

## โครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์ของโรงไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

นายยุทธชัย คงชูศรี<sup>1</sup>, นายธนพล เข้มเนตการณ์<sup>2</sup>, นายธวัชชัย อินทสระ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>กองบำรุงรักษา เขต 3 (ภาคใต้) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค yuttatu@gmail.com

<sup>2</sup>กองบำรุงรักษา เขต 3 (ภาคใต้) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค thanapon.kha@gmail.com

<sup>3</sup>กองบำรุงรักษา เขต 3 (ภาคใต้) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค t.intasara@gmail.com

### บทคัดย่อ

โครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์ กำลังการผลิตไฟฟ้า 1,500 kW ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตั้งอยู่ที่ บ้านพังเสม็ด ตำบลจะทิ้งพระ อำเภอสังขละบุรี จังหวัดสงขลา โครงการมีมูลค่าการลงทุน 129 ล้านบาท เริ่มงานก่อสร้างเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2552 ก่อสร้างแล้วเสร็จสามารถผลิตไฟฟ้าครั้งแรกเมื่อเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 โครงการดังกล่าวมีวัตถุประสงค์ เพื่อติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบ Grid Connected ขนาดไม่ต่ำกว่า 1,500 kW ย้ายขนานเข้าระบบจำหน่าย เพื่อรักษาแรงดันปลายสาย นำพลังงานจากธรรมชาติมาใช้ในการผลิตไฟฟ้า เป็นการช่วยลดปัญหามลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อตอบสนองนโยบายของรัฐบาลในการนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์ เป็นแหล่งศึกษาเรียนรู้ ฝึกอบรมบุคลากรของประเทศ นักเรียน นักศึกษา ประชาชนทั่วไป ให้มีความรู้ด้านพลังงานทดแทนและระบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น และได้ให้ข้อมูลที่ เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการพัฒนาส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานลมของประเทศไทย อาทิเช่น ข้อมูลค่าความเร็วลม ทิศทางลม ที่ระดับความสูง 80 เมตร เฉลี่ย 3 ปี บริเวณชายฝั่งทะเลอ่าวไทย อำเภอสังขละบุรี จังหวัดสงขลา และมีทำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีการแจกแจงไวบูลล์ ข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้า ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการพยากรณ์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะสามารถผลิตได้ รวมไปถึงต้นทุนการผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ และการดำเนินโครงการ เมื่อพบว่าพื้นที่เป้าหมายมีศักยภาพที่มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ รวมไปถึงปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการการผลิตไฟฟ้าซึ่ง ประกอบด้วย

5 ปัจจัย ประกอบด้วย คน เงิน วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร และการมีส่วนร่วม โดยโครงการที่ประสบความสำเร็จจะต้องจัดการทุกปัจจัยให้มีความสัมพันธ์กันกับช่วงเวลาของการดำเนินโครงการ กล่าวคือ ช่วงเวลาของการศึกษาศักยภาพของพื้นที่ และ ช่วงเวลาของการพัฒนาโครงการ ซึ่งในช่วงเวลาของการพัฒนาโครงการสามารถแบ่งออกเป็น ช่วงเวลาจัดซื้อจัดจ้างและการติดตั้งและทดสอบ และช่วงเวลาเดินระบบผลิตไฟฟ้าและการบำรุงรักษา และข้อควรพิจารณาต่าง ๆ เช่น การควบคุมสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกังหันลมผลิตไฟฟ้าการซ่อมแซมและบำรุงรักษากังหันลมผลิตไฟฟ้า ตลอดจนปัญหาทางเทคนิคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และวิธีแก้ไขปัญหา เพื่อพัฒนาให้โครงการมีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อไป ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้ถูกรวบรวมไว้ในบทความฉบับนี้

**คำสำคัญ:** กังหันลมผลิตไฟฟ้าไม่มีเกียร์ (Gearless Wind Turbine)

### 1. บทนำ

ประเทศไทยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล (ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และ น้ำมัน) ในการผลิตไฟฟ้าประมาณร้อยละ 70 เพื่อรองรับการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการเจริญเติบโตของรายได้ประชาชาติเฉลี่ยปีละประมาณร้อยละ 4 (Energy Policy and Planning Office, 2011) แต่ศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าภายในประเทศยังไม่พอกับความต้องการจึงต้องนำเข้าพลังงานไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน โดยในระหว่างปี พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ. 2554 มีมูลค่าการนำเข้าพลังงานไฟฟ้าเป็นเงิน 3,529 ล้านบาท, 7,273 ล้านบาท และ 13,766 ล้านบาท (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2009-2011 ตามลำดับ เพื่อเป็นการลดการ

นำเข้าพลังงานไฟฟ้าและลดการนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้า รัฐบาลจึงได้กำหนดให้นำพลังงานทดแทนมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทดแทนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากฟอสซิล

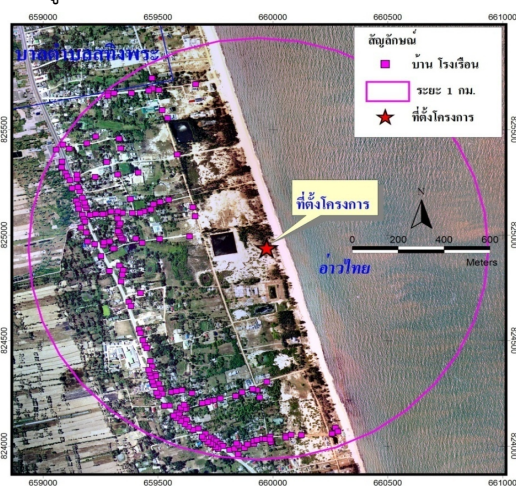
การนำพลังงานทดแทนมาใช้ในการผลิตพลังงาน คณะรัฐมนตรี ได้มีมติเห็นชอบแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี เมื่อวันที่ 28 มกราคม 2552 โดยมีเป้าหมายการพัฒนาพลังงานทดแทนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2565 คิดเป็นร้อยละ 20.30 ของการใช้พลังงานทั้งหมด และเห็นชอบแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555 ถึง พ.ศ. 2564) (AEDP 2012-2021)

รัฐบาลได้ให้การสนับสนุนงบประมาณให้แก่หน่วยงานราชการต่าง ๆ ในการติดตั้งกังหันลมผลิตไฟฟ้าเพื่อเป็นการสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมให้เห็นเป็นตัวอย่างในหลายพื้นที่ อาทิ (1) โครงการกังหันลมผลิตไฟฟ้าบ้านทะเลปิง อำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช (2) โครงการระบบผลิตไฟฟ้ากังหันลมลำตะคอง อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา (3) โครงการสถานีกังหันลมผลิตไฟฟ้าสทิงพระ อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา (4) โครงการติดตั้งกังหันลมบำบัดน้ำเสีย อำเภอบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี (5) โครงการติดตั้งกังหันลมบำบัดน้ำเสีย อำเภอบางใหญ่ จังหวัดนนทบุรี (6) ศูนย์พัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นต้น

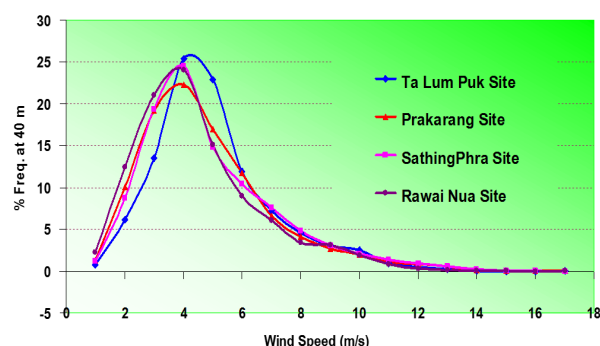
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้เล็งเห็นความสำคัญของโครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมให้เห็นเป็นตัวอย่าง จึงได้จัดสร้างศูนย์การเรียนรู้การผลิตไฟฟ้าด้วยแหล่งพลังงานสะอาด และอาคารประหยัดพลังงาน ภายในศูนย์การเรียนรู้ ได้ติดตั้งกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์ 1,500 kW จำนวน 1 ตัว กังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบมีอัตราเร่ง 10 kW จำนวน 1 ตัว บ้านอัจฉริยะ (PEA Smart Home) ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ และอาคารประหยัดพลังงานโดยใช้หลอด LED เพื่อให้หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน นักวิชาการ นักศึกษา เยาวชน และประชาชนทั่วไป ได้มาศึกษาเรียนรู้ ข้อมูลความเร็วลม และข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ วิธีการควบคุมสั่งการสถานีกังหันลมผลิตไฟฟ้า การซ่อมแซมแก้ไข และงานบำรุงรักษากังหันลม ตลอดจนปัญหาทางเทคนิคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และวิธีแก้ไขปัญหา ซึ่งจะเป็นองค์ความรู้ นำไปสู่การพัฒนาทางด้านพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนของประเทศไทยต่อไป

## 2. ที่มาของโครงการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์

โครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้รับการสนับสนุนเงินลงทุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี คิดเป็น 60% ของมูลค่าโครงการ โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคลงทุน 40% ของมูลค่าโครงการ และเป็นผู้ดำเนินการจัดทำโครงการ เริ่มต้นโครงการได้มีการศึกษาสภาพลม โดยติดตั้งเสาวัดความเร็วลม ในพื้นที่ภาคใต้ 4 จังหวัด บริเวณชายฝั่งทะเลทิศตะวันออก และชายฝั่งทะเลทิศตะวันตก ได้แก่บริเวณ (1) แหลมตะลุมพุก อำเภอปากพะนิง จังหวัดนครศรีธรรมราช (2) บริเวณชายหาดมหาราช อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา แสดงตามรูปที่ 1 (3) บริเวณแหลมปะการัง อำเภอตะกั่วป่า จังหวัดพังงา และ (4) บริเวณชายหาดบ้านราไวย์เหนือ อำเภอทุ่งหว้า จังหวัดสตูล จากผลการศึกษาข้อมูลลมเป็นเวลา 2 ปี (พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2545) แสดงตามรูปที่ 2



รูปที่ 1 พื้นที่ติดตั้งโครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้า



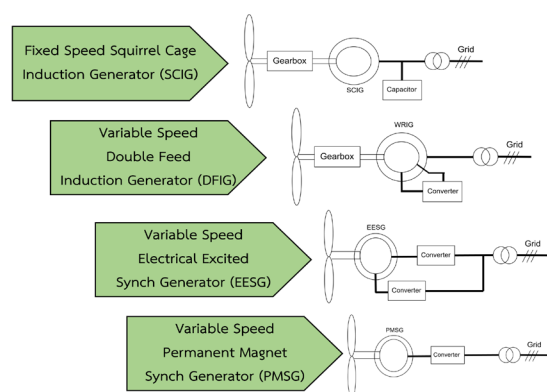
รูปที่ 2 ผลการศึกษาข้อมูลความเร็วลม

จากรูปที่ 2 ผลการศึกษาสภาพลมพบว่า บริเวณชายหาดมหาราช อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา มีค่าความเร็วลมเฉลี่ยต่ำกว่าแหลมตะลุมพุก เล็กน้อย (4.2 เมตรต่อวินาที (m/s)) แต่ด้วยเรื่องที่ดินบริเวณชายหาดมหาราช อำเภอสทิงพระ

จังหวัดสงขลา เป็นที่ดินสาธารณะ จึงทำให้การดำเนินการก่อสร้างโครงการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันชนิดไม่มีเกียร์นั้น สามารถดำเนินการได้

## 2.1 ระบบผลิตไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์

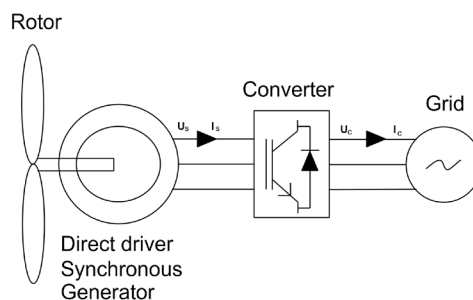
เทคโนโลยีของกังหันลมผลิตไฟฟ้าได้พัฒนาถึงปัจจุบัน แสดงตามรูปที่ 3 สามารถแบ่งประเภทเทคโนโลยีเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ แบบมีเกียร์ (Gearbox) และ แบบไม่มีเกียร์ (Gearless)



รูปที่ 3 โดอะแกรมกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์

ซึ่งโครงการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมของการไฟฟ้าส่วนภูมินาคนั้น เลือกใช้เทคโนโลยี Permanent-Magnet Synchronous Generator; PMSG ผู้ผลิตได้พัฒนาจากแบบมีเกียร์เมื่อปี พ.ศ. 2534 เหตุผลที่เลือกใช้เทคโนโลยีแบบไม่มีเกียร์เนื่องจาก มีปริมาณน้ำหนักน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับแบบมีเกียร์ สามารถทำงานได้ด้วยความเร็วรอบต่ำ สามารถผลิตไฟฟ้าได้อัตรา 1:1 โดยตรง ขณะที่แบบมีเกียร์ ใบพัดจะหมุนด้วยแรงลมขับเคลื่อนซึ่งต่อดัวยเกียร์ไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น กังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 1,500 kW ใบพัดหมุนด้วยความเร็ว 15 ถึง 20 รอบต่อนาที เกียร์จะเพิ่มรอบให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นประมาณ 1,800 รอบต่อนาที ส่งผลให้แบบมีเกียร์จะมีเสียงที่ดังกว่าแบบไม่มีเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในเทคโนโลยีแบบไม่มีเกียร์ จะไม่ต้องการพลังงานจากภายนอกในการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ไม่มีความสูญเสียที่ทองแดงสำหรับชุดขดลวดสนามเนื่องจากสามารถผลิตสนามแม่เหล็กได้เองจากแม่เหล็กถาวรที่มีความเข้มข้นสูง ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดเล็กลงแต่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มาก ในด้านการบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาซ่อมแซมแบบไม่มีเกียร์จะไม่ค่าใช้จ่ายของระบบเกียร์ ฟันเฟือง น้ำมันเกียร์ ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า จึงเป็นเหตุผลให้การไฟฟ้าส่วนภูมินาคเลือกกังหันลมเทคโนโลยีไม่มีเกียร์

เทคโนโลยีกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์เป็นเทคโนโลยีพัฒนาโดยบริษัท LEITWIND ประเทศอิตาลี โดยมีบริษัท Leitner Shriram Manufacturing Limited ประเทศอินเดีย เป็นฐานการผลิต การไฟฟ้าส่วนภูมินาค ได้ว่าจ้างบริษัท Environtech 2 ประเทศไทย นำเทคโนโลยีดังกล่าวเข้ามาทดลองติดตั้งใช้งาน กำลังการผลิต 1,500 kW จำนวน 1 ตัว จึงนับได้ว่าเป็นกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์ตัวแรกของประเทศไทย แสดงตามรูปที่ 4 มีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 4 โดอะแกรมกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์

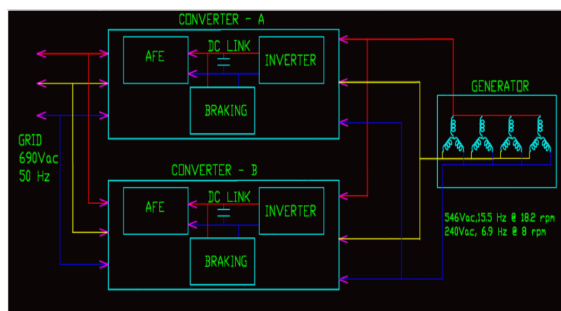
1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิด Permanent-Magnet Synchronous Generator รุ่น LTW77 1500 kW มีน้ำหนัก 36,000 กิโลกรัม ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบ่งขดลวด และแม่เหล็กถาวรออกเป็น 2 ชุด (ชุด A และชุด B) แยกอิสระต่อกัน ในกรณีที่ขดลวดหรือแม่เหล็กถาวรชุด A ชำรุด สามารถผลิตไฟฟ้าจากขดลวดชุด B เพียงชุดเดียวได้ โดยมีกำลังการผลิตลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง (750 kW) การออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวช่วยเพิ่มโอกาสในการผลิตไฟฟ้าได้ต่อเนื่องมากขึ้น แสดงตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 Permanent-Magnet Synchronous Generator

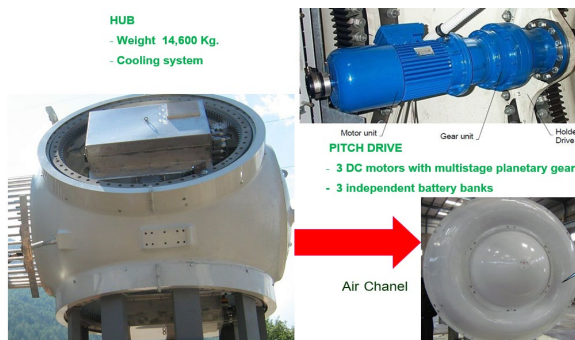
2. เพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์ (Power Converter) ชนิด 4Q-IGBT จำนวน 2 ชุด (ชุด A และชุด B) พิกัดชุดละ 750 kW ต่อขนานกัน เชื่อมต่อ กับระบบไฟฟ้าที่แรงดัน 690 V, 3 เฟส, 50 Hz ผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า 690 V/33 kV, ขนาด 2000 kVA ผลิตไฟฟ้าจ่ายโหลด บริเวณ อ.สทิงพระ จ.สงขลา ผ่านระบบจำหน่าย 33 kV ฟีดเดอร์ที่ 5 ของสถานีไฟฟ้าสทิงพระชั่วคราวของการไฟฟ้าส่วนภูมินาค เพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์สามารถ

ปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ ระหว่าง 0.95 lag – 1– 0.95 led แสดงตามรูปที่ 6



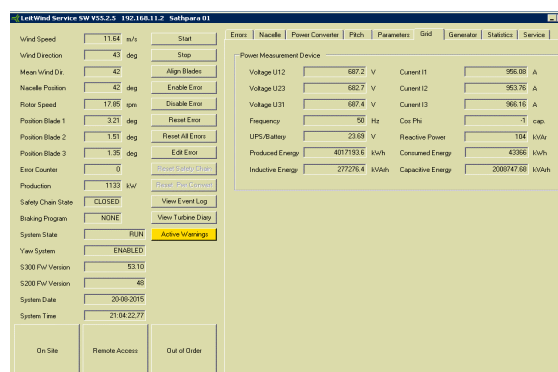
รูปที่ 6 เพาเวอร์คอนเวอร์เตอร์ชนิด 4Q-IGBT

3. ใบพัดกังหันลมทำจากวัสดุ Glass fiber reinforced /polyester จำนวน 3 ใบ น้ำหนักใบละ 5,590 กิโลกรัม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 76.6 เมตร ใบพัดแต่ละใบสามารถปรับมุมได้อิสระต่อกัน (Pitch control, Independent drives) ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีระบบแบตเตอรี่สำรองขนาด 12 V 7.2 A จำนวน 36 ยูนิต ควบคุมปรับองศาใบพัดเพื่อให้รับลมและไม่รับกระแสลมอัตโนมัติ และถึงแม้ว่ากระแสไฟฟ้าจะดับ การปรับองศาอัตโนมัติของใบพัดก็ยังทำงานได้ แสดงตามรูปที่ 7



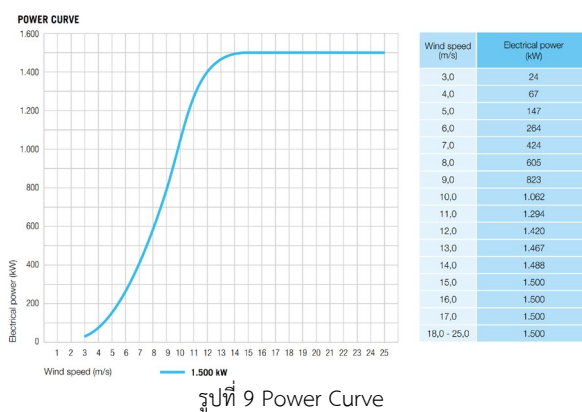
รูปที่ 7 Pitch control

4. ระบบควบคุมกังหันลมเป็นระบบอัตโนมัติ สามารถควบคุมสั่งการระยะไกลโดยใช้ระบบ Leitwind SCADA เทคโนโลยี SCADA โดยไม่จำเป็นต้องมีพนักงานประจำ แสดงในระบบ SCADA ตามรูปที่ 8

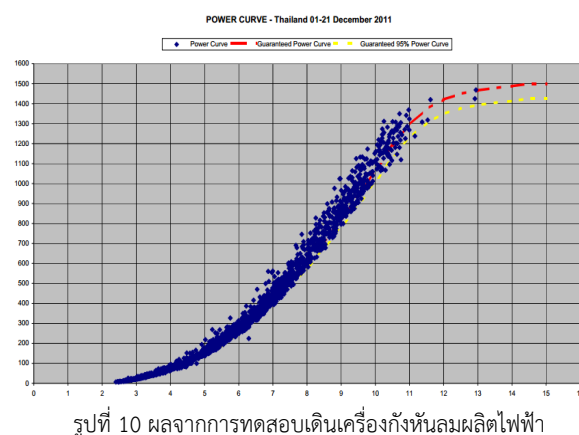


รูปที่ 8 ระบบ SCADA

5. การผลิตไฟฟ้าเริ่มต้นที่ความเร็วลม (Cut-in speed) ที่ 3 เมตรต่อวินาที (m/s) สามารถผลิตไฟฟ้าที่พิกัด 1,500 kW ที่ความเร็วลม 15 เมตรต่อวินาที m/s (17.8 rpm) ความเร็วลมหยุดการทำงาน (Cut-off speed) ที่ 25 เมตรต่อวินาที (m/s) กังหันผลิตไฟฟ้าถูกออกแบบตามมาตรฐาน IEC 1-61400IIA เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีความเร็วลมเฉลี่ย 8.5 เมตรต่อวินาที (m/s) กำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่น LTW77 1,500 kW (Power Curve) แสดงตามรูปที่ 9 , (Power Curve) ผลจากการทดสอบเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า แสดงตามรูปที่ 10



รูปที่ 9 Power Curve



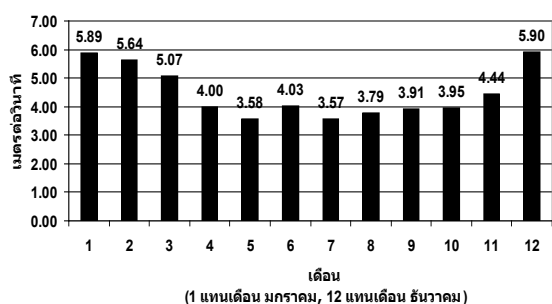
รูปที่ 10 ผลจากการทดสอบเดินเครื่องกังหันลมผลิตไฟฟ้า

## 2.2 ข้อมูลความเร็วลม

โครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์ ขนาด 1.5 MW ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค บ้านพังเสม็ด อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา มีระบบการบันทึกข้อมูลค่าความเร็วลมอัตโนมัติโดย PLC ผลิตภัณฑ์ Siemens รุ่น S7-300 และ รุ่น S7-200 ซึ่งใช้เครื่องวัดความเร็วลมชนิด Ultrasonic Anemometer ผลิตภัณฑ์ Gill Instrument Ltd. ติดตั้งอยู่บริเวณส่วนหลังของด้านนอกของห้องเครื่องกังหันลมผลิตไฟฟ้า (Nacelle of wind turbine) ที่ระดับความสูง 80 เมตร เก็บค่าเฉลี่ยความเร็วลมทุก 10 นาที ข้อมูลลมตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 เมื่อ



นำมาคำนวณหาค่าความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือน แสดงผลตามรูปที่ 11



รูปที่ 11 ค่าเฉลี่ยความเร็วลมรายเดือน

ความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนในรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าชายฝั่งทะเลตะวันออกภาคใต้ตอนล่าง ณ บริเวณชายหาดมหาราช อำเภอสังขละบุรี จังหวัดสงขลา มีค่าความเร็วเฉลี่ยต่ำสุดที่ 3.57 เมตรต่อวินาที (m/s) ในเดือนมิถุนายน ค่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดที่ 5.90 เมตรต่อวินาที (m/s) ในเดือนธันวาคม ค่าความเร็วเฉลี่ยทั้งปี 4.48 เมตรต่อวินาที (m/s)

เมื่อนำข้อมูลลม มาทำการแจกแจงไวบูลล์ (Weibull Distribution) ค่าความเร็วลม มีค่าพารามิเตอร์รูปร่าง  $k=1.72$  (Form Parameter) แพลกเตอร์ระดับมีค่า 4.4 เมตรต่อวินาที (m/s) (Scaling factor) ผลการแจกแจงไวบูลล์แสดงตามตารางที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 กำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมรุ่น LTW 77 1,500 kW แสดงตามตารางที่ 1 คอลัมน์ที่ 3 เมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 และ 3 พยากรณ์หาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่คาดว่าจะสามารถผลิตได้ในเวลา 1 ชั่วโมง มีค่า 147,073.70 W หรือคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะสามารถผลิตได้ในหนึ่งปี  $(147,073.70 \text{ W}/1000) \times 24 \text{ ชม.} \times 365 \text{ วัน} = 1,288,366 \text{ kWh}$  ต่อปี พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงซึ่งจะกล่าวในลำดับต่อไป

ตารางที่ 1 ความเร็วลมแจกแจงไวบูลล์ กำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมรุ่น LTW 77 1,500 kW และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่คาดว่าจะสามารถผลิตได้

ความเร็วลม (m/s)	ความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (%)	กำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมรุ่น LTW77 (W)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่คาดว่าจะสามารถผลิต (W/h)
1	12.52%	0	0.00
2	17.21%	0	0.00
3	17.74%	24,000	4,257.60
4	15.63%	67,000	10,472.10
5	12.31%	147,000	18,095.70
6	8.84%	264,000	23,337.60
7	5.87%	424,000	24,888.80
8	3.62%	605,000	21,901.00

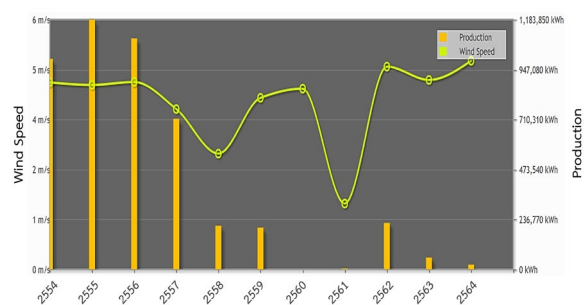
ความเร็วลม (m/s)	ความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (%)	กำลังการผลิตไฟฟ้าของกังหันลมรุ่น LTW77 (W)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่คาดว่าจะสามารถผลิต (W/h)
9	2.10%	823,000	17,283.00
10	1.14%	1,062,000	12,106.80
11	0.58%	1,294,000	7,505.20
12	0.28%	1,420,000	3,976.00
13	0.13%	1,467,000	1,907.10
14	0.06%	1,488,000	892.80
15	0.02%	1,500,000	300.00
16	0.01%	1,500,000	150.00
	98.06%		147,073.70

## 2.3 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้า

ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ 2554 ถึงเดือน ธันวาคม 2556 (เป็นช่วงเวลาที่กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพไม่พบปัญหาการชำรุด) สามารถผลิตไฟฟ้าได้รวม 3,407,123 kWh เฉลี่ยรายปี 1,135,708 kWh ต่อปี รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง มีค่าน้อยกว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยพยากรณ์จากสถิติการแจกแจงไวบูลล์  $1,288,366 - 1,135,708 = 152,658 \text{ kWh}$  ต่อปี ค่าความผิดพลาดคิดเป็น 11.85 % สาเหตุเกิดจากอุปกรณ์ภายในสถานีกังหันลมผลิตไฟฟ้าชำรุด ทำให้ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าต่อเนื่อง 12 เดือนใน 1 ปี ดังนั้นการบริหารจัดการงานซ่อมแซมบำรุงรักษากังหันลมที่มีประสิทธิภาพ ถือเป็นเรื่องสำคัญต่อผู้ประกอบการธุรกิจผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ช่วยให้สามารถผลิตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง หากสามารถบริหารจัดการงานซ่อมแซมบำรุงรักษากังหันลมอย่างมีประสิทธิภาพ ผลิตไฟฟ้าได้ต่อเนื่อง 12 เดือน ใน 1 ปี จะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้  $((36/32) \times 1,135,708) = 1,277,672 \text{ kWh}$  ต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยพยากรณ์จากข้อมูลลมแจกแจงไวบูลล์ 1,288,366 kWh ต่อปี พบว่ามีค่าความผิดพลาดเพียง  $1,288,366 - 1,277,672 = 10,694 \text{ kWh}$  ต่อปี คิดเป็นค่าความผิดพลาด 0.83 % ถือได้ว่าวิธีคำนวณกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากข้อมูลลมแจกแจงไวบูลล์ในตารางที่ 2 มีความแม่นยำ ข้อมูลลมแจกแจงไวบูลล์ชุดดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประมาณหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่คาดว่าจะสามารถผลิตได้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ระดับความสูง 80 เมตร ติดตั้งบริเวณใกล้เคียงกันได้

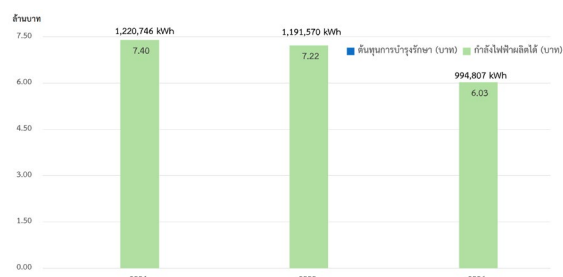
ตารางที่ 2 ความเร็วลมเฉลี่ยรายปี ระยะเดินเครื่อง พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

ปี พ.ศ.	ความเร็วลมเฉลี่ยรายปี (m/s)	ระยะเวลาเดินเครื่อง (เดือน)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh)
2554	4.70	11	1,220,746
2555	4.33	11	1,191,570
2556	4.40	10	994,807
2557	3.9	10	713,807
2558	2.8	6	206,871
2559	4.1	7	197,903
2560	4.3	0	0
2561	1.6	2	42,230
2562	4.9	6	220,273
2563	4.6	10	56,315
2564	4.9	2	22,737
รวมพลังงานไฟฟ้าผลิตได้			4,867,259
พลังงานไฟฟ้าผลิตได้เฉลี่ยต่อปี 2554-2557			1,135,708
พลังงานไฟฟ้าผลิตได้เฉลี่ยต่อปี 2554-2564			442,478

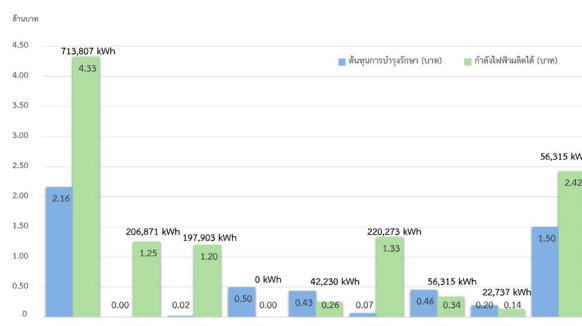


รูปที่ 12 ค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละปี

โครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์ ติดตั้งเป็นเวลา 11 ปี สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 4,867,259 kWh คิดเป็นจำนวนเงิน  $4,867,259 \text{ kWh} \times 6.06 \text{ บาท (FIT)} = 29,495,589.54 \text{ บาท}$  และมีค่าบำรุงรักษาตลอดระยะเวลาประมาณ 5,341,211.85 บาท โดยมีค่า plant factor เฉลี่ยประมาณ 3.58 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการบำรุงรักษาจากประวัติการชำรุดของอุปกรณ์และกำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงระยะประกัน (พ.ศ. 2554 ถึง พ.ศ. 2556) และช่วงหมดระยะประกัน (พ.ศ. 2557- พ.ศ. 2565 (แผนล่วงหน้า)) แสดงผลตามรูปที่ 13 และรูปที่ 14



รูปที่ 13 ต้นทุนการบำรุงรักษาและการผลิตไฟฟ้า (ระยะประกัน)



รูปที่ 14 ต้นทุนการบำรุงรักษาและการผลิตไฟฟ้า (หมดประกัน)

และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนการบำรุงรักษาและหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าได้จะเห็นได้ว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 - พ.ศ. 2556 เป็นช่วงเวลาที่ยังสามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มประสิทธิภาพ หลังจากนั้น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 กังหันลมผลิตไฟฟ้าอุปกรณ์เริ่มชำรุดจากอายุการใช้งาน ซึ่งปัจจัยที่มีผลของการจัดการการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีทั้งปัจจัยของความสำเร็จและปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการจัดการผลิตไฟฟ้า เมื่อสามารถแก้ไขปัจจัยที่มีผลของการจัดการการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมได้ โครงการนี้ มีความเหมาะสมในการลงทุน และเหมาะสมที่จะดำเนินโครงการต่อไป ซึ่งจะกล่าวในลำดับต่อไป

## 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลม การบำรุงรักษา ปัญหาต่าง ๆ และแนวทางวิธีการแก้ไข ปัญหา

ปัจจัยของความสำเร็จและปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการจัดการผลิตไฟฟ้า มีประเด็นหลัก คือ การวางแผนร่วมกันโดยใช้ทรัพยากร (คน เงิน วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องจักร) ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดผ่านกระบวนการจัดการแบบการมีส่วนร่วม สามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน ดังแสดงตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลม

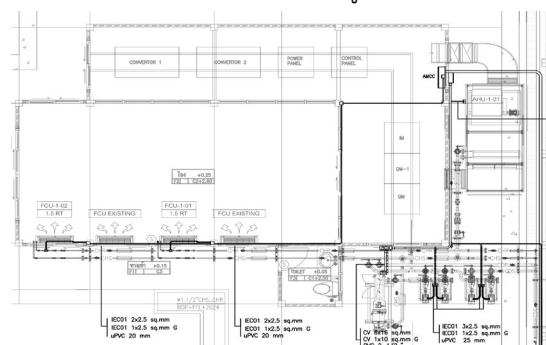
ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการการผลิตไฟฟ้า	ปัจจัยของความสำเร็จ	ปัจจัยที่เป็นอุปสรรค
1.คน	จัดสรรคนให้เหมาะสมกับช่วงเวลาของการทำงานโครงการ	ไม่มีการจัดสรรคนให้มีความเหมาะสมกับช่วงเวลาของการทำงาน หรือมีการมอบหมายแต่เป็นบุคคลที่ไม่มีความรู้ที่เพียงพอ

ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการผลิตไฟฟ้า	ปัจจัยของความสำเร็จ	ปัจจัยที่เป็นอุปสรรค
2.เงิน	มีแผนงบประมาณหลักและแผนงบประมาณสำรองเพื่อรองรับการทำงาน	ไม่มีแผนงบประมาณหลักและงบประมาณสำรองเพื่อรองรับการทำงาน
3.วัสดุอุปกรณ์	ต้องสามารถจัดหาอะไหล่มาทดแทนได้ในเวลาที่เหมาะสม	ไม่สามารถจัดหาอะไหล่มาทดแทนได้ในเวลาที่เหมาะสม
4.เครื่องจักร	ต้องมีเครื่องมือประจำโครงการและเครื่องจักรเพื่อใช้เป็นเครื่องครัว	ไม่มีเครื่องมือประจำโครงการและไม่สามารถจัดหาเครื่องจักรเพื่อใช้เป็นเครื่องครัวได้
5.การมีส่วนร่วม	1. สำหรับประชาชน โดยรอบพื้นที่โครงการ เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ ความเข้าใจถึงข้อดี ข้อเสียของกังหันลมผลิตไฟฟ้าเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดจากความไม่เข้าใจที่ถูกต้อง 2. สำหรับเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบโครงการ เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ในการดำเนินโครงการของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	ไม่มีการประชุมเพื่อการวางแผนและกำหนดแนวทางการจัดการเพื่อแบ่งปันความรับผิดชอบภาระงานของโครงการกันอย่างจริงจัง หรือหากมีการประชุมก็ดำเนินการหลังจากได้รับงบประมาณมาแล้วซึ่งไม่ได้วางแผนงบประมาณแบบบูรณาการ

การบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์ ตามวาระการบำรุงรักษาของผู้ผลิต 2 ครั้งต่อปี ซึ่งการวางแผนการบำรุงรักษาครบถ้วนเหมาะสมเป็นไปตามข้อกำหนดของผู้ผลิต

ปัญหาที่พบในโครงการสาธิตการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์ขนาด 1,500 kW ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา หลังจากติดตั้งใช้งานไประยะเวลาหนึ่งคือปัญหามลภาวะจากการกักตัวของเกลือทะเล ส่งผลกระทบต่อระบบระบายความร้อนภายในห้องควบคุมขั้วชุด การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้เปลี่ยนระบบระบายความร้อนให้กับพาวเวอร์คอนเวอร์เตอร์จากเดิมเปลี่ยนระบบจากเดิม Air Cooled เป็นระบบ Water Cooled

Type และเพิ่มความสามารถในการทำงานให้เพียงพอกับชุดพาวเวอร์คอนเวอร์เตอร์และห้องควบคุม เนื่องจากพาวเวอร์คอนเวอร์เตอร์ ต้องการระบายความร้อนที่ปรับเปลี่ยนไปตามอัตราการผลิตไฟฟ้าของกังหันลม ซึ่งไม่คงที่ เปลี่ยนระบบปรับอากาศในพื้นที่สำนักงานและอาคาร Smart Home ให้เป็นระบบปรับอากาศแบบใหม่ เพื่อลดปัญหาการกักตัวของไอทะเลที่เกิดขึ้น ติดตั้งชุดควบคุมเครื่อง Chiller และอุปกรณ์ประกอบรวมของระบบไว้ภายในห้องควบคุมทั้งหมดเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการกักตัวของไอทะเลแล้วเสร็จ เมื่อปี พ.ศ.2562 แสดงตามรูปที่ 15



รูปที่ 15 การออกแบบระบบระบายความร้อนใหม่

จากข้อมูลหน่วยการผลิตไฟฟ้าสะสมข้างต้นนั้น จะเห็นได้ว่าตั้งแต่ปี พ.ศ.2558 เป็นต้นมา หน่วยการผลิตไฟฟ้าลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาข้อมูลทางด้านเทคนิคต่างๆ แล้ว ควรจะผลิตไฟฟ้าสะสมได้มากกว่าที่เป็นอยู่ปัจจุบันและควรมีค่า plant factor เฉลี่ยมากกว่านี้ ทั้งนี้เนื่องจากที่ผ่านมาประสบปัญหาการชำรุดของอุปกรณ์ที่ทำให้กังหันลมขัดข้องไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ และต้องใช้เวลาในการจัดหา/จัดซื้ออุปกรณ์มาเปลี่ยนทดแทน เนื่องจากอุปกรณ์ที่ชำรุดส่วนใหญ่ไม่มีผลิตในประเทศไทย จำเป็นต้องตรวจสอบและจัดหาจากต่างประเทศ รวมทั้งความชำนาญของผู้เกี่ยวข้องในการตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ต้องการนำมาเปลี่ยนทดแทนค่อนข้างน้อย จนเป็นเหตุให้เมื่อกังหันลมชำรุดขัดข้องแล้วต้องใช้ระยะเวลาในการซ่อมแซมให้กลับมาผลิตไฟฟ้าได้ดังเดิม

โดยตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2557 ถึง พ.ศ. 2563 มีประวัติการชำรุดตามตารางที่ 4, รายละเอียดการแก้ไขจะดำเนินการในปี พ.ศ.2564 ตามตารางที่ 5 และแนวทาง Master Plan ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 4 ประวัติการชำรุดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า 1,500 kW

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	รายการ
1	9 ก.พ. 2557	จ้างเหมาซ่อมแซม IGBT Power Converter B (ผู้ผลิตอินเดีย)
2	21 พ.ย. 2557	PLC และ อุปกรณ์ป้องกัน (ประเทศเยอรมัน)
3	9 ก.ย. 2559	ซีลระบบเบรก (ประเทศไทย)

ลำดับ	วัน/เดือน/ปี	รายการ
4	21 มี.ค. 2560	Pitch Blade Converter (ประเทศเยอรมัน)
5	28 ก.พ. 2561	Yaw Switch (ประเทศอินเดีย)
6	6 มี.ค. 2561	งานปรับปรุงระบบระบายความร้อน (ประเทศไทย)
7	21 ส.ค.2561	Anemometer (ประเทศอังกฤษ)
8	5 ม.ค. 2562	Pitch Blade Battery (ประเทศไทย)
9	22 ก.ค. 2562	ซ่อมแซม Inverter (ประเทศไทย)
10	18 ก.ย. 2563	Profibus OLM Module (ประเทศเยอรมัน)
11	10 ก.พ. 2563	ซ่อมแซมตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้า 2000 kVA (ประเทศไทย)

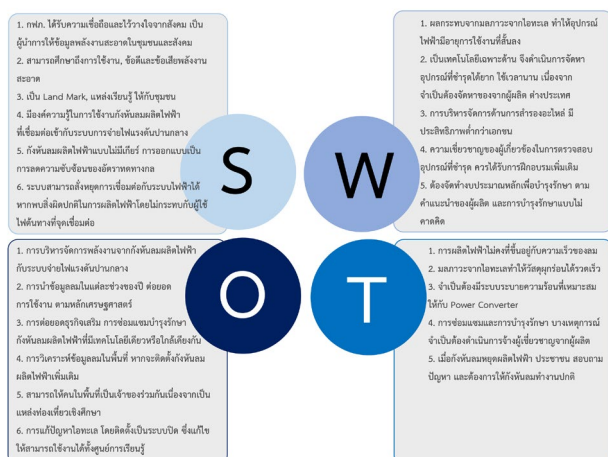
ตารางที่ 5 การแก้ไขอุปกรณ์ชำรุดกังหันลมผลิตไฟฟ้า 1,500 kW ปี พ.ศ. 2564

ลำดับ	รายการ
1	IGBT Power Converter A จำนวน 3 ชุด (ระเบิดชำรุด)
2	Encoder (ควบคุมองศาใบพัด) (ชำรุด)
3	Wago sensor (แสดงอุณหภูมิขดลวด) (ชำรุด)
4	Brake Pad (ผ้าเบรกของระบบเบรก) (เสื่อมสภาพ)
5	Three way value (ระบบซิลเลอร์) (ชำรุด)
6	อุปกรณ์ซ่อมมอเตอร์ระบบระบายความร้อน (ระบบซิลเลอร์)

ตารางที่ 6 แนวทาง Master Plan กังหันลมผลิตไฟฟ้า 1,500 kW

ลำดับ	รายการ
1	งานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและทดสอบกังหันลมผลิตไฟฟ้า 1.5 MW ผลิตภัณฑ์ Leitwind เห็นควรขออนุมัติ จัดจ้าง บริษัทผู้ผลิต โดยดำเนินการทุกปี ละ ๑ ครั้ง
2	ซ่อมแซมอุปกรณ์ IGBT Power Converter A ทดแทนของเดิมที่ชำรุด เพื่อให้กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 100 %
3	ตรวจสอบอะไหล่ที่จำเป็นและจัดซื้อเป็นอะไหล่สำรอง

## 2.5 การวิเคราะห์ จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค (SWOT Analysis)



รูปที่ 16 การวิเคราะห์ จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค

## 3. สรุป

โครงการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมชนิดไม่มีเกียร์ ขนาด 1,500 kW ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อำเภอสังขละบุรี จังหวัดสงขลา ปัจจุบันได้ดำเนินการปรับปรุงเป็นศูนย์การเรียนรู้การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานสะอาด และอาคารประหยัดพลังงาน เป็นหนึ่งในสถานที่สำคัญของจังหวัดสงขลา ในแต่ละปี มีนักเรียน นักศึกษา นักวิชาการ หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน และประชาชนทั่วไป ได้ให้ความสนใจเข้าเยี่ยมชม ศึกษาดูงานการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม เฉลี่ยมากกว่า ๕,๐๐๐ คนต่อปี สามารถเชื่อมโยงกับชุมชน ให้มีความรู้ความเข้าใจ ในการดำรงอยู่ในเศรษฐกิจที่ยังมีการพัฒนาต่อไป กับนักเรียน นักศึกษา นักวิชาการ หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน และประชาชนทั่วไป ด้วยการใช้องค์ความรู้ การประหยัดพลังงาน ลดอัตราการปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศ บรรเทาภาวะโลกร้อน และเพื่อโลกที่ยั่งยืน ถือว่าเป็นโครงการที่ให้ประโยชน์โดยตรงกับประชาชน และเมื่อสามารถแก้ไขปัจจัยที่มีผลของการจัดการ การผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมได้ โครงการนี้ มีความเหมาะสมในการลงทุน และเหมาะสมที่จะดำเนินโครงการต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ได้สนับสนุนเงินลงทุนจากกองทุนเพื่อ ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Papoulis, Pillai. (2001). Probability, Random Variables, and Stochastic Processes. 4th Edition
- [2] Erich Hau. Wind Turbines. 2th Edition
- [3] Leitwind.com
- [4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2009). Report of electricity of Thailand. Bangkok.(in Thai)
- [5] Energy Policy and Planning Office. (2011). Utilization and production of electricity of Thailand. Bangkok: EPPU. (in Thai)
- [6] Managerial Model For Electricity Generated by Wind Turbines In Government Sector
- [7] The Future of Wind Turbine: Comparing Direct Drive and Gearbox