

การออกแบบและสร้างเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON
สำหรับอาคารชุด

DESIGN AND IMPLEMENT OF GPON-FTTH NETWORK FOR RESIDENTIAL
CONDOMINIUM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561
KMITL 2018-EN-M-010-003

การออกแบบและสร้างเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON
สำหรับอาคารชุด

DESIGN AND IMPLEMENT OF GPON-FTTH NETWORK FOR RESIDENTIAL
CONDOMINIUM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561

KMITL 2018-EN-M-010-003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND IMPLEMENT OF GPON-FTTH NETWORK FOR RESIDENTIAL
CONDOMINIUM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

KMITL 2018-EN-M-010-003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON สำหรับอาคารชุด

Thesis Title Design and Implement of GPON-FTTH Network for Residential Condominium

นักศึกษา นายรณกร จิระจรรย์กุล

รหัสประจำตัว 58601135

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สมเกียรติ ฤกษ์วีระบุญ

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-010-003

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิศรรม	
ผศ.ดร.สิรภาพ	ตู้ประกาย	
รศ.ดร.มนตรี	คำเงิน	
รศ.ดร.สุวิพล	สิทธิชีวภาค	
ผศ.ดร.สมเกียรติ	ฤกษ์วีระบุญ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON สำหรับอาคารชุด
นักศึกษา	นายรณกร จิรัจฉริยากุล
รหัสนักศึกษา	58601135
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สมเกียรติ ฤกษ์วัลญญ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและดำเนินการเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสงสู่บ้าน (FTTH) สำหรับการให้บริการในอาคารชุด โดยใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ (PON) ชนิด GPON ตามมาตรฐาน ITU-T G.984 จุดประสงค์เพื่อรองรับผู้ใช้งานจำนวนทั้งหมด 320 ผู้ใช้งานและสามารถให้ใช้แบนด์วิดท์สำหรับบริการทริเปิลเพลย์ (Triple play) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการวิเคราะห์ค่างบกำลัง (Power Budget) และค่างบเวลาขาขึ้น (Rise Time Budget) โดยสรุปคือวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถออกแบบให้สามารถรองรับผู้ใช้งานได้ 320 ผู้ใช้งาน แบนด์วิดท์เฉลี่ยต่อผู้ใช้งานที่ข้อมูลขาลง (Downstream) 62.2 Mbps และข้อมูลขาขึ้น (Upstream) ที่ 31.1 Mbps มีค่ากำลังสำรอง (Power Margin) มากกว่าศูนย์ และค่างบเวลาขาขึ้น (Rise Time Budget) ต่ำกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ของคาบของบิต (Bit period) ของสัญญาณแบบ NRZ

Thesis Title	Design and Implement of GPON-FTTH network for residential condominium
Student	Mr. Ronnakorn Jirachariyakool
Student ID.	58601135
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst.Prof. Somkiat Lerkvaranyu

ABSTRACT

This thesis presents the design and implement of Fiber to the home (FTTH) for residential condominium based on Gigabit-capable passive optical network (GPON) ITU-T G.984 standard in order to achieve the maximum 320 subscribers and support high bandwidth for triple play service more efficiently. The proposed design complies both for power budget and rise time budget. Finally, the proposed design achieves the maximum 320 subscribers, average bandwidth per subscriber at 62.2 Mbps for downstream and 31.1 Mbps for upstream, power margin is above 0 and rise time budget is below 70 percent of a NRZ bit period.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดี ด้วยคำแนะนำและการให้คำปรึกษาจากอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สมเกียรติ ฤกษ์วิญญู และ ผศ.ดร.นภัทร สระเอี่ยม ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ รวมถึงแนะนำแนวทางในการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดีเยี่ยมแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ข้าพเจ้าขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆด้านตลอดมา ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้ที่มีส่วนร่วมในการสนับสนุนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทุกท่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา III ตั้งแต่ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงและเทคโนโลยีเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง.....	5
2.3 ทฤษฎีการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง.....	6
2.3.1 การสูญเสียกำลังของสัญญาณ (Fiber attenuation).....	7
2.3.2 ดิสเพอร์ชันของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber dispersion).....	9
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับเส้นใยแก้วนำแสง.....	12
2.5 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ (PON).....	18
2.5.1 โครงสร้างของ PON.....	19
2.5.2 มาตรฐานของ PON.....	20
2.5.3 หลักการทำงานเบื้องต้น.....	21
2.6 บทสรุป.....	22
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์การออกแบบเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON สำหรับอาคารชุด.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา IV และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1 บทนำ.....	23
3.2 เทคโนโลยี Fiber to the x (FTTx).....	23
3.2.1 ประเภทของ FTTx.....	23
3.2.1.1 Fiber To The Home (FTTH).....	23
3.2.1.2 Fiber To The Curb (FTTC) และ Fiber To The Building (FTTB).....	24
3.2.1.3 Fiber To The Cabinet (FTTCab).....	24
3.3 การกระจายแสงของ Fiber to the Home (FTTH).....	25
3.4 การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ FTTH.....	26
3.5 การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ FTTH ภายในอาคารชุด.....	27
3.6 ค่าบกำลัง (Power budget).....	29
3.7 ค่าบเวลาขาขึ้น (Rise time budget).....	31
3.8 บทสรุป.....	32
บทที่ 4 การทดลองวิจัยและอภิปรายผล.....	33
4.1 บทนำ.....	33
4.2 ขั้นตอนการออกแบบเครือข่าย FTTH.....	34
4.3 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ที่ใช้ออกแบบ.....	35
4.3.1 Optical line terminal (OLT) และ Optical network terminal (ONT).....	35
4.3.2 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical fiber).....	36
4.3.3 ตัวเชื่อมต่อ (Connector) และตัวต่อ (Adapter).....	36
4.3.4 ตัวแยกสัญญาณแสง (Optical Splitter).....	36
4.4 ผลการทดลองวิจัยและการวิเคราะห์ผล.....	37
4.4.1 การคำนวณ Power budget.....	37
4.4.2 การคำนวณ Rise time budget.....	40
4.4.3 การใช้งานแบนด์วิดท์.....	41
4.5 บทสรุป.....	42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	43
5.1 บทนำ.....	43
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	43
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เอกสารอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	47
ประวัติผู้เขียน.....	53



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐาน G.652.C.....	16
2.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐาน G.652.D.....	17
3.1 ค่า Power budget ของ PON แต่ละ Class.....	30
4.1 ข้อมูลจำเพาะโมดูลTransceiver ของ OLT และ ONT.....	35
4.2 ข้อมูลจำเพาะของเส้นใยแก้วนำแสง G.652.D.....	36
4.3 ข้อมูลจำเพาะของตัวเชื่อมต่อชนิด SC/APC และ SC/UPC.....	36
4.4 ข้อมูลจำเพาะของตัวแยกสัญญาณแสง (Optical Splitter).....	37
4.5 ค่า Power budget ด้าน Downstream.....	37
4.6 ค่า Power budget ด้าน Upstream.....	38
4.7 ค่า Rise time budget ด้าน Upstream และ Downstream.....	40
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการสนับสนุนแบนด์วิดท์เฉลี่ยสูงสุดของ แต่ละผู้ใช้งานกับจำนวน ONT ที่ต่อเข้ามายังพอร์ต PON.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VII:ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง.....	6
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนกำลังงาน และความยาวคลื่นที่ผลิตมาตั้งแต่ปีค.ศ. 1970.....	8
2.3 ผลของดิสเพอร์ชันต่อสัญญาณที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง.....	9
2.4 การแจกแจงของความเร็วกลุ่มและ GVD เทียบกับความยาวคลื่น.....	10
2.5 การเกิด Inter-symbol interference (ISI).....	10
2.6 เปรียบเทียบโครงสร้างของระบบสื่อสารแบบแถบกว้างยิ่งกับระบบสื่อสารแถบแคบ.....	13
2.7 ค่า Refractive index ของ SiO ₂ ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อถูกเจือปนด้วยสารชนิดต่างๆ.....	13
2.8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core และ Cladding ของเส้นใยแก้วนำแสง MMF และ SMF.....	14
2.9 ค่าอัตราการลดทอนกำลังของสัญญาณแสงของเส้นใยแก้วนำแสง G.652.C.....	15
2.10 ค่าดิสเพอร์ชันของสัญญาณแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด G.652.C.....	15
2.11 รูปแบบการเชื่อมต่อของ PON.....	20
2.12 การส่งข้อมูลจาก OLT ไปยังแต่ละ ONU ในลักษณะ Broadcast.....	21
2.13 การส่งข้อมูลจาก ONU แต่ละตัวไปยัง OLT ในลักษณะ TDMA.....	21
3.1 สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยี FTTx ตามมาตรฐาน ITU-T G.984.....	25
3.2 สถาปัตยกรรมระบบ GPON.....	25
3.3 สถาปัตยกรรมของ AON และ PON.....	26
3.4 องค์ประกอบของสถาปัตยกรรมระบบ PON.....	27
3.5 การออกแบบเครือข่าย FTTH โดยใช้เทคโนโลยี GPON.....	28
3.6 เครือข่าย Access network ของ FTTH ภายในอาคารชุด.....	29
3.7 แผนผังตัวส่งตัวรับและองค์ประกอบที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับค่า Power budget.....	30
4.1 บล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนการทดสอบวิจัย.....	33
4.2 Flowchart ขั้นตอนการออกแบบเครือข่าย FTTH สำหรับอาคารชุด.....	34
4.3 การกระจายสัญญาณแสงโดยใช้ Splitter 2 ระดับ.....	35
4.4 การทดสอบกำลังรับ-ส่ง ระหว่าง OLT-ONT โดยใช้อุปกรณ์ PON Optical Power Meter.....	39
4.5 ค่ากำลังรับ-ส่ง ระหว่าง OLT กับ ONT.....	40
4.6 การ Implement เครือข่าย FTTH มาตรฐาน GPON ภายในอาคารชุด.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันทิศทางการเติบโตของปริมาณการใช้งานอินเทอร์เน็ตบรอดแบนด์ความเร็วสูงมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (Internet service provider : ISP) มีการพัฒนาเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลของเครือข่ายสำหรับการเข้าถึง (Access network) แบบเดิมซึ่งเป็นการให้บริการผ่านสายสื่อสารที่เป็นทองแดงหรือคู่สายโทรศัพท์ ที่เรียกว่า เทคโนโลยี Asymmetric digital subscriber line (ADSL) ไปสู่สายสื่อสารที่เป็นเส้นใยแก้วนำแสง (Optical fiber) ที่เรียกว่า เทคโนโลยี Fiber to the x (FTTx) ซึ่งเป็นการรับส่งข้อมูลผ่านสายสื่อสารที่เป็นเส้นใยแก้วนำแสงไปยังสถานที่ปลายทาง (x) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยี Fiber to the home (FTTH) แม้ว่าจะมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่ให้บริการผ่านสายทองแดงแต่ก็ยังมีข้อจำกัดของแบนด์วิดท์อันเนื่องมาจากระยะทางของสายในการให้บริการและสัญญาณรบกวนในสายทองแดง

FTTH จึงเป็นเทคโนโลยีที่ตอบโจทย์ เนื่องจากมีความสามารถในการสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็วสูง ระยะของสายในการให้บริการที่ไกลขึ้นและมีความน่าเชื่อถือ เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วมีความเป็นฉนวนไฟฟ้า ทำให้ไม่มีการรบกวนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โครงสร้างพื้นฐานของสายสื่อสารข้อมูลของ FTTH ถูกกำหนดเป็นเส้นใยแก้วนำแสงตลอดเส้นทาง จากผู้ให้บริการไปถึงผู้ใช้งาน ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลปริมาณมากๆ ได้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ FTTH ใช้เทคโนโลยีของเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ Passive optical network (PON) เป็นการเชื่อมต่อแบบจุดไปยังหลายจุด (Point to multipoint) โดยใช้อุปกรณ์แยกแสง (Optical splitter) แยกสัญญาณแสงไปยังผู้ใช้งานแต่ละราย ซึ่ง PON มีหลายชนิด เช่น APON (ATM PON), BPON (Broadband PON), EPON (Ethernet PON) และ GPON (Gigabit-capable PON) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงเฉพาะ GPON เทคโนโลยี GPON เป็นเทคโนโลยีที่กำหนดโดย ITU-T G.984 มีการรับส่งข้อมูลแบบไม่สมมาตร (Asymmetric) ที่ข้อมูลขาลง (Downstream) 2.488 Gbps และข้อมูลขาขึ้น (Upstream) 1.244 Gbps สามารถรับส่งข้อมูลประเภท ATM, TDM และ Ethernet โดยใช้ GPON encapsulation method (GEM)

ในปัจจุบันนี้แนวโน้มการสร้างที่อยู่อาศัยเป็นในลักษณะแบบแนวตั้ง (High-rise building) คือ ลักษณะเป็นคอนโดมิเนียม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำแนวโน้มของเทคโนโลยীবวกกับแนวโน้มรูปแบบของการสร้างอาคารที่อยู่อาศัย คือ ได้นำเสนอการออกแบบและดำเนินการเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON เพื่อรองรับผู้ใช้งานในที่อยู่อาศัยประเภทอาคารชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- เพื่อออกแบบเครือข่าย FTTH โดยใช้เทคโนโลยี GPON สำหรับใช้ในอาคารชุดเพื่อรองรับผู้ใช้งานได้อย่างครอบคลุมและมีประสิทธิภาพ
- เพื่อศึกษาองค์ประกอบและพารามิเตอร์ต่างๆ ของเทคโนโลยี GPON
- เพื่อวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย FTTH ที่ออกแบบ โดยวิเคราะห์ค่า Power budget และ Rise time budget

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เทคโนโลยี FTTH มาตรฐาน GPON เป็นการสื่อสารประเภทพาสซีฟ (Passive) แบบจุดไปยังหลายจุด (Point to multipoint) กระจายสัญญาณแสงไปยังผู้ใช้งานแต่ละรายโดยใช้อุปกรณ์แยกแสง (Optical splitter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ ไม่ต้องจ่ายไฟในการทำงาน โครงสร้างทางกายภาพเป็นเส้นใยแก้วนำแสง ทำให้สามารถรองรับการใช้งานแบนด์วิดท์การใช้งานที่สูง และสามารถรองรับผู้ใช้งานได้จำนวนมาก อีกทั้งยังใช้เคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงในการเชื่อมต่อน้อยกว่าการสื่อสารประเภทแอคทีฟ (Active) แบบจุดต่อจุด (Point to point) การนำเทคโนโลยี FTTH มาตรฐาน GPON มาใช้ในการออกแบบเครือข่าย Access network สำหรับอาคารชุด ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาการสูญเสีย (Loss) อันเนื่องมาจากระยะทางสายและสัญญาณรบกวนในสายสื่อสารประเภททองแดง และสามารถรองรับการใช้งานแบนด์วิดท์ของผู้ใช้งานที่สูงขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบเครือข่าย FTTH ที่ใช้ในอาคารชุดแห่งหนึ่งเนื่องจากในปัจจุบันแนวโน้มของที่อยู่อาคารเป็นในลักษณะแนวตั้ง เทคโนโลยีที่ใช้ในอาคารชุดก่อนๆ เป็นเทคโนโลยีสื่อสารผ่านสายทองแดงซึ่งในปัจจุบันและอนาคตนั้นไม่สามารถสนับสนุนการใช้งานแบนด์วิดท์ของผู้ใช้งานได้อย่างเพียงพอ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ริเริ่มนำเสนอการนำเทคโนโลยี FTTH มาใช้ติดตั้งในอาคารชุดเพื่อรองรับการใช้งานแบนด์วิดท์ได้อย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพ ซึ่งอาคารชุดดังกล่าวมีโครงสร้างเป็นอาคารชุด 20 ชั้น (รวมชั้นดาดฟ้า) ตั้งแต่ชั้นที่ 4 ถึงชั้นที่ 19 เป็นส่วนบริการห้องพักอาศัย ประกอบด้วยห้องพักอาศัยชั้นละ 20 ห้อง ดังนั้นห้องของผู้ใช้งานมีทั้งสิ้น 320 ห้อง อุปกรณ์ OLT ถูกนำมาติดตั้งที่ห้องควบคุม (Control room) ของอาคารชุด ในการออกแบบจะต้องคำนึงถึงจำนวนห้องที่ต้องการใช้งาน จำนวนชั้นของอาคาร เพื่อนำมาพิจารณาชนิดของ Optical

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Splitter ในส่วนด้านที่ต่อเข้าผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต ใช้พอร์ต Uplink ของอุปกรณ์ OLT เพื่อเป็นการสำรองเส้นทางของสายเคเบิลใยแก้ว ในกรณีที่สายเคเบิลใยแก้วเส้นใดเส้นหนึ่งขาด อุปกรณ์ OLT ก็ยังสามารถให้บริการแก่ผู้ใช้งานได้อย่างปกติ แต่ในส่วนเส้นใยแก้วนำแสงที่ต่อออกจากพอร์ต PON ในปัจจุบันการสำรองเส้นทาง (Backup protection) ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีความสิ้นเปลืองมาก และอุปกรณ์ส่วนใหญ่ยังไม่สนับสนุน ถ้าสายเคเบิลที่ต่อออกจากพอร์ต PON ของ OLT ขาด ผู้ใช้งานทั้งหมดก็จะไม่สามารถใช้งานได้เลย ดังนั้นการนำอุปกรณ์ OLT มาติดตั้งที่อาคารชุดทำให้ลดความเสี่ยงการขาดของสาย Feeder เนื่องจากสายเคเบิลใยแก้วทั้งหมดถูกติดตั้งอยู่ภายในอาคาร และลดการสูญเสีย (Loss) ที่เกิดจากระยะทางของสายเคเบิล การเชื่อมต่อ (Fusion Splice) ที่จะมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีเหตุการณ์ที่ทำให้สายเคเบิลใยแก้วขาด การออกแบบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการรับส่งของระบบที่ดีกว่าโดยวัดจากการคำนวณค่า Power Budget และค่า Rise Time Budget

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบ วิเคราะห์และดำเนินการเครือข่าย FTTH โดยใช้เทคโนโลยี GPON ในโครงการอาคารชุดแห่งหนึ่ง เพื่อให้สามารถรองรับผู้ใช้งานได้ 320 ผู้ใช้งาน แบนด์วิดท์เฉลี่ยต่อผู้ใช้งาน Downstream ที่ 62.2 Mbps และ Upstream ที่ 31.1 Mbps มีการคำนวณพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบคือ ค่า Power budget และค่า Rise time budget เพื่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของเครือข่าย

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงขั้นพื้นฐาน องค์ประกอบของระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ทฤษฎีการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ทฤษฎีเกี่ยวกับเส้นใยแก้วนำแสง และสุดท้ายจะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการพื้นฐานและมาตรฐานเกี่ยวกับโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ (PON)

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบ Access network โดยใช้เทคโนโลยีของ FTTH มาตรฐาน GPON ซึ่งเป็นระบบที่มีโครงสร้างทางกายภาพเป็นเคเบิลเส้นใยแก้วต่อเชื่อมระหว่างบ้านผู้ใช้งานกับเครือข่ายสื่อสารกลางของผู้ให้บริการ และค่า Power budget และค่า Rise time budget

บทที่ 4 กล่าวถึงการทดลองวิจัยและการอภิปรายผล โดยจะแสดงผลของการออกแบบ
เครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง รวมถึงการวิเคราะห์ผลของค่า Power budget และค่า Rise time
budget และการสนับสนุนแบนด์วิดท์สำหรับการใช้งานบริการโทรศัพท์ (Voice) บริการอินเทอร์เน็ต
(Data) และบริการ IPTV (Video) ของแต่ละผู้ใช้งานภายในอาคาร

บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

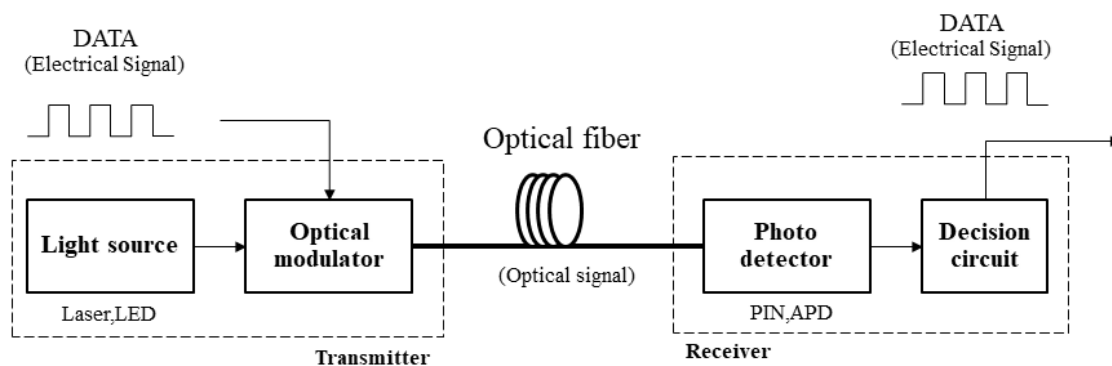
ทฤษฎีการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงและเทคโนโลยีเครือข่าย เชิงแสงแบบพาสซีฟ

2.1 บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังเป็นปัจจัยที่มีบทบาทอย่างมากในการพัฒนาชีวิตและพัฒนาประเทศ และด้วยจากคุณสมบัติพิเศษต่างๆของเทคโนโลยีเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ (Passive optical network: PON) ที่มีเหมาะสมในหลายๆด้าน เช่น สามารถรับส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่สูงระดับ Gbps ในระยะที่ไกลได้ เทคโนโลยีเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟมีแนวโน้มว่าจะมีการนำมาประยุกต์ใช้ใน Access network แทนเทคโนโลยีเก่าซึ่งใช้สายทองแดงเป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูล อีกทั้งเทคโนโลยีเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟได้กลายเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงและเทคโนโลยีเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงขั้นพื้นฐาน องค์ประกอบของระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ทฤษฎีการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง ทฤษฎีเกี่ยวกับเส้นใยแก้วนำแสง และสุดท้ายจะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการพื้นฐานและมาตรฐานเกี่ยวกับเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ

2.2 ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

ในระบบสื่อสารแบบใช้สายสัญญาณนั้น เส้นใยแก้วนำแสงได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวส่งสัญญาณอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ โดยทั่วไประบบส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงสามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะประกอบด้วย องค์ประกอบหลัก ๆ คือ อุปกรณ์ส่งสัญญาณแสง (Optical transmitter) เส้นใยแก้วนำแสง (Optical fiber) และอุปกรณ์รับสัญญาณแสง (Optical receiver) การมอดูเลตสัญญาณแสงมีอยู่ สองประเภทหลัก ๆ คือ การมอดูเลตภายนอก (External modulation) ซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง (Light source) และอุปกรณ์มอดูเลตสัญญาณ (Modulator) แยกออกจากกัน ส่วนอีกประเภทจะเป็นการมอดูเลตโดยตรง (Direct modulation) ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงและอุปกรณ์มอดูเลตสัญญาณจะรวมอยู่เป็นอุปกรณ์เพียงชุดเดียว



รูปที่ 2.1 ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการนำสัญญาณแสงจากต้นทางไปยังปลายทาง เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งานอยู่จะเป็นโหมดเดี่ยว (Single mode fiber: SMF) ซึ่งมีราคาสูง แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนต่ำ (Attenuation coefficient) ส่วนแบบ (Multi-mode fiber: MMF) ซึ่งมีราคาถูกกว่า SMF แต่ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนสูงกว่า SMF อีกทั้งเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวแบบ Dispersion shifted fiber (DSF) ซึ่งจะมีคุณสมบัติพิเศษ คือ กระจายความยาวคลื่น Zero dispersion จะเป็นค่าเดียวกับความยาวคลื่นที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนกำลังงานต่ำที่สุด (1550 nm) และ NZ-DSF ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะที่จะใช้ในระบบมัลติเพล็กซ์หลายช่องสัญญาณทางความยาวคลื่น

อุปกรณ์รับสัญญาณแสง ประกอบด้วยอุปกรณ์สองชนิดคือ อุปกรณ์ตรวจสัญญาณแสง (Photodetector) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยทั่วไปจะใช้เป็น Positive intrinsic negative junctions (PIN) และ Avalanche photodiode (APD) ส่วนองค์ประกอบที่สองของอุปกรณ์รับสัญญาณแสงคือ วงจรตัดสินใจ (Decision circuit) ทำหน้าที่ตัดสินใจว่าสัญญาณขาออกควรจะเป็นบิต '0' หรือ '1' ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า Decision threshold ภายในวงจรตัดสินใจ

2.3 ทฤษฎีการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

เนื่องจากสัญญาณแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ดังนั้นสมการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณแสงย่อมมีความสัมพันธ์กับสมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's equation) โดยเริ่มต้นพิจารณาการเดินทางของสัญญาณแสงจากสมการความหนาแน่นกระแส และสมการความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก จนท้ายสุด จะได้สมการการเดินทางของสัญญาณแสงในเส้นใยแก้วนำแสงเป็นไปดังสมการ (2.1) ซึ่งมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สมการความไม่เป็นเชิงเส้นของชเรอดิงเงอร์ (Nonlinear Schrödinger equation; NLSE) [1]

$$\frac{\partial A}{\partial z} = -\frac{1}{2}\alpha A - \frac{i}{2}\beta_2 \frac{\partial^2 A}{\partial T^2} + i\gamma |A|^2 A \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ A เป็นกรอบคลื่น (Envelope) ของสัญญาณ, α เป็นค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน (Attenuation coefficient) β_2 เป็นค่า Group-velocity dispersion (GVD), γ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear coefficient), z เป็นระยะทางที่สัญญาณแสงเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง และ T เป็นกรอบเวลาอ้างอิงที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับความเร็วกลุ่ม (v_g) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$T = t - \frac{z}{v_g} \quad (2.2)$$

โดยที่ t เป็นเวลาจริง เมื่อพิจารณาพจน์ทางขวามือของสมการ (2.1) ที่แสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อพัลส์สัญญาณ A พจน์แรกคือการลดทอนกำลังสัญญาณ (α) ซึ่งเพิ่มมากขึ้นตามระยะทางของเส้นใยแก้วนำแสง นั่นคือเมื่อสัญญาณเดินทางไปในเส้นใยแก้วนำแสงจะทำให้กำลังงานของสัญญาณแสงลดต่ำลง แต่เราสามารถชดเชยกำลังงานของสัญญาณได้ด้วยอุปกรณ์ขยายสัญญาณแสง สำหรับพจน์ที่สอง คือ GVD (β_2) เป็นส่วนที่ส่งผลให้สัญญาณพัลส์ขยายกว้างออก และสำหรับพจน์สุดท้ายคือ ผลของปรากฏการณ์เคอร์ (Kerr effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ไม่เป็นเชิงเส้นภายในเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำให้เฟสของสัญญาณแสงเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง และยังส่งผลให้สเปกตรัมของสัญญาณขยายออกอีกด้วย โดยที่ความรุนแรงของปรากฏการณ์เคอร์ในเส้นใยแก้วนำแสงจะขึ้นอยู่กับกำลังสูงสุด (Peak power) ของสัญญาณที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง ทั้งนี้สามารถแยกคิดปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อรูปร่างของสัญญาณได้ดังนี้

2.3.1 การสูญเสียกำลังของสัญญาณ (Fiber attenuation)

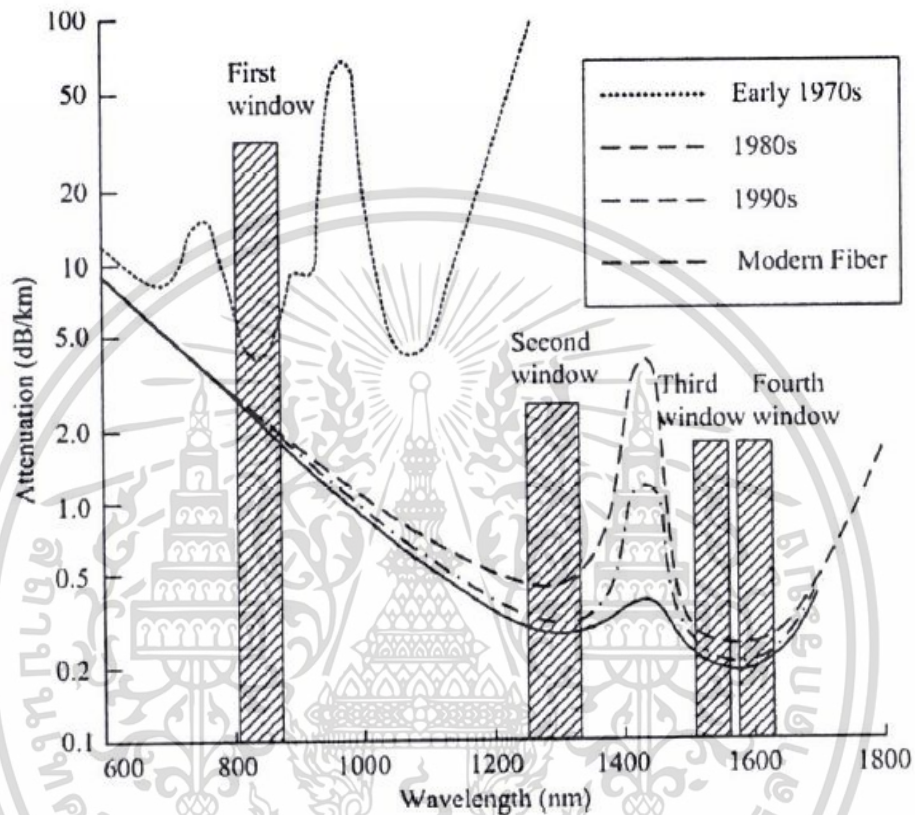
อัตราการลดทอนกำลังสัญญาณของแสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง เป็นส่วนสำคัญของการกำหนดคุณลักษณะการออกแบบเครือข่ายทางแสง เนื่องจากสามารถกำหนดกำลังงานที่ออกจากเครื่องส่งสัญญาณแสง ให้มีค่าเหมาะสมกับระยะทางในการสื่อสาร ความไวของเส้นใยแสง และปริมาณการใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณแสง โดยที่การลดทอนกำลังสัญญาณในเส้นใยแสง เกิดจาก 3 สาเหตุหลัก คือ การดูดซึม (Absorption) ที่เกิดจากคุณสมบัติของวัสดุเอง การกระเจิง (Scattering) ที่เกิดจากทั้งคุณสมบัติของวัสดุและความไม่สมบูรณ์ของท่อนำคลื่น และการแผ่รังสี (Radiation) ที่เกิดจากรูปทรงของเส้นใยแก้วนำแสง

แสงที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงจะถูกลดทอนพลังงานแบบเอกซ์โพเนนเชียลไปตามระยะทางหนึ่งๆ โดยมีสมการแสดงการลดทอนกำลังสัญญาณดังนี้

$$P(L) = P(0) - \alpha L \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $P(0)$ คือ กำลังสัญญาณพัลส์ทางแสงที่อุปกรณ์ส่งสัญญาณที่มีหน่วยเป็นเดซิเบล [dB]
 $P(L)$ คือ กำลังของสัญญาณพัลส์ทางแสงที่ระยะ L กิโลเมตร [km] จากอุปกรณ์ส่ง
 สัญญาณที่มีหน่วยเป็นเดซิเบล [dB]
 α คือ ค่าคงตัวของการลดทอนที่มีหน่วยเป็นเดซิเบล/กิโลเมตร [dB/km]



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนกำลังงาน และความยาวคลื่นที่ผลิตมาตั้งแต่ปีค.ศ. 1970 [2]

โดยที่ค่าคงตัวการลดทอน α นั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละความยาวคลื่นดังรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงเส้นโค้งทั้ง 3 เส้น โดยเส้นบนสุดซึ่งเป็นเส้นประ แสดงถึงอัตราการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงในช่วงต้นยุค 80 ในส่วนเส้นจุดถัดลงมาเป็นเส้นโค้งที่แสดงถึงอัตราการลดทอนสัญญาณของเส้นใยแก้วนำแสงในช่วงแรกหรือยุคแรก (First window) นั้นจะทำงานที่ความยาวคลื่นประมาณ 850 nm บนเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำจากซิลิกา และจากเส้นโค้งเราจะพบจุดยอดที่เกิดจากความขึ้นและผลของ Rayleigh scattering ซึ่งทำให้อัตราลดทอนสัญญาณมีค่าสูงดังเส้นประในรูป หลังจากนั้นก็มีการพัฒนาอุปกรณ์ส่งสัญญาณทางแสงทำให้มีการใช้งานคุณลักษณะการลดทอนสัญญาณในยุคที่ 2 (Second window) ซึ่งแสดงโดยเส้นจุดที่ความยาวคลื่น 1310 nm มีอัตราการลดทอนสัญญาณต่ำกว่า 0.5 dB/km ในช่วงปลายปี 1977 Nippon Telegraph and Telephone (NTT) ได้พัฒนาการใช้งานระบบเส้นใยแก้วนำแสงมาสู่ยุคที่ 3 (Third window) ที่ความยาวคลื่น 1550 nm ซึ่งมีอัตรา

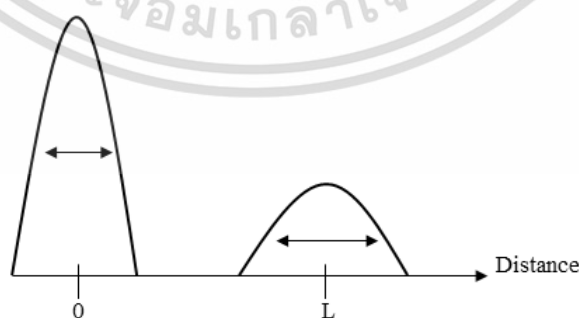
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดทอนสัญญาณต่ำสุดที่ 0.2 dB/km ในการใช้งานนั้นถ้าเป็นการส่งผ่านข้อมูลระยะสั้นๆ เช่น ระบบ LAN เป็นต้น เราจะใช้ความยาวคลื่นที่ 850 nm ส่วนในระบบส่งข้อมูลทางไกลจะใช้ความยาวคลื่นที่ 1550 nm ปัจจุบันมีการพัฒนาการใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงในยุคที่ 4 (Fourth window) ให้เปลี่ยนไปใช้ความยาวคลื่นใกล้แถบ 1625 nm ซึ่งไม่ได้มีอัตราการลดทอนสัญญาณที่ลดลง แต่อาจจะทำให้ความยุ่งยากในการส่งสัญญาณระยะทางไกลหรือระบบการสื่อสารสัญญาณแบบมีการมัลติเพล็กซ์หลายความยาวคลื่นลดลง

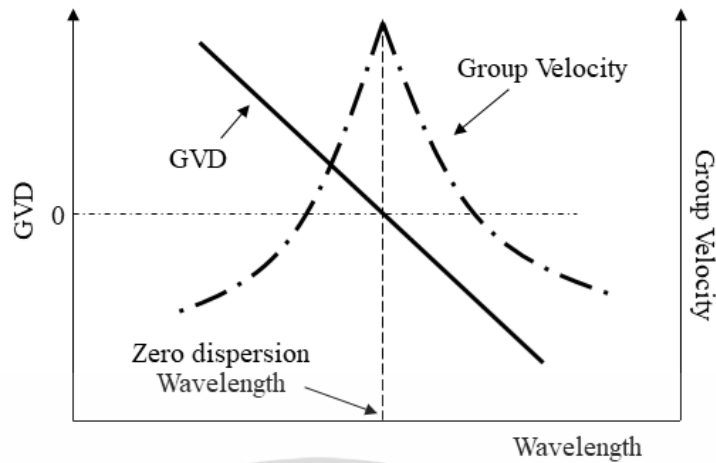
2.3.2 ดิสเพอร์ชันของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber dispersion)

การเกิดดิสเพอร์ชัน (Dispersion) ในเส้นใยแก้วนำแสง มีสองประเภทด้วยกัน คือ Inter-modal dispersion สำหรับ MMF และ Intra-modal dispersion หรือ Chromatic dispersion สำหรับ SMF ในการส่งข้อมูลผ่านเส้นใยระยะไกล เมื่อส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (SMF) ผลของการกระจายตามความถี่ของเส้นใยแก้วนำแสงจะเด่นชัดเนื่องจากสัญญาณแสงประกอบขึ้นด้วยหลายความถี่ซึ่งแต่ละความถี่มีค่าดัชนีหักเหของเส้นใยแก้วนำแสงที่ต่างกัน ผลของค่าดัชนีหักเหที่ต่างกันนี้จะทำให้แสงแต่ละความถี่เดินทางด้วยความเร็วที่ไม่เท่ากันซึ่งจะทำให้พัลส์สัญญาณมีการขยายตัวออก (Broadening) และเดินทางมาถึงปลายทางไม่พร้อมกัน ทั้งนี้เราจะเลือกใช้ SMF ในการส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสงเพราะว่า SMF สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตที่สูงกว่าเนื่องจากแบนด์วิดท์ในการส่งข้อมูลกว้างกว่ารวมไปถึงอัตราการสูญเสียกำลังงานที่น้อยกว่า ดังนั้นดิสเพอร์ชันที่ส่งผลกระทบต่อระบบจะเป็นแบบ Chromatic dispersion

สาเหตุของการเกิด Chromatic dispersion คือคุณสมบัติของความเร็วกลุ่มมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละความยาวคลื่น ทำให้สัญญาณพัลส์ที่ประกอบด้วยหลายความถี่เดินทางมาถึงปลายทางไม่พร้อมกันเป็นผลให้สัญญาณพัลส์ที่ปลายทางขยายออก ซึ่งการขยายออกของสัญญาณพัลส์จะส่งผลให้ค่ากำลังสูงสุดของสัญญาณพัลส์ลดลงด้วยดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลของดิสเพอร์ชันต่อสัญญาณที่เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสง

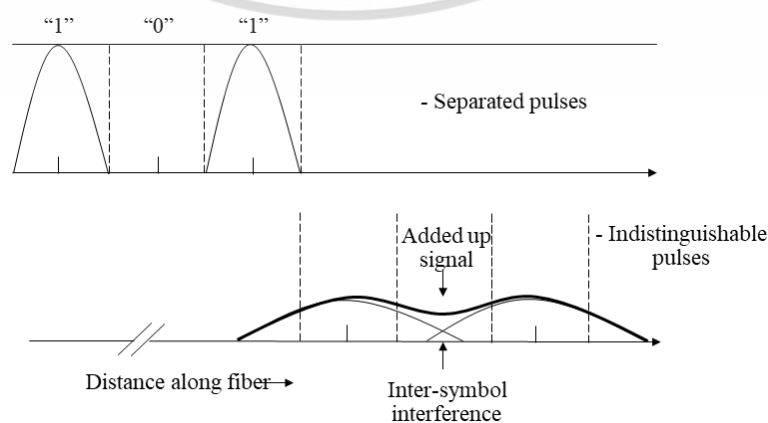


รูปที่ 2.4 การแจกแจงของความเร็วกลุ่มและ GVD เทียบกับความยาวคลื่น

จากรูปที่ 2.4 แสดงถึงตัวอย่างการแจกแจงความเร็วกลุ่ม และ GVD เทียบกับความยาวคลื่น ซึ่งเห็นได้ว่าความเร็วกลุ่มของแต่ละความยาวคลื่นมีค่าแตกต่างกัน และมีค่าสูงสุดที่ Zero-dispersion wavelength

เราสามารถแบ่งช่วงของดิสเพอร์ชันในรูปที่ 2.4 ออกเป็น 3 ช่วงได้แก่ ดิสเพอร์ชันปกติ (Normal dispersion) ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่า $\beta_2 > 0$ โดยในช่วงนี้สัญญาณที่มีความยาวคลื่นน้อยจะมีความเร็วกลุ่มมากกว่า ดิสเพอร์ชันผิดปกติ (Anomalous dispersion) เป็นช่วงที่มีค่า $\beta_2 < 0$ ในช่วงนี้สัญญาณที่มีความยาวคลื่นน้อยจะมี β_2 ความเร็วกลุ่มน้อยกว่า และดิสเพอร์ชันเป็นศูนย์ (Zero dispersion) เป็นช่วงที่มีค่า $\beta_2 = 0$ โดยสัญญาณที่มีความยาวคลื่นนี้จะมีค่าความเร็วกลุ่มสูงที่สุด

GVD จะมีอิทธิพลต่อคุณภาพของสัญญาณพัลส์อย่างมากในกรณีที่มีการส่งสัญญาณพัลส์เป็นขบวนไปในเส้นใยแก้วนำแสงในระยะทางไกลๆ และสัญญาณพัลส์ที่อยู่ติดกันจะมีโอกาสเลื่อมกันมากขึ้น (Overlap) จนทำให้เกิด Inter-symbol interference (ISI) และอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการตัดสินใจ (Error decision) ว่าสัญญาณแสงที่วิ่งเข้ามาควรจะเป็น บิต '1' หรือ บิต '0' ซึ่งแสดงให้เห็นในรูป 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิด Inter-symbol interference (ISI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 แสดงถึงการเกิด ISI ที่เกิดจากการขยายตัวของสัญญาณพัลส์ โดยเริ่มแรกส่งสัญญาณแบบมอดูเลตเข้มแสงด้วยบิต '1', '0', '1' ตามลำดับ สัญญาณพัลส์ระหว่างบิตแยกออกจากกันอย่างชัดเจน เมื่อสัญญาณพัลส์เดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงผลของ GVD ทำให้สัญญาณพัลส์ขยายออก จนกระทั่ง ISI ผลของ ISI ทำให้กำลังงานของสัญญาณในช่วงเวลา (Time slot) บิต '0' เพิ่มขึ้น และอาจทำให้ตรวจจับสัญญาณผิดพลาดจากบิต '0' กลายเป็นบิต '1' หากว่าสัญญาณที่เพิ่มขึ้นมาเลยค่าขอบเขตที่เครื่องตรวจจับสัญญาณกำหนดไว้

เราสามารถคำนวณการขยายตัวของสัญญาณพัลส์เนื่องจาก Chromatic dispersion โดยพิจารณาให้ τ แทนการประวิงแพร่กระจาย (Propagation delay) ที่ความถี่ ω [3]

$$\tau = \frac{L}{v_g} \quad (2.4)$$

โดยที่ L แทนความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงหน่วยกิโลเมตร [km]

v_g แทนความเร็วกลุ่ม (Group velocity) ตรงกันกับความถี่ ω เท่ากับ $v_g = \frac{1}{\beta_1} = \frac{\partial \omega}{\partial \beta}$

β แทนด้วยค่าคงที่การแพร่กระจาย (Propagation constant) และ $\beta_1 = \frac{\partial \omega}{\partial \beta}$

จากสมการที่ (2.4) สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\frac{\partial \tau}{\partial \omega} = L \frac{\partial}{\partial \omega} \left(\frac{1}{v_g} \right) = L \frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2} = L \beta_2 \quad (2.5)$$

เมื่อ $\beta_2 = \frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2}$ ถ้าสัญญาณมีความกว้างสเปกตรัมความถี่เท่ากับ $\Delta \omega$ ดังนั้นความแตกต่างการประวิงแพร่กระจายในแต่ละส่วนประกอบของสเปกตรัมสามารถเขียนแทนด้วยสมการที่ (2.6)

$$\Delta \tau = \left| \frac{\partial \tau}{\partial \omega} \right| \Delta \omega = \left| \frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2} \right| L \Delta \omega = |\beta_2| L \Delta \omega \quad (2.6)$$

การขยายตัวของสัญญาณพัลส์สามารถเขียนในรูปของสัมประสิทธิ์ GVD D (ps/km/nm) ได้ดังสมการที่ (2.7)

$$D = \frac{1}{L} \frac{\partial \tau}{\partial \lambda} = \frac{1}{L} \frac{\partial \tau}{\partial \omega} \frac{\partial \omega}{\partial \lambda} \quad (2.7)$$

เมื่อ

$$\frac{\partial \omega}{\partial \lambda} = \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\frac{2\pi c}{\lambda^2} \right) = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \quad (2.8)$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่นหน่วยนาโนเมตร [nm]

c คือ ความเร็วของสุญญากาศเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที [m/s]

เมื่อนำสมการที่ (2.8) ไปแทนค่าในสมการที่ (2.7) จะได้ว่า [4]

$$D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2 \quad (2.9)$$

ดังนั้นเราสามารถคำนวณการขยายตัวของสัญญาณพัลส์ในรูปของ D โดยนำสมการที่ (2.9) ที่ได้ไปแทนค่าลงในสมการที่ (2.7) ได้ดังนี้

$$\Delta \tau = |D| \Delta \lambda L \quad (2.10)$$

เมื่อ $\Delta \lambda$ แทนความกว้างสเปกตรัมของสัญญาณแสง

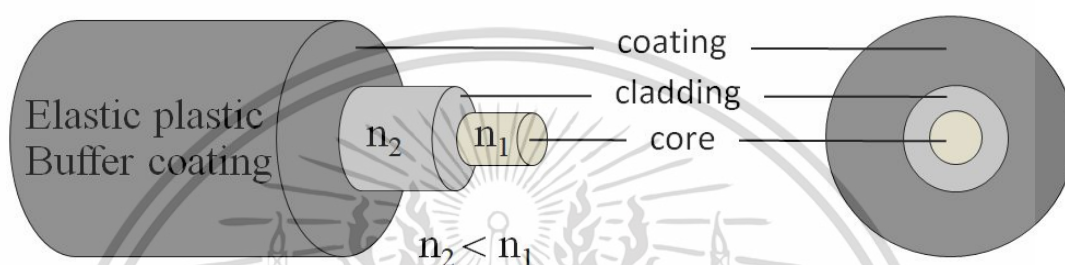
2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับเส้นใยแก้วนำแสง

เส้นใยแก้วนำแสงเป็นสื่อสัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งอาศัยทฤษฎีการส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงผลิตจากวัสดุที่เป็นฉนวน (Dielectric) เช่น ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือพลาสติก (Plastic optical fiber: POF) ทั้งนี้เส้นใยแก้วนำแสงที่ทำจาก SiO_2 นั้นมีค่าการลดทอนของสัญญาณซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาที่ก่อให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่น้อยกว่าเส้นใยแก้วนำแสงที่ทำจากพลาสติก จึงนิยมใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่ทำจาก SiO_2 ในการส่งสัญญาณในระยะทางที่ใกล้ๆ (Short transmission) ไปจนถึงระยะไกล (Long haul transmission) ที่ใช้เส้นใยแก้วนำแสงที่มีค่าลดทอนของสัญญาณที่น้อยมาก ๆ

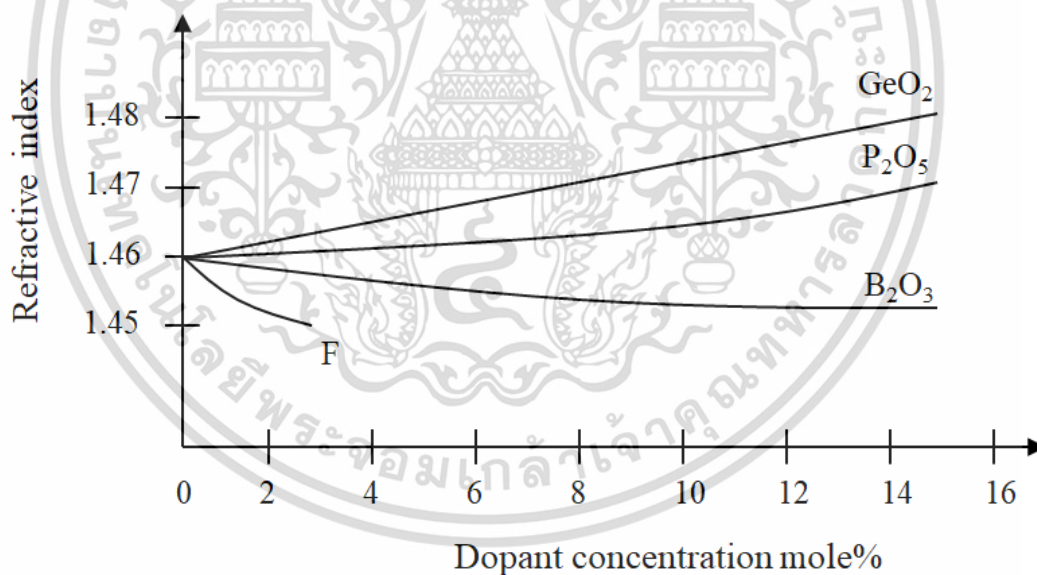
เส้นใยแก้วนำแสงประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือแกนกลาง (Core) และวัสดุหุ้ม (Cladding) โดยที่ค่าดัชนีหักเหของ Core สูงกว่าดัชนีหักเหของ Cladding อยู่เล็กน้อย เพื่อส่งสัญญาณแสงที่ส่งมาในเส้นใยแก้วนำแสงเกิดการสะท้อนกลับหมดภายในเส้นใยแก้วนำแสง ไม่เกิดการสะท้อนออกไปนอกเส้นใยแก้วนำแสง ทำให้แสงสามารถเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสงไปได้เป็นระยะทางไกลๆ โดยที่มีการสูญเสียพลังงานของแสงที่น้อยมาก รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบของเส้นใยแก้วนำแสงและค่าดัชนีหักเหของ Core และ Cladding ของเส้นใยแก้วนำแสง การสร้างเส้นใยแก้วนำแสงให้มีค่าดัชนีหักเห

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Core และ Cladding ที่ต่างกันทำได้โดยใช้สารเจือปน (Dopant) [2] เช่น ฟอสฟอรัสเพนท็อกไซด์ (Phosphorus pentoxide: P_2O_5) หรือเจอร์มาเนียมไดออกไซด์ (Germanium dioxide: GeO_2) ลงไปใน SiO_2 เพื่อให้ค่าดัชนีหักเหมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย หรือใส่สารไดโบรอนไตรออกไซด์ (Diboron trioxide: B_2O_3) ลงไปใน SiO_2 เพื่อให้ค่าดัชนีหักเหมีค่าลดลงเล็กน้อย ดังนั้นการสร้างเส้นใยแก้วนำแสงจึงอาจใช้ core ที่ทำจาก GeO_2-SiO_2 หรือ $P_2O_5-SiO_2$ และ cladding ที่ทำจาก SiO_2 หรือใช้ Core ที่ทำจาก SiO_2 หรือ $GeO_2-B_2O_3-SiO_2$ และ Cladding ที่ทำจาก $B_2O_3-SiO_2$ ตามลำดับ รูปที่ 2.7 แสดงค่า refractive index ของ SiO_2 เมื่อถูกเจือปนด้วยสารชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบและค่าดัชนีหักเหของ Core และ Cladding ในเส้นใยแก้วนำแสง



รูปที่ 2.7 ค่า Refractive index ของ SiO_2 ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อถูกเจือปนด้วยสารชนิดต่างๆ [2]

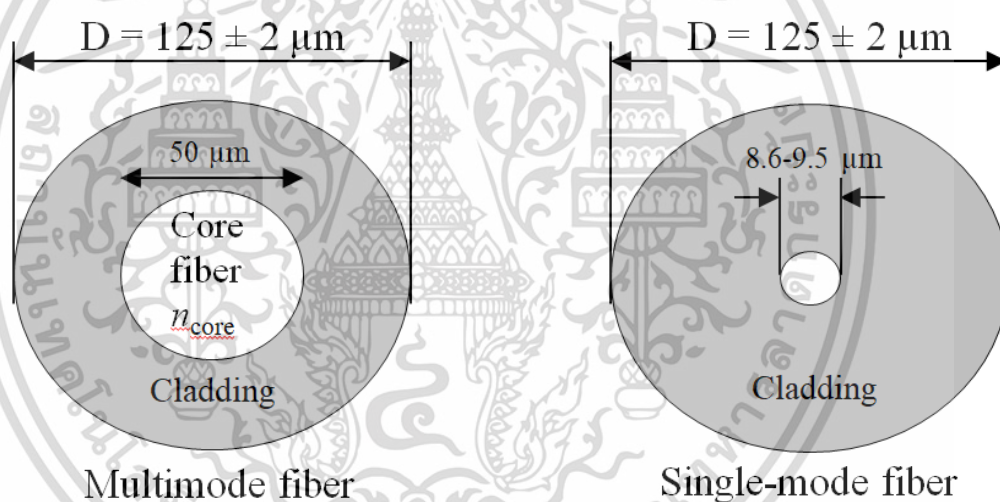
เส้นใยแก้วนำแสงแบ่งตามจำนวนของโหมดในการสื่อสารสัญญาณได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมดเดียว (Single-mode fiber: SMF) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core ประมาณ $8.6-9.5 \pm 0.6 \mu m$ และขนาดมีเส้นผ่านศูนย์กลางของ Cladding ประมาณ $125 \pm 1 \mu m$ [5] ซึ่งขนาดของ Core ที่เล็กมากทำให้แสงสามารถเดินทางในเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ได้เพียงเส้นทางเดียว (มีโหมดการเดินทางของแสงโหมดเดียว) จึงทำให้การเชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยแก้วนำแสงหรือเรียกว่าการสไปลซ์ (Splice) สายเข้าด้วยกัน และส่งสัญญาณแสงผ่าน SMF ทำได้ยากและต้องใช้เวลาในการกำเนิดแสงที่มีราคาแพงเช่นเลเซอร์ไดโอด ในทางกลับกัน SMF สามารถรองรับแบนด์วิดท์ได้กว้างมากและได้รับผลกระทบจาก Chromatic dispersion เท่านั้น

- เส้นใยแก้วนำแสงชนิดหลายโหมด (Multi-mode fiber: MMF) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core ประมาณ $50 \pm 3 \mu\text{m}$ หรือ $62.5 \pm 2.5 \mu\text{m}$ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Cladding ประมาณ $125 \pm 2 \mu\text{m}$ [5] ซึ่งขนาดของ Core ที่ใหญ่กว่า SMF ทำให้แสงสามารถเดินทางผ่านเส้นใยแก้วนำแสงชนิดนี้ได้หลายเส้นทาง (มีโหมดการเดินทางของแสงหลายโหมด) ทำให้ได้รับผลกระทบของ Chromatic dispersion และ Intermodal dispersion แต่ Splice และการส่งสัญญาณแสงผ่าน MMF ทำได้ง่ายกว่า SMF และสามารถใช่ LED ซึ่งมีราคาถูกกว่าเลเซอร์ไดโอดเป็นแหล่งกำเนิดแสงได้ด้วย โดยรูปที่ 2.8 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core และ Cladding ของเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองประเภท

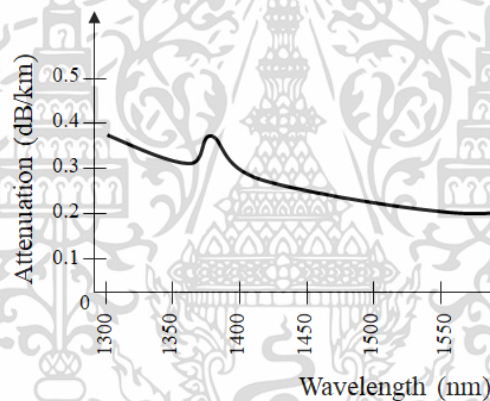


รูปที่ 2.8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Core และ Cladding ของเส้นใยแก้วนำแสง MMF และ SMF

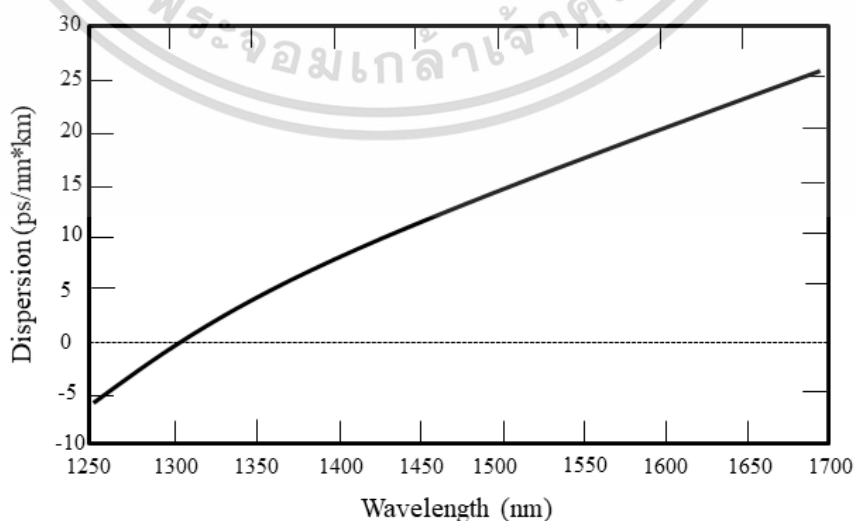
มาตรฐานที่กำหนดคุณลักษณะของเส้นใยแก้วนำแสงชนิดโหมตเดี่ยวที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน คือมาตรฐาน ITU-T Recommendation G.652 (Standard single-mode fiber) [5] ซึ่งมาตรฐานของ SMF ที่มี Zero-dispersion wavelength เท่ากับ 1310 nm ใช้งานได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 1310 nm แต่สามารถใช้ได้กับความยาวคลื่นที่ 1550 nm ได้มาตรฐาน G.652 ยังแบ่งออกเป็นชนิด (Type) G.652.A, G.652.B, G.652.C และ G.652.D ซึ่งสำหรับระบบ PON จะใช้เส้นใยแก้วนำแสงตามมาตรฐาน G.652.C และ G.652.D ซึ่งเป็นเส้นใยแก้วนำแสงที่ลดผลของอนุภาคของน้ำที่อยู่ในเส้นใยแก้วนำแสง (Low-water-peak fiber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน G.652.C นั้นมีคุณสมบัติคล้ายกับมาตรฐาน G.652.A สำหรับการนำไปใช้ประยุกต์เข้ากับมาตรฐาน ITU-T G.957 (Optical interfaces for equipment and system relating to the synchronous digital hierarchy) และ G.691 (Optical interfaces for single channel STM-64 and other SHD systems with optical amplifiers) ไปจนถึง STM-16 เช่นเดียวกับ 10 Gb/s ระยะทาง 40 km (Ethernet) และ STM-256 สำหรับ ITU-T G.693 (Optical interfaces for intra-office systems) แต่สามารถส่งสัญญาณแสงเพิ่มขึ้นได้ในช่วงความยาวคลื่น 1360 nm ถึง 1530 nm ซึ่งตารางที่ 2.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเส้นใยแก้วนำแสงตามมาตรฐาน G.652.C โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ค่าอัตราการลดทอนสัญญาณแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1550 nm เท่ากับ 0.3 dB/km ค่าดิสเพอร์ชันที่ความยาวคลื่น 1310 nm เท่ากับ 0 ps/nm*km และค่า Polarization mode dispersion (PMD) สูงสุดเท่ากับ $0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ ซึ่งรูปที่ 2.9 และ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการลดทอนสัญญาณแสงและค่าดิสเพอร์ชันของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด G.652.C ที่ความยาวคลื่นต่างๆตามลำดับ [6]



รูปที่ 2.9 ค่าอัตราการลดทอนกำลังของสัญญาณแสงของเส้นใยแก้วนำแสง G.652.C



รูปที่ 2.10 ค่าดิสเพอร์ชันของสัญญาณแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของเส้นใยแก้วนำแสงชนิด G.652.C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้และผู้เผยแพร่เห็นชอบที่จะเป็นต้นทางการแก้ไข
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐาน G.652.C

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.092 ps/nm ² x km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum from 1310 nm To 1625 nm (Note 2)	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm (Note 3)	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km
PMD coefficient (Note 4)	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTE 1 – The attenuation coefficient values listed in this table should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables. For example, [IEC 60794-2-11] specifies the attenuation coefficient of indoor cable as 1.0 dB/km or</p>		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

less at both 1310 and 1550 nm

NOTE 2 –this wavelength region can be extended to 1260 nm by adding 0.07 dB/km induced Rayleigh scattering loss to the attenuation value at 1310 nm. In this case, the cable cut-off wavelength should not exceed 1250 nm.

NOTE 3 – The sampled attenuation average at this wavelength shall be less than or equal to the maximum value specified for the range, 1310 nm to 1625 nm, after hydrogen ageing according to [IEC 60793-2-50] regarding the B1.3 fiber category.

NOTE 4 – According to clause 6.2, a maximum PMD₀ value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD₀.

คุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง G.652.D นั้นคล้ายกันกับคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง G.652.B ที่ใช้สำหรับอัตราการรับส่งข้อมูลที่เร็วขึ้นถึงระดับของ STM-64 เช่น ITU-T Recs G.693 and G.959.1 ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงผลกระทบจากค่า Chromatic dispersion ด้วย มาตรฐานดังกล่าวสามารถส่งสัญญาณแสงได้เพิ่มขึ้นได้ในช่วงความยาวคลื่น 1360 nm ถึง 1530 nm ซึ่งตารางที่ 2.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเส้นใยแก้วนำแสงตามมาตรฐาน G.652.D โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ค่าอัตราการลดทอนสัญญาณแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 1550 nm เท่ากับ 0.3 dB/km ค่าดิสเพอร์ชันที่ความยาวคลื่น 1310 nm เท่ากับ 0 ps/nm²·km และค่า Polarization mode dispersion (PMD) สูงสุดเท่ากับ 0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

ตารางที่ 2.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐาน G.652.D

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\min}$	1300 nm
	$\lambda_{0\max}$	1324 nm
	$S_{0\max}$	0.092 ps/nm ² x km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum from 1310 nm To 1625 nm (Note 2)	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm ±3 nm (Note 3)	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km
PMD coefficient (Note 4)	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.20 ps/ \sqrt{km}
<p>NOTE 1 – The attenuation coefficient values listed in this table should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables. For example, [IEC 60794-2-11] specifies the attenuation coefficient of indoor cable as 1.0 dB/km or less at both 1310 and 1550 nm</p> <p>NOTE 2 – This wavelength region can be extended to 1260 nm by adding 0.07 dB/km induced Rayleigh scattering loss to the attenuation value at 1310 nm. In this case, the cable cut-off wavelength should not exceed 1250 nm.</p> <p>NOTE 3 – The sampled attenuation average at this wavelength shall be less than or equal to the maximum value specified for the range, 1310 nm to 1625 nm, after hydrogen ageing according to [IEC 60793-2-50] regarding the B1.3 fiber category.</p> <p>NOTE 4 – According to clause 6.2, a maximum PMD_Q value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD_Q.</p>		

2.5 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ (PON)

เทคโนโลยี FTTH เป็นเครือข่ายสำหรับ Access network ที่ให้บริการการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงมาก โดยใช้ PON ในการเชื่อมต่อระหว่างชุมสายของผู้ให้บริการเข้ากับส่วนขอเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

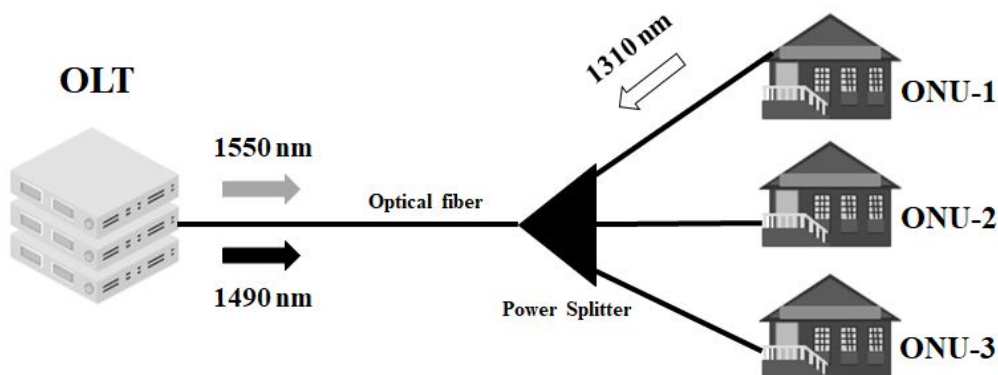
ผู้ใช้บริการด้วยเส้นใยแก้วนำแสงและอุปกรณ์แบบพาสซีฟซึ่งไม่ต้องอาศัยกระแสไฟฟ้าในการทำงาน ในการประมวลสัญญาณ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงสามารถลดความซับซ้อนของระบบและค่าใช้จ่ายใน ส่วนของการบำรุงรักษาและซ่อมแซมอุปกรณ์ ทำให้สามารถให้บริการการสื่อสารความเร็วสูงด้วย ค่าบริการที่ต่ำได้ ข้อดีของ PON ที่เหนือกว่าเทคโนโลยีที่ใช้สายทองแดง นั้นคือการใช้เส้นใยแก้วนำ แสงเป็นสายนำสัญญาณซึ่งมีอัตราสูญเสียกำลังของสัญญาณที่น้อย สามารถรองรับแบนด์วิดท์ได้ มากกว่า และไม่มีสัญญาณรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และด้วยประสิทธิภาพของ PON ที่พัฒนา จนสามารถรับส่งข้อมูลได้เร็วถึงระดับ Gbps ในระยะทางให้บริการที่ไกลถึง 20 กิโลเมตร จึงคาดว่า เครือข่าย FTTH จะสามารถให้บริการการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงและรองรับแอปพลิเคชันใหม่ๆ ใน อนาคต [8],[11]

2.5.1 โครงสร้างของ PON

อุปกรณ์ของ PON ที่ใช้สำหรับเครือข่าย FTTH ประกอบด้วย OLT ที่ตั้งอยู่ในสถานีฐานซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่าง Access network และเครือข่ายหลัก (Backbone network) ทำหน้าที่รับ และส่งสัญญาณแสงผ่านเครือข่าย FTTH ควบคุมกำลังของสัญญาณที่ส่งและรับ นอกจากนี้ยังทำ หน้าที่ควบคุมการเข้าใช้ตัวกลาง (Media access control: MAC) ของผู้ใช้บริการสำหรับการส่ง ข้อมูลแบบอัปสตรีม (Upstream traffic)

- Optical Line Terminal (OLT) เป็นส่วนหลักของเครือข่ายซึ่งจะเชื่อมต่อกับ ผู้ให้บริการ อินเทอร์เน็ต โทรทัศน์ และโทรศัพท์หรือเรียกรวมกันว่า Triple play เป็นตัวควบคุมจัดสรร แบนด์วิดท์และช่วงเวลา (Time slot) ด้าน Upstream ให้กับแต่ละ ONU/ONT โดยใช้ กระบวนการที่เรียกว่า Dynamic bandwidth allocation (DBA) [9],[10]
- Optical network unit (ONU) หรือ Optical network terminal (ONT) เป็นส่วนที่แปลง สัญญาณแสงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ของผู้ใช้บริการ เช่น คอมพิวเตอร์ หรือโทรทัศน์ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนที่ทำงานร่วมกับ OLT ในการใช้ MAC protocol ด้วย
- อุปกรณ์แบ่งพลังงานแสงแบบพาสซีฟ (Passive optical power splitter) เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ ระหว่าง OLT และ ONU/ONT ทำหน้าที่แบ่งพลังงานแสงออกเป็นหลายๆส่วนเพื่อแจก กจ่ายไปยังแต่ละ ONU/ONT ทำให้ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ OLT เท่ากับจำนวน ONU/ONT ซึ่ง Splitter มีอัตราการแบ่งสัญญาณ (Split ratio) ต่างกันไป เช่น 1:4 1:8 1:16 1:32 1:64 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของ PON ที่ใช้

การเชื่อมต่อของ PON มีรูปแบบการเชื่อมต่อของเครือข่ายเป็นแบบจุดไปยังหลายจุด (Point to multipoint) ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งใช้เส้นใยแก้วนำแสงมาตรฐาน ITU-T G.652.C, D ใน การเชื่อมต่อทั้งหมด



รูปที่ 2.11 รูปแบบการเชื่อมต่อของ PON

2.5.2 มาตรฐานของ PON

มาตรฐานของ PON ปัจจุบันนี้มีใช้กันอยู่ 3 มาตรฐานด้วยกัน คือ [11]

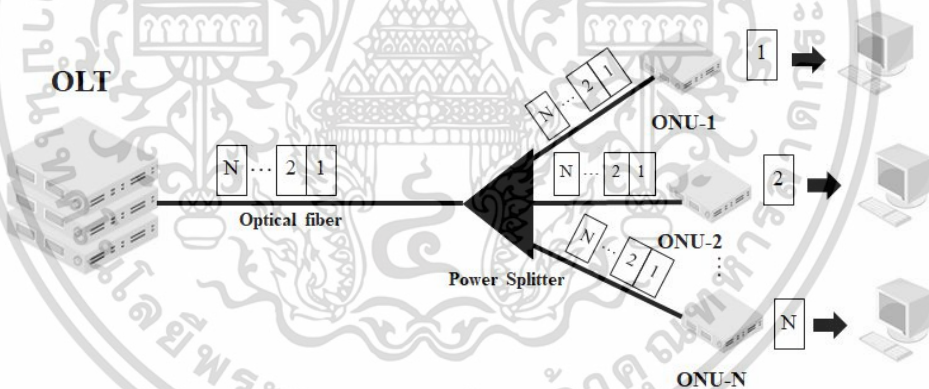
- (1) Broadband PON (BPON) เป็นไปตามมาตรฐาน ITU-T G.983.x พัฒนามาจาก APON (ATM PON) ซึ่งใช้โปรโตคอล ATM ในการรับส่งข้อมูล ซึ่งมีอัตรารับส่งข้อมูล 622 Mbps สำหรับการส่งข้อมูลแบบ Downstream และ 155 Mbps สำหรับการส่งข้อมูลแบบ Upstream มี Splitting ratio สูงสุดที่ 1:32 และสามารถให้บริการได้ในระยะทางประมาณ 20 km
- (2) Gigabit-capable PON (GPON) เป็นไปตามมา ITU-T G.984.x ใช้โปรโตคอล ATM, TDM หรือ Ethernet ในการรับส่งข้อมูล มีอัตราการรับส่งข้อมูลแบบ Downstream ที่ 2.5 Gbps และ 1.25 Gbps สำหรับการส่งข้อมูลแบบ Upstream มี Splitting ratio สูงสุดที่ 1:64 และสามารถให้บริการได้ในระยะทาง 20-60 km
- (3) Ethernet PON (EPON) หรือ Gigabit ethernet PON (GEPON) เป็นมาตรฐาน IEEE 802.3ah ใช้โปรโตคอล Ethernet ในการรับส่งข้อมูล มีอัตรารับส่งข้อมูล 1.25 Gbps ทั้งการส่งข้อมูลแบบ Downstream และ Upstream มี Splitting ratio สูงสุดที่ 1:32 และสามารถให้บริการได้ในระยะทาง 10-20 km
 ทั้งนี้ใช้ความยาวคลื่น 1490 ± 10 nm สำหรับทราฟฟิกแบบ Downstream และ 1310 ± 50 nm สำหรับทราฟฟิกแบบ Upstream ทั้งนี้ใช้ความยาวคลื่น 1555 ± 5 nm ในการส่งสัญญาณวีดีโอและโทรทัศน์
- (4) 10G-EPON เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.3av เป็นมาตรฐานที่ได้รับการพัฒนาจาก EPON (หรือ GEPON) สามารถรับส่งข้อมูลได้สูงถึง 10 Gbps ในการส่งแบบ Downstream และ 1 Gbps ในการส่งแบบ Upstream

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

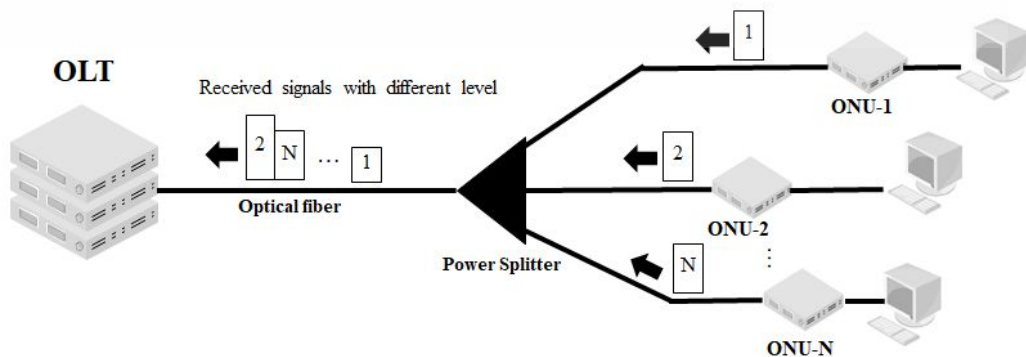
2.5.3 หลักการทำงานเบื้องต้น

สำหรับการส่งข้อมูลแบบ Downstream OLT จะส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสงจะถูกส่งในลักษณะ Broadcast และถูกกระจายที่ Splitter ไปยัง ONU/ONT ทุกตัวที่อยู่หลัง Splitter นี้ๆ โดยกำลังของสัญญาณจะถูกแบ่งให้กับผู้ใช้บริการที่แต่ละ ONU จำนวน N ราย รูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ส่งมาจาก OLT จะถูกส่งไปยัง ONU/ONT ทุกตัว ในขณะที่แต่ละ ONU/ONT จะสามารถรับข้อมูลที่มีการระบุ Address ถึง ONU/ONT ตัวนั้นเท่านั้น สำหรับข้อมูลอื่นๆ ที่มีการระบุ Address ไม่ตรงกันก็จะถูกกำจัดทิ้งไป (Discard) และในการรับส่งจะมีการเข้ารหัส (Encryption) เพื่อความปลอดภัยของข้อมูล

สำหรับการส่งข้อมูลแบบ Upstream ONU/ONT แต่ละตัวจะติดต่อสื่อสารกับ OLT เพียงตัวเดียวเพื่อให้ OLT ทำการจัดสรรช่องสัญญาณ (Time slot) ให้แต่ละ ONU/ONT ใช้ในการส่งข้อมูล ซึ่งการใช้ช่องสัญญาณดังกล่าวเป็นการเข้าถึงแบบ Time division multiple access (TDMA) โดยที่แต่ละ ONU/ONT จะได้รับการจัดสรรช่วงเวลาในการส่งข้อมูลที่ต่างกัน ทำให้ข้อมูลของแต่ละ ONU/ONT ไม่เกิดการชนกัน (Collision) รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ส่งจาก ONU/ONT แต่ละตัวจะได้รับการจัดสรรช่วงเวลาในการส่งที่ต่างกัน และที่ OLT ก็มีการออกแบบระบบให้สามารถรับสัญญาณที่มีกำลังของสัญญาณที่ไม่เท่ากันอันเนื่องมาจากระยะห่างระหว่าง OLT กับ ONU/ONT แต่ละตัว [12]



รูปที่ 2.12 การส่งข้อมูลจาก OLT ไปยังแต่ละ ONU ในลักษณะ Broadcast



รูปที่ 2.13 การส่งข้อมูลจาก ONU แต่ละตัวไปยัง OLT ในลักษณะ TDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีการสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสงและประวัติความเป็นมาของระบบเทคโนโลยีเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ จุดเด่นที่น่าสนใจและหลักการทำงานเบื้องต้นของเทคโนโลยีเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลในเบื้องต้นของเทคโนโลยีเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟจะเป็นแนวทางการศึกษาวิจัยให้ระบบมีประสิทธิภาพมากและสามารถใช้งานได้หลากหลายหรือการประยุกต์ใช้งานได้มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์การออกแบบเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON สำหรับอาคารชุด

3.1 บทนำ

จากที่กล่าวไว้ในข้างต้นของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเห็นว่าการออกแบบเครือข่ายภายในอาคาร โดยใช้เทคโนโลยีของ FTTH มาตรฐาน GPON สามารถรองรับผู้ใช้บริการได้จำนวนมาก และสามารถรองรับการใช้งานแบนด์วิดท์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ที่ใช้ในการออกแบบเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON สำหรับอาคารชุด ซึ่งประกอบไปด้วยทฤษฎีพื้นฐานของเทคโนโลยี FTTH การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การออกแบบ โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การออกแบบ Access network โดยใช้เทคโนโลยีของ FTTH มาตรฐาน GPON ซึ่งเป็นระบบที่มีโครงสร้างทางกายภาพเป็นเคเบิลเส้นใยแก้วต่อเชื่อมระหว่างผู้ใช้งานกับเครือข่ายสื่อสารกลางของผู้ให้บริการ และคำนวณค่ากำลัง (Power budget) และค่าเวลาขาขึ้น (Rise time budget) เพื่อชี้วัดประสิทธิภาพของเครือข่ายที่ออกแบบ

3.2 เทคโนโลยี Fiber to the x (FTTx)

ระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแก้วนำแสง FTTx เป็นเทคโนโลยีบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง โดยเป็นการพัฒนามาจากเทคโนโลยี Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) ที่ใช้สายทองแดงในการรับส่งข้อมูล ซึ่งสามารถรองรับการใช้งานบรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตความเร็วสูงได้ดีกว่าเทคโนโลยี ADSL

3.2.1 ประเภทของ FTTx

FTTx ใช้เรียกลักษณะโครงสร้างของระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงที่มีการใช้งาน สายใยแก้วแทนสายโลหะทองแดง ส่งตรงถึงบ้านของผู้ใช้บริการ ซึ่งคุณภาพ และความเร็วในการ รับ-ส่ง สัญญาณสูงกว่าสายทองแดง คำว่า x หมายถึงสถานที่ปลายทางที่สายเส้นใยแก้วนำแสงนั้นไปถึงดังรูปที่ 3.1 แสดงถึงสถาปัตยกรรมของเทคโนโลยี FTTx ซึ่งสามารถแบ่งประเภทได้ดังนี้

3.2.1.1 Fiber To The Home (FTTH)

Fiber To The Home (FTTH) เป็นการนำประโยชน์จากการวางสายใยแก้วนำแสง จากชุมสายโทรศัพท์ (Central Office) ตรงไปสิ้นสุดยังอาคารที่พักอาศัยหรืออาคารสำนักงาน เพื่อลดการเชื่อมต่อกับคู่สายทองแดงหรือโคแอกเซียลที่มีอยู่แต่เดิมโดยสิ้นเชิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

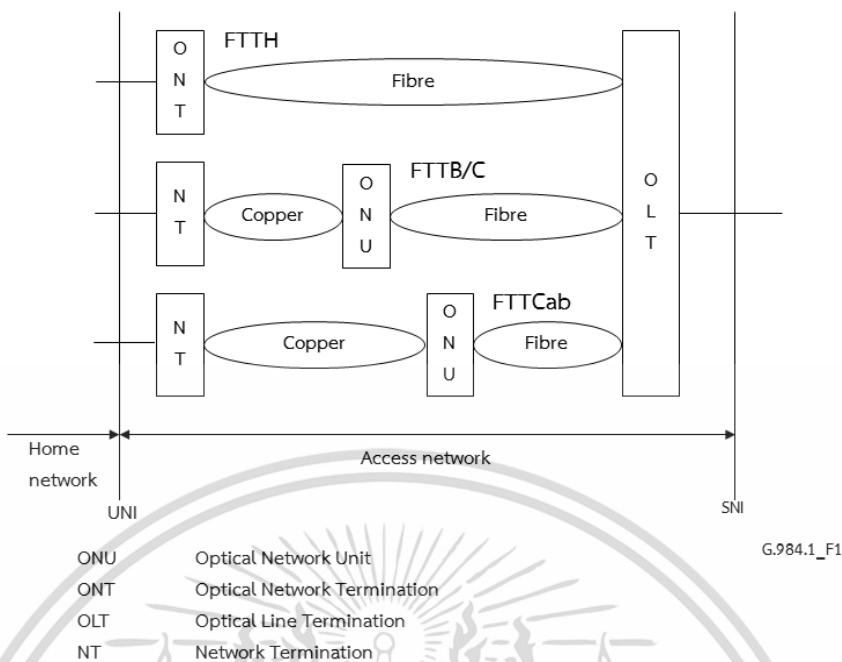
ทั้งนี้เน้นให้ใช้ประสิทธิภาพของการรับส่งข้อมูลอัตราเร็วสูงผ่านคู่สายใยแก้วนำแสงให้ได้มากที่สุด สถาปัตยกรรมแบบ FTTH มีโครงสร้างทางกายภาพเป็นเส้นใยแก้วนำแสง การติดตั้งเครือข่ายของ FTTH จากต้นทางไปยังปลายทางนั้นจะเป็นการใช้เส้นใยแก้วนำแสงเพียงอย่างเดียว

3.2.1.2 Fiber To The Curb (FTTC) และ Fiber To The Building (FTTB)

Fiber To The Curb (FTTC) และ Fiber To The Building (FTTB) เป็นสถาปัตยกรรมที่มีการติดตั้งตู้กระจายสัญญาณไว้ใกล้กับกลุ่มผู้ใช้บริการจำนวนมาก (โดยทั่วไปนิยมไว้ที่ระยะห่างจากกลุ่มผู้ใช้บริการไม่เกิน 300 เมตร) และเนื่องจากยังคงเป็นการใช้ประโยชน์จากคู่สายทองแดงและสายโคแอกเซียลที่มีอยู่แต่เดิมในการกระจายรับส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้บริการปลายทาง แม้จะย่นระยะห่างระหว่างตู้กระจายสัญญาณกับผู้ใช้บริการให้ใกล้เข้า แต่สถาปัตยกรรมแบบ FTTC และ FTTB ก็ยังคงมีข้อจำกัดในแง่ของอัตราเร็วในการสื่อสารอันเนื่องมาจากคุณลักษณะของคู่สายกระจายสัญญาณ

3.2.1.3 Fiber To The Cabinet (FTTCab)

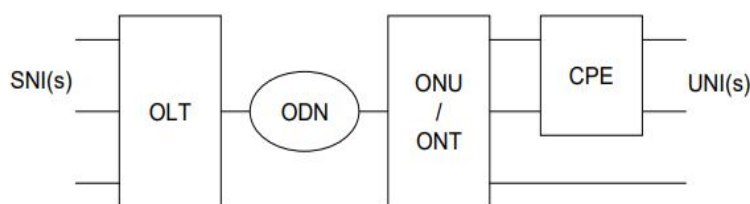
Fiber To The Cabinet (FTTCab) เป็นการวางสายใยแก้วนำแสงจากชุมสายโทรศัพท์ไปสิ้นสุดยังตู้กระจายสัญญาณโทรคมนาคม (Cabinet) จากนั้นจึงทำการกระจายสัญญาณผ่านคู่สายโคแอกเซียล (Coaxial) ไปยังที่พักอาศัยของผู้ใช้ บริการแต่ละราย ในทางปฏิบัติจะมีการติดตั้งตู้กระจายสัญญาณโดยพิจารณาให้ครอบคลุมกลุ่มผู้ใช้บริการเป้าหมายภายในรัศมี 1,500 เมตร อย่างไรก็ตามหากรัศมีการกระจายสัญญาณของตู้กระจายมีระยะทางต่ำกว่า 300 เมตร ก็จะเรียกสถาปัตยกรรมนี้ว่า Fiber To The Curb (FTTC) ทั้งนี้ผู้ใช้บริการสามารถเลือกให้บริการสื่อสารแบบบรอดแบนด์ระหว่างตู้กระจายสัญญาณกับผู้ใช้บริการ โดยอาศัยโปรโตคอล (Protocol) ได้หลากหลายประเภท เช่น Broadband Cable Access ตามมาตรฐาน Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS) รวมถึงการให้บริการตามมาตรฐาน DSL ทั่วไป สถาปัตยกรรมแบบ FTTCab นี้มีจุดประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์จากคู่สายโคแอกเซียลหรือแม้กระทั่งสายทองแดงที่มีการติดตั้งใช้งานอยู่แต่เดิมให้ได้มากที่สุด เป็นการลดต้นทุนในการรื้อเปลี่ยนโครงข่ายกระจายสัญญาณใหม่ แต่ก็ถือว่า เป็นเทคโนโลยีที่มีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้บริการ ต่ำสุดเมื่อเทียบกับบรรดาเทคโนโลยีในกลุ่ม FTTx ทั้งหมด ทั้งนี้เนื่องจากการพึ่งพาขีดความสามารถที่มีอยู่จำกัดของคู่สายกระจายที่มีแต่เดิมนั่นเอง



รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยี FTTx ตามมาตรฐาน ITU-T G.984

3.3 การกระจายแสงของ Fiber to the Home (FTTH)

การกระจายแสงของ FTTH ระบบเครือข่ายกระจายแสง (Optical Distribution Network: ODN) ในระบบเครือข่ายของ FTTH จะสามารถแบ่งโครงสร้างออกเป็นโครงสร้างย่อย ๆ ได้ 3 ส่วน คือ ห้องอุปกรณ์ของชุมสายส่วนกลาง ระบบเครือข่ายกระจายแสง (ODN) และพื้นที่บริเวณจุดใช้งานของผู้ใช้บริการ ส่วนที่เป็นห้องอุปกรณ์ของชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งส่วนนี้มีไว้สำหรับติดตั้งชุดอุปกรณ์ Switching และเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการรับบริการด้านต่าง ๆ เช่น สัญญาณเสียง สัญญาณภาพ และ/หรือ ข้อมูล และส่งต่อบริการเหล่านี้ไปยังผู้ให้บริการในระบบเครือข่าย FTTH ITU-T ได้ให้ความหมายของ ODN ในมาตรฐาน Gigabit capable passive optical network (GPON) ไว้ว่าทำหน้าที่เป็นสื่อกลางสำหรับส่งสัญญาณแสงจากอุปกรณ์ Optical Line Terminal (OLT) ไปยังอุปกรณ์ที่ผู้ให้บริการเรียกว่า Optical Network Terminal/Unit (ONT/ONU) โดยใช้อุปกรณ์ทางแสงที่ไม่ใช้ไฟฟ้า (Passive Optical Component) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สถาปัตยกรรมระบบ GPON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

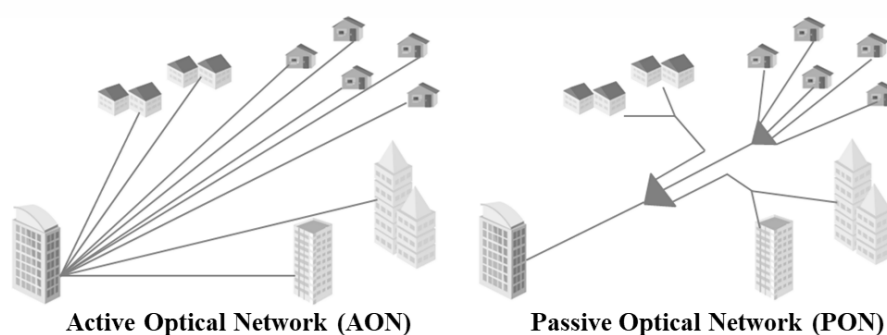
รูปแบบการกระจายสัญญาณแสงมี 2 รูปแบบ คือ

แบบรวมศูนย์กลาง (Centralized Splitting หรือ Single Splitter) คือ จาก OLT จะเข้า Splitter 1 ตัว เช่น 1:32

แบบกระจาย (Distributed Splitting) คือ จาก OLT จะเข้า Splitter มากกว่า 1 ตัว ต่อเรียงลำดับกันไป

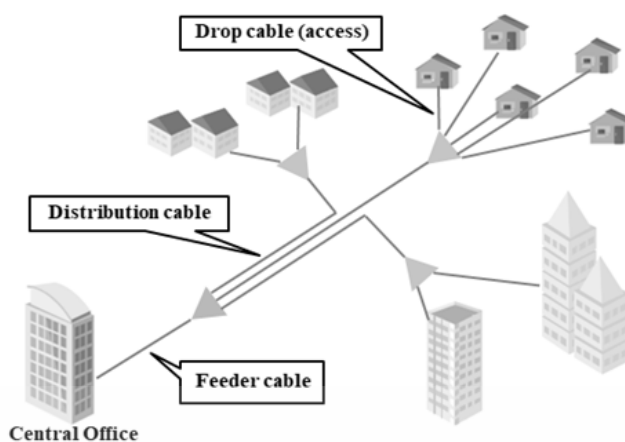
3.4 การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ FTTH

การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบเครือข่าย FTTH ถูกแบ่งเป็น 2 ชนิดหลัก ๆ นั่นคือ สามารถที่จะมีรูปแบบการเชื่อมต่อเป็นแบบ Point-to-point หรือเรียกว่า AON (Active optical network) หรือมีสถาปัตยกรรมเป็นจุดไปยังหลายจุด (Point-to-multipoint) หรือเรียกว่า PON (Passive optical network) [13]-[16] ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งระบบ AON จะเป็นสถาปัตยกรรมแบบง่าย ๆ ที่มีการเชื่อมต่อโดยตรงระหว่างผู้ใช้แต่ละรายกับอุปกรณ์ Switching ในชุมสายส่วนกลาง หรือต่อเข้ากับอุปกรณ์ Switching ในจุดต่อเชื่อมระหว่างทางก็ได้ ในระบบ PON จะแยกสัญญาณจากใยแก้วนำแสงหนึ่งเส้น เพื่อนำไปให้บริการแก่ผู้ใช้ สถาปัตยกรรมแบบ PON มีองค์ประกอบหลักอยู่ 3 ประการในระบบเครือข่ายกระจายแสง (Optical distribution network: ODN) ได้แก่ ส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนสัญญาณ (Feeding cabling) ส่วนที่ทำหน้าที่กระจายสัญญาณ (Distribution cabling) และ ส่วนที่เชื่อมต่อไปยังจุดใช้งาน (Drop cabling) ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนสัญญาณจะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในชุมสายส่วนกลางกับพื้นที่ที่ให้บริการ ส่วนที่ทำหน้าที่กระจายสัญญาณจะเป็นส่วนที่มีสายเคเบิลติดตั้งไปให้ใกล้บ้านหรือสำนักงานของผู้ใช้มากที่สุด และมักจะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ต่อเชื่อมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดขอบข่ายระหว่างส่วนที่ทำหน้าที่ป้อนสัญญาณและส่วนที่ทำหน้าที่กระจายสัญญาณไว้อย่างชัดเจน สำหรับส่วนที่เชื่อมต่อไปยังจุดใช้งาน จะประกอบไปด้วยสายเคเบิลและอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นๆ ที่ต้องใช้ในการเชื่อมต่อผู้ใช้เข้ากับโครงข่ายส่วนที่ทำหน้าที่กระจายสัญญาณ จำนวนของผู้ใช้บริการในแต่ละพื้นที่ ก็เป็นตัวแปรสำคัญในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ผู้ให้บริการต้องนำมาพิจารณาเพื่อให้เลือกใช้สถาปัตยกรรมได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 3.3 สถาปัตยกรรมของ AON และ PON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

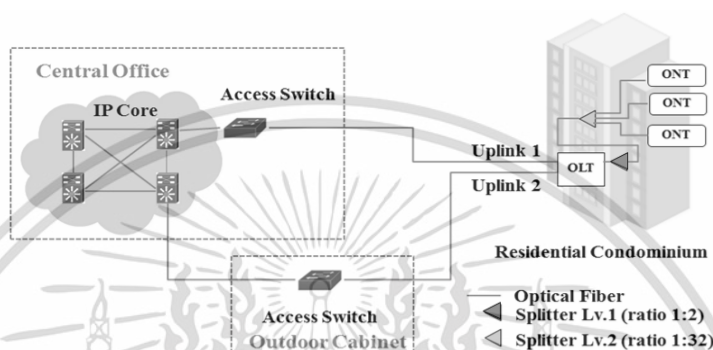


รูปที่ 3.4 องค์ประกอบของสถาปัตยกรรมระบบ PON

3.5 การออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ FTTH ภายในอาคารชุด

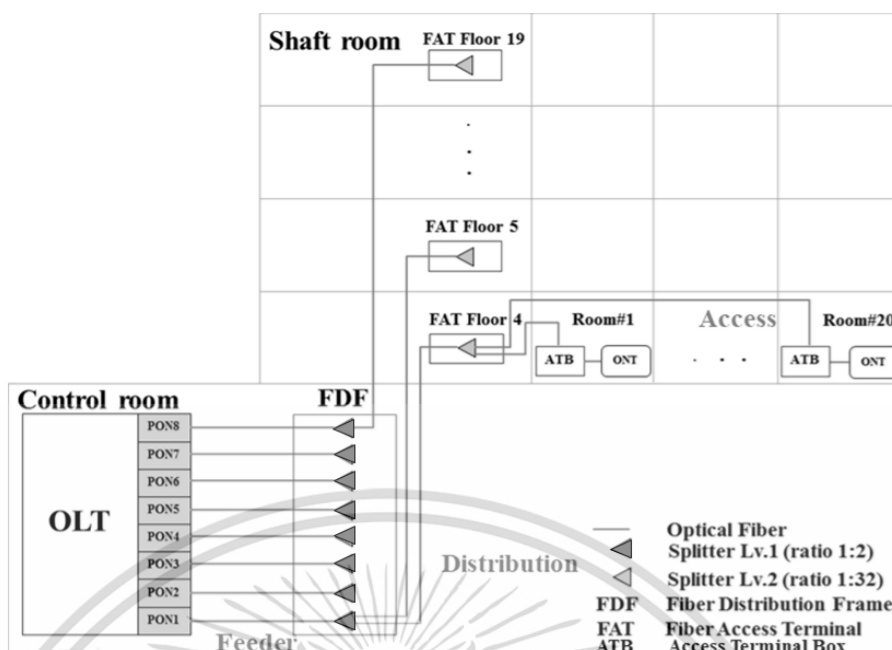
การออกแบบจำเป็นต้องมีการสำรวจพื้นที่จริง (Site Survey) เพื่อทำการกำหนดจุดติดตั้ง Optical splitter ได้อย่างเหมาะสมและครอบคลุมการให้บริการ ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการนำเทคโนโลยี FTTH ไปใช้ในการออกแบบในอาคารชุดแห่งหนึ่งในประเทศอินโดนีเซีย แต่เป็นการนำเทคโนโลยี GPON (Gigabit Ethernet PON) [17] ซึ่งค่าเฉลี่ยสูงสุดในการสนับสนุนแบนด์วิดท์ของแต่ละผู้ใช้งานในด้าน Downstream จะต่ำกว่าเทคโนโลยี GPON เนื่องจาก GPON เป็นเทคโนโลยีที่มีการรับส่งแบบสมมาตร (Symmetrical) กล่าวคืออัตราการรับส่งข้อมูลด้าน Downstream และ Upstream อยู่ที่ 1.25 Gbps ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบเครือข่าย FTTH ที่ใช้ในอาคารชุดแห่งหนึ่ง ซึ่งอาคารชุดดังกล่าวมีโครงสร้างเป็นอาคารชุด 20 ชั้น (รวมชั้นดาดฟ้า) ตั้งแต่ชั้นที่ 4 ถึงชั้นที่ 19 เป็นส่วนบริการห้องพักอาศัย ประกอบด้วยห้องพักอาศัยชั้นละ 20 ห้อง ดังนั้นห้องของผู้ใช้งานมีทั้งสิ้น 320 ห้อง ในการออกแบบตามมาตรฐานของ GPON สามารถให้บริการได้ในระยะทางสูงสุดที่ 20 กิโลเมตร โดยจะแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักดังที่กล่าวไว้ข้างต้น คือ ระยะทางจาก OLT ไปยัง Optical Splitter (Feeder cable) อยู่ที่ 5 ถึง 15 กิโลเมตร และจาก Optical Splitter ไปยัง ONT (Distribution cable และ Drop cable) ที่ 100 เมตรถึง 5 กิโลเมตร ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบในกลุ่มผู้ใช้งานเฉพาะภายในพื้นที่ปิด กล่าวคือออกแบบเพื่อใช้งานในอาคารชุดหนึ่งๆเท่านั้น ไม่ได้เป็นการออกแบบเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่กว้าง ซึ่งอาคารชุดดังกล่าวมีห้องพักจำนวนทั้งสิ้น 320 ห้องคิดเป็น 62.5 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนผู้ใช้งานสูงสุดที่ OLT 1 card ยี่ห้อ Calix รุ่น E7 สามารถรองรับได้ (OLT 1 card มี 8 พอร์ต PON แต่ละพอร์ตรองรับ 64 ONT) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ออกแบบโดยการนำอุปกรณ์ OLT มาติดตั้งที่ห้องควบคุมของอาคารชุด ดังรูปที่ 3.5 ในการออกแบบจำเป็นต้องใช้พอร์ต Uplink ของอุปกรณ์ OLT จำนวน 2 พอร์ตเพื่อเป็นการสำรองเส้นทางของสายเคเบิลใยแก้ว ในกรณีที่สายเคเบิลใยแก้วเส้นใดเส้นหนึ่งขาด อุปกรณ์ OLT ก็ยังสามารถให้บริการแก่ผู้ใช้งานได้อย่างปกติ แต่ในส่วนของสายเคเบิลใยแก้วนำแสงที่ต่อออกจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำมาใช้จริงโปรดพิจารณาการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต PON ในปัจจุบันการสำรองเส้นทาง (Backup protection) ของพอร์ต PON ยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากมีความสิ้นเปลืองมากและอุปกรณ์ส่วนใหญ่ยังไม่สนับสนุน ถ้ามีเหตุการณ์ทำให้สายเคเบิลที่ต่อออกจากพอร์ต PON ของ OLT ขาด ผู้ใช้งานทั้งหมดก็จะไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นการนำอุปกรณ์ OLT มาติดตั้งที่อาคารชุดมีผลดีคือทำให้ลดความเสี่ยงการขาดของสายเคเบิลที่ต่อออกจากพอร์ต PON และลดการสูญเสีย (Loss) ที่เกิดจากระยะทางของสายเคเบิล การเชื่อมต่อ (Fusion Splice) ที่จะมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อสายเคเบิลใยแก้วขาด



รูปที่ 3.5 การออกแบบเครือข่าย FTTH โดยใช้เทคโนโลยี GPON

การออกแบบเครือข่าย FTTH โดยอิงมาตรฐานของ GPON ที่นำเสนอที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น มีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้ อุปกรณ์ OLT ถูกนำมาติดตั้งที่ห้องควบคุมของอาคารชุดและใช้สายเชื่อมต่อ (Patch cord) ที่มีตัวเชื่อมต่อ (Connector) ชนิด SC/UPC-SC/APC ต่อจากพอร์ต PON เข้าไปยัง Fiber distribution frame (FDF) เพื่อต่อเข้ากับ Optical Splitter ชั้นที่ 1 [18] ที่มีขนาด 1:2 และใช้สายเคเบิลใยแก้วนำแสงขนาด 2 core มาตรฐาน ITU-T G.652.D เชื่อมต่อจาก Optical Splitter ชั้นที่ 1 ไปยัง Fiber access terminal (FAT) เพื่อต่อเข้ากับ Optical splitter ชั้นที่ 2 [18] ที่มีขนาด 1:32 ซึ่ง FAT นี้จะถูกติดตั้งไว้ในห้องชาร์ป (Shaft room) ในแต่ละชั้นของอาคาร จาก FAT ไปยังห้องพักอาศัยก็จะใช้สายเคเบิลใยแก้วขนาด 2 core มาตรฐาน ITU-T G.652.D เช่นเดิมเพื่อต่อเข้ากับ Access terminal box (ATB) สุดท้ายจะใช้สายเชื่อมต่อ (Patch cord) ชนิด SC/UPC-SC/UPC ต่อจาก ATB เข้ากับ ONT การกำหนดเครือข่ายและการดำเนินการสำหรับการเข้าถึง (Access network) ของ FTTH ภายในอาคารชุด สามารถดูได้จากรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครือข่าย Access network ของ FTTH ภายในอาคารชุด

3.6 ค่างบกำลัง (Power budget)

ในการออกแบบระบบให้สามารถสื่อสารสัญญาณไปยังปลายทางได้ แม้ว่าจะระบบจะเป็นแบบจุดไปยังหลายจุด (Point to multipoint) แต่ในการคำนวณจะใช้การคำนวณแบบ Point to point คือ คำนวณระบบสายส่งจากต้นทางที่ OLT ไปยังปลายทางคือ ONT ซึ่ง Power budget เป็นค่าที่แตกต่างระหว่างกำลังส่งออกของเครื่องส่งและความต้องการกำลังรับของตัวรับโดยคิดที่ค่าน้อยที่สุด (Minimum) [19] ซึ่งเมื่อนำไปหักลบกับค่าสูญเสียทั้งระบบจะได้ค่ากำลังสำรอง (Power margin) ซึ่งเป็นกำลังที่เหลือของระบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ทำให้รู้ว่ากำลังส่งออกมีค่าเพียงพอที่ตัวรับสามารถรับได้ ในการออกแบบระบบ PON นั้นจะต้องออกแบบให้ค่าสูญเสียกำลังของสัญญาณแสงทั้งหมดมีค่าไม่เกิน Power budget โดยสามารถคำนวณค่า Power budget ได้จากสมการที่ 3.1

$$P_T = P_{Tx} - P_{Rx} = \alpha L + \sum l_c + \sum l_s + \sum l_{other} + G_{margin} \quad (3.1)$$

P_T คือ ค่า Power budget ทั้งหมด

P_{Tx} คือ ค่ากำลังของสัญญาณแสงที่ตัวส่งสัญญาณแสง [dBm]

P_{Rx} คือ ค่ากำลังของสัญญาณแสงที่เครื่องรับ [dBm]

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของเส้นใยแก้วนำแสง [dB/km]

L คือ ความยาวของเส้นใยแก้วนำแสงที่สามารถให้บริการได้ [km]

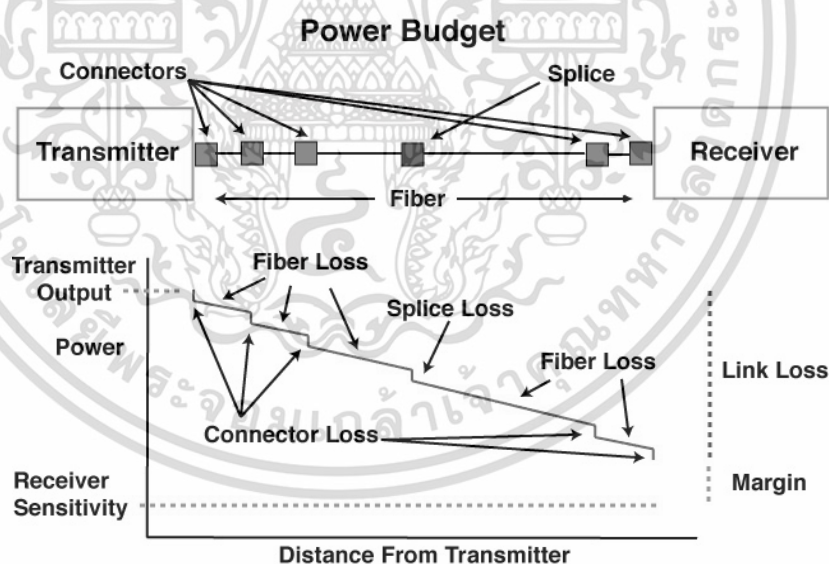
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- l_c คือ ค่ากำลังสูญเสียเนื่องจากตัวต่อ (Connector) [dB]
 l_s คือ ค่ากำลังสูญเสียเนื่องจากการเชื่อมต่อเส้นใยแก้ว (Splice) [dB]
 l_{other} คือ ค่ากำลังสูญเสียเนื่องจากกรณีอื่นๆที่พิจารณา [dB]
 G_{margin} คือ ค่า Safety margin ที่เผื่อไว้สำหรับระบบ [dB]

ทั้งนี้มาตรฐานของ PON ได้กำหนดระดับ (Class) ของค่า Power budget ไว้เพื่อที่จะได้สามารถเลือกออกแบบระบบ PON ได้อย่างเหมาะสมกับงบประมาณการลงทุนเครือข่ายหรือคุณภาพของการให้บริการโดย Class ในการออกแบบ Power budget ของมาตรฐาน PON แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่า Power budget ของ PON แต่ละ Class

Class	Min Optical Link Budget	Max Optical Link Budget
A	5 dB	20 dB
B	10 dB	25 dB
B+	13 dB	28 dB
C	15 dB	30 dB



รูปที่ 3.7 แผนผังตัวส่งตัวรับและองค์ประกอบที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับค่า Power budget

โดยทั่วไปจะกำหนดค่า Safety margin เท่ากับ 3 dB [18] ตัวเลขนี้อาจจะแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยความเสี่ยงที่จะเกิดการสูญเสีย (Loss) ในเครือข่าย ซึ่งค่านี้จะหักออกจากกำลังส่งที่เหลืออยู่ของระบบ หรือเรียกว่าค่ากำลังสำรอง (Power margin) ซึ่งค่าที่ได้ต้องมีค่ามากกว่าศูนย์ จึงจะสามารถมั่นใจได้ว่าเครื่องส่งมีกำลังส่งมากพอที่เครื่องรับสามารถรับได้และเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสงจะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดอายุการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ค่าขงเวลาขาขึ้น (Rise time budget)

การวิเคราะห์ค่า Rise time budget เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถการสนับสนุนแบนด์วิดท์ (Bandwidth carrying capability) ของระบบ หรือ อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด (Maximum Data Rate) ของระบบ [20] แบนด์วิดท์และอัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดถูกจำกัดด้วยอุปกรณ์ที่มีค่า Rise time budget ต่ำที่สุด ค่า Rise time budget ของตัวส่งและตัวรับถูกจำกัดด้วยเวลาในการตอบสนอง (Response time) ของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำและการกรองอิเล็กทรอนิกส์ในวงจร ค่า Rise time budget ของเส้นใยแก้วนำแสงเป็นผลมาจากการกระจาย (Dispersion) พารามิเตอร์ทั้งหมดนี้ถูกรวมเพื่อพิจารณาว่าระบบสามารถสนับสนุนอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการได้หรือไม่ เส้นใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (Single mode) ไม่ได้รับผลกระทบการกระจายของโหมดแสง (Modal dispersion) ดังนั้นในเส้นใยเหล่านี้ค่า Rise time budget จะมีความเกี่ยวข้องกับการกระจายของความเร็วกลุ่ม (Group Velocity Dispersion) ดังนั้นสำหรับเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยวเราจะพิจารณาสมการประกอบพื้นฐานเท่านั้น ซึ่งค่า Rise time budget สามารถคำนวณได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ข้างล่างนี้

$$t_{sys} = [t_{tx}^2 + t_{mod}^2 + t_{GVD}^2 + t_{rx}^2]^{1/2} \quad (3.2)$$

$$t_{GVD} = D\sigma_\lambda L \quad (3.3)$$

โดยที่ t_{tx} = Transmitter risetime
 t_{GVD} = Group Velocity Dispersion
 t_{mod} = Modal dispersion rise time
 t_{rx} = Receiver rise time
 D = Dispersion (ns/nm.km)
 σ_λ = Spectral width (nm)
 L = ระยะทางของสายเคเบิลใยแก้ว (km)

วัตถุประสงค์ของค่า Rise time budget คือเพื่อให้แน่ใจว่าระบบทำงานอย่างถูกต้องตามอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการ เกณฑ์ค่า Rise time budget ของการเชื่อมต่อแบบ Digital ไม่ควรเกิน 70 เปอร์เซ็นต์ของคาบของบิต (Bit period) สำหรับสัญญาณข้อมูลที่เข้ารหัสแบบ NRZ (Non return to zero) และ 35 เปอร์เซ็นต์สำหรับสัญญาณข้อมูลที่เข้ารหัสแบบ RZ (Return to zero) ดังแสดงในสมการที่ (3.4) และ (3.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_{\text{sys}} < \frac{0.7}{BW} ; \text{NRZ} \quad (3.4)$$

$$t_{\text{sys}} < \frac{0.35}{BW} ; \text{RZ} \quad (3.5)$$

3.8 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์การออกแบบเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON สำหรับอาคารชุด โดยการออกแบบเป็นการออกแบบเพื่อใช้ในพื้นที่ปิด กล่าวคือ เป็นการออกแบบเครือข่ายเพื่อใช้งานในอาคารชุด และได้มีการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ซึ่งประกอบไปด้วยค่า Power budget และค่า Rise time budget เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครือข่ายที่ทำการออกแบบ

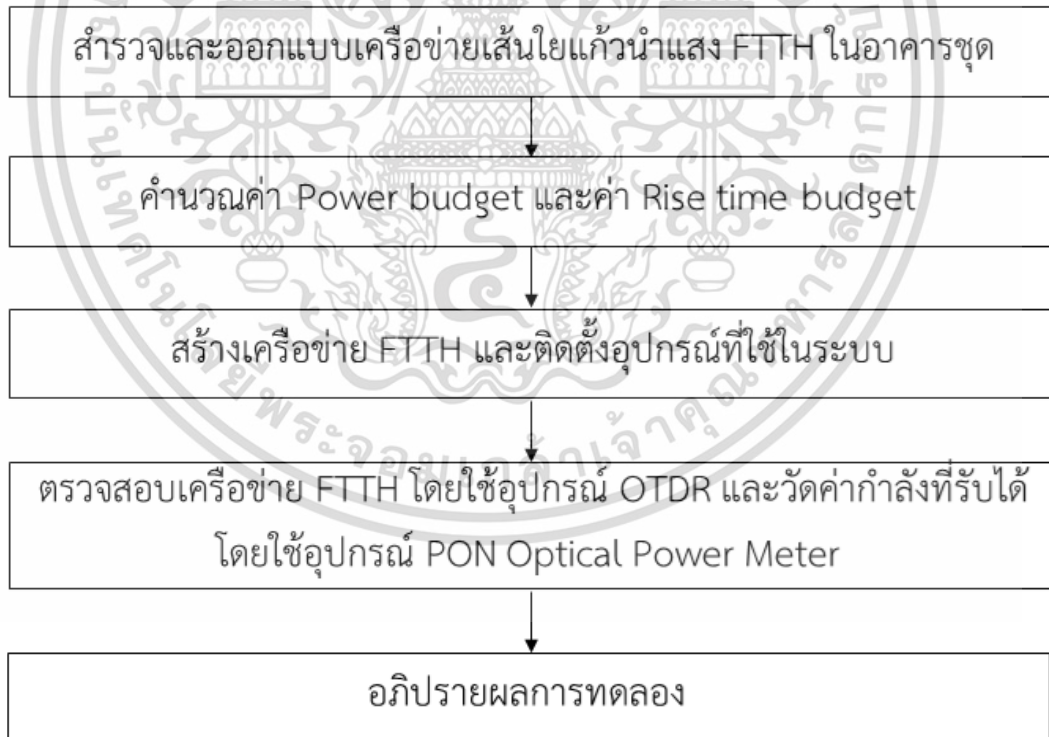


บทที่ 4

การทดลองวิจัยและอภิปรายผล

4.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON สำหรับอาคารชุด ในการออกแบบได้นำอุปกรณ์ OLT มาติดตั้งไว้ในห้องควบคุมของอาคารชุด เพื่อลดความเสี่ยงในการขาด ขาดสูญหายของสายเคเบิลใยแก้ว Feeder อีกทั้งยังเป็นการลดค่า Loss อันเนื่องมาจากระยะทางของเส้นใยแก้วนำแสง ได้คำนวณค่า Power budget และค่า Rise time budget เพื่อวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายที่ออกแบบ ตรวจสอบเครือข่าย FTTH ที่สร้างด้วยอุปกรณ์ OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) และวัดค่ากำลังที่รับได้จริงก่อนเข้า อุปกรณ์ ONT ในกรณี Worst case โดยใช้อุปกรณ์ PON Optical Power Meter เพื่อเป็นการยืนยันค่าที่ได้ ซึ่งขั้นตอนการทดลองสามารถแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 4.1

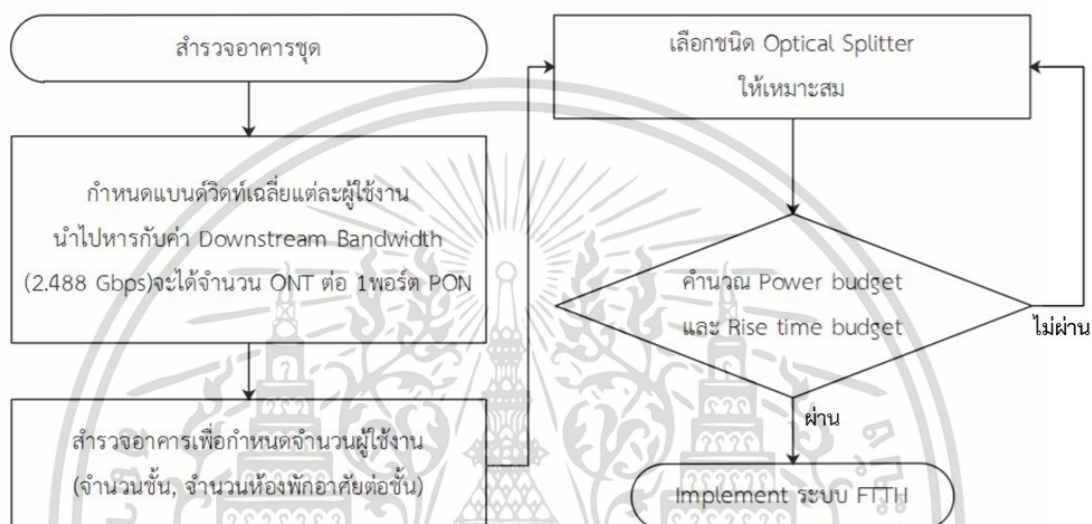


รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของขั้นตอนการทดลองวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนการออกแบบเครือข่าย FTTH

ในการออกแบบเครือข่าย FTTH ในอาคารชุด สิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาคือ ค่าแบนด์วิดท์เฉลี่ยของแต่ละผู้ใช้งาน โครงสร้างของอาคารชุดกล่าวคือ จำนวนชั้นและจำนวนห้องพักอาศัยแต่ละชั้น และสุดท้ายคือชนิดของ Optical splitter ที่นำมาใช้ ประกอบด้วย 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32 และ 1:64 ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 Flowchart ขั้นตอนการออกแบบเครือข่าย FTTH สำหรับอาคารชุด

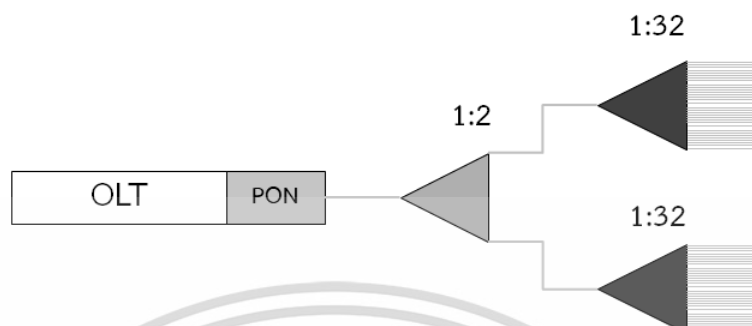
ค่าแบนด์วิดท์เฉลี่ยแต่ละผู้ใช้งานขึ้นอยู่กับจำนวน ONT ที่เชื่อมต่อเข้ามายังพอร์ต PON นั้นๆ อุปกรณ์ OLT ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ 1 พอร์ต PON สามารถรองรับการเชื่อมต่อเข้ามาของ ONT ได้ 64 ONT ค่าแบนด์วิดท์เฉลี่ยแต่ละผู้ใช้งาน Downstream ที่ 38.88 Mbps และ Upstream ที่ 19.44 Mbps

ตัวอย่างการออกแบบเครือข่าย FTTH ในอาคารชุด

โครงสร้างอาคารชุด มี 16 ชั้น ประกอบด้วยห้องพักอาศัยชั้นละ 20 ห้อง ความต้องการค่าแบนด์วิดท์เฉลี่ยแต่ละผู้ใช้งาน Downstream/Upstream = 60/30 Mbps

ดังนั้น 1 พอร์ต PON ต้องมี ONT เชื่อมต่อเข้ามา จำนวน = $2488 \text{ Mbps} / 60 \text{ Mbps} = 41 \text{ ONT}$
จากตัวเลขข้างบนทำให้ทราบว่า 1 พอร์ต PON สามารถรองรับการเชื่อมต่อของ ONT เข้ามาได้ไม่เกิน 41 ONT ถึงจะสามารถสนับสนุนค่าแบนด์วิดท์เฉลี่ยแต่ละผู้ใช้งานที่ต้องการได้

จากนั้นออกแบบโดยใช้ Splitter 2 ระดับ โดยแบ่งเป็น Splitter Lv.1 ใช้ชนิด 1:2 สำหรับเชื่อมต่อไปในแต่ละชั้น และ Splitter Lv.2 ชนิด 1:32 สำหรับเชื่อมต่อไปยังแต่ละห้องพักอาศัยดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การกระจายสัญญาณแสงโดยใช้ Splitter 2 ระดับ

ข้อสังเกต ในกรณีถ้าอาคารชุดประกอบด้วยห้องพักอาศัยชั้นละ 10 ห้อง สามารถออกแบบโดยใช้ Splitter Lv.1 ชนิด 1:4 และ Splitter Lv.2 ชนิด 1:16 ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามโครงสร้างของอาคารชุดนั้นๆ

4.3 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ที่ใช้ออกแบบ

ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ที่จำเป็นที่นำมาใช้ออกแบบและดำเนินการเครือข่าย FTTH ของอาคารชุดแห่งหนึ่ง เป็นการนำข้อมูลจำเพาะของ ยี่ห้อ รุ่น ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้จริงในอาคารชุดดังกล่าว ในกรณีที่ใช้อุปกรณ์ยี่ห้ออื่นอาจมีการปรับเปลี่ยนการออกแบบเพียงเล็กน้อย เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบและสร้างเครือข่าย FTTH ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นมาตรฐานที่เป็นสากลอยู่แล้ว อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบมีข้อมูลจำเพาะดังนี้

4.3.1 Optical line terminal (OLT) และ Optical network terminal (ONT)

OLT ใช้โมดูล Transceivers ยี่ห้อ Ligent LTE3680M และ ONT ใช้โมดูล Transceivers ยี่ห้อ Hisense LTB3468 ซึ่งมีข้อมูลจำเพาะตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลจำเพาะโมดูล Transceiver ของ OLT และ ONT

Parameter	Specification	
	OLT	ONT
Downstream data rate	2.488 Gbps	2.488 Gbps
Upstream data rate	1.244 Gbps	1.244 Gbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output Optical Power	1.5 - 5 dBm	0.5 - 5 dBm
Sensitivity	-28 dBm	-28 dBm
Spectral Width	1 nm	1 nm
Downstream Wavelength	1490 nm	1490 nm
Upstream Wavelength	1310 nm	1310 nm
Optical Rise/Fall time	150 ns	260 ns

4.3.2 เส้นใยแก้วนำแสง (Optical fiber)

สายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้เดินในอาคารชุดทั้งหมด เป็นเส้นใยแก้วนำแสง ตามมาตรฐานของ ITU-T G.652.D ซึ่งมีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลจำเพาะของเส้นใยแก้วนำแสง G.652.D

Parameter	Specification
Attenuation at 1310 nm	≤ 0.35 dB/km
Attenuation at 1490 nm	≤ 0.28 dB/km
Attenuation at 1550 nm	≤ 0.22 dB/km
Chromatic Dispersion (1285 nm – 1330 nm)	≤ 3.56 ps/(nm.km)
Chromatic Dispersion (1550 nm)	≤ 13.64 ps/(nm.km)

4.3.3 ตัวเชื่อมต่อ (Connector) และตัวต่อ (Adapter)

ตัวต่อเชื่อม (Connector) และตัวต่อ (Adapter) ที่ใช้ออกแบบทั้งหมดเป็นชนิด SC/APC และ SC/UPC ยี่ห้อ FIBERTRONICS มีข้อมูลจำเพาะตามตารางที่ 4.3 ข้างล่างนี้

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลจำเพาะของตัวเชื่อมต่อชนิด SC/APC และ SC/UPC

Parameter	Specification
Insertion loss	0.2 dB

4.3.4 ตัวแยกสัญญาณแสง (Optical Splitter)

การออกแบบเครือข่าย FTTH ในอาคารชุด ใช้ตัวแยกสัญญาณแสงสองชั้น ชั้นที่ 1 ขนาด 1:2 และชั้นที่ 2 ขนาด 1:32 ทั้งสองชนิดยี่ห้อ DRAKA มีข้อมูลจำเพาะตามตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลจำเพาะของตัวแยกสัญญาณแสง (Optical Splitter)

Parameter	Specification
Insertion loss (Split ratio 1:2)	3.8 dB
Insertion loss (Split ratio 1:32)	16.9 dB

4.4 ผลการทดลองวิจัยและการวิเคราะห์ผล

4.4.1 การคำนวณ Power budget

ในการออกแบบระบบให้สามารถส่งสัญญาณไปยังปลายทางได้ แม้ว่าจะระบบจะเป็นแบบจุดไปยังหลายจุด (Point to multipoint) แต่ในการคำนวณค่า Power budget จะใช้การคำนวณแบบ Point to point คือคำนวณระบบสายส่งจากต้นทางที่ OLT ไปยังปลายทางคือ ONT การคำนวณ Link Power Budget ของระบบ GPON จะถูกแบ่งเป็นสองส่วนเนื่องจากเทคโนโลยีของ GPON มีการส่งข้อมูลด้าน Downstream และ Upstream ที่ความยาวคลื่นที่ไม่เหมือนกัน นั่นคือความยาวคลื่นด้าน Downstream ที่ 1490 นาโนเมตร และ Upstream ที่ 1310 นาโนเมตร การคำนวณจะคำนวณในกรณี Worst case กล่าวคือระยะทางของสายใยแก้วจาก OLT ไป ONT ที่ไกลมากที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบติดตั้งระบบเครือข่ายไว้ภายในอาคาร ระยะทางที่ไกลที่สุดจาก OLT ไปยัง ONT คือ 172 เมตร กำหนด Safety margin เท่ากับ 3 dB สามารถคำนวณ Link power budget โดยใช้สมการที่ 3.1 และ ใช้ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบตามตารางที่ 4.2.1 ถึง 4.2.4

ตารางที่ 4.5 ค่า Power budget ด้าน Downstream

Power budget calculation for Downstream					
No.	Parameter	Amount	Unit	Loss/unit (dB)	Total loss (dB)
1	Fiber optic G.652	0.172	km	0.28	0.048
2	Splitter 1:2	1	set	3.8	3.8
3	Splitter 1:32	1	set	16.9	16.9
4	Connector SC/APC	8	set	0.2	1.6
5	Adapter SC/APC	5	set	0.2	1
6	Fusion Splicing	4	time	0.1	0.4
Total loss					23.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

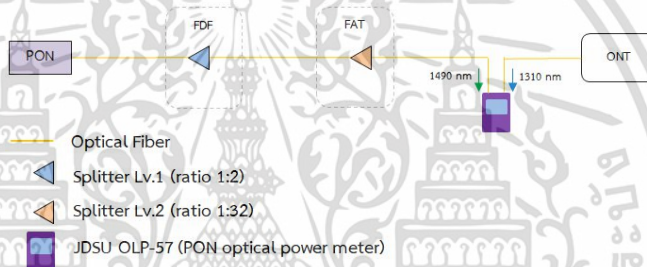
No.	Parameter	Value	Unit
1	Minimum Transmitter Power	1.5	dBm
2	Minimum Receiver Sensitivity	-28	dBm
3	Power Budget	29.5	dB
4	Total loss	23.75	dB
5	Safety margin	3	dB
6	Power margin	2.75	dB

ตารางที่ 4.6 ค่า Power budget ด้าน Upstream

Power budget calculation for Upstream					
No.	Parameter	Amount	Unit	Loss/unit (dB)	Total loss (dB)
1	Fiber optic G.652	0.172	km	0.35	0.06
2	Splitter 1:2	1	set	3.8	3.8
3	Splitter 1:32	1	set	16.9	16.9
4	Connector SC/APC	8	set	0.2	1.6
5	Adapter SC/APC	5	set	0.2	1
6	Fusion Splicing	4	time	0.1	0.4
Total loss					23.76
No.	Parameter	Value	Unit		
1	Minimum Transmitter Power	0.5	dBm		
2	Minimum Receiver Sensitivity	-28	dBm		
3	Power Budget	28.5	dB		
4	Total loss	23.76	dB		
5	Safety margin	3	dB		
6	Power margin	1.74	dB		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 และ 4.6 จะสังเกตได้ว่าค่ากำลังสำรอง (Power margin) ของ Downstream และ Upstream ที่ได้มีค่ามากกว่า 0 กล่าวคือ Power margin ด้าน Downstream อยู่ที่ 2.75 dB และด้าน Upstream อยู่ที่ 1.74 dB ซึ่งค่าที่ได้จากตารางข้างบนนั้นเป็นตัวชี้วัดว่า การออกแบบนี้ถูกตามมาตรฐาน Power Budget และระบบนี้มีประสิทธิภาพในการใช้งาน ถ้าค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0 กำลังส่งจาก OLT อาจมีค่าไม่เพียงพอที่ตัวรับที่ ONT จะสามารถรับได้ หรือถ้าตัวรับสามารถรับได้เครือข่ายเส้นใยแก้วก็อาจเกิดปัญหาภายนอกหน้าได้อันเนื่องมาจากปัจจัยที่ทำให้เกิด Loss ในช่วงอายุของการใช้งานของระบบ ส่งผลทำให้ OLT และ ONT ไม่สามารถรับส่งข้อมูลกันได้ ในการติดตั้งอุปกรณ์และสร้างเครือข่าย FTTH จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่เรียกว่า OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) ในการแสดงการลดทอนและตำแหน่งที่บกพร่องของสาย Feeder แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ระยะสายมีค่าน้อยมาก กล่าวคือหลักร้อยเมตร ดังนั้นสามารถใช้อุปกรณ์ Laser Source กับ Power meter ตรวจสอบเช็คการเชื่อมต่อสายแต่ละจุดแทนได้



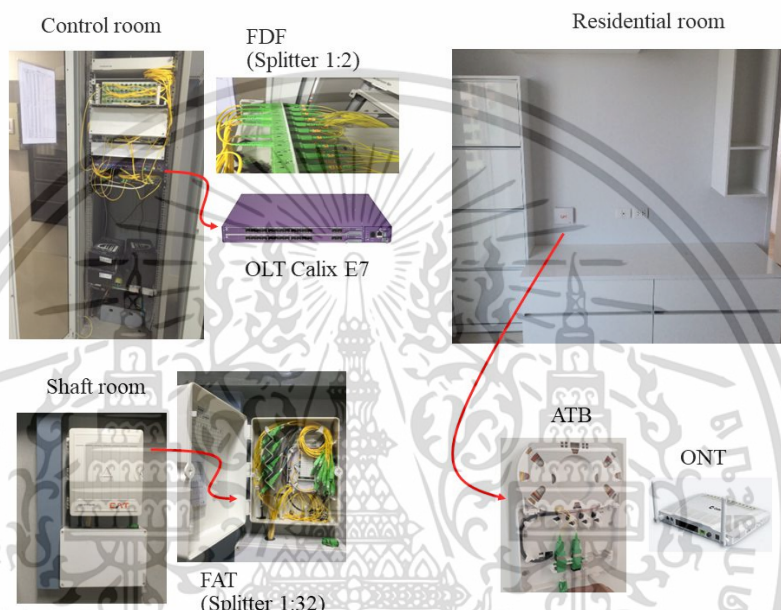
รูปที่ 4.4 การทดสอบกำลังรับ-ส่ง ระหว่าง OLT-ONT โดยใช้อุปกรณ์ PON Optical Power Meter

รูปที่ 4.4 แสดงการทดสอบค่ากำลังที่รับได้จริงก่อนเข้า ONT โดยใช้อุปกรณ์ PON Optical Power Meter เนื่องจากตัวเลขที่ได้จากการคำนวณอาจได้ผลที่คลาดเคลื่อน ค่ากำลังของสัญญาณแสงที่ส่งมาจาก OLT ที่ความยาวคลื่น 1490 นาโนเมตร และค่ากำลังของสัญญาณแสงที่ส่งออกจาก ONT ที่ความยาวคลื่น 1310 นาโนเมตร

ในการใช้เครื่อง PON optical power meter ควรนำสาย Patch cord ที่ใช้ต่อกับเครื่อง PON optical power meter มาทดสอบค่า Loss เสียก่อนเพื่อปรับ offset ของเครื่อง เพื่อนำค่าสูญเสียที่เกิดจากสาย Patch cord หักล้างกับกำลังที่วัดได้จริงจากเครื่อง PON optical power meter รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นค่ากำลังที่วัดได้จริงหลังจากติดตั้งระบบ FTTH กำลังส่งที่ส่งจาก OLT ที่ความยาวคลื่น 1490 นาโนเมตร 3.75 dBm กำลังที่รับได้ที่ ONT -18.87 dBm รูปที่ 4.6 แสดงการ Implement เครือข่าย FTTH มาตรฐาน GPON ภายในอาคารชุด



รูปที่ 4.5 ค่ากำลังรับ-ส่ง ระหว่าง OLT กับ ONT



รูปที่ 4.6 การ Implement เครือข่าย FTTH มาตรฐาน GPON ภายในอาคารชุด

4.4.2 การคำนวณ Rise time budget

การคำนวณ Rise time budget ของระบบจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนเช่นเดียวกับการคำนวณ Link power budget กล่าวคือ ด้าน Downstream ที่ความยาวคลื่น 1490 นาโนเมตร และ Upstream ที่ 1310 นาโนเมตร การคำนวณจะคำนวณในกรณี Worst case นั่นคือระยะทางของสายใยแก้วจาก OLT ไป ONT ที่ไกลมากที่สุด การคำนวณ Rise time budget สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.2 และ 3.3 โดยข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์ที่ใช้ออกแบบจากตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.7 ค่า Rise time budget ด้าน Upstream และ Downstream

Rise time budget		
Parameter	Value	
	Upstream	Downstream
Transmitter Rise Time, T_{Tx} (ns)	0.26	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modal dispersion rise time , T_{mod}	For Multimode fiber optic	
Receiver Rise Time , T_{rx} (ns)	0.26	0.15
σ_{λ} (nm)	1	1
Length of fiber worst case, L (km)	0.172	0.172
Material dispersion , D (ns/nm.km)	0.00356	0.01364
Group Velocity Dispersion , T_{GVD}	6.12320E-04	0.00234608
T_{GVD}^2	3.74936E-07	5.50409E-06
T_{sys}^2	1.35200E-01	0.045005504
T_{sys} (ns)	0.37	0.21

จากตารางที่ 4.7 การคำนวณค่า Rise time budget ในส่วน Downstream ได้ค่า 0.21 ns และ Upstream ได้ค่า 0.37 ns ซึ่งค่าที่ได้ทั้งสองค่านี้นี้ยังคงต่ำกว่าเกณฑ์ของค่า Rise time budget ของสัญญาณที่เข้ารหัสแบบ NRZ กล่าวคือน้อยกว่า 70% ของคาบของบิต (Bit period) ดังสมการที่ (3.4) นั่นคือค่า Rise time budget ด้าน Downstream ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.28 ns และ Upstream ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.56 ns ซึ่งหมายความว่าระบบนี้ออกแบบถูกต้องตามมาตรฐาน Rise time budget ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพคือสามารถรองรับแบนด์วิดท์ในการรับส่งข้อมูลด้าน Downstream ที่ 2.488 Gbps และด้าน Upstream ที่ 1.244 Gbps ในทางตรงกันข้าม ถ้าค่าที่ได้มีค่าสูงกว่า 70% ของคาบของบิต (Bit period) ส่งผลให้การรับส่งทั้งด้าน Upstream และ Downstream ด้อยประสิทธิภาพลงไป กล่าวคือไม่สามารถรับส่งข้อมูลที่อัตรา 2.488 Gbps ในด้าน Downstream และ 1.244 Gbps ที่ด้าน Upstream ได้

4.4.3 การใช้งานแบนด์วิดท์

การใช้งานแบนด์วิดท์ของผู้ใช้งาน จากการใช้บริการต่างๆ ประกอบด้วย บริการโทรศัพท์ (Voice) บริการอินเทอร์เน็ต (Data) และบริการ IPTV (Video) ซึ่งแต่ละบริการมีความต้องการปริมาณแบนด์วิดท์ตามตัวอย่างข้างล่างนี้

- Voice : 64 kbps codec G.711
- IPTV : 8 Mbps สำหรับช่อง HDTV และ 5 Mbps สำหรับช่องทั่วไป
- Internet : Downstream ที่ 6 Mbps – 10 Mbps และ Upstream ที่ 1 Mbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งทั้งสามบริการนี้ในอนาคตอาจมีความต้องการใช้แบนด์วิดท์ที่สูงขึ้น โดยเฉพาะ Internet และ IPTV การสนับสนุนแบนด์วิดท์เฉลี่ยสูงสุดแต่ละผู้ใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนของ ONT ที่ต่อมายังแต่ละพอร์ต PON ถ้า ONT ที่ต่อเข้ามายังพอร์ต PON มีจำนวนน้อยมากก็จะส่งผลทำให้การสนับสนุนแบนด์วิดท์เฉลี่ยสูงสุดแต่ละผู้ใช้งานลดลง และในทางกลับกันถ้า ONT ที่ต่อเข้ามายังพอร์ต PON มีจำนวนน้อยก็จะส่งผลทำให้การสนับสนุนแบนด์วิดท์เฉลี่ยสูงสุดแต่ละผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ตามตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการสนับสนุนแบนด์วิดท์เฉลี่ยสูงสุดของแต่ละผู้ใช้งานกับจำนวน ONT ที่ต่อเข้ามายังพอร์ต PON

Number of connected ONT	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
2	1244	622
4	622	311
8	311	155.5
16	155.50	77.75
32	77.75	38.88
64	38.88	19.44

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ออกแบบให้รองรับ ONT ในแต่ละพอร์ต PON สูงสุดที่ 64 ONT แต่ในความเป็นจริงโครงสร้างของอาคารดังกล่าวมีเพียงชั้นละ 20 ห้อง ดังนั้นหนึ่งพอร์ต PON จะมี ONT เชื่อมต่ออยู่ เพียง 40 ตัวเท่านั้น ค่าเฉลี่ยของการใช้แบนด์วิดท์ต่อหนึ่งผู้ใช้งานสูงสุดจึงอยู่ที่ Downstream 62.2 Mbps และ Upstream 31.1 Mbps จะสังเกตได้ว่าแบนด์วิดท์ที่รองรับแต่ละผู้ใช้งานมีค่าเพียงพอสำหรับการใช้งานบริการต่างๆ ดังนั้นจึงทำให้สามารถรองรับการใช้งานบริการ Triple play (Voice, Video, data) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบ อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบ อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบค่ากำลังของสัญญาณแสง การคำนวณและวิเคราะห์ค่า Power budget และค่า Rise time budget และสุดท้ายได้กล่าวถึงการสนับสนุนแบนด์วิดท์เฉลี่ยสูงสุดสำหรับการใช้งานบริการโทรศัพท์ (Voice) บริการอินเทอร์เน็ต (Data) และบริการ IPTV (Video) ของแต่ละผู้ใช้งานภายในอาคารชุดตัวอย่าง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบและสร้างเครือข่ายเส้นใยแก้วนำแสง FTTH มาตรฐาน GPON สำหรับอาคารชุดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบโดยคำนวณสองพารามิเตอร์หลักๆ สำหรับการรับส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง นั่นคือค่า Power budget และค่า Rise time budget ในการออกแบบเครือข่าย ได้ออกแบบและติดตั้งระบบภายในอาคารชุดแห่งหนึ่ง ซึ่งสามารถนำมาอ้างอิงเป็นตัวอย่างและนำมาประยุกต์สำหรับใช้ออกแบบและสร้างเครือข่าย FTTH มาตรฐาน GPON ในอาคารชุดอื่นๆได้ อาจจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบเล็กน้อยตามโครงสร้างของแต่ละอาคารชุด ซึ่งระบบเครือข่ายที่ได้ออกแบบและดำเนินการติดตั้งนั้น ได้ผ่านมาตรฐานของค่า Power budget และค่า Rise time budget และสุดท้ายได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ของการสนับสนุนแบนด์วิดท์เฉลี่ยสูงสุดแต่ละผู้ใช้งานกับจำนวนอุปกรณ์ ONT ที่ต่อเชื่อมเข้ามายังพอร์ต PON และได้ยกตัวอย่างการใช้งานแบนด์วิดท์เบื้องต้นของแต่ละผู้ใช้งานสำหรับบริการพื้นฐานคือโทรศัพท์ (Voice) บริการอินเทอร์เน็ต (Data) และบริการ IPTV (Video) หรือเรียกรวมกันว่า ทริปเปิ้ลเพลย์ (Triple play)

5.2 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและดำเนินการเครือข่าย FTTH โดยใช้เทคโนโลยี GPON สำหรับอาคารชุด โดยในการออกแบบจะนำอุปกรณ์ OLT มาติดตั้งในห้องควบคุมภายในอาคารชุด เพื่อลดค่า Loss ที่เกิดจากระยะของ Feeder cable และปัจจัยทางกายภาพต่างๆ การออกแบบและดำเนินการในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ค่า Power budget และค่า Rise time budget ที่ดี กล่าวคือ มีค่า Power margin ที่มากกว่าศูนย์คือ ด้าน Upstream 1.74 dB และ ด้าน Downstream 2.75 dB ซึ่งสามารถมั่นใจได้ว่าระบบที่ออกแบบมีประสิทธิภาพตลอดช่วงอายุของการใช้งาน ค่า Rise time budget มีค่าต่ำกว่า 0.56 ns ในด้าน Upstream คือ 0.37 ns และมีค่าต่ำกว่า 0.28 ns สำหรับด้าน Downstream คือ 0.21 ns ซึ่งมั่นใจได้ว่าระบบสามารถรับส่งข้อมูลในอัตราการรับส่งข้อมูล ด้าน Downstream ที่ 2.488 Gbps และด้าน Upstream ที่ 1.244 Gbps และในการออกแบบที่นำเสนอนี้ยังเป็นการลดความเสี่ยงการขาดของ Feeder cable ที่ต่อไปยังผู้ใช้งานที่อยู่ภายในอาคารอีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันการออกแบบให้มีเส้นทางสำรอง (Protection) ในส่วนสายเคเบิลที่ต่อออกจากพอร์ต PON ยังไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีความสิ้นเปลืองมากเพราะต้องเปลี่ยนพอร์ต PON ไปหนึ่งพอร์ตสำหรับใช้เป็นพอร์ต Standby และอุปกรณ์ OLT ส่วนใหญ่ยังไม่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำในลักษณะนี้ได้ แต่อุปกรณ์ OLT ในปัจจุบันทั้งหมดสามารถออกแบบในส่วนของสายเคเบิลที่ต่อจาก OLT ไปยังผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต (Uplink) ให้มีเส้นทางสำรองได้ เมื่อมีเหตุการณ์ที่ทำให้สายเคเบิลใยแก้วเส้นใดเส้นหนึ่งขาดผู้ใช้งานก็ยังคงสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง และเครือข่าย FTTH สำหรับอาคารชุดที่ออกแบบนี้สามารถสนับสนุนให้แต่ละผู้ใช้งานสามารถใช้งานแบนด์วิดท์ได้ถึง 62.2 Mbps สำหรับ Download และ 31.1 Mbps สำหรับ Upload ซึ่งสามารถรองรับบริการทริปเปิ้ลเพลย์ (Triple play) ได้อย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถนำการออกแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไป ประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครือข่ายภายในอาคารชุดอื่นๆ ต่อไปเพื่อนำไปแทนเทคโนโลยีเครือข่ายแบบเก่า (เครือข่ายสื่อสารผ่านสารทองแดง) เนื่องจาก FTTH มาตรฐาน GPON เป็นเทคโนโลยีที่สามารถรองรับการใช้งานแบนด์วิดท์ที่สูง และไม่มีสัญญาณรบกวนภายในสาย ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดีกว่า

5.3 ข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาการออกแบบและดำเนินการติดตั้งเครือข่ายใยแก้วนำแสง FTTH สำหรับอาคารชุดโดยใช้มาตรฐาน GPON ซึ่งสามารถนำมาเป็นตัวอย่างในการออกแบบในอาคารชุดอื่นๆได้ แต่วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการออกแบบภายในอาคารชุดเพียงหนึ่งอาคารเท่านั้น ยังไม่ได้พิจารณาสภาวะแวดล้อมที่อาคารชุดมีหลายอาคาร

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. , Z. Seo, D. Yang, S. Leaird, D. E. Roussev, R. V. Langrock, C. Fejer, M. M. and Weiner, A. M. Four-User, 2.5-Gb/s, Spectrally Coded OCDMA System Demonstration Using Low-Power Nonlinear Processing. J. Lightwave. Technology 23 (January 2005) : 143-158.
- [2] G. Keiser, Optical Fiber Communication. McGraw-Hill Higher Education,2000.
- [3] L. Kazovsky, et al. Optical Fiber Communication Systems. Artech House, 1996.
- [4] X. Wang, Hamanaka, T. Wada, N. and Kitayama, K. Dispersion-flattened-fiber based optical threshold for multiple-access-interference suppression in OCDMA system. Optics Express 13 (July 2005): 5499-5505.
- [5] International Telecom Union. G652, Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. [online]. 2009. Available from : <http://www.itu.int/itu-t/recommendations/indes.aspx?ser=G> [2009, October]
- [6] Corning. Corning SMF-28 ULL Optical Fiber with Corning Ultra Low Loss Technology Product Information. [Online]. Available from : <http://www.corning.com> [September,2010]
- [7] C. Decusatis, Handbook of Fiber Optic Data Communication: A Practical Guide to Optical Networking. Elsevier Academic Press, 2008.
- [8] S. S. Gorshe, FTTH & FTTC Technologies and Standards. China Communications (December 2006) : 104-114.
- [9] I. Cale, Aida Salihovic, Matija Ivekovic, Gigabit Passive Optical Network-GPON. Conf. On Information Technology Interfaces, Jun. 25-28. 2007.
- [10] A. Golberg. Carrier Ethernet over GPON and EP2P. Omnitrons Systems Technology, Inc. 2008.
- [11] P. W. Shumate, Fiber-to-the-Home: 1977-2007. J. Lightwave. Technology 26 (May 2008) : 1093-1103.
- [12] T. Imai, Access Network Technology for Diverse Services. NTT Technical Review 3 (June 2005): 9-13.
- [13] ITU-T/G.984.1, “Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON):General Characteristics”.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] ITU-T/G.984.2, “Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON):Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification”.
- [15] ITU-T/G.984.3, “Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON):Transmission Convergence Layer Specification”.
- [16] ITU-T/G.984.4, “A Broadband Optical Access System with IncreasedService Capability Using Dynamic Bandwidth Assignment”.
- [17] H. Nusantara, F. Dairianta “Design and analysis of FTTH - GEAPON for high rise building, ” Telecommunication Systems Services and Applications (TSSA), Oct. 2014.
- [18] M. Chardy, et al., “Optimizing splitter and fiber location in multilevel optical FTTH network,” European Journal of Operational Research: Elsevier B.V, pp. 430-440, May 2012.
- [19] The Fiber Optic Association, Inc. Guide To Fiber Optics & Premise Cabling “Power Budget And Loss Budget” <http://www.thefoa.org/tech/lossbudg.htm>
- [20] N. Bala Saraswathi, I. Ravi Kumar “Principal of Optical Communication and Opto Electronics ,” Laxmi Publications Dec 2005.

ภาคผนวก ก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

- [1] R. Jirachariyakool, N. Sra-ium and S. Lerkvaranyu, “Design and implement of GPON-FTTH network for residential condominium,” International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE 2017), July 12-14, 2017, Thailand.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Implement of GPON-FTTH network for residential condominium

Ronnakorn Jirachariyakool

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand 10520
ronnakorn.j@cattelecom.com

Napat Sra-ium

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand 10520
napat@telecom.kmitl.ac.th

Somkiat Lerkvaranyu

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand 10520
somkiat@telecom.kmitl.ac.th

Abstract— This paper presents design and implement of fiber to the home (FTTH) for residential condominium based on Gigabit-capable passive optical network (GPON) ITU-T G.984 standard in order to achieve the maximum 320 subscribers and support high bandwidth for triple play service more efficiently. The proposed design complies both with power budget and rise time budget standard. Finally, the proposed design achieves the maximum 320 subscribers, average bandwidth per subscriber at 62.2 Mbps for downstream and 31.1 Mbps for upstream, power margin is above 0 and rise time budget is below 70 percent of an NRZ bit period.

Keywords—GPON; FTTH; Power budget; Rise time budget; Passive Optical Network; Triple play service.

I. INTRODUCTION

At present, the growth of broadband internet usage has increased steadily. Internet service providers (ISP) are migrating technologies for access network from copper-based network to optical fiber-based network. The copper-based network (telephone line) also known as asymmetric digital subscriber line (ADSL). With ADSL, downstream and upstream bandwidth are affected by the condition of copper wires, the distance between residential subscriber and the central offices (COs) and any interference on the line. The copper-based technology has been developed to very high bit rate digital subscriber line (VDSL) that can support higher bandwidth than ADSL. However, distance and copper wire condition can still affect VDSL.

The Optical fiber-based network also known as fiber to the home (FTTH) that is the future solution for providing broadband service such as voice, data and video (Triple play). FTTH can support very high bandwidth over long distance. Infrastructure of FTTH is pure optical fiber installation, central office directly connect with the optical fiber to residential subscribers. FTTH solution based on passive optical network (PON) that is point-to-multipoint architecture. PON use unpowered optical splitter to divide the optical signal from single fiber to multiple subscribers. There are several type of

PON technology, i.e. APON (ATM PON), BPON (Broadband PON), GEAPON (Gigabit Ethernet PON) or EPON (Ethernet PON) and GPON (Gigabit-capable PON).

Literature surveys show that a PON system is widely used in the FTTH access network because a PON system use a unpowered splitter that gets single input and splits it to broadcast signals downstream to many subscribers. Many research works propose PON for implementing FTTH access network. In [1] Design and analysis of fiber access network systems using GEAPON technology for high-rise building. In [2] Designing, planning and deploying of FTTH network based on GPON.

Nowadays, one of most deployed technologies of PON is the GPON, with the other being the GEAPON (EPON). GPON is defined by ITU-T recommendation G.984 series. GPON interface can transmit data over optical fibers at asymmetrical bit rate of 2.488 Gbps for downstream and 1.244 Gbps for upstream. GPON can transport ATM, TDM and Ethernet traffic by using GPON encapsulation method (GEM).

In this paper, analyzing designing and implementing of FTTH access network based on GPON for residential condominium. The proposed design accomplish the maximum 320 subscribers, average bandwidth per subscriber at 62.2 Mbps for downstream 31.1 Mbps for upstream and complies both with power budget and rise time budget standard.

II. FTTH BASED ON GPON

A. FTTH Architecture

Fiber to the home (FTTH) is simply the 100% deployment of optical fiber in the access network [3] as shown in Fig. 1. The optical part of access network can be either active (point-to-point) or passive (point-to-multipoint) [4-7]. This paper discusses only FTTH based on passive point-to-multipoint architecture.

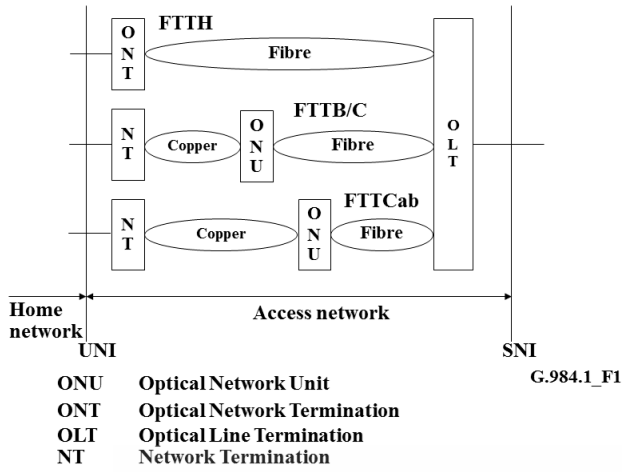


Fig. 1. Optical access network architecture

B. GPON Architecture

GPON is defined in International Telecommunication Union Telecommunication Standardization sector (ITU-T) G.984 recommendation. GPON is a point-to-multipoint architecture, where a single fiber connects to passive optical splitter that distribute fibers to multiple subscribers, up to 64 subscribers per GPON interfaces. The optical splitter has variously different split configurations, such as 1:2, 1:4, 1:32, etc. Downstream data transmit on a wavelength of 1490 nm. Upstream data transmits on a wavelength of 1310 nm. If CATV is being distributed, a wavelength of 1550 nm is used. GPON providing asymmetrical data rates at 2.488 Gbps downstream and 1.244 Gbps upstream. A GPON system consist of mainly active equipment the first one is optical line terminal (OLT) and second is optical network terminals (ONTs). OLT, that connects several ONT by using a passive optical splitter as shown in Fig. 2.

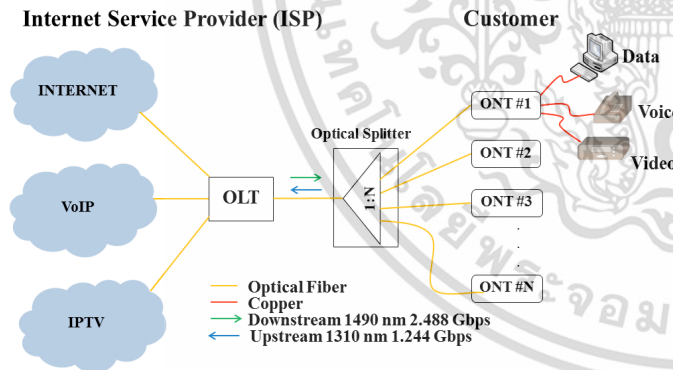


Fig. 2. GPON architecture

GPON use GPON encapsulation method (GEM) for performing GEM encapsulation for transmitting frames (e.g., ATM, TDM, and Ethernet) between the OLT and the ONT. In downstream direction (from OLT to ONT) data packets are transmitted in broadcast method to all ONTs with the same fiber. The encryption is used for prevent eavesdropping. ONTs filter the received data and separate only their own data. The upstream direction, data packets are transmitted in time division multiple access (TDMA) method. Each ONT

transmits in an assigned time slot to escape collisions, and the OLT controls the upload capacity bandwidth with dynamic bandwidth allocation (DBA) algorithm for all ONTs [8-9]. The standard specification of GPON technology as shown in Table 1.

TABLE I. GPON SPECIFICATION

Parameter	Specification
Standard	ITU-T G.984
Downstream rate	2.488 Gbps
Upstream rate	1.244 Gbps
Downstream wavelength	1490 nm
Upstream wavelength	1310 nm
Protocol	ATM, TDM, Ethernet
Service	Data, Voice, Video
Maximum PON split ratio	1:64
Maximum Distance	20 km

III. DESIGN OF FTTH-GPON

A. Network configuration

The proposed design will be implemented for residential condominium X that contain 20 floors (including the rooftop), 4th to the 19th floor as the residential room. Each floor consists of 20 rooms, so there are a total residential room of 320 rooms. Typically, the network design of FTTH OLT will be installed in the central office (CO) or outdoor cabinet that installed on electric pole. The feeder cable running from OLT (GPON Interface) to fiber distribution frame (FDF). The distribution cable connects splitter (inside the FDF) with fiber access terminals (FAT). In the customer area, drop cables (access cable) are used to connect splitter (inside the FAT) to ONTs as shown in Fig 3. GPON support the long reach up to 20 kilometers. The optical fiber carried the signal to the subscribers is roughly divided into two sections, Feeder cable (OLT to optical splitter distance 5-15km), Distribution cable and drop cable (Optical Splitter to subscriber distance 100m-5km). However, since the building contains total 320 rooms, representing 62.5 percent of maximum subscribers for one card of OLT(OLT 1card has 8 GPON interfaces and each interface supports 64 ONT). In this paper, OLT will be installed at the control room of the condominium. Two uplink ports of OLT will be connected with optical fiber cables for the redundant paths as shown in Fig 4. Currently, the backup protection of GPON interfaces is not popular because it extremely wasteful and most devices are not supported. Therefore, the proposed design modifications to reduce risk of failure for the feeder cable and loss caused by the distance of fiber, fusion splicing and environment.

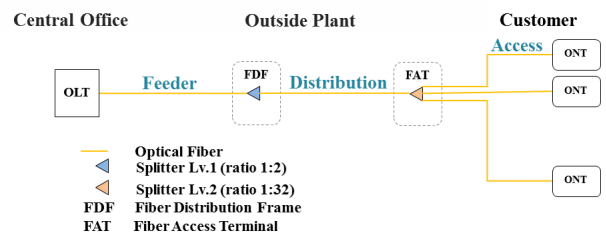


Fig. 3. GPON FTTH access network architecture

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

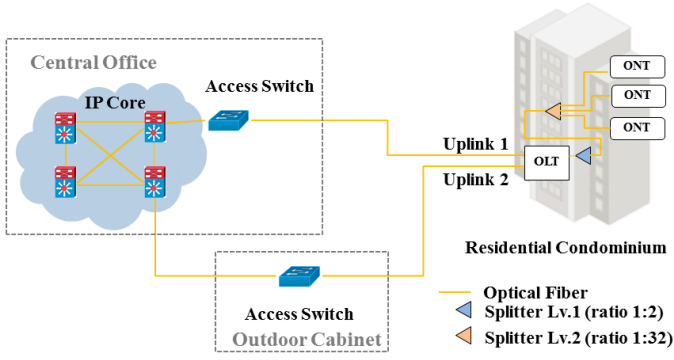


Fig 4. The proposed design GPON FTTH access network

B. Design specification

The device specifications as below used for reference in the network design. All of devices are implemented in the practical FTTH access network of condominium.

- Optical line terminal (OLT) and optical network terminal (ONT), both of which used in the network design were chosen from LIGENT(vendor) with LTE3680M and HISENSE(vendor) with LTB3468 respectively. The specification as can be seen in table 2 below.

TABLE II. SPECIFICATION OF GPON OLT AND ONT

Parameter	Specification	
	OLT	ONT
Downstream data rate	2.488 Gbps	2.488 Gbps
Upstream data rate	1.244 Gbps	1.244 Gbps
Output optical power	1.5 – 5 dBm	0.5 – 5 dBm
Sensitivity	-28 dBm	-28 dBm
Spectral width	1 nm	1 nm
Downstream wavelength	1490 nm	1490 nm
Upstream wavelength	1310 nm	1310 nm
Optical rise/fall time	150 ns	260 ns

- Optical Fiber

The Optical fiber that will be used in the network as the ITU-T G.652. The specification as can be seen in table 3 below.

TABLE III. SPECIFICATION OF OPTICAL FIBER ITU-T G.652

Parameter	Specification
Attenuation at 1310 nm	≤ 0.35 dB/km
Attenuation at 1490 nm	≤ 0.28 dB/km
Attenuation at 1550 nm	≤ 0.22 dB/km
Chromatic Dispersion (1285 nm – 1330 nm)	3.56 ps/(nm.km)
Chromatic Dispersion (1550 nm)	13.64 ps/(nm.km)

- Connector and Adapter

Connector and adapter, both of which used as SC/APC type from FIBERTRONICS(vendor). The insertion loss of 0.2 dB for connector and adapter.

- Optical Splitter

The second stage splitting method is used, so in the design we used the 1:2 for level-1 splitter and 1:32 for

level-2 splitter, both of which chosen from DRAKA(vendor). The insertion loss of two type splitters as table 4 below.

TABLE IV. SPECIFICATION OF OPTICAL SPLITTER

Parameter	Specification
Insert loss (1:2)	3.8 dB
Insert loss (1:32)	16.9 dB

C. FTTH Access network configuration

In this section we will introduce the design of FTTH access networks based on GPON standard, which already mentioned above. The proposed design used two level of splitting between OLT and ONT. In the control room contain two components, The first one is OLT and the second one is fiber distribution frame (FDF) that contain level-1 optical splitter (1:2) [10]. FDFs are connected to OLT (GPON interfaces) from one side with SC/UPC to SC/APC patch cords, and the other side connected to Fiber access terminals (FAT) with optical fiber drop cable G.652. Level-2 Optical splitters (1:32) [10] are hosted in the FATs that installed in the shaft room each floor of the condominium. G.652 cables are connected from FATs to Access terminal boxes (ATB) that installed in each of residential room. Finally, SC/APC to SC/APC patch cord use for connected from ATB to ONT as shown in Fig. 5.

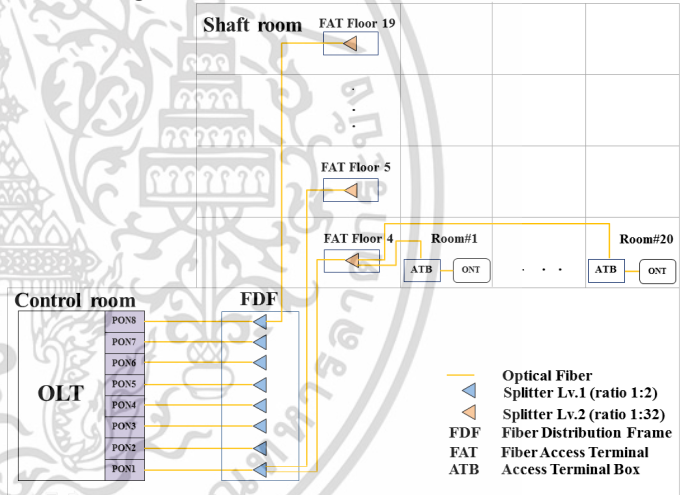


Fig. 5. FTTH Access network configuration

IV. PERFORMANCE ANALYSIS

A. Power budget

The power budget (P_B) is the difference between the minimum transmitter power and the minimum power requirements of the receiver [11]. When calculating optical power budget, we use the worst case analysis, which are dependent on two statistics from manufacturers : minimum transmit power (P_{TMIN}) and minimum receive sensitivity (P_{RMIN}). And link margin (P_S), which represent for total link loss caused from fiber loss, connector loss and splice loss. Power margin (P_M), which represents the amount of power available after subtracting total link loss from the power

budget. Required power margin must have a value greater than 0 (zero). We can be mathematically expressed as below.

$$P_B = P_{TMIN} - P_{RMIN} \quad (1)$$

$$P_s = (\text{Fiber attenuation} * km) + (\text{splice loss} * \text{No. of splices}) + (\text{connector loss} * \text{No. of connector}) \quad (2)$$

$$P_M = P_B - P_s - \text{safety margin} \quad (3)$$

We need safety margin for system degradation or environment [11]. Safety margin value depend on the risk of system loss increment.

Power budget calculation of GPON will be divided into two parts, Downstream (wavelength 1490 nm) and upstream (wavelength 1310 nm) direction. And calculate the maximum distance from OLT to ONT (172 m). The data used in calculation from table (2) – (4) above and consider the safety margin set as 3 dB.

TABLE V. LINK MARGINS AND POWER MARGINS IN BOTH DOWNSTREAM AND UPSTREAM

Link margin (P_s)		Power margin (P_M)	
Upstream	Downstream	Upstream	Downstream
23.76 dB	23.75 dB	1.74 dB	2.75 dB

Table 5 shows the link margin and power margin for both downstream and upstream transmission. P_M Values obtained from the calculation, which is 1.74 dB for upstream and 2.75 dB for downstream. These values are still above 0 (zero). Therefore, this link still meets the standard power budget.

For consideration, the results of calculations using typical design (assume the maximum distance from OLT to ONT is 15 km) as table 6 below.

TABLE VI. LINK MARGINS AND POWER MARGINS IN BOTH DOWNSTREAM AND UPSTREAM USING TYPICAL DESIGN

Link margin (P_s)		Power margin (P_M)	
Upstream	Downstream	Upstream	Downstream
29.45 dB	28.40 dB	-3.95 dB	-1.9 dB

From the calculation in table 6. P_M Values obtained from the calculation, which are below 0 (Zero). Therefore the connections are not enough feasible and cannot be ensured that the optical fiber network will carry the required performance over the life of the network installation.

In the implementation of FTTH network, Data from calculation will not be able to get the accurately result. Therefore we need a PON optical power meter to test of the PON system power as shown in Fig. 6. Transmitter power from OLT is 3.75 dBm and receiver power at ONT is -18.87 dBm (Note: These values need to subtract with insertion loss 0.4 dB from patch cord).



Fig. 6. Optical power testing with PON optical power meter

B. Rise time budget

Rise time budget analysis is a method to define the dispersion limitation of the optical link [12]. This method can be analyzed that the link operate fast enough to meet the bandwidth capacity.

The four parameter that may essentially limit system speed are the transmitter rise time (t_{rx}), the modal dispersion rise time of the fiber (t_{mod}), the group-velocity dispersion rise time of the fiber (t_{GVD}), and the receiver rise time (t_{rx}). The rise time budget (t_{sys}) can be calculated as

$$t_{sys} = [t_{tx}^2 + t_{mod}^2 + t_{GVD}^2 + t_{rx}^2]^{1/2} \quad (4)$$

$$t_{GVD} = D\sigma_\lambda L \quad (5)$$

where

D = Dispersion, σ_λ = Spectral width of the source,

L = Length of the optical fiber

The single mode fiber, that we use in this paper do not experience modal dispersion. Therefore, we will only consider three parameters.

TABLE VII. RISE TIME BUDGETS IN BOTH DOWNSTREAM AND UPSTREAM

Rise time budget (t_{sys})	
Upstream	Downstream
0.37 ns	0.21 ns

From Table 7, the calculation of the total rise times (t_{sys}) are 0.37 ns for upstream and 0.21 ns for downstream. These values are still below rise time criteria, which do not exceed 70 percent of NRZ bit period. In the GPON connection, use a bit rate for downstream at 2.488 Gbps and upstream at 1.244 Gbps. Therefore the rise time maximum allowed 0.56 ns for upstream and 0.28 ns for downstream. It can be concluded that the system meets the rise time budget standard.

For consideration, the rise time budgets of downstream for typical design is over 0.28 ns, which affect the performance of downstream. The rise time budget values for typical design as table 8 below.

TABLE VIII. RISE TIME BUDGETS IN BOTH DOWNSTREAM AND UPSTREAM USING TYPICAL DESIGN

Rise time budget (t_{sys})	
Upstream	Downstream
0.37 ns	0.30 ns

C. Bandwidth allocated

The maximum accomplished upstream and downstream bandwidth as a function of the connected ONTs as shown in Table 9. If the amount of connected ONTs increases, the maximum bandwidth decreases in both upstream and downstream. In this paper, each GPON interface was connected with 40 ONTs. Therefore it can be provided triple play services at 62.2 Mbps for downstream and 31.1 Mbps for upstream per subscriber.

TABLE IX. MAXIMUM SUPPORTED BANDWIDTH AT VARYING NUMBER OF ONTS

Number of connected ONTs	Downstream (Mbps)	Upstream (Mbps)
2	1244	622
4	622	311
8	311	155.5
16	155.5	77.75
32	77.75	38.88
64	38.88	19.44

V. CONCLUSION

The proposed model of FTTH network based on GPON for residential condominium is introduced. The design method is suitable for high rise building, OLT was installed in the control room in order to reduce the risk of failure of feeder cable and link loss caused by distance of fiber, fusion splicing and environment. The proposed design complies both for power budget and rise time budget standard and can support triple play service with bandwidth per subscriber at 62.2 Mbps for downstream and 31.1 Mbps for upstream.

REFERENCES

- [1] Hardi Nusantara, Freyskania Dairianta "Design and analysis of FTTH - GPON for high rise building."
- [2] Dheyaa Jasim Kadhim, Nahla Abdul-Rahman Hussain "Design and Implementation of a Practical FTTH Network."
- [3] FTTH Explained: Delivering Efficient Customer Bandwidth and Enhanced Services Michael Kunigonis
- [4] [ITU-T/G.984.1 "Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON):General Characteristics".
- [5] ITU-T/G.984.2 "Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON):Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification".
- [6] ITU-T/G.984.3 "Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON):Transmission Convergence Layer Specification".
- [7] ITU-T/G.984.4 "A Broadband Optical Access System with Increased Service Capability Using Dynamic Bandwidth Assignment".
- [8] Ivica Cale, Aida Salihovic, Matija Ivekovic, Gigabit Passive Optical Network-GPON. Conf. On Information Technology Interfaces, Jun. 25-28. 2007.
- [9] Arie Golberg. Carrier Ethernet over GPON and EP2P. Omnitrons Systems Technology, Inc. 2008.
- [10] M. Chardy et al., "Optimizing splitter and fiber location in multilevel optical FTTH network," European Journal of Operational Research: Elsevier B.V, pp. 430-440, May 2012
- [11] The Fiber Optic Association, Inc. Guide To Fiber Optics & Premise Cabling "Power Budget And Loss Budget" <http://www.thefoa.org/tech/lossbudg.htm>
- [12] N. Bala Saraswathi, I. Ravi Kumar "Principal of Optical Communication and Opto Electronics ,"

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายธรรณกร จิระจรรย์ยากุล

วัน เดือน ปีเกิด 1 มิถุนายน 2532

ที่อยู่ บ้านเลขที่ 9/339 หมู่ 3 ตำบลสุรศักดิ์ อำเภอสรรคบุรี จังหวัดชลบุรี 20110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550-2554

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558-2560

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้