

การสร้างแบบจำลองทำนายความสำเร็จ เพื่อสนับสนุนการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงาน ภาคบังคับของประเทศไทย

SUCCESS PREDICTION MODELING FOR SUPPORT THE REVAMP OF COMPULSORY ENERGY MANAGEMENT SYSTEM IN THAILAND

Received: 31 May, 2021

Revised: 15 July, 2021

Accepted: 18 July, 2021

ปัญญาวัฒน์ โกมุตบุตร*

Panyawat Gomutbutra*

ปิยะวิทย์ ทิพรส**

Piyavit Thipbharos**

ศิริเดช คำสุพรหม***

Siridech Kumsuprom***

ศิวะนันท์ ศิวพิทักษ์****

Sivanun Sivapitak****

* นักศึกษาปริญญาเอก หลักสูตรบริหารธุรกิจดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

* Doctoral student, Doctor of Business Administration, Dhurakij Pundit University.

* Email: g_panyawat@msn.com (Corresponding Author)

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยาลัยบริหารธุรกิจนวัตกรรมและการบัญชี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

** Assist. Prof. Dr., College of Innovative Business and Accountancy, Dhurakij Pundit University,

** Email: piyavit.thi@dpu.ac.th

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยาลัยบริหารธุรกิจนวัตกรรมและการบัญชี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

*** Assist. Prof. Dr., College of Innovative Business and Accountancy, Dhurakij Pundit University,

*** Email: siridech.kum@dpu.ac.th

**** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยาลัยบริหารธุรกิจนวัตกรรมและการบัญชี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

**** Assist. Prof. Dr., College of Innovative Business and Accountancy, Dhurakij Pundit University.

**** Email: sivanun.sik@dpu.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมซึ่งได้เริ่มประกาศใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 เป็นกลยุทธ์สำคัญในการบรรลุเป้าหมายด้านการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย แต่กลับพบสัญญาณที่บ่งบอกถึงความถดถอยในเชิงประสิทธิผลของมาตรการดังกล่าวจากการหยุดชะงักของพัฒนาการประสิทธิภาพด้านพลังงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและภาคธุรกิจการค้าในช่วง 5 ปีล่าสุด นำมาสู่การค้นหาแนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับจากการทบทวนวรรณกรรมและสัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง จนค้นพบแนวทางที่เป็นไปได้ 12 แนวทาง ดังนั้น เพื่อเป็นการยืนยันอิทธิพลของแนวทางการปรับปรุงดังกล่าวจึงได้ทำการสร้างแบบจำลองทำนายความสำเร็จโดยใช้ตัวแปรอิสระที่สร้างจากข้อกำหนดที่มีอยู่ในระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับร่วมกับปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุงที่คาดว่าจะส่งผลต่อความสำเร็จของการจัดการพลังงาน บนพื้นฐานของข้อมูลผลการปฏิบัติที่เกิดขึ้นจริงในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน ซึ่งผลที่ได้รับพบว่า สามารถพิสูจน์ผลกระทบเชิงบวกของ 10 ปัจจัยที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบแนวทางการปรับปรุงผลสำเร็จในการจัดการพลังงาน พร้อมทั้งยืนยันอิทธิพลเชิงบวกของ 4 ข้อกำหนดที่มีอยู่เดิมในระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทยที่มีต่อความสำเร็จในการจัดการพลังงานภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน

คำสำคัญ: แบบจำลองทำนายความสำเร็จ การจัดการพลังงาน ระบบการจัดการพลังงาน การอนุรักษ์พลังงาน ประสิทธิภาพพลังงาน

Abstract

Employing compulsory energy management systems in designated buildings and factories, which has been encouraged since 2007, is a key strategy in achieving Thailand's energy efficiency goals. However, there are signs a reduction in the effectiveness of measures, including disruptions in energy efficiency development in the manufacturing and commercial sectors over the last 5 years. This has led to need to improve compulsory energy management systems based on a review of literature and interviews with stakeholders, which revealed twelve possible approaches. Thus, in order to assess the potential improvement approaches, a prediction model is employed based on the existing requirements of

compulsory energy management systems as well as the factors used to formulate improvement approaches that may influence the success of energy management. Based on actual data collected at designated buildings and factories, it was revealed that 10 factors used to formulate improvement approaches had a positive impact on energy management success. In addition, four existing requirements in the energy management system were also found to have a positive influence the success of energy management under current circumstances.

Keywords: Success Prediction Modeling, Energy Management, Energy Management System, Energy Conservation, Energy Efficiency

บทนำ

ประเทศไทยตกอยู่ในฐานะประเทศผู้นำเข้าพลังงานที่มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเป็นต้นทุนหลักในการพัฒนาประเทศ จึงได้ให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์พลังงานด้วยการประกาศใช้พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 พร้อมทั้งจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2561 - 2580 (EEP2018) โดยตั้งเป้าหมายที่จะลดค่าความเข้มการใช้พลังงาน (Energy Intensity: EI) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่คิดจากปริมาณการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายต่อ GDP ลงให้ได้เป็นสัดส่วนร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2580 เมื่อคิดเทียบกับปีฐานคือปี พ.ศ. 2553 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563ก) และถือได้ว่ามีความสำเร็จในระดับหนึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าความยืดหยุ่นการใช้พลังงาน (Energy Elasticity: EE) ของประเทศในช่วงปี พ.ศ. 2552-2562 ที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.77 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการเติบโตของการใช้พลังงานในสัดส่วนที่ต่ำกว่าการเติบโตของ GDP อันส่งผลทำให้ค่า EI ของประเทศไทยลดลงจาก 8.99 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ (ktoe) ต่อพันล้านบาท ในปี พ.ศ. 2552 เหลือ 8.16 ktoe ต่อพันล้านบาทในปี พ.ศ. 2562 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2563)

ทั้งนี้ มาตรการหนึ่งที่สำคัญในการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทยคือการกำกับดูแลการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจที่มีการใช้พลังงานในปริมาณมากเป็นการเฉพาะโดยให้นิยามว่า “โรงงานควบคุม” และ “อาคารควบคุม” ด้วยการกำหนดให้มีการดำเนินระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 (พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550, 2550) อันเป็นแนวคิดที่มีพื้นฐานมาจากกระบวนการ P-D-C-A หรือ Deming Cycle ที่มุ่งหวังให้เกิดการพัฒนาประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่องในทุกกรอบของการดำเนินงาน (Deming, 1986) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าค่า EI ของภาคอุตสาหกรรม การผลิตและภาคธุรกิจการค้าของประเทศไทยจะมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนหลังจากเริ่มมีการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับแต่แนวโน้มดังกล่าวเริ่มเกิดการหยุดชะงัก

ลงในช่วง 5 ปี ล่าสุด (พ.ศ. 2558-2562) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563ข) แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่แนวทางการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับที่เป็นอยู่ในปัจจุบันจะมีข้อจำกัดในการขับเคลื่อนการอนุรักษ์พลังงานของกลุ่มเป้าหมายภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน ทำให้มีความพยายามที่จะค้นหาแนวทางที่เป็นไปได้สำหรับการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทยให้มีความเหมาะสม ครอบคลุม และสอดคล้องกับบริบทที่เปลี่ยนแปลงไป ด้วยการทบทวนวรรณกรรมเชิงวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ ISO 50001:2018 และปัจจัยสู่ความสำเร็จ (CSFs) ในกระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการพลังงาน รวมถึงผลกระทบที่เกิดจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการจัดการพลังงาน พร้อมกับสัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทย จนพบแนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับจำนวนหนึ่ง (ปัญญาวัฒน์ โกมุทบุตร และปิยะวิทย์ ทิพรส, 2564)

แต่เนื่องจากการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับย่อมเป็นการสร้างผลกระทบต่องานกับผู้กำกับดูแล คือ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และผู้มีหน้าที่ปฏิบัติ คือ โรงงานควบคุมและอาคารควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อยืนยันอิทธิพลของปัจจัยที่คาดว่าจะช่วยยกระดับความสำเร็จของระบบการจัดการพลังงานที่มีต่อผลสำเร็จของการจัดการพลังงานอย่างเป็นรูปธรรมและนำมาสู่แนวคิดในการนำแนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานเหล่านี้มาสร้างแบบจำลองทำนายความสำเร็จร่วมกับข้อกำหนดที่มีอยู่เดิมในระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทย บนพื้นฐานข้อมูลผลการปฏิบัติที่เกิดขึ้นจริงจากกลุ่มเป้าหมายคือโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมในปัจจุบันภายใต้ระเบียบวิธีวิจัยและหลักการทางสถิติที่เหมาะสมเพื่อให้ได้มาซึ่งผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะนำไปใช้สนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายเกี่ยวกับการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

โดยคาดหวังว่าผลสำเร็จจากการปรับปรุงข้อกำหนดระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทยจะนำมาซึ่งความยั่งยืนในการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและภาคธุรกิจการค้าของประเทศไทยจนสามารถบรรลุเป้าหมายด้านการอนุรักษ์พลังงานของประเทศ และนำไปสู่ผลกระทบในเชิงของการลดการนำเข้าพลังงาน ความมั่นคงด้านพลังงาน และดุลการค้าของประเทศ ควบคู่ไปกับการลดต้นทุนด้านพลังงานของผู้ประกอบการเพื่อเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันและความยั่งยืนในการประกอบกิจการตามแนวคิดไตรกำไรสุทธิ (Jeurissen, 2000) ทั้งยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามที่ประเทศไทยได้แสดงเจตจำนงไว้ในที่ประชุมนานาชาติอีกด้วย (United Nations [UN], 2015)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของ “ข้อกำหนดที่มีอยู่ในระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับ” และ “แนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับ” ที่มีต่อ “ความสำเร็จของการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม” ของประเทศไทยในปัจจุบัน
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายโอกาสประสบความสำเร็จของการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมของประเทศไทยภายใต้สถานการณ์ปัจจุบัน
3. เพื่อนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทย

แนวคิดและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (2535) ได้มุ่งเป้าที่จะกำกับดูแลให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในสถานประกอบการขนาดใหญ่ที่มีการใช้พลังงานสูง ได้แก่ “โรงงานควบคุม” และ “อาคารควบคุม” ซึ่งพิจารณาจากหลักเกณฑ์ 3 ประการ (พระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ. 2540, 2540; พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538, 2538) คือ

1. มีการติดตั้งใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดรวมกันเกินกว่า 1,175 กิโลโวลต์-แอมแปร์ขึ้นไป หรือ
2. มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือ
3. มีการใช้พลังงานโดยรวมเทียบเท่าพลังงานความร้อน 20 ล้านเมกะจูลต่อปี ขึ้นไป โดยกำหนดให้เจ้าของโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมมีหน้าที่ต้องปฏิบัติตามคำสั่งของอธิบดีกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการการใช้พลังงานในสถานประกอบการด้วยการจัดให้มี “ผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน” ซึ่งมีคุณสมบัติและจำนวนตาม กฎกระทรวงกำหนดคุณสมบัติ หน้าที่และจำนวนของผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน พ.ศ. 2552 พร้อมกับดำเนิน “การจัดการพลังงาน” ตาม กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานหลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 โดยต้องดำเนินการเป็นวงรอบรายปีและนำเสนอรายงานผลการดำเนินงานให้กับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานในเดือนมีนาคมของทุกปี ประกอบด้วยข้อกำหนดให้มีการดำเนินงานทั้งหมด 8 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้ (พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550)

1. การตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน
2. การประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น
3. การกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน

4. การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน
5. การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน
6. การดำเนินการ การตรวจสอบ และวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน
7. การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน
8. การทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน

ในขณะที่ผลการทบทวนวรรณกรรมเปรียบเทียบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทยกับข้อกำหนด ISO 50001:2018 และปัจจัยสู่ความสำเร็จ (CSFs) ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการพลังงาน รวมถึงผลกระทบจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในระบบจัดการพลังงาน ควบคู่กับการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทยทั้งในส่วนของผู้มีหน้าที่กำกับดูแล อันได้แก่ ผู้แทนกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และผู้มีหน้าที่ปฏิบัติ อันได้แก่ ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมทำให้พบแนวทางที่เป็นไปในการปรับปรุงเพื่อยกระดับความสำเร็จของการจัดการพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปแนวทางปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานและประเด็นสนับสนุน

แนวทางปรับปรุง	ประเด็นสนับสนุนสมมติฐาน	
	ISO 50001:2018 (ISO, 2018)	CSFs ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ ระบบการจัดการพลังงาน
การวางยุทธศาสตร์ด้านพลังงานระดับองค์กร	4.1 Context 6.1 Risks & Opportunities	การมีส่วนร่วมของผู้บริหาร และความเป็นรูปธรรมของเป้าหมาย [ความสอดคล้องกับกลยุทธ์และเป้าหมายองค์กร] (Parkhi, 2019; Krushna, Alm, Hallgren, Bischoff, Tuglu, Kuai, Yang, & Umoru., 2018; Craig, 2018; Liu & Cross, 2016; Pimentel & Major, 2016; Psychogios & Tsironis, 2016; Johansson, 2015; Al-Balushi, Sohal, Singh, Al-Hajri, Al-Farsi, & Al-Abri, 2014; Thollander & Palm, 2013; Al-Najem, Dhakal, & Bennett, 2012; Manville, Greatbanks, Krishnasamy, & Parker, 2012; Nisiforou, Poullis, & Charalambides, 2012; Dayan, 2010)

ตารางที่ 1 สรุปแนวทางปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานและประเด็นสนับสนุน (ต่อ)

แนวทางปรับปรุง	ประเด็นสนับสนุนสมมติฐาน	
	ISO 50001:2018 (ISO, 2018)	CSFs ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ ระบบการจัดการพลังงาน
การอนุรักษ์พลังงาน ในขั้นตอนออกแบบและ จัดหา	5.2 Energy Policy 8.2 Design 8.3 Procurement	วัฒนธรรมองค์การ [การสร้างบรรทัดฐาน] (Parkhi, 2019; Krushna et al., 2018; Craig, 2018; Pimentel & Major, 2016; Psychogios & Tsironis, 2016; Al-Balushi et al., 2014; Nisiforou et al., 2012)
ความชัดเจนของ เป้าหมายด้านการ อนุรักษ์พลังงาน	6.2 Objectives, Targets, Planning 6.3 Energy Review 6.4 EnPIs; 6.5 Energy Baseline	ความเป็นรูปธรรมของเป้าหมาย (Krushna et al., 2018; Craig, 2018; Liu & Cross, 2016; Pimentel & Major, 2016; Psychogios & Tsironis, 2016; Thollander & Palm, 2013; Dayan, 2010)
ความพร้อมของเครื่องมือ ในการตรวจวัดและ ติดตาม	9.1 MMAE of Energy Performance and EnMS	ความเป็นรูปธรรมของเป้าหมาย [การวัดผล ที่จับต้องได้] และการมีส่วนร่วมของ ผู้บริหาร [การสนับสนุนของฝ่ายบริหาร] (Parkhi, 2019; Liu & Cross, 2016; Pimentel & Major, 2016; Psychogios & Tsironis, 2016; Al-Balushi et al., 2014; Thollander & Palm, 2013; Al-Najem et al., 2012; Manville et al., 2012; Dayan, 2010)
สถานะของผู้รับผิดชอบ ด้านพลังงานในองค์การ	5.1 Leadership & Commitment	หน้าที่และบทบาทที่ชัดเจน และการมี ส่วนร่วมของผู้บริหาร [ภาวะผู้นำของ หัวหน้าทีม] (Parkhi, 2019; Krushna et al., 2018; Craig, 2018; Pimentel & Major, 2016; Psychogios & Tsironis, 2016; Johansson, 2015; Al-Balushi et al., 2014; Thollander & Palm, 2013; Nisiforou et al., 2012)

ตารางที่ 1 สรุปแนวทางปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานและประเด็นสนับสนุน (ต่อ)

แนวทางปรับปรุง	ประเด็นสนับสนุนสมมติฐาน	
	ISO 50001:2018 (ISO, 2018)	CSFs ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ ระบบการจัดการพลังงาน
ผลตอบแทนของผู้รับ ผิดชอบด้านพลังงาน	-	การสร้างแรงจูงใจ (Parkhi, 2019; Krushna et al., 2018; Craig, 2018; Al-Balushi et al., 2014; Thollander & Palm, 2013; Foss & Lindenberg, 2013)
การกำหนดหน้าที่และ บทบาทด้านพลังงานของ พนักงาน	5.3 Organization Approach 7.2 Competence 8.1 Operational Planning and Control	หน้าที่และบทบาทที่ชัดเจน และความ สามารถของบุคลากร [การพัฒนาความ สามารถ] (Parkhi, 2019; Liu & Cross, 2016; Pimentel & Major, 2016; Psychogios & Tsironis, 2016; Al-Balushi et al., 2014; Thollander & Palm, 2013); Manville et al., 2012)
การจัดการความรู้ด้าน พลังงานในองค์กร	4.3 Scope of EnMS, 4.4 EnMS process 7.5 Documented Information	ความสามารถของบุคลากร [การพัฒนา ความสามารถ] (Parkhi, 2019; Liu & Cross, 2016; Psychogios & Tsironis, 2016; Al-Balushi et al., 2014; Thollander & Palm, 2013; Manville et al., 2012)
การสื่อสารแบบ 2 ทาง	7.4 Communication 9.1 MMAE of Energy Performance and EnMS	การสื่อสาร (Krushna et al., 2018; Craig, 2018; Liu & Cross, 2016; Pimentel & Major, 2016)
มาตรการจูงใจให้บรรลุ เป้าหมายด้านอนุรักษ์ พลังงาน	-	การสร้างแรงจูงใจ (Parkhi, 2019; Krushna et al., 2018; Craig, 2018; Al-Balushi et al., 2014; Thollander & Palm, 2013; Foss & Lindenberg, 2013)

ตารางที่ 1 สรุปแนวทางปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานและประเด็นสนับสนุน (ต่อ)

แนวทางปรับปรุง	ประเด็นสนับสนุนสมมติฐาน	
	ISO 50001:2018 (ISO, 2018)	CSFs ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ ระบบการจัดการพลังงาน
การประยุกต์ระบบ ควบคุมพลังงานอัตโนมัติ	-	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย และ ความเป็นรูปธรรมของเป้าหมาย [การวัดผล ที่จับต้องได้] (Shokouhyar, Pahlevani, & Sadeghi, 2019; Tushar et al., 2018; Brundu, Patti, Osello, Giudice, Rapetti, Krylovskiy, Jahn, Verda, Guelpa, Rietto, & Acquaviva, 2017; Mawed & Al-Hajj, 2017; Chongwatpol, 2016; Pimentel & Major, 2016; Psychogios & Tsironis, 2016; Al-Balushi et al., 2014; Thollander & Palm, 2013)
การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ขั้นสูง (IoT, Big data, AI)	-	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย (Shokouhyar et al., 2019; Tushar, Wijerathne, Li, Yuen, Poor, Saha, & Wood, 2018; Brundu et al., 2017; Mawed & Al-Hajj, 2017; Chongwatpol, 2016)

ที่มา: ดัดแปลงจาก ปัญญวัฒน์ โกมทุบุตร และปิยะวิทย์ ทิพรส (2564)

จึงนำมาสู่แนวคิดในการศึกษาวิจัยเพื่อยืนยันอิทธิพลของแนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทยด้วยการสร้างแบบจำลองทำนายความสำเร็จของระบบการจัดการพลังงานโดยใช้ตัวแปรอิสระที่มาจาก “ข้อกำหนดที่มีอยู่ในระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทย” (ตัวแปรอิสระกลุ่มที่ 1) ร่วมกับ “ปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงาน” (ตัวแปรอิสระกลุ่มที่ 2) โดยมีตัวแปรตามคือ “ผลสำเร็จของระบบการจัดการพลังงาน”

ทั้งนี้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระยะสั้นมักได้รับผลกระทบจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพเศรษฐกิจ ราคาพลังงาน หรือแม้แต่สภาพภูมิอากาศ เป็นต้น ดังนั้น เพื่อให้สามารถแยกแยะระหว่างกลุ่มเป้าหมายที่ประสบความสำเร็จและยังไม่ประสบความสำเร็จในการจัดการพลังงานได้อย่างชัดเจน จึงได้กำหนดให้ตัวแปร

ตามมีลักษณะเป็นตัวแปรฐานสอง (Binary Variable) และประเมินผลสำเร็จของการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมจากการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานอันได้แก่ “ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)” (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559) บนเงื่อนไขที่ว่า SEC ต้องมีแนวโน้มปรับตัวลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงระยะเวลา 3 ปี เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานอย่างยั่งยืนตามเป้าหมายในการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการพลังงาน (BMU, 2010) จึงจะถือว่าประสบความสำเร็จ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการสร้างแบบจำลองทำนายความสำเร็จของการจัดการพลังงาน

	ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรตาม
กลุ่ม 2 แนวทาง ปรับปรุงระบบ การจัดการ พลังงาน	การสื่อสารแบบ 2 ทาง (TWO) มาตรการจูงใจให้บรรลุเป้าหมายด้านอนุรักษ์ พลังงาน (INC) การประยุกต์ระบบควบคุมพลังงานอัตโนมัติ (EAS) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการจัดการ พลังงาน (HIT)	ผลสำเร็จของ การจัดการ พลังงาน (SUC) 1 = SEC ต่ำกว่า 3 ปีก่อน และลดลง อย่างน้อย 2 ครั้ง ในช่วง 3 ปี 0 = ไม่เป็นไปตาม เงื่อนไข

ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการสร้างแบบจำลองทำนายความสำเร็จของการจัดการพลังงาน (ต่อ)

วิธีดำเนินการวิจัย

หลักการที่นำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองสำหรับงานวิจัยนี้คือการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์แบบทวิ (Binary logistic regression) เนื่องจากตัวแปรตามของแบบจำลองมีลักษณะเป็นตัวแปรฐานสองซึ่งทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามไม่อยู่ในรูปเส้นตรงแต่เป็นเส้นโค้งรูปตัว S (Sigmoid function) จึงเป็นการละเมิดข้อตกลงเกี่ยวกับการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล (Normality) และความเป็นเอกพันธ์ในการกระจายค่าของตัวแปรตาม (Homoscedasticity) ทำให้ไม่เหมาะที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพหุตัวแปรตามปกติ

โดยใช้รูปแบบสมการที่เรียกว่าแบบจำลอง Logit ซึ่งเป็นการประเมินความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจบนฟังก์ชันของตัวแปรอิสระที่มีการปรับรูปสมการให้อยู่ในลักษณะลอการิทึมฐานธรรมชาติ (ln) ของแต้มต่อ (odds) สำหรับการโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ (P_y) เปรียบเทียบกับโอกาสที่จะไม่เกิดเหตุการณ์ที่สนใจ (Q_y) ดังแสดงในสมการ (1) (Pituch & Stevens, 2016)

$$\ln(odds) = \ln\left(\frac{P_y}{Q_y}\right) = \ln\left(\frac{P_y}{1-P_y}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (1)$$

ดังนั้น การวิจัยจึงมีรูปแบบเป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative) แบบภาคตัดขวาง โดยใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลคือแบบสอบถามเกี่ยวกับตัวแปรที่ต้องการทราบค่าทั้งหมด 21 ตัวแปร (ตัวแปรอิสระ 20 ตัวแปร และตัวแปรตาม 1 ตัวแปร) โดยได้ออกแบบคำตอบในส่วน of ตัวแปรอิสระให้มีลักษณะเป็น Rubric 3 ระดับ (สมบูรณ์ = 1 ไม่สมบูรณ์ = 0.5 ไม่เลย = 0) ด้วยการระบุข้อความแสดงความคาดหวังที่มีต่อผลการดำเนินงานในแต่ละระดับไว้อย่างชัดเจนเพื่อให้แบบสอบถามมีความเป็นปรนัยอันจะส่งผลให้ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถประเมิน

ระดับความสอดคล้องดังกล่าวบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น โดยมีผลการทดสอบความเที่ยงตรง (Validity) ของแต่ละข้อคำถามด้วยวิธีการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (Index of item Objective Congruence: IOC) ได้ค่าอยู่ระหว่าง 0.8-1.0 ซึ่งผ่านตามข้อกำหนดคือไม่ต่ำกว่า 0.5 และผลการทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) ของข้อคำถามด้วยวิธีการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม (Alpha coefficient) จำนวน 30 ชุด ได้ค่าอยู่ระหว่าง 0.8599-0.8827 ซึ่งผ่านตามข้อกำหนดคือไม่ต่ำกว่า 0.5 ด้วยเช่นกัน

ในขณะที่กลุ่มเป้าหมาย (ประชากร) สำหรับการวิจัยคือผู้รับผิดชอบด้านพลังงานของโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมที่ขึ้นทะเบียนไว้กับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 8,675 แห่ง ประกอบด้วย โรงงานควบคุมจำนวน 5,693 แห่ง และ อาคารควบคุม จำนวน 2,982 แห่ง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2562) โดยมีเป้าหมายในการเก็บข้อมูลไม่ต่ำกว่า 600 ชุด เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขของแบบจำลอง Logit ซึ่งควรมีจำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์ไม่น้อยกว่า 30 เท่าของจำนวนตัวแปรอิสระ (กัลยา วาณิชยปัญญา, 2551) พร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขให้เก็บข้อมูลจากผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน 1 คน ต่อ 1 สถานประกอบการ และแบ่งโควตา (Quota) ในการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ โรงงานควบคุมในสัดส่วนร้อยละ 65 และอาคารควบคุมในสัดส่วนร้อยละ 35 (คิดเป็นจำนวน 210 แห่ง) คิดเป็น (คิดเป็นจำนวน 390 แห่ง) ตามสัดส่วนจำนวนประชากรโดยผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลผ่านช่องทาง Email โทรศัพท์ และโทรสารในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2564 จนได้แบบสอบถามที่มีคำตอบสมบูรณ์จำนวน 614 ชุด (โรงงานควบคุม 404 ชุด และอาคารควบคุม 212 ชุด) คิดเป็นความคลาดเคลื่อนจากตัวอย่างร้อยละ 3.81 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Krejcie & Morgan, 1970)

ซึ่งหลังแปลงข้อมูลจากแบบสอบถามเป็นค่าทางคณิตศาสตร์แล้วผลการทดสอบความสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรอิสระด้วยการคำนวณค่า Variance Inflation Factor (VIF) พบว่ามีตัวแปรอิสระ 1 ตัวแปรที่มีค่า VIF มากกว่า 10 และมีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหา Multicollinearity (Menard, 2002) คือ EM8 (การทบทวนผลการดำเนินงานด้านการจัดการพลังงาน) จึงได้ทำการรวมตัวแปรดังกล่าวเข้ากับ EM7 (การตรวจประเมินภายในด้านการจัดการพลังงาน) โดยใช้ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2 ตัวแปร เป็นตัวแปรใหม่คือ EM78 (การตรวจติดตาม ประเมินและทบทวนผลการดำเนินงานด้านการจัดการพลังงาน) เนื่องจากผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Pairwise correlation) ระหว่างทั้งสองตัวแปรมีค่าสูงถึง 0.9278 ประกอบกับในทางปฏิบัติแล้วการดำเนินการทั้ง 2 ขั้นตอนมีความเกี่ยวเนื่องกันโดย EM8 เป็นการนำผลที่ได้จากการตรวจประเมินภายใน (EM7) มาเสนอต่อที่ประชุมผู้บริหารเพื่อกำหนดแผนการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานในรอบปีถัดไป

จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ผ่านการปรับปรุงแล้วเข้าสู่แบบจำลอง Logit เพื่อทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์พร้อมทั้งปรับปรุงแบบจำลองโดยใช้วิธีการ Backward Stepwise ซึ่งเริ่มจากการใส่ตัวแปรอิสระทั้งหมด (20 ตัวแปร) ลงในแบบจำลองตั้งต้นเพื่อให้ทราบถึงลักษณะอิทธิพลของทุกตัวแปรเมื่อใช้ทำนายผลของตัวแปรตามร่วมกันเป็นลำดับแรก แล้วจึงทำการปรับลดตัวแปรที่ไม่มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติออกจากแบบจำลอง เพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากนัยสำคัญทางสถิติของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่คงเหลืออยู่ในแบบจำลองควบคู่กับ “ระดับความแม่นยำและเชื่อถือได้ของแบบจำลอง (Model goodness of fit)” ซึ่งประกอบด้วย

1. ค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (P-Value) ของ Model chi-square ที่มาจากการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างแบบจำลองที่มีตัวแปรอิสระกับแบบจำลองว่างที่ไม่มีตัวแปรอิสระ โดยระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ปรากฏแสดงถึงระดับความเชื่อมั่นในการทำนายโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจของชุดตัวแปรอิสระในแบบจำลอง
2. เนื่องจากการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Maximum likelihood จึงทำให้ไม่สามารถหาค่า R^2 ที่แท้จริงได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องใช้สถิติที่สร้างขึ้นมาเพื่อเทียบเคียงเรียกว่า Pseudo R^2 ซึ่งมีการแปลผลคล้ายกับ R^2 คือค่าที่เข้าใกล้ 1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับชุดตัวแปรอิสระที่เกือบสมบูรณ์
3. ค่าร้อยละของผลทำนายที่ถูกต้อง (Correctly classified) เป็นการนำแบบจำลองที่ได้มาทำนายการเกิดหรือไม่เกิดเหตุการณ์ที่สนใจของตัวอย่างตามข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมาแล้ว เปรียบเทียบร้อยละของการทำนายผลที่ถูกต้องกับผลการเกิดหรือไม่เกิดเหตุการณ์ตามข้อมูลจริง ซึ่ง Correctly classified ที่สูง (เข้าใกล้ 100%) แสดงว่าแบบจำลองมีความแม่นยำในการทำนายผลของตัวอย่างได้ดี

ผลวิจัยและอภิปรายผล

ผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์และปรับปรุงแบบจำลองเป็นดังปรากฏในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าถึงแม้แบบจำลองที่ 6 จะมีระดับความแม่นยำและเชื่อถือได้โดยรวมต่ำกว่าแบบจำลองที่ 1 อันเป็นแบบจำลองตั้งต้นเล็กน้อย แต่แบบจำลองที่ 6 ใช้ตัวแปรอิสระในการทำนายความสำเร็จเพียง 14 ตัวแปร โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระทั้งหมดมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่แบบจำลอง 1 ใช้ตัวแปรอิสระในการทำนายความสำเร็จถึง 19 ตัวแปรและมีตัวแปรอิสระที่ค่าสัมประสิทธิ์มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญเป็นจำนวนเพียง 11 ตัวแปรเท่านั้น นอกจากนี้แบบจำลองที่ 6 ยังมีการยกระดับนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระให้ดีขึ้นกว่าแบบจำลองที่ 1-5 อย่างชัดเจน ดังนั้น จึงพิจารณาว่าแบบจำลองที่ 6 เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุด โดยสามารถอธิบายความแปรปรวนของโอกาสประสบความสำเร็จในการจัดการพลังงานของกลุ่มตัวอย่างได้ประมาณร้อยละ 55.68 (Pseudo R^2) รวมถึงสามารถทำนายความสำเร็จของกลุ่มตัวอย่างในอดีตที่ผ่านมาได้ถูกต้องร้อยละ 86.16 (Correctly Classified)

อันนำมาสู่การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ ผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal effect) และศักยภาพในการเพิ่มโอกาสประสบความสำเร็จในการจัดการพลังงาน (Potential Gap) ดังปรากฏในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงแบบจำลอง

กรณี	นัยสำคัญของตัวแปรอิสระ	Model Chi-square	Pseudo R2	Correctly Classified
แบบจำลองที่ 1	EM1*, EM2, EM3, EM4, EM5, EM6, EM78**, STG, INP, TAR*, EQM***, POS*, PAY**, ROL***, KM, TWO***, INC***, EAS*, HIT*	0.000***	0.5609	86.64%
แบบจำลองที่ 2 (นำ EM2 ออก)	EM1*, EM3, EM4*, EM5, EM6, EM78**, STG, INP, TAR*, EQM***, POS, PAY*, ROL***, KM, TWO**, INC***, EAS**, HIT	0.000***	0.5581	86.81%
แบบจำลองที่ 3 (นำ EM6 ออก)	EM1**, EM3, EM4*, EM5*, EM78**, STG, INP, TAR*, EQM***, POS, PAY*, ROL***, KM, TWO**, INC***, EAS**, HIT	0.000***	0.5580	86.97%
แบบจำลองที่ 4 (นำ INP ออก)	EM1**, EM3, EM4*, EM5*, EM78**, STG*, TAR*, EQM***, POS, PAY*, ROL***, KM, TWO**, INC***, EAS**, HIT	0.000***	0.5579	86.81%
แบบจำลองที่ 5 (นำ EM3 ออก)	EM1**, EM4*, EM5*, EM78**, STG*, TAR*, EQM***, POS*, PAY*, ROL***, KM, TWO**, INC***, EAS**, HIT*	0.000***	0.5577	86.81%
แบบจำลองที่ 6 (นำ KM ออก)	EM1**, EM4**, EM5**, EM78**, STG**, TAR*, EQM***, POS*, PAY*, ROL***, TWO***, INC***, EAS**, HIT*	0.000***	0.5568	86.16%

***มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10

ตารางที่ 3 ผลกระทบส่วนเพิ่มและศักยภาพในการเพิ่มโอกาสประสบความสำเร็จจากแบบจำลองที่ดีที่สุด

ปัจจัย	ตัวแปร	Coefficient	$\bar{\chi}$	Marginal effect	Potential Gap
การตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน	EM1	2.6429**	0.9300	0.6081**	4.26%**
การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	EM4	1.6870**	0.8836	0.3882**	4.52%**
กำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน	EM5	1.9480**	0.8738	0.4482**	5.66%**
การตรวจติดตาม ประเมิน และ ทบทวน	EM78	4.1847**	0.9190	0.9628**	7.80%**
การวางยุทธศาสตร์ด้านพลังงานระดับองค์กร	STG	0.7478**	0.6515	0.1721**	6.00%**
ความชัดเจนของเป้าหมาย	TAR	1.0326*	0.6506	0.2376*	8.30%*
ความพร้อมของเครื่องมือในการตรวจวัด	EQM	1.6170***	0.7654	0.3720***	8.73%***
สถานะของผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน	POS	0.9187*	0.8200	0.2114*	3.80%*
ผลตอบแทนของผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน	PAY	1.4034*	0.0545	0.3229*	30.53%*
การกำหนดหน้าที่และบทบาท	ROL	2.0915***	0.7182	0.4812***	13.56%***
การสื่อสารแบบสองทาง	TWO	1.3704***	0.8119	0.3153***	5.93%***
มาตรการจูงใจให้บรรลุเป้าหมาย	INC	1.8737***	0.4462	0.4311***	23.87%***
การประยุกต์ระบบควบคุมพลังงานอัตโนมัติ	EAS	1.1926**	0.4088	0.2744**	16.22%**
การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง	HIT	0.8937*	0.3086	0.2056*	14.22%*
Prob. (Suc) = 0.6411					

***มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.10

ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าโอกาสประสบความสำเร็จในการจัดการพลังงานของกลุ่มเป้าหมาย (โรงงานควบคุมและอาคารควบคุม) ภายใต้สถานการณ์ปัจจุบันมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 64.11 ในขณะที่ค่าผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal effect) แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของโอกาสประสบความสำเร็จเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการดำเนินการตามแต่ละปัจจัยจากสภาพเริ่มต้นที่ยังไม่เคยได้มีการดำเนินการตามปัจจัยดังกล่าวเลย (ค่าของตัวแปร = 0) ไปสู่สภาพที่มีการดำเนินการตามปัจจัยดังกล่าวอย่างสมบูรณ์ (ค่าของตัวแปร = 1) ซึ่งในสถานการณ์ปัจจุบันจะพบว่ากลุ่มเป้าหมายมีการดำเนินการตามแต่ละปัจจัยอยู่บ้างแล้วในระดับหนึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปร ($\bar{X}$) ดังนั้น การพิจารณาศักยภาพในการเพิ่มโอกาสประสบความสำเร็จในการจัดการพลังงาน (Potential Gap) ของแต่ละปัจจัยจึงต้องพิจารณาจากส่วนต่างที่เหลืออยู่จากสถานการณ์ที่เป็นอยู่ในปัจจุบันไปสู่การดำเนินการอย่างสมบูรณ์ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2)

$$\text{Potential Gap} = (1 - \bar{X}) \times \text{Marginal effect} \quad (2)$$

จึงนำมาสู่ข้อสรุปเกี่ยวกับความมีนัยสำคัญทางสถิติและศักยภาพสำหรับข้อกำหนดและแนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับจากแบบจำลองทำนายความสำเร็จดังต่อไปนี้

1. การเพิ่มความสมบูรณ์ในการดำเนินการตามข้อกำหนดที่มีอยู่ในระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับ ขั้นตอนที่ 1 การตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน (EM1) ขั้นตอนที่ 4 การประเมินศักยภาพด้านการอนุรักษ์พลังงาน (EM4) ขั้นตอนที่ 5 การกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน และแผนการฝึกอบรมและกิจกรรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ขั้นตอนที่ 7 การตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงาน และขั้นตอนที่ 8 การทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน (EM78) ยังคงส่งผลกระทบเชิงบวกต่อโอกาสประสบความสำเร็จของการจัดการพลังงานในกลุ่มเป้าหมายอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีศักยภาพในการเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จอยู่ที่ 4.26% (EM1), 4.52% (EM4), 5.66% (EM5) และ 7.80% (EM78)

2. มี 4 ปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุงที่ส่งผลเชิงบวกต่อโอกาสประสบความสำเร็จของการจัดการพลังงานในกลุ่มเป้าหมายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ได้แก่ ความพร้อมของเครื่องมือในการตรวจวัดและติดตาม (EQM) การกำหนดหน้าที่และบทบาทด้านพลังงานที่ชัดเจน (ROL) การสื่อสารแบบสองทาง (TWO) และมาตรการจูงใจให้บรรลุเป้าหมายด้านการอนุรักษ์พลังงาน (INC) โดยมีศักยภาพในการเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จอยู่ที่ 8.73% (EQM), 13.56% (ROL), 5.93% (TWO) และ 23.87% (INC)

3. มี 2 ปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุงที่ส่งผลเชิงบวกต่อโอกาสประสบความสำเร็จของการจัดการพลังงานในกลุ่มเป้าหมายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น

ร้อยละ 95 ได้แก่ การวางยุทธศาสตร์ด้านพลังงานระดับองค์กร (STG) และการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมพลังงานอัตโนมัติ (EAS) โดยมีศักยภาพในการเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จอยู่ที่ 6.00% (STG) และ 16.22% (EAS)

4. มี 4 ปัจจัยที่ใช้ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุงที่ส่งผลเชิงบวกต่อโอกาสประสบความสำเร็จของการจัดการพลังงานในกลุ่มเป้าหมายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ได้แก่ ความชัดเจนของเป้าหมายด้านการอนุรักษ์พลังงาน (TAR) สถานะของผู้รับผิดชอบพลังงานในองค์กร (POS) ผลตอบแทนของผู้รับผิดชอบพลังงาน (PAY) และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการจัดการพลังงาน (HIT) โดยมีศักยภาพในการเพิ่มโอกาสในการประสบความสำเร็จอยู่ที่ 8.30% (TAR), 3.80% (POS), 30.53% (PAY) และ 14.22% (HIT)

ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับ CSFs ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ระบบการจัดการพลังงานและผลการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องตามที่ปรากฏในตารางที่ 1 พบว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้รับมีความสอดคล้องตรงกันถึง 10 จากทั้งหมด 12 ปัจจัย โดยมีเพียง 2 ปัจจัยที่ยังไม่สามารถพิสูจน์ความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย “การอนุรักษ์พลังงานในขั้นตอนออกแบบและจัดหา (INP)” อันน่าจะมีสาเหตุมาจากระยะเวลาในการประยุกต์ใช้ใช้ปัจจัยดังกล่าวในกลุ่มตัวอย่างอาจยังไม่ยาวนานเพียงพอที่จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่ชัดเจนเนื่องจากปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลก็ต่อเมื่อถึงวงจรของการเปลี่ยนแปลงอาคารหรือเครื่องจักรจึงจำเป็นต้องอาศัยระยะเวลาที่ค่อนข้างยาวนานในการแสดงผล ในขณะที่อีกปัจจัยหนึ่งคือ “การจัดการความรู้ด้านพลังงานในองค์กร (KM)” ก็มีขอบเขตและองค์ประกอบของตัวปัจจัยที่ค่อนข้างกว้างจนทำให้เป็นไปได้ว่าการออกแบบข้อคำถามเพื่อวัดระดับการดำเนินการตามปัจจัยดังกล่าวที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้อาจยังไม่ครอบคลุมเพียงพอที่จะประเมินระดับของการจัดการความรู้ด้านพลังงานในองค์กรได้อย่างแม่นยำ จึงทำให้ยังไม่สามารถพิสูจน์ความสัมพันธ์เชิงบวกของของปัจจัยดังกล่าวที่มีต่อความสำเร็จในการจัดการพลังงานในกลุ่มตัวอย่างได้

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาช่วยสร้างความเชื่อมั่นโดยอาศัยหลักนัยสำคัญทางสถิติให้กับปัจจัยที่สมควรนำมาใช้ในการกำหนดแนวทางในการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศให้มีโอกาสประสบความสำเร็จมากยิ่งขึ้น อันได้แก่ ความพร้อมของเครื่องมือในการตรวจวัดและติดตาม (EQM) หน้าที่และบทบาทด้านพลังงานที่ชัดเจน (ROL) การสื่อสารแบบสองทาง (TWO) มาตรการจูงใจให้บรรลุเป้าหมายด้านการอนุรักษ์พลังงาน (INC) การวางยุทธศาสตร์ด้านพลังงานระดับองค์กร (STG) การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมพลังงานอัตโนมัติ (EAS) ความชัดเจนของเป้าหมายด้านการอนุรักษ์พลังงาน (TAR) สถานะของผู้รับผิดชอบพลังงานในองค์กร (POS)

ผลตอบแทนให้กับผู้รับผิดชอบพลังงาน (PAY) และการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงในการจัดการพลังงาน (HIT) แต่ในการนำปัจจัยเหล่านี้ไปใช้ออกแบบแนวทางการปรับปรุงข้อกำหนดหรือกลไกการส่งเสริมสนับสนุนนั้น นอกจากจะพิจารณาจากระดับความเชื่อมั่น (นัยสำคัญทางสถิติ) และศักยภาพ (Potential Gap) อันเป็นผลมาจากการวิจัยแล้วยังจำเป็นต้องพิจารณาระดับความยากง่ายและต้นทุนที่คาดว่าจะต้องใช้ในการยกระดับการดำเนินการตามแต่ละปัจจัยประกอบด้วย ข้อเสนอแนะสำหรับการนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้

ผลการศึกษาทำให้สามารถเล็งเห็นถึงข้อเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทยในเบื้องต้น ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. การปรับปรุงข้อกำหนดที่มีอยู่ในระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับของประเทศไทย โดยประยุกต์ปัจจัยที่ได้รับการพิสูจน์ว่าส่งผลเชิงบวกต่อความสำเร็จในการจัดการพลังงาน ดังต่อไปนี้ (1) การเพิ่มเติมข้อกำหนดให้มีวงยุทธศาสตร์ด้านพลังงานระดับองค์กร (STG) ก่อนที่จะกำหนดนโยบายและเป้าหมายในการจัดการพลังงาน (2) การเพิ่มเติมข้อกำหนดเกี่ยวกับการทบทวนความพร้อมของเครื่องมือวัดและติดตาม (EQM) ให้เป็นส่วนหนึ่งของการประเมินศักยภาพและติดตามประเมินผลการดำเนินการจัดการพลังงาน (3) การเพิ่มเติมข้อกำหนดเกี่ยวกับบทบาทด้านพลังงานของพนักงาน (ROL) ให้เป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินการตามเป้าหมายและแผนการอนุรักษ์พลังงาน (4) การเพิ่มเติมข้อกำหนดเกี่ยวกับช่องทางการรับฟังความเห็นและการติดตามความต้องการของผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง (TWO) ให้เป็นส่วนหนึ่งของการตรวจติดตาม ประเมิน และทบทวนการจัดการพลังงาน และ (5) การเพิ่มเติมข้อกำหนดเกี่ยวกับการรับรองสถานะอำนาจที่จำเป็นในการสนับสนุนระบบการจัดการพลังงานในองค์กรของผู้รับผิดชอบพลังงาน (POS) ให้เป็นส่วนหนึ่งของเงื่อนไขในการแต่งตั้งผู้รับผิดชอบพลังงาน

2. การปรับปรุงกลไกการส่งเสริมและผลักดันระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับ ประกอบด้วย (1) การกำหนดเป้าหมายด้านการอนุรักษ์พลังงานขั้นต่ำสำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม (TAR) และ (2) ออกมาตรการในการส่งเสริมและผลักดันเพื่อจูงใจให้บรรลุเป้าหมายด้านการอนุรักษ์พลังงานดังกล่าว (INC) รวมถึง (3) มาตรการส่งเสริมให้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยในการจัดการพลังงาน (EAS & HIT) พร้อมทั้ง (4) หาแนวทางการสร้างผลตอบแทนให้กับผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (PAY) ซึ่งไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูปของตัวเงินเสมอไป เช่น อาจใช้การบันทึกผลงานเพื่อยกระดับคุณค่าในเชิงวิชาชีพ เป็นต้น

นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าการผลักดันให้เกิดการดำเนินการตามข้อกำหนดที่มีอยู่เดิมอย่างสมบูรณ์ก็ยังคงช่วยเพิ่มโอกาสประสบความสำเร็จในการจัดการพลังงานโดยเฉพาะการดำเนินการตามข้อกำหนดในขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนที่ 4 ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนที่ 7 และขั้นตอนที่ 8

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อยอด

1. พบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดจากการวิจัยนี้ยังความสามารถในการอธิบายความแปรปรวนในการประสบความสำเร็จของตัวอย่างได้เพียงร้อยละ 55.68 แสดงให้เห็นว่ายังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อโอกาสประสบความสำเร็จในการจัดการพลังงานของกลุ่มเป้าหมายอีกจำนวนหนึ่ง ซึ่งควรมีการค้นหาและนำมาใช้ในแบบจำลองต่อไป

2. อิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีต่อกลุ่มเป้าหมายที่มีลักษณะแตกต่างกันอาจมีความแตกต่างกัน เช่น โรงงานกับอาคาร หรือ โรงแรมกับห้างสรรพสินค้า หรือแม้แต่อุตสาหกรรมอาหารกับอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเชิงลึกเพื่อวางแนวทางนโยบายในการส่งเสริมและผลักดันเป็นการเฉพาะที่มีความละเอียดลึกซึ้งยิ่งขึ้นต่อไป

3. เนื่องจากงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการออกแบบตัวแปรอิสระโดยไม่สามารถแยกย่อยระดับของการดำเนินการจากไม่มีการดำเนินการเลย (0) ไปจนถึงมีการดำเนินการอย่างสมบูรณ์ (1) ออกเป็นหลายระดับได้อย่างชัดเจน ทำให้จำเป็นต้องวิเคราะห์ค่า Marginal Effect ในลักษณะของการประเมินผลกระทบที่ครอบคลุมการดำเนินการตั้งแต่หน่วยแรกไปจนถึงหน่วยสุดท้าย แทนที่จะประเมินผลของการพัฒนาจากระดับขั้นปัจจุบันไปยังระดับขั้นถัดไป เช่น สมบูรณ์ร้อยละ 80 ไปเป็นสมบูรณ์ร้อยละ 90 เป็นต้น จึงต้องอาศัยการคำนวณศักยภาพ (Potential Gap) โดยเทียบจากส่วนเหลือที่ยังดำเนินการไม่สมบูรณ์ในปัจจุบันกับค่า Marginal effect โดยรวมดังกล่าว ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อสถานการณ์มีการเปลี่ยนแปลงไปจากสถานในปัจจุบัน (ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระเปลี่ยนแปลงไป) อันเกิดจากการที่ Marginal effect ไม่ได้มีลักษณะคงที่สม่ำเสมอตลอดช่วงของการดำเนินการตั้งแต่หน่วยแรกถึงหน่วยสุดท้าย ดังนั้นหากสามารถหาแนวทางกำหนดระดับขั้นในการวัดความสมบูรณ์ในการดำเนินการตามแต่ละปัจจัยให้มีความละเอียดชัดเจนยิ่งขึ้นก็จะทำให้สามารถประเมินค่า Marginal effect ได้อย่างถูกต้องชัดเจนมากขึ้น และควรมีการวิเคราะห์ Marginal effect หรือ Potential gap เพื่อทบทวนแนวทางการดำเนินนโยบายเป็นระยะ

บรรณานุกรม

- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2551). *การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). *คู่มือฝึกอบรมการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน*. กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2562). *รายชื่อโรงงานควบคุม (ปรับปรุง 25 ม.ค. 62) และรายชื่ออาคารควบคุม (ปรับปรุง 25 ม.ค. 62)*. สืบค้น ธันวาคม 2563, จาก <https://www.dede.go.th>.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563ก). *แผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2561-2580*. กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563ข). *รายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย ปีที่ 9 ฉบับที่ 9 (2562)*. กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.
- กฎกระทรวงกำหนดคุณสมบัติ จำนวน และหน้าที่ผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน พ.ศ. 2552. (2552, 31 กรกฎาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 126 ตอนที่ 49ก. หน้า 20-25.
- กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552. (2552, 23 กรกฎาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 129 ตอนที่ 47ก. หน้า 7-12.
- ปัญญาวัฒน์ โกมุทบุตร, และปิยะวิทย์ ทิพรส. (2564). การค้นหาแนวทางพัฒนาระบบการจัดการพลังงานภาคบังคับในประเทศไทย. ใน *DPU international conference on business innovation and social sciences 2021*, (น. 383). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. (2550, 4 ธันวาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 124 ตอนที่ 87ก. หน้า 1-10.
- พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535. (2535, 2 เมษายน). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 109 ตอนที่ 33. หน้า 1-20.
- พระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุม พ.ศ. 2538. (2538, 14 สิงหาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 112 ตอนที่ 33ก. หน้า 8-11.
- พระราชกฤษฎีกากำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ. 2540. (2540, 19 มีนาคม). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 114 ตอนที่ 6ก. หน้า 6-9.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2563). *รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2563*. กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง.

- Al-Balushi, S., Sohal, A. S., Singh, P. J., Al-Hajri, A., Al-Farsi, Y. M., & Al-Abri, R. (2014). Readiness factors for lean implementation in healthcare settings: A literature review. *Journal of Health Organization and Management*, 28(2), 135-153.
- Al-Najem, M., Dhakal, H., & Bennett, N. (2012). The role of culture & leadership in lean transformation: A review & assessment model. *International Journal of Lean Thinking*, 3(1), 119-138.
- Brundu, F. G., Patti, E., Osello, A., Giudice, M. D., Rapetti, N., Krylovskiy, A., Jahn, M., Verda, V., Guelpa, E., Rietto, L., & Acquaviva, A. (2017). IoT software infrastructure for energy management and simulation in smart cities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(2), 832-840.
- Chongwatpol, J. (2016). Managing big data in coal-fired power plants: A business intelligence framework. *Industrial Management & Data Systems*, 116(8), 1779-1799.
- Craig, A. A. (2018). Influencing cultural change as a new energy manager. *Energy Engineering*, 115(4), 38-45.
- Dayan, M. (2010). Managerial trust and NPD team performance: team commitment and longevity as mediators. *Journal of Business & Industrial Marketing*, 25(2), 94-105.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety [BMU]. (2010). *DIN EN 16001: Energy management systems in practice, A guide for companies and organizations*. Berlin: Author.
- Foss, N., & Lindenberg, S. (2013). Microfoundations for strategy: a goal-framing perspective on the drivers of value creation. *Academy of Management Perspectives*, 27(2), 85-102.
- International Organization for Standardization [ISO]. (2018). *ISO 50001:2018 Energy management systems requirements with guidance for use*. Geneva: Author.
- Jeurissen, R. (2000). John Elkington, cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. *Journal of Business Ethics*, 23, 229-231.

- Johansson, M. T. (2015). Improved energy efficiency with in the Swedish steel industry, the importance of energy management and networking. *Energy Efficiency*, 8(4), 713–744.
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607-610.
- Krushna, M., Alm, R., Hallgren, R., Bischoff, L., Tuglu, N., Kuai, L., Yang, Y., & Umoru, I. (2018). A behavioral change-based approach to energy efficiency in a manufacturing plant. *Energy Efficiency*, 11(2), 1103-1116.
- Liu, W. H., & Cross, J. A. (2016). A comprehensive model of project team technical performance. *International Journal of Project Management*, 34, 1150–1166.
- Manville, G., Greatbanks, R., Krishnasamy, R., & Parker, D. (2012). Critical success factors for lean six sigma programmes: A view from middle management. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 29(1), 7-20.
- Mawed, M., & Al-Hajj, A. (2017). Using big data to improve the performance management: A case study from the UAE FM industry. *Facilities*, 35(13/14), 746-765.
- Menard, S. (2002). *Applied logistic regression analysis* (2nd ed.). Thousand Oaks, California: SAGE.
- Nisiforou, O. A., Poullis, S., & Charalambides, A. G. (2012). Behaviour, attitudes and opinion of large enterprise employees with regard to their energy usage habits and adoption of energy saving measures. *Energy and Buildings*, 55, 299–311.
- Parkhi, S. S. (2019). Lean management practices in healthcare sector: A literature review. *Benchmarking: An International Journal*, 26(4), 1275-1289.
- Pimentel, L., & Major M. (2016). Key success factors for quality management implementation: Evidence from the public sector. *Total Quality Management & Business Excellence*, 27(9), 997–1012.
- Pituch K. A., & Stevens J. P. (2016). *Applied multivariate statistics for the social sciences* (6th ed.). Routledge: New York & London.
- Psychogios, A., & Tsironis, L. K. (2016). Road towards lean six sigma in service industry: A multi-factor integrated framework. *Business Process Management Journal*, 22(4), 812-834.

- Shokouhyar, S., Pahlevani, N., & Sadeghi, F. M. M. (2019), Scenario analysis of smart, sustainable supply chain on the basis of a fuzzy cognitive map. *Management Research Review*, 43(4), 463-496.
- Thollander, P., & Palm, J. (2013). *Improving energy efficiency in industrial energy systems*. London: Springer.
- Tushar, W., Wijerathne, N., Li, W. T., Yuen, C., Poor, H. V., Saha, T. K., & Wood, K. L. (2018). Internet of things for green building management: Disruptive innovations through low-cost sensor technology and artificial intelligence. *IEEE Signal Processing Magazine*, 35(5), 100-110.
- United Nations. (2015). Adoption of the Paris agreement. In 21st conference of the parties. Paris: Author.