



การศึกษาประสิทธิภาพของการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า สำหรับระบบจัดการพลังงานในบ้านและ
ระบบสมาร์ตกริดในประเทศไทย

A Study of Power Line Communication Performance for Home Energy
Management System and Smart Grid System in Thailand

ภัทรกฤษฎ พิศพรณ*

Phatrakit Pisapan

วัชรระ วงศ์ปัญญา**

Watchara Wongpanyo

วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร***

Wattanapong Rakwichian

Received : June 17, 2021

Revised : July 22, 2021

Accepted : September 17, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication) บนโครงข่ายไฟฟ้าในบ้านที่ติดตั้งไว้อยู่แล้วแบบดั้งเดิมในประเทศไทย ซึ่งสามารถถูกนำไปพัฒนาและใช้งานกับระบบจัดการพลังงานในบ้าน (Home Energy Management System) ภายใต้ระบบสมาร์ตกริด จากการศึกษพบว่า การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าชนิดย่านความถี่แคบ Narrow-Band Power Line Communication (NB-PLC) มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับแอปพลิเคชันจัดการพลังงานในบ้านมากที่สุด โดยมีอัตราการส่งข้อมูลอยู่ระหว่าง 100-1,000 bps ซึ่งเพียงพอสำหรับใช้ในการควบคุมและสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในเครือข่าย และยังไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่อาศัยภายในบ้าน โดยในส่วนของผลการทดลองพบว่าความสามารถของการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านอายุการใช้งานของสายไฟฟ้าเป็นสำคัญ ดังนั้นระดับสัญญาณจะลดต่ำลงหากระยะความยาวของสายไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น และพบว่าอัตราการถดถอยของระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าที่มีอายุ 1-15 ปีนั้นน้อยกว่าสายไฟฟ้าที่มีอายุ 16-30 ปี อยู่ประมาณ 46.95%, อัตราการถดถอยของระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าที่มีอายุ 16-30 ปีจะน้อยกว่าสายไฟฟ้าที่มีอายุ 30-45 ปี อยู่ประมาณ 68.78% และอัตราการถดถอยของระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าที่มีอายุ 1-15 ปีนั้นน้อยกว่าสายไฟฟ้าที่มีอายุ 30-45 ปี อย่างมากถึง 83.44% ซึ่งผลการทดลองนี้สามารถนำมาใช้พยากรณ์ระดับ

*นักศึกษาลัทธิสุตรปรัชญาดุสิตบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

Doctor of Philosophy in Energy Management and Smart Grid Technology Faculty of Energy and Environment University of Phayao

**อาจารย์ประจำสาขาพลังงานทดแทน คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อมอาจารย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

Lecturer of Renewable Energy Department, Faculty of Energy and Environment, University of Phayao

***อาจารย์ประจำวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร

Lecturer of School of Renewable Energy and Smart Grid Technology, Naresuan University

ของสัญญาณตามระยะความยาวของสายไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปและตามอายุการใช้งานได้ จึงเป็นประโยชน์มากในการนำมาใช้ออกแบบระบบจัดการพลังงานในบ้านสำหรับบ้านอัจฉริยะ

คำสำคัญ : การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า / ระบบจัดการพลังงานในบ้าน

ABSTRACT

This experimental research aimed to study the performance of power line communication on the traditional electrical network in a house in Thailand which can be developed and used with Home Energy Management System (HEMS) under the smart grid system. The study found that the Narrow-Band Power Line Communication (NB-PLC) has the most suitable features for the home energy management applications. Such as, the data transmission rates between 100-1,000 bps is sufficient for controlling and communicating of the electrical devices within the network and *it is not dangerous to resident's health* in the home. The experimental result has shown that the ability of communication via electrical wires depends mainly on the factors of the service life of the electric wires. Hence, the signal level will be decreased if the electric cable length increases. And found that the regression rate of the signal levels of the cables aged 1-15 years is less than the cables aged 16-30 years around 46.95%, the regression rate of the signal levels of the cables aged 16-30 years is less than the cables aged 30-45 years around 68.78% and the regression rate of the signal levels of the cables aged 1-15 years is greatly less than the cables aged 30-45 years at 83.44%. These results can be used to predict the signal level according to *the difference in wire length* and according to the life of the electric cable. Therefore, it is very useful to design the HEMS for a smart home.

Keywords : Power Line Communication (PLC) / Home Energy Management System (HEMS)

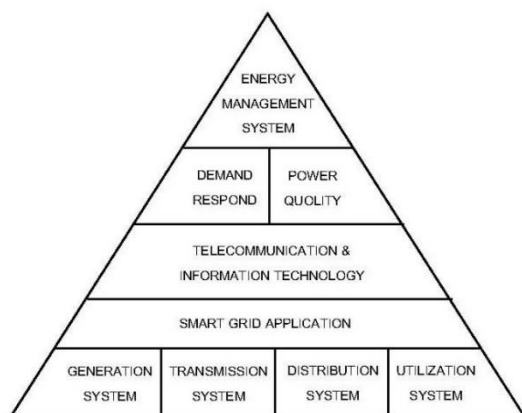
บทนำ

เทคโนโลยีสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication) หรือที่เรียกว่า PLC เป็นเทคโนโลยีสื่อสารที่ดีที่สุดเทคโนโลยีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาเครือข่ายระบบสมาร์ตกริดเพราะว่าสามารถใช้งานร่วมกับสายไฟฟ้าที่เป็นโครงข่ายแบบดั้งเดิมที่ได้ติดตั้งไว้อยู่แล้วโดยไม่ต้องลงทุนติดตั้งโครงข่ายสายสัญญาณเพิ่มเติมใหม่ จึงทำให้มีการลงทุนที่ไม่สูงมากในการที่จะพัฒนาระบบไฟฟ้าแบบปัจจุบันให้เข้าสู่ระบบไฟฟ้าแบบสมาร์ตกริด ปัจจุบัน PLC ถูกนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางในแอปพลิเคชันต่างๆ ของระบบสมาร์ตกริด ตั้งแต่ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบส่งกำลังไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้า และระบบการใช้พลังงานไฟฟ้า เช่นการสื่อสารของมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter) ภายในโครงข่ายระบบมิเตอร์ขั้นสูง (AMI: Advanced Metering Infrastructure) ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Claytiles & Lee, 2015) โดย PLC ยังเหมาะที่จะนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในการสื่อสารและควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าและพลังงานต่างๆ ภายในบ้านซึ่งจะเป็นหัวใจหลักของแอปพลิเคชันบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) โดยการสื่อสารนี้จะทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลของการใช้พลังงานไฟฟ้า คำสั่งควบคุมการทำงานต่างๆ แบบอย่างทันทีทันใดหรือที่เราเรียกว่าแบบ Real-Time ผ่านระบบจัดการพลังงานในบ้าน (Home Energy Management System: HEMS) ซึ่งจะต้องวิเคราะห์และประเมินผลตามความต้องการใช้

พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบตอบสนองตามความต้องการ (Energy Demand Response) เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และทำให้เกิดรูปแบบอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Zero Net Energy Building : ZNEB) (Pisapan, et al., 2018)

ระบบสมาร์ตกริด

ระบบสมาร์ตกริดเป็นเทคโนโลยีที่มุ่งเน้นพัฒนาเพื่อจัดการกับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและสูญเสียในระบบน้อยที่สุด แสดงตามภาพที่ 1 โครงสร้างของระบบสมาร์ตกริด โดยมีระบบจัดการพลังงาน (Energy Management System) เป็นสมองในการควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ และใช้ข้อมูลความต้องการใช้พลังงานแบบตอบสนอง (Demand Respond) เป็นตัวแปรหลัก (Bush, 2014) ในการควบคุมปริมาณการผลิตให้เหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้งานในช่วงเวลาต่างๆ และมีคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) เป็นตัวแปรในการควบคุมการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนต่างๆ ของระบบที่เกิดจากการกำเนิดของกระแสฮาร์มอนิก กระแสลัดวงจร และความผิดปกติต่างๆ ในระบบไฟฟ้า และยังทำให้รับรู้ได้ถึงจุดกำเนิดของความเสียหายต่างๆ ซึ่งจะทำให้สามารถปรับปรุงแก้ไขได้รวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำ โดยทั้งหมดจะทำงานผ่านสื่อกลางที่เป็นเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Telecommunication and Information Technology) ในรูปแบบต่างๆ และยังมีโปรแกรมแอปพลิเคชัน (Smart Grid Application) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานอย่างเหมาะสมกับแต่ละประเภทโครงข่ายไฟฟ้า ตั้งแต่ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบส่งกำลังไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้า และส่วนการใช้กำลังไฟฟ้า ให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างระบบสมาร์ตกริด

การเลือกเทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสมสำหรับระบบจัดการพลังงานในบ้าน

การสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้าและระบบจัดการพลังงานภายในโครงข่ายไฟฟ้าจะเป็นหัวใจหลักของระบบสมาร์ตกริด ซึ่งจะทำให้ผู้ควบคุมสามารถรู้ข้อมูลการทำงานและสถานะภาพของระบบต่างๆ เพื่อใช้ในการวางแผนจัดการพลังงานให้ได้ประโยชน์สูงสุด เครือข่ายการสื่อสารข้อมูลของระบบไฟฟ้าแบบสมาร์ตกริด (Hossain, et al., 2012) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับเครือข่ายด้วยกัน คือ เครือข่ายในเขตบ้าน (HAN: Home Area Network) สำหรับ ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าและแหล่งผลิตพลังงานเพื่อบริหารการใช้พลังงานภายในบ้าน, เครือข่ายในเขตพื้นที่ให้บริการ (NAN: Neighborhood Area Network) สำหรับอ่านค่าการใช้พลังงาน

ไฟฟ้าของแต่ละอาคาร และยังใช้ควบคุมและเฝ้าสังเกตการณ์คุณภาพของโครงข่าย ผ่านระบบการอ่านหน่วยมิเตอร์อัตโนมัติ (AMR: Advance Metering Reading) และ เครือข่ายทางไกล (WAN: Wide Area Network) สำหรับบริหารจัดการระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า และระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยในแต่ละระดับเครือข่ายจะใช้เทคโนโลยีสื่อสารที่ต่างกันเพื่อความเหมาะสมกับลักษณะการใช้งานสำหรับระบบจัดการพลังงานในบ้าน (Home Energy Management System) ที่เป็นส่วนหนึ่งในสมาร์ตกริดเทคโนโลยีนั้น (Teng-amnuay, 2015) จัดอยู่ในเครือข่ายในเขตบ้าน (HAN) ซึ่งจะมีเทคโนโลยีสื่อสารที่สามารถรองรับการทำงานได้สองประเภทคือแบบใช้สาย (Wired) และแบบไร้สาย (Wireless) ในระบบการสื่อสารมีเทคโนโลยีสื่อสารอยู่หลายประเภทให้เลือกใช้งานกับเครือข่าย HAN ที่จะต้องมีระบบควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้าทั้งการผลิต การใช้ และการจัดเก็บ โดยระบบจะมีการติดต่อสื่อสารข้อมูลกับเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้าน ซึ่งเทคโนโลยีสื่อสารที่ใช้งานกับแอปพลิเคชันนี้ได้นั้นมีรองรับอยู่มากมาย เช่น NB-PLC, Ethernet, Wi-Fi, ZigBee และ Bluetooth (Unsal, et al., 2015) เป็นต้น ส่วนในเครือข่าย NAN ก็จะมีเทคโนโลยีอย่าง NB-PLC (Berge, et al., 2012) ซึ่งมีรูปแบบมาตรฐานรองรับอยู่หลายอย่างเช่น G3-PLC, PRIME, ANSI/EIA709.1.2, ISO/IEC14543-3, KNX, IEC621334, ITU-TG.9955,56, IEEE P1901.2 โดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นพัฒนามาใช้งานสำหรับสมาร์ตมิเตอร์ในการตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในเขตพื้นที่ให้บริการของระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเครือข่าย WAN เป็นเครือข่ายระยะไกลและกว้าง จะนิยมใช้ไฟเบอร์ออฟติก, ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ Cellular และ Wi-Max ทำงานร่วมกับระบบ SCADA ในการควบคุมและเฝ้าสังเกตการณ์ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบส่งกำลังไฟฟ้า สำหรับตรวจสอบคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) ความเสถียร ความมั่นคง ความน่าเชื่อถือ ด้วยระบบตรวจวัดในพื้นที่ห่างไกล (Wide Area Measurement Systems) (Iniewski, 2013) การเลือกประเภทเทคโนโลยีสื่อสารสำหรับโครงข่ายสมาร์ตกริดนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงรูปแบบการใช้งานหรือแอปพลิเคชัน โดยเฉพาะสำหรับระบบจัดการพลังงานในบ้านพักอาศัยจะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้งาน เช่น สามารถสื่อสารได้แบบสองทางเพื่อใช้ส่งและรับคำสั่งรวมถึงข้อมูลระหว่างชุดควบคุมและอุปกรณ์ไฟฟ้า มีอัตราการส่งข้อมูลที่เพียงพอและเวลาตอบสนองข้อมูลที่เหมาะสม มีระยะทางในการส่งสัญญาณที่ต้องครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งบริเวณบ้าน ต้องมีความเข้ากันได้ทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC/EMI) ไม่ไปรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ ภายในบ้าน สามารถสื่อสารผ่านได้ทุกห้องโดยไม่ถูกกับัง (Shielding Room) และไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้งานหรือผู้อยู่อาศัยจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMF หน่วยเป็น Milligauss) เนื่องจากบ้านพักอาศัยจะมีคนทำกิจกรรมและใช้ชีวิตอยู่ภายในอาคารเป็นเวลานาน ดังนั้นการเลือกประเภทเทคโนโลยีให้เหมาะสมกับแอปพลิเคชันและมีความปลอดภัยต่อชีวิตมนุษย์จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ควรพิจารณาเป็นอันดับแรกก่อนการออกแบบระบบจัดการพลังงาน โดยมีข้อกำหนดแสดงไว้ในตารางที่ 1 การเลือกประเภทเทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสมสำหรับเครือข่าย HAN โดยมีการเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีแบบไร้สาย (Wireless) และแบบใช้สาย (Wired)

ตารางที่ 1 การเลือกประเภทเทคโนโลยีสื่อสารสำหรับเครือข่าย HAN ระหว่าง Wireless และ Wired

No.	Description	Wireless	Wired
1	สามารถสื่อสารได้แบบ 2 ทาง (Two Way Communication)	Yes	Yes
2	สามารถส่งข้อมูลที่อัตราความเร็ว 100-1,000 bps	Yes	Yes
3	สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะทาง 1-50 M	Yes	Yes
4	สามารถสื่อสารผ่านได้ทุกห้องที่ถูกกำบัง (Shielding Room)	No	Yes
5	ไม่มีความเสี่ยงเรื่องความเข้ากันได้ทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC/EMI)	No	Yes
6	ไม่มีความเสี่ยงเรื่องผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMF หน่วยเป็น Milligauss)	No	Yes

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีสื่อสารประเภทใช้สาย (Wired) มีคุณสมบัติที่เหมาะสมมากกว่าประเภทไร้สาย (Wireless) โดยทั้งสองจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกันคือสามารถสื่อสารได้แบบ 2 ทาง (Two Way Communication) เพื่อใช้รับส่งข้อมูลคำสั่งและสามารถส่งข้อมูลที่อัตราความเร็ว 100-1,000 bps ซึ่งเพียงพอสำหรับระบบจัดการพลังงานมีความต้องการส่งผ่านข้อมูลและคำสั่งต่างๆ ประมาณไม่เกิน 1,000 bps และสามารถส่งข้อมูลได้ในช่วงระยะทาง 1-30 M เนื่องจากบ้านพักอาศัยจะมีพื้นที่ใช้สอยไม่มากทำให้มีระยะการส่งข้อมูลประมาณไม่เกิน 30 เมตร และในส่วนที่แตกต่างกันคือ เรื่องการสื่อสารผ่านห้องที่ถูกกำบัง (Shielding Room) การสื่อสารประเภทไร้สายสัญญาณจะไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปได้ และยังมีเรื่องความเข้ากันได้ทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC/EMI) ปกติเครื่องใช้ไฟฟ้าจะมีการปล่อยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาหากไม่ได้ถูกออกแบบที่คำนึงถึงมาตรการนี้ ก็จะทำให้เกิดการกวนกันของอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งโดยทั่วไปแล้วอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกเครื่องจะต้องถูกตรวจเรื่องความเข้ากันได้ทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC/EMI) ก่อนออกวางจำหน่ายและเนื่องจากเทคโนโลยีสื่อสารประเภทไร้สายจะมีการแพร่คลื่นความถี่ออกมา ทำให้มีความเสี่ยงที่จะรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ มากกว่าเทคโนโลยีแบบใช้สาย สุดท้ายเรื่องผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Field: EMF หน่วยเป็น Milligauss) โดยเทคโนโลยีสื่อสารประเภทไร้สายจะมีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาในย่านความถี่ต่างๆ ตามมาตรฐานและเทคโนโลยีที่เลือกใช้ ซึ่งจะมีผลต่อสุขภาพหรือความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุปกรณ์และบริษัทผู้ผลิต ดังนั้นหากอุปกรณ์สื่อสารแบบไร้สายที่ผลิตไม่ได้มาตรฐานอาจจะเกิดความเสี่ยงเรื่องสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีผลต่อสุขภาพของผู้ใช้งานได้ จึงมีความเสี่ยงมากกว่าประเภทใช้สาย

ตารางที่ 2 การเลือกเทคโนโลยีสื่อสารแบบใช้สาย Wired สำหรับเครือข่าย HAN

No.	Description	Ethernet	UNB-PLC	BB-PLC	NB-PLC
1	ไม่ต้องติดตั้งโครงข่ายสายนำสัญญาณใหม่	No	Yes	Yes	Yes
2	มีอัตราส่งข้อมูลระหว่าง 100-1,000 bps	-	No	Yes	Yes
3	ประหยัดพลังงาน	-	-	No	Yes
4	ราคาอุปกรณ์ไม่แพง	-	-	No	Yes

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีสื่อสารชนิด Power Line Communication (PLC) มีคุณสมบัติที่เหมาะสมมากกว่าเทคโนโลยีสื่อสารชนิด Ethernet เพราะไม่ต้องติดตั้งโครงข่ายสายนำสัญญาณใหม่ การสื่อสารแบบ PLC สามารถใช้โครงข่ายสายไฟฟ้าเดิมเป็นสื่อกลางในการส่งข้อมูล แต่สำหรับแบบ Ethernet จะต้องติดตั้งสายชนิด CAT5, CAT6 หรือ Fiber Optic ระหว่างอุปกรณ์รับและส่งสัญญาณ และในกลุ่มของ PLC เทคโนโลยีสื่อสารแบบ Narrow Band Power Line Communication จะมีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะว่ามีอัตราส่งข้อมูลอยู่ระหว่าง 100-1,000 bps ส่วนชนิด UNB-PLC ก็จะต่ำเกินไปและยังประหยัดพลังงานมากกว่าชนิด BB-PLC ที่ส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่มากแต่เกินความจำเป็น และอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งทั้งโครงข่ายก็มีความซับซ้อนของเทคโนโลยีน้อยกว่าแบบ BB-PLC ทำให้อุปกรณ์รับส่งสัญญาณที่ผลิตออกมาจะมีราคาถูกกว่า ดังนั้น NB-PLC เหมาะที่จะใช้ในแอปพลิเคชันจัดการพลังงานในบ้านมากที่สุด

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาคุณสมบัติการสื่อสารข้อมูลของนวัตกรรมการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication) ที่เป็นไปตามมาตรฐานสากลกับโครงข่ายไฟฟ้าภายในบ้านและอาคารที่พักอาศัยที่ได้ติดตั้งไว้อยู่แล้วในสภาพแวดล้อมของประเทศไทย โดยงานวิจัยนี้จะจำลองรูปแบบและสถานการณ์ต่างๆ และกำหนดตัวแปรในการทดลอง แล้วทำการทดลองวัดผลการทดลอง จากตัวอย่างบ้านและอาคารที่พักอาศัยที่อยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร

1. การกำหนดตัวแปร

การวิจัยนี้ได้กำหนดตัวแปรที่จะใช้ในการทดลองอยู่ 3 เรื่องคือ อายุของโครงข่ายไฟฟ้าในบ้าน ระยะความยาวสายไฟฟ้า และการรบกวนจากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ที่อยู่ในเส้นทางของการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า เพื่อให้เห็นว่า ตัวแปรเหล่านี้มีผลกระทบกับเทคโนโลยีสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (PLC) หรือไม่ ดังนี้

1.1 อายุของโครงข่ายไฟฟ้าในบ้านและอาคารที่พักอาศัย

อายุการใช้งานของสายไฟฟ้า (life time) จะพบได้ตามข้อกำหนดและจากผู้ผลิตที่ระบุว่าสามารถใช้งานได้ 20 ปี และควรเปลี่ยนเมื่อสายไฟฟ้ามีอายุการใช้งานเกิน 30 ปีขึ้นไป ซึ่งสายไฟฟ้าที่มีอายุมากจะเกิดผลกระทบต่อคุณภาพของการสื่อสารได้จากสาเหตุของการเสื่อมสภาพของฉนวนไฟฟ้าซึ่งอาจทำให้เกิดการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้า (Leakage Current) จากสาย Line ไปยัง สาย Neutral หรือสาย PE (Protective Earth) ได้ ตามมาตรฐาน IEC 60364 ได้กำหนดค่าต่ำสุดของค่าความต้านทานฉนวนไว้ สำหรับระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ (Low Voltage) ที่แรงดันทดสอบ 500VDC ซึ่งเป็นขนาดแรงดัน 2 เท่าของแรงดันใช้งานจะต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 เมกะโอห์ม หากค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดแสดงว่าอุปกรณ์นั้นไม่มีความปลอดภัยในการใช้งานควรทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ โดยการทดลองจะกำหนดกลุ่มตัวอย่างตามช่วงอายุของบ้านเพื่อใช้แทนอายุของสายไฟฟ้าโดยมีรายละเอียดดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวแปรด้านอายุของโครงข่ายไฟฟ้าในบ้าน

No.	Life Time Period	Description	ความต้านทานฉนวน
1	1-15 ปี	เป็นช่วงอายุของสายไฟฟ้าใหม่	>220 MΩ
2	16-30 ปี	เป็นช่วงอายุของสายไฟฟ้าที่เกือบหมดอายุ	220-0.5 MΩ
3	31-45 ปี	เป็นช่วงอายุที่สายไฟฟ้าหมดอายุแล้ว	<0.5 MΩ

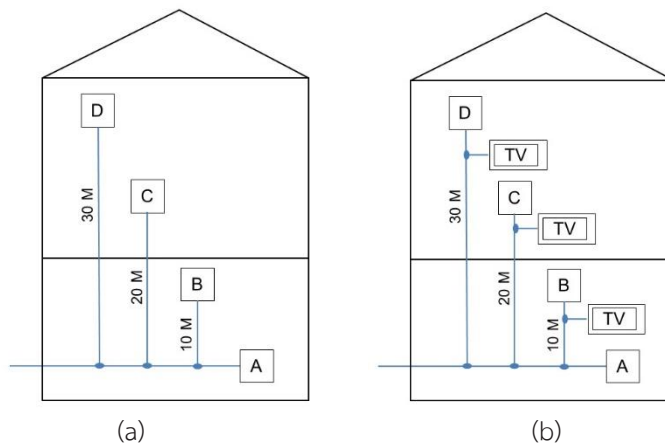
1.2 ระยะความยาวของสายไฟฟ้า

ระยะความยาวของสายไฟฟ้าที่ 30 เมตร จะถูกกำหนดให้เป็นความยาวสูงสุดของสายไฟฟ้าจากตู้ควบคุมระบบไฟฟ้า Consumer Unit ไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้านเดี่ยวส่วนใหญ่ในประเทศไทย และแบ่งความละเอียดของระยะสายในการทดลอง โดยให้เพิ่มความยาวทุกๆ 5 เมตร ซึ่งมีส่วนทำให้ระดับของสัญญาณต่ำลง เนื่องจากค่าของอิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะความยาวของสายตัวนำไฟฟ้าที่มากขึ้นและตามขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายตัวนำไฟฟ้าที่เล็กลง โดยการวิจัยนี้เน้นสภาพที่แท้จริงของสายตัวนำที่ติดตั้งอยู่ตามสภาพแวดล้อมจริงในสถานที่จริงจึงไม่สามารถที่จะกำหนดขนาดของสายตัวนำมาเป็นตัวแปรได้ เนื่องจากการออกแบบและติดตั้งของบ้านและอาคารแต่ละหลังนั้นได้เลือกใช้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้าไม่เท่ากัน จึงจะพิจารณาเพียงแค่ระยะความยาวของสายตัวนำเท่านั้น เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของระยะสายตัวนำไฟฟ้าภายในบ้านและอาคารที่พักอาศัย ดังนั้นการทดลองนี้จะกำหนดตัวอย่างในการทดลองเป็นระยะความยาวของสายไฟฟ้าดังนี้คือ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เมตรตามลำดับ

1.3 การรบกวนจากเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ภายในเส้นทางเดินของสัญญาณข้อมูล เพื่อให้เข้าใจข้อจำกัดของระบบสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า การส่งข้อมูลในขณะที่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายๆ ชนิดทำงานพร้อมกันก็น่าจะเป็นตัวแปรที่จะมีผลต่อคุณภาพของสัญญาณ ช่วยให้เข้าใจถึงปัญหาคุณภาพสัญญาณที่เกิดขึ้นได้และแยกประเภทของปัญหาได้ถูกต้องแม่นยำ ปัญหาประเภทนี้อาจเกิดได้จากหลายปัจจัย เช่นคุณภาพเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมในเรื่องของ EMC/EMI การเสื่อมสภาพของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้สร้างฮาร์มอนิกเข้ามาในระบบไฟฟ้า ในการทดลองนี้จำเป็นต้องควบคุมชนิดของโหลดที่ถูกเลือกมาเป็นตัวแปรของแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวน ให้เป็นตัวเดียวกัน โดยการทดลองนี้ได้เลือกใช้เครื่องโทรทัศน์สี LED TV ขนาด 24 นิ้ว และจะปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นขณะที่ทำการส่งข้อมูล และจะเปิดเพียงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนนี้เท่านั้นในเส้นทางเดินของสัญญาณ

2. รูปแบบโมเดลของการทดลอง

สำหรับการทดลองที่จะต้องทำในสถานที่จริงจำเป็นต้องกำหนดจุดติดตั้งชุดทดลองออกมาเป็นรูปแบบของโมเดลทดลองแสดงดังภาพที่ 2(a) ซึ่งจะใช้เป็นโมเดลการทดลอง (Woestyn, et al., 2017) ที่มีตัวแปรเฉพาะระยะความยาวของสายตัวนำไฟฟ้า ส่วนการทดลองที่ต้องเพิ่มตัวแปรที่เป็นสัญญาณรบกวนจากเครื่องใช้ไฟฟ้าก็จะทดลองตามรูปแบบของโมเดลทดลองตามภาพที่ 2(b) โดยการติดตั้งแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนให้อยู่ในเส้นทางเดินของสายสัญญาณข้อมูล



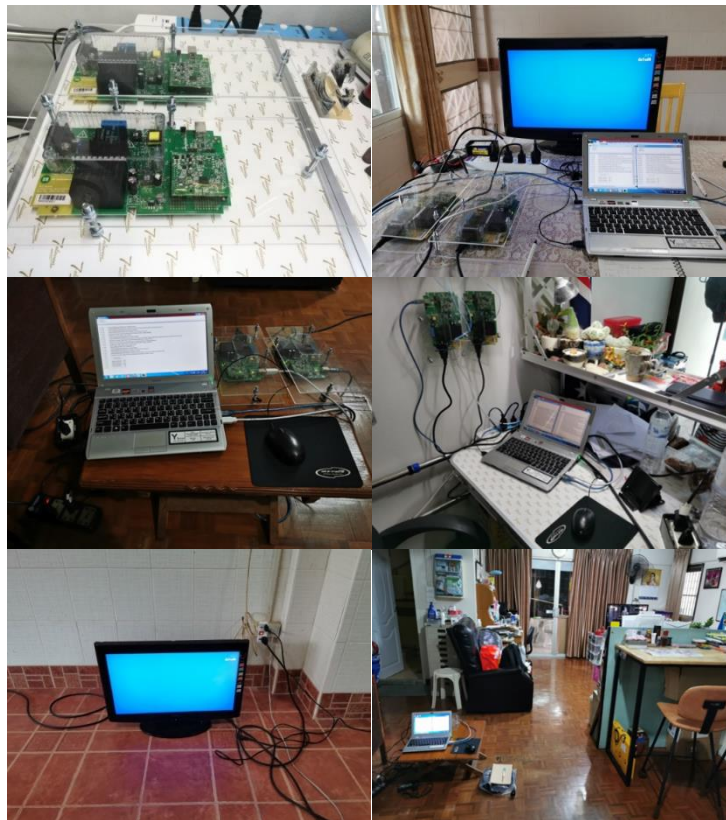
ภาพที่ 2 a) Experimental Model b) Experimental Model with Intrinsic Noise Source

3. วิธีการทดลอง

การทดลองนี้ได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่ม ตามช่วงอายุของบ้าน ซึ่งในแต่ละกลุ่มช่วงอายุ จะทำการทดลองและเก็บผลเป็นจำนวน 10 ตัวอย่างแล้วนำผลที่ได้ของแต่ละตัวอย่างมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการทดลองนี้จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ชุดทดสอบ (Woestyn, et al., 2017) ซึ่งประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Notebook) ซึ่งใช้เป็นอุปกรณ์ต้นทางและปลายทาง (Terminal) และ PLC Modem ที่ใช้ในการส่งข้อมูลหากัน โดยการป้อนคำสั่งไปยัง PLC Modem เพื่อทำการส่งข้อมูลเข้าผ่านสายไฟฟ้าในโครงข่ายไฟฟ้าในบ้าน โดยจะมีการติดตั้งชุดทดสอบทั้งสองฝั่งแสดงตามภาพที่ 3 และภาพที่ 4



ภาพที่ 3 PLC Testing Block Diagram



ภาพที่ 4 การติดตั้งชุดทดลองในบ้านตัวอย่าง

ทำการติดตั้งชุดทดลองตามภาพที่ 3 ภายในบ้านตัวอย่างโดยให้เป็นไปตามรูปแบบโมเดลการทดลองในรูปที่ 2 และก่อนเริ่มทำการทดลองแต่ละครั้งจะต้องตั้งค่าพารามิเตอร์ (Verschueren, 2016) ให้กับชุดทดลองตามตารางที่ 4 โดยการทดลองนี้จะใช้มาตรฐาน KNX PL110 ที่มีความถี่สเปซ (Space Frequency) $f_{sq} = 105.59$ kHz และความถี่มาร์ค (Mark Frequency) $f_{mq} = 115.19$ kHz และใช้ Baud Rate ของการส่งสัญญาณที่ค่า 2400 หลังการตั้งค่าพารามิเตอร์เสร็จแล้วให้ทำการทดลองและวัดค่าสัญญาณ และบันทึกผลตารางเก็บข้อมูล

ตารางที่ 4 The Parameters of the experiment

Standard	Space Frequency (f_{sq})	Mark Frequency (f_{mq})	Baud Rate
KNX PL110	105.59 kHz	115.19 kHz	2400

ผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้โมเด็มการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication Modem) ซึ่งจำเป็นต้องมีการมอดูเลตหรือร่ายงานผลด้วยตัวชี้วัดด้านคุณภาพและความแรงของสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้านี้ ดังนั้นบอร์ดที่ใช้ทำการทดลอง ON PL110 (Verschueren, 2016) จึงได้จัดให้มีการแสดงผลข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวชี้วัดด้านคุณภาพและความแรงของสัญญาณที่ได้ถูกส่งและรับในการทดลอง โดยที่ข้อมูลจะเกิดขึ้นหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการสื่อสาร ซึ่งจะประกอบไปด้วยระดับสัญญาณและระดับสัญญาณรบกวน (Signal and Noise Levels) โดยที่ระดับสัญญาณเหล่านี้ถูกทำออกมาต่อความถี่พาห์และถูกประมาณการจากการคำนวณค่าพลังงานที่ออกมาจากสัญญาณการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าที่ภาคอินพุตของโมเด็ม

การคำนวณค่าพลังงานนั้นจะทำโดยซอฟต์แวร์ที่ถูกฝังไว้ในโมเด็มการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Embedded Software) ซึ่งซอฟต์แวร์จะคำนวณค่าของสัญญาณอินพุตที่ภาครับของโมเด็ม ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ Space ($\square$) และ Mark ($\square$) ตามลำดับ โดยค่าพลังงานทั้งสองที่คำนวณได้คือ ผลรวมของกำลังสองของส่วนประกอบของสัญญาณ In-phase และ Quadrature phase ดังแสดงตามสมการนี้

$$E_S = \sqrt{I_S^2 + Q_S^2} \quad (1)$$

$$E_M = \sqrt{I_M^2 + Q_M^2} \quad (2)$$

เมื่อเฟส $\square(t)$ เป็นสัญญาณอินพุต ส่วนประกอบของเฟสสำหรับความถี่สเปซ จะคำนวณได้ดังนี้

$$I_S = \sin(2\pi f_S t) \cdot \cos(\square(t)) \quad (3)$$

$$Q_S = \cos(2\pi f_S t) \cdot \sin(\square(t)) \quad (4)$$

และการคำนวณสำหรับความถี่มาร์ค ก็จะคล้ายกันดังนี้

$$I_M = \sin(2\pi f_M t) \cdot \cos(\square(t)) \quad (5)$$

$$Q_M = \cos(2\pi f_M t) \cdot \sin(\square(t)) \quad (6)$$

ดังนั้นในการทดลองจะได้สัญญาณประเภทดิจิทัลที่เข้ามาทางอินพุตที่ภาครับสัญญาณของ PLC Modem ซึ่งจะมีข้อมูลค่าพลังงานอยู่ 14 บิต โดยค่าพลังงานเหล่านี้จะไม่มีหน่วยทางกายภาพแสดง

1. ปัจจัยด้านอายุการใช้งานของสายไฟฟ้าภายในบ้านในสภาวะปกติที่ไม่มีโหลด

การทดลองส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าภายในบ้านที่มีอายุการก่อสร้างแตกต่างกันโดยแบ่งไว้ 3 ช่วงอายุ ดังนี้ คือช่วง 1-15 ปี, 16-30 ปี และ 31-45 ปี ตามลำดับ โดยการทดลองเริ่มที่ระยะ 0 เมตรของบ้านทุกช่วงอายุและเพิ่มความยาวของสายไฟฟ้าครั้งละ 5 เมตร คือ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 เมตรตามลำดับ ในขณะที่ทดลองให้บันทึกค่าระดับสัญญาณที่วัดได้เก็บไว้เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบ โดยได้นำค่าสัญญาณมาสรุปเปรียบเทียบไว้ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งจะพบว่าที่ระยะเริ่มต้น 0 เมตร ระดับของสัญญาณจะเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 9,160 และเมื่อเพิ่มระยะของสายไฟฟ้ามากขึ้น ระดับของสัญญาณก็จะลดลง แต่การลดลงของระดับสัญญาณของบ้านแต่ละช่วงอายุก็จะมีค่าแตกต่างกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์จะพบว่าปัจจัยด้านอายุการใช้งานของสายไฟฟ้าภายในบ้านมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า โดยสายไฟฟ้าที่มีอายุการใช้งานมานานระดับสัญญาณก็จะมีอัตราการลดลงมากกว่าสายไฟฟ้าที่มีอายุการใช้งานน้อยกว่า แม้ว่าจะยังไม่มีการเปิดใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าใดๆ แสดงไว้ในกราฟเปรียบเทียบระดับของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามภาพที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงระดับสัญญาณการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าในสภาวะปกติที่ไม่มีโหลด

Power Cable Length (Meter)	Age of Power Cable		
	1-15 Years	16-30 Years	31-45 Years
0	9,144	9,100	9,236
5	9,145	9,120	7,774
10	8,957	8,135	7,485
15	8,934	7,781	5,116
20	8,792	7,625	5,414
25	8,428	7,650	5,544
30	8,213	7,517	2,366
Average	8,802	8,132	6,133

หมายเหตุ ในการทดลองจะได้สัญญาณประเภทดิจิทัลที่เข้ามาทางอินพุตที่ภาครับสัญญาณของ PLC Modem หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการรับส่งสัญญาณ ซึ่งจะใช้ซอฟต์แวร์ที่ถูกฝังไว้ในโมเด็มคำนวณค่าระดับพลังงานออกตามสมการที่ 1-6 ดังนั้นค่าระดับสัญญาณที่ได้นี้จะไม่มีหน่วยทางกายภาพแสดงลงในตารางและกราฟ

ผลการวิเคราะห์พบว่า สายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 1-15 ปี จะมีระดับสัญญาณเฉลี่ยสูงที่สุดคือที่ 8,802 และมีอัตราการลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อระยะของสายเพิ่มมากขึ้น และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าถดถอยด้วยสมการ Regression ก็จะได้เส้นแนวโน้มที่ใช้ในการพยากรณ์ระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 1-15 ปี $S_{(1-15Y)}$ ที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าในระยะความยาวสาย L ใดๆ แสดงดังสมการที่ 7

$$S_{(1-15Y)} = (-31.38 \times L) + 9,272.20 \quad (7)$$

และในส่วนของสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 16-30 ปี จะมีระดับสัญญาณเฉลี่ยอยู่ที่ 8,132 ซึ่งน้อยกว่าสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 1-15 ปี แต่ยังมีอัตราการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 1-15 ปี และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าถดถอยด้วยสมการ Regression ก็จะได้เส้นแนวโน้มที่ใช้ในการพยากรณ์ระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 16-30 ปี $S_{(16-30Y)}$ ที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าในระยะความยาวสาย L ใดๆ แสดงดังสมการที่ 8

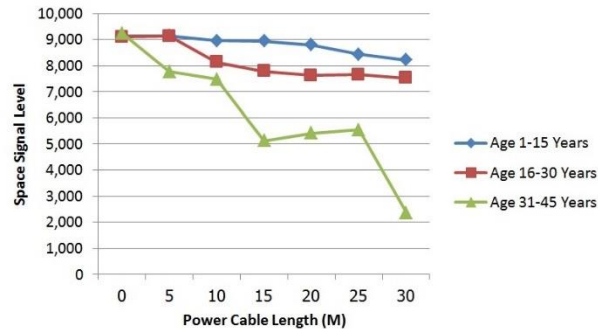
$$S_{(16-30Y)} = (-58.56 \times L) + 9,010.71 \quad (8)$$

และสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 31-45 ปี จะมีระดับสัญญาณเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ 6,133 ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณลดลงอย่างมากตามระยะของสายที่เพิ่มมากขึ้น โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงจะแสดงได้จากการวิเคราะห์ค่าถดถอยด้วยสมการ Regression โดยจะได้เส้นแนวโน้มที่ใช้ในการพยากรณ์ระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 31-45 ปี $S_{(31-45Y)}$ ที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าในระยะความยาวสาย L ใดๆ แสดงดังสมการที่ 9

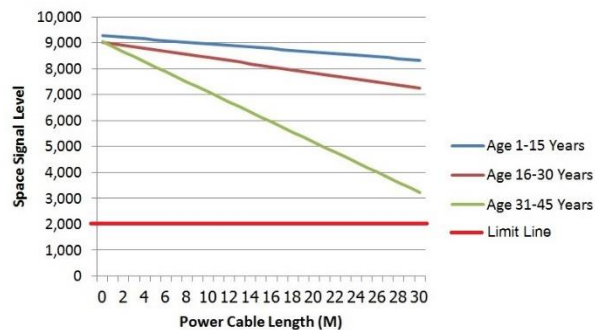
$$S_{(31-45Y)} = (-193.87 \times L) + 9,041.36 \quad (9)$$

ดังนั้นความสามารถในการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าของบ้านที่มีอายุแตกต่างกันจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของสายไฟฟ้า และหากระดับของสัญญาณลดลงเหลือน้อยกว่า 2,000 ก็จะมีโอกาสที่การส่งและ

รับข้อมูลนั้นจะล้มเหลว โดยสามารถวิเคราะห์และวางแผนการออกแบบระบบได้จากข้อมูลและเส้นแนวโน้มที่พยากรณ์ระดับของสัญญาณไว้ ตามภาพที่ 6



ภาพที่ 5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าตามช่วงอายุการใช้งาน



ภาพที่ 6 กราฟพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าตามช่วงอายุการใช้งาน

2. ปัจจัยด้านอายุการใช้งานของสายไฟฟ้าภายในบ้านในสถานะที่มีโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้าทำงาน

การทดลองส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าภายในบ้านที่มีอายุการก่อสร้างแตกต่างกันโดยแบ่งไว้ 3 ช่วงอายุ ดังนี้คือช่วง 1-15 ปี, 16-30 ปี และ 31-45 ปี ตามลำดับ และในทุกๆ ระยะความยาวของสายไฟฟ้าจะมีการเปิดใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกใช้เครื่องโทรทัศน์ โดยการทดลองเริ่มที่ระยะ 0 เมตรของบ้านทุกช่วงอายุและเพิ่มความยาวของสายไฟฟ้าครั้งละ 5 เมตร คือ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 เมตรตามลำดับ ในขณะที่ทดลองให้บันทึกค่าระดับสัญญาณที่วัดได้เก็บไว้เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบ โดยได้นำค่าสัญญาณมาสรุปเปรียบเทียบไว้ดังแสดงในตารางที่ 6 ซึ่งจะพบว่าที่ระยะเริ่มต้น 0 เมตร ระดับของสัญญาณจะเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 9,200 และเมื่อเพิ่มระยะของสายไฟฟ้ามากขึ้น ระดับของสัญญาณก็จะลดลง แต่การลดลงของระดับสัญญาณของบ้านแต่ละช่วงอายุก็มีความแตกต่างกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์จะพบว่าปัจจัยด้านอายุการใช้งานของสายไฟฟ้าภายในบ้านมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า โดยสายไฟฟ้าที่มีอายุการใช้งานนานระดับสัญญาณก็จะมีอัตราการลดลงมากกว่าสายไฟฟ้าที่มีอายุการใช้งานน้อยกว่า แสดงไว้ในกราฟเปรียบเทียบระดับของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามภาพที่ 7

ตารางที่ 6 แสดงระดับสัญญาณการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าในสภาวะมีโหลด

Power Cable Length (Meter)	Age of Power Cable		
	1-15 Years	16-30 Years	31-45 Years
0	9,167	9,151	9,282
5	9,086	9,179	8,366
10	8,900	8,058	5,537
15	8,821	7,562	4,836
20	8,577	7,678	4,761
25	8,382	7,748	5,664
30	8,172	7,239	2,059
Average	8,729	8,088	5,786

หมายเหตุ ในการทดลองจะได้สัญญาณประเภทดิจิทัลที่เข้ามาทางอินพุตที่ภาครับสัญญาณของ PLC Modem หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการรับส่งสัญญาณ ซึ่งจะใช้ซอฟต์แวร์ที่ถูกฝังไว้ในโมเด็มคำนวณค่าระดับพลังงานออกมาตามสมการที่ 1-6 ดังนั้นค่าระดับสัญญาณที่ได้นี้จะไม่มีหน่วยทางกายภาพแสดงลงในตารางและกราฟ

ผลการวิเคราะห์พบว่า สายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 1-15 ปี จะมีระดับสัญญาณเฉลี่ยสูงที่สุดคือที่ 8,729 และมีอัตราการลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อระยะของสายเพิ่มมากขึ้น และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าถดถอยด้วยสมการ Regression ก็จะได้เส้นแนวโน้มที่ไว้ใช้ในการพยากรณ์ระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 1-15 ปี $S_{(1-15Y)}$ ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าในระยะความยาวสาย L ใดๆ แสดงดังสมการที่ 10

$$S_{(1-15Y)} = (-33.69 \times L) + 9,234.41 \quad (10)$$

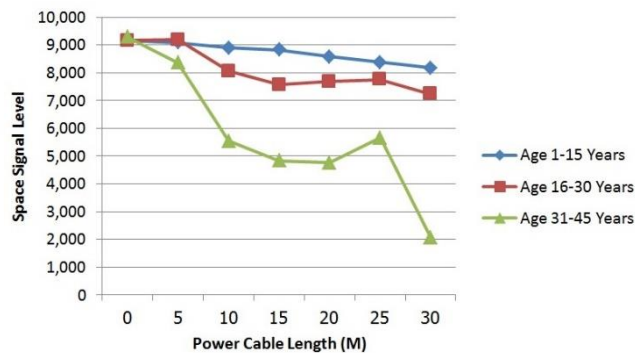
และในส่วนของสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 16-30 ปี จะมีระดับสัญญาณเฉลี่ยอยู่ที่ 8,088 ซึ่งน้อยกว่าสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 1-15 ปี แต่ยังมีอัตราการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 1-15 ปี และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าถดถอยด้วยสมการ Regression ก็จะได้เส้นแนวโน้มที่ไว้ใช้ในการพยากรณ์ระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 16-30 ปี $S_{(16-30Y)}$ ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าในระยะความยาวสาย L ใดๆ แสดงดังสมการที่ 11

$$S_{(16-30Y)} = (-64.14 \times L) + 9,049.54 \quad (11)$$

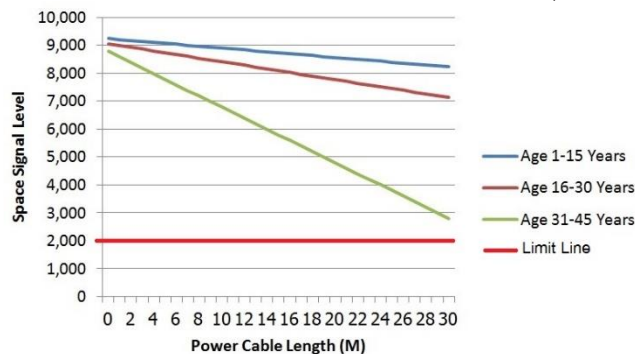
และสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 31-45 ปี จะมีระดับสัญญาณเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ 5,786 ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณลดลงอย่างมากตามระยะของสายที่เพิ่มมากขึ้น โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงจะแสดงได้จากการวิเคราะห์ค่าถดถอยด้วยสมการ Regression โดยจะได้เส้นแนวโน้มที่ไว้ใช้ในการพยากรณ์ระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าที่มีอายุระหว่าง 31-45 ปี $S_{(31-45Y)}$ ที่เกิดขึ้นเมื่อมีการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าในระยะความยาวสาย L ใดๆ แสดงดังสมการที่ 12

$$S_{(31-45Y)} = (-198.92 \times L) + 8,770.05 \quad (12)$$

ดังนั้นความสามารถในการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าของบ้านที่มีอายุแตกต่างกันจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของสายไฟฟ้า และหากระดับของสัญญาณลดลงเหลือน้อยกว่า 2,000 ก็จะมีโอกาสที่การส่งและรับข้อมูลนั้นจะล้มเหลว โดยสามารถวิเคราะห์และวางแผนการออกแบบระบบได้จากข้อมูลและเส้นแนวโน้มที่พยากรณ์ระดับของสัญญาณไว้ตามภาพที่ 8



ภาพที่ 7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าตามช่วงอายุการใช้งานกรณีมีโหลดทำงาน



ภาพที่ 8 กราฟพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าตามช่วงอายุการใช้งานกรณีมีโหลดทำงาน

3. พิสูจน์ผลการทดลองและสมการพยากรณ์ระดับสัญญาณของสายไฟฟ้า

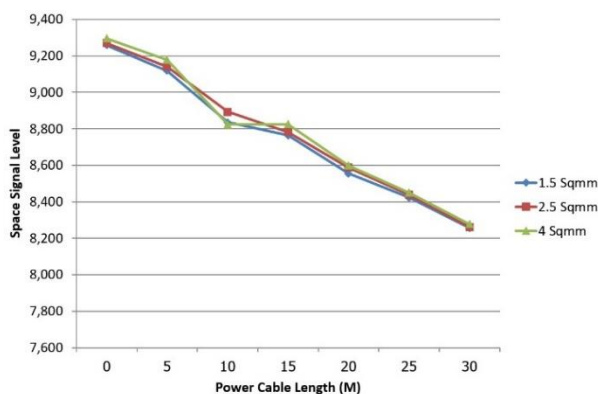
งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในสถานที่จริง ไม่สามารถกำหนดตัวแปรควบคุมที่สำคัญที่มีผลต่อค่าอิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้าได้ เช่น ขนาดของสายไฟ, การติดตั้ง, สภาพการใช้งาน และข้อมูลจำเพาะของสาย เนื่องจากเป็นตัวแปรที่อยู่ในสภาพแวดล้อมจริงและมีการออกแบบและติดตั้งไว้หลากหลายรูปแบบและหลากหลายคุณภาพ รวมถึงทุกบ้านไม่มีแบบของระบบไฟฟ้าไว้ใช้อ้างอิงได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการพิสูจน์ความถูกต้องของผลการทดลองและสมการพยากรณ์ระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าที่ได้สร้างขึ้นมานี้ จึงทำการทดลองกับสายไฟฟ้าใหม่ที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำที่แตกต่างกันดังนี้คือ 1.5, 2.5 และ 4 ตารางมิลลิเมตรเพราะว่าทั้งสามขนาดนี้ถูกใช้งานในระบบไฟฟ้าภายในบ้านเป็นส่วนใหญ่ โดยได้นำผลค่าสัญญาณมาสรุปเปรียบเทียบไว้ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงระดับสัญญาณการส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า(สภาพใหม่) ในสถานะไม่มีโหลด

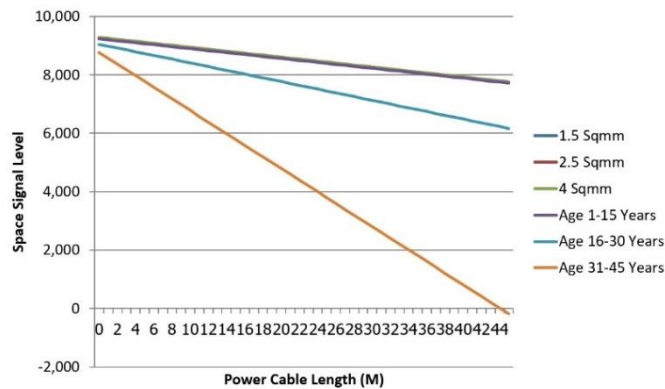
Power Cable Length (Meter)	Cross-sectional area of copper wire		
	1.5 mm ²	2.5 mm ²	4 mm ²
0	9258	9270	9296
5	9119	9142	9178
10	8836	8893	8824
15	8764	8783	8826
20	8555	8588	8599
25	8423	8439	8450
30	8256	8262	8278
Average	8744	8768	8778

หมายเหตุ ในการทดลองจะได้สัญญาณประเภทดิจิทัลที่เข้ามาทางอินพุตที่ภาครับสัญญาณของ PLC Modem หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการรับส่งสัญญาณ ซึ่งจะใช้ซอฟต์แวร์ที่ถูกฝังไว้ในโมเด็มคำนวณค่าระดับพลังงานออกมาตามสมการที่ 1-6 ดังนั้นค่าระดับสัญญาณที่ได้นี้จะไม่มีหน่วยทางกายภาพแสดงลงในตารางและกราฟ

จากการทดลองจะเห็นว่า สายไฟฟ้าใหม่ทั้ง 3 ขนาดมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณตามระยะความยาวของสายไฟฟ้า แสดงตามรูป 10 ซึ่งระดับของสัญญาณในทุกๆ ช่วงความยาวของสายไฟฟ้าของแต่ละขนาดมีความใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าถดถอยด้วยสมการ Regression ก็จะได้เส้นแนวโน้มของระดับสัญญาณของสายไฟฟ้า โดยพบว่าเมื่ออัตราการลดลงของระดับสัญญาณต่างกันเพียงเล็กน้อยไม่เกิน 2% และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าในบ้านกลุ่มที่มีอายุระหว่าง 1-15 ปี พบว่าเส้นแนวโน้มของระดับสัญญาณจะอยู่ในแนวองศาเดียวกัน แสดงตามภาพที่ 9 และภาพที่ 10 จากการพิสูจน์นี้พบว่าขนาดของสายไฟฟ้ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณน้อยมากหรือเป็นตัวแปรที่ไม่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ



ภาพที่ 9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าตามขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ



ภาพที่ 10 กราฟเปรียบเทียบเส้นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณของสายไฟฟ้าระหว่างเส้นตามขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำและเส้นตามช่วงอายุการใช้งาน

อภิปรายผล

เพื่อให้มีแนวทางในการออกแบบระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้านบนพื้นฐานของโครงข่ายไฟฟ้าแบบดั้งเดิมที่ติดตั้งไว้ก่อนแล้วตามสภาพแวดล้อมของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาเฉพาะในส่วนของการจัดการพลังงานในบ้าน (Home Energy Management System) ที่ปฏิบัติการอยู่บนเครือข่ายในเขตบ้าน (Home Area Network) สำหรับสื่อสารข้อมูลและควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่อยู่ภายในโครงข่าย ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเรื่องมาตรฐานและเทคโนโลยีสื่อสารต่างๆ แล้วนำมาเปรียบเทียบคุณสมบัติที่เหมาะสมกับแอปพลิเคชันนี้ จนได้เทคโนโลยีสื่อสารที่เหมาะสมชนิดหนึ่งคือ เทคโนโลยีสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าแบบย่านความถี่แคบ (Narrow Band Power Line Communication) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกเลือกมาใช้งานกับระบบบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) สำหรับประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Ronnie D. Caytiles และ Sunguk Lee. (2015, pp.251-258) ที่ได้อภิปรายไว้ว่า เทคโนโลยี NB-PLC เหมาะสมที่จะใช้งานกับโครงข่ายสมาร์ทไมโครกริด และกับแอปพลิเคชันสมาร์ทต่างๆ และงานวิจัยของ Derya Betul Unsal และ Tankut Yalcinoz. (2015, pp.168-178) ก็สรุปไว้ว่าการสื่อสารแบบใช้สายด้วยเทคโนโลยี PLC มีข้อดีหลายอย่างเช่น มีต้นทุนที่ต่ำต่อการลงทุน ใช้ได้ดีกับโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ ครอบคลุมกว้างขวาง มีความจุสูง และมีความปลอดภัย และได้ศึกษาทดลองคุณสมบัติต่างๆ ของเทคโนโลยี NB-PLC กับโครงข่ายไฟฟ้าในบ้านในประเทศไทย โดยให้ความสำคัญกับตัวแปรด้านอายุการใช้งานของสายไฟฟ้าที่ถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ 1-15 ปี แทนช่วงอายุของสายไฟฟ้าใหม่, 16-30 ปี แทนช่วงอายุของสายไฟฟ้าที่เกือบหมดอายุ และ 31-45 ปี เป็นช่วงอายุที่สายไฟฟ้าหมดอายุแล้ว และตัวแปรด้านความยาวของสายไฟฟ้าที่มีระยะตั้งแต่ 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เมตร ซึ่งเป็นความยาวของสายไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านทั่วไป และผลกระทบจากการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าข้างเคียงโดยการทดลองนี้ได้เลือกใช้เครื่องโทรทัศน์สี LED TV ขนาด 24 นิ้ว จากการศึกษาทดลองพบว่าระดับของสัญญาณจะลดต่ำลงเมื่อความยาวของสายไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นและมีอัตราการลดลงของสัญญาณเปลี่ยนแปลงตามอายุการใช้งานของสายไฟฟ้า โดยเมื่อเปรียบเทียบอัตราการลดลงของระดับสัญญาณระหว่างสายไฟฟ้าที่มีอายุช่วง 1-15 ปี และ 16-30 ปี พบว่ามีอัตราการลดลงเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 46.95%, ระหว่างช่วง 16-30 ปี และ 30-45 ปี พบว่ามีอัตราการลดลงเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 68.78% และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วง 1-15 ปี และ 31-45 ปี พบว่ามีอัตราการลดลงเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอย่างมากเฉลี่ยอยู่ที่ 83.44% อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของ

ฉนวนสายไฟฟ้าโดยสายไฟฟ้าใหม่จะมีค่าความต้านทานฉนวนมากกว่า 220 เมกกะโอห์ม สายไฟฟ้าที่เกือบเสื่อมสภาพจะอยู่ในช่วง 0.5-220 เมกกะโอห์มและสายไฟฟ้าที่หมดอายุแล้วจะต่ำกว่า 0.5 เมกกะโอห์มและผลการทดลองยังได้แสดงให้เห็นอีกว่าขนาดของสายไฟฟ้าและการเปิดใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้ามีผลต่อการลดลงของระดับสัญญาณน้อยมากโดยเฉลี่ยระดับของสัญญาณจะต่างกันไม่เกิน 2% และ 6% ตามลำดับ โดยข้อมูลจากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปเป็นแนวคิดพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีสมาร์ตกริดในประเทศไทยได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในสถานที่จริง ซึ่งเป็นบ้านพักอาศัยที่อยู่ในเขตจังหวัดกรุงเทพมหานคร คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าของบ้านทุกหลังที่อนุญาตให้ทำการทดลอง และยังให้ความสะดวกในการที่เข้าไปติดตั้งอุปกรณ์ทดลองในห้องต่างๆ ทว่าทั้งบ้านช่วยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

Reference

- Claytiles, D.R. & Lee, S. (2015). A Survey of Recent Power Line Communication Technologies for Smart Micro Grid. **International Journal of Software Engineering and Its Applications**, 9(12), 251-258.
- Pisapan, P., et al. (2018). Principle of Power Line Communications for Home Energy Management System of Smart Grid Technology in Thailand. **Journal of Renewable Energy and Smart Grid Technology**, 13(1), 102-113.
- Bush, F.S. (2014). **Smart Grid Communication-Enabled Intelligence for the Electric Power Grid**. West Sussex : IEEE Press, John Wiley and Sons.
- Hossain, E., Han, Z. & Poor H.V. (2012). **Smart Grid Communications and Networking**. Cambridge : Cambridge University Press.
- Teng-amnuay, Y. (2015). **Energy Management System HEMS, BEMS, FEMS, CEMS and Renewable Energy**. [Online]. Available : http://www.pointthai.net/index.php?title=Main_Page [2016, August 12].
- Unsal, B.D. & Yalcinoz, T. (2015). Applications of New Power Line Communication Model for Smart Grids. **International Journal of Computer and Electrical Engineering**, 7, 168-178.
- Berger, T.L., Schwager, A. & Garzás, E.J.J. (2012). **Power Line Communications for Smart Grid Applications**. [Online], Available : <http://dx.doi.org/10.1155/2013/712376>. [2017, October 22].
- Atayero, A.A., Alatishe, A.A. & Ivanov, A.Y. (2012). Power Line Communication Technologies : Modeling and Simulation of PRIME Physical Layer, **Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science**, 24-26 October 2012, San Francisco : WCECS 2012.
- Galli, S., Scaglione, A. & Wang, Z. (2011). For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid, **Proceedings of the IEEE**, June 2011, (pp. 998-1027).
- Iniewski, K. (2013). **Smart Grid Infrastructure and Networking**, New York : McGraw-Hill.
- Woestyn, P., Vangev, A. & Cox, P. (2017). **Evaluation Kit for Power Line Communication User's Manual**, Arizona : ON Semiconductor.
- Verschueren, M. (2016). **ON PL110 Stack User Manual**, Arizona : ON Semiconductor.