

การศึกษาเปรียบเทียบเชิงความเชื่อถือได้และความสามารถในการเชื่อมต่อของโครงข่ายสื่อสารสำหรับการทำงานของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก: กรณีศึกษาอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน

วิศรา อาสน์สถิตย์^{1,*}, ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร² และ แนนบุญ หุนเจริญ²

¹ สหสาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Email: reindeerenator@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการศึกษาเชิงเปรียบเทียบโครงข่ายสื่อสารเพื่อการใช้งานสำหรับโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งใช้พื้นที่ในเขตอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเป็นกรณีศึกษา การเปรียบเทียบรูปแบบโครงข่ายสื่อสารพื้นฐาน ได้แก่ แบบวงแหวน (Ring Topology) และแบบดาว (Star Topology) จะนำมาพิจารณาสถานะการเชื่อมต่อ (Connectivity) ในการส่งผ่านข้อมูลโดยใช้วิธี Monte Carlo ซึ่งอาศัยค่าความเชื่อถือได้ (Reliability) จากการคำนวณด้วยวิธีการเพิ่มเข้า-ตัดออก (Inclusion-Exclusion) ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้โครงข่ายแบบวงแหวนเพื่อการใช้งานสำหรับโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กในเขตอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน จะทำให้สถานะการเชื่อมต่อเพื่อส่งผ่านข้อมูลภายในโครงข่ายสื่อสารอยู่ที่ประมาณร้อยละ 97 เมื่อเทียบกับโครงข่ายแบบดาวซึ่งได้เพียงร้อยละ 70 ผลที่ได้จะนำไปพิจารณาประกอบกับการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อใช้ในการตัดสินใจดำเนินการต่อไป

คำสืบค้น

ไมโครกริด, ความเชื่อถือได้ของโครงข่ายสื่อสาร, การเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสาร

Comparative study on Reliability and Connectivity of Communication Network for Microgrid Operation: Muang Mae Hong Son District Case Study

Waritsara Artsatit^{1,}, Chaiyachet Saivichit² and Naebboon Hoonchareon*

*¹Energy Technology and Management, Graduate School – Interdisciplinary Program.
Chulalongkorn University.*

*²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering.
Chulalongkorn University.*

**Email: reindeerenator@gmail.com*

ABSTRACT

This research proposes a comparative study of communication network topologies which is used for microgrid in Muang Mae Hong Son district, as a case study. The basic network topologies, Ring topology and Star topology have been considered. The average of network connectivity was derived based on reliability Inclusion-Exclusion computation using Monte Carlo modeling. The result showed that connectivity for data transmission in Mae Hong Son microgrids using ring topology and star topology were 97% and 70%, respectively. This difference in connectivity for data transmission shall be used as one of the design factors along with economic cost benefit assessment for further design consideration.

KEYWORDS

Microgrid, Reliability of Communication Network, Connectivity of Communication Network

1. บทนำ

แนวความคิดการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าที่มาจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy Resources) หรือที่เรียกว่าแนวคิดไมโครกริด (Microgrid Concept) ถูกนำเสนอภายใต้โครงการ CERTS (Consortium for Electric Reliability Technology Solutions) ในสหรัฐอเมริกา ในปี 2003 โดยจัดให้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก แหล่งให้พลังงานความร้อน และโหลดภายในพื้นที่นั้น ๆ ถูกมองรวมเป็นระบบอิสระหรือระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กระบบหนึ่งซึ่งอยู่ภายใต้ระบบควบคุม ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ไมโครกริดจะสามารถปลดตัวเองออกมาจากระบบไฟฟ้ากำลังหลักเพื่อทำงานในระบบแยกโดด กล่าวคือ การผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดภายในพื้นที่ได้อย่างมีเสถียรภาพ และสามารถเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลังหลักหลังจากความผิดปกติได้รับการแก้ไขแล้ว การควบคุมการผลิตและการส่งจ่ายไฟฟ้าที่มีความยืดหยุ่นเช่นนี้จะสามารถตอบสนองความต้องการไฟฟ้าภายในพื้นที่ ทั้งในแง่ความเชื่อถือได้และความมั่นคงในระบบไฟฟ้า [1]

ไมโครกริดต้องอาศัยโครงข่ายสื่อสารเพื่อทำหน้าที่รับส่งข้อมูลทางไฟฟ้า เพื่อให้การดำเนินการควบคุมทั้งด้านการผลิตและความต้องการใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างสมดุล รูปแบบโครงข่ายต่าง ๆ เช่น โครงข่ายแบบวงแหวน (Ring Topology) โครงข่ายแบบดาว (Star Topology) มักจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบโครงข่ายสื่อสาร ตัวอย่างโครงข่ายสื่อสารที่นำมาใช้ในไมโครกริดในต่างประเทศ เช่น ในโครงการฮาซิโนเฮะ ประเทศญี่ปุ่น ใช้โครงข่ายแบบวงแหวนร่วมกับโครงข่ายแบบดาวในการส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง การตรวจสอบการทำงานของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศเกาหลี เลือกใช้การเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด (Point to point) เป็นต้น [2]

ในประเทศไทยมีโครงการศึกษาวิจัยเพื่อนำระบบไมโครกริดเข้ามาบริหารจัดการระบบไฟฟ้า โดยใช้พื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นพื้นที่การศึกษา การจำลองไมโครกริดในงานวิจัยนี้จะใช้เป็นระบบทดสอบโดยอ้างอิงจากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า รวมไปถึงสถานที่ซึ่งเป็นเป้าหมายสำหรับการจัดทำอาคารที่มีระบบการจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System หรือ BEMS) ที่อยู่ในเขตอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน [3] งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปยังการออกแบบเพื่อจัดทำเส้นทางข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมไมโครกริด โดยการนำโครงข่ายแบบวงแหวนและแบบดาวมาใช้ งานวิจัยนี้กำหนดให้ใช้พื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ต.ปางหมู อ.เมือง จ.แม่ฮ่องสอน เป็นที่ตั้งของศูนย์ควบคุมไมโครกริด

โครงข่ายสื่อสารที่ออกแบบจะถูกพิจารณาสภาวะการเชื่อมต่อของโครงข่ายสื่อสารภายในไมโครกริด โดยใช้ค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลของโครงข่ายโดยใช้หลักการเพิ่มเข้า-ตัดออก (Inclusion-Exclusion) [4] ผลที่ได้จากการพิจารณาสภาวะการเชื่อมต่อของโครงข่ายสื่อสารจะถูกนำไปประเมินรูปแบบโครงข่ายสื่อสาร เพื่อนำไปใช้งานสำหรับระบบไมโครกริดและสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกโครงข่ายสื่อสารที่เหมาะสม สำหรับไมโครกริดในพื้นที่อื่น ๆ ภายในประเทศได้

บทความนี้นำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการออกแบบโครงข่ายสื่อสารสำหรับไมโครกริด การคัดเลือกสถานที่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อใช้เป็นพื้นที่อ้างอิงสำหรับไมโครกริด การออกแบบโครงข่ายสื่อสารโดยใช้โครงข่ายแบบวงแหวนและแบบดาว รวมไปถึงผลการคำนวณค่าความเชื่อถือได้และการคำนวณสภาวะเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสาร

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไมโครกริด

ไมโครกริดเป็นระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงาน และโหลดทางไฟฟ้าซึ่งกระจายอยู่ภายในพื้นที่ แนวความคิดเกี่ยวกับไมโครกริดได้รับการศึกษาวิจัยในหลายประเทศ เพราะเป็นระบบไฟฟ้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานลม เป็นต้น เป็นที่คาดการณ์ว่าไมโครกริดจะได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว หรือ Distributed Energy Resource (DER) จะเพิ่มขึ้นในอนาคต [1], [5], [6] นอกจากนี้ ไมโครกริดก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น การลดต้นทุนในการสำรองกำลังไฟฟ้าในกรณีจำเป็นที่ต้องสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ ส่งเสริมการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน รวมไปถึงสามารถวางแผนบริหารจัดการระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง และจำกัดวงของพื้นที่ให้บริการ จึงไม่กระทบต่อการใช้ไฟฟ้าโดยรวม [7]

ระบบการจัดการพลังงานเป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบที่สำคัญในไมโครกริด ทำหน้าที่ควบคุมการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเชื่อมต่อแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้า แหล่งผลิตไฟฟ้า รวมไปถึงระบบไฟฟ้ากำลังหลักเข้ากับไมโครกริด เพื่อให้การควบคุมทางด้านไฟฟ้า หรือพลังงานอื่น ๆ ภายในไมโครกริดเป็นไปอย่างสมดุล ข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตและการใช้ไฟฟ้าจากโหลดต่าง ๆ หรือแม้แต่คำสั่งจากศูนย์ควบคุมจะถูกส่งผ่านโดยใช้โครงข่ายสื่อสารที่อยู่ภายในไมโครกริด โดยใช้การสื่อสารแบบสองทิศทาง (Two ways communication) ซึ่งเชื่อมระหว่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้า โหลด และศูนย์ควบคุม

2.2 โครงข่ายสื่อสารข้อมูลสำหรับระบบไฟฟ้าสมาร์ตกริด

การศึกษาแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังและระบบสื่อสารสำหรับสมาร์ตกริดในงานวิจัย [8] ได้เสนอทางเลือกของเทคโนโลยีด้านการสื่อสารเอาไว้ทั้งประเภทมีสายและประเภทไร้สาย โดยงานวิจัยมีการสนับสนุนการใช้ใยแก้วนำแสงสำหรับการสื่อสารในสมาร์ตกริดเนื่องจากมีความรวดเร็ว มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัยสูง

งานวิจัย [9], [10] ได้ศึกษาความเหมาะสมของโครงข่ายสื่อสารภายในไมโครกริด ซึ่งเป็นการสื่อสารจากศูนย์ควบคุมไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าและจากผู้ไฟฟ้าไปยังศูนย์ควบคุมไฟฟ้า เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมของโครงข่ายสื่อสารและพบว่าการสื่อสารในระบบโครงข่ายที่ใช้ IP คอนข้างมีความเหมาะสม เนื่องจากสามารถบริหารจัดการด้านไฟฟ้าได้ตรงจุด และการให้บริการทางด้าน IP สามารถครอบคลุมอุปกรณ์ที่สำคัญภายในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กอีกด้วย

สำหรับงานวิจัย [11] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวางโครงข่ายระบบสื่อสารที่เหมาะสมสำหรับสมาร์ตกริด โดยในงานวิจัยได้อ้างอิงรูปแบบโครงข่ายของสมาร์ตกริดที่กำหนดขึ้นมาเป็นต้นแบบสำหรับการจำลองระบบสื่อสาร ซึ่งลักษณะการเชื่อมต่อส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแบบจุดต่อจุด (Point to point)

โครงข่ายสื่อสาร (Topology) ต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในโครงข่ายสื่อสารสำหรับไมโครกริดในต่างประเทศ ตัวอย่างเช่น ในโครงการฮาสินี ประเทศญี่ปุ่น ใช้โครงข่ายแบบวงแหวนร่วมกับโครงข่ายแบบดาวในการส่งข้อมูลผ่านเส้นใยแก้วนำแสง โดยมีการสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์และระบบ SCADA EMS ซึ่งใช้สาย UTP 100 Mb/s Ethernet และ TCP / IP ใน

ประเทศเกาหลี เลือกใช้การเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด (Point to point) สำหรับตรวจสอบการทำงานของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเน้นที่การเชื่อมต่อระหว่างแหล่งผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มายังศูนย์ควบคุม ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์โดย TCP/IP ผ่านทาง LAN หรือ WAN ข้อมูลด้านแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ฯลฯ จะถูกส่งไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ ทำให้สามารถตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของระบบผ่านอินเทอร์เน็ตได้ เป็นต้น [2]

2.3 การคำนวณความเชื่อถือได้โดยหลักการเพิ่มเข้า-ตัดออก (Inclusion-Exclusion) และการประเมินสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสาร (Connectivity)

หลักการเพิ่มเข้า-ตัดออก เป็นแนวทางการคำนวณที่นำมาใช้สำหรับคำนวณค่าความเชื่อถือได้ของการส่งผ่านข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ($R_{st}(G)$) ดังแสดงใน สมการที่ (1) โดยแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนเหตุการณ์ของความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจากแหล่งส่งข้อมูลใด ๆ จะถูกส่งไปยังจุดหมายปลายทางที่ต้องการโดยผ่านทางสายเชื่อมโยง (Link) [4]

$$R_{st}(G) = \sum_i \Pr(E_i) - \sum_{i < j} \Pr(E_i E_j) + \sum_{i < j < l} \Pr(E_i E_j E_l) + \dots - (-1)^{k+1} \Pr(E_1 E_2 \dots E_k) \quad (1)$$

เมื่อ $\Pr(E_i), \Pr(E_j) \dots \Pr(E_k)$ คือ ความน่าจะเป็นที่สายเชื่อมโยง $E_1, E_2 \dots E_k$ ทำงาน
 $R_{st}(G)$ คือ ค่าความเชื่อถือได้ของการส่งผ่านข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

การส่งผ่านข้อมูลภายในโครงข่ายสื่อสารของไมโครกริดจะขึ้นอยู่กับสถานะการทำงานของสายเชื่อมโยงและโหนดที่เป็นเส้นทางที่ใช้ในการสื่อสารในโครงข่าย (ความน่าจะเป็นที่สายเชื่อมโยงสามารถทำงานได้) ซึ่งก็คือความเชื่อถือได้ของทุกโหนดและสายเชื่อมโยงที่มีการเชื่อมต่อ การใช้แบบจำลอง Monte Carlo เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาปรับใช้เพื่อประเมินสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารได้

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการจำลองเหตุการณ์จากเงื่อนไขความเชื่อถือได้ของการส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายสื่อสาร โดยใช้แบบจำลองของ Monte Carlo ซึ่งจะมีการสุ่มค่า x_i ขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลอง ถ้าค่า x_i มีค่ามากกว่า $R_{st}(G)$ แล้ว จะแสดงผลในการทดลองครั้งนั้นว่าสายเชื่อมโยงสามารถทำงานได้อย่างปกติ แต่ถ้าหากค่า x_i มีค่าน้อยกว่า $R_{st}(G)$ จะทำให้การทดลองครั้งนั้นแสดงผลเป็นสายเชื่อมโยงทำงานล้มเหลว

โดยที่ค่า x_i ที่ถูกสุ่มขึ้นมาจาก การทดลองในแบบจำลอง จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเงื่อนไข คือ ค่าความเชื่อถือได้ของการส่งผ่านข้อมูลในโครงข่าย ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (1) หากตรงตามเงื่อนไขที่ระบุ ค่า x_i ก็จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงสถานะการเชื่อมต่อของแต่ละสายเชื่อมโยงภายในโครงข่ายสื่อสารว่าสามารถเชื่อมต่อเพื่อส่งผ่านข้อมูลได้หรือไม่ เป็นต้น ซึ่งโดยปกติแล้ว วิธีการ Monte Carlo จะให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น เมื่อใช้จำนวนรอบของการทดลองมากขึ้น

3. โครงข่ายสื่อสารสำหรับไมโครกริด

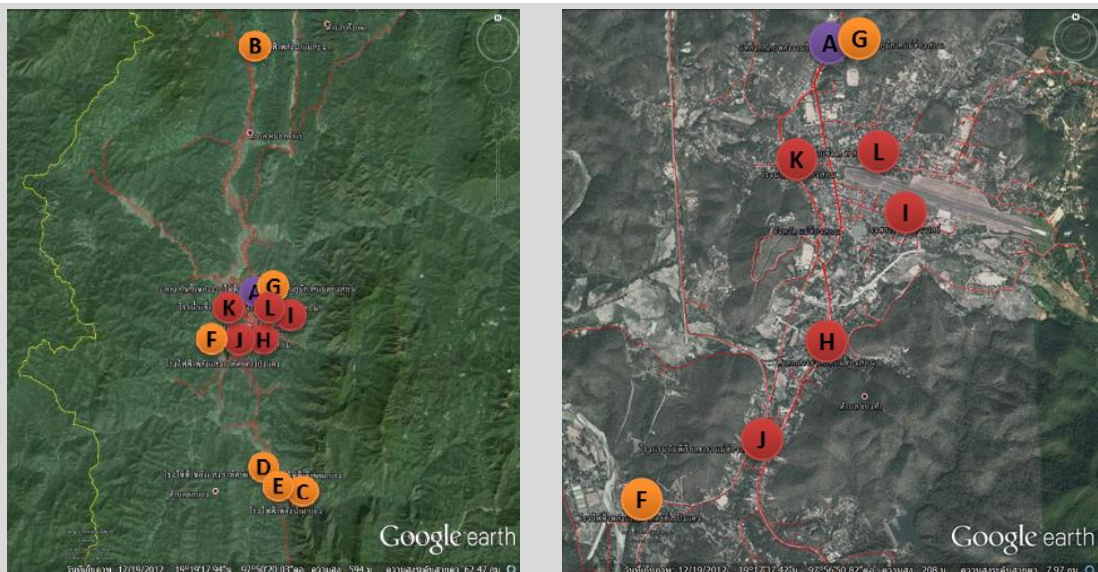
3.1 พื้นที่อ้างอิงสำหรับไมโครกริด

พื้นที่อ้างอิงที่ใช้เป็นกรณีศึกษาสำหรับไมโครกริดในงานวิจัยนี้ คือ พื้นที่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน เนื่องจากภายในพื้นที่ประกอบไปด้วยแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำแม่สะงา โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผาบ่อง และโหลดทางไฟฟ้าที่น่าสนใจในพื้นที่ ซึ่งได้แก่สถานที่ต่าง ๆ เช่น สถานีราชการ โรงแรม หรือแหล่งที่มีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูง เช่น โรงน้ำแข็ง เป็นต้น สำหรับไมโครกริดที่ใช้เป็นระบบทดสอบในงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วยแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้า โหลดทางไฟฟ้าและพื้นที่อ้างอิงสำหรับใช้เป็นศูนย์ควบคุมไมโครกริด รวมทั้งสิ้น 12 สถานที่ ดังตารางที่

ตารางที่ 1 แหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าและโหลดทางไฟฟ้าในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอนที่อ้างอิงเพื่อใช้เป็นโมเดลกริดสำหรับงานวิจัย

ลำดับที่	สถานที่	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
1	ศูนย์ควบคุมไม่โครกริด	A	ใช้พื้นที่ของสำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จ.แม่ฮ่องสอน
แหล่งผลิตและแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้า			
2	โรงไฟฟ้าพลังน้ำแม่สะงา	B	
3	โรงไฟฟ้าพลังน้ำผาบ่อง	C	
4	โรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ผาบ่อง	D	
5	โรงไฟฟ้าดีเซลผาบ่อง	E	
6	โรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ท่าโป่งแดง	F	คาดว่าจะมีการลงทุนก่อสร้างในอนาคต
7	แหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้า	G	คาดว่าจะมีการลงทุนติดตั้งในอนาคต
โหลดทางไฟฟ้าในพื้นที่			
8	ศาลากลางจังหวัดแม่ฮ่องสอน	H	
9	โรงพยาบาลศรีสังวาลย์	I	
10	โรงแรมอิมพีเรียลธารา แม่ฮ่องสอน	J	
11	โรงงานน้ำแข็งแม่ฮ่องสอน	K	
12	โรงงานน้ำแข็ง เคที สบาย	L	

จากการสำรวจโดยใช้แผนที่ Google Earth พบว่า แหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจะตั้งอยู่ห่างจากพื้นที่ของสำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดแม่ฮ่องสอน ในระยะรัศมี 20-25 กิโลเมตร และโหลดทางไฟฟ้าส่วนใหญ่ในพื้นที่ที่จะกระจายอยู่ภายในตัวเมืองแม่ฮ่องสอน ในระยะรัศมีประมาณ 5 กิโลเมตร ดังภาพรูปที่ 1



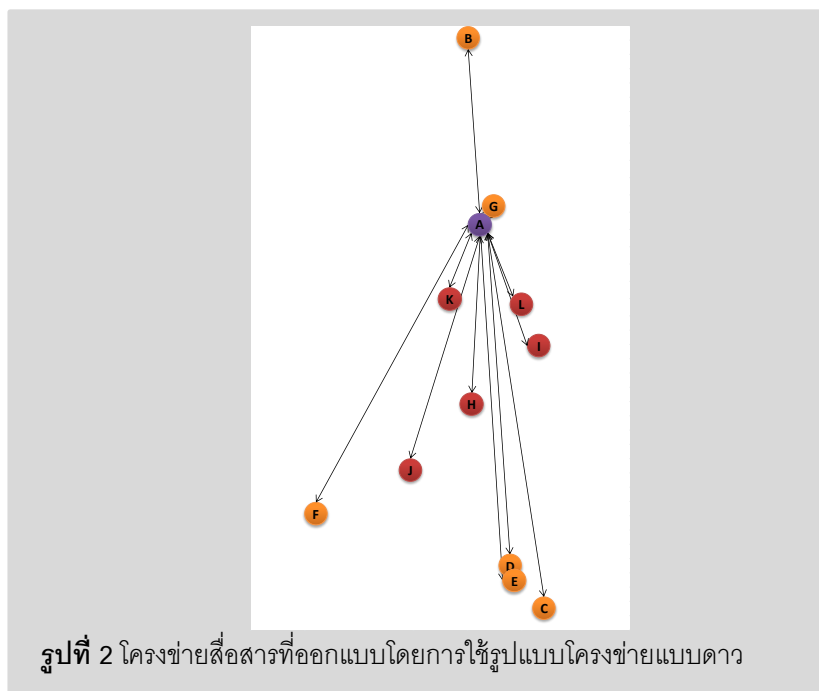
รูปที่ 1 (ซ้าย) ภาพรวมแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าและโหลดทางไฟฟ้าในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน (ขวา) ภาพขยายในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน

3.2 รูปแบบโครงข่ายสื่อสารสำหรับไมโครกริด

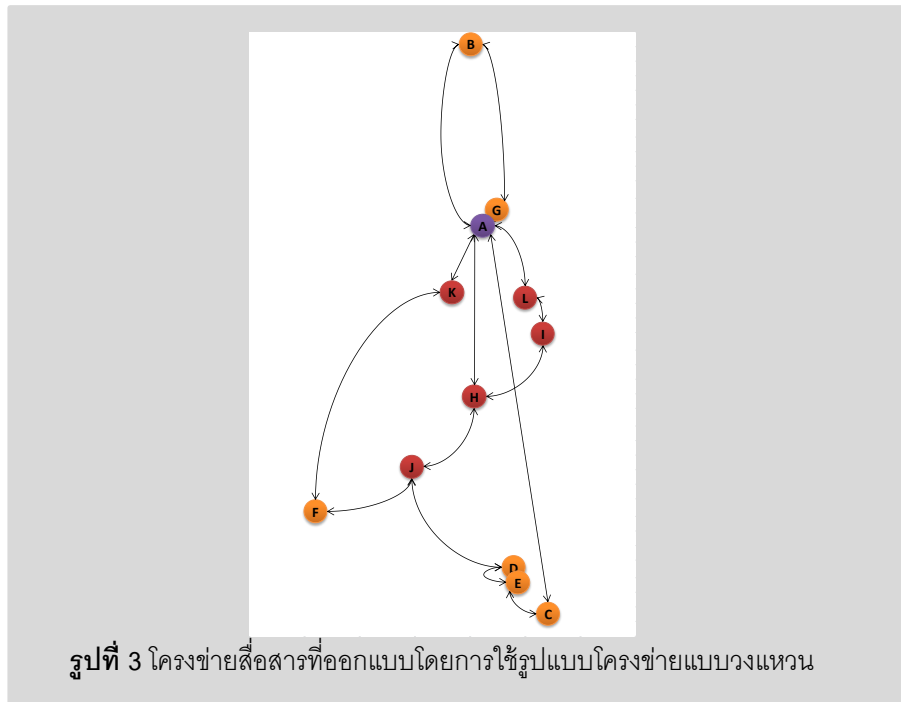
การศึกษาเปรียบเทียบโครงข่ายสื่อสารโดยใช้แบบจำลองไมโครกริดที่ใช้เป็นระบบทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้ ใช้รูปแบบโครงข่าย 2 ประเภท คือ รูปแบบโครงข่ายแบบวงแหวน (Ring Topology) และรูปแบบโครงข่ายแบบดาว (Star Topology) ซึ่งคำนึงถึงการจัดทำเส้นทางสำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างโหนดในพื้นที่อ้างอิงสำหรับไมโครกริดกับศูนย์ควบคุมไมโครกริด ในลักษณะการสื่อสารข้อมูล 2 ทิศทาง (Two-way Communication) ทั้งนี้ ในงานวิจัยไม่พิจารณาด้านการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในไมโครกริด และอ้างอิงให้ศูนย์ควบคุมไมโครกริดใช้ระบบ SCADA ในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า

โครงข่ายที่สื่อสารสำหรับไมโครกริดที่ออกแบบโดยใช้พื้นที่อ้างอิงในข้อ 3.1 จะพิจารณาความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูล โดยการคำนวณสภาวะการเชื่อมต่อเพื่อการส่งผ่านข้อมูลด้วยแบบจำลอง Monte Carlo ซึ่งอาศัยค่าความเชื่อถือได้จากการคำนวณด้วยวิธีเพิ่มเข้า-ตัดออก (Inclusion-Exclusion) ทั้งนี้ กำหนดให้โหนดแต่ละโหนดในโครงข่ายสื่อสารมีการทำงานอย่างปกติ และกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่สายเชื่อมโยงจะสามารถทำงานได้สำหรับการคำนวณ

สำหรับรูปแบบโครงข่ายสื่อสารแบบดาว โหนดแต่ละโหนดจะเชื่อมต่อด้วยสายสัญญาณไปยังศูนย์ควบคุมไมโครกริดโดยตรงโดยไม่ผ่านโหนดอื่นในไมโครกริดในลักษณะการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด โดยข้อดีของการประยุกต์ใช้รูปแบบโครงข่ายสื่อสารแบบดาวคือ สามารถเพิ่มโหนดใหม่ได้ง่าย เช่น หากมีแหล่งพลังงานไฟฟ้าอื่น ๆ หรือโหลดทางไฟฟ้าอื่น ๆ เพิ่มเติม แต่ใช้สายนำสัญญาณเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อใช้พื้นที่อ้างอิงจาก 3.1 จะได้ลักษณะของข่ายเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสาร โดยมีการเชื่อมต่อระหว่างโหนดแต่ละโหนดไปยังศูนย์ควบคุมไมโครกริด ดังรูปที่ 2



สำหรับรูปแบบโครงข่ายสื่อสารแบบวงแหวนนั้น แต่ละโหนดจะเชื่อมต่อด้วยสายนำสัญญาณไปยังโหนดข้างเคียงในลักษณะการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดเช่นเดียวกับรูปแบบโครงข่ายสื่อสารแบบดาว เพื่อให้ทุกโหนดที่มีการเชื่อมต่อสามารถเข้าถึงโหนดอื่นทางใดก็ได้ในลักษณะวงแหวน เมื่อใช้พื้นที่อ้างอิงจาก 3.1 ในการออกแบบโครงข่ายแบบวงแหวนในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ข่ายเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารเป็นวงแหวนหลายวง โดยมีการเชื่อมต่อระหว่างโหนดแต่ละโหนดไปยังโหนดข้างเคียง ซึ่งแต่ละวงแหวนนั้นจะเชื่อมเข้ากับศูนย์ควบคุมไมโครกริด ดังรูปที่ 3



3.3 การประเมินสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารจากค่าความเชื่อถือได้

โครงข่ายสื่อสารสำหรับไมโครกริดทั้งแบบดาวและแบบวงแหวน จะถูกนำมาประเมินสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารจากค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโหนดใด ๆ ไปยังศูนย์ควบคุมไมโครกริด โดยใช้หลักการเพิ่มเข้า-ตัดออกอ้างอิงจากสมการที่ (1) โดยงานวิจัยกำหนดให้โหนดแต่ละโหนดในโครงข่ายสื่อสารมีการทำงานอย่างปกติ และสายเชื่อมโยงสื่อสารทุกสายจะถูกกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่สายเชื่อมโยงจะสามารถทำงานได้ (p_i) เมื่อ i คือ สายเชื่อมโยงระหว่างโหนดใด ๆ และนำไปใช้สำหรับการคำนวณ

การประเมินสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารของการใช้รูปแบบโครงข่ายแบบดาว โดยอ้างอิงค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูล เช่น การส่งผ่านข้อมูลผ่านสายนำสัญญาณจากศูนย์ควบคุมไมโครกริด (A) ไปยังโรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ผาบ่อง (D) พบว่ามีเพียงเส้นทางเดียวเนื่องจากเป็นรูปแบบโครงข่ายแบบดาว จึงทำให้ค่าความเชื่อถือได้ของการส่งผ่านข้อมูลมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่สายเชื่อมโยงจะสามารถทำงานได้ (p_i) ตามที่ได้กำหนดไว้สำหรับการคำนวณ เช่นเมื่อกำหนดค่า p_i เป็น 0.9 ก็จะทำให้ค่าความเชื่อถือได้ของการส่งผ่านข้อมูลจากโหนด A ไปยังโหนด D มีค่าเป็น 0.9 เช่นกัน แต่สำหรับการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลของรูปแบบโครงข่ายแบบวงแหวน พบว่าการส่งผ่านข้อมูลผ่านสายนำสัญญาณจากศูนย์ควบคุมไมโครกริด (A) ไปยังโรงไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ผาบ่อง (D) สามารถส่งผ่านข้อมูลได้ 4 เส้นทางหลักด้วยกัน เมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นที่สายเชื่อมโยงจะสามารถทำงานได้ (p_i) โดยใช้สมการที่ (1) จะได้ค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลจากโหนด A ไปยังโหนด D เมื่อเป็น 0.965 เมื่อกำหนดค่า p_i เป็น 0.9

การประเมินสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารในงานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองของ Monte Carlo ซึ่งจำลองเหตุการณ์จากเงื่อนไขของค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างศูนย์ควบคุมไมโครกริดไปยังโหนดต่าง ๆ ในโครงข่ายสื่อสาร โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการคำนวณ จากค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลจากโหนด A ไปยังโหนด D เมื่อใช้รูปแบบโครงข่ายแบบดาวและรูปแบบโครงข่ายแบบวงแหวนมีค่าเท่ากับ 0.9 และ 0.965 ตามลำดับ

สำหรับการประเมินสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่าย เมื่อใช้รูปแบบโครงข่ายแบบดาว ค่า x ที่ถูกสุ่มขึ้นมาสำหรับการทดลอง จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ คือ หากค่า x มีค่ามากกว่า $R_{AD}(G)$ เมื่อค่า $R_{AD}(G)$ มีค่า

เป็น 0.9 จะแสดงผลว่าข่ายเชื่อมโยงสามารถทำงานได้อย่างปกติ ในขณะที่เดียวกันหากค่า x มีค่าน้อยกว่า $R_{AD}(G)$ จะแสดงผลว่าข่ายเชื่อมโยงทำงานล้มเหลว เมื่อประเมินรูปแบบโครงข่ายแบบวงแหวน ค่า x จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับเงื่อนไขเช่นเดียวกัน คือ หากค่า x มีค่ามากกว่า $R_{AD}(G)$ เมื่อค่า $R_{AD}(G)$ มีค่าเป็น 0.965 จะแสดงผลว่าข่ายเชื่อมโยงสามารถทำงานได้อย่างปกติ และจะแสดงผลว่าข่ายเชื่อมโยงทำงานล้มเหลวเมื่อค่า x ในการทดลองมีค่าน้อยกว่า 0.965

นอกจากโหนด D ที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว ศูนย์ควบคุมไม่โครกริดจะต้องเชื่อมต่อกับโหนดที่เหลืออื่น ๆ รวมทั้งสิ้น 11 โหนด ซึ่งจะต้องคำนวณค่าความเชื่อถือได้ของการส่งผ่านข้อมูล และประเมินเปอร์เซ็นต์ของการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารทั้งโครงข่ายแบบดาวและโครงข่ายแบบวงแหวน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างผลการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของการเชื่อมต่อจากสภาวะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสาร

(C : Connected, F : Failed)

การทดลอง ครั้งที่	การเชื่อมต่อระหว่างศูนย์ควบคุมไม่โครกริด (A) กับโหนดต่าง ๆ											เปอร์เซ็นต์ การเชื่อมต่อ
	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
1	C	C	C	F	C	C	F	C	C	C	C	82%
2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	100%
3	C	C	F	C	C	C	C	C	C	C	C	91%
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
10000	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	100%

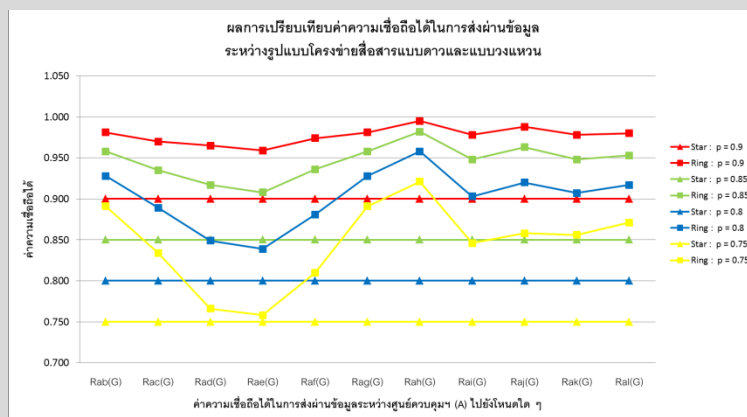
4. ผลการประเมินสภาวะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารที่ออกแบบ

4.1 ผลการคำนวณความเชื่อถือได้ของโครงข่ายสื่อสารที่ออกแบบ

เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างศูนย์ควบคุมไม่โครกริดไปยังโหนดใด ๆ โดยที่ กำหนดให้โหนดแต่ละโหนดในโครงข่ายสื่อสารมีการทำงานอย่างปกติ และสำหรับข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายสื่อสารทุกข่าย จะกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่ข่ายเชื่อมโยงจะสามารถทำงานได้ โดยจะใช้ค่า 0.9, 0.85, 0.8 และ 0.75 ในการคำนวณ ซึ่ง ให้ผลการคำนวณโดยเปรียบเทียบกับระหว่างโครงข่ายทั้ง 2 แบบที่นำมาออกแบบโครงข่ายสื่อสาร ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลภายในโครงข่ายสื่อสาร

p_i	รูปแบบโครงข่าย	ค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างศูนย์ควบคุมไมโครกริด (A) ไปยังโหนดใด ๆ										
		$R_{AB}(G)$	$R_{AC}(G)$	$R_{AD}(G)$	$R_{AE}(G)$	$R_{AF}(G)$	$R_{AG}(G)$	$R_{AH}(G)$	$R_{AI}(G)$	$R_{AJ}(G)$	$R_{AK}(G)$	$R_{AL}(G)$
0.90	ดาว	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900	0.900
	วงแหวน	0.981	0.970	0.965	0.959	0.974	0.981	0.995	0.978	0.988	0.978	0.980
0.85	ดาว	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850	0.850
	วงแหวน	0.958	0.935	0.917	0.908	0.936	0.958	0.982	0.948	0.963	0.948	0.953
0.80	ดาว	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
	วงแหวน	0.928	0.889	0.849	0.839	0.881	0.928	0.958	0.903	0.920	0.907	0.917
0.75	ดาว	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750
	วงแหวน	0.891	0.834	0.766	0.758	0.810	0.891	0.921	0.846	0.858	0.856	0.871

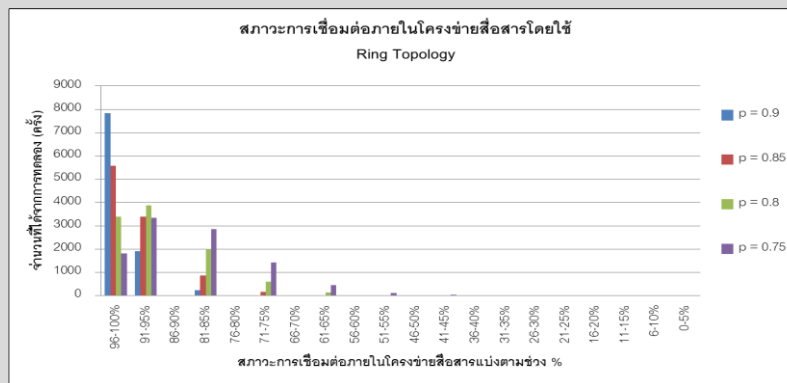


รูปที่ 4 การเปรียบเทียบผลการคำนวณความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลภายในโครงข่ายสื่อสารแบบดาว (Star Topology) และโครงข่ายแบบวงแหวน (Ring Topology)

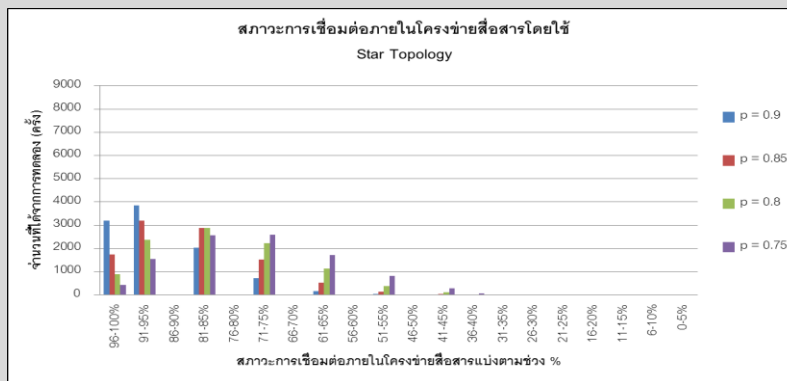
เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณพบว่าเมื่อความน่าจะเป็นที่ข่ายเชื่อมโยงสื่อสารมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลภายในโครงข่ายสื่อสารระหว่างศูนย์ควบคุมไมโครกริดไปยังโหนดใด ๆ มีค่าที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งการใช้โครงข่ายแบบวงแหวนให้ค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลที่สูงกว่าแบบดาวเมื่อพิจารณาความน่าจะเป็นที่ข่ายเชื่อมโยงจะสามารถทำงานได้ที่ค่าเดียวกัน

4.2 ผลการคำนวณสภาวะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสาร

ผลการคำนวณสภาวะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลภายในโครงข่ายซึ่งเป็นผลการคำนวณจาก 4.1 ได้ผล ดังนี้



รูปที่ 5 สภาวะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารแบบวงแหวน เมื่อใช้ค่า p_i ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 6 สภาวะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารแบบดาว เมื่อใช้ค่า p_i ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบสภาวะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารทั้งแบบวงแหวนและแบบดาว

จากรูปที่ 5 และ 6 จะเห็นได้ว่า เมื่อความน่าจะเป็นที่ข่ายเชื่อมโยงจะสามารถทำงานได้ยิ่งมีค่าสูง ก็จะทำให้ผลของการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารทั้งโครงข่ายแบบวงแหวนและแบบดาวสูงตามไปด้วย และเมื่อเปรียบเทียบที่ค่าความน่าจะเป็นที่ข่ายเชื่อมโยงจะสามารถทำงานได้ที่ค่าเดียวกันคือ 0.9 ดังรูปที่ 7 พบกว่า การใช้รูปแบบโครงข่ายสื่อสารแบบวงแหวนจะทำให้ผลของสภาวะการเชื่อมต่อของโครงข่ายสื่อสารในช่วง 96 - 100% ที่สูงมากกว่า

5. บทสรุป

บทความนี้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้รูปแบบโครงข่ายสื่อสารแบบดาวและแบบวงแหวนสำหรับโครงข่ายสื่อสารสำหรับไมโครกริด ซึ่งมุ่งเน้นการจัดเส้นทางเพื่อการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโหนดใด ๆ กับศูนย์ควบคุมไมโครกริด โดยอ้างอิงพื้นที่ในเขตอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอนเป็นกรณีศึกษา ในการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบโครงข่ายสื่อสารได้กำหนดให้โหนดทุกโหนดสามารถทำงานได้อย่างปกติ ผลการศึกษาพบว่าการใช้รูปแบบโครงข่ายสื่อสารแบบวงแหวนจะให้ผลของสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารสูงถึง 97% โดยรูปแบบโครงข่ายแบบดาวให้ผลการทดลองที่ 70% เท่านั้น เมื่อเทียบสถานะการเชื่อมต่อของโครงข่ายสื่อสารที่อยู่ในช่วง 91 – 100 % ทั้งนี้เป็นผลอันเนื่องมาจากค่าความเชื่อถือได้ในการส่งผ่านข้อมูลของรูปแบบโครงข่ายแบบวงแหวนที่สูงกว่าแบบดาวนั่นเอง ยิ่งจำนวนครั้งจากการทดลองสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายสื่อสารอยู่ในช่วง 91 - 100% มากขึ้น แนวโน้มในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างโหนดต่าง ๆ และศูนย์ควบคุมไมโครกริดเพื่อการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างราบรื่นสูงมากขึ้นด้วย

การศึกษาวิจัยในอนาคตจะทดลองใช้รูปแบบโครงข่ายสื่อสารแบบตาข่าย (Mesh Topology) และแบบต้นไม้ (Tree Topology) ในการศึกษาวิจัยต่อไป รูปแบบโครงข่ายสื่อสารที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลต่อสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายที่แตกต่างกัน เมื่อมีรูปแบบโครงข่ายที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น จะส่งผลให้การออกแบบสามารถเลือกใช้โครงข่ายที่มีความเหมาะสมได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อสถานะการเชื่อมต่อภายในโครงข่ายที่เลือกใช้ด้วย

บรรณานุกรม

- [1] CERTS Program Office Lawrence Berkeley National Laboratory, "The CERTS Microgrid Concept," 2003.
- [2] Steca Elektronik GmbH and others, "Communication Between Components in Mini-Grids," 2011.
- [3] ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง (CEPT) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, "โครงการการออกแบบเชิงรายละเอียดและศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการนำร่องระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะจังหวัดแม่ฮ่องสอน," รายงานการออกแบบเชิงแนวคิดโครงการนำร่องระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ จังหวัดแม่ฮ่องสอน, 2013.
- [4] Chaiyachet Saivichit, "Reliability and Survivability of Communication Systems and Networks,".
- [5] Meena Agrawal, Arvind Mittal, "MICRO GRID TECHNOLOGICAL ACTIVITIES ACROSS THE GLOBE : A REVIEW," IJRRAS, vol. 7, May 2011.
- [6] Hak-Man Kim, Tetsuo Kinoshita, "A New Challenge of Microgrid Operation," 2010.
- [7] ศิริพร สมบัติจินดา, "Smart Grid แนวทางอนุรักษ์พลังงานในอนาคต," วารสารสิ่งแวดล้อม ปีที่ 16 เล่มที่ 2.
- [8] Majumder, Ritwik ; Bag, Gargi ; Velotto, Giovanni ; Marinopoulos, Antonios., "Closed loop simulation of communication and power network in a zone based system," Electric Power Systems Research, vol. 95, 2012.
- [9] Bukowski, S. ; Ranade, S. J, "Communication Network Requirements for the Smart Grid and a Path for an IP Based Protocol for Customer Driven Microgrids," IEEE Publishing, 2012.
- [10] Sood, V.K. ; Fischer, D.; Eklund, J.M. ; Brown, T., "Developing a Communication Infrastructure for the Smart Grid," IEEE Publishing, 2009.
- [11] Deconinck, G. and others, "Communication overlays and agents for dependable smart power grids," IEEE Publishing, 2010.