

การศึกษาดัชนีชี้วัดที่แสดงสถานภาพความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย : ในมุมมองของผู้ผลิตไฟฟ้า

มลนิรา ธรรมเสรีกุล^{1,*} และ วรินทร์ หวังจิรนิรันดร์²

¹สหสาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*E-mail : meenne@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาดัชนีชี้วัดที่แสดงสถานภาพความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2556 จำนวน 16 ดัชนีชี้วัด ใน 4 มิติ ได้แก่ มิติด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากร (Availability) มิติด้านราคา (Affordability) มิติด้านการยอมรับ (Acceptability) และมิติด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพ (Applicability) โดยการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของมิติ และดัชนีชี้วัดต่างกัน พร้อมทั้ง เปรียบเทียบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าภายใต้ภาพอนาคตต่างๆ จากการศึกษความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2556 พบว่า มิติด้านการยอมรับ (Acceptability) เป็นมิติที่มีคะแนนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความสามารถในการลดการปล่อยมลสารของโรงไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ขณะที่มิติด้านราคา (Affordability) เป็นมิติที่มีคะแนนลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจาก ดัชนีราคาต้นทุนของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะราคาก๊าซธรรมชาติ สำหรับมิติด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากร (Availability) พบว่า มีคะแนนเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มการกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า และมิติด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพ (Applicability) เป็นมิติที่มีคะแนนค่อนข้างคงที่ เนื่องจากดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีคะแนนต่ำ ส่งผลให้มติดังกล่าวมีคะแนนต่ำเช่นกัน สำหรับผลการศึกษาภาพอนาคตจำนวน 2 ภาพ ได้แก่ ภาพอนาคตกรณีอ้างอิง (Reference Scenario) และภาพอนาคตทางเลือก (Alternative Scenario) พบว่า ภายใต้ภาพอนาคตทางเลือก ซึ่งกำหนดให้มีการกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยเพิ่มสัดส่วนของถ่านหินนำเข้าเป็น 32.4% และพลังงานหมุนเวียนเป็น 33.5% ส่งผลให้เกิดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในทุกดัชนีชี้วัดที่ทำการศึกษา ยกเว้นอัตราการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานสุทธิต่อการจัดหาพลังงานทั้งหมด

คำสืบค้น

ความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า, ดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า, ภาพอนาคต

A Study on Energy Security Indicators for Thailand Power Sector : Utility Aspect

Molnira Thamsereekul^{1,} Weerin Wangiraniran²*

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

²*Energy Research Institute, Chulalongkorn University.*

**E-mail : meenne@hotmail.com*

ABSTRACT

The Purpose of this study is to study energy security indicators for Thailand power sector using sixteen indicators during the period 2009-2013. It constructs a 4-As dimension framework – the availability of energy resources, the affordability of energy price, the acceptability of social and the applicability of supply side and demand side. Moreover, to present the importance of each dimensions and indicators, they are integrated with unequal weight. During the period 2009-2013, it found that the acceptability showed the highest score of energy security in power sector because of the decreasing of the emissions of power plants such as CO₂, SO₂ and NO_x, while the affordability showed the lowest score due to fuel cost and renewable energy cost. For the availability, the result showed that the diversification effect to the higher score of availability. Moreover, the dimension which showed stable is applicability, because of the balance of supply side and demand side scores. Two differences in scenario over this study found that alternative scenario is the best scenario which showed highest energy security.

KEYWORDS

Energy security in power sector, Energy security Indicators, Scenario

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการพัฒนาในด้านต่างๆ อย่างต่อเนื่อง โดยปัจจัยหลักในการเพิ่มขีดความสามารถในการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ ได้แก่ ปัจจัยด้านพลังงาน โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า กล่าวคือ พลังงานไฟฟ้าเป็นต้นกำเนิดปัจจัยสี่ของการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็นการบริโภค หรือการผลิตสินค้าและบริการต่างๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ และยังเป็นปัจจัยพื้นฐานของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ อันจะส่งผลให้ประเทศไทยมีความสามารถในการแข่งขันกับนานาประเทศ ดังนั้น การที่ประเทศมีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า จะส่งผลให้ประเทศมีความมั่นคง ทั้งในด้านเศรษฐกิจ และด้านคุณภาพชีวิต โดยความมั่นคงทางพลังงาน (Energy Security) หมายถึง การมีแหล่งพลังงานที่มีความพร้อมใช้ และมีราคาที่เหมาะสม (International Energy Agency, IEA) อีกทั้ง ยังมีการกำหนดกรอบการประเมินความมั่นคงทางพลังงานใน 4 มิติ (Asia Pacific Energy Research Centre, APERC) ได้แก่ มิติด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากร (Availability) มิติด้านความสามารถในการเข้าถึงแหล่งทรัพยากร (Accessibility) มิติด้านการยอมรับ (Acceptability) และมิติด้านราคา (Affordability)

ปัจจุบัน ประเทศไทยประสบกับปัญหาของความไม่มั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าจากหลายปัจจัย เช่น ปัจจัยด้านเชื้อเพลิง ปัจจัยด้านราคา ปัจจัยด้านการยอมรับจากสังคม เป็นต้น ทำให้เกิดปัญหาในการวางแผนนโยบายพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น การศึกษาปัจจัย หรือดัชนีชี้วัดที่ส่งผลต่อความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า จึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญ เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายด้านพลังงานไฟฟ้า B. Kruyt et al., 2009 ทำการประเมินความมั่นคงทางพลังงานของประเทศยุโรปตะวันตก ในปี พ.ศ. 2593 โดยใช้ดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงาน จำนวน 22 ดัชนี ในกรอบ 4 มิติ ของ APERC [1] L. Yao, Y. Chang., 2014 ทำการประเมินความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าของประเทศจีน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523-2553 โดยใช้ดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงาน จำนวน 20 ดัชนี ในกรอบ 4 มิติ ได้แก่ Availability, Affordability, Acceptability และ Applicability [2] J. Martchamadol., S. Kumar., 2012 ทำการศึกษาความมั่นคงทางพลังงานของประเทศไทย ในระยะเวลา 45 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529-2573 และเสนอภาพทางเลือกที่ส่งผลให้เกิดความมั่นคงทางพลังงาน โดยใช้ดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงาน จำนวน 19 ดัชนี พบว่า ภาพทางเลือกสังคมคาร์บอนต่ำ (LCS) ประกอบด้วย 2 พลังงานหลัก ได้แก่ น้ำมัน และพลังงานหมุนเวียน และการเพิ่มสัดส่วนการอนุรักษ์พลังงานจาก 25% เป็น 60% ในปี พ.ศ. 2573 เป็นภาพทางเลือกที่ทำให้ประเทศไทยมีความมั่นคงทางพลังงานมากที่สุด [3] J. Kamsamrong, C. Sorapipatana., 2014 ทำการศึกษาความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย โดยมุ่งเน้นความมั่นคงของพลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในอีก 20 ปี และเสนอภาพทางเลือกที่ส่งผลให้เกิดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ดัชนีชี้วัดความมั่นคงของพลังงานปฏุมภูมิ จำนวน 5 ดัชนี พบว่า ภาพทางเลือกที่ไม่มีการสร้างโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ เป็นภาพทางเลือกที่ส่งผลให้เกิดความมั่นคงของพลังงานปฏุมภูมิมากที่สุด ในปี พ.ศ. 2573 โดยภาพทางเลือกดังกล่าว ได้มีการแทนที่โรงไฟฟ้านิวเคลียร์และโรงไฟฟ้าถ่านหินที่ใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ด้วยโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และแทนที่โรงไฟฟ้าถ่านหินที่ใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ และโรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติที่หมดอายุด้วยโรงไฟฟ้าแบบแก๊สซิฟิเคชั่น สำหรับความต้องการพลังงานไฟฟ้าส่วนเกิน จะนำเข้าจากต่างประเทศ จึงส่งผลให้เกิดความมั่นคงของพลังงานปฏุมภูมิใน 3 ดัชนี ได้แก่ ดัชนีการกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิง ความเข้มของการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ และปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ [4]

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดที่แสดงสถานการณ์ความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ผ่านกรอบ 4 มิติ ได้แก่ มิติด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากร (Availability) มิติด้านราคา (Affordability) มิติด้านการยอมรับ (Acceptability) และมิติด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพ (Applicability) จำนวน 16 ดัชนีชี้วัด ในปี พ.ศ. 2552-2556 และเปรียบเทียบกับภาพอนาคต จำนวน 2 ภาพ ในปี พ.ศ. 2579 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยต่อไป

2. วิธีการศึกษาและข้อมูล

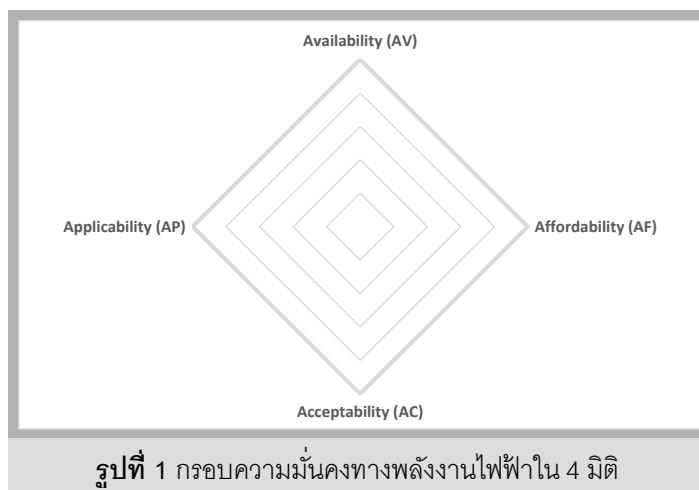
ในการศึกษานี้ เลือกใช้กรอบความมั่นคงทางพลังงานใน 4 มิติ ของ L. Yao, Y. Chang., 2014 และเลือกใช้ดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าจำนวน 16 ดัชนี ในการแสดงสถานภาพความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2552-2556 และทำการเปรียบเทียบกับภาพอนาคตจำนวน 2 ภาพในปี พ.ศ. 2579 โดยใช้ข้อมูลจากกระทรวงพลังงาน และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

โดยกรอบความมั่นคงทางพลังงาน 4 มิติ ของ L. Yao, Y. Chang., 2014 เป็นกรอบความมั่นคงทางพลังงานที่ถูกพัฒนาขึ้นจากกรอบความมั่นคงทางพลังงานของ APERC ซึ่งได้แก่ มิติด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากร (Availability) มิติด้านราคา (Affordability) มิติด้านการยอมรับ (Acceptability) และมิติด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพ (Applicability)

3. กรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า และดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า

3.1 กรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า และการคัดเลือกดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า

กรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าใน 4 มิติ ประกอบด้วย 16 ดัชนีชี้วัด ซึ่งข้อมูลทุติยภูมิ และข้อมูลจากการคำนวณ จะถูกนำมาแปลงเป็นค่าปกติ โดยวิธีการ Normalization เพื่อใช้ประเมินความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 – 2556 และแสดงผ่านกรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 1



ความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า สามารถแสดงผ่านพื้นที่ของกรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า โดยหากมีพื้นที่มาก หมายถึง มีความมั่นคงทางพลังงานมาก ซึ่งในแต่ละปีกรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าจะแสดงออกมาในรูปแบบที่แตกต่างกัน สำหรับดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า มักแตกต่างกันในแต่ละประเทศ โดยการคัดเลือกดัชนีชี้วัดต้องคำนึงถึงสถานการณ์พลังงานไฟฟ้า เป้าหมายของการผลิตไฟฟ้า การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และแหล่งทรัพยากรของแต่ละประเทศ เป็นต้น [5] เพื่อให้สามารถเป็นตัวแทนแสดงสถานภาพความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ ยังต้องมีการคำนึงถึงการจัดหาข้อมูลของดัชนีชี้วัดต่างๆ โดยต้องเป็นข้อมูลที่สามารถหาได้ เปิดเผย และต้องมีการนำเสนออย่างต่อเนื่องทั้งในอดีตและอนาคต

3.2 ดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า

ดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าใน 4 มิติ ประกอบด้วย 16 ดัชนีชี้วัด ซึ่งเป็นดัชนีที่สอดคล้องกับสถานการณ์พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย อีกทั้ง เป็นข้อมูลที่สามารถหาได้ เปิดเผย และมีการนำเสนออย่างต่อเนื่องทั้งในอดีตและอนาคต โดยแต่ละมิติจะประกอบด้วย 4 ดัชนีชี้วัด ดังตารางที่ 1 มีรายละเอียด ดังนี้

มิติที่ 1 ด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากร (Availability : AV)

ประเทศไทย มีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก โดยมีสัดส่วนถึง 67% ในปี พ.ศ. 2556 ดังนั้น การมีแหล่งก๊าซธรรมชาติที่มีความพร้อมใช้จึงมีความสำคัญต่อความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า ในมิติที่ 1 จะแสดงถึงศักยภาพของแหล่งพลังงาน ได้แก่ ปริมาณสำรองก๊าซธรรมชาติที่พิสูจน์แล้วในประเทศไทย ศักยภาพของพลังงานหมุนเวียน และการพึ่งพาแหล่งพลังงานจากต่างประเทศ รวมไปถึง การกระจายสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า อันจะส่งผลต่อความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า

มิติที่ 2 ด้านราคา (Affordability : AF)

ไฟฟ้า เป็นสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานในการดำรงชีวิต การที่มีราคาค่าไฟฟ้าที่เหมาะสม และประชาชนสามารถจ่ายได้ ถือเป็นความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าที่สำคัญ นอกจากนี้ การผลิตสินค้าและบริการ หากมีต้นทุนที่เหมาะสม จะเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับต่างประเทศได้ ในมิติที่ 2 จะแสดงราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของประเทศไทย โดยเน้นที่สัดส่วน และราคาต้นทุนของเชื้อเพลิง ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

มิติที่ 3 ด้านการยอมรับ (Acceptability : AC)

ปัจจุบัน ภาคการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย มีการปล่อยมลสารจากการผลิตไฟฟ้า ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซเรือนกระจก หากมีการสะสมในชั้นบรรยากาศ จะเกิดภาวะโลกร้อน สำหรับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) มักประสบกับปัญหาการยอมรับจากสังคม แต่อย่างไรก็ตาม โรงไฟฟ้าในปัจจุบันได้มีการติดตั้งเครื่องลดอัตราการปล่อยมลสารดังกล่าว เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ดังนั้นในมิติที่ 3 จะเป็นการแสดงอัตราการปล่อยมลสารทั้ง 3 ชนิด ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย อีกทั้ง การจ่ายเงินเข้ากองทุนพัฒนาพื้นที่รอบโรงไฟฟ้า ก็เป็นดัชนีชี้วัดที่ส่งผลต่อการยอมรับของสังคมต่อการสร้างความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า

มิติที่ 4 ด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพ (Applicability : AP)

การผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย มีประสิทธิภาพ และการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ถือเป็นความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าที่ควรให้ความสนใจในปัจจุบัน ในมิติที่ 4 จะแสดงถึงความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า อันเนื่องมาจากการเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านอุปทาน และอุปสงค์ของพลังงานไฟฟ้า โดยประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้า หมายถึง การใช้เชื้อเพลิงให้คุ้มค่าที่สุดต่อการผลิตไฟฟ้า 1 หน่วย อีกทั้ง การใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ ตามนโยบายส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน เช่น การใช้อุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง หรือการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า จะส่งผลให้มีความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อยลง ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการจัดหาพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการ

ตารางที่ 1 ดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าใน 4 มิติ

มิติ/ ดัชนีชี้วัด	นิยาม	สมการ/ แหล่งข้อมูล
มิติด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากร (Availability : AV)		
AV 1	ปริมาณสำรองกำลังการผลิตที่พิสูจน์แล้วต่ออัตราการผลิตกำลังการผลิตต่อปี (ปี)	แหล่งข้อมูล : [8]
AV 2	ศักยภาพของแหล่งพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม น้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ (พินตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)	แหล่งข้อมูล : [9]
AV 3	อัตราการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงสุทธิต่อการจัดหาเชื้อเพลิงทั้งหมด(NEID) โดยที่เชื้อเพลิงนำเข้า และเชื้อเพลิงทั้งหมด หมายถึง เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน	สมการจาก B. Krut et al., 2009 $NEID = \frac{\sum_i mi pi l n pi}{\sum_i pi l n pi} \quad (1)$ $NEID =$ อัตราการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงสุทธิต่อการจัดหาเชื้อเพลิงทั้งหมด (%), mi = สัดส่วนการนำเข้าเชื้อเพลิงสุทธิ i ต่อการนำเข้าเชื้อเพลิงสุทธิทั้งหมด, pi = สัดส่วนการจัดหาเชื้อเพลิง i ต่อการจัดเชื้อเพลิงทั้งหมด แหล่งข้อมูล : [10]
AV 4	การกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า	สมการของ Shannon-Wiener $D = - \sum (pi l n pi) \quad (2)$ D = การกระจายสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า, pi = สัดส่วนของเชื้อเพลิง i ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าต่อเชื้อเพลิงทั้งหมด แหล่งข้อมูล : [11]
มิติด้านราคา (Affordability : AF)		
AF 1	ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท/ หน่วย)	แหล่งข้อมูล : [11]
AF 2	ราคาก๊าซธรรมชาติจากแหล่ง Pool Gas 2 (บาท/ ล้านล้านบีทียู)	แหล่งข้อมูล : กพผ.
AF 3	ราคาก๊าซธรรมชาตินำเข้าปิโตรเคมี (บาท/ ตัน)	แหล่งข้อมูล : [12]
AF 4	ราคาอัตราซื้อไฟฟ้าส่วนเพิ่มเฉลี่ยของพลังงานหมุนเวียน (บาท/ หน่วย)	$AF4 = \frac{A_{ij} \cdot U_{ij}}{\sum U_{ij}} \quad (3)$ $AF4$ = ราคาอัตราซื้อไฟฟ้าส่วนเพิ่มเฉลี่ยของพลังงานหมุนเวียน, A_{ij} = Adder เฉลี่ยของพลังงานหมุนเวียน i ในปี j , U_{ij} = หน่วยผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน i ในปี j แหล่งข้อมูล : [14], [15], [16], [9]

ตารางที่ 1 (ต่อ) ดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าใน 4 มิติ

มิติ/ ดัชนีชี้วัด	นิยาม	สมการ/ แหล่งข้อมูล
มิติด้านการยอมรับ (Acceptability : AC)		
AC 1	อัตราการปล่อย CO ₂ (กก. ของ CO ₂ / หน่วย)	แหล่งข้อมูล : [11]
AC 2	อัตราการปล่อย SO ₂ จากโรงไฟฟ้าของ กฟผ. (กก./ หน่วย)	$AC2 = \frac{E_{ij} \cdot U_{ij}}{\sum U_{ij}} \quad (4)$ AC2 = อัตราการระบาย SO₂ จากโรงไฟฟ้า i ในปี j, E_{ij} = อัตราการระบาย SO₂ ของโรงไฟฟ้า i ในปี j (กิโลกรัม), U_{ij} = หน่วยผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า i ในปี j แหล่งข้อมูล : กฟผ.
AC 3	อัตราการปล่อย NOx จากโรงไฟฟ้าของ กฟผ. (กก./ หน่วย)	$AC3 = \frac{E_{ij} \cdot U_{ij}}{\sum U_{ij}} \quad (5)$ AC3 = อัตราการระบาย NOx จากโรงไฟฟ้า i ในปี j, E_{ij} = อัตราการระบาย NOx ของโรงไฟฟ้า i ในปี j (กิโลกรัม), U_{ij} = หน่วยผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า i ในปี j แหล่งข้อมูล : กฟผ.
AC 4	กองทุนพัฒนารอบโรงไฟฟ้า (บาท/ หน่วย)	$AC4 = \frac{P_{ij} \cdot U_{ij}}{\sum U_{ij}} \quad (6)$ AC4 = กองทุนพัฒนารอบโรงไฟฟ้า, P_{ij} = อัตราการจ่ายเงินเข้ากองทุนของโรงไฟฟ้า i ในปี j, U_{ij} = หน่วยผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า i ในปี j แหล่งข้อมูล : [17], [11]
มิติด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพ (Applicability : AP)		
AP 1	ความเข้มของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Electricity Intensity, พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ/ ล้านบาท)	$\text{Electricity Intensity (EI)} = \frac{\text{Total electricity consumption}}{\text{GDP}} \quad (7)$ Total electricity consumption = การบริโภคพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด, GDP = ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ แหล่งข้อมูล : [18]
AP 2	ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน (ปีทียู/ หน่วย)	$\text{Heat Rate} = \frac{\text{Input}}{\text{Output}} \quad (8)$ Heat Rate = อัตราการใช้ความร้อนสุทธิ Output = พลังงานสุทธิที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้า, Input = พลังงานของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า แหล่งข้อมูล : [11], [19]
AP 3	ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานหมุนเวียน (ปีทียู/ หน่วย)	สมการ (8) แหล่งข้อมูล : [11], [19]
AP 4	ตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย (%) เป็นค่าที่สะท้อนถึงการใช้ไฟฟ้าโดยรวมที่มีประสิทธิภาพ โรงไฟฟ้าทำงานได้เต็มที่ และคุ้มค่ากับการลงทุน	แหล่งข้อมูล : [11]

3.3 การนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) และการกำหนดน้ำหนัก (weight) ของดัชนีชี้วัด

Normalization เป็นการทำให้ข้อมูลแต่ละดัชนีชี้วัด ซึ่งมีหน่วยที่ต่างกัน สามารถเปรียบเทียบกันได้ และเป็นการลดค่าของข้อมูลให้อยู่ในขอบเขตที่น้อยลง $[0,1]$ สามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมมากที่สุดคือ Min-Max Normalization [6] ดังสมการ (9) โดยในการนอร์มัลไลเซชันข้อมูลของดัชนีชี้วัด จะมีการปรับค่าข้อมูลของดัชนีชี้วัด โดยดัชนีชี้วัดที่มีคะแนนสูง แสดงถึงการพัฒนาที่ดีขึ้นในดัชนีชี้วัดนั้นๆ

$$\varphi_{ij} = \frac{x - \min}{\max - \min} \quad (9)$$

โดยที่ φ_{ij} = ดัชนีชี้วัด i ในมิติ j , x = ค่าที่กำลังพิจารณาของดัชนีชี้วัด i ในมิติ j , $\min$ = ค่าต่ำสุดของดัชนีชี้วัด i ในมิติ j , $\max$ = ค่าสูงสุดของดัชนีชี้วัด i ในมิติ j

น้ำหนัก (Weight) หมายถึง ตัวเลขที่แสดงความสำคัญของมิติ และดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า โดยมิติหรือดัชนีชี้วัดที่มีการกำหนดน้ำหนักมาก หมายถึง มีความสำคัญต่อความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้ามาก สำหรับมิติ และดัชนีชี้วัดที่มีการกำหนดน้ำหนักน้อย หมายถึง มีความสำคัญต่อความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า

การกำหนดน้ำหนักของมิติและดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ ทำการสำรวจจากผู้บริหารของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จำนวน 12 ท่าน ซึ่งเป็นมุมมองของภาคผู้ผลิตไฟฟ้า โดยกำหนดให้การให้คะแนนอยู่ระหว่าง 1-4 คะแนน คะแนนเท่ากับ 4 หมายถึง เป็นมิติ/ ดัชนีชี้วัดที่ส่งผลต่อความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด และคะแนนเท่ากับ 1 หมายถึง เป็นมิติ/ ดัชนีชี้วัดที่ส่งผลต่อความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด จากนั้นทำการเฉลี่ยข้อมูลผลการสำรวจ

กำหนดให้

$$w_{ij} = \begin{bmatrix} 0.27 & 0.09 & 0.16 & 0.15 \\ 0.16 & 0.07 & 0.24 & 0.15 \\ 0.18 & 0.06 & 0.16 & 0.06 \\ 0.39 & 0.03 & 0.19 & 0.15 \end{bmatrix}, w_{ij} \text{ หมายถึง น้ำหนักของดัชนีชี้วัด } i \text{ ที่มิติ } j$$

3.4 ดัชนีรวม (Composite index)

ดัชนีรวม (Composite index) หมายถึง ค่าของดัชนีที่แสดงความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในแต่ละมิติ ดังสมการ (10)

$$Composite Index_j = \sum_{i=1}^n (\varphi_{ij} \cdot w_{ij}) \quad (10)$$

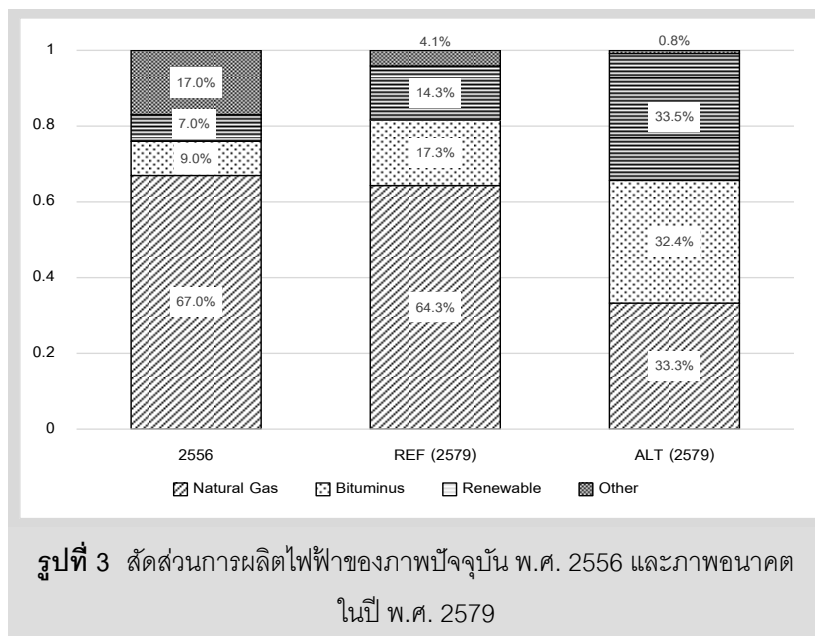
โดยที่ $Composite Index_j$ = ดัชนีรวมของแต่ละมิติ j , φ_{ij} = ดัชนีชี้วัด i ในมิติ j , w_{ij} = น้ำหนักของดัชนีชี้วัด i ที่มิติ j

3.5 ภาพอนาคต

เปรียบเทียบภาพอนาคต จำนวน 2 ภาพ [7] เพื่อใช้ศึกษาภาพอนาคตที่ส่งผลให้เกิดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด ได้แก่ ภาพอนาคตกรณีอ้างอิง (Reference Scenario) ซึ่งให้สมมติฐานว่า ในปี พ.ศ.2579 จะมีการกระจายสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าการผลิตไฟฟ้า ตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP) ปี พ.ศ. 2554-2573 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3 และภาพอนาคตทางเลือก (Alternative Scenario) ซึ่งมีเป้าหมายในระยะยาวที่จะชะลอ

ระดับการพึ่งพาแหล่งพลังงานจากต่างประเทศ และสร้างความสมดุลระหว่างต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยให้สมมติฐานว่า ในปี พ.ศ.2579 จะมีการกระจายสัดส่วนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โดยการเพิ่มสัดส่วนการใช้ถ่านหินเป็น 32.4% และพลังงานหมุนเวียนเป็น 33.5% ในการผลิตไฟฟ้า ดังรูปที่ (3) อีกทั้ง การพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานไม่ต่ำกว่า 1.5% ต่อปี โดยมีการคัดเลือกดัชนีชี้วัดจำนวน 7 ดัชนี ใน 4 มิติ ตามข้อมูลของโครงการสภาพจำลองสถานการณ์ด้านพลังงานเพื่อสนองนโยบายด้านพลังงานระดับประเทศ, กระทรวงพลังงาน. 2557 ดังนี้

1. อัตราการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงสุทธิต่อการจัดหาเชื้อเพลิงทั้งหมด (AV3)
2. การกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (AV4)
3. ราคาก๊าซธรรมชาติจากแหล่ง Pool Gas 2 (AF2)
4. ราคาถ่านหินนำเข้าปทุมธานี (AF3)
5. อัตราการปล่อย CO₂ (AC1)
6. ความเข้มของการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (AP1)
7. ตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย (AP4)



4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาดัชนีชี้วัดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า ในมิติต่างๆ

จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ และการคำนวณข้อมูลของดัชนีชี้วัด ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2556 พร้อมทั้งการคำนวณการกำหนดน้ำหนักของมิติ และดัชนีชี้วัด จากการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของภาคผู้ผลิตไฟฟ้า (กฟผ.) มีรายละเอียด ดังนี้

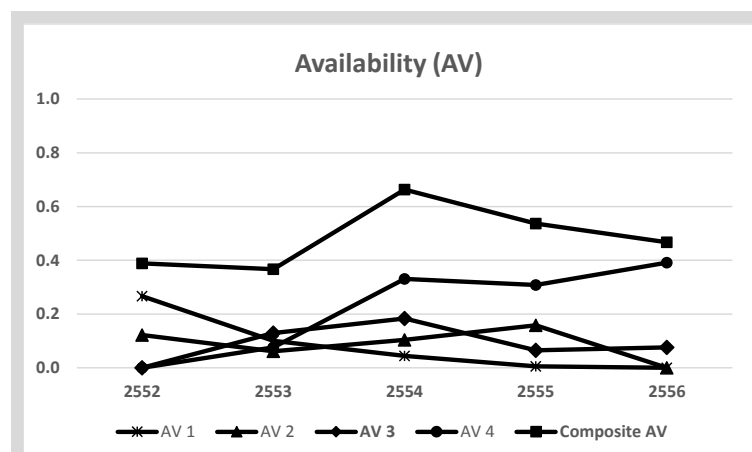
มิติ Availability (AV) จากผลการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของภาคผู้ผลิตไฟฟ้า (กฟผ.) พบว่า มีการกำหนดให้มิติด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากรมีน้ำหนักมากที่สุด และมีการกำหนดน้ำหนักของดัชนีชี้วัดการกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (AV 4) มากที่สุด เมื่อพิจารณาคะแนนของดัชนีรวม (Composite Index) พบว่า มีแนวโน้มลดลงแสดงดังรูปที่ (4) เนื่องจาก ดัชนีย่อยทั้ง 3 ดัชนีมีคะแนนลดลง ประกอบด้วย 3 ดัชนี ได้แก่

- ดัชนีปริมาณสำรองก๊าซธรรมชาติที่พิสูจน์แล้วต่ออัตราการผลิตก๊าซธรรมชาติต่อปี (AV1) โดยพบว่า ปริมาณสำรองก๊าซธรรมชาติที่พิสูจน์แล้วต่ออัตราการหาก๊าซธรรมชาติต่อปี (R/P Ratio) ของประเทศไทยมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง

- ดัชนีศักยภาพของแหล่งพลังงานหมุนเวียน (AV2) พบว่าพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมมี ศักยภาพน้อยลง เนื่องจากพลังงานดังกล่าว เป็นพลังงานตามธรรมชาติ จึงทำให้มีศักยภาพที่ไม่แน่นอนในแต่ละปี ส่วน พลังงานน้ำ มีศักยภาพที่ค่อนข้างคงที่ สำหรับพลังงานชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ พบว่า มีศักยภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เป็นพลังงานที่ได้จากวัตถุดิบเหลือใช้ และสามารถบริหารจัดการได้ แต่อย่างไรก็ตาม ศักยภาพที่เพิ่มขึ้นของพลังงาน ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ ยังไม่สามารถทำให้ดัชนีชี้วัด AV2 มีคะแนนที่เพิ่มขึ้นได้

- ดัชนีอัตราการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงสุทธิต่อการจัดหาเชื้อเพลิงทั้งหมด (AV3) พบว่า ในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยเริ่มมีการพึ่งพาการนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลว และถ่านหินนำเข้าเพิ่มขึ้น เพื่อเสริมความต้องการพลังงาน ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้คะแนนของดัชนี AV3 ลดลง สำหรับในปี พ.ศ. 2554 พบว่ามีคะแนนมากที่สุด ทั้งนี้ อาจเนื่องจาก ในปี พ.ศ. 2554 เกิดภาวะน้ำท่วม ทำให้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจากภาคอุตสาหกรรมลดน้อยลง จึงส่งผลให้มีการ นำเข้าของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าน้อยลง

สำหรับดัชนีที่มีคะแนนเพิ่มขึ้น ได้แก่ ดัชนีการกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (AV4) เนื่องจากมีการลดสัดส่วนของการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจาก 72% ในปี พ.ศ. 2552 เป็น 67% ในปี พ.ศ. 2554 – 2556 อีกทั้ง การเพิ่มสัดส่วนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน และการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจาก ต่างประเทศ เป็นการกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น ประกอบกับการ สัมภาษณ์เพื่อกำหนดน้ำหนักของดัชนีชี้วัด พบว่า ดัชนี AV4 เป็นดัชนีที่ถูกให้ความสำคัญมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบ คะแนนของดัชนีรวม (Composite Index) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-2556 พบว่า มีคะแนนเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2552 ทั้งนี้ เป็น ผลมาจากดัชนีชี้วัด AV4 ที่มีคะแนนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การให้ความสำคัญกับดัชนีการกระจายสัดส่วนของ เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า จะทำให้เกิดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในมิติด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากรมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 4 ความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในมิติ Availability (AV)

มิติ Affordability (AF) จากผลการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของภาคผู้ผลิตไฟฟ้า (กฟผ.) พบว่า มีการกำหนดให้มีมิติด้านราคามีน้ำหนักน้อยที่สุด และมีการกำหนดให้ดัชนีชี้วัด ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (AF1) มีน้ำหนักมากที่สุด เมื่อพิจารณา

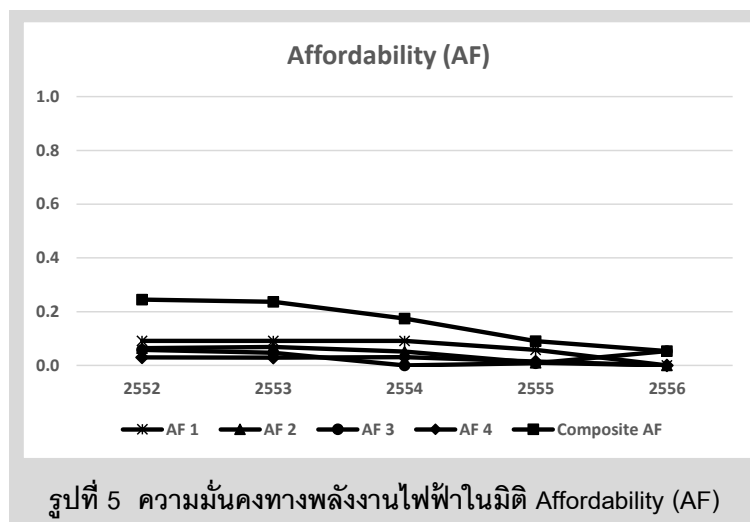
คะแนนของดัชนีรวม (Composite Index) พบว่า มีแนวโน้มลดลง แสดงดังรูปที่ (5) เนื่องจากทั้ง 3 ดัชนีชี้วัดมีคะแนนลดลง ดังนี้

- ดัชนีราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (AF1) จากการศึกษา พบว่าราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากปัจจุบันราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (AF1) ขึ้นกับราคาของเชื้อเพลิง และการกระจายสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า หากยังไม่มี การกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม จะส่งผลให้ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (คะแนนลดลง)

- ดัชนีราคาก๊าซธรรมชาติจากแหล่ง Pool Gas 2 (AF2) เนื่องจากประเทศไทยยังคงมีการพึ่งพาก๊าซธรรมชาติเป็นหลักในการผลิตไฟฟ้า และราคาของก๊าซธรรมชาติมีแนวโน้มสูงขึ้นจากการนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ซึ่งมีราคาสูง (คะแนนลดลง)

- ดัชนีราคาอัตราซื้อไฟฟ้าส่วนเพิ่มเฉลี่ยของพลังงานหมุนเวียน (AF4) เนื่องจากนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้มีปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพิ่มขึ้นมากอย่างต่อเนื่อง ซึ่งราคาอัตราซื้อไฟฟ้าส่วนเพิ่มเฉลี่ยของพลังงานหมุนเวียนของพลังงานแสงอาทิตย์ มีราคาสูงที่สุด โดยมีราคา 6.5 บาท/ หน่วย จึงส่งผลให้ต้องมีค่าใช้จ่ายสำหรับอัตราซื้อไฟฟ้าอัตราส่วนเพิ่มของพลังงานหมุนเวียน เพิ่มขึ้น (คะแนนลดลง)

สำหรับดัชนีที่มีคะแนนเพิ่มขึ้น ได้แก่ ดัชนีราคาถ่านหินนำเข้าบิทูมินัส (AF3) เนื่องจากราคาถ่านหินบิทูมินัสมีราคาที่ลดลง จากราคาตลาดโลก โดยเมื่อทำการศึกษา พบว่าประเทศผู้ผลิตถ่านหิน ได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการใช้ถ่านหินในการผลิตไฟฟ้ามากกว่า 50% ของการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด ได้ค้นพบเทคโนโลยีการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติจากชั้นหินดินดาน (Shale gas) ที่มีต้นทุนต่ำลง ดังนั้น จึงทำให้สหรัฐอเมริกาเปลี่ยนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน เป็นก๊าซธรรมชาติ ส่งผลให้ราคาถ่านหินทั่วโลกลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากปริมาณถ่านหินที่ผลิตได้มีมากกว่าความต้องการ ประกอบกับ ประเทศจีน ซึ่งเป็นผู้บริโภคถ่านหินเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในโลก ได้มีนโยบายพลังงานไฟฟ้าใหม่ โดยมีความพยายามจะเปลี่ยนไปใช้แหล่งพลังงานที่ถูกกว่า และสะอาดกว่าถ่านหิน อย่างก๊าซธรรมชาติจากชั้นหินดินดาน (Shale gas) ในอนาคต จึงส่งผลให้ราคาถ่านหินในตลาดโลกมีราคาลดลง



มิติ Acceptability (AC) จากผลการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของภาคผู้ผลิตไฟฟ้า (กฟผ.) พบว่า มีการกำหนดให้ มิติด้านการยอมรับ (AC) มีน้ำหนักมากเป็นอันดับที่ 2 และมีการกำหนดให้ดัชนีชี้วัดอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ ไดออกไซด์ (AC2) มีน้ำหนักมากที่สุดในมิติด้านการยอมรับ เนื่องจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นมลสารที่ได้รับการ

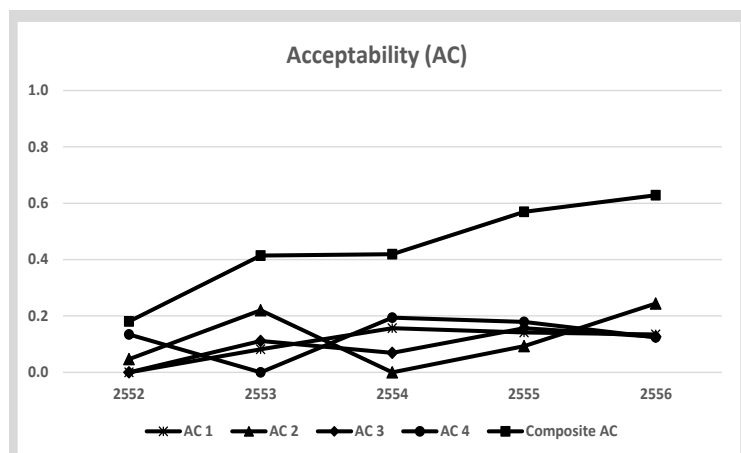
ต่อต้านจากสังคมมากที่สุด จากการเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต สำหรับดัชนีชี้วัดอีก 3 ดัชนี ได้แก่ อัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (AC1) อัตราการปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (AC3) และกองทุนพัฒนารอบโรงไฟฟ้า (AC4) พบว่า มีการกำหนดน้ำหนักที่เท่ากัน เมื่อพิจารณาคะแนนของดัชนีรวม (Composite Index) พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ (6) เนื่องจาก ดัชนีชี้วัดส่วนใหญ่มีคะแนนค่อนข้างคงที่ ประกอบด้วย

- ดัชนีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, CO₂ (AC1) เนื่องจากก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่มีการปล่อย CO₂ ในภาคการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด ดังนั้น อัตราการปล่อย CO₂ จึงขึ้นอยู่กับสัดส่วนของก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจากการศึกษาพบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 - 2556 มีการใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับการผลิตไฟฟ้าในสัดส่วนที่ค่อนข้างคงที่ โดยมีสัดส่วนประมาณ 67% จึงส่งผลให้มีคะแนนของดัชนีชี้วัดที่ค่อนข้างคงที่

- ดัชนีอัตราการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน, NO_x (AC3) เนื่องจากโรงไฟฟ้าส่วนใหญ่ของ กฟผ. เป็นโรงไฟฟ้าที่มีการใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก ดังนั้น จึงมีอัตราการปล่อย NO_x ค่อนข้างคงที่ และไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก จึงส่งผลให้คะแนนของดัชนีชี้วัดที่ค่อนข้างคงที่

- ดัชนีกองทุนพัฒนารอบโรงไฟฟ้า (AC4) เนื่องจาก จำนวนเงินที่ต้องจ่ายเข้ากองทุนพัฒนารอบโรงไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ มีจำนวนที่สูงและลดต่ำลงสลับกันตามพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยในการคำนวณได้ทำการคำนวณแบบถ่วงน้ำหนักตามพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเชื้อเพลิงทั้งหมด ซึ่งพบว่า จำนวนเงินที่ต้องจ่ายเข้ากองทุนพัฒนารอบโรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และพลังงานหมุนเวียน มีแนวโน้มสูงขึ้นตามพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตมากขึ้น สำหรับจำนวนเงินที่ต้องจ่ายเข้ากองทุนพัฒนารอบโรงไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงน้ำมันเตา น้ำมันดีเซล และพลังงานน้ำพบว่า มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการลดกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงดังกล่าว ดังนั้น จึงส่งผลให้ดัชนี AC4 มีคะแนนที่ค่อนข้างคงที่

สำหรับดัชนีชี้วัดที่พบว่ามีคะแนนเพิ่มขึ้น ได้แก่ ดัชนีอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (AC2) เนื่องจากการให้สมมติฐานเพื่อคำนวณอัตราการปล่อยก๊าซ SO₂ จากโรงไฟฟ้าของ กฟผ. เท่านั้น ซึ่งพบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 กฟผ. มีการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น ซึ่งโรงไฟฟ้างดังกล่าว มีอัตราการปล่อยก๊าซ SO₂ ที่ต่ำ และมีการลดการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันเตา โดยจะเดินเครื่องในเวลาจำเป็นเท่านั้น สำหรับโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ พบว่า มีการติดตั้งระบบดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization, FGD) จึงทำให้การปล่อยก๊าซ SO₂ ลดลง



รูปที่ 6 ความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในมิติ Acceptability (AC)

มิติ Applicability (AP) จากผลการสัมภาษณ์ความคิดเห็นของภาคผู้ผลิตไฟฟ้า (กฟผ.) พบว่า มีการกำหนดให้

มิติด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพมีน้ำหนักความสำคัญเป็นอันดับที่ 3 และมีการกำหนดน้ำหนักของดัชนีชี้วัด ได้แก่ ความเข้มข้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า (AP1) ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานฟอสซิล (AP2) และตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย (AP4) ที่เท่ากัน สำหรับดัชนีประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานหมุนเวียน (AP3) พบว่า มีการกำหนดน้ำหนักน้อยที่สุด เนื่องจาก ในปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ยังมีสัดส่วนที่น้อย ดังนั้น จึงเป็นดัชนีชี้วัดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า เมื่อพิจารณาคะแนนของดัชนีรวม (Composite Index) พบว่า ค่อนข้างคงที่ แสดงดังรูปที่ (7) เนื่องจาก ดัชนีชี้วัดทั้ง 4 ดัชนี มีการเพิ่มขึ้น และลดต่ำลงของคะแนนสลับกันในแต่ละปี โดยดัชนีชี้วัดที่มีคะแนนลดลง ประกอบด้วย 2 ดัชนี ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน ได้แก่

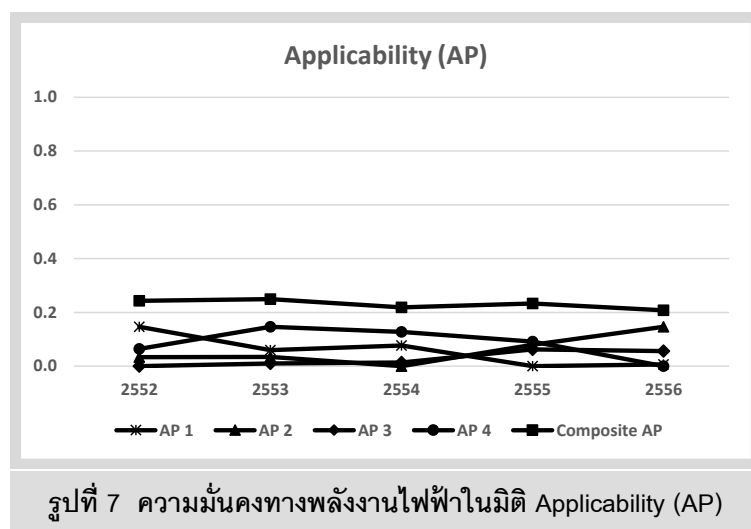
- ดัชนีความเข้มข้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า (AP1) จากการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นของการใช้พลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2556 พบว่า ในปี พ.ศ. 2555 ดัชนีความเข้มข้นของการใช้พลังงานไฟฟ้ามีคะแนนลดลงจากปี พ.ศ. 2552 เนื่องจากในปี พ.ศ. 2555 มีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจากพื้นตัวของภาคอุตสาหกรรมจากการเกิดอุทกภัย เมื่อปลายปี พ.ศ. 2554 สภาพอากาศที่ร้อนอบอ้าว รวมทั้ง นโยบายกระตุ้นเศรษฐกิจต่างๆ ของรัฐบาล เช่น นโยบายรถคันแรก ในช่วงครึ่งหลังของปี พ.ศ. 2555 จึงส่งผลให้ดัชนี AP1 มีคะแนนลดลง

- ดัชนีตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย (AP4) จากการศึกษาพบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2556 พบว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ดัชนี AP4 มีคะแนนลดลง ซึ่งหมายถึงมีประสิทธิภาพของการใช้พลังงานที่ต่ำลง

สำหรับดัชนีชี้วัดที่มีคะแนนเพิ่มขึ้น เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้า ได้แก่

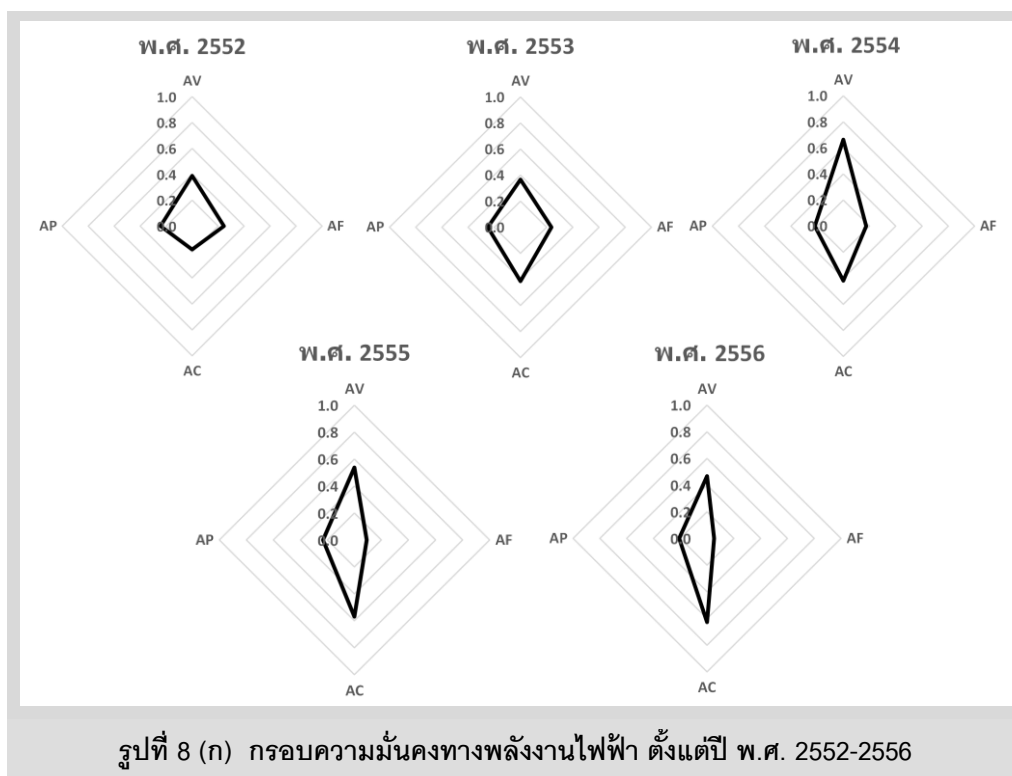
- ดัชนีประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (AP2) เนื่องจากในปี พ.ศ. 2555-2556 พบว่ามีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากทั้งเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินเพิ่มมากขึ้นจากปี พ.ศ. 2554 อันเป็นผลมาจากการเลือกใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น จึงส่งผลให้ดัชนี AP2 มีคะแนนที่เพิ่มขึ้น

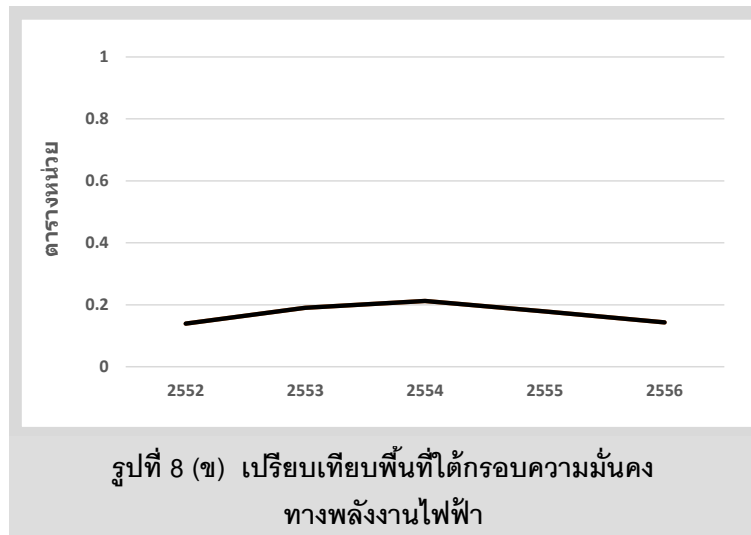
- ดัชนีประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานหมุนเวียน (AP3) เนื่องจากนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของรัฐบาล ทำให้เกิดการลงทุนในโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จึงทำให้คะแนนของดัชนี AP3 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพลังงานหมุนเวียนที่มีสัดส่วนในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด ได้แก่ พลังงานชีวมวล ซึ่งพบว่า ในปี พ.ศ. 2555 มีคะแนนของดัชนีชี้วัดเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2552-2554 มาก เนื่องจากอัตราการใช้ความร้อนสุทธิ (heat rate) ของชีวมวลที่ลดลง โดยเฉพาะเชื้อเพลิงกากอ้อย ทั้งนี้ อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าจากกากอ้อยของโรงงานน้ำตาล เพื่อตอบสนองแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) 25% ในปี พ.ศ. 2555-2564



4.2 ผลการศึกษากรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า 4 มิติ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2556

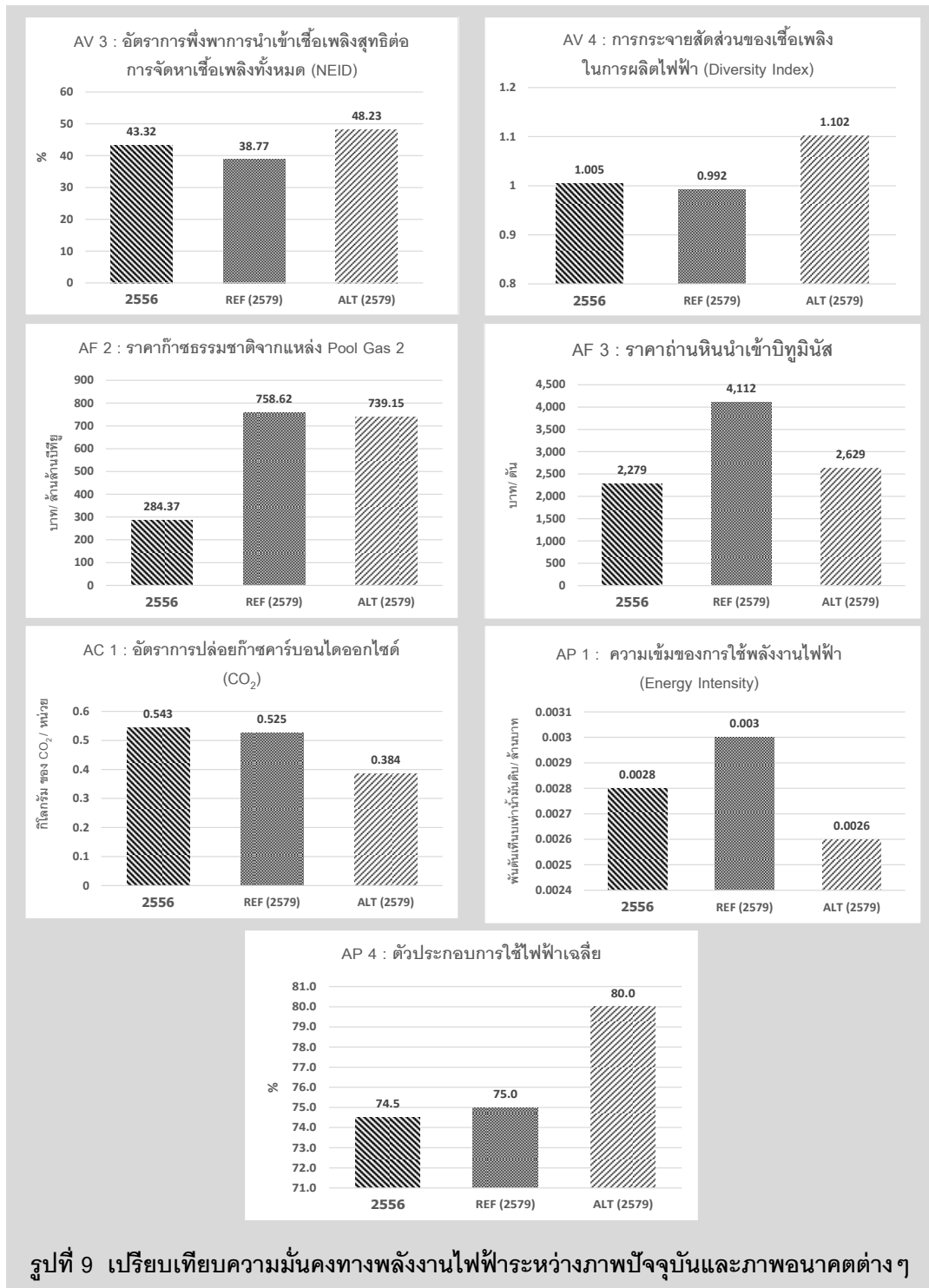
จากการศึกษากรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า จากการกำหนดน้ำหนักมิติ และดัชนีย่อยต่างกัน พบว่า กรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า มีพื้นที่อยู่ระหว่าง 0.13-0.21 ตารางหน่วย โดยในปี พ.ศ. 2554 มีพื้นที่ของกรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเช่นกัน รองลงมา ได้แก่ ปีพ.ศ. 2553, พ.ศ. 2555, พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2552 มีพื้นที่ของกรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.21, 0.19, 0.18, 0.14 และ 0.13 ตารางหน่วย ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ (8)) แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าในช่วงปลายปี พ.ศ. 2554 เกิดวิกฤตการณ์น้ำท่วม จึงส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง ดังนั้น จึงไม่สามารถนำข้อมูลของปี พ.ศ. 2554 มาเปรียบเทียบได้ สำหรับปี พ.ศ. 2552 พบว่ามีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด (มีพื้นที่น้อยที่สุด) เมื่อพิจารณาความมั่นคงทางพลังงานในปี พ.ศ. 2553, 2555 และ 2556 พบว่า ในปี พ.ศ. 2553 พบว่ามีความมั่นคงทางพลังงานเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2552 เนื่องจากมิติ Acceptability (AC) ที่พบว่าโรงไฟฟ้าของ กฟผ. มีอัตราการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) น้อยลง จากการเพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ สำหรับในปี พ.ศ. 2555-2556 พบว่ามีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าลดลง จากปี พ.ศ. 2552 เนื่องจากมิติ Affordability (AF) ที่พบว่ามีการใช้ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ซึ่งมีราคาสูง และนโยบายการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งผลให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2555-2556 ทำให้ต้องรับภาระต้นทุนของอัตราซื้อไฟฟ้าส่วนเพิ่มเฉลี่ยของพลังงานหมุนเวียน





4.3 ผลการศึกษาภาพอนาคต

จากการศึกษาภาพอนาคต ในปี พ.ศ. 2579 จำนวน 2 ภาพ เพื่อเปรียบเทียบกับภาพปัจจุบัน ในปี พ.ศ. 2556 ได้แก่ ภาพอนาคตกรณีอ้างอิง (Reference Scenario) และภาพอนาคตทางเลือก (Alternative Scenario) พบว่า ภาพอนาคตกรณีอ้างอิง เมื่อพิจารณาภาพโดยรวม พบว่า มีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจากภาพปัจจุบันใน 2 ดัชนี ได้แก่ ดัชนีอัตราการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงสุทธิต่อการจัดหาเชื้อเพลิงทั้งหมด (AV3) เนื่องจาก มีอัตราการนำเข้าพลังงานสุทธิของเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติที่ลดน้อยลง และมีอัตราการนำเข้าพลังงานสุทธิของเชื้อเพลิงถ่านหินที่ใกล้เคียงกับภาพปัจจุบัน และดัชนีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (AC1) เนื่องจาก พบว่ามีการเพิ่มการกระจายสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียนในการผลิตพลังงานไฟฟ้า สำหรับภาพอนาคตทางเลือก ส่งผลให้เกิดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในดัชนีชี้วัดที่ทำการศึกษามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับภาพปัจจุบัน ยกเว้น ดัชนีอัตราการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงสุทธิต่อการจัดหาเชื้อเพลิงทั้งหมด (AV3) เนื่องจาก ในปี พ.ศ. 2579 ภาพอนาคตทางเลือกจะมีอัตราการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก มีการเพิ่มสัดส่วนการกระจายสัดส่วนของการใช้เชื้อเพลิงถ่านหินนำเข้าเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้ามากกว่าภาพปัจจุบัน และภาพอนาคตกรณีอ้างอิง โดยมีสัดส่วนของเชื้อเพลิงถ่านหินถึง 32.4% ซึ่งเชื้อเพลิงดังกล่าวต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศถึง 100% เมื่อเปรียบเทียบระหว่างภาพอนาคตทั้ง 2 ภาพ พบว่า ภาพอนาคตทางเลือก ส่งผลให้เกิดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าใน 7 ดัชนีชี้วัดมากกว่าภาพอนาคตกรณีอ้างอิง



5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาดัชนีชี้วัดที่แสดงความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า ใน 4 มิติ โดยใช้ดัชนีชี้วัด 16 ดัชนี ในปี พ.ศ. 2552-2556 และทำการเปรียบเทียบกับภาพอนาคตจำนวน 2 ภาพในปี พ.ศ. 2579 สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

กรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้า พบว่า ปี พ.ศ. 2554 มีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด (มีพื้นที่ของกรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด) แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2554 เกิดวิกฤตการณ์น้ำท่วม จึง

ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง ดังนั้น จึงไม่สามารถนำข้อมูลของปี พ.ศ. 2554 มาเปรียบเทียบได้ สำหรับปี พ.ศ. 2552 พบว่ามีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในที่สุด (มีพื้นที่ของกรอบความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในที่สุด) เมื่อพิจารณาความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2553, 2555 และ 2556 เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2552 พบว่า ปี พ.ศ. 2553 มีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมิติด้านการยอมรับ (Acceptability) มีคะแนนเพิ่มขึ้น สำหรับ ปี พ.ศ. 2555-2556 มีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าลดลง เนื่องจากมิติด้านราคา (Affordability) มีคะแนนลดลง จากการศึกษาความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าใน 4 มิติ พบว่า มิติที่มีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ได้แก่ มิติด้านการยอมรับ (Acceptability) สำหรับมิติที่มีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าลดลง ได้แก่ มิติด้านราคา (Affordability) มีรายละเอียด ดังนี้

- มิติด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากร พบว่า ปัจจุบัน ประเทศไทยมีแหล่งทรัพยากรก๊าซธรรมชาติลดลงอย่างต่อเนื่อง อีกทั้ง ศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนที่ไม่คงที่ ส่งผลให้เกิดความไม่พร้อมใช้งานของทรัพยากร ดังนั้น การเพิ่มการกระจายสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ประกอบกับ การเร่งการพัฒนา การสำรวจแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ และการพัฒนาศักยภาพของพลังงานหมุนเวียนให้เพิ่มขึ้น และมีความมั่นคง จะช่วยส่งเสริมมิติด้านความพร้อมใช้งานของทรัพยากรให้มีคะแนนที่มากขึ้น

- มิติด้านราคา พบว่า ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยสูงขึ้น เนื่องจากราคาของก๊าซธรรมชาติที่มีราคาสูงขึ้น จากการนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ราคาของถ่านหินนำเข้าในตลาดโลก ยังคงมีราคาที่ผันผวน และมีแนวโน้มที่จะมีราคาลดลง ดังนั้น หากประเทศไทยมีการเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงถ่านหินนำเข้ามากขึ้น จะส่งผลให้ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยลดลง สำหรับอัตราซื้อส่วนเพิ่มของพลังงานหมุนเวียนแม้ว่าจะมีสัดส่วนที่ยังไม่มากนัก แต่ก็พบว่าส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจาก ปัจจุบัน มีการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งมีอัตราซื้อไฟฟ้าส่วนเพิ่มของพลังงานหมุนเวียนที่มีราคาสูง ดังนั้น รัฐบาลควรมีการทบทวนนโยบายในเรื่องของระยะเวลาของการลดอัตราซื้อไฟฟ้าส่วนเพิ่มของพลังงานหมุนเวียน เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างนโยบายการเพิ่มสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียน และต้นทุนของเชื้อเพลิง

- มิติด้านการยอมรับ พบว่า ปัจจุบัน ประเทศไทยมีความสามารถในการลดการปล่อยมลสารจากโรงไฟฟ้าที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ปัจจุบันการดำเนินงานของโรงไฟฟ้ายังไม่ได้รับการยอมรับจากสังคม ดังนั้น รัฐบาล และหน่วยงานภาคผลิตไฟฟ้าควรมีกิจกรรมในการเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจด้านการจัดการต่อมลสารที่เกิดขึ้นจากโรงไฟฟ้าแก่สังคมอย่างจริงจัง เพื่อเป็นการพัฒนาภาคการผลิตไฟฟ้าควบคู่ไปกับการพัฒนาชุมชน และประเทศ

- มิติด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพ พบว่า ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงเล็กน้อย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552-2556 ซึ่งจากแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี พ.ศ. 2554-2573 พบว่า ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าควรมีแนวโน้มที่ดีขึ้น ดังนั้น หากรัฐบาลให้ความสนใจ และกำหนดให้มีการปฏิบัติตามแผนฯ อย่างจริงจัง เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มิติด้านเทคโนโลยีและประสิทธิภาพมีคะแนนที่เพิ่มขึ้น

สำหรับการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบภาพปัจจุบันและภาพอนาคต พบว่า การให้สมมติฐานตามภาพอนาคตทางเลือก (Alternative Scenario) ส่งผลให้ดัชนีที่ทำการศึกษามากขึ้น มีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจากภาพปัจจุบัน ยกเว้นดัชนีอัตราการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงสุทธิต่อการจัดหาเชื้อเพลิงทั้งหมด เนื่องจากกำหนดสัดส่วนของเชื้อเพลิงถ่านหินเพิ่มขึ้น ซึ่งเชื้อเพลิงดังกล่าวต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศถึง 100% สำหรับภาพอนาคตกรณีอ้างอิง พบว่า ดัชนีส่วนใหญ่ส่งผลให้มีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าในน้อยกว่าปัจจุบัน ยกเว้นดัชนีอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจาก มีการเพิ่มสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียน และดัชนีตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย ที่ส่งผลให้

เกิดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้ามากกว่าภาพปัจจุบัน ดังนั้น รัฐบาลควรมีการทบทวนแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP) เพื่อให้ประเทศไทยมีความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้อาจสรุปได้ว่า นโยบายด้านพลังงานไฟฟ้าใน 4 มิติของประเทศไทย ยังไม่ได้มีการมุ่งเน้นการแก้ไข ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าเท่าที่ควร การศึกษาดัชนีชี้วัดที่ถูกกำหนดความสำคัญต่อความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าจะส่งผลให้เกิดการกำหนดนโยบายที่ตอบสนองต่อปัญหาความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสม อันจะส่งผลให้ประเทศไทยเกิดความมั่นคงทางพลังงานไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จาก ดร.วิรินทร์ หวังจิรนิรันดร์ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ เสนอแนะแนวทางในการศึกษา ตลอดจนการตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้ งานวิจัยนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้ง ความอนุเคราะห์จากผู้บริหารของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่สละเวลา ในการให้สัมภาษณ์ และเสนอข้อคิดเห็น เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลของงานวิจัย

บรรณานุกรม

- [1] Bert Kruyt, D.P. van Vuuren, H.J.M. de vries, H. Groenenberg. 2009. Indicators for energy security. Energy Policy 37 (2009) : 2166-2181.
- [2] Lixia Yao, Youngho Chang. Energy Security in China. 2014. A Quantitative Analysis and Policy Implications. Energy Policy 67 (2014) : 595-604.
- [3] Jutamane Martchamadol, S. Kumar. 2012. Thailand's energy security indicators. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) : 6103-6122
- [4] Jirapa Kamsamrong, Chumnong Sorapipatana. 2014. An assessment of energy security in Thailand's power generation. Sustainable Energy Technologies and Assessments 7 (2014) : 45-54
- [5] International Atomic Energy Agency. 2005. Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies
- [6] B.W.Ang, W.L.Choong, T.S.Ng. 2015. Energy security : Definitions, dimensions and indexes. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 42 (2015) : 1077-1093.
- [7] กระทรวงพลังงาน. 2557. โครงการภาพจำลองสถานการณ์ด้านพลังงานเพื่อสนองนโยบายด้านพลังงานระดับประเทศ.
- [8] British Petroleum. 2009-2015. BP Statistical Review of World Energy Report 2009-2015
- [9] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2552-2556. รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทย 2552-2556
- [10] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2552-2556. รายงานพลังงานของประเทศไทย 2552-2556
- [11] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2552-2556. รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย ปี 2552-2556
- [12] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2552-2556. รายงานประจำปี 2552-2556
- [13] กระทรวงพาณิชย์ (www.moc.go.th). สถิติการค้าระหว่างประเทศของไทย ราคาถ่านหินนำเข้า ปี 2552-2556

- [14] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ประกาศ เรื่อง การกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กจากพลังงานหมุนเวียน
- [15] การไฟฟ้านครหลวง. 2552. ประกาศการไฟฟ้านครหลวงที่ 32/2552 เรื่อง การกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากจากพลังงานหมุนเวียน ตามมติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ เมื่อวันที่ 9 มีนาคม 2552 : 879-883
- [16] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2552. ประกาศการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เรื่อง การกำหนดส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตขนาดเล็กมากจากพลังงานหมุนเวียน ตามมติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ลงวันที่ 9 มีนาคม 2552
- [17] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. 2552. ระเบียบกองทุนพัฒนาไฟฟ้า
- [18] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2552-2556. รายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย ปี 2552-2556
- [19] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2552-2556. รายงานการผลิตพลังงานประจำปี