

## การใช้ห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้าของ กฟผ. เพื่อทดสอบอุปกรณ์ของระบบ SCPS ตามมาตรฐาน IEC 61850

นายณัฐวร พัฒนา<sup>1</sup>, นายไพฑูรย์ เลิศนภารัตน์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>กองอุปกรณ์ควบคุม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค nuttaworn.pat@pea.co.th

<sup>2</sup>กองอุปกรณ์ควบคุม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค pithoon.ler@pea.co.th

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำลังที่จะก้าวเข้าสู่การเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญ ในด้านระบบควบคุมและระบบป้องกันภายในสถานีไฟฟ้า ไปเป็นสถานีไฟฟ้ารูปแบบดิจิทัล โดย กฟผ. ได้นำมาตรฐาน IEC 61850 มาติดตั้งใช้งานสำหรับระบบฯ ดังกล่าว ซึ่งหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญสำหรับการก้าวไปสู่ระบบโครงข่ายอัจฉริยะ (Smart Grid) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในอนาคต โดยจุดเด่นของมาตรฐาน IEC 61850 สำหรับระบบควบคุมและระบบป้องกันในสถานีไฟฟ้า ที่เปลี่ยนให้การทำงานของระบบต่าง ๆ เป็นสถานีไฟฟ้าที่ทำงานด้วยระบบดิจิทัลที่สื่อสารกันผ่านเทคโนโลยีสารสนเทศ และหนึ่งในเหตุผลที่ทำให้มาตรฐานนี้กลายเป็นมาตรฐานที่ถูกใช้เป็นระบบควบคุมภายในสถานีไฟฟ้าอย่างแพร่หลายที่สุด คือ อุปกรณ์ต่างผลิตภัณฑ์กันสามารถทำงานร่วมกัน และแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันในการทำงานได้ (Interoperability)

ด้วยมาตรฐานที่มีเนื้อหารายละเอียดปลีกย่อย ทำให้ในบางครั้งการตีความการใช้ของมาตรฐานแต่ละผลิตภัณฑ์ อาจมีความขัดแย้งกัน ซึ่งบ่อยครั้งที่ กฟผ. มักจะพบว่าถึงแม้ อุปกรณ์จะรองรับการทำงานตาม IEC 61850 แต่กลับไม่สามารถทำงานร่วมงานกันได้อย่างที่ควรจะเป็น และแต่ละผลิตภัณฑ์ก็ต่างยกเหตุผลที่สนับสนุนการทำงานของตนว่าทำงานได้อย่างถูกต้อง

จึงเป็นที่มาของการทดสอบผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะนำเข้ามาใช้งานใน กฟผ. ซึ่งไม่ใช่เพียงแค่การทดสอบฟังก์ชันการทำงานทั่วไปของอุปกรณ์เท่านั้น แต่รวมถึงการทดสอบการทำงานที่ถูกต้องตามมาตรฐาน IEC 61850 ด้วย และในปัจจุบัน กฟผ. ได้จัดทำห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้า โดยมีจุดประสงค์เพื่อจะใช้เป็นห้องปฏิบัติการสำหรับการเรียนรู้การทำงานระบบ SCPS (Substation Control and Protection System) รวมถึงใช้ในการทดลองและทดสอบการทำงานของระบบดังกล่าว

เอกสารนี้จึงได้จัดทำเพื่ออธิบายถึงผลจากการศึกษาและวิเคราะห์ถึงแนวทางการใช้ห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุม

อัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้าของ กฟผ. เพื่อทดสอบอุปกรณ์ของระบบ SCPS ตามมาตรฐาน IEC 61850 เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์ที่นำเข้ามาใช้งานในสถานีไฟฟ้าของ กฟผ. นั้นจะทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการดูแลและป้องกันให้กับการจ่ายไฟจากสถานีไฟฟ้าของ กฟผ. ได้เป็นอย่างดี

**คำสำคัญ:** สถานีไฟฟ้าดิจิทัล มาตรฐาน IEC 61850 ระบบ SCPS

### 1. บทนำ

การทดสอบการทำงานร่วมกันตามมาตรฐาน IEC 61850 นั้นเป็นสิ่งได้ระบุอยู่ในมาตรฐานดังกล่าวด้วย ซึ่งได้แก่หัวข้อ IEC 61850 Part Conformance testing [1] โดยจะระบุถึงการทดสอบการทำงานด้านการรองรับมาตรฐานในด้านต่าง ๆ โดยละเอียด และใช้เป็นหัวข้อในการทดสอบอุปกรณ์เพื่อออกหนังสือรับรอง (Certification) ความถูกต้องให้แก่อุปกรณ์ที่ทดสอบ เพื่อให้เจ้าของผลิตภัณฑ์ใช้ในการรับรองอุปกรณ์ที่จำหน่ายให้แก่ผู้ใช้งาน ว่าได้ถูกต้องตามที่มาตรฐานกำหนด

โดยถึงแม้ว่าอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์จะได้รับหนังสือรับรองจากหน่วยงานที่สามารถทดสอบ Conformance Testing ได้ก็ตาม แต่ด้วยรายละเอียดที่มีปริมาณมากซึ่งได้ถูกกำหนดไว้ในมาตรฐาน ทำให้การทดสอบในทุกกรณีของมาตรฐานแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย ซึ่งอาจจะเปรียบเทียบกับบั๊ก (Bug) ของซอฟต์แวร์ ที่ในสภาวะในการทำงานปกติจะทำงานได้ดี แต่เมื่อมีกรณีที่เกิดขึ้นในบางกรณีอาจจะทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดที่ไม่ได้ตั้งใจออกแบบไว้จากเจ้าของผลิตภัณฑ์

นอกจากนี้ในบางรายละเอียดนั้น กลับพบว่ามาตรฐาน IEC 61850 ไม่ได้ระบุรายละเอียดไว้อย่างชัดเจน ในส่วนที่ผู้ใช้งานควรจะเลือกให้ชัดเจน ทำให้ในบางครั้งอุปกรณ์ที่ได้รับรองการทำงานตามมาตรฐาน ก็ไม่สามารถนำมาใช้งานในรูปแบบที่ กฟผ. ต้องการ ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

การทดลองและทดสอบการจำลองสถานการณ์เสมือนการทำงานจริง จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นก่อนที่จะตัดสินใจรับผลิตภัณฑ์ใดๆ เข้าไปใช้งานภายในได้ระบบ SCPS ที่ กฟภ. ใช้งานอยู่ ซึ่งแน่นอนว่า กฟภ. ไม่ใช่หน่วยงานเฉพาะทาง ที่มีเครื่องมือหรือซอฟต์แวร์ที่เฉพาะทางที่สามารถทดสอบได้ทุกรายละเอียด แต่การใช้งานห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. ในนั้น ถือว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบมาตรฐาน IEC 61850 ของแต่ละผลิตภัณฑ์ได้ โดยเฉพาะการทดสอบด้าน Interoperability ของอุปกรณ์

## 2. มาตรฐาน IEC 61850

### 2.1 ทัวไป

มาตรฐาน IEC 61850 กำเนิดขึ้นมาครั้งแรกราวปี ค.ศ. 2004 โดยเป็นมาตรฐานของระบบควบคุมและป้องกันภายในสถานีไฟฟ้า ที่นำรูปแบบการสื่อสารสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้สำหรับการกำหนดมาตรฐานการแลกเปลี่ยนสื่อสารภายในระบบฯ [2]

กล่าวได้ว่ามาตรฐานดังกล่าวนี้ ทำลายขีดจำกัดในการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันของอุปกรณ์ต่างผลิตภัณฑ์ ให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้อย่างสมบูรณ์

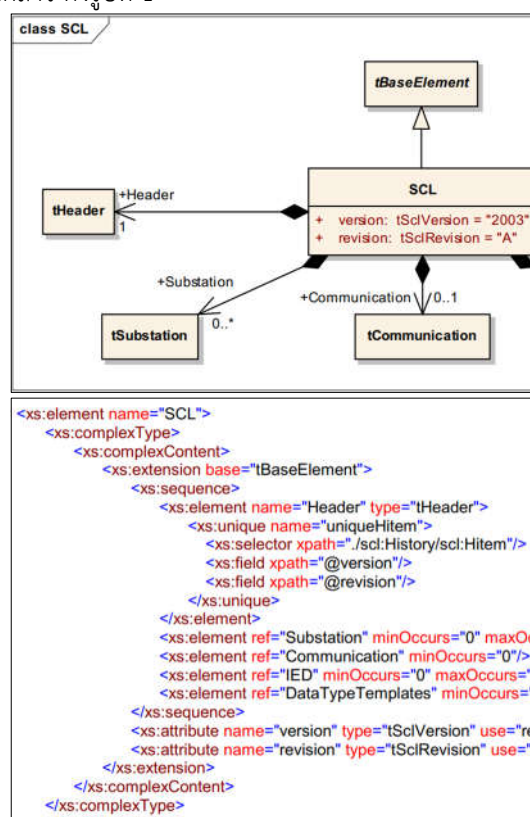
นอกจากนำรูปแบบโครงข่ายการสื่อสารสมัยใหม่ เช่น TCP/IP, Ethernet มาใช้ในการสร้างมาตรฐานของระบบฯ ดังกล่าวแล้ว สิ่งที่เป็นวาระสำคัญของมาตรฐานนี้ คือ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการทำงานต่าง ๆ ของอุปกรณ์ จากรูปแบบกายภาพด้วยตัวนำไฟฟ้าทองแดง ไปเป็นข้อมูลดิจิทัลภายใต้ชื่อ GOOSE และ SV (Sampled Value) [3] ซึ่งสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดรูปแบบสถานีไฟฟ้าดิจิทัล ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก รวมถึงรูปแบบสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. ที่กำลังเปลี่ยนไปสู่รูปแบบสถานีไฟฟ้าดิจิทัลอย่างเต็มรูปแบบ

### 2.2 รายละเอียดที่มาตรฐาน IEC 61850 กำหนด

มาตรฐาน IEC 61850 นั้น เหตุผลหลักเหตุผลหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดขึ้นมานั้น เพื่อเป็นมาตรฐานที่ทำให้อุปกรณ์ภายในระบบควบคุม และระบบป้องกันของสถานีไฟฟ้า สามารถสื่อสารกันได้แม้จะเป็นอุปกรณ์ที่ต่างผลิตภัณฑ์กันก็ตาม และด้วยจุดเด่นส่วนนี้เอง ทำให้คนส่วนใหญ่แล้วจะมองมาตรฐานนี้ว่าเป็นรายละเอียดของโปรโตคอลในการสื่อสารเพียงอย่างเดียว ซึ่งนั่นยังไม่ใช้ทั้งหมดที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ เพราะหากต้องการเพียงแค่กำหนดโปรโตคอลการสื่อสารให้สามารถสื่อสารกันได้ข้ามผลิตภัณฑ์นั้น ก็เพียงแค่ทำข้อตกลงเลือกใช้โปรโตคอลที่นิยมใช้อยู่ในอุตสาหกรรมระบบควบคุม มาเป็นโปรโตคอลสื่อสารร่วมกันได้

โดยมาตรฐาน IEC 61850 นั้น เป็นมาตรฐานที่มากกว่าการกำหนดวิธีการในการสื่อสาร โดยรายละเอียดของมาตรฐานดังกล่าวนี้ สามารถแบ่งได้ 3 หัวข้อใหญ่ ๆ ได้แก่

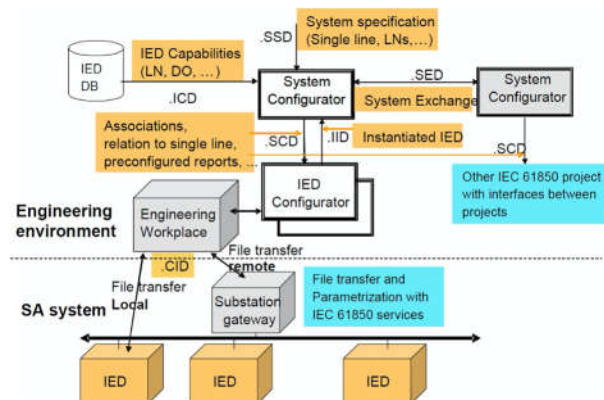
2.2.1 รูปแบบภาษาของไฟล์สำหรับบอกรายละเอียดความสามารถและการทำงานของอุปกรณ์ โดยการใช้เทคโนโลยีโครงสร้างภาษา XML มากำหนดรูปแบบโครงสร้างเฉพาะสำหรับมาตรฐานนี้ และได้ตั้งชื่อประเภทโครงสร้างไฟล์ของมาตรฐานนี้ว่า SCL ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในมาตรฐานในส่วน IEC 61850-6 [4] เพื่อจะเป็นสะพานข้ามไปสู่การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ โดยทำให้มีรูปแบบในการอธิบายความสามารถและการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ อยู่ในโครงสร้างภาษาเดียวกัน มีตัวอย่างโครงสร้างของภาษาดังกล่าว ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปตัวอย่างโครงสร้าง SCL Schema

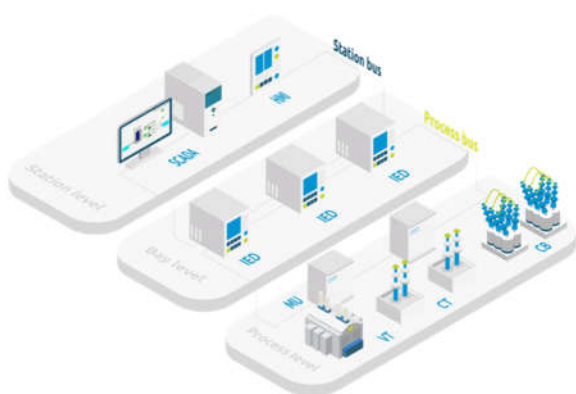
2.2.2 โมเดลของข้อมูล (Data Model) - มาตรฐาน IEC 61850 นี้ ได้นำรายละเอียดต่าง ๆ ของการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในสถานีไฟฟ้า มาออกแบบเป็นโมเดลข้อมูล ในรูปแบบ object oriented โดยจะเรียกโมเดลเหล่านั้นว่า คลาส (Class) ซึ่งเปรียบเสมือนพิมพ์เขียวของข้อมูลแต่ละประเภท โดยรายละเอียดโครงสร้างที่ถูกนำมาสร้างข้อมูลจะถูกเรียกว่า Instance และถูกระบุรายละเอียดของข้อมูลต่าง ๆ ดังกล่าวของแต่ละอุปกรณ์ด้วยภาษา SCL ตามที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น ตามโคแอดแกรมที่อธิบายหลักการดังรูปที่ 2 และการกำหนดโครงสร้างโมเดลของข้อมูลนี้ ทำให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบตาม

มาตรฐานนี้ ไม่ได้เพียงแค่ส่งข้อมูลไบนารีทั่วไป เหมือนที่โปรโตคอลสื่อสารในระบบควบคุมต่าง ๆ แต่สำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลในมาตรฐาน IEC 61850 นี้จะแลกเปลี่ยนข้อมูลกันในลักษณะแอปเจกต์ ที่เกิดมาจากคลาสที่มาตรฐานได้กำหนดไว้



รูปที่ 2 โดยแอมความสัมพันธ์ของโครงสร้างไฟล์ SCL และ Data Model

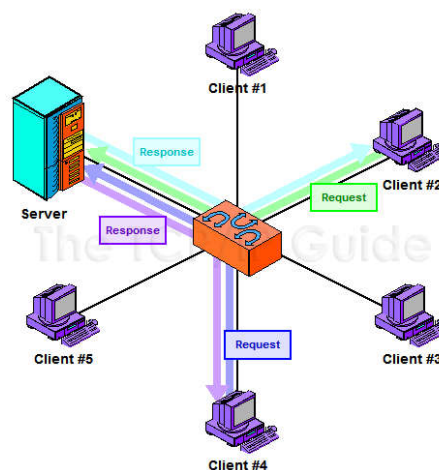
2.2.3 รูปแบบสำหรับการสื่อสาร – โดยนับว่าส่วนนี้เป็นส่วนที่มีรายละเอียดค่อนข้างมาก และสำคัญต่อการรูปแบบการใช้งานมาตรฐาน โดยหากจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.2.1 และ 2.2.2 นั้น จะเป็นการกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ว่ามีความสามารถและข้อมูลอย่างไร แต่ในหัวข้อนี้ จะเป็นการบรรยายรายละเอียดของการสื่อสารว่าอุปกรณ์ แต่ละอุปกรณ์จะแลกเปลี่ยนข้อมูลกันในระบบๆ ใดๆ โดยมาตรฐาน IEC 61850 ได้บรรยายรายละเอียดของการสื่อสารออกเป็นสองระบบ ได้แก่ Station BUS และ Process BUS และแบ่งลำดับชั้นของอุปกรณ์เป็น 3 ระดับ ได้แก่ Station Level, Bay Level และ Process Level ดังรูปที่ 3 ซึ่งรูปแบบการสื่อสารนั้นมีรายละเอียดที่ค่อนข้างมาก โดยจะข้อมูลจะถูกระบุอยู่ในหัวข้อของเอกสารมาตรฐาน IEC 61850-7 ไปจนถึง IEC 61850-9 [5]



รูปที่ 3 โครงสร้างระบบควบคุมและป้องกันตามมาตรฐาน IEC 61850

## 2.3 Interoperability

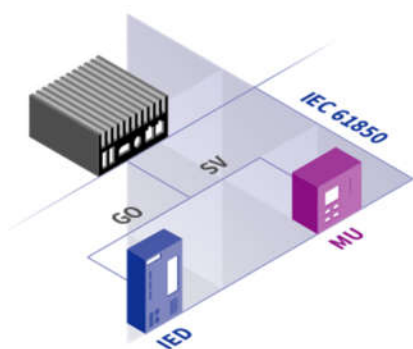
จุดเด่นของมาตรฐาน IEC 61850 ที่ถูกกล่าวถึงและนำเสนอมากที่สุดหัวข้อหนึ่ง คือ ความสามารถในการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ในระบบๆ หรือ “Interoperability” เพราะเนื่องจากก่อนที่มาตรฐานนี้จะถูกกำหนดขึ้นนั้น แอปจะเป็นไปได้ยากมากที่อุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ในระบบๆ ของสถานีไฟฟ้านั้นจะแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน และทำงานร่วมกันได้ ซึ่งเดิมนั้นอุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นเพียงส่วนประกอบหนึ่งของระบบควบคุม ที่มีหน้าที่ในการทำงาน และส่งข้อมูลไปยังปลายทางที่รองรับข้อมูลอยู่ อาทิเช่น HMI หรือระบบ SCADA/DMS ของ กฟภ. เป็นต้น ซึ่งจะการสื่อสารในลักษณะ Server และ Client เท่านั้น ดังรูปที่ 4 และอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์จะไม่สามารถสื่อสารกันได้ผ่านระบบสื่อสารที่มีอยู่ หรือถ้าสามารถทำได้ก็ไม่ใช้การสื่อสารเพื่อใช้ในการทำงานร่วมกันได้



รูปที่ 4 การสื่อสารรูปแบบ Client-Server ที่อุปกรณ์ Client ไม่สามารถสื่อสารเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน

แต่สำหรับ ตามมาตรฐานนี้ จะถูกกำหนดมาเพื่อให้ระบบๆ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถรับและส่งข้อมูลหากันได้อย่างอิสระ ด้วยการสื่อสารที่เรียกว่า GOOSE ที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูลทั่วไปให้กับ และ Sampled Value ที่ใช้ในการส่งค่า Sampling ของสัญญาณแรงดันและกระแส ที่อยู่ในรูป Sine Wave ให้อยู่เป็นสัญญาณ Discrete Signal และสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ประมวลผลเสมือนได้รับสัญญาณจริงแหล่งกำเนิดสัญญาณได้จริง

โดยทั้ง GOOSE และ Sampled Value นั้น ต่างก็เป็นสิ่งที่มาตรฐานได้กำหนดขึ้น เพื่อให้อุปกรณ์สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันได้ และเกิดการทำงานร่วมกันได้ ด้วยข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย ดังรูปที่ 5 โดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้สัญญาณทางไฟฟ้า ที่มีความยุ่งยากมากกว่าในการติดตั้ง และออกแบบระบบในลักษณะกายภาพ



รูปที่ 5 การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ IEDs ด้วย GOOSE และ SV ตามมาตรฐาน IEC 61850

### 3. การทดสอบผลิตภัณฑ์

#### 3.1 การทดสอบทั่วไป

การทำงานทั่วไปของอุปกรณ์ระบบป้องกัน และระบบควบคุมภายในสถานีไฟฟ้านั้น ยังทำหน้าที่เหมือนเดิมทุกประการ เพราะสิ่งที่เปลี่ยนไปคือกระบวนการภายในของระบบฯ ที่ได้ถูกเปลี่ยนให้ทำงานภายในรูปแบบมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการทดสอบทั่วไปในแง่ของการใช้งานนั้น ผู้ใช้งาน หรือ กฟภ. ยังสามารถใช้ขั้นตอนในการทดสอบได้เหมือนระบบรูปแบบเดิม อาจจะมีรายละเอียดเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่อาจมีความแตกต่างกันบ้าง แต่โดยรวมหน้าที่และฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ ของอุปกรณ์หลักแต่ละประเภทยังคงทำงานได้เหมือนเดิม และขั้นตอนการทดสอบในรูปแบบเดิมนั้นยังสามารถทำได้ดังเดิม ก่อนที่จะนำอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าใช้งานจริง

#### 3.2 การทดสอบด้านการรองรับมาตรฐาน IEC 61850

การทดสอบอุปกรณ์แต่ละประเภทในระบบฯ ด้านการรองรับมาตรฐาน IEC 61850 นั้น มีความแตกต่างจาก การทดสอบทั่วไป กล่าวคือ การทดสอบทั่วไปนั้น เป็นการทดสอบความพร้อมในการใช้งาน และการทำงานในแต่ละฟังก์ชัน ว่าถูกต้องตามที่ กฟภ. ต้องการหรือไม่, มีการติดตั้งอุปกรณ์ถูกต้องหรือไม่, มีการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ถูกต้องหรือไม่ เป็นต้น แต่การทดสอบด้านการรองรับมาตรฐาน IEC 61850 จะเป็นการทดสอบความสามารถเกี่ยวกับความสามารถที่รองรับมาตรฐานได้ตามที่มาตรฐานกำหนดหรือไม่ ซึ่งอาจมีความจำเป็นในการทดสอบเพียงครั้งแรกของอุปกรณ์แต่ละผลิตภัณฑ์ แต่ละรุ่น ที่ถูกนำเสนอแก่ กฟภ.

เนื่องจากรายละเอียดของมาตรฐานที่มีมากกว่า 1,000 หน้า ดังนั้นแค่คำว่าอุปกรณ์รองรับมาตรฐาน IEC 61850 อาจจะไม่ได้รับประกันว่า อุปกรณ์ดังกล่าวจะสามารถ นำมาใช้งานในระบบฯ ตามรูปแบบที่ กฟภ. ต้องการได้อย่างครบถ้วน 100%

การทดสอบผลิตภัณฑ์ ในรุ่นต่าง ๆ ที่จะถูกเสนอเข้ามาใช้งานใน กฟภ. นั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทดสอบความสอดคล้องของมาตรฐาน IEC 61850 ที่อุปกรณ์ผลิตภัณฑ์นั้น

สามารถทำงานได้ กับสิ่งที่ กฟภ. ติดตั้งใช้งานระบบฯ อยู่ในสถานีไฟฟ้าปัจจุบันนี้ ซึ่งแน่นอนว่าไม่ใช่ทดสอบในทุกรายละเอียดของมาตรฐาน IEC 61850 แต่เป็นเฉพาะในส่วนที่มีความสำคัญ ต่อการใช้งานในระบบฯ โดยเฉพาะการทำงานร่วมกันกับอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ กฟภ. ติดตั้งใช้งานอยู่ หรือคุณสมบัติ Interoperability ตามมาตรฐาน IEC 61850 ในรูปแบบที่ กฟภ. ใช้งานอยู่

แต่เดิมนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นหน่วยงานที่อยู่ในฐานะผู้ใช้งานอุปกรณ์และระบบฯ จึงไม่มีทรัพยากรที่มากพอจะสร้างสภาพแวดล้อมของการทดสอบอุปกรณ์ตามหัวข้อและเงื่อนไขที่กำหนดได้ จึงได้มอบหมายให้การเตรียมระบบสำหรับทดสอบ เป็นหน้าที่ของบริษัทฯ เจ้าของผลิตภัณฑ์เป็นผู้จัดเตรียมและจัดการการทดสอบอุปกรณ์ให้มีความต้องการของ กฟภ. ซึ่งการทดสอบอุปกรณ์แต่ผลิตภัณฑ์มักจะมีความแตกต่างกันไปในรายละเอียดเล็กน้อย ที่อาจจะเกิดข้อสงสัยว่าผลการทดสอบนั้น มีความเท่าเทียมกันตามที่ กฟภ. ตั้งเงื่อนไขไว้หรือไม่ อีกทั้งยังยากที่จะกำกับควบคุมให้การทดสอบเป็นไปได้ตามความต้องการได้ทุกมิติและเงื่อนไขของข้อกำหนดที่ กฟภ. ได้จัดทำขึ้น

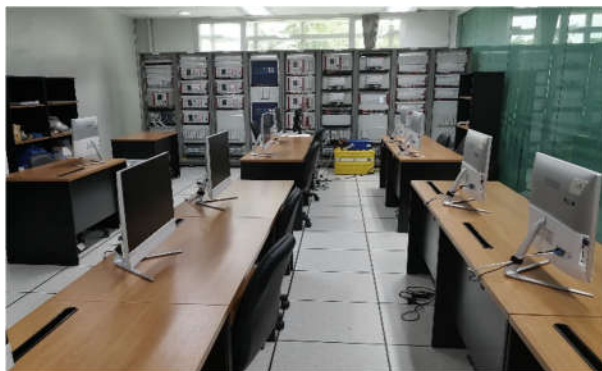
การมีทรัพยากรที่รองรับสำหรับการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ เกี่ยวกับมาตรฐาน IEC 61850 จึงค่อนข้างมีความสำคัญ และจำเป็นต่อ กฟภ. โดยในปัจจุบันมีสถานีไฟฟ้าทั่วประเทศกว่า 600 แห่ง และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มจำนวนขึ้นไปมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณการใช้การไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าทั่วประเทศ จึงทำให้ปริมาณการใช้อุปกรณ์ระบบควบคุมและป้องกัน ตามมาตรฐาน IEC 61850 มีจำนวนเพิ่มขึ้นตามจำนวนสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. และนั่นทำให้การควบคุมคุณภาพของอุปกรณ์จึงยังมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะหากเกิดการดำเนินงานผิดพลาดเพียงเล็กน้อย อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อองค์กรได้อย่างมาก

### 4. ห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ.

#### 4.1 ข้อมูลทั่วไป

ตามสัญญาเลขที่ จ.292/2558 ลงวันที่ 24 มีนาคม 2559 กฟภ. ได้ว่าจ้าง มจพ. จัดทำห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้า (System Automation Training Simulator : SATS) ซึ่งปัจจุบันได้ดำเนินการแล้วเสร็จ โดยจุดประสงค์หลักของการจัดทำห้องปฏิบัติการนี้เพื่อใช้ในการจัดฝึกอบรมบุคลากรของ กฟภ. ให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบควบคุมและป้องกันภายในสถานีไฟฟ้าในรูปแบบมาตรฐาน IEC 61850 โดยห้องปฏิบัติการดังกล่าวอยู่ที่ศูนย์ฝึกอบรมการไฟฟ้าแสงสูง นครชัยศรี ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ดังรูปที่ 6





รูปที่ 6 ห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ.

#### 4.2 รายละเอียดระบบที่ติดตั้งในห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้า

ขอบเขตการจัดทำของห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้า คือ การติดตั้งอุปกรณ์ระบบควบคุมและป้องกัน ที่เรียกว่า ระบบ SCPS ไว้ภายในห้องปฏิบัติการดังกล่าว อย่างครบถ้วนทุกส่วนของระบบ โดยแบ่งรายละเอียดระบบเป็นแต่ละระดับ ตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ ได้แก่

##### - Station Level

- เครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ทำหน้าที่ ต่าง ๆ เช่น HMI, Data Server, ฯลฯ
- Communication Gateway สำหรับเชื่อมต่อกับระบบ SCADA/DMS ของ กฟภ.
- อื่น ๆ

##### - Bay Level

- อุปกรณ์ IEDs ประเภท Protection และ BCU (Bay Control Unit)

##### - Process Level

- อุปกรณ์ IEDs ประเภท Smart Terminal และ Merging Unit

##### - Station Bus

- อุปกรณ์ Ethernet Switch สำหรับใช้เป็นเครือข่ายของ Station Level และ Bay Level

##### - Process Level

- อุปกรณ์ Ethernet Switch สำหรับใช้เป็นเครือข่ายของ Bay Level และ Process Level

นอกจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของระบบควบคุมและป้องกันสถานีไฟฟ้าตามมาตรฐานที่กำหนดไว้แล้วนั้น ยังมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์จำลองการทำงานของอุปกรณ์หลักในสถานีไฟฟ้า เช่น เบรกเกอร์, สถานะ Alarm ต่าง ๆ ของอุปกรณ์ เป็นต้น รวมถึงมีเครื่องมือที่จะจำลองค่าแรงดันและกระแสจากการจ่ายไฟของสถานีไฟฟ้าแต่ละเบย์ได้ ทำให้ห้องปฏิบัติการนี้สามารถจำลองการทำงานของ

อุปกรณ์ได้เหมือนระบบฯ ที่ติดตั้งใช้งานจริง อยู่สถานที่จริงทุกประการ

#### 4.3 ความสามารถห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้า

ตามที่ได้กล่าวรายละเอียดของห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้าไปแล้วว่ามีรายละเอียดอุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการฯ ซึ่งความซิดความสามารถก็จะสะท้อนมาจากรูปแบบของอุปกรณ์ที่ติดตั้งโดยหากจะให้กล่าวโดยรวมแล้ว ซิดความสามารถของห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมฯ นี้ เปรียบได้กับการยกระบบ SCPS ในสถานีไฟฟ้าทั้งระบบฯ มาไว้ในห้องปฏิบัติการนี้ ถึงแม้ว่าจำนวนเบย์อาจจะไม่มีมากเท่ากับสถานีไฟฟ้าจริง แต่ประเภทของอุปกรณ์นั้นมีจำนวนครบทุกประเภทที่ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้า

ซึ่งห้องปฏิบัติการนี้สามารถรองรับการเรียนรู้ และทดลองกรณีการทำงานของอุปกรณ์ในกรณีต่าง ๆ ได้อย่างเต็มที่ โดยไม่ต้องกังวลถึงผลกระทบที่จะเกิดกับระบบการจ่ายไฟจริงในสถานีไฟฟ้า และนอกจากที่จะเอื้อต่อการเรียนรู้ และทดลองการทำงานในกรณีศึกษาและรูปแบบแล้ว ยังสามารถทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ได้ เหมือนนำอุปกรณ์เหล่านั้นไปทดสอบติดตั้งใช้งานที่สถานีไฟฟ้าจริง

ส่วนต่างๆ ที่ห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้า สามารถทดสอบได้แบ่งเป็นรายละเอียดแต่ละส่วนได้ดังนี้

- การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ Client ต่าง ๆ ได้แก่ HMI, Protocol Converter, Data Collector ต่าง ๆ ที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ IEDs ใน Bay Level
- ทดสอบการทำงานของระบบ Network ทั้งใน Station Bus และ Process Bus
- ทดสอบการทำงานของ IEDs ในด้านต่าง เช่น การทำหน้าที่เป็น MMS Server , การรับส่ง GOOSE และ SV เป็นต้น
- ทดสอบฟังก์ชันการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ เช่น Interoperability
- ทดสอบการ configuration ในรูปแบบที่ IEC 61850 ได้แก่ ภาษา SCL

#### 5. การใช้ห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานีไฟฟ้าของ กฟภ. ในทดสอบระบบสำหรับทดสอบผลิตภัณฑ์

##### 5.1 การทดสอบ Interoperability

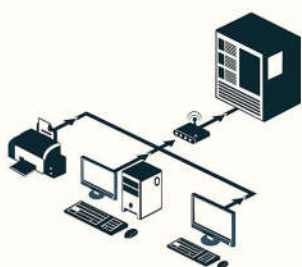
การทดสอบ Interoperability ตามรูปแบบของ IEC 61850 นั้น คือการที่อุปกรณ์ควบคุมและป้องกันในระบบฯ สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อทำงานร่วมกัน ในฟังก์ชันที่มี

ความสัมพันธ์ของระบบต่างๆ ในสถานีไฟฟ้า ซึ่งก่อนที่จะมีมาตรฐานนี้ขึ้นนั้น การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ผ่านการสื่อสารด้วยข้อมูลดิจิทัลนั้น เป็นสิ่งที่ทำได้ยากแม้จะเป็นผลิตภัณฑ์เดียวกันก็ตาม แต่เมื่อมาตรฐาน IEC 61850 ได้เกิดขึ้นนั้น ทำให้ Interoperability เกิดขึ้นในระบบฯ

ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์เดียวกันทำงานร่วมกันนั้น อาจจะไม่ใช่สิ่งที่น่าแปลกใจนัก เพราะน่าจะมีหลักการทำงานในลักษณะเดียวกัน แต่สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน แต่ต้องทำงานร่วมกันผ่านมาตรฐาน IEC 61850 นั้น ถึงแม้ว่าจะเป็นรูปแบบมาตรฐานเดียวกัน แต่แน่นอนว่าผู้ใช้งานที่ต้องนำอุปกรณ์ติดตั้งใช้งานอาจจะมีความกังวล และสงสัยว่าจะสามารถทำงานร่วมกันกับผลิตภัณฑ์ได้สมบูรณ์เพียงใด และมักจะนำไปสู่การทดสอบ Interoperability ของผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน

การทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ หรือ Interoperability นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 หมวดหลัก ๆ ได้แก่

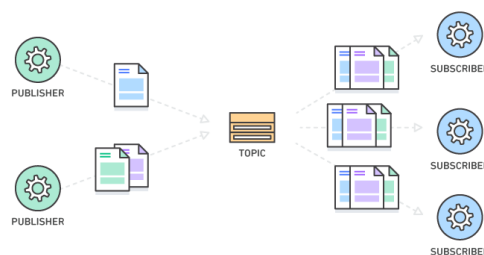
- การทำงานร่วมกันในด้านการ Configuration ซึ่งมาตรฐานได้กำหนดรูปแบบโครงสร้างภาษาที่ใช้สำหรับ Configure อุปกรณ์ไว้ และอุปกรณ์ทุกผลิตภัณฑ์ต้องมีโครงสร้างของภาษา SCL เดียวกัน ซึ่งหมายความว่าไม่ว่าจะใช้ซอฟต์แวร์ที่ไม่ใช่มาจากเจ้าของผลิตภัณฑ์นั้น ก็ควรจะสามารถนำ Configuration File ไปใช้งานได้โดยไม่มีปัญหาใด
- การทำงานร่วมกันใช้ Station Level ซึ่งจะเป็นรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันด้วยโปรโตคอล MMS ที่มีโครงสร้างข้อมูลและเซอร์วิส ตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ โดยการทำงานในขั้นนี้จะเป็นรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลในลักษณะ Client-Server ดังรูปที่ 7 โดยมีจุดประสงค์ คือ การอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ IEDs ซึ่งทำหน้าที่เป็น Server จาก Client ต่าง ๆ อาทิ HMI เป็นต้น



รูปที่ 7 การสื่อสารรูปแบบ Client-Server

- การทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ IEDs ในชั้น Process Level ซึ่งถือว่าเป็นไฮไลต์ของมาตรฐาน IEC 61850 ที่ได้กำหนดรูปแบบให้อุปกรณ์ควบคุมและป้องกัน IEDs ต่าง ๆ สามารถรับส่งข้อมูลหากันได้ ดังรูปที่ 8 และก่อให้เกิดการทำงานที่สัมพันธ์กัน ใน

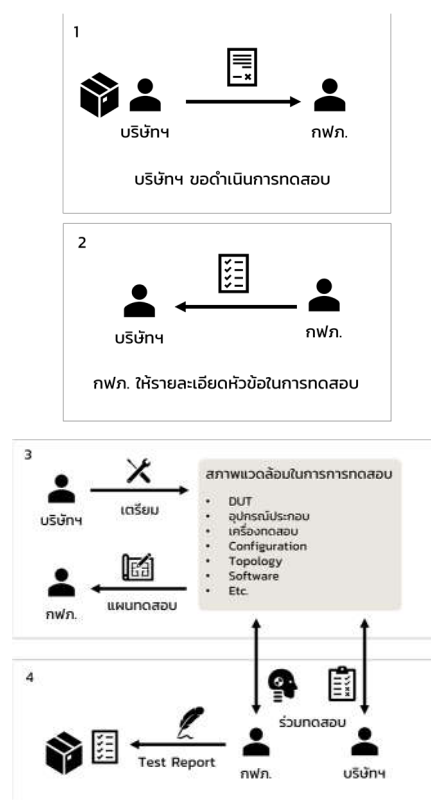
แต่ละฟังก์ชัน ซึ่งได้เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานระบบฯ ได้อย่างมาก โดยจะสื่อสารกันในลักษณะของ GOOSE และ SV (Sampled Value) ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่มาตรฐานนี้ได้กำหนดรูปแบบขึ้นมาใหม่



รูปที่ 8 การสื่อสารรูปแบบ Publisher - Subscriber

## 5.2 รูปแบบในการเตรียมการทดสอบ

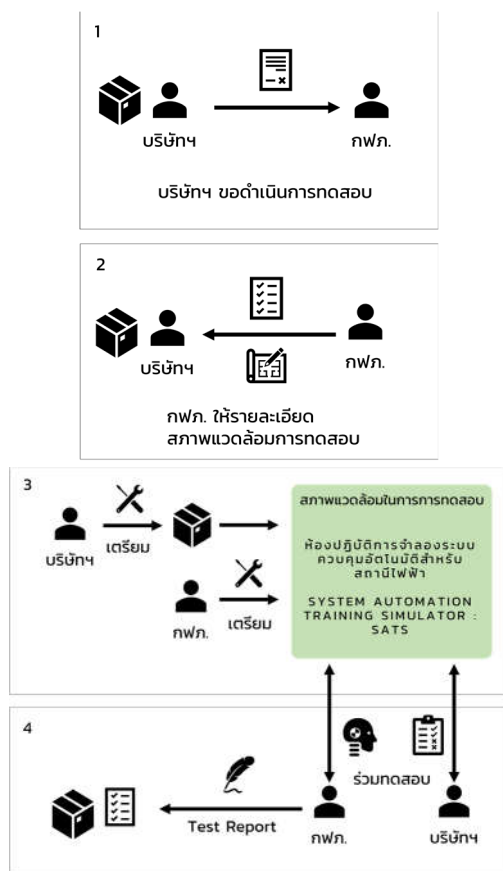
รูปแบบสำหรับการเตรียมการทดสอบนั้น จะต่างจากการทดสอบอุปกรณ์โดยไม่มีห้องปฏิบัติการ กล่าวคือ การทดสอบโดยที่ไม่มีห้องปฏิบัติการนั้น การเตรียมสภาพแวดล้อมในการทดสอบจะเป็นการเตรียมตัวของเจ้าของผลิตภัณฑ์ และทำตามหัวข้อขั้นตอนการทดสอบที่ กฟภ. กำหนดขึ้น ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การเตรียมการทดสอบในรูปแบบทั่วไป

แต่สำหรับการทดสอบด้วยห้องปฏิบัติการจำลองฯ นั้น การจัดเตรียมสภาพแวดล้อมในการทดสอบจะเป็นหน่วยงานของ กฟภ. และจะจัดส่งข้อมูล พร้อม Configuration File ของระบบฯ และอุปกรณ์เพื่อให้ เจ้าของผลิตภัณฑ์เตรียม

อุปกรณ์ของตัวเองเข้ามาทดสอบในห้องปฏิบัติการจำลองฯ ของ กฟภ. ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเตรียมการทดสอบในการใช้งานห้องปฏิบัติการจำลองระบบฯ

โดยรายละเอียดและขั้นตอนการทดสอบนั้น จะขึ้นอยู่กับหัวข้อการทดสอบอุปกรณ์แต่ละประเภท ตามที่ กฟภ. ได้กำหนด และมากำหนดเป็นรายละเอียดการทดสอบในแต่ละหัวข้อการทดสอบ และในแต่ละหัวข้อการทดสอบอาจจะมีการทดสอบในหลายกรณี โดยการทดสอบอุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบที่ต่างกันไป ดังตัวอย่างเช่น

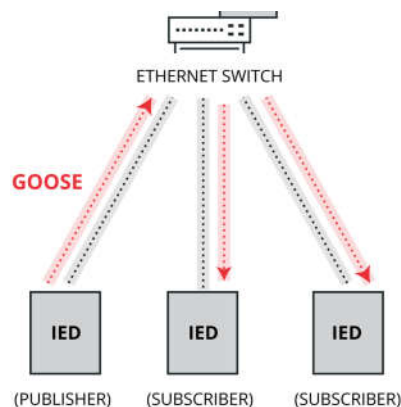
- อุปกรณ์ IEDs ทดสอบการทำงานที่เป็น IEC 61850 Server ที่ส่งข้อมูลการทำงานไปยัง IEC 61850 Client ต่าง ๆ ใน Station Level ทดสอบการรับส่ง GOOSE และ SV ใน Process Level
- อุปกรณ์ Ethernet Switch ทดสอบการทำงานที่เป็นเครือข่ายการสื่อสารใน Station Bus และ Process Bus
- อุปกรณ์ SCPS Server และ HMI ทดสอบการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ IEDs ต่าง ๆ และป้อนข้อมูลกลางของระบบ SCPS
- อุปกรณ์ Communication Gateway ทดสอบการรับข้อมูลอุปกรณ์ IEDs ต่าง ๆ และโปรโตคอลการสื่อสารเพื่อเชื่อมต่อกับระบบ SCADA ของ กฟภ.

- อุปกรณ์ Time Data Server ทดสอบการทำงานที่แจกจ่ายเวลาให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบฯ เพื่อเทียบเวลาตามมาตรฐานการเทียบเวลา IEEE 1588 เป็นต้น

### 5.3 การทดสอบการรับ-ส่ง GOOSE ของอุปกรณ์ IEDs

การที่สำคัญของการทดสอบ Interoperability ของอุปกรณ์นั้น ในความจริงแล้วมีหลายแง่มุมที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ส่วนที่สำคัญที่ผู้ใช้งานติดตั้งระบบมักจะให้ความสนใจเป็นพิเศษ ได้แก่ส่วนการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันระหว่างอุปกรณ์ IEDs ได้แก่การรับส่ง GOOSE และ SV ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดฟังก์ชันในรูปแบบที่เป็นระบบฯ ที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์

โดยการทดสอบเกี่ยวกับ GOOSE นั้น จะทดสอบ 2 หัวข้อ คือ (1) การทดสอบการส่ง (Publishing) ข้อมูลผ่าน GOOSE และ (2) การทดสอบการรับ (Subscribing) ซึ่งทั้ง 2 หัวข้อเป็นการทำงานที่แยกจากกันจากอิสระ แต่สามารถทดสอบได้ในการทดสอบเดียวกัน ดังรูปที่ 11 ซึ่งการทดสอบจะมีรูปแบบการทดสอบจะเกิดจากการเตรียมการทดสอบในหัวข้อที่ 5.2 โดยให้อุปกรณ์ที่ถูกทดสอบส่งข้อมูลให้แก่ระบบที่เตรียมไว้ในห้องปฏิบัติการ รวมถึงรับข้อมูลจากระบบดังกล่าวเช่นกัน โดยอุปกรณ์ที่ถูกทดสอบควรจะได้รับและส่งข้อมูลผ่าน GOOSE ให้แก่ระบบฯ ที่จัดเตรียมในรูปแบบต่าง ๆ ได้ตามผลการทดสอบที่เตรียมไว้

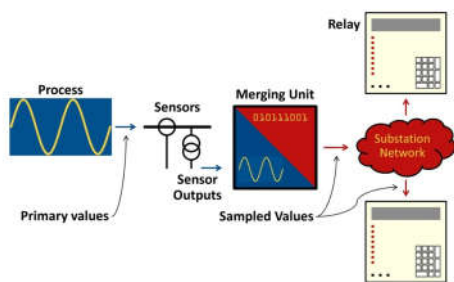


รูปที่ 11 การรับ-ส่ง GOOSE ของอุปกรณ์ IED

### 5.4 การทดสอบการรับ-ส่ง SV ของอุปกรณ์ IEDs

การทดสอบการรับส่ง SV นั้น จะเป็นการทดสอบที่แยกออกไปเป็น หลายกรณี เพราะ SV นั้นเกิดมาเป็นจำลองค่าคุณสมบัติกระแสสลับที่ลักษณะของ Continuous sine wave ให้อยู่ในรูปแบบ Discrete สัญญาณดิจิทัล ซึ่งจะถูกสร้างและส่งด้วยอุปกรณ์ประเภท Merging unit และรับสัญญาณ SV ด้วยอุปกรณ์ควบคุมและป้องกัน IEDs ต่าง ๆ

อย่างใดอย่างหนึ่ง ขึ้นอยู่กับประเภทของอุปกรณ์ ดังรูปที่ 12 โดยผลการทดสอบจะเป็นไปตามข้อกำหนดของรายละเอียดในการทดสอบในแต่ละกรณี



รูปที่ 12 การส่ง SV ของอุปกรณ์ Merging Unit และการรับ SV ของอุปกรณ์ IEDs

## 5.5 การทดสอบการทำงานเต็มรูปแบบในระบบจำลอง

หนึ่งในประโยชน์ในการใช้งานห้องปฏิบัติการจำลองระบบฯ เป็นสถานที่ในการทดสอบอุปกรณ์นั้น คือ สามารถนำอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบทดสอบการใช้งานจริงในสถานะเสมือนจริง ได้ในระยะเวลาสั้น เพื่อทดสอบเสถียรภาพของอุปกรณ์ว่าสามารถทำงานได้ต่อเนื่องหรือไม่ ซึ่งหากไม่ใช้ระบบฯ จากห้องปฏิบัติการนี้ อุปกรณ์ที่ผ่านการทดสอบอาจจะถูกนำไปใช้งานที่ระบบ SCPS จริงในสถานียไฟฟ้า ซึ่งหากเกิดข้อผิดพลาดของการทำงาน ก็จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพการจ่ายไฟของสถานียไฟฟ้าได้

ดังนั้นการทดสอบเต็มรูปแบบนั้น อาจจะเป็นการทดสอบในลักษณะ ปลอ่ยให้อุปกรณ์ทำงานต่อเนื่องไปในระยะเวลาที่กำหนด เช่น 7 – 14 วัน และในแต่ละวันอาจจะกรณีต่าง ๆ ให้อุปกรณ์ได้ทำงานที่มีความเสมือนติดตั้งใช้งานจริงอยู่ที่สถานียไฟฟ้า เพื่อตรวจสอบ และบันทึกความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์ที่ถูกทดสอบ เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ที่จะนำไปติดตั้งใช้งานจริงที่สถานียไฟฟ้าจะเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการทดสอบด้านคุณสมบัติ และคุณภาพมากที่สุดเท่าที่จะสามารถทดสอบได้

## 6. สรุป

### 6.1 ความจำเป็นในการทดสอบอุปกรณ์

อุปกรณ์ในระบบควบคุมและป้องกันสถานียไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 61850 นั้น อาศัยการทำงานการทำงานผ่านการสื่อสารในรูปแบบดิจิทัลตามที่มาตรฐานได้กำหนดขึ้น ระบบเครือข่ายของอุปกรณ์กลายเป็นสิ่งสำคัญในการทำงานของอุปกรณ์หลักภายในสถานียไฟฟ้า ซึ่งหากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ภายในระบบทำงานได้ไม่ถูกต้อง หรือไม่ตรงกับความต้องการใช้งานของ กฟภ. อาจจะทำให้เมื่อติดตั้งและทดสอบใช้งานจริงภายในสถานียไฟฟ้า อุปกรณ์ที่นำไปติดตั้งอาจจะไม่สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการได้ครบถ้วนสมบูรณ์ ซึ่งจะไม่ได้รับประโยชน์ของการติดตั้งระบบสถานียไฟฟ้าดิจิทัลที่ควรจะได้ และในบางกรณีอาจร้ายแรงถึงขั้นทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาดจนเกิดไฟดับ หรือความเสียหายเป็นบริเวณกว้างได้ ซึ่งเคยมีเหตุการณ์ลักษณะดังกล่าวที่นำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการทดสอบอุปกรณ์เพื่อพัฒนาปรับปรุงระบบฯ ให้ดีขึ้น

## 6.2 ประโยชน์ของการใช้ห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานียไฟฟ้าของ กฟภ. ทดสอบอุปกรณ์

ถึงแม้ว่าการทดสอบอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEC 61850 นั้น ไม่จำเป็นต้องใช้ห้องปฏิบัติการก็สามารถดำเนินการทดสอบได้ แต่ความยุ่งยากในการเตรียมสภาพแวดล้อมในการทดสอบ และการเตรียมการทดสอบให้สมบูรณ์เหมือนสภาพแวดล้อมในการทำงานจริงนั้น จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์เพื่อใช้ร่วมในการทดสอบเป็นจำนวนมาก ผู้มีส่วนร่วมในการทดสอบ จึงเสี่ยงที่จะทดสอบบางหัวข้อ ที่เตรียมการทดสอบได้ยากเกินไป การใช้ห้องปฏิบัติการจะเป็นการลดภาระในการเตรียมสภาพแวดล้อมในการทดสอบ อีกทั้งยังทำให้การทดสอบอุปกรณ์มีความสภาพใกล้เคียงกับการทำงานจริงภายในสถานียไฟฟ้าได้มากที่สุดเพื่อให้ผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือเสมือนนำอุปกรณ์ไปติดตั้งใช้งานจริงภายในสถานียไฟฟ้า ห้องปฏิบัติการจำลองระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับสถานียไฟฟ้าของ กฟภ. นั้น จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่สามารถนำมาสร้างห้องทดสอบอุปกรณ์ที่ทำงานในระบบ SCPS ตามมาตรฐาน IEC 61850 เพื่อยกระดับคุณภาพ และเพิ่มความมั่นใจให้กับ กฟภ. ว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานตอบสนองต่อความต้องการในการใช้งานได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] International Electrotechnical Commission, IEC 61850 Communication networks and systems for power utility automation, Part 10: Conformance testing, 2011
- [2] International Electrotechnical Commission, IEC 61850 Communication networks and systems in substations, Part 1: Introduction and overview, 2003-2004,
- [3] International Electrotechnical Commission, IEC 61850 Communication networks and systems for power utility automation, Part 9-2: Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3., 2011
- [4] International Electrotechnical Commission, IEC 61850 Communication networks and systems for power utility automation, Part 6: Configuration description language for communication in electrical substation related to IEDs, 2011
- [5] International Electrotechnical Commission, IEC 61850 Communication networks and systems for power utility automation, Part 7-1: Basis communication structure – Principles and models, 2011