

การเปรียบเทียบการคิดค่าใช้บริการสายส่งด้วยวิธีการติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้ากับวิธีทฤษฎีเกม

โสภา แซ่เฮ้ง*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

* Corresponding Author: sopa.hen@rmutr.ac.th, sopa_heng@hotmail.com

อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 9 ธันวาคม 2565

แก้ไข : 24 พฤษภาคม 2566

ตอบรับ : 30 พฤษภาคม 2566

DOI : 10.14456/kmuttrd.2023.12

คำสำคัญ : ค่าบริการสายส่ง / การติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้า / อัลกอริทึมที่พิจารณากำลังไฟฟ้าที่ไหลออกบัส / ทฤษฎีเกม / ค่าแชปเปลีย์

งานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบวิธีคิดค่าใช้บริการสายส่งด้วยวิธีการติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้ากับวิธีทฤษฎีเกม วิธีการติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้าใช้อัลกอริทึมที่พิจารณากำลังไฟฟ้าที่ไหลออกบัส (Downstream-looking) ส่วนทฤษฎีเกมใช้วิธีค่าแชปเปลีย์ (Shapley Value) ในการแบ่งค่าใช้บริการสายส่งที่เกิดขึ้นให้กับผู้เล่นเกมแต่ละคน ใช้โปรแกรม PowerWorld เพื่อจำลองการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบทดสอบ ซึ่งจะทำให้ทราบทั้งขนาดและทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น เขียนโปรแกรมด้วย MATLAB เพื่อช่วยคำนวณสัดส่วนการใช้สายส่ง โดยทดสอบกับระบบจำลอง 5 บัส 7 สายส่ง กรณีไม่คิดความสูญเสียในสายส่งที่มีผู้จำหน่ายไฟฟ้า 2 ราย ได้แก่ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) และผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (SPP) โดยโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าบัสที่ 2 และบัส 3 ชื้อไฟฟ้าจาก SPP และโหลดที่บัสอื่น ๆ ชื้อไฟฟ้าจาก กฟภ. พบว่า ทั้ง 2 วิธี มีข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบที่แตกต่างกัน คือวิธีทฤษฎีเกมทำความเข้าใจได้ง่ายกว่า สามารถคิดค่าใช้บริการสายส่งได้สมเหตุสมผลและมีความยุติธรรม แต่ในกระบวนการหาคำตอบ ต้องคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าหลายครั้ง หากเป็นระบบขนาดใหญ่จะใช้เวลามากกว่า ส่วนวิธีติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้าเป็นวิธีที่มีหลายขั้นตอนและมีความซับซ้อนมากกว่า แต่มีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเพียงครั้งเดียว

Wheeling Charge Calculations: A Comparison between Power Tracing Method and Game Theory

Sopa Sae-Heng*

Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170

*Corresponding Author: sopa.hen@rmutr.ac.th, sopa_heng@hotmail.com.
Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering.

Article Info

Article History:

Received: December 9, 2022

Revised: May 24, 2023

Accepted: May 30, 2023

DOI : [10.14456/kmuttrd.2023.12](https://doi.org/10.14456/kmuttrd.2023.12)

Keywords :

Wheeling Charge / Power Tracing / Downstream-looking Algorithm / Game Theory / Shapley Value

Abstract

This article presents a comparison between using the power tracing method and game theory method to calculate the wheeling charge. The power tracing method uses downstream-looking algorithm, while the game theory method uses Shapley value for allocating the transmission line usage cost. PowerWorld Simulator was used to simulate the power flow of the test system; the results are shown both in terms of the magnitude and direction of real power flow in each transmission line. Then, a MATLAB program was created to calculate the transmission line usage cost using both the power tracing method and Shapley value. The test system consisted of 5 buses, 7 transmission lines with 2 sources, namely, Provincial Electricity Authority (PEA) and Small Power Producer (SPP). Loads at buses 2 and 3 were the customers of SPP, while the others were the customers of PEA. The results showed that both methods have different advantages and disadvantages. The game theory method is easier to understand and yielded reasonable and fair results. However, the game theory method must run the load flow program for many times, so it may take more computational time for a larger system. On the other hand, the power tracing method is more complex and requires many steps to find the solution; the load flow program needs to run only once, however.

1. บทนำ

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นแบบกระจายตัวมากขึ้น มีการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานที่หลากหลายมากขึ้น ตลอดจนมีการขยายขอบเขตการแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าทั้งในระดับประเทศและระดับภูมิภาค [1] และจากพระราชบัญญัติการประกอบกิจการพลังงาน พ.ศ. 2550 กำหนดให้ผู้ที่ได้รับใบอนุญาตที่มีระบบโครงข่ายพลังงานต้องยินยอมให้ผู้รับใบอนุญาตหรือประกอบกิจการพลังงานรายอื่นใช้หรือเชื่อมต่อบริการโครงข่ายพลังงานของตนเอง ปัจจุบันการไฟฟ้าในประเทศไทยคิดอัตราค่าบริการการใช้ระบบส่งเป็นค่าคงที่ (บาท/kW/เดือน) ซึ่งวิธีคิดดังกล่าวทำให้เกิดการได้เปรียบเสียเปรียบของผู้มีส่วนร่วมต่าง ๆ ในระบบส่ง ตลาดซื้อขายไฟฟ้าในต่างประเทศก็มีการถกเถียงกันถึงความโปร่งใส และความยุติธรรมของอัตราการใช้บริการสายส่ง

ดังนั้น จึงมีประกาศคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และแนวทางการจัดทำข้อกำหนดการเปิดใช้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้แก่บุคคลที่สาม (Third Party Access: TPA) พ.ศ. 2565 เพื่อรองรับนโยบายการส่งเสริมให้เกิดการแข่งขันในกิจการไฟฟ้า และส่งเสริมให้การบริการระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นไปด้วยความเป็นธรรม โปร่งใส และไม่มีการเลือกปฏิบัติอย่างเป็นธรรม โดยให้ผู้มีหน้าที่กำหนดอัตราค่าบริการการใช้หรือเชื่อมต่อบริการโครงข่ายไฟฟ้ากำหนดค่าบริการที่สะท้อนถึงต้นทุนที่แท้จริงและคำนึงผลตอบแทนที่เหมาะสมของการลงทุนในการประกอบกิจการไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ให้คำนึงถึงความโปร่งใสในการประเมินต้นทุนและค่าบริการ และคำนึงถึงแบบอย่างการปฏิบัติหรือวิธีการที่เป็นที่ยอมรับในการประกอบกิจการไฟฟ้าในระดับสากล

การปรับโครงสร้างของตลาดซื้อขายไฟฟ้าโดยเปิดให้บุคคลที่ 3 ใช้งานระบบโครงข่ายได้ ทำให้เกิดความท้าทายทางเทคนิคในการจัดสรรค่าธรรมเนียมต่างๆ ให้แก่ผู้ใช้งานโครงข่ายมากขึ้น ได้แก่ ราคากระบบส่ง ค่าใช้บริการ ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย และ TRM (Transmission Reliability Margin) ดังนั้นหน่วยงานที่กำกับดูแลระบบจึงต้องการวิธีที่มีความง่ายและมีประสิทธิภาพในการจัดสรรต้นทุนโครงข่ายที่ซับซ้อนนี้ให้เกิดความยุติธรรมและเท่าเทียมกันของผู้มีส่วนร่วมในระบบ [2-4] โดยวิธีการจัดสรรค่าธรรมเนียมการใช้สายส่งที่นิยมใช้ทั่วโลกคือ วิธีค่าบริการแบบฝังตัว (Embedded Cost) [3, 5] ได้แก่ วิธี Postage Stamp, Contract Path, MW-Mile

และ Power Flow Tracing เป็นวิธีที่จัดสรรค่าธรรมเนียมตามการใช้โครงข่ายในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่แท้จริง ซึ่งค่าธรรมเนียมนี้จะรวมค่าบริการ ค่าสินทรัพย์ ต้นทุนการดำเนินการและการบำรุงรักษาด้วย จากที่กล่าวมาก็ยังเกิดข้อกังขาของวิธีการเหล่านี้ถึงความยุติธรรมของค่าบริการที่มีการเรียกเก็บกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบ ปัจจุบันวิธีทฤษฎีเกมเป็นที่ยอมรับในวงกว้างถึงความสมเหตุสมผล ความยุติธรรม และลดการโต้แย้งกันของผู้มีส่วนร่วมในระบบได้

Choudhury และ Goswami [2] เสนอการแบ่งค่าใช้ อุปกรณ์ประกอบในระบบส่ง ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า และคาปาซิเตอร์ ทั้งค่าใช้จ่ายแปรผันและคงที่ให้กับผู้มีส่วนร่วมในตลาดด้วยทฤษฎีเกมความร่วมมือ โดยระบบจำลองประกอบด้วยสถานีย่อย 220 kV จ่ายไฟผ่านหม้อแปลงให้โหลด 4 ฟีดเตอร์ที่แรงดัน 33 kV และแบ่งค่าใช้จ่ายแปรผันที่เกิดจาก Cooper Loss ในหม้อแปลง และค่าคาปาซิเตอร์ด้วยวิธีค่าเฉลี่ย ส่วนค่าใช้จ่ายคงที่จาก Iron Loss ใช้หลักการแบ่งตามสัดส่วนพบว่ากลไกการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้มีประสิทธิภาพที่ดีในแง่ความยุติธรรม ที่เที่ยงตรง ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่จำเป็นสำหรับการแบ่งค่าใช้บริการระบบส่ง

Khare และคณะ [3] เสนอการแบ่งค่าใช้บริการสายส่งด้วยทฤษฎีเกมแบบเฉลี่ยภายใต้สภาวะการทำงานปกติ และสภาวะฉุกเฉิน (Contingency Condition) N-1 โดยประยุกต์ใช้กับระบบ 6 Bus และระบบ IEEE 14 Bus พบว่าวิธีเกมเป็นวิธีที่ง่าย และมีประสิทธิภาพ และจากสถานการณ์ปัจจุบันที่มีการส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนในการผลิตไฟฟ้าส่งผลให้เกิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (DG) จำนวนมากเชื่อมต่อเข้ากับระบบที่ตำแหน่งต่างๆ ทำให้มีผู้เล่นหลายรายในตลาดไฟฟ้าเสรี โดย Rohit Bhakar และคณะ [4] เสนอการใช้ทฤษฎีเกมเพื่อจัดสรรต้นทุนของโครงข่ายให้กับ DG แบบพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมด้วยวิธี Nucleolus และค่าเฉลี่ย และเปรียบเทียบผลกับวิธี MW-Mile โดยจำลองกับระบบจำหน่าย 6 Bus ในพื้นที่ชนบทที่มีโหลดผู้ใช้ไฟ 5 ราย และไม่คิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ซึ่งผลที่ได้จากวิธีทฤษฎีเกมและ MW-Mile ให้แนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยผลที่ได้จากทฤษฎีเกมนั้นแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งของ DG มีผลต่อค่าบริการโครงข่ายมากกว่าวิธี MW-Mile ซึ่งผลที่ได้จากวิธี Nucleolus และค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันเล็กน้อย

จากวิธีการจัดสรรค่าใช้บริการระบบส่งต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงขอเสนอการศึกษาข้อดี ข้อเสีย ของวิธีการคิดค่าบริการใช้สายส่งด้วยวิธีการหาสัดส่วนปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านสายส่งในแต่ละเส้นด้วยวิธีการติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Tracing) เทียบกับวิธีทฤษฎีเกม (Game Theory)

วิธี Power Tracing เป็นการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อให้ทราบว่าผู้ผลิตไฟฟ้าแต่ละรายจ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งแต่ละเส้นปริมาณเท่าใด ส่วนวิธีทฤษฎีเกมเป็นการประยุกต์ใช้เกมความร่วมมือ ซึ่งผลประโยชน์หรือผลตอบแทน (Payoff) ที่จะได้จากการร่วมมือกันเล่นเกมจะถูกแบ่งให้กับผู้เล่น (Player) แต่ละคนด้วยการคำนวณค่าแชปลีย์ (Shapley) ในที่นี้ผู้เล่นเกมคือ ผู้ใช้ไฟฟ้าหรือลูกค้าในระบบ ส่วนผลตอบแทนคือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งแต่ละเส้น

2. วิธี Power Tracing

การกำหนดค่าใช้บริการสายส่งที่ยุติธรรมเป็นประเด็นที่สำคัญในตลาดซื้อขายไฟฟ้า ในมุมมองของเจ้าของระบบสายส่งเป็นสิ่งสำคัญมากที่ต้องรับบทบาทของผู้ผลิตและโหลดแต่ละรายที่มีต่อสายส่ง และการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าระหว่างผู้ผลิตแต่ละรายไปยังโหลดของตนเอง ซึ่งการติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้าจะช่วยให้สามารถคิดค่าบริการจากผู้ผลิตไฟฟ้าและ/หรือผู้ใช้ไฟฟ้าบนพื้นฐานของการใช้ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าที่แท้จริง โดย Singh [6] เสนอการติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วย Bialek's Tracing Algorithm ที่เสนอใน [7] และได้ทดสอบกับกรณีศึกษาของระบบ IEEE 14-bus เพื่อจำลองการซื้อขายแบบทวิภาคีด้วยโปรแกรม PowerWorld Simulation

Bialek's Tracing Algorithm [7] เป็นวิธีอย่างง่ายในการติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้าในโครงข่ายสายส่งซึ่งยังสามารถประยุกต์ใช้กับการจัดสรรความสูญเสียทั้งหมดของระบบส่งให้กับแต่ละผู้ใช้ไฟหรือแต่ละแหล่งจ่าย โดยเสนอ 2 อัลกอริทึม คือ

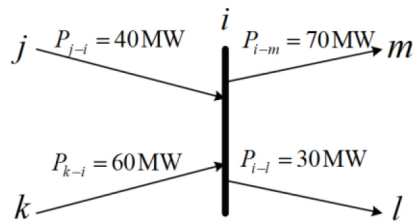
- Upstream-looking เป็นอัลกอริทึมที่หาผลรวมของ P ที่ไหลเข้าบัส i
- Downstream-looking เป็นอัลกอริทึมที่หาผลรวมของ P ที่ไหลออกจากบัส i

โดยทั้ง 2 อัลกอริทึมนี้ใช้หลักการแบ่งตามสัดส่วน (Pro-

portional Sharing Principle) และงานวิจัยนี้เลือกใช้อัลกอริทึม Downstream-looking เนื่องจากต้องการติดตามการไหลของ P ที่ไหลจากผู้จำหน่ายไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าว่าผ่านสายส่งเส้นใด

2.1 หลักการแบ่งตามสัดส่วน

หลักการแบ่งตามสัดส่วนเป็นการติดตามการไหลของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังโหลดที่บัสต่าง ๆ ผ่านระบบส่ง โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าบัสกับกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากบัส ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการแบ่งแบบตามสัดส่วน

สัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกบัส i ผ่านสายส่ง $i-m$ (P_{i-m}) เป็นผลรวมของสัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าบัส i ผ่านสายส่ง $j-i$ (P_{j-i}) และ $k-i$ (P_{k-i}) ตามสมการที่ (1)

$$P_{k-i} \rightarrow i-m = P_{i-m} \left(\frac{P_{j-i}}{P_{j-i} + P_{k-i}} + \frac{P_{k-i}}{P_{j-i} + P_{k-i}} \right) \tag{1}$$

- เมื่อ $P_{k-i} \rightarrow i-m$ = สัดส่วน P ที่ไหลออกบัส i ผ่านสายส่ง $i-m$
- P_{i-m} = ที่ไหลออกจากบัส i ไป m
- P_{j-i} = ที่ไหลจากบัส j เข้าบัส i
- P_{k-i} = ที่ไหลจากบัส k เข้าบัส i

จากรูปที่ 1 แทนค่าสมการที่ (1) จะได้ P ที่ไหลออกบัส i ผ่านสายส่ง $i-m$ โดยไหลมาจากสายส่ง $j-i = 28$ MW และ $k-i = 42$ MW ดังนี้

$$P_{k-i} \rightarrow i-l = P_{i-l} \left(\frac{P_{j-i}}{P_{j-i} + P_{k-i}} + \frac{P_{k-i}}{P_{j-i} + P_{k-i}} \right) \tag{2}$$

เมื่อ $P_{\substack{j-i \\ k-i} \rightarrow i-l}$ = สัดส่วน P ที่ไหลออกบัส i ผ่านสายส่ง $i-l$

ทำนองเดียวกันจากรูปที่ 1 แทนค่าสมการที่ (2) จะได้กำลังไฟฟ้าที่ไหลออกบัส i ผ่านสายส่ง $i-l$ ดังนี้

$$P_{\substack{j-i \\ k-i} \rightarrow i-m} = 70 \left(\frac{40}{100} + \frac{60}{100} \right) = 70(0.4 + 0.6) = 28 + 42 = 70$$

2.2 Downstream-looking Algorithm

ผลรวมของ P ที่ไหลออกจากบัส i แสดงดังสมการที่

$$(3) \quad P_i = \sum_{l \in \alpha_i^{(d)}} |P_{i-l}| + P_{Li}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

เมื่อ P_i = ผลรวมของ P ที่ไหลออกบัส i

P_{i-l} = P ที่ไหลในสายส่ง $i-l$

P_{Li} = โหลด P ที่ต่อกับบัส i

i = หมายเลขบัส

n = จำนวนบัส

l = บัสที่ต่อกับบัส i โดยทิศทางของ P ไหลออกบัส i

$\alpha_i^{(d)}$ = กลุ่มของบัสที่ต่อกับบัส i โดยทิศทาง P ไหลออกจากบัส i

งานวิจัยนี้ไม่คิดความสูญเสียในสายส่งดังนั้น $P_{i-l} = P_{-i}$ เขียนความสัมพันธ์ใหม่ได้ตามสมการที่ (4)

$$P_{i-l} = P_l \frac{P_{i-l}}{P_l} \quad (4)$$

เมื่อ P_{i-l} = P ที่ไหลในสายส่ง $i-l$

P_l = P ที่ไหลออกจากบัส l

เมื่อแทนสมการที่ (4) ในสมการที่ (3) จะได้สมการที่ (5)

$$P_i = \sum_{l \in \alpha_i^{(d)}} \left| \frac{P_{i-l}}{P_l} P_l \right| + P_{Li}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

ให้สัดส่วนของ P ที่ไหลในสายส่ง $i-l$ เทียบกับ P ที่ไหลออกจากบัส l เป็นไปตามสมการที่ (6)

$$c_{li} = \frac{|P_{i-l}|}{P_l} = \frac{|P_{-i}|}{P_l} \quad (6)$$

เมื่อ C_{ii} = สัดส่วนของขนาด P ที่ไหลในสายส่ง $i-l$ หรือ $l-i$ เทียบกับ P ที่ไหลออกจากบัส l

ดังนั้นเขียนสมการที่ (5) ใหม่ได้ตามสมการที่ (7)

$$P_i - \sum_{l \in \alpha_i^{(d)}} c_{li} P_l = P_{Li} \quad \text{หรือ} \quad A_d P = P_L \quad (7)$$

เมื่อ A_d = เมตริกซ์ Downstream ($n \times n$)

P = เวกเตอร์ของ P ที่ไหลออกจากบัส

P_L = เวกเตอร์ P ของโหลดที่บัส

โดยค่าของ A_d ตำแหน่ง $(i-j)$ จะมีค่าตามสมการที่ (8)

$$[A_d]_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{for } i=l \\ -c_{li} = -|P_{i-l}|/P_l & \text{for } l = \alpha_i^{(d)} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

เมื่อ $[A_d]_{ij}$ = เมตริกซ์ Downstream ที่มี i เป็นแถวและ j เป็นหลัก

จากสมการที่ (7) จะได้ $P = A_d^{-1} P_L$ และหาค่าแต่ละตำแหน่งของเวกเตอร์ P ได้ตามสมการที่ (9)

$$P_i = \sum_{k=1}^n [A_d^{-1}]_{ik} P_{Lk}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (9)$$

เมื่อ $[A_d^{-1}]_{ik}$ = อินเวอร์สเมตริกซ์ Downstream ที่มี i เป็นแถว และ k เป็นหลัก

P_{Lk} = P ของโหลดที่ต่อกับบัส

สมการที่ (9) แสดงผลรวมของ P ที่ไหลออกจากบัส i ไปจ่ายให้โหลดที่บัสต่างๆ ในระบบทั้งหมด ทำให้สามารถคำนวณสัดส่วน P ของโหลดที่บัสต่างๆ นั้นรับผ่านสายส่ง (P_{i-l}) ได้ตามสมการที่ (10)

$$|P_{i-l}| = \frac{|P_{i-l}|}{P_l} P_l = \frac{|P_{i-l}|}{P_l} \sum_{k=1}^n [A_d^{-1}]_{ik} P_{Lk} \quad (10)$$

ทำนองเดียวกัน สามารถหาสัดส่วน P ของแต่ละโหลดที่รับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i ได้จากสมการที่ (11) โดยแทนค่า P_i จากสมการที่ (9) ดังนี้

$$P_{Gi} = \frac{P_{Gi}}{P_i} P_i = \frac{P_{Gi}}{P_i} \sum_{k=1}^n [A_d^{-1}]_{ik} P_{Lk}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (11)$$

เมื่อ $P_{Gi} = P$ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อกับบัส i

เมื่อ ϕ_i = ผลประโยชน์ที่แบ่งให้ผู้เล่น i

V = ผลประโยชน์

N = จำนวนผู้เล่นทั้งหมด

S = กลุ่มผู้เล่นที่เป็นสับเซตของ N

$|S|$ = ขนาดของกลุ่มผู้เล่น

3. ทฤษฎีเกม (Game Theory)

ทฤษฎีเกมคือ คณิตศาสตร์แขนงหนึ่งที่จำลองสภาพของปัญหาที่มีการตัดสินใจเหมือนการเล่นเกม การตัดสินใจของผู้เล่นแต่ละคนจะคำนึงถึงผลตอบแทนที่ได้รับสูงสุด มีแนวคิดมาจากความยุติธรรม ความเสมอภาค และความสมดุลในการแข่งขัน ในการเล่นเกมจะประกอบด้วย 3 ส่วน ที่สำคัญได้แก่ ผู้เล่น (Players) ตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป กลยุทธ์ (Strategies) และผลตอบแทน (Payoffs) ที่ผู้เล่นแต่ละคนจะได้รับ [8] ทฤษฎีเกมสามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบ ได้แก่

1. เกมแบบไม่ร่วมมือ (Non-cooperative Game Theory) แบ่งเป็น 2 วิธีคิด คือ สมดุลแบบสมบูรณ์ทุกเกมย่อยและสมดุลแบบแนช
2. เกมแบบร่วมมือ (Cooperative Game Theory) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การสร้างความร่วมมือ และการแบ่งค่าใช้จ่าย

งานวิจัยนี้ใช้เกมแบบร่วมมือ ผู้เล่นจะร่วมมือกันเล่นเกมเมื่อผลประโยชน์ที่ได้สูงกว่าไม่ร่วมมือกันและต้องอยู่ในสถานการณ์ที่สามารถตกลงกันได้ [9] ผลประโยชน์หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจะถูกแบ่งให้กับผู้เล่นแต่ละคนอย่างยุติธรรม โดยทุกคนปราศจากข้อกังขา ซึ่งวิธีการแบ่งนี้ด้วยกันหลายวิธี งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Shapley Value เนื่องจากเป็นวิธีที่เข้าใจง่าย มีเหตุผล และคำตอบที่ได้จากวิธีนี้จะมีเพียงคำตอบเดียว [10-11] รายละเอียดของการเล่นเกมนี้นี้ดังต่อไปนี้

3.1 การสร้างความร่วมมือ

เกมแบบร่วมมือที่มี N ผู้เล่น (Grand Coalition) สามารถสร้างกลุ่มผู้เล่นเกมได้ 2^N โดยให้ S เป็นกลุ่มผู้เล่นที่เป็นสับเซตของ N (Coalition) และ V คือ Characteristic Function หรือ Valuation Function ในที่นี้คือ ผลประโยชน์หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเล่นเกมของ S

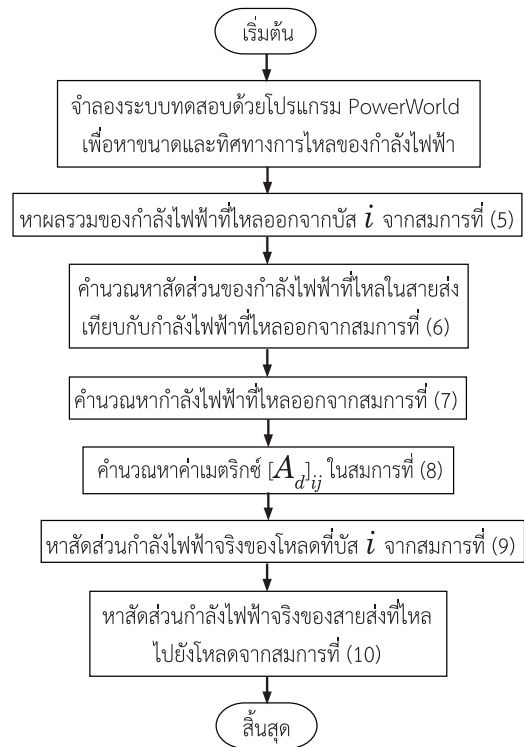
3.2 การแบ่งผลประโยชน์

การแบ่งผลประโยชน์จะใช้ Shapley Value ซึ่งเป็นวิธีการแบ่งผลประโยชน์หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการร่วมมือกันด้วยการกระจายผลประโยชน์ให้กับผู้เล่นเกมแต่ละคน โดยผลประโยชน์ที่ผู้เล่น i จะได้รับแสดงดังสมการที่ (12)

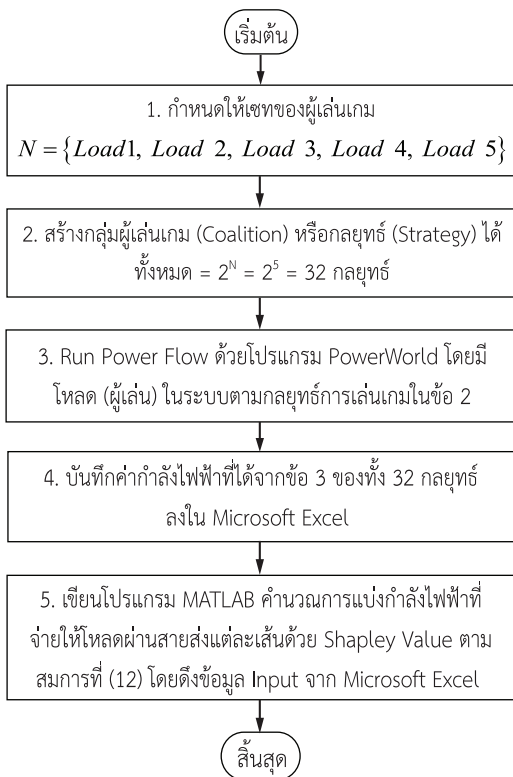
$$\phi_i(v) = \sum_{\substack{S \subseteq N \\ i \in N}} \frac{(N-|S|)! (|S|-1)!}{N!} [v(S) - v(S - \{i\})] \quad (12)$$

4. เปรียบเทียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการคำนวณค่าบริการใช้สายส่งโดยคำนึงถึงภาระการใช้งานสายส่งด้วยวิธี Power Tracing โดยใช้ระบบทดสอบเดียวกับที่เสนอใน [12] ซึ่งเสนอการคำนวณค่าบริการใช้สายส่งด้วยวิธีทฤษฎีเกม เพื่อเปรียบเทียบข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของทั้ง 2 วิธี โดยมีภาพรวมการดำเนินงานของ Downstream-looking Algorithm และวิธีทฤษฎีเกม ดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 การคิดค่าบริการใช้สายส่งด้วย Downstream-looking Algorithm



รูปที่ 3 การคิดค่าบริการใช้สายส่งด้วยวิธีทฤษฎีเกม

โดยระบบกำลังที่ใช้ทดสอบกับทั้ง 2 วิธีเป็นระบบที่มี 5 บัส มีผู้จำหน่ายไฟฟ้า 2 ราย คือ PEA และ SPP จำหน่ายไฟฟ้าให้ลูกค้า 5 ราย [12] ดังตารางที่ 1

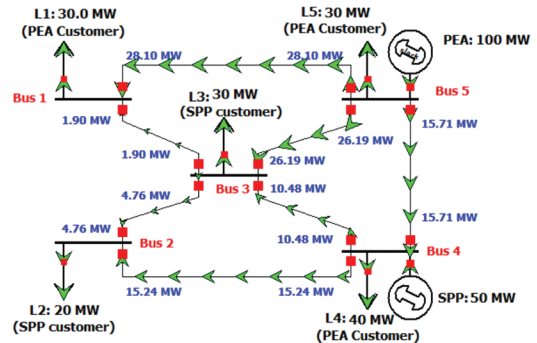
ตารางที่ 1 ข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้าของระบบทดสอบ

Bus	P_L (MW)	Customer	P_G (MW)	Generator
1	30.00	PEA	-	-
2	20.00	SPP	-	-
3	30.00	SPP	-	-
4	40.00	PEA	50.00	SPP
5	30.00	PEA	100.00	PEA

5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษาการคิดค่าบริการใช้สายส่งด้วย Downstream-looking Algorithm

ผลการจำลอง Power Flow ของระบบทดสอบตามข้อมูลตารางที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4 และผลของ P ที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นในทิศทางไหลออกจากบัสสรุปได้ตามตารางที่ 2



รูปที่ 4 การจำลอง Power Flow ของระบบทดสอบ

ตารางที่ 2 ผล P ที่ไหลในสายส่งในทิศทางไหลออกบัส

Line $i-j$	$(MP_{outflow} W)$
3-1	1.90
3-2	4.76
4-3	10.48
4-2	15.24
5-1	28.10
5-3	26.19
5-4	15.71

เมื่อป้อนผลที่ได้ในตารางที่ 2 ลงในโปรแกรม MATLAB ที่พัฒนาขึ้นจะได้ผล P ที่ไหลผ่านสายส่งแต่ละเส้นไปยังโหนดแต่ละบัสตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผล P ที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นไปยังโหนดด้วย Downstream-looking Algorithm

สายส่ง	กำลังไฟฟ้าจริงที่ผ่านสายส่ง $i-j$ (MW)					
	$i-j$	Load 1	Load 2	Load 3	Load 4	Load 5
3-1	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90
3-2	0.00	4.76	0.00	0.00	0.00	4.76
4-2	0.00	15.24	0.00	0.00	0.00	15.24
4-3	0.54	1.36	8.58	0.00	0.00	10.48
5-1	28.10	0.00	0.00	0.00	0.00	28.10
5-3	1.36	3.40	21.43	0.00	0.00	26.19
5-4	0.13	3.97	2.05	9.56	0.00	15.71
Total	32.03	28.73	32.06	9.56	0.00	102.38

จากผลที่ได้พบว่า การไหลของ P ผ่านทุกสายส่งไปยัง โหนดบัส 1, 2, 3, 4 และ 5 เท่า 32.03, 28.73, 32.06, 9.56 และ 0 MW ตามลำดับ โดยโหนดรวมของระบบ 100 MW ถูกส่งจากผู้จำหน่ายไฟฟ้าผ่านสายส่งทั้ง 7 เส้น ไปยังโหนดในทิศทางไหลออกจากบัสรวมเท่ากับ 102.38 MW โดยสายส่ง 3-1 ถูกใช้ส่ง P ให้โหนดที่บัส 1 เพียงบัสเดียวเท่านั้น ทำนองเดียวกับสายส่ง 3-2 และ 4-2 ก็ถูกใช้ส่ง P ให้โหนดบัส 2 เพียงบัสเดียว ส่วนสายส่ง 5-1 ส่งให้โหนดบัส 1 เท่านั้น ส่วนสายส่งเส้นอื่นๆ มีการใช้งานร่วมกันของโหนดหลายราย และโหนดบัส 5 ซื่อไฟฟ้าจาก กฟภ. ซึ่งตั้งอยู่ที่บัส 5 เหมือนกัน จึงไม่มีการส่ง P ผ่านสายส่งเส้นใด สามารถหาสัดส่วน P ที่ส่งผ่านสายส่งแต่ละเส้นไปยังโหนดบัสต่าง ๆ เทียบกับ P รวมทั้งหมดที่ส่งผ่านระบบ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 % P ที่ไหลในสายส่งไปที่โหนดเทียบกับ P ทั้งหมดที่ส่งผ่านระบบจาก Downstream-looking Algorithm

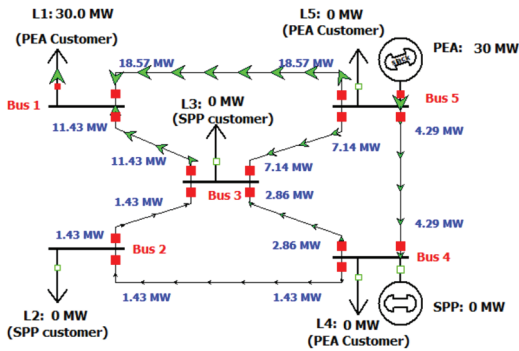
สายส่ง Load 1	สัดส่วนกำลังไฟฟ้าจริงที่ผ่านสายส่ง $i-j$ (%)					
	$i-j$	Load 1	Load 2	Load 3	Load 4	Load 5
3-1	1.86	0.00	0.00	0.00	0.00	1.86
3-2	0.00	4.65	0.00	0.00	0.00	4.65
4-2	0.00	14.88	0.00	0.00	0.00	14.88
4-3	0.53	1.33	8.38	0.00	0.00	10.24
5-1	27.45	0.00	0.00	0.00	0.00	27.45
5-3	1.33	3.32	20.93	0.00	0.00	25.58
5-4	0.12	3.88	2.00	9.34	0.00	15.34
Total	31.29	28.06	31.31	9.34	0.00	100.00

5.2 ผลการศึกษาการคิดค่าบริการการใช้สายส่งด้วยวิธีทฤษฎีเกม

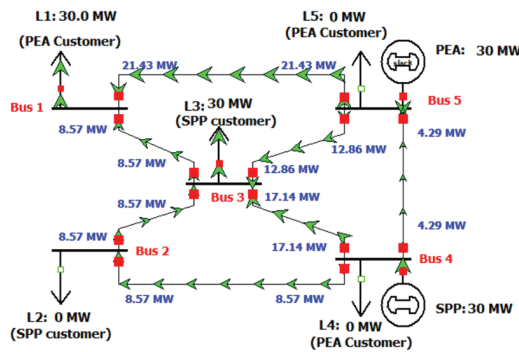
กำหนดให้ผู้เล่นเกมคือ โหลดทั้ง 5 บัส จะได้ $N=5$ และสร้างกลุ่มผู้เล่นเกมได้ $2^N = 2^5 = 32$ แบบ แสดงดังตารางที่ 5 จากนั้นใช้ PowerWorld หา Power Flow ของทุกกลยุทธ์ ความร่วมมือกันเล่นเกมในตารางที่ 5 ตัวอย่างผล Power Flow ของกลยุทธ์ที่มีผู้เล่นรายเดียวคือ โหลดบัสที่ 1 แสดงดังรูปที่ 5 และกลยุทธ์ที่มีผู้เล่น 2 คน คือ โหลดบัสที่ 1 และบัสที่ 3 แสดงดังรูปที่ 6

ตารางที่ 5 จำนวนสับเซตและผู้เล่นในแต่ละสับเซต

Strategy	S	Strategy	S
1	{ }	17	{1,2,3}
2	{1}	18	{1,2,4}
3	{2}	19	{1,2,5}
4	{3}	20	{1,3,4}
5	{4}	21	{1,3,5}
6	{5}	22	{1,4,5}
7	{1,2}	23	{2,3,4}
8	{1,3}	24	{2,3,5}
9	{1,4}	25	{2,4,5}
10	{1,5}	26	{3,4,5}
11	{2,3}	27	{1,2,3,4}
12	{2,4}	28	{1,2,3,5}
13	{2,5}	29	{1,2,4,5}
14	{3,4}	30	{1,3,4,5}
15	{3,5}	31	{2,3,4,5}
16	{4,5}	32	{1,2,3,4,5}



รูปที่ 5 ผล Power Flow ของกลยุทธ์ที่ 2: $S = \{\}$



รูปที่ 6 ผล Power Flow ของกลยุทธ์ที่ 8: $S = \{1,3\}$

ผลการคำนวณหาสัดส่วนการไหลของ P ที่ไหลผ่านสายส่งแต่ละเส้นไปยังโหนด巴士ต่างๆ ด้วย Shapley Value แสดงได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผล P ที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นไปยังโหนด巴士ด้วยวิธี Shapley Value

สายส่ง $i-j$	กำลังไฟฟ้าจริงที่ผ่านสายส่ง $i-j$ (MW)					
	Load 1	Load 2	Load 3	Load 4	Load 5	Total
3-1	1.91	-0.00	0.00	-0.00	0.00	1.90
3-2	-0.08	3.25	-1.51	3.09	0.00	4.76
4-2	1.19	10.72	5.47	-2.14	0.00	15.24
4-3	1.91	3.18	7.94	-2.54	0.00	10.48
5-1	18.57	0.95	2.86	5.72	0.00	28.10
5-3	7.14	1.90	5.71	11.43	0.00	26.19
5-4	2.38	-0.48	-0.96	14.76	0.00	15.71
Total	33.02	19.52	19.52	30.32	0.00	102.38

ผลการไหลของ P ผ่านทุกสายส่งไปยังโหนด巴士 1, 2, 3, 4 และ 5 เท่ากับ 33.02, 19.52, 19.52, 30.32 และ 0 MW ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกับผลที่ได้จากวิธี Downstream-looking และสายส่ง 3-1 ถูกใช้ส่ง P ให้โหนด巴士 1 เพียง巴士เดียว ส่วนสายส่งเส้นอื่น ๆ มีการใช้งานร่วมกันของโหนดหลายราย นอกจากนี้ผลที่ได้จากทฤษฎีเกมบางค่ามีค่าติดลบ ซึ่งหมายความว่า การซื้อไฟของโหนดรายนั้นทำให้เกิดทิศทางการไหลของ P สวนทางกับโหนดอื่น กรณีนี้จะส่งผลดีต่อระบบส่งเนื่องจากช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าของสายส่งเส้นนั้น ส่วนผู้ใช้ไฟที่巴士 5 ซื้อไฟฟ้าจาก กฟภ. ซึ่งอยู่ที่巴士 5 เหมือนกันจึงไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งเส้นใด ตารางที่ 7 แสดงสัดส่วน P ที่ส่งผ่านสายส่งแต่ละเส้นไปยังโหนด巴士ต่าง ๆ เทียบกับ P รวมทั้งหมดที่ส่งผ่านระบบ

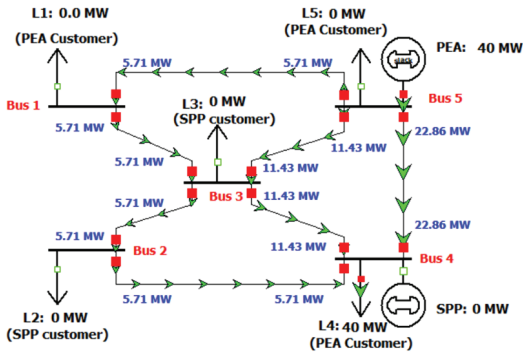
ตารางที่ 7 % P ที่ไหลในสายส่งไปยังโหนด巴士เทียบกับ P ทั้งหมดที่ส่งผ่านระบบจากวิธีทฤษฎีเกม

สายส่ง $i-j$	สัดส่วนกำลังไฟฟ้าจริงที่ผ่านสายส่ง $i-j$ (%)					
	Load 1	Load 2	Load 3	Load 4	Load 5	Total
3-1	1.86	-0.00	0.00	0.00	0.00	1.86
3-2	-0.08	3.18	-1.47	3.02	0.00	4.65
4-2	1.16	10.47	5.35	-2.09	0.00	14.89
4-3	1.86	3.10	7.75	-2.48	0.00	10.23
5-1	18.14	0.93	2.97	5.58	0.00	27.44
5-3	6.98	1.86	5.58	11.16	0.00	25.58
5-4	2.32	-0.47	-0.93	14.42	0.00	15.34
Total	32.25	19.07	19.07	29.61	0.00	100.00

เมื่อพิจารณาผลที่ได้ในตารางที่ 3 และตารางที่ 6 พบว่าค่า P ที่ไหลผ่านสายส่งของทั้ง 2 วิธี แตกต่างกันทั้งปริมาณและเครื่องหมาย + หรือ - ซึ่งวิธี Power Tracing ได้ผล P เป็นบวกทั้งหมด เนื่องจากวิธีนี้ Run Power Flow เพียงครั้งเดียวแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณ โดย P ที่ไหลผ่านสายส่งแต่ละเส้นเป็น P รวมสุทธิของสายส่งเส้นนั้น จึงมีค่าบวกเท่านั้น ส่วนทฤษฎีเกม จะ Run Power Flow หลายครั้งตามการจับกลุ่มความร่วมมือของผู้เล่น พบว่าผู้เล่น (โหนด) บางรายทำให้ปริมาณ P รวมสุทธิที่ไหลในสายส่งบางเส้นลดลงได้ เนื่องจากทิศทางการไหลของ P ไปยังผู้เล่นรายนั้นมีทิศทางสวนกับผู้เล่นรายอื่น ๆ ดังนั้นเมื่อทำการแบ่งผลประโยชน์หรือแบ่ง

การใช้ประโยชน์สายส่งให้กับผู้เล่นแต่ละราย จึงทำให้ผู้เล่นรายนั้นได้รับส่วนแบ่งการใช้สายส่งที่มีค่าติดลบ ซึ่งผู้เล่นที่ได้ส่วนแบ่งติดลบนี้ ควรได้รับส่วนลดค่าบริการใช้สายส่ง

นอกจากนี้ ผลของทฤษฎีเกมพบว่า Power Flow ของกรณีที่มีผู้เล่นเพียงรายเดียวคือ โหลดบัสที่ 4 ในกลยุทธ์ที่ 5 ($S = \{4\}$) ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การไหลของ P ของกลยุทธ์ที่ 5 ($S = \{4\}$) กรณีมีโหลดบัสที่ 4 รายเดียว

จะเห็นว่าโหลดผู้ใช้ไฟรายนี้มีการใช้สายส่งทุกเส้นเพื่อรับกำลังไฟฟ้าจาก กฟภ. แต่ผลที่ได้จาก Power Tracing ในตารางที่ 4 พบว่า โหลดบัสที่ 4 มีการใช้สายส่ง 5-4 เพียงเส้นเดียวเท่านั้น ซึ่งต่างจากผลของทฤษฎีเกมในตารางที่ 6 ที่โหลดบัส 4 นั้นมีการใช้สายส่งทุกเส้น กรณีเช่นนี้ทำให้เกิดข้อกังขาหรือโต้แย้งจากผู้เสียค่าบริการสายส่งรายอื่นๆ ได้

เมื่อนำผลจากวิธี Power Tracing ในตารางที่ 3 และ 4 มาเปรียบเทียบกับผลจากวิธีทฤษฎีเกมในตารางที่ 6 และ 7 จะได้ผลแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบผลระหว่างวิธี Power Tracing และวิธีทฤษฎีเกม

Load	Power Tracing		Game Theory	
	(MW)	(%)	(MW)	(%)
L1	32.03	31.29	33.02	32.25
L2	28.73	28.06	19.52	19.07
L3	32.06	31.31	19.52	19.07
L4	9.56	9.34	30.32	29.61
L5	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	102.38	100.00	102.38	100.00

จากผลที่ได้ในตารางที่ 8 จะเห็นว่า โหลดผู้ใช้ไฟที่รับผิดชอบค่าบริการระบบส่งสูงสุดจากวิธี Power Tracing คือ โหลดบัสที่ 3 รับผิดชอบค่าใช้จ่ายบริการระบบส่ง 31.31% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด รองลงมาคือ โหลดบัสที่ 1, 2 และ 4 รับผิดชอบ 31.29%, 28.06% และ 9.34% ตามลำดับ ส่วนวิธีทฤษฎีเกมนั้นโหลดผู้ใช้ไฟที่บัส 1 รับผิดชอบค่าบริการระบบส่งสูงสุด 32.25% รองลงมาคือ โหลดบัสที่ 4 รับผิดชอบ 29.61% โดยโหลดบัสที่ 2 และ 4 รับผิดชอบเท่ากันคือ 19.07% และโหลดบัสที่ 5 ที่ซื้อไฟฟ้าจาก กฟภ. ซึ่งตั้งอยู่ที่บัส 5 เช่นเดียวกัน จึงไม่มีการใช้สายส่งเส้นใดเลย ผลที่ได้จากทั้ง 2 วิธีจึงไม่ต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายบริการระบบส่ง

โดยผลสัดส่วนการรับผิดชอบค่าบริการระบบส่งของทั้ง 2 วิธี ในตารางที่ 8 ให้ผลที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าวิธีทฤษฎีเกมมีความโปร่งใส และเป็นธรรมกับโหลดผู้ใช้ไฟทุกบัส เนื่องจากการพิจารณาการใช้สายส่งของระบบในการส่งกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดทั้ง 32 กรณี ตามตารางที่ 5 อธิบายโดยยกตัวอย่างกรณีกลยุทธ์ที่ 5 ($S = \{4\}$) เป็นกรณีที่มีโหลดบัสที่ 4 ในระบบเพียงโหลดเดียวตามรูปที่ 7 เทียบกับวิธี Power Tracing ในรูปที่ 4 พบว่า หากไม่มีโหลดบัสอื่นนอกจากบัส 4 การไหลของ P ในทฤษฎีเกมจะมีทิศทางไหลในบางสายส่งที่มีทิศทางสวนทางกับรูปที่ 4 ได้แก่ สายส่ง 3-1, 4-2 และ 4-3 ในกรณีเช่นนี้ วิธีทฤษฎีเกมได้นำประโยชน์ของผู้เล่นโหลดบัส 4 ไปคิดเป็นส่วนลดในการคำนวณค่าเฉลี่ยด้วย โดยมีการคิดประโยชน์ลักษณะดังกล่าวมานี้ของโหลดที่บัสอื่นๆ ที่จับกลุ่มกันเล่นเกมทั้งหมด 32 กรณี ต่างกับวิธี Power Tracing ที่คิดค่าใช้จ่ายบริการระบบส่งเพียงกรณีเดียวคือ กรณีที่มีทุกโหลดในระบบ ซึ่งตรงกับกลยุทธ์ที่ 32 ของวิธีทฤษฎีเกมเพียงกลยุทธ์เดียว ดังนั้นผลที่ได้จากวิธีทฤษฎีเกมจึงสมเหตุสมผลและสามารถลดข้อกังขาของผู้มีส่วนร่วมในระบบได้ โดยตารางที่ 9 แสดงข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของทั้ง 2 วิธี

ตารางที่ 9 ข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของวิธี Power Tracing และวิธีทฤษฎีเกม

	Power Tracing	Game Theory
การ Run Power Flow	- Run Power Flow เพียง 1 ครั้ง - ใช้เวลาเก็บข้อมูล Power Follow น้อยกว่า	- จำนวนครั้งการ Run Power Flow = 2^N , N = ผู้เล่นหรือโหนดในระบบ - ใช้เวลา Run และเก็บข้อมูลมากกว่ามาก
ความซับซ้อนในการคำนวณ	- มีขั้นตอนการคำนวณมากกว่า - ใช้สมการคำนวณมากกว่า - มีความซับซ้อนมากกว่า	- มีขั้นตอนการคำนวณน้อยกว่า - ใช้สมการคำนวณน้อยกว่า - เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน
ประสิทธิภาพ	- เกิดข้อกังขาถึงความยุติธรรมและความโปร่งใสของผลที่ได้ - เกิดข้อโต้แย้งระหว่างผู้มีส่วนร่วมในระบบได้	- มีความยุติธรรม โปร่งใส สมเหตุสมผล - ช่วยลดข้อโต้แย้งของผู้มีส่วนร่วมในระบบได้

6. สรุป

จากผลการทดลองหาส่วนแบ่งการรับผิดชอบค่าใช้จ่ายระบบส่งด้วยวิธี Power Tracing และวิธีทฤษฎีเกม กรณีไม่คิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งพบว่า ทฤษฎีเกมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่า โดยมีการพิจารณาผลประโยชน์ที่โหนดหรือผู้เล่นเกมรวมมือกันเล่นเกมทุกกลยุทธ์และทำการแบ่งผลประโยชน์หรือค่าใช้จ่ายระบบส่งตามที่ผู้เล่นนั้นนำเข้ามาให้กับส่วนรวม ส่งผลให้สามารถคิดค่าใช้จ่ายระบบส่งได้อย่างสมเหตุสมผล มีความโปร่งใส ยุติธรรม ช่วยลดข้อกังขาของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบ แต่ก็ยังมีข้อได้เปรียบเสียเปรียบอื่นๆ อีก ซึ่งสามารถสรุปข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของทั้ง 2 วิธีได้ดังนี้

- วิธี Power Tracing มีข้อได้เปรียบคือ มีสะดวกในการเก็บข้อมูล Power Flow เนื่องจากมีการ Run Power Flow เพียงครั้งเดียว แต่ก็มีข้อเสียเปรียบในส่วนของการคำนวณที่ซับซ้อนมากกว่า มีหลายขั้นตอน และใช้สมการคำนวณมากกว่า นอกจากนี้ผลที่ได้ยังทำให้เกิดข้อกังขาาระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบ

- วิธีทฤษฎีเกมมีข้อได้เปรียบคือ เป็นวิธีที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน และใช้สมการคำนวณเพียง 1 สมการเท่านั้น สามารถคิดค่าบริการใช้สายส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยุติธรรม โปร่งใส มีความสมเหตุสมผล และช่วยลดข้อโต้แย้งของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระบบ แต่วิธีนี้ก็มีข้อเสียเปรียบคือ จำนวนครั้งในการ Run Power Flow เป็นไปตามจำนวนกลยุทธ์ที่ใช้เล่นเกม ซึ่งมีมากถึง 2^N ทำให้ใช้เวลา Run และเก็บข้อมูลมากกว่า ซึ่งในระบบขนาดใหญ่ที่มีจำนวนผู้เล่นเกมมาก ๆ จะทำให้จำนวนกลยุทธ์เพิ่มขึ้นมาก ซึ่งส่งผลให้ใช้เวลาคำนวณมากขึ้นด้วย

ในการนำไปใช้งานจริงนั้นทั้งสองวิธีต่างก็มีข้อจำกัดที่แตกต่างกันคือ วิธี Power Tracing มีจุดอ่อนในประเด็นความยุติธรรมระหว่างผู้มีส่วนร่วมในระบบ ส่วนวิธีทฤษฎีเกมแบบค่าเฉลี่ยนั้นแม้จะไม่เกิดประเด็นดังกล่าว แต่ก็เหมาะกับระบบที่มีผู้เล่นเกมไม่มาก เนื่องจากจำนวนซับซ้อนของกลยุทธ์ผู้เล่น (S) ที่มีค่าเท่ากับ 2^N ซึ่งหากจำนวนผู้เล่นเกมมากจะต้องเวลาในการหาคำตอบมาก

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่ได้จัดสรรงบประมาณสำหรับการทำวิจัยครั้งนี้ ทั้งยังให้การสนับสนุนเวลา สถานที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ และขอขอบคุณ คุณอรุโร หนูหอม นักวิจัยอาวุโส โครงการวิจัยและพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่าง ๆ เป็นอย่างดีในการทำวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

1. Wuttisela, C., 2017, "Asean Power Grid," *TIRATHAI Journal*, 6 (18), pp. 5-13. (In Thai)
2. Choudhury, N.B.D. and Goswami, S.K., 2010, "Fair Allocation of Transmission Ancillary Service Cost using Game Theory: A Preliminary Study," *20th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, 5-8 December 2010, Christchurch, New Zealand, pp. 1-5.
3. Khare, S., Khan, B. and Agnihotri, G., 2015, "Shapley Value Approach for Transmission Usage Cost Allocation under Contingent Restructured Market," *2015 1st International Conference on Futuristic trend in Computational Analysis and Knowledge Management (ABLAZE-2015)*, 25-27 February 2015, Greater Noida, India, pp. 170-173.
4. Bhakar, R., Sriram, V.S., Padhy N.P. and Gupta, H.O., 2009, "Cost Allocation of DG Embedded Distribution System by Game Theoretic Models," *IEEE Power and Energy Society General Meeting Conference*, 26-30 July 2009, Calgary, AB, Canada, pp. 1-7.

5. Vidhya, P., Kumar R.A. and Asokan, K., 2016, "A Novel MVA – Mile Method Based Cost Allocation Scheme for Competitive Power System by Employing SSSC Controller," *Middle-East Journal of Scientific Research*, 24 (10), pp. 3230-3242.
6. Singh, S., 2012, "Power Tracing in a Deregulated Power System: IEEE 14-Bus Case," *International Journal of Computer Technology and Applications*, 3 (3), pp. 887-894.
7. Bialek, J., 1996, "Tracing the Flow of Electricity," *IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution*, 143 (4), pp. 313-320.
8. Grai Phongam, Game Theory and Economic Decision Making, Faculty of Economics, Ramkhamhaeng University.
9. Suksomboon, K., 2004, Fair Trunk Reservation Policy in Call Admission Control Using Cooperative Game Theory, Chulalongkorn University, Bangkok, 106 p. (In Thai)
10. alid Saad, W., Han, Z., Debbah, M., Hjørungnes, A. and Başar, T., 2009, "Coalitional Game Theory for Communication Networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, 26 (5), pp. 77-97.
11. Ferguson, T.S., 2000, "Part IV. Games in Coalition Form," in *Game Theory*, University of California, Los Angeles, pp. 1-25.
12. Sae-Heng, S., Noohawm, O. and Rerkpreedapong, D., 2013, "Application Game Theory to Wheeling Charge Calculation," *The 36th Electrical Engineering Conference (EECON 36)*, 11-13 December 2013, pp. 253-256. (In Thai)