

การประเมินสมรรถนะชุดควบคุมความเร็วรอบกังหันน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าของ เขื่อนวชิราลงกรณ

Assessment on Speed Governor Performance of Turbine of Vajiralongkorn Hydropower Plant

ศรัณย์ โพธิยานนท์^{1,*} และ มณฑล ไกจุศล²

¹หน่วยงานกองบำรุงรักษา โรงไฟฟ้าเขื่อนวชิราลงกรณ ตำบลหนองผามูมิ กาญจนบุรี 71180

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Saran Phothiyanon^{1,*} and Monthon Jaikusun²

¹Engineering level 10, Department of maintenance, Vajiralongkorn Dam, Thakanun, Tonhphapum,

Kanchanaburi, 71180, Thailand

²Department of Mechanical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Ladkrabang,

Bangkok, 10520, Thailand

***Corresponding Author E-mail:** monthon.ja@kmitl.ac.th

Received: Jun 24, 2021; **Revised:** Sep 16, 2021; **Accepted:** Sep 22, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะในการควบคุมตำแหน่งของใบน้ำร่องทางเข้า ด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณควบคุมวาล์วน้ำร่องแบบเซอร์โววาล์ว (High-Speed Linear Servo Valve) แทนอุปกรณ์แปลงสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ (Electro-Hydraulic Converter) เดิม ที่เสื่อมสภาพ ทำการกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกอุปกรณ์ โดยพิจารณาจากการความไวต่อการตอบสนองต่อสัญญาณควบคุม และเนื่องจากคุณลักษณะจำเพาะเชิงพลวัตของวาล์วที่เปลี่ยนไป จึงทำการปรับแต่งพารามิเตอร์ในการควบคุม และทดสอบระบบหลังการปรับปรุงตามฟังก์ชันการทำงาน ได้แก่ 1) การทดสอบ Governor Dry Test เพื่อประเมินการตอบสนองของความเร็วในการเคลื่อนที่ในย่านการทำงานของ Auxiliary Servo Motor ที่ควบคุมใบน้ำร่องทางเข้าก่อนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ 2) การทดสอบ Governor Wet Test เพื่อตรวจสอบและยืนยันการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบทั้งระบบ ขณะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยมีการทดสอบ Unit Protection Trip Test เพื่อตรวจสอบความสามารถของการควบคุมความเร็วรอบ ที่ไม่ให้เกิดอันตรายต่อระบบ เมื่อมีการปลดภาระของเทอร์ไบน์อย่างทันทีทันใด พร้อมทั้งการตรวจสอบการเพิ่มขึ้นของแรงดันในท่อทางเข้าของกังหัน ผลการทดสอบเบื้องต้น พบว่า ระบบที่ปรับปรุงมีความไวในการตอบสนองต่อสัญญาณควบคุมเพียงพอ ส่งผลให้กังหันมีความเร็วรอบเกินค่าที่ตั้งไว้เพียง 1.31% ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 54% ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของความดันในท่อทางเข้าสูงสุดเกิดที่ 8.615 นิวตัน/(ซ.ม)² ซึ่งไม่เกินเกณฑ์การยอมรับที่ 11.3 นิวตัน/(ซ.ม)² และเมื่อทดสอบการเดินเครื่องโดยกำหนดความเร็วรอบ ณ จุดทำงานแบบ Step function ใบน้ำร่องทางเข้าเริ่มมีการปรับทิศทางในช่วงแรกของการเข้าสู่ค่าที่กำหนด ภายในเวลา 33 วินาที จากนั้นเข้าสู่เสถียรภาพในเวลา 50 วินาที ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับเพื่อทำการทดสอบด้านการผลิตและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบต่อไป

คำสำคัญ: อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ, ฟรอนซิสเทอร์ไบน์, ใบน้ำร่องทางเข้า

Abstract

This paper concern with performance assessment of the guide vane position actuator when controlled via a high-speed linear servo valve adopted as a replacement of a retired electro-hydraulic convertor. The valve was selected based on sufficient range of delivered oil flow and response of control signal. Due to change in dynamic characteristics of the valve, control parameters were adjusted, and the system response was studied after such replacement according to function of the unit, which are 1) Governor Dry Test, for assessment on response of auxiliary servo motor speed within the operation range, and 2) Governor Wet Test, for assessment on response of the whole governor unit. The Unit Protection trip testing scheme was performed to evaluate the system response to rapid disengagement of turbine load with pressure rise of the turbine conduit. It was found that the turbine was protected against overspeed as the guide vane was closed at sufficient speed resulting only 1.31% overshoot whereas the acceptance criterion is not greater than 54%. The maximum pressure of inlet conduit was found at 8.615 N/cm^2 and was within an acceptable limit at 11.3 N/cm^2 . When the unit was started from rest to a rated speed, the period required since the guide vane started to close until the time the speed approach the set point was 33 second. It then required another 50 second for the turbine speed to be stabilized on the rated value. This was acceptable for further testing scheme on engagement of generator and feeder of electricity to the distribution system.

Keyword: Speed governor, Francis turbine, Inlet Guide vane

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เขื่อนวชิราลงกรณ ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดกาญจนบุรี ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 3 เครื่อง กำลังการผลิตไฟฟ้าเครื่องละ 100 เมกะวัตต์ รวมกำลังการผลิต 300 เมกะวัตต์ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำโดยใช้กังหันพลังน้ำชนิด ฟรานซิส ปัจจุบันมีอายุการใช้งานมานานกว่า 35 ปี เริ่มประสบปัญหาเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ภายในระบบต่างๆ เช่นระบบควบคุมกังหันน้ำ เป็นต้น อีกทั้งยังพบปัญหาการขาดอะไหล่ ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของโรงไฟฟ้า โดยระบบดังกล่าวมีความสำคัญเพราะทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบของกังหันน้ำและควบคุมกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าโดยการปรับตำแหน่งการเปิดและปิดใบน้ำร่องทางเข้าเพื่อควบคุมปริมาณของน้ำที่ไหลเข้าสู่กังหันน้ำ [1-2]

ระหว่างปี พ.ศ.2559 ถึง พ.ศ.2562 โรงไฟฟ้าได้ดำเนินการปรับปรุงอุปกรณ์โรงไฟฟ้า (Refurbishment Project VRK H1-3) โดยระบบควบคุมกังหันน้ำซึ่งปรับปรุงเฉพาะระบบ Electronic Control System จากระบบอนาล็อกเป็นดิจิทัลร่วมกับฝ่ายบำรุงรักษาไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ไทย โดยระบบควบคุมนี้ใช้อุปกรณ์ Programmable Logic Control (PLC) ซึ่งมีลักษณะการประมวลผลเป็นแบบดิจิทัลเป็นตัวควบคุมหลัก ส่วนอุปกรณ์ของระบบ Hydraulic Control System ยังคงใช้งานอุปกรณ์เดิม เนื่องจากอุปกรณ์หลักยังคงอยู่ในสภาพที่ดี ยกเว้นพบความสึกหรอบริเวณเฟืองเกียร์ของชิ้นส่วน Valve Sleeve ของอุปกรณ์ Actuator Solenoid and Pilot Distributing Valve ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวทำหน้าที่รับสัญญาณทางไฟฟ้าและแปลงเป็นสัญญาณทางกล (E/H Convertor) ส่งผลให้ระบบควบคุมกังหันน้ำทำงานไม่แม่นยำหรือทำงานผิดพลาด

อย่างไรก็ตามการใช้อุปกรณ์ควบคุมไฮดรอลิกสมัยใหม่เข้ามาใช้แทนอุปกรณ์เดิมที่เสื่อมสภาพ จำเป็นต้องศึกษาถึงบทบาทหน้าที่ของอุปกรณ์ที่ชำรุดนั้น เพื่อกำหนดลักษณะของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ทดแทน ทำการคัดเลือกขนาดของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับย่านการใช้งาน รวมถึงการประเมินการตอบสนองต่อสัญญาณควบคุม เมื่อนำอุปกรณ์ใหม่มาใช้ ซึ่งจะต้องทำให้สมรรถนะการทำงานของระบบคงเดิมหรือดีกว่า จึงมีความจำเป็นต้องทำการเก็บข้อมูลหลังการติดตั้งอุปกรณ์ เมื่อเทียบกับเกณฑ์การ

ยอมรับในการเดินเครื่อง เพื่อให้เกิดความมั่นใจ ก่อนการ
ใช้งานจริงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ

เพื่อพิสูจน์การตอบสนองของระบบไฮดรอลิกควบคุม
ความเร็วรอบของกังหัน เมื่อทำการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์
Electro-Hydrodynamic Converter (E/H Converter) ใหม่ ที่
สามารถรับสัญญาณควบคุมทางไฟฟ้าแบบ 4–20 mA มาใช้
งานทดแทนอุปกรณ์เดิมที่เสื่อมสภาพ โดยเปรียบเทียบการ
ทำงานของระบบในโหมด Constant Speed Control เมื่อ
เทียบกับเกณฑ์การยอมรับ (Acceptance Criteria) [3–4]
หลังการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว

2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

P. Surawattawan [5] ทำการวิเคราะห์การสร้าง
แบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบควบคุมตำแหน่ง
แบบไฮดรอลิก ซึ่งประกอบไปด้วยกระบอกสูบ ไฮดรอลิก
และเซอร์โววาล์ว เนื่องจากอัตราไหลของน้ำมันผ่านตัว
วาล์วเป็นฟังก์ชันของกระแสไฟฟ้าและแรงที่ส่งของความ
ดันตกคร่อมตัววาล์ว จึงได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคทำให้
เป็นเชิงเส้น (Linearization) ในการวิเคราะห์สมการเซอร์โว
วาล์วซึ่งเป็นสมการแบบไม่เป็นเชิงเส้น ด้วยเทคนิค
ดังกล่าวจึงทำให้สามารถวิเคราะห์ฟังก์ชันถ่ายโอนซึ่งแสดง
ถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต (Input) ที่เป็นการต่าง
ศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง และเอาต์พุต (Output) ที่เป็นการกระจัด
ของลูกสูบได้ ในงานวิจัยดังกล่าวได้เสนอความคิดใหม่ 2
ประการ โดยที่ประการแรก เป็นการแสดงให้เห็นว่าการ
เคลื่อนที่ของลูกสูบไฮดรอลิกทั้งสองทิศทางคือ เลื่อนตัว
เข้าและออกจากกระบอกสูบ สามารถสร้างเป็นสมการ
แบบจำลองที่เหมือนกันได้ ช่วยให้การวิเคราะห์หาฟังก์ชัน
การถ่ายโอนเป็นไปได้โดยง่าย เนื่องจากระบบเชิงเส้น
ต้องการผลตอบสนองที่สมมาตรรอบจุดทำงานของระบบ
และการประยุกต์ใช้หลักการตรวจสอบเสถียรภาพตาม
เกณฑ์ของเร้าส์ (Routh's Stability Criterion) ในการหา
ขอบเขตของค่า Proportional Gain ที่เหมาะสมภายในระบบ
วงปิด ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อระบบควบคุมตำแหน่งของไฮ

ดรอลิกที่ไม่สามารถใช้การปรับค่า Gain แบบลองผิดลอง
ถูก (Trial-and-Error) ได้

D. Duangsoythong , T. Tachahog , V. Kosong และคณะ
[6] ได้ศึกษาและพัฒนา ระบบ Digital Governor Control
หรือ DGC ขึ้นมาใช้งานทดแทนระบบเดิมที่เสื่อมสภาพ
เพื่อลดการพึ่งพาเทคโนโลยีที่นำเข้า โดยระบบ Governor
Control นี้ได้ใช้อุปกรณ์ Programmable Logic Control
(PLC) ซึ่งมีลักษณะการประมวลผลเป็นแบบดิจิทัลเป็นตัว
ควบคุมหลัก โดยออกแบบและพัฒนาโปรแกรมให้
สามารถใช้งานได้ดีกว่าระบบเดิม ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน
IEEE 1207

ด้วยความสำเร็จของโครงการดังกล่าว จึงเป็นที่มาของ
การนำอุปกรณ์ที่สามารถรับสัญญาณควบคุมทางไฟฟ้า 4–
20 mA มาทดแทนอุปกรณ์ E/H converter เดิมที่รับสัญญาณ
 $\pm 10V_{DC}$ ที่เสื่อมสภาพ และ ดำเนินการพิสูจน์ระบบควบคุม
กังหันน้ำที่ปรับปรุงนี้ ว่าสามารถทำงานได้ตามเกณฑ์การ
ยอมรับในการเดินเครื่องได้หรือไม่ ซึ่งคาดว่าจะได้ระบบ
ควบคุมกังหันน้ำที่มีความเสถียร ตอบสนองความต้องการ
ของระบบผลิตไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ และสามารถ
ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอุปกรณ์ควบคุมกังหันน้ำ
ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำได้ต่อไป

3 วิธีการดำเนินงาน

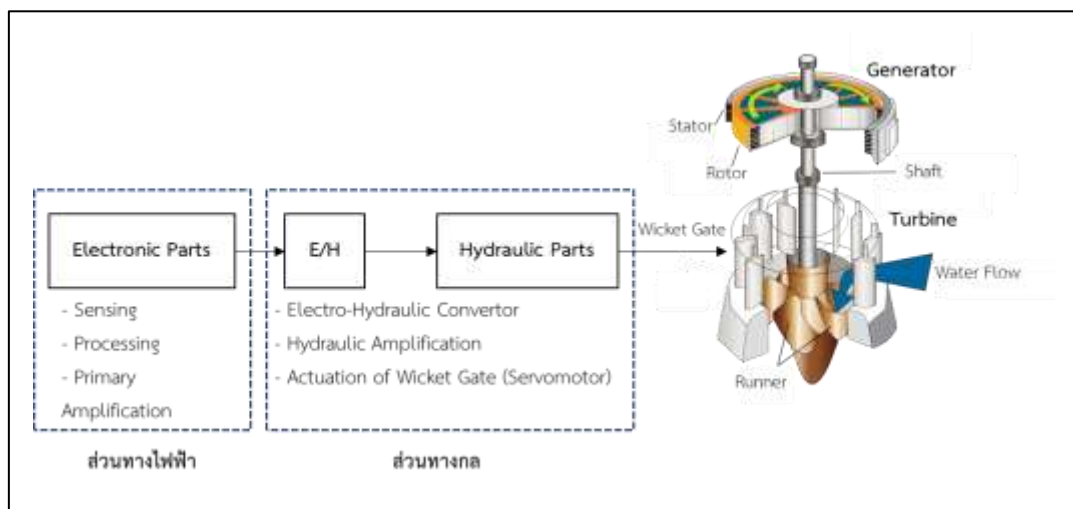
เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการ จึงได้มี
ขั้นตอนดำเนินการ ดังนี้

1. ตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ และวิเคราะห์การ
ทำงานของระบบ E/H Converter เพื่อค้นหาสาเหตุของ
ความบกพร่องที่เกิดขึ้น
2. ทำการคัดสรรอุปกรณ์สมัยใหม่ ที่มีบทบาทในการ
ทำงาน และมีงานในการทำงานเดียวกันหรือใกล้เคียงกับ
อุปกรณ์ที่ชำรุด
3. ทำการดัดแปลงเครื่องจักรในส่วนที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำ
การติดตั้งอุปกรณ์สมัยใหม่ที่มาทดแทน
4. ดำเนินการทดสอบสมรรถนะของระบบ ตามรายการ
การทดสอบสมรรถนะ ที่ระบุไว้เป็นเกณฑ์ในการยอมรับ
ในการตรวจรับเครื่องจักร

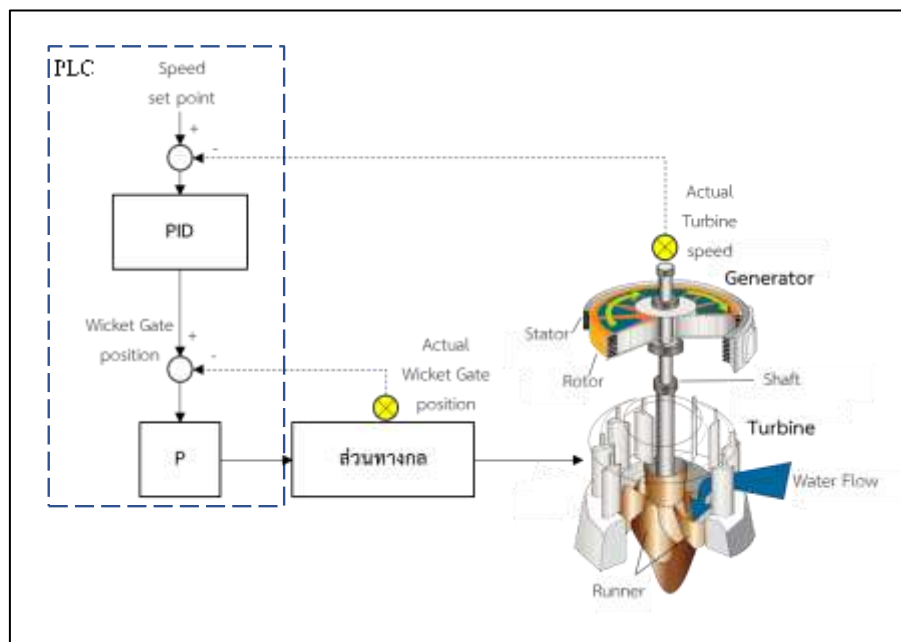
3.1 ระบบ Governor actuator

อุปกรณ์ Governor actuator เป็นอุปกรณ์ทางกลของระบบควบคุมความเร็วรอบกังหันน้ำ (Governor Control System) มีอุปกรณ์สำคัญ คือ Electro-Hydraulic Converter ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณควบคุมทางไฟฟ้า ($\pm 10V_{DC}$) เป็นสัญญาณไฮดรอลิก ใช้สำหรับควบคุมทิศทางและปริมาณการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก (Governor Oil Control) เพื่อใช้ควบคุมตำแหน่งและความเร็วของการเคลื่อนที่ของใบน้ำร่องทางเข้า สำหรับปรับทิศทางทางไหลเข้ากังหันน้ำ อุปกรณ์ดังกล่าวประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ Electromagnetic Parts และ

Hydraulic Parts ซึ่งส่งสัญญาณไฮดรอลิกไปขับเคลื่อนชิ้นส่วนทางกลเพื่อผลักดัน ใบ Wicket Gate เพื่อบังคับทิศทางกระแสการไหลของน้ำที่เข้าปะทะ Runner อันมีผลต่อความเร็วรอบของเทอร์ไบน์ ดังรูปที่ 1 ทั้งนี้ ส่วนทางกลจะมีการส่งข้อมูลตำแหน่ง Wicket Gate ไปยัง PLC พร้อมทั้งความเร็วรอบของ Runner เพื่อประมวลผลภายใต้ภาระของการจ่ายกระแสไฟฟ้าต่างๆ ในการกำหนดตำแหน่งของ Wicket Gate เพื่อรักษาความเร็วรอบให้คงที่ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนด ดังรูปที่ 2 อันส่งผลต่อคุณภาพในการผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนทางไฟฟ้าและชิ้นส่วนทางกลในการตรวจจับและควบคุมกังหันน้ำ



รูปที่ 2 การเชื่อมโยงระหว่างส่วนทางกลกับส่วนควบคุม

อุปกรณ์ Electro-Hydraulic Converter มีชิ้นส่วนที่เรียกว่า Pilot spool ทำงานแบบเคลื่อนที่ในแนวแกน หรือเคลื่อนที่ขึ้นและลง เพื่อเปิด-ปิดช่องเพื่อควบคุมอัตราการไหล ในตัวเรือนวาล์วหรือที่เรียกว่า Valve Sleeve ซึ่งถูกขับเคลื่อนให้หมุนรอบตัวเองเพื่อให้เกิดชั้นฟิล์มน้ำมันโดยรอบ Pilot Spool โดยชิ้นส่วนที่บังคับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ของ Pilot spool คือ Magnetic Coil โดยมีการเคลื่อนที่ของ Pilot spool ตามแรงดันทางไฟฟ้าที่ป้อนเข้าที่ Terminal ทั้งนี้ ชิ้นส่วนที่มีการทำงานแบบเคลื่อนที่หมุนรอบตัวเอง คือ Valve Sleeve, Ball Bearing, Gear Motor และ Roller Bearing จากการทำงานร่วมกันทั้งสองส่วน ถ้าชิ้นส่วน Pilot Spool ไม่คดงอ, การวางตำแหน่งดี, Oil Lap ถูกต้อง สามารถเป็นที่เชื่อถือเชื่อมั่นได้ว่า อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถทำงานได้ถูกต้องและแม่นยำ สำหรับความถูกต้องตามคำสั่งการเปิดและปิด Pilot Spool ประเมินจาก 3 ปัจจัยประกอบด้วย 1. ความแม่นยำที่เที่ยงตรง 2. ความมีเสถียรภาพในการตอบสนอง และ 3. ความอ่อนล้าหรือความล่าช้าในการทำงานซ้ำ ที่สามารถยอมรับได้ [7-8]

อุปกรณ์ E/H Converter ดังรูปที่ 3 มีหน้าที่รับสัญญาณควบคุม ทิศทาง ความเร็ว และตำแหน่งในการ เปิด-ปิด โดยที่สัญญาณควบคุม-VDC เป็นสัญญาณสั่งปิดอุปกรณ์



รูปที่ 3 อุปกรณ์ E/H converter

ซึ่งอุปกรณ์จะใช้ระยะเวลาสั่งปิดเร็วสุดเมื่อได้รับสัญญาณ -10 VDC สัญญาณควบคุมทางไฟฟ้า 0 VDC เป็นสัญญาณตำแหน่งหยุดนิ่งหรือ Neutral Position สัญญาณควบคุม +VDC เป็นสัญญาณสั่งเปิดอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์จะใช้ระยะเวลาเปิดเร็วสุดเมื่อได้รับสัญญาณ +10 VDC อีกทั้งมีระบบตรวจสอบกลับ หรือ Feedback Report ในการตรวจสอบความถูกต้องตามสัญญาณไฟฟ้าที่มาสั่งการ

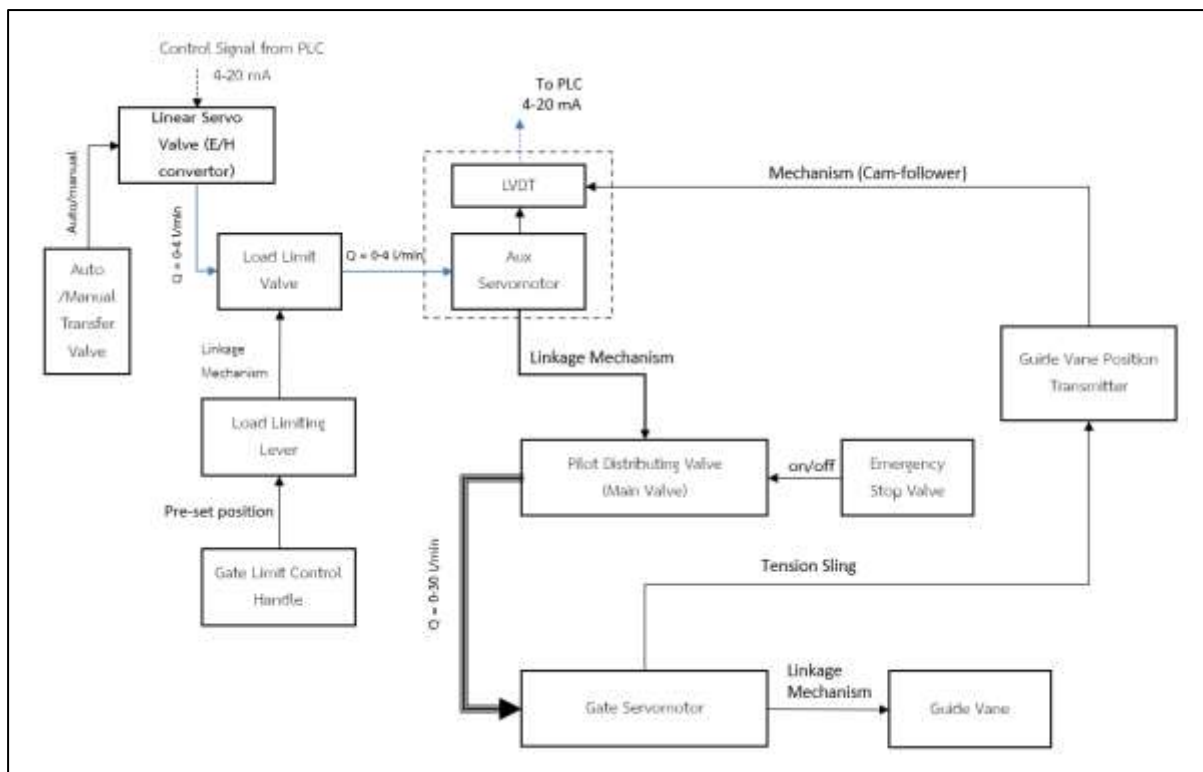
3.2 การสึกหรอทางกลที่เกิดขึ้น

จากการตรวจสอบ พบความเสียหายของฟันเฟืองตัวตาม Pinion Gear จากการขัดถู (Polishing) แสดงในรูปที่ 4 โดยเกิดขึ้นแบบซ้ำๆ จากการที่ฟันเฟืองสัมผัสกันทั้งแบบไถล (Sliding) และการกลิ้ง (Rolling) ในระหว่างการส่งถ่ายกำลัง การสึกหรอแบบนี้จะเกิดขึ้นมากกับการส่งถ่ายกำลังหรือการทำงานของเฟืองที่รอบต่ำๆ ซึ่งจะเป็นเหตุให้ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นบางมากเกินไป เมื่อเกิดการติดขัดจึงทำให้ก้าน Pilot Spool ติดขัด ไม่สามารถควบคุมตำแหน่งเปิดวาล์วได้อย่างแม่นยำเหมือนเดิม ซึ่งจะทำให้ระบบทดกำลังไฮดรอลิกที่เชื่อมต่อกับระบบควบคุมดังกล่าว ทำงานผิดพลาด ซึ่งวาล์วไฮดรอลิกทำหน้าที่บังคับการเคลื่อนที่ของ Auxiliary Servomotor แสดงดังไดอะแกรมการทำงานในรูปที่ 5

เมื่อมีการปรับปรุงระบบจ่ายสัญญาณควบคุม มาเป็น PLC ดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ จึงได้ทำการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณควบคุม จากเดิม ± 10 VDC เป็น 4-20 mA ดังจะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ 4 การสึกหรอที่เป็นผลทำให้การหล่อลื่นลดลง และการเคลื่อนที่ของก้าน Servo Valve ติดขัด



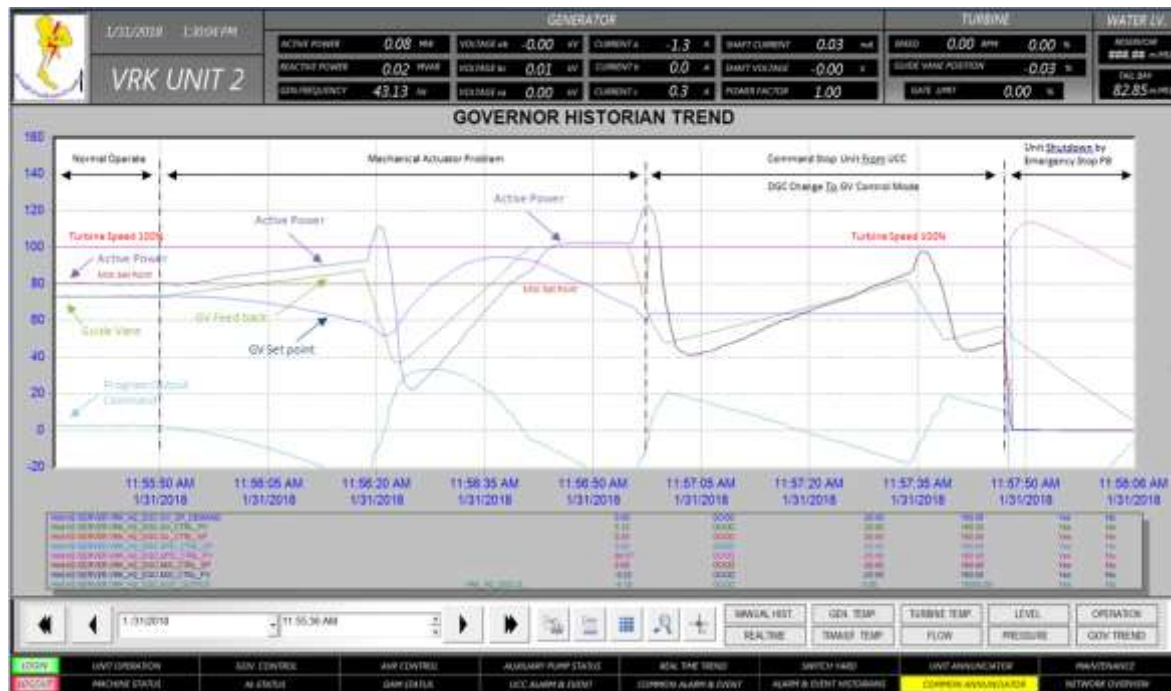
รูปที่ 5 Block diagram แสดงการรับสัญญาณควบคุมจาก PLC ไปสู่การควบคุมตำแหน่งแผ่นบังคับทิศทางไหล โดย Linear Servo Valve (E/H Converter) คืออุปกรณ์ทดแทนอุปกรณ์ที่ชำรุด

4 การทดสอบ

4.1 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมกั้นน้ำก่อนการปรับปรุง

จากการทดสอบ Output Test Mode MW Control ดังแสดงตามรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมกั้นน้ำ ไม่สามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ (ค่า MW Set Point เท่ากับ 80 MW) โดยตรวจสอบพบว่าอุปกรณ์ Governor Actuator ทำงานไปทางด้านเปิด จากเดิมอยู่ที่ตำแหน่ง Neutral Position ส่งผลให้ระบบสั่งเปิดใบน้ำร่องทางเข้า มากขึ้น จากที่เปิดใช้งานอยู่ที่ตำแหน่ง 72% ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น โดยที่ไม่มีคำสั่งการทำงาน (ตั้งแต่เวลา 11:55:50 AM) ในขณะเดียวกันเมื่อ PLC พบปัญหาการทำงานที่ผิดปกติ จึงสั่งลดกำลังการผลิตไฟฟ้าให้กลับมาอยู่ที่ค่า MW Set Point โดยส่งสัญญาณปิด เพื่อลด

ปริมาณการเปิดใบน้ำร่องทางเข้า แต่อุปกรณ์ Governor Actuator ไม่ตอบสนองต่อสัญญาณ PLC จึงส่งสัญญาณให้ลดกำลังการผลิตลงจนถึงค่าการสั่งงานค่าหนึ่ง อุปกรณ์ Governor Actuator จึงปิดตามสัญญาณที่มาสั่งงาน (ที่เวลา 11:56:20 AM) เมื่อผู้ควบคุมการเดินเครื่องเห็นว่าเกิดเหตุการณ์ผิดปกติดังนี้ จึงได้ใช้คำสั่ง Command Stop ใน Guide Vane Control Mode Operation (ที่เวลา 11:57:00 AM โดยประมาณ) แต่ไม่สามารถลงเครื่อง (Stop Unit) ได้ เพราะได้เกิดการ Lag Time และ Lag Load Command Not Complete เนื่องจากองค์ประกอบของ Feedback Command Lag Time & Lag Load ดังนั้นผู้ควบคุมการทดสอบ จึงหยุดการทำงานของเครื่องแบบฉุกเฉิน โดยการกด PB 5E (Emergency Stop) เพื่อยกเลิกการทดสอบ (ที่เวลา 11:57:50 AM โดยประมาณ)



รูปที่ 6 Governor Historian Trend ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเขื่อนวชิราลงกรณ เครื่องที่ 2

4.2 หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกอุปกรณ์ไฮดรอลิกเพื่อ

ทดแทนอุปกรณ์ที่ชำรุด

เมื่อพิจารณาอุปกรณ์ไฮดรอลิกที่มีลักษณะเป็นแบบวาล์วแบบควบคุมทิศทาง พบว่าในปัจจุบันอุปกรณ์ อิเล็กโตรไฮดรอลิกเซอร์โววาล์ว (Electrohydraulic Servo Valve) มักถูกใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน โดยการปรับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวาล์ว อีกทั้งยังมีความเที่ยงตรงแม่นยำในการทำงานสูง จึงนำมาประยุกต์ใช้เนื่องจากมีสมบัติครบถ้วนทั้งด้านไฟฟ้าและทางกล

เมื่อพิจารณาการทำงานของ Governor Actuator พบว่ามีหลักการทำงานเหมือนกับวาล์วแบบควบคุมทิศทาง (Directional Control Valve) ในระบบไฮดรอลิก ประกอบกับก่อนหน้านี้ได้มีการปรับปรุงระบบควบคุมโดยการใช้อุปกรณ์ Programmable Logic Control (PLC) ซึ่งมีลักษณะการประมวลผลเป็นแบบดิจิทัลเป็นตัวควบคุมหลัก โดยออกแบบและพัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานได้ดีกว่าระบบเดิม ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 1207 ทางผู้วิจัย จึงมีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกอุปกรณ์ Linear Servo Valve ที่มีอัตราการไหลสูงสุด ไม่น้อยกว่าอัตราการไหลสูงสุด ของอุปกรณ์เดิมที่ชำรุด และมีความไวต่อสัญญาณควบคุม

เพียงพอ และมีเสถียรภาพ ซึ่งพิจารณาจากค่า Step Response และค่า Hysteresis นอกจากนี้ยังต้องมีลักษณะ Fail Safe Valve Position สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกอุปกรณ์ไฮดรอลิก

Item	Required Specification
Control Method	4/3-way valve (P-T-A-B)
Rate Flow	4 L/min
Max. Operating Pressure	35 MPa
Internal Leak	0.4 L/min or Less
Hysteresis	0.1% or Less
Fail-Safe Function	Fail to Close
Step Response	≤ 4 ms
Power Supply	24 V DC
Current Signal	4 to 20 mA
Hydraulic Operating Fluid	ISO VG68

4.3 การทดสอบการทำงานของอุปกรณ์และระบบควบคุมกักหน้

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างงานทดสอบ ใช้ Digital Oscillographic Recorder “YOKOKAWA” model

DL750 (Yokogawa (Thailand) Ltd., Bangkok, Thailand, 10310) สำหรับแสดงผลของกระแสไฟฟ้าควบคุม และบันทึกข้อมูลการทดสอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในส่วนของความดัน ใช้ Pressure Transducer Recorder “KYOWA” (KYOWA DENGYO (Thailand) CO.,LTD., Bangkok, Thailand, 10260) สำหรับวัดค่าความดันน้ำซึ่งติดตั้งบริเวณ Power Conduit ส่วนของ Spiral Case และ Draft Tube และใช้ Stroke Displacement Transducer สำหรับวัดค่าตำแหน่งการเปิดและปิดของอุปกรณ์ Servo Motor

เพื่อประเมินความสามารถในการทำงานของระบบที่ปรับปรุงตามข้อกำหนดการทำงาน จึงแบ่งการทดสอบออกเป็น

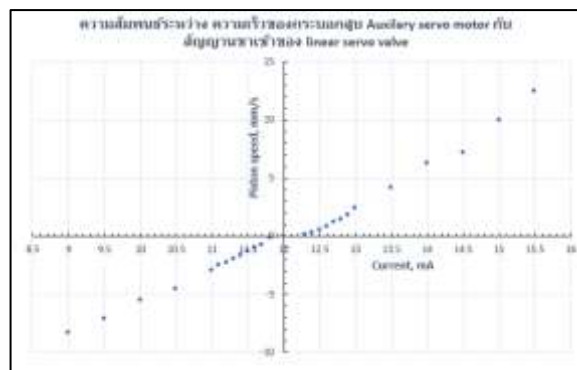
1. การทดสอบ Governor Dry Test เพื่อปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของโหมดควบคุมตำแหน่งของใบนำร่องทางเข้า (Guide Vane Position Control Mode) เพื่อให้ระบบมีการตอบสนองที่ดีและมีเสถียรภาพ อีกทั้งเป็นการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ของระหว่างส่วนทางไฟฟ้ากับส่วนทางกลของระบบ Governor Control โดยมีการทดสอบในขณะที่กังหันน้ำอยู่ในสถานะหยุดนิ่ง คือต้องไม่มีน้ำไหลผ่านประตูน้ำทางเข้า (Intake Gate) และใบนำร่องทางเข้า (Guide Vane) เข้ามาสู่กังหันน้ำ

2. การทดสอบ Governor Wet Test เป็นสถานะที่มีภาระจริง เพื่อปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของโหมดควบคุมความเร็ว (Speed Control Mode) และโหมดควบคุมกำลัง (Power Control Mode) เพื่อให้ระบบมีการตอบสนองที่ดีและมีเสถียรภาพ อีกทั้งเป็นการทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องของฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ

5 ผลการทดสอบ

5.1 ผลการทดสอบ Governor Dry Test

เมื่อทำการเชื่อมต่อสัญญาณควบคุมระบบ PLC แล้ว จึงทำการจำลองการจ่ายค่า Input Signal ให้กับอุปกรณ์ High Speed Linear Servo Valve (E/H Convertor) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Auxiliary Servomotor Average Speed กับสัญญาณจาก PLC ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการทดสอบค่า Auxiliary Servomotor Average Speed ที่ Control Current ต่างๆ

จากผลการทดสอบเมื่อป้อน Input Signal ในย่าน 4–20 mA พบว่าที่ค่า 12 mA เป็นค่า Neutral Position ถ้ามี Input Signal มากกว่า 12 mA Servomotor จะเคลื่อนที่เข้าสู่สถานะเปิด โดยมีความเร็วเพิ่มขึ้นตามประมาณกระแสที่เปลี่ยนไป ในทางตรงกันข้าม ถ้ามี Input Signal น้อยกว่า 12 มิลลิแอมป์ Servomotor จะเคลื่อนที่เข้าสู่สถานะปิด โดยมีความเร็วของการเคลื่อนที่แปรผันตามปริมาณกระแสสัญญาณเช่นกัน ทำการปรับตั้งความดันน้ำมันป้อนเข้า และความดันด้านขาออกของ Servo Valve เพื่อให้ความเร็วสูงสุดของ Servo Motor สามารถตอบสนองและทำงานได้ตามฟังก์ชันการควบคุมที่กำหนด โดยพบว่าวาล์วสามารถจ่ายน้ำมัน และทำให้ความเร็วของ Auxiliary Servomotor ใกล้เคียงความเป็นเชิงเส้นกับสัญญาณ Input Signal ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยมีช่วงที่ไม่ตอบสนองต่อสัญญาณควบคุมเล็กน้อยที่ 12 ± 0.25 mA. ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากความเร็วที่ได้เทียบกับย่านความเร็วเดิมตามข้อกำหนดของการทำงาน พบว่าเพียงพอต่อการนำไปควบคุมอัตราการจ่ายน้ำมันของ Main Valve เพื่อควบคุม กลไกของแผ่นบังคับทิศทางไหลได้ และพบว่า การตอบสนองของก้าน Auxiliary Servomotor ต่อสัญญาณในช่วงดังกล่าวมีความราบเรียบ ไม่เกิดการกระตุก และมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับ Dry Test Scheme

5.2 การทดสอบ Governor Wet Test

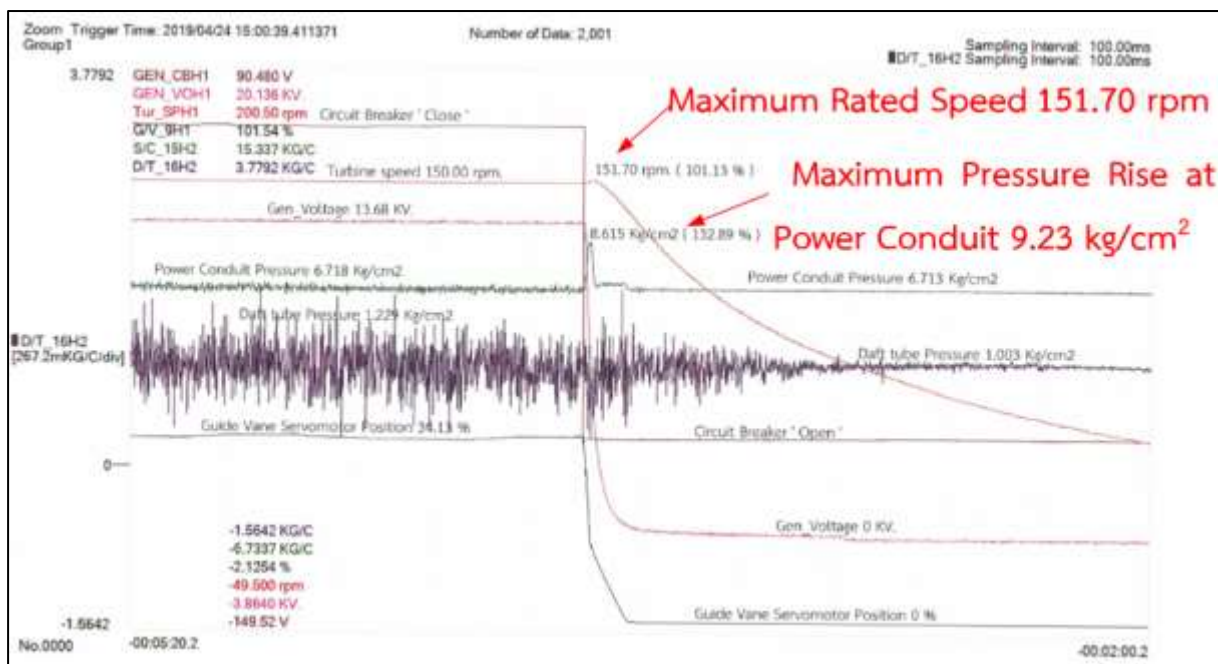
เป็นการทดสอบเพื่อปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ PID และวาล์วควบคุมต่างๆ ในระบบควบคุมการหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าฉุกเฉิน เพื่อให้ระบบมีการตอบสนองที่ดีและ

มีเสถียรภาพ อีกทั้งเป็นการทดสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องของฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ก่อนนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้าใช้งานจริง และทดสอบในโหมดควบคุมความเร็ว และควบคุมกำลังต่อไป

หลังจากการดำเนินการข้างต้น จึงทำการตรวจสอบและทดสอบฟังก์ชันการทำงานของอุปกรณ์ High Speed Linear Servo Valve โดยทำการจำลองการเกิด Trip ของระบบ โดยเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่ตำแหน่ง 34.13% เพื่อจ่าย Load ที่ 15 เมกะวัตต์ เมื่อผู้ควบคุมการทดสอบ สั่ง

Trip Emergency Lock-Out 86U1A, 86U1B ระบบสามารถสั่งปิดไบนาร่องทางเข้า ได้ตามที่กำหนด

จากรูปที่ 8 พบว่าระบบควบคุมความเร็วรอบทำการปิดไบนาร่องทางเข้า (Guide Vane) จาก 34.13 เปอร์เซ็นต์อย่างทันที โดยกักกันถูกปลดการอย่างทันทีเช่นกัน และเนื่องจากยังมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลปะทะกักกันอยู่ จึงให้ค่าความเร็วรอบเพิ่มขึ้นสูงสุดเล็กน้อยเท่ากับ 151.70 รอบ/นาที คิดเป็น 101.31 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Acceptant criteria $\leq 154\%$)



รูปที่ 8 ผลการทดสอบ Unit Protection Trip Test Function Lock-out 86U1A,86U1B

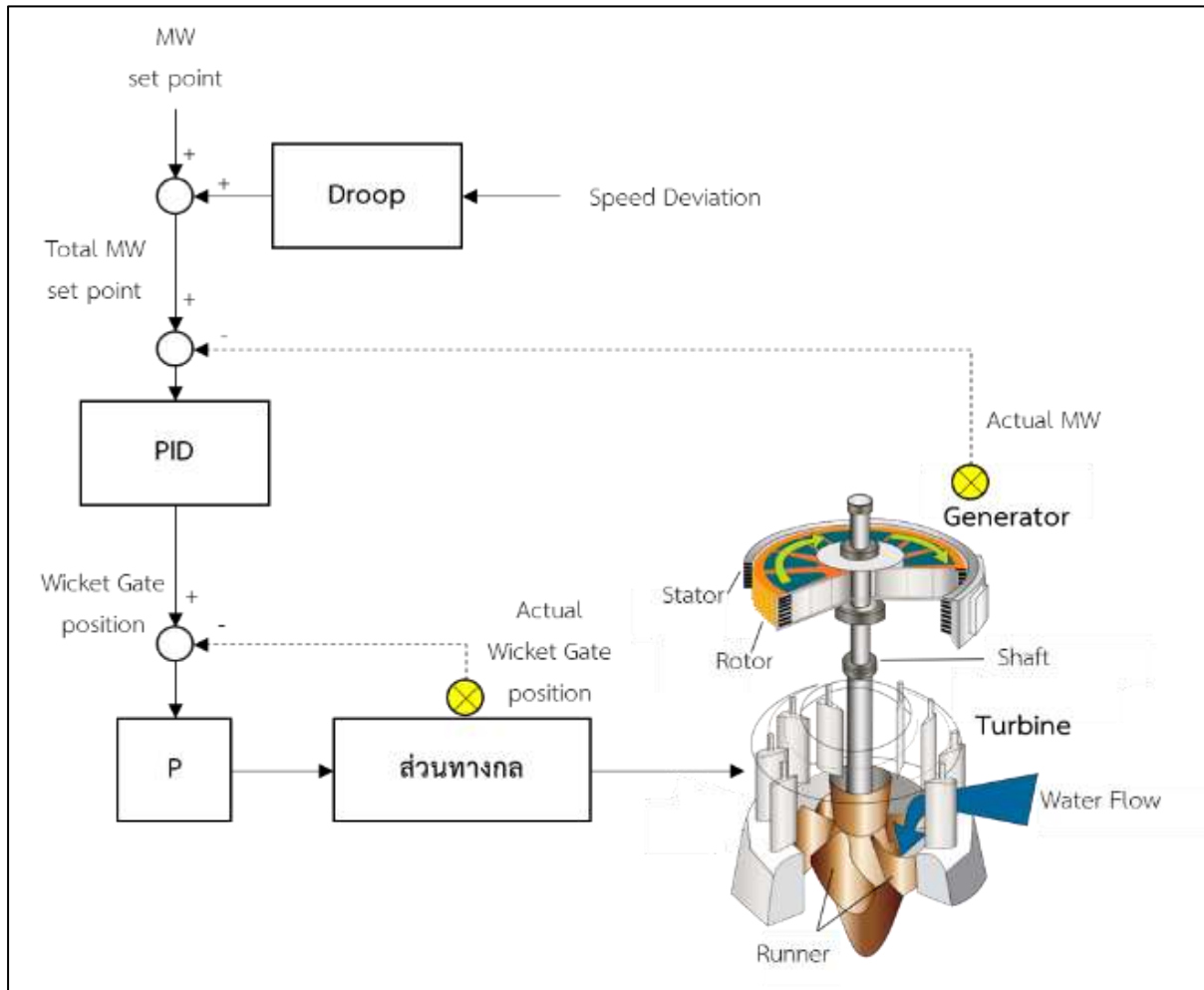
เมื่อมีการลดลงของความเร็วของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ไบนาร่องทางเข้า เนื่องจากการปรับตำแหน่งของไบนาร่อง จึงเกิดการเพิ่มขึ้นของความดันในท่อ Power Conduit โดยมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 8.615 นิวตัน/ตร.ซม. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (Acceptant criteria ≤ 11.3 นิวตัน/ตร.ซม. โดยที่กักกันน้ำยังคงหมุนด้วยความเฉื่อยต่อไป หากแต่มีความเร็วลดลงตามลำดับ อันเป็นผลของความเสียดทาน

5.3 Automatic Start-Stop (EGAT-DGC Adjustment On-Load Condition)

ในการทดสอบการเข้าสู่ระบบการจ่ายไฟอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมกักกันน้ำ ในสภาวะ On-Load เพื่อเตรียมความพร้อมก่อนการต่อวงจรเพื่อขนานระบบผลิตกระแสไฟฟ้า (Start Up) เข้ากับระบบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต โดยทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ภาระทางไฟฟ้าจำลอง และการทดสอบหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Stop Unit) และเพื่อตรวจสอบฟังก์ชันต่างๆ สำหรับเตรียมความพร้อมในการ Start Up เครื่องกำเนิด

ไฟฟ้า เพื่อประเมินการทำงานของอุปกรณ์ High Speed Linear Servo Valve ที่รับสัญญาณควบคุมแบบ Sequence Operation จาก PLC ในการควบคุมความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

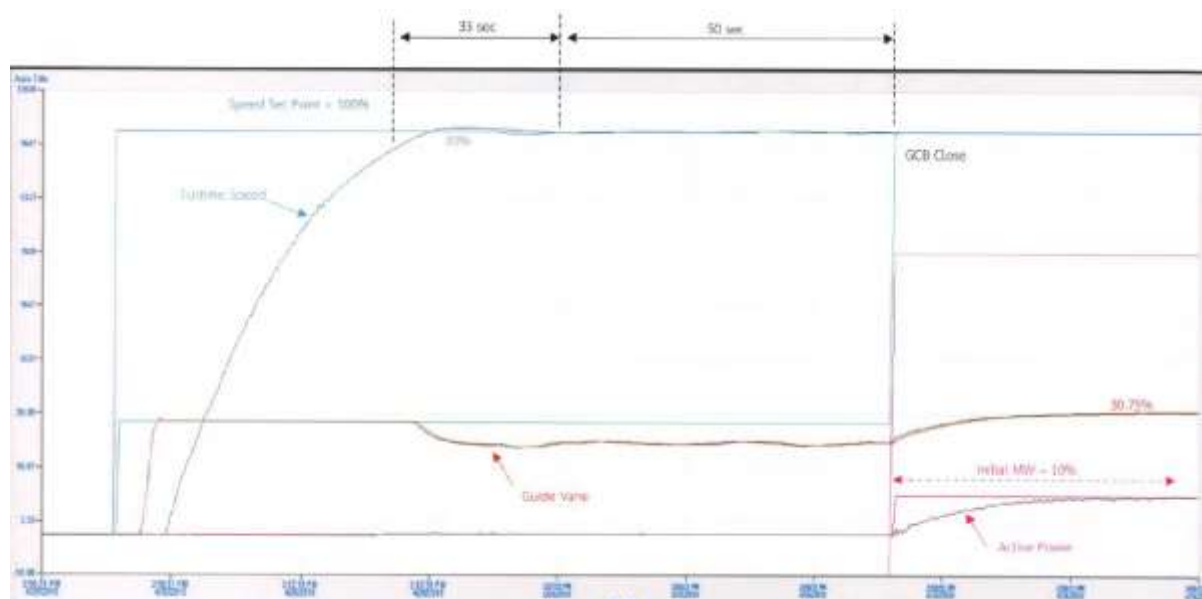
และมีการชดเชยความเร็วรอบผ่านฟังก์ชันควบคุม MW ข่ายกระแสไฟฟ้า ที่คอยสั่งเพิ่มหรือลด MW Set Point อย่างอัตโนมัติ โดยการเบี่ยงเบนของรอบกังหันจะถูกประมวลผลผ่านฟังก์ชัน Droop เพื่อกำหนดค่า Total MW Set Point ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การชดเชยความเร็วรอบเพื่อรักษา MW set point ผ่าน ฟังก์ชัน Droop Control

จากรูปที่ 10 พบว่า เมื่อมี Command Automatic Start ผ่าน อุปกรณ์ High Speed Linear Servo Valve เพื่อสั่งเปิด Guide Vane ไปที่ตำแหน่ง 28% เมื่อความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นไปที่ 135 RPM (90% Rated Speed) มี Command Excitation “ON” และในขณะที่ความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ระบบทำการปรับตำแหน่งของ Guide Vane เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีความเร็วรอบที่ Rated Speed 150 RPM ภายในระยะเวลา 33 วินาที โดยที่ Guide Vane เคลื่อนที่อยู่ที่ตำแหน่งประมาณ 22–23% อีก 50 วินาที ก่อนที่ ผู้ควบคุมจะทำการ Parallel Mode MW Control ต่อไป

จากการทดสอบ Governor Control Start-Stop Test พบว่าอุปกรณ์ High Speed Linear Servo Valve สามารถรับ Command จาก PLC ของระบบในการควบคุมการเปิด-ปิด อุปกรณ์ Guide Vane เพื่อรักษาความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือ Rated Speed ที่ 150 RPM ได้ โดยการทำงานเป็นไปตามเงื่อนไขการควบคุมของระบบ ไม่พบข้อผิดพลาด สามารถรับและตอบสนอง Command จากห้องควบคุมได้ เข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ได้ ในระยะเวลาที่กำหนด และมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับภายใต้เงื่อนไข On-Load Condition



รูปที่ 10 ผลการทดสอบช่วง Initial Load

6 สรุปผลการทดสอบ

จากการตรวจสอบผลตอบแทนของระบบควบคุมตามรายการทดสอบที่กำหนดขึ้นจากเงื่อนไขการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พบว่าอุปกรณ์ E/H Convertor เดิม สามารถได้รับการทดแทนด้วยอุปกรณ์ Hydraulic Servo Valve ที่มีย่านทำงานที่เหมาะสม โดยเกณฑ์การคัดเลือกอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ย่านการทำงานของน้ำมันไฮดรอลิกของ Servo Valve ต้องเทียบเท่าได้กับย่านของ E/H Convertor เดิม นอกจากนี้ ระบบที่ติดตั้งขึ้นใหม่มีการรับสัญญาณชนิด 4–20 mA ทดแทนระบบเดิมที่รับสัญญาณแบบ ± 10 VDC ทำให้อุปกรณ์ใหม่นี้สามารถรับสัญญาณจาก PLC ได้โดยตรงด้วยหลักเกณฑ์การทดแทนอุปกรณ์ดังกล่าว และการปรับตั้งพารามิเตอร์ PID และอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลที่เกี่ยวข้องใหม่เพื่อรองรับอุปกรณ์ที่เปลี่ยนไป จึงทำให้ยังคงสามารถรักษาเสถียรภาพของการควบคุมความเร็วรอบ ได้ตามเดิม

นอกจากการดำเนินการข้างต้น คณะผู้ดำเนินการยังได้ทำการทดสอบการควบคุมอัตราการจ่ายไฟฟ้าที่ ค่า MW ต่างๆ อีกด้วย ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในบทความฉบับนี้ และด้วยผลของการดำเนินการดังกล่าว ช่วยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าหมายเลข 1 เชื้อนิวเคลียร์ลงกรณ มีสภาพพร้อมจ่ายไฟฟ้าได้อีกครั้ง ถือเป็นความสำเร็จในการใช้ความรู้

ทางวิศวกรรมในการปรับปรุงระบบที่มีความซับซ้อน เป็นการประหยัดงบประมาณด้านการซ่อมบำรุงโรงไฟฟ้าแทนการนำเข้าและติดตั้งชุดควบคุมโรงไฟฟ้าโดยผู้ผลิตจากต่างประเทศ

7 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทีมวิจัยหน่วยงานกองบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า เชื้อนิวเคลียร์ลงกรณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการดำเนินการให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Thaiprayoon , P. Srinoui , P. Intap, et al., “Fundamentals of Hydropower”, EGAT, Bangkok, Thailand, Second Rep., 2013.
- [2] P. Srinoui , V. Jannui , K. Sarun, et al., “Electro-Hydraulic Governor”, EGAT, Bangkok, Thailand, First Rep. ,1989.
- [3] *Governor and Turbine Auxiliaries supplied to EGAT Khaolerm Project; Turbine Control Device*, Hitachi, Ltd., Ibaragi Prefecture, Japan, 1986, No.3, pp.400-443.
- [4] *Governor Operation and Maintenance Instructions; Plant Feature Governors*, Hitachi, Ltd., Ibaragi Prefecture, Japan, 1986, pp.200-235.

-
- [5] P. Surawattanawan, "Mathematical modeling analysis of positional control system for hydraulic cylinder," *Kasetsart Engineering Journal*, vol. 17, no. 49, pp. 92–107, 2003.
- [6] D. Duangsoythong , T. Tachahog , V. Kosong, et al., "Digital Governor Control System", EGAT, Bangkok, Thailand, 2013.
- [7] *Guide to Specification of Hydraulic Turbine Control Systems*, IEC 61362, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 1998.
- [8] *Hydraulic Turbines—Testing of Control Systems*, IEC 60308, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2005.