

# สมรรถนะในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

## Long term performance of a grid connected inverter under operation conditions

ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์<sup>1\*</sup>, รัฐพร เงินมีศรี<sup>1</sup>, อำนาจ ฉิมทวี<sup>1</sup>, คงฤทธิ์ แม้นศิริ<sup>1</sup>

Chatchai Sirisamphanwong<sup>1\*</sup>, Rattaporn Ngoenmeesri<sup>1</sup>, Amnaj Chimtavee<sup>1</sup>, Kongrit Mansiri<sup>1</sup>

Received: 8 May 2017 ; Accepted: 10 November 2017

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายที่ใช้ใช้งานมา 9 และ 10 ปี เปรียบเทียบกับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ใช้งาน โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 61683:1999 ผลจากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานมานานกว่า 9 และ 10 ปี ที่นำมาทดสอบมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 88.71 และ 87.95% ที่กำลังไฟขาออกเท่ากับ 35 และ 30% ในขณะที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 91.99% ที่กำลังไฟขาออกเท่ากับ 62.82% ซึ่งความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.65 ถึง 12.60% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมา 10 ปี และสำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมา 9 ปี มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1.53 ถึง 11.11% เมื่อวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน Euro มีค่าเท่ากับ 90.47, 87.16 และ 86.47% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่และที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี ตามลำดับ และประสิทธิภาพตามมาตรฐาน CEC สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีค่าเท่ากับ 91.14% และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี เท่ากับ 87.41 และ 86.83% ตามลำดับ ซึ่งการลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าต่อปีตามมาตรฐาน Euro และมาตรฐาน CEC เท่ากับ 0.384 และ 0.422% ต่อปี

**คำสำคัญ:** เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย สมรรถนะระยะยาว การลดลงของประสิทธิภาพ

### Abstract

This research reports the long term efficiency degradation of grid connected inverters which were installed for 9 and 10 years. The test procedure followed IEC 61683:1999. From the experimental results, it was shown that the efficiency of 9 and 10 years' installation were 87.95 and 88.71%, respectively at the rated/partial output power ( $P_o/P_{op}$ ) equals 35% and 30%. While the efficiency of a new grid connected inverter was 91.99% at the rated/partial output power ( $P_o/P_{op}$ ) equals 62.82%. The different efficiencies for 9 and 10 years operation and initial installation varied between 1.53 and 11.11% and 2.65 to 12.60% respectively, which indicated that the inverter efficiency degraded for the test inverters. The Euro efficiencies of the new inverter, and after 9 and 10 years' operation were 90.47, 87.16 and 86.47%, respectively and CEC efficiencies were 91.14, 87.41 and 86.83%, respectively. The estimated efficiency degradation rates are approximately 0.364 and 0.392 %/year respectively.

**Keywords:** Grid connected inverter Long term performance Efficiency degradation

<sup>1</sup> วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

<sup>1</sup> School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

\* Corresponding author. E-mail address chatchaisi@nu.ac.th

## บทนำ

ประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 5.05 kWh/m<sup>2</sup> ต่อวัน<sup>1</sup> และในบางพื้นที่ของประเทศมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยมากกว่า 5.55 kWh/m<sup>2</sup> ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ ถือว่ามีศักยภาพค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงได้มีการส่งเสริมจากทางภาครัฐให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในเชิงพาณิชย์ตั้งแต่ปี 2550 ทำให้มีผู้สนใจลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานระบุว่า ณ สิ้นปี พ.ศ. 2556 ประเทศไทยมีปริมาณติดตั้งโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาอยู่ราว 787 MW<sup>2</sup> ซึ่งในเชิงพาณิชย์นั้น จะทำการผลิตในรูปแบบของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบจำหน่าย (Grid connected PV system) ซึ่งมีส่วนประกอบหลักๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบโดยตรงอยู่ 2 ส่วนคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV module) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย (Grid tie inverter) โดยปกติระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบจำหน่ายจะมีอายุการทำงานไม่ต่ำกว่า 25 ปี แต่ในช่วงเวลานั้นประสิทธิภาพของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่ายจะค่อยๆ ลดลงทุกปีตามความเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า การศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพในอุปกรณ์เหล่านี้มีความสำคัญมากเนื่องจากข้อมูลที่ได้จะถูกใช้ไปในการประเมินประสิทธิภาพและการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบจำหน่าย อีกทั้งยังเป็นข้อมูลให้กับผู้ผลิตนำไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งการศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะยาวนั้นมีผู้ศึกษามาแล้วเป็นจำนวนมากในหลายๆ กรณี ทั้งการศึกษาภายในห้องทดลอง<sup>3-10</sup> และการศึกษาเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีติดตั้งและใช้งานในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์<sup>11-16</sup> ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเพื่อมุ่งเน้นประสิทธิภาพในช่วงเริ่มต้นของการใช้งานเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า แต่ในกรณีของการศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพและคุณภาพไฟฟ้าในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่ายยังไม่ได้มีการศึกษาอย่างจริงจัง โดยการลดลงของประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่ายนั้นส่วนใหญ่เกิดจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าหลังจากผ่านการใช้งานมานาน โดยการเสื่อมของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพไฟฟ้าในลักษณะที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการ

ศึกษาผลของการลดลงของประสิทธิภาพในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย เพื่อจะทราบถึงอัตราการลดลงของประสิทธิภาพและปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอนาคตหลังจากใช้งานเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในระยะยาว การศึกษาผลของการลดลงของประสิทธิภาพในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย นั้นเป็นเรื่องที่สำคัญมากเนื่องจากการเสื่อมสภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย จะส่งผลกระทบต่อตรงต่อการผลิตไฟฟ้า ทำให้ผลิตไฟฟ้าได้น้อยลง อีกทั้งยังทำให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าจนไม่สามารถต่อเชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายได้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลของการลดลงของประสิทธิภาพในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการการลดลงของประสิทธิภาพ และคุณภาพไฟฟ้าในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย ซึ่งจะส่งผลต่อการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าอย่างไร ก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าอย่างไร และผลกระทบที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อระบบในระยะยาวอย่างไรบ้าง รวมถึงศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาค่าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

## เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายที่ใช้งานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีการนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์และติดตั้งในบริเวณที่มีระบบจำหน่ายเข้าถึง มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่ได้มาตรฐานเพื่อสามารถต่อเชื่อมเข้ากับระบบจำหน่ายได้ โดยมีหลักการทำงานคือ พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำเข้าสู่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะติดตามสัญญาณไฟฟ้าในระบบจำหน่ายตลอดเวลา เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้าที่มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณไฟฟ้าในระบบจำหน่ายและผลัดดันกระแสไฟฟ้าให้ไหลกลับเข้าระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นการจำหน่ายไฟฟ้าคืนหรือชดเชยค่าไฟฟ้าในระบบรวมในกรณีที่ใช้ไฟฟ้าในระบบมีมากกว่า ดังนั้นเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้านี้จึงมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก และมีการควบคุมสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ (Pure sine wave) ซึ่งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายมีส่วนประกอบดัง Figure 1

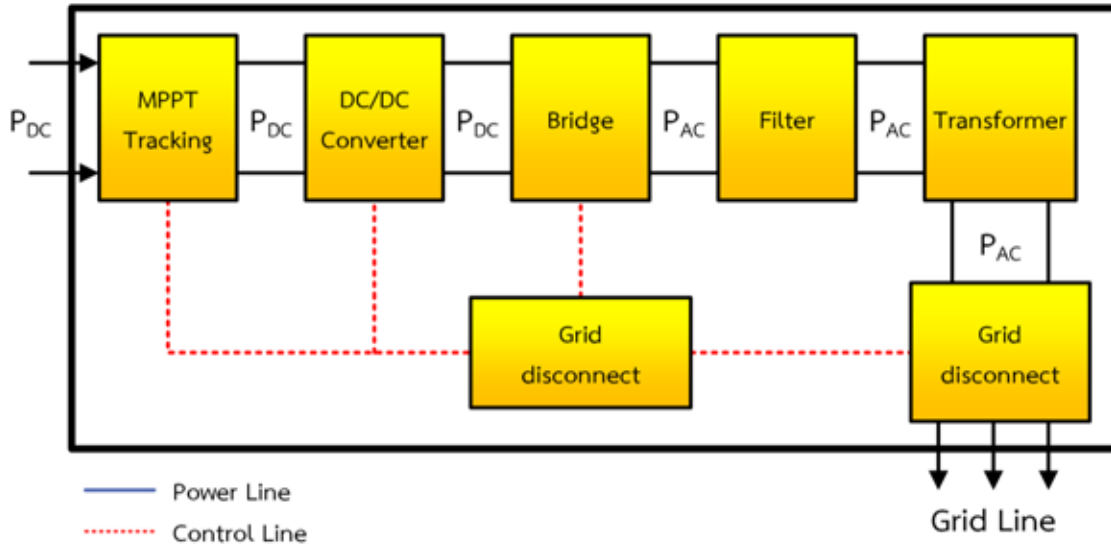


Figure 1 Block diagram of grid-connected inverter

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบจำหน่าย มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 7 ส่วน ประกอบด้วย ระบบตามหา กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) ทำหน้าที่หาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้การวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แต่ละจุดทำงานและเลือกจุดทำงานที่ดีที่สุด อุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้า กระแสตรง(DC/DC Converter) ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้า กระแสตรงที่ได้จากการตามหา กำลังไฟฟ้าสูงสุดให้ไปอยู่ใน ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม วงจรบริดจ์ (Bridge) ทำหน้าที่ แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ตัวกรองไฟฟ้า (Filter) ทำหน้าที่กรองไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรบริดจ์ให้เป็น รูปสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นรูปคลื่นไซน์บริสุทธิ์ หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ทำหน้าที่ถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้า หนึ่งไปยังอีกวงจรหนึ่ง โดยที่ความถี่ไม่เปลี่ยนแปลงเพื่อ เปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสไฟฟ้า ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าจะ ใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสสลับเท่านั้น อุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้า (Grid disconnect) ทำหน้าที่เชื่อมเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเข้ากับ สายส่ง อุปกรณ์ควบคุม (Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการ ทำงานของ MPPT DC/DC Converter Bridge และ Grid disconnect ให้ทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำตามคุณสมบัติ ที่ต้องการ แต่ในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบต่อเข้าระบบ จำหน่ายบางรุ่นอาจไม่มีอุปกรณ์เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC/ DC Converter) และ หม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer) โดยการ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter Efficiency :  $\eta_{INV}$ ) สามารถหาได้จากสมการ

เมื่อ 
$$\eta_{INV} = P_{INV} / P_{PV} \tag{1}$$

$P_{PV}$  = กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)  
 $P_{INV}$  = กำลังไฟฟ้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (kW)

ซึ่ง กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $P_{PV}$ ) สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{PV} = I_{DC} \times V_{DC} \tag{2}$$

เมื่อ  $I_{DC}$  = กระแสไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (A)  
 $V_{DC}$  = แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

และกำลังไฟฟ้าของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ( $P_{INV}$ ) สามารถหาได้จากสมการ

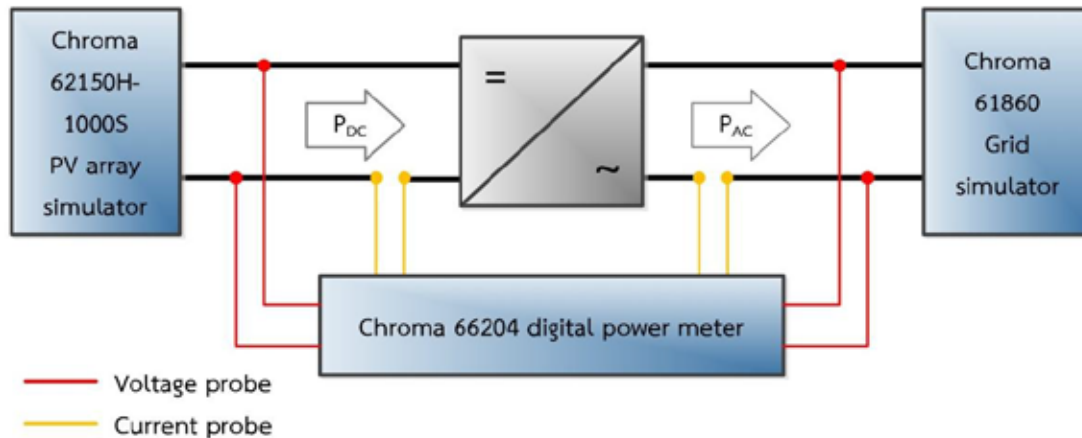
$$P_{INV} = I_{AC} \times V_{AC} \times \cos\theta \tag{3}$$

เมื่อ  $I_{AC}$  = กระแสไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (A)  
 $V_{AC}$  = แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (V)  
 $\cos\theta$  = มุมระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

**วิธีการทดลอง**

การศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพและคุณภาพไฟฟ้าในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย โดยใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายขนาด 3.5 kW ซึ่งติดตั้งภายในวิทยาลัย

พลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่มีการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 10 ปี ตามมาตรฐาน IEC 61683:1999 (Photovoltaic system - Power conditioners - Procedure for measuring efficiency)<sup>17</sup> โดยขั้นตอนการทดสอบแสดงดัง Figure 2



**Figure 2** The testing scheme of the experimental test setup for the grid-connected PV inverters (IEC 61683)

การทดสอบใช้ห้องทดสอบ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายที่ติดตั้งและใช้งานกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสง

อาทิตย์ขนาด 10 kW จำนวน 2 เครื่อง โดยเป็นเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมาเป็นเวลา 9 และ 10 ปี ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 kW แสดงใน Figure 3



**Figure 3** 10 KW PV system at the energy park, School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok, Thailand.

วิธีการทดสอบจะนำเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบต่อเข้ากับเครื่องจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV array simulator) ยี่ห้อ Chroma 62150H-1000S ขนาด 15 kW เพื่อจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในฝั่งขาเข้า และในฝั่งขาออกจะต่อเข้ากับเครื่องจำลองระบบจำหน่าย (grid simulator) ยี่ห้อ Chroma 61860 ขนาด 60 kW เพื่อจำลองระบบจำหน่าย ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้าและขาออก ( $P_i/P_o$  และ  $P_o/P_{op}$ ) ทำการตรวจวัดและบันทึกค่าโดย Chroma 66204 digital power meter มีค่าความคลาดเคลื่อน  $\pm 0.1\%$  โดยเครื่องมือและอุปกรณ์แสดงใน Figure 4 ซึ่งการทดสอบจะทำการทดสอบ 3 ระดับ โดยการปรับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้า โดยกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 173, 230 และ 284 VDC โดยการทดสอบแต่ละครั้งจะกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่ 1 และ 5% ของค่า

กำลังไฟฟ้าฝั่งขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า หลังจากนั้นทำการปรับค่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 5% ของค่ากำลังไฟฟ้าฝั่งขาออกจนกระทั่งครบ 100% ของค่ากำลังไฟฟ้าฝั่งขาออกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ทำการทดสอบ สำหรับการทดสอบในแต่ละครั้งจะทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า แรงดันไฟฟ้าขาออก ค่ากระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า โดยทำการบันทึกค่าทุก 10 วินาที เป็นเวลา 5 นาที และเมื่อทำการเปลี่ยนระดับค่ากำลังไฟฟ้าในการทดสอบแต่ละครั้งจะให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทำงานเป็นเวลานานไม่น้อยกว่า 5 นาที เพื่อให้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทำงานในสภาวะคงที่ก่อนทำการบันทึกค่า ซึ่งค่าที่ทำการตรวจวัดและบันทึกจะถูกนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายในระยะยาว



Figure 4 PV array simulator, grid simulator and digital power meter

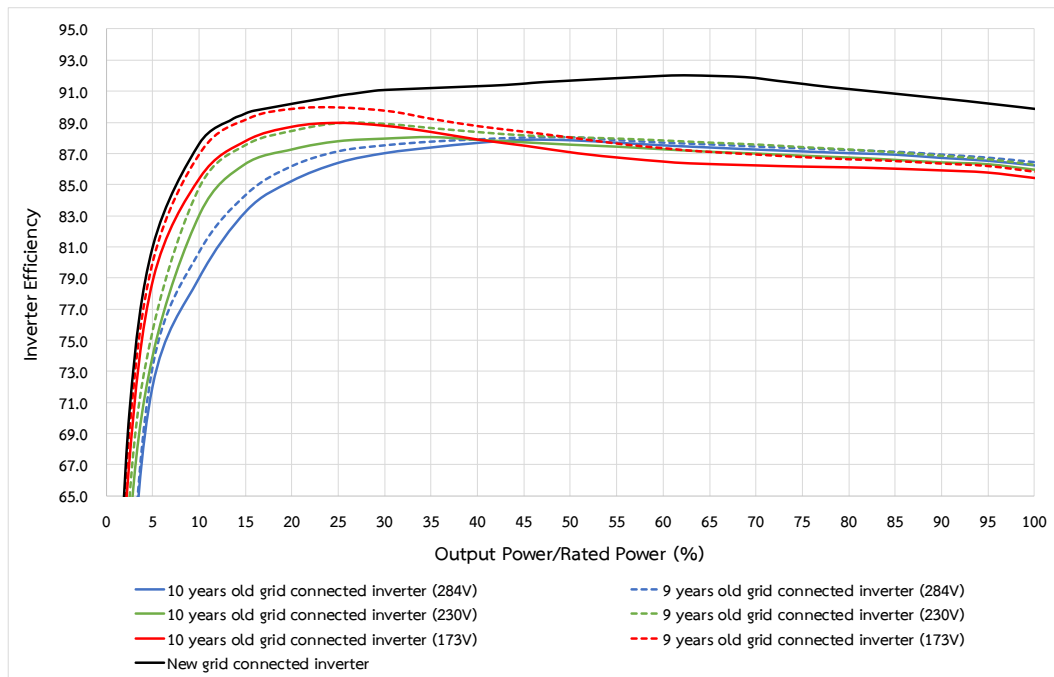
### วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ผ่านการใช้งานมาแล้วที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเท่ากับ 173, 230 และ 284 VDC พบว่าที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าต่ำเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงที่ กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 0 – 40% และที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าสูงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูง ที่กำลัง

ไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 40 – 100% แสดงใน Figure 5 โดยที่ระดับแรงดันขาเข้าเท่ากับ 173 VDC เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 88.98 และ 89.94% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตามลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 25% ที่ระดับแรงดันขาเข้า 230 VDC ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 88.03 และ 88.97% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตามลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 35 และ

25% และที่ระดับแรงดันขาเข้า 284 VDC เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 87.89 และ 88.06% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตาม

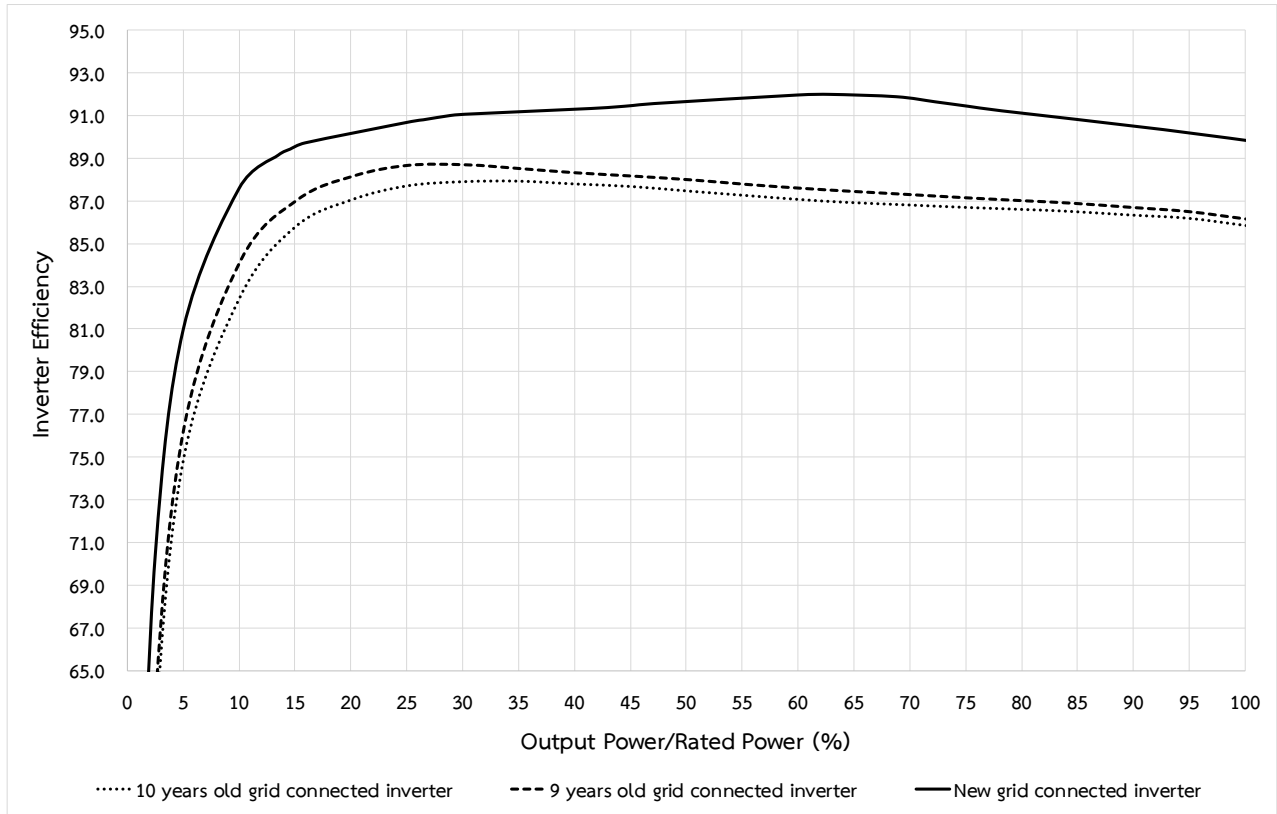
ลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 50% แสดงใน Figure 5 ซึ่งจากข้อมูลพบว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่กระแสไฟฟ้าขาเข้าประมาณ 6 ADC



**Figure 5** The efficiency of the 9 years old and 10 years old grid connected inverter with testing voltage at 173, 230 and 281 VDC

จากข้อมูลพบว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสูงที่กำลังไฟฟ้าขาออกต่ำและประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าก็จะตกลงหลังจากที่ประสิทธิภาพขึ้นไปสูงสุด และผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามีค่ามากกว่า 6 ADC แต่เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มาจากบริษัทผู้ผลิตเป็นการใช้ค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานมาแล้วเทียบกับเครื่องใหม่ที่ยังไม่ได้ใช้งาน เพื่อประเมินการลดลงของประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าดังแสดงใน Figure 6 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยจากค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ซึ่งจากรูปพบว่าประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานมานานกว่า 9 และ 10 ปี จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดย

มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 87.95 และ 88.71% ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 35 และ 30% ในขณะที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 91.99% ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 62.82% นอกจากนี้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่กระแสไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับ 10.4 ADC และเมื่อทำการวิเคราะห์การสูญเสียในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือการสูญเสียที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ควบคุมและระบบแสดงผลต่าง ๆ เช่น จอแสดงผล LCD และไฟสัญญาณ LED เป็นต้น กลุ่มที่สองเป็นการสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานในระบบตามหากำลังไฟฟ้าสูงสุด, อุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าและตัวกรองไฟฟ้า ซึ่งการสูญเสียที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างกันจากกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าและไฟฟ้าขาออก โดยปกติค่าการสูญเสียหลักที่เกิดขึ้นเมื่อเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเริ่มทำงานจนถึงประสิทธิภาพสูงสุดเป็นการสูญเสียที่เกิดจากความต้านทานภายใน ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเกิดจากความต้านทานภายในเป็นหลัก



**Figure 6** The average input voltage grid connected inverter efficiency curve of the new and 9 years old and 10 years old grid connected inverters

จากผลการวิจัยพบว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานแล้วจะเกิดการสูญเสียมากกว่าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมาก่อน ซึ่งความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานแสดงใน Figure 7 ซึ่งจากรูปจะพบว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.65 ถึง 12.60% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 9 ปี และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 10 ปี ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1.53 ถึง 11.11% สามารถสรุปได้ว่าค่าความแตกต่างของการสูญเสียของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในระหว่างใช้งานระบบมีค่าน้อยมาก ซึ่งความแตกต่าง

ของการสูญเสียเกิดจากสภาพของอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ควบคุมและระบบแสดงผลของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ติดตั้งและผ่านการใช้งานมานานกว่า 9 และ 10 ปี ซึ่งส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและที่ค่ากำลังไฟฟ้าขาออก 100% ค่าความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ประมาณ 4.00% หรือประมาณ 180.84 W ซึ่งสามารถบอกได้ว่าความแตกต่างของประสิทธิภาพเกิดจากการสูญเสียจากความต้านทานภายใน ซึ่งเกิดจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายประกอบด้วยระบบตามหากำลังไฟฟ้าสูงสุด, อุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าและตัวกรองไฟฟ้า, (Insulated - Gate Bipolar Transistor, IGBT), หม้อแปลงไฟฟ้า, choke และตัวเก็บประจุไฟฟ้า เป็นต้น

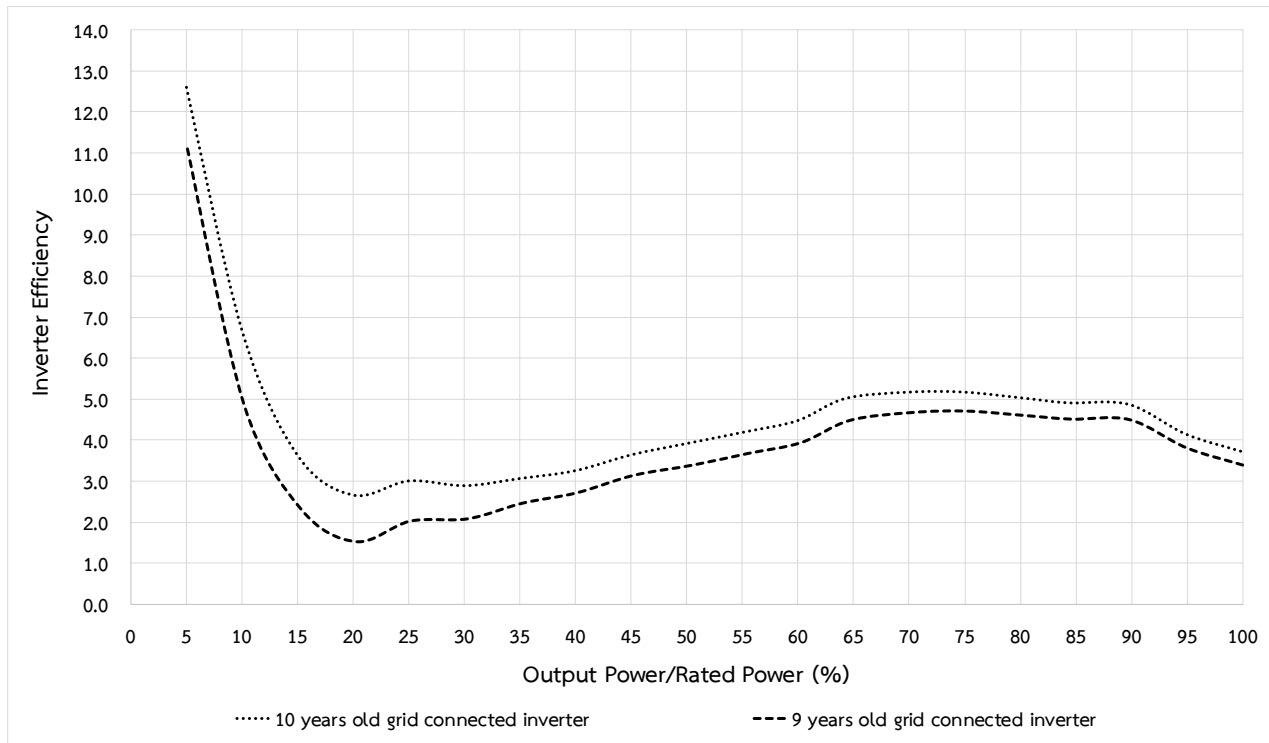
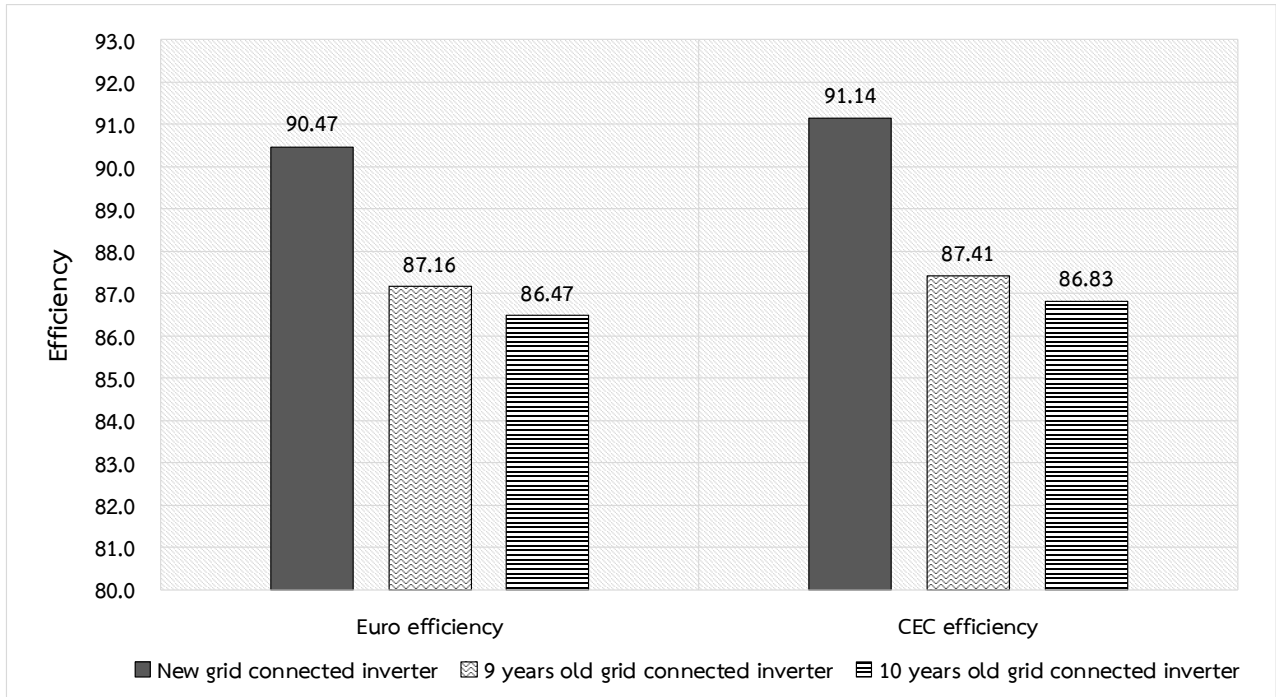


Figure 7 The different efficiency of the new and 9 years old and 10 years old grid connected inverters

เมื่อทำการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายที่ติดตั้งและใช้งานมาแล้วเป็นเวลา 9 และ 10 ปี และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยใช้มาตรฐานในการหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 2 ส่วนคือมาตรฐาน European (Euro) และ มาตรฐาน Californian energy efficiency (CEC) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน CEC สูงกว่าประสิทธิภาพตามมาตรฐาน Euro ทั้งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและที่ติดตั้งและใช้งานมาแล้ว โดยประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายตามมาตรฐาน Euro สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี มีค่าเท่ากับ 90.47,

87.16 และ 86.47% ตามลำดับ และประสิทธิภาพฝั่ง CEC สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีค่าเท่ากับ 91.14% และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี เท่ากับ 87.41 และ 86.83% ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่และที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี เท่ากับ 4.00 และ 3.31% สำหรับมาตรฐาน Euro และสำหรับมาตรฐาน CEC มีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 4.31 และ 3.72% และเมื่อวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าต่อปี สำหรับมาตรฐาน Euro และมาตรฐาน CEC เท่ากับ 0.384 และ 0.422% ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดการลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแสดงใน Figure 8

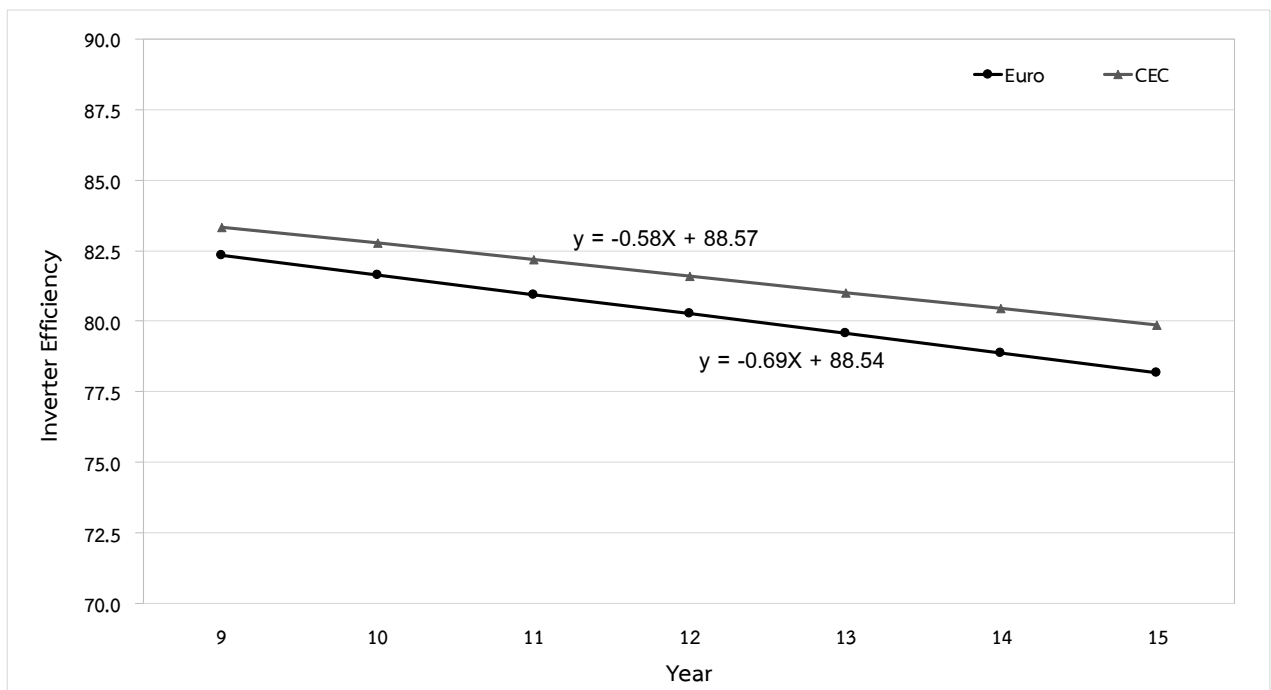




**Figure 8** The Euro and CEC efficiency of the new and 9 years old and 10 years old grid conncted inverters

เมื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาสมการการลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า พบว่าประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะลดลง 0.58% ต่อปี สำหรับประสิทธิภาพตามมาตรฐาน CEC และ 0.69% ต่อปี

สำหรับประสิทธิภาพตามมาตรฐาน Euro แสดงใน Figure 9 ซึ่งการลดลงของประสิทธิภาพตามมาตรฐาน CEC จะมีค่าน้อยกว่า Euro



**Figure 9** The decline in The Euro and CEC efficiency of grid connected inverters

## สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพในระยะยาวของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี เปรียบเทียบกับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่ที่ยังไม่ผ่านใช้งาน โดยทำการทดสอบที่ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเท่ากับ 173, 230 และ 284 VDC จากผลการทดสอบพบว่าที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าต่ำ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 0 – 40% และที่แรงดันไฟฟ้าขาเข้าสูงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูง ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 40 – 100% โดยที่ระดับแรงดันขาเข้าเท่ากับ 173 VDC เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 89.94 และ 88.98% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตามลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 25% และที่ระดับแรงดันขาเข้า 230 VDC ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 88.97 และ 88.03% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตามลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 25 และ 35% และที่ระดับแรงดันขาเข้า 284 VDC เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับ 88.06 และ 87.89% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานมา 9 และ 10 ปี ตามลำดับ ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 50% และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยจากค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า พบว่าประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีการใช้งานมานานกว่า 9 และ 10 ปี จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเครื่องใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 88.71 และ 87.95% ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 30 และ 35% ในขณะที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 91.99% ที่กำลังไฟฟ้าขาออกเท่ากับ 62.82% ซึ่งความแตกต่างของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 1.53 ถึง 11.11% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 9 ปี และสำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งและใช้งานมาไม่น้อยกว่า 10 ปี มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.65 ถึง 12.60% และจากการวิเคราะห์พบว่าประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าตามมาตรฐาน Euro มีค่าเท่ากับ 90.47, 87.16 และ 86.47% สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่และที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี ตามลำดับ และประสิทธิภาพตามมาตรฐาน CEC สำหรับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าใหม่มีค่าเท่ากับ 91.14% และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่น้อยกว่า 9 และ 10 ปี เท่ากับ 87.41 และ 86.83%

ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าต่อปีสำหรับมาตรฐาน Euro และมาตรฐาน CEC เท่ากับ 0.384 และ 0.422% ต่อปี ตามลำดับ ซึ่งการสูญเสียที่เกิดขึ้นเกิดจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเกิดจากการสูญเสียจากความต้านทานภายใน ซึ่งเกิดจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายประกอบด้วยระบบตามหากำลังไฟฟ้าสูงสุด, อุปกรณ์ตัดต่อไฟฟ้าและตัวกรองไฟฟ้า, (Insulated - Gate Bipolar Transistor, IGBT), หม้อแปลงไฟฟ้า, choke และตัวเก็บประจุไฟฟ้า

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ประจำปีงบประมาณ 2559 และขอขอบบคุคลากรและเจ้าหน้าที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ทุกท่านในการสนับสนุนข้อมูลและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ส่งผลให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. โครงการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย
2. สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน: 2557.
3. Weimin W, XiaoLi W, Pan G, Tianhao T. Efficiency analysis for three phase grid-tied PV inverter. 2008 IEEE international conference on industrial technology (IEEE ICIT 2008), 2008 IEEE; 2008. p. 1–5.
4. Massimo V, Alin R, Dezso S, Remus T. PV inverter test setup for European efficiency, static and dynamic MPPT efficiency evaluation. 11th International conference on optimization of electrical and electronic equipment, 2008 (OPTIM 2008), IEEE; 2008. p. 433–438.
5. Notton G, Lazarov V, Stoyanov L. Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations. Renewable Energy 2010;35(2):541–54.
6. Ziya Ö, Ahmet MH. Energy conversion efficiency of single-phase transformerless PV inverters. 8th International conference on Electrical and Electronics

- Engineering, 2013 (ELECO 2013), IEEE; 2013. p. 283–287.
7. Bin G, Jason D, Jih-Sheng L, Chien-Liang C, Thomas L, Baifeng C. High reliability and efficiency single-phase transformerless inverter for grid-connected photovoltaic systems. *IEEE Trans Power Electron* 2013;28(5):2235–45.
  8. Rampinelli GA, Krenzinger A, ChenloRomero F. Mathematical models for efficiency of inverters used in grid connected photovoltaic systems. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;34:578–87.
  9. Xavier C, Guillermo V, Jordi de la H, Helena M. Contribution to the PV-to-inverter sizing ratio determination using a custom flexible experimental setup. *Appl Energy* 2015;149:35–45.
  10. David P, Martin KP. Effect of tariffs on the performance and economic benefits of PV-coupled battery systems. *Appl Energy* 2016;164:175–87.
  11. Aчитпон S, Wattanapong R, Nipon K, Suchart Y. Performance evaluation of a 10 kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand. *Renewable Energy* 2010;32(2):1288–00.
  12. George M, Bastian Z, George EG, Markus S, Jurgen HW. Outdoor efficiency of different photovoltaic system installed in Cyprus and Germany. 33rd Photovoltaic Specialists Conference, 2008 (PVSC '08), IEEE; 2008. p. 1–6.
  13. Muñoz J, Martínez-Moreno F, Lorenzo E. On-site characterisation and energy efficiency of grid-connected PV inverters. *Prog. Photovolt: Res. Appl* 2011;19:192–01.
  14. Amnaj C, Nipon K, Kobsak S, Sarayooth V. Evaluation of PV generator performance and energy supplied fraction of the 120 kWp PV microgrid system in Thailand. *Energy Proc* 2011;9:117–27
  15. Amnaj C, Nipon K. PV Generator performance evaluation and load analysis of the PV microgrid system in Thailand. *Procedia Eng* 2012;32:384–91.
  16. Maciej P, Witold M. Report on efficiency of field-installed PV-inverter with focus on radiation variability. *Proceedings of the 20th International Conference on Mixed Design of Integrated Circuits and Systems*, 2013 (MIXDES 2013), IEEE; 2013. p. 440–43.
  17. International Electrotechnical Commission, IEC. IEC 61683:1999 Photovoltaic systems - Power conditioners - Procedure for measuring efficiency, IEC; 1999.