

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้า ในเขตพื้นที่การดูแลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

นายภูวิทย์ วิเชียรสถาพร¹, รศ.วิษณุ อรรถวานิช²

¹กองเศรษฐกิจพลังไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค phuwit.vic@pea.co.th

²คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ witsanu.a@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ทำการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าในเขตพื้นที่การดูแลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยด้วยแบบจำลอง Fixed Effects ร่วมกับข้อมูลพาแนลระดับจังหวัด รายเดือนระหว่างปี พ.ศ. 2547 - 2561 และใช้ข้อมูลภาพถ่ายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปี พ.ศ. 2593 จากคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศทั้ง Cooling Degree Day และปริมาณน้ำฝน มีอิทธิพลต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศร่วมกับปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคมพบว่า ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2593 ภายใต้ภาพฉาย RCP4.5 และ RCP8.5 ที่คำนึงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับปานกลาง และรุนแรงมาก จะสูงกว่ากรณีไม่คำนึงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (BAU) มากถึงร้อยละ 6.79 และ 11.00 ตามลำดับ สะท้อนให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ ดังนั้น เพื่อให้สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้น ผู้กำหนดนโยบายควรคำนึงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สำหรับการวางแผนบริหารจัดการด้านพลังงานในอนาคต

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, ความต้องการพลังงานไฟฟ้า, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, การประเมินผลกระทบ

1. บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์ อีกทั้งเป็นปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนกิจกรรมทางเศรษฐกิจ จำนวนประชากรประกอบกับขนาดเศรษฐกิจที่ใหญ่ขึ้นส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ด้วยพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด รัฐบาลจำเป็นต้องดำเนินนโยบายเพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงาน กำกับราคาพลังงานไฟฟ้าให้มีความเหมาะสม เน้นการแสวงหาและพัฒนาแหล่งพลังงานใหม่ ๆ ทั้งในและต่างประเทศ รวมถึงการกระจายแหล่งพลังงานให้มีความหลากหลาย โดยเฉพาะการเพิ่มสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียน ทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม และพลังงานชีวมวลให้มากขึ้น ขณะเดียวกันภาคการผลิตจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหมายถึงการเปลี่ยนแปลงในค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของตัวแปรอากาศต่าง ๆ ตลอดช่วงเวลา หรือสภาพอากาศที่แตกต่างจากที่ควรจะเป็นตามธรรมชาติเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งในช่วงเวลาเดียวกัน ทั้งด้านอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และฤดูกาล ซึ่งเกิดขึ้นจากธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศสูงขึ้น หนึ่งในปรากฏการณ์ที่เห็นได้ชัดคือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ย หรือภาวะโลกร้อน [1]

จากรายงานการประเมินผลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 5 ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศพบว่าภายในปี ค.ศ. 2100 อุณหภูมิโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 1.3 - 4.8 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับปีฐานช่วงปี ค.ศ. 1986 - 2005 ซึ่งแตกต่างกันไปตาม RCP (Representative Concentration Pathways หมายถึง เส้นตัวแทนความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือภาพฉายของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แบ่งออกเป็น 4 สถานการณ์ได้แก่ RCP2.6 RCP4.5 RCP6 และ RCP8.5 สะท้อนระดับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศน้อย ปานกลาง รุนแรง และรุนแรงมากตามลำดับ ซึ่งเป็นผลการประมาณการสำหรับเตรียมความพร้อมรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระหว่างปี ค.ศ. 2000 ถึง 2100 [2])

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างเห็นได้ชัด ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [3] สอดคล้องกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 4.00 - 5.00 ต่อปี และด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยที่ควรจะเป็นส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเป็นประวัติการณ์และมีการคาดการณ์ว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอนาคตจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอาจเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการตรวจเอกสารงานวิจัยในอดีตพบว่าประเทศไทยยังไม่เคยมีการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้ามาก่อน ในขณะที่ต่างประเทศมีการเผยแพร่งานวิจัยดังกล่าวอย่างแพร่หลาย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าในเขตพื้นที่การดูแลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคของประเทศไทย

2. เพื่อพยากรณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าในเขตพื้นที่การดูแลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคของประเทศไทย

3. การทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่ใช้ข้อมูลหัตถ์ภูมิในการวิเคราะห์ สอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ที่ใช้ข้อมูลรายจังหวัดและทำการวิเคราะห์ความต้องการพลังงานไฟฟ้ารายเดือน แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ทำให้สามารถนำไปใช้วางแผนบริหารจัดการได้ละเอียดกว่างานวิจัยในอดีตของประเทศไทย ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยในต่างประเทศของ Vincent, Chaiechi and Beg (2018) [4] และ Véliz, Kaufmann, Cleveland, and Stoner (2017) [5]

การศึกษานี้ใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression) ในรูปแบบ Double Log Equation ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีอุปสงค์พลังงาน (วิชญ์ อรรถวนิช, 2559) [6] และเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Li Pizer and Wu (2018) [7]

สำหรับปัจจัยที่ผู้วิจัยคาดว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากงานวิจัยในอดีต ได้แก่ CDD (Cooling Degrees Day หมายถึง ข้อมูลที่บอกถึงสภาพภูมิอากาศของสถานที่นั้น ๆ ว่าต้องการพลังงานที่ใช้ทำความเย็นให้กับอาคารเท่าใด คำนวณโดยการนำอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละวันลบ 24 องศาเซลเซียส ซึ่งค่า CDD ยิ่งมากแสดงว่าสถานที่ ดังกล่าวร้อนมาก [8]) ปริมาณน้ำฝน จำนวนประชากร ราคาค่าไฟฟ้าผันแปร ผลผลิตถ่านหินรวมจังหวัดเบื้องต้น และจำนวนวันหยุด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญจากทฤษฎีอุปสงค์พลังงาน ได้แก่ ปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง

จากตัวแปรข้างต้นที่กล่าวมาพบว่างานวิจัยในประเทศไทยยังไม่พบการใช้ตัวแปร Cooling Degrees Day ปริมาณน้ำฝน ผลผลิตถ่านหินรวมจังหวัดเบื้องต้น และจำนวนวันหยุด ซึ่งปัจจัยดังกล่าวพบว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าในต่างประเทศ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้ารายจังหวัดเฉพาะจังหวัดที่อยู่ในเขตรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคของประเทศไทย จำนวนทั้งสิ้น 74 จังหวัด (ยกเว้น กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ ซึ่งอยู่ในเขตรับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวงของประเทศไทย) ข้อมูลมีลักษณะรายเดือน ระหว่างปี พ.ศ. 2547 - 2561 โดยผู้วิจัยขอความอนุเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนจากกองบริการดิจิทัลอุตุนิยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ข้อมูลดัชนีราคาผู้บริโภคทั่วไป จำนวนนักท่องเที่ยวต่างชาติ และมูลค่าการส่งออกจากธนาคารแห่งประเทศไทย ข้อมูลจำนวนวันหยุดจากกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน ข้อมูลจำนวนประชากรจากกรมการปกครอง และข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดเบื้องต้น จากสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

สำหรับตัวแปร Cooling Degree Day เป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้จากการแปลงค่าข้อมูลอุณหภูมิรายวัน ผู้วิจัยทำการคำนวณเพิ่มเติมตามคำแนะนำของ ASHRAE [9] วิธีดังกล่าวเป็นการหาผลรวมของผลต่างระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันกับอุณหภูมิฐาน

ส่วนสุดท้ายผู้วิจัยได้ประมาณการความต้องการพลังงานไฟฟ้าในเขตรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคของประเทศไทย จากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับปานกลาง และรุนแรงมากที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2593

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตและทฤษฎีอุปสงค์พลังงาน ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองเชิงพลวัตสำหรับภาคพลังงาน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่กำหนดความต้องการพลังงานไฟฟ้า ภายใต้เงื่อนไขอุปสงค์ที่เกิดขึ้นจริงไม่สามารถปรับตัวได้อย่างสมบูรณ์กับอุปสงค์ที่พึงปรารถนา (วิชญ์ อรรถวานิช, 2559) [6] ดังสมการที่ 1

$$\begin{aligned} \ln EC_{it} = & \alpha_i + \beta_1 \ln CDD_{it} + \beta_2 \ln RAIN_{it} + \beta_3 \ln FT_{it} \\ & + \beta_4 \ln POP_{it} + \beta_5 \ln GPP_{it} + \beta_6 \ln NOH_{it} \\ & + \beta_7 \ln EXP_{it} + \beta_8 \ln HOL_{it} + \beta_9 \ln EC_{(it-1)} \\ & + \beta_{10} \ln JAN_{it} + \beta_{11} \ln FEB_{it} + \beta_{12} \ln MAR_{it} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + \beta_{13} \ln APR_{it} + \beta_{14} \ln MAY_{it} + \beta_{15} \ln JUN_{it} \\ & + \beta_{16} \ln JUL_{it} + \beta_{17} \ln AUG_{it} + \beta_{18} \ln SEP_{it} \\ & + \beta_{19} \ln OCT_{it} + \beta_{20} \ln NOV_{it} + \beta_{21} \ln CRI_{it} \\ & + \beta_{22} \ln FLO_{it} + e_t \end{aligned} \quad (1)$$

EC_{it} เป็นตัวแปรตามที่แสดงถึงความต้องการพลังงานไฟฟ้าของจังหวัด i ในช่วงเวลา t โดยมีตัวที่กำหนดความต้องการพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ CDD คือ Cooling Degree Day RAIN คือ ปริมาณน้ำฝน POP คือ จำนวนประชากร FT คือ ราคาไฟฟ้าผันแปรต่อหน่วย GPP คือ ผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดเบื้องต้น NOH คือ สัดส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย EXP คือ มูลค่าการส่งออก HOL คือ จำนวนวันหยุด JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL SEP OCT NOV คือ ตัวแปรหุ่นแสดงผลของฤดูกาล CRI คือ ตัวแปรหุ่นแสดงผลของวิกฤตการเงินในปี พ.ศ. 2551 และ FLO คือ ตัวแปรหุ่นแสดงผลของวิกฤตน้ำท่วมในปี พ.ศ. 2554

5. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็นสามส่วน ได้แก่ ค่าสถิติเบื้องต้น ผลที่ได้จากแบบจำลอง และการคาดการณ์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

จากตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่าง ๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 - 2561 โดยตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ ความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ย 117,326.81 ล้านวัตต์ชั่วโมงต่อจังหวัดต่อเดือน สำหรับตัวแปรที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ Cooling Degree Day มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 124.43 หน่วยต่อจังหวัดต่อเดือน และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอยู่ที่ 131.05 มิลลิเมตรต่อจังหวัดต่อเดือน

ตารางที่ 1 ค่าสถิติเบื้องต้นของตัวแปรในระดับจังหวัด

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
ECT (ล้านวัตต์ชั่วโมง)	117,326.81	1,095,711.32	4,233.33
CDD (หน่วย)	124.43	274.07	1.00
RAIN (มิลลิเมตร)	131.05	829.41	1.00
FT (สตางค์)	1.43	1.96	0.63

ตารางที่ 1 ต่อ

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
CDD (หน่วย)	124.43	274.07	1.00
RAIN (มิลลิเมตร)	131.05	829.41	1.00
FT (สตางค์)	1.43	1.96	0.63
NOH (ร้อยละ)	0.91	0.95	0.82
HOL (วัน)	2.44	8.00	1.00
POP (พันคน)	765.13	2,646.40	174.78
GPP (ล้านบาท)	5,665.33	50,949.26	437.73
EXP (ล้านดอลลาร์ สรอ.)	15,679.50	22,385.88	6,881.93

ที่มา: การคำนวณ

ตารางที่ 2 แสดงผลการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยกำหนดความต้องการพลังงานไฟฟ้า จากการทดสอบด้วยวิธี Hausman Test พบว่าแบบจำลองที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลคือแบบจำลอง Fixed Effect

ผลการศึกษาพบว่า Cooling Degree Day (CDD) และปริมาณน้ำฝน (RAIN) ส่งผลกระทบต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างน้อยที่ระดับร้อยละ 5.00 หมายความว่า เมื่อกำหนดปัจจัยอื่น ๆ คงที่ การเพิ่มขึ้นของ Cooling Degree Day (CDD) ร้อยละ 1.00 ส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.016 ในขณะที่การเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำฝน (RAIN) ร้อยละ 1.00 ส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.0021

ผลการศึกษาพบว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง (ECLT) ส่งผลกระทบต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 1.00 หมายความว่า เมื่อกำหนดปัจจัยอื่น ๆ คงที่ การเพิ่มขึ้นของความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอดีตร้อยละ 1.00 ส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.8844

เมื่อพิจารณามูลค่าการส่งออก (EXP) จำนวนประชากร (POP) และผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัดเบื้องต้น (GPP) พบว่าปัจจัยทั้งสามส่งผลกระทบต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่อย่างน้อยร้อยละ 5.00 หมายความว่า เมื่อกำหนดปัจจัยอื่น ๆ คงที่ การเพิ่มขึ้นของมูลค่าการส่งออก (EXP) ร้อยละ 1.00 ส่งผลให้ความต้องการ

พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0771 ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากร (POP) และผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) ร้อยละ 1.00 ส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.0628 และ 0.0211 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาราคาไฟฟ้าผันแปร (FT) และจำนวนวันหยุด (HOL) พบว่าปัจจัยทั้งสองแปรผกผันกับความต้องการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 1.00 หมายความว่า เมื่อกำหนดปัจจัยอื่น ๆ คงที่ อัตราการเปลี่ยนแปลงของราคาไฟฟ้าผันแปร (FT) เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.00 ส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.0373 และจำนวนวันหยุด (HOL) ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.00 ส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.0044 ในขณะที่สัดส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย (NOH) ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านฤดูกาลพบว่าเมื่อกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเดือนมกราคม (JAN) เดือนมีนาคม (MAR) เดือนพฤษภาคม (MAY) เดือนกรกฎาคม (JUL) เดือนสิงหาคม (AUG) และเดือนตุลาคม (OCT) สูงกว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าเดือนธันวาคม (Dec) ร้อยละ 2.10, 16.37, 6.85, 2.50, 1.40 และ 2.70 ตามลำดับ ขณะที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเดือนกุมภาพันธ์ (FEB) เดือนมิถุนายน (JUN) และพฤศจิกายน (NOV) ต่ำกว่าเดือนธันวาคมร้อยละ 1.04, 2.76 และ 2.20 ตามลำดับ และความต้องการพลังงานไฟฟ้าเดือนกันยายน (SEP) ไม่แตกต่างกันในเชิงสถิติกับเดือนธันวาคม (Dec) ซึ่งเป็นเดือนฐานในการเปรียบเทียบ

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านวิกฤตทางเศรษฐกิจพบว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงวิกฤตการเงินปี พ.ศ. 2551 (CRI) และวิกฤตน้ำท่วมในปี พ.ศ. 2554 (FLO) ต่ำกว่าปีที่ไม่มีเกิดวิกฤตร้อยละ 2.37 และ 1.70 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ร้อยละ 1.00

ตารางที่ 2 ผลการคาดประมาณสมการปัจจัยที่กำหนดปริมาณการใช้ไฟฟ้าด้วยวิธี Fixed Effect

ตัวแปรอิสระ	Fixed Effect	ตัวแปรอิสระ	Fixed Effect
	Model		Model
lnECLT	0.8844***	APR	0.0200**
dlnFT	-0.0373***	MAY	0.0685***
dlnNOH	-0.3779	JUN	-0.0276***
lnCDD	0.0160***	JUL	0.0250***
lnRAIN	-0.0021**	AUG	0.0140***
lnHOL	-0.0043***	SEP	0.0019
lnEXP	0.0771***	OCT	0.0270***
dlnPOP	0.0628***	NOV	-0.0220***
dlnGPP	0.0211**	CRI	-0.0237***
JAN	0.0210***	FLO	-0.0170***
FEB	-0.0104**	_cons	1.253597
MAR	0.1637***		
Obs.	13,151		
R2	0.9969		

ที่มา: การคำนวณ

หมายเหตุ: *** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติ ณ 0.01

** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติ ณ 0.05

* หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติ ณ 0.10

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่สอง การพยากรณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้า ผู้วิจัยได้จัดทำค่าพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยตามภาพฉาย RCP ณ ระดับ 4.5 และ 8.5 ได้แก่ อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝน ซึ่งสะท้อนปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตระดับปานกลาง และระดับรุนแรงมากตามลำดับ โดยข้อมูลการพยากรณ์ดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากการ Downscale ข้อมูลจาก IPCC (2014) [10] เป็นระดับจังหวัดด้วยวิธี Inverse Distance Square Weighting Method

ตารางที่ 3 ประมาณการผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในปี 2593 เปรียบเทียบกับปีฐาน (2552 - 2561)

ภาค	อุณหภูมิสูงสุด		อุณหภูมิต่ำสุด		ปริมาณน้ำฝน	
	(องศาเซลเซียส)		(องศาเซลเซียส)		(มิลลิเมตร)	
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
เหนือ	0.40	1.09	0.85	1.50	167.19	309.94
กลาง	0.46	1.16	0.87	1.62	26.13	303.67
ตะวันออก	0.54	1.13	0.90	1.69	12.55	166.38
ตะวันออกเฉียงเหนือ	0.62	1.28	1.02	1.96	14.63	407.20
ตะวันตก	0.45	1.16	0.86	1.63	94.46	208.27
ใต้	0.44	0.88	0.87	1.43	361.32	636.48

ที่มา: IPCC(2014)

ทั้งนี้ เพื่อให้ผู้กำหนดนโยบายสามารถนำผลการศึกษาชี้แจงไปใช้ประกอบการวางแผนบริหารจัดการด้านพลังงานในอนาคต ผู้วิจัยได้จัดทำค่าพยากรณ์ปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคมระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2593 ใส่ในแบบจำลองโดยกำหนดสมมติฐานค่าไฟฟ้าผันแปรและดัชนีราคาผู้บริโภคมีการเติบโตตามเป้าหมายอัตราเงินเฟ้อระยะกลางของธนาคารแห่งประเทศไทยที่ร้อยละ 1.00 - 3.00 [11] ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้ค่ากลาง จึงกำหนดอัตราเงินเฟ้อที่ร้อยละ 2.00

สำหรับจำนวนประชากรในแต่ละจังหวัด ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลประมาณการระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2583 [12] จากสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และประมาณการถึงปี 2593 โดยใช้ค่าเฉลี่ยอัตราการเติบโตระหว่างปี พ.ศ. 2562 - 2583

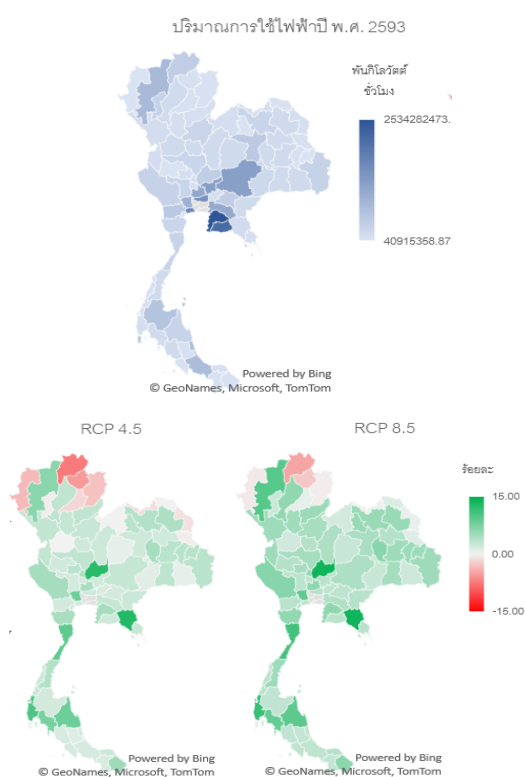
สำหรับข้อมูลประมาณการจำนวนนักท่องเที่ยวต่างชาติมีอัตราการเติบโตที่ร้อยละ 6.70 ซึ่งเป็นข้อมูลจากแผนพัฒนาการท่องเที่ยว กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา [13]

สำหรับสัดส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยและจำนวนวันหยุดประจำปี ผู้วิจัยใช้ข้อมูลทั้งหมดจำนวน 15 ปี หาค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย และใช้ค่าเฉลี่ยจำนวนวันหยุด

ประจำเดือน เนื่องจากจำนวนวันหยุดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

สำหรับปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจอื่น ๆ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์มวลรวมรายจังหวัด ผลิตภัณฑ์มวลรวมภาคเกษตร ผลิตภัณฑ์มวลรวมภาคอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์มวลรวมภาคบริการ และมูลค่าการส่งออก ผู้วิจัยเลือกใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราการเจริญเติบโตระหว่างปี 2542 - 2561 จำนวน 20 ปี เนื่องจากในช่วงก่อนปี พ.ศ. 2542 ประเทศไทยมีอัตราการเติบโตที่ค่อนข้างสูงซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะเกิดขึ้น ผู้วิจัยจึงไม่นำมาคำนวณ

ผลการพยากรณ์พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้องการพลังงานไฟฟ้าภายใต้ภาพฉาย RCP4.5 และ RCP8.5 เทียบกับสถานการณ์ปกติ (BAU : Business As Usual) ในปี พ.ศ. 2593 สูงถึงร้อยละ 6.79 และ 11.00 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาในระดับจังหวัดพบว่า จังหวัดที่จะได้รับผลกระทบมากที่สุด 5 ลำดับแรก ได้แก่ จังหวัดนครปฐม จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดพังงา จังหวัดลพบุรี และจังหวัดจันทบุรี รายละเอียดตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า ภายใต้ภาพฉาย RCP 4.5 และ 8.5 เทียบกับ BAU ในปี พ.ศ. 2593 ที่มา: จากการคำนวณ

6. อภิปรายผล

ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าในเขตรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคของประเทศไทยสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีต อาทิ งานวิจัยของ Li, Pizer and Wu (2018) [7] ที่ทำการศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าในสาธารณรัฐประชาชนจีน และการศึกษาของ Damm, Koberl, Prettenhaler, Rogler and Toghofer (2017) [14] ที่ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าในสหภาพยุโรป

Cooling Degree Day ที่สูงขึ้นส่งผลให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานมากขึ้น โดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศ ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนเป็นอุปสรรคต่อการดำเนินกิจกรรม ทางเศรษฐกิจทั้งในด้านการเดินทางไปจับจ่ายใช้สอยและการท่องเที่ยว ทำให้การบริโภคลดลง ส่งผลกระทบต่อภาคการผลิตทำให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าลดลง

ผลการศึกษายังพบอีกว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าย้อนหลังที่สูงขึ้นส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นเช่นกัน สะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในอดีตเป็นตัวกำหนดความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาปัจจุบัน

มูลค่าการส่งออก จำนวนประชากร และผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด ส่งผลกระทบต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าในเชิงบวกสอดคล้องกับทฤษฎีอุปสงค์ที่บ่งชี้ว่าความต้องการซื้อสินค้าและบริการ แปรผันในทิศทางเดียวกับจำนวนประชากรและระดับรายได้

ในขณะที่ราคาค่าไฟฟ้าผันแปรแปรผันกับความความต้องการพลังงานไฟฟ้า สอดคล้องกับทฤษฎีอุปสงค์ที่พยากรณ์ว่าราคากับความต้องการซื้อสินค้าและบริการต้องแปรผกผันกัน และจำนวนวันหยุดแปรผกผันกับความความต้องการพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับเหตุการณ์จริงที่ภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมจะหยุดกิจกรรมการผลิตในวันหยุด

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านฤดูกาลจะเห็นว่าช่วงฤดูร้อนปริมาณการใช้ไฟฟ้าจะสูงที่สุด ในขณะที่ฤดูฝนจะมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าใกล้เคียงกับฤดูหนาว

ในขณะที่วิกฤตทางเศรษฐกิจเป็นปัจจัยลดรั้งความต้องการพลังงานไฟฟ้า ทำให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าลดลง

ผลการพยากรณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าสอดคล้องกับผลการศึกษาในต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศที่อยู่ในเขตร้อนที่พบว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 6.79 - 11.00 อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละประเทศแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบกับต่างประเทศพบว่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นมากกว่ากรณีของประเทศปากีสถานที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.92 - 5.1 (Mahmood, Saleemi and Amin, 2016) [15] ในขณะที่สาธารณรัฐประชาชนจีน (Li, Pizer and Wu, 2018) [7] ความต้องการพลังงานไฟฟ้าอาจเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 24.6 อย่างไรก็ตามพื้นที่หนาวเย็น อาทิ กลุ่มสหภาพยุโรป (Damm, Koberl, Prettenhaler, Rogler and Toghofer, 2017) [14] ความต้องการพลังงานไฟฟ้ากลับลดลงเนื่องจากเครื่องทำความอบอุ่นจะทำงานลดลงจากข้อมูลทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดพฤติกรรมความต้องการใช้ไฟฟ้า

งานวิจัยชิ้นนี้ช่วยเติมเต็มงานวิจัยในอดีตของประเทศไทยที่ทำการศึกษาความต้องการพลังงานไฟฟ้าด้วยความละเอียดระดับภูมิภาคเท่านั้น และไม่ได้ทำการพยากรณ์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การศึกษาครั้งนี้พบว่าแต่ละจังหวัดได้รับผลกระทบที่ต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม แต่สิ่งที่พบคล้ายกันคือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในจังหวัดต่าง ๆ ปรับตัวเพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยเฉพาะภายใต้ภาพฉาย RCP8.5 ซึ่งสะท้อนการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระดับรุนแรงมาก

7. ข้อเสนอแนะการวิจัย

ผลการศึกษาพบสิ่งที่น่าสนใจ ซึ่งนอกเหนือจากปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจและสังคมแล้ว ปัจจัยด้านสภาพภูมิอากาศทั้งอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนส่งผลกระทบต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน หมายความว่า

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกอาจก่อให้เกิดการขยายตัวของความต้องการพลังงานไฟฟ้า ซึ่งงานวิจัยในประเทศไทยที่ผ่านมาไม่ได้ให้ความสำคัญกับปัจจัยดังกล่าวมากเท่าที่ควร

การศึกษารุ่นนี้ต้องการนำเสนอมุมมองดังกล่าวให้แก่ผู้กำหนดนโยบาย เพื่อนำปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมาประกอบการวางแผนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้สามารถวางแผนการสร้างโรงไฟฟ้า ลดความเสี่ยงจากการลงทุนที่ต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมาก กำหนดสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็นเพื่อให้การจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ป้องกันปัญหาการขาดแคลนอุปทานพลังงานเพื่อให้อาจตอบสนองความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาคครัวเรือนและภาคธุรกิจที่มีการคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นในอนาคตได้

ภาครัฐบาลควรเตรียมพร้อมในการจัดหาแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการเติบโตทางเศรษฐกิจจำเป็นต้องมีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งจะช่วยลดการผูกขาดด้านพลังงาน ลดภาระการนำเข้าพลังงาน และสามารถงบประมาณส่วนดังกล่าวไปพัฒนาประเทศในด้านอื่น ๆ ต่อไป

จากผลการศึกษาเห็นว่าภาคใต้มีแนวโน้มเกิดอุทกภัยรุนแรงขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่มีแนวโน้มสูงขึ้นมากอย่างผิดปกติ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งเป็นผู้ดูแลด้านระบบจำหน่ายควรเตรียมพร้อมรับมือกับเหตุการณ์ดังกล่าวที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เนื่องจากการปรับปรุงโครงสร้างด้านระบบจำหน่ายจำเป็นต้องใช้เวลาในการดำเนินการ ไม่สามารถแก้ไขได้ในทันที หากไม่มีการเตรียมพร้อมรับมือกับเหตุการณ์ดังกล่าวที่มีแนวโน้มเกิดขึ้นในอนาคต อาจก่อให้เกิดปัญหาการจัดส่งพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า

จากผลการศึกษาอีกพบว่าพื้นที่ ๆ มีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากที่สุดอยู่ในพื้นที่ 3 จังหวัดในเขตเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ซึ่งเป็นพื้นที่ทางเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย รองลงมาเป็นพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งการสร้างโรงไฟฟ้าในพื้นที่ดังกล่าวเป็นประโยชน์ต่อการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่จะสามารถลดหน่วยสูญเสีย

ในระบบไฟฟ้าได้ เนื่องจากการตั้งโรงไฟฟ้าในพื้นที่ที่ห่างไกลจากพื้นที่ที่มีการใช้ไฟฟ้าจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียในระบบไฟฟ้ามากขึ้น และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคยังจำเป็นต้องปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานในพื้นที่ดังกล่าว ให้สามารถรองรับการใช้ไฟฟ้าในอนาคต

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานสามารถนำผลการศึกษาดังกล่าว ใช้ประกอบการวางแผนการเปิดเสรีกิจการไฟฟ้า ให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ประชาชน โดยการกำหนดสัดส่วนเชื้อเพลิงการผลิตไฟฟ้า ให้มีความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้ราคาไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่มีความเหมาะสม ซึ่งจากผลการศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจทำให้การนำพลังงานทดแทนมาใช้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

เพื่อแสวงหากำไรสูงสุดและลดความเสี่ยงในการลงทุน ผู้ผลิตไฟฟ้าภาคเอกชนควรลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพื้นที่ EEC เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวคาดว่าจะมีความต้องการไฟฟ้าสูงขึ้นมากในอนาคต ผู้ผลิตไฟฟ้าที่ผลิตใกล้พื้นที่ดังกล่าวจะมีความได้เปรียบด้านต้นทุนค่าขนส่งเนื่องจากอยู่ใกล้ผู้บริโภค ทำให้มีความสามารถในการแข่งขันสูงกว่าผู้ผลิตไฟฟ้าที่อยู่ไกลออกไป

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผู้กำหนดนโยบายเท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคโดยตรง ทำให้ผู้บริโภคจำเป็นต้องใช้พลังงานมากขึ้น ถ้ามองในระยะสั้นอาจเห็นเป็นเพียงเรื่องเล็กน้อยไม่ได้ส่งผลกระทบมากนัก แต่หากมองในระยะยาวจะเห็นได้ว่าความต้องการพลังงานที่สูงขึ้นในทุกปี จะส่งผลให้ผู้บริโภคมีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นตามมา ซึ่งผู้วิจัยต้องการนำเสนอมุมมองนี้ให้แก่ประชาชนทุกคนตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าวมากขึ้นอีกด้วย

จากข้อเสนอแนะที่กล่าวมาข้างต้น รัฐบาลควรตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง เนื่องจากสิ่งแวดล้อมเป็นสินค้าที่กลไกตลาดมักเกิดความล้มเหลว (Market Failure) ในเชิงเศรษฐศาสตร์ เนื่องจาก สิ่งแวดล้อมเป็นสินค้าสาธารณะที่มีอยู่อย่างจำกัด และประชาชนทุกคนมีสิทธิใช้ ภาครัฐควรเข้ามามีบทบาท

ในการปกป้อง ฟื้นฟู และพัฒนาจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากต่อการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างยั่งยืน

สำหรับการศึกษารั้วถัดไปควรศึกษาข้อมูลที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น เช่น ข้อมูลระดับอำเภอ หรือตำบล เพิ่มปัจจัยทางด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่กำลังเปลี่ยนแปลง เช่น ยานยนต์ไฟฟ้า อุปกรณ์อำนวยความสะดวกใหม่ ๆ ที่คาดว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก หรือพลังงานหมุนเวียนใหม่ ๆ ที่อาจเข้ามามีส่วนร่วมในระบบไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นจากต้นทุนการผลิตที่ลดลง ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] 28 April 2019. [Online]. United Nations Framework Convention on Climate Change. United Nations Framework Convention on Climate Change Definition: www.unfccc.int.
- [2] 1 November 2014. [Online]. Intergovernmental Panel on Climate Change. GLOBAL WARMING OF 1.5 °C : www.ipcc.ch.
- [3] 15 พฤษภาคม 2563. [Online]. กรมอุตุนิยมวิทยา. ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา: www.tmd.go.th.
- [4] Vincent, Chaiechi and Beg, "The impact of climate change on electricity demand in Australia.", vol.29, SAGE journal, pp.1263-1297.
- [5] Véliz, Kaufmann, Cleveland, and Stone, "The effect of climate change on electricity expenditures in Massachusetts.", vol.106, ScienceDirect, pp.1-11.
- [6] วิษณุ อรรถวานิช. 2559. เศรษฐศาสตร์พลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตคอร์ปอเรชั่น จำกัด.
- [7] Li, Pizer, and Wu, "Climate change and residential electricity consumption in the Yangtze River Delta, China.", vol.116, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2018, pp. 472-477.

- [8] Parkpoom and Harrison, “Using Weather Sensitivity to Forecast Thailand’s Electricity Demand.”, vol.9, International Energy Journal, 2008, pp. 237-242.
- [9] 1 November 2019. [Online]. Shaping Tomorrow’s Built Environment ToDay. ASHRAE Handbook 2013: www.ashrae.org.
- [10] 1 November 2014. [Online]. Intergovernmental Panel on Climate Change. CLIMATE CHANGE 2014 Synthesis: www.ipcc.ch.
- [11] 12 กุมภาพันธ์ 2564. [Online]. ธนาคารแห่งประเทศไทย. เป้าหมายเงินเพื่อสำหรับระยะปานกลางและสำหรับปี 2564: www.bot.or.th.
- [12] 7 มีนาคม 2563. [Online]. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. รายงานการคาดประมาณประชากรของประเทศไทย พ.ศ. 2553 – 2583: www.nesdc.go.th,
- [13] 12 เมษายน 2564. [Online]. กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. แผนพัฒนาการท่องเที่ยวแห่งชาติ ฉบับที่ 2: www.mots.go.th.
- [14] Damm, Köberl, Prettenhaler, Rogler, and Töglhofer. “Impacts of +2 C global warming on electricity demand in Europe.”, vol.29, ScienceDirect, 2017, pp. 12-30.
- [15] Mahmood, Saleemi, and Amin, “Impact of Climate Change on Electricity Demand: A Case Study of Pakistan.”, vol.55, The Pakistan Development Review, 2016, pp. 29-47.