

## การจัดลำดับความสำคัญของโหนดจากอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในเครือข่ายสื่อสารของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ณัฐนันท์ งามเจริญ<sup>1,2</sup>, พิสุทธิ ทรัพย์ศักดิ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup>กองระบบสื่อสาร ฝ่ายปฏิบัติการและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 (ภาคกลาง) จังหวัดชลบุรี

nattanon.ng@ku.th, pisut.r@ku.th

### บทคัดย่อ

เครือข่ายสื่อสารด้านพลังงานไฟฟ้าเป็นเครือข่ายที่มีลักษณะเฉพาะ ที่ให้บริการเกี่ยวกับการควบคุมการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และความปลอดภัยอย่างสูงสุด ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการสร้างความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า เครือข่ายการสื่อสารจึงต้องมีประสิทธิภาพเพื่อส่งผ่านข้อมูลที่ถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ โดยเครือข่ายสื่อสารประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญ คือ โหนดซึ่งทำหน้าที่รับส่งข้อมูล และลิงค์ที่มีหน้าที่นำพาข้อมูลไปถึงจุดหมาย บทความนี้จะกล่าวถึงการจัดลำดับความสำคัญของโหนด โดยอาศัยหลักการความน่าจะเป็นของความล้มเหลวของโหนด และระดับความสำคัญของเซอร์วิสในเครือข่ายสื่อสาร ซึ่งอัลกอริทึมที่นำมาใช้จะช่วยการวิเคราะห์ความเสี่ยงของโหนด วิธีการที่นำไปสู่การลดความเสี่ยง ช่วยให้เครือข่ายพลังงานไฟฟ้ามีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือได้

**คำสำคัญ:** ความน่าจะเป็นของความล้มเหลว, ค่าความสำคัญของเซอร์วิส, ค่าความสำคัญของโหนด

### 1. บทนำ

เครือข่ายการสื่อสารในระบบไฟฟ้า ที่นำส่งชุดคำสั่งในการควบคุมการสั่งการการจัดการพลังงานทั้งหมด ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อเสถียรภาพของเครือข่ายไฟฟ้า และการทำงานที่ปลอดภัย การพัฒนาอย่างรวดเร็วของระบบสื่อสารในเครือข่ายไฟฟ้า ทำให้มีความซับซ้อนของเครือข่ายเพิ่มขึ้น โครงสร้างที่แข็งแกร่งของเครือข่ายสื่อสารมีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานปกติของเครือข่าย และโหนดมีหน้าที่รักษาการทำงานตามปกติของ

เครือข่ายทั้งหมด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาความสำคัญของโหนดในเครือข่ายการสื่อสารนั้นๆ เพื่อบ่งบอกระดับความสำคัญ [1], [2]

มีหลายวิธีในการประเมินความสำคัญของโหนดในเครือข่ายที่ซับซ้อน ซึ่งทั้งหมดจะอ้างอิงจากทฤษฎีกราฟเป็นหลัก [3] บทความอื่นเสนอให้จำนวนลิงค์ที่เชื่อมต่อกันเป็นเกณฑ์ในการประเมินความสำคัญของโหนด ยิ่งโหนดไหนมีการเชื่อมต่อกันก็จะยิ่งมีความสำคัญมาก แต่ไม่ใช่แบบนั้นเสมอไป เช่น โหนดที่ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างเครือข่าย ซึ่งอาจจะมีลิงค์มาเชื่อมต่อเพียงสองลิงค์ สอดคล้องกับวิธีการความเป็นจุดศูนย์กลางโดยวัดจากการคั่นกลาง หรือ Betweenness Centrality ที่กล่าวถึงเส้นทางที่สั้นที่สุดที่ผ่านโหนดเพื่อใช้กำหนดค่าน้ำหนักของโหนด ยิ่งโหนดที่มีค่าน้ำหนักมาก ยิ่งมีความสำคัญมากเช่นกัน [4], [5], [6]

ชั้นโพลีโพลีการสื่อสาร มุมมองความสำคัญของโหนดในสถานีไฟฟ้า 115 เควี มีความสำคัญกว่าโหนดสถานีไฟฟ้า 22 เควี ซึ่งโหนดการสื่อสารจะมองว่าการทำงานมีลักษณะที่สอดคล้องกันและแตกต่างกัน แต่ในด้านพลังงานไฟฟ้า ทั้งสถานะและอิทธิพลต่อโหนดอื่นจะแตกต่างกัน [7] การประเมินโหนดเครือข่ายการสื่อสารบนเครือข่ายไฟฟ้า จากความน่าจะเป็นของความขัดข้องของโหนด ซึ่งดัชนีการประเมินความสำคัญที่สูง หากความน่าจะเป็นที่ล้มเหลวสูงกว่าโหนดที่มีความล้มเหลวต่ำ ซึ่งไม่รวมถึงเซอร์วิสที่โหนดนั้นๆ ต้องแบกรับ ระดับความสำคัญของเซอร์วิสที่ถูกส่งจ่ายไปแต่ละโหนดย่อมมีความสำคัญต่อเครือข่ายด้วย

## 2. การประเมินความสำคัญของโหนดในเครือข่ายสื่อสาร

### 2.1 การประเมินความสำคัญของโหนดจากความน่าจะเป็น

ความน่าจะเป็นของความล้มเหลว (Failure Probability) ของโหนดจะพิจารณาจากอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสามารถอธิบายจากกราฟเส้นโค้งรูปร่างอ่างน้ำ (bathtub curve) ความเสื่อมสภาพและข้อบกพร่องของอุปกรณ์เหล่านั้นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งได้อธิบายจากฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียล [4]

ความน่าจะเป็นของความล้มเหลวของโหนดมีผลกระทบอย่างมากต่อการประเมินความสำคัญของโหนด ตัวอย่างเช่น โหนดที่มีโอกาสเกิดความล้มเหลวต่ำ กับโหนดที่มีค่าสูง ย่อมมีอิทธิพลสำคัญต่อการทำงานปกติและการวางแผนด้านการสื่อสารของเครือข่ายสื่อสารด้านพลังงานไฟฟ้า [4]

$$P_i(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T}} \quad (1)$$

โดยที่  $P_i$  คือ ความน่าจะเป็นของโหนด  $i$   
 $t$  คือ อายุการใช้งานจนถึงปัจจุบัน  
 $T$  คือ อายุขัยของอุปกรณ์

### 2.2 การประเมินความสำคัญของโหนดจากเซอวิส

ค่าความสำคัญของเซอวิส เป็นตัววัดความสำคัญอย่างหนึ่งในการประเมินเครือข่ายสื่อสารด้านพลังงานไฟฟ้า ซึ่งก็คือขนาดของผลกระทบของการปฏิบัติงานและความปลอดภัย หากเครือข่ายสื่อสารนั้นเกิดการหยุดชะงัก ประเภทและความสำคัญของบริการไฟฟ้าที่ดำเนินการใน เครือข่ายการสื่อสารกริดพลังงานแตกต่างกัน ดังนั้นโหนด ความสำคัญตามบริการด้านพลังงานควรมีความแตกต่างด้วย [8]

สำหรับโมเดลในการประมาณค่า อ้างอิงวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) กำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาค่าถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์ ประกอบด้วย Real-time, Reliability, BER และ Bandwidth โดยที่เกณฑ์ Real-time และ Reliability มีความสำคัญในด้านของการส่งการทางระบบไฟฟ้าที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำและความรวดเร็วเมื่อเทียบกับเซอวิสที่เป็นด้านงานข้อมูล อย่างไรก็ตามค่า Bit rate error และ Bandwidth ก็ต้องนำมาพิจารณาเช่นกัน ให้เหมาะสมตามปริมาณการใช้เซอวิสนั้นๆ เช่น ระบบวีดีโอคอน

เฟอเรนซ์ อาจต้องการ Bandwidth ที่มากกว่าระบบการควบคุม เป็นต้น ค่าถ่วงน้ำหนักของทั้ง 4 เกณฑ์ เป็นไปตามตาราง 1

ตาราง 1. ค่าถ่วงน้ำหนักหลักเกณฑ์ของเซอวิส

เกณฑ์	Real-time	Reliability	BER	Bandwidth
ค่า น้ำหนัก	0.4091	0.3498	0.1584	0.0825

จากข้อมูลที่รวบรวมได้ เซอวิสทั้งเจ็ด จะถูกประเมินและให้คะแนนจากผู้ที่เกี่ยวข้อง ค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้มาจากรายการที่ 1 จะถูกนำมาคำนวณตามน้ำหนักและคะแนนที่ได้จากการประเมินในแต่ละเซอวิส ผลจากการคำนวณใช้เป็นค่าความสำคัญทั้งเจ็ดเซอวิส ซึ่งวิธีที่จะได้ค่าความสำคัญนั้น เราเลือกใช้วิธี การ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) ในการจัดลำดับความสำคัญของแต่ละเซอวิสให้สอดคล้องกับคะแนนที่ได้ถูกประเมิน และมีความน่าเชื่อถือได้ ประเภทและความสำคัญของบริการไฟฟ้าในเครือข่ายสื่อสารด้านพลังงานไฟฟ้าในตารางที่ 2 [9]

ตาราง 2. ค่าความสำคัญของเซอวิส

Service	Importance Degree (Si)
IP SCADA Monitoring; $S_1$	0.6623
Video Conference; $S_2$	0.3775
IP CCTV; $S_3$	0.3114
IP SCADA Control; $S_4$	0.9287
Tele protection; $S_5$	0.9287
Unmanned Substation; $S_6$	0.7106
INMS System; $S_7$	0.0368

ที่แสดงในตาราง 2 จัดเรียงลำดับของแต่ละ service ได้ดังนี้ IP SCADA Control, Tele protection, Unmanned Substation, IP SCADA Monitoring, Video Conference, IP CCTV and INMS System IP ซึ่งเซอวิสของ SCADA Control and Tele protection คือการรักษาการทำงาน

ตามปกติของระบบกริดไฟฟ้าซึ่งหนึ่งในนั้นเป็นการป้องกันสายส่ง จึงมีความสำคัญรองลงมาจาก IP SCADA Control ในส่วนของ Unmanned Substation IP SCADA Monitoring อาจจะประกอบไปด้วยรายละเอียดมากมาย แต่เป็นการตรวจสอบสถานะของระบบ อาจรวมถึงการทดสอบโหลดด้วยเซอร์วิสนี้ กับผู้ปฏิบัติงานจึงมีความเกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกัน การสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยและเสถียรภาพของเครือข่ายไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้น ความสำคัญของอันดับที่สาม สำหรับเหตุผลว่าอีกสองเซอร์วิสสุดท้ายถึงมีความสำคัญน้อยสุด เนื่องจากไม่ได้ต้องการ Real-time ที่สูง และด้านความปลอดภัย ดังนั้นจึงอยู่ลำดับท้ายสุด

สำหรับแต่ละโหนด ค่าของความสำคัญเซอร์วิสสูงสุดในบริการด้านพลังงานทั้งหมดที่ดำเนินการบนลิงค์สื่อสารเชื่อมต่อโดยตรงกับโหนดถือเป็นความสำคัญของโหนด ขึ้นอยู่กับบริการด้านพลังงาน คำนวณได้ดังนี้

$$S_i = \max(I_k) \quad (2)$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

โดยที่  $S_i$  คือ ค่าความสำคัญของเซอร์วิสสูงสุดที่ผ่านโหนด  $i$   
 $I_k$  คือ ค่าความสำคัญของเซอร์วิส  $k$

### 3. ขั้นตอนการหาค่าความสำคัญของโหนด

อัลกอริทึมการประเมินความสำคัญของโหนดตามความซับซ้อน เครือข่ายมีดังนี้:

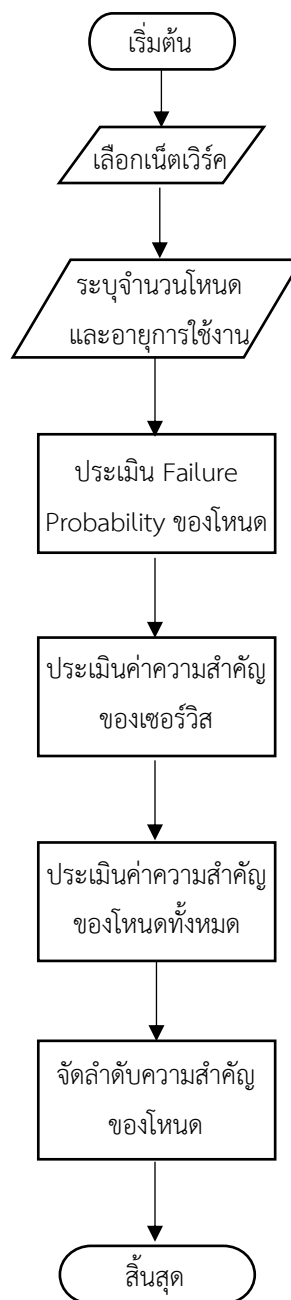
ขั้นตอนที่ 1 กำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับโหนดรวมถึงจำนวนโหนด แทนด้วย  $V_i$  และความน่าจะเป็นของความล้มเหลว แทนค่าความน่าจะเป็นในแต่ละโหนดเป็น  $P_i$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเซอร์วิส ได้แก่ จำนวนเซอร์วิสทั้งหมดในเครือข่ายสื่อสาร แสดงโดย  $S_i$  และเซอร์วิสที่ทำงานอยู่บนโหนดนั้นๆ

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาความน่าจะเป็นของความล้มเหลวแต่ละโหนด จาก (1) และหาค่าความสำคัญของเซอร์วิสที่มีค่าสูงสุดในแต่ละโหนด จาก (2)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่าความสำคัญของแต่ละโหนดจากสมการ:

$$V_i = P_i \cdot S_i \quad (3)$$

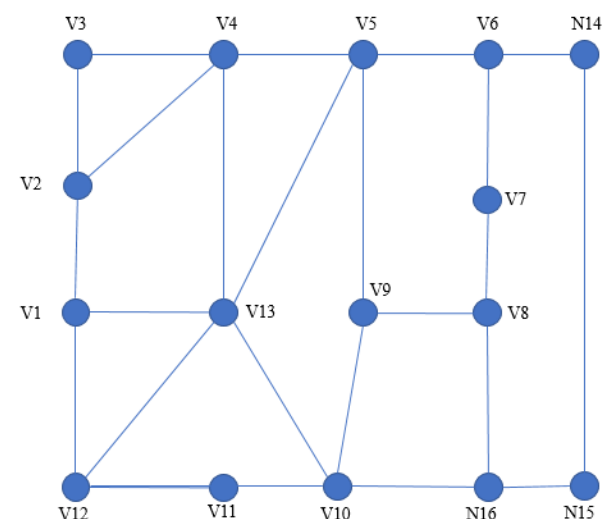


รูปที่ 1 Flow chart แสดงการหาค่าความสำคัญของโหนด

### 4. กรณีศึกษา

เครือข่ายสื่อสารที่นำมาเป็นกรณีศึกษา แสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยโหนดทั้งหมด 16 โหนด ซึ่งประกอบด้วย เซ็ตโหนดสถานีไฟฟ้า 115 เควี ได้แก่ {V2, V3, V5, V6, V7, V8, V11, V12, V13, N14, N15, N16} เซ็ตโหนดสถานีไฟฟ้า 22 เควี ได้แก่ {V4, V9, V10} และเซ็ตโหนดสำนักงาน ได้แก่ {V1} เซ็ตของโหนด V คือเซ็ตของเทคโนโลยีสื่อสาร SDH และเซ็ต

ของโหนด N คือเซตของเทคโนโลยีสื่อสาร IP Access และ เซอร์วิสในเครือข่ายนี้แสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 2 เครือข่ายสื่อสารสำหรับศึกษา

ตาราง 3. เส้นทางของเซอร์วิส

ประเภทเซอร์วิส	เส้นทาง
Video Conference; $S_2$	1-2, 10-13, 11-12-13
IP CCTV; $S_3$	2-4-13, 7-8, 8-7-6, 8-9-5
IP SCADA Control; $S_4$	1-2-3-4, 3-4-5, 12-1-2, 12-13, 14-15-16, 13-10-16
Tele protection; $S_5$	1-13-5, 2-4-5, 6-7-8, 6-14, 14-15-16
Unmanned Substation; $S_6$	5-9-10, 4-13-12, 9-10

อัลกอริทึมที่นำมาประเมินโครงข่ายสื่อสารในรูปที่ 2 นั้น จะเห็นว่าภาพรวมของโหนดแต่ละโหนดที่รับภาระการสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับด้านพลังงานไฟฟ้ามาน้อยเพียงใด จากตาราง 3 จะพบว่าเซอร์วิสที่เกี่ยวกับการควบคุมสั่งการจะวิ่งผ่านโหนดมากกว่าเซอร์วิสระบบสื่อสารปกติ หากพิจารณาเฉพาะ เซอร์วิส โหนดที่มีเซอร์วิส  $S_4$  และ  $S_5$  เคลื่อนผ่าน อาจจะเป็นโหนดที่มีความสำคัญมากที่สุด แต่การวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นการวิเคราะห์ในมุมของชั้นพลังงานไฟฟ้าเพียงด้านเดียว ยังไม่ได้พิจารณาในมุมของชั้นสื่อสารที่เกี่ยวข้องกับอายุการใช้งานของอุปกรณ์สื่อสาร ซึ่งผลการหาลำดับความสำคัญจาก อัลกอริทึมนี้ แสดงในตารางที่ 4

ตาราง 4. ผลการจัดลำดับความสำคัญ

โหนด	ค่าความสำคัญ	ลำดับความสำคัญ
V1	0.3838	4
V2	0.3061	8
V3	0.4826	1
V4	0.3463	6
V5	0.4518	2
V6	0.4190	3
V7	0.3463	7
V8	0.3061	9
V9	0.3692	5
V10	0.2937	11
V11	0.1407	13
V12	0.1683	12
V13	0.3061	10
N14	0.1159	14
N15	0.1159	14
N16	0.1159	14

โทโพโลยีเครือข่ายของรูปที่ 1 และค่าความสำคัญของ เซอร์วิสในตารางที่ 2 โหนด V3 มีความสำคัญโหนดสูงสุด ความสำคัญต่อการให้บริการไฟฟ้าค่อนข้างสูง ดังนั้นความเสี่ยงโหนดของ V3 จึงสูง เมื่อโหนดสำคัญถูกปลดออกจากระบบ ไม่ว่าจะเกิดจากภัยธรรมชาติหรืออุบัติเหตุ เครือข่ายทั้งหมดจะเกิดการหยุดชะงักได้ง่าย การปรับเปลี่ยนเส้นทางของเซอร์วิส หรือการอัพเกรดอุปกรณ์ จึงสามารถช่วยลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นได้

## 5. สรุป

ในบทความนี้ การจัดลำดับความของโหนดพิจารณาจากโทโพโลยีเครือข่ายการใช้งานจริงในเครือข่ายการสื่อสารกำลัง จากนั้นจึงนำเสนอวิธีการประเมินความสำคัญของโหนด จากความน่าจะเป็นของความล้มเหลวของโหนด และค่าความสำคัญของเซอร์วิสที่ทำงานบนโหนดนั้นๆ พิจารณาจากค่าสูงที่สุด ผลการประเมินพบว่าวิธีการนี้สามารถแยกแยะความสำคัญของโหนดของแต่ละโหนดได้ตามลักษณะการใช้งานจริง ทั้งนี้ลำดับความสำคัญของโหนดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ หากผู้ปฏิบัติงานเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ รวมทั้งกำหนด

เส้นทางของเซอร์วิสใหม่ เพื่อช่วยในการปรับปรุงความน่าเชื่อถือและการจัดการเครือข่ายการสื่อสารของสายส่งไฟฟ้า

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Z.Kangming, C.Haoguang, and S.Ying, "Research on Node Importance Ranking Based on the Vector Similarity Method," Fifth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC): 439-442, 2015.
- [2] J.Gan, S.Luo, H.Liu, and Y.Wu, "Node Importance Ranking Algorithm Based on Grey Relational Degree," IEEE 3<sup>rd</sup> Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference, 2019.
- [3] M.Zhao, L.Cui, and M.Wang, "Evaluation Method of Communication Network Based on Reliability Index," Advances in Intelligent Systems Research, vol. 159, 2018.
- [4] Z. Puyuan, Y.Peng, and J.Chenchen, "A routing optimization method based on risk prediction for communication services in smart grid," 12th International Conference on Network and Service Management (CNSM): 377-382. 2016.
- [5] K.Jiang and Y. Zeng, "Risk Evaluation Method of Electric Power Communication Network," Ninth International Conference on Natural Computation, 2013.
- [6] X.Chen, P.Zhao, and P.Yu, "Risk Analysis and Optimization for Communication Transmission Link Interruption in Smart Grid Cyber Physical System," International Journal of Distributed Sensor Networks, 2018.
- [7] X.Liu, Q.Liu, and D.Peng, "Service Risk Analysis for Power Communication over Optical Transport Networks based on Link Failure," 16<sup>th</sup> International Conference on Optical Communications and Networks, 2017
- [8] C.Cheng, W.Yang, and Y.Chu-hua, "Risk Balancing Routing Assignment Mechanism Based Software Defined Optical Network Service Importance," 16<sup>th</sup> International Conference on Optical Communications and Networks, 2017.
- [9] L.Wei, S.Yumin, and N.Chunfeng, "Evaluation of Desulfuration Projects Decision Based on Attribute Importance Degree of Rough Set and TOPSIS," International Seminar on Business and Information Management: 19-22, 2008.