การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดในอนาคต

Development of Information Technology to Support Smart Grid System in the Future

อิทธิศักดิ์ ศรีดำ

Idhisak Sridam

Received: 11 Appil 2019 ; Revised: 24 June 2019 ; Accepted: 15 July 2019

บทคัดย่อ

ระบบสมาร์ทกริด (Smart Grid) หรือสายส่งอัจฉริยะ เป็นการพัฒนาต่อยอดมาจากระบบ ไมโครกริด หรือการพัฒนาให้ระบบไฟฟ้าตอบสนองต่อการทำงานได้อย่างชาญฉลาด โดยเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information and Communication Technology: ICT) ระบบเซ็นเซอร์ ระบบเก็บข้อมูล และเทคโนโลยีทางด้านการควบคุมอัตโนมัติ เพื่อทำให้ระบบไฟฟ้ารับรู้ข้อมูลสถานะต่าง ๆ นำมาใช้ในการตัดสินใจอย่างอัตโนมัติและเป็นโมเดลที่ใช้ในการแก้ปัญหาพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในอนาคต เป็นระบบนวัตกรรมที่ใช้การบริหารจัดการด้วยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาควบคุมการผลิต ส่งและจ่ายพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสามารถรองรับการเชื่อมต่อจากแหล่งพลังงานทุกชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพให้เกิดประโยชน์สูงสุด มีความมั่นคง ปลอดภัย เชื่อถือได้ มีคุณภาพไฟฟ้าได้มาตรฐานสากล ซึ่งจะมีความเหมาะสมกับการนำมาใช้แก้ปัญหาแหล่งพลังงานที่มีอยู่น้อยและไม่เพียงพอกับการพัฒนาประเทศไทย ในทุกภาคส่วนทั้งการอยู่อาศัย พาณิชย์กรรมหรืออุตสาหกรรม หน่วยงานภาครัฐและสถาบันต่าง ๆ ซึ่ง จะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าในอนาคตมีอัตราการเพิ่มขึ้นตลอดเวลา โดยคาดว่าระบบสมาร์ทกริดจะเป็นการจัดการพลังงานที่ถูกนำนำมาใช้ในการกำหนดเป็นนโยบายที่เป็นรูปธรรมต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: เทคโนโลยีสารสนเทศ ระบบสมาร์ทกริด พลังงานไฟฟ้า การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า การใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคต

Abstract

Smart Grid system or Intelligent Transmission is the cumulative development continued from Microgrid or developing electrical system. Smart Grid intelligently responds to operation by applying information and communication technology (ICT), sensing system, data storage system and automatic control technology. It enables electrical system to acknowledge statuses which apply to automatic decision and it likes the model for electrical energy solutions in Thailand's future. The management information technology is an innovation system to control electrical production, transmission and distribution. It efficiently supports connections from every type of energy source which will maximize benefits, equipped with stability, safety, reliability, international standardized electrical quality suitable for solution of few energy sources and insufficiency for development in Thailand; habitation, commerce and industry in government agencies and various institutions. It is the most important factor for economy driving. Due to the increasing use of electricity in the future at the time, Smart Grid system is expected to be the energy management that has been used in the formulation of the concrete policy in the future.

สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์และระบบสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพฯ. 10330.

E-mail: idhisak@pit.ac.th

Department of Software Engineering and Information System, Faculty of Science and Technology, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand. 10330.

E-mail: idhisak@pit.ac.th

Keywords: information technology, Smart Grid system, electrical energy, electrical energy management, electrical energy usage in future

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศไทย เนื่องจากการเป็นปัจจัยการผลิตในทุกภาคส่วน ประกอบด้วยการอยู่อาศัย พาณิชย์กรรมหรืออุตสาหกรรม หน่วยงานภาครัฐและสถาบันต่าง ๆ ซึ่งประเทศไทยมีแหล่งพลังงานอยู่หลายประเภทแต่มีปริมาณน้อย จึงต้องมีการจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีคุณภาพที่ดีและมีราคาเหมาะสม รวมทั้งมีการใช้พลังงานทดแทนมาเป็นส่วนเสริม เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือ ลม เป็นต้น พลังงานทุกประเภทเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจในอนาคต ซึ่งการบริการไฟฟ้ามีหลักในการดำเนินงานได้แก่ ความต้องการใช้ไฟและกำลังการผลิต ซึ่งต้องมีการพยากรณ์ล่วงหน้า เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นตลอดเวลา[1]

ระบบสมาร์ทกริด ใช้การบริหารจัดการด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศมาควบคุมการผลิต ส่งและจ่ายพลังงานไฟฟ้า ที่สามารถรองรับการเชื่อมต่อจากแหล่งพลังงานทุกแห่งได้อย่างมีประสิทธิภาพให้เกิดประโยชน์สูงสุด มีความมั่นคง ปลอดภัย เชื่อถือได้ มีคุณภาพไฟฟ้าได้มาตรฐานสากล ความอัจฉริยะเกิดจากการผสานเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ระบบสารสนเทศ ระบบ สื่อสาร เข้าไว้ด้วยกันเป็นโครงข่ายในการสนับสนุนการทำงานซึ่งกันและกันโดยอาศัยความก้าวหน้าจากนวัตกรรมเทคโนโลยีให้เกิดผลลัพธ์ใน 3 ด้าน ได้แก่ 1) Smart Energy: การใช้พลังงานอย่างชาญฉลาดและรู้คุณค่า 2) Smart Life: เพื่อชีวิตที่สะดวกสบาย และ 3) Smart Community: สู่สังคมและโลกที่น่าอยู่ในอนาคต[2]

พลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญมากที่สุดเพราะมีผู้ใช้เป็นจำนวนมากและการที่จะให้เกิดความมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล มีเสถียรภาพและมีต้นทุนต่ำที่สุด มีความยืดหยุ่นจะต้องใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยในการบริหารจัดการแบบผสมผสานของนวัตกรรมของระบบสมาร์ทกริดที่มีความชาญฉลาดที่เรียกว่าเป็น “ระบบสมาร์ทกริด (Smart Grid System)” โดยจะต้องมีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสมัยใหม่เข้ามาดำเนินการและควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ เพื่อให้ระบบไฟฟ้ากำลังได้รับรู้ข้อมูล สถานะหรือสถานการณ์ต่าง ๆ และใช้ในการตัดสินใจซึ่งระบบนี้ในประเทศไทย ยังไม่มีความชัดเจนในด้านนโยบายของหน่วยงานที่รับผิดชอบว่าจะมีการดำเนินการพัฒนาอย่างไร เพราะระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจะสามารถตอบสนองได้เป็นอย่างดีจากการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศให้เข้ามาทำงานร่วมกันครอบคลุมระบบไฟฟ้าทั้งหมด ตั้งแต่ระบบการผลิตไฟฟ้า การส่ง การจำหน่ายไปจนถึงภาคส่วนของผู้บริโภค[3] โดยแผนแม่บทในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 ได้สนับสนุนการลงทุนโดยนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยให้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเกิดการบูรณาการใช้งานร่วมกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น ระบบการบริหารการจัดการพลังงานในบ้าน (Home Energy Management System; HEMS) ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System; BEMS) และระบบบริหารจัดการพลังงานในโรงงาน (Factory Energy Management System; FEMS) ซึ่งเป็นการปฏิรูประบบการจัดการด้านพลังงานทั้งหมด โดยมีการประสานการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) สมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter) และระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ (Actuator/Controller) เพื่อให้การบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าเกิดประโยชน์และผลสัมฤทธิ์มากที่สุด จะทำให้การใช้พลังงานมีคุณค่าเพื่อชีวิตที่สะดวกสบาย สู่สังคมและโลกที่น่าอยู่ในอนาคต ไม่ว่าจะเป็นในแง่ของการผลิต และส่งจ่ายพลังงานสู่ผู้ใช้ไฟฟ้า (Supply Side) รวมทั้ง ด้านของผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand Side) ความสำคัญของระบบสมาร์ทกริดจะเป็นการสร้างโอกาสใหม่ในการยกระดับขีดความสามารถทางการแข่งขันให้สูงขึ้น เน้นการจัดสรรการใช้พลังงานได้อย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูงสุด ลดต้นทุนการดำเนินการ แต่ปัญหาใหญ่และสำคัญมากคือขาดการบูรณาการในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศของแต่ละองค์การร่วมกัน

กระทรวงพลังงานมีข้อมูลที่แสดงถึงนโยบายพลังงานของประเทศไทย ควรมีการเร่งรัดการจัดการพลังงานให้มีปริมาณเพียงพอกับความต้องการ[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานมีข้อมูลแสดงว่าเทคโนโลยีสารสนเทศจะทำให้ระบบสมาร์ทกริดทราบข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน จะช่วยในการปรับการรักษาสมดุลระหว่างกำลังผลิตและความต้องการใช้ไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ได้อย่างทันท่วงทีและอย่างประหยัด ลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาพลังงานในช่วงที่ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีค่าสูง ทำให้ลูกค้าผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ได้รับประโยชน์ในรูปแบบที่หลากหลาย แตกต่างจากเดิมได้มีส่วนร่วมกับการไฟฟ้า เช่น การมีข้อมูลสามารถรับรู้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้แบบเวลาจริง รับรู้ช่วงเวลาที่มีการใช้

ไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้ทันที ผ่านระบบแสดงผลบนหน้าจอที่ติดตั้งไว้ สามารถอ่านค่าได้เองจึงเป็นทางเลือกในการประหยัดโดยการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยมีราคาแพงที่สุด (peak)[5] เทคโนโลยีสารสนเทศ มีความจำเป็นต่อระบบสมาร์ทกริดเพราะเป็นกลจักรสำคัญ หากไม่พัฒนาก็จะเป็นการยากที่จะผลิตและใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพคุ้มค่าและยั่งยืนได้จริง รวมทั้งยังเอื้ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าโดยสามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติทั้งสภาวะปกติและสภาวะฉุกเฉิน สามารถตรวจวัดสภาวะของระบบ ณ เวลาจริง สื่อสารข้อมูลโต้ตอบกับบุคคล อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และระบบงานต่าง ๆ ดังนั้นในการส่งและกระจายพลังงานไฟฟ้าจากทั้ง 3 การไฟฟ้าเป็นหลัก ทั้งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand: EGAT), การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity Authority: MEA) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority: PEA) ให้มีประสิทธิผล ต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและระบบสื่อสาร เช่น Optical Fiber, SCADA (System Control and Data Acquisition)/ DMS (Distribution Management System), GIS (Geographic Information System) เป็นต้น

การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับระบบสมาร์ทกริดในประเทศไทยจึงต้องมีการจัดตั้งคณะกรรมการประสานงานโดยมีหน่วยงานที่เข้ามาทำงานร่วมกัน ได้แก่ สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand: EGAT) การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity Authority: MEA) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority: PEA) และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และมียุทธศาสตร์ ในการพัฒนาทางที่เหมาะสมซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการแบบผสมผสานของนวัตกรรมเทคโนโลยีในอนาคตของระบบสมาร์ทกริดในการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ให้มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) มีความปลอดภัย (Security) มีความยั่งยืน (Durability) และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Sustainability is Environmentally Friendly) อันจะนำมาซึ่งประโยชน์สูงสุดกับผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายทั้งผู้ใช้ไฟฟ้า ผู้ให้บริการไฟฟ้า สังคมเศรษฐกิจและประเทศไทยชาติ อย่างยั่งยืน ต่อไป

การวิเคราะห์บริบทของการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยโดยระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ

กระทรวงพลังงานมีรายงานว่าระบบไฟฟ้าของประเทศไทยได้ถูกออกแบบและพัฒนามาจากแนวคิดการบริหารระบบไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ (Centralized) เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกระจายและส่งเสริมการใช้พลังงานตามนโยบายของรัฐบาล เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วได้อย่างยั่งยืน [6] แต่ปัญหาการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณที่จัดหาได้ จะส่งผลต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าและความเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้าดับ ทำให้การส่งเสริมการผลิตไฟฟ้า ไม่สามารถทำได้อย่างเต็มที่จากขีดจำกัดของสายส่งและปัญหากำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับทิศทาง เป็นต้น

ในการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดในอนาคตเพื่อรองรับการใช้ด้านพลังงานอย่างยั่งยืน จะประกอบด้วย 1) ด้านระบบไฟฟ้าทั้งระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่ายและการรองรับการปฏิบัติงานร่วมกันของหน่วยงานการไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานร่วมกันของรัฐวิสาหกิจไฟฟ้าเพื่อการปฏิบัติงานทางด้านระบบไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) ด้านผู้ใช้ไฟฟ้าในการรองรับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้นในระยะยาวและมีระบบการปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อช่วยให้มีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ 3) ด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน จะเป็นการจัดหาพลังงานที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพร่วมกับการใช้งานเทคโนโลยีอื่น ๆ ควบคู่ไปกับการรักษาสิ่งแวดล้อม[7]

การใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยจะมีการใช้มากเกินกว่าที่ผลิตได้จึงต้องมีการให้ความสำคัญกับการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดในอนาคตมากยิ่งขึ้น ซึ่งรัฐบาลได้กำหนดเป็นนโยบายสำคัญในเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดความคุ้มค่า ลดการสูญเสียจากการผลิตส่วนเกิน กำหนดจุดดุลยภาพความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคในอนาคตที่จะทำให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด ซึ่งการใช้พลังงานจะมีการเพิ่มขึ้นทุกปีจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ระบบเศรษฐกิจและสังคมที่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน ทำให้ต้องมีการบริหารจัดการพลังงาน ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุดเพื่อให้เกิดความมั่นคงทางด้านพลังงาน ในการพัฒนารูปแบบการจัดการในขณะนี้ควรเป็นการใช้ระบบสมาร์ทกริดทั้งระบบเพื่อให้เกิดรูปแบบการจัดการที่ดีในอนาคตและมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด[8]

การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดในอนาคตสำหรับประเทศไทย

ในอนาคตประเทศไทยจะประสบปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานที่มีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นและทวีความรุนแรงมากขึ้น การพัฒนาระบบสมาร์ทกริดจะเป็นทางเลือกที่ให้ผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ดีที่สุดทุกฝ่ายจึงมีความจำเป็นต้องเร่งวิจัยและพัฒนาในเรื่องนี้เพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้เพียงพอและสามารถรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้ ซึ่งการพัฒนาระบบสมาร์ทกริด ให้เป็นโครงข่ายระบบไฟฟ้าที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการเป็นการพัฒนาจากระบบพื้นฐาน (Infrastructure) 2 ระบบ ได้แก่ 1) Electrical Infrastructure และ 2) Intelligence Infrastructure (Communication and IT) โดยมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1) Distributed Intelligence 2) Broadband Communications และ 3) Automated Control System ในการผลิต ส่งจ่าย และจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งในระบบสมาร์ทกริด จะเป็นการสร้างความสมดุลระหว่างช่วง On Peak และ Off Peak ที่จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานและคุณภาพไฟฟ้าด้วยการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ นำไปสู่การลดต้นทุนและราคาพลังงานไฟฟ้าทำให้สามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าและให้บริการได้อย่างเพียงพอทั่วถึง มั่นคง มีคุณภาพได้มาตรฐานสากลอย่างประหยัดและยั่งยืน โดยการมีส่วนร่วมของผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้มิเตอร์อัจฉริยะต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น จอภาพคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์และอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด และจะเป็นการสื่อสาร 2 ทาง โดยมีคุณสมบัติรองรับและส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเป็นแบบ Real Time ทำให้เกิดการรับรู้สถานการณ์ใช้ไฟฟ้า ณ. เวลานั้น มีการควบคุมและจัดการอุปกรณ์ไฟฟ้าจากทางไกลได้ ทำให้มีการเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น

สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดได้มีการพัฒนาโครงการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก เช่น โครงการ PEA Call Center 1129 (Out Sources) โครงการระบบคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำหรับธุรกิจหลัก (CBS Project) โครงการติดตั้งซอฟต์แวร์ระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS) โครงการ Automatic Meter Reading (AMR) T&D Operation จัดทำระบบ SCADA, DMS (Distribution Management System) T & D Planning & Engineering ระบบ System Planning, Maintenance Management (PM Module ใน ISU-SAP) ระบบ Asset Management ระบบ Asset Database System Distribution Management System ระบบGIS (Geographic Information System) และOMS (Outage Management System) หรือระบบบริหารไฟฟ้าขัดข้อง ส่วน MWM (Mobile Workforce Management) ซึ่งเป็นการลงทุนตามนโยบายในการบริหารสินทรัพย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ได้มาตรฐานสากล[9] และจะประกอบกับอุปกรณ์ทางเทคโนโลยีสำคัญ 3 ด้าน ได้แก่ เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และระบบฝังตัว เทคโนโลยีระบบควบคุมอัตโนมัติและเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ให้สามารถจัดการพลังงานส่งถึงผู้ใช้ไฟฟ้าและสามารถประมวลผลส่งสัญญาณไปใช้วิเคราะห์ประเมินผลระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน ให้ดีขึ้นอยู่ตลอดเวลา

ในประเทศไทยมีการพัฒนาด้านการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้ามาเป็นเวลานานแต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถจ่ายกำลังงานให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นระบบสมาร์ทกริดจะเข้ามาช่วยจัดการพลังงานทุกประเภทให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยนำข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบที่มีอยู่และของผู้ใช้ไฟฟ้าส่งเข้ามาประมวลผลและส่งสัญญาณบอกไปที่ผู้ใช้ถึงสถานการณ์ที่กำลังดำเนินอยู่ ซึ่งจะทำให้ระบบผลิตไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้มากขึ้น เกิดเสถียรภาพและความมีประสิทธิภาพมากขึ้น[10] ซึ่งแนวทางที่จะบรรลุเป้าหมายในการจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอเพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น จะต้องมีการจัดการในด้านการผลิต การส่ง การจำหน่าย และการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ถึงแม้ว่าอัตราการขยายตัวของการผลิตไฟฟ้ามีแนวโน้มที่สูงขึ้น แต่ยังมีอัตราส่วนที่น้อยมาก อีกทั้งยังมีความไม่แน่นอนในเรื่องของแหล่งผลิตและความไม่ต่อเนื่องหรือสม่ำเสมอ ดังนั้นการที่จะเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าที่มีมากขึ้นเข้าไปในระบบได้อย่างมีเสถียรภาพและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีโครงสร้างพิเศษที่ใช้เชื่อมต่อประสานงานดังกล่าว ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดจะทำให้เกิดผลสำเร็จในเรื่องนี้ได้อย่างยั่งยืน[11]

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีข้อมูลที่แสดงว่าระบบสมาร์ทกริดสามารถรองรับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าทั้งหมดที่กระจายอยู่ทั่วไปและให้บริการกับผู้เชื่อมต่อกับโครงข่ายผ่านมิเตอร์อัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีมาตรฐานสากล เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล[12] ซึ่งจะประกอบด้วย 1) Smart Energy เป็นการใช้พลังงานให้มีความมั่นคง ปลอดภัย มีคุณภาพ พร้อมใช้งานตลอดเวลาและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน 2) Smart Life เป็นการสร้างวิถีชีวิตของผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการไฟฟ้าได้มากขึ้นเหมาะกับวิถีชีวิตของตนเอง สามารถเลือกใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็คทรอนิกส์เพื่ออำนวยความสะดวกทั้งที่บ้านอยู่อาศัย ที่ทำงานและสถานที่พักผ่อน และ 3) Smart Community ที่มีการดำเนินกิจกรรมในทุกภาคส่วน ได้แก่

ครัวเรือน กิจการค้า การพาณิชย์ และอุตสาหกรรม โดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Electrical Power System) สามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติจากการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศ ทำให้สามารถตรวจวัดสภาวะของระบบ ณ เวลาจริงหรือจะประกอบด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลายชนิดที่มีสมองกลฝังตัว (Embedded System) ซึ่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงสามารถควบคุมการใช้งานได้จากระยะไกลผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สายแบบพกพา หรือผ่านระบบอินเทอร์เน็ต เช่น มือถือ PDA Smart Phone Tablet ระบบอินเทอร์เน็ตในที่ทำงานหรือร้านอินเทอร์เน็ตทั่วไป เป็นต้น ในสังคมโลกอนาคต ที่ทุกคนสามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้อย่างอิสระผ่านเครือข่ายดิจิตอล (Digital Network) มีระบบการบริหารจัดการที่ดี ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การใช้พลังงานไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพ สามารถจัดการทุกอย่างได้และหากมีการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เพื่อเป็นพลังงานทดแทนที่จะใช้ในการลดการใช้น้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงลดการ นำเข้าน้ำมันและก๊าซธรรมชาติได้อีกด้วย[2]

ในการพัฒนาประเทศไทย ให้เป็นเมืองที่มีสิ่งอำนวยความสะดวก น่าอยู่ และได้รับคุณภาพชีวิตที่ดี มีการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการเชื่อมโยงระบบโครงสร้างพื้นฐานของเมืองผ่านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อให้การบริหารจัดการเมืองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดจะเป็นการจัดการที่ต้องเริ่มจากนโยบายภาครัฐ และเศรษฐศาสตร์สังคม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านการผลิต การซื้อขายและการบริโภคไฟฟ้า ซึ่งในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจะถูกส่งเสริมและแทนที่ด้วยระบบนี้มากขึ้น ในทุกพื้นที่จะต้องมีการจัดส่งไฟฟ้า ต้องมีการพัฒนาระบบบริหารจัดการเพื่อเพิ่มศักยภาพของสายส่งให้มีความมั่นคง ยืดหยุ่นและคุ้มค่าทางด้านการลงทุน การจ่ายไฟฟ้าในระบบส่งที่ตอบสนองความต้องการได้อย่างแท้จริงมากที่สุดเพื่อลดการสูญเสียในสายส่งไฟฟ้า สามารถบูรณาการแหล่งพลังงานทุกแห่งนำมาใช้ประโยชน์ได้ตามความต้องการและจะเป็นอนาคตสำหรับระบบไฟฟ้าในประเทศไทย[13]

การจัดการเทคโนโลยีสมาร์ทกริด เป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะที่รวมเทคโนโลยีแห่งอนาคตเข้าด้วยกันเช่นแหล่งจ่ายไฟฟ้า มาตรวัดอัจฉริยะ บ้านอัจฉริยะ อาคารอัจฉริยะหรือเครื่องจักรอัจฉริยะและสามารถบริหารจัดการ ควบคุมการทำงานได้ตามต้องการ ผู้ใช้ไฟจะมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการใช้ไฟฟ้าได้มากขึ้น เช่น บ้านอัจฉริยะ ซึ่งจะประกอบด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลายชนิด ที่มีสมองกลฝังตัว ซึ่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงไม่ก่อปัญหามลภาวะ สามารถควบคุมการใช้งานได้จากระยะไกลผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สายแบบพกพา หรือผ่านระบบอินเตอร์เน็ต เช่น มือถือ อินเตอร์เน็ตในที่ทำงาน ร้านอินเตอร์เน็ต สมาร์ทกริดในอนาคตจะเป็นระบบการอ่านมาตรแบบก้าวหน้าจะมีประโยชน์ จากการมีปฏิสัมพันธ์กันโดยมีมิเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัววัดติดตามตรวจสอบแบบตามเวลาการใช้งานจริงซึ่งจะให้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินธุรกิจ เช่น ความต้องการใช้ เวลาใช้งาน ค่าแรงดันไฟฟ้าและข้อมูลคุณภาพไฟฟ้า มิเตอร์ตอบสนองงานได้ ส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้งานในช่วงของเวลาการใช้ไฟฟ้าสูงสุด เพื่อประโยชน์ในการดำเนินการควบคุมโดยตรงของการบริหารจัดการความต้องการ การดำเนินการควบคุมทั้งระบบส่วนสำคัญคือการวัดอันเป็นกุญแจสำคัญที่สุดช่วยให้รู้ถึงคุณภาพของอุปกรณ์และการจัดส่งไฟฟ้าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการควบคุมไฟฟ้า ตรวจจับภาคสนามแบบไร้สายเป็นตัวกลางในการสื่อสารส่งข้อมูลและสัญญาณไปยังระบบ แต่ตัวระบบจะเพิ่มต้นทุน จึงมีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนตัวตรวจจับที่ใช้งานเนื่องมากจากมีการขยายการใช้งานเพิ่มขึ้น ตัวตรวจจับอาจมีปัญหาในอนาคต ประโยชน์ของสมาร์ทกริดเทคโนโลยีในการใช้พลังงาน จะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้า มีเทคโนโลยีตรวจสอบที่ทันสมัยเช่น ตัวตรวจจับแบบไร้สาย ตัววัดเฟสเซอร์ สมาร์ทมิเตอร์เพื่อหลีกเลี่ยงช่วงการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเมื่อรวมการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนและสมาร์ทกริดเข้าด้วยกันจะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการดำเนินการในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจสนับสนุนการลดต้นทุนของผลผลิตและผลิตภัณฑ์ การทำงานของเซนเซอร์ทั้งอาคารซึ่งวัดผลและส่งข้อมูลประมวลผลผ่านแผงวงจรการควบคุมหรือแอพพลิเคชั่น เช่น วัดปริมาณแสง อุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร เพื่อใช้สำหรับการบริหารจัดการพลังงานปรับส่วนประกอบของตัวควบคุม เช่น ตัวหรี่ไฟ แอร์ เป็นต้น เมื่อติดตั้งทั้งระบบจะสามารถกำหนดค่าในการทำงานร่วมกันได้ และต้องมีการรับรู้ถึงประโยชน์ ความง่ายต่อการใช้งาน การรับรู้ความเสี่ยง เช่น ภัยคุกความต่อความปลอดภัยในโลกไซเบอร์ ความน่าเชื่อถือของประสิทธิภาพของสมาร์ทมิเตอร์ ความกังวลจากการแผ่ออกมาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวสมาร์ทมิเตอร์ เพราะการจัดการพลังงานจะต้องมีการพิจารณาปัจจัยด้านการรับรู้ความเสี่ยงจาการใช้งาน

เทคโนโลยีโครงข่ายสมาร์ทกริด จะช่วยให้บริหารจัดการการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพเกิดการบูรณาการที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีอุปกรณ์ตรวจวัดและระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติทำงานร่วมกันเกิดประโยชน์และผล

สัมฤทธิ์มากที่สุด ระบบสมาร์ทกริดเป็นการใช้พลังงานอย่างชาญฉลาดและรู้คุณค่าทั้งในด้านการผลิตจนถึงการจ่ายให้ผู้ใช้ไฟฟ้าให้ชีวิตที่สะดวกสบายกับคนในสังคมอนาคต การมีส่วนร่วมของผู้ใช้ไฟ เช่นการใช้มิเตอร์อัจฉริยะต่อกับเครื่องใช้และอุปกรณ์ไฟฟ้า จะเป็นการสื่อสาร 2 ทางทั้งรับและส่งแบบ Real Time มีการควบคุมและจัดการจากทางไกลสามารถรับรู้เรื่องไฟฟ้าขัดข้อง เพราะสมาร์ทกริดประกอบด้วย เทคโนโลยีด้านการตรวจวัด การรับส่งสัญญาณและการทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่น เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร การผลิตพลังงานไฟฟ้า การส่งจ่ายไฟฟ้า การควบคุมโครงข่ายไฟฟ้าอัตโนมัติและมิเตอร์อัจฉริยะและเป็นการรวบรวมผสมผสานหลายเทคโนโลยีเข้าด้วยกันแต่ต้องมีการพัฒนาความเชื่อมั่นและประสิทธิภาพของการจัดส่งไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ไฟ การลดต้นทุนให้กับทุกฝ่ายแบบอัจฉริยะครบวงจร เช่น อาคารอัตโนมัติหรือระบบควบคุมอาคาร จะประกอบด้วย ระบบการจัดการพลังงานในอาคารการป้องกันทางกายภาพ ความปลอดภัยด้านเพลิงไหม้ ลิฟต์ กล้องวงจรปิด ระบบความร้อน การหมุนเวียนอากาศและเครื่องปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง เครื่องทำความเย็น เครื่องทำความร้อนการจัดการพลังงานในอาคารประกอบด้วย ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ระบบการจัดการพลังงานในอาคารเข้ากับระบบสมาร์ทกริด และ ความปลอดภัยในการใช้งาน ที่พักอาศัยอัจฉริยะ ได้แก่ บ้านเดี่ยว ทาวน์เฮ้าส์ อาคารพาณิชย์ อพาร์ตเมนต์และคอนโดมิเนียมหากจะทำให้เป็นอัจฉริยะจะต้องติดตั้งระบบอัตโนมัติเพื่อความสะดวกสบาย ซึ่งรวมถึงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและมีระบบสะสมพลังงานเพื่อใช้เองมีระบบบริหารจัดการพลังงานที่จะสร้างความคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพที่สุดมีการตั้งค่าไฟฟ้าไว้และรับทราบข้อมูลเมื่อระบบเกิดการสูญเสียหรือด้อยประสิทธิภาพโดยผ่านการควบคุมทางระบบ แต่ต้องมีการออกแบบและพัฒนา ระบบสมาร์ทกริดที่มีระบบจัดการพลังงานและส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสร้างต้นแบบสามาร์ทกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่สามารถจัดการพลังงานและติดต่อกับผู้ใช้ไฟฟ้า สามารถประมวลผลส่งสัญญาณไปทางผู้ใช้ไฟฟ้า วิเคราะห์ประเมินผลระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน ซึ่งจะเป็นการบริหารจัดการสั่งการพลังงานแบบ Digital Control สื่อสารแบบไร้สาย สั่งการได้ในเวลาอันรวดเร็วจากแหล่งผลิตไฟไปยังที่ต้องการใช้ไฟฟ้าทำให้การบริหารจัดการทรัพย์สินได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนน้อยที่สุดตามต้องการ มีการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพที่ทำให้มั่นใจว่า Smart Grid ช่วยให้การบริหารพลังงานมีประสิทธิภาพสูง ช่วยลดการสูญเสียและเสริมความมั่นคงด้านพลังงาน สิ่งสำคัญคือการออกแบบระบบไมโครกริด สร้างโมเดลจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบระบบ พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการบริหารจัดการพลังงาน ระบบฐานข้อมูล website ระบบสื่อสารข้อมูล และ algorithm ที่ใช้วิเคราะห์การใช้และการผลิตกำลังไฟฟ้า พร้อมทั้งทดสอบระบบควบคุมแรงดันและกำลังไฟฟ้า เพื่อแก้ปัญหาแรงดันเกินในระบบไฟฟ้า มีการจัดทำขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมและป้องกันอย่างละเอียดทุกขั้นตอน

ระบบสมาร์ทกริดจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายผ่านมิเตอร์อัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ระบบสารสนเทศ ระบบสื่อสาร เข้าไว้ด้วยกันเป็นโครงข่าย ซึ่งจะสนับสนุนการทำงานซึ่งกันและกัน โดยอาศัยความก้าวหน้าจากนวัตกรรมเทคโนโลยี มีความมั่นคง ปลอดภัย เชื่อถือได้ มีคุณภาพไฟฟ้าได้มาตรฐานสากล ต้องมีการกำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์ในระบบที่ผสมผสานการทำงานร่วมกัน เนื่องจากนวัตกรรมจากอุปกรณ์ใหม่ ๆ เป็นจำนวนมากจะต้องมีการรับส่งข้อมูลต่อกันตลอดเวลา การรวมทุกอุปกรณ์ในระบบเข้าด้วยกันต้องใช้มาตรฐานรูปแบบเดียวกันและต้องมีการเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่เข้าสู่ระบบต้องมีความง่าย ส่งเข้าสู่ระบบได้ทันที ด้วยเทคโนโลยี ICT เพราะสมาร์ทกริดเทคโนโลยีเป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะที่เชื่อมเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ากับสายส่งไฟฟ้าและนำการสื่อสารมาบริหารจัดการ ควบคุมการผลิต การจัดส่งพลังงานไฟฟ้า สามารถรองรับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาดที่กระจายอยู่ทั่วไป โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ มาควบคุมสายส่งไฟฟ้าจากผู้ผลิตและให้บริการไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ไฟได้อย่างแม่นยำ ทำให้การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าทั้งกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการติดตั้งโปรแกรมพร้อมอุปกรณ์ที่ตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าได้ตามเวลาการใช้งานจริง ทำให้รู้ว่ามีการใช้ไฟฟ้าเท่าไหร่ที่จุดไหนบ้างเพื่อคำนวณการแจกจ่ายกระแสไฟมีความเสถียรเพื่อทำให้เป็นเมืองอัจฉริยะและการสื่อสารที่รวดเร็วการตรวจจับในความเป็นจริงจะทำให้เกิดการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้การตัดสินใจมีความชาญฉลาดมากขึ้น ช่วยในการตอบสนองที่มากขึ้น ในระบบเก่าเป็นการควบคุมแบบรวมศูนย์ที่ใช้กันมานานหลายทศวรรษ แต่การประสานงานการควบคุมของสมาร์ทกริดสามารถควบคุมบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าเองได้ ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาซอฟแวร์ที่จะใช้ในระบบตามด้วย

การขับเคลื่อนให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดในอนาคต

ระบบสมาร์ทกริดเกิดจากความสามารถของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ที่มีการพัฒนาไปอย่างมาก การเข้าถึงจากการใช้งานอินเทอร์เน็ตหรือผ่านระบบโทรศัพท์มือถือ ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย การเข้าถึงเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่าง ๆ ซึ่งมีความหลากหลาก ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง อีกทั้งระบบสายส่งส่วนใหญ่ผ่านการใช้งานเกินอายุการใช้งาน การลดต้นทุนจากการสร้างสายส่งใหม่ หรือ ทดแทนระบบเดิม จึงเป็นการเพิ่มขีดความสามารถของสายส่งให้มีประโยชน์มากขึ้น สำหรับปัจจัยหลักสำคัญในระบบสมาร์ทกริด มีดังต่อไปนี้[14]

1. สมาร์ทมิเตอร์ (Smart meter) เป็นอุปกรณ์วัดที่ทันสมัยสามารถระบุอัตราการใช้พลังงานที่มีความละเอียดกว่าที่ใช้งานทั่วไป สามารถแสดงการใช้พลังงานที่แท้จริง ณ เวลานั้น รวมทั้งมีความสามารถในการสื่อสารข้อมูลกับระบบส่งระหว่างผู้ใช้งานกับผู้ผลิต ทำให้ระบบส่งมีความสามารถในการสื่อสารแบบสองทางได้ โดยทั้งสองฝั่งจะได้รับข้อมูลเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการควบคุมและบริหารจัดการระบบส่ง

2. อุปกรณ์วัดเฟส (Phasor metering unit: PMU) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดรูปแบบคลื่นไฟฟ้าบนระบบสายส่งไฟฟ้าวัดที่แหล่งกำเนิดที่เวลาเดียวกันกับระบบส่งเพื่อในการซิงค์เข้าระบบ ณ เวลานั้น การรูปคลื่นให้ตรงกันกับสายส่งที่เวลาจริง ซึ่งจะทำการวัดร่วมกันหลาย ๆ จุดบนระบบส่ง เซ็นเซอร์ความเร็วสูงที่เรียกว่า PMUs กระจายไปทั่วเครือระบบส่งสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบสถานะของระบบไฟฟ้า เฟสเซอร์เป็นเครื่องมือแสดงขนาดและเฟสของแรงดันไฟฟ้าสลับที่จุดในเครือข่าย การใช้ PMU มันเป็นเรื่องง่ายในการตรวจสอบความผิดปกติของรูปร่างของคลื่นที่มีประโยชน์เพื่อการตรวจสอบความผิดปกติของรูปร่างคลื่นในระบบ เวลาข้อมูลที่ตรงกันในการเชื่อมโยงเข้ากับสายส่ง ทราบถึงพฤติกรรมของสายส่งแบบไดนามิคและอัตราการส่งข้อมูลสูงและต่ำผ่านการคำนวณ

เทคโนโลยีสมาร์ทกริดเป็นวิวัฒนาการด้านพลังงานที่สำคัญของโลกในยุคโลกาภิวัตน์ ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมควบคู่ไปกับเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ทำให้สามารถตอบสนองต่อข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วถูกต้องแม่นยำในทุก ๆ ที่และทุกเวลา เทคโนโลยีสมาร์ทกริดได้มีการศึกษาและพัฒนากันอย่างกว้างขวางในทุกมุมของโลกโดยคำนึงถึงปัญหาความมั่นคงด้านพลังงาน ความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น และผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก โดยเกิดแนวความคิดในการนำเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศ เข้ามารวมกับระบบไฟฟ้า เพื่อให้สามารถบริหารจัดการและควบคุมการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงาน และไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมเพื่อให้โลกนี้อยู่ได้อย่างยั่งยืน

การนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การใช้ พลังงาน เพื่อควบคุมและลดการใช้พลังงานของระบบต่าง ๆ ในอาคาร เช่น ระบบปรับอากาศ (Air Conditions) ระบบเครื่องทำความเย็น (Chiller Air Compressor) ระบบควบคุมไฟฟ้ากำลัง (Power Monitoring) ระบบควบคุมไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting Control) ระบบควบคุมสาธารณูปโภค (Utility Control) โดยระบบการบริหารพลังงานนี้ทำหน้าที่วางแผนและควบคุมการใช้พลังงานของอาคาร ให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยใช้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด พลังงานที่ใช้ในอาคารส่วนใหญ่จะเป็น 2 รูปแบบ คือ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานทดแทนในรูปพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ไม่ว่าการใช้พลังงานในรูปแบบใดก็คงมีราคาสูงมาก การบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยประหยัดพลังงานได้ โดยปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้ส่วนหนึ่งเกิดจากการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานในสภาพต่าง ๆ ในอาคาร การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่นใช้หลอดไฟ LED รวมทั้งการออกแบบอาคารให้สามารถปรับเปลี่ยนให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เช่นการใช้ที่บังแดดที่สามารถปรับเปลี่ยนการบังแดดตามองศาของดวงอาทิตย์สามารถทำให้อาคารประหยัดพลังงานได้ นับเป็นวิธีการประหยัดพลังงานได้วิธีหนึ่ง ในระบบบริหารพลังงาน BEMS ที่มีความสามารถมาก ๆ นั้น สามารถนำข้อมูลประวัติการใช้พลังงานในอาคารมาวิเคราะห์แล้วสั่งให้ระบบต่าง ๆ ทำงาน เช่น กำหนดการเปิดและปิดระบบต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยระบบบริหารพลังงานจะช่วยตรวจสอบ ดูแลและถ่วงดุลให้ระบบทั้งหมดทำงานอย่างประสานกัน เช่น ระบบเครื่องทำน้ำเย็นหลัก ระบบเป่าลมเย็น ระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบลิฟต์ ระบบตรวจจับเพลิงไหม้ ฯลฯ ระบบย่อย ๆ เหล่านี้ได้รับการดูแลให้ทำงานได้อย่างกลมกลืน และสามารถตอบสนองกับสภาพแวดล้อมภายใน และภายนอกที่เปลี่ยนไปผ่านระบบควบคุมกลาง เป็นการทำงานร่วมกับระบบบริหารอาคารทำให้ได้ทั้งความสะดวกสบายของผู้ใช้ และประหยัดพลังงานสูงสุดอย่างอัตโนมัติ

สมาร์ทกริดสามารถถูกจัดให้เป็นระดับชั้นโครงข่ายได้แก่ โครงข่ายภายในบ้าน HAN (Home Area Network), โครงข่ายในย่านบริเวณใกล้เคียง NAN (Neighborhood Area Network), และโครงข่ายบริเวณกว้าง WAN (Wide Area Network) ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้งานกับการบริโภคไฟฟ้าโดยจะส่งข้อมูล

การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นระยะ ๆ ไปยังสมาร์ทมิเตอร์ด้วยการช่วยเหลือของโครงข่ายภายในบ้าน HAN (Home Area Network) และด้วยข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์และราคาตลาดในเวลาจริงของค่าไฟฟ้าจากส่วนกลาง จะสามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตและจ่ายไฟฟ้า Home Energy Management System (HEMS) จะช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานรวมทั้งหมดด้วยข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ภายในบ้านเรือนและอาคาร โดยมี บรอดแบนด์เพาเวอร์ไลน์คอมมูนิเคชั่น (Broadband power line communication : BB-PLC), อีเทอร์เน็ท (Ethernet), ซิกบี (ZigBee) (IEEE802.15.4) และไวไฟ Wi-Fi (IEEE802.11) เป็นเทคโนโลยีที่แข่งขันในการใช้งานสื่อสารระหว่างสมาร์ทมิเตอร์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ภายในบ้านและอาคาร

ข้อมูลจากสมาร์ทมิเตอร์ทั้งหลายจะถูกจัดเก็บผ่าน Neighborhood Area Network (NAN) โครงข่าย โดยมีโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ Cellular อย่าง GSM และ CDMA เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่แข่งขันกันสำหรับโครงข่าย NAN การพิจารณาเลือกเทคโนโลยีสำหรับ HAN ก็สามารถถูกใช้สำหรับ NAN ได้ด้วย อย่างไรก็ดี transmission range ควรถูกนำมาพิจารณา

Table 1 Communication Technologies for Smart Power Grid

Type	Applications	Data collection	Latency	Communication technology
HAN	HEMS Home Automation	Every 1 minute	~ several seconds	BB-PLC, Wi-Fi, ZigBee, Ethernet, Bluetooth
NAN	AMI	Every 15 minutes or 1 hour	~ 10 seconds	BB & NB- PLC, Wireless Mesh, ZigBee
WAN	Phasor Measurement Unit (PMU)	Every 1 second	~ 0.1 second	Optical communication Cellular network

ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บมาจากสมาร์ทมิเตอร์จะถูกส่งไปยังศูนย์กลางการควบคุมส่วนกลางผ่าน Wide Area Network (WAN) เทคโนโลยีที่ได้ใช้สำหรับ WAN ควรถูกเลือกพิจารณาตามความต้องการของ ความกว้างของย่านในการครอบคลุมพื้นที่ เวลา Latency และอัตราการส่งข้อมูล หน้าที่ของการเฝ้าระวังตามเวลาจริง และควบคุม จะดำเนินการด้วยการสนับสนุนของ WAN ซึ่งจะส่งเสริมระบบไฟฟ้าจากการเชื่อมโยงและควบคุมการผลิตไฟฟ้าจากทุกแหล่งผลิต เช่นจากโรงไฟฟ้าทุกประเภทและระบบสายส่งไฟฟ้าที่มีการควบคุมแบบเวลาจริง ทำให้มีความน่าเชื่อสูงถึง 99 % อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพจากความสูญเสียในระบบส่ง เพิ่มคุณภาพของกระแสไฟฟ้าในระบบด้วยสถานีไฟฟ้าแบบดิจิตอล (AIS or GIS) ที่จะมีการประมวลผลสัญญาณแบบบูรณาการ จากอุปกรณ์ที่ทันสมัย มีความน่าเชื่อถือ ทำให้เกิดระบบจัดการพลังงานที่ควบคุมการส่งได้ในแบบตารางเวลาในการผลิตได้ล่วงหน้าและแม่นยำ รวมทั้งเป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ ที่ครอบคลุมถึงระบบการจัดจำหน่าย อันจะส่งผลต่อบริหารจัดการให้มีประสิทธิภาพ สามารถตรวจสอบข้อมูลได้อย่างรวดเร็วผ่านสมาร์ทมิเตอร์ เกิดการจัดการได้ตามเวลาจริง ทั้งการจัดจำหน่ายหรือการจัดเก็บพลังงาน ไฟฟ้า[15]

ระบบสมาร์ทกริดจะช่วยให้ผู้ใช้งานมีข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างชาญฉลาด มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นและลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลงรวมทั้งการจัดหาไฟฟ้าของผู้ผลิตมีการสูญเสียน้อยลง ซึ่งจะสอดคล้องกับการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศที่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว และหากมีการนำระบบนี้มาใช้งานอย่างจริงจังจะมีความเสี่ยงสูง จึงต้องมีการเตรียมความพร้อมหลายอย่าง เพื่อความมั่นคงและรองรับความหลากหลายในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าทั้งหมดที่มีอยู่ในปัจจุบันอีกด้วย[16]

จากที่กล่าวมาแล้วว่าเทคโนโลยีสมาร์ทกริดเป็นวิวัฒนาการด้านพลังงานที่สำคัญของโลกในยุคโลกาภิวัตน์ ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมควบคู่ไปกับเทคโนโลยีสารสนเทศ ทำให้สามารถตอบสนองต่อข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วถูกต้องแม่นยำในทุกที่และทุกเวลา ในทุกมุมของโลกได้มีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีสมาร์ทกริดกันอย่างกว้างขวาง โดยคำนึงถึงปัญหาความมั่นคงด้านพลังงาน ความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีแนวความคิดในการผสมผสานเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศเข้ามารวมกับระบบไฟฟ้า เพื่อให้สามารถบริหารจัดการและควบคุมการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงาน และไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดความยั่งยืน

การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ จะทำให้สามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าและให้บริการได้อย่างเพียงพอ ทั่วถึง มั่นคง มีคุณภาพได้มาตรฐานสากลอย่างประหยัดและยั่งยืน โดยการมีส่วนร่วมของผู้ใช้ไฟ ที่มีการใช้มิเตอร์อัจฉริยะต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น จอภาพคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ และจะเป็นการสื่อสาร 2 ทางโดยมีคุณสมบัติรองรับและส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเป็นแบบ Real Time ทำให้เกิดการรับรู้

สถานการณ์ใช้ไฟฟ้า ณ. เวลานั้น มีการควบคุมและจัดการอุปกรณ์ไฟฟ้าจากทางไกลได้ ทำให้มีการเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น

นวัตกรรมอัจฉริยะในการสร้างสรรค์จากการผสมผสานเทคโนโลยีเข้าด้วยกันเพื่อช่วยพัฒนาความเชื่อมั่นและประสิทธิภาพของการจัดหาและจัดส่งไฟฟ้า เทคโนโลยีนี้จะช่วยในการลดต้นทุนผลิตไฟฟ้าและจัดส่งไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ ด้วยระบบโครงข่ายในการส่งไฟฟ้าแบบอัจฉริยะครบวงจร โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการควบคุมซึ่งสมาร์ทกริดเทคโนโลยี ทำหน้าที่นี้จากผู้ผลิตและให้บริการไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ ซึ่งช่วยให้สามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รูปแบบการจัดการระบบสมาร์ทกริดเทคโนโลยีในอนาคตจะมีความแตกต่างกันไปตามคุณลักษณะของระบบไฟฟ้าโครงสร้างพื้นฐาน ความพร้อมของโครงข่ายไฟฟ้าระบบการบริหารจัดการ ซึ่งจะสามารถแบ่งแนวคิดได้เป็น 4 กลุ่มประเภทหลัก ๆ ได้แก่ เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในพื้นที่ เพื่อปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้สามารถรองรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในปริมาณสูงได้ เพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของความต้องการไฟฟ้าอย่างรวดเร็วและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับรูปแบบการจัดการแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดเทคโนโลยีในอนาคต

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

พลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาประเทศไทย ทำให้มีความต้องการมากขึ้นและมากเกินกว่าการผลิตจากแหล่งพลังงาน ที่จะให้การสนับสนุนได้อย่างเพียงพอกับความต้องการ ดังนั้นทุกฝ่ายจึงต้องให้ความสำคัญต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากการพัฒนาพลังงานไฟฟ้า รัฐบาลได้กำหนดให้เป็นนโยบายแห่งชาติ และกำหนดแนวทางการผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งเรื่องการบริหารจัดการที่มีประสิทธิผล เช่น การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริด ทำให้เกิดความคุ้มค่า ลดการสูญเสียในระบบ กำหนดจุดดุลยภาพความต้องการใช้พลังงานระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคสูงสุด ซึ่งทำให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุดกับทุกฝ่าย

การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดเป็นวิวัฒนาการด้านพลังงานที่สำคัญของโลกในยุคโลกาภิวัตน์ (Globalization) ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมควบคู่ไปกับเทคโนโลยีสารสนเทศ ทำให้สามารถตอบสนองต่อข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วถูกต้องแม่นยำในทุกที่และทุกเวลา การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดได้มีการศึกษาและพัฒนากันอย่างกว้างขวาง ในทุกมุมของโลกโดยคำนึงถึงปัญหาความมั่นคงด้านพลังงาน ความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น โดยเป็นการผสมผสานเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศเข้ามารวมกับระบบไฟฟ้า เพื่อให้สามารถบริหารจัดการและควบคุมการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงาน และไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดความยั่งยืน

เทคโนโลยีสมาร์ทกริดเป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะที่รวมเทคโนโลยีแห่งอนาคตหลายส่วนเข้าด้วยกันเช่นแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน รถไฟฟ้ามาตรวัดอัจฉริยะ บ้านอัจฉริยะ โทรศัพท์อัจฉริยะ ให้สามารถสื่อสารข้อมูลกันได้ในทุกส่วนของโครงข่ายและสามารถบริหารจัดการและควบคุมการทำงานได้ตามที่ต้องการ ด้วยยุทธศาสตร์การจัดการตามความต้องการ (Demand Response Strategy) ซึ่งการสื่อสารข้อมูลทั้งหมดในโครงข่ายสามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทั้งในรูปแบบไร้สายและแบบมีสายหรือสมาร์ทกริดในรูปแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยี WiFi ซึ่งมีมาตรฐานรองรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง การพัฒนานั้น นอกจากเป็นการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าเดิมให้มีประสิทธิภาพการใช้งานให้ดีขึ้นเพื่อรองรับการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ในระยะยาวจากการเปลี่ยนแปลงตามสภาพเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันและอนาคตแล้ว ยังถือเป็นการเพิ่มและเปิดโอกาสในการพัฒนาต่อยอดด้านต่าง ๆ ให้ดียิ่งขึ้นไปอีก ได้แก่

1. การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดนี้สามารถใช้เป็นโครงการนำร่องเพื่อเป็นตัวดึงดูดความสนใจจากนักลงทุนในการสร้างโอกาสส่งเสริมฐานการผลิตและการส่งออกทางด้านเทคโนโลยีของประเทศไทยได้

2. การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดจะช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้าที่ผู้ใช้บริการจะได้รับ รวมทั้งเป็นการสร้างความยั่งยืนและประสิทธิภาพของการผลิตและใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย

3. เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดจะช่วยในพัฒนาการทำงานและการให้บริการของหน่วยงานการไฟฟ้า ให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ และเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชนและแก้ปัญหามาตรฐานการเข้ากันได้ของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต หากไม่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้าอย่างรอบคอบ

ผลของการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดจะเป็นรูปแบบการจัดการแหล่งพลังงานไฟฟ้าในอนาคตของประเทศไทย เช่น ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร หรือเทคโนโลยีการตอบสนองของโหลดจะช่วยเพิ่มทางเลือกให้กับภาครัฐที่จะส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน การลดการใช้พลังงาน และการใช้พลังงานอย่างประสิทธิภาพได้มากขึ้น ดังนั้น การจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน (EEDP) ในอนาคต จะสามารถคาดหวังสัดส่วนการลดความเข้มข้นของ การใช้พลังงานที่สูงขึ้นได้ และสามารถกำหนดมาตรการส่งเสริมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพได้หลากหลายมากขึ้น อันจะส่งผลให้ช่วยลดความต้องการใช้พลังไฟฟ้าสูงสุดของประเทศ

แนวทางสำคัญเกี่ยวกับยุทธศาสตร์ส่งเสริมพลังงาน ซึ่งกระทรวงพลังงานได้วางกรอบแผน บูรณาการพลังงานแห่งชาติที่มีความสำคัญ ซึ่งต้องอาศัยการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดมาเป็นองค์ประกอบช่วยในการขับเคลื่อนเพื่อใช้บริหารจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดความคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดในอนาคตของประเทศไทย ตามความแตกต่างกันตามคุณลักษณะของระบบไฟฟ้า โครงสร้างพื้นฐาน ความพร้อมของโครงข่ายไฟฟ้า ระบบการบริหารจัดการ ซึ่งจะเพิ่มความเชื่อถือของระบบไฟฟ้าให้สามารถรองรับการผลิตไฟฟ้าในปริมาณสูงได้และรองรับการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้ไฟฟ้า ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกฝ่าย จะต้องมีการพิจารณาให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้ รวมทั้งสอดคล้องกับสถานการณ์ เพื่อให้เกิดความมีประสิทธิผลมากที่สุด ในการทำประโยชน์ให้กับประชาชน สังคม และประเทศชาติต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2561) . ระบบไฟฟ้าอัจฉริยะกับอนาคตประเทศไทย. ได้จาก: URL: https://bualuang.fund/ archives/3736/ smart-grid/ 27 มกราคม 2561
2. Amir Hosein Ghaffarian Hosein, Nur Dalilah Dahlan, Umberto Berardi, Ali Ghaffarian Hoseini and Nastaran Makaremi. 2013. The essence of future smart houses: From embedding ICT to adapting to sustainability principles. Available from: URL:http:// www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S1364032113001342 June 27, 2017
3. สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2561. สถานการณ์พลังงาน.ได้จาก:URL: http://www.teenet.chula.ac.th/energy/detail1-1.asp?id= 339.html 24 มกราคม 2561
4. กระทรวงพลังงาน. การบริหารระบบจัดการพลังงาน. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน; 2560.
5. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2561. ปริมาณการจัดหาพลังงานจำแนกตาม แหล่งพลังงาน พ.ศ. 2560-2564. ได้จาก: URL: http://service.nso.go.th/nso/nso_center/project/search_center/ 18 มีนาคม 2561
6. กระทรวงพลังงาน. 2561. ยุทธศาสตร์พลังงาน. ได้จาก: URL: http://www.energy.go.th/energy-strategic.html. 15 มกราคม 2561
7. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2561. อุปสงค์อุปทานการผลิตเอทานอล. ได้จาก: URL: http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/urs/ bers/ gasohol_2008/510623_Demand_Supply.pdf 27 มกราคม 2561
8. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. โครงการประหยัดไฟ กำไร 2 ต่อ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรุงเทพ; 2559
9. Cosmi C, Leo SD, Loperte S, Macchiato M, Pietrapertosa F, Salvia M, Cuomo VA. model for representing the Italian energy system: The NEEDS-TIMES experience, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2007; 13(4): 763-766
10. สำนักงานพลังงานสากล. 2561. ก๊าซชีวภาพ: พลังงานทางเลือก. ได้จาก: URL: http://www.biotec.or.th/biotechnology-th/newsdetail.asp?id=3307 3 มีนาคม 2561
11. Bazilian M, Welsch M. Smart and Just Grids: Opportunities for Sub-Saharan Africa, Imperial London: College London; 2011.
12. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก. กรุงเทพฯ: การไฟฟ้านครหลวง; 2560
13. ไทยออยล์, บริษัท จำกัด (มหาชน) สถานการณ์ราคาน้ำมัน. ได้จาก: URL: http://www.thaioil.co.th/ news/ oilprice.php 24 มกราคม 2561

14. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. 2561. ราคาน้ำมันวันนี้รายงานโดยส่วนปิโตรเลียม สนพ. ได้จาก: URL: http://www.eppo. go.th/retail_prices.html 8 มกราคม 2561
15. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รายงานพลังงานของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน; 2560
16. Chris BL. 2010. Smart Grid for Dummies. Available from: URL: https://www.smartgrid.gov/files/Smart_Grids_for_Dummies_201005.pdf October 20, 2015 mies_201005.pdf October 20, 2015