# บทที่ 1

# บทนำ

ในปัจจุบันนี้การสื่อสารข้อมูลได้กลายเป็นสิ่งสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการโทรศัพท์ การค้นคว้าข้อมูลข่าวสารผ่านอินเทอร์เน็ต การดาวน์โหลดสื่อดิจิตัล และกิจกรรมอื่นๆอีกมากมายที่ต้องอาศัยเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพเพื่อตอบสนองความต้องการและพัฒนาคุณภาพชีวิตของมนุษย์ให้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นการพัฒนาโครงข่ายการสื่อสารโทรคมนาคมจึงได้รับความสนใจจากนักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการพัฒนาและวิจัยโครงข่ายเข้าถึงซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารต่างๆได้อย่างสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีซีดีเอ็มเอแสงร่วมกับโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟซึ่งจะมีส่วนช่วยในการพัฒนาโครงข่ายเข้าถึงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเนื้อหาในบทนี้ได้เสนอแนวทางของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารเป็นสิ่งที่มนุษย์ใช้ในการถ่ายทอดบอกความต้องการของตนเองไปยังผู้อื่นมาตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน ต่อมามนุษย์ได้พยายามพัฒนาระบบสื่อสารแบบต่างๆเพื่อให้สามารถนำพาข้อมูลข่าวสารจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆได้ ในปี ค.ศ. 1838 แซมมวล มอร์สประสบความสำเร็จในการประดิษฐ์โทรเลขโดยการแทรกข้อมูลเข้าไปในคลื่นพาห์ (carrier) ซึ่งถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการสื่อสารยุคอิเล็กทรอนิกส์ [1] ตั้งแต่นั้นมาก็มีการพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารไปอย่างรวดเร็ว ในปี ค.ศ. 1983 ก็เริ่มมีการใช้งานระบบอินเตอร์เน็ต และเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 หลังจากนั้นเป็นต้นมาจำนวนผู้ใช้บริการอินเตอร์เน็ตก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีความต้องการแบนด์วิดท์ (bandwidth) ที่มากขึ้นเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลจำนวนมากด้วยความเร็วสูง ซึ่งในปัจจุบันแนวโน้มความต้องการบริการด้านการสื่อสารข้อมูลของผู้ใช้บริการกำลังจะเปลี่ยนเข้าสู่ยุค triple play ซึ่งได้แก่ บริการโทรศัพท์ผ่านอินเตอร์เน็ต (voice over IP: VoIP) บริการวีดีโอความละเอียดสูง และบริการอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง ทำให้มี

ความต้องการโครงข่ายเข้าถึง (access network) ที่สามารถให้บริการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงที่มีความเชื่อถือได้และมีอัตราค่าบริการต่ำเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

โครงข่ายเข้าถึงเป็นส่วนหนึ่งของระบบสื่อสารที่เชื่อมต่อผู้ใช้บริการโทรคมนาคม (subscriber) เข้ากับผู้ให้บริการโทรคมนาคม (service provider) และให้บริการการขนส่งข้อมูลข่าวสารภายในโครงข่าย [3] โดยโครงข่ายเข้าถึงแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆได้แก่โครงข่ายเข้าถึงแบบใช้สาย (wireline access network) และโครงข่ายเข้าถึงแบบไร้สาย (wireless access network) [2] โดยโครงข่ายเข้าถึงแบบใช้สายนั้นเริ่มต้นจากระบบโทรศัพท์พื้นฐานซึ่งใช้สายตีเกลียวคู่ (twisted pair) ในการส่งสัญญาณ การเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตในยุคแรกจะอาศัยการหมุนโทรศัพท์ (dial-up) ผ่านโมเด็มเพื่อติดต่อไปยังผู้ให้บริการอินเตอร์เน็ต (internet service provider: ISP) ผ่านโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานซึ่งครอบคลุมพื้นที่ให้บริการเป็นจำนวนมากอยู่แล้วโดยที่ไม่ต้องลงทุนวางโครงข่ายใหม่ เทคโนโลยีนี้มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดเพียงแค่ 56 kbps [4] และเพื่อเป็นการใช้โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานที่มีอยู่แล้วให้เกิดประโยชน์มากขึ้นจึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเอดีเอสแอล (asymmetric digital subscriber line: ADSL) ที่มีอัตรารับส่งข้อมูลประมาณ 8-30 Mbps สำหรับการดาวน์โหลด ทั้งนี้ก็ยังไม่สามารถส่งผ่านข้อมูลที่มีความเร็วสูงมากๆได้ เนื่องจากเทคโนโลยีดังกล่าวใช้สายตีเกลียวคู่ซึ่งทำจากทองแดงในการส่งสัญญาณ เมื่อส่งสัญญาณความถี่สูงในสายนำสัญญาณทองแดงจะทำให้ส่งได้ไม่ไกลมากนัก ด้วยสาเหตุนี้จึงมีการนำเส้นใยแสง (optical fiber) มาใช้ในการส่งสัญญาณเนื่องจากเป็นสายสัญญาณที่มีประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณที่สูงมากเมื่อเทียบกับสายสัญญาณชนิดอื่นๆ โดยข้อได้เปรียบของเส้นใยแสงที่เหนือกว่าสายสัญญาณชนิดอื่นๆมีดังนี้

(1) เส้นใยแสงมีปริมาณแบนด์วิดท์ที่กว้าง เมื่อเทียบกับความถี่ของคลื่นวิทยุซึ่งมีความถี่ $10^{6}$-$10^{9}$ เฮิรตซ์เพราะความถี่ของคลื่นพาห์แสงจะอยู่ในช่วง $10^{13}$-$10^{14}$ เฮิรตซ์

(2) เส้นใยแสงมีอัตราการสูญเสียพลังงานแสงในเส้นใยแสงต่ำเนื่องจากการลดทอนน้อยกว่าสายตีเกลียวคู่ (twisted pair) หรือสายไฟฟ้าร่วมแกน (coaxial cable) ทำให้การสื่อสัญญาณได้ระยะทางไกลกว่าและใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณรวมทั้งอุปกรณ์ขยายสัญญาณน้อยกว่าการสื่อสารแบบอื่น

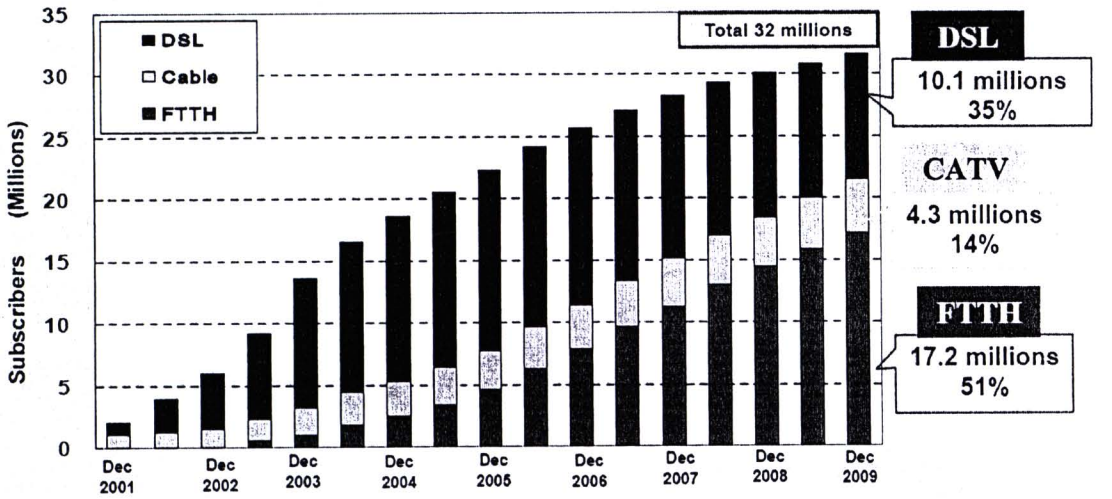
(3) เส้นใยแสงมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา สามารถติดตั้งได้ง่าย และสามารถรวมเส้นใยแสงหลายเส้นเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นการเพิ่มช่องทางการสื่อสารให้มากขึ้นจากการใช้พื้นที่เท่าเดิม

(4) เส้นใยแสงถูกผลิตมาจากวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า จึงปราศจากสัญญาณรบกวนทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้มีความถูกต้องของสัญญาณสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสื่อประเภทอื่น

(5) เส้นใยแสงทำจากวัสดุที่ไม่มีการเจือจาง และการออกแบบสายเคเบิลของเส้นใยแสงมีความต้านทานต่อทั้งอุณหภูมิและความชื้น อีกทั้งยังต้องการการบำรุงรักษาที่น้อยมาก

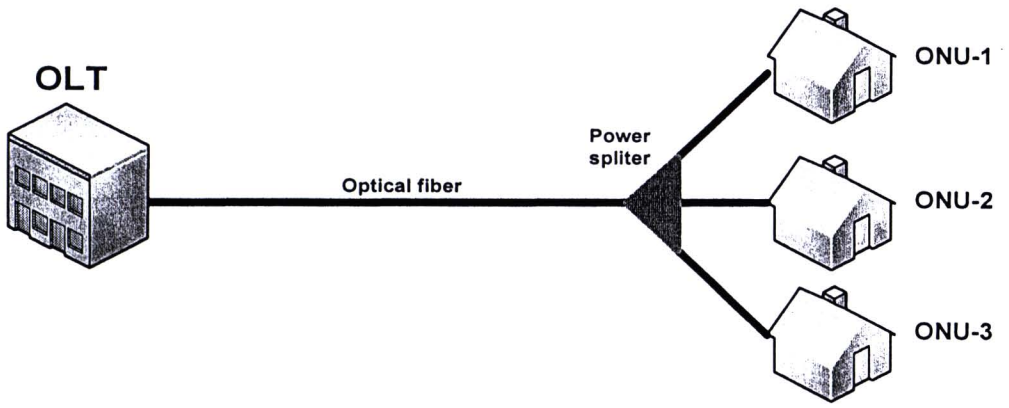
(6) เส้นใยแสงมีความปลอดภัยกว่าระบบสายโลหะเมื่อพิจารณาในแง่ของอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์หรือมนุษย์จากไฟฟ้าลัดวงจรระหว่างสาย หรือระว่างสายต่อสาย

จากข้อดีดังกล่าวของเส้นใยแสง จึงมีการนำเส้นใยแสงมาใช้เป็นสายนำสัญญาณในโครงข่ายเข้าถึงหลายๆประเภท เช่น ไฮบริดไฟเบอร์โคแอ็กเชียล (hybrid fiber coaxcial: HFC) เป็นโครงข่ายที่ใช้เส้นใยแสงซึ่งมีค่าการลดทอนของสัญญาณที่ต่ำมากเป็นสายนำสัญญาณจึงสามารถส่งสัญญาณจากสถานีส่งสัญญาณ (head-end) ไปยังจุดแจกจ่าย (distribution node) ได้ไกลถึง 30 km [5] จากนั้นจึงแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งผ่านสายไฟฟ้าร่วมแกนไปยังผู้ใช้บริการภายในรัศมีประมาณ 2 km โครงข่ายนี้สามารถให้บริการเคเบิลทีวี (cable television: CATV) และอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง 30-50 Mbps [6] นอกจากนี้โครงข่ายไฟเบอร์ทูเดอะโฮม (fiber-to-the–home: FTTH) ก็เป็นโครงข่ายเข้าถึงอีกประเภทหนึ่งที่ใช้เส้นใยแสงเป็นสายนำสัญญาณทั้งหมดซึ่งกำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากไม่มีการแปลงสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าในการรับส่งข้อมูล ทำให้โครงข่ายสามารถให้บริการได้เป็นระยะทางไกล ทั้งนี้ยังมีแบนด์วิดท์ที่มากเพียงพอที่จะให้บริการทีวีความละเอียดสูง (high-definition television: HDTV) และอินเตอร์เน็ตความเร็วสูงในระดับ 100 Mbps หรืออาจมากถึง 10 Gbps ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของมาตรฐานที่ใช้ โครงข่าย FTTH นี้เริ่มเปิดให้บริการทดลองใช้ในประเทศญี่ปุ่นเมื่อปี ค.ศ. 1977 และในยุโรปและสหรัฐอเมริกาในช่วงต้นปี ค.ศ. 1980 [7] แต่ไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนักเนื่องจากค่าใช้จ่ายของระบบที่สูงมาก จนกระทั่งในปี ค.ศ. 2002 โครงข่าย FTTH เริ่มเป็นที่สนใจในอย่างมากในประเทศญี่ปุ่น เนื่องจากอัตราค่าบริการ FTTH ไม่ต่างจากอัตราค่าบริการ ADSL มากนัก ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการ FTTH เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รูปที่ 1.1 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการและอัตราการขยายตัวของ ADSL CATV และ FTTH ในประเทศญี่ปุ่น [ ] ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการขยายตัวของผู้ใช้บริการ FTTH เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 1 ล้านรายในปี ค.ศ. 2002 เป็น 17 ล้านคนในปี ค.ศ. 2009 คิดเป็นอัตราส่วน 51% ของจำนวนผู้ใช้บรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตทั้งหมด ในขณะที่จำนวนผู้ใช้บริการ CATV ในปีค.ศ. 2002 มีจำนวน 2 ล้านราย จนกระทั่งปี ค.ศ. 2009 มีจำนวนผู้ใช้บริการประมาณ 4.5 ล้านราย และจำนวนผู้ใช้บริการ ADSL ในปี ค.ศ. 2002 มีประมาณ 4.5 ล้านคน ซึ่งมีอัตราการขยายตัวของจำนวนผู้ใช้บริการอย่างรวดเร็วในช่วงปี ค.ศ. 2004-2006 หลังจากนั้นอัตราการขยายตัวของผู้ใช้บริการลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากผู้ใช้บริการหันไปนิยมโครงข่าย FTTH มากกว่า ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการ ADSL ในปี ค.ศ. 2009 อยู่ที่ประมาณ 10 ล้านคน คิดเป็นอัตราส่วน 35% ของจำนวนผู้ใช้บรอดแบนด์อินเทอร์เน็ตทั้งหมด[8]



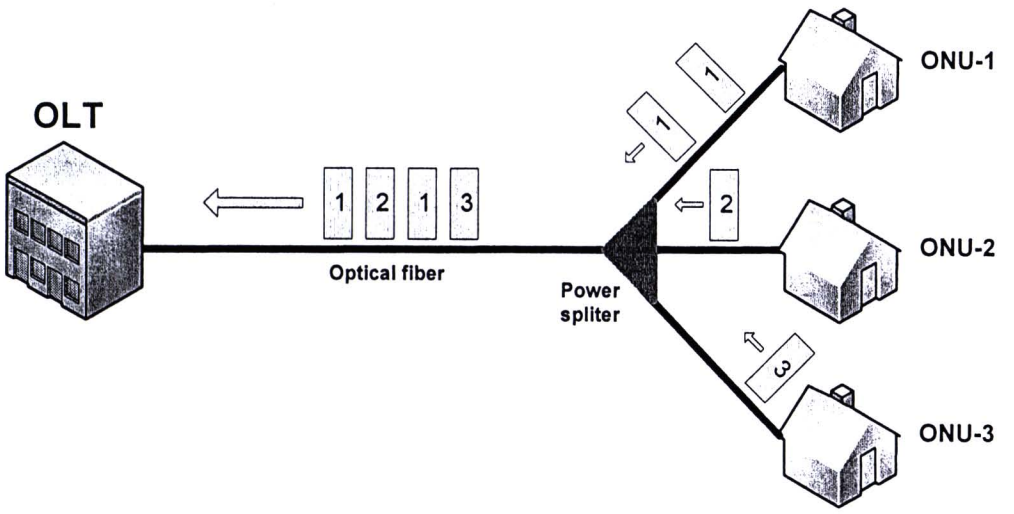

**รูปที่** 1.1 จำนวนผู้ใช้บริการของ ADSL CATV และ FTTH ในประเทศญี่ปุ่น ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2001 ถึงปี ค.ศ. 2009 [8]

โครงข่าย FTTH เป็นโครงข่ายเข้าถึงที่อาศัยเทคโนโลยีพาสซิฟออปติคอลเน็ตเวิร์ก (passive optical network: PON) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีพื้นฐานของโครงข่ายเข้าถึงทางแสง (optical access networks: OANs) [7] ที่เชื่อมต่อผู้ใช้บริการเข้ากับระบบด้วยเส้นใยแสง มีรูปแบบการเชื่อมต่อของโครงข่ายเป็นแบบ point-to-multipoint ดังรูปที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ optical line terminal (OLT) ที่ติดตั้งอยู่ที่สถานีฐาน (central office: CO) เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายเข้าถึงและโครงข่ายหลัก (backbone network) อุปกรณ์แบ่งพลังงานแสงแบบพาสซิฟ (passive optical power splitter) ทำหน้าที่แบ่งพลังงานแสงออกเป็นหลายๆส่วนเพื่อแจกจ่ายไปยังผู้ใช้งานหลายๆคน และ optical network unit (ONU) ที่ติดตั้งอยู่ที่บ้านของผู้ใช้บริการ เป็นอุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณแสงกลับมาเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ของผู้ใช้บริการ เช่น คอมพิวเตอร์ หรือเคเบิลทีวี และใช้เส้นใยแสงชนิดโหมดเดียวเป็นสายสัญญาณที่เชื่อมต่อระหว่าง OLT และ ONU



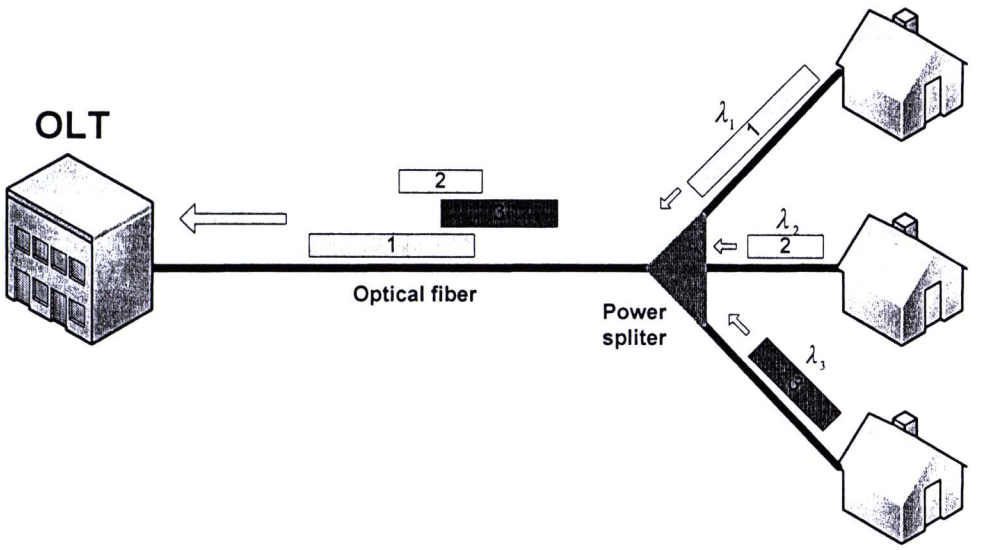

**รูปที่** 1.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของ PON

ในแต่ละมาตรฐานของ PON สำหรับโครงข่าย FTTH ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน การส่งข้อมูลแบบอัพสตรีมของผู้ใช้แต่ละรายล้วนอาศัยการเข้าถึงแบบแบ่งเวลา (time-division multiple access: TDMA) กล่าวคือช่วงเวลา (time-slot) ในการส่งสัญญาณ N ช่วงจะถูกจัดสรรให้กับผู้ใช้บริการจำนวน $N$ ราย ทั้งนี้เนื่องจาก TDMA-PON เป็นระบบที่ลงทุนน้อยกว่าระบบ PON แบบอื่น (เช่น WDMA-PON) และให้ประสิทธิภาพของระบบที่ดี ในการทำงานแบบ TDMA แต่ละ ONU จะทำการติดต่อเพื่อขอใช้ time-slot จาก OLT เพื่อป้องกันการชนกันของบิตข้อมูลของแต่ละ ONU โดยอาศัยโปรโตคอลที่ควบคุมการเข้าใช้ตัวกลาง (media access control: MAC) ทำให้ผู้ใช้แต่ละรายได้รับการจัดสรร time-slot เพื่อส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้ใช้บริการแต่ละรายจึงสามารถส่งข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณแสงความยาวคลื่นเดียวกันลงไปในเส้นใยแสงเส้นเดียวกันโดยไม่เกิดการชนกันของบิตข้อมูลได้ ซึ่งการส่งข้อมูลแบบอัพสตรีมของ TDMA-PON ดังแสดงในรูปที่ 3 อย่างไรก็ตามการที่จะอัพเกรดระบบ TDMA-PON ที่มีอยู่เดิมให้สามารถรองรับอัตรารับส่งข้อมูลที่สูงขึ้นกว่าเดิมมากๆนั้นสามารถทำได้ยากเนื่องด้วยเป็นระบบแบบซิงโครนัสที่ใช้ MAC โปรโตคอลและข้อจำกัดทางด้านแบนด์วิดท์ของอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ [10]




**รูปที่** 1.3 การส่งข้อมูลแบบอัพสตรีมของ TDMA-PON [9]

การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งความยาวคลื่น (wavelength-division multiple access: WDMA) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถการเพิ่มประสิทธิภาพของ PON รูปที่ 4 แสดงรูปแบบการทำงานของ WDMA-PON โดยจัดสรรความยาวคลื่นที่แตกต่างกันให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายสำหรับการส่งข้อมูลแบบอัพสตรีมและดาวน์สตรีม ทำให้ไม่มีโอกาสชนกันของข้อมูล ผู้ใช้แต่ละรายสามารถใช้แบนด์วิดท์ได้อย่างเต็มที่และไม่ต้องอาศัยการซิงโครนัสของระบบด้วย แต่จำนวนความยาวคลื่นที่สามารถจัดสรรให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายตามมาตรฐาน ITU-T G.694-2 (coarse wavelength division multiplexing: CWDM) นั้นสามารถให้บริการได้เพียง 18 รายเท่านั้น ซึ่งไม่มากพอสำหรับการให้บริการแก่ผู้ใช้บริการจำนวนมาก ดังนั้นการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการให้มากขึ้นย่อมเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายของระบบมากขึ้น [8],[10] ด้วยข้อจำกัดด้านต่างๆของ TDMA-PON และ WDMA-PON นักวิจัยจึงได้พัฒนาเทคโนโลยีใหม่ในการเข้าถึงข้อมูล คือเทคโนโลยีการเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งรหัส (code-division multiple access: CDMA)



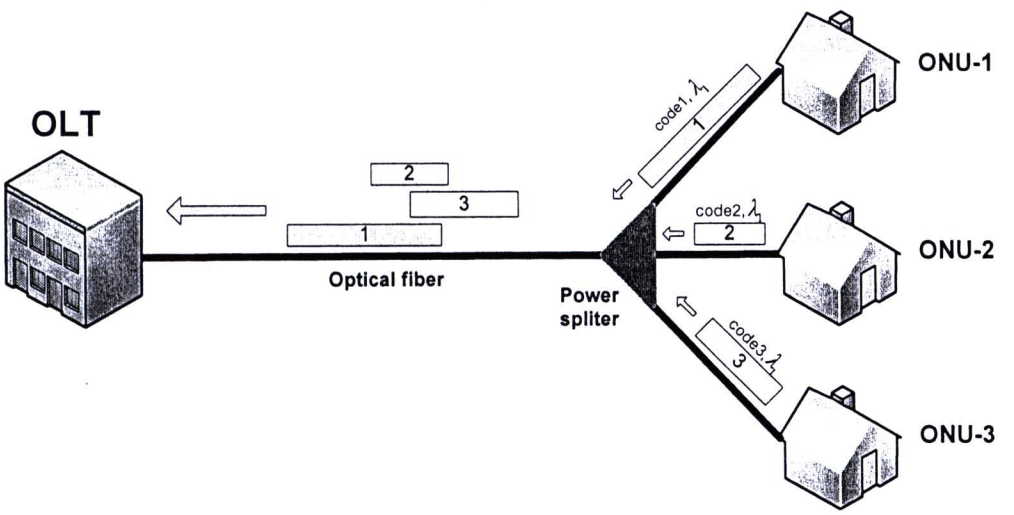

**รูปที่** 1.4 การส่งข้อมูลแบบอัพสตรีมของ WDMA-PON [9]

เทคโนโลยี CDMA นั้นได้เคยถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการทหารสำหรับป้องกันการรบกวนของศัตรูฝ่ายตรงข้ามต่อการรับส่งสัญญาณมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 หลังจากนั้นมาได้มีการพัฒนา CDMA เพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์อย่างจริงจังมากขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1989 เพื่อให้ได้ระบบที่สามารถรองรับการสื่อสารมัลติมีเดียไร้สายรูปแบบใหม่ๆได้ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 3 (3G) ก็ใช้เทคโนโลยี CDMA เป็นพื้นฐานในการส่งและรับสัญญาณ หลักการการทำงานของระบบ CDMA เป็นการเข้าถึงโดยผู้ใช้แต่ละรายสามารถเข้าใช้ความถี่เดียวกันพร้อมกันได้ โดยอาศัยการเข้ารหัสสัญญาณของผู้ใช้แต่ละรายด้วยรหัส (code) ที่แตกต่างกันไป ซึ่งแตกต่างกับการเข้าถึงแบบแบ่งเวลา (TDMA) ที่อาศัยการแบ่งช่วงเวลาในการใช้ช่องสัญญาณ และแบบแบ่งความถี่ (frequency-division multiple access: FDMA) ที่อาศัยการแบ่งช่วงความถี่ในการใช้ช่องสัญญาณ ทั้งนี้การใช้งานช่องสัญญาณพร้อมๆกันบนความถี่เดียวกันทำให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน ดังนั้นผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA แต่ละคู่จะต้องใช้รหัสชุดเดียวกันจึงจะสามารถรับและส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ข้อดีของระบบ CDMA คือสามารถเพิ่มความจุของระบบได้มากขึ้น รองรับจำนวนผู้ใช้บริการพร้อมๆกัน ประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์ที่สูงมากขึ้นและไม่ต้องอาศัยการ์ดไทม์ (guard time)ในการควบคุมป้องกันการชนกันของข้อมูลทำให้สามารถนำเวลาช่วงดังกล่าวมาเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลได้ [12],[13],[29]

จากข้อดีของเทคโนโลยี CDMA ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จึงมีการนำ CDMA มาใช้ร่วมกับการสื่อสารทางแสง เรียกเทคโนโลยีดังกล่าวว่าออปติคอลโค้ดมัลติเพิ่ลแอ็กเซส (optical code-division multiply access: OCDMA) กล่าวคือผู้ใช้แต่ละรายจะถูกจัดสรรรหัส (code) ที่

แตกต่างกัน ข้อมูลของผู้ใช้แต่ละรายที่ส่งออกไปจะถูกเข้ารหัส (encode) ด้วยรหัสที่ถูกจัดสรรให้ผู้ใช้นั้นๆ ที่ตัวส่งสัญญาณ (transmitter) ทำให้ผู้ใช้แต่ละรายสามารถส่งข้อมูลลงไปบนเส้นใยแสงเส้นเดียวกันพร้อมๆกันได้ และที่เครื่องรับ (receiver) ของผู้ใช้แต่ละรายจะถูกถอดรหัส (decode) ด้วยกระบวนการแมตช์ฟิลเตอร์ริ่ง (match filtering) ทำให้ผู้ใช้แต่ละรายได้รับข้อมูลของตัวเองอย่างถูกต้องในขณะที่ข้อมูลของผู้ใช้รายอื่นก็จะถูกกำจัดทิ้งไป [11]

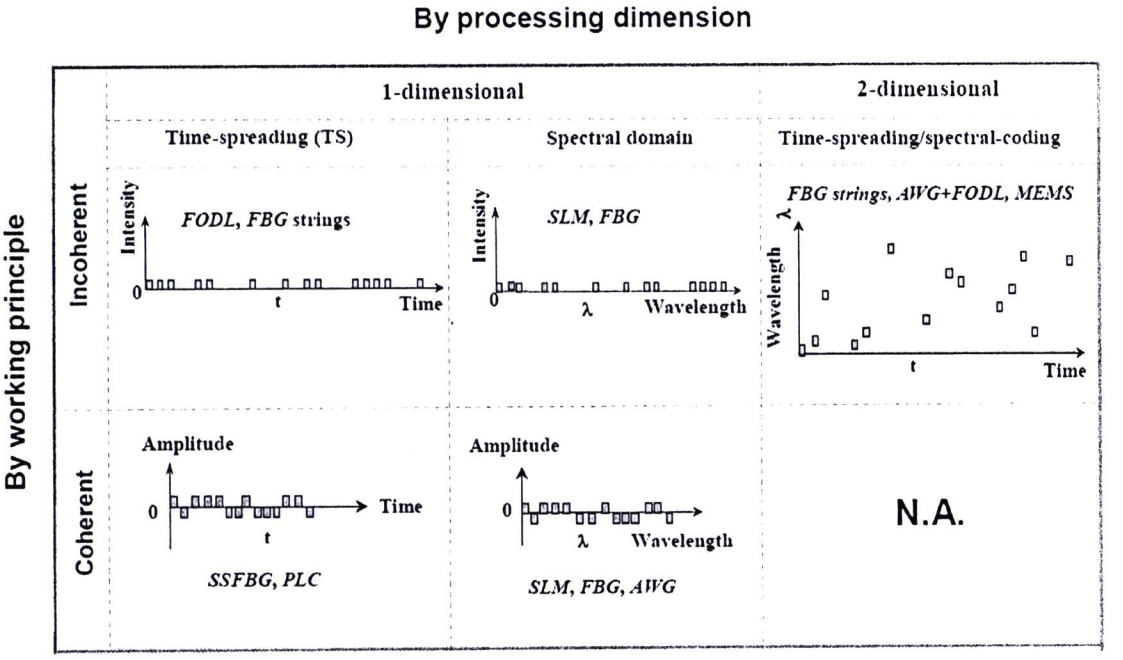
เทคโนโลยี OCDMA มีการประยุกต์ใช้งานมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการใช้ OCDMA เพื่อเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการในโครงข่าย DWDM [x] การสวิตช์แพ็คเกทเชิงแสง (optical packet switching) [34] หรือนำมาใช้ร่วมกับ PON เรียกเทคโนโลยีดังกล่าวว่า OCDMA-PON ข้อดีของระบบนี้คือไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการซิงโครนัสระบบระหว่าง OLT กับ ONU นอกจากนี้ยังทำการเข้ารหัสถอดรหัสและประมวลสัญญาณในโดเมนของแสงทั้งหมด มีประสิทธิภาพในการใช้แบนด์วิดท์ที่สูง อีกทั้งยังรองรับจำนวนผู้ใช้ได้เป็นจำนวนมากอีกด้วย ทำให้ OCDMA-PON เป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจสำหรับโครงข่ายเข้าถึงในยุคหน้าอันใกล้นี้




**รูปที่** 1.5 การส่งข้อมูลแบบอัพสตรีมของ OCDMA-PON [9]

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยี OCDMA มีมาตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1970 และเริ่มมีการนำเสนอผลการวิจัยในช่วงปี ค.ศ. 1980 ทั้งนี้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบยังไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากอุปกรณ์ทางแสงที่ใช้สำหรับ OCDMA เช่น อุปกรณ์เข้ารหัสและถอดรหัสทางแสง (optical encoder/decoder) อุปกรณ์ตัดสินระดับสัญญาณแสง (optical thresholder) และอื่นๆ ยังมีประสิทธิภาพไม่สูงนัก [10] ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์ทางแสงก็ได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น [15],[16] เราสามารถแบ่งระบบ OCDMA แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 6 คือแบ่งตามหลักการใช้งาน (by working principle) ได้แก่ อินโคฮีเรนท์ (incoherent) OCDMA ซึ่งเป็นการทำงานบน

ความเข้มของสัญญาณแสงโดยมีการเข้ารหัสเป็นแบบยูนิโพลาร์ (0,1) และ โคฮีเรนท์ (coherent) OCDMA ซึ่งเป็นการทำงานบนแอมพลิจูดของสัญญาณแสงโดยมีการเข้ารหัสแบบไบโพล่าร์ (-1,1) [14] อีกวิธีการแบ่งคือแบ่งตามมิติในการประมวลสัญญาณ (by processing dimension) ได้แก่ การเข้ารหัสแบบ 1 มิติทั้งในโดเมนเวลาหรือโดเมนความถี่ (1-D in time-domain or frequency-domain) ซึ่งได้แก่วิธี time-spreading (TS) OCDMA [10],[11],[15] และ spectral code OCDMA [28],[32] หรือแบบ 2 มิติในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ไปพร้อมๆกัน ซึ่งได้แก่วิธี wavelength hopping [14],[31]




**รูปที่** 1.6 การแบ่งประเภทของ OCDMA ตามหลักการใช้งานและแบ่งตามมิติในการประมวลสัญญาณ

ถึงแม้ว่า 2-D OCDMA นั้นจะมีคุณสมบัติสหสัมพันธ์ (correlation property) ที่ดี แต่ประสิทธิภาพโดยรวมไม่ค่อยดีมากนักเนื่องจากการใช้หลายๆความยาวคลื่นมาทำการเข้ารหัสทำให้มีประสิทธิภาพการใช้ความยาวคลื่น (spectral efficiency) และประสิทธิภาพการใช้พลังงานแสง (optical power efficiency) ที่ต่ำ และอาจเกิดปัญหาเนื่องจากดิสเพอร์ชั่น (dispersion) ที่ไม่เท่ากันของแต่ละความยาวคลื่นที่ใช้เข้ารหัสระหว่างการส่งสัญญาณได้ นอกจากนั้น incoherent-OCDMA ซึ่งมีการเข้ารหัสบนความเข้มแสงแบบ unipolar ทำให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานแสงและความยาวคลื่นที่ต่ำ และความยาวของรหัสที่ใช้ได้ก็ขนาดสั้นทำให้ correlation property ของระบบไม่ดี ในทางกลับกัน coherent-OCDMA ซึ่งเข้ารหัสบนแอมพลิจูดของสัญญาณแสงแบบ

bipolar ทำให้คุณสมบัติโดยรวมไม่ว่าจะเป็น correlation property ความยาวของรหัสที่สามารถใช้ได้ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานแสงและความยาวคลื่นนั้นดีกว่า incoherent OCDMA ดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของ OCDMA แบบต่างๆ [14],[19] ในปัจจุบันงานวิจัยส่วนมากล้วนศึกษาเกี่ยวกับ coherent OCDMA แทบทั้งสิ้นเนื่องจากข้อได้เปรียบของระบบดังที่ได้กล่าวมา [10],[11],[14]-[19]

**ตารางที่ 1.1** เปรียบเทียบคุณสมบัติของ OCDMA แบบต่างๆ

| OCDMA schemes | Incoherent | | | Coherent | |
|---|---|---|---|---|---|
| | TS | Spectral coding | 2-D | TS | Spectral coding |
| Correlation property | Worst | Medium | Good | Good | Medium |
| Code number | Small | Medium | Large | Large | Large |
| MAI noise | High | Medium | Medium | Low | Low |
| Beat noise | Low | Medium | Medium | High | High |
| Optical power efficiency | Low | High | Low | High | Medium |
| Spectral efficiency | Low | Low | Medium | Medium | Low |
| Data rate | Low | Low | Medium | High | High |

ปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้ในการ encode และ decode สำหรับ TS-OCDMA ได้แก่ fiber optical delay line (FODL), spatial light phase modulator (SPLM) planar light wave circuit (PLC) arrayed-waveguide-grating (AWG) [24],[27] และ superstructure-fiber bragg grating (SSFBG) [10] ซึ่ง AWG และ SSFBG ซึ่งมีคุณสมบัติโดยรวมที่เหมาะสมกับระบบ OCDMA [14] ดังเห็นได้จากบทความ [15] ซึ่งได้แสดงการส่งสัญญาณ OCDMA สำหรับผู้ใช้บริการ 10 ราย ที่อัตราข้อมูล 1.25 Gbps โดยใช้ SSFBG เป็น en/decoder และบทความ [16] นำเสนอการใช้ AWG เป็น en/decoder ที่ OLT และใช้ SSFBG เป็น en/decoder ที่ ONU ถึงแม้ว่าผลการวิจัยจะประสบผลสำเร็จด้วยดี แต่อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญที่จำกัดขีดความสามารถของระบบ OCDMA ก็คือ การรบกวนเนื่องมาจากการเข้าใช้หลายทิศทาง (multiple-access interference: MAI) และสัญญาณรบกวน beat noise นอกจากนี้ยังรวมไปถึงขีดจำกัดในการออกแบบ en/decoder ที่เป็นอุปกรณ์แบบพาสซิฟให้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำและมีอัตราการสูญเสียพลังงานที่ต่ำ ทำให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูล OCDMA ถูกจำกัด

งานวิจัยที่ผ่านมามักจะให้ความสำคัญต่อปัญหาที่จำกัดสมรรถนะของระบบ OCDMA โดยเฉพาะ MAI และ beat noise ซึ่งนักวิจัยก็ได้พยายามศึกษาและพัฒนาวิธีการลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนดังกล่าว และได้นำเสนอโมเดลและการวิเคราะห์สัญญาณรบกวนด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ [18] และวิธีลดสัญญาณรบกวน เช่น การออกแบบ SSFBG ที่ใช้รหัสที่ยาวขึ้น [15] นอกจากนี้ยังได้มีการนำเสนอและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ เช่นการใช้ optical thresholding [26],[30] ที่ทำให้สามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ 10 รายที่อัตราการรับส่งข้อมูล 1.25 Gbps ที่อัตราบิตผิดพลาด (bit error rate: BER) เท่ากับ $10^{-9}$ เมื่อเทียบกับการไม่ใช้ optical thresholding ซึ่งสามารถรองรับผู้ใช้ได้ 6 รายเท่านั้น [10],[11],[14]-[19]

งานวิจัยส่วนมากที่เกี่ยวกับ OCDMA จะเน้นไปที่การศึกษาออกแบบและวิเคราะห์ระบบ OCDMA เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลเป็นระยะทางไกล เช่น ทดลองส่งสัญญาณ OCDMA ลงบนโครงข่าย WDM เป็นระยะทาง 100 km ด้วยอัตราการส่งข้อมูล 10 Gbps ต่อ 1 ความยาวคลื่น [11],[16] ทั้งนี้ยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำ OCDMA มาใช้ร่วมกับโครงข่าย FTTH เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการสื่อสัญญาณ OCDMA บนระบบ FTTH ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆของระบบที่มีอยู่ ว่าสามารถให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพมากเพียงใด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสนใจที่จะวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อความสามารถของการสื่อสัญญาณ OCDMA บนระบบ FTTH แล้วเทียบผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวที่คำนวณได้จากสมการทางคณิตศาสตร์กับผลการทดลองที่จำลองจากโปรแกรม Optisys 8.0 นอกจากนี้แล้วยังรวมไปถึงการหาจำนวนผู้ใช้สูงสุดเมื่อกำหนดให้อัตรารับส่งข้อมูลและระยะทางให้บริการคงที่ อัตรารับส่งข้อมูลสูงสุดเมื่อกำหนดให้จำนวนผู้ใช้และระยะทางให้บริการคงที่ และระยะทางให้บริการที่ไกลที่สุดเมื่อกำหนดให้จำนวนผู้ใช้บริการและอัตรารับส่งข้อมูลคงที่ที่การสื่อสัญญาณ OCDMA บนระบบ FTTH สามารถทำได้ต่อ 1 ความยาวคลื่นและหลายความยาวคลื่นเมื่อนำมาใช้กับ coarse wavelength-division multiplexing (CWDM) ภายใต้ข้อจำกัดของระบบที่มีอยู่

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการสื่อสัญญาณ OCDMA บนระบบ FTTH มีมากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับ FTTH ที่ยังใช้ระบบ TDMA อยู่ในปัจจุบัน โดยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการศึกษาและวิเคราะห์การสื่อสัญญาณ OCDMA บนระบบ FTTH จะได้แนวทางการออกแบบระบบให้มีสมรรถนะสูงสุด และสามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาต่อเพื่อนำไปใช้ในโครงข่ายเข้าถึงแบบ FTTHในยุคหน้าได้อย่างแท้จริง

## 1.2 แนวทางของวิทยานิพนธ์

การออกแบบและพัฒนาระบบสื่อสารให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าถึงการให้บริการการสื่อสารข้อมูลความเร็วสูงขึ้นในราคาที่ถูกลง ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้โครงข่าย FTTH กลายเป็นโครงข่ายบรอดแบนด์ความเร็วสูงที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบันนี้ ซึ่งในอนาคตอันใกล้นี้ข้อมูลข่าวสาร ภาพ เสียง วิดีโอ และ content ต่างๆ จะมีขนาดของข้อมูลที่ใหญ่ขึ้น ทำให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายต้องใช้แบนด์วิดท์จำนวนมหาศาลเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูล ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการแย่งกันใช้ช่องสัญญาณหรือในบางครั้งมีแบนด์วิดท์ให้ใช้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นการเปลี่ยนวิธีการเข้าถึงในโครงข่าย FTTH จาก TDMA มาเป็น CDMA จึงเป็นจุดเริ่มต้นของวิทยานิพนธ์นี้ เนื่องจากการใช้ระบบ CDMA ร่วมกับ PON หรือ OCDMA-PON เป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาคอขวดของข้อมูลในโครงข่ายเข้าถึง เพราะการเข้าถึงแบบ CDMA จะใช้รหัสในการเข้ารหัสสัญญาณแต่ละรายแล้วส่งสัญญาณไปพร้อมๆกันได้ ทำให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายในโครงข่ายไม่ต้องแย่งกันใช้ช่องสัญญาณทางเวลา ผู้ใช้บริการแต่ละรายจึงสามารถใช้แบนด์วิดท์ที่ได้รับได้อย่างเต็มที่

อย่างไรก็ตามระบบ OCDMA-PON นอกจากจะมีสัญญาณรบกวนที่ตัวรับสัญญาณแล้วยังมีปัญหาสัญญาณรบกวน MAI และ beat noise ซึ่งมีส่วนทำให้คุณภาพของสัญญาณนั้นแย่ลง ดังนั้นด้วยข้อจำกัดของพารามิเตอร์ต่างๆในระบบที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์หาจำนวนผู้ใช้บริการมากสุด อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดและระยะทางให้บริการไกลสุดที่สามารถให้บริการได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำระบบ OCDMA-PON ไปใช้ร่วมกับระบบมัลติเพล็กซ์ความยาวคลื่นอย่างหยาบ (CWDM) เพื่อเป็นการเพิ่มจำนวนผู้ใช้บริการได้อีกด้วย

## 1.3 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ รวมทั้งข้อจำกัดของการนำซีดีเอ็มเอแสง (OCDMA) มาใช้กับเทคโนโลยีโครงข่ายเชิงแสงแบบพาสซีฟ (PON) หรือบนโครงข่ายไฟเบอร์ทูเดอะโฮม (FTTH)
2. วิเคราะห์หาจำนวนผู้ใช้บริการมากสุด อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดและระยะทางให้บริการไกลสุดของ OCDMA-PON ที่สามารถให้บริการได้ต่อ 1 ความยาวคลื่น และหลายความยาวคลื่นเมื่อนำมาใช้ร่วมกับ coarse wavelength-division multiplexing (CWDM) ภายใต้ข้อจำกัดของระบบที่มีอยู่

3. เสนอแนวทางการออกแบบระบบ OCDMA-PON ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด
4. เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ OCDMA-PON ในแง่จำนวนผู้ใช้บริการสูงสุด อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด และระยะทางให้บริการไกลสุด กับโครงข่าย FTTH ที่ยังใช้การเข้าถึงเชิงเวลา (time-division multiple access: TDMA) ในปัจจุบัน

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 24 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 217488
เลขเรียกหนังสือ

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับพื้นฐานของระบบสื่อสารผ่านเส้นใยแสงและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผิดเพี้ยนของสัญญาณเมื่อส่งแสงผ่านเส้นใยแสง
2. ศึกษาคุณสมบัติของระบบ OCDMA-PON รวมไปถึงผลดีและผลเสียของระบบดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ TDMA-PON
3. ศึกษาและวิเคราะห์วิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณแสงรวมไปถึงพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าการลดทอนของสัญญาณ ดิสเพอร์ชันอันดับที่สอง MAI และ beat noise ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ OCDMA-PON ในเชิงทฤษฎี
4. จำลองระบบ OCDMA-PON ด้วยโปรแกรม Optisys 8.0 แล้วเปรียบเทียบผลการทดลองว่าสอดคล้องกับทฤษฎีหรือไม่
5. จำลองระบบ OCDMA-PON เพื่อหาจำนวนผู้ใช้มากที่สุด, ระยะทางที่ไกลที่สุด และอัตรารับส่งข้อมูลสูงสุดที่สามารถทำได้ต่อ 1 ความยาวคลื่นและหลายความยาวคลื่นเมื่อนำมาใช้ร่วมกับระบบ coarse wavelength-division multiplexing (CWDM) ภายใต้ข้อจำกัดของระบบที่มีอยู่
6. วิเคราะห์และประเมินผลของระบบ OCDMA-PON ทั้งหมด
7. สรุปผลและเรียบเรียงรายงานวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

## 1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. แบบจำลองระบบ OCDMA-PON พิจารณาการเข้ารหัสและถอดรหัสแบบ coherent time-Spreading OCDMA
2. ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความผิดเพี้ยนของสัญญาณที่ศึกษามีเพียงค่าการลดทอนของสัญญาณ ดิสเพอร์ชันอันดับที่สอง MAI และ beat noise เท่านั้น

3. อุปกรณ์ภาคส่งและภาครับของแบบจำลองมีความเป็นอุดมคติโดยไม่คำนึงผลของสัญญาณรบกวนของอุปกรณ์ภาคส่งและภาครับ
4. เส้นใยแสงที่ใช้ในแบบจำลองเป็นไปตามมาตรฐาน ITU-T G.652.c และ G.652.d เท่านั้น
5. ใช้การ simulation ในการศึกษาและวิเคราะห์ระบบ OCDMA-PON ด้วยโปรแกรม Optisys 8.0 เพื่อทดสอบสมมุติฐานโดยไม่มีการทดลองจริง

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เกี่ยบกับวิธีมัลติเพล็กซ์แบบ OCDMA รวมทั้งการประยุกต์ระบบดังกล่าวเข้ากับโครงข่าย FTTH
2. สร้างระบบ OCDMA-PON ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้ข้อจำกัดของระบบที่มีอยู่
3. ระบบ OCDMA-PON สามารถให้บริการด้วยอัตรารับส่งข้อมูลที่สูงกว่า รองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากกว่า และส่งได้ระยะทางที่ไกลกว่า TDMA-PON ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
4. นำผลงานวิจัยไปวิเคราะห์ผลร่วมกับงานวิจัยที่พัฒนาประสิทธิภาพของ OCDMA เพื่อนำไปออกแบบโครงข่ายเข้าถึงในยุคหน้า
5. ตีพิมพ์และนำเสนอผลงานทางวิชาการระดับนานาชาติ