

การวิเคราะห์ค่า Latency ของการเชื่อมต่อโครงข่ายสื่อสารกับศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) โครงข่ายสื่อสาร IP Core & DWDM Network 100G ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค  
Latency Analysis of IP Core & DWDM 100G Network at 100Gbps Between Data Center (DC) and Disaster Recovery Center (DRC) of PEA

นายอรรถสิทธิ์ วงศ์ธนะศักดิ์ชัย<sup>1</sup>, นายสุภโชค วีระชวนะศักดิ์<sup>2</sup>, นายจิระ โกศลวิตร<sup>3</sup>

<sup>1</sup>กองออกแบบระบบสื่อสาร การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค/ฝ่ายสื่อสารและโทรคมนาคม/, adthasit.won@pea.co.th

<sup>2</sup>กองออกแบบระบบสื่อสาร การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค/ฝ่ายสื่อสารและโทรคมนาคม/, suphachoke.wee@pea.co.th

<sup>3</sup>กองออกแบบระบบสื่อสาร การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค/ฝ่ายสื่อสารและโทรคมนาคม/ jira.kos@pea.co.th

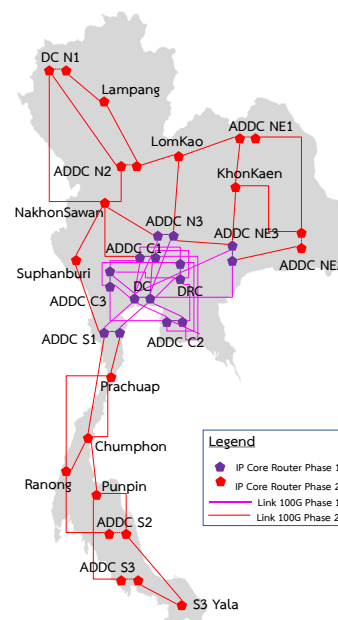
#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวความคิดในการวิเคราะห์การเชื่อมต่อโครงข่ายสื่อสารเพื่อเชื่อมโยงไปยังศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผ่านโครงข่ายระบบสื่อสารขนาด 100 Gbps โดยปัจจุบันโครงข่ายดังกล่าวถูกนำมาใช้งานเชื่อมโยงระบบสื่อสารระหว่างสำนักงานการไฟฟ้า สถานีไฟฟ้า และศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟ จำนวน 12 เขต ในพื้นที่ทั่วประเทศ เพื่อใช้รองรับระบบงานต่าง ๆ ซึ่งในบทความนี้เสนอการวิเคราะห์การเชื่อมต่อใช้งานโครงข่ายสื่อสารที่ Interface 10/100G บนอุปกรณ์ IP Core Router & DWDM และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Latency กับค่า Maximum Transmission Unit (MTU) ของแต่ละ Package เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโครงข่าย โดยโครงข่ายที่ออกแบบจะต้องมีความเร็วในการตอบสนองที่ต่ำ เพื่อให้การเชื่อมต่อระบบงานต่าง ๆ เช่น ระบบ IT, ระบบ SCADA, ระบบ Teleprotection ฯลฯ สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ :** Data Center, Disaster Recovery Center, IP Core Network, DWDM Network, IP/MPLS, Latency, Delay, Maximum Transmission Unit (MTU)

#### 1. บทนำ

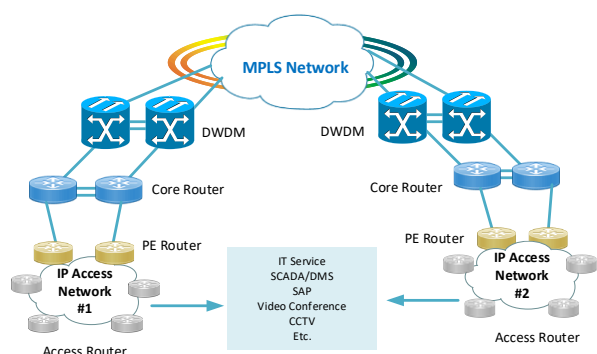
ปัจจุบัน กฟผ. มีแผนพัฒนาโครงข่ายระบบสื่อสาร IP Core & DWDM Network 100G ให้สามารถครอบคลุมใช้งานได้ทั่วประเทศ และเพื่อรองรับการเชื่อมโยงศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) และเชื่อมโยงสำนักงานการไฟฟ้า/สถานีไฟฟ้า/ศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟเข้าด้วยกัน



รูปที่ 1 ภาพรวมโครงข่ายระบบสื่อสาร IP Core & DWDM Network 100G เพื่อรองรับการเชื่อมโยงศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center)

และสำนักงานการไฟฟ้า/สถานีไฟฟ้า/ศูนย์ควบคุมการจ่ายไฟของ กฟภ. ทั่วประเทศ

[1] โครงข่ายดังกล่าวถูกออกแบบให้มีช่องสัญญาณ (Bandwidth) ขนาด 100 Gbps เชื่อมต่อระหว่างสำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขตทั้ง 12 เขต เข้ากับศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) ซึ่งโครงข่ายถูกออกแบบในลักษณะ Redundant และการเชื่อมต่อในรูปแบบ Loop, Ring หรือ Mesh เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ (High Reliability) ป้องกันในกรณีที่สายเคเบิลใยแก้วนำแสงหรืออุปกรณ์สื่อสารมีปัญหา และเป็นโครงข่ายที่มีความปลอดภัยสูง (High Security) มีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล การเข้ารหัสข้อมูล (Encryption) การจำกัดสิทธิ์ของผู้ใช้งานในโครงข่าย ป้องกันการรั่วไหลของข้อมูลบนอุปกรณ์ Network อีกทั้งยังเป็นโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพสูง (High Performance) มีเวลาในการตอบสนองน้อยกว่า 50 ms (Switching Time) สำหรับรองรับ Application ในรูปแบบ Real time และระบบงานต่าง ๆ ภายในองค์กร เช่น ระบบงานด้าน IT, ระบบควบคุมสั่งการจ่ายไฟอัตโนมัติ (SCADA/DMS), ระบบบริหารจัดการและบัญชี (SAP HANA) ฯลฯ ซึ่งในอนาคตอุปกรณ์โครงข่ายดังกล่าวสามารถ Upgrade ให้รองรับ Bandwidth ได้สูงสุดได้ถึง 400 Gbps เพื่อรองรับระบบงานใหม่ ๆ ที่กำลังจะถูกปรับเปลี่ยนระบบไปสู่ IP Based ในอนาคต ดังนั้น การออกแบบโครงข่ายระบบสื่อสารของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงจำเป็นต้องออกแบบให้มีช่องสัญญาณ (Bandwidth) เพียงพอกับการใช้งานทั้งในปัจจุบันและสามารถรองรับการใช้งานต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นอีกในอนาคต และมีความเร็วในการตอบสนองการรับ - ส่งข้อมูลที่ต่ำ (Low Latency) เพื่อให้โครงข่ายสามารถใช้งาน Application ต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 ภาพการเชื่อมต่อใช้งานระบบงานต่างๆ ผ่านโครงข่าย IP Access Network และ IP Core & DWDM Network 100 Gbps

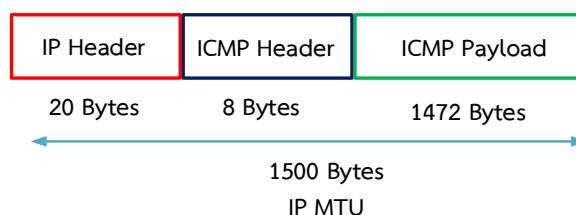
## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เทคโนโลยี Packet Switching

[2] Packet Switching คือเทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูล โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็นหลาย ๆ Packet เพื่อให้มีขนาดเล็กลง แล้วจึงกระจายกันออกไปผ่านเครือข่ายในเส้นทางต่าง ๆ ด้วยความเร็วที่ต่างกัน Packet Switching จะทำการหาเส้นทางที่เหมาะสมตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางให้กับแต่ละ Packet หากมี Packet ใดผิดพลาดหรือไม่สามารถส่งต่อได้ ระบบก็จะทำการส่ง Packet ดังกล่าวให้ใหม่ทันที และเมื่อข้อมูลทั้งหมดไปถึงผู้รับแล้ว คอมพิวเตอร์ที่เครื่องปลายทางจะจัดลำดับข้อมูลจาก Packet ที่ได้รับให้ถูกต้อง การส่งข้อมูลแบบ Packet Switching เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการส่งข้อมูลในการรับ-ส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากกว่า Message Switching และ Circuit Switching โดยข้อดีเทคโนโลยี Packet Switching นั้นสามารถแชร์ Bandwidth หรือแบ่งปันช่องทางในการรับ-ส่ง Packet ภายในโครงข่ายได้ เหมาะในการใช้เชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์หรือเครือข่าย LAN หลาย ๆ เครือข่ายเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถใช้ช่องทางสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.2 Maximum Transmission Unit (MTU)

[3] MTU คือ ขนาดของ Packet ที่ใหญ่ที่สุดที่สามารถส่งไปในโครงข่าย ซึ่งโดยปกติ MTU จะมีค่าอยู่ที่ 1,500 Bytes และ Jumbo Frame ที่ 9,000 Bytes ทั้งนี้ค่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับโครงข่ายที่เชื่อมต่ออยู่ โดยมีมาตรฐานอ้างอิงตามตารางที่ 1 โดยตัวอย่างของ IP MTU ขนาด 1500 Bytes จะประกอบไปด้วย IP Header ขนาด 20 Bytes ICMP Header ขนาด 8 Bytes และ ICMP Payload ขนาด 1472 Bytes ตามรูปที่ 3 เป็นต้น



รูปที่ 3 แสดงส่วนประกอบของ IP MTU ขนาด 1500 Bytes

Link Type	MTU (Bytes)	Standard
Ethernet	1500	RFC894
PPP	1500	RFC1134
IEEE802.3	1492	RFC1042
IEEE802.4	8166	RFC1042
IEEE802.5	4464	RFC1042
FDDI	4352	RFC1188
X.25	576	RFC877

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างขนาด MTU ของ Packet ตามมาตรฐานการเชื่อมต่อต่างๆ

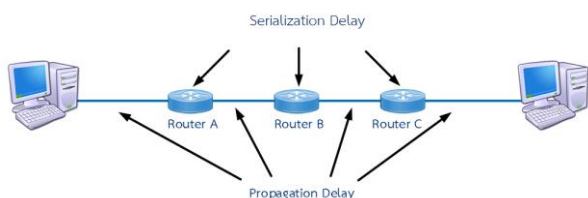
### 2.3 MPLS (Multiprotocol Label Switching)

MPLS เป็น Protocol ที่ใช้ลดกระบวนการที่ซับซ้อนของการส่ง IP Packet ผ่านเครือข่าย ทำให้กระบวนการส่ง Packet รวดเร็วขึ้นโดยการเพิ่มป้ายชื่อ หรือ Label เข้าไปใน Packet เพื่อให้ส่งต่อ Packet ไปในเส้นทางที่ใช้เวลาน้อยที่สุด โดยคำนวณเส้นทางที่จะส่งข้อมูลไว้ล่วงหน้า ทำให้การส่งข้อมูลมีความรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยข้อดีของ MPLS สามารถหาเส้นทางใหม่ได้รวดเร็วในกรณีที่ Link ขาด สามารถรองรับการขยายตัวของเครือข่ายง่ายต่อการบำรุงรักษาและสามารถจัดการเรื่องการรับประกันคุณภาพการให้บริการ Quality of Services (QoS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.4 Latency

[4] Latency คือ ระยะเวลาที่ใช้ส่ง Packet เดินทางจากต้นทางไปยังปลายทาง มีหน่วยวัดเป็นมิลลิวินาที (ms) ตัวเลขนี้ยิ่งมีค่าน้อยยิ่งดี แปลว่าการตอบสนองยิ่งรวดเร็ว โดยปัจจัยหลักที่ทำให้เกิด Network Latency ตามรูปที่ 4 สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{Network Latency (S)} = \text{Propagation Delay} + \text{Serialization Delay}$$



รูปที่ 4 ภาพแสดงการเกิด Latency ในโครงข่ายระบบสื่อสาร

- **Propagation Delay** คือเวลาที่ข้อมูลใช้ในการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดย Propagation Delay จะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่าง 2 ตัว และสื่อกลาง โดยไม่ขึ้นกับ Bandwidth สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Propagation Delay (s)} = \frac{\text{Distance}}{\text{Propagation Speed}}$$

Propagation Speed คือ ความเร็วที่บิตเดินทางในสื่อกลาง (ความเร็วของแสงในสายเคเบิลใยแก้วนำแสง) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

Distance คือ ระยะทางที่ใช้สื่อสารระหว่าง Node มีหน่วยเป็นเมตร ตัวอย่างการหา Propagation Time ของการส่งข้อมูลใน Link ระหว่างศูนย์ข้อมูล (Data Center) ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคศรีสะเกษ มีระยะทาง 38.15 km (กำหนดให้ความเร็วของแสงในสายเคเบิลใยแก้วนำแสงมีค่าเท่ากับ  $2.3 \times 10^8$  m/s)

$$\begin{aligned} \text{Propagation Delay (s)} &= \frac{38,150}{2.3 \times 10^8} \\ &= 165.87 \mu\text{s} \end{aligned}$$

- **Serialization delay (S)** [5] คือเวลาที่ Router ใช้ในการส่ง Packet ออกไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของ Packet และ Bit Rate ใน Link โดยค่าของ Transmission Time จะไม่เกี่ยวข้องกับระยะทางระหว่าง Router ทั้ง 2 ตัว โดยมีสมการในการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\text{Serialization delay (S)} = \frac{\text{Packet Size}}{\text{Bit Rate}}$$

Packet Size คือ ขนาดของ Packet ที่ส่งข้อมูลมีหน่วยเป็นบิต Bit Rate คือ ความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที ตัวอย่างการหา Transmission Time ของการส่งข้อมูลใน Link ที่มีความเร็ว 10 Gbps และ Packet Size มีขนาด MTU Frame Size 1,500 Bytes และ 9,000 Bytes สามารถคำนวณหาค่า Transmission Time ได้ดังนี้

$$1,500 \text{ Bytes} = 1,500 \times 8 = 12,000 \text{ Bits}$$

$$\begin{aligned} \text{Packet Transmission Delay (S)} &= \frac{12,000}{10 \times 10^9} \\ &= 1.2 \mu\text{s} \end{aligned}$$

$$9,000 \text{ Bytes} = 9,000 \times 8 = 72,000 \text{ Bits}$$

$$\text{Packet Transmission Delay (S)} = \frac{72,000}{10 \times 10^9} = 7.2 \mu\text{s}$$

- **Processing Delay** คือเวลาที่ใช้ประมวลผลข้อมูล Packet Header บนอุปกรณ์ระหว่างทาง เช่น Proxy Server หรือการเดินทางของข้อมูลข้ามระหว่าง Router แต่ละวง โดยค่า Processing Delay ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของ Router ซึ่งส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่าในระดับ  $\mu\text{s}$

- **Queuing Delay** คือเวลาที่ Packet ใช้ในระหว่างรอคิวก่อนส่งข้อมูล เช่น เมื่อมีการส่งข้อมูลไปยัง Router A และในขณะนั้นมีการคับคั่งของโครงข่าย Router A จะทำการส่ง Packet ไปรอคิวก่อนที่จะส่งข้อมูลไปยัง Router B ค่า Queuing Delay จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณ Traffic ที่เข้ามาใน Queue เมื่อมี Packet เข้ามาแล้วพบว่าคิวเต็ม Router จะทำการ Drop Packet ที่ไปซึ่งทำให้เกิดค่า Packet Loss โดย Queuing Delay มีสมการในการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\text{Average Queuing delay} = \frac{(N - 1)L}{(2 \times R)}$$

โดย N คือ จำนวนของ Packet

L คือ ขนาดของ Packet ที่ใช้ส่งข้อมูลมีหน่วยเป็นบิต

R คือ ความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลมีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที

## 2.5 Round Trip Time (RTT)

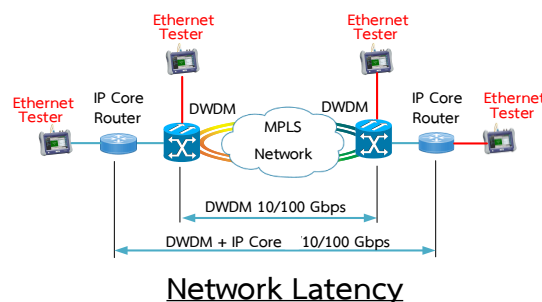
[6] Round Trip Time หรือ Round Trip Delay คือ เวลาที่ Packet ใช้เวลาในการเดินทางใน Network จากต้นทางไปยังปลายทางและกลับมาที่เครื่องต้นทางอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งค่าที่ได้นี้จะเป็ค่าอ้างอิงของเวลาที่ Packet ใช้เวลาในการเดินทางระหว่างอุปกรณ์ต้นทางและอุปกรณ์ปลายทางคู่หนึ่งเท่านั้น

$$\text{Round Trip Time} = 2 \times \text{Packet Transmission time} + 2 \times \text{Propagation Delay} + \text{Processing Delay}$$

## 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

[7] การทดสอบวัดค่า Latency ของการเชื่อมต่อระหว่างศูนย์ข้อมูล (Data Center) ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สำนักงานใหญ่และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคศรีสะเกษ ซึ่งมีระยะทาง 38.15 km โดยโดยใช้เครื่องมือ Packet Generator ผลิตภัณฑ์ Anritsu รุ่น MT1000A Network Master Pro ทำการทดลองส่ง

Packet Ethernet ที่มีขนาด MTU Frame Size 64 Bytes 1,500 Bytes และ 9,000 Bytes บนช่องสัญญาณ 10 Gbps และ 100 Gbps บนอุปกรณ์ DWDM อย่างเดียว และทดลองส่ง Packet Ethernet ที่มีขนาด MTU Frame Size 64 Bytes 1,500 Bytes และ 9,000 Bytes บนช่องสัญญาณ 10 Gbps และ 100 Gbps ที่โครงข่ายอุปกรณ์ IP Core Router ที่เชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์ DWDM เพื่อวัดค่า Latency โดยทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ตามรูปที่ 5 และ 6 ในการทดสอบ [8]



รูปที่ 5 ภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสารระหว่างศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center)



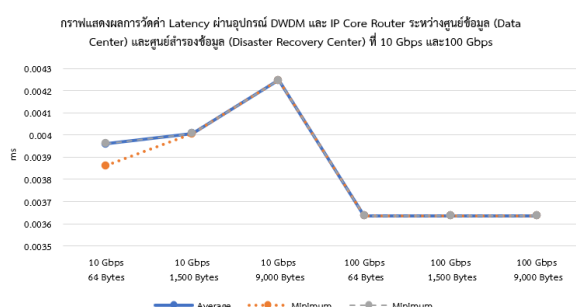
รูปที่ 6 ภาพการทดสอบวัดค่า Latency ระหว่างศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) โดยใช้เครื่องมือ Packet Generator

3.1 ทดสอบวัดค่า Ethernet Latency ที่อุปกรณ์ DWDM ผลิตภัณฑ์ Cisco รุ่น NCS2006 ระหว่างศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) โดยตั้งค่า Package MTU Frame Size 64, 1,500 และ 9,000 Bytes ที่ Port 10 Gbps และ 100 Gbps ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 2 และรูปที่ 7

Port	MTU Frame Size (Bytes)	ค่า Latency (ms)		
		Minimum	Maximum	Average

10 Gbps	64	0.386140	0.396140	0.396062
10 Gbps	1,500	0.400615	0.400750	0.400676
10 Gbps	9,000	0.424735	0.424735	0.424668
100 Gbps	64	0.363665	0.363715	0.363685
100 Gbps	1,500	0.363665	0.363710	0.363685
100 Gbps	9,000	0.363665	0.363710	0.363685

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่า Latency ผ่านอุปกรณ์ DWDM ระหว่างศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) ที่ Port 10 Gbps และ 100 Gbps

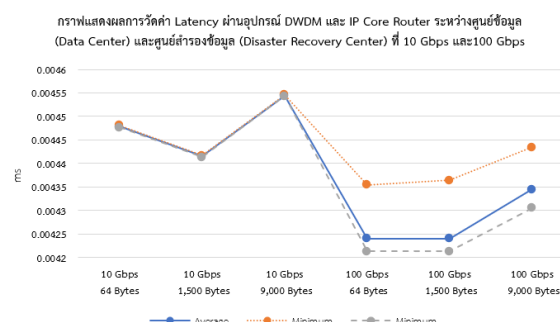


รูปที่ 7 กราฟแสดงผลการวัดค่า Latency ผ่านอุปกรณ์ DWDM ระหว่างศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) โดยใช้เครื่องมือ Packet Generator

3.2 ทดสอบวัดค่า Ethernet Latency ที่โครงข่ายอุปกรณ์ IP Core Router ผลิตภัณฑ์ Cisco รุ่น ASR 9910 ที่เชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์ DWDM ระหว่างศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) โดยตั้งค่า Package MTU Frame Size 64, 1,500 และ 9,000 Bytes ที่ 10 Gbps และ 100 Gbps ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 2 และรูปที่ 8

Port	MTU Frame Size (Bytes)	ค่า Latency (ms)		
		Minimum	Maximum	Average
10 Gbps	64	0.447620	0.448065	0.447843
10 Gbps	1,500	0.441320	0.441660	0.441490
10 Gbps	9,000	0.454295	0.454600	0.454442
100 Gbps	64	0.421255	0.435415	0.423971
100 Gbps	1,500	0.421260	0.436425	0.423997
100 Gbps	9,000	0.430495	0.443465	0.434480

ตารางที่ 3 ผลการวัดค่า Latency ผ่านอุปกรณ์ DWDM และ IP Core Router ระหว่างศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) ที่ 10 Gbps และ 100 Gbps



รูปที่ 8 ภาพการทดสอบวัดค่า Latency ผ่านอุปกรณ์ DWDM และ IP Core Router ระหว่างศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) โดยใช้เครื่องมือ Packet Generator

#### 4. สรุปผลการวิจัย

ในบทความนี้ได้วิเคราะห์ปัจจัยที่ทำให้เกิดค่า Latency ได้แก่ ขนาด MTU Frame และจำนวนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อในระบบ จากผลการทดสอบวัดค่า Ethernet Latency ที่อุปกรณ์ DWDM โดยตั้งค่า Package MTU Frame Size 64, 1,500 และ 9,000 Bytes ที่ Port 10 Gbps และ 100 Gbps พบว่าขนาด MTU Frame มีผลกับค่า Latency ที่ Port 10 Gbps อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มขนาด MTU frame ทำให้ค่า Latency เพิ่มมากขึ้น ในส่วนของ Port 100 Gbps ขนาด MTU Frame ที่ขนาดต่างกัน วัดค่า Latency ใกล้เคียงกัน และในผลการทดสอบวัดค่า Ethernet Latency ที่โครงข่ายอุปกรณ์ IP Core Router ที่เชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์ DWDM โดยตั้งค่า Package MTU Frame Size 64, 1,500 และ 9,000 Bytes ที่ Port 10 Gbps พบว่า ขนาด MTU Frame ที่ 64 Bytes กับ 1,500 Bytes อุปกรณ์ IP Cores Router ทำงานได้ไม่ดีที่ 64 Bytes จากการจัดการ Frame ทำให้ค่า latency สูงกว่า 1,500 Bytes และ MTU Frame Size 9,000 ยังมีค่า Latency สูงกว่า และที่ Port 100 Gbps ค่า Latency มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นไปตามขนาด MTU Frame ที่ใหญ่ขึ้น จากผลการทดสอบข้างต้นสรุปได้ว่าการรับส่งข้อมูลที่ Port 10 Gbps กับ 100 Gbps ค่า Latency ของ Port 100 Gbps มีค่าต่ำกว่า เนื่องมาจาก Coherent Technology ใน Port 100 Gbps ทำให้การรับส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพจากการเข้ารหัสแบบใหม่ อีกทั้งยัง

ช่วยลดผลกระทบจากค่าลดทอนด้าน Polarization ทำให้มีค่า Latency ต่ำกว่า 0.5 ms จึงสามารถนำไปใช้กับความต้องการของระบบงาน SCADA ที่ 20 ms ระบบงาน Teleprotection ที่ 8 - 12 ms [9] และระบบ Database แบบ Active – Active ที่ 10 ms [10] ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

### เอกสารอ้างอิง

- [1] นายอรรถสิทธิ์ วงศ์ธนศักดิ์ชัย, นายจิระ โกศลวิตร, นายทิมพ์พร วันขวา “การออกแบบและวิเคราะห์ค่า Round Trip Time ในโครงข่ายสื่อสาร IP/MPLS Network เพื่อรองรับการเชื่อมโยงศูนย์ข้อมูล (Data Center) และศูนย์สำรองข้อมูล (Disaster Recovery Center) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค”
- [2] <http://preedeechanok.blogspot.com/2018/03/packet-switching-circuit-switching.html>
- [3] [https://www.researchgate.net/figure/2-Default-MTU-sizes-for-different-networks\\_tbl3\\_224894205](https://www.researchgate.net/figure/2-Default-MTU-sizes-for-different-networks_tbl3_224894205)
- [4] <https://www.geeksforgeeks.org/computer-network-packet-switching-delays/>
- [5] "Large MTUs and Internet Performance"  
David Murray, Terry Koziniec, Kevin Lee, Michael Dixon School of Information Technology,  
Murdoch University, Murdoch 6150, Western Australia, Australia
- [6] “Network Performance: Links Between Latency, Throughput and Packet Loss” David Murray, Terry Koziniec, Kevin Lee, Michael Dixon School of Information Technology, Murdoch University, Murdoch 6150, Western Australia, AustraliaMeasuring
- [7] “Delay Performance in IP Routers” Patrik Carlsson, Doru Constantinescu, Adrian Popescu, Markus Fiedler and Arne A. NilssonDept. of Telecommunication Systems School of Engineering Blekinge Institute of Technology 371 79 Karlskrona, Sweden
- [8] “Performance Analysis of Data Transmissions in MPLS and Non-MPLS Networks” M. Asante and R.S. Sherratt Department of Computer science, KNUST, Kumasi, Ghana, Signal Processing Laboratory, School of Systems Engineering, The University of Reading, UK
- [9] “Speed and Security Considerations for Protection Channels” Shankar V. Achanta, Ryan Bradetich, and Ken Fodero Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.
- [10]<https://docs.oracle.com/en/middleware/standalone/weblogic-server/14.1.1.0/wlcag/active-active-stretch-cluster-active-passive-database-tier.html#GUID-E7955859-9F5C-4CD0-A6AE-F3D8038E0E20>