



## พลังงานแห่งอนาคต The future of energy

สุภา ศิรินาม

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเขี้ยวเฉลิมพระเกียรติ

สมุทรปราการ 10540

Supha Sirinam

Division of Physical Science, Faculty of Science and Technology, Huachiew Chalermprakiet University,

Samutprakarn 10540

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันก๊าซธรรมชาติเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของประเทศในการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากมีสัดส่วนการใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าถึงร้อยละ 66 นอกจากนี้ประเทศต้องพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลอื่น ๆ ได้แก่ ถ่านหินและน้ำมัน ร้อยละ 22 การนำเข้าร้อยละ 7 และอีกประมาณร้อยละ 5 มาจากพลังงานทดแทนและอื่น ๆ ซึ่งเชื้อเพลิงฟอสซิลส่วนใหญ่ นำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อให้เกิดความมั่นคงทางด้านพลังงาน ภาครัฐจึงมีนโยบายสนับสนุนการจัดหาแหล่งพลังงานใหม่ ที่ใช้ทรัพยากรหรือวัตถุดิบภายในประเทศเป็นหลัก ซึ่งเป้าหมายของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) ให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนอยู่ที่ร้อยละ 15-20 ภายในปี พ.ศ. 2579 ซึ่งศักยภาพของพลังงานทดแทนที่จะนำมาผลิตไฟฟ้าตามเป้าหมายสามอันดับแรก คือ พลังงานแสงอาทิตย์ ชีวมวล และพลังงานลม โดยมีศักยภาพถึง 6,000, 5,570 และ 3,002 MW ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียของโรงไฟฟ้าทดแทนแต่ละประเภทในเรื่องการใช้พื้นที่ในการผลิตไฟฟ้าและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพลังงานไฟฟ้า 1 TWh พบว่า พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ดีที่สุด เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่น้อย และมีการใช้พื้นที่ในการผลิตไฟฟ้าไม่สูงมาก เมื่อเทียบทั้งสองดัชนีของโรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ แต่การที่จะเลือกประเภทของโรงไฟฟ้าคงไม่สามารถเปรียบเทียบเพียงข้อดีหรือข้อเสียทางด้านสิ่งแวดล้อมหรือจุดคุ้มทุนเป็นหลัก ความเหมาะสมของพื้นที่ แหล่งวัตถุดิบ และการยอมรับของคนในสังคมต้องถูกนำมาพิจารณาร่วมด้วย

**คำสำคัญ:** พลังงานทดแทน โรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้าชีวมวล โรงไฟฟ้าพลังงานลม พลังงานทางเลือก



## Abstract

Natural gas plays important role as main electricity energy source of Thailand in present day. As it used to produce 66% of overall electricity, the country makes used of fossil fuel (coal and oil) of 22%, import from other countries of 7% and 5% from other renewable energy. Moreover, most fossil fuel was imported from other countries. For energy security, government raise a policy to support providing new alternative energy source that use domestic resource or material called Alternative Energy Development Plan (AEDP). It aims to raise renewable energy to 15-20% in 2036. The potential of top three renewable energies are solar energy, biomass energy and wind energy which are 6,000, 5,570 and 3,002 MW, respectively. When consider strength and weakness of each energy sources in land used and GHG emission per 1 TWh plant, we found solar energy is the best source. Solar energy release less GHG meanwhile required not much area compared with other energy sources. However, we can't choose energy source just by its strength and weakness or break-even point. The suitability of the area, material source and adoption of the society should be also considered.

**Keywords:** Renewable energy, Solar power plant, Biomass power plant, Wind power plant, Alternative energy

## บทนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน เป็นสิ่งที่ช่วยอำนวยความสะดวกและมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ แต่ในความเป็นจริงก็ปฏิเสธไม่ได้ว่ามนุษย์เราก็ไม่ได้มีไฟฟ้าใช้ตั้งแต่แรกเริ่มประวัติศาสตร์ จากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของประเทศพบว่ามีการผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกปี แสดงถึงความต้องการในการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นในแต่ละปีด้วย [1] ดังนั้นหากมีไฟฟ้าไม่เพียงพอกับความต้องการก็อาจก่อให้เกิดปัญหาขึ้นมากมาย ดังนั้นความมั่นคงทางด้านพลังงานจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะหากยังไม่มี ความมั่นคงด้านพลังงานจะส่งผลต่อการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ และสร้างความเสียหายในวงกว้าง

เมื่อพิจารณาถึงความมั่นคงทางด้านพลังงานไฟฟ้า ก็จะต้องพิจารณาถึงประเภทของโรงไฟฟ้าเพื่อที่จะได้ ประเมินถึงความมั่นคงทางด้านวัตถุดิบที่ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าประเภทนั้น ๆ โดยโรงไฟฟ้าในประเทศไทยต้องอาศัยเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 66 ถ่านหินร้อยละ 21 น้ำมันร้อยละ 1 พลังน้ำร้อยละ 3 นำเข้า

ร้อยละ 7 และอื่น ๆ ร้อยละ 2 จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าความมั่นคงทางด้านเชื้อเพลิงมีน้อย เนื่องจากต้องพึ่งก๊าซธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ ถ้าการผลิตหรือนำเข้าก๊าซธรรมชาติมีปัญหา จะส่งผลให้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอ ก็จะไม่มีความมั่นคงทางด้านพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นคำถามที่ตามมาคือ จำนวนของแหล่งก๊าซธรรมชาติที่มีอยู่รวมถึงปริมาณก๊าซธรรมชาติเพียงพอหรือไม่ หรือสามารถรองรับความต้องการได้เป็นระยะเวลาเท่าใด ถ้ามีการนำเข้าก๊าซธรรมชาติจะส่งผลต่อค่าไฟฟ้าอย่างไร แนวโน้มพลังงานไฟฟ้าในอนาคตจะถึงขั้นวิกฤตหรือไม่ และจะมีการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มหรือไม่ ถ้าสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มควรเป็นโรงไฟฟ้าประเภทใด อีกทั้งการออกมาต่อต้านการสร้างโรงไฟฟ้าของชนในชุมชน และกลุ่มองค์กรไม่แสวงหาผลกำไร (NGO) ทุกครั้งที่มีการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่ม จะส่งผลกระทบต่อ การสร้างโรงไฟฟ้าแห่งใหม่ของประเทศตามมา สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่เป็นสิ่งที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ต้องคำนึงถึงและต้องตอบคำถามของประชาชนมาโดยตลอด



จากแนวนโยบายด้านการจัดการพลังงานของคณะรักษาความสงบแห่งชาติ (คสช.) เกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาเร่งด่วนเรื่องความมั่นคงในการจัดหาพลังงานของประเทศไทยและการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม ได้ออกคำสั่งเรื่องการยกเว้นการใช้บังคับกฎกระทรวงให้ใช้ผังเมืองรวมสำหรับการประกอบกิจการบางประเภท [2] ซึ่งมีใจความสำคัญเกี่ยวกับการจัดการพลังงานคือ แผนพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก โดยมีหน่วยงานหลายหน่วยงานให้การสนับสนุนและเกิดการวิจัยหรือโครงการเกี่ยวกับการจัดหาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกออกมามากมาย

### พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก

พลังงานทดแทนคือ พลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติที่กำลังจะถูกนำมาใช้ทดแทนพลังงานแบบเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้นี้ หรือเพราะมีมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมมากจนเกินไป และนำมาซึ่งปัญหาภาวะโลกร้อน พลังงานที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่ได้จากฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ซึ่งปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเป็นปริมาณมากและมีมลพิษค่อนข้างสูง และพลังงานแบบเดิมคือ น้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นพลังงานทดแทนจึงหมายถึง พลังงานที่มาจากทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง [3] แบ่งได้เป็น

1. พลังงานทางเลือก (alternative energy) คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และหินน้ำมัน
2. พลังงานหมุนเวียน (renewable energy) คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วไม่หมดไป เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานน้ำขึ้นน้ำลง เป็นต้น

ทั้งนี้พลังงานทดแทนที่ถูกนำมาใช้มากแล้วถึงมากคือ พลังงานทดแทนประเภทที่สอง นั่นคือ พลังงานหมุนเวียน เพราะพลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือสามารถที่จะสร้างขึ้นใหม่ใช้ใหม่ในช่วงเวลาที่สั้นเมื่อเทียบกับพลังงานอื่น ๆ

กฟผ. ได้มีการจัดการหาแหล่งพลังงานทดแทน โดยได้มีการดำเนินการหลายโครงการ เช่น โรงไฟฟ้ากังหันลมลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา กังหันลมผลิตไฟฟ้า สถานีพลังงานทดแทนพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผาป่อง จังหวัดแม่ฮ่องสอน และสถานีพลังงานแสงอาทิตย์คลองช่องกล้า จังหวัดสระแก้ว เป็นต้น [3] จากการดำเนินงานของ กฟผ. นั้น สื่อได้ว่าประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับการนำพลังงานทดแทนมาใช้อยู่แล้ว แต่มีคำถามตามมาคือ พลังงานทดแทนเหล่านั้นมีมาตรฐานใด และสามารถเข้ามาทดแทนแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าปัจจุบันได้ในสัดส่วนเท่าไร และมีความมั่นคงหรือไม่ แต่เมื่อพิจารณาจากข้อมูลทางสถิติของการผลิตพลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2557 หรือจากหลาย ๆ ปีที่ผ่านมา พบว่ามีค่าสัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนร้อยละ 3 ซึ่งมาจากพลังงานน้ำเป็นหลัก ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวพอจะสรุปได้ว่า พลังงานหมุนเวียนประเภทอื่น ๆ ยังไม่ใช่แหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถเข้ามามีบทบาทในการเป็นพลังงานหลักของประเทศในอนาคตอันใกล้ได้อย่างมีนัยสำคัญ

จากประกาศเรื่อง การยกเว้นการใช้บังคับกฎกระทรวงให้ใช้ผังเมืองรวม สำหรับการประกอบกิจการบางประเภทของ คสช. มีส่วนระบุเกี่ยวกับแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (Alternative Energy Development Plan: AEDP 2015) ซึ่งเป็นผลมาจากนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน โดยผลการดำเนินงานด้านพลังงานทดแทน ปี พ.ศ. 2554-2557 พบว่าการใช้พลังงานทดแทน (ไม่รวมพลังงานน้ำขนาดใหญ่) จะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาคือ เชื้อเพลิงชีวภาพและไฟฟ้า (ตารางที่ 1)



ตารางที่ 1 ผลการดำเนินงานด้านพลังงานทดแทน ปี พ.ศ. 2554-2557 [4]

พลังงานทดแทน	หน่วย	2554	2555	2556	2557
<b>ไฟฟ้า**</b>					
แสงอาทิตย์	MW	78.69	376.72	823.46	1,298.51
พลังงานลม	MW	7.28	111.73	222.71	224.47
พลังงานน้ำขนาดเล็ก*	MW	95.70	101.75	108.80	142.01
ชีวมวล	MW	1,790.00	1,959.95	2,320.78	2,451.82
ก๊าซชีวภาพ	MW	159.17	193.40	265.23	311.50
ขยะชุมชน	MW	25.48	42.72	47.48	65.72
รวม	MW	2,156	2,786	3,788	4,494
	ktoe	988	1,138	1,341	1,467
<b>ความร้อน</b>					
แสงอาทิตย์	ktoe	2.0	3.5	4.5	5.1
ชีวมวล	ktoe	4,123	4,346	4,694	5,144
ก๊าซชีวภาพ	ktoe	402	458	495	528
ขยะชุมชน	ktoe	1.7	78.2	85.0	98.1
รวม	ktoe	4,529	4,886	5,279	5,775
<b>เชื้อเพลิงชีวภาพ</b>					
เอทานอล	ล้านลิตรต่อวัน	1.2	1.4	2.6	3.2
ไบโอดีเซล	ล้านลิตรต่อวัน	2.1	2.8	2.9	2.9
รวม	ล้านลิตรต่อวัน	3.3	4.2	5.5	6.1
	ktoe	984	1,270	1,612	1,783
การใช้พลังงานทดแทน	ktoe	6,501	7,294	8,232	9,025
การใช้พลังงานขั้นสุดท้าย	ktoe	70,562	73,316	75,214	75,804
สัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน	เปอร์เซ็นต์	9.21	9.95	10.94	11.91

หมายเหตุ \* กำลังการผลิต  $\leq 12$  MW

\*\* รวมการผลิตไฟฟ้านอกกริด (including off grid power generation) และไม่รวมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำขนาดใหญ่



ถึงแม้การใช้พลังงานจากพลังงานทดแทนจะเป็นการทดแทนในเรื่องของพลังงานความร้อนเป็นส่วนใหญ่ แต่สถานภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมีสัดส่วนสูงขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2550 มีสัดส่วนปริมาณไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่ผลิตได้รวมการผลิตไฟฟ้านอกกริดระบบ (including off grid power generation) ทั้งประเทศ

ร้อยละ 4.3 และเพิ่มเป็นร้อยละ 9.87 ในปี พ.ศ. 2557 (ไม่รวมพลังงานน้ำขนาดใหญ่) ซึ่งเป้าหมายของการพัฒนาพลังงานทดแทนภายใต้ AEDP ในปี พ.ศ. 2579 คือ การผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ร้อยละ 15-20 โดยมีแหล่งเชื้อเพลิงของพลังงานทดแทนคือ พลังงานแสงอาทิตย์ ชีวมวล พลังงานลม และพลังงานน้ำขนาดใหญ่ เป็นต้น (ตารางที่ 2)

**ตารางที่ 2** ค่าเป้าหมายตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนในปี พ.ศ. 2579 [4]

ประเภทแหล่งพลังงานไฟฟ้า	เป้าหมาย ปี พ.ศ. 2579 (MW)
พลังงานแสงอาทิตย์	6,000.00
ชีวมวล	5,570.00
พลังงานลม	3,002.00
พลังงานน้ำขนาดใหญ่	2,906.40
ก๊าซชีวภาพ (พืชพลังงาน)	680.00
ก๊าซชีวภาพ (น้ำเสียหรือของเสีย)	600.00
ขยะชุมชน	500.00
พลังงานน้ำขนาดเล็ก	376.00
ขยะอุตสาหกรรม	50.00
<b>รวม (MW)</b>	<b>19,684.40</b>

จากเป้าหมายของแผนพัฒนาพลังงานทดแทนภายใต้ AEDP จะมุ่งเน้นไปที่พลังงานแสงอาทิตย์ ชีวมวล พลังงานลม พลังงานน้ำขนาดใหญ่ เป็นอันดับต้น ๆ เมื่อ

พิจารณาถึงความเป็นไปได้จากศักยภาพจริง ปัจจุบันพบว่า มีกำลังการผลิตรวม 7,104.55 MW ซึ่งยังต้องการกำลังการผลิตเพิ่ม 12,579.85 MW (ตารางที่ 3)



**ตารางที่ 3** ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า [5]

ประเภทแหล่งพลังงานไฟฟ้า	จำนวนผู้ผลิต (ราย)	ศักยภาพกำลังการผลิตที่ขาย (MW)	ความต้องการกำลังการผลิตเพิ่มเพื่อเป็นไปตามเป้าหมาย (MW)
พลังงานแสงอาทิตย์	392	1,864.88	4,135.12
ชีวมวล	146	914.76	4,655.25
พลังงานลม	15	301.04	2,700.96
พลังงานน้ำขนาดใหญ่	16	3,579.10	-672.70
ก๊าซชีวภาพ (พืชพลังงาน)	151	272.44	1,007.56
ก๊าซชีวภาพ (น้ำเสียหรือของเสีย)			
ขยะชุมชน	24	122.78	427.22
ขยะอุตสาหกรรม			
พลังงานน้ำขนาดเล็ก	22	49.56	326.44
<b>รวม</b>	<b>766</b>	<b>7,104.55</b>	<b>12,579.85</b>

**ที่มา :** คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน กฟผ. กฟน. กฟภ. และ พพ. ณ เดือน สิงหาคม 2559

เมื่อพิจารณาจากกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ภายใต้ AEDP ความเป็นไปได้ในการหาแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณมากและมีนัยสำคัญคือ พลังงานแสงอาทิตย์ ชีวมวล และพลังงานลม แต่การที่ภาครัฐจะสนับสนุนโรงไฟฟ้าประเภทไหนเป็นหลักคงต้องพิจารณาถึงต้นทุนการผลิต ความมั่นคงของแหล่งเชื้อเพลิงในอนาคต สถานที่ตั้งโรงไฟฟ้า เพราะองค์ประกอบเหล่านี้จะมีผลต่อค่าไฟฟ้าซึ่งอาจจะแพงกว่าที่เป็นอยู่ค่อนข้างมาก และอาจส่งผลกระทบต่อประเทศในด้านอื่น เมื่อพิจารณาข้อดีและข้อเสียของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนแต่ละประเภทพบว่า มีข้อจำกัดและการจัดการที่ต่างกัน ดังนี้

**โรงไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์**

โรงไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานที่มีความสำคัญที่จะมาสร้างความมั่นคงทางด้าน

พลังงาน เนื่องจากพื้นที่ของประเทศไทยเอื้ออำนวยต่อการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด สามารถใช้งานได้ในพื้นที่ทุรกันดารของประเทศ นอกจากนี้โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นับว่าเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่ใช้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการไม่มาก เนื่องจากการบำรุงรักษาเมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าประเภทอื่น ๆ ถึงแม้พลังงานแสงอาทิตย์จะมีประโยชน์ และสามารถนำมาผลิตไฟฟ้าได้แบบไม่มีหมด แต่ก็ยังมีข้อจำกัดหลายด้าน เช่น ความเข้มของพลังงานขาเข้าต่ำ ทำให้กรณีที่ต้องการไฟฟ้าสูงจำเป็นต้องใช้จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์มากและพื้นที่ติดตั้งมากตามไปด้วย การผลิตไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อมีแสงอาทิตย์ ซึ่งแสงอาทิตย์ไม่มีความแน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ดังนั้นไฟฟ้าที่ได้จึงแปรผันตามสภาพอากาศ ไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่สามารถเก็บไว้ได้ (ถ้าไม่ใช่แบตเตอรี่) ดังนั้นการออกแบบระบบจึงจำเป็นต้องมีการผสมกับไฟฟ้าปกติหรือแบตเตอรี่เพื่อใช้ในเวลาที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่จ่าย



กระแสไฟ [6] หรือแม้แต่ข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ก็ต้องเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งโรงไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อต้นทุนของไฟฟ้าที่สูงขึ้น (การติดตั้งและอุปกรณ์ในการติดตั้ง รวมถึงค่าบำรุงรักษา) ซึ่งทำให้ระยะเวลาในการคืนทุนค่อนข้างนานและไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน [7]

ถึงแม้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีระยะเวลาคืนทุนที่ยาว ซึ่งอาจจะไม่สร้างแรงจูงใจให้กับภาคเอกชนในการลงทุน แต่ทางคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ได้มีการประกาศรับซื้อไฟฟ้าจากโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา นอกเหนือจากการรับซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนรายเล็ก (SPP) และรายเล็กมาก (VSPP) เพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น นอกจากนี้ยังได้เกิดงานวิจัยและพัฒนาด้านเซลล์แสงอาทิตย์และวัสดุที่เกี่ยวข้อง อุปกรณ์ในระบบที่เกี่ยวข้อง และการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อในอนาคตจะสามารถใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [8] ซึ่งเห็นได้ว่าทางภาครัฐมีการสนับสนุนและส่งเสริมให้เกิดการพัฒนา

เทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ให้มีศักยภาพและคุ้มค่ากับการลงทุนมากขึ้น

### โรงไฟฟ้าชีวมวล

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมสามารถเพาะปลูกได้ทุกฤดูกาล มีพืชหลากหลายชนิดซึ่งส่งผลให้มีแหล่งของชีวมวลหลากหลาย เช่น ข้าว มันสำปะหลัง ข้าวโพด อ้อย และปาล์ม เป็นต้น โดยชีวมวลคือ สารอินทรีย์ทุกรูปแบบที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติ และสามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานได้ โดยได้มาจากกากหรือเศษวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรหรือจากกระบวนการผลิต เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย เส้นใยและกะลาปาล์ม กากมันสำปะหลัง ชังข้าวโพด กาบและกะลามะพร้าว เป็นต้น และจากข้อมูลศักยภาพชีวมวลปีการเพาะปลูก 2556 (ตารางที่ 4) พบว่ามีปริมาณชีวมวลที่ยังไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ประมาณ 63 ล้านตัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ศักยภาพของปริมาณชีวมวลของประเทศมีมาก การที่จะนำชีวมวลมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าจึงอาจเป็นทางเลือกที่เหมาะสม

ตารางที่ 4 ศักยภาพชีวมวลที่ได้จากการปลูกพืชแต่ละชนิด ในปี พ.ศ. 2556 [9]

ชนิดชีวมวล	ปริมาณที่เกิด (ตัน)	ปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณคงเหลือ (ตัน)	เทียบเท่าไฟฟ้า (GW-h)
ฟางข้าว	19,005,628.14	8,112,801.26	10,892,826.89	7,461.59
แกลบ	8,145,269.20	8,006,283.36	138,985.84	104.39
ใบและยอดอ้อย	17,016,248.08	1,845,487.74	15,170,760.34	13,046.85
ชานอ้อย	28,026,761.54	28,026,761.54	0	0
ยอด ใบ และลำต้นข้าวโพด	9,315,603.52	465,780.18	8,849,823.34	4,832.99
ชังข้าวโพด	1,215,078.72	1,094,081.58	120,997.14	64.67
เหง้ามันสำปะหลัง	6,045,508.40	164,196.52	5,881,311.88	1,793.80
กากมันสำปะหลัง	1,813,652.52	1,813,652.52	0	0
เปลือกมันสำปะหลัง	8,463,711.76	8,463,711.76	0	0
ลำต้นปาล์มน้ำมัน	1,957,280.00	-	1,957,280.00	819.88



ตารางที่ 4 (ต่อ)

ชนิดชีวมวล	ปริมาณที่เกิด (ตัน)	ปริมาณที่นำไปใช้ ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณคงเหลือ (ตัน)	เทียบเท่าไฟฟ้า (GW-h)
ใบและทางปาล์ม	18,065,006.01	1,707,454.87	16,357,551.14	1,599.41
ทะลายปาล์มเปล่า	4,099,859.52	1,891,985.90	2,207,873.62	888.06
เส้นใยปาล์ม	2,434,291.59	2,434,291.59	0	0
กะลาปาล์ม	512,482.44	512,482.44	0	0
ใบและลำต้นถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วลันเตา	65,017.48	3,250.87	61,766.61	55.69
ตอ ราก และกิ่งก้านไม้ ยางพารา	1,094,365.00	218,873.00	875,492.00	319.55
ปลายไม้ยางพารา	2,626,476.00	2,626,476.00	0	0
ปีกไม้ยางพารา	2,626,476.00	2,626,476.00	0	0
ขี้เลื่อยและเศษไม้ยางพารา	656,619.00	656,619.00	0	0
จั่นและทะลายมะพร้าว	292,909.57	56,824.46	236,085.11	201.98
เปลือกและกาบมะพร้าว	333,310.89	329,976.78	3,334.11	3.01
กะลามะพร้าว	252,508.25	230,540.03	21,968.22	21.88
เปลือกมะม่วงหิมพานต์	70,038.56	1,674.28	68,364.29	20.85
<b>รวม</b>	<b>134,134,102.19</b>	<b>71,289,681.68</b>	<b>62,844,420.53</b>	<b>31,234.60</b>

โรงไฟฟ้าชีวมวล คือ โรงไฟฟ้าที่ใช้เศษวัสดุต่าง ๆ ที่เป็นชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าหรือไอน้ำ ซึ่งอาจจะเป็นวัสดุชนิดเดียวกันหรือหลายชนิดรวมกัน เช่น โรงน้ำตาลใช้กากอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า โรงสีใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งหลักการในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลมีหลักการเดียวกันกับโรงไฟฟ้าความร้อนทั่วไป โดยขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจะเริ่มต้นด้วยการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แล้วนำน้ำผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อเข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำ ขณะที่ชีวมวลต่าง ๆ จะถูกลำเลียงเข้าสู่เครื่องบดให้ละเอียดก่อนส่งเข้าเตาเผา เพื่อให้เกิดความร้อนในระดับสูง

ความร้อนที่ได้จากการเผาชีวมวลจะทำให้ไอน้ำในเครื่องผลิตไอน้ำเปลี่ยนสภาพจากน้ำกลายเป็นไอ ซึ่งไอน้ำแรงดันสูงนี้จะทำหน้าที่ในการหมุนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น แล้วไอน้ำที่ใช้ในการหมุนกังหันแล้วจะผ่านกระบวนการควบแน่นให้กลับมาเป็นน้ำและกลับมาได้รับความร้อนจากชีวมวลอีกครั้งเวียนไปเรื่อย ๆ ทำให้เกิดการใช้น้ำหมุนเวียนหลายครั้ง จนสุดท้ายเข้าสู่การปรับปรุงคุณภาพให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานซึ่งไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม แล้วจึงถูกปล่อยลงสู่บ่อพักขนาดใหญ่ เพื่อให้ระเหยไปเองตามธรรมชาติ





แม้ว่าศักยภาพของปริมาณชีวมวลภายในประเทศจะมีมาก แต่การจะสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวลต้องพิจารณาในหลายประเด็น เช่น พิจารณาด้านมลพิษที่เกิดขึ้น [10] เช่น มลพิษทางอากาศ (ฝุ่นละออง ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) มลพิษทางเสียง และการจราจรจากการขนส่งชีวมวล เป็นต้น ค่าต้นทุนด้านการขนส่งเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อเข้าโรงไฟฟ้า จะส่งผลให้ค่าไฟฟ้าสูงขึ้น การรวบรวมชีวมวลที่จะป้อนเข้าสู่โรงงาน เนื่องจากพื้นที่แต่ละพื้นที่ของประเทศมีการเพาะปลูกพืชที่ต่างชนิดกัน ดังนั้นพืชผลทางการเกษตรจะมีการเก็บเกี่ยวเป็นฤดูกาล ส่งผลให้ปริมาณวัตถุดิบไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งปี ค่าต้นทุนการจัดเก็บจะเพิ่มขึ้น หรือแม้แต่คุณสมบัติด้านอื่น ๆ ของวัตถุดิบที่จะส่งผลต่อราคาต้นทุน เช่น ฤทธิ์กัดกร่อนของซังข้าวโพด เนื่องจากซังข้าวโพดจะมีส่วนผสมของโพแทสเซียมไดออกไซด์ ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรง วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ส่งผลให้ต้นทุนทางด้านเทคโนโลยีการเผาไหม้สูงกว่าชีวมวลประเภทอื่น ๆ หรือวัตถุดิบมีความชื้นและสารประกอบอัลคาไลน์สูง เช่น ทะลายปาล์ม วัตถุดิบมีสิ่งปนเปื้อนมาก เช่น เหน่า มันสำปะหลัง วัตถุดิบมีน้ำหนักเบาที่ส่งผลต่อต้นทุนการขนส่ง เช่น ฟางข้าว [11] ปัญหาเหล่านี้ล้วนมีผลทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากชีวมวลมีต้นทุนสูงกว่าการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันทั้งสิ้น

ถึงแม้ว่าชีวมวลส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการผลิตพลังงานความร้อนมากกว่าผลิตไฟฟ้า หรือเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับโรงไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนประเภทอื่น แต่ภาครัฐก็มีนโยบายสนับสนุนเพื่อการพัฒนาโรงไฟฟ้าจากชีวมวลให้สามารถดำเนินการได้และเป็นที่ยอมรับของสังคมมากขึ้น รวมถึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มผลผลิตชีวมวลให้มากขึ้น คือ เทคโนโลยีการปรับปรุงพันธุ์ (plant breeding) เทคโนโลยีการทำเกษตรแม่นยำ (precision farming) และเทคโนโลยีเครื่องจักร (mechanization) [12] เพื่อในอนาคตพลังงานทดแทนจากชีวมวลจะมีบทบาทในการรักษาเสถียรภาพความมั่นคงทางพลังงานได้

## โรงไฟฟ้ากังหันลม

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมถือเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานที่สะอาด และเป็นพลังงานที่มีความยั่งยืนทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและที่ใช้แล้วไม่หมดไป พลังงานลมจึงเป็นเป้าหมายหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ หลักการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้า เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน ทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน ซึ่งใบพัดเชื่อมต่อกับแกนหมุน และจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่แปรผันตามธรรมชาติ แต่ความต้องการพลังงานที่สม่ำเสมอเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว จะต้องมีการกักเก็บพลังงาน (เช่น แบตเตอรี่) และใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้เป็นแหล่งสำรอง หรือใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น เช่น เครื่องจักรดีเซล หรือพลังงานน้ำจากเขื่อน นอกจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมอันเป็นข้อจำกัดของพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลม พื้นที่ที่มีศักยภาพในการตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานลมก็มีน้อย เพราะลักษณะคุณสมบัติของพื้นที่จำเพาะเจาะจง คือ เป็นบริเวณยอดเขาสูงที่มีการยกตัวของลมตามแนวเขา และพื้นที่เปิดโล่ง เช่น แนวชายฝั่งทะเล ตะวันออกของภาคใต้ โดยเกณฑ์ในการคัดเลือกพื้นที่ที่มีศักยภาพนั้น จะพิจารณาจากระดับความเร็วลมหรือกำลังลมเฉลี่ยระยะทางของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของการไฟฟ้าภูมิภาคอยู่ในรัศมี 10 กิโลเมตร และต้องไม่เป็นพื้นที่เขตอุทยานแห่งชาติหรือพื้นที่ป่าตามประกาศของกรมป่าไม้ หรือถ้าเป็นพื้นที่ในความดูแลของส่วนงานใด ๆ ต้องมีการตกลงการใช้พื้นที่อย่างชัดเจน [13] เมื่อพิจารณาด้านทุนในการผลิตค่อนข้างสูง และมีระยะเวลาในการคืนทุนค่อนข้างนาน จึงอาจจะไม่คุ้มค่ากับการลงทุน [14]

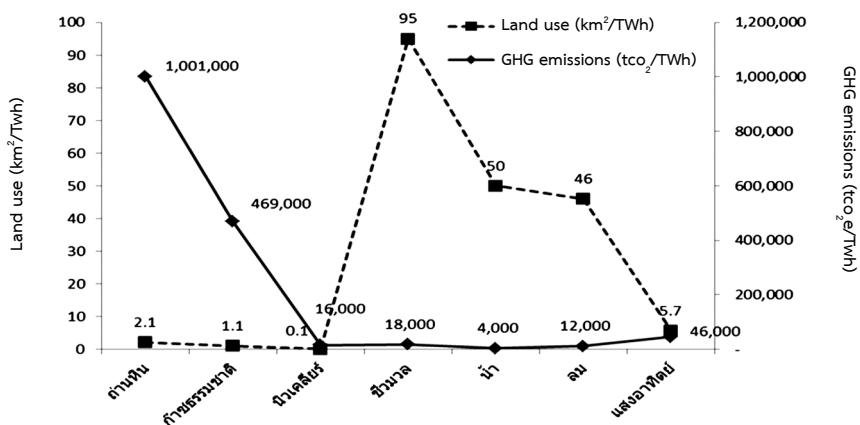


พลังงานทดแทนทั้งสามชนิดต่างมีข้อดีและข้อเสีย ซึ่งหากนำข้อมูลมาเปรียบเทียบพบข้อดีและข้อเสียแสดงดังตารางที่ 5 และจากข้อมูลการใช้พื้นที่ (ภาพที่ 1) จะพิจารณากลุ่มการใช้พื้นที่เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ใช้พื้นที่น้อย (นิวเคลียร์ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และแสงอาทิตย์) กลุ่มที่ 2 ใช้พื้นที่ปานกลาง (ลมและน้ำ) และกลุ่มที่ 3 ใช้พื้นที่มาก (ชีวมวล) และเมื่อพิจารณาในส่วนของ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะพิจารณาออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อย (น้ำ ลม นิวเคลียร์ ชีวมวล และแสงอาทิตย์) กลุ่มที่ 2 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกปานกลาง (ก๊าซธรรมชาติ) และกลุ่มที่ 3 ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาก (ถ่านหิน)

จะเห็นว่าแม้พลังงานน้ำและพลังงานลมจะเป็นพลังงานสะอาดมากเมื่อเทียบกับพลังงานถ่านหิน แต่ก็กลับต้องการใช้พื้นที่มากกว่าพลังงานถ่านหินถึง 25 เท่า ยิ่งไปกว่านั้นพลังงานชีวมวลที่แม้จะปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าพลังงานลมเพียงเล็กน้อย แต่ก็กลับต้องการใช้พื้นที่มากกว่าพลังงานน้ำเกือบเท่าตัว สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาแล้วจะเป็นพลังงานทางเลือกที่ดีที่สุด เนื่องจากใช้พื้นที่มากกว่าพลังงานถ่านหินประมาณเท่าตัว แต่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าพลังงานลมประมาณสี่เท่าแต่ก็ยังน้อยกว่าพลังงานถ่านหินอยู่มาก

ตารางที่ 5 ข้อมูลเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้พื้นที่ในการผลิตไฟฟ้า และปริมาณกากของเสียที่เกิดขึ้นต่อการผลิตไฟฟ้า 1 TWh ของโรงไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ [15]

ดัชนีชี้วัดต่อ TWh	ถ่านหิน	ก๊าซธรรมชาติ	นิวเคลียร์	ชีวมวล	น้ำ	ลม	แสงอาทิตย์
การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (tCO <sub>2</sub> )	1,001,000	469,000	16,000	18,000	4,000	12,000	46,000
การใช้พื้นที่ (km <sup>2</sup> )	2.1	1.1	0.1	95	50	46	5.7
กากของเสีย (t)	58,600	NA	NA	9,170	NA	NA	NA



ภาพที่ 1 ผลการเปรียบเทียบดัชนีการใช้พื้นที่และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงไฟฟ้าแต่ละประเภท [15]



## บทสรุป

ถึงแม้พลังงานทดแทนจะมีมากและสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่หมดไป หรือผลิตขึ้นใหม่ได้ในเวลาอันสั้น แต่ก็มีกระบวนการ เทคโนโลยี และการจัดการ เพื่อเปลี่ยนพลังงานทดแทนเหล่านั้นเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งไม่ใช่เรื่องง่ายที่จะดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว และไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือสังคม ดังนั้นการวิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีจึงเป็นเรื่องสำคัญ ถึงแม้ในปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนยังไม่สามารถผลิตได้ในปริมาณที่มีนัยสำคัญ แต่ก็ยังเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะเริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในอนาคต การที่จะเลือกประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนมาใช้ คงไม่สามารถเปรียบเทียบเฉพาะข้อดีและข้อเสียของโรงไฟฟ้า หรือจะหาข้อสรุปว่าโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนประเภทไหนที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในประเทศไทยมากที่สุด เนื่องจากการเลือกประเภทโรงไฟฟ้าต้องมีการพิจารณาปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ลักษณะพื้นที่ แหล่งวัตถุดิบ องค์ประกอบด้านสังคมที่ต่างกัน และเลือกประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนให้เหมาะสมและเกิดผลกระทบต่อคนในชุมชนหรือสังคมนั้น ๆ น้อยที่สุด รวมถึงการจัดหาแหล่งพลังงานใหม่ ๆ เพิ่มเติม ซึ่งทางภาครัฐให้การสนับสนุนโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนทุกประเภท โดยการออกมาตรการต่าง ๆ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการลงทุนด้านพลังงานทดแทน เช่น สิทธิประโยชน์ทางภาษี (ยกเว้นภาษีนำเข้าเครื่องจักรอุปกรณ์พลังงานทดแทน หรือยกเว้นภาษีเงินได้นิติบุคคล) โครงการเงินหมุนเวียนเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ ส่งเสริมการลงทุนด้านอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน หรือการสนับสนุนเงินลงทุนแบบให้เปล่า มาตรการเหล่านี้ล้วนเพื่อเป้าหมายในการดึงพลังงานทดแทนมาใช้ให้มากที่สุด นอกจากการประเมินประเภทของโรงไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อพื้นที่แล้ว การทำประชาพิจารณ์เป็นส่วนหนึ่งที่ต้องได้รับความยินยอมเห็นชอบจากประชาชน ถึงแม้บางครั้งการประเมินในเชิงเทคโนโลยี ศักยภาพการผลิต จุดคุ้มทุนจะเป็นที่ยอมรับในทางวิศวกรรมและทางเศรษฐศาสตร์ หากประชาชนต่อต้านหรือคนในพื้นที่ไม่ยอมรับก็เป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการสร้างโรงไฟฟ้าแห่งใหม่ สำหรับแหล่งเชื้อเพลิงเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันก็มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสวนทาง

กับความต้องการทางด้านพลังงานที่มีแนวโน้มมากขึ้นเป็นทวีคูณ ดังนั้นความรับผิดชอบต่อเรื่องการเตรียมความพร้อมเพื่อรับมือเรื่องวิกฤตทางพลังงานจึงไม่ใช่หน้าที่ของภาครัฐเพียงฝ่ายเดียว ประชาชนทุกคนล้วนแต่ต้องร่วมรับผิดชอบ การรับฟังเหตุผล และยอมรับถึงผลการประเมินที่อาจมีทั้งข้อดีและข้อเสียในกรณีที่ต้องสร้างโรงไฟฟ้าแห่งใหม่ ซึ่งเป็นสิ่งที่ทุกคนควรตระหนักและพิจารณาร่วมกัน นอกจากนี้ สิ่งที่ประชาชนทุกคนทำได้ และสามารถรักษาเสถียรภาพทางพลังงานได้อย่างยั่งยืนที่สุด คือการใช้พลังงานอย่างประหยัดและรู้คุณค่า

## เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2558. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน; 2558.
2. ราชกิจจานุเบกษา. คำสั่งหัวหน้ารักษาความสงบแห่งชาติ ที่ 4/2559 เล่มที่ 133 ตอนพิเศษ 15 ง หน้า 3. [อินเทอร์เน็ต]. 2559 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ย. 2559]. เข้าถึงได้จาก: [http://library2.parliament.go.th/giventake/content\\_ncpo/ncpo-head-order4-2559.pdf](http://library2.parliament.go.th/giventake/content_ncpo/ncpo-head-order4-2559.pdf)
3. การไฟฟ้าผลิตแห่งประเทศไทย. พลังงานทดแทน. [อินเทอร์เน็ต]. 2558 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ย. 2559]. เข้าถึงได้จาก: <http://www3.egat.co.th/re/>
4. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน; 2558.
5. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ข้อมูลโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนเชิงพื้นที่. [อินเทอร์เน็ต]. 2559 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ย. 2559]. เข้าถึงได้จาก: [http://www.dede.go.th/ewtadmin/ewt/dede\\_web/ewt\\_news.php?nid=41810](http://www.dede.go.th/ewtadmin/ewt/dede_web/ewt_news.php?nid=41810)



6. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. เซลล์แสงอาทิตย์ ข้อดี ข้อเสีย. [อินเทอร์เน็ต]. 2559 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ย. 2559]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.nstda.or.th/sci-kids-menu/2326-solar-cell-advantage-disadvantage>
7. วิวัฒน์ ชโนวิทย์. การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาประเภทที่ปกอาศัยในพื้นที่ที่แตกต่างกันของประเทศไทย [อินเทอร์เน็ต]. 2557 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ย. 2559]. เข้าถึงได้จาก: [http://econ.nida.ac.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3034%3A---mbe2557&catid=129%3Astudent-independent-study&Itemid=207&lang=th](http://econ.nida.ac.th/index.php?option=com_content&view=article&id=3034%3A---mbe2557&catid=129%3Astudent-independent-study&Itemid=207&lang=th)
8. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. รายงานสถานการณ์การผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พ.ศ. 2555-2556. [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 1 ก.พ. 2560]. เข้าถึงได้จาก: [http://www4.dede.go.th/dede/images/stories/jum\\_circular\\_55/PV\\_Status\\_Report\\_thai\\_final.pdf](http://www4.dede.go.th/dede/images/stories/jum_circular_55/PV_Status_Report_thai_final.pdf)
9. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. ผลการประเมินศักยภาพพลังงานชีวมวลแต่ละชนิด. [อินเทอร์เน็ต]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 1 ก.พ. 2560]. เข้าถึงได้จาก: [http://biomass.dede.go.th/biomass\\_web/index.html](http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html)
10. กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. แนวทางการเฝ้าระวังพื้นที่เสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ กรณีโรงไฟฟ้าชีวมวล. นนทบุรี: กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัยและกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข; 2558.
11. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 4: พลังงานชีวมวล. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน; 2554.
12. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.), บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. รายงานสถานการณ์เทคโนโลยีพลังงานชีวมวลของประเทศไทย 2556. ปทุมธานี: สำนักงานคณะกรรมการนโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ (สวทน.); 2556.
13. ทงกฤษณ์ ประภักดี. กังหันลมผลิตไฟฟ้า: มุมมองด้านสิ่งแวดล้อม. วารสารสิ่งแวดล้อม 2553;13(3):42-8.
14. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. โครงการศึกษาความเป็นไปได้และผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น ในโครงการสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานลมในแหล่งลมดี. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน; 2555.
15. Brook BW, Bradshaw CJ. Key role for nuclear energy in global biodiversity conservation. *Conserv Biol* 2015;29(3):702-12.