมของ VoIP เป็นสัดส่วนโดยตรงของจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ส่ง หรือรับต่อหน่วยเวลา การคำนวณความจุช่องสัญญาณโดยรวมของโทรศัพท์ผ่านไอพีหาค่าได้ดังสมการต่อไปนี้ [9]

$$VPS\ (bits) = VPS\ (Bytes) \times 8\ bits \quad (4)$$
$$VPPS\ (pps) = Bit\,Rate\ /\ PS\ (bits) \quad (5)$$
$$PS\ (bits) = PS\ (Bytes) \times 8\ bits \quad (6)$$
$$BPC = VPS\ (bits) \times VPPS\ (pps) \quad (7)$$

โดย VPPS: Voice Packet per second หน่วย pps (Packet per second)
BPC: Bandwidth per Call หน่วย kbps

ตารางที่ 4 แสดงขนาดแพ็กเกตโดยรวมของแต่ละมาตรฐาน Codec คำนวณจากสมการที่ (3) และค่า Bandwidth per Call คำนวณจากสมการที่ (7)

ตารางที่ 4 ค่า Voice Packet Size และ ค่า Bandwidth per Call จากการคำนวณ

Codec	Payload Size	Voice Packet Size	Voice Packet/Sec.	Bandwidth/ Call
G.711	160 Bytes	168 Bytes	50 pps	67.05 kbps
G.723	24 Bytes	32 Bytes	32.8125 pps	8.4 kbps
G.729	20 Bytes	28 Bytes	50 pps	11.2 kbps

3. การประเมินคุณภาพ VoIP โดยใช้ E-Model

การประเมินคุณภาพของ VoIP โดยใช้ E-Model ตามมาตรฐาน ITU สามารถทำได้ดังนี้

3.1 Transmission Rating Factor (R-Value)

จากสมการที่ (1) กำหนดให้ $(R_0 - I_S + A) = 93.2$ ตาม ITU Recommendation [4] คำนวณได้ดังนี้

$$R = 93.2 - I_d - I_{e-eff} \quad (8)$$

โดยที่ $I_d = \begin{cases} 0 & ; \ Ta \le 100\,ms \\ I_{dd} & ; \ Ta > 100\,ms \end{cases}$

$$I_{e-eff} = I_e + \left\{ (95 - I_e) \times \frac{Ppl}{(Ppl + Bpl)} \right\}$$

Ppl = Packet-Loss Probability

I_e = Equipment Impairment Factor ค่าตามตารางที่ 5

Bpl = Packet-Loss Robustness Factor ค่าตามตารางที่ 5

$$I_{dd} = 25 \times \left\{ (1 + X^6)^{\frac{1}{6}} - 3\left(1 + \left[\frac{X}{3} \right]^6 \right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\}$$

$$X = \frac{\log\left(\frac{Ta}{100} \right)}{\log 2}\ ; \quad Ta = \text{Delay Time [10]}$$

ตารางที่ 5 ค่า I_e และ Bpl ของแต่ละมาตรฐาน Codec [11]

Codec	I_e	Bpl
G.711	0	4.3
G.723	15	16.1
G.729	11	19

ค่า R-Value จะมีผลต่อการประเมินคุณภาพของ VoIP และเป็นตัวแปรสำคัญในการคำนวณหาค่า MOS ค่า R-Value ที่สูงจะทำให้ค่า MOS สูงตาม ระดับคุณภาพของ MOS แสดงดังตารางที่ 2

4. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแบ่งออกเป็น การทดสอบคุณภาพเสียง และผลการทดสอบมาตรฐานและคุณภาพการให้บริการ ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบคุณภาพเสียง

ตารางที่ 6 แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของบริการประเภทที่ 4 จากตารางที่ 2 โดยการทดสอบประกอบด้วย 3 พารามิเตอร์ คือ ค่าอัตราส่วนคุณภาพการส่งโดยรวม (R-Value), ค่าประวิงเวลาจากปลายถึง

ปลาย (End to End Delay) และค่าอัตราส่วนความล้มเหลวในการเรียก (Call Failure Rate)

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบคุณภาพเทียบกับข้อกำหนด

พารามิเตอร์	ข้อกำหนด*	ผลการทดสอบ		
		G.711	G.723	G.729
R-Value	> 70	92.97	78.15	82.15
End to End Delay (ms)	< 150	115	70	75
Call Failure Rate	≤0.15	0.1	0.1	0.1
MOS	ไม่กำหนด	4.4048	3.9522	4.1026

*ข้อกำหนดมาตรฐานจากตารางที่ 2 ประเภทที่ 4

ผลการทดสอบค่าอัตราส่วนคุณภาพการส่งโดยรวม (R-Value) แสดงว่า ค่า R-Value ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน Codec ทั้งสามมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด โดยผลการทดสอบของมาตรฐาน Codec G.711 ให้ค่าอัตราส่วนคุณภาพการส่งโดยรวมดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน Codec G.723 และ G.729 ซึ่งมีค่า Equipment Impairment Factor ที่สูงกว่ามาตรฐาน Codec G.711

ค่าประวิงเวลาจากปลายถึงปลาย (End to End Delay) มาตรฐานกำหนดต้องน้อยกว่า 150 ms ผลการทดสอบทั้ง 3 มาตรฐาน Codec ให้ผลดีกว่ามาตรฐานกำหนด และผลการทดสอบของมาตรฐาน Codec G.729 มีค่าประวิงเวลาจากปลายถึงปลายน้อยกว่ามาตรฐาน Codec G.711 และ G.723 เนื่องจาก Voice Packet Size ของมาตรฐาน Codec G.729 มีขนาด Packet น้อยกว่ามาตรฐาน Codec G.711 และ G.723

อัตราส่วนความล้มเหลวของการเรียก (Call Failure Rate) มาตรฐานกำหนดต้องไม่มากกว่า 0.15 ผลการทดสอบจากการเรียกไปกลับระหว่างเลขหมายปลายต้นทางและปลายทาง เป็นจำนวนมาตรฐาน Codec ละ 1000 ครั้ง พบว่า มาตรฐาน Codec ทั้งสามมีผลดีกว่าค่ากำหนด

ค่า MOS ที่คำนวณจากสมการที่ (2) แสดงว่าคุณภาพเสียงการทดสอบดีกว่าค่ากำหนดสำหรับมาตรฐาน Codec ทั้งสาม และพบว่าค่า MOS ที่ทดสอบตามมาตรฐาน Codec G.711 และ G.729 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนคุณภาพเสียงตามมาตรฐาน Codec G.723 อยู่ในเกณฑ์เกือบดี เนื่องจากมีค่า Equipment Impairment Factor สูง

4.2 ผลการทดสอบมาตรฐานและคุณภาพการให้บริการ

พารามิเตอร์มาตรฐานที่ กทช. กำหนดประกอบด้วย อัตราส่วนของการเรียกสำเร็จ (Successful Call Ratio) ภายในโครงข่ายและข้ามโครงข่าย, อัตราส่วนของกรณีที่สายหลุด (Drop Call Rate) ภายในโครงข่ายและข้ามโครงข่าย และระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อการเรียก (Call setup time) ทั้งนี้ทดสอบด้วยการเรียกไปกลับระหว่างเลขหมายต้นทางและปลายทาง จำนวนมาตรฐาน Codec ละ 1000 ครั้ง

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดสอบตามมาตรฐานและคุณภาพการให้บริการของแต่ละมาตรฐาน Codec โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ กทช.กำหนด

ค่าอัตราส่วนของการเรียกสำเร็จ (Successful Call Ratio) กรณีโทรภายในโครงข่ายและกรณีโทรข้ามโครงข่าย มาตรฐานกำหนดค่ามากกว่า 90% และมากกว่า 85% ตามลำดับ ผลการทดสอบของทั้งสามมาตรฐาน Codec ให้ค่ามากกว่ามาตรฐานกำหนด

ค่าอัตราส่วนของกรณีที่สายหลุด (Drop Call Rate) กรณีโทรภายในโครงข่าย และกรณีโทรข้ามโครงข่าย มาตรฐานกำหนดค่าน้อยกว่า 2% ผลการทดสอบของทั้งสามมาตรฐาน Codec ให้ค่าต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด โดยเฉพาะมาตรฐาน Codec G.729 มีค่า 0% หมายถึงไม่มีสายหลุดระหว่างคู่สนทนา

การทดสอบระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อการเรียก (Call setup time) มาตรฐานกำหนดค่าน้อยกว่า 10 วินาที ผลการทดสอบของทั้งสามมาตรฐาน Codec ให้ค่าสูงกว่ามาตรฐานกำหนด โดยระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อการเรียกของมาตรฐาน Codec G.729 ใช้เวลาน้อยที่สุด

ปริมาณ Call Concurrent ที่รองรับ ขึ้นอยู่กับความจุช่องสัญญาณการสื่อสารที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างผู้ให้บริการ ในงานวิจัยนี้นำเสนอการเชื่อมต่อภายใต้ความจุช่องสัญญาณ 2 Mbps ทำให้ Call Concurrent ของมาตรฐาน Codec G.711 รองรับได้ประมาณ 20 Call Concurrent มาตรฐาน Codec G.723 รองรับได้ประมาณ 150 Call Concurrent และ Codec G.729 รองรับได้ประมาณ 100 Call Concurrent โดยไม่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์คุณภาพ

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบมาตรฐานและคุณภาพการให้บริการ

พารามิเตอร์ของคุณภาพ	ข้อกำหนด [12]	ผลการทดสอบ		
		G.711	G.723	G.729
อัตราส่วนของการเรียกสำเร็จกรณีโทรในโครงข่ายเดียวกัน	> 90%	98%	98%	99%
อัตราส่วนของการเรียกสำเร็จกรณีโทรข้ามโครงข่าย	> 85%	95%	98%	99%
อัตราส่วนของกรณีที่สายหลุดกรณีโทรในโครงข่ายเดียวกัน	< 2%	0%	0%	0%
อัตราส่วนของกรณีที่สายหลุดกรณีโทรข้ามโครงข่าย	< 2%	1%	1%	0%
ระยะเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อการเรียก (วินาที)	< 10	7	7	5

5. สรุป

การทดสอบการเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์ผ่านไอพีกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานและโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ การวิเคราะห์ผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณภาพเสียง

และการวิเคราะห์ผลการทดสอบมาตรฐานและคุณภาพการให้บริการของระบบการเชื่อมต่อโครงข่าย ผลการทดสอบคุณภาพเสียง พิจารณาจาก Delay Time และ Packet Loss ที่เกิดขึ้นของแต่ละมาตรฐาน Codec ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของ Voice Packet Size รวมถึงการใช้แบนด์วิดท์และความคับคั่งของเครือข่ายที่เวลาเดียวกัน ส่วนตัวแปรที่บอกถึงคุณภาพเสียงคือ R-Value และ MOS ผลการทดสอบระดับคุณภาพของ MOS ทั้ง 3 มาตรฐาน Codec อยู่ในระดับดี และเกือบดี ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่า กทช. กำหนด การทดสอบทั้งหมดในงานวิจัยนี้เป็นการยืนยันด้านเทคนิคของการใช้งานร่วมกันระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์ผ่านไอพีกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานและโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้วยผลการทดสอบที่ให้คุณภาพเสียงของการเชื่อมต่อที่ดี การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์ผ่านไอพีกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานและโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ จึงสามารถนำไปให้บริการในอนาคตได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ราชกิจจานุเบกษา, “แผนเลขหมายโทรคมนาคม” กทช., เล่ม 123 ตอนที่ 50 ง, หน้าที่ 28-37, 18 พฤษภาคม 2549

[2] L. Ding and R.A. Goubran, “Assessment of Effects of Packet Loss on Speech Quality in VoIP,” The 2nd IEEE International Workshop. Page(s) 49-54, 2003

[3] กิตติพงษ์ สุวรรณราช, “ออกแบบและติดตั้งระบบโทรศัพท์ IP-PBX ด้วย Asterisk,” สำนักพิมพ์ออฟเซ็ทเพรส, หน้าที่ 1-38, กุมภาพันธ์ 2551

[4] ITU-T Recommendation G.107, “The E-Model, A Computational Model for Use in Transmission Planning,” 2005

[5] ITU-T Recommendation G.109, “Definition of Categories of Speech Transmission quality,” 1999

[6] ITU-T Recommendation P.800, “Methods for Subjective Determination of Transmission Quality Voice Quality,” 1996

[7] ราชกิจจานุเบกษา, “มาตรฐานสำหรับการให้บริการเสียงผ่านการให้บริการอินเทอร์เน็ต” กทช., เล่ม 125 ตอนพิเศษ 165 ง, หน้าที่ 47, 13 ตุลาคม 2551

[8] ณัฐภัทร พงศ์พุทธางกูร, “แนวทางการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการ VoIP กรณีศึกษา บริษัท SSS จำกัด,” วิทยานิพนธ์, สาขาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2551

[9] Cisco Systems Inc, “VoIP per Call Bandwidth Consumption,” available online http://www.cisco.com/warp/public/788/pkt-voice-general/bwidth_consume.pdf

[10] R. Cole and J. Resenbluth, “Voice over IP Performance Monitoring,” ACM Comput. Commun. Rev. vol. 31, Apr2001

[11] ITU-T Recommendation G.113, “Transmission Impairments Due to Speech Processing,” 2007

[12] ราชกิจจานุเบกษา, “มาตรฐานและคุณภาพการให้บริการโทรคมนาคมประเภทเสียง” กทช., เล่ม 125 ตอนพิเศษ 34 ง, เอกสารแนบท้าย, หน้า 1-7, 18 พฤษภาคม 2549