FTTH – Fiber To The Home

รองศาสตราจารย์ ดร. อธิคม ฤกษบุตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

athikom@mut.ac.th

“ ในอนาคต ถนนข้อมูลทุกสายจะวิ่งเข้าหาคุณด้วยความเร็วแสงเข้าสู่บ้านของคุณโดยตรง “
บทความนี้ อธิบายถึงความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ FTTH ซึ่งเป็นระบบสื่อสารที่ต่อเชื่อมโยงสายส่งสัญญาณที่เป็นเส้นใยนำแสงเข้าสู่บ้านหรือที่พักอาศัยของผู้ใช้โดยตรง โดยเนื้อหาประกอบด้วยวิวัฒนาการของ FTTH หลักการทำงานเชิงเทคนิค และการบริการข้อมูลบนเครือข่าย FTTH

1. บทนำ

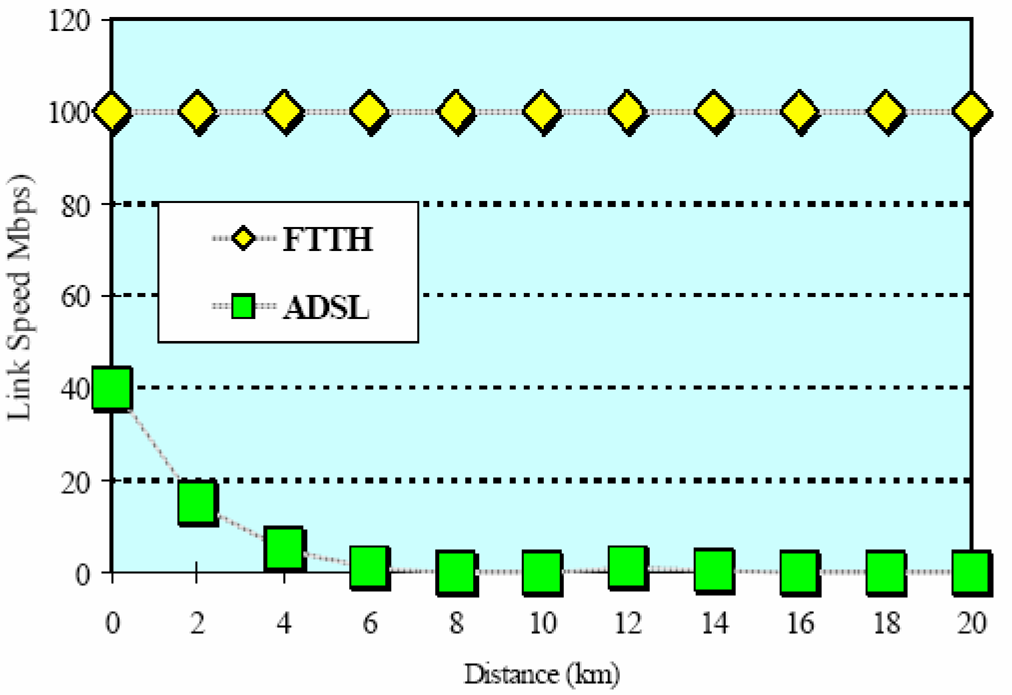
ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ธุรกิจของโทรศัพท์มือถือ นับว่าเป็นธุรกิจที่ร้อนแรงอย่างมาก ทั้งนี้ก็ด้วยเหตุผลของการใช้งานที่สะดวกสบาย ผู้ใช้สามารถพกพาไปกับตัวได้ตลอดเวลา ส่งผลให้ผู้ประกอบการในธุรกิจด้านนี้ต่างก็ประสบผลสำเร็จกันไปตาม ๆ กัน จากการแข่งขันที่รุนแรงในวงการโทรฯมือถือ ดูเหมือนจะก่อให้เกิดผลดีต่อผู้บริโภคอยู่บ้าง ในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่ลดลงในรูปแบบต่าง ๆ (ทำให้ต้องปวดหัวคิดคำนวณหาความคุ้มเมื่อต้องเลือกแพ็กเก็จต่าง ๆ) และรูปแบบของเนื้อหา (content) ที่หลากหลายมากขึ้น (แต่ก็อาจต้องจ่ายเพิ่มขึ้นด้วย) ที่ผ่านมาโทรฯมือถือมิเพียงทำกำไรจากการสนทนาเท่านั้น แต่การบริการอื่น ๆ เช่นการส่งข้อความอย่าง SMS MMS และการดาวน์โหลดรูปภาพและเสียงเพลง ฯลฯ ก็ทำกำไรให้กับวงการไม่น้อย ปัจจุบันการส่งข้อมูลภาพเคลื่อนไหวอย่างคลิปวิดิโอ (video clip) เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การให้บริการรูปแบบเนื้อหา (content) ของโทรฯมือถือ สุดท้ายก็ต้องถูกจำกัดอยู่ในระดับหนึ่ง เนื่องจากระบบของมันไม่สามารถรองรับการสื่อสารที่มีปริมาณสูง ๆ อย่างเช่นการส่งภาพเคลื่อนไหวที่มีความคมชัดสูงตามเวลาจริง (real time) ได้

ในช่วงที่วงการธุรกิจของโทรฯมือถือกำลังก่อตัวขึ้นอย่างร้อนแรงนั้น เชื่อว่ายังมีบางคน (รวมทั้งผู้เขียน) คงสงสัยว่า ทำไมธุรกิจของโทรศัพท์ระบบมีสาย (fixed line) หรือที่เรียกง่าย ๆ ว่าระบบโทรศัพท์บ้าน(และสำนักงาน) กลับดูเงียบเหงา แทบไม่มีอะไรที่น่าสนใจเลย ทั้ง ๆ ที่ การเชื่อมโยงสายสื่อสัญญาณด้วยสายไปยังผู้ใช้ สามารถสื่อสัญญาณที่มีปริมาณข้อมูลหรือแบนด์วิดสูง ๆ ได้ อีกทั้งลูกเล่นในการให้บริการก็สามารถทำได้ไม่น้อยหน้าแถมยังดีกว่าระบบโทรฯมือถือด้วยซ้ำ และที่สำคัญ ระบบมีสายสามารถให้บริการต่อวงการอินเตอร์เน็ต(ที่กำลังโตวันโตคืน)ได้อย่างเต็มที่อีกด้วย !!

หลายครั้งทีเดียวที่เรามักลืมที่จะใส่ใจกับสิ่งดี ๆ ที่มีอยู่ หากมีสิ่งอื่นที่ร้อนแรงและน่าสนใจมาวงเวียนให้เห็นอยู่ใกล้ๆ ธุรกิจของโทรศัพท์บ้านก็เป็นสิ่งที่นักธุรกิจอาจมองข้ามไปบ้างเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ในที่สุดก็มีผู้เห็นคุณค่าของระบบโทรศัพท์บ้าน และได้ทำให้วงการโทรศัพท์บ้านกลับมามีสีสรรขึ้นมากอีก ด้วยการให้บริการระบบอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงด้วยระบบ ADSL เป็นต้น

1.1 จาก ADSL สู่ FTTH

ระบบ ADSL (Asynchronous Digital Subscriber Line) เป็นระบบการสื่อสารข้อมูลที่ช่วยให้ข้อมูลที่มีแบนด์วิดท์สูง ๆ (เช่น ภาพ) สามารถเดินทางในระบบสายส่งทองแดงได้ โดยทั่วไปสายโทรศัพท์ที่เดินไปยังบ้านผู้เช่าหรือที่เรียกว่าสายดร็อบไวร์ (drop wire) ก็จะเป็นสายทองแดงเส้นเล็ก ๆ ที่มีขีดจำกัดในการส่งผ่านข้อมูลได้ไม่มาก แต่การที่ผู้เช่าสามารถใช้สายทองแดงสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ เช่น สัญญาณภาพ หรือรวมไปถึงการสื่อสัญญาณดิจิตอลที่มีอัตราการส่งข้อมูลหรือบิตเรต (bit rate) สูงได้ นั่นก็เพราะเทคโนโลยี ADSL จะทำหน้าหน้าที่บีบอัดข้อมูลให้มีขนาดเล็กลงจากเดิม จนสามารถส่งผ่านไปในสายทองแดงซึ่งเปรียบเสมือนท่อที่มีขนาดเล็กได้ โดยปรกติ ADSL ที่ให้บริการพื้นฐาน จะให้ความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 1-2 Mb/s (บ้านเราเริ่มที่ 128 kb/s) แต่ตัวระบบเองก็มีความสามารถที่จะส่งข้อมูลผ่านสายทองแดงด้วยความเร็วที่สูงขึ้นเป็น 12, 24 และ 40 Mb/s ได้ ซึ่งระบบที่มีความเร็วสูงขึ้นนี้บางทีอาจเรียกชื่อระบบเป็น HDSL (High bit rate Digital Subscriber Line) หรือ VHDSL (Very High bit rate Digital Subscriber Line) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การส่งข้อมูลผ่านสายส่งทองแดงมีข้อด้อยประการหนึ่งตรงที่ความเร็วในการสื่อข้อมูลจะมีค่าลดลงเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 1)



รูปที่ 1 *เปรียบเทียบความเร็วในการสื่อสัญญาณของระบบ ADSL กับ FTTH เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น*

แม้ว่า ADSL/HDSL/VHDSL จะสามารถส่งข้อมูลได้มากในช่วงเวลาสั้น ๆ ก็ตาม แต่เมื่อเทียบกับอัตราการเติบโตของผู้ใช้บริการอินเตอร์เน็ต ประกอบกับความต้องการสื่อสารข้อมูลในหลาย ๆ รูปแบบ โดยเฉพาะข้อมูลที่เป็นสัญญาณภาพอย่างต่อเนื่อง ความเร็วที่ระบบ xDSL (x หมายถึงอาจเป็น A หรือ H หรือ VH ก็ได้)

สามารถตอบสนองได้ กลับดูจะช้าเกินไป จึงจำเป็นต้องหาทางออกใหม่ ซึ่งในที่สุดก็ถึงเวลาของการนำเส้นใยนำแสงมาแทนที่ระบบสายส่งทองแดงเพื่อการเข้าถึง (access) บ้านผู้เช่า (subscriber) ด้วยระบบที่เรียกว่า **FTTH (Fiber-To-The-Home)** (บางคนเรียก **FTTP** – Fiber To The Premise) ทั้งนี้เส้นใยนำแสงมีคุณสมบัติเปรียบเสมือนท่อนำสัญญาณขนาดใหญ่ ที่สามารถส่งผ่านข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ด้วยความเร็วสูง ๆ ได้ (ปัจจุบันความเร็วข้อมูลสูงสุดที่เดินทางในเส้นใยนำแสงอยู่ในเทอมของ เทอราบิตต่อวินาที (Tb/s) หรือ 1,000,000,000,000 บิตต่อวินาที) ทำให้ FTTH สามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลได้หลายรูปแบบพร้อมกัน เช่น ระบบอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง และระบบเคเบิลทีวี (CATV) เป็นต้น จากคุณสมบัติดังกล่าว หลายคนเชื่อว่า FTTH จะเป็นทางเลือกที่สำคัญของระบบโครงข่ายที่ให้บริการผู้เช่าในอาคารบ้านเรือนด้วยระบบบรอดแบนด์ความเร็วสูง (จริง ๆ) หรือ Broadband-access network

1.2 **ความเป็นมาของ** FTTH

แนวความคิดในการนำระบบ FTTH เข้ามาใช้เพื่อเชื่อมโยงสายส่งสัญญาณด้วยเส้นใยนำแสงไปสู่บ้านผู้เช่าโดยตรง เริ่มขึ้นในราวกลางทศวรรษที่ 1970's แต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์ อุปสรรคสำคัญในขณะนั้นคือ ระบบและเส้นใยนำแสงมีราคาแพงมาก เมื่อเทียบกับระบบสายส่งทองแดง ทำให้ภาคธุรกิจไม่สนใจลงทุนโดยเฉพาะในส่วนที่ต้องเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงสู่บ้านผู้เช่าโดยตรง และเพื่อเป็นการลดต้นทุนในส่วนนี้ ระบบ **FTTC (fiber to the curb)** และระบบ **HFC** (hybrid fiber/coax) จึงได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมานี้จะใช้ระบบสายส่งสัญญาณแบบผสม คือมีทั้งเส้นใยนำแสงและสายส่งทองแดงใช้งานร่วมกันในโครงข่าย โดยระบบ FTTC จะเน้นที่การใช้งานสายส่งเส้นใยนำแสงตลอดโครงข่ายไปสิ้นสุดยังหัวถนนหรือปากทางเข้าหมู่บ้านเท่านั้น ในส่วนของสายส่งที่เข้าถึงบ้านผู้เช่ายังคงเป็นสายทองแดงอยู่ ทำให้ระบบ FTTC และ HFC มีราคาถูกลงกว่า FTTH (ในขณะนั้น) มาก แต่ในขณะเดียวกัน ก็สามารถให้บริการข้อมูลความเร็วสูงได้ เพราะโครงข่ายส่วนใหญ่ใช้เส้นใยนำแสงเป็นท่อนำสัญญาณ ทั้งนี้ ระบบ HFC กลับเป็นที่นิยมกว่า FTTC เพราะราคาค่อนข้างจะถูกกว่า เนื่องจากระบบสายส่งยังคงมีส่วนประกอบของสายส่งทองแดงมากกว่า ตัวอย่างของระบบ HFC ที่นำมาใช้ในบ้านเรา ได้แก่ ระบบเคเบิลทีวี (ที่เป็นเคเบิลจริง ๆ ไม่ใช่ส่วนของการรับสัญญาณผ่านดาวเทียม)

ต่อมาเมื่อถึงยุคสมัยของการสื่อสารข้อมูลยุคโลกาภิวัฒน์ด้วยระบบอินเตอเน็ต ความต้องการในการสื่อสารข้อมูลเริ่มขยายตัวขึ้นมาก เพราะในทุก ๆ เดือน จะมีจำนวนผู้ใช้บริการอินเตอร์เน็ตเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้ความต้องการในการสื่อสารข้อมูลปริมาณมากที่มีความเร็วสูง ก็เริ่มเพิ่มมากขึ้นด้วยตามลำดับ ในขณะที่โลกได้ถูกย่อลงด้วยการเชื่อมโยงด้วยระบบโครงข่ายและอินเตอร์เน็ต ทำให้ปริมาณผู้ใช้ที่ต้องการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงเริ่มมีมากขึ้น เช่น กลุ่มผู้ใช้ที่เป็นธนาคาร ต่างต้องการเชื่อมโยงระบบสื่อสารข้อมูลของตนเองระหว่างสาขาต่าง ๆ ที่อยู่ในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศ เป็นต้น เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว ผู้ให้บริการจึงได้นำระบบบริการแบบ **ISDN (Integrated Services Digital Network)** เข้ามาใช้ โดยตัวระบบทำงานสื่อสารข้อมูลแบบดิจิตอล ทำให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่มีลักษณะพื้นฐานดั้งเดิมไม่เหมือนกัน สามารถสื่อสารร่วมกันได้ เนื่องจากข้อมูลทุกประเภทจะถูก

ทำให้เป็นดิจิตอล ซึ่งมีสถานะเพียง 2 ระดับ คือ ศูนย์ “0” กับหนึ่ง “1” เท่านั้น ดังนั้นข้อมูลทุกชนิดจึงถูกระบบมองเห็นเป็นแบบเดียวกันหมด ทำให้สื่อสารร่วมกันได้ นอกจากนี้ระบบ ISDN ยังถูกออกแบบให้ใช้สายส่งเส้นใยนำแสงเชื่อมโยงไปยังบ้านผู้เช่าหรือสำนักงานได้โดยตรง ผู้เช่าเพียงแต่แจ้งความจำนงและเสียค่าบริการเฉพาะ ก็สามารถใช้งานได้ สำหรับผู้ใช้บริการที่ต้องการสื่อสารข้อมูลส่วนตัวด้วยท่อสัญญาณขนาดใหญ่ ก็อาจทำได้ด้วยการเช่าสายส่ง (leased line) ที่เป็นเส้นใยนำแสง

ระบบ ISDN เป็นระบบที่เสมือนเป็นก้าวแรกให้มีการใช้เส้นใยนำแสงเชื่อมโยงไปยังบ้านผู้เช่า แต่ ISDN เองถูกออกแบบขึ้นโดยเน้นที่ระบบสลับสายหรือสวิตชิ่ง (switching) อีกทั้งการเช่าคู่สายเส้นใยนำแสงเพื่อขอใช้บริการ ค่อนข้างจะมีราคาแพง ทำให้ระบบ ISDN ไม่เป็นที่นิยมของผู้ใช้บริการอินเตอร์เน็ต แต่ด้วยปริมาณข้อมูลสื่อสารที่นับวันจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จึงได้มีการพัฒนาระบบ ADSL ขึ้น เพื่อให้ผู้เช่ายังคงสามารถใช้สายส่งทองแดงเดิมได้ แต่ในขณะเดียวกันก็สามารถสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงได้ด้วยการเพิ่มค่าใช้บริการอีกไม่มากนัก

การเติบโตของของระบบอินเตอเน็ตในอัตราก้าวหน้า (หากมองเป็นก้าวกระโดก็คงไม่ผิดนัก) และความต้องการบริโภคข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ทำให้ ADSL เริ่มมีปัญหาในการให้บริการ แม้ว่า HDSL จะสามารถให้บริการได้สูงถึง 40 Mb/s ก็ตาม ความนิยมของผู้ใช้อินเตอร์เน็ตที่ต้องการสื่อสารข้อมูลขนาดใหญ่ เช่น ข้อมูลภาพนิ่งที่มีความละเอียดสูง และ ข้อมูลภาพเคลื่อนไหว ล้วนเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการแข่งขันในการให้บริการแบบบรอดแบนด์ (Broadband) มากยิ่งขึ้น ประกอบกับเทคโนโลยีของระบบสื่อสารด้วยเส้นใยนำแสง มีการพัฒนาไปจากเดิมมาก ทำให้มีระบบสื่อสารเชิงแสงมีราคาถูกลง จึงได้มีการนำเทคโนโลยี FTTH เข้ามาใช้ใหม่ เพื่อเป็นทางออกของการให้บริการแบบบรอดแบนด์ (จริง ๆ)

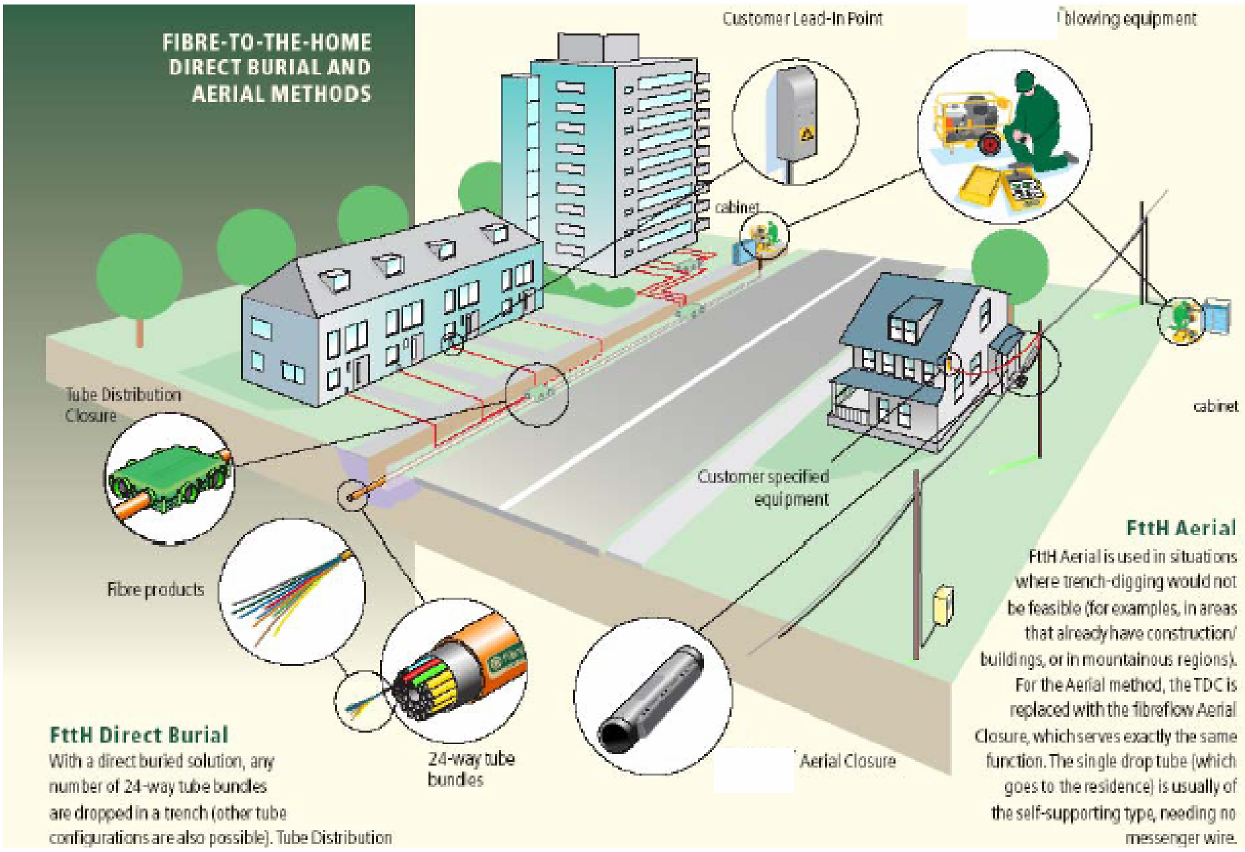
FTTH เริ่มทำให้ตลาดการให้บริการข้อมูลแบบบรอดแบนด์ชนิดเข้าถึงบ้านผู้ใช้โดยตรงเริ่มคึกคักขึ้นก็ในช่วงเริ่มสหัสวรรษใหม่ (ตั้งแต่ปีค.ศ. 2000 เป็นต้นมา) ปัจจุบันในแต่ละเดือนจะมีจำนวนผู้ใช้ FTTH เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 100,000 ราย ในบรรดาประเทศต่าง ๆ ที่เป็นผู้นำในการให้บริการ FTTH เช่น อเมริกา ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น และบางประเทศในยุโรปนั้น ญี่ปุ่นดูจะเป็นประเทศที่มีอัตราการเติบโตของ FTTH มากที่สุดในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ญี่ปุ่นเริ่มนำระบบ FTTH เข้ามาใช้อย่างจริงจังในปี ค.ศ. 2002 (พ.ศ. 2545) โดยบริษัท NTT ทั้งนี้ผู้ใช้บริการจะสามารถสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็วขั้นต่ำประมาณ 100-150 Mb/s ด้วยการเสียค่าใช้จ่ายที่แพงกว่า ADSL ประมาณไม่เกินสองเท่า (แต่ข้อมูลมีความเร็วมากกว่าร่วม 100 เท่า !) และเมื่อถึงเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2005 (พ.ศ. 2548) ได้มีสมาชิกผู้ใช้บริการมากถึง 2.8 ล้านราย ทั้งนี้บริษัท NTT ตั้งเป้าไว้ว่าน่าจะมีผู้ใช้บริการถึง 30 ล้านรายในปี ค.ศ. 2010 (พ.ศ. 2553)

ในส่วนของตลาดในเมืองไทย ระบบ ADSL เริ่มมีบทบาทในการทำให้ธุรกิจการให้บริการข้อมูลแบบบรอดแบนด์มีความคึกคักขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 เป็นต้นมา ด้วยการให้บริการข้อมูลด้วยอัตราเร็วประมาณ 1-2 Mb/s โดยผู้เช่าเสียค่าบริการในอัตราที่ยอมรับได้ อีกทั้งการแข่งขันที่กำลังก่อตัวขึ้น น่าจะมีแนวโน้มทำให้ค่าบริการถูกลงพร้อมกับการให้บริการด้วยอัตราการสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วเพิ่มขึ้น จึงไม่น่าแปลกใจเลยว่า ปัจจุบัน (พ.ศ. 2549) เริ่มมีกลุ่มผู้ประกอบการหลายรายในเมืองไทย เริ่มหาพันธมิตรและวางแผนที่จะนำระบบ FTTH มาให้บริการในเมืองไทยกันแล้ว

2. ความสำคัญของ FTTH ในวงการสื่อสาร

2.1 ทำไมต้องเป็น FTTH

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ FTTH เป็นระบบที่น่าสนใจสำหรับผู้เช่า (subscriber) หรือผู้ใช้ (user) โดยเฉพาะผู้ใช้บริการอินเตอร์เน็ตมีอยู่ 2 ประการ คือ ความสามารถในการสื่อสารข้อมูลด้วยความเร็วสูง (high capacity) และ ระบบมีความน่าเชื่อถือ (system reliability)



รูปที่ *2 ระบบข่ายสายเคเบิลเส้นใยนำแสงในระบบ FTTH ที่มีการเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงทั้งที่เป็นแบบแขวนอากาศหรือฝังดินไปยังบ้านผู้ใช้โดยตรง*

โครงสร้างพื้นฐานของสายส่งที่ใช้ในระบบ FTTH ถูกกำหนดให้เป็นเส้นใยนำแสงตลอดเส้นทางจากผู้ให้บริการไปจนถึงบ้านผู้เช่า ทำให้ได้ท่อนำสัญญาณที่มีขนาดใหญ่สามารถส่งข้อมูลปริมาณมาก ๆ ได้ในคราวเดียวกัน โดยปรกติระบบโครงข่ายสื่อสารที่เป็นเส้นทางหลักขนาดใหญ่หรือแบ็กโบน (backbone) ต่างก็ใช้สายส่งที่เป็นเส้นใยนำแสงแทบทั้งสิ้น ดังนั้น การนำเส้นใยนำแสงมาใช้ในการเข้าถึง (access) ผู้เช่าโดยตรง ย่อมสามารถรองรับความเร็วในการสื่อสารข้อมูลได้ทั้งสิ้น ในระบบ FTTH ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลจะเริ่มต้นที่

100 Mb/s (บางทีก็เริ่มที่ 150 Mb/s) ซึ่งถือว่าเร็วกว่า ADSL ถึง 100 เท่า (เมื่อเทียบกับ 1 Mb/s) โดยหลักการแล้ว FTTH ได้ถูกออกแบบให้ทำงานร่วมกับระบบ ATM (Asynchronous Transfer Mode) ได้ด้วย ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็น 622 Mb/s ยิ่งไปกว่านั้น โครงข่ายเส้นใยนำแสงมีส่วนประกอบของอุปกรณ์ชนิด**พอน** (PON - Passive Optical Network) ซึ่งเป็นลักษณะของโครงข่ายที่มีส่วนของอุปกรณ์แบบพาสซีฟ (passive) คือสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องป้อนกำลังงานจากภายนอก ซึ่งอุปกรณ์ชนิดพอน (PON) สามารถรองรับการทำงานในรูปแบบต่าง ๆ ที่อยู่ในโครงข่ายได้ในเวลาเดียวกัน การออกแบบให้ PON มีอัตราการร่วมใช้งาน (sharing ratio) ลดลง หรือ การเพิ่มความยาวคลื่นแสงที่เป็นคลื่นพาห์ สามารถทำให้ FTTH สื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วขนาด 2.488 Mb/s ได้อย่างสบาย

การใช้เส้นใยนำแสงเป็นสื่อสัญญาณ (Transmission) ของระบบ FTTH ทำให้ข้อมูลที่เดินทางระหว่างสถานีมีลักษณะเป็นแสง ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าในระบบสายส่งทองแดง ลองนึกดูถึงระบบโทรศัพท์แบบเดิม ในขณะที่มีการใช้งานสนทนากันอยู่ อาจมีผู้ไม่หวังดีทำการลักลอบดักฟังด้วยการนำเครื่องโทรศัพท์มาต่อพ่วง (Tapping) กับสายโทรศัพท์ที่เชื่อมต่อเข้าบ้านคู่สนทนา (แน่นอนต้องต่อพ่วงนอกบ้านโดยไม่ให้ใครรู้) เพียงแค่นี้ข้อมูลก็ไม่เป็นความลับอีกต่อไป หรือหากว่ามีการสื่อสารเป็นข้อมูลดิจิตอล คนที่มีความรู้ (แต่ใช้ในทางที่ผิด) ก็สามารถนำสายไฟมาต่อพ่วง (Tapping) เพื่อดึงสัญญาณไฟฟ้าออกมาได้โดยง่าย ลักษณะเช่นนี้ทำให้การสื่อสารข้อมูลไม่มีความปลอดภัยและไม่น่าเชื่อถือ ในกรณีของเส้นใยนำแสง การดึงข้อมูลออกมาจากสายส่งไม่สามารถทำได้โดยง่ายเหมือนสายไฟฟ้า เพราะแสงจะเดินทางอยู่ภายในแนวแกนกลางของเส้นใยนำแสง ไม่มีการรั่วไหลออกสู่ภายนอกทางผิวโดยรอบ การนำเส้นใยนำแสงอื่นมาสัมผัสผิวเส้นใยนำแสง (เหมือนสายไฟฟ้า) ไม่อาจทำให้แสงส่งผ่านระหว่างกันได้ จึงทำให้การลักลอบดึงสัญญาณแสงไม่อาจทำได้โดยสะดวก (หากจะทำจริง ๆ ต้องลงทุนใช้อุปกรณ์และวิธีการพิเศษ ซึ่งไม่คุ้มกัน) จึงทำให้การสื่อสารระบบ FTTH มีความปลอดภัยและน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ เส้นใยนำแสงในระบบสื่อสารมักทำมาจากแก้ว ไม่เป็นสนิมเหมือนสายไฟ ทำให้มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสูงอีกทั้งยังมีอายุการใช้งานสูงกว่าสายทองแดงอีกด้วย

2.2 ข้อดีของระบบ FTTH

แนวความคิดของเทคโนโลยี FTTH มีมานานร่วม 40 ปี แต่เพิ่งจะมามีบทบาทต่อระบบสื่อสารในช่วงเวลาเพียงไม่กี่ปีมานี้ ทั้งนี้มิใช้เพียงแค่เหตุผลที่เส้นใยนำแสงมีราคาถูกลงเท่านั้น แต่ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เป็นข้อดีของระบบ ดังนี้

- **ระบบมีความเร็วสูง** (High Capacity)
    - *เส้นใยนำแสงมีข้อดีเหนือระบบสายส่งอื่นอย่างมากตรงที่สามารถสื่อสารข้อมูลขนาดใหญ่มาก ๆ ได้ เนื่องจากเส้นใยนำแสงมีคุณสมบัติเสมือนเป็นท่อส่งสัญญาณที่มีขนาดใหญ่มากนั่นเอง ใน*

ระบบสื่อสารปัจจุบัน การส่งข้อมูลแบบดิจิตอลกำลังเป็นที่นิยม เนื่องจากทำให้ข้อมูลมีคุณภาพสูง อย่างไรก็ตาม การสร้างข้อมูลดิจิตอลจากข้อมูลดั้งเดิมที่เป็นสัญญาณแอนะล็อก (เช่น ภาพและเสียง) ทำให้ข้อมูลมีขนาดใหญ่กว่าเดิมมาก ดังนั้นหากต้องการส่งข้อมูลขนาดใหญ่ให้ถึงปลายทางโดยรวดเร็ว ต้องส่งผ่านสายส่งด้วยอัตราเร็ว (bit rate) ที่สูง ซึ่งเส้นใยนำแสงสามารถรองรับการทำงานในลักษณะเช่นนี้ได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นเพิ่มเติมก็ได้ ในส่วนของระบบ FTTH เอง ถูกออกแบบให้สามารถสื่อสารข้อมูลที่ความเร็วปรกติประมาณ 155 เมกกะบิตต่อวินาที (Mb/s) ซึ่งถือว่ามีความเร็วมากกว่าระบบ ADSL (ที่ความเร็วปรกติ 1.5 Mb/s) ร่วมร้อยเท่าเลยทีเดียว

- *ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลของ FTTH ที่ให้บริการในบ้านเรา อาจเริ่มต้นที่ความเร็วต่ำกว่า 155 Mb/s ซึ่งถือว่ายังต่ำกว่ามาตรฐานพื้นฐานของมัน แสดงให้เห็นว่าระบบ FTTH สามารถรองรับการใช้ในงานการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงมากในอนาคตได้อย่างไม่ต้องสงสัย หากผู้ใช้บริการต้องการความเร็วที่มากขึ้น (แน่นอนก็ต้องเสียค่าบริการเพิ่มขึ้น) ก็สามารถเลือกความเร็ว (ตามที่ผู้ให้บริการกำหนด)ได้มากถึง 622 Mb/s หากข้อมูลที่วิ่งอยู่ระบบ FTTH ทำงานร่วมกับระบบสื่อสารแบบ ATM (Asynchronous Transfer Mode) ในโครงข่ายสื่อสารที่ให้บริการ*
- *ยิ่งไปกว่านั้น ระบบ FTTH ยังมีความยืดหยุ่นสูง หากมีการปรับปรุงระบบ PON (Passive Optical Network ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป) ให้มีสมรรถนะสูงขึ้น หรือ หากมีการนำระบบ DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) ซึ่งเป็นระบบการมัลติเพล็กส์เชิงแสงที่ใช้ความยาวคลื่นแสงเป็นคลื่นพาห์ (carrier) มากกว่าหนึ่งความยาวคลื่น (ดังที่ใช้ในระบบมาตรฐานของ FTTH) ก็สามารถเพิ่มความเร็วของ FTTH ได้สูงถึง 2.488 Gb/s เลยทีเดียว.*
- *เมื่อเปรียบเทียบความเร็วในการสื่อสารข้อมูล กับราคาการให้บริการซึ่งอาจสูงกว่าระบบ xDSL ไม่มาก จะพบว่าค่าใช้จ่ายต่อหน่วยข้อมูล (เช่น y บาทต่อข้อมูลที่ 1 Mb/s) จะถูกกว่าระบบที่ใช้ไฟฟ้าเป็นสื่อสัญญาณมาก*

- **ระบบมีความน่าเชื่อถือ** (System Reliability)
  - *จากผลสำรวจพบว่า ในกรณีของการพิจารณาเลือกใช้ระบบสื่อสารระยะไกล ลูกค้าในปัจจุบันให้ความสนใจต่อระบบสื่อสารที่มีความน่าเชื่อถือสูงเป็นอันดับต้น ๆ เหนือรายละเอียดที่เกี่ยวกับราคาค่าใช้จ่ายซึ่งสอดคล้องกับระบบ FTTH*
  - *ความน่าเชื่อถือของระบบ FTTH เกิดจากระบบสายส่งที่เป็นเส้นใยนำแสง ซึ่งวัสดุที่ใช้ทำเส้นใยนำแสงในระบบสื่อสารโทรคมนาคมมักเป็นแก้ว ทั้งนี้แก้วจะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมสูง อีกทั้งแก้วไม่เป็นสนิม ทำให้เส้นใยนำแสงมีอายุการใช้งานนานมาก (เมื่อเทียบกับสายไฟโลหะ) ในการใช้งานจริง วัสดุที่เป็นเปลือกหุ้มเส้นใยในลักษณะของสายเคเบิล อาจสึกกร่อนไปก่อนตัวเส้นใยนำแสงเอง อย่างไรก็ตาม เคเบิลเส้นใยนำแสงมักมี*

อายุการใช้งานอย่างน้อย 50 ปีขึ้นไป ซึ่งถือว่านานพอที่จะทำให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจในการนำสัญญาณของระบบ FTTH

- *วัสดุที่ใช้ทำเส้นใยแก้วมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าโดยธรรมชาติ ทำให้ปราศจากปัญหาเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลสื่อสารไม่มีสัญญาณรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนสายส่งทองแดง สัญญาณสื่อสารในระบบ FTTH จึงเป็นสัญญาณที่สะอาดและเชื่อถือได้สูง*
- *ระบบ FTTH ใช้เส้นใยนำแสงเป็นสายส่งสัญญาณส่งไปยังบ้านของผู้ใช้ผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า ONU (optical network unit) ซึ่งจะติดตั้งอยู่ภายในบ้านของผู้เช่า ONU นี้ทำหน้าที่กระจายสัญญาณซึ่งส่วนใหญ่เป็นสัญญาณไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ปลายทางที่อยู่ในบ้าน เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ หรือ โทรทัศน์ เป็นต้น เนื่องจากสายส่งสัญญาณที่ต่อเข้ากับ ONU เป็นเส้นใยนำแสง ทำให้ไม่มีส่วนของตัวนำเชื่อมต่อเหมือนระบบโทรศัพท์ ทำให้ช่วยลดแรงไฟกระชาก (electrical surge) ที่อาจเกิดจากฟ้าผ่า และการเหนี่ยวนำไฟฟ้า*

- **ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า** (FTTH Powering)
  - *ในระบบโทรศัพท์ที่ใช้สายทองแดงแบบเดิม (POT – Plain Old Telephone) มีข้อดีตรงที่ระบบยังคงใช้งานได้เมื่อไฟดับ เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ทำให้ระบบทำงานมาจากชุมสายโทรศัพท์ ไม่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าที่ใช้อยู่ภายในบ้าน แต่ในระบบ FTTH อุปกรณ์ ONU (optical Network Unit) ที่ติดตั้งอยู่ภายในบ้านของผู้ใช้ถือ เป็นอุปกรณ์ประเภท active ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำให้ตัวมันทำงานได้ ประกอบกับเส้นใยนำแสงไม่สามารถนำพลังงานไฟฟ้าได้เหมือนระบบสายโทรศัพท์ทองแดง จึงจำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าเฉพาะสำหรับ ONU นอกจากนี้ ONU ควรมีแบตเตอรีสำรอง เพื่อทำให้ตัวมันสามารถทำงานได้แม้ไฟจะดับ ทำให้ระบบต้องมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งหรือ IFC (installed first costs) และค่าใช้จ่ายตลอดการใช้งาน (life-cycle costs : LCC) เพิ่มขึ้น*
  - *อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีในปัจจุบัน สามารถออกแบบให้ ONU มีระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่มีขนาดเล็ก รวมทั้งกินไฟต่ำ ซึ่งเมื่อคิดคำนวณเปรียบเทียบกับระบบ POT ที่ต้องใช้ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากชุมสาย (ในขณะที่ระบบ FTTH ระบบพลังงานไฟฟ้าจะอยู่ที่บ้านผู้ใช้) กลับกลายเป็นว่าพลังงานรวมที่เกิดขึ้นในระบบ FTTH กลับมีค่าน้อยกว่า ซึ่งเป็นผลดีกับสภาพเศรษฐกิจของประเทศในระดับมหภาค*

2.3 เทคโนโลยีขับเคลื่อน FTTH

แรงขับเคลื่อนสำคัญที่ทำให้เทคโนโลยี FTTH ก้าวเข้าสู่เชิงพาณิชย์ ได้แก่เทคโนโลยีต่าง ๆ ที่ผ่านกระบวนการพัฒนามาแล้วตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องโดยตรงมี 5 ประเภท ได้แก่

- **แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์**
  - *แหล่งกำเนิดแสงชนิดสารกึ่งตัวนำที่มักใช้ในระบบสื่อสารเชิงแสงมี 2 ประเภท คือ แอลอีดี (LED – Light Emitting Diode) และเลเซอร์ไดโอด (LD – Laser Diode) ในระบบสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วสูงจำเป็นต้องใช้เลเซอร์ไดโอด ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาของการเกิดดิสเพอร์ชั่น (dispersion) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ทำให้สัญญาณพัลส์แสงเกิดการกระจายเชิงเวลาตามระยะทางที่เดินทาง (ยิ่งระยะทางไกลขึ้นเท่าไร พัลส์จะยิ่งมีความกว้างมากขึ้นเท่านั้น) อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ หากจำเป็นต้องติดตั้งเลเซอร์ไดโอดในงานข่ายสายตอนนอก (outside plant) ซึ่งมีช่วงเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามสภาพแวดล้อมค่อนข้างกว้าง (โดยเฉพาะเมืองไทย จะมีความร้อนสูงมากในตอนกลางวัน) จะทำให้การทำงานของเลเซอร์ไดโอดมีประสิทธิภาพลดลง โดยเฉพาะค่ากระแสเทรสโฮล (threshold current) หรือกระแสต่ำสุดที่ใช้ขับเลเซอร์ไดโอด จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวมัน(ตามสภาพแวดล้อม)เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเข้มแสงที่เปล่งออกมามีค่าลดลง โดยทั่วไปการแก้ปัญหานี้ทำได้โดยการเพิ่มส่วนของวงจรตรวจวัดความเข้มแสงขาออก และเพิ่มส่วนของวงจรป้อนกลับเพื่อทำให้วงจรขับสัญญาณชดเชยค่ากระแสขับตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ทำให้ให้เลเซอร์ไดโอดขับค่าความเข้มแสงตามต้องการออกมา นอกจากนี้ ยังอาจต้องเพิ่มส่วนของอุปกรณ์ระบายความร้อนหรือตัวลดอุณหภูมิ (cooler) เพื่อป้องกันไม่ให้เลเซอร์ไดโอดร้อนเกินไป เหล่านี้ ล้วนทำให้วงจรขับเลเซอร์ไดโอดมีความซับซ้อนและยุ่งยากขึ้น*
  - *เทคโนโลยีปัจจุบัน สามารถออกแบบเลเซอร์ไดโอดให้มีความไวต่ออุณหภูมิลดลง ดังเช่น เลเซอร์ไดโอดชนิดเฟบรีเพอโรต์ (FP : Fabry-Perot) ชนิดโหมดร่วมตามแนวยาว (multi-longitudinal mode) ซึ่งใช้เทคโนโลยีควอนตัมเวล (strained-layer multi-quantum-well : SL-MQW) ทำให้สามารถนำมาใช้งานในสภาพกลางแจ้งเช่นงานข่ายสายตอนนอกได้ โดยที่วงจรขับกระแสไม่จำเป็นต้องมีความยุ่งยากดังได้กล่าวมาแล้ว จึงทำให้ตัวขับสัญญาณแสมีต้นทุนที่ถูกลงทั้งในส่วนของการติดตั้งและการดูแลซ่อมแซม*
  - *การส่งผ่านสัญญาณแสงจากแหล่งกำเนิดแสงไปยังเส้นใยนำแสงในระบบสื่อสาร จำเป็นต้องถูกออกแบบให้มีค่าการส่งผ่านกำลังงาน (coupling) สูง ในอดีตปัญหาการส่งผ่านกำลังงานต่ำเกิดจาก ขนาดของพื้นที่เปล่งแสงซึ่งมักพิจารณาจากเส้นผ่านศูนย์กลางของโหมดสนาม (MFD – Mode Field Diameter) ระหว่างเลเซอร์ไดโอดกับเส้นใยนำแสงมักมีค่าแตกต่างกันมาก แต่ปัจจุบันสามารถพัฒนาให้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ประกอบกับการพัฒนาในเรื่องของตัวถังอุปกรณ์ (component packaging) ช่วยให้การต่อเชื่อมระหว่างเลเซอร์ไดโอดกับเส้นใยนำแสงในแนวเดียวกันมีความแน่นอนและมีเสถียรภาพ จึงทำให้ค่าการสูญเสียสัญญาณบริเวณรอยต่อระหว่างเลเซอร์ไดโอดกับเส้นใยนำแสงมีค่าน้อยมาก*
  - *เทคโนโลยีเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม (เช่น พลาสติกบางประเภท) ในการสร้างตัวถังอุปกรณ์ มีส่วนทำให้เลเซอร์ไดโอดมีราคาถูกลงแต่ยังคงความแข็งแรงทนทานในการใช้งานอยู่*

อีกทั้งยังช่วยให้เลเซอร์ไดโอดทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิกว้าง โดยมีผลกระทบต่อความชื้นน้อยมากอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ มีความสำคัญต่อการใช้งานของระบบ FTTH เป็นอย่างยิ่ง

- **ตัวแยกและส่งผ่านสัญญาณตามความยาวคลื่น** (Splitter and WDM coupler)
  - *โครงสร้างของระบบเครือข่าย FTTH (รายละเอียดจะกล่าวถึงต่อไป) จำเป็นต้องมีอุปกรณ์แยกแสง (splitter) ในงานข่ายสายตอนนอก เพื่อแยกสัญญาณไปยังบ้านผู้ใช้ อุปกรณ์แยกแสงที่นิยมใช้กันมาแต่ครั้งอดีต ได้แก่คับเปลอร์เส้นใยแก้ว (fiber coupler) ชนิด FBT (Fused Biconical Coupler) ชนิด 2x2 ซึ่งมีคุณสมบัติในการแบ่งแยกสัญญาณขาเข้าไปสู่ขาออกในเส้นทางต่าง ๆ โดยมีสัดส่วนความเข้มแสงแต่ละแนวทางเป็นไปตามที่ออกแบบ อีกทั้งคับเปลอร์เส้นใยแก้วชนิด FBT ยังสามารถออกแบบให้การทำงานขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่นได้อีกด้วย (WDM coupler) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาตัวแยกแสงโดยใช้ท่อนำแสงแบบระนาบที่ใช้ซิลิกอนเป็นวัสดุหลัก (silicon planar waveguide) ซึ่งราคาของตัวแยกแสงทั้งสองค่อนข้างจะมีราคาสูงหากมีการสั่งซื้อเพียงไม่กี่ตัวเช่นในอดีต อย่างไรก็ตาม การที่ระบบ FTTH เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น ทำให้ความต้องการใช้งานตัวแยกแสงมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ทำให้ราคาของอุปกรณ์มีราคาถูกลงอย่างมาก (เพราะสามารถผลิตเป็น mass product ได้) อีกทั้งคุณภาพของอุปกรณ์ยังดีกว่าแต่ก่อนอีกด้วย*
  - *เทคโนโลยีปัจจุบันได้พัฒนาให้ตัวแยกแสงที่ใช้ท่อนำแสงแบบระนาบมีขนาดเล็กลง (เช่น 1.5 mm x 2 cm) มีความสามารถในการแยกแสงให้มีแสงขาออกได้หลายทาง สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงได้ (เช่น > 100^{o}C) และที่สำคัญ มีค่าการสูญเสียสัญญาณ (excess loss) ต่ำ (<0.5 dB) นอกจากนี้ ยังสามารถทำงานได้มากกว่า 50,000 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่อง โดยคุณภาพสัญญาณยังคงเดิมอีกด้วย*
  - *เทคโนโลยีการแยกแสงแบบระนาบ ที่มีฟังก์ชั่นการทำงานขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นแสง (WDM Coupler) ดังเช่นอุปกรณ์ที่เรียกว่า WGR (waveguide grating router) เป็นอุปกรณ์ที่อาจจะยังไม่มีให้เห็นในเชิงพาณิชย์นัก แต่ก็ถือว่าน่าจะเป็นอุปกรณ์ในอนาคตของ FTTH ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเกี่ยวกับความเร็วในการสื่อสัญญาณ และการทับซ้อนของระบบสื่อสัญญาณต่างชนิดกันโดยไม่รบกวนกัน ทำให้เชื่อมั่นได้ว่า FTTH เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน อีกทั้งยังมีเส้นทางในการพัฒนาไปได้อีกมากในอนาคต*

- **เครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟหรือ** PON (Passive Optical Network)
  - *ค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในการติดตั้งระบบสื่อสารมักเกี่ยวข้องกับงานข่ายสายตอนนอก ระบบ FTTH เป็นระบบที่อุปกรณ์ข่ายสายตอนนอกเป็นเครือข่ายเส้นใยนำแสงที่บรรจุข้อมูลได้มาก ทำให้สามารถสื่อสารข้อมูลสำหรับผู้ใช้จำนวนมากผ่านเส้นใยนำแสงเพียงเส้นเดียวได้ในเส้นทางหลักของการสื่อข้อมูล จากนั้นจึงค่อยใช้ตัวแยกแสง ทำการแยกข้อมูลไปยังบ้านผู้ใช้อีกทีหนึ่ง การที่*

โครงสร้างของระบบเป็นเช่นนี้จะทำให้ระบบมีราคาถูกลง เพราะเส้นใยนำแสงสามารถใช้เป็นเส้นทางร่วมของการสื่อข้อมูลได้ ประกอบกับตัวแยกแสง (เช่น คับเปลอร์ชนิด FBT) เป็นอุปกรณ์ประเภทพาสซีฟ (passive) (หมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องป้อนพลังงานจากภายนอกให้กับตัวอุปกรณ์) ซึ่งลักษณะเครือข่ายเช่นนี้เรียกว่าเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ หรือ PON (Passive Optical Network – ตัวย่ออ่านออกเสียงว่า "พอน") จึงทำให้ค่าใช้จ่ายในของเครือข่าย FTTH มีราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับปริมาณข้อมูลที่ให้บริการ

- *ระบบ FTTH สามารถทำงานร่วมกับเทคโนโลยีมัลติเพล็กซ์เชิงแสงหรือ WDM (Wavelength Division Multiplexing) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถสื่อสารข้อมูลต่างชนิดกันด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นแสงแตกต่างกันไปในเส้นใยนำแสงเส้นเดียวกันได้ อันจะทำให้ปริมาณข้อมูลหรือความเร็วในการสื่อสารข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างมาก ตามตัวคูณของจำนวนความยาวคลื่นแสงที่ใช้ ตัวอย่างเช่น เครือข่าย FTTH ที่ใช้แสงเพียงความยาวคลื่นเดียวให้บริการที่ความเร็ว 100 Mb/s หากทำการปรับปรุงส่วนของภาคส่งให้มีความยาวคลื่นแสงสำหรับสื่อสารได้พร้อมกันเป็นจำนวน 4 ความยาวคลื่น ระบบเดิมจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่า หรือ 400 Mb/s ในทันที จากจุดนี้จะเห็นว่าระบบเครือข่ายของ FTTH สามารถพัฒนาให้เป็นแบบ PON-WDM ได้โดยแทบไม่ต้องไปปรับปรุงแก้ไขงานข่ายสายตอนนอกเลย จากรายงานในปัจจุบันพบว่า ระบบ FTTH ในเชิงพาณิชย์สามารถให้บริการเครือข่ายแบบ PON-WDM ที่ใช้ความยาวคลื่นแสงร่วมกันถึง 16 ความยาวคลื่นแสงกันแล้ว และมีแนวโน้มที่จะพัฒนาให้มีจำนวนมากขึ้นไปเรื่อย ๆ*

- **การสื่อสารข้อมูลด้วยระบบเอทีเอ็ม** (ATM transport)
    - *แม้ว่า FTTH จะมีข้อดีในเรื่องของความน่าเชื่อถือและความเร็วในการสื่อข้อมูล แต่การที่จะต้องให้บริการเครือข่ายที่มีผู้ใช้มากมายและหลากหลาย ทำให้มีข้อมูลหลากหลายชนิดเดินทางอยู่ในระบบ ปัญหาสำคัญในตอนนี้ก็คือ ทำอย่างไรที่จะทำให้ข้อมูลที่แตกต่างกัน สามารถสื่อสารร่วมกันได้ในระบบเดียวกัน ซึ่งทางออกของปัญหานี้ก็คือการนำระบบสื่อสัญญาณแบบ ATM (Asynchronous Transfer Mode) เข้ามาใช้บนเครือข่ายของ FTTH*
    - *โปรโตคอลของ ATM เป็นโปรโตคอลที่มีความยืดหยุ่นสูง และเป็นที่นิยมใช้ในเครือข่ายสื่อสารทั่วไป ในระบบ ATM ข้อมูลต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเสียง ภาพ ข้อมูลคอมพิวเตอร์ หรืออื่น ๆ ที่มีลักษณะแตกต่างกัน จะถูกทำให้เป็นข้อมูลดิจิตอลเหมือนกัน จากนั้นข้อมูลนี้จะถูกจัดกลุ่มเรียกว่าเซลล์ (cell) ก่อนถูกส่งออกไปยังปลายทางในลักษณะของการสื่อสัญญาณแบบแพ็กเก็ต (packet switching) ซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถสื่อสารข้อมูลที่มีรูปแบบหลากหลายได้ในเครือข่ายเดียวกัน*
    - *มาตรฐานทางเทคนิคของระบบ ATM ที่ใช้งานบนเครือข่าย PON (เรียกว่า ATM-PON หรือ APON) ถือเป็นมาตรฐานสากล รายละเอียดทางเทคนิคสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้จาก ITU-T G.983*

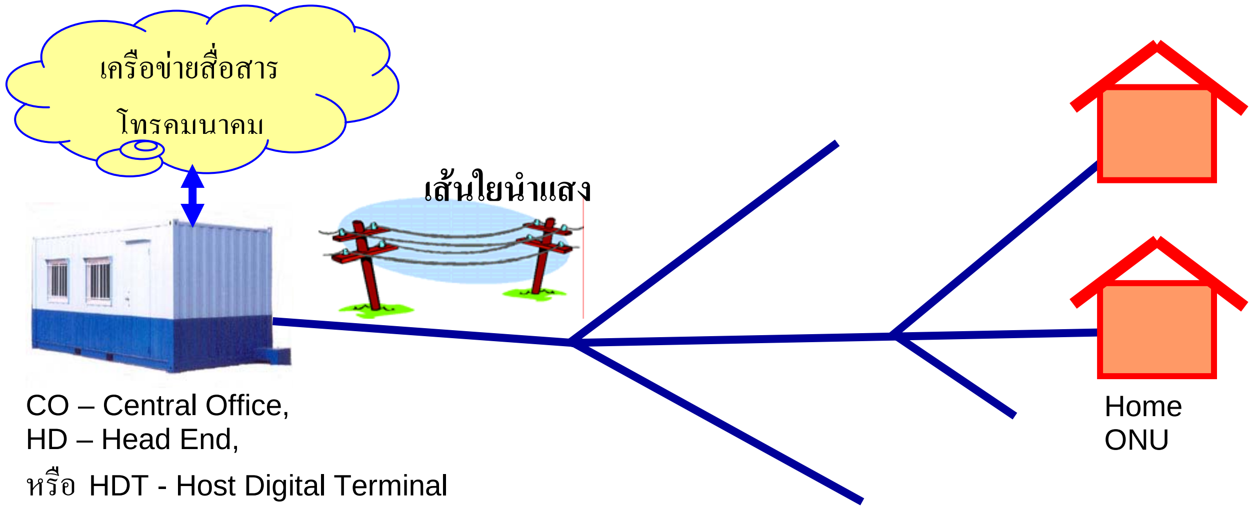
- **การบีบอัดข้อมูลภาพ** (Video Compression)
    - *ในบรรดาข้อมูลชนิดต่าง ๆ ที่ใช้สื่อสารกัน ข้อมูลภาพจัดว่าเป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ แถบความกว้างความถี่หรือแบนด์วิดท์ (bandwidth) ของสัญญาณภาพเคลื่อนไหวมีค่าประมาณ 6 MHz และเมื่อผ่านกระบวนแปลงสัญญาณให้เป็นข้อมูลดิจิตอลตามปรกติจะต้องใช้อัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลถึง 96 Mb/s!! ซึ่งจะเห็นว่าการสื่อสารข้อมูลภาพเคลื่อนไหวผ่านเครือข่ายที่เป็นสายไฟทองแดงไม่สามารถทำได้เลย อย่างไรก็ตาม ได้มีการพัฒนาเทคนิคการบีบอัดภาพให้มีขนาดเล็กลง ทำให้สามารถสื่อสารผ่านสายส่งที่มีแบนด์วิดท์แคบอย่างสายทองแดงได้ แต่ถ้าสังเกตให้ดี จะพบว่ารายละเอียดหลายอย่างขาดหายไป ภาพที่ได้อาจไม่ใช่ตามเวลาจริงร้อยเปอร์เซ็นต์ (มีหน่วงเวลาไปบ้าง) หรืออาจมีลักษณะการเคลื่อนไหวแบบไม่ต่อเนื่องจริง ๆ (จุดนี้สังเกตได้ชัด หากปรับขยายจอภาพให้ใหญ่ขึ้น)*
    - *แม้ว่าระบบ FTTH จะใช้เส้นใยนำแสงเป็นสายส่ง ซึ่งโดยปรกติเส้นใยนำแสงมีแบนด์วิดท์สูงกว่าสายส่งทองแดงมาก แต่การออกแบบระบบสวิตชิ่งและหาเส้นทางที่ชุมสาย (ระบบ FTTH อาจเรียกส่วนชุมสายนี้เป็น CO – Central Office) ก็ยังคงเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานด้วยความเร็วต่ำกว่าความสามารถของเส้นใยนำแสงมาก ทั้งนี้ด้วยเหตุผลเกี่ยวกับการควบคุมค่าใช้จ่ายของต้นทุน เพื่อช่วยให้ผู้ใช้สามารถจ่ายค่าบริการในอัตราที่สามารถจ่ายได้ตามสภาพเศรษฐกิจ ดังนั้น การสื่อสัญญาณภาพเคลื่อนไหวที่ต้องอาศัยความเร็วสูง จึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการบีบอัดสัญญาณเช่นเดียวกับสายส่งทองแดง อย่างไรก็ตาม การที่มีเส้นใยนำแสงเป็นสายส่ง ทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงปัญหาในการสื่อสัญญาณเลย โดยสิ่งที่ต้องสนใจก็คือคุณภาพของสัญญาณมากกว่า*
    - *เทคโนโลยีการบีบอัดสัญญาณภาพในปัจจุบันได้พัฒนาไปมาก ตัวอย่างเช่น การบีบอัดภาพตามมาตรฐานของเทคนิค MPEG ซึ่งมีหลายระดับตั้งแต่ MPEG-1, MPEG-2, … , MPEG-5, … ทำให้สัญญาณภาพที่ถูกบีบอัดมีขนาดเล็กลง ในขณะเดียวกันคุณภาพของสัญญาณที่ได้ก็เพิ่มขึ้น ในกรณีของมาตรฐาน MPEG-2 สามารถบีบอัดสัญญาณภาพลงมาได้เหลือเพียง 1.5 – 6 Mb/s โดยที่คุณภาพของภาพเคลื่อนไหวตามเวลาจริง (real time) อยู่ในเกณฑ์ที่ดีทีเดียว ยิ่งไปกว่านั้นในระบบของสัญญาณภาพความละเอียดสูงหรือ (HDTV – High Definition Television) ซึ่งมีขนาดของข้อมูลดิจิตอลอยู่ที่ 1 Gb/s สามารถใช้เทคโนโ,ยีของ MPEG บีบอัดลงได้เหลือเพียง 20 Mb/s เท่านั้น !! และที่สำคัญอุปกรณ์ที่เป็นชิพ (chip) ในการประมวลสัญญาณภาพ ก็มีราคาถูกลง และเมื่อต้องซื้อเป็นปริมาณมากเพื่อมาใช้ในระบบ FTTH ก็ยิ่งทำให้ต้นทุนรวมต่อปริมาณข้อมูลมีราคาไม่แพงเลย*
    - *ระบบ FTTH เป็นระบบที่สามารถสื่อสารสัญญาณภาพที่ผ่านกระบวนการบีบอัดภาพแบบดิจิตอลดังกล่าวได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาความเร็วพื้นฐานของ FTTH ที่ประมาณ 100-150 Mb/s แล้ว*

จะพบว่า ช่องสัญญาณมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะสื่อสัญญาณภาพที่มีคุณภาพสูงได้อย่างสบาย หลายช่องพร้อมกัน อันจะทำให้การบริการข้อมูลเป็นไปอย่างไร้ขีดจำกัด

3. โครงสร้างทางเทคนิคของระบบ FTTH

3.1 โครงสร้างพื้นฐาน

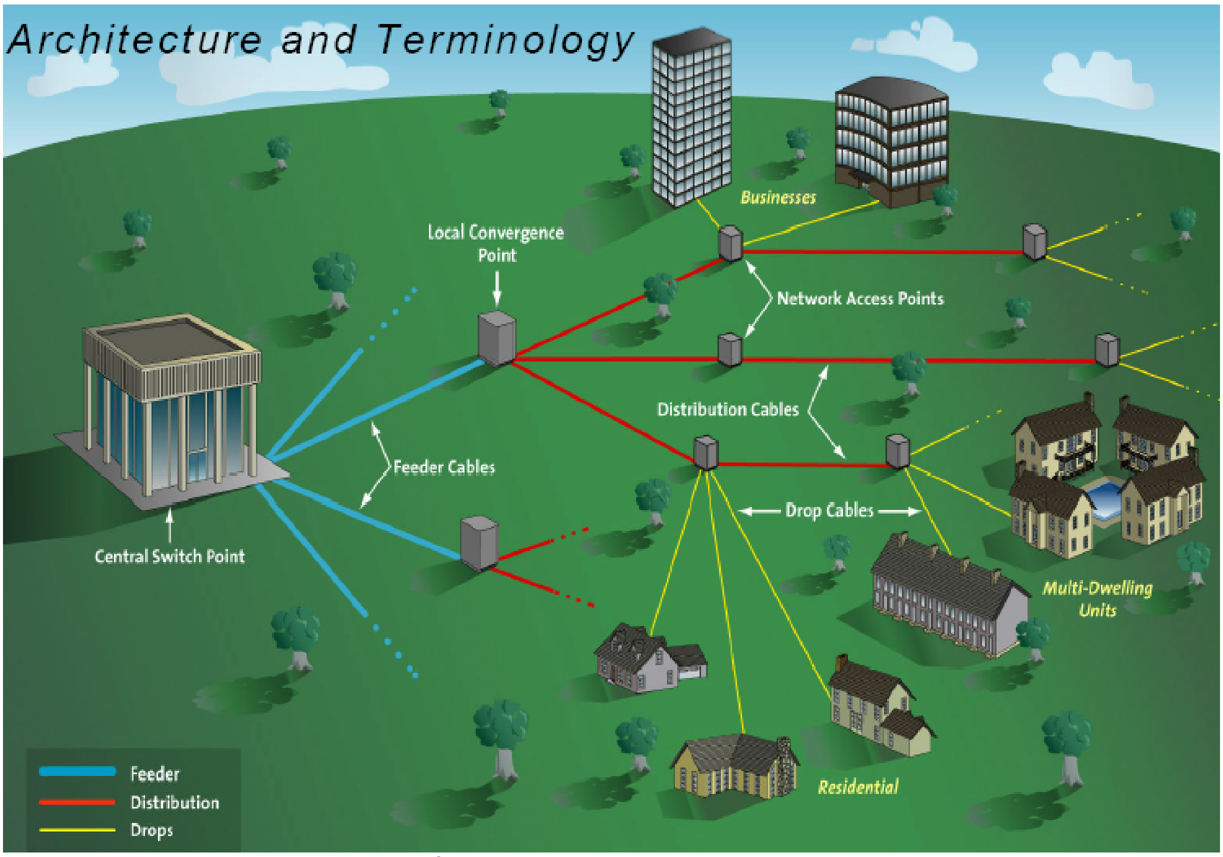
โครงสร้างทางเทคนิคพื้นฐานของระบบ FTTH แสดงดังรูปที่ 3 หากเราจินตนาการถึงเครือข่ายสื่อสารโทรคมนาคมทั่วไป ให้นึกถึงภาพคล้ายกลุ่มก้อนเมฆในรูป ซึ่งหมายถึงว่า โครงสร้างภายในโครงข่ายจะเป็นอะไรก็ตาม เราจะไม่สนใจ (เพราะมันคงซับซ้อนมาก) รู้แต่ว่ามันสามารถทำให้ข้อมูลเดินทางจากต้นทางไปถึงปลายทางได้ก็พอ ในระบบ FTTH จะมีชุมสายที่เป็นสำนักงานกลางเรียกว่า **CO** (Central Office) หรือบางทีเรียกว่า **HDT** (Host Digital Terminal) หรือ **HD** (Head End) ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับสัญญาณการให้บริการไปยังผู้ใช้ที่อยู่ในเขตควบคุมของ CO อีกทั้งยังต้องทำหน้าที่เชื่อมโยงข้อมูลเข้ากับระบบสื่อสารโทรคมนาคม (กลุ่มก้อนเมฆในรูป) เพื่อรับส่งข้อมูลไปยังที่อื่นตามความต้องการของผู้ใช้



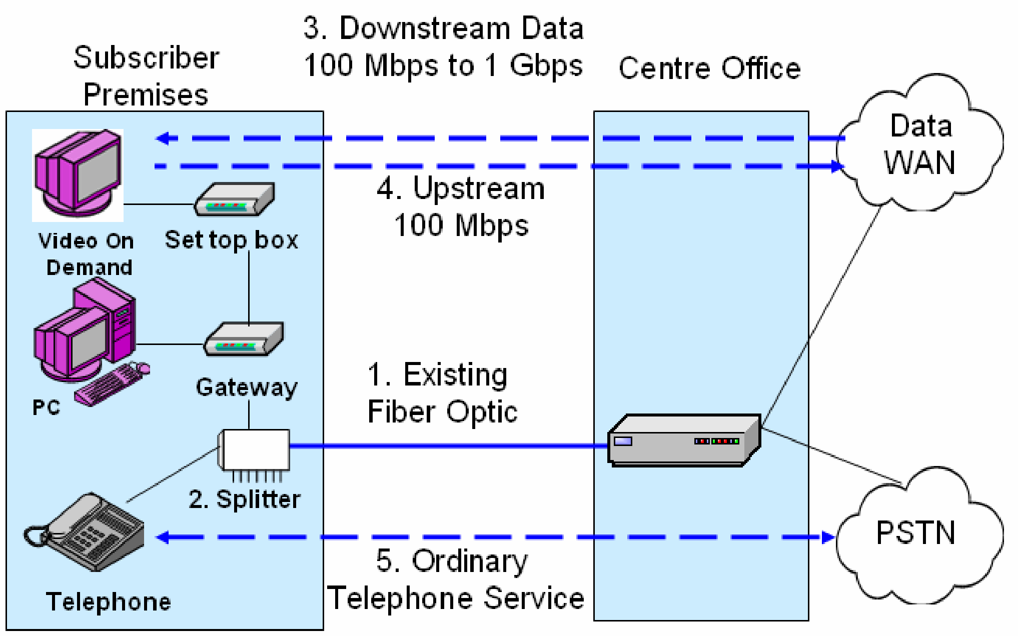
***รูปที่ 3** โครงสร้างทางเทคนิคพื้นฐานของระบบ FTTH*

ภายใน CO จะประกอบด้วยอุปกรณ์ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ประมวลสัญญาณ เช่น ตัดต่อหรือสลับสาย (switching) จัดหาเส้นทางการเดินทางของข้อมูล (routing) และอื่น ๆ ตามที่จำเป็น ระหว่าง CO กับบ้านผู้ใช้ เป็นงานข่ายสายตอนนอก ประกอบด้วยเส้นใยนำแสงเชื่อมโยงไปยังกลุ่มบ้านผู้ใช้ในลักษณะของการกระจาย (distribution) ไปยังชุมชนเข้าสู่บ้านผู้ใช้ตามลำดับ เส้นใยนำแสงที่ออกจาก CO ต้องมีความสามารถในการสื่อสัญญาณที่มีปริมาณมากข้อมูลมาก ๆ ได้ ส่วนของเคเบิลเส้นใยนำแสงส่วนนี้เรียกว่า **ฟีดเดอร์** (Feeder) (ดูรูปที่ 4) เส้นทางเดินของสายส่งเส้นใยนำแสงจากฟีดเดอร์จะถูกแยกออกเป็นเส้นทางย่อยเพื่อส่งข้อมูลไปยังชุมชนต่าง ๆ ส่วนของเคเบิลเส้นใยนำแสงส่วนนี้เรียกว่า **ดิสตริบิวชั่น**

(Distribution) ในแต่ละชุมชนหรือกลุ่มผู้ใช้ปลายทาง จะมีตัวแยกข้อมูลส่งผ่านสายส่งเส้นใยนำแสงไปแต่ละบ้านโดยเฉพาะ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าการเข้าถึงหรือ **แอกเซส** (access) และสายเคเบิลเส้นใยนำแสงในส่วนของ access นี้จะถูกเรียกว่าเป็น drop cable (ในทำนองเดียวกับระบบโทรศัพท์สายทองแดง) ด้านปลายของเส้นใยนำแสงที่เข้าไปยังบ้านผู้ใช้ จะต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่เรียกว่า ONU (Optical Network Unit) หรือบางคนเรียกว่า ONT (Optical Network Termination) เพื่อทำหน้าที่กระจายสัญญาณทั้งในรูปแบบของสัญญาณแสงและไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ใช้งาน ซึ่งอาจเป็น โทรศัพท์ โทรทัศน์ โทรสาร หรือ เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ทั้งนี้จำนวนอุปกรณ์ใช้งานในบ้านของผู้ใช้อาจมีได้มากกว่าหนึ่งอุปกรณ์ ขึ้นกับปริมาณข้อมูล(ความเร็ว)ที่ใช้บริการ (จ่ายเงินมากก็ได้ข้อมูลมาก) และรูปแบบการให้บริการของผู้ให้บริการ (Operator)



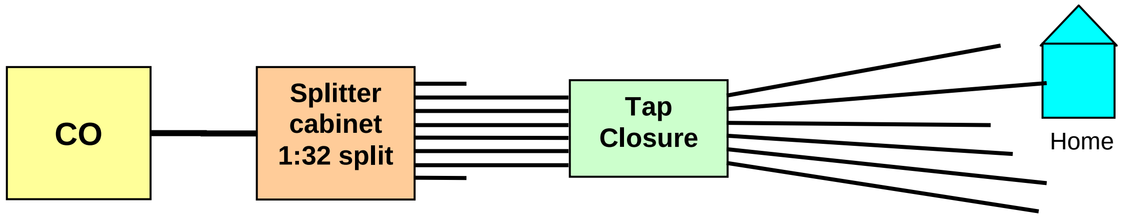
***รูปที่** 4 รายละเอียดโครงสร้างของ FTTH*



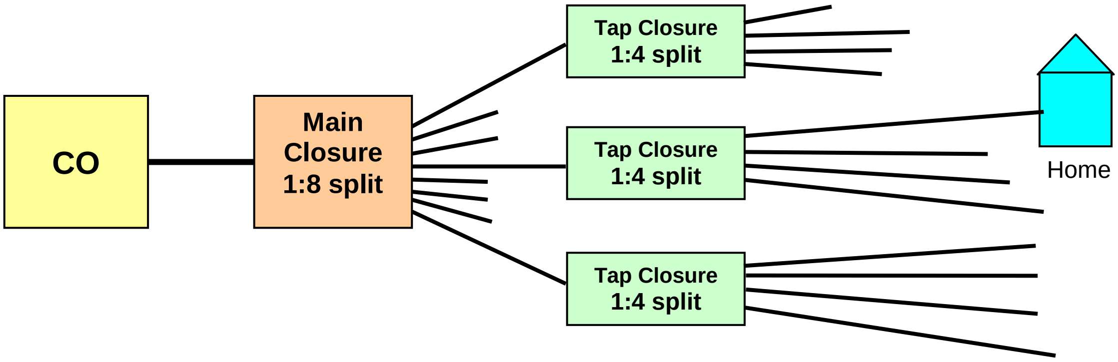
รูปที่ 5 *รูปแบบการสื่อสัญญาณของ FTTH และการกระจายสัญญาณภายในบ้านผู้ใช้ (บล็อกซ้ายมือ)*

รูปแบบการส่งสัญญาณระหว่าง CO ไปยัง ONU ในบ้านผู้ใช้และการกระจายสัญญาณข้อมูล แสดงดังรูปที่ 5 จะเห็นว่าผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องยกเลิกสายโทรศัพท์เดิมก็ได้ เพราะระบบโทรศัพท์เดิมที่ข้อมูลวิ่งอยู่บนเครือข่ายพื้นฐาน PSTN (Public Switching Telephone Network) ก็ยังคงทำงานตามปรกติ แม้ว่า CO ของ FTTH จะมีการให้บริการโทรศัพท์ก็ตาม อุปกรณ์ ONU ภายในบ้าน อาจประกอบด้วยส่วนของตัวแยกสัญญาณและอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมกับการต่อเชื่อมเครื่องใช้ไฟฟ้าปลายทาง (เช่น โทรทัศน์ หรือ คอมพิวเตอร์) เพื่อให้เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยปรกติ การสื่อสารข้อมูลจาก CO ถึงบ้านผู้ใช้ซึ่งถือเป็นการสื่อสารข้อมูลขาลง (downstream) และจากบ้านผู้ใช้ไปยัง CO ซึ่งถือเป็นการสื่อสารข้อมูลขาขึ้น (upstream) มักมีค่าความเร็วแตกต่างกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 5 ที่แสดงถึงระบบที่มีความเร็วข้อมูลขาลง (downstream) เปลี่ยนแปลงได้ระหว่าง 100 Mb/s – 1 Gb/s ในขณะที่ความเร็วข้อมูลขาขึ้น (upstream) มีค่าไม่เกิน 100 Mb/s นอกจากนี้ระบบ FTTH ยังสามารถกำหนดให้ความยาวคลื่นแสงที่เป็นคลื่นพาห์ (carrier) ระหว่างการส่งข้อมูลขาลง (downstream) และขาขึ้น (upstream) มีค่าแตกต่างกัน หรือใช้ความยาวคลื่นเดียวกันก็ได้

3.2 รูปแบบการเชื่อมโยงสายส่งสัญญาณ



(ก) การแยกสายส่งสัญญาณแบบรวมศูนย์กลาง (Centralized Splitting)



(ข) การแยกสายส่งสัญญาณแบบกระจาย (Distributed Splitting)

รูปที่ *6 รูปแบบการเชื่อมโยงสายส่งเคเบิลเส้นใยนำแสงในระบบ FTTH*

โครงสร้างพื้นฐานสำคัญของระบบ FTTH เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงจาก CO ไปยังบ้านผู้ใช้ ยิ่งระบบ FTTH มีจำนวนบ้านผู้ใช้เพิ่มขึ้นเท่าไร ก็จำเป็นต้องเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงมากขึ้นเท่านั้น (ผู้ประกอบกิจการขายเคเบิลเส้นใยนำแสงน่าจะยิ้มออก) รูปแบบการเดินสายส่งสัญญาณจาก CO ไปยังบ้านผู้ใช้ มีลักษณะเป็นแบบ point-to-multipoint network (PTMPN) ซึ่งในระบบ FTTH สามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ แบบรวมศูนย์กลาง (Centralized Splitting) และ แบบกระจาย (Distributed Splitting) ดังแสดงในรูปที่ 6 ในลักษณะของการเดินสายส่งแบบรวมศูนย์กลาง ระบบการแยกสายไปยังชุมชุนต่าง ๆ จะถูกแยกไปในลักษณะ 1 สาย ต่อ 1 ชุมชน และเมื่อไปถึงชุมชุนต่าง ๆ เส้นใยนำแสงจะถูกแบ่งแยกเข้าไปยังบ้านผู้เช่าอีกทีหนึ่ง เครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ PON (Passive Optical Network) ที่ใช้ในระบบ FTTH อาจแบ่งแยกเป็นกลุ่มย่อยได้อีก ตามลักษณะของตัวแยกแสง (splitter) ที่ใช้ เช่นระบบ PON ทั่วไปอาจใช้ตัวแยกแสงชนิด 1:4 หรือ 1:8 ระบบ EPON ใช้ตัวแยกชนิด 1:16 ในขณะที่ระบบ BPON ใช้ตัวแยกชนิด 1:32 โดยที่ระบบสามารถทำงานได้กับความยาวคลื่นแสงสูงสุดถึง 3 ความยาวคลื่น (1490 nm และ 1310 nm สำหรับข้อมูลเสียงและข้อมูลดิจิตอลที่เป็น data และ 1550 สำหรับข้อมูลภาพ) ที่ความเร็วสูงสุดประมาณ 622 Mb/s ปัจจุบัน เริ่มมีผู้ผลิตหลายรายพัฒนาระบบ GPON ขึ้นมา สำหรับทำงานกับตัวแยกแสง (splitter) ชนิด 1:64 ทั้งนี้ระบบ GPON ถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการสื่อสัญญาณสูงขึ้น มีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงถึง 2.4 Gb/s อีกทั้งยังสามารถให้บริการไปยังบ้านผู้ใช้ที่อยู่ห่างไกลจาก CO มากกว่า 30 กิโลเมตรได้อีกด้วย

การเดินสายส่งแบบรวมศูนย์กลาง (Centralized Splitting) มีข้อดี ดังนี้

- *การทดสอบเครือข่ายเส้นใยนำแสงทำได้โดยง่าย*
- *การเปลี่ยนแปลงไปใช้ตัวแยกแสงที่มีอัตราส่วนการแยกมากขึ้น สามารถทำได้โดยง่าย*
- *มักใช้เป็นระบบพื้นฐานก่อนที่จะเปลี่ยนไปใช้ระบบอื่นในอนาคต*

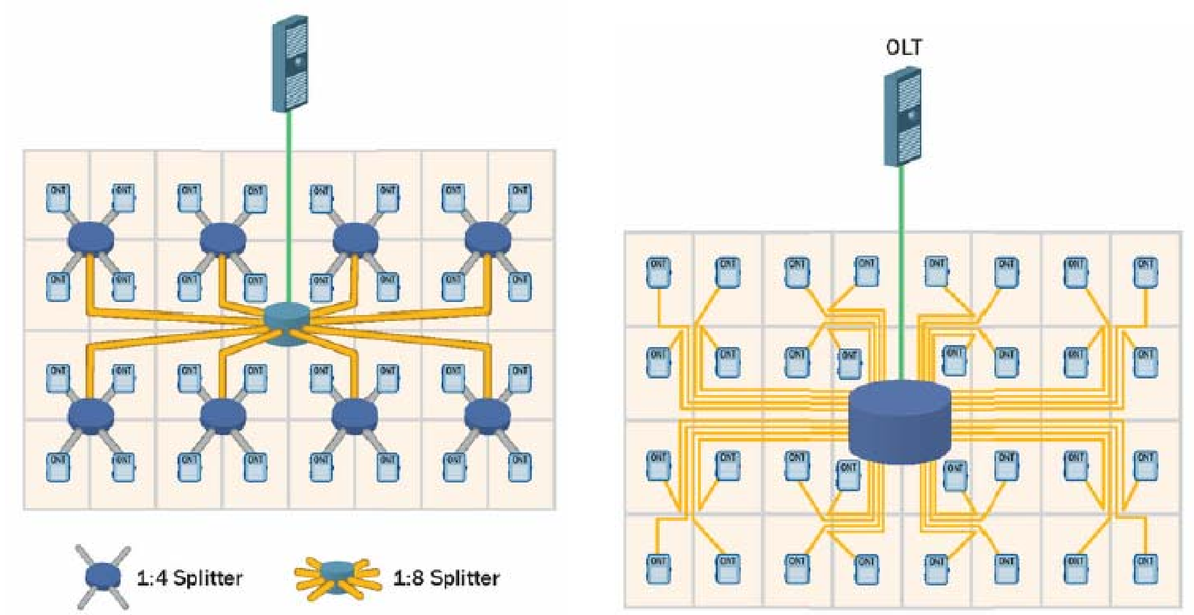
ส่วนการเดินสายส่งแบบการกระจาย (Distributed Splitting) มีข้อดีดังนี้

- *ใช้เคเบิลเส้นใยนำแสงน้อยกว่า ทำให้มีต้นทุนในการติดตั้งและดำเนินการต่ำกว่า*

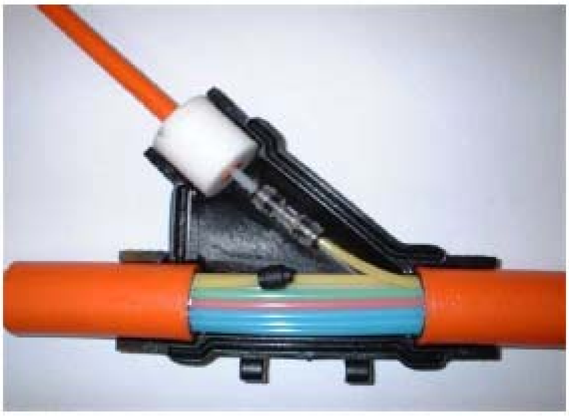
- *ค่าใช้จ่ายในส่วนของตู้แยก (cabinet) จะถูกกว่า เพราะส่วนใหญ่ตู้แยกมีขนาดเล็ก อีกทั้งสามารถใช้หัวต่อ (closure) สำหรับการเชื่อมต่อแบบสไปลซ์ (splice) ซึ่งมีราคาถูก ในตู้แยกได้*

อย่างไรก็ตาม การเชื่อมโยงสายส่งด้วยรูปแบบการกระจาย (Distributed Splitting) มีข้อด้อยตรงที่การทดสอบเครือข่ายมีต้นทุนเพิ่มขึ้น ทำให้การใช้งานโครงข่ายในอนาคตขาดความยืดหยุ่น ดังนั้น ผู้ให้บริการส่วนใหญ่จึงมักเลือกใช้รูปแบบของการเดินสายแบบรวมศูนย์กลาง (Centralized Splitting) ในเครือข่าย FTTH แม้ว่าราคาในการติดตั้งจะสูงกว่าก็ตาม

รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการออกแบบเครือข่ายเชื่อมโยงของเคเบิลเส้นใยนำแสงทั้ง 2 รูปแบบเปรียบเทียบกัน ภาพด้านซ้ายแสดงรูปแบบการแยกเส้นทางสายส่งแบบกระจาย (Distributed Splitting) ที่ใช้ตัวแยกแสงชนิด 1:8 และ 1:4 ต่อเรียงลำดับกันไป (คล้ายแบบ cascade) ในขณะที่ภาพด้านขวาแสดงรูปแบบการรวมศูนย์กลางเพื่อแยกเส้นทางไปยังบ้านผู้ใช้ (Centralized Splitting) โดยใช้ตัวแยกแสง (splitter) ชนิด 1x32 เพียงตัวเดียว จะเห็นว่าระบบมีความยุ่งยากน้อยกว่าแต่ต้องใช้เคเบิลเส้นใยนำแสงมากกว่า (หมายเหตุ OLT ในรูปที่ 7 หมายถึง Optical Line Termination) ส่วนรูปที่ 8 แสดงภาพถ่ายของอุปกรณ์ในส่วนต่าง ๆ ในระบบสายส่งของ FTTH



***รูปที่** 7 ตัวอย่างการเชื่อมโยงสายส่งแบบกระจาย (ซ้าย) และแบบรวมศูนย์กลาง(ขวา)เพื่อกแยกเส้นทางไปยังผู้ใช้*



รูปที่ 8 *ภาพตัวอย่างแสดงจุดต่อและแยกสายของเคเบิลเส้นใยนำแสง (ภาพบน) และอุปกรณ์ ONU ภายในอาคาร (ภาพล่าง)*

3.3 เครือข่าย PON สำหรับ FTTH

ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้นว่า ระบบ FTTH ใช้เครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟหรือ PON (Passive Optical Network) ที่สามารถให้บริการกับผู้ใช้ที่อยู่ห่างออกไปตั้งแต่ไม่กี่ร้อยเมตรไปถึงหลายกิโลเมตรได้ ดังรายละเอียดที่ได้แสดงไว้สำหรับ PON แบบต่าง ๆ ในตารางที่ 1

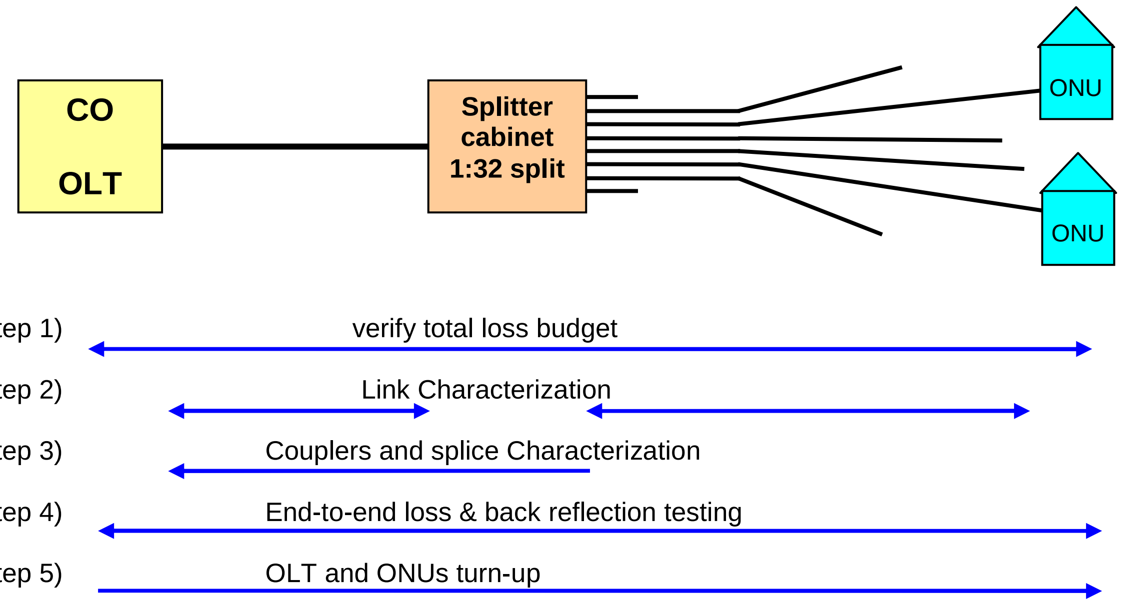
ตารางที่ 1 *รายละเอียดทางเทคนิคของระบบเครือข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟหรือ PON แบบต่าง ๆ*

ชนิด และโปรโตคอล	ความเร็ว และระยะทาง	สัดส่วนการแยกแสง	มาตรฐานที่ใช้	Power Budget	ชนิดของเส้นใยนำแสง
BPON Broadband Passive Optical Network ATM	622 or 155 Mb/s Downstream 1490 nm 155 Mb/s upstream 1310 nm 20 km (max)	1:32 (max)	ITU G.983.3 2001	Class A Optics 20 dB	SMF ITU G.652c/d (low or zero water peak) ITU G.652 (std. SMF)
GPON Gigabit capable Passive Optical Network ATM or	2.488 or 1.244 Gb/s downstream 2.488 or 1.244 Gb/s or 622 Mb/s or 155 Mb/s upstream	1:64 (max)	ITU G.984.2	Class A Optics 20 dB Class B Optics 25 dB Class C Optics 30 dB	SMF ITU G.652c/d (low or zero water peak) ITU G.652 (std SMF)

Ethernet	60 km (max)				
EPON Ethernet Passive Optical Network	1.25 Gb/s downstream (D) and upstream (U) 1000BASE-PX10 10km 1000BASE-PX20 20 km	1:16 (nominal) 1:32 (permitted)	IEEE802.3 ah	PX-10U 23 dB PX-10D 21 dB PX-20U 26 dB PX-20D 26 dB	SMF ITU G.652c/d (low or zero water peak) ITU G.652 (std SMF)

3.4 **แนวทางการทดสอบระบบสายส่ง** FTTH

ระบบเครือข่าย FTTH ที่ติดตั้งแล้วเสร็จ จำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าระบบสามารถทำงานได้ที่ได้ออกแบบไว้ การทดสอบเครือข่าย FTTH มีรูปแบบในทำนองเดียวกับการทดสอบระบบสายส่งเส้นใยนำแสงทั่วไป เนื่องจากระบบ FTTH เป็นเทคโนโลยีค่อนข้างใหม่ในเมืองไทย หัวข้อนี้จึงขอแนะนำหลักการเบื้องต้นในการทดสอบระบบสายส่ง FTTH ที่มีโครงสร้างอย่างง่ายดังรูปที่ 9 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำงานต่อไป



รูปที่ *9 เครือข่ายเคเบิลเส้นใยนำแสงอย่างง่ายของระบบ FTTH*

สมมุติเรามีระบบเครือข่าย FTTH แบบง่ายไม่ซับซ้อนดังรูปที่ 9 ขั้นตอนการทดสอบระบบเครือข่ายเชื่อมโยง อาจเป็นดังนี้

- **ขั้นตอนที่ 1** ตรวจสอบค่ากำลังงานสูญเสียทั้งหมดในระบบสายส่ง (total budget) จาก CO ไปยัง ONU ที่บ้านของผู้ใช้แต่ละรายว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ทั้งนี้การทดสอบต้องเริ่มจากการทดสอบอุปกรณ์แต่ละตัวที่นำมาใช้ในเส้นทางเชื่อมโยงก่อนดำเนินการติดตั้งเชื่อมโยง ตัวอย่างเช่น
    - ระบบ PON class-B ควรมีค่ากำลังงานสูญเสียทั้งหมดในระบบสายส่งไม่เกิน 25 dB ในขณะที่ระบบ PON class-C มีค่าไม่เกิน 30 dB เป็นต้น
    - ค่าการสูญเสียสัญญาณที่ตัวแยกแสง มักเป็นส่วนหลักที่ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณในระบบ ตัวอย่างเช่น ตัวแยกแสงชนิด 1:32 ควรมีค่าการสูญเสียสัญญาณไม่เกิน 16 dB
    - สำหรับคับเปลอร์ชนิด WDM ควรมีค่าการลดทอนประมาณ 0.7 – 1 dB
    - ค่าการสูญเสียสัญญาณรวมทั้งหมดของหัวต่อ (connector) และการเชื่อมต่อแบบสไปลซ์ (splice) ในระบบสายส่ง ควรมีค่าประมาณ 2-3 dB
    - ค่าการลดทอนสัญญาณแสงของเส้นใยนำแสงมีค่าขึ้นกับความยาวคลื่นที่ใช้ และค่าความยาวรวมของสายส่ง (เช่น 0.33 dB/km @ 1310nm) ซึ่งจะส่งผลให้สายส่งในระบบ FTTH โดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 4-20 กิโลเมตร
    - หากมีการสื่อสารสัญญาณภาพแบบแอนะล็อก ต้องคำนึงถึงค่าการลดทอนสัญญาณ การสะท้อนแสงตอนปลายเส้นใยนำแสง และค่าระยะทางสูงสุดระหว่างต้นทางกับปลายทางเป็นพิเศษ โดยทั่วไปค่าการลดทอน ณ จุดต่อที่ ONT ควรมีค่าประมาณ 3-5 dB
    - ค่าการลดทอนสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงในระบบสายส่ง ต้องมีค่าน้อยกว่าค่ากำลังงานสูญเสียสูงสุด (loss budget หรือ power budget) ที่ได้ออกแบบไว้

- **ขั้นตอนที่ 2** ตรวจสอบคุณสมบัติของสายเชื่อมโยงแต่ละเส้น ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 9 สายเชื่อมโยงจาก OC ไปบ้านผู้เช่า 1 หลัง ประกอบด้วยสายเชื่อมโยง (link) 2 เส้น ในขณะเดียวกันก็ต้องพิจารณาว่าเส้นทางแต่ละเส้นประกอบด้วยสายเคเบิลกี่เส้นนำมาเชื่อมต่อกัน (สำหรับระยะทางที่ยาวกว่าความยาวเคเบิลที่ถูกผลิต) จากนั้นจึงทำการต้องตรวจสอบคุณสมบัติของเส้นใยนำแสงแต่ละเส้นทุกเส้นที่นำมาใช้ ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบเส้นใยนำแสงที่นำมาใช้ในระบบ FTTH ว่ามีค่าการลดทอนสัญญาณเป็นไปตามที่กำหนดหรือไม่ การทดสอบอาจใช้โอทีดีอาร์ (OTDR) ตรวจสอบกับสายเคเบิลแต่ละเส้นในขณะที่ยังไม่มีการเชื่อมต่อใด ๆ ในระบบเครือข่ายเลย
    - ตัวอย่างเช่น ระบบ PON ที่เลือกใช้เคเบิลเส้นใยนำแสงตามมาตรฐาน G.652C ค่าการลดทอนสัญญาณที่ตรวจสอบด้วย OTDR ควรมีค่าประมาณ 0.33 dB/km @ 1310 nm, 0.21 dB/km @ 1490 nm และ 0.19 dB/km @ 1550 nm เป็นต้น

- การพิจารณาตรวจสอบขนาดของคอร์ของเส้นใยแก้ว (เช่นค่ามากสุดและน้อยสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอร์ตามสเป็ก) ก็ช่วยให้เกิดความมั่นใจได้ว่า การเชื่อมต่อเส้นใยแก้วสามารถกระทำได้โดยมีค่าการลดทอนต่ำสุด (ดูรายละเอียดในบทที่ 7 ของเอกสารอ้างอิง [5])
- หากสามารถทำการทดสอบเมื่อเคเบิลเส้นใยนำแสงถูกจัดวางในเส้นทางที่กำหนดก่อนเชื่อมต่อ จะทำให้ทราบเงื่อนไขในการทำงานได้ดียิ่งขึ้น เพราะในการติดตั้ง บางครั้งอาจทำให้เคเบิลเส้นใยนำแสงมีค่าการโค้งงอไม่เป็นไปตามสเป็ก อีกทั้งบางกรณีอาจทำให้เกิด micro bending ซึ่งเหล่านี้ล้วนทำให้เกิดค่าการลดทอนสัญญาณเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไป ค่าการสูญเสียสัญญาณที่เกิดจาก micro bending มักมีค่ามาก เมื่อใช้ความยาวคลื่นแสงที่มากขึ้น

- **<u>ขั้นตอนที่</u>** <u>3</u> ตรวจสอบคุณสมบัติของจุดเชื่มต่อและจุดแยกสาย หลังจากที่ทำการเชื่อมต่อปลายสายเส้นใยนำแสงที่เดินมาจาก CO เข้ากับคับเปลอร์ที่ทำหน้าที่แยกสายแล้ว ควรทำการทดสอบค่าการสูญเสียสัญญาณและค่าการสะท้อนกลับ (backreflection) ที่จุดเชื่อมต่อนี้ ด้วย OTDR เพื่อให้แน่ใจว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ผลิตตามที่ได้ตรวจสอบในขั้นตอนที่ 1 ที่แต่ละเส้นทางขาออกของตัวแยกแสงที่ค่าความยาวคลื่น 1310, 1490, และ 1550 นาโนเมตร เทคนิคการตรวจวัดที่สำคัญต้องตั้งค่าการป้อนแสงของ OTDR ให้สามารถแสดงคุณสมบัติของตัวแยกแสงได้ มิฉะนั้นค่าการสูญเสียสัญญาณของตัวแยกแสงอาจอยู่ในช่วง dead zone ขงอ OTDR ซึ่งทำให้ไม่สามารถมองเห็นค่าที่ต้องการได้ อีกทั้งบางคนที่ไม่เข้าใจการทำงานของ OTDR อาจคิดว่าไม่มีค่าการสูญเสียสัญญาณเกิดขึ้นที่ตัวแยกแสง อันจะทำให้การติดตั้งและทดสอบมีความผิดพลาดได้
  - ค่าการสะท้อนกลับ (backreflection) ของสัญญาณแสงที่จุดเชื่อมต่อของคับเปลอร์หรือตัวแยกแสงควรมีค่าประมาณ -35 dB หรือดีกว่านี้ ตามมาตรฐานของ ITU-T G.983.1

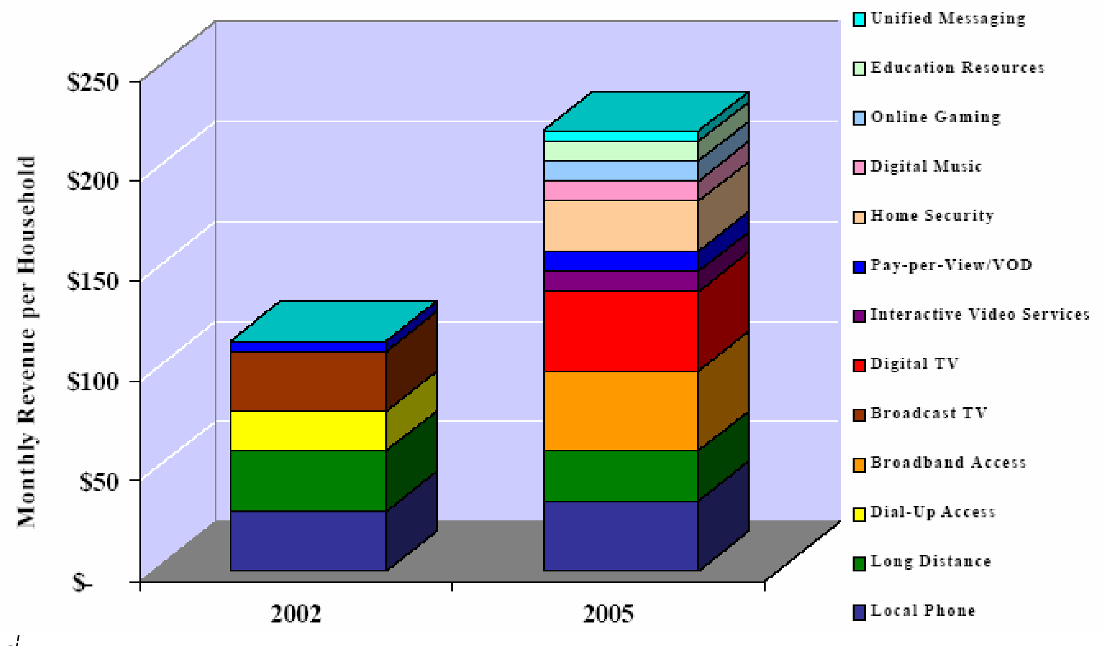
- **<u>ขั้นตอนที่</u>** <u>4</u> หลังจากทำการเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงเข้ากับเส้นทางขาออกของตัวแยกแสง และเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงเข้ากับ ONU ที่บ้านผู้ใช้แล้ว ต้องทำการทดสอบค่ากำลังงานสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจริงในระบบสายส่ง และในแต่ละส่วนย่อยในระบบ รวมถึงค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณแสง (backreflection) ทั้งหมดภายในระบบจาก CO ไปยัง ONU ที่บ้านของผู้ใช้แต่ละราย (end-to-end testing) ว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ การทดสอบจะต้องกระทำทั้งสองด้านจาก CO มองเข้าไปในสายส่ง และจาก ONU มองย้อนกลับไปหา CO ที่ค่าความยาวคลื่น 1310, 1490, และ 1550 นาโนเมตร (nm)
  - ค่าการสูญเสียสัญญาณรวมทั้งหมดในระบบ PON Class-B ต้องมีค่าไม่เกิน 25 dB
  - ค่าการสูญเสียสัญญาณรวมทั้งหมดในระบบ PON Class-C ต้องมีค่าไม่เกิน 30 dB
  - อย่าลืมว่าการใช้ OTDR เพื่อวัดค่าการสูญเสียสัญญาณของคับเปลอร์และตัวแยกแสง ต้องปรับค่าเริ่มต้นของ OTDR ให้สามารถวัดค่าต่าง ๆ ที่ต้องการได้ นอกจากนี้ การใช้ OTDR ยังช่วยให้เราตรวจสอบระยะทางของระบบในแต่ละส่วนได้อีกด้วย

- ค่าการสะท้อนกลับ (backreflection) ในแต่ละจุดควรมีค่าเป็นไปตามที่กำหนด โดยทั่วไป เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ถ้ามีค่า -40 dB ถือว่าดีมาก อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้ระหว่าง -30 ถึง -35 dB ถือว่าใช้ได้ แต่ถ้ามีค่าต่ำกว่า -30 dB ควรทำการแก้ไข
- ค่าการสูญเสียสัญญาณ ณ จุดเชื่อมต่อแบบสไปลซ์ (splice) ควรมีค่าต่ำกว่า 0.1 dB

- **ขั้นตอนที่ 5** หลังจากทำการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของเครือข่ายแล้ว ควรทำการตรวจสอบค่ากำลังงานแสงที่ตอนปลายของเส้นใยนำแสงก่อนส่งผ่านมาที่ ONU/ONT ให้มีค่าเป็นไปตามที่กำหนด โดยทั่วไปมักออกแบบให้มีค่า +4 dBm ก่อนส่งเข้า ONU ทั้งนี้ต้องทำการทดสอบในทุกค่าความยาวคลื่นคือ 1310/1490/1550 นาโนเมตร

4. การให้บริการผ่านระบบ FTTH

การที่ระบบ FTTH ใช้เครือข่ายเส้นใยนำแสงต่อเชื่อมโยงเข้าสู่บ้านผู้ใช้โดยตรง ทำให้ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่สามารถเดินทางมาถึงผู้ใช้ด้วยความเร็วสูง ในยุคแรกของการสื่อสารโทรคมนาคม การสื่อสารจะทำรายได้จากการสนทนาผ่านระบบโทรศัพท์ ต่อมานักธุรกิจเริ่มเห็นความสำคัญของระบบสื่อสารมากกว่าที่จะใช้เพียงแค่การติดต่อสื่อสาร โดยถือเป็นเครื่องมือเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญ ที่ช่วยทำรายได้ให้กับภาคธุรกิจมากขึ้น จากจุดนี้เป็นเหตุให้เกิดรูปแบบในการให้บริการแบบต่าง ๆ ทั้งรูปแบบทางเทคนิคและรูปแบบของเนื้อหาข้อมูลที่ให้บริการ ยิ่งระบบสื่อสารโทรคมนาคมพัฒนาถึงขั้นไร้พรมแดนด้วยระบบสื่อสัญญาณความเร็วสูง ยิ่งทำให้ธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมมีสีสรรมากยิ่งขึ้น

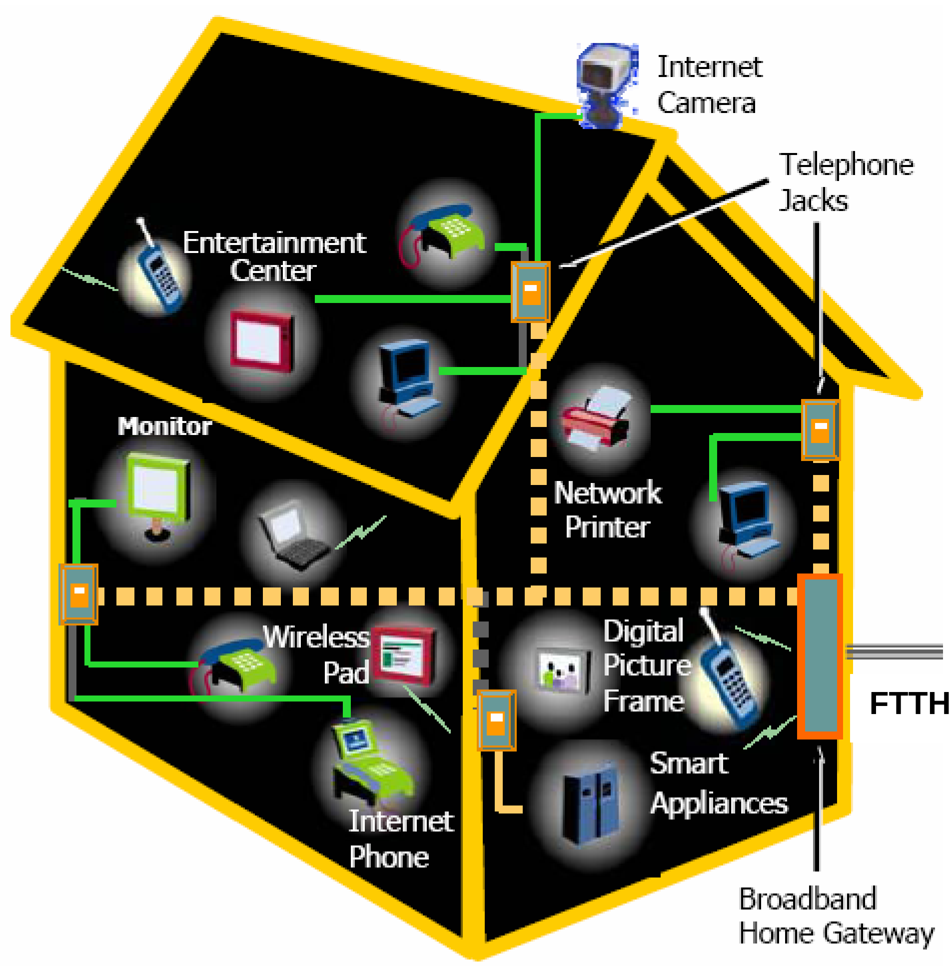


ที่มา : eMarket 2002

***รูปที่** 10 กราฟแท่งเปรียบเทียบสัดส่วนรายได้ที่เกิดจากการทำธุรกิจบนเครือข่าย FTTH ในพื้นที่หนึ่งของอเมริกา*

รูปที่ 10 แสดงสัดส่วนรายได้ที่เกิดจากการทำธุรกิจบนเครือข่าย FTTH ในเขตพื้นที่บางแห่งในอเมริกา จะเห็นว่าในปีค.ศ. 2005 สัดส่วนรายได้รวมมีค่าเพิ่มขึ้นจากปีค.ศ. 2002 เกือบเท่าตัว โดยที่รูปแบบของการให้บริการมีหลากหลายมากขึ้น ตัวอย่างเช่น

- การให้บริการโทรศัพท์ท้องถิ่นและโทรศัพท์ทางไกล
- การให้บริการข้อมูลชนิดบรอดแบนด์ รวมทั้งการให้บริการอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง ซึ่งถือเป็นจุดขายหลักในปัจจุบัน
- การแพร่กระจายสัญญาณภาพไปยังสมาชิกเช่นเดียวกับระบบเคเบิลทีวี
- การให้บริการโทรทัศน์แบบดิจิตอล (digital TV) ซึ่งมีคุณสมบัติของภาพและเสียงดีกว่าระบบแอนะล็อกในปัจจุบันมาก
- การให้บริการ Video on demand หรือ pay per view โดยที่ลูกค้าสามารถเลือกดูภาพยนต์ที่ต้องการ ได้ตามเวลาที่ต้องการ
- การให้บริการระบบความปลอดภัยภายในบ้านพักอาศัย (Home Security) โดยการใช้กล้องทีวีวงจรปิดตรวจจับสัญญาณภาพภายในอาคาร แล้วส่งไปยังศูนย์บริการที่อยู่ห่างไกลออกไป ซึ่งมีเจ้าหน้าที่คอยตรวจสอบความผิดปรกติอยู่ตลอดเวลา ช่วยให้เจ้าของบ้านอุ่นใจในปลอดภัยมากขึ้น
- การให้บริการเพลงแบบดิจิตอล (digital music) - ปัจจุบันคุณภาพเสียงที่ดี สามารถส่งผ่านระหว่างผู้สนใจในดนตรีผ่านระบบอินเตอร์เน็ต อย่างไรก็ตาม การสื่อสารผ่านระบบ FTTH ย่อมทำให้ได้คุณภาพเสียงที่ดียิ่งขึ้นไปอีก
- เกมส์ออนไลน์ (game online) เป็นบริการอีกรูปแบบหนึ่งที่กำลังมาแรง สามารถทำรายได้สูงมากหากเกมส์นั้นได้รับความนิยมในหมู่คนจำนวนมาก
- การให้บริการในส่วนของระบบการศึกษา ไม่ว่าจะเป็นแหล่งข้อมูลบนอินเตอร์เน็ต หรือระบบ e-learning ช่วยให้การเข้าถึงข้อมูลมีความสะดวกมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ผู้เรียนสามารถศึกษาได้ด้วยตนเองอีกด้วย
- ระบบการแพทย์ทางไกล (Tele-medicine) ช่วยให้การวินิจฉัยโรค และการรักษาเบื้องต้น สามารถกระทำได้แม้ว่าผู้ป่วยและแพทย์ผู้เชี่ยวชาญจะอยู่ห่างไกลกันคนละซีกโลก
- ฯลฯ



***รูปที่** 11 ตัวอย่างการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน จากข้อมูลที่วิ่งอยู่บนเครือข่าย FTTH*

5. **บทสรุป**

จากตัวอย่างของแนวทางการทำธุรกิจผ่านเครือข่ายความเร็วสูงเช่น FTTH ข้างต้น บางคนมองว่าอาจจะเป็นการให้บริการไปยังหน่วยงาน มากกว่าการให้บริการแบบส่วนตัวไปยังบ้านพักอาศัย ทีนี้ลองมาพิจารณารูปที่ 11 ซึ่งแสดงถึงการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบต่าง ๆ โดยใช้การสื่อสัญญาณผ่านเครือข่าย FTTH จะเห็นว่ามีอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมายที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันส่วนบุคคล อีกทั้งยังช่วยอำนวยความสะดวกสบายและความเพลิดเพลินใจให้กับผู้ใช้ที่อาศัยอยู่ในบ้านได้อย่างดียิ่ง เช่น การใช้บริการอินเตอร์เน็ต การโทรศัพท์ระบบ VoIP (Voice over IP) ผ่านอินเตอร์เน็ต (VDO over IP ก็กำลังจะมาแล้ว) ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายถูกกว่าระบบปัจจุบันมาก การจัดทำห้องพักผ่อนแห่งความบันเทิง (Entertainment Center) ระบบเฝ้าระวังด้วยกล้องวงจรปิดผ่านเครือข่าย (Internet Camera) การรับส่งภาพดิจิตอล เป็นต้น ดังนั้น จึงไม่น่าแปลกใจเลยว่า ระบบ FTTH จะช่วยทำให้ชีวิตประจำวันของคนเราเปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเทคโนโลยีของ FTTH จะให้ความสมบูรณ์ในเรื่องของเทคนิค เส้นทางเดินของระบบ FTTH ในบ้านเรา คงต้องใช้เวลาในการเดินทางอีกระยะหนึ่งไม่มากก็น้อย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นสภาพเศรษฐกิจของสังคม ความพร้อมของโครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐาน การส่งเสริมของภาครัฐ ทั้งในเรื่องของข้อกำหนดกฎระเบียบและการส่งเสริมอุตสาหกรรม ตลอดไปถึง

พฤติกรรมและความพร้อมของประชาชนที่เป็นผู้บริโภค แต่แล้วในที่สุดเชื่อว่า FTTH ต้องเกิดขึ้นและเป็นที่ยอมรับของสังคมบ้านเราอย่างแน่นอน แต่ก่อนที่จะถึงวันนั้น การเตรียมความพร้อมในเรื่องของความรู้ความเข้าใจในวันนี้ ย่อมทำให้เกิดประโยชน์ต่อการตัดสินใจเลือกใช้ระบบในอนาคต และยังสร้างความได้เปรียบบนในเชิงธุรกิจอีกด้วยอย่างแน่นอน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] F. J. Effenberger and K. W. Lu, “An Overview of FTTH Networks — Past History, Current Status, and Future Designs”, SPIE Proceeding, vol. 2917, pp. 293-304

[2] S. T. Wilkinson and Y. Nakano, “Fiber to the Home in the US and Japan: Differences and Opportunities”, Proceedings of 2004 FTTH Conference, pp. 1-7, 2004

[3] www.alcatel.com/fttu

[4] B. Perkians, “Optimal Splitter Placement in PONs”, Proceedings of 2004 FTTH Conference

[5] อธิคม ฤกษบุตร, “เส้นใยแก้วและการประยุกต์ใช้งานเบื้องต้น”, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์ซีดับลิวซี พริ้นติ้ง, พ.ศ. 2546

[6] S. C. Chabot, “Fiber-Optic testing Challenges in Point-to-Multipoint PON testing”, www.exfo.com

[7] J. George, “Optical System Design Considerations for FTTP”, FTTH Conference, 2003

[8] H. Serrander, “Report from a Broadband Society”, www.ericsson.com