

เทคโนโลยีสมาร์ทกริดกับการเปลี่ยนผ่านพลังงานไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน Smart Grid Technology: The Energy Transition to Carbon Neutrality

ยอธธง เม่นสิน นิพนธ์ เกตุจ้อย วิสุทธิ์ แชมสะอาด ธวัช สุริวงษ์ พรทิพย์ เม่นสิน
มาลินี แก้วปัญหา พัทชรินทร์ เยาวรัตน์ และ ประพิธาร์ ธนารักษ์*

Yodthong Mensin, Nipon Ketjoy, Wisut Chamsa-ard, Tawat Suriwong, Pornthip Mensin,
Malinee Kaewpanha, Phatcharin Yaowarattana and Prapita Thanarak*

วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ทกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง พิษณุโลก 65000

*prapitat@nu.ac.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยมีส่วนร่วมในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเป็นประเทศที่มีความเปราะบางและมีความเสี่ยงจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้น จึงต้องมีการดำเนินการตามมาตรการระหว่างประเทศที่มุ่งสู่การเติบโตด้านเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน และการบูรณาการกับแนวทางการพัฒนาประเทศในระยะยาว การเตรียมความพร้อมด้านข้อมูล องค์ความรู้และความตระหนักรู้ของประชาชน เทคโนโลยีสมาร์ทกริดมีส่วนสำคัญในการเปลี่ยนผ่านพลังงานไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน เนื่องจากภาคพลังงานและขนส่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสัดส่วนที่สูง ระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีความชาญฉลาดยิ่งขึ้นจากการเชื่อมโยงเทคโนโลยีที่ทันสมัยจากหลายด้านเข้าด้วยกัน อาทิ เทคโนโลยีด้านสารสนเทศและการสื่อสาร เทคโนโลยีทางด้านการตรวจวัด เทคโนโลยีการด้านการควบคุมและสั่งการ เทคโนโลยีด้านการผลิตไฟฟ้าและการส่งจ่ายไฟฟ้า เทคโนโลยีด้านการบริหารจัดการพลังงาน ตลอดจนเทคโนโลยีด้านการพยากรณ์และคาดการณ์ เป็นต้น เมื่อองค์ประกอบเหล่านี้ถูกจัดสรรให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีระบบ ก็ย่อมส่งผลให้เกิดการพัฒนาความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้า ความยั่งยืนและประสิทธิภาพของการผลิตและการใช้พลังงาน การพัฒนาการทำงานและการให้บริการของหน่วยงานการไฟฟ้า การกำหนดมาตรฐานความเข้ากันได้ของอุปกรณ์ การพัฒนาศักยภาพการแข่งขันทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม เทคโนโลยีสมาร์ทกริดช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า เพื่อให้สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของพลังงานหมุนเวียน รวมถึงการบูรณาการเชื่อมต่อและใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานแบบกระจายศูนย์ (Distributed Energy Resources) ประเภทต่าง ๆ ที่จะเติบโตตามแนวโน้มของโลกร่วมกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อช่วยสนับสนุนให้ประเทศไทยสามารถมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ตามกรอบแผนพลังงานชาติ

คำสำคัญ: เทคโนโลยีสมาร์ทกริด, ความเป็นกลางทางคาร์บอน, ความยืดหยุ่นของระบบโครงข่ายไฟฟ้า

Abstract

Thailand is involved in greenhouse gas emissions. It is a country that is vulnerable to the effects of climate change. Therefore, international measures must be implemented to achieve sustainable economic, social and environmental growth. And integration with long-term national development guidelines. Data preparation Knowledge and public awareness Smart grid technology are essential in the energy transition to carbon neutrality. This is because the energy and transportation sectors have high greenhouse gas emissions. More intelligent electric grid systems connect cutting-edge technologies from many fields, such as information and communication technology, measurement technology, control and command technology, power generation and distribution technology, energy management technology, forecasting and forecasting technologies, etc. When these components are allocated to work together systematically, it will improve reliability and power quality, sustainability and efficiency of production and energy use, development of work and services of the electricity authority defining device, compatibility standards, and development of

economic and industrial competitiveness. Smart grid technology increases grid flexibility to support the increase in renewable energy, including integration, connection, and utilization of different types of distributed energy resources that will grow according to global trends and the grid system for maximum efficiency to help support Thailand to move towards Carbon Neutrality through the framework of the National Energy Plan.

Keywords: Smart Grid Technology, Carbon Neutrality, Grid Flexibility

1. บทนำ

ประเทศไทยได้เสนอเป้าหมายของประเทศในการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภายหลังปี ค.ศ. 2020 (Intended Nationally Determined Contribution: INDC) โดยลดก๊าซเรือนกระจกจลจลร้อยละ 20 ในปี พ.ศ. 2573 การที่ประเทศไทยได้แสดงเจตจำนงในการมีส่วนร่วมซึ่งดำเนินการตามความตกลงปารีสในการจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยจัดทำข้อเสนอการมีส่วนร่วมของประเทศในการลดก๊าซเรือนกระจกและการดำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ภายหลัง พ.ศ. 2563 ที่มีความสอดคล้องตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงและการพัฒนาที่ยั่งยืน และต่อยอดการดำเนินงานในกรอบมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกระดับชาติ (Nationally Appropriate Mitigation Actions : NAMA) และกำหนดเป้าหมายการลดก๊าซเรือนกระจก ในปี 2573 โดยกำหนดเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ร้อยละ 20-25 จากกรณีปกติ ซึ่งเป็นการขับเคลื่อนการดำเนินงานโดยภาครัฐ อาศัยการดำเนินการที่มีการมีส่วนร่วมจากทุกภาคส่วน ตามศักยภาพของมาตรการจากนโยบายและแผน และภาครัฐ ในสาขาที่มีความพร้อม ได้แก่ ภาคพลังงานและขนส่ง มี 9 มาตรการ จากการผลิตไฟฟ้า การใช้พลังงานในครัวเรือน อาคาร อุตสาหกรรมการผลิต และการคมนาคมขนส่ง โดยการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงาน การพัฒนาพลังงานทดแทน และการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ ภาคของเสีย มี 4 มาตรการ ครอบคลุมการจัดการขยะ น้ำเสียอุตสาหกรรมและชุมชน และกระบวนการทางอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์ มี 2 มาตรการ โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีสารทำความเย็น ซึ่งจะสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 115.6 ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า หรือร้อยละ 20.8 จากกรณีปกติ

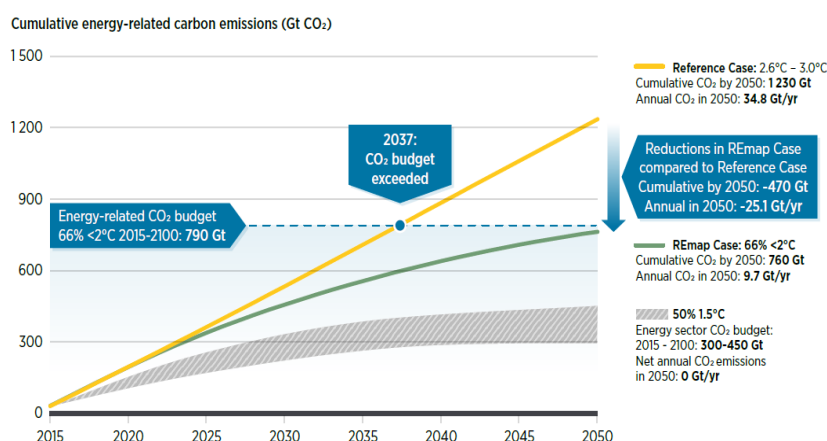
การบรรลุเป้าหมายของ Paris Agreement ในการควบคุมอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นเกิน 1.5 องศาเซลเซียส ภายในปี ค.ศ. 2100 นั้น IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 C (2018) กำหนดแนวทางเพื่อบรรลุเป้าหมาย 2 องศาเซลเซียส โดยทั่วโลกต้องลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 40-70 ภายในปี ค.ศ. 2050 โดยหากมุ่งมั่นที่จะบรรลุเป้าหมาย 1.5 องศาเซลเซียส ทั่วโลกต้องลดปริมาณการปล่อยลงถึงร้อยละ 70-95 อันนำไปสู่ Global Net-Zero Emission ภายใน ค.ศ. 2050 ซึ่งหลายประเทศต่างตื่นตัวที่จะมุ่งมั่นไปสู่การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นศูนย์ (Carbon Neutrality) เช่น ปี ค.ศ. 2035 ประเทศฟินแลนด์ ปี ค.ศ. 2040 ออสเตรเลีย ไอร์แลนด์ ปี ค.ศ. 2045 สวีเดน ปี ค.ศ. 2050 สหราชอาณาจักร ฝรั่งเศส เดนมาร์ก นิวซีแลนด์ อังการี ชิลี สหภาพยุโรป เกาหลีใต้ สเปน ฟิจิ ญี่ปุ่น เยอรมนี สวิตเซอร์แลนด์ นอร์เวย์ ไอร์แลนด์ แอฟริกาใต้ โปรตุเกส คอสตาริกา สโลวีเนีย หมู่เกาะมาร์แชลล์ และปี ค.ศ. 2060 ประเทศจีน

การเพิ่มขึ้นของการผลิตไฟฟ้าจากกลุ่มเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูงอย่างต่อเนื่องในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นเป็นประเด็นหลักประเด็นหนึ่งที่ภาครัฐและผู้ดูแลระบบไฟฟ้าจากทุกประเทศทั่วโลกให้ความสนใจเป็นอย่างมาก จากข้อมูลของ IRENA ปี ค.ศ. 2019 พบว่าในปี ค.ศ. 2018 ทั่วโลกมีกำลังการผลิตติดตั้งในส่วนของการผลิตพลังงานหมุนเวียนอยู่ประมาณ 2,468 กิกะวัตต์ หรือคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 25 % ของกำลังการผลิต ติดตั้งจากเชื้อเพลิงทุกประเภท และยังคงมีสัญญาณของการเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากแรงขับเคลื่อนที่สำคัญดังต่อไปนี้

1.1 ข้อกำหนดทางด้านสิ่งแวดล้อม

การประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขของอนุสัญญา ซึ่งก่อให้เกิดข้อตกลงต่างๆ อันมีผลบังคับใช้แก่ประเทศสมาชิก จึงก่อให้เกิดการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Conference of Parties: COP) ขึ้นเพื่อการเจรจาทิศทาง

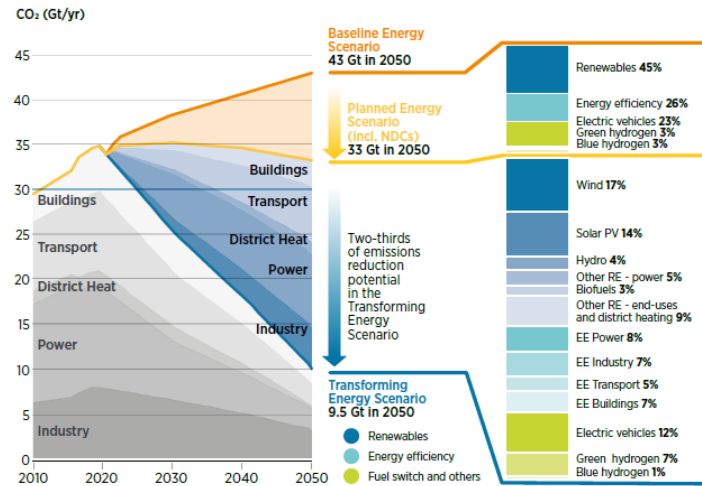
ข้อตกลงต่าง ๆ ร่วมกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อกำหนดแนวทางการดำเนินการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดร่วมกัน โดยคำนึงถึงศักยภาพและสถานการณ์ของแต่ละประเทศโดยการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 1 หรือ COP1 จัดขึ้นที่กรุงเบอร์ลิน ประเทศเยอรมัน เมื่อวันที่ 28 มีนาคม ถึงวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2538 โดยมีประเด็นเจรจาที่สำคัญ คือ การให้สัตยาบันใน UNFCCC การดำเนินการด้านกลไกทางการเงินและความช่วยเหลือด้านเทคโนโลยีแก่ประเทศกำลังพัฒนาที่เป็นสมาชิก และการจัดตั้งกระบวนการทำให้คำปรึกษาสำหรับการแก้ปัญหาการดำเนินการตาม UNFCCC โดยการประชุมที่เป็นที่รู้จักกันในอดีต คือ การประชุมครั้งที่ 11 (COP11) ในปี ค.ศ. 1997 ณ กรุงเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งข้อตกลงจากการประชุมเรียกว่าพิธีสารเกียวโตในปี ค.ศ. 2015 และสมัยที่ 21 หรือเรียกว่า COP21 ในระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน 2015 ถึง 11 ธันวาคม 2015 ณ กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ซึ่งข้อตกลงจากการประชุม หรือเรียกว่า “ข้อตกลงปารีส” หรือ Paris Agreement; COP21 รายละเอียดสำคัญของการประชุมนี้ เป็นการเจรจาข้อตกลงเกี่ยวกับการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างประเทศสมาชิกจากทั่วโลก และการเจรจาเพื่อบรรลุข้อตกลงเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากวิกฤตโลกร้อน เช่น ภัยแล้ง น้ำท่วม และพายุ ที่ทวีความรุนแรงขึ้น โดยมีความคาดหวังในทางปฏิบัติว่าจะต้องมีพันธกรณีทางกฎหมายในระดับนานาชาติเพื่อให้แต่ละประเทศดำเนินการตามเจตนารมณ์ที่ได้ตั้งไว้ และแต่ละประเทศต้องเห็นพ้องกันในการกำหนดเป้าหมายเพื่อหลีกเลี่ยงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกไม่ให้เกิน 2 องศาเซลเซียส จากระดับความร้อนก่อนยุคอุตสาหกรรม ซึ่งนับเป็นความร่วมมือด้านสิ่งแวดล้อมระดับโลกที่มีความครอบคลุมที่สุด นับตั้งแต่การจัดทำพิธีสารเกียวโตเมื่อ ปี ค.ศ. 1997 (UNFCCC, 2015) เพื่อป้องกันภัยพิบัติร้ายแรงที่จะเกิดขึ้นจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเน้นถึงข้อตกลงและความร่วมมือในการสนับสนุนประเทศและชุมชนที่ประสบภัยในการปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่กำลังเกิดขึ้นในปัจจุบัน การประชุม COP21 จึงมีความสำคัญต่อทิศทางการแก้ไขและการรับมือกับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและอนาคตของโลกเป็นอย่างมาก



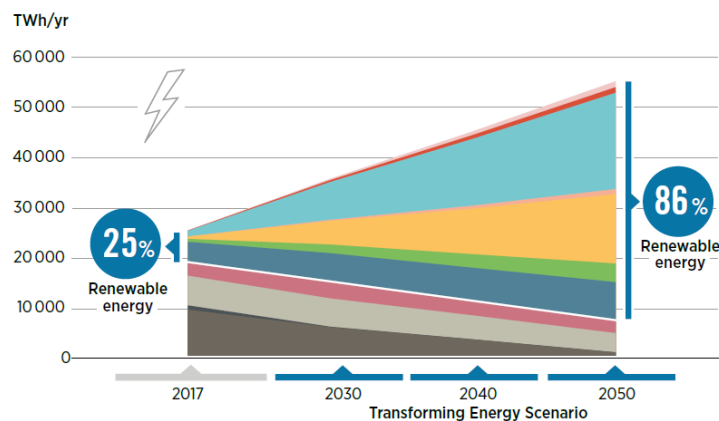
รูปที่ 1 แนวทางภายใต้เป้าหมายการรักษาระดับอุณหภูมิโลกไม่ให้เกิน 2 องศาเซลเซียสของ IRENA (REmap)

เพื่อบรรเทาผลกระทบจากอุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกให้สูงขึ้นไม่เกิน 2 องศาเซลเซียสตามกรอบของข้อตกลงดังกล่าว ส่งผลทำให้แต่ละประเทศทั่วโลก มุ่งเน้นผลักดันให้เกิดการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ทั้งจากภาคเกษตรกรรม ภาคความร้อน ภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง และภาคการผลิตไฟฟ้า ดังสะท้อนออกมาให้เห็นในรูปแบบของนโยบายของแต่ละประเทศอย่างเป็นรูปธรรม แต่อย่างไรก็ตาม จากรายงานของ IRENA ปี 2018 เมื่อพิจารณาตามกรอบของนโยบายในภาพรวมของแต่ละประเทศทั่วโลกในปัจจุบันแล้วนั้น (Reference Case หรือ Planned Energy Scenario) ก็ยังคงพบว่า เป้าหมายที่จะควบคุมอุณหภูมิของโลกไม่ให้สูงขึ้นเกิน 2 องศาเซลเซียสให้ได้ ภายในปี ค.ศ. 2050 ตามกรอบที่ IRENA ได้ทำการศึกษาและประเมินเอาไว้ภายใต้แผน REmap 2050 (Transforming Energy Scenario) นั้น ยังคงมีความจำเป็นต้องเดินหน้านำผลักดันเพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้จากแผนการดำเนินงานในปัจจุบันอีกกว่า 470 กิกะตัน ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งปริมาณดังกล่าวนี้จำเป็นต้องได้รับความร่วมมือจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้องผ่าน 3 มิติด้วยกัน ได้แก่ 1) การเปลี่ยนผ่านสู่การทำงานด้วยระบบไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในภาคความร้อนและการขนส่ง 2) การเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน 3) การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งจากบริบทดังกล่าวนี้เอง จะทำให้เห็นได้ว่า พลังงาน

หมุนเวียนได้เข้ามาเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนผ่านทางด้านพลังงานและการบรรลุข้อตกลงทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยสำหรับภาคการผลิตไฟฟ้าเองนั้น จากรายงานของ IRENA ปี 2020 พบว่า ในภาพรวมทั่วโลกมีความจำเป็นต้องผลักดันให้เกิดการใช้งานพลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตไฟฟ้าในสัดส่วนถึง 86% ให้ได้ภายในปี ค.ศ. 2050 ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งบริบทดังกล่าวได้สร้างความท้าทายให้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของแต่ละประเทศทั่วโลกเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2 ความจำเป็นด้านความร่วมมือจากภาคส่วนที่เกี่ยวข้องผ่าน 3 มิติหลักภายใต้แผน IRENA : REmap 2050 หรือ Transforming Energy Scenario (IRENA ,2020)

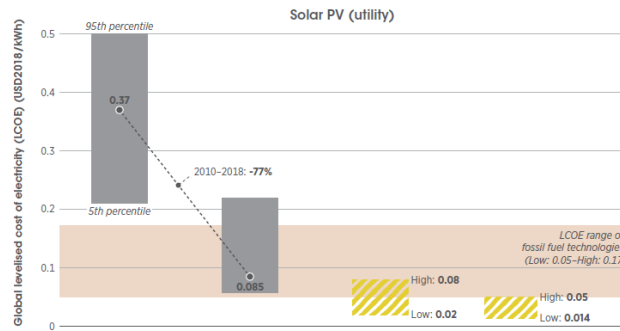


รูปที่ 3 เป้าหมายของภาคการผลิตไฟฟ้าภายใต้แผน IRENA : REmap 2050 หรือ Transforming Energy Scenario (IRENA ,2020)

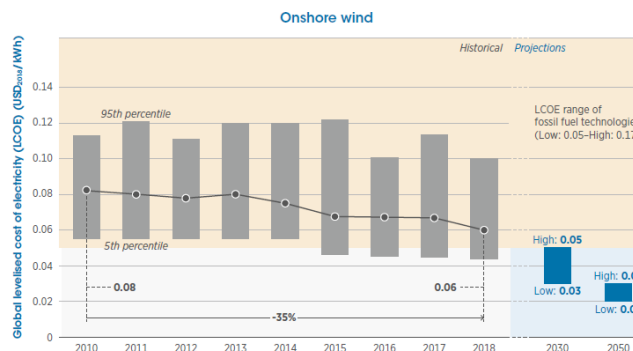
1.2 ต้นทุนของเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียน

จากข้อมูลต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนของ IRENA ปี 2019 ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 พบว่า ในปี ค.ศ. 2018 ต้นทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนประเภทพลังงานลมและแสงอาทิตย์ได้ลดลงมาอยู่ในระดับที่สามารถแข่งขันกับพลังงานประเภทฟอสซิลได้อย่างแพร่หลายแล้ว กล่าวคือ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010 เป็นต้นมา ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ลดลงจาก 0.37 USD/kWh หรือ 11.10 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็น 0.085 USD/kWh หรือ 2.55 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เช่นเดียวกับพลังงานลมบนฝั่งที่ลดลงจาก 0.08 USD/kWh หรือ 2.40 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็น 0.06 USD/kWh หรือ 1.80 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง (คิดที่อัตราแลกเปลี่ยน 30 บาท/USD) ซึ่งในภาพรวมคิดเป็นสัดส่วนมูลค่าที่ลดลงกว่า 77% และ 35% ตามลำดับ ส่งผลให้ในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ได้เข้ามาเป็นปัจจัยที่มีบทบาทต่อการเติบโตของการใช้งานพลังงานหมุนเวียนประเภทดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ยังพบว่าต้นทุนของพลังงานหมุนเวียนประเภทดังกล่าวยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องมากกว่า 60% ในช่วง 10-30 ปีข้างหน้า นั่นคือ พลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 0.05 USD/kWh หรือ 1.50 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในปี ค.ศ. 2030 และ 0.032 USD/kWh หรือ 0.96 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในปี ค.ศ. 2050 เช่นเดียวกับพลังงานลมที่โดยเฉลี่ยลดลงเหลือเพียง 0.04 USD/kWh หรือ 1.20 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในปี ค.ศ. 2030 และ 0.025 USD/kWh หรือ 0.75 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในปี 2050 (คิดที่อัตราแลกเปลี่ยน 30 บาท/USD) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามูลค่าดังกล่าวจะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ทำให้เกิดการคาดการณ์ว่าปัจจัยด้านต้นทุนของพลังงานหมุนเวียนที่ลดลงอย่างมากรุนแรงนั้น ก็จะเป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญต่อการเติบโตด้านการใช้งานพลังงานหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง

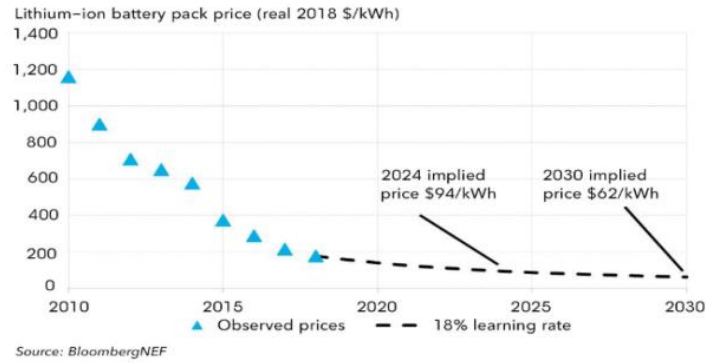


รูปที่ 4 ต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ประเภท Solar PV (IRENA ,2019)



รูปที่ 5 ต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมประเภท Onshore (IRENA ,2019)

นอกจากต้นทุนของพลังงานหมุนเวียนที่กล่าวไปในข้างต้นแล้วนั้น ระบบกักเก็บพลังงานก็เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ทั่วโลกกำลังให้ความสำคัญเช่นเดียวกัน ซึ่งจากข้อมูลของ Bloomberg NEF พบว่า ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2010-2018 ต้นทุนของแบตเตอรี่ประเภท Li-ion มีมูลค่าลดลงจาก 1200 USD/kWh หรือ 36,000 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เหลือ 200 USD/kWh หรือ 6,000 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง (คิดที่อัตราแลกเปลี่ยน 30 บาท/USD) หรือคิดเป็นเป็นสัดส่วนมูลค่าที่ลดลงกว่า 80% และยังคงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องอีกกว่า 65% ดังแสดงในรูปที่ 6 ส่งผลให้ ณ ปี ค.ศ. 2030 ต้นทุนของแบตเตอรี่ประเภทดังกล่าวจะลดลงเหลือเพียง 62 USD/kWh หรือ 1,860 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง (คิดที่อัตราแลกเปลี่ยน 30 บาท/USD) จึงทำให้เกิดการคาดการณ์ว่าระบบกักเก็บพลังงานจากแบตเตอรี่ประเภท Li-ion จะเป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่จะมีการเติบโตควบคู่ไปกับเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนที่กล่าวไปแล้วในข้างต้นด้วยนั่นเอง

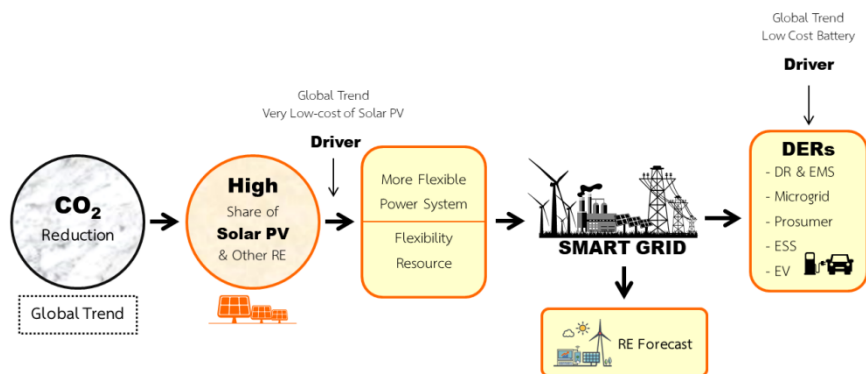


รูปที่ 6 ต้นทุนของแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานประเภท Li-ion (Bloomberg NEF ,2019)

1.3 ความยืดหยุ่นในระบบไฟฟ้า

การเพิ่มขึ้นของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม ในสัดส่วนสูงอย่างต่อเนื่องในระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากแรงขับเคลื่อนที่กล่าวไปแล้วในข้างต้นนั้น ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าจากการปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความไม่แน่นอน (Uncertainty) และมีความผันแปร (Variability) ค่อนข้างมาก เนื่องจากความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ไม่สามารถคาดการณ์อย่างแน่นอนได้ เนื่องจากในสภาวะการทำงานจริงมีตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้และความไม่แน่นอนมากมายที่ส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ เช่น กังหันลมจะผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อมีลมที่มีความเร็วมากเพียงพอผ่านกังหันลมเท่านั้น เช่นเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการแสงอาทิตย์ที่เพียงพอเพื่อการผลิตไฟฟ้า ส่งผลให้ปัญหาดังกล่าวนั้น ได้สร้างความท้าทายสำหรับภาครัฐและผู้ดูแลระบบไฟฟ้าในอนาคตเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้องอาศัยกระบวนการจัดการแบบพิเศษเพื่อบรรเทาปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้ากำลังในอนาคต

การมุ่งเน้นให้เกิดการพัฒนาเสริมสร้างความยืดหยุ่นให้กับระบบไฟฟ้า (Grid Flexibility) เพื่อรองรับกับการเติบโตของพลังงานหมุนเวียนนั้นจึงเป็นบริบทหนึ่งที่ภาครัฐและผู้ดูแลระบบไฟฟ้าจากทุกประเทศทั่วโลกให้ความสำคัญ ทั้งนี้ความยืดหยุ่นในระบบไฟฟ้าในมิติดังกล่าวนี้ ก็คือการมุ่งเน้นไปที่การนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมต่าง ๆ มาใช้รับมือกับความไม่แน่นอนและความผันแปรในระบบไฟฟ้า เนื่องจากสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียนที่สูงขึ้นนั่นเอง ซึ่งบริบทดังกล่าวส่งผลให้การพัฒนาของระบบไฟฟ้าของทุกประเทศทั่วโลกกำลังเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบสมาร์ทกริด (Smart Grid) ผ่านการใช้งานเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ทั้งทางด้านการพยากรณ์ปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน การให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการด้านความต้องการทางไฟฟ้า การใช้งานระบบกักเก็บพลังงาน ตลอดจนการดึงเอาประโยชน์จากเทคโนโลยีในฝั่ง Behind-the-meter ออกมาใช้งานร่วมกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้ได้มากที่สุดด้วยเช่นเดียวกัน



รูปที่ 7 ความจำเป็นด้านการเพิ่มความยืดหยุ่นในระบบไฟฟ้า

2. เป้าหมายการเปลี่ยนผ่านทางด้านพลังงานของภาคการผลิตไฟฟ้า

2.1 การคาดการณ์สัดส่วนของพลังงานหมุนเวียน

จากข้อมูลของ Bloomberg NEF ซึ่งได้ศึกษาและคาดการณ์สัดส่วนของพลังงานหมุนเวียนไว้ภายใต้แผน Bloomberg : New Energy Outlook (NEO) ว่าจะมีสัดส่วนอยู่ที่ 40% ในปี ค.ศ. 2030 และ 62% ในปี ค.ศ. 2050 ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับที่ IRENA ได้ประเมินและคาดการณ์ไว้ภายใต้แผน IRENA : REmap 2050 ดังที่กล่าวไปแล้วในข้างต้นว่า ในช่วงปี ค.ศ. 2030 ทวีปโลกจะมีสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียนอยู่ที่ 57% ก่อนจะต้องเพิ่มขึ้นจนถึงระดับ 86% ให้ได้ในปี ค.ศ. 2050 เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับกรอบนโยบายทางด้านสิ่งแวดล้อม จากในปัจจุบันที่มีสัดส่วนอยู่ที่ประมาณ 25-26% ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งถึงแม้ว่าการคาดการณ์ดังกล่าวจะมีความแตกต่างกันในเชิงปริมาณอยู่บ้าง แต่ในภาพรวมแล้วก็จะเห็นได้ว่า พลังงานหมุนเวียนได้ถูกวางบทบาทให้เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อภาคการผลิตไฟฟ้าในอนาคตเป็นอย่างมาก ซึ่งสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้นนั้น จะมุ่งเน้นไปที่พลังงานลมและแสงอาทิตย์เป็นหลัก เนื่องจากได้รับแรงหนุนจากปัจจัยทางด้านต้นทุนราคาที่คาดการณ์ว่าจะสามารถลดลงต่ำกว่า 0.05 USD/kWh หรือ 1.5 บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 9 โดยพลังงานลมและแสงอาทิตย์จะมีสัดส่วนการใช้งานอยู่ที่ 10% และ 18% ในปี ค.ศ. 2030 ก่อนจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับ 22% และ 26% ในปี ค.ศ. 2050 ตามการคาดการณ์ของ Bloomberg เช่นเดียวกับที่ทาง IRENA ประเมินการไว้ว่าจะมีสัดส่วนรวมกัน 35% ในปี ค.ศ. 2030 และ 61% ในปี ค.ศ. 2050 จากในปัจจุบันที่มีสัดส่วนอยู่ที่ประมาณ 7-10%

	2030	2050	
คาดการณ์ RE Share Bloomberg (NEO)	40 %	62 %	(จากปัจจุบัน 2019 : 25%)
คาดการณ์ Solar Power Share	10 %	22 %	(จากปัจจุบัน 2019 : 2%)
คาดการณ์ Wind Power Share (แหล่งที่มา : BloombergNEF 2019)	18 %	26 %	(จากปัจจุบัน 2019 : 5%)
คาดการณ์ RE Share IRENA (REmap)	57 %	86 %	(จากปัจจุบัน 2019 : 26%)
คาดการณ์ VRE Share (แหล่งที่มา : IRENA, 2020)	35 %	61 %	(จากปัจจุบัน 2018 : 10%)

รูปที่ 8 การคาดการณ์สัดส่วนของพลังงานหมุนเวียนในปี ค.ศ. 2030 และ ค.ศ. 2050

	2030	2050	
ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า จากพลังงานลม	0.05 USD/kWh (1.50 Baht/kWh)	0.032 USD/kWh (0.96 Baht/kWh)	(จากปัจจุบัน 2018 : 0.085 USD/kWh) (2.55 Baht/kWh)
ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า จากเซลล์แสงอาทิตย์ (แหล่งที่มา : IRENA 2019)	0.04 USD/kWh (1.20 Baht/kWh)	0.025 USD/kWh (0.75 Baht/kWh)	(จากปัจจุบัน 2019 : 0.06 USD/kWh) (1.80 Baht/kWh)
ต้นทุนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (แหล่งที่มา : BloombergNEF 2019)	ลดลง 34 %	-	(จากปัจจุบัน 2019 : 0.25 USD/W) (7.50 Baht/W)

*หมายเหตุ: อัตราแลกเปลี่ยน 30 Baht/USD

รูปที่ 9 การคาดการณ์ต้นทุนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและแสงอาทิตย์
ในปี ค.ศ. 2030 และ ค.ศ. 2050

2.2 การคาดการณ์การเติบโตของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานและยานยนต์ไฟฟ้า

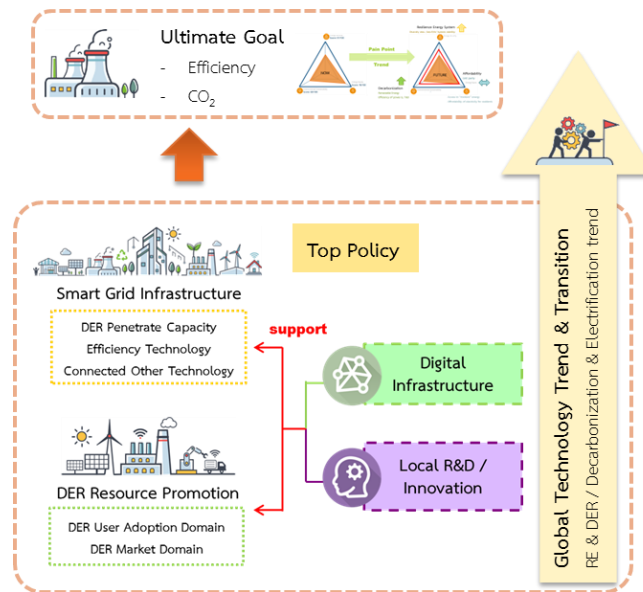
จากข้อมูลของ Bloomberg NEF พบว่า ณ ปี ค.ศ. 2030 ต้นทุนของแบตเตอรี่ประเภท Li-ion จะลดลงจนอยู่ในระดับ 62 USD/kWh หรือ 1,860 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง จากในปัจจุบันที่อยู่ในที่ 156 USD/kWh หรือ 4,680 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากโรงงานแบตเตอรี่จากปัจจุบัน 455 กิกะวัตต์-ชั่วโมง/ปี ไปเป็น 2,272 กิกะวัตต์-ชั่วโมง/ปี ในปี ค.ศ. 2029 ซึ่งต้นทุนของแบตเตอรี่ที่ลดลงอย่างมาก นอกจากจะส่งผลให้เกิดการใช้งานระบบกักเก็บพลังงานเพิ่มขึ้นจากในปัจจุบัน 30 กิกะวัตต์-ชั่วโมง ไปเป็น 745 กิกะวัตต์-ชั่วโมง และ 9,000 กิกะวัตต์-ชั่วโมง ในปี ค.ศ. 2030 และ ค.ศ. 2050 แล้วบริบทดังกล่าวก็ยังเป็นแรงหนุนให้มีการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าอย่างแพร่หลายมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2030 จะมีปริมาณของยานยนต์ไฟฟ้าสะสมกว่า 379 ล้านคัน และเพิ่มขึ้นเป็น 1,109 ล้านคันในปี ค.ศ. 2050 จากในปัจจุบันที่มีปริมาณเพียง 7.9 ล้านคัน ดังแสดงได้ในรูปที่ 10 - 11 ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณดังกล่าวยังสามารถนำมาใช้งานเป็นระบบกักเก็บพลังงานเพื่อสนับสนุนระบบโครงข่ายได้สูงถึง 14,145 กิกะวัตต์-ชั่วโมง

	2030	2050	
คาดการณ์ราคาแบตเตอรี่ Li-ion (แหล่งที่มา : BloombergNEF 2019)	62 USD/kWh (1,860 Baht/kWh)	-	(จากปัจจุบัน 2019 : 156 USD/kWh) (4,680 Baht/kWh) *หมายเหตุ : อัตราแลกเปลี่ยน 30 Baht/USD
คาดการณ์โรงงานผลิตแบตเตอรี่ (แหล่งที่มา : Mineral Intelligence 2020)	2,272 GWh/ปี (คาดการณ์ ณ ปี 2029)	-	(จากปัจจุบัน 2019 : 455 GWh/ปี)
 คาดการณ์การใช้งาน Storage Stationary	745 GWh	9,000 GWh	(จากปัจจุบัน 2019 : 30 GWh)
 คาดการณ์การใช้งาน Storage EVs (แหล่งที่มา : IRENA, 2020)	5,056 GWh	14,145 GWh	(จากปัจจุบัน 2019 : 200 GWh)

รูปที่ 10 การคาดการณ์การใช้งานแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ในปี ค.ศ. 2030 และ ค.ศ. 2050

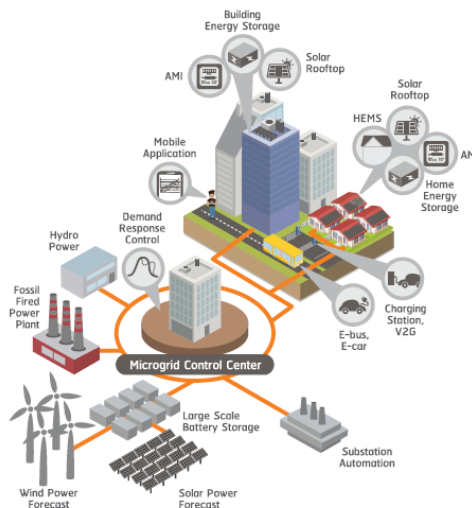
	2030	2050	
ภาพรวมยอดขาย EV (Global Passenger EV Sales)	28 ล้านคัน/ปี	56 ล้านคัน/ปี (ปี 2040)	(จากปัจจุบัน 2018 : 2.1 ล้านคัน/ปี)
คาดการณ์ EV Share (New Car Sale) (แหล่งที่มา : BloombergNEF 2019)	28 %	58 % (ปี 2040)	(จากปัจจุบัน 2020 : 2.7 %)
คาดการณ์ปริมาณ EV สะสม (แหล่งที่มา : IRENA, 2020)	379 ล้านคัน	1,109 ล้านคัน	(จากปัจจุบัน 2019 : 7.9 ล้านคัน)

รูปที่ 11 การคาดการณ์การเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าในปี ค.ศ. 2030 และ ค.ศ. 2050



รูปที่ 12 แนวทางการกำหนดวิสัยทัศน์และเป้าหมายภาพรวม

3. แผนแม่บทการพัฒนาโครงข่ายสมาร์ตกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579



รูปที่ 13 การเชื่อมโยงของเทคโนโลยีด้านต่างๆ ในระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด

การกำหนดวิสัยทัศน์และเป้าหมายภาพรวมของแผนขับเคลื่อนฯ ระยะปานกลาง สอดคล้องกับภาพรวมของแผนหรือนโยบายของประเทศไทย รวมถึงทิศทางและการเปลี่ยนผ่านของการพัฒนาเทคโนโลยีในอนาคต เพื่อมุ่งสู่เป้าหมายการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยรวม สรุปได้ดังนี้

วิสัยทัศน์

“ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ และการจัดการทรัพยากรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำเป็น รองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่ อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม”

เป้าหมายภาพรวม : แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่

ระยะ 1-5 ปี : การเตรียมความพร้อมและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ที่จำเป็น และนำร่องการจัดการ DER ในรูปแบบเชิงพาณิชย์ รองรับการเปลี่ยนผ่านแนวโน้มเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ ที่เริ่มส่งผลกระทบต่อการบริหารจัดการระบบไฟฟ้า

ระยะ 6-10 ปี : การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน และเร่งการจัดการ DER อย่างเต็มรูปแบบเชิงพาณิชย์รองรับการเปลี่ยนผ่าน
แนวโน้มเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ ที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการบริหารจัดการระบบไฟฟ้า

3.1 ความสำคัญของระบบโครงข่ายสมรรถกิริยาในประเทศไทย

ระบบโครงข่ายโรงไฟฟ้าในอดีตของประเทศไทยนั้นถูกจัดองค์ประกอบไว้ให้เป็นแบบรวมศูนย์ (Centralized Generation) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการส่งพลังงานจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งโดยทั่วไปแล้วเป็นการนำส่งพลังงานไฟฟ้าเพียงทิศทางเดียว ส่งผลให้ผู้บริโภคไฟฟ้าถูกจำกัดบทบาทในด้านการมีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้าตามไปด้วย ทั้งนี้ยังรวมถึงในแง่ของการแลกเปลี่ยนข้อมูลของระบบไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ก็เกิดขึ้นได้น้อยมากด้วยเช่นกัน ส่งผลให้การทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ จึงยังไม่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติตามไปด้วยนั่นเอง ในส่วนของระบบโครงข่ายสมรรถกิริยาเองนั้นตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่า ระบบโครงข่ายต้องการอาศัยการทำงานร่วมกันของเทคโนโลยีในหลายๆ ด้าน อีกทั้งเนื่องด้วยในปัจจุบัน พลังงานทดแทน โดยเฉพาะในส่วนของพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในฐานะแหล่งพลังงานในอนาคตอีกด้วย จึงส่งผลให้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าภายใต้แนวคิดแบบรวมศูนย์ (Centralized Generation) แบบเดิมนั้น ไม่สามารถตอบโจทย์การใช้งานในปัจจุบันได้ดีเท่าที่ควร เพื่อการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบโครงข่ายสมรรถกิริยาได้อย่างสมบูรณ์นั้น ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแบบกระจายศูนย์ (Decentralized Generation: DG) จึงถูกนำมาใช้ทดแทนแนวคิดของระบบโครงข่ายไฟฟ้าแบบเดิม ซึ่งโดยหลักการแล้ว ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กแบบกระจายศูนย์ (Decentralized Generation: DG) สามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงกันทั้งในมิติของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องทางกับระบบสมรรถกิริยา มิติของแหล่งพลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ ที่จะมีแนวโน้มในการกระจายตัวอยู่ทั่วพื้นที่ในประเทศไทย ตลอดจนมิติของภาคประชาชนหรือผู้ใช้ไฟฟ้า ที่จะทำให้เกิดความมีส่วนร่วม จนถึงการเปลี่ยนบทบาทมาเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าในบางช่วงเวลาด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบโครงข่ายสมรรถกิริยาล้วนนั้น การเกิดขึ้นของระบบสมรรถกิริยาก็ยังเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบโครงสร้างทางไฟฟ้าของประเทศไทยได้อีกในหลายด้าน

3.2 ยุทธศาสตร์ของการดำเนินงาน



ด้านการพัฒนาความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้า (Power Reliability and Quality)

การพัฒนาระบบโครงข่ายสมรรถกิริยาในด้านการพัฒนาความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้าจะทำให้ระบบไฟฟ้ามีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าที่เพียงพอ มีความต่อเนื่องของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และไม่มีปัญหาคุณภาพของแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าได้



ด้านความยั่งยืนและประสิทธิภาพของการผลิตและใช้พลังงาน (Energy Sustainability and Efficiency)

การพัฒนาระบบโครงข่ายสมรรถกิริยาในด้านความยั่งยืนและประสิทธิภาพของการผลิตและใช้พลังงานจะช่วยให้มีการผลิตและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อช่วยลดต้นทุน บรรเทาปัญหาการจัดการแหล่งเชื้อเพลิง และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ จะช่วยให้สามารถรองรับการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนในปริมาณมากได้



ด้านการพัฒนาการทำงานและการให้บริการของหน่วยงานการไฟฟ้า (Utility Operation and Service)

การพัฒนาระบบโครงข่ายสมรรถกิริยาในด้านการพัฒนาการทำงานและการให้บริการของหน่วยงานการไฟฟ้า จะช่วยให้การดำเนินงานของหน่วยงานการไฟฟ้า ทั้งทางด้านเทคนิคและการให้บริการ สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความ

ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานต่างๆ ลง และส่งผลต่อการให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ดีขึ้นโดยตรง

ด้านการกำหนดมาตรฐานความเข้ากันได้ของอุปกรณ์ (Integration and Interoperability)

การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในด้านการกำหนดมาตรฐานความเข้ากันได้ของอุปกรณ์จะช่วยให้อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบสามารถทำงานประสานกันได้มากขึ้น โดยอาศัยเทคโนโลยีของ ICT ซึ่งจะส่งเสริมให้เกิดรูปแบบการให้บริการใหม่ๆ แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้

ด้านการพัฒนาศักยภาพการแข่งขันทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม(Economic and Industrial Competitiveness)

การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดถือเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ประเทศไทยสามารถสร้างองค์ความรู้และสามารถพัฒนาเทคโนโลยีตามประเทศอื่นได้ทัน โดยจะต้องให้ความสำคัญกับการสร้างบุคลากร และการส่งเสริมอุตสาหกรรมภายในประเทศ ทั้งนี้ การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดควรมีส่วนช่วยในการกระตุ้นการเติบโตของภาคเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศไปพร้อมๆ กัน



รูปที่ 14 ระบบไฟฟ้าแบบรวมศูนย์และแบบกระจายศูนย์

3.3 กรอบระยะเวลาการดำเนินโครงการตามแผนแม่บท

การดำเนินงานตามแผนแม่บทฯ นั้นต้องอาศัยความร่วมมือจาก 3 ภาคส่วนหลักได้แก่ ภาครัฐ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตส่งไฟฟ้า และการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย โดยกิจกรรมที่ระบุอยู่ภายใต้แผนแม่บทฯ สามารถแบ่งระยะดำเนินการออกเป็น 4 ระยะ ให้สอดคล้องกับกรอบเวลาตามแผนแม่บทโดยมีรายละเอียดการดำเนินงานได้ดังนี้

เป้าหมายระยะเตรียมการ

- กำหนดหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบดูแล ติดตาม และขับเคลื่อนการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้เป็นไปตามแผนแม่บท
- กำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อโครงข่ายสื่อสาร การแลกเปลี่ยนข้อมูลและกำหนด Platform ของการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดร่วมกันระหว่าง 3 การไฟฟ้า

ระยะเตรียมการ
2558-2559

- ปรับปรุงข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้รองรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในสัดส่วนสูง
- สนับสนุนให้สถาบันการศึกษาสามารถผลิตบุคลากรด้านระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดได้
- สนับสนุนการศึกษาวิจัยในระยะเริ่มต้นที่เกี่ยวกับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด

กลไกการดำเนินการระยะเตรียมการ

- ตั้งคณะทำงานเพื่อนำแผนแม่บทมาปรับใช้และจัดทำแผนปฏิบัติการ (Action Plan)
- ตั้งหน่วยงานเพื่อดูแล ติดตาม และขับเคลื่อนการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้เป็นไปตามแผนแม่บทฯ พร้อมทั้งกำหนดกรอบงบประมาณสำหรับการดำเนินงานประจำปี โดยเฉพาะ
- ตั้งคณะทำงานเชื่อมต่อโครงข่ายสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลร่วมกัน ระหว่าง 3 การไฟฟ้า
- ตั้งคณะทำงานกำหนด Platform ของการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด ของทั้ง 3 การไฟฟ้า
- ตั้งคณะทำงานปรับปรุงข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อรองรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน
- ให้ทุนสนับสนุนให้สถาบันการศึกษาเพื่อผลิตบุคลากรด้านระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด
- ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยในระยะเริ่มต้นที่เกี่ยวกับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด
- ประชาสัมพันธ์ให้ความรู้เกี่ยวกับระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดแก่หน่วยงานของรัฐ/กระทรวงที่เกี่ยวข้อง/ผู้มีอำนาจตัดสินใจ และประชาสัมพันธ์ให้ความรู้กับประชาชนทั่วไปอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ตระหนักถึงความสำคัญและเข้าใจเกี่ยวกับระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด



เป้าหมายระยะสั้น

- สนับสนุนการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดในระดับโครงการนำร่อง
- กำหนดนโยบายให้การไฟฟ้าฯ ทั้งสามแห่งลงทุนโครงการนำร่องที่เกี่ยวกับระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด

กลไกการดำเนินการระยะสั้น

- ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยที่เกี่ยวกับโครงการนำร่องระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด เช่น
 - โครงการนำร่องด้าน HEMS/BEMS/FEMS
 - โครงการนำร่องด้าน Demand Response (DR)
 - โครงการนำร่องด้านระบบไมโครกริด
 - โครงการนำร่องด้านระบบกักเก็บพลังงาน
- ศึกษาและทบทวนความเหมาะสมการใช้งานเทคโนโลยีระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดจากโครงการนำร่องที่ได้ดำเนินการไปแล้ว เพื่อใช้พิจารณาในการกำหนดแนวทางการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในระยะต่อไป

ระยะปานกลาง
2565-2574

เป้าหมายระยะปานกลาง

- สนับสนุนให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดภายในประเทศ
- ปรับนโยบายและกฎระเบียบต่างๆ ให้เอื้อต่อการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดขั้นสูง
- สนับสนุนให้การไฟฟ้า ทั้งสามแห่งลงทุนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบ โครงข่ายสมาร์ตกริด

กลไกการดำเนินการระยะปานกลาง

- สนับสนุนให้มีโครงสร้างค่าไฟฟ้าที่สะท้อนต้นทุนตามช่วงเวลา (Real Time Pricing; RTP) หรืออย่างน้อยในรูปแบบ TOU ที่มีความหลากหลายมากขึ้น
- จัดตั้งศูนย์ข้อมูลการพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน/ระบบกักเก็บพลังงาน
- ออกมาตรการกำหนดสัดส่วนอุปกรณ์ภายในประเทศ (Local Content) สำหรับโครงการลงทุนระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดของหน่วยงานภาครัฐ
- ออกมาตรการสนับสนุนเพื่อส่งเสริมให้ภาคเอกชนสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดภายในประเทศได้
- ออกมาตรการสนับสนุนทางภาษี และทางการเงินอื่นๆ แก่ภาคเอกชนที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับระบบโครงข่ายสมาร์ตกริด
- สนับสนุนให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยลงทุนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับเทคโนโลยีต่างๆ ดังนี้
 - เทคโนโลยีโครงข่ายสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลในระบบผลิตและระบบส่ง (ICT Integration (G&T))
 - เทคโนโลยีระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System (SCADA / EMS))
 - เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานในระบบส่ง (Energy Storage System (G&T))
 - เทคโนโลยีระบบสื่อสารข้อมูลกับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก/ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก โดยเชื่อมต่อกับข้อมูลระบบจำหน่าย (SPP/VSP Data Communication System (G&T))
 - เทคโนโลยีระบบสถานีไฟฟ้าอัตโนมัติในระบบส่ง (Substation Automation (G&T))
 - เทคโนโลยีระบบตรวจการณ์และระบบป้องกันและควบคุมในวงกว้าง (Wide Area Monitoring System (WAMS)/Wide Area Protection and Control (WAPC))
- สนับสนุนให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายลงทุนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับเทคโนโลยีต่างๆ ดังนี้
 - เทคโนโลยีโครงข่ายสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลในระบบจำหน่าย (ICT Integration (Distr))
 - เทคโนโลยีระบบบริหารจัดการระบบจำหน่าย (Distribution Management System (SCADA / DMS))
 - เทคโนโลยีระบบสายป้อนอัตโนมัติ (Distribution/Feeder Automation (DA/FA))
 - เทคโนโลยีสมาร์ตมิเตอร์และระบบโครงสร้างพื้นฐานมิเตอร์ขั้นสูง (Smart Meter + AMR/AMI)
 - เทคโนโลยีระบบฐานข้อมูลมิเตอร์ผู้ใช้ไฟฟ้า (Meter Data Management System (MDMS))

- เทคโนโลยีระบบสื่อสารข้อมูลกับผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก/ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (SPP/VSP Data Communication System (Distr))
- เทคโนโลยีระบบไฟถนนชาญฉลาด (Intelligent Street Lights)

ระยะยาว
2575-2579

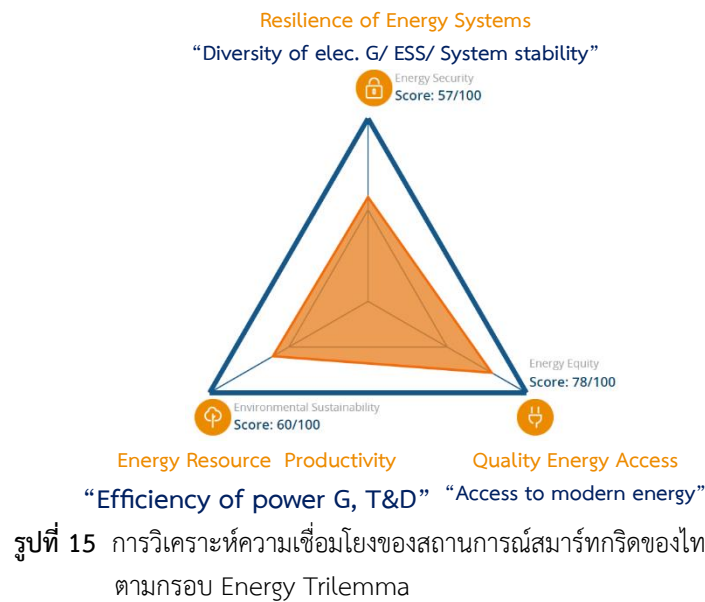
เป้าหมายระยะยาว

- กำหนดนโยบายให้การไฟฟ้า ทั้งสามแห่งลงทุนพัฒนาเทคโนโลยีระบบโครงข่ายสมรรถกิริตขั้นสูง
- สนับสนุนให้ภาคผู้ใช้ไฟฟ้ามีการลงทุนการติดตั้งเทคโนโลยีเพื่อช่วยบริหารจัดการการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดการบูรณาการใช้งานร่วมกับระบบโครงข่ายสมรรถกิริตให้เกิดประโยชน์สูงสุด ตั้งแต่ภาคครัวเรือน อาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรม (เทคโนโลยี HEMS/BEMS/FEMS)

กลไกการดำเนินการระยะยาว

- กำหนดนโยบายให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยลงทุนพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ดังนี้
 - เทคโนโลยีระบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าชาญฉลาดในระบบส่ง โดยเชื่อมต่อกับข้อมูลของระบบจำหน่าย (Intelligent Charging System/V2G (G&T))
 - เทคโนโลยีระบบพยากรณ์พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy Forecast System)
 - เทคโนโลยีระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงและการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมกำลังไฟฟ้าในระบบส่ง (EHV/FACTS)
 - เทคโนโลยีระบบจัดการการตอบสนองของโหลดและระบบจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบผลิตและระบบโดยเชื่อมต่อกับข้อมูลของระบบจำหน่าย (Demand Response (DR)/Demand-Side Management (DSM) (G&T))
- กำหนดนโยบายให้การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายลงทุนพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ดังนี้
 - เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานในระบบจำหน่าย (Energy Storage System (Distr))
 - เทคโนโลยีระบบการอัดประจุรถยนต์ไฟฟ้าชาญฉลาดในระบบจำหน่าย (Intelligent Charging System/V2G (Distr))
 - เทคโนโลยีระบบไมโครกริด (Microgrid Development)
 - เทคโนโลยีระบบจัดการการตอบสนองของโหลดและระบบจัดการความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบจำหน่าย (Demand Response (DR) / Demand-Side Management (DSM) (Distr))
- กำหนดนโยบายสนับสนุน/จูงใจให้ภาคส่วนตั้งแต่ภาคครัวเรือน อาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรม มีการลงทุนติดตั้งเทคโนโลยีเพื่อการบริหารจัดการการใช้พลังงานอย่างเต็มรูปแบบ

4. สถานการณ์การพัฒนาศมารถกริตของไทยตามกรอบการพัฒนาพลังงานของ World Energy Council



ประเทศไทยมีผลการประเมินประสิทธิภาพของนโยบายตาม Trilemma ในระดับปานกลาง โดยมีผลการดำเนินงานที่ดีในมิติของความเสมอภาคด้านพลังงาน การเข้าถึงพลังงานตลอดจนราคาที่ประชาชนสามารถเข้าถึงและจ่ายได้ และยังมีแนวโน้มที่ดีขึ้นอย่างมีเสถียรภาพ ส่วนด้านความมั่นคงของพลังงานยังคงต้องดำเนินการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานที่มีความหลากหลายและระบบโครงข่ายพลังงานมีความมั่นคงสูง ส่วนมิติด้านความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อมมีการพัฒนาขึ้นจากการปล่อยมลพิษที่ลดลงและตัวบ่งชี้คุณภาพอากาศที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มการผลิตพลังงานเพื่อเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานถือเป็นความท้าทายที่สำคัญสำหรับประเทศไทย เพื่อรับมือกับความท้าทายนี้รัฐบาลมีเป้าหมายที่จะพัฒนาการสำรวจและผลิตพลังงานจากทรัพยากรทั้งในและต่างประเทศ มีการพัฒนาแหล่งพลังงานร่วมกับประเทศเพื่อนบ้าน พัฒนาการผลิตพลังงานที่มีความหลากหลายมากขึ้น และส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกอื่น ๆ

นอกจากนี้รัฐบาลมีเป้าหมายที่จะเพิ่มการแข่งขันและการลงทุนในอุตสาหกรรมพลังงานโดยการสร้างสภาพแวดล้อมที่เป็นมิตรกับธุรกิจและโปร่งใส รัฐบาลได้พัฒนานโยบายเพื่อส่งเสริมการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนโดยเฉพาะเชื้อเพลิงชีวภาพ ชีวมวล ชยะมูลฝอยและมูลสัตว์ มาตรการเหล่านี้คาดว่าจะเพิ่มความมั่นคงด้านพลังงาน ลดมลพิษ และสนับสนุนเกษตรกรโดยการส่งเสริมการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนในระดับชุมชน



รูปที่ 16 การเปรียบเทียบ Energy Trilemma กับแผนแม่บทฯ สมารถกริต

สถานการณ์ในประเทศไทยและยุทธศาสตร์ชาติจึงเป็นกลไกขับเคลื่อนการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ หรือ สมาร์ทกริดที่สำคัญโดยเฉพาะในส่วนของ Energy Trilemma ในมิติด้านความมั่นคง (เช่น การเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจาก พลังงานทดแทน ระบบสะสมพลังงาน เสถียรภาพของระบบและการฟื้นตัวของกำลังการผลิตเป็นต้น) และมิติด้านความยั่งยืน ของสิ่งแวดล้อม (เช่น การผลิตไฟฟ้าคาร์บอนต่ำ ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้า ระบบส่งและจำหน่าย เป็นต้น) รวมทั้ง สอดคล้องกับทิศทางการเปลี่ยนแปลงและการส่งเสริมพลังงานในระดับโลกด้วย ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพของนโยบายในทั้งสอง มิติอาจจะส่งผลต่อราคาพลังงานที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจากนโยบายของประเทศแสดงให้เห็นแนวคิดของการรักษาระดับราคา พลังงาน ในระดับ grid parity ซึ่งถือเป็นความท้าทายหนึ่งของประเทศไทย

5. ประโยชน์ของสมาร์ทกริด

การพัฒนาระบบสมาร์ทกริดของประเทศไทยนั้น นอกจากเป็นการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าเดิมให้มีประสิทธิภาพการใช้ งานให้ดีขึ้นเพื่อรองรับการประยุกต์ใช้งานต่างๆ ในระยะยาวจากการเปลี่ยนแปลงตามสภาพเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันและ อนาคตแล้ว การพัฒนาและปรับปรุงระบบโครงข่ายไฟฟ้าเดิมให้เป็นระบบสมาร์ทกริดยังถือเป็นการเพิ่มและเปิดโอกาสในการ พัฒนาต่อยอดด้านต่างๆ ของประเทศไทยให้ดียิ่งขึ้นไปอีก ดังนี้

5.1 การพัฒนาด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม

- เพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินการของภาคอุตสาหกรรม โดยการนำเทคโนโลยีระบบ Smart grid มาประยุกต์ใช้ ในการบริการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม และการรักษาระดับคุณภาพของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ จะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตและการดำเนินการ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการแข่งขัน ทางเศรษฐกิจให้แก่อุตสาหกรรมไทยได้
- ลดมูลค่าการสูญเสียทางเศรษฐกิจจากการเกิดไฟฟ้าตกไฟฟ้าดับ จากสถิติอัตราการเกิดไฟฟ้าตกไฟฟ้าดับในแต่ละ ปีของประเทศไทย ก่อให้เกิดมูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐกิจคิดเป็นมูลค่ามหาศาล หากสามารถลดอัตราการ เกิดไฟฟ้าตกไฟฟ้าดับด้วยการใช้ระบบ Smart grid มาประยุกต์ใช้ด้วยแล้ว ประเทศชาติจะได้รับ ผลประโยชน์

5.2 การพัฒนาด้านธุรกิจและการลงทุน

- ส่งเสริมธุรกิจการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน และการอนุรักษ์พลังงาน เนื่องจากการใช้งานระบบ Smart grid จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน และสามารถบริหารจัดการด้าน การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ ซึ่งถือเป็นการสนับสนุนนโยบายการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน หมุนเวียน และการอนุรักษ์พลังงานของภาครัฐ
- เปิดโอกาสสู่การประกอบธุรกิจใหม่ จากความสามารถในการประยุกต์ใช้งานระบบ Smart grid ที่มีความ หลากหลาย นำไปสู่โอกาสของธุรกิจต่างๆ เช่น การให้คำปรึกษาด้านการบริหารจัดการการใช้พลังงานอย่างมี ประสิทธิภาพด้วยระบบ Smart grid และยังสามารถนำไปสู่การจ้างงานที่เพิ่มขึ้น เป็นการกระจายรายได้ไปสู่ภูมิภาค ต่างๆ ลดความเหลื่อมล้ำทางสังคมได้

5.3 การพัฒนาด้านวิทยาการความรู้ทางเทคโนโลยี

- การพัฒนาบุคลากรให้มีความรู้ ความเชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นการพัฒนาที่ควบคู่ไปกับการพัฒนาระบบ Smart grid ทั้งนี้ ยังสามารถส่งต่อบุคลากรที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญดังกล่าวไปปฏิบัติงานในต่างประเทศได้อีกด้วย
- การพัฒนาหลักสูตรระบบ Smart grid เป็นการสร้างชื่อเสียงในด้านวิทยาการความรู้ทางด้านเทคโนโลยีระบบ Smart grid เพื่อพัฒนาบุคลากรที่มีคุณภาพ สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศ และดึงดูดความสนใจจาก ต่างประเทศในด้านการศึกษาวิจัยและพัฒนา
- การพัฒนาโครงการนำร่องเทคโนโลยีระบบ Smart grid โดยสามารถดำเนินการให้เป็นโครงการนำร่องใน ระดับชาติ เพื่อใช้เป็นโครงการตัวอย่างในการดึงดูดความสนใจจากต่างประเทศ ซึ่งถือเป็นช่องทางและโอกาสใน การส่งออกเทคโนโลยีระบบ Smart grid ของประเทศไทย

ทั้งนี้ ประโยชน์หลักที่เกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้าและผู้ให้บริการไฟฟ้ารวมถึงระบบเศรษฐกิจของประเทศอันเนื่องมาจากการพัฒนาระบบไฟฟ้าโครงข่ายสมรรถกิริยาในประเทศไทย สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) เพิ่มความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้าที่ประชาชนจะได้รับ
- 2) เพิ่มความยั่งยืนและประสิทธิภาพของการผลิตและใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย
- 3) พัฒนาการดำเนินงานและการให้บริการของหน่วยงานการไฟฟ้าฯ ให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ และเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชน
- 4) แก้ไขปัญหามาตรฐานการเข้ากันได้ของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต หากไม่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้าอย่างรอบคอบ
- 5) พัฒนาศักยภาพการแข่งขันทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของประเทศในธุรกิจใหม่ที่เกี่ยวข้องกับระบบโครงข่ายสมรรถกิริยา

6. สรุป

ความพร้อมของเทคโนโลยี การลงทุนของภาคอุตสาหกรรม รวมถึงบทบาทของภาครัฐในการกำหนดนโยบายและกฎระเบียบที่เหมาะสม เป็นแรงผลักดันด้านความต้องการใช้เทคโนโลยีสมรรถกิริยา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในโครงข่ายไฟฟ้าที่มากขึ้น ความหลากหลายบริการของระบบกักเก็บพลังงานที่ช่วยให้โครงข่ายไฟฟ้ามีความมั่นคง เชื่อถือได้ และความยืดหยุ่นสูง จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีสมรรถกิริยาจึงเป็นหนึ่งในทิศทางการเปลี่ยนผ่านพลังงานเพื่อมุ่งสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2564, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการพัฒนาแผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมรรถกิริยาของประเทศไทย ระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574.
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2565, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนปฏิบัติการส่งเสริมอุตสาหกรรมผลิตระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่.
- [3] Bloomberg NEF, 2019, Battery Pack Prices Fall as Market Ramps Up with Market Average at \$156/kWh in 2019, URL: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-as-market-ramps-up-with-market-average-at-156-kwh-in-2019/>, accessed on 01/05/2022.
- [4] International Renewable Energy Agency, IRENA, 2020, Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050, URL: <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020>, accessed on 01/05/2022.
- [5] International Renewable Energy Agency, IRENA, 2020, Remap – Renewable Energy Roadmaps, URL: <https://www.irena.org/remap>, accessed on 01/05/2022.
- International Renewable Energy Agency, IRENA (2022). World Energy Transitions Outlook: 1.5 C Pathway, URL: <https://www.irena.org/publications/2022/Mar/World-Energy-Transitions-Outlook-2022>, accessed on 01/05/2022.
- [6] UNFCCC, 2015, COP 21 – Reports, URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/paris-climate-change-conference-november-2015/cop-21/cop-21-reports>, accessed on 01/05/2022.
- [7] World Energy Council, 2021, World Energy Trilemma Index, URL: <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/world-energy-trilemma-index>, accessed on 01/05/2022.