ค. 300 – 0003 – 0966

การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

(Power Generator Testing)

คำแนะนำทางช่าง กรมอู่ทหารเรือ

ค. 300 – 0003 – 0966
การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
(Power Generator Testing)

แก้ไขครั้งที่ ๒ เมื่อ ก.ย.๖๖

แก้ไขครั้งที่ เมื่อ

แก้ไขครั้งที่ เมื่อ

ประกาศกรมอู่ทหารเรือ
เรื่อง กำหนดคำแนะนำทางช่างกรมอู่ทหารเรือ
พ.ศ.๒๕๖๖

อาศัยอำนาจตามความใน ข้อ ๗.๓ และข้อ ๑๒ แห่งระเบียบกรมอู่ทหารเรือ ว่าด้วยมาตรฐานงานช่าง พ.ศ.๒๕๕๑ เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ จึงกำหนดคำแนะนำทางช่าง กรมอู่ทหารเรือ หมายเลข ค.๓๐๐-๐๐๐๓-๐๙๖๖ การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Power Generator Testing) ไว้ดังรายละเอียดต่อท้ายประกาศ

ประกาศ ณ วันที่ ๒๗ กันยายน พ.ศ.๒๕๖๖

พลเรือตรี
(กริช ขันธอุบล)
เจ้ากรมพัฒนาการช่าง กรมอู่ทหารเรือ

รายการแก้ไข

หมายเลขหน้า การแก้ไขครั้งที่

บันทึกการแก้ไข

วัน เดือน ปี	รายการแก้ไข
ก.ย.๖๖	- ปรับปรุงเอกสารอ้างอิงให้มีความทันสมัยและปัจจุบันมากขึ้น - ปรับแก้ไขแบบฟอร์มให้สอดคล้องกับการใช้งานในปัจจุบันมากขึ้น

ค. 300-0003-0966
คำแนะนำทางช่าง กรมอู่ทหารเรือ
การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. เอกสารอ้างอิง

1.1 ISO 2372: 1974, Mechanical Vibration of Machines with Operating Speeds From 10 to 200 Rev/sec – Basic for Specifying Evaluation Standards

1.2 VDI 2063, Measurement and evaluation of mechanical vibrations of reciprocating piston engines and piston compressors

1.3 IEEE Std. 45.1-2017, Recommended Practice for Electrical Installations on Shipboard-Design

1.4 IEEE Std. 45-2002, Recommended Practice for Electrical Installations on Shipboard

1.5 MIL-STD-1399-300B -2008, Electric power, Alternating current

2. ความมุ่งหมาย

เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้รับการปรับซ่อมใหญ่และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งใหม่ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะนำมาประเมินผลการซ่อมและการติดตั้งเป็นแนวทางแก้ไขในการปฏิบัติงานครั้งต่อไป นอกจากนั้นแล้ว ยังใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง (Reference Operational Data) สำหรับเครื่องไฟฟ้าชนิดเดียวกันในอนาคต

3. ขอบเขต

3.1 คำแนะนำทางช่างนี้ฉบับนี้ สามารถใช้ในการทดลองเฉพาะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่มีเครื่องต้นกำลังขับ (Prime Mover) เป็นเครื่องยนต์ดีเซลที่ติดตั้งบนเรือ

3.2 เครื่องไฟฟ้าใหม่ที่นำมาติดตั้งในเรือให้ใช้เอกสารการทดลองจากโรงงานผู้ผลิตตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในสัญญาในการจัดซื้อจัดจ้าง เพื่ออ้างอิงในการทดสอบหลังจากการติดตั้งบนแท่นที่เครื่องไฟฟ้านั้น ๆ ใช้งานอยู่

3.3 เครื่องไฟฟ้าที่ยกขึ้นจากเรือเพื่อซ่อมทำบนโรงงาน ให้ใช้ค่าตามมาตรฐานนี้เป็นเกณฑ์ขั้นต่ำในการทดสอบหลังจากการซ่อมทำแล้วเสร็จ

4. เนื้อเรื่อง

4.1 นิยาม

เครื่องไฟฟ้า	:	เครื่องยนต์ขับฯ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
Load Bank	:	เครื่องสร้างภาระจำลอง
Test bench	:	แท่นทดสอบเครื่องไฟฟ้าบนโรงงาน
Nominal frequency:		ความถี่ ปกติ 50 หรือ 60 Hz
Frequency tolerances :		ความคลาดเคลื่อนความถี่
Frequency transient tolerance :		ความคลาดเคลื่อนความถี่ที่เกิดขึ้นชั่วคราว
Frequency transient recovery time :		ระยะเวลาที่ความถี่เริ่มเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งกลับมาในย่าน Frequency Tolerances

Nominal user voltage:	แรงดันไฟฟ้าของระบบ ปกติ 380V หรือ 440V
User voltage tolerance :	ความคาดเคลื่อนแรงดันไฟฟ้ามากสุดที่อนุญาตให้คาดเคลื่อนได้จากแรงดันไฟฟ้าของระบบ (nominal user voltage) ระหว่างการใช้งานปกติ (ไม่นับกรณีการเกิด Voltage transient) แต่คิดรวมในกรณี มีการเปลี่ยนแปลงโหลด หรือ การแปรผันของสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนไป เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความสั่นสะเทือน และความโคลง ค่าความผิดพลาด (error and drift) ของมิเตอร์ของแผงสวิตช์บอร์ด
Voltage transient tolerance:	ค่าการเปลี่ยนแปลงของ voltage ทันทีทันใด ที่เกินไปจากค่า User voltage tolerance limits และกับมารักษาอยู่ภายในค่า limits เหตุการณ์ที่เกิดตั้งแต่เริ่มต้นจนจบ (จะต้องใช้เวลายาวนานมากกว่า 1 ms (หนึ่งส่วนพันวินาที)) ซึ่ง Voltage transient tolerance นี้เป็นส่วนที่เพิ่มขึ้นไปจาก voltage tolerance limits
Voltage transient recovery time:	เวลาที่ใช้ไปตั้งแต่เริ่มเกิดความผันผวนของแรงดันไฟฟ้า จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้า กลับมา อยู่ในค่าของ User voltage tolerance limits
Voltage spike:	การเปลี่ยนแปลงของ Voltage ในช่วงเวลาสั้น ๆ (น้อยกว่า 1 ms (หนึ่งส่วนพันวินาที))

4.2 ผู้ดำเนินการทดลอง

ผู้ดำเนินการทดลอง คือ เจ้าหน้าที่โรงงานแผนกควบคุมคุณภาพ หรือแผนกทดลองเรือของหน่วยซ่อมหรือหน่วยติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้น

4.3 ผู้ร่วมเป็นพยานในการทดลอง

การทดลองทุกครั้งจะต้องแจ้งให้เจ้าหน้าที่ของกองควบคุมคุณภาพ กรมพัฒนาการช่าง อร. หรือกองควบคุมคุณภาพ อจปร.อร. หรือกองควบคุมคุณภาพ อรม.อร.มาร่วมเป็นพยานทุกครั้ง ถ้าเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในเรือจะต้องให้ เจ้าหน้าที่เรือ นายทหารพรรคกลินของเรือ หรือกองเรือมาร่วมเป็นพยานอีกฝ่ายหนึ่ง กรณีที่เป็นเครื่องไฟฟ้าบกจะต้องให้ หัวหน้าแผนก หรือนายทหารผู้แทนที่รับผิดชอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องนั้นร่วมเป็นพยาน

ผู้ดำเนินการทดลองและพยานทุกนายจะต้องพิจารณาข้อมูลโดยละเอียดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทดลองและบันทึกข้อมูลที่ได้ เพื่อนำมาประเมินผลการซ่อมทำหรือติดตั้งได้ดำเนินไปอย่างถูกต้องหรือไม่ เมื่อเห็นว่าถูกต้องเรียบร้อยให้ลงนามกำกับในแบบฟอร์มการทดลอง ซึ่งแผนกควบคุมคุณภาพหรือแผนกทดลองเรือของหน่วยที่ปรับซ่อมใหญ่หรือติดตั้งเครื่องนั้นเป็นผู้จัดทำขึ้น สำหรับชนิด ประเภท แบบต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.4 สถานที่ทำการทดลอง

กรณีมี Test bench ให้ทดสอบบน Test bench เป็นอันดับแรก ถ้าผลการทดสอบผ่านจึงไปทดสอบบนแท่นที่เครื่องไฟฟ้านั้น ๆ ใช้งานอยู่

4.5 ขั้นตอนปฏิบัติ

4.5.1 การเตรียมการทดลองเครื่องไฟฟ้า

4.5.1.1 เจ้าหน้าที่ประจำเรือ หรือ เจ้าหน้าที่โรงงานปรับซ่อมเครื่องยนต์ เครื่องไฟฟ้าและระบบต่าง ๆ ให้พร้อมที่จะทำการทดลอง

4.5.1.2 เจ้าหน้าที่ทดลองเรือ ร่วมกับเจ้าหน้าที่ อล.ทร. ทดลองระบบป้องกันอันตรายของเครื่องยนต์ขับฯ (Safety Device) เช่น ระบบน้ำมันหล่อลื่น, ระบบน้ำจืด และอุปกรณ์เลิกเครื่องโดยอัตโนมัติ (Shut Down Device) ตามขั้นตอนปฏิบัติ การทดลองระบบป้องกันอันตรายเครื่องไฟฟ้าและบันทึกผลการทดลองในเอกสาร แบบฟอร์มการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.5.1.3 ต้องผ่านการวัดค่าความสั่นสะเทือนให้อยู่ในเกณฑ์ใช้ราชการได้ โดยปฏิบัติตามขั้นตอนที่ระบุใน ISO 2372 (เอกสารอ้างอิงที่ 1.2 บทที่ 1)

4.5.1.4 เครื่องไฟฟ้าต้อง Running – in ก่อนการทดลองไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง หรือตามที่กำหนดไว้ในคู่มือของผู้ผลิต

4.5.2 การเตรียมเครื่องมือ, อุปกรณ์, เอกสารและข้อมูลในการทดลอง เครื่องมือและอุปกรณ์ทุกประเภทที่ใช้ในการทดลองจะต้องได้รับการปรับแต่งให้มีความเที่ยงตรงแล้ว (Calibration)

4.5.2.1 เครื่องมือ, อุปกรณ์, เอกสารและข้อมูลในการทดลองประกอบด้วย

- เครื่องวัดบนแผงประจำเครื่องยนต์ขับฯ และเครื่องวัดบนแผงสวิตช์บอร์ด
- เครื่องมือวัดคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality Analyzer Meter)
- เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบคล้อง (Clamp On Meter)
- เครื่องมือช่างไฟฟ้าพื้นฐาน
- เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer)
- เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Ampmeter)
- เครื่องวัดความต่างศักดิ์ไฟฟ้า (Voltmeter)
- เครื่องวัดค่าความเป็นฉนวน (Meg Ohm Meter)
- เครื่องสร้างภาระจำลองให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Load Bank)
- เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟาเรด (Temperature Meter)
- เครื่องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Imager)
- เครื่องวัดความสั่นสะเทือน (Vibration)
- นาฬิกาจับเวลา
- เครื่องคิดเลข
- ประแจ
- เกจน้ำมัน
- ปั๊มมือ (Simulator Test)

- Heater
- ภาชนะใส่น้ำที่ทนความร้อนได้เกิน 130 องศา C
- น้ำมันพืชที่สะอาด
- คู่มือการใช้เครื่องไฟฟ้าของบริษัทผู้ผลิต,ข้อมูลการทำงานของเครื่อง (Operational Data)
- ผลการทดลองจากโรงงานผู้ผลิต (Factory Test)
- แบบบันทึกผลการทดลองเครื่องไฟฟ้า

4.5.2.2 การคิดค่ากระแสสูงสุดในการทดลองจ่าย Load สามารถคำนวณได้ดังนี้

$A = (KW. \times 1000) / (V \times 1.732 \times P.F)$

- ในกรณีทดลองจ่าย Load โดยใช้ Load Bank ให้ค่า Power Factor = 1.0
- ในกรณีทดลองจ่าย Load ภายในเรือ ให้ค่า Power Factor = 0.8

4.5.3 วิธีการทดลองอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัย

4.5.3.1 วัดค่าความต้านทานฉนวนของขดลวดและค่าพีไอ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนทดลอง

4.5.3.2 ตรวจสอบความพร้อมของระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

4.5.3.3 ทดสอบการทำงานของ SENSOR ของระบบ SAFETY ต่าง ๆ เช่น ระบบสัญญาณเตือนเมื่อเครื่องทำงานผิดปกติ ระบบดับเครื่องฉุกเฉินโดยอัตโนมัติ

4.5.3.3.1 การทดสอบ Over Speed

ปรับการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็น Manual แล้วสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นหมุนค่า Potential Meter เพิ่มจนรอบถึงเกณฑ์ที่ระบบควบคุมจะมีสัญญาณ Alarm หรือสั่ง Shutdown ตามที่กำหนดในคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต หรือไม่เกิน 110% ของความเร็วรอบที่กำหนด และความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% ในการสั่ง Shutdown

4.5.3.3.2 การทดสอบกำลังดันน้ำมันหล่อ

ใช้อุปกรณ์ทดสอบ(Simulator มีปั๊มมือ และเกจน้ำมัน)ต่อเข้ากับจุดทดสอบเซนเซอร์วัดกำลังดันน้ำมันหล่อจุดนั้น แล้วสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นอัดความดันไปที่เซนเซอร์ให้มีความดันมากกว่าระดับความดันที่ตั้งไว้แล้วปล่อยความดันให้ลดลงจนถึงเกณฑ์ที่ระบบควบคุมจะมีสัญญาณ Alarm หรือสั่ง Shutdown ตามที่กำหนดในคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต

4.5.3.3.3 การทดสอบอุณหภูมิน้ำมันหล่อ

ถอดอุปกรณ์เซนเซอร์วัดอุณหภูมิน้ำมันหล่อออก เติมน้ำมันพืชลงในภาชนะที่เตรียมไว้แล้วใส่เครื่องวัดอุณหภูมิ, อุปกรณ์เซนเซอร์ และ Heater ลงไปในภาชนะที่บรรจุน้ำมันพืชสะอาด รอให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงเกณฑ์ที่ระบบควบคุมจะมีสัญญาณ Alarm หรือสั่ง Shutdown ตามที่กำหนดในคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต

4.5.3.3.4 การทดสอบอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

ถอดอุปกรณ์เซนเซอร์วัดอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออก เติมน้ำลงในภาชนะที่เตรียมไว้แล้วใส่เครื่องวัดอุณหภูมิ, อุปกรณ์เซนเซอร์ และ Heater ลงไปในภาชนะที่บรรจุน้ำสะอาด รอให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงเกณฑ์ที่ระบบควบคุมจะมีสัญญาณ Alarm หรือสั่ง Shutdown ตามที่กำหนดในคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต

4.5.4 วิธีการทดลองเครื่องไฟฟ้าเครื่องเดียว (Single Test) บน Test bench โดยใช้ Load Bank

4.5.4.1 เจ้าหน้าที่โรงงานไฟฟ้าที่รับผิดชอบ ต่อ Load Bank เข้ากับ Bus Bar ในแผงสวิตช์บอร์ด ในกรณีที่ทดลองที่โรงงานทดสอบเครื่องให้ต่อ Load Bank เข้ากับ Generator

4.5.4.2 เจ้าหน้าที่ประจำเรือหรือเจ้าหน้าที่โรงงานปรับซ่อมเครื่องยนต์เดินเครื่องไฟฟ้าตัวเปล่า (No Load) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้กำลังดันและอุณหภูมิต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ขับฯ อยู่ในเกณฑ์ปกติ ขั้นการใช้งานตามคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต

4.5.4.3 เจ้าหน้าที่โรงงานปรับซ่อมเครื่องยนต์ ปรับแต่งความเร็วรอบเครื่องยนต์ขับฯ และเจ้าหน้าที่แผนกซ่อมอุปกรณ์จ่ายไฟ อล.ทร. ปรับแต่ง Volt เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้คงที่ (ตามคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต)

4.5.4.3.1 การปรับแต่งความเร็วรอบเครื่องยนต์ขับฯ ให้ปฏิบัติตามที่กำหนดไว้ในวิธีการวัดความเร็วรอบ

4.5.4.3.2 การปรับแต่ง Volt เครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ปฏิบัติตามที่กำหนดไว้ในวิธีการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ

4.5.4.4 จ่ายเพิ่มภาระกระแสจาก 0 – 100 % (ในกรณีที่เครื่องปรับซ่อมใหญ่) โดยเพิ่มครั้งละ 25% (การทดสอบแต่ละช่วงจะต้องให้ค่าต่าง ๆ อยู่ในภาวะคงที่เสียก่อนจึงจะเพิ่มภาระในช่วงต่อไป) โดยให้รับภาระสูงสุด (100%) เป็นเวลา 1 ชม. หลังจากนั้นทดสอบภาระเกินกำหนด (Over Load) 110% เป็นเวลา 1 ชม. บันทึกค่ากระแสทั้ง 3 เฟส, แรงเคลื่อน, กำลัง, ความถี่ และข้อมูลต่าง ๆ ของเครื่องขับเคลื่อนทุก ๆ 15 นาที หรือตามที่กำหนดไว้ในคู่มือของผู้ผลิต

4.5.4.4.1 การจ่ายภาระ (กระแส) ให้ปฏิบัติตามที่กำหนดไว้ในวิธีการวัดกระแสไฟฟ้า

4.5.4.4.2 ก่อนเพิ่มภาระแต่ละครั้งและในระหว่างการทดลองต้องตรวจสอบความเร็วรอบ ค่ากำลังดัน และอุณหภูมิต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ขับฯ ให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ ตามคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต และตรวจสอบค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนี้

- Voltage Regulator จาก No Load ถึง Full Load จะเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน $\pm$2.5% หรือที่กำหนดไว้ในคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต (IEEE Std. 45.1-2017, 8.4.7 Voltage Regulation)

- Hertz จาก No Load ถึง Full Load จะเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน $\pm$4% (Frequency transient tolerance) แล้วต้องกลับมาอยู่ในค่า $\pm$3% (Frequency Tolerance Limit) ภายในเวลาไม่เกิน 2 วินาที (Frequency transient recovery time) หรือที่กำหนดไว้ในคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต (IEEE Std. 45-2002, 4.5AC power system characteristics หรือเทียบเคียงใน MIL-STD-1399-300B FIG9. Page18)

- ตรวจสอบค่าอุณหภูมิขดลวด, โครงเครื่อง (Case) และแบริ่งให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ

4.5.4.5 การลดภาระ (กระแส) จาก 100 – 0% โดยลดครั้งละ 25% ทุก ๆ 15 นาที ตรวจสอบค่าต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ขับฯ และค่าต่าง ๆ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่าง ๆ ต้องไม่แตกต่างจากการจ่ายเพิ่มภาระ หรือตามที่กำหนดไว้ในคู่มือของผู้ผลิต

4.5.4.6 ควรระมัดระวังอันตรายขณะทำการทดลอง ควรแต่งการให้รัดกุม และระมัดระวังอันตราย

4.5.5 วิธีการทดลองเครื่องไฟฟ้าเครื่องเดียว (Single Test) บน แท่นที่เครื่องไฟฟ้านั้น ๆ ใช้งานอยู่ โดยใช้ Load Bank ให้เจ้าหน้าที่โรงงานไฟฟ้าที่รับผิดชอบ ต่อ Load Bank เข้ากับ Bus Bar ในแผงสวิตช์บอร์ดแล้ว ดำเนินตามข้อ 9.4.2 - 9.4.6

4.5.6 วิธีการทดลองเครื่องไฟฟ้าเครื่องเดียว (Single Test) บน แท่นที่เครื่องไฟฟ้านั้น ๆ ใช้งานอยู่ โดยใช้ภาระบนเรือ ให้ดำเนินตามข้อ 4.5.4.2 – 4.5.4.6

4.5.7 การทดลองเดินขนานต่อ Load Bank เครื่องกำเนิดเครื่องที่ 1 และจ่ายกระแส 25% จากนั้นขนานเครื่องที่ 2 เข้ากับเครื่องที่ 1 โดยการตรวจสอบว่าเครื่องทั้งสองจะต้องมีความถี่ โวลต์ และเฟสของโวลต์เท่ากัน ต่อวงจรกระแสขนานแล้วจดข้อมูลจากมิเตอร์บนแผงจ่ายไฟ เพิ่มกระแสขึ้นที่ละขั้นโดยเว้นช่วงห่างเท่า ๆ กัน จนกระแสได้ 100% จากนั้นลดกระแสลงในลักษณะเดียวกับการเพิ่มกระแส

4.5.8 เมื่อเครื่องไฟฟ้าทำการทดลองจ่าย Load เสร็จสิ้นแล้ว ให้เดินเครื่องไฟฟ้าตัวเปล่า (No Load) เป็นเวลาอย่างน้อย 3 – 5 นาที ก่อนทำการหยุดเครื่อง

4.6 เกณฑ์การประเมินผล

4.6.1 เครื่องไฟฟ้าที่ได้รับการติดตั้งใหม่ ข้อมูลทุกประเภทที่ได้จากการทดลองจะต้องไม่แตกต่างจากข้อมูลของเครื่องไฟฟ้าชนิดเดียวกันหรือข้อมูลที่ได้จากการทดลองในโรงงานผู้ผลิต (Factory Test)

4.6.2 เครื่องไฟฟ้าที่ได้รับการปรับซ่อม ข้อมูลทุกประเภทที่ได้จากการทดลองจะต้องเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทำการทดลองไว้ประมาณ 3 เดือน ก่อนการปรับซ่อมใหญ่

4.6.3 ระบบป้องกันอันตราย (Safety Device) และระบบเลิกเครื่องอัตโนมัติ (Shut Down Device) ของเครื่องยนต์ขับฯ ต้องทำงานอย่างถูกต้องตามคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต กรณีระบบต่าง ๆ ทำงานไม่ถูกต้องให้แจ้งแผนกควบคุมเครื่องจักร อล.ทร. เพื่อพิจารณาดำเนินการ

4.6.4 Voltage Regulator จาก No Load ถึง Full Load จะเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน ±2.5% ที่กำหนดไว้ในคู่มือ การใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต (IEEE Std. 45.1-2017, 8.4.7 Voltage Regulation)

4.6.5 Hertz จาก No Load ถึง Full Load จะเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน ±4% (Frequency transient tolerance) แล้วต้องกลับมาอยู่ในค่า ±3% (Frequency Tolerance Limit) ภายในเวลาไม่เกิน 2 วินาที (Frequency transient recovery time) หรือที่กำหนดไว้ในคู่มือการใช้เครื่องของบริษัทผู้ผลิต (IEEE Std. 45-2002,4.5 AC power system characteristics หรือเทียบเคียงใน MIL-STD-1399-300B FIG9. Page18)

4.6.6 อุณหภูมิขดลวดของเจนเนอเรเตอร์ ต้องไม่เกินสูงเกินไปกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน NEMA design class ซึ่งขึ้นอยู่กับ class ของฉนวนขดลวด (Insulation class) ของเจนเนอเรเตอร์ ตามตารางที่1 NEMA design class temperature rating หรือตามที่กำหนดไว้ในคู่มือเครื่องของบริษัทผู้ผลิต (IEEE Std. 45.1-2017,8.4.3 Generator design)

ตารางที่ 1 NEMA design class temperature rating

NEMA design class	Total temperature rating (°C)
B	130
F	155
H	185

4.6.7 ความเร็วรอบของเครื่องเมื่อไม่มีภาระ (No Load) กับภาระสูงสุด (Full Load) ต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกินค่าที่ผู้ผลิตระบุไว้

4.6.8 ระดับของความสั่นสะเทือนจะต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ใน ISO 2372: 1974

4.6.9 เครื่องยนต์ดีเซลต้องเดินด้วยความเร็วรอบคงที่ไม่เปลี่ยนไปมาอยู่ตลอดเวลาในแต่ละภาระโหลด ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) (ระบบแรงดันต่ำ) ตาม IEEE Std. 45-2002,4.5 AC power system characteristics สำหรับการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเครื่องเนื่องจากเปลี่ยนแปลงภาระของโหลด เมื่อความเร็วรอบเปลี่ยนแปลงไปและเข้าสู่จุดที่ค่ารอบคงที่ค่าใหม่ ค่าความเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเครื่องคงที่ (steady state speed variation) ค่าใหม่นี้เปลี่ยนแปลง ไม่ควรเกิน 5% เมื่อเทียบกับความเร็วรอบเครื่องปกติทุก ๆ ภาระของโหลด และใช้เวลาตั้งแต่มีการเปลี่ยนแปลงรอบ จนความเร็วรอบเข้าสู่ย่านภายใน 1% ของค่าความเร็วรอบคงที่สุดท้าย (final steady state speed) ไม่เกิน 5 วินาที (ตามมาตรฐาน IEEE Std. 45.1-2017, 8.3.6 Prime mover speed control system (governor))

การควบคุมความเร็วของรอบเครื่องยนต์ขับในกรณีที่ปลดภาระฉับพลัน จะต้องควบคุมความเร็วรอบเครื่องยนต์ขับฯ ไม่ให้สูงเกินเกณฑ์ โดยปกติจะอยู่ต่ำกว่าความเร็วรอบที่ Over-speed Trip ประมาณ 5% สำหรับเครื่องไฟฟ้าของเรือที่จะสามารถขนานเครื่องได้สำเร็จนั้น ควรมีการปฏิบัติได้ตามเงื่อนไข ดังต่อไปนี้

- ภาระโหลดจ่ายอยู่ในช่วง 50%-100% ของพิกัดโหลดรวมทั้งหมดของเครื่องไฟฟ้าทุกเครื่องที่จ่ายภาระอยู่

(Operating load is between 50% and 100% of the sum of the rated loads on all generators)

- ภาระโหลด (kw) ที่อยู่บนเครื่องไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังมากที่สุดต้องไม่แตกต่างจากภาระโหลดของเครื่องไฟฟ้าตัวอื่น ๆ เกิน ±15% โดยเปรียบเทียบกับพิกัดกำลังของเครื่องไฟฟ้าที่มีกำลังมากสุด

(The load (kW) on the largest generator does not differ from the others by more than ±15% of the rated output)

- ภาระโหลด (kw) ที่อยู่บนเครื่องไฟฟ้าที่มีกำลังมากที่สุดต้องไม่แตกต่างจากภาระโหลดของเครื่องไฟฟ้าตัวอื่น ๆ เกิน 25% โดยเปรียบเทียบกับพิกัดกำลังของตัวมันเองของเครื่องไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

(The load (kW) on the largest generator does not differ from the others by more than 25% of the rated output of any individual generator from its proportionate share)

เมื่อปริมาณภาระรวมอยู่ที่ 75% สามารถแบ่งภาระโหลดให้กับเครื่องไฟฟ้าอื่นได้มากกว่าหนึ่งเครื่องได้

(The starting point for the determination of the successful load distribution requirements is to be at 75% load with each generator carrying its proportionate load.)

4.6.10 คุณภาพทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Power Quality Analyzer Meter เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE Std. 45.1-2017, Recommended Practice for Electrical Installations on Shipboard-Design ตามตารางที่ 2 คุณลักษณะที่สำคัญของระบบ

ตารางที่ 2 คุณลักษณะที่สำคัญของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) (ระบบแรงดันต่ำ) ตาม IEEE Std. 45-2002, 4.5, AC Power system characteristics

คุณลักษณะที่สำคัญ (characteristics)	ขอบเขตที่กำหนด (Limits)
Frequency	
1. Nominal Frequency	50/60 Hz
2. Frequency Tolerance	± 3 %
3. Frequency modulation	0.5 %
4. Frequency Transient:	
4.1 Tolerance	± 4 %
4.2 Recover time	2 second
5. The worst-case frequency excursion from nominal frequency resulting from item 2), item 3), and item 4.1 combined, except under emergency conditions.	±5.5 %
Voltage	
1. User voltage tolerance:	
1.1 Average of the three line – to – line voltages	± 5 %
1.2 Any one line – to – line voltage including 1.1 and line voltage unbalance	± 7 %
2. Voltage transient:	
2.1 Voltage transient tolerances	± 16 %
2.2 Voltage transient recover time	2 second
3. waveform voltage distortion[a]	
3.1 maximum total harmonic distortion	5%
3.2 maximum single harmonic	3%
3.3 maximum deviation factor	5%
4. Emergency condition	
4.1 Frequency excursion	-100to +12%
4.2 Duration of frequency excursion	Up to 2 min
4.3 Voltage excursion	-100to +35%
4.4 Duration of voltage excursion	
4.4.1 Lower limits (-100%)	Up to 2 min
4.4.2 Upper limits	2 min

ข้อกำหนด (Definitions)

Frequency

1. Nominal frequency: The designated frequency in Hertz

2. Frequency tolerance: The maximum permitted departure from nominal frequency during normal frequency operation, excluding transient and cyclic frequency

durations. It includes variation caused by load changes, environment (temperature, humidity, vibration, inclination). Switchboard meter error and drift. Tolerances are expressed in percentage of nominal frequency.

3. Frequency modulation: The permitted periodic variation in frequency during normal operation that might be caused by regularly and randomly repeated loading. For propose of definition, the periodicity of frequency modulation should be considered as not exceeding 10s.

$$\text{Frequency Modulation (\%)} = \frac{\{f_{maximum} - f_{minimum}\}}{\{2 \times f_{nominal}\}}$$

4. Frequency transient tolerance: A sudden change in frequency that goes outside the frequency tolerance limits, return to, and remains inside these limits within a specified recovery time after initiation of the disturbance, Frequency transient tolerance is in addition to frequency tolerance limits.

5. Frequency transient recover time: The time - period from the start of the disturbance until the frequency recovers and remains within the frequency tolerance limits

Voltage

1. User voltage tolerance: The maximum permitted departure from nominal user voltage during normal operation, excluding transient and cyclic voltage variations. It includes variations such as those cause by load changes, environment (temperature, humidity, vibration, inclination). Switchboard meter error and drift.

2. Line voltage unbalance tolerance (Three – phase system): The difference between the highest and lowest line – to – line voltages.

$$\text{Line voltage unbalance tolerance (\%)} = \frac{\{E\ minimum - E\ maximum\}}{\{E\ nominal\}} \times 100$$

3. Voltage modulation (amplitude): The periodic voltage variation (peak to valley) or the user voltage that might be cause by regularly or randomly repeated pulsed loading. The periodicity or voltage modulation is considered to be longer than 1 Hz and less than 10s. Voltage used in the following equation shall be on peak or all – rms:

$$\text{Voltage Modulation (\%)} = \frac{\{E\ maximum - E\ minimum\}}{\{2 \times E\ nominal\}} \times 100$$

4. Voltage transient

4.1 Voltage transient tolerance: A sudden change (excluding spikes) in voltage that goes outside the user voltage tolerance limits and returns to and remains within these limits within a specified recover time longer than 1 ms after the initiation of the disturbance. The voltage transient tolerance is in addition to the user voltage tolerance limits.

4.2 Voltage transient recover time: the time clasped from initiation of the disturbance until the voltage recovers and remains within the user voltage tolerance limits.

5. Voltage spike: A voltage change of very short duration (Less than 1 ms)
Waveform

5.1 Total Harmonic Distortion (THD) (of a sine wave): The ratio in percentage of the rms valve of the residue (after elimination of the fundamental) to the rms valve of the fundamental.

5.2 Single harmonic (of a sine wave): The ratio in percentage of the rms value of that harmonic to the rms valve of the fundamental.

5.3 Deviation factor (of a sine wave): The ratio of the maximum difference between corresponding ordinates of the wave and of the equivalent sine wave to the maximum ordinate of the equivalent sine wave when the waves are superimposed in such a way that they make the maximum difference as small as possible.

Deviation factor (%)= $\frac{\{maximumdaviation\}}{\{maximum\ ordinate\ of\ the\ equivalent\ sine\ wave\}} \times 100$

4. Emergency condition

A situation or occurrence of a serious nature that may result in electric power system interruptions or deviations, such as the occurrence of ships service generator failure and the emergency generator coming on line.

[a]For ship with electric propulsion or other adjustable speed drive loads, higher voltage distortion can be accepted on a dedicated power bus if the equipment connected to dedicated power bus is designed and tested actual conditions

ที่มา: IEEE Std. 45-2002, 4.5 AC Power system characteristics

ตัวอย่างสูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าต่าง ๆ ตาม MIL-STD-1399-300B

Average line-to line voltage tolerance (%) = (Average volt. - Nominal user volt.) x100
(Nominal user volt.)

โดยที่ Average voltage คือ ผลรวมของ line- to- line voltages หารด้วยจำนวนของ line- to- line voltages

Line-to-line voltage tolerance (%) = (Line-to-line Volt. – Nominal User Volt.) x 100
(Nominal User Volt.)

โดยที่ line- to- line voltage คือ ค่า line- to- line voltage ในแต่ละอัน

Total Harmonic Distortion (THD) (%) = $100 \times \sqrt{\sum_{h\neq 1}\left(\frac{V_h}{V_{fundamental}}\right)^2}$

โดยที่ V_h คือค่าแรงดัน ของharmonic แต่ละตัว

$h \geq 2$

$V_{fundamental}$ คือ voltage ที่ความถี่ปรกติของระบบ ปรกติ 50 หรือ 60 Hz

4.7 ผู้ทำการประเมินผลการทดลอง

ผู้ร่วมเป็นพยานในการทดลอง มีหน้าที่รวบรวมข้อมูลทั้งหมดแล้วนำไปวิเคราะห์ สรุปและประเมินผลว่าการติดตั้งหรือการซ่อมทำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ หลังจากนั้นเสนอผลการประเมินผลให้เจ้าหน้าที่ผู้ดำเนินการทดลองและเจ้าหน้าที่ฝ่ายเรือ และลงนามในเอกสารประเมินผล ในกรณีที่เจ้าหน้าที่ทั้งสามฝ่ายมีความเห็นไม่ตรงกันให้ผู้ร่วมเป็นพยาน ในการทดลอง ให้เสนอรายงานตามลำดับชั้นจนถึงผู้บังคับบัญชาเพื่อพิจารณาชี้ขาดต่อไป

เอกสารแบบฟอร์มการทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. ตรวจสอบและทดลองระบบป้องกันความปลอดภัย

No	ITEM	UNIT	USER		SIMULATED ACTUATED	REMARK
			ALARM	EM. STOP		
1	OVER SPEED	RPM				
2	LUB. OIL PRESS.	BAR				
3	LUB. OIL TEMP.	°C				
4	COOLING TEMP.	°C				

2. ตรวจสอบสภาพภายนอกทั่วไป

2.1 ความพร้อมของรายการอุปกรณ์เครื่องวัด (ใช้ราชการได้ / ไม่สามารถใช้ราชการได้ / ไม่มี)

รายการที่ต้องตรวจวัด	ผลการตรวจสอบ			หมายเหตุ
	ใช้ราชการได้	ไม่สามารถใช้ราชการได้	ไม่มี	
กำลังงาน (kW)				
ความต่างศักย์ (V)				
กระแส (A)				
ความถี่ (Hz)				
เพาเวอร์แฟกเตอร์ (PF)				
ความเร็วรอบเครื่อง (RPM)				
อุณหภูมิน้ำทะเลระบายความร้อน				
อุณหภูมิน้ำจืด				
กำลังดันน้ำมันหล่อ				
อุณหภูมิแก๊สเสีย				

2.2 ความพร้อมของระบบต่าง ๆ (ความสามารถใช้ราชการได้)

ระบบ	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
	ใช้ราชการได้	ไม่สามารถใช้ราชการได้	
ระบบสตาร์ทเครื่องขับ			
ระบบการขนานเครื่องแบบ MANUAL			
ระบบการขนานเครื่องแบบ Semi-auto			

2.3 ความเรียบร้อยของระบบท่อทาง (สภาพพัสดุและการรั่วไหล)

ท่อทาง	ผลการตรวจสอบ	หมายเหตุ
ระบบน้ำมันหล่อ		
ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง		
ระบบน้ำทะเล		
ระบบน้ำจืด		
การเดินสายไฟ		

3. วัดค่าการสั่นสะเทือน

- ผลการตรวจสอบตามรายงานแผนกกลจักรฯ ที่แนบ

4. ทดลองการจ่ายโหลด (Load Test) ที่ระดับต่าง ๆ ของเครื่องไฟฟ้า

Nameplate ENGINE
Brand: Model:
Engine No:
Power: HP/kW
RPM:

Nameplate GENERATOR
Brand: Model:
Engine No:
Volts KW Ph
Insulation Class
Hz. PF. RPM.

Load. ..... VDC..... A. = 100%
Load 0.8 PF. ..... VAC..... A. = 100%
Load Bank 1.0 PF. ..... VAC..... A. = 100%

Measuring Point	Unit	Limit (min)	Limit (max)	Value					
Time									
Load	%			0	25	50	75	100	110
Speed	rpm								
Power	kW								

Voltage	L1l2		V								
	L2l3		V								
	L1l3		V								
Amps	L1		A								
	L2		A								
	L3		A								
Cosφ											
Frequency			Hz								
Generator	Winding Temp. L1		°C								
	Winding Temp. L2		°C								
	Winding Temp. L3		°C								
	Gen. Bearing Temp. AFT		°C								
	Gen. Bearing Temp. FWD		°C								
Engine	Lube Oil Temp.		°C								
	Cooling Water Temp.		°C								
	Lube Oil Press. (Min)		Bar								
	Exhaust Temp	A -Side	°C								
		B - Side	°C								

Remark
- อุณหภูมิแก๊สเสียวัดท่อรวม

บันทึก	รับรอง
.....	.....
จนท.ตรวจและทดสอบ	จนท.ผู้รับรองผล
ว/ด/ป	ว/ด/ป

5. ภาคผนวก (แนบรายระเอียดผลการวิเคราะห์คุณภาพทางไฟฟ้าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Power Quality Analyzer Meter)

การแจกจ่าย

หน่วย	จำนวนเล่ม/ไฟล์เอกสาร	เลขทะเบียน
กพช.อร.		
จก.กพช.อร.	1	
ผ.วิชาการ กวจพ.กพช.อร.	1	
ห้องสมุด กวจพ.กพช.อร.	5	
กคภ.กพช.อร.	2 (รวมต้นฉบับ)	
กผช.อร.		
กผงร.กผช.อร.	1	
กอร.กผช.อร.	1	
กอจ.กผช.อร.	1	
กอฟ.กผช.อร.	1	
อธบ.อร.		
กผป.อธบ.อร.	1	
กงน.อธบ.อร.	1	
อจปร.อร.		
ห้องสมุด อจปร.อร.	3	
กพ.อจปร.อร.		
คป.อจปร.อร.		
กผป.อจปร.อร.	1	
กพห.อจปร.อร.		
กอบ.อจปร.อร.	1	
กพด.อจปร.อร.	1	
กคภ.อจปร.อร.	1	
กชส.อจปร.อร.		
กรก.อจปร.อร.	1	
กรล.อจปร.อร.	1	
กบต.อจปร.อร.	1	
กบก.อจปร.อร.		

หน่วย	จำนวนเล่ม/ไฟล์เอกสาร	เลขทะเบียน
อรม.อร.		
กจก.อรม.อร.	1	
กพ.อรม.อร.	1	
กบ.อรม.อร.	1	
กผป.อรม.อร.	1	
กคภ.อรม.อร.	1	
กรก.อรม.อร.	1	
กรล.อรม.อร.	1	
กฟฟ.อรม.อร.	1	
กสน.อรม.อร.		
กพด.อรม.อร.		
กรง.ฐท.สส.		
กผกช.กรง.ฐท.สส.	1	
กงน.กรง.ฐท.สส.	1	
ฐท.สข.		
กงน.ฐท.สข.	1	
ฐท.พง.		
กงน.ฐท.พง.	1	