

การพัฒนาโปรแกรมจำลองการฝึกปฏิบัติจัดลำดับบัสสถานีย่อย

Development of a Simulation Program for Training in Substation Bus Arrangement Operations

พศวีร์ ศรีโหมต^{1*} และ เอกชัย ตีศรี²

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม pasawee.sr@spu.ac.th¹, akekachai.de@spu.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมจำลองการฝึกปฏิบัติจัดลำดับบัสสถานีย่อย จุดประสงค์เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้และฝึกปฏิบัติลำดับการสวิตช์ของรูปแบบการจัดบัสแบบต่างๆได้อย่างถูกต้องตามขั้นตอนการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในสถานีย่อย พร้อมทั้งได้ศึกษาคุณลักษณะของการจัดบัสแต่ละประเภทในสถานีย่อย โดยโปรแกรมนี้จะจำลองสถานการณ์การจัดบัส 4 แบบได้แก่ 1.แบบบัสเดี่ยว, 2.แบบบัสประธานและบัสโอน, 3.แบบบัสประธานคู่และบัสโอน และ 4.แบบเบรกเกอร์ครึ่ง โปรแกรมการจำลองพัฒนาในรูปแบบให้มีการเชื่อมต่อกับผู้ใช้แบบกราฟิกด้วยโปรแกรมVisual Studio 2022 และการจำลองแบบ 3 มิติเพื่อให้ผู้ใช้งานได้เห็นภาพรวมของอุปกรณ์ในสถานีย่อยโดยการสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ในสภาวะแวดล้อมเสมือนจริง จากทดสอบผลการเรียนรู้พบว่าผู้ใช้งานมีการเรียนรู้ที่ดีขึ้นจากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนได้คะแนนเฉลี่ย 7.6 คะแนน และการทำแบบทดสอบหลังเรียนพบว่าได้คะแนนเฉลี่ย 13.0 คะแนน และระดับความพึงพอใจในการเรียนรู้ผ่านโปรแกรมจำลองด้วยระดับคะแนนเฉลี่ย 4.78

คำสำคัญ: รูปแบบการจัดบัส, ลำดับการสวิตช์, สถานีย่อย

Abstract

This paper presents the development of a simulation program for training in substation bus arrangement operations. The objective is to enable users to learn and practice the correct switching sequences of various bus configurations in accordance with standard substation connection procedures. The program also facilitates the study of the characteristics of each bus arrangement commonly used in electrical substations. The simulation includes four bus arrangement scenarios: 1.Single Bus Scheme, 2.Main and Transfer Bus Scheme, 3.Double Main and Transfer Bus Scheme, and 4.Breaker-and-a-Half Scheme. The simulation program was developed using a graphical user interface in Visual Studio 2022, incorporating 3D modeling to provide a comprehensive visualization of substation equipment and to enhance the learning experience through a realistic virtual environment. Evaluation results

indicate improved learning outcomes, with the average score increasing from 7.6 (pre-test) to 13.0 (post-test). In addition, the user satisfaction level was found to be high, with an average rating of 4.78.

Keywords: Bus Arrangement, Switching Sequence, Electrical Substation

1. บทนำ

รูปแบบการจัดบัสในสถานีย่อยสามารถออกแบบและจัดสร้างได้หลายรูปแบบ การพิจารณาเลือกรูปแบบการจัดบัสในรูปแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น ระดับแรงดันไฟฟ้า ความสำคัญของโหลด ความยืดหยุ่นในการติดตั้งระบบ ความสะดวกในการบำรุงรักษา และต้นทุนการติดตั้ง เป็นต้น และลักษณะการจัดเรียงวงจรและอุปกรณ์ที่แตกต่างกันในแต่ละรูปแบบการจัดบัสจะมีผลต่อลำดับในการส่งอุปกรณ์หรือลำดับในการสวิตช์ (Switching Sequence) ระหว่างอุปกรณ์สวิตช์ตัดตอน (Disconnection Switch) กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานผิดพลาดจนเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์และส่งผลต่อการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของสถานีย่อย จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาขั้นตอนการทำงานและลำดับในการสวิตช์อุปกรณ์ที่แตกต่างกันในแต่ละรูปแบบของการจัดแบบต่างๆ ผู้จำหน่ายไฟฟ้าจึงมักจัดทำคู่มือสำหรับผู้ควบคุมการทำงานของระบบบัสขึ้น

จากที่กล่าวข้างต้นเห็นได้ว่าการศึกษารูปแบบการจัดบัส และขั้นตอนการควบคุมลำดับการสวิตช์ของอุปกรณ์ของการจัดบัสแบบต่างๆในสถานีย่อยนั้นมีความสำคัญอย่างมาก แต่การเรียนรู้ในเชิงทฤษฎีอย่างเดียวอาจไม่สามารถทำให้เกิดทักษะและความพร้อมในการปฏิบัติงานจริงได้ และการฝึกปฏิบัติกับระบบจริงในสถานีย่อยนั้นเป็นไปได้ยาก โดยมีงานวิจัยที่จะพยายามในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง[1] และการใช้เกมในการเรียนรู้ เพื่อการฝึกอบรมด้านระบบไฟฟ้ากำลังและสถานีย่อยอย่างต่อเนื่อง[2] ทางคณะผู้จัดทำจึงได้พัฒนาโปรแกรมจำลองการฝึกปฏิบัติจัดลำดับบัสสถานีย่อย โดยโปรแกรมมีการเชื่อมต่อกับผู้ใช้แบบกราฟิกซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถฝึกปฏิบัติและเรียนรู้การควบคุมลำดับการสวิตช์ของอุปกรณ์ในสถานีย่อยได้เสมือนจริง โดยการทดลองควบคุมลำดับการสวิตช์ของอุปกรณ์อ้างอิงจากคู่มืออบรมหลักสูตรการปฏิบัติงานศูนย์ส่งจ่ายไฟฟ้า แผนกส่งจ่ายไฟฟ้าของควบคุมการจ่ายไฟฟ้าฝ่ายควบคุมระบบไฟฟ้า[3]

*ผู้ประพันธ์บทความ

2. ทฤษฎี

สถานีไฟฟ้าย่อย (Substation) ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายของระบบไฟฟ้า การจัดรูปแบบของบัสหรือที่เรียกว่ารูปแบบการจัดบัส (Bus Arrangement) มีความสำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดความมั่นคง ความยืดหยุ่นและความสะดวกในการบำรุงรักษาของสถานีไฟฟ้า การเลือกรูปแบบการจัดบัสที่เหมาะสมจะช่วยให้การทำงานของสถานีไฟฟ้าเป็นไปอย่างปลอดภัย สามารถซ่อมบำรุงได้โดยไม่กระทบต่อการจ่ายพลังงานไฟฟ้าของระบบ และลดความเสี่ยงจากเหตุขัดข้อง[4]

รูปแบบการจัดบัสในสถานีไฟฟ้าย่อยมีหลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับการจัดวางอุปกรณ์หลักๆ โดยแต่ละประเภทมีข้อดี ข้อเสียและลักษณะการใช้งานที่ต่างกัน[5] ซึ่งในบทความนี้จะนำเสนอโปรแกรมจำลองการฝึกปฏิบัติรูปแบบการจัดบัสทั้งสิ้น 4 แบบดังนี้

1.ระบบบัสเดี่ยว (Single Bus Scheme) เป็นรูปแบบที่ง่ายและประหยัดที่สุด โดยอุปกรณ์ทั้งหมดเชื่อมต่อกับบัสเส้นเดียว ข้อดีคือมีต้นทุนต่ำและโครงสร้างไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียด้านความมั่นคง หากเกิดความขัดข้องที่บัสหรือจำเป็นต้องซ่อมบำรุง จะทำให้ต้องหยุดการจ่ายไฟทั้งหมด

2.ระบบบัสประธานและบัสโอน (Main and Transfer Bus Scheme) รูปแบบนี้มีบัสหลักและบัสสำรอง(Transfer Bus) พร้อมเบรกเกอร์เชื่อมต่อระหว่างกัน(Tie CB) ช่วยให้สามารถสลับอุปกรณ์ระหว่างบัสได้ในกรณีซ่อมบำรุงโดยไม่หยุดจ่ายไฟ แต่มีความซับซ้อนในด้านการป้องกันระบบและต้องใช้พื้นที่มากขึ้น

3.ระบบบัสประธานคู่และบัสโอน (Double Main and Transfer Bus Scheme) พัฒนาต่อมาจากระบบบัสประธานและบัสโอน โดยเพิ่มบัสประธานเป็นสองชุด พร้อมกับบัสโอน ทำให้สามารถสลับการเชื่อมต่อได้อย่างอิสระ มีความยืดหยุ่นสูง เหมาะสำหรับสถานีที่ต้องการความมั่นคงสูง แต่อาจมีต้นทุนสูงและการออกแบบที่ซับซ้อน

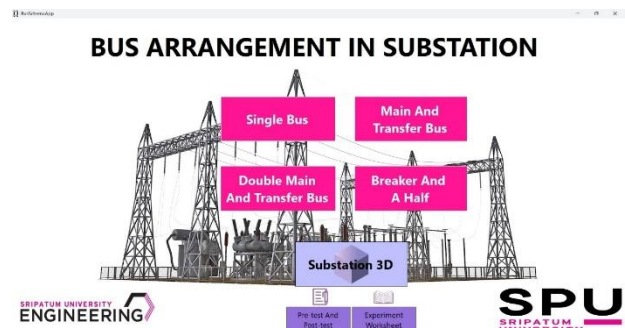
4.ระบบบัสแบบเบรกเกอร์ครึ่ง (Breaker-and-a-Half Scheme) เป็นรูปแบบที่มีความน่าเชื่อถือสูง โดยใช้เบรกเกอร์สามตัวสำหรับสองวงจร เพื่อให้แต่ละวงจรมีเส้นทางสำรองเมื่อมีการซ่อมบำรุงหรือเกิดความผิดปกติ เหมาะสำหรับสถานีที่ต้องการความต่อเนื่องในการจ่ายไฟสูง เช่น ระบบส่งแรงดันสูง(Extra-High Voltage)

จากความแตกต่างของรูปแบบการจัดบัสแต่ละแบบข้างต้น ผู้เรียนด้านวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังควรมีความเข้าใจในรูปแบบเหล่านี้เพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะการควบคุมและใช้งานของสถานีไฟฟ้าแต่ละแห่ง

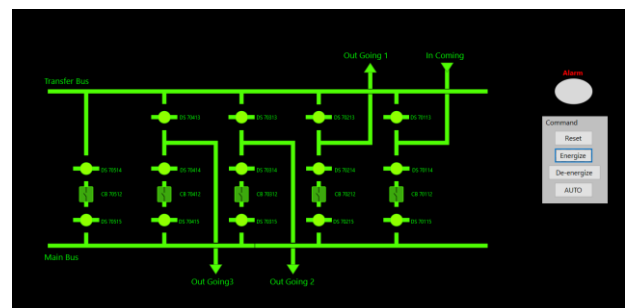
3. การออกแบบโปรแกรมจำลอง

การพัฒนาโปรแกรมจำลองการฝึกปฏิบัติจัดลำดับบัสสถานีไฟฟ้าย่อยมุ่งเน้นให้โปรแกรมฝึกปฏิบัติแสดงผลในรูปแบบ Graphical User Interface (GUI) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถโต้ตอบกับโปรแกรมผ่านองค์ประกอบที่เป็นกราฟิก โดยกราฟิกแสดงตำแหน่งและสถานะของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์, สวิตช์ตัดตอน และบัสบาร์ ในลักษณะที่ผู้ใช้สามารถคลิกเพื่อเปิด-ปิด(on-off) หรือเปลี่ยนสถานะการเชื่อมต่อได้อย่างชัดเจน โดยการพัฒนาโปรแกรมได้ใช้ Visual Studio 2022 ที่มีความ

ยืดหยุ่นสำหรับการพัฒนาซอฟต์แวร์ในแพลตฟอร์มWindows การสร้างโปรแกรมการจำลองฝึกปฏิบัติจัดลำดับบัสสถานีไฟฟ้าย่อยทั้ง 4 แบบมีลักษณะของหน้าจอหลักแสดงกราฟิกดังตัวอย่างรูปที่1 และรูปแบบการจัดระบบบัสในแบบต่างๆ ดังตัวอย่างรูปที่2 ซึ่งเป็นหน้าจอการทดลองจัดแบบบัสประธานและบัสโอน

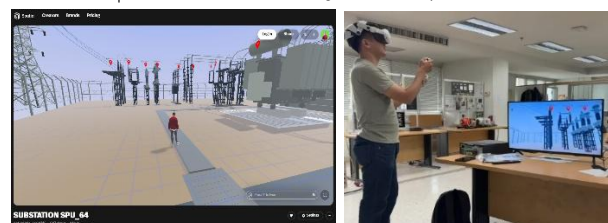


รูปที่ 1 หน้าจอหลักของโปรแกรมจำลอง



รูปที่ 2 หน้าจอการทดลองการจัดแบบบัสประธานและบัสโอน

นอกจากนั้นยังได้มีการเขียนโปรแกรมกราฟิกโดยใช้ Spatial.io ซึ่งเป็นแพลตฟอร์ม Metaverse และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Virtual Reality (VR) เพื่อให้ผู้เรียนสามารถทำการเรียนรู้ในสภาวะแวดล้อมเสมือนจริงได้เห็นภาพรวมของสถานีไฟฟ้าย่อยในรูปแบบ 3 มิติ ทั้งอาคาร, อุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์, สวิตช์ตัดตอน, กราวด์สวิตช์, หม้อแปลง, บัสบาร์ และสายส่งต่างๆ ในตำแหน่งและการเชื่อมต่อที่ใกล้เคียงกับของจริงดังรูปที่3 ผู้เรียนเข้าใจตำแหน่งและการเชื่อมโยงของอุปกรณ์ได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งสำคัญมากในการวางแผนลำดับการสับสวิตช์ที่ถูกต้องและปลอดภัย อีกทั้งยังสามารถเรียนรู้ที่จะจดจำรูปร่างหน้าตาและตำแหน่งของอุปกรณ์แต่ละชนิด และสัญลักษณ์ต่างๆ ได้



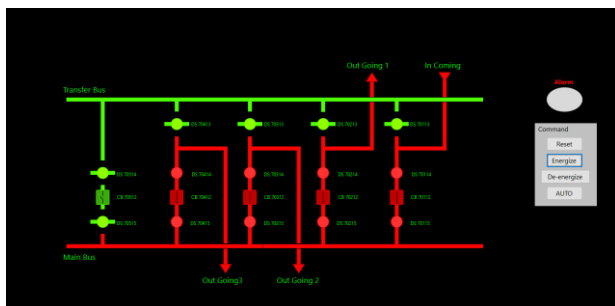
รูปที่ 3 การเรียนรู้ในรูปแบบ 3D กับอุปกรณ์ Virtual Reality (VR)

4. การออกแบบการทดลอง

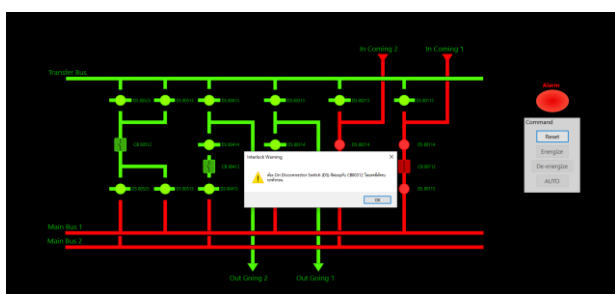
การออกแบบการทดลองผู้เรียนสามารถศึกษาเรียนรู้ได้ 2 ลักษณะ คือการทดลองในสภาวะการจ่ายไฟฟ้าปกติและการทดลองในสภาวะที่มี

การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า รายละเอียดดังนี้

1.การทดลองในสภาวะการจ่ายไฟฟ้าปกติ (Normal Energize) ผู้เรียนสามารถทดลองควบคุมลำดับการสวิตช์ในการจ่ายไฟฟ้าสภาวะปกติของระบบบัสแบบต่างๆจากการทดลองตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งอ้างอิงจากคู่มือ[1] โดยการเลือกได้จากปุ่มคำสั่งตามชื่อรูปแบบการจัดบัส ในหน้าจอหลักของโปรแกรมเพื่อเข้าสู่หน้าจอการทดลอง หลังจากนั้นผู้เรียนสามารถทดลองการสวิตช์อุปกรณ์สวิตช์ตัดตอนหรือเบรกเกอร์ได้ โดยการใช้เมาส์คลิกที่สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ในรูปแบบการจัดบัส เพื่อให้อุปกรณ์มีสถานะเปิดหรือปิดวงจร โดยจะมีภาพกราฟฟิคแสดงผลการไหลของกระแส(เส้นสีแดง)ในส่วนต่างๆของวงจรตามขั้นตอนการสวิตช์ ดังรูป4 แต่ถ้าผู้เรียนทำการสวิตช์ผิดขั้นตอนไปจากคู่มือการทดลองแนะนำ โปรแกรมจะแสดงกล่องข้อความและสัญลักษณ์สถานะ “Alarm” ดังรูปที่5 ซึ่งในทางปฏิบัติจะทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์และระบบการจ่ายไฟฟ้าได้ ดังนั้นโปรแกรมจะทำให้ผู้เรียนได้ศึกษาและเข้าใจถึงคุณลักษณะ, ลำดับการสวิตช์ของอุปกรณ์และรูปแบบการทำงานของรูปแบบการจัดบัสในแบบต่างๆได้อย่างถูกต้อง



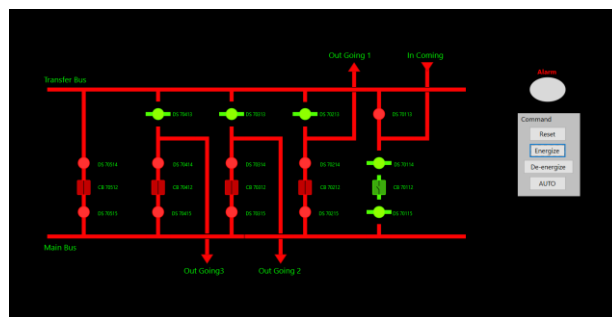
รูปที่ 4. ผลการทดลองการจัดแบบบัสประธานและบัสโอนสภาวะการจ่ายไฟฟ้าปกติ



รูปที่ 5. ผลการแจ้งเตือนสถานะ Alarm และกล่องข้อความ Interlock Warning แจ้งเมื่อผู้เรียนทำการสวิตช์ผิดขั้นตอน

2.การทดลองในสภาวะที่มีการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า หลังจากทีสถานีไฟฟ้าย่อยมีการจ่ายไฟฟ้าในสถานะปกติแล้ว ถ้าต้องการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ในจุดต่างๆ ต้องมีการหยุดจ่ายไฟฟ้าในเบย์(Bay)นั้นๆ เพื่อความปลอดภัยในการทำงานของผู้ที่เข้าไปปฏิบัติงานซ่อมบำรุง ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ลำดับการสวิตช์ในการจ่ายไฟฟ้าสภาวะที่มีการซ่อมบำรุง

อุปกรณ์ของระบบบัสแบบต่างๆ โดยแต่ละขั้นตอนการสวิตช์ผู้เรียนจะได้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงการทำงานและความสัมพันธ์กันของอุปกรณ์แต่ละตัวในสถานีไฟฟ้า ทำให้เกิดความเข้าใจถึงความสำคัญของแต่ละลำดับในการสวิตช์อุปกรณ์แต่ละขั้นตอนว่ามีผลอย่างไรกับการควบคุมการจ่ายไฟฟ้า และคุณลักษณะของการจัดบัสแต่ละแบบที่มีความแตกต่างกันไป ดังตัวอย่างกรณีต้องการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เบรกเกอร์ CB70112 ในการจัดบัสแบบ Main and Transfer Bus Scheme ผู้เรียนทำการทดลองสวิตช์ตามลำดับการทดลองจากคู่มือ โดยรูปที่6 แสดงภาพกราฟฟิคของโปรแกรมการทดลองในกรณีซ่อมบำรุงอุปกรณ์เบรกเกอร์ CB70112 เมื่อทำการลำดับการสวิตช์แล้วเสร็จตามขั้นตอน จะทำให้ผู้เรียนได้ทำความเข้าใจจากภาพกราฟฟิคของโปรแกรมว่า เมื่อมีการซ่อมบำรุงเบรกเกอร์ CB70112 การจัดบัสแบบ Main and Transfer Bus Scheme สถานีไฟฟ้าก็ยังสามารถจ่ายไฟฟ้าไปยังภายนอกได้ โดยเบรกเกอร์ที่นำมาใช้ในการป้องกันระบบแทน CB70112 ที่ต้องหยุดการทำงานก็คือ เบรกเกอร์ CB70512 โดยการจ่ายไฟฟ้าผ่านทาง Transfer Bus

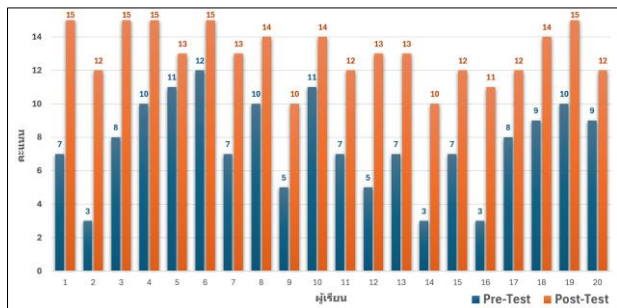


รูปที่ 6. ผลการทดลองสภาวะหลังบำรุงรักษา CB70112

5. ผลการทดสอบ

การทดสอบการใช้งานและการสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาที่มีต่อการโปรแกรมจำลองการฝึกปฏิบัติจัดลำดับบัสสถานีไฟฟ้าย่อยนี้ ใช้กลุ่มเป้าหมายเป็นนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ชั้นปีที่4 ที่เรียนวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง จำนวน 20 คน โดยทำการทดสอบ 2 ส่วน ดังนี้

1.การทดสอบการเรียนรู้ผ่านการใช้งานโปรแกรมจำลองการฝึกปฏิบัติจัดลำดับบัสสถานีไฟฟ้าย่อย โดยให้นักศึกษากลุ่มเป้าหมายทำแบบทดสอบก่อนและหลังการเรียนรู้จำนวน 15 ข้อ(คะแนนเต็ม15 คะแนน) ผลการเรียนรู้พบว่าการทำแบบทดสอบก่อนเรียนได้คะแนนเฉลี่ย 7.6 คะแนน และการทำแบบทดสอบหลังเรียนพบว่าได้คะแนนเฉลี่ย 13.0 คะแนน แสดงให้เห็นว่าการจัดการฝึกปฏิบัติด้วยโปรแกรมจำลองส่งผลให้ผู้เรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน การเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังเรียนชี้ให้เห็นถึงประสิทธิผลของกระบวนการเรียนรู้ ที่ช่วยให้ผู้เรียนทุกคนสามารถพัฒนาความเข้าใจได้ดีขึ้น รายละเอียดผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนรู้(Pre-Test)และหลังเรียนรู้(Post-Test)ดังกราฟแสดงดังรูปที่7



รูปที่ 7. ผลคะแนนแบบทดสอบเปรียบเทียบก่อนเรียน-หลังรายบุคคล

2.การสำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังด้วยโปรแกรมจำลองการฝึกปฏิบัติจัดลำดับสถานีไฟฟ้าย่อย การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาความคิดเห็นของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนวิชาปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังด้วยโปรแกรมจำลอง ด้วยการตอบแบบสอบถามและให้คะแนนระดับความพึงพอใจ ผลที่ได้นักศึกษามีความพึงพอใจด้วยระดับคะแนนเฉลี่ย 4.78 จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน ซึ่งมีรายละเอียดหัวข้อของผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คะแนนความคิดเห็นของนักศึกษาด้วยโปรแกรมจำลอง

คำถาม	ค่าเฉลี่ย	แปลความหมาย
1.การใช้โปรแกรมจำลองช่วยกระตุ้นการเรียนรู้การจัดลำดับโรงไฟฟ้าสถานีย่อยได้	4.90	เห็นด้วยมาก
2.การใช้โปรแกรมจำลองช่วยให้เข้าใจหลักการและรูปแบบการจัดลำดับโรงไฟฟ้าสถานีย่อยได้อย่างชัดเจน	4.80	เห็นด้วยมาก
3.การใช้โปรแกรมจำลองช่วยให้เห็นภาพรวมและส่วนประกอบต่างๆ ของระบบได้ดีขึ้น	4.90	เห็นด้วยมาก
4.การใช้งานโปรแกรมจำลองช่วยให้เข้าใจวิธีการทำงานและข้อดีข้อเสียของการจัดลำดับแต่ละรูปแบบ	4.70	เห็นด้วยมาก
5.สามารถนำความรู้จากการจำลองไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบรูปแบบการจัดลำดับต่างๆ ได้	4.90	เห็นด้วยมาก
6.การฝึกจำลองการจัดลำดับมีประโยชน์ในการทำความเข้าใจการทำงานของระบบไฟฟ้าจริง	4.90	เห็นด้วยมาก
7.การใช้งานโปรแกรมจำลองเป็นทางเลือกที่ดีในการเรียนรู้เรื่องการจัดลำดับ หากไม่สามารถฝึกจากสถานการณ์จริงได้	4.60	เห็นด้วยมาก
8.การใช้โปรแกรมจำลองช่วยให้เรียนรู้การจัดลำดับดีกว่าการเรียนทฤษฎีเพียงอย่างเดียว	4.80	เห็นด้วยมาก
9.การใช้โปรแกรมจำลองช่วยสร้างบรรยากาศในการเรียนรู้เรื่องการจัดลำดับให้สนุกสนานได้	4.70	เห็นด้วยมาก
10.การใช้โปรแกรมจำลองทำให้สามารถศึกษาการจัดลำดับด้วยตนเองได้	4.60	เห็นด้วยมาก

6. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมจำลองการฝึกปฏิบัติจัดลำดับสถานีไฟฟ้าย่อย โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และฝึกปฏิบัติการควบคุมลำดับการสวิตช์ของอุปกรณ์ในรูปแบบการจัดลำดับทั้ง 4 ประเภทได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย และผู้เรียนยังสามารถมองเห็น

ภาพรวมของรูปแบบการจัดลำดับแบบต่างๆและความสัมพันธ์ในการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ต่างๆ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โปรแกรมจำลองได้รับการออกแบบแสดงผลในรูปแบบGUI ทำให้ผู้เรียนสามารถฝึกการทำงานเสมือนจริงในสถานีไฟฟ้าย่อย และภาพในแบบ 3 มิติ เพื่อให้เห็นภาพรวมของอุปกรณ์และการเชื่อมต่อภายในสถานีไฟฟ้าย่อยได้ชัดเจนเสริมสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ การประเมินผลการใช้งานโปรแกรมกับนักศึกษา กลุ่มเป้าหมายพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยคะแนนเฉลี่ยหลังการเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และผู้เรียนมีความพึงพอใจในระดับสูง โปรแกรมจำลองนี้จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานและนักศึกษาด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ช่วยเพิ่มทักษะและความเข้าใจในการจัดลำดับการสวิตช์และรูปแบบการจัดลำดับในสถานีไฟฟ้าย่อยได้อย่างเป็นระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Erdem Memik and Sasha Nikolic, "The Virtual reality electrical substation field trip: Exploring student perceptions and cognitive learning" *STEM Education (AIMS)*, Jan 2021, pp.47-59
- [2] Ivan F. Mondragon Bernal "An Immersive Virtual Reality Training Game for Power Substations Evaluated in Terms of Usability and Engagement." *Applied Sciences* 12(2):711, 2022.
- [3] กองควบคุมการจ่ายไฟ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, "คู่มืออบรมหลักสูตรการปฏิบัติงานศูนย์สั่งการจ่ายไฟ"
- [4] พรชัย อังควงศ์สกุล, "วิศวกรรมสถานีไฟฟ้าแรงสูง", เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554
- [5] Robert H.Miller ,James H.Malinowski. "Power System Operation" McGraw-Hill. Inc,1994

ประวัติผู้เขียนบทความ



ชื่อ – สกุล พศวีร์ ศรีโหมด

E-mail: pasawee.sr@spu.ac.th

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

งานวิจัยที่สนใจ: การวิเคราะห์และผลกระทบระบบไฟฟ้ากำลังที่ไม่สมดุล การประยุกต์ใช้ไฟฟ้าแรงดันสูง การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า ระบบการจัดการพลังงาน



ชื่อ – สกุล เอกชัย ดีศิริ

E-mail: akekachai.de@spu.ac.th

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

งานวิจัยที่สนใจ: PLC Controller, Microcontroller, IIOT Application