

การพัฒนาระบบติดตามและแสดงผลกระบวนการผลิตโดยใช้ IIoT  
กรณีศึกษา ชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ

สิริวิญญ์ สวิง

TNII

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตศึกษา สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2567

AUTOMATION CONTROL AND MONITORING SYSTEM DEVELOPMENT  
BASED ON IIOT FOR INDUSTRIAL PROCESS

Sirawit Sawing

TNII

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements  
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology  
Graduate Studies

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2024

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาระบบติดตามและแสดงผลกระบวนการผลิตโดยใช้

IIoT กรณีศึกษา ชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ

โดย

สิริวิญญ์ สวิง

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ดร.ดอน แก้วดก

บัณฑิตศึกษา สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วรากร ศรีเชวงทรัพย์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลชาติ จุลเพ็ญ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีสิทธิ์ เจริญบุตร)

.....กรรมการ

(ดร.ซัชไชย วรรณบุญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.ดอน แก้วดก)

สิริวิทย์ สวิง : การพัฒนาระบบติดตามและแสดงผลกระบวนการผลิตโดยใช้ IIoT กรณีศึกษา  
ชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ. อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ดอน แก้วดก, 90 หน้า.

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการนำเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 มาประยุกต์ใช้ในการผลิตอัจฉริยะ โดยมุ่งเน้นที่การแก้ไขปัญหาความท้าทายด้านการแข่งขันในภาคอุตสาหกรรม ระบบตรวจสอบและควบคุมแบบเรียลไทม์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Node-Red และแสดงผลข้อมูลผ่านโปรแกรม Grafana สามารถติดตามข้อมูลสำคัญในการผลิตได้ ประกอบด้วยจำนวนชิ้นงานการผลิต สถานะของเครื่องจักร ปริมาณการใช้พลังงาน ระดับความสั่นสะเทือน และระดับอุณหภูมิของเครื่องจักร นอกจากนี้ระบบยังสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อระบุปัญหาที่อาจเกิดขึ้น และดำเนินการแก้ไขได้โดยอัตโนมัติ ส่งผลให้กระบวนการทำงานของเครื่องจักรมีความต่อเนื่อง เพิ่มค่าความแม่นยำในการผลิต สามารถทราบผลการดำเนินงานได้อย่างทันที่ และช่วยในการวางแผนการผลิต รวมถึงการจัดการการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าระบบประกอบด้วย สถานะทำงาน สถานะหยุดทำงาน สถานะกำลังดำเนินการ และสถานะเสร็จสิ้นการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับแผนการผลิตที่กำหนดไว้ 4 ชิ้นงาน โดยแบ่งประเภทวัสดุออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม พลาสติกสีเหลือง และพลาสติกสีดำ ระบบสามารถแสดงผลความสำเร็จของการผลิตได้ 100% สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานทุกสถานต่อการผลิต 1 ชิ้นคือ 0.0375 kWh และควบคุมอุณหภูมิการทำงานของเครื่องจักรให้อยู่ที่ระดับเหมาะสม 27.5 องศาเซลเซียสได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ระบบยังสามารถตรวจสอบระดับการสั่นสะเทือนของมอเตอร์สายพานลำเลียงหลัก ซึ่งมีค่าปกติที่ 0.7 มิลลิเมตรต่อวินาที และสามารถปรับความเร็วของเครื่องจักรได้โดยอัตโนมัติเมื่อตรวจพบความผิดปกติ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมถึงการควบคุมระยะไกลช่วยให้สามารถดำเนินการปิดเครื่องฉุกเฉินและปรับปรุงพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ตามต้องการของผู้ใช้งาน การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ในระบบการผลิตช่วยให้ระบบการทำงานมีความแม่นยำยิ่งขึ้น ลดความสูญเสีย และเพิ่มความยืดหยุ่นในการตอบสนองต่อความต้องการที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในอนาคต การพัฒนาระบบจะมุ่งเน้นไปที่การขยายขีดความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บัณฑิตศึกษา

สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม

ปีการศึกษา 2567

ลายมือชื่อนักศึกษา .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

SIRAWIT SAWING : AUTOMATION CONTROL AND MONITORING SYSTEM DEVELOPMENT  
 BASED ON IIOT FOR INDUSTRIAL PROCESS. ADVISOR : DR.DON KAEWDOOK,  
 90 PP.

This study examines the utilization of Industry 4.0 technologies to improve production efficiency in smart manufacturing. In consequence to increasing competitiveness in the industrial sector, a real-time monitoring and control system developed utilizing Grafana for data visualization and Node-Red for software development. The system monitors major production measurements, including production volume, machine status, energy consumption, temperature, and vibration. Main attributes cover the automated identification and rectification of problems, optimization of consumption of energy, and real-time data visualization. The findings indicate that the system could improve production, decrease costs, and support worker safety. An average energy consumption of 0.0375 kWh per unit can guide future production planning, while an optimal machine operating temperature of 27.5°C has been determined. The system monitors the primary conveyor belt motor's vibration levels, with typical values recorded at 0.7 mm/s. When temperature or vibration levels higher than specified limits arise, the system autonomously changes machine speeds to maintain safe operations. Furthermore, the integration of remote-control functionalities facilitates emergency shutdowns and parameter updates. This study demonstrates that Industry 4.0 technology significantly improve productivity, equipment durability, and competitiveness. Future efforts will concentrate on enhancing the system's capabilities and its implementation across diverse industrial sectors.

Graduate Studies

Field of Engineering of Technology

Academic Year 2024

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ดอน แก้วดก ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัย และแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง และ อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่มีได้กล่าวนามที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และคอยให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์กับงานวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณทางสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น สำหรับการศึกษาวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล สนับสนุนชุดจำลองระบบอัตโนมัติ และให้คำปรึกษาที่ใช้ในการในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

ข้าพเจ้าไม่อาจมองข้ามความช่วยเหลือและกำลังใจจากเพื่อนร่วมงานที่ได้ร่วมแบ่งปันความรู้ ความคิด และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนถึงเพื่อนๆ และครอบครัว ที่ได้ให้กำลังใจและสนับสนุนข้าพเจ้าอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านจิตใจและการจัดการเวลาที่ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทุ่มเทให้กับงานวิจัยได้อย่างเต็มที่

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่ออุตสาหกรรม และการพัฒนาในอนาคต และขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการสนับสนุนและให้กำลังใจในทุกขั้นตอนของงานวิจัยนี้

สิริวิชญ์ สวิง

## สารบัญ

|                                            | หน้า |
|--------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                       | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                    | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                       | ฉ    |
| สารบัญ.....                                | ช    |
| สารบัญตาราง.....                           | ณ    |
| สารบัญรูป.....                             | ญ    |
| บทที่                                      |      |
| 1 บทนำ.....                                | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....    | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....           | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....                 | 3    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....         | 3    |
| 1.5 แผนงานและระยะเวลาดำเนินงาน.....        | 3    |
| 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....       | 5    |
| 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....                | 5    |
| 2.2 การทบทวนวรรณกรรม.....                  | 14   |
| 3 ระเบียบวิธีวิจัย.....                    | 24   |
| 3.1 ออกแบบการวิจัย.....                    | 25   |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....        | 27   |
| 3.3 ติดตั้งเครื่องมือ และการเชื่อมต่อ..... | 28   |
| 3.4 การเก็บข้อมูล.....                     | 34   |
| 3.5 การเชื่อมต่อข้อมูล.....                | 39   |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่                                                                               | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4 ผลการศึกษาและการอภิปรายผล.....                                                    | 41   |
| 4.1 ผลการตรวจนับจำนวนชิ้นงานที่ผลิต (Production Monitoring).....                    | 41   |
| 4.2 ผลการตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Consumption Monitoring).....            | 42   |
| 4.3 การตรวจสอบการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ (Vibration and Temperature Monitoring)..... | 43   |
| 4.4 ผลการควบคุมการทำงานของระบบจากระยะไกล (Remote-Control).....                      | 45   |
| 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....                                                          | 47   |
| 5.1 สรุปผล.....                                                                     | 47   |
| 5.2 เปรียบเทียบผลระหว่าง ก่อนทำ และหลังทำ.....                                      | 49   |
| 5.3 ปัญหาและอุปสรรค.....                                                            | 51   |
| 5.4 ข้อเสนอแนะ.....                                                                 | 51   |
| บรรณานุกรม.....                                                                     | 53   |
| ภาคผนวก.....                                                                        | 57   |
| ภาคผนวก ก. การเขียน Ladder บน Gx Work 3 ของทุกสถานีการผลิต.....                     | 58   |
| ประวัติย่อผู้วิจัย.....                                                             | 90   |

## สารบัญตาราง

| ตาราง                                                                                                                      | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินการศึกษาวิจัย .....                                                                        | 3    |
| 2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารในโรงงานอุตสาหกรรม.....                                                                             | 11   |
| 2.2 สรุปรงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                                                                        | 14   |
| 3.1 พีเจอร์หลักของเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือน และอุณหภูมิ.....                                                              | 31   |
| 4.1 การผลิต และวางแผนการผลิตในการใช้พลังงาน .....                                                                          | 42   |
| 4.2 ค่าความสั่นสะเทือนที่สัมพันธ์กับสถานะของเครื่องจักร ISO 10816 A - ดี B - พอใจ<br>C - ไม่น่าพอใจ D - ยอมรับไม่ได้ ..... | 44   |
| 5.1 เปรียบผลระหว่างก่อนและหลังทำ .....                                                                                     | 49   |



## สารบัญรูป

| รูป                                                                                                         | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 ภาพรวมการทำงานของอุตสาหกรรม 4.0.....                                                                    | 6    |
| 2.2 Node-Red Software .....                                                                                 | 12   |
| 2.3 Influxdb Software .....                                                                                 | 13   |
| 2.4 Grafana Software .....                                                                                  | 14   |
| 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน.....                                                                          | 24   |
| 3.2 ออกแบบของชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ 3D.....                                                           | 25   |
| 3.3 ชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติที่ใช้ในการทดลอง .....                                                      | 26   |
| 3.4 โครงสร้างของระบบ .....                                                                                  | 27   |
| 3.5 ภาพรวมของการติดตั้งเซนเซอร์บนชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ .....                                         | 28   |
| 3.6 การเชื่อมต่อระบบ PLC ทั้ง 5 สถานี.....                                                                  | 29   |
| 3.7 (a) โครงสร้างการเชื่อมต่อ Smart Plug (b) สายไฟของเครื่องจักรต่อเข้า Smart Plug.....                     | 30   |
| 3.8 (a) การติดตั้งมอเตอร์ A และ (b) การติดตั้งมอเตอร์ B .....                                               | 32   |
| 3.9 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิมอเตอร์ A.....                                         | 32   |
| 3.10 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิมอเตอร์ B .....                                       | 33   |
| 3.11 การเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์ D-700 ของมอเตอร์ A และมอเตอร์ B.....                                         | 33   |
| 3.12 กำหนดพารามิเตอร์ของ PLC แต่ละสถานี.....                                                                | 34   |
| 3.13 การพัฒนาโปรแกรม Node-Red สำหรับรับข้อมูลจากชุด PLC รุ่น FX5U.....                                      | 35   |
| 3.14 การพัฒนาโปรแกรม Node-Red สำหรับรับข้อมูลจากเซนเซอร์ Smart Plug .....                                   | 36   |
| 3.15 การพัฒนาโปรแกรมแสดงผลค่าความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ.....                                                | 37   |
| 3.16 การพัฒนาโปรแกรมสั่งการทำงานและหยุดการทำงานและออโต้หรือแมนนวลได้.....                                   | 38   |
| 3.17 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อที่จะกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของค่าอุณหภูมิและค่าความสั่นสะเทือนตามที่ต้องการได้ .....  | 38   |
| 3.18 หน้าต่างการจัดเก็บข้อมูลพลังงาน อุณหภูมิ และค่าความสั่นสะเทือน.....                                    | 39   |
| 3.19 การตั้งค่าการวิเคราะห์ข้อมูล และแสดงผลบน Grafana .....                                                 | 40   |
| 4.1 ผลลัพธ์ของจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ของชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ.....                                    | 41   |
| 4.2 สถานะการใช้พลังงานของแต่ละสถานี และผลรวมการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด<br>แสดงผ่านโปรแกรม Grafana..... | 43   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

| รูป | หน้า                                                                            |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------|
| 4.3 | ระดับการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิของมอเตอร์ A โซนสีแดงหมายถึงสถานะผิดปกติ ..... 44 |
| 4.4 | ระดับการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิของมอเตอร์ B โซนสีเขียวหมายถึงสถานะปกติ..... 45   |
| 4.5 | แดรชบอร์ดการควบคุมการทำงานของระบบจากระยะไกล ..... 46                            |
| 4.6 | ตัวอย่างการสั่งการทำงานจากมือถือระยะไกล ..... 46                                |



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 หรือ อุตสาหกรรม 4.0 นำเทคโนโลยีดิจิทัลและอินเทอร์เน็ตมาเชื่อมโยงกระบวนการผลิตกับความต้องการของลูกค้าโดยตรง ผ่านการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและขับเคลื่อนสู่โรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) การปรับตัวของสถานประกอบการให้สอดคล้องกับรูปแบบการผลิตและการดำเนินธุรกิจใหม่นี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในภาคอุตสาหกรรม (IIoT) ในภาคอุตสาหกรรมทำหน้าที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับอินเทอร์เน็ตเพื่อแบ่งปันข้อมูลและสื่อสารกัน รวมถึงรวบรวมข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงการทำงานแบบเรียลไทม์ผ่านระบบคลาวด์ การเชื่อมต่อและตรวจสอบเครื่องจักรจากระยะไกลผ่านเทคโนโลยีนี้ช่วยให้การทำงานรวดเร็ว ง่ายขึ้น และลดค่าใช้จ่าย โดยอาศัยการควบคุมแบบลอจิกที่ตั้งโปรแกรมได้ (PLC) และอินเทอร์เฟซระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร (HMI) ผ่านอินเทอร์เน็ตและเครือข่ายส่วนตัวเสมือน (VPN) [1] การตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรระยะไกลด้วยอุปกรณ์อัตโนมัติผ่าน IoT กำลังกลายเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของอุปกรณ์อัตโนมัติในยุค IIoT ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้เซ็นเซอร์ IoT ในการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ การสื่อสารในระบบอุตสาหกรรม และการตรวจสอบสภาพแวดล้อมการผลิต [2] รวมถึงการจัดการพลังงานและการส่งเสริมโลกสีเขียวเป็นปัจจัยสำคัญในการเฝ้าระวังและควบคุมการใช้พลังงานให้อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม นอกจากนี้ การวางแผนในอุตสาหกรรมอัจฉริยะจำเป็นต้องเน้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สามารถระบุการผลิตได้อย่างถูกต้องและมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงาน [3]

จากงานวิจัยของ A. Khademi et al. [4] ได้ศึกษาการพัฒนาและออกแบบฮาร์ดแวร์ที่สามารถตรวจสอบการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรได้และส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ ไปยังเซิร์ฟเวอร์บนคลาวด์ ซึ่งผลการทดสอบฮาร์ดแวร์พบว่าข้อมูลการสั่นสะเทือนที่ส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์มีความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับข้อมูลที่บันทึกจากออสซิลโลสโคปในเวลาเดียวกัน การวิจัยนี้พิสูจน์ให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้เซ็นเซอร์ที่เปิดใช้งาน IoT ในการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ งานวิจัยของ A. T. B. N. N. Azlan et al. [5] ได้ทำการพัฒนาระบบการตรวจสอบการใช้พลังงานที่สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานของเครื่องจักรหลายเครื่องในเวลาจริงได้ ผลลัพธ์จากการทดสอบพบว่าระบบสามารถเก็บข้อมูลการใช้พลังงานและแสดงผลข้อมูลได้พร้อมกันจากเครื่องจักรหลายเครื่อง ข้อมูลที่ได้รับจากระบบนี้สามารถใช้ในการคำนวณต้นทุนพลังงานและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ ระบบยังสามารถช่วยในการวิเคราะห์และปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง งานวิจัยของ M. Tabaa et al. [6]

พบว่าการพัฒนากระบวนการสื่อสารในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้แพลตฟอร์ม Node-RED และโปรโตคอล Modbus สำหรับการสร้างโรงงานอัจฉริยะ โดยเน้นการใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) และระบบ Cyber-Physical Systems (CPS) เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีความยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า การใช้ Node-RED และ Modbus สำหรับการสื่อสารในระบบอุตสาหกรรมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องใช้สายสัญญาณที่ซับซ้อน ระบบนี้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนระบบในอนาคต งานวิจัยของ K. Anam et al. [7] ได้ทำการพัฒนาระบบการตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นในห้องผลิตที่สามารถแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์และแจ้งเตือนผู้ใช้เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมการผลิตผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้คือระบบสามารถแสดงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นแบบเรียลไทม์และส่งสัญญาณแจ้งเตือนเมื่อค่าตัวแปรเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนดได้สำเร็จ ระบบยังช่วยให้สามารถวิเคราะห์แหล่งที่มาของปัญหาในพื้นที่การผลิตและนำเสนอข้อมูลที่สามารถใช้ในการตัดสินใจได้ โดยระบบนี้ใช้ต้นทุนต่ำและสามารถพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อรองรับการใช้งานกับเซ็นเซอร์อื่นๆ ได้ และงานวิจัยของ S. Teixeira et al. [8] กล่าวว่าการพัฒนาและนำโครงสร้างพื้นฐานของ Industrial Internet of Things (IIoT) มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตปกป้อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต โดยมุ่งเน้นการตรวจจับและติดตามการสูญเสียของวัตถุดิบ รวมถึงการใช้พลังงานและน้ำที่ไม่เหมาะสม ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้คือการสร้างโครงสร้างพื้นฐานของ IIoT ที่สามารถตรวจจับและติดตามการสูญเสียวัตถุดิบ การใช้พลังงาน และการใช้น้ำในกระบวนการผลิตปกป้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบนี้ช่วยให้สามารถปรับปรุงการดำเนินงานในโรงงานและลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตได้

การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การติดตามสถานะของกระบวนการผลิต ระดับการใช้พลังงานของแต่ละสถานีการผลิต ระดับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นของมอเตอร์หลักและระดับการสั่นสะเทือนเพื่อการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานและมีความน่าเชื่อถือในการผลิต โดยใช้ชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติขนาดเล็ก ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อเป็นแนวทางให้อุตสาหกรรมการผลิตในการออกแบบและพัฒนากระบวนการทำงานที่มีประสิทธิภาพและยั่งยืนมากขึ้น ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามกระบวนการผลิตได้อย่างใกล้ชิดผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย รวมถึงแสดงผลข้อมูลสำคัญแบบทันท่วงที ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ปริมาณการผลิต การใช้พลังงาน สถานะเครื่องจักร อุณหภูมิ ไปจนถึงระดับการสั่นสะเทือน

1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบที่สามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาได้โดยอัตโนมัติ รวมทั้งวางแผนการใช้พลังงานในการผลิตสำหรับอนาคต



ตารางที่ 1.1 แผนงานและระยะเวลาในการดำเนินการศึกษาวิจัย (ต่อ)

| ลำดับ | ขั้นตอนและวิธีการทำงาน                 | ปี พ.ศ. 2566 |   |   |    |    |    | ปี พ.ศ. 2567 |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-------|----------------------------------------|--------------|---|---|----|----|----|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|       |                                        | 7            | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1            | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 6     | ทำการทดลองบันทึกผล แสดงผลผ่านแดรชบอร์ด |              |   |   |    |    |    |              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 7     | วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล               |              |   |   |    |    |    |              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 8     | จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์                |              |   |   |    |    |    |              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 9     | นำเสนอผลงานวิชาการ                     |              |   |   |    |    |    |              |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 10    | สอบป้องกันโครงร่างวิทยานิพนธ์          |              |   |   |    |    |    |              |   |   |   |   |   |   |   |   |



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการพัฒนาระบบติดตามและแสดงผลกระบวนการผลิตโดยใช้ IIOT กรณีศึกษาชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ และการทบทวนวรรณกรรม ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสาร ทฤษฎี และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 อุตสาหกรรม 4.0 [1]

อุตสาหกรรม 4.0 เป็นแนวคิดและกระบวนการทัศน์ใหม่ที่มีการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลและการเชื่อมต่อในระดับสูงเพื่อปฏิรูปกระบวนการผลิตและอุตสาหกรรม โดยเป้าหมายหลักของอุตสาหกรรม 4.0 คือการสร้างคามยืดหยุ่น เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดค่าใช้จ่าย และเปิดโอกาสให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ ภายในกระบวนการผลิต ซึ่งหัวใจหลักของอุตสาหกรรม 4.0 คือการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับการผลิตและการบริหารจัดการ โดยเน้นการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายและการใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ ในการตัดสินใจและปรับปรุงระบบอัตโนมัติ

##### - แนวคิดหลักของอุตสาหกรรม 4.0

แนวคิดของอุตสาหกรรม 4.0 ได้รับการพัฒนาขึ้นจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งก่อนๆ โดยมีการแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนสำคัญของการเปลี่ยนแปลงในภาคอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรม 1.0 คือการใช้พลังงานไอน้ำและกลไกเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

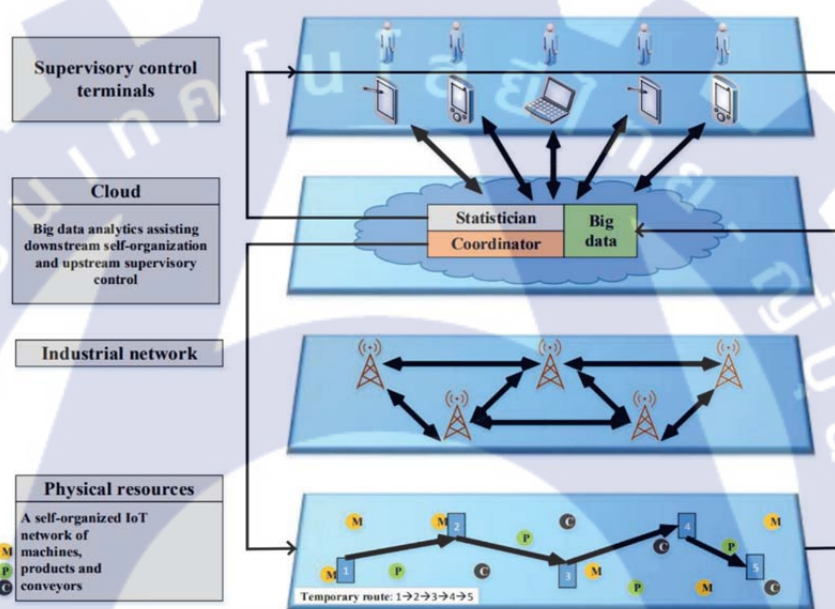
อุตสาหกรรม 2.0 คือการนำระบบไฟฟ้าและสายการผลิตเข้ามาใช้ ทำให้การผลิตจำนวนมาก

อุตสาหกรรม 3.0 การใช้ระบบอัตโนมัติและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ในการควบคุมและบริหารจัดการการผลิต

อุตสาหกรรม 4.0 การบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัล เช่น Internet of Things (IoT), ปัญญาประดิษฐ์ (AI), การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data), และระบบอัตโนมัติอัจฉริยะเพื่อเพิ่มความสามารถในการเชื่อมต่อและควบคุมกระบวนการผลิตแบบเรียลไทม์

อุตสาหกรรม 4.0 มีเป้าหมายในการสร้างกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพและยืดหยุ่นมากขึ้น ซึ่งสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการและข้อกำหนดของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว การบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ากับระบบทางกายภาพ ช่วยให้สามารถเก็บรวบรวม วิเคราะห์

ตรวจสอบ และควบคุมข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดเวลาหยุดทำงาน และปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในบทความนี้ได้กล่าวถึงการควบคุมระยะไกล การตรวจสอบ และการจัดเก็บข้อมูลออนไลน์ของเครื่องจักรอุตสาหกรรม โดยใช้โมดูลเชื่อมต่อระหว่างมนุษย์และเครื่องจักร ซึ่งทำหน้าที่รวมระบบควบคุมเข้ากับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในภาคอุตสาหกรรม (IIoT) นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมและตรวจสอบได้จากทุกที่ทั่วโลกผ่านอินเทอร์เน็ต โดยใช้เครือข่ายส่วนตัวเสมือน (VPN) ในการเปิดช่องทางการนำทางส่วนตัวและเชื่อมต่อกับ HMI จากการรวบรวมข้อมูลที่บันทึกไว้และผลการทดสอบเชิงปฏิบัติ พบว่าระบบที่ออกแบบนี้ช่วยให้กระบวนการเข้าถึงเครื่องจักรอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 2.1 ภาพรวมการทำงานของอุตสาหกรรม 4.0

### 2.1.2 โรงงานอัจฉริยะ [2]

แนวคิดของโรงงานอัจฉริยะ โรงงานอัจฉริยะเป็นการผสมผสานระหว่างระบบกายภาพ (Physical Systems) และระบบไซเบอร์ (Cyber Systems) เพื่อสร้างโรงงานที่มีความสามารถในการควบคุมและปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยอัตโนมัติ ผ่านการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องจักร อุปกรณ์ และผู้ปฏิบัติงานทั้งหมด การควบคุมและการปรับปรุงเหล่านี้เกิดขึ้นจากการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถตัดสินใจได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

ด้วยการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีการตรวจจับ การสื่อสาร การประมวลผล และเทคนิคการวิเคราะห์ ขณะนี้การผลิตกำลังก้าวเข้าสู่ยุคใหม่ของความยั่งยืน ดิจิทัล และความฉลาด

แม้ว่าทั้งความยั่งยืนและความฉลาดจะได้รับการยอมรับถึงความสำคัญจากภาคการศึกษา อุตสาหกรรม รวมถึงรัฐบาล และมีความพยายามอย่างมากในการพัฒนาทั้งสองด้าน แต่จุดบรรจบระหว่างสององค์ประกอบนี้ยังไม่ได้มีการพัฒนาอย่างเต็มที่ ในแบบดั้งเดิม การศึกษาด้านการผลิตที่ยั่งยืนและการผลิตที่ชาญฉลาดมักมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันและใช้เครื่องมือที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม ในการออกแบบและดำเนินการโรงงานอัจฉริยะ ความยั่งยืนและประสิทธิภาพพลังงานควรเป็นเป้าหมายสำคัญ นอกจากนี้ เทคนิคการตัดสินใจที่อิงกับข้อมูลขนาดใหญ่ซึ่งได้รับการพัฒนาและนำไปใช้ในการผลิตอัจฉริยะยังมีศักยภาพสูงในการส่งเสริมความยั่งยืนของการผลิต ในบทความนี้ ได้มีการทบทวนสถานะของการผลิตที่ยั่งยืนและการผลิตที่ชาญฉลาด โดยใช้กรอบการทำงาน เชื่อมต่อข้อมูลขนาดใหญ่ โดยเน้นที่การโต้ตอบและประโยชน์ซึ่งกันและกันของทั้งสองด้าน จากนั้นจึงได้ระบุและอภิปรายปัญหาสำคัญในทั้งสองสาขา โดยเฉพาะการพูดถึงเทคโนโลยีต่างๆ ที่เกิดขึ้นในยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมครั้งที่ 4 และการมีส่วนร่วมของเทคโนโลยีเหล่านั้นต่อความยั่งยืน นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ผลกระทบของเทคโนโลยีการผลิตอัจฉริยะต่ออุตสาหกรรมพลังงานที่ยั่งยืน ในสภาพแวดล้อมการผลิตในปัจจุบัน ค่าใช้จ่ายพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น ความกังวลที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม และการเปลี่ยนแปลงในพฤติกรรมของผู้บริโภคได้ส่งเสริมให้องค์กรผลิตหันมาเน้นการผลิตแบบสีเขียว ความก้าวหน้าของการพัฒนาในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเรียกร้องให้มีการใช้วิธีการที่ประหยัด มีประสิทธิภาพ และชาญฉลาดในด้านต่างๆ เช่น การขนส่ง การจัดการ สถานะ และคุณภาพชีวิตส่วนบุคคล ความต้องการพลังงานสำหรับแอปพลิเคชัน IoT กำลังเติบโตขึ้น ในสถานการณ์เช่นนี้ การจัดการพลังงานถือเป็นประเด็นสำคัญเนื่องจากความจำเป็นในการประหยัดพลังงานอย่างมากและการแก้ไขปัญหาวิกฤติพลังงานที่มีประสิทธิภาพ [3]

### 2.1.3 เซ็นเซอร์ในระบบอุตสาหกรรมอัจฉริยะและการสื่อสาร

เซ็นเซอร์และอุปกรณ์การรับข้อมูลเป็นส่วนสำคัญในระบบโรงงานอัจฉริยะ ซึ่งช่วยในการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรและพลังงานรวมถึงสภาพอากาศในเวลาจริง เซ็นเซอร์ต่างๆ นี้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือเคมีที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรและแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลที่สามารถวิเคราะห์ได้ นี่คือนิยามของเซ็นเซอร์และอุปกรณ์การรับข้อมูลที่ใช้ในระบบโรงงานอัจฉริยะ

#### a) ทฤษฎีเซ็นเซอร์อุณหภูมิและทฤษฎีเซ็นเซอร์การสั่นสะเทือน [4]

เซ็นเซอร์อุณหภูมิเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงสถานะความร้อนที่ผิดปกติในเครื่องจักร ความร้อนที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของเครื่องจักรอาจมาจากการเสียดทานหรือปัญหาทางกลไก ซึ่งหากไม่ถูกตรวจพบในระยะเวลาอันสั้นอาจทำให้เครื่องจักรหยุดทำงานหรือเสียหายได้

หลักการทำงาน คือ เซนเซอร์อุณหภูมิทำงานโดยตรวจวัดอุณหภูมิผ่านการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ หรือการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เกิดจากความร้อน ข้อมูลอุณหภูมิที่ได้จะถูกส่งไปยังระบบประมวลผลเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและทำการวิเคราะห์

ความสำคัญในการตรวจสอบเครื่องจักร คือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอาจแสดงถึงการเสียดทานที่เพิ่มขึ้น การสูญเสียประสิทธิภาพในการหล่อลื่น หรือการชำรุดของชิ้นส่วนในเครื่องจักร ซึ่งอาจนำไปสู่การทำงานที่ผิดปกติ การติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิในจุดต่างๆ เช่น แบร็ง มอเตอร์ หรือ จุดเสียดทาน จะช่วยในการตรวจสอบและป้องกันความเสียหายก่อนเกิดขึ้น

เซนเซอร์การสั่นสะเทือนทำหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนไหวหรือการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงสภาพของเครื่องจักรได้ เช่น การสึกหรอของส่วนประกอบ, ความไม่สมดุล, หรือการเสื่อมสภาพของแบร็ง การสั่นสะเทือนที่ไม่ปกติอาจเป็นสัญญาณของปัญหาที่อาจนำไปสู่ความเสียหายรุนแรงได้

หลักการทำงาน คือ เซนเซอร์การสั่นสะเทือนทำงานโดยแปลงการเคลื่อนไหวของการสั่นสะเทือนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าผ่านการวัดค่าความเร่ง (Acceleration), ความเร็ว (Velocity), หรือการกระจัด (Displacement) ซึ่งค่าทั้งหมดนี้สามารถบ่งบอกถึงระดับความรุนแรงและความถี่ของการสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์สัญญาณ คือ การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรมักจะมีลักษณะเฉพาะเมื่อเครื่องจักรทำงานอย่างปกติ แต่เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนที่มากเกินไปหรือลักษณะการสั่นสะเทือนเปลี่ยนไป สามารถระบุถึงปัญหาเฉพาะ เช่น การหมุนที่ไม่สมดุล การสั่นไถลของชิ้นส่วน หรือการชำรุดของแบร็ง

## b) ทฤษฎีเซนเซอร์ตรวจวัดพลังงาน [5]

เซนเซอร์ตรวจวัดพลังงานเป็นอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อตรวจสอบและวัดการใช้พลังงานของเครื่องจักรในรูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นไฟฟ้า, ความร้อน, หรือพลังงานกล ซึ่งการตรวจวัดเหล่านี้ช่วยให้เห็นภาพรวมที่ชัดเจนของการใช้พลังงานจริงของเครื่องจักร การติดตามการใช้พลังงานแบบละเอียดนี้ทำให้เราสามารถประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรและระบุจุดที่เกิดการสูญเสียพลังงานได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

หลักการทำงาน เซนเซอร์ตรวจวัดพลังงานมักจะใช้เทคโนโลยีที่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด เพื่อนำค่าที่ตรวจวัดเหล่านั้นมาวิเคราะห์ การแปลงสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้ทำให้เราทราบปริมาณพลังงานที่เครื่องจักรใช้จริง ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับระบบการจัดการพลังงานเพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด

### c) ระบบการสื่อสารในโรงงานอุตสาหกรรม [6]

ทฤษฎีระบบการสื่อสารในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นแนวคิดที่เน้นการจัดการและการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องจักร อุปกรณ์ และระบบต่างๆ ภายในโรงงาน โดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารที่ทันสมัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ลดความผิดพลาด และเพิ่มความสามารถในการควบคุมและจัดการกระบวนการทั้งหมดในโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบการสื่อสารในโรงงานอุตสาหกรรมถือเป็นหัวใจสำคัญของการพัฒนาไปสู่อุตสาหกรรม 4.0 และโรงงานอัจฉริยะ

#### ความสำคัญของระบบการสื่อสารในโรงงานอุตสาหกรรม

ระบบการสื่อสารในโรงงานอุตสาหกรรมมีบทบาทสำคัญในการเชื่อมต่อและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ เครื่องจักร และระบบต่างๆ รวมถึงผู้ปฏิบัติงาน เพื่อให้สามารถควบคุมและตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรและกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในการสื่อสารสามารถแบ่งได้เป็นระบบการสื่อสารแบบมีสาย (Wired) และแบบไร้สาย (Wireless)

การเชื่อมต่อแบบบูรณาการ ระบบการสื่อสารช่วยให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ สามารถทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ ลดความล่าช้าในการส่งข้อมูล ทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างราบรื่น

การจัดการข้อมูลแบบเรียลไทม์ : ระบบการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพช่วยให้การจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องจักรทำได้แบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถตัดสินใจในการปรับปรุงการทำงานของเครื่องจักรและกระบวนการผลิตได้ทันที

#### เทคโนโลยีการสื่อสารที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

มีเทคโนโลยีการสื่อสารหลากหลายประเภทที่ถูกนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ตามลักษณะการเชื่อมต่อและการใช้งาน ดังนี้

#### ระบบการสื่อสารแบบมีสาย

- Ethernet เป็นระบบเครือข่ายพื้นฐานที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลผ่านสายเคเบิล การสื่อสารผ่าน Ethernet มีความเสถียรและรวดเร็วมาก เหมาะกับการส่งข้อมูลในปริมาณมากและต้องการความแม่นยำ Fieldbus เป็นระบบเครือข่ายที่ใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ในกระบวนการผลิต เช่น PLC (Programmable Logic Controller), เซนเซอร์, และตัวควบคุมอื่นๆ Fieldbus สามารถใช้เพื่อควบคุมกระบวนการต่างๆ ภายในโรงงานแบบเรียลไทม์

- Industrial Ethernet เป็นการพัฒนา Ethernet ให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรม เช่น การทนทานต่อการสั่นสะเทือน, อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง

### ระบบการสื่อสารแบบไร้สาย

- Wi-Fi การใช้ Wi-Fi ในโรงงานอุตสาหกรรมช่วยให้การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ทำได้โดยไม่ต้องใช้สายเคเบิล ซึ่งช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและลดต้นทุนในการติดตั้งระบบเครือข่าย โดยเฉพาะในกรณีที่อุปกรณ์หรือเครื่องจักรถูกเคลื่อนย้ายบ่อยครั้ง

- Bluetooth ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ในระยะใกล้ เช่น การเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์กับเครื่องจักร โดยมีข้อดีคือใช้พลังงานต่ำและสามารถทำงานได้ในระยะทางสั้นๆ

- Zigbee เป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายที่เน้นการส่งข้อมูลในระยะสั้น มีความเสถียรและใช้พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับการใช้งานในเครือข่ายเซนเซอร์และระบบควบคุมอัตโนมัติ

- Z-wave เป็นโปรโตคอลการสื่อสารไร้สายที่ออกแบบมาเพื่อการควบคุมอุปกรณ์อัตโนมัติภายในบ้าน โดยเน้นพลังงานต่ำและระยะการสื่อสารที่ยาวในเครือข่ายแบบเครือข่ายแบบตาข่าย

- 6LoWPan หรือ IPv6 Over Low-Power Wireless Personal Area Networks เป็นโปรโตคอลที่ออกแบบมาเพื่อให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ เช่น เซ็นเซอร์ และอุปกรณ์ IoT ในเครือข่ายไร้สาย โดยสามารถใช้กับโปรโตคอล IPv6 ได้อย่างมีประสิทธิภาพในระบบที่มีข้อจำกัดเรื่องพลังงานและแบนด์วิดท์

- Sigfox คือ เครือข่ายการสื่อสารไร้สายที่ออกแบบมาเพื่อรองรับอุปกรณ์ IoT โดยเน้นการส่งข้อมูลขนาดเล็กในระยะไกลด้วยพลังงานต่ำ เหมาะสำหรับการใช้งานที่ไม่ต้องการแบนด์วิดท์สูง เช่น การติดตามอุปกรณ์หรือเซ็นเซอร์

- LoRa หรือ Long range ใช้ในกรณีที่ต้องการสื่อสารระยะไกล และมีการใช้งานที่ประหยัดพลังงาน เหมาะสำหรับระบบ IIoT ที่ต้องการการสื่อสารข้อมูลในระยะไกล เช่น การตรวจสอบสภาพแวดล้อมหรือเครื่องจักรที่อยู่ไกล

ระบบการเชื่อมต่อทั้งหมดนี้ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางจากนักวิจัยและผู้เชี่ยวชาญทั่วโลก โดยชุดโปรโตคอลในระบบ Internet of thing นำเสนอภาษากลางสำหรับการสื่อสารระหว่างระบบที่เชื่อมต่อกันทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ต่างยี่ห้อ ระบบปฏิบัติการ หรือเครื่องมือซอฟต์แวร์ที่หลากหลาย ซึ่งสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในตารางที่ 2.1 จะแสดงเทคโนโลยีหลักที่มีความสำคัญและถูกนำมาใช้ในระบบ IoT

ตารางที่ 2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารในโรงงานอุตสาหกรรม

| Technology | Standard                                     | Frequency     | Range   | Transmission Speed |
|------------|----------------------------------------------|---------------|---------|--------------------|
| Bluetooth  | Bluetooth 4.2                                | 2.4 GHz (ISM) | 50-150m | Mbit/s (Smart/BLE) |
| Zigbee     | IEEE802.15.4                                 | 2.4GHz        | 10-100m | 250 Kbit/s         |
| Z-wave     | Z-wave alliance<br>ZAD12837/<br>ITU-T G.9959 | 900MHz (ISM)  | 30m     | 9.6/40/100 Kbit/s  |
| 6lowpan    | RFC6282                                      | 2.4 GHz       | -       | -                  |
| Wifi       | 802.11n                                      | 2.4 GHz/5 GHz | 50m     | 600 Mbit/s max     |
| Sigfox     | Sigfox                                       | 900 MHz       | 30-50m  | 10-1000 bit/s      |
| LoRa       | LoRa                                         | 3 frequencise | 15km    | 0.3-50 Kbit/s      |

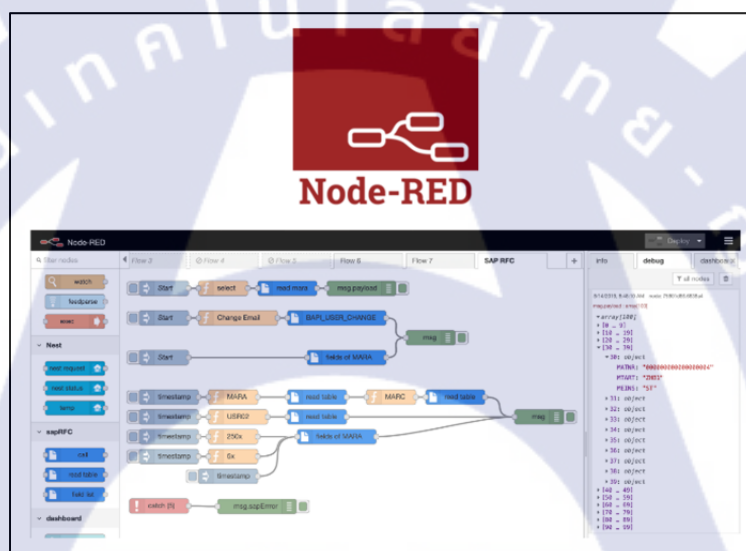
#### 2.1.4 เทคโนโลยีที่ใช้ในระบบควบคุมและตรวจสอบ [7]

ในปัจจุบัน การพัฒนาเทคโนโลยีในระบบควบคุมและตรวจสอบข้อมูลมีความหลากหลายและประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะในด้านการประมวลผลข้อมูลและการแสดงผลแบบเรียลไทม์ โดยมีเครื่องมือหลายชนิดที่ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยในการควบคุมและตรวจสอบ เช่น Node-RED ถูกนำมาใช้ในส่วนของ backend สำหรับการจัดการกระบวนการประมวลผลข้อมูลและการสร้างโฟลว์การทำงานที่ปรับแต่งได้ ในขณะที่ InfluxDB ถูกใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูล และ Grafana ทำหน้าที่เป็นส่วน frontend เพื่อแสดงผลข้อมูลผ่านแดชบอร์ดที่สามารถปรับแต่งได้ตามความต้องการซึ่งถูกใช้ร่วมกันเพื่อสร้างระบบควบคุมและตรวจสอบข้อมูลที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับในระบบอุตสาหกรรมและ Internet of Things

##### I. Node-RED

Node-RED เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างการไหลของข้อมูล (Flow-Based Programming) ที่ออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่ายผ่านการลากและวาง (Drag-and-Drop) ในอินเทอร์เฟซ แบบกราฟิก โดย Node-RED ช่วยในการควบคุมการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์หรือเซนเซอร์และการส่งข้อมูลระหว่างระบบต่างๆ และมีคุณสมบัติหลัก

- การไหลของข้อมูลแบบกราฟิก (Flow-Based Development) : Node-RED ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถสร้างและควบคุมการไหลของข้อมูลได้โดยไม่ต้องเขียนโค้ดที่ซับซ้อน ผู้ใช้งานสามารถลากและวาง Node ต่างๆ เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลจากแหล่งที่มา เช่น เซนเซอร์, ระบบ API, หรือฐานข้อมูล
- การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์และบริการ : Node-RED รองรับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หลากหลายชนิด เช่น เซนเซอร์ในระบบ IoT, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และบริการคลาวด์ นอกจากนี้ Node-RED ยังสามารถใช้ในการเชื่อมต่อและควบคุมอุปกรณ์ได้อย่างง่ายดาย เช่น ผ่านโปรโตคอล MQTT, HTTP และ WebSockets
- ความยืดหยุ่น : สามารถใช้ในการจัดการกับข้อมูลที่มาจากหลายแหล่ง และปรับปรุงการควบคุมระบบได้อย่างยืดหยุ่น รวมถึงการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แบบเรียลไทม์



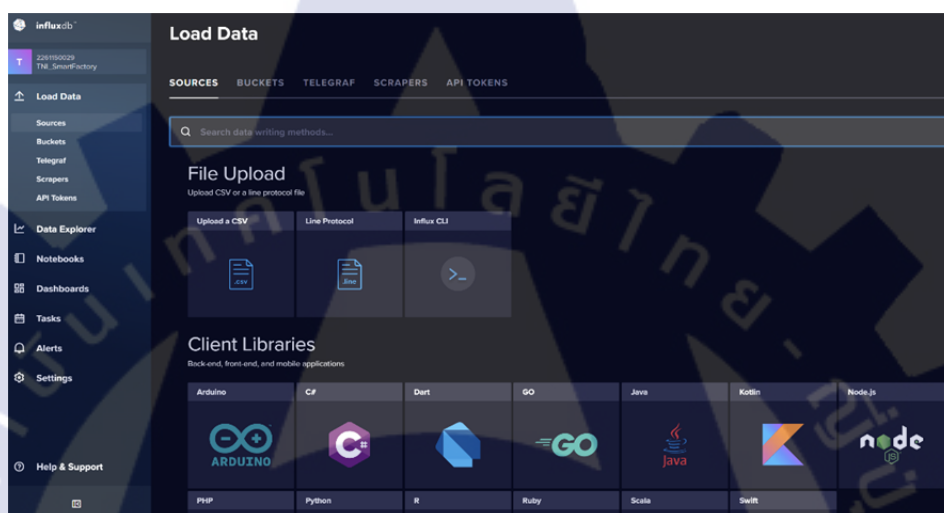
รูปที่ 2.2 Node-Red Software

## II. InfluxDB

InfluxDB เป็นฐานข้อมูลแบบ Time-Series ที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการจัดเก็บข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น ข้อมูลจากเซนเซอร์, ระบบ IoT หรือกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่มีการตรวจวัดข้อมูลแบบเรียลไทม์ และมีคุณสมบัติหลัก

- การจัดเก็บข้อมูลแบบ Time-Series : InfluxDB เป็นฐานข้อมูลที่เน้นการจัดเก็บข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เช่น ค่าอุณหภูมิ, ความชื้น, แรงดัน และข้อมูลจากเซนเซอร์ต่างๆ โดยการจัดเก็บข้อมูลนี้เป็นแบบมีตราประทับเวลา (Timestamp) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการติดตามแนวโน้มและการตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบต่างๆ

- ประสิทธิภาพสูงในการจัดการข้อมูล: InfluxDB สามารถจัดการกับข้อมูลปริมาณมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรองรับการเขียนและอ่านข้อมูลความเร็วสูง ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในระบบตรวจสอบแบบเรียลไทม์
- การวิเคราะห์ข้อมูล : InfluxDB รองรับการใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์ต่างๆ เช่น ค่าเฉลี่ย (Mean), ค่าสูงสุด/ต่ำสุด (Max/Min) และการวิเคราะห์แนวโน้ม ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ได้โดยตรง



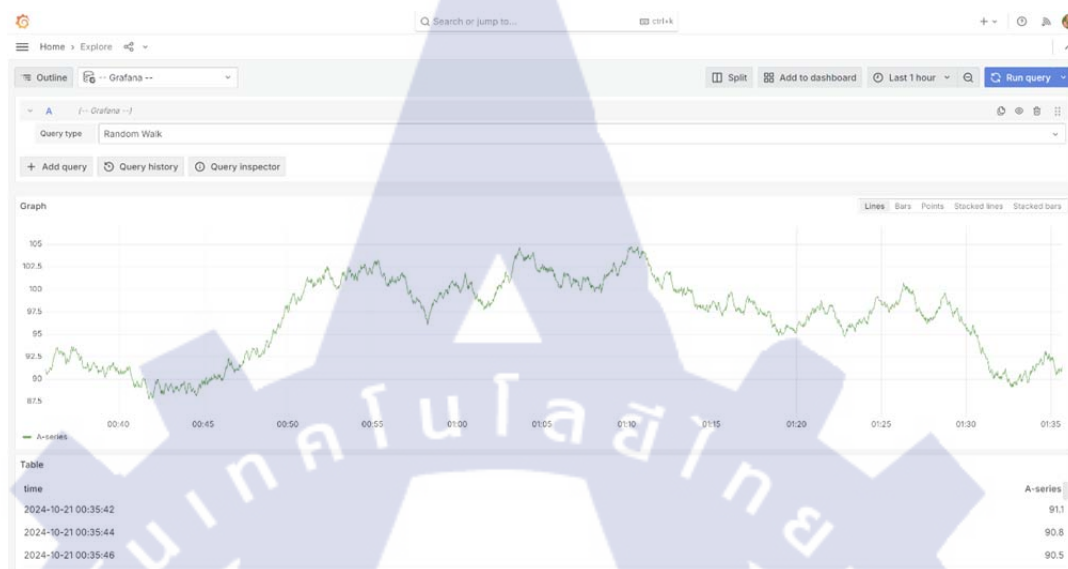
รูปที่ 2.3 Influxdb Software

### III. Grafana

Grafana เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างแดชบอร์ด (Dashboard) เพื่อการแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลต่างๆ เช่น InfluxDB เพื่อแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟหรือชาร์ต ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามและตรวจสอบข้อมูลได้อย่างชัดเจน และมีคุณสมบัติหลัก

- การแสดงผลข้อมูลที่ทรงพลัง : Grafana ช่วยให้ผู้ใช้สามารถสร้างการแสดงผลข้อมูลแบบอินเทอร์แอคทีฟ เช่น กราฟ, แผนภูมิ และวิดเจ็ตที่ปรับแต่งได้ตามความต้องการของผู้ใช้
- การเชื่อมต่อกับแหล่งข้อมูลต่างๆ : Grafana รองรับการเชื่อมต่อกับแหล่งข้อมูลหลากหลาย ไม่เพียงแต่ InfluxDB แต่ยังรวมถึง MySQL, PostgreSQL, Prometheus, และแหล่งข้อมูลอื่นๆ ที่มีการจัดเก็บข้อมูล
- การแจ้งเตือน (Alerting) : Grafana สามารถตั้งค่าแจ้งเตือนเมื่อข้อมูลเกินค่าที่กำหนด ทำให้ผู้ใช้สามารถตอบสนองต่อสถานการณ์ฉุกเฉินหรือข้อผิดพลาดได้อย่างรวดเร็ว

- แดชบอร์ดแบบเรียลไทม์ : การสร้างแดชบอร์ดที่สามารถแสดงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามกระบวนการและการทำงานของระบบต่างๆ ได้ทันที



รูปที่ 2.4 Grafana Software

## 2.2 การทบทวนวรรณกรรม

ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยการหาข้อมูลจากฐานข้อมูลมาตรฐานต่างๆ และทำการหาบทความต่างๆ ที่เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับหัวข้องานวิจัย ซึ่งได้พบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สรุปได้ตามตารางที่ 2.2 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

| ลำดับ | ผู้แต่ง                           | ปีที่พิมพ์ | ชื่อเรื่อง                                                                                  |
|-------|-----------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | S. Teixeira et al. [8]            | 2023       | On the Development and Deployment of an IIoT Infrastructure for the Fish Canning Industry   |
| 2     | I. V. Nitulescu and A. Korodi [9] | 2020       | Supervisory Control and Data Acquisition Approach in Node-RED : Application and Discussions |
| 3     | T. Kalsoom et al. [10]            | 2020       | Advances in Sensor Technologies in the Era of Smart Factory and Industry 4.0                |

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

| ลำดับ | ผู้แต่ง                              | ปีที่พิมพ์ | ชื่อเรื่อง                                                                                                                       |
|-------|--------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4     | S. Tamboli et al. [11]               | 2015       | Implementation of Modbus RTU and Modbus TCP Communication Using Siemens S7-1200 PLC for Batch Process                            |
| 5     | B. Alotaibi [12]                     | 2023       | A Survey on Industrial Internet of Things Security : Requirements, Attacks, AI-Based Solutions, and Edge Computing Opportunities |
| 6     | K. Ferencz and J. Domokos [13]       | 2020       | Using Node-RED Platform in an Industrial Environment                                                                             |
| 7     | K. Listewnik et al. [14]             | 2015       | An On-Line Diagnostics Application for Evaluation of Machine Vibration Based on Standard ISO 10816-1                             |
| 8     | R. McElveen et al. [15]              | 2019       | Electrical and Mechanical Differences Between Nema/IEEE and IEC AC Low Voltage Random Wound Induction Motors                     |
| 9     | M. A. Abu Radia et al. [16]          | 2023       | IoT-Based Wireless Data Acquisition and Control System for Photovoltaic Module Performance Analysis                              |
| 10    | M. D. Mudaliar and N. Sivakumar [17] | 2020       | IoT-Based Real-Time Energy Monitoring System Using Raspberry Pi                                                                  |
| 11    | S. H. Kumar and C. Saravanan [18]    | 2021       | A Comprehensive Study on Data Visualization Tool - Grafana                                                                       |
| 12    | P. Novák et al. [19]                 | 2023       | Smart Counting Machines for Modular Industry 4.0 Packing Lines                                                                   |
| 13    | H. Terbrack et al. [20]              | 2021       | Energy-Oriented Production Planning in Industry : A Systematic Literature Review and Classification Scheme                       |

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

| ลำดับ | ผู้แต่ง              | ปีที่พิมพ์ | ชื่อเรื่อง                                                                                        |
|-------|----------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14    | L. Belli et al. [21] | 2019       | Toward Industry 4.0 with IoT : Optimizing Business Processes in an Evolving Manufacturing Factory |

S. Teixeira et al. [8] ได้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาและการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานของ IIoT (Industrial Internet of Things) สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตประเภทต่อเนื่อง โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเฝ้าติดตามและลดการสูญเสียของวัตถุดิบ น้ำ และพลังงานในกระบวนการผลิตประเภทต่อเนื่อง ได้ทำการติดตั้ง เซ็นเซอร์บนสายการผลิตเพื่อเก็บข้อมูลที่สำคัญ คือ ปริมาณการใช้น้ำ, พลังงาน และน้ำหนักของวัตถุดิบโดยใช้อุปกรณ์ Embedded ส่งข้อมูลเก็บที่ InfluxDB และ ใช้ Grafana แสดงผล ผลการทดลองครั้งนี้ ระบบ IIoT ที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยให้โรงงานประเภทต่อเนื่องลดการสูญเสียทรัพยากรน้ำและพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเฝ้าติดตามและควบคุมการใช้งานทรัพยากรในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ ระบบยังได้รับการออกแบบให้ติดตั้งและใช้งานได้ง่ายในหลายสภาพแวดล้อมและสามารถขยายการใช้งานไปยังอุตสาหกรรมอื่นได้ในอนาคต

I. V. Nitulescu and A. Korodi [9] มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาและการใช้งานระบบ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ที่ใช้ Node-RED ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่เน้นการพัฒนาโซลูชัน IIoT/IIoT (Industrial Internet of Things) ในยุคอุตสาหกรรม 4.0 โดยวิธีการที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วยการรวมโปรโตคอลการสื่อสาร เช่น Modbus TCP และ MQTT เพื่อให้สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ในระดับโรงงานอุตสาหกรรมและในระดับสูงขึ้นไป โดยใช้ฐานข้อมูลแบบ Time-Series คือ InfluxDB และเครื่องมือ Grafana เพื่อสร้างแดชบอร์ดในการเฝ้าติดตามกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองยืนยันว่า การสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ผ่านโปรโตคอล Modbus TCP/IP และ MQTT สามารถทำได้อย่างรวดเร็วและมีความสมบูรณ์ ข้อมูลถูกส่งและรับอย่างรวดเร็วในระบบเครือข่าย IIoT นอกจากนี้ การใช้ฐานข้อมูล InfluxDB และการแสดงผลผ่าน Grafana ช่วยให้สามารถเก็บและเรียกดูข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้สรุปว่าโซลูชัน SCADA ที่ใช้ Node-RED เป็นแพลตฟอร์มที่มีต้นทุนต่ำ มีความยืดหยุ่นสูง และสามารถขยายขีดความสามารถในอนาคตได้ ทำให้เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม 4.0 โดยมีการปรับปรุงประสิทธิภาพการเฝ้าติดตามกระบวนการให้เทียบเท่ากับมาตรฐาน SCADA ระดับอุตสาหกรรมทั่วไป

T. Kalsoom et al. [10] ได้ทบทวนเทคโนโลยีเซ็นเซอร์ที่สำคัญซึ่งมีบทบาทในการพัฒนาและการทำงานของโรงงานอัจฉริยะในบริบทของอุตสาหกรรม 4.0

เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ที่สำคัญ เช่น เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ มีความสำคัญในการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม เพื่อรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดความดัน ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความดันและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ใช้ในระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรม เช่น เซ็นเซอร์วัดตำแหน่ง ใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุ เช่น วาล์ว ประตู ช่วยให้การผลิตมีความแม่นยำ เซ็นเซอร์วัดแรง วัดแรงที่กระทำกับวัตถุและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ใช้ในการเฝ้าระวังเครื่องจักรและการผลิต เซ็นเซอร์วัดการไหล ใช้ตรวจสอบการไหลของก๊าซ ของเหลว หรือของแข็งในท่อ เป็นที่นิยมในกระบวนการผลิตหลายประเภท เช่น เซ็นเซอร์อัจฉริยะ เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถในการประมวลผลสัญญาณและเชื่อมต่อกับระบบ IoT ทำให้การทำงานเป็นอัตโนมัติและสามารถตรวจสอบตนเองได้

การเปรียบเทียบระหว่างโรงงานดั้งเดิมและโรงงานอัจฉริยะ โรงงานดั้งเดิมมีการทำงานแบบแมนนวลและไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างระบบ ส่วนโรงงานอัจฉริยะสามารถเชื่อมต่อข้อมูลในเวลาจริง ทำให้การตัดสินใจรวดเร็วและมีความโปร่งใสสูง และ โรงงานอัจฉริยะช่วยลดต้นทุนการบำรุงรักษา ปรับการผลิตได้ตามความต้องการ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร งานวิจัยนี้สรุปว่าเทคโนโลยีเซ็นเซอร์มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาโรงงานอัจฉริยะในอุตสาหกรรม 4.0 โดยเซ็นเซอร์เหล่านี้ช่วยบูรณาการโลกทางกายภาพกับโลกดิจิทัล ทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพ ยืดหยุ่น และโปร่งใสนั่น การพัฒนาเซ็นเซอร์อัจฉริยะ IoT และ AI เป็นปัจจัยสำคัญที่เปลี่ยนแปลงโรงงานจากระบบดั้งเดิมสู่ระบบอัตโนมัติที่ชาญฉลาดมากยิ่งขึ้น

S. Tamboli et al. [11] ได้นำ Modbus RTU และ Modbus TCP มาใช้งานกับการสื่อสารในกระบวนการผลิตแบบ Batch โดยใช้ Siemens S7-1200 PLC โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อศึกษาการใช้โปรโตคอลการสื่อสาร Modbus RTU และ Modbus TCP ในการควบคุมและสื่อสารระหว่างคอนโทรลเลอร์ต่างๆ ในกระบวนการผลิตแบบแบตช์ โดยมีการใช้ Siemens S7-1200 PLC สำหรับการควบคุมจากระยะไกล มีขั้นตอนการทดลอง คือ เริ่มต้นด้วยการเติมส่วนผสมในถังเก็บจนกระทั่งสวิตช์ระดับสูงถูกทริกเกอร์ จากนั้นระบบจะทำการส่งส่วนผสมไปยังถังปฏิกรณ์ตามสูตรที่กำหนด สุดท้ายควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ตามค่าที่ตั้งไว้โดยการควบคุมวาล์วไอน้ำและน้ำเย็นผ่าน PID Controller ของ Siemens S7-1200 เพื่อรักษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสื่อสารผ่าน Modbus RTU และ Modbus TCP สามารถดำเนินการได้สำเร็จในกระบวนการผลิตแบตช์ โดยการใช้ Siemens S7-1200 ในการควบคุม PID สำหรับการควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกรณ์ ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแม่นยำ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต การนำ Modbus RTU และ Modbus TCP มาใช้ในระบบควบคุม PLC ของ Siemens S7-1200 ช่วยให้สามารถสื่อสารและควบคุมกระบวนการผลิตแบตช์ได้อย่างมีประสิทธิภาพจากระยะไกลผ่านเครือข่าย Ethernet และโปรโตคอล Modbus

B. Alotaibi [12] ได้ทำการสำรวจความปลอดภัยในอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในภาคอุตสาหกรรม : ความต้องการ, การโจมตี, โซลูชันที่ใช้ AI และโอกาสในการใช้เอดจ์คอมพิวเตอร์ มีเนื้อหาหลักเกี่ยวกับการวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยใน IIoT (Industrial Internet of Things) ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีต่างๆ ในการผลิตและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะการใช้เซ็นเซอร์ที่ฝังอยู่ในระบบอุตสาหกรรมที่เชื่อมต่อผ่านเครือข่าย IoT เพื่อ วิเคราะห์และจำแนกข้อกำหนดด้านความปลอดภัยที่จำเป็นในระบบ IIoT รวมถึงประเด็นต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการรักษาความปลอดภัยในเครือข่าย IIoT โดยเฉพาะการโจมตีที่สามารถเกิดขึ้นในแต่ละเลเยอร์ของสถาปัตยกรรม IIoT และ ประเมินและวิเคราะห์วิธีการต่างๆ ที่ใช้เทคโนโลยี AI และ Edge/Fog Computing ในการเสริมความปลอดภัยให้กับ IIoT ขั้นตอนการทำงานวิเคราะห์โครงสร้างและเลเยอร์ต่างๆ ของ IIoT เช่น Perception Layer (เลเยอร์การรับรู้), Network Layer (เลเยอร์เครือข่าย) และ Application Layer (เลเยอร์แอปพลิเคชัน) เพื่อตรวจสอบการโจมตีที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละเลเยอร์ ศึกษาวิธีการป้องกันที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยี AI, Blockchain และ Edge Computing เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของระบบ IIoT และจัดการกับการโจมตีที่พบได้บ่อยในแต่ละเลเยอร์ งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์และสำรวจข้อกำหนดและความท้าทายด้านความปลอดภัยใน IIoT โดยเน้นการใช้ AI และเทคโนโลยี Edge Computing เพื่อช่วยป้องกันการโจมตีในระบบเครือข่ายและปรับปรุงการทำงานของระบบ IIoT ให้มีความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

K. Ferencz and J. Domokos [13] ได้ทำวิจัยการใช้แพลตฟอร์ม Node-RED ในสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรม การตั้งค่าและการสร้างระบบใช้ Node-RED ในการสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้ (Dashboard) และการประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์ โดยสามารถตั้งค่าระบบได้ง่ายและแสดงผลข้อมูลในเวลาจริง ระบบใช้ Python code ในการจำลองการทำงานของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมทั่วไป เพื่อสร้างเซ็นเซอร์จำลองที่ส่งข้อมูลไปยัง MQTT broker จากนั้นแสดงผลในอินเทอร์เน็ตเฟชที่พัฒนาขึ้นด้วย Node-RED และข้อมูลที่รับจากเซ็นเซอร์จำลองจะถูกเก็บและแสดงในเวลาจริงบน Dashboard ของ Node-RED นอกจากนี้ยังสามารถดำเนินการอ่านและเขียนข้อมูลไปยังฐานข้อมูล Cassandra ผ่าน Node-RED การวิจัยแสดงให้เห็นว่า Node-RED เป็นแพลตฟอร์มที่สามารถพัฒนาแอปพลิเคชัน IIoT ได้อย่างรวดเร็ว มีข้อดีเด่นในด้านการแสดงผลข้อมูลและการใช้โปรโตคอล MQTT เพื่อสร้างธุรกิจโลจิสติกได้อย่างง่ายดายและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การใช้ Node-RED ยังช่วยในการพัฒนาระบบต้นแบบหรือการทดสอบแนวคิดได้อย่างรวดเร็ว ช่วยให้อุตสาหกรรมสามารถปรับตัวได้ทันกับการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี Node-RED และเทคโนโลยี IIoT สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและลดต้นทุนในระยะยาว การวิเคราะห์และใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่ได้จะช่วยให้สามารถทำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ได้ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความพร้อมในการใช้งานของเครื่องจักร

K. Listewnik et al. [14] ได้ศึกษาแอปพลิเคชันวินิจฉัยออนไลน์สำหรับการประเมินการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรตามมาตรฐาน ISO 10816-1 โดยมีเป้าหมายหลักในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการตรวจวัดและวินิจฉัยการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแบบออนไลน์ตามมาตรฐาน ISO 10816-1 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการประเมินการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรอุตสาหกรรม การวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ใช้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ติดตั้งบนตัวเครื่องจักร โดยวัดการสั่นสะเทือนในแกนสามทิศทางและภายในช่วงความถี่ที่กำหนด (10-1000 Hz) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและครอบคลุม เซ็นเซอร์วัดการสั่นสะเทือนจะถูกติดตั้งในลักษณะที่ให้สัญญาณเชิงเส้นและการแปลงสัญญาณการสั่นสะเทือนไปเป็นข้อมูลไฟฟ้า การแสดงผลข้อมูล ระบบแสดงผลกราฟของการสั่นสะเทือนในแบบเรียลไทม์ ซึ่งแสดงทั้งการเร่งความเร็ว และการเลื่อนของการสั่นสะเทือนตามเวลาจริง ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสถานะของเครื่องจักรได้ผ่านอินเทอร์เน็ตที่แสดงผลสถานะต่างๆ ด้วยสี เช่น สีเขียวสำหรับสถานะดี สีเหลืองสำหรับสถานะพอใช้ และสีแดงสำหรับสถานะที่ไม่สามารถใช้งานได้ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้แอปพลิเคชัน VibroTest สามารถช่วยประเมินการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ISO 10816-1 และสามารถนำไปใช้ในกระบวนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สำหรับเครื่องจักรในอุตสาหกรรมและเครื่องยนต์เรือได้

R. McElveen et al. [15] ได้ศึกษา ความแตกต่างทางไฟฟ้าและกลไกระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำแบบพันขดลวดคู่ของ NEMA/IEEE และ IEC ซึ่งกล่าวถึงความแตกต่างทางไฟฟ้าและกลไกระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำแรงดันต่ำแบบคู่พันขดของ NEMA/IEEE และ IEC โดยมุ่งเน้นที่มอเตอร์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมและมาตรฐานการออกแบบที่แตกต่างกันระหว่างระบบในอเมริกาเหนือและยุโรป เพื่อ เปรียบเทียบประสิทธิภาพการออกแบบและรายละเอียดการก่อสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแรงดันต่ำแบบคู่พันขดระหว่างมาตรฐาน NEMA และ IEC วัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความแตกต่างที่เกิดขึ้นในการใช้มอเตอร์ NEMA ในระบบ IEC และในทางกลับกัน การทดสอบความสามารถของมอเตอร์ ทดสอบความทนทานและประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ในสถานการณ์การใช้งานที่ความดันสูง การระบายความร้อนที่แตกต่างกัน รวมถึงการทดสอบอุณหภูมิและความทนทานต่อการใช้งานที่หนักและการโอเวอร์โหลดของมอเตอร์ ประเมินค่าการระบายความร้อนและการออกแบบระบบฉนวนไฟฟ้าระหว่างมอเตอร์ NEMA และ IEC ผลการวิเคราะห์ ความแตกต่างทางไฟฟ้าและกลไกระหว่างมอเตอร์ทั้งสองมาตรฐานถูกวิเคราะห์และนำเสนอในแง่ของการออกแบบ การทนทานต่อการโอเวอร์โหลด การปรับแต่งค่าแรงดัน และความทนทานในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่สำคัญระหว่างมาตรฐาน NEMA และ IEC ในด้านการออกแบบและการใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำแรงดันต่ำในอุตสาหกรรมทั่วโลก และเน้นให้เห็นถึงความสำคัญของการทำความเข้าใจข้อกำหนดเฉพาะทางเทคนิคเมื่อใช้มอเตอร์จากแต่ละมาตรฐานในพื้นที่ที่แตกต่างกัน

M. A. Abu Radia et al. [16] ได้ทำระบบการเก็บข้อมูลและควบคุมแบบไร้สายบนพื้นฐาน IoT สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบการเก็บข้อมูลและควบคุมแบบไร้สายสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ โดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) การตั้งค่าเซ็นเซอร์ เซ็นเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้าและกระแส (INA219) เซ็นเซอร์วัดความสว่าง (TSL2561) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT22) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิกันน้ำ (DS18B20) ที่ใช้วัดอุณหภูมิของแผงและสารหล่อเย็น NodeMCU ถูกใช้ในการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์และรีเลย์เพื่อเปิด/ปิดการทำงานของระบบต่างๆ เช่น ระบบทำความเย็น การประมวลผลข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ถูกส่งไปยัง Raspberry Pi ผ่านโปรโตคอล MQTT โดยใช้ Node-RED เพื่อจัดการและกรองข้อมูล และ InfluxDB สำหรับจัดเก็บข้อมูลที่เป็นแบบ time-series การแสดงผลข้อมูลทั้งหมดในเวลาจริงถูกดำเนินการผ่านแพลตฟอร์ม Grafana ซึ่งแสดงข้อมูลการวัดเช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟ และสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ ระบบยังมีความสามารถในการควบคุมแบบไร้สาย โดยมีการควบคุม On/Off และการควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ เพื่อปรับแต่งการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ เช่น ระบบติดตามแสงอาทิตย์และการทำความสะอาดแผง ผลการทดลอง ระบบสามารถวัดและแสดงผลกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน (I-V curve) และกำลัง-แรงดัน (P-V curve) ของแผงโซลาร์เซลล์ได้อย่างถูกต้อง โดยผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับการวัดจากเครื่องมือมาตรฐาน นอกจากนี้ ระบบยังสามารถเฝ้าติดตามข้อมูลสภาพอากาศผ่านบริการ Open WeatherMap เพื่อนำข้อมูลสภาพแวดล้อมภายนอกมาใช้ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูล

M. D. Mudaliar and N. Sivakumar [17] ได้พัฒนาและใช้งานระบบเฝ้าติดตามพลังงานแบบเรียลไทม์โดยใช้ Raspberry Pi สำหรับการเฝ้าติดตามและควบคุมพลังงานที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยใช้เทคโนโลยี IoT เพื่อช่วยในการเก็บข้อมูลและแสดงผลการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ ระบบประกอบด้วย Raspberry Pi เป็นตัวหลักในการรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลจากมิเตอร์วัดพลังงานที่มีอยู่ในโรงงาน ระบบสามารถเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และพลังงานที่ใช้ได้ ซอฟต์แวร์ที่ใช้ ขั้นตอนการทำงานการทดลอง ข้อมูลที่รวบรวมจากมิเตอร์จะถูกส่งไปยัง Raspberry Pi ทุก 5 วินาที จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังฐานข้อมูลและแสดงผลผ่าน Grafana ระบบสามารถเข้าถึงได้ผ่านอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต เช่น คอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน การแสดงผล การแสดงผลใน Grafana ประกอบด้วยพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนี้ ระบบสามารถเก็บข้อมูลใน SD card หรือ SSD เพื่อตรวจสอบย้อนหลังได้

ผลการทดลอง ระบบสามารถเฝ้าติดตามการใช้พลังงานของโรงงานได้อย่างแม่นยำและแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ในรูปแบบกราฟ ช่วยให้ผู้บริหารสามารถวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานและวางแผนการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

S. H. Kumar and C. Saravanan [18] มุ่งเน้นการศึกษาการใช้ Grafana ซึ่งเป็นเครื่องมือในการสร้างภาพข้อมูล (Data Visualization) สำหรับการจัดการและแสดงผลข้อมูลแบบเวลาจริง (Time-Series Data) โดย InfluxDB และ Telegraf ใช้ในการเก็บข้อมูลและประมวลผล ในขณะที่ Grafana จะทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลเหล่านั้นบนแดชบอร์ดที่สามารถออกแบบได้ตามความต้องการ โดยทำการทดลองการเชื่อมต่อ Grafana กับ InfluxDB การตั้งค่าระบบ Grafana การสร้างกราฟใน Grafana และการเปรียบเทียบกับเครื่องมืออื่น คุณสมบัติของ Grafana กับเครื่องมืออื่นๆ เช่น PowerBI และ Tableau โดยสรุปว่า Grafana เหมาะสำหรับการจัดการข้อมูลแบบเวลาจริงที่ต้องการประสิทธิภาพในการประมวลผลสูง และมีการตั้งค่าที่ง่ายและยืดหยุ่น ผลการทดลอง Grafana แสดงประสิทธิภาพที่ดีในการประมวลผลและแสดงผลข้อมูลแบบเวลาจริง โดยเฉพาะการใช้งานร่วมกับ InfluxDB ที่เหมาะสมกับข้อมูล Time-Series การตั้งค่าและการสร้างแดชบอร์ดใน Grafana ทำได้ง่ายและสามารถปรับแต่งได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ทำให้เหมาะสำหรับการเฝ้าติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่ต้องการการมอนิเตอร์ตลอดเวลา Grafana เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการแสดงผลข้อมูล Time-Series โดยเฉพาะในแวดวงอุตสาหกรรมและการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมืออื่นๆ Grafana แสดงประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการจัดการกับข้อมูลจำนวนมากและการแสดงผลที่แม่นยำ

P. Novák et al. [19] เน้นการพัฒนาเครื่องนับชิ้นงานอัจฉริยะสำหรับสายการบรรจุในอุตสาหกรรม 4.0 โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการผลิตและปรับการตั้งค่าของเครื่องจักรอัตโนมัติ เพื่อรองรับการผลิตในจำนวนที่หลากหลายและรูปแบบการผลิตที่ซับซ้อนมากขึ้น วิธีการทดลองการพัฒนาเครื่องนับชิ้นงานอัจฉริยะ ใช้เครื่องจักรที่มีอยู่ในสายการบรรจุและเพิ่มคุณสมบัติการเชื่อมต่อด้วย OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) ซึ่งช่วยให้สามารถสื่อสารและควบคุมการทำงานได้อย่างอัตโนมัติและแม่นยำ มีการพัฒนา AI Supervision เพื่อช่วยในการควบคุมการทำงานของเครื่องนับชิ้นงาน โดย AI จะทำหน้าที่ตรวจสอบและปรับการตั้งค่าในระหว่างการผลิต และช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตแบบเรียลไทม์ การจัดการข้อมูล และการทดลองในสภาพแวดล้อมจริง ระบบที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปทดลองใช้งานในสายการบรรจุจริงของพันธมิตรทางอุตสาหกรรม และพบว่าระบบช่วยลดภาระของผู้ปฏิบัติงานในการตั้งค่าเครื่องจักรลงได้อย่างมาก อีกทั้งยังสามารถปรับการตั้งค่าได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำขึ้น การใช้ AI ในการควบคุมช่วยให้การปรับเปลี่ยนการตั้งค่าเครื่องจักรใช้เวลาสั้นลง และลดความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการตั้งค่าด้วยมือของผู้ปฏิบัติงาน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การพัฒนาเครื่องนับชิ้นงานอัจฉริยะที่ใช้ AI ในการควบคุมและปรับแต่งการตั้งค่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและลดภาระการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน โดยระบบนี้สามารถปรับการผลิตให้มีความยืดหยุ่นและแม่นยำมากขึ้นในสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรม 4.0

H. Terbrack et al. [20] ได้ทำการวางแผนการผลิตที่มุ่งเน้นพลังงานในอุตสาหกรรม การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและโครงสร้างการจัดประเภท โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการทบทวนบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิตที่เน้นการประหยัดพลังงานในภาคอุตสาหกรรม และจัดทำแผนการจำแนกประเภทบทความเหล่านั้น วิธีการทดลอง งานวิจัยนี้ใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรม (Systematic Literature Review) โดยการรวบรวมและวิเคราะห์งานวิจัยทั้งหมด 375 บทความ ตั้งแต่ปี 1983 ถึง 2021 ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิตที่เน้นการประหยัดพลังงานในภาคอุตสาหกรรม (Energy-Oriented Production Planning: EOPP) นักวิจัยได้จำแนกบทความออกเป็น 3 หัวข้อสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ได้แก่ การบริโภคพลังงาน (Energy Consumption) การพิจารณาการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเพื่อลดการใช้พลังงานโดยรวม การจัดการโหลดพลังงาน (Load Management) การพิจารณาโหลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการพลังงาน การจัดการพลังงานจากแหล่งต่างๆ (Supply Orientation) การจัดการการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานต่างๆ เช่น แหล่งพลังงานหมุนเวียนและระบบเก็บพลังงาน การวิเคราะห์ทางสถิติ งานวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ทางสถิติของบทความวิจัยที่รวบรวมมา เพื่อระบุแนวโน้มของการวิจัยในอนาคต และชี้ให้เห็นถึงช่องว่างที่ยังคงมีอยู่ในการวิจัยด้านนี้ งานวิจัยนี้ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการวางแผนการผลิตที่เน้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในภาคอุตสาหกรรม พร้อมทั้งจัดทำแผนการจำแนกประเภทของบทความที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะการวิจัยที่ใช้พลังงานได้ดียิ่งขึ้น และชี้ให้เห็นถึงทิศทางการวิจัยในอนาคตที่ยังมีศักยภาพ

L. Belli et al. [21] ได้กล่าวถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตในโรงงานโดยใช้เทคโนโลยี IoT ภายใต้แนวคิด Industry 4.0 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุน วิธีการทดลอง การแปลงกระบวนการดิจิทัล ขั้นตอนแรกในการวิจัยคือการดิจิทัลแปลงกระบวนการตรวจสอบคุณภาพการผลิต โดยจากที่เคยใช้แผ่นกระดาษในการบันทึกข้อมูลได้ถูกแทนที่ด้วยแอปพลิเคชันเว็บที่ช่วยสนับสนุนการทำงานของพนักงานในการตรวจสอบคุณภาพ ระบบนี้ทำให้สามารถรวบรวมข้อมูลจากสายการผลิตได้ในเวลาจริง ทำให้สามารถติดตามและแก้ไขปัญหาได้อย่างทันที่ มีการพัฒนาเครื่องมือ SmartPlanner ซึ่งเป็นเครื่องมือวางแผนการผลิตผ่านเว็บ เพื่อช่วยให้การจัดการแผนการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการใช้ข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมจากเซ็นเซอร์และระบบการวางแผนเดิมของบริษัท ระบบนี้ใช้ข้อมูลจาก IoT ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรในการผลิตและสินค้าคงคลัง ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจัดการการผลิต รวมถึงช่วยลดเวลาที่ใช้ในการวางแผนและจัดสรรทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพ การนำเทคโนโลยี IoT และการดิจิทัลแปลงกระบวนการผลิตที่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในหลายด้าน เช่น ลดต้นทุน ตรวจสอบคุณภาพสินค้าได้อย่างแม่นยำ และลดเวลาที่ใช้ในการวางแผนการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถลดเวลาการตั้งค่าเครื่องจักรได้มากขึ้น ทำให้การผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

จากที่กล่าวมา มีประเด็นที่ยังไม่ได้รับการศึกษาอย่างละเอียดหรือเชิงลึก งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติม โดยใช้การเก็บข้อมูลผ่านระบบจำลองการผลิตอัตโนมัติ ซึ่งข้อมูลการผลิตที่ได้จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตและการจัดการพลังงานในอนาคต รวมถึงการควบคุมสถานะของเครื่องจักรจากระยะไกล พร้อมทั้งป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายหรือหยุดชะงักระหว่างการผลิต โดยใช้เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและการสั่นสะเทือน เพื่อให้เครื่องจักรสามารถแก้ไขปัญหาได้ด้วยตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ



### บทที่ 3

#### ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบติดตามและแสดงผลกระบวนการผลิตโดยใช้ IIOT กรณีศึกษาชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ” มีแนวทางการดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ เพื่อติดตามและแสดงผลข้อมูลสำคัญของเครื่องจักรแบบเรียลไทม์ ครอบคลุมตั้งแต่ปริมาณการผลิต สถานะเครื่องจักร อุณหภูมิ และระดับการสั่นสะเทือน ซึ่งสามารถควบคุมระยะไกลและเครื่องจักรสามารถแก้ไขปัญหาได้อัตโนมัติ รวมถึงการวางแผนการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม ดังรูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน



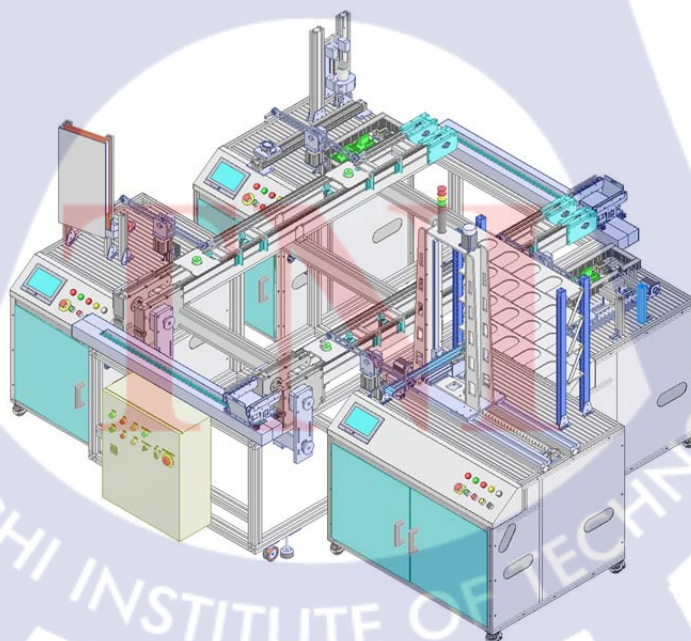
รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

### 3.1 ออกแบบการวิจัย

#### 3.1.1 ชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ชั้น 2 อาคาร C ห้อง C208 สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น โดยชุดจำลองนี้ประกอบด้วย PLC Mitsubishi FX5U จำนวน 5 ชุด ดังต่อไปนี้

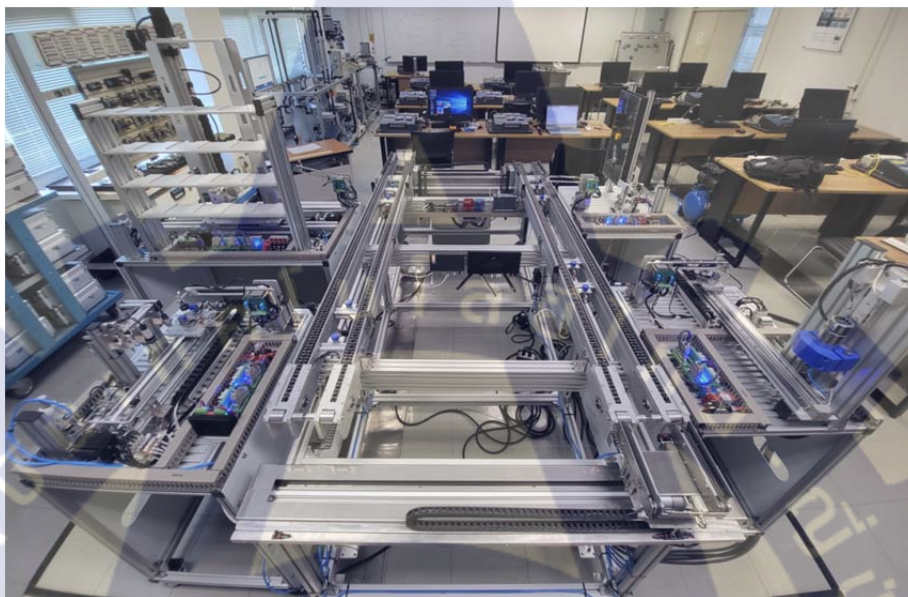
- สถานีควบคุมสายพานลำเลียง (PLC Master) ทำหน้าที่ ควบคุมการเปิด-ปิดของเครื่องจักรทั้งหมด ขับเคลื่อนมอเตอร์สายพานเพื่อย้ายชิ้นงานไปยังสถานีต่างๆ
- สถานีป้อนชิ้นงาน (PLC Slave) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณในการป้อนชิ้นงานอัตโนมัติเข้าสู่เครื่องจักรหรือในสายการผลิต
- สถานีเจาะชิ้นงาน (PLC Slave) มีหน้าที่ควบคุมเครื่องเจาะอัตโนมัติ เพื่อทำการเจาะชิ้นงานตามโปรแกรมที่กำหนด
- สถานีตรวจสอบชิ้นงาน (PLC Slave) ทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานอัตโนมัติก่อนอนุมัติให้ผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป
- สถานีจัดเก็บชิ้นงาน (PLC Slave) ทำหน้าที่จัดเก็บชิ้นงานที่สำเร็จทุกกระบวนการโดยอัตโนมัติดังที่แสดงในรูปที่ 3.2 ขนาดของชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ



รูปที่ 3.2 ออกแบบของชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ 3D

ชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติที่ได้ออกแบบ มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง 2370 mm. x 2870 mm. x 1960 mm. และมีการจำลองทั้ง 5 สถานี ได้แก่ สถานีสายพาน, สถานีป้อนชิ้นงาน, สถานีเจาะรู, สถานีตรวจสอบชิ้นงาน และ สถานีที่จัดเก็บชิ้นงาน

ชุดจำลองระบบอัตโนมัติทั้ง 5 สถานีในสถานที่จริง ดังรูปที่ 3.3 ชุดจำลองระบบอัตโนมัติ

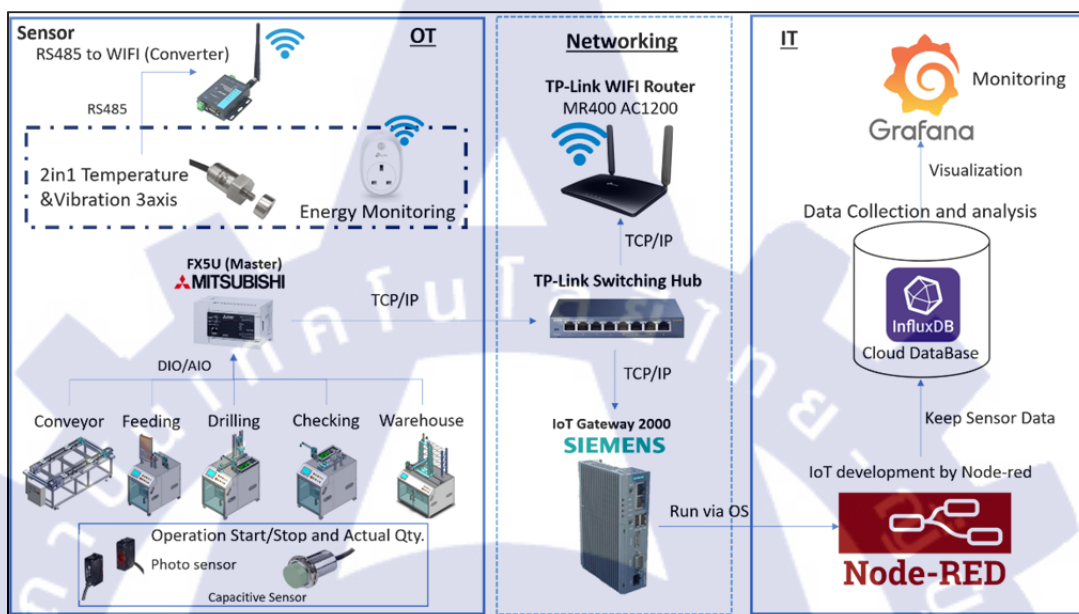


รูปที่ 3.3 ชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติที่ใช้ในการทดลอง

### 3.1.2 ออกแบบแผนภาพโครงสร้างของระบบ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบโครงสร้างการเชื่อมต่อระหว่างเทคโนโลยีการปฏิบัติการ (OT) และเทคโนโลยีสารสนเทศ (IT) ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาระบบการติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตอัตโนมัติ โดยใช้กรณีศึกษาจากชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยชุด PLC รุ่น FX5U, ปลั๊กอินริยะ, เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและการสั่นสะเทือน, อินเวอร์เตอร์ ซึ่งทั้งหมดนี้ทำงานร่วมกันกับซอฟต์แวร์ที่สำคัญอย่าง Node-RED ที่ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว จนกลายเป็นเครื่องมือสำคัญในระบบ IIoT (Industrial Internet of Things) ที่มีศักยภาพในการทดแทนแอปพลิเคชัน SCADA ในบางกรณี การใช้งานระบบ IIoT นี้ได้นำประโยชน์สำคัญมาสู่อุตสาหกรรมในแง่ของการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการลดต้นทุน ในแง่ของการบันทึกและจัดการข้อมูล แอปพลิเคชันนี้ใช้ไมโครสำหรับบันทึกและจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล InfluxDB ซึ่งมีคุณสมบัติในการรองรับข้อมูลปริมาณมากที่มาจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ เครื่องมือ Grafana ยังถูกนำมาใช้เพื่อสร้างและปรับปรุงแดชบอร์ดที่สามารถแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและติดตามประสิทธิภาพของระบบ

ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น การผสมผสานทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ในงานวิจัยนี้ช่วยให้เกิดการเฝ้าระวังและควบคุมกระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการตรวจจับสัญญาณที่อาจบ่งชี้ถึงความผิดปกติในระบบ ซึ่งสามารถช่วยลดการหยุดชะงักของกระบวนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของระบบโดยรวม มีโครงสร้าง ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของระบบ

### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเครื่องมือและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับ Industry 4.0 และ Industrial Internet of Things (IIoT) มาใช้ในการพัฒนาระบบอัตโนมัติและการตรวจสอบกระบวนการอุตสาหกรรมอย่างครบถ้วน โดยเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

3.2.1 ชุด PLC รุ่น Mitsubishi FX5U จำนวน 5 ชุด ทำหน้าที่ควบคุมและเชื่อมต่อสถานีการผลิตต่างๆ เช่น สถานีลำเลียง สถานีป้อนชิ้นงาน และสถานีเจาะ พร้อมเชื่อมโยงกับสถานีตรวจสอบและจัดเก็บชิ้นงาน

3.2.2 เซนเซอร์วัดพลังงาน Smart Plugs รุ่น TP-Link KP115 จำนวน 5 ชิ้น ใช้ตรวจสอบการใช้พลังงานในแต่ละสถานีการผลิต

3.2.3 เซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือน และอุณหภูมิ รุ่น RS-WZ3 จำนวน 2 ชิ้น ตรวจวัดอุณหภูมิและการสั่นสะเทือนทั้ง 3 แกน x y และ z ของมอเตอร์สายพานลำเลียง

3.2.4 อินเวอร์เตอร์ รุ่น D-700 ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในสถานีลำเลียง

3.2.5 สวิตช์ฮับ และเราเตอร์ wifi รุ่น TP-Link อุปกรณ์เครือข่ายสำหรับเชื่อมต่อสถานีต่างๆ ผ่าน LAN และ Wi-Fi เพื่อให้ทุกสถานีสามารถสื่อสารกันได้ในระบบเดียวกัน

3.2.6 IoT Gateway รุ่น Siemens IoT2050 เพื่อตั้งค่าการเชื่อมต่อ การสื่อสารแบบไร้สาย หรือแบบใช้สายสามารถใช้เพื่อเชื่อมโยงอุปกรณ์ PLC และเซนเซอร์สามารถสื่อสารกันได้

3.2.7 Node-RED แพลตฟอร์มสำหรับพัฒนาระบบ IoT ใช้ในการจัดการและประมวลผล ข้อมูลจากเซนเซอร์และชุด PLC

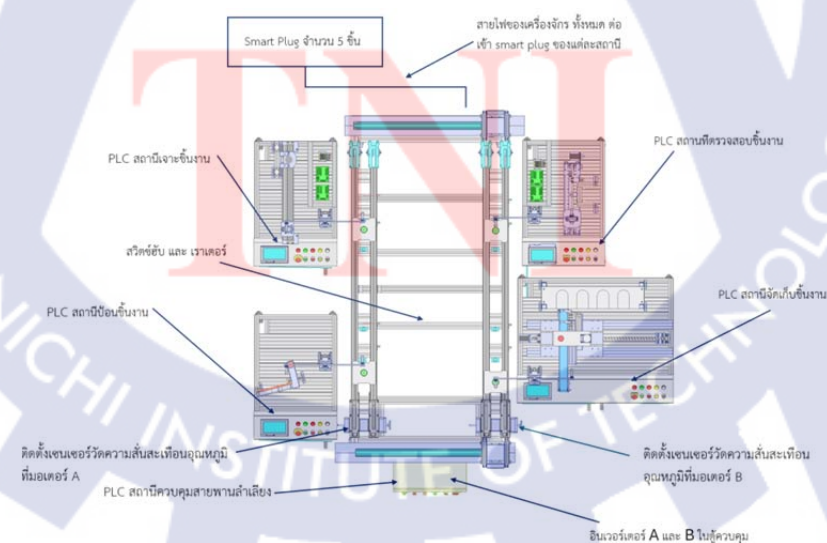
3.2.8 InfluxDB ที่ใช้ในการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิต

3.2.9 Grafana เครื่องมือสำหรับการแสดงผลข้อมูล (Data Visualization) โดยข้อมูลที่เก็บ ใน InfluxDB จะถูกนำมาแสดงเป็นกราฟและแผนภูมิแบบ Real-Time เพื่อให้ผู้ใช้เห็นภาพรวมและ ทำการตัดสินใจได้ง่ายขึ้น

3.2.10 GX Works3 Software ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมและเชื่อมต่อกับ PLC เพื่อควบคุมสถานีการผลิตต่างๆ และส่งข้อมูลไปยัง Node-RED

### 3.3 ติดตั้งเครื่องมือ และการเชื่อมต่อ

การติดตั้งเครื่องมือเพื่อการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ ได้แก่ การติดตั้ง PLC, การติดตั้งสวิตช์ฮับ และเราเตอร์ และการติดตั้งเซนเซอร์สมาร์ทพลั๊ก รวมถึงเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ พร้อม กับอินเวอร์เตอร์การติดตั้งเครื่องมือตามโครงสร้างดังกล่าวอ้างอิงตามภาพที่ 3.5 ซึ่งแสดงรายละเอียด การเชื่อมต่อและการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ทั้งหมด

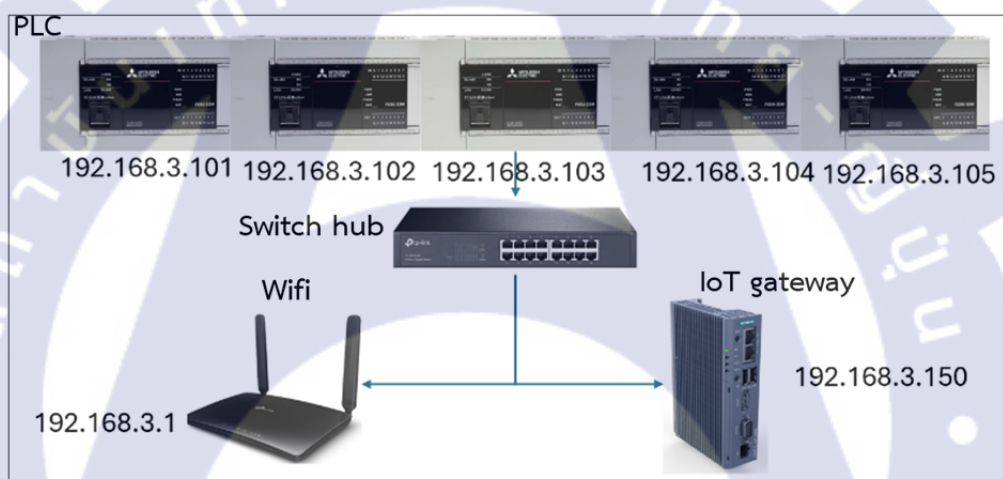


รูปที่ 3.5 ภาพรวมของการติดตั้งเซนเซอร์บนชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ

กระบวนการเชื่อมต่อระบบในงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) การเชื่อมต่อระบบ PLC ทั้ง 5 สถานี 2) การเชื่อมต่อเซนเซอร์สมาร์ทปลัก และ 3) การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือน อุณหภูมิ และอินเวอร์เตอร์

### 3.3.1 การเชื่อมต่อระบบ PLC ทั้ง 5 สถานี

ชุดจำลองระบบอัตโนมัติ นำ PLC รุ่น FX5U ทั้ง 5 ชุด เชื่อมต่อเข้าไปกับ สวิตช์ฮับ TP-Link, ไวไฟ เราเตอร์ TP-Link และ IoT Gateway ผ่านสาย LAN เพื่อให้ทุกสถานีของ PLC จำนวน 5 ชุด สำหรับการสื่อสารกับตัวควบคุมจากผู้ผลิตต่างๆ สามารถใช้โปรโตคอลการสื่อสารหลากหลายเช่น Modbus TCP, Ethernet, Profibus, Profinet เป็นต้น ในการทดลองนี้ใช้โปรโตคอลการสื่อสาร Modbus TCP สำหรับการสื่อสารและการควบคุมกระบวนการแบบเบสจากตัวควบคุมระยะไกลดังรูปที่ 3.6



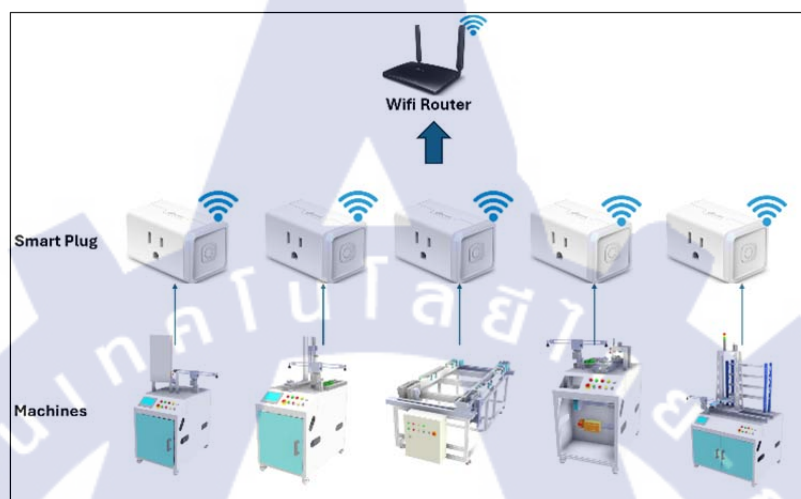
รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อระบบ PLC ทั้ง 5 สถานี

ได้ทำการตั้งค่า IP Address ตรงกับ ชื่อสถานีที่กำหนดไว้ ได้แก่

- สถานีควบคุมสายพานลำเลียง คือ 192.168.3.101
- สถานีป้อนชิ้นงาน คือ 192.168.3.102
- สถานีเจาะชิ้นงาน คือ 192.168.3.103
- สถานีตรวจสอบชิ้นงาน คือ 192.168.3.104
- สถานีจัดเก็บชิ้นงาน คือ 192.168.3.105

### 3.3.2 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดพลังงาน Smart Plugs

ในกระบวนการตรวจสอบพลังงาน ระบบได้ใช้ปลั๊กอัจฉริยะรุ่น KP115 จาก TP-Link จำนวน 5 ชิ้น ซึ่งเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังเราเตอร์ผ่าน Wi-Fi ทั้งนี้ เครื่องจักรทั้ง 5 สถานีถูกเชื่อมต่อกับปลั๊กอัจฉริยะและส่งข้อมูลไปยัง Node-Red ผ่าน Wi-Fi ดังรูปที่ 3.7



(a)



(b)

รูปที่ 3.7 (a) โครงสร้างการเชื่อมต่อ Smart Plug (b) สายไฟของเครื่องจักรต่อเข้า Smart Plug

### 3.3.3 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือน อุณหภูมิ และอินเวอร์เตอร์

i. ติดตั้งเซนเซอร์ RS-WZ3 วัดความสั่นสะเทือน และอุณหภูมิของมอเตอร์ A และมอเตอร์ B จำนวน 2 ชั้น เพื่อตรวจสอบค่าความสั่นสะเทือนทั้ง 3 แกน คือ ความเร็วการสั่นสะเทือน (mm/s) และอุณหภูมิ (°C) โดยมีพีเจอร์ทหลักดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พีเจอร์ทหลักของเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือน และอุณหภูมิ

|                                                    |                           |
|----------------------------------------------------|---------------------------|
| Power Supply                                       | DC10-30V                  |
| Power Consumption                                  | 0.1W(DC24V)               |
| Protection Level                                   | IP67                      |
| Frequency Range (HZ)                               | 10-1600/10-5000           |
| Vibration Measurement Direction                    | 1 axis - 3axis            |
| Circuit Operating Temperature                      | -40°C~+80°C, 0%RH~80%RH   |
| Vibration Speed (mm/s)                             | 0-50                      |
| Vibration Velocity<br>Measurement Accuracy (mm/s)  | ±1.5% FS (@1KHZ, 10 mm/s) |
| Vibration Speed Display<br>Resolution (mm/s)       | 0.1                       |
| Vibration Displacement<br>Measurement Range (μm)   | 0-5,000                   |
| Vibration Displacement Display<br>Resolution ((μm) | 0.1                       |
| Surface Temperature<br>Measurement Range (°C)      | -40~+80                   |
| Temperature Display Resolution (°C)                | 0.1                       |
| Signal Output                                      | RS-485                    |
| Detection Period                                   | Real-Time                 |

และได้ติดตั้งเซนเซอร์ที่มอเตอร์ A ที่ขับเคลื่อนตามเข็มนาฬิกา และมอเตอร์ B หมุนทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 3.8



(a)

(b)

รูปที่ 3.8 (a) การติดตั้งมอเตอร์ A และ (b) การติดตั้งมอเตอร์ B

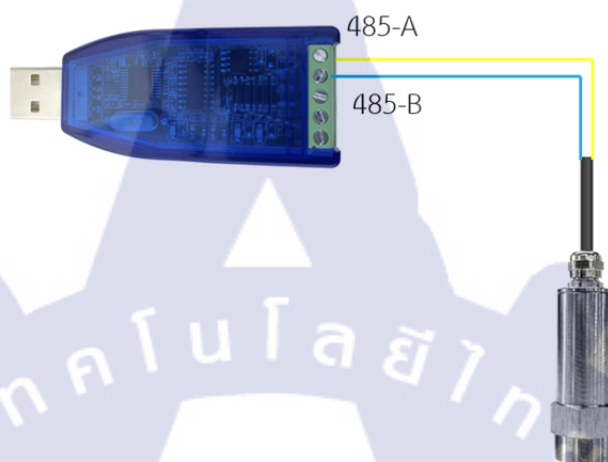
การเชื่อมต่อของเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ โดยแบ่งออกเป็น 2 การเชื่อมต่อเพื่อที่จะได้จำแนกข้อมูลทั้งมอเตอร์ A และ มอเตอร์ B เป็น 2 ส่วน

- เซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิที่ติดตั้งบนมอเตอร์ A จะเชื่อมต่อสาย RS485 สายไฟสีเหลืองต่อที่ 485-A และสายไฟสีน้ำเงินต่อที่ 485-B ไปยังตัวแปลงสัญญาณไร้สายดังรูปที่ 3.9 จากนั้นส่งข้อมูลของเซนเซอร์ไปยังบน Node-Red



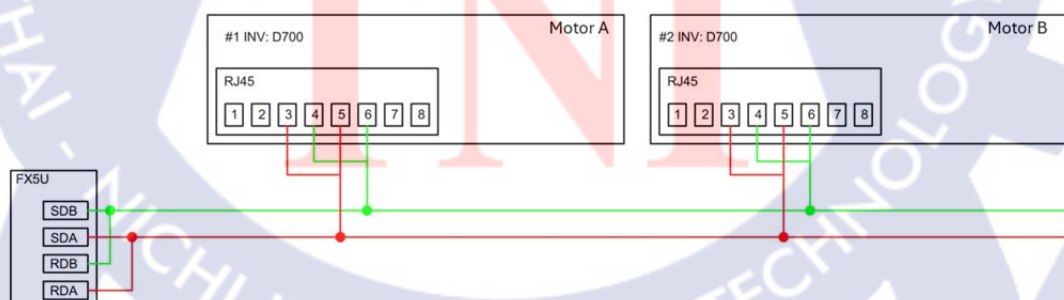
รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิมอเตอร์ A

- เซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิที่ติดตั้งบนมอเตอร์ B จะเชื่อมต่อสาย RS485 สายไฟสี่เส้นต่อที่ 485-A และสายไฟสีน้ำเงินต่อที่ 485-B ไปยังตัวแปลง USB ดังรูปที่ 3.10 จากนั้นส่งข้อมูลของเซนเซอร์ไปยังบน Node-Red



รูปที่ 3.10 การเชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิมอเตอร์ B

ii. ติดตั้งอินเวอร์เตอร์ D-700 ของมอเตอร์ A และมอเตอร์ B จำนวน 2 ชิ้น เพื่อควบคุมความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าตามความต้องการของการใช้งานรองรับการทำงาน Modbus เพื่อให้สื่อสารกับ PLC FX5U จะเชื่อมต่อผ่าน RJ45 สาย ที่ 3, 5 และ 4, 6 เชื่อมต่อไปยัง PLC FX5U สถานีควบคุมสายพานลำเลียงในช่อง Modbus ขา SDA, RDA และ ขา SDB, RDB ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์ D-700 ของมอเตอร์ A และมอเตอร์ B

### 3.4 การเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรม Open Source มาใช้ในการพัฒนาระบบ IoT ประกอบด้วย Node-Red สำหรับการรับข้อมูลจากชุด PLC หรือ โปรแกรม Gx Work 3, เซนเซอร์ และ InfluxDB สำหรับการจัดเก็บฐานข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

#### 3.4.1 Node-Red

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมพัฒนาระบบ IoT ในการรับข้อมูลจากชุด PLC รุ่น FX5U ทั้งหมดจำนวน 5 ชุด, เซนเซอร์วัดพลังงาน Smart Plugs เซนเซอร์วัดอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ และ อินเวอร์เตอร์ ด้วยโปรแกรม Node-RED ที่ถูกติดตั้งบน IoT2050 ที่พัฒนาโดย IBM ซึ่งกำลังเป็นที่แพร่หลาย ทำให้ภาพรวมของเทคโนโลยีสารสนเทศที่พัฒนาใหม่สามารถการจัดเก็บ วิเคราะห์ และแสดงข้อมูลในระบบแบบอุตสาหกรรมได้อย่างแม่นยำ โดยมีการเชื่อมต่อข้อมูลด้วย Node-RED ช่วยให้สามารถดูและติดตามข้อมูลสถานะ จำนวนชิ้นงานที่ผลิต ค่าพลังงานที่ใช้ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าอุณหภูมิอย่างทันท่วงที รวมถึงสามารถควบคุมจากระยะไกลได้ โดยมีการพัฒนาโปรแกรม Node-Red ดังต่อไปนี้

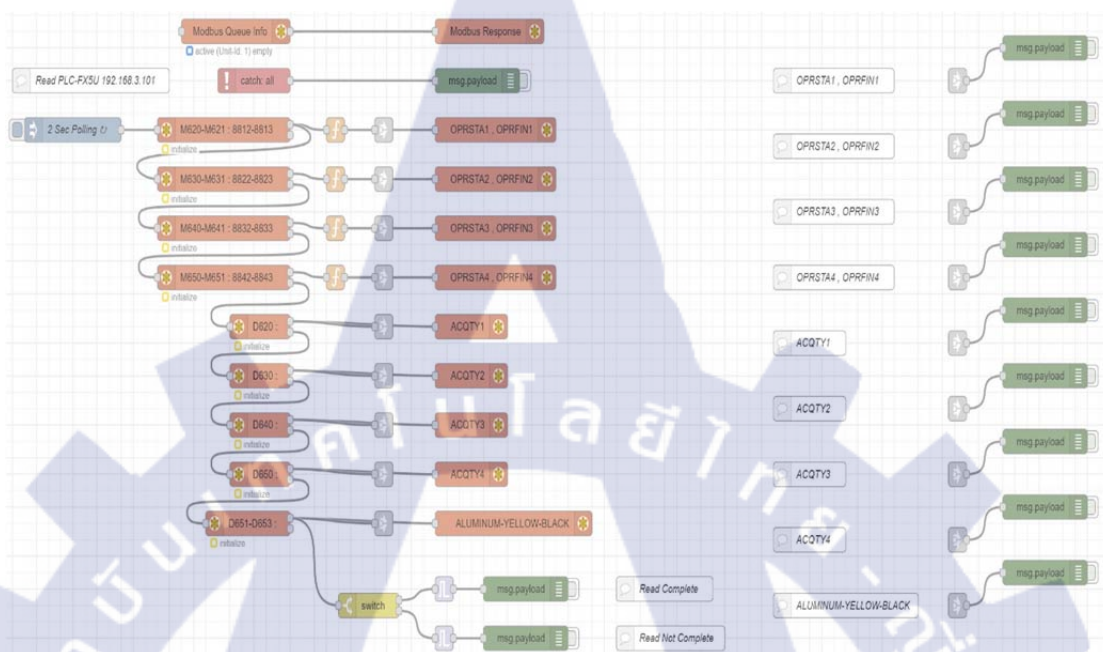
A. การพัฒนาโปรแกรม Node-Red สำหรับรับข้อมูลจากชุด PLC รุ่น FX5U เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการผลิต

Node-Red ได้รับข้อมูลจากซอฟต์แวร์ GX Works3 ได้แก่ข้อมูลสถานะการทำงานของแต่ละสถานี จำนวนชิ้นงานและจำนวนวัสดุชิ้นงานจาก PLC ที่กำหนดพารามิเตอร์ได้ทำการกำหนดพารามิเตอร์ไว้ดังนี้ OPRSTA คือ สถานะการทำงาน (Operation Start), OPRFIN คือ สถานะสิ้นสุดการผลิต (Operation Finish) และ ACQTY คือ จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ (Actual Quantity) ดังรูปที่ 3.12

| No.Tag | Tag                        | Station          | PLC IP (Conveyor) | Address | Data Type |
|--------|----------------------------|------------------|-------------------|---------|-----------|
| 1      | OPRSTA1 (Operation Start)  | Feeding Station  | 192.168.3.101     | M620    | Boolean   |
| 2      | OPRFIN1 (Operation Finish) |                  |                   | M621    |           |
| 3      | ACQTY1 (Actual Quantity)   |                  |                   | D620    | Integer   |
| 4      | OPRSTA2                    | Drilling Station |                   | M630    | Boolean   |
| 5      | OPRFIN2                    |                  |                   | M631    |           |
| 6      | ACQTY2                     |                  |                   | D630    | Integer   |
| 7      | OPRSTA3                    | Checking Station |                   | M640    | Boolean   |
| 8      | OPRFIN3                    |                  |                   | M641    |           |
| 9      | ACQTY3                     |                  |                   | D640    | Integer   |
| 10     | OPRSTA4                    | AS/RS Station    |                   | M650    | Boolean   |
| 11     | OPRFIN4                    |                  |                   | M651    |           |
| 12     | ACQTY4                     |                  |                   | D650    | Integer   |
| 13     | D651 = 1 Aluminum          |                  |                   | D651    |           |
| 14     | D652 = 2 Yellow            |                  |                   | D652    |           |
| 15     | D653 = 3 Black             | D653             |                   |         |           |

รูปที่ 3.12 กำหนดพารามิเตอร์ของ PLC แต่ละสถานี

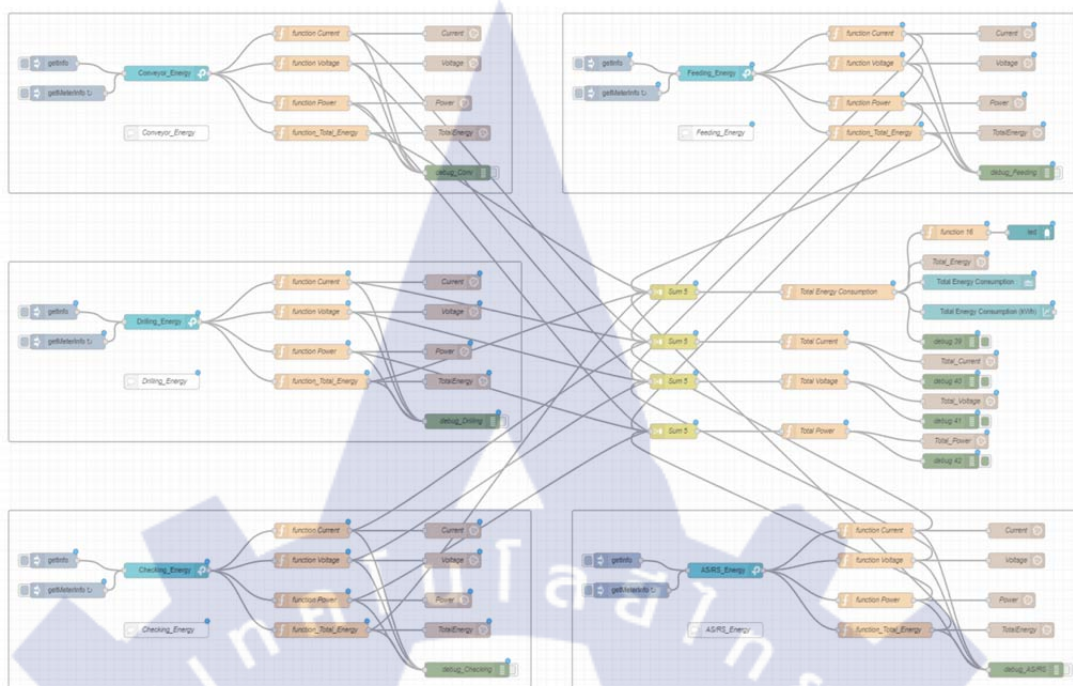
จากนั้นได้พัฒนาโปรแกรม Node-Red โดยใช้ ฟังก์ชัน Modbus เพื่อรับข้อมูลจากพารามิเตอร์ที่กำหนด ผ่านโปรโตคอล ModbusTCP/IP และทำการพัฒนาโปรแกรม ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การพัฒนาโปรแกรม Node-Red สำหรับรับข้อมูลจากชุด PLC รุ่น FX5U

B. การพัฒนาโปรแกรม Node-Red สำหรับรับข้อมูลจากเซนเซอร์วัดพลังงาน Smart Plugs TP-Link รุ่น KP115 (Smart Plug)

Node-Red ได้รับข้อมูลจาก เซนเซอร์วัดพลังงาน Smart Plugs สามารถเชื่อมต่อและรวบรวมข้อมูล โวลต์เตจ, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และผลรวมการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ผ่าน API ที่ได้ทำการติดตั้งบน Node-Red ชื่อว่า “Node-Red-Contrib-Tplink” และได้ทำการพัฒนาโปรแกรมทั้ง 5 สถานะการใช้พลังงาน ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การพัฒนาโปรแกรม Node-Red สำหรับรับข้อมูลจากเซนเซอร์ Smart Plug

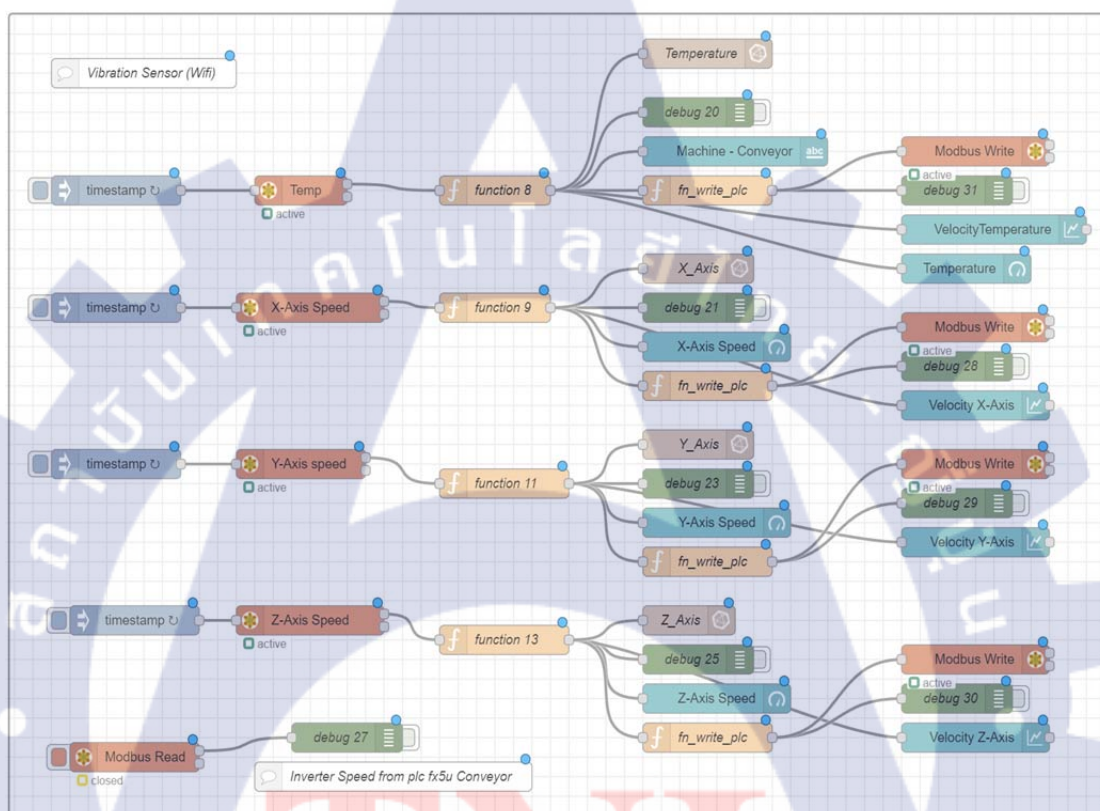
### C. การพัฒนาโปรแกรม Node-Red สำหรับรับข้อมูลจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิความสั่นสะเทือน รุ่น RS-WZ3 และ อินเวอร์เตอร์ รุ่น D-700

Node-Red ได้รับข้อมูลจากจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิความสั่นสะเทือน และอินเวอร์เตอร์ สามารถเชื่อมต่อและรวบรวมข้อมูล อุณหภูมิ, ความสั่นสะเทือนได้ทั้ง 3 แกน ได้แก่ แกน X แกน Y และ แกน Z ผ่านโปรโตคอล Modbus TCP/IP ของเครื่องแปลงสัญญาณ และได้รับข้อมูลจากซอฟต์แวร์ GX Works3 ข้อมูลจากชุด PLC ที่เชื่อมต่อกับ อินเวอร์เตอร์ โดยรับข้อมูล ค่าความถี่สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ผ่าน RS485 งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมนำข้อมูลที่รับมาช่วยให้เครื่องจักรสามารถแก้ไขปัญหาได้เองโดยอัตโนมัติ และสามารถให้ผู้ใช้งานควบคุมทางระยะไกลและกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของข้อมูลได้ โดยมีการพัฒนาโปรแกรม ดังนี้

1. ถ้าหากมอเตอร์สายพานของเครื่องจักรมีความเร็วของความสั่นสะเทือนผิดปกติหรือเกินกว่ามาตรฐานทางสากลคือ ISO 10816-1 ซึ่งเป็นมาตรฐานการสั่นสะเทือนที่ใช้บ่อยที่สุด ค่าในระดับที่ “ไม่พึงพอใจ” ตั้งแต่ 2.80 mm/s ของเครื่องจักรขนาดเล็ก ทำให้สถานะการทำงานของมอเตอร์ทำงานช้าลงกว่าปกติเพื่อรักษาสภาพการทำงานไม่ให้เครื่องจักรหยุดชะงัก ระหว่างการผลิต รวมถึงค่าอุณหภูมิของเครื่องจักรเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ 80-100 องศา โดยอ้างอิงจาก NEMG MG-1 เครื่องจักรก็จะทำงานช้าลงจนกว่าจะมีการบำรุงรักษา และรีเซ็ตการทำงานใหม่เพื่อให้เครื่องจักรเข้าสู่สถานะปกติ

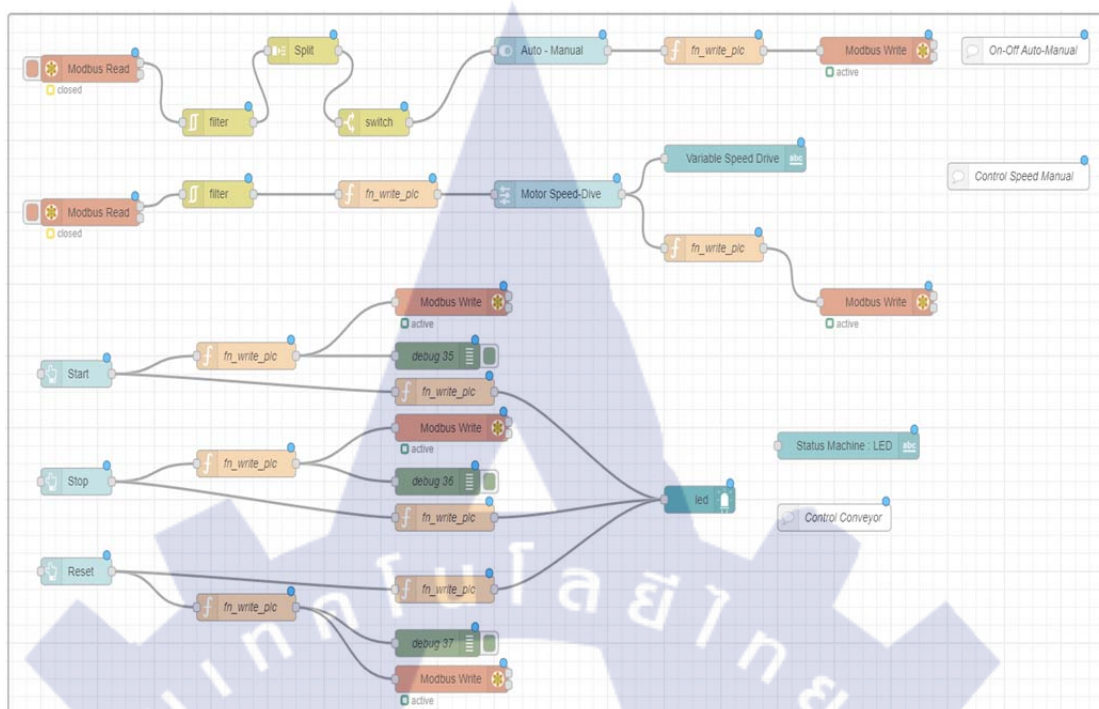
II. ในส่วนของหน้าแสดงแดรชบอร์ด ได้นำข้อมูลจาก PLC ที่เชื่อมต่อ อินเวอร์เตอร์ สู่ Node-Red เพื่อทำการพัฒนาโปรแกรมสำหรับ ควบคุมการทำงาน ความเร็วของมอเตอร์, สถานะการทำงาน เริ่มต้นทำงาน-หยุดทำงาน, สามารถสั่งการ ให้ ออโต้ หรือ แมนนวล และ กำหนดขีดจำกัดสูงสุดของค่า อุณหภูมิและค่าความสั่นสะเทือนตามที่ต้องการได้

มีการพัฒนาโปรแกรม แสดงผลค่าความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.15



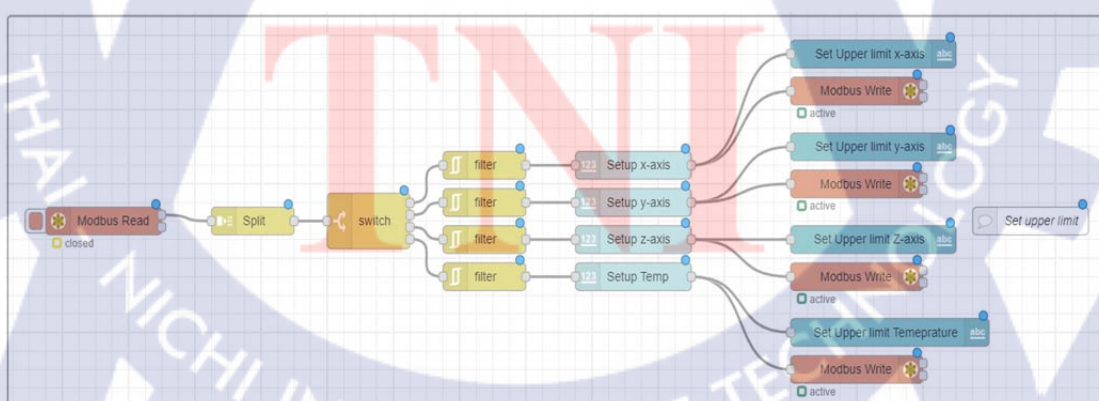
รูปที่ 3.15 การพัฒนาโปรแกรมแสดงผลค่าความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ

จากนั้นได้นำข้อมูลของสถานะจากชุด PLC สถานีควบคุมสายพาน ในการพัฒนาโปรแกรม เพื่อที่จะแสดงสถานะการทำงาน ควบคุมทำงาน-หยุดทำงาน และสามารถสั่งการ ให้ ออโต้ หรือ แมนนวล เพื่อที่จะให้เครื่องจักรสามารถที่มีสถานะอุณหภูมิค่าความสั่นสะเทือนผิดปกติ สามารถแก้ไขได้ด้วยตัวเอง ได้ ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การพัฒนาโปรแกรมสั่งการทำงานและหยุดการทำงานและออโต้หรือแมนนวลได้

ส่วนสุดท้ายได้นำข้อมูลของสถานะจากชุด PLC สถานีควบคุมสายพาน และอินเวอร์เตอร์ ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อที่จะกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของค่าอุณหภูมิและค่าความสั่นสะเทือนตามที่ต้องการได้ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อที่จะกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของค่าค่าอุณหภูมิและค่าความสั่นสะเทือนตามที่ต้องการได้

### 3.4.2 Influxdb

งานวิจัยนี้ได้ใช้ InfluxDB เป็นฐานข้อมูลโอเพนซอร์สที่ออกแบบมาเพื่อจัดเก็บข้อมูล นอกจากนี้ InfluxDB สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลค่าโวลต์เตจ , กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, ผลรวมการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า, อุณหภูมิ และค่าความสั่นสะเทือนมาจัดเก็บไว้ โดยมีวิธีดังนี้

- ได้ทำการติดตั้ง InfluxDB ใน Node-Red “Node-Red-Contrib-Influxdb”
- เพิ่มโหนดสำหรับการส่งข้อมูลจาก Node-Red ไปยัง InfluxDB โดยการลากวาง InfluxDB เพื่อที่จะเชื่อมต่อ Node-Red ข้อมูลมูลค่าโวลต์เตจ, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, ผลรวมการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า, อุณหภูมิ และค่าความสั่นสะเทือน
- กำหนดค่าโหนด InfluxDB ให้เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลที่ได้สร้างไว้ โดยใช้ค่า Host, Database และ Measurement
- จากนั้นเข้า InfluxDB สามารถดูฐานข้อมูลทั้งหมดได้ ดังรูปที่ 3.18 และจะแสดงผลบน Grafana ในส่วนถัดไป

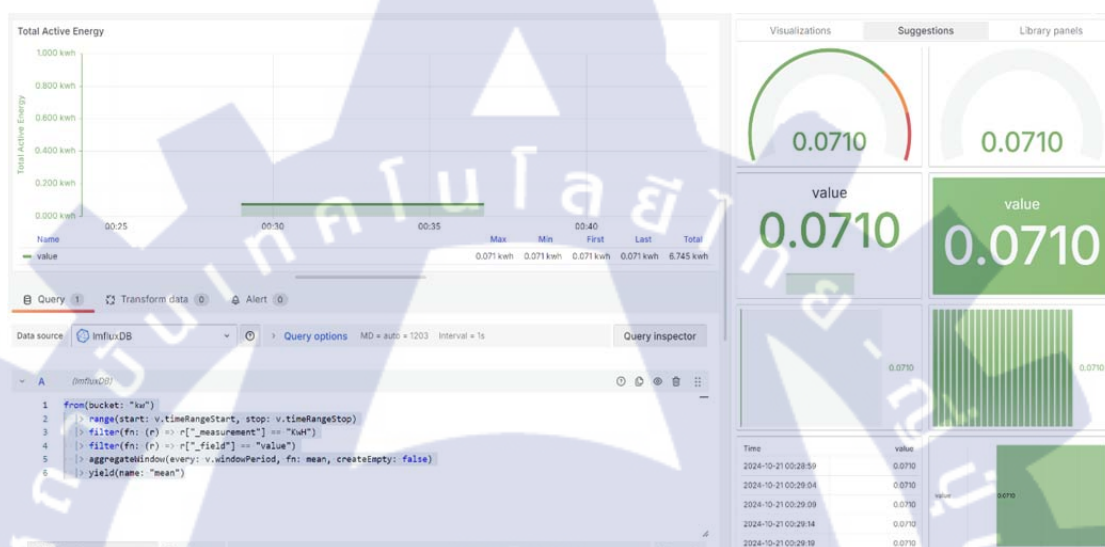
| _start                     | _stop                      | _time                      | _value | _field | _measurement |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------|--------|--------------|
| 2024-10-21 12:24:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:00 GMT... | 112.66 | value  | W            |
| 2024-10-21 12:24:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:10 GMT+7  | 112.66 | value  | W            |
| 2024-10-21 12:24:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:20 GMT... | 112.66 | value  | W            |
| 2024-10-21 12:24:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:30 GMT... | 112.66 | value  | W            |
| 2024-10-21 12:24:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:40 GMT... | 112.66 | value  | W            |
| 2024-10-21 12:24:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:50 GMT... | 112.66 | value  | W            |
| 2024-10-21 12:24:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:56 GMT... | 2024-10-21 12:29:56 GMT... | 112.66 | value  | W            |

รูปที่ 3.18 หน้าต่างการจัดเก็บข้อมูลพลังงาน อุณหภูมิ และค่าความสั่นสะเทือน

### 3.5 การเชื่อมต่อข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ใช้ Grafana เป็นเครื่องมือช่วยให้การตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการสร้างแดชบอร์ดเพื่อการแสดงผลข้อมูลเชิงลึกและการวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูลที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูลจาก InfluxDB และระบบนี้ช่วยให้อุตสาหกรรมเข้าใจรูปแบบการใช้พลังงานในแต่ละวันซึ่งสำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน

การเชื่อมต่อ Grafana กับ InfluxDB ใน Grafana ทำการเพิ่มฐานข้อมูล InfluxDB เป็นแหล่งข้อมูล (Data Source) โดยใช้ URL ของ InfluxDB และข้อมูลการเข้าถึง เพื่อให้ Grafana สามารถดึงข้อมูลจาก InfluxDB ได้ ใน Grafana ทำการสร้างแดชบอร์ดโดยเลือก InfluxDB เป็นฐานข้อมูลหลัก จากนั้นออกแบบกราฟหรือการแสดงผลข้อมูลตามตัวชี้วัดที่ต้องการ ได้แก่ สถานะการทำงาน จำนวนวัสดุชิ้นงาน, จำนวนชิ้นงาน, โวลต์เตจ, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า ผลรวมการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด อุณหภูมิ และค่าความสั่นสะเทือน ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การตั้งค่าการวิเคราะห์ข้อมูล และแสดงผลบน Grafana

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

การวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบติดตามและแสดงผลกระบวนการผลิตโดยใช้ IIOT กรณีศึกษาชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ โดยมีการเชื่อมต่อกับชุด PLC 5 สถานี, ปลั๊กอินจริยะ, เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความสั่นสะเทือน รวมถึงอินเวอร์เตอร์ โดยผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

#### 4.1 ผลการตรวจนับจำนวนชิ้นงานที่ผลิต (Production Monitoring)

แสดงภาพรวมการทำงานทั้งหมดของกระบวนการผลิตของชุดจำลองอัตโนมัติ ระบบที่พัฒนาขึ้นมาจาก Grafana สามารถแสดงผลได้ในรูปแบบจำนวนชิ้นงาน พร้อมจำแนกวัสดุเป็น 3 ประเภท ได้แก่ อลูมิเนียม, พลาสติกสีเหลือง และพลาสติกสีดำเมื่อข้อมูลครบทั้ง 4 ชิ้น ผลลัพธ์จะแสดง 100% อีกทั้งยังสามารถแสดงสถานะการทำงานเมื่อชิ้นงานผ่านไปยังสถานีใดสถานีหนึ่งสามารถช่วยให้ระบุเริ่มการทำงานและหยุดการทำงานของสถานะเครื่องจักรได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่องตลอดอย่างทันทั่วทั้งในกระบวนการผลิตของชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ผลลัพธ์ของจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ของชุดจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติ

#### 4.2 ผลการตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Consumption Monitoring)

การใช้พลังงานโดยรวมของแบบจำลองระบบการผลิตอัตโนมัติถูกนำเสนอ และข้อมูลที่ได้จะถูกวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตในอนาคต ผลการตรวจวัดการใช้พลังงานของแต่ละสถานีสรุปได้ดังนี้

- สถานีควบคุมสายพานลำเลียง ใช้พลังงานทั้งหมด 0.0710 kWh./12 ชั้น
- สถานีป้อนชิ้นงาน ใช้พลังงานทั้งหมด 0.0690 kWh./12 ชั้น
- สถานีเจาะชิ้นงาน ใช้พลังงานทั้งหมด 0.0630 kWh./12 ชั้น
- สถานีตรวจสอบชิ้นงาน ใช้พลังงานทั้งหมด 0.0696 kWh./12 ชั้น
- สถานีจัดเก็บชิ้นงาน ใช้พลังงานทั้งหมด 0.181 kWh./12 ชั้น

ในกรณีศึกษา เป้าหมายคือการผลิต 12 ชิ้นต่อวัน ซึ่งต้องใช้พลังงานรวมทั้งสิ้น 0.4536 กิโลวัตต์ ชั่วโมง หากในอนาคตตั้งเป้าหมายการผลิตไว้ที่ 120 ชิ้นต่อวัน พลังงานที่ใช้ทั้งหมดจะเท่ากับ 4.53 กิโลวัตต์ ชั่วโมง การวิเคราะห์นี้ช่วยให้เข้าใจการใช้พลังงานในอนาคตและช่วยในการวางแผนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 การผลิต และวางแผนการผลิตในการใช้พลังงาน

| ลำดับ | ชื่อสถานีกระบวนการผลิต         | พลังงานโดยรวม (kWh) |                            |                                   |
|-------|--------------------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------------|
|       |                                | 1 ชั้น              | ปัจจุบันผลิตได้<br>12 ชั้น | วางแผนการผลิต<br>ในอนาคต 120 ชั้น |
| 1     | สถานีควบคุมสายพานลำเลียง       | 0.0058              | 0.0710                     | 0.71                              |
| 2     | สถานีป้อนชิ้นงาน               | 0.0058              | 0.0690                     | 0.69                              |
| 3     | สถานีเจาะชิ้นงาน               | 0.005               | 0.0630                     | 0.63                              |
| 4     | สถานีตรวจสอบชิ้นงาน            | 0.0058              | 0.0696                     | 0.69                              |
| 5     | สถานีจัดเก็บชิ้นงาน            | 0.015               | 0.181                      | 1.81                              |
|       | รวมพลังงานที่ใช้ทั้งหมด (kWh.) | 0.0375              | 0.4536                     | 4.53                              |



รูปที่ 4.2 สถานะการใช้พลังงานของแต่ละสถานี และผลรวมการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดแสดงผ่านโปรแกรม Grafana

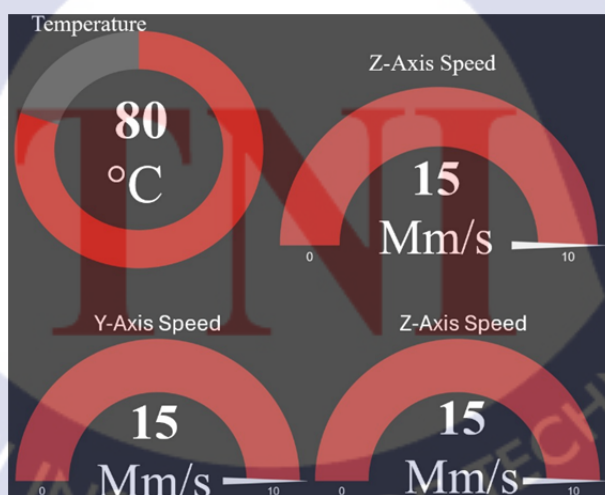
#### 4.3 การตรวจสอบการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ (Vibration and Temperature Monitoring)

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ A โดยความเร็วในการสั่นสะเทือนสูงสุดที่ 15 มม./วินาที ซึ่งอยู่ในประเภท “ไม่ยอมรับได้” เนื่องจากเกินมาตรฐานที่กำหนดโดยความรุนแรงของการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 10816 ซึ่งกำหนดขีดจำกัดไว้ที่ 2.80 มม./วินาที สำหรับเครื่องจักรขนาดเล็กในแกนใดแกนหนึ่งจากทั้งสามแกน (x, y, z) นอกจากนี้ งานวิจัยยังได้ทำการจำลองอุณหภูมิที่สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดโดย NEMA MG-1 ซึ่งระบุอุณหภูมิสูงสุดที่มอเตอร์ควรทำงาน โดยทั่วไป อุณหภูมิของมอเตอร์ไม่ควรเกิน 80-100°C; ในกรณีนี้อุณหภูมิสูงถึง 80°C ซึ่งจัดอยู่ในประเภท “อุณหภูมิผิดปกติ” มอเตอร์ A มีค่าความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิที่แสดงถึงสถานะผิดปกติ ขณะที่มอเตอร์ B ไม่ได้ทำการจำลองใดๆ มีค่าความสั่นสะเทือนและอุณหภูมิลู่อยู่ในสถานะปกติ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลและสถานะของมอเตอร์แต่ละเครื่อง เพื่อให้เห็นผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรทำงานช้าลงเมื่อระดับการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิเกินขีดจำกัดที่กำหนดเป็นเวลานานกว่า 3 นาที ความถี่ของมอเตอร์ซึ่งปกติทำงานที่ 35 Hz ลดลงเหลือ 10 Hz เพื่อรักษาความสามารถในการทำงานและป้องกันไม่ให้เครื่องจักรหยุดทำงานระหว่างการผลิต กระบวนการนี้จะดำเนินต่อไปจนกว่าจะมีการซ่อมบำรุงและรีเซ็ตระบบเพื่อคืนเครื่องจักรให้กลับสู่การทำงานตามปกติ สถานะที่แสดงเป็นสัญญาณเตือนสีแดงเพื่อระบุว่าค่าต่างๆ เกินขีดจำกัดที่ตั้งไว้ ดังที่แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าความสั่นสะเทือนที่สัมพันธ์กับสถานะของเครื่องจักร ISO 10816 A - ดี B - พอใจ C - ไม่น่าพอใจ D - ยอมรับไม่ได้

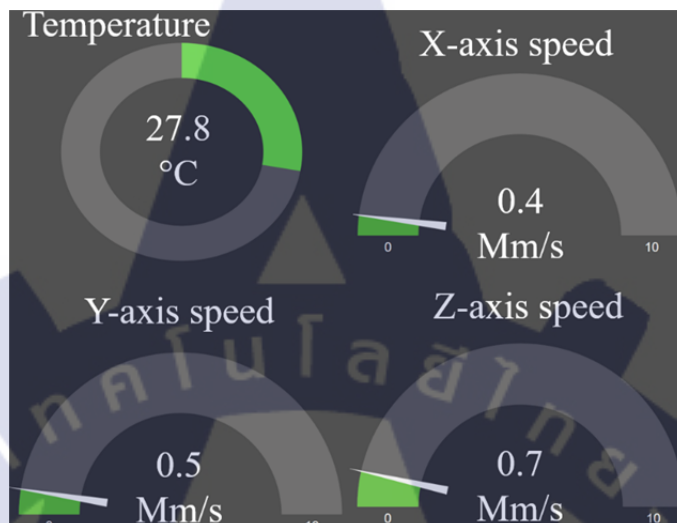
| RMS Velocity $V_{RMS}$ [ $m/s \cdot 10^{-3}$ ]<br>$f = 10/10000$ [Hz] within the Following Ranges |       |      | Class Machine to be Test     |                                |                                        |                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| in/s.                                                                                             | mm/s. |      | Class I<br>Small<br>Machines | Class II<br>Medium<br>Machines | Class III<br>Large Rigid<br>Foundation | Class IV<br>Large Soft<br>Foundation |
| Vibration Velocity $V_{RMS}$                                                                      | 0.01  | 0.28 | A                            | A                              | A                                      | A                                    |
|                                                                                                   | 0.02  | 0.45 | A                            | A                              | A                                      | A                                    |
|                                                                                                   | 0.03  | 0.71 | A                            | A                              | A                                      | A                                    |
|                                                                                                   | 0.04  | 1.12 | B                            | A                              | A                                      | A                                    |
|                                                                                                   | 0.07  | 1.80 | B                            | B                              | A                                      | A                                    |
|                                                                                                   | 0.11  | 2.80 | C                            | B                              | B                                      | A                                    |
|                                                                                                   | 0.18  | 4.50 | C                            | C                              | B                                      | B                                    |
|                                                                                                   | 0.28  | 7.10 | D                            | C                              | C                                      | B                                    |
|                                                                                                   | 0.44  | 11.2 | D                            | D                              | C                                      | C                                    |
|                                                                                                   | 0.70  | 18.0 | D                            | D                              | D                                      | C                                    |
|                                                                                                   | 0.71  | 28.0 | D                            | D                              | D                                      | D                                    |
|                                                                                                   | 1.10  | 45.0 | D                            | D                              | D                                      | D                                    |

เมื่อมอเตอร์ A สถานะผิดปกติดังค่าที่กำหนด ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า “ยอมรับไม่ได้” ที่ 7.10 mm/s “ของเครื่องจักรขนาดเล็ก จะแสดงสถานะสีแดงและบอกค่าเซนเซอร์ให้ทราบ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ระดับการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิของมอเตอร์ A โชนสีแดงหมายถึงสถานะผิดปกติ

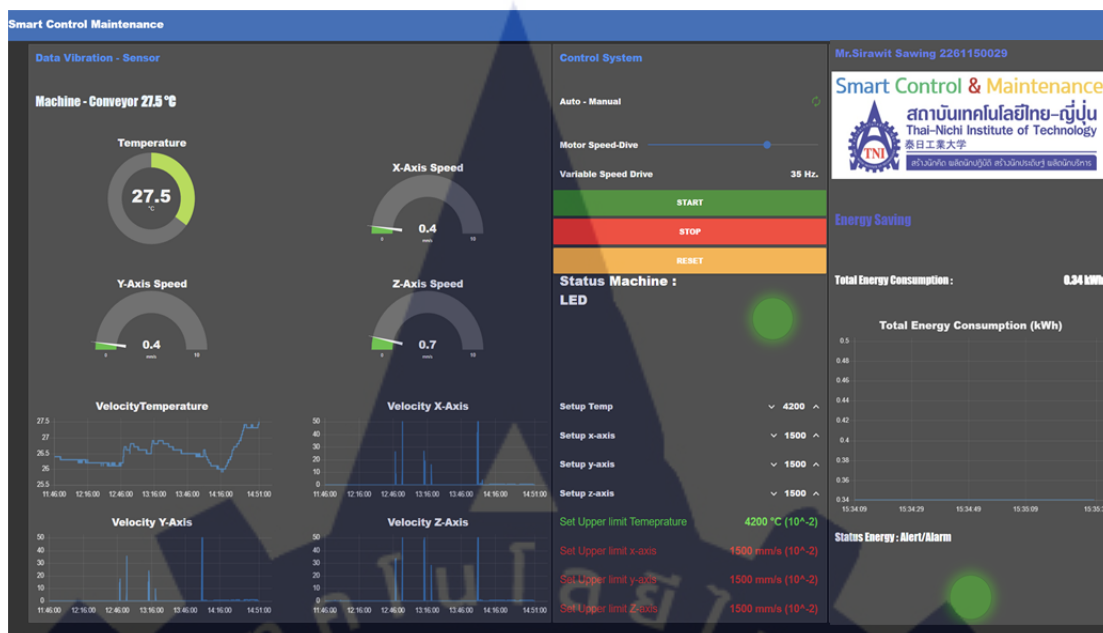
เมื่อมอเตอร์ B สถานะปกติที่ไม่อยู่ในเกณฑ์ของค่าที่กำหนดไว้ของเครื่องจักรขนาดเล็ก จะแสดงสถานะสีเขียว และบอกค่าเซนเซอร์ให้ทราบ ดังรูปที่ 4.4 ทำให้เครื่องจักรทำงานความเร็วปกติ ความถี่ของมอเตอร์ปกติอยู่ที่ 35 Hz



รูปที่ 4.4 ระดับการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิของมอเตอร์ B โชนสีเขียวหมายถึงสถานะปกติ

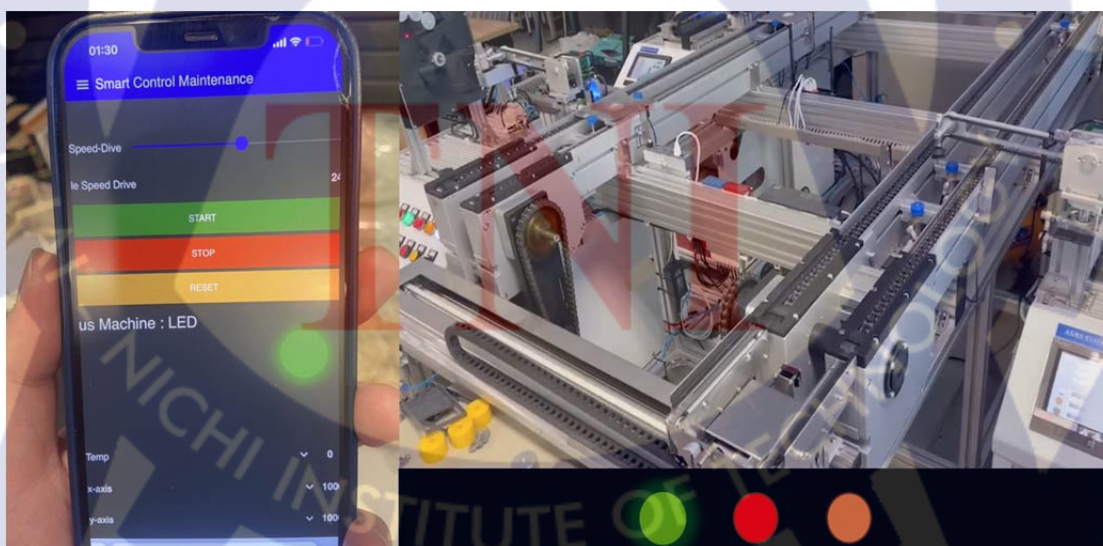
#### 4.4 ผลการควบคุมการทำงานของระบบจากระยะไกล (Remote-Control)

แสดงสถานะการสั่งการควบคุมทางระยะไกลและกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของข้อมูลได้ และภาพรวมการทำงานทั้งหมด ผลการทดลองพบว่าผู้ใช้งานที่ได้รับอนุญาตให้เชื่อมต่อเข้ากับระบบสามารถเข้าไปยังหน้าแดรชบอร์ดเพื่อสั่งการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งสามารถสั่ง Start, Stop, Reset ยกตัวอย่างเช่น ปุ่มกดสีเขียวจะสั่งให้เครื่องจักรเริ่มทำงาน ปุ่มสีแดงจะสั่งให้เครื่องจักรหยุดการทำงาน และสั่งรีเซ็ตระบบที่ปุ่มกดสี่เหลี่ยม ผู้ใช้งานสามารถสั่งการทำงานแบบอัตโนมัติเครื่องจักรจะนำข้อมูลจากเซนเซอร์ค่าความสั่นสะเทือน และ อุณหภูมิมาวิเคราะห์และสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยตัวระบบเอง ผู้ใช้งานสามารถสั่งการทำงานแมนนวลได้เพื่อที่จะระบุความถี่มอเตอร์ได้ทำงานเร็วขึ้นหรือช้าลง, ผู้ใช้งานสามารถกำหนดขีดจำกัดสูงสุดของข้อมูลอุณหภูมิ และค่าความสั่นสะเทือนได้ตามความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมการผลิตผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 4.5 และตัวอย่างการสั่งการจากระยะไกลที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่เดียวกัน ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 แดชบอร์ดการควบคุมการทำงานของระบบจากระยะไกล

ผลการทดลองผู้วิจัยได้ใช้โทรศัพท์มือถือเชื่อมต่อ Wi-Fi ที่บ้านของตนเองและทำการเข้าเว็บไซต์แอปพลิเคชัน แดชบอร์ดของ Node-Red สามารถสั่งการทำงานของระบบจากระยะไกลของชุดจำลองระบบอัตโนมัติที่อยู่ห้อง C208 สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ได้



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการสั่งการทำงานจากมือถือระยะไกล

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มุ่งนำเสนอการติดตามสถานะของกระบวนการผลิตและการควบคุมระยะไกลของชุดจำลองการผลิตอัตโนมัติผ่านอุปกรณ์ตรวจวัดที่ผสมผสานเทคโนโลยีดิจิทัลและ Industrial Internet of Things (IIoT) ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองแนวทางของยุคอุตสาหกรรม 4.0 โดยระบบสามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาได้โดยอัตโนมัติ ส่งผลให้กระบวนการทำงานของเครื่องจักรมีความต่อเนื่อง เพิ่มความแม่นยำในการผลิต รับทราบผลการดำเนินงานได้อย่างทันท่วงที อีกทั้งยังสนับสนุนการวางแผนการผลิตและการจัดการการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม มีผลการดำเนินงานดังนี้

#### 5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้สร้างระบบการตรวจติดตามสถานะของกระบวนการผลิตหลัก ประกอบด้วยปริมาณชิ้นงานที่ผลิตได้ สถานะของเครื่องจักร ปริมาณการใช้พลังงาน ระดับอุณหภูมิของเครื่องจักร และระดับการสั่นสะเทือนของมอเตอร์สายพานลำเลียง หนึ่งในจุดเด่นของระบบนี้คือความสามารถในการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลต่างๆ ในแต่ละสถานีการผลิตได้ ซึ่งสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานรับรู้ข้อมูลสถานะของการผลิตในแบบเรียลไทม์ รวมถึงปริมาณชิ้นงานที่ผลิตในแต่ละขั้นตอน ข้อมูลนี้จะถูกนำเข้าโปรแกรม Node-Red และ แสดงผลผ่าน Dashboard ที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Grafana ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถมองเห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตทั้งหมดได้อย่างชัดเจน และสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานได้ตามข้อมูลที่แสดงผล เช่น จำนวนชิ้นงานที่ผลิตในแต่ละวัน หรือความถี่ในการหยุดชะงักของการทำงานของเครื่องจักร

##### 5.1.1 การตรวจนับจำนวนชิ้นงานที่ผลิต

ผลการทดลองระบบแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในการตรวจสอบกระบวนการผลิต โดยระบบสามารถติดตามและแสดงผลสถานะของชิ้นงานได้อย่างถูกต้องของแต่ละขั้นตอนของสายการผลิต ประกอบด้วย สถานะทำงาน สถานะหยุดทำงาน สถานะกำลังดำเนินการ และสถานะเสร็จสิ้นการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับแผนการผลิตที่กำหนดไว้ 4 ชิ้นงาน โดยแบ่งประเภทวัสดุออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม พลาสติกสีเหลือง และพลาสติกสีดำ ระบบสามารถแสดงผลความสำเร็จของการผลิต 100% เมื่อบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้ ข้อมูลทั้งหมดถูกนำเสนอผ่านแพลตฟอร์ม Grafana เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์และตัดสินใจในการวางแผนการผลิตในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

### 5.1.2 การใช้พลังงาน

ผลการตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละสถานีในระบบการผลิตแสดงให้เห็นว่า แต่ละสถานีมีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น สถานีควบคุมสายพานลำเลียงมีการใช้พลังงาน 0.0710 kWh ต่อหน่วย ในขณะที่สถานีเจาะชิ้นงานใช้พลังงาน 0.0630 kWh ผลลัพธ์เหล่านี้ช่วยให้ผู้บริหารในโรงงานสามารถวางแผนการใช้พลังงานและปรับปรุงระบบการผลิตเพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานในอนาคตได้ โดยเฉพาะหากมีการขยายการผลิตเพื่อให้ได้ปริมาณที่มากขึ้น ในกรณีตัวอย่าง เป้าหมายการผลิต 12 หน่วยต่อวัน จะต้องใช้พลังงานทั้งหมด 0.4536 kWh และหากมีการวางแผนการผลิตในอนาคตที่ 120 หน่วยต่อวัน ระบบจะใช้พลังงานทั้งหมด 4.53 kWh ข้อมูลนี้มีประโยชน์สำหรับการวางแผนการประหยัดพลังงานในอนาคตของโรงงาน การใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพเป็นหัวใจสำคัญของการวางแผนการผลิตในยุคปัจจุบันที่มุ่งเน้นไปที่การลดการใช้พลังงานและการทำให้กระบวนการผลิตเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การวิจัยนี้ช่วยเปิดโอกาสให้โรงงานต่างๆ ใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานในแต่ละวันและนำไปสู่การปรับปรุงระบบอย่างมีประสิทธิภาพ

### 5.1.3 การตรวจสอบระดับการสั่นสะเทือนและอุณหภูมิ

การตรวจสอบระดับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรและมอเตอร์เป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบสำคัญของระบบนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครื่องจักรขนาดเล็กที่อาจเกิดความเสื่อมสภาพได้ง่าย การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตอาจทำให้เครื่องจักรเกิดความเสียหายหรือทำงานผิดปกติได้ ดังนั้น การตรวจสอบระดับการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และเครื่องจักรอย่างต่อเนื่องจึงเป็นสิ่งจำเป็นงานวิจัยนี้ มุ่งติดตามสถานะของมอเตอร์ขนาด 90 W 220V ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสายพานลำเลียงจำนวน 2 ตัว ประกอบด้วย มอเตอร์ A และ B ผลการตรวจวัดพบว่า การสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่สูงกว่าค่าปลอดภัยเกิดขึ้นที่มอเตอร์ A วัดได้ระดับ 15 mm/s ถือว่าเป็นระดับที่ “ไม่ยอมรับได้” ตามเกณฑ์มาตรฐาน ISO 10816 ซึ่งกำหนดค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดที่ 2.80 mm/s สำหรับเครื่องจักรขนาดเล็ก เมื่อการสั่นสะเทือนเกินค่าที่กำหนด ระบบจะทำการลดความเร็วของกำลังไฟฟ้าลงเพื่อลดความเร็วของเครื่องจักร ช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นในขณะการผลิต ระบบจะคงทำงานในโหมดนี้จนกว่าจะมีการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างเหมาะสมในทำนองเดียวกัน ระบบได้ออกแบบมาเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของมอเตอร์ในสายพานลำเลียง หากอุณหภูมิของเครื่องจักรเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 80-100 องศาเซลเซียส ระบบจะทำการปรับความเร็วของเครื่องจักรลงโดยอัตโนมัติ เช่นเดียวกับการสั่นสะเทือน ระบบจะทำงานในสภาพที่ปลอดภัยจนกว่าจะมีการซ่อมบำรุง และระบบสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้ในกรณีที่ค่าอุณหภูมิสูงเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้

#### 5.1.4 การควบคุมระยะไกล

งานวิจัยนี้ยังมุ่งเน้นไปที่การควบคุมเครื่องจักรจากระยะไกลผ่านอินเทอร์เน็ต ผู้ใช้งานที่ได้รับอนุญาตให้เข้าถึงระบบสามารถติดตามสถานะและควบคุมการทำงานของระบบจากระยะไกลผ่าน dashboard ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยโปรแกรม Node-Red ข้อมูลที่สามารถควบคุมได้ การเริ่มทำงานและหยุดทำงาน การเลือกโหมดการทำงานอัตโนมัติหรือแบบแมนนวล และการตั้งค่าขีดจำกัดสูงสุดของอุณหภูมิและการสันสเทือนระบบนี้ถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานและการบำรุงรักษาระบบจากระยะไกล ผู้ใช้สามารถควบคุมและติดตามข้อมูลทั้งหมดแบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถจัดการกับสถานการณ์ฉุกเฉินหรือปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ การตั้งค่าขีดจำกัดต่างๆ ยังช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถป้องกันการเสียหายของเครื่องจักรและเพิ่มความปลอดภัยในการทำงาน

#### 5.2 เปรียบเทียบผลระหว่าง ก่อนทำ และหลังทำ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลของการติดตั้งเซนเซอร์และการพัฒนาระบบ IoT โดยเปรียบเทียบระหว่างสภาพก่อนการดำเนินการและหลังการดำเนินการ โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เปรียบผลระหว่างก่อนและหลังทำ

| หัวข้อ                                                                             | เปรียบเทียบผลระหว่าง ก่อน และหลัง                                                                      |                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. ติดตั้งระบบ และพัฒนาระบบการตรวจนับจำนวนชิ้นงานที่ผลิต รวมถึงสถานะของเครื่องจักร | ก่อนการดำเนินการ                                                                                       | หลังการดำเนินการ                                                                                                                     |
| 1.1 การตรวจสอบสถานะของเครื่องจักร                                                  | การตรวจสอบสถานะของเครื่องจักรต้องใช้การตรวจสอบด้วยตนเอง ทำให้ไม่สามารถรับรู้ปัญหาได้ทันทีเมื่อเกิดขึ้น | สามารถติดตามข้อมูลและสถานะของเครื่องจักรอย่างทันท่วงที ซึ่งช่วยให้สามารถควบคุมการทำงานและปรับปรุงกระบวนการได้ทันทีเมื่อพบความผิดปกติ |
| 1.2 ความแม่นยำของข้อมูลการผลิต                                                     | ไม่สามารถนำข้อมูลมาแสดงผล และนำมาคำนวณเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ได้                                            | สามารถสร้างความแม่นยำให้กับข้อมูลได้โดยนำข้อมูลการผลิตชิ้นงานมาแสดงผลเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ได้                                           |

ตารางที่ 5.1 เปรียบผลระหว่างก่อนและหลังทำ (ต่อ)

| หัวข้อ                                                                                        | เปรียบเทียบผลระหว่าง ก่อน และหลัง                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2. ติดตั้งเซนเซอร์วัดพลังงาน และ พัฒนาระบบการตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงาน                       | ก่อนการดำเนินการ                                                                                                                                                                       | หลังการดำเนินการ                                                                                                                                                                                                |
| 2.1 การตรวจสอบการใช้พลังงาน                                                                   | ไม่มีข้อมูลการใช้พลังงาน แยกย่อยในระดับอุปกรณ์ หรือเครื่องจักร ทำให้การวิเคราะห์การใช้พลังงาน โดยรวมทำได้ยากและไม่ชัดเจน                                                               | ช่วยให้สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละส่วนของระบบ หรือเครื่องจักรได้แบบเรียลไทม์ ทำให้รู้ว่าพลังงานถูกใช้ที่ใดบ้างและใช้มากน้อยเพียงใด                                                                   |
| 2.2 การลดต้นทุนด้านพลังงาน                                                                    | ไม่สามารถระบุการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองได้ชัดเจน ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานอาจสูงกว่าที่ควรจะเป็น และไม่ได้มีการวางแผนจัดการอย่างเหมาะสม                                               | ช่วยระบุการใช้พลังงานที่สูงผิดปกติ และสามารถวางแผนเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานได้ เช่น ปิดเครื่องจักรในช่วงที่ไม่ได้ใช้งาน หรือลดการทำงานในช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูง                                            |
| 2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและรายงาน                                                               | ขาดข้อมูลที่ละเอียด ทำให้ไม่สามารถสร้างรายงานหรือวิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงานได้ ซึ่งทำให้ขาดข้อมูลเชิงลึกที่จำเป็นในการปรับปรุงการจัดการพลังงาน                                      | เซนเซอร์สามารถบันทึกและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา ทำให้สามารถสร้างรายงานและวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังได้ง่าย เช่น วิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงาน รายงานค่าใช้จ่าย และผลกระทบด้านการใช้พลังงานต่อการผลิต |
| 3. ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความสั่นสะเทือน พัฒนาระบบการตรวจวัดอุณหภูมิและความสั่นสะเทือน | ก่อนการดำเนินการ                                                                                                                                                                       | หลังการดำเนินการ                                                                                                                                                                                                |
| 3.1 การตรวจจับปัญหาล่วงหน้า                                                                   | การตรวจจับปัญหาจะทำได้ยาก และมักต้องรอนจนกว่าจะเกิดปัญหาใหญ่ เช่น เครื่องหยุดทำงาน จึงจะสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายมากขึ้นและเพิ่มค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง | เซนเซอร์อุณหภูมิและเซนเซอร์ความสั่นสะเทือนจะช่วยตรวจจับปัญหาเชิงลึก เช่น อุณหภูมิที่สูงเกินไปหรือการสั่นสะเทือนที่ผิดปกติ ซึ่งอาจเป็นสัญญาณบ่งบอกถึงความผิดพลาด                                                 |

ตารางที่ 5.1 เปรียบผลระหว่างก่อนและหลังทำ (ต่อ)

| หัวข้อ                       | เปรียบเทียบผลระหว่าง ก่อน และหลัง                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน | การบำรุงรักษาอาจเป็นแบบ Reactive หรือรอจนกว่าเครื่องมีปัญหา จึงทำการซ่อมแซม ซึ่งอาจทำให้เครื่องจักรต้องหยุดทำงานนานขึ้นและส่งผลให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูงขึ้น | สามารถทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้ เซนเซอร์จะส่งข้อมูลที่ช่วยให้รู้ว่าเมื่อไหร่ที่เครื่องต้องการการซ่อมบำรุง ช่วยให้สามารถบำรุงรักษาได้ตรงตามเวลาและลดโอกาสที่เครื่องจะหยุดทำงานกะทันหัน |
| 3.3 ต้นทุน                   | ไม่มีค่าใช้จ่ายเริ่มต้น แต่ค่าใช้จ่ายจะสูงขึ้นในระยะยาวจากการหยุดทำงานของเครื่องจักรที่ต้องซ่อมบำรุงบ่อย และอาจเกิดความเสียหายที่รุนแรงมากขึ้น                 | มีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสำหรับการติดตั้งเซนเซอร์และระบบติดตามผล แต่ค่าใช้จ่ายนี้จะคุ้มค่าจากการลดต้นทุนซ่อมบำรุงในระยะยาว ลดเวลาหยุดชะงักในการผลิต และยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์              |

### 5.3 ปัญหาและอุปสรรค

5.3.1 การผสมผสานเทคโนโลยีและดิจิทัลตามแนวทางอุตสาหกรรม 4.0 ส่งผลให้เกิดการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ที่ต้องการพื้นที่จัดเก็บข้อมูลในปริมาณมาก ซึ่งนำไปสู่ต้นทุนในการดำเนินการที่สูงขึ้นสำหรับระบบที่มีการใช้เซนเซอร์ IoT บนเครื่องจักร 100 เครื่อง อาจต้องการพื้นที่จัดเก็บข้อมูลราว 31 TB ต่อปี

5.3.2 ความไม่เสถียรของสัญญาณของอินเทอร์เน็ตในพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์มีผลต่อการเชื่อมต่อและดีเลย์ของข้อมูลซึ่งมีผลโดยตรงของระบบควบคุมระยะไกล

5.3.3 การเข้าถึงระบบ Globalhost ถูกจำกัดสิทธิ์เนื่องจากแพลตฟอร์ม Ngrok ที่ใช้เป็นเวอร์ชันทดลอง ส่งผลให้การเชื่อมต่อแต่ละครั้งมีระยะเวลาจำกัดไม่เกิน 30 นาที

5.3.4 ระบบงานวิจัยนี้ในปัจจุบันยังขาดแง่มุมด้านความปลอดภัยทางไซเบอร์ ซึ่งเป็นโอกาสสำหรับการวิจัยและพัฒนาเพิ่มเติมในด้านความปลอดภัยสำหรับการศึกษาวิจัยในอนาคต

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากงานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่า ควรทำการทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมการผลิตที่หลากหลายและขนาดใหญ่ เพื่อทดสอบความสามารถในการปรับขนาดเครื่องจักรให้ใหญ่ขึ้นและการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมที่แตกต่างกัน ซึ่งรวมถึงการนำเทคโนโลยี AI และ Machine Learning เข้ามา

ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและพัฒนาระบบการควบคุมที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เทคโนโลยีเหล่านี้สามารถช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่นและปรับตัวได้ดีต่อสภาพการผลิตที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

การวิจัยครั้งนี้มีส่วนสำคัญในการสร้างความเข้าใจและวางรากฐานสำหรับการพัฒนาระบบควบคุมและตรวจสอบการผลิตในยุคอุตสาหกรรมอัจฉริยะ โดยช่วยเพิ่มความแม่นยำของระบบ ลดความสูญเสีย และเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับตัวเพื่อตอบสนองต่อความต้องการที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในอนาคต การพัฒนาระบบนี้จะเน้นไปที่การขยายขีดความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลและการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด



บรรณานุกรม

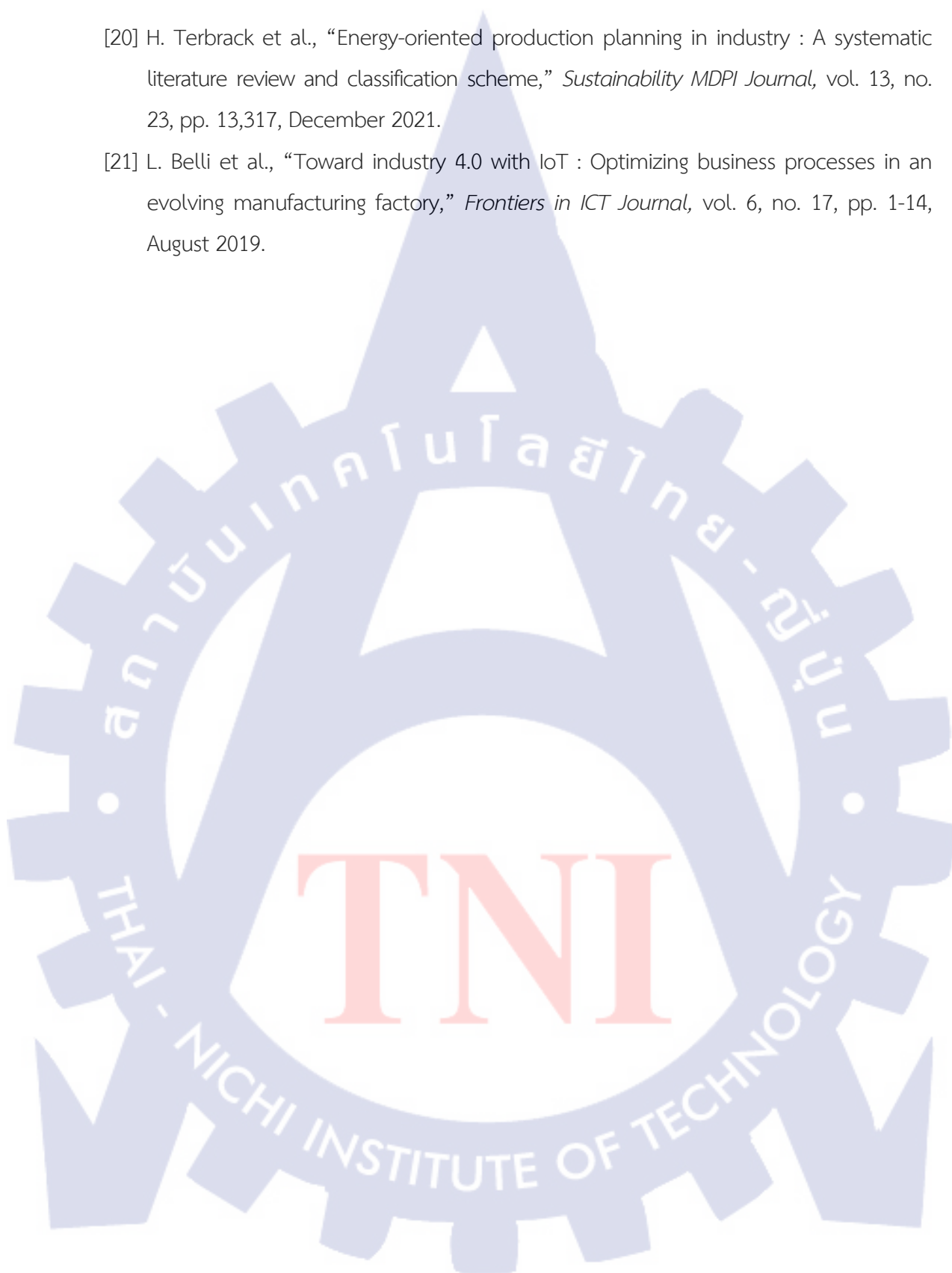
TNI

### บรรณานุกรม

- [1] B. N. Shaheed et al., “Designing a system to facilitate the process of connecting 4.0-generation industrial machines to the internet,” *Fifth International Scientific Conference of Alkafeel University, ISCKU 2024*, Najaf, Iraq, April 5, 2024, pp. 1-8.
- [2] Y. Meng et al., “Enhancing sustainability and energy efficiency in smart factories : A review,” *MDPI Journal*, vol. 10, no. 12, pp. 4,779-4,805, December 2018.
- [3] A. H. Bagdadee et al., “A brief review of the IoT-based energy management system in the smart industry,” *International Conference on Learning Representations, ICLR*, San Diego, USA, January 13-14, 2020, pp. 457-468.
- [4] A. Khademi et al., “IoT enabled vibration monitoring toward smart maintenance,” *International Conference on Internet of Things and Applications (IoT)*, ICIT 2019, Isfahan, Iran, April 17-18, 2019, pp. 1-6.
- [5] A. T. B. N. N. Azlan et al., “Industry 4.0 energy monitoring system for multiple production machines,” *Proceedings of the 56th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, CIRP 2023, South Africa, January 12, 2023, pp. 613-618.
- [6] M. Tabaa et al., “Industrial communication based on modbus and node-RED,” *Presented at the 9th International Conference on Ambient Systems, ANT 2018*, Casablanca, Morocco, April 24, 2018, pp. 583-588.
- [7] K. Anam et al., “Monitoring system for temperature and humidity sensors in the production room using node-red as the backend and rgafana as the frontend,” *Journal of Systems Engineering and Information Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 59-76, September 2023.
- [8] S. Teixeira et al., “On the development and deployment of an IIoT Infrastructure for the fish canning industry,” *Proceedings of the 4th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing*, ICIT 2023, Jeju, Korea (South), January 13, 2023, pp. 1,095-1,105.
- [9] I. V. Nitulescu and A. Korodi, “Supervisory control and data acquisition approach in node-RED : Application and discussions,” *IoT MDPI Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 76-91, August 2020.

- [10] T. Kalsoom et al., "Advances in sensor technologies in the era of smart factory and industry 4.0," *Sensors MDPI Journal*, vol. 20, no. 23, pp. 1-22, November 2020.
- [11] S. Tamboli et al., "Effects of electroacupuncture therapy for bell's palsy from acute stage : Study protocol for a randomized controlled trial," *International Conference on Learning Representations, ICSTM*, San Diego, Chennai, India, May 6-8, 2015, pp. 258-263.
- [12] B. Alotaibi, "A survey on industrial internet of things security : Requirements, attacks, AI-based solutions and edge computing opportunities," *Sensors MDPI Journal*, vol. 23, no. 17, pp. 7,470, August 2023.
- [13] K. Ferencz and J. Domokos, "Multiple-molecule drug design based on systems biology approaches and deep neural network to mitigate human skin aging," *European Conference, ITS 2020*, Trento, Italy, February 27-28, 2020, pp. 135-140.
- [14] K. Listewnik et al., "An on-line diagnostics application for evaluation of machine vibration based on standard ISO 10816-1," *Journal of Vibroengineering*, vol. 17, no. 8, pp. 4248-4258, December 2015.
- [15] R. McElveen et al., "The anti-wrinkle efficacy of argireline, a synthetic hexapeptide in chinese subjects : A randomized placebo-controlled study," *International Conference on Control Automation and Systems, MACMC*, Macao, China, September 10-12, 2012, pp. 1-9.
- [16] M. A. Abu Radia et al., "IoT-based wireless data acquisition and control system for photovoltaic module performance analysis," *e-Prime-Advances in Electrical Engineering Journal*, vol. 6, no. 8, pp. 1-12, November 2023.
- [17] M. D. Mudaliar and N. Sivakumar, "IoT based real-time energy monitoring system using Raspberry Pi," *Internet of Things Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 1-18, September 2020.
- [18] S. H. Kumar and C. Saravanan, "A comprehensive study on data visualization tool-grafana," *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, vol. 8, no. 5, pp. 908-913, May 2021.
- [19] P. Novák et al., "Evaluation method for performance of reverse osmosis antiscalants based on the turbidity," *In 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering, IFAC 2023 Proceedings*, Wuhan, China, November 2023, pp. 926-929.

- [20] H. Terbrack et al., “Energy-oriented production planning in industry : A systematic literature review and classification scheme,” *Sustainability MDPI Journal*, vol. 13, no. 23, pp. 13,317, December 2021.
- [21] L. Belli et al., “Toward industry 4.0 with IoT : Optimizing business processes in an evolving manufacturing factory,” *Frontiers in ICT Journal*, vol. 6, no. 17, pp. 1-14, August 2019.





ภาคผนวก

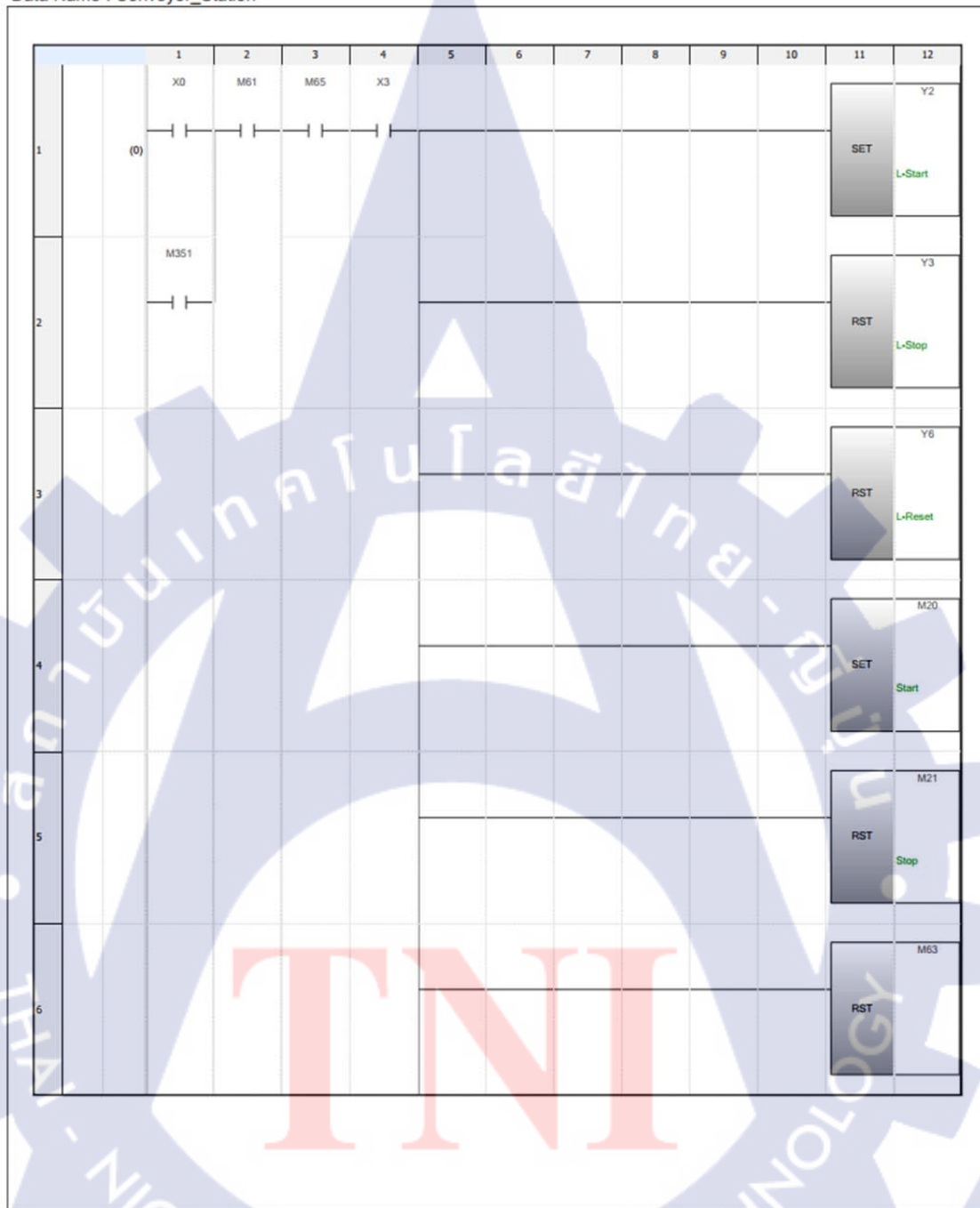
ภาคผนวก ก.

การเขียน Ladder บน Gx Work 3 ของทุกสถานีการผลิต



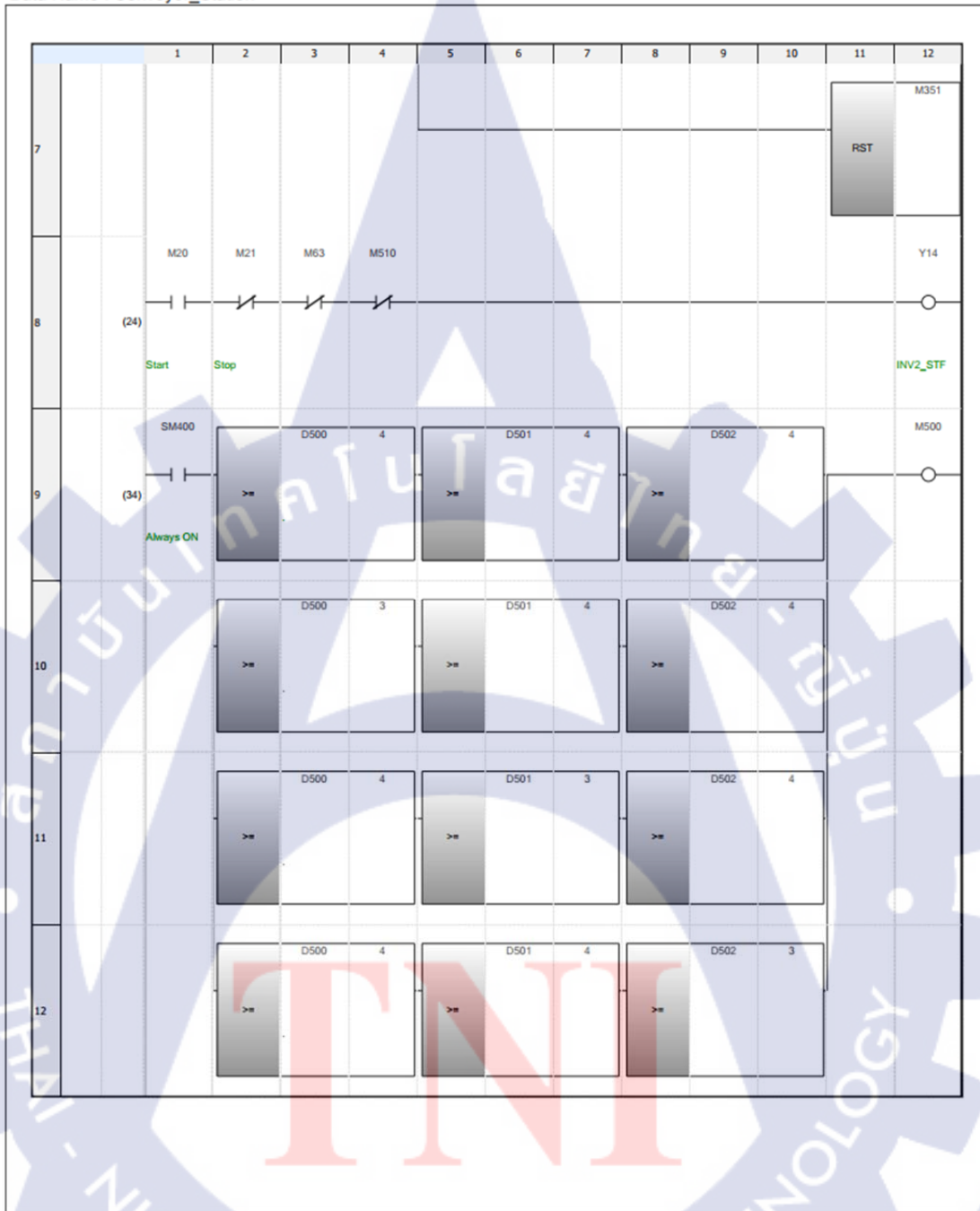
Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



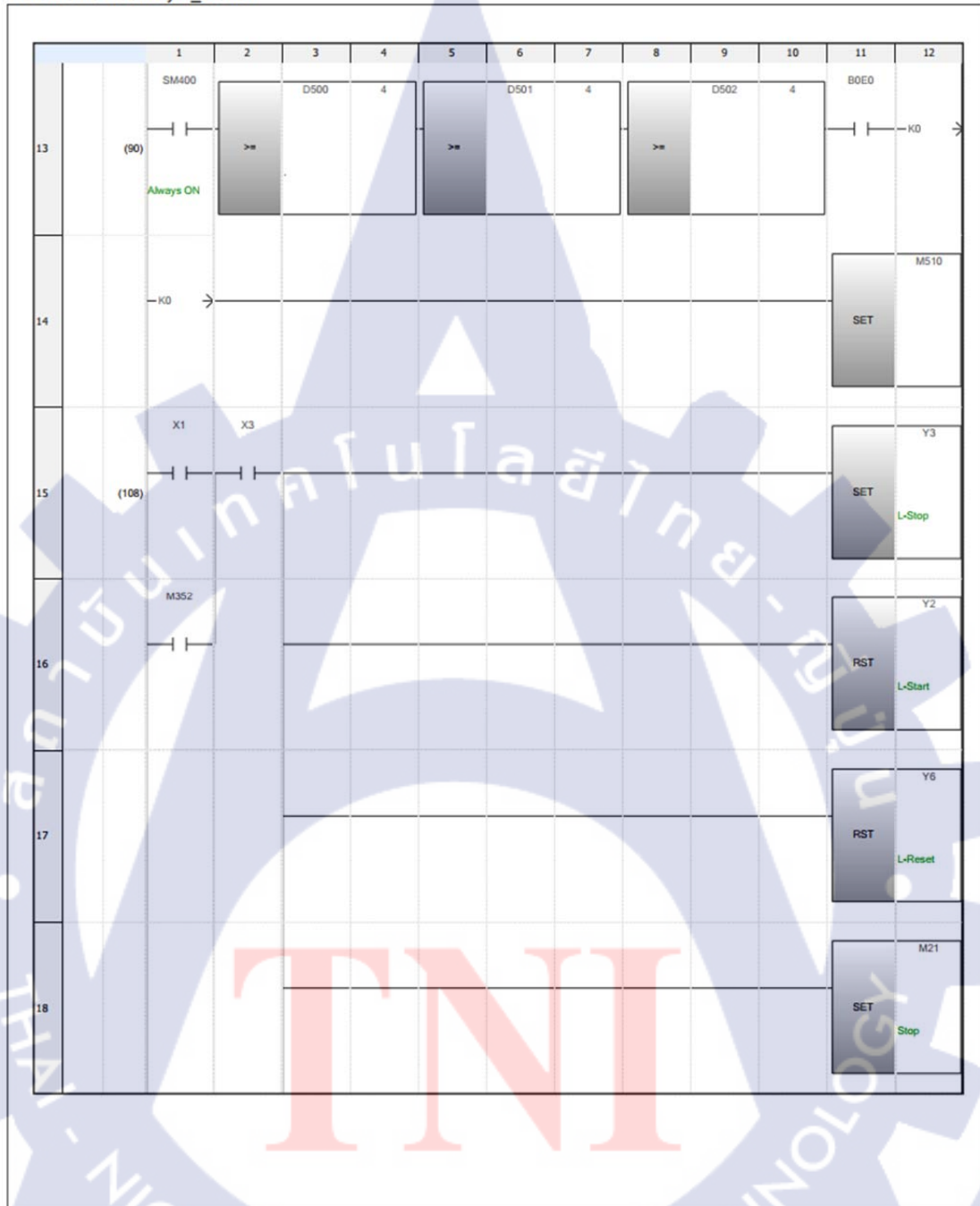
Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

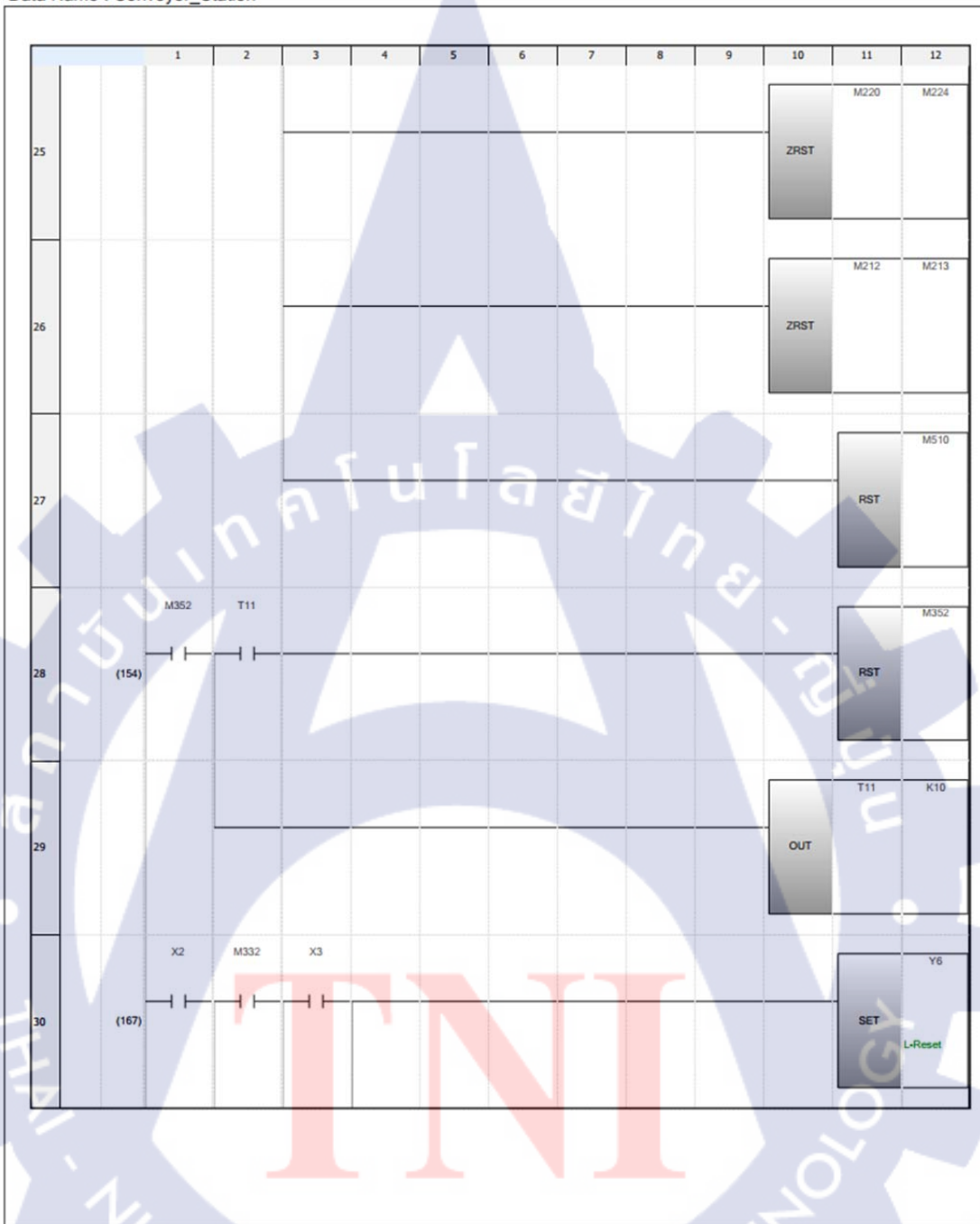
10/21/2024

|    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11             | 12           |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|----------------|--------------|
| 19 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |      | RST            | M20<br>Start |
| 20 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | MOV  | H0             | D600         |
| 21 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ZRST | M60            | M65          |
| 22 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ZRST | M200<br>z-AXIS | M211         |
| 23 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ZRST | M330           | M331         |
| 24 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ZRST | M333           | M335         |

Ladder

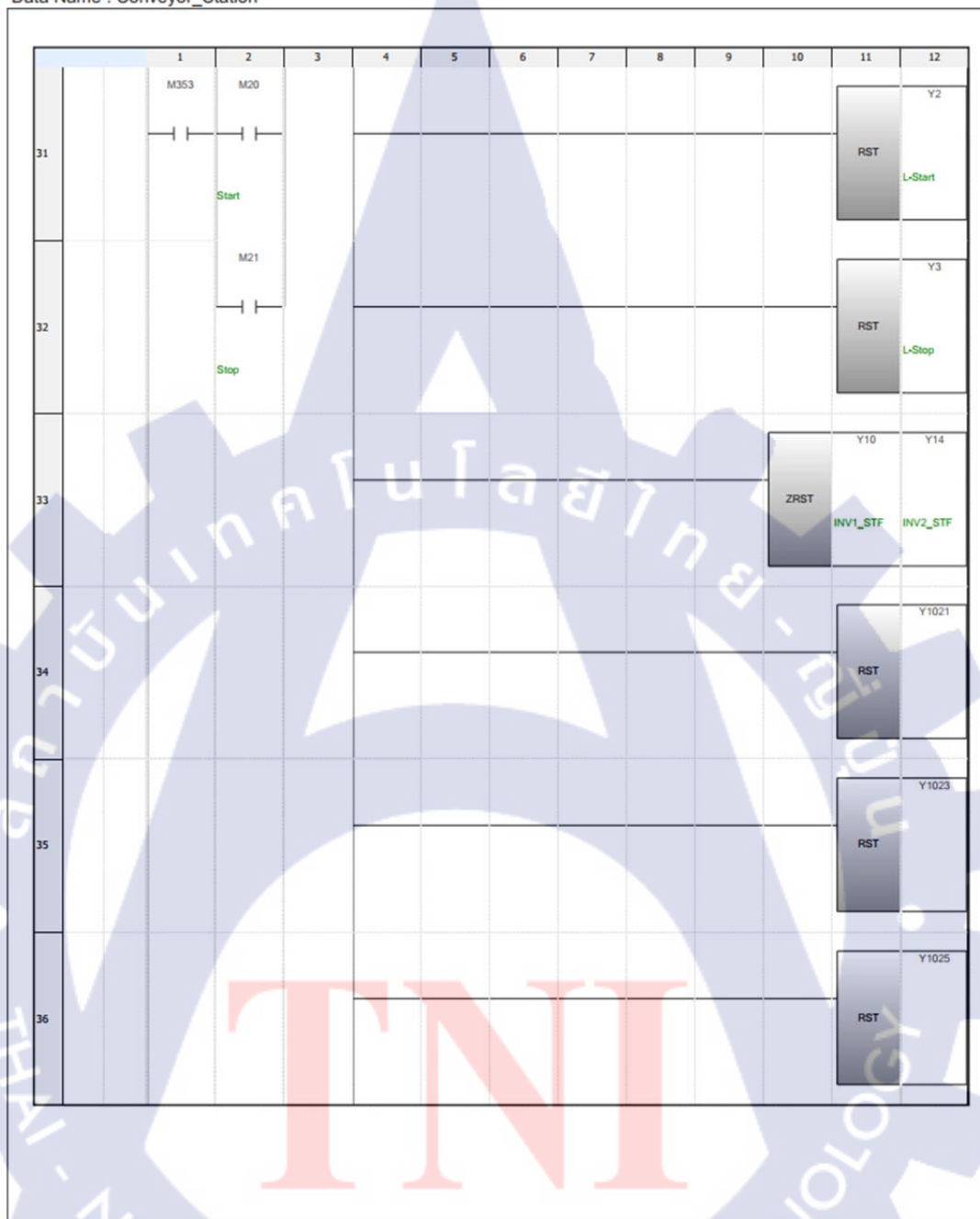
10/21/2024

Data Name : Conveyor\_Station



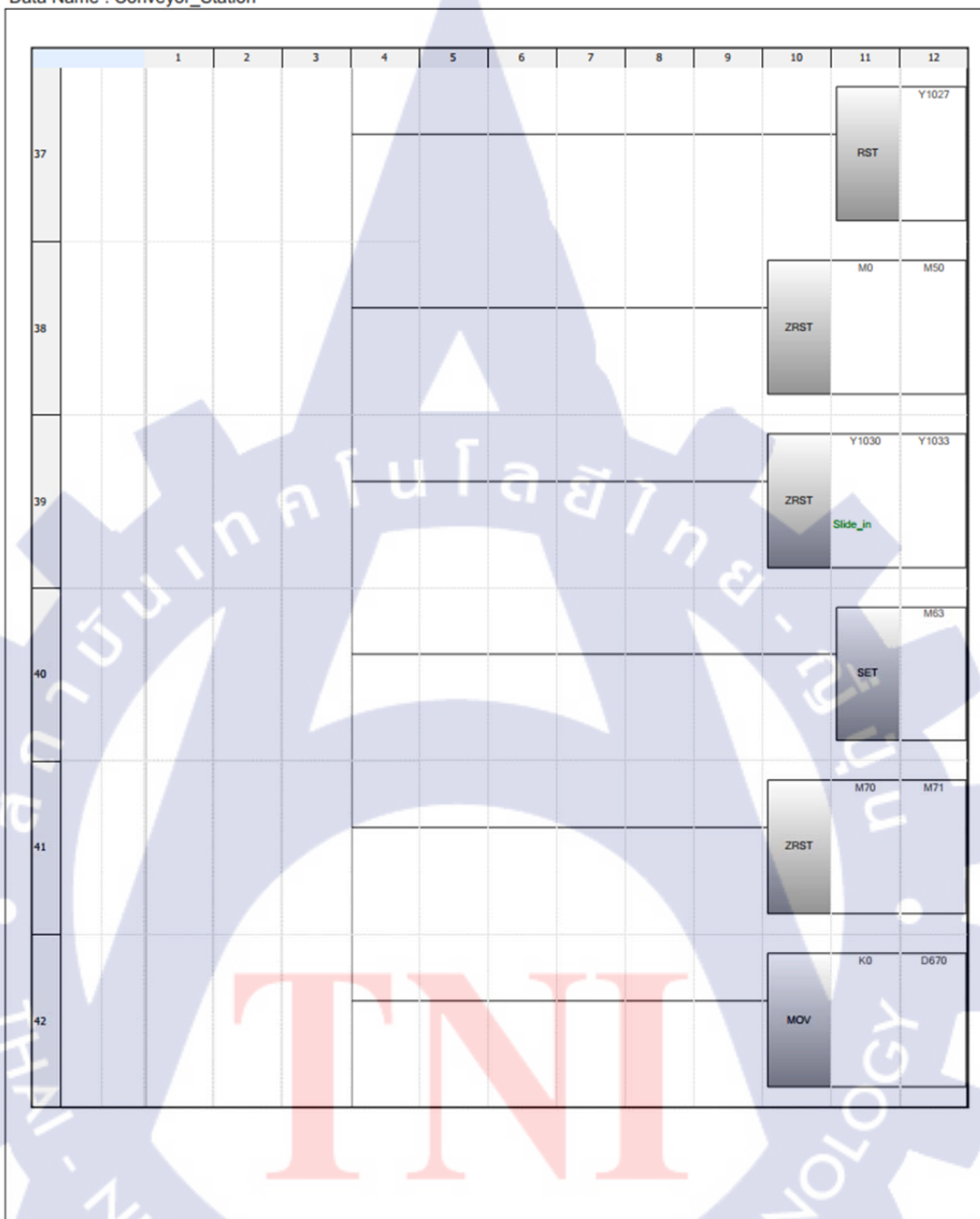
Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

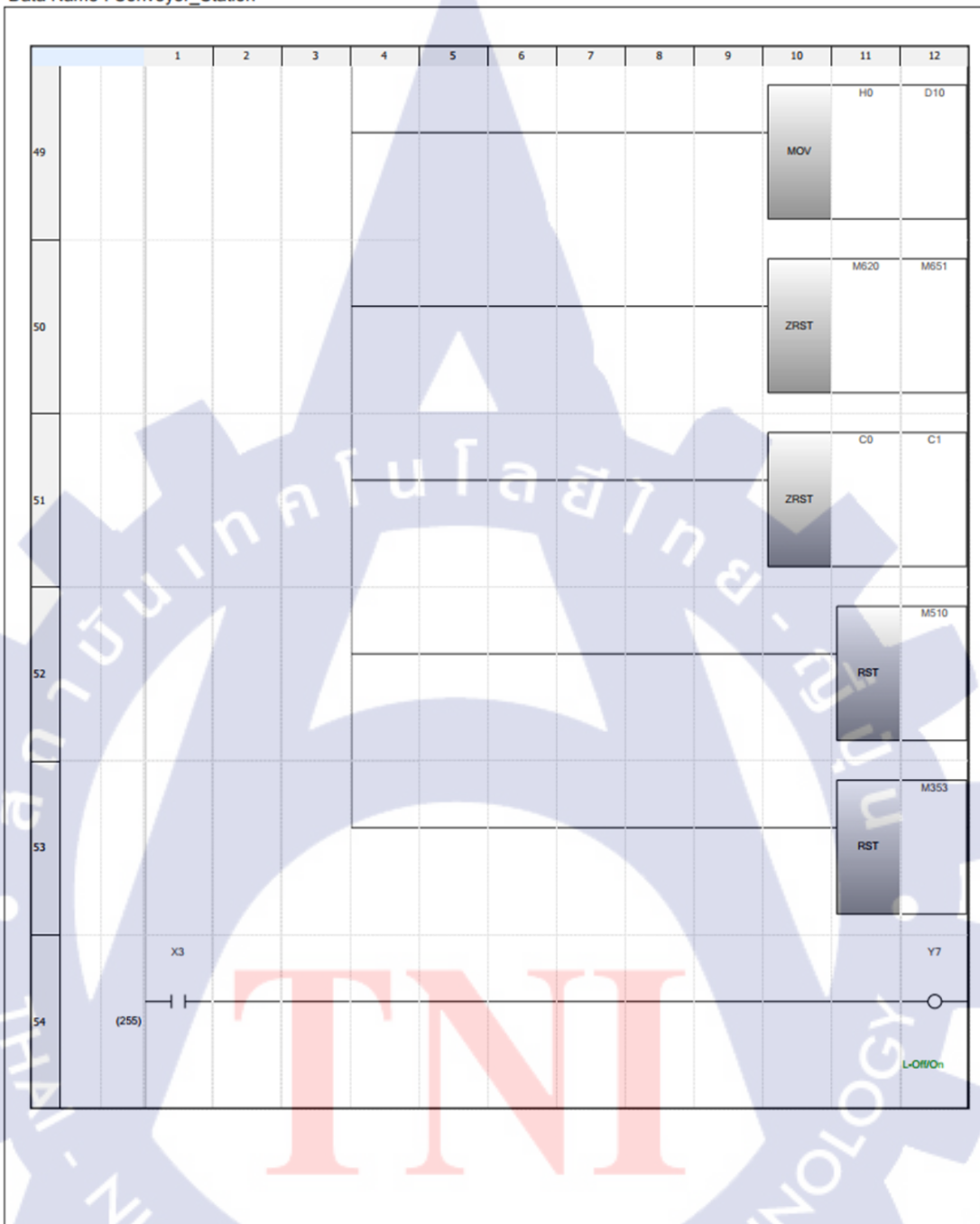
10/21/2024

|    | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10   | 11   | 12   |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|------|------|
| 43 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | ZRST | M400 | M402 |
| 44 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |      | RST  | M60  |
| 45 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | MOV  | H0   | D620 |
| 46 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | MOV  | H0   | D630 |
| 47 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | MOV  | H0   | D640 |
| 48 |   |   |   |   |   |   |   |   |   | MOV  | H0   | D650 |

Ladder

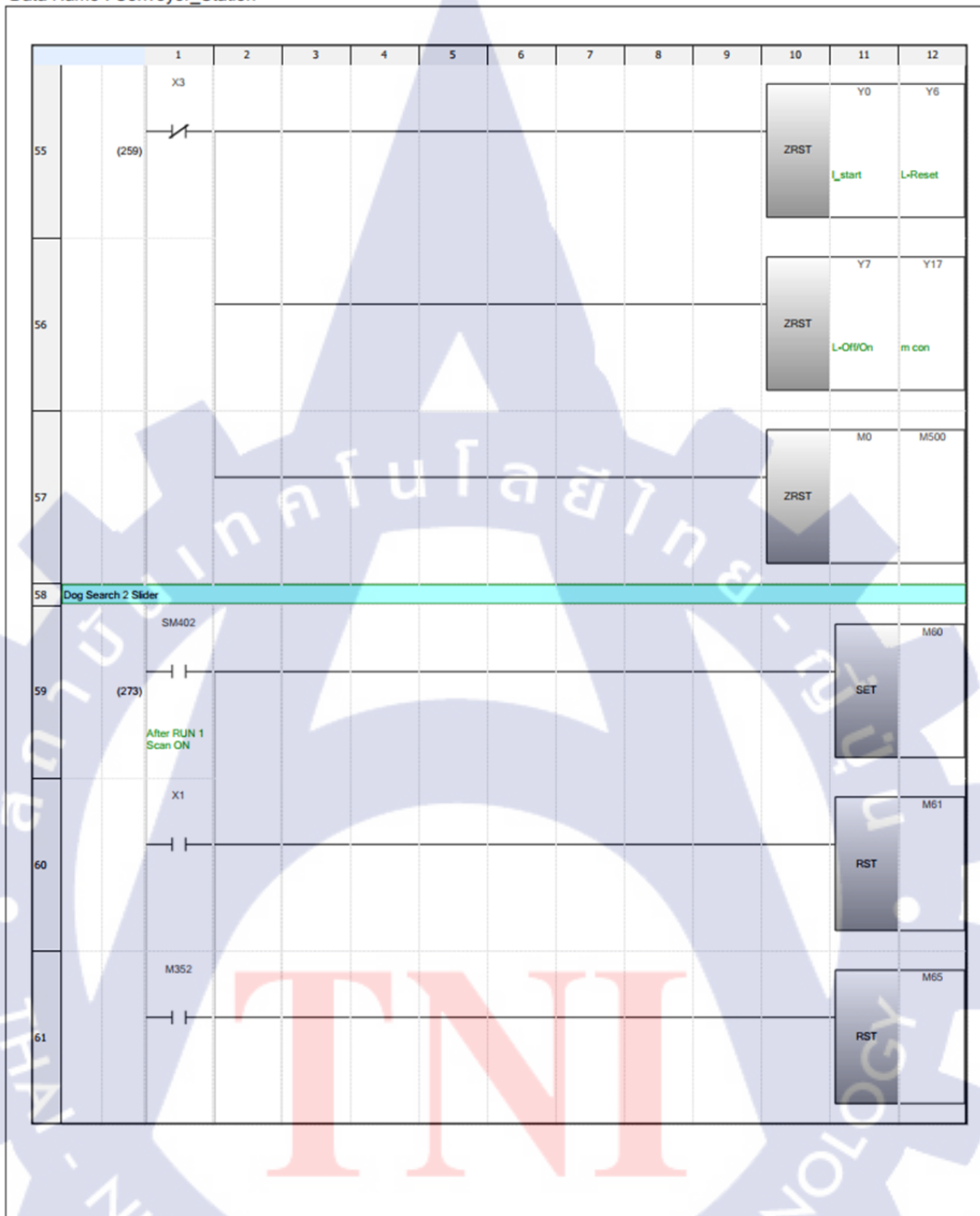
10/21/2024

Data Name : Conveyor\_Station



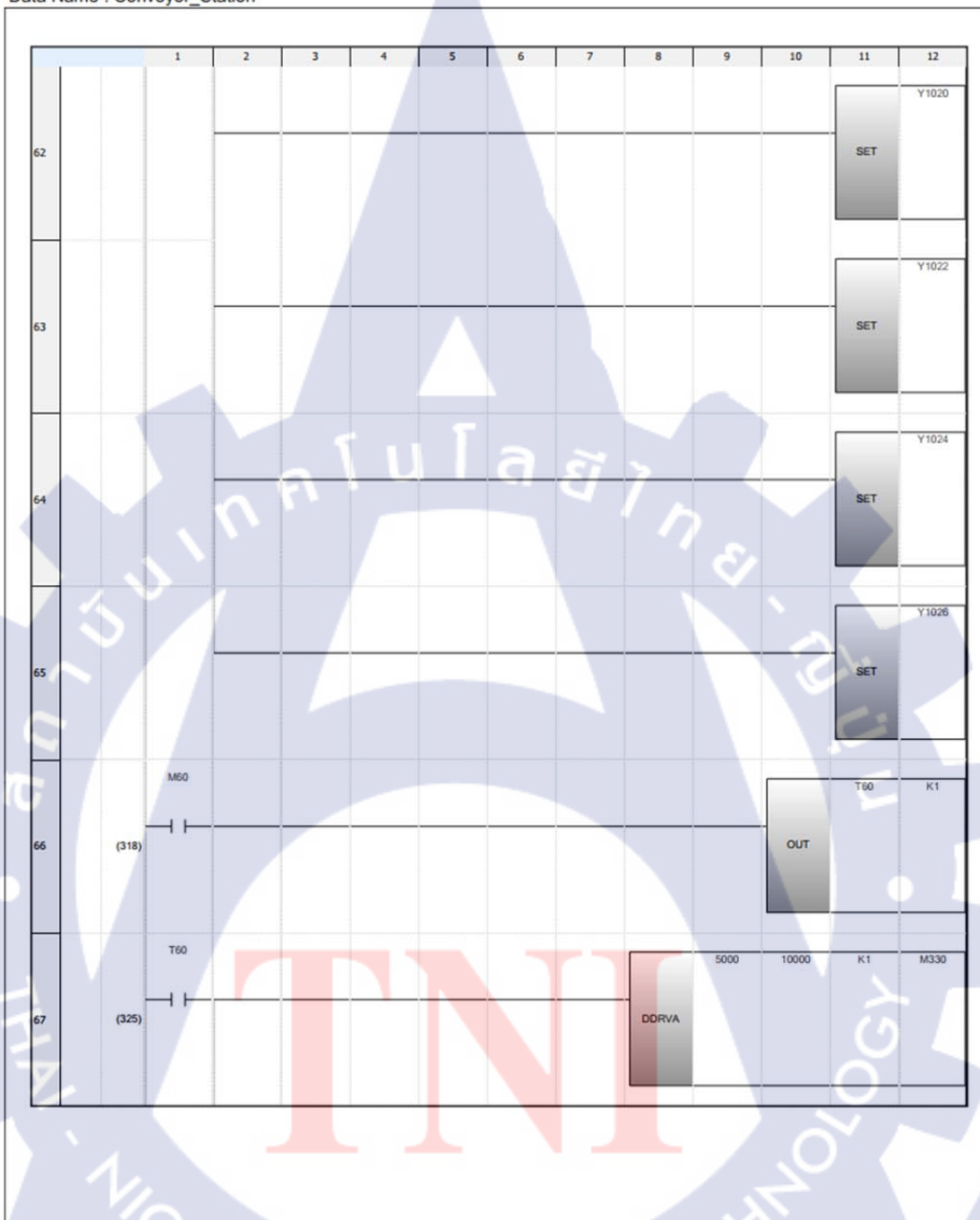
Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



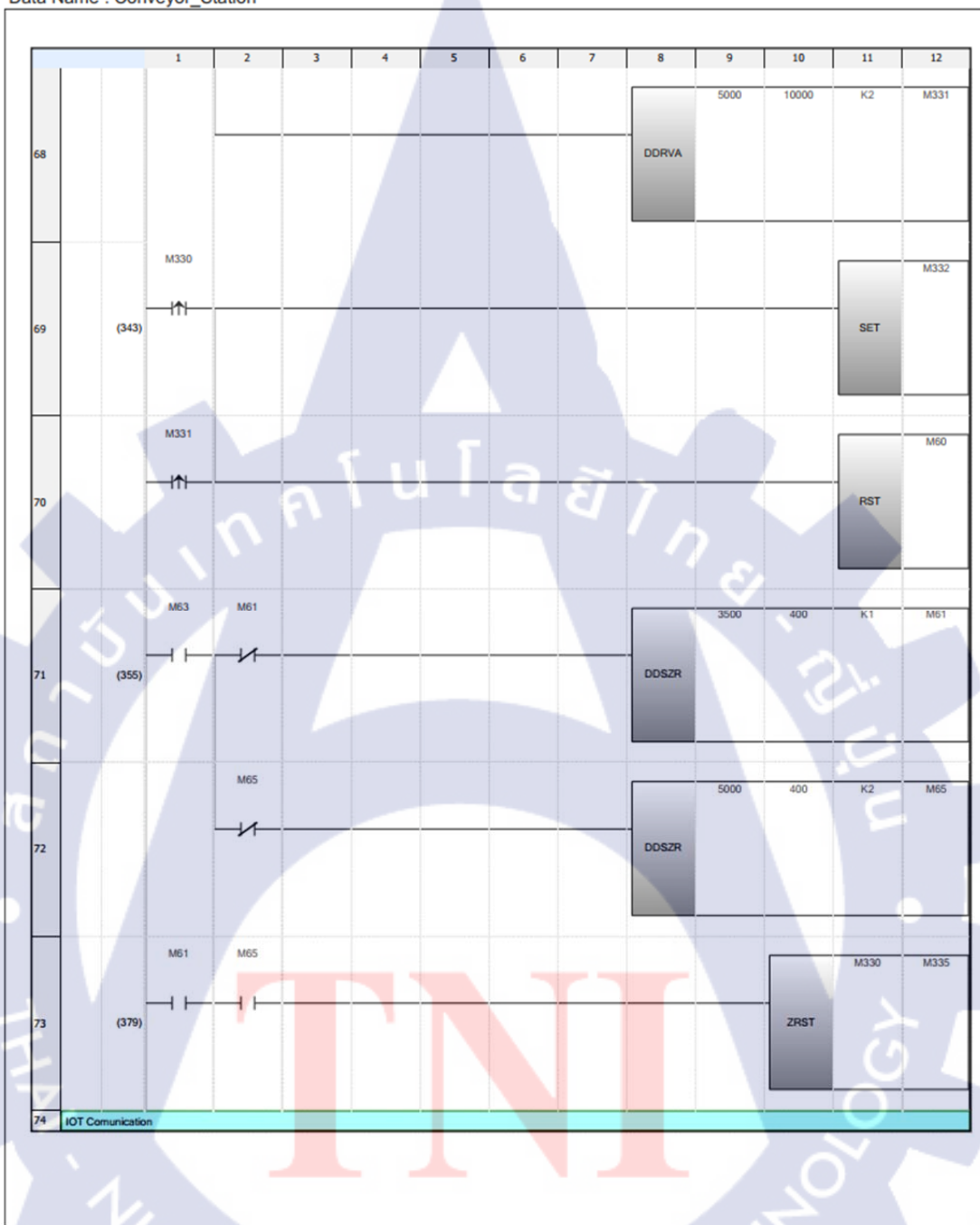
Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



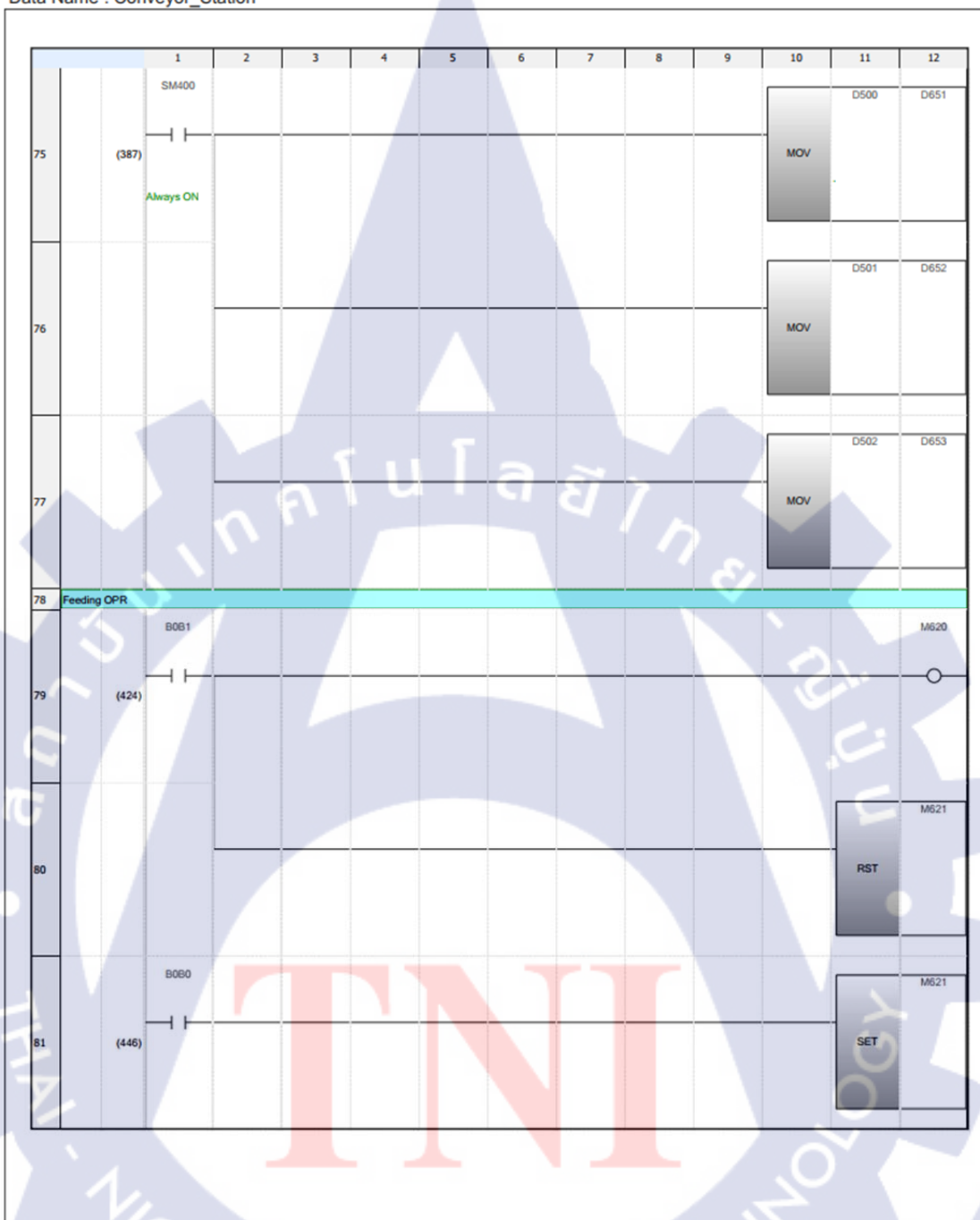
Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



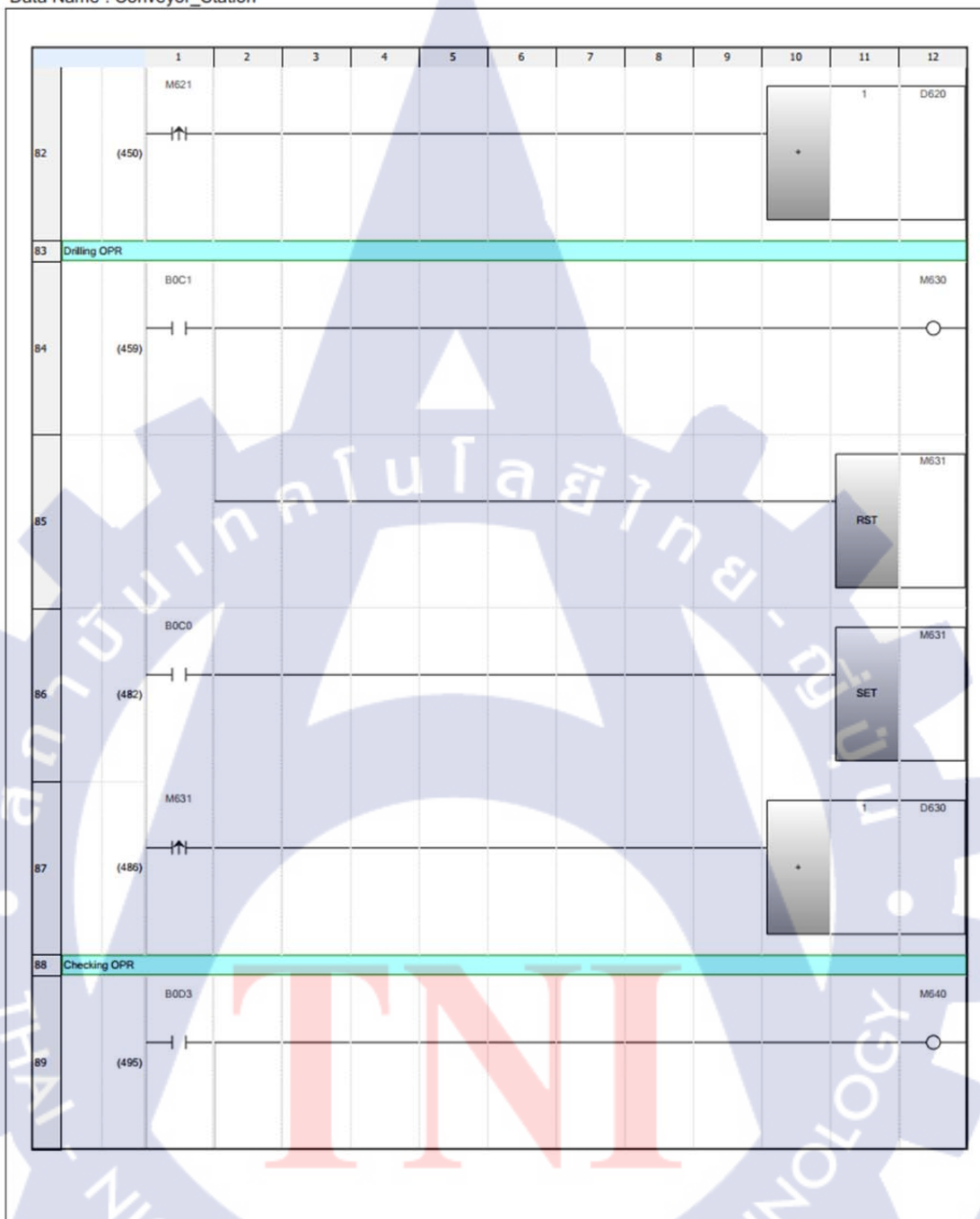
Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



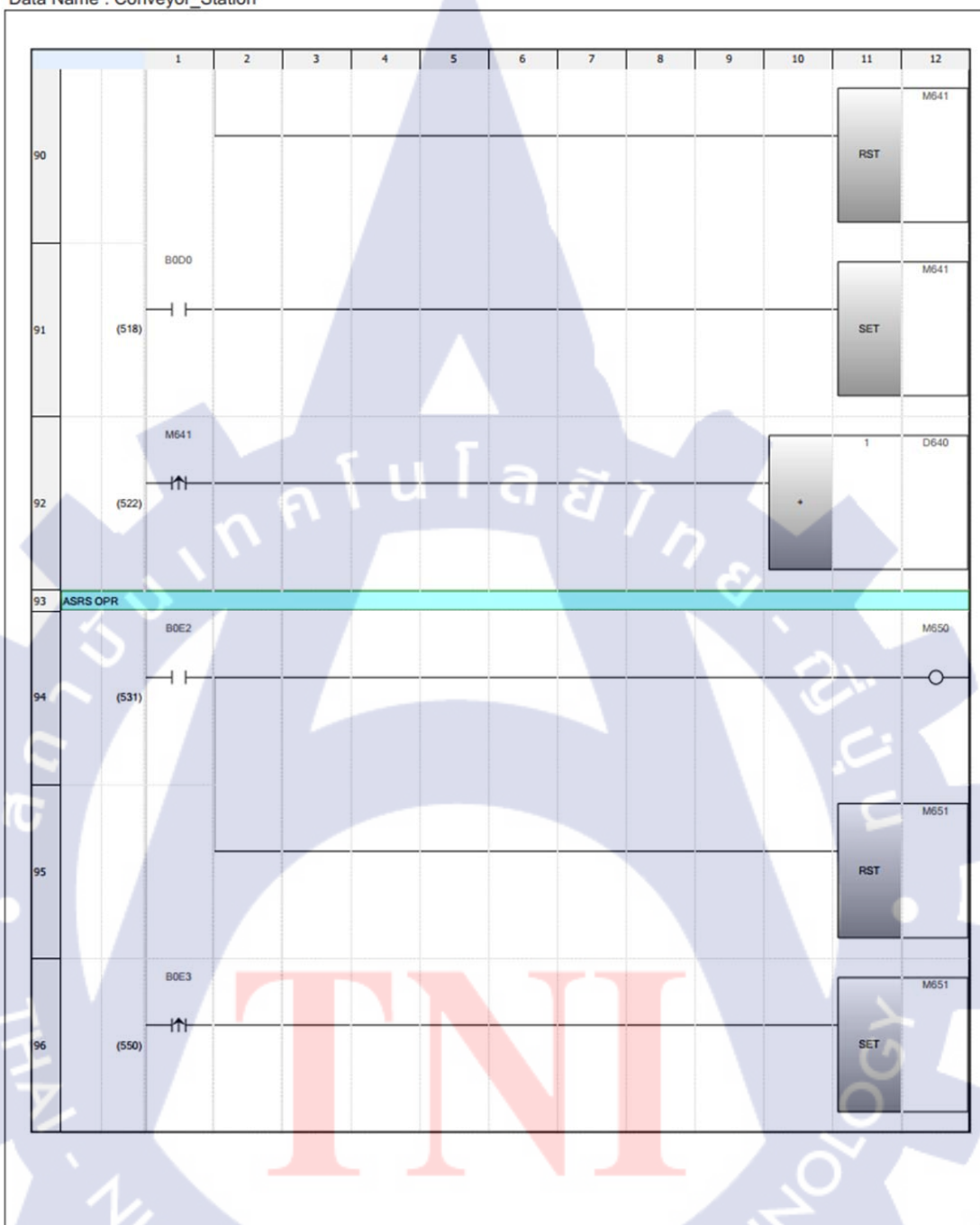
Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024



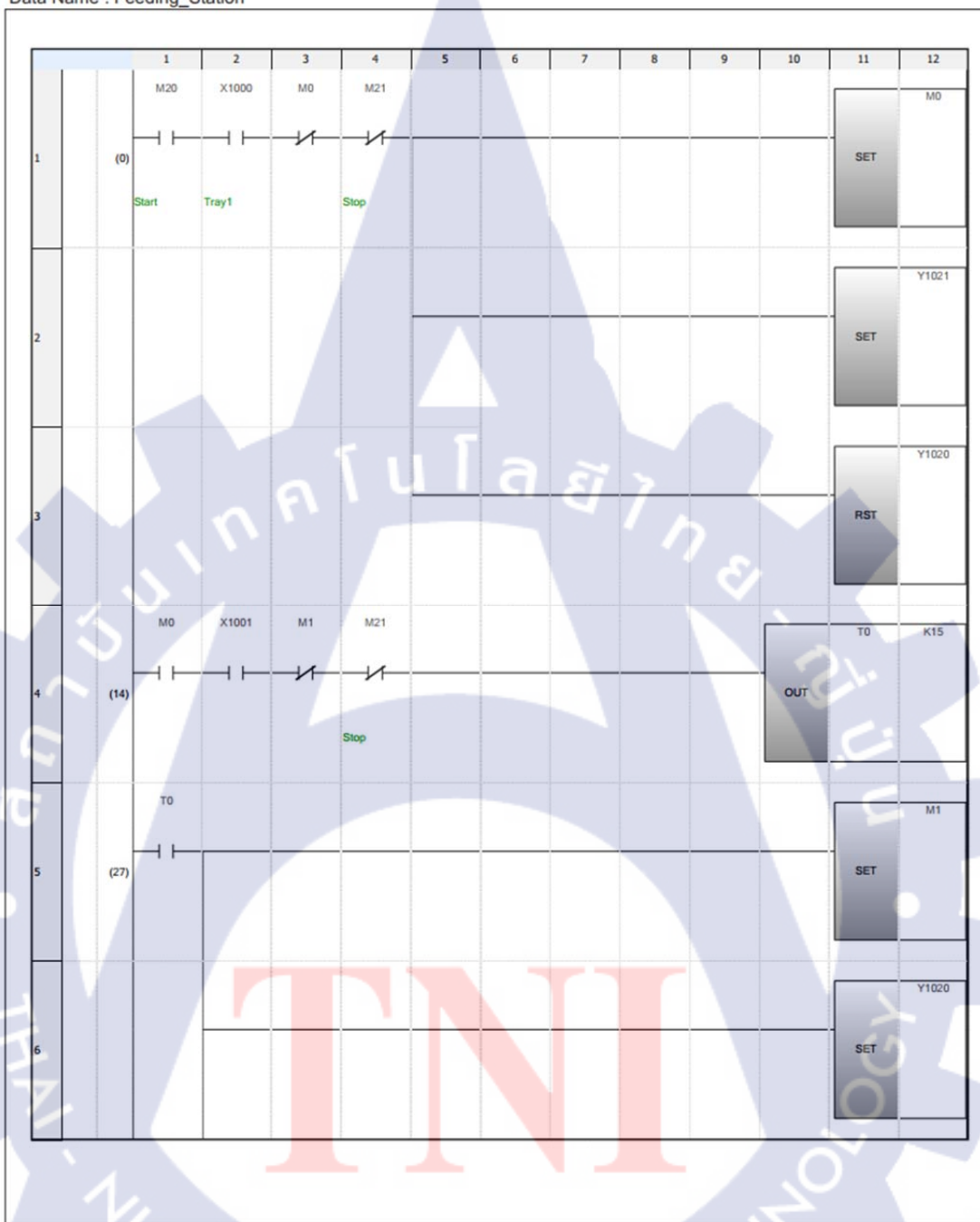
Ladder  
Data Name : Conveyor\_Station

10/21/2024

|    |       | 1    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12     |
|----|-------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|--------|
|    |       | M651 |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 1  | D650   |
| 97 | (S56) | ↑    |   |   |   |   |   |   |   |   | *  |    |        |
| 98 | (S65) |      |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | {END } |

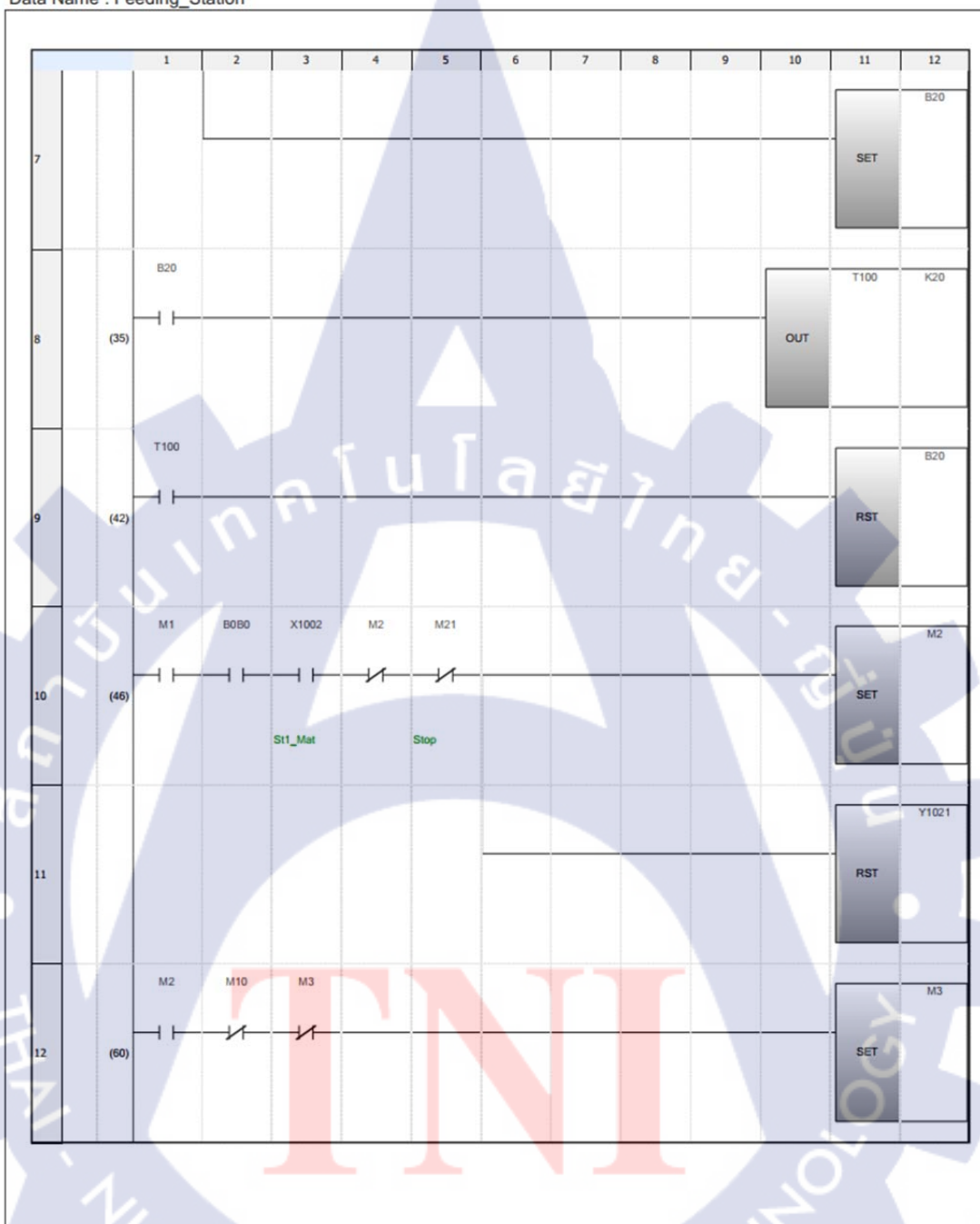
Ladder  
Data Name : Feeding\_Station

10/21/2024



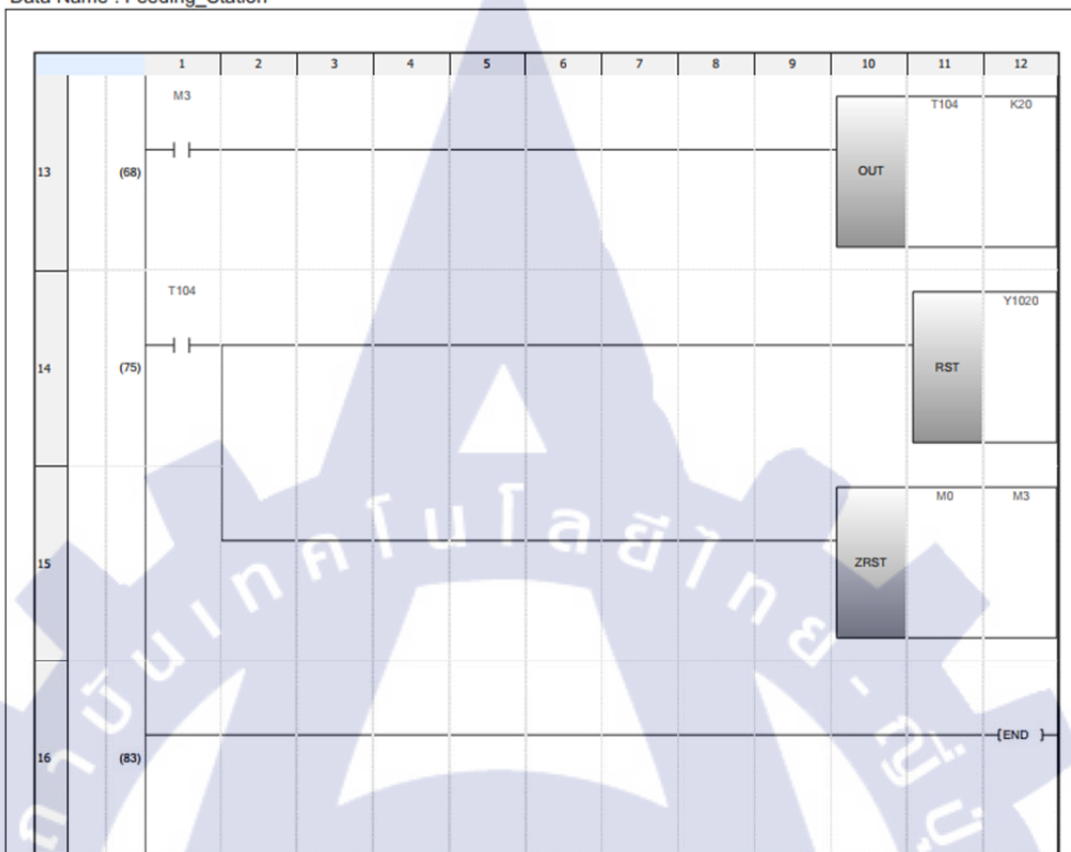
Ladder  
Data Name : Feeding\_Station

10/21/2024



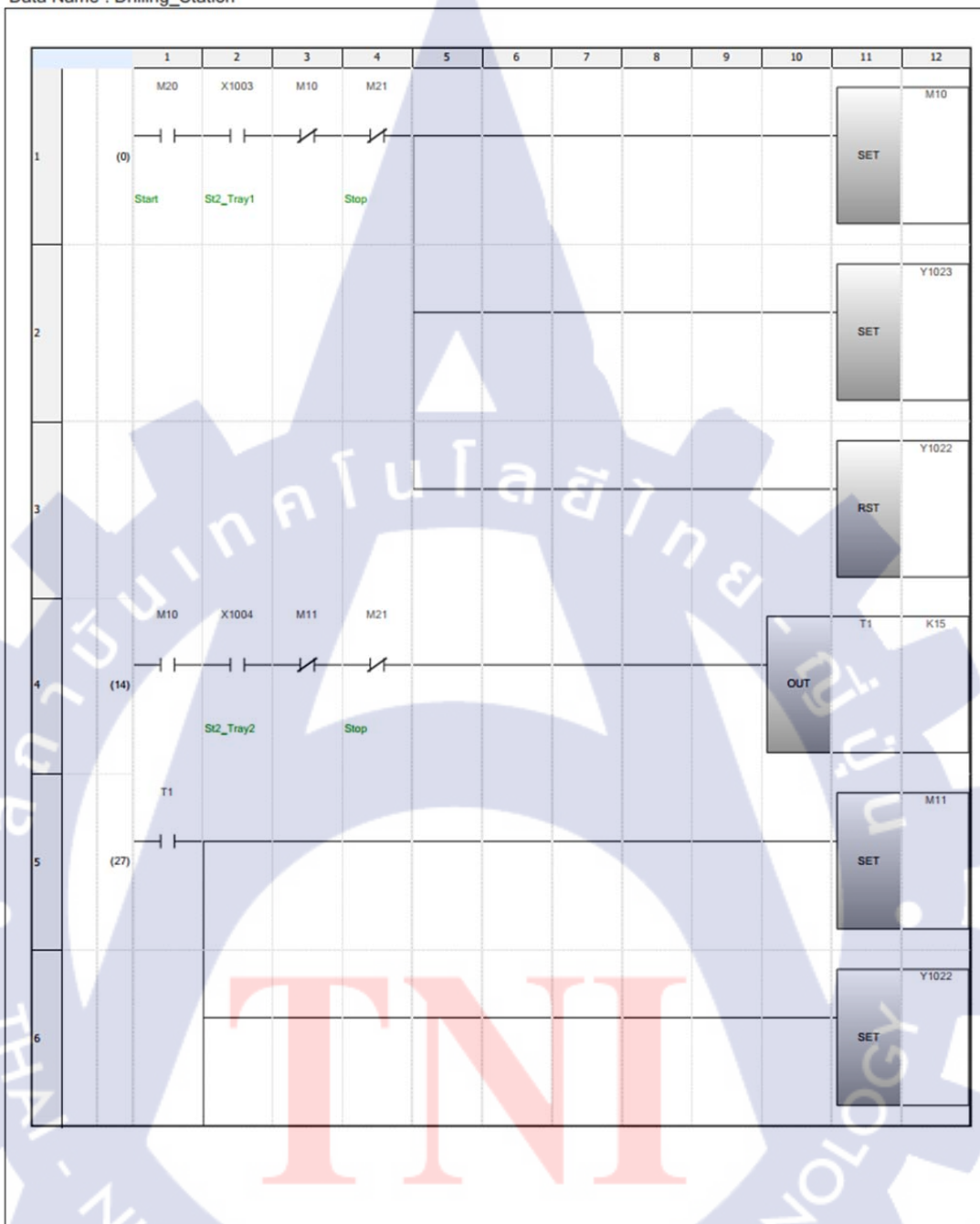
Ladder  
Data Name : Feeding\_Station

10/21/2024



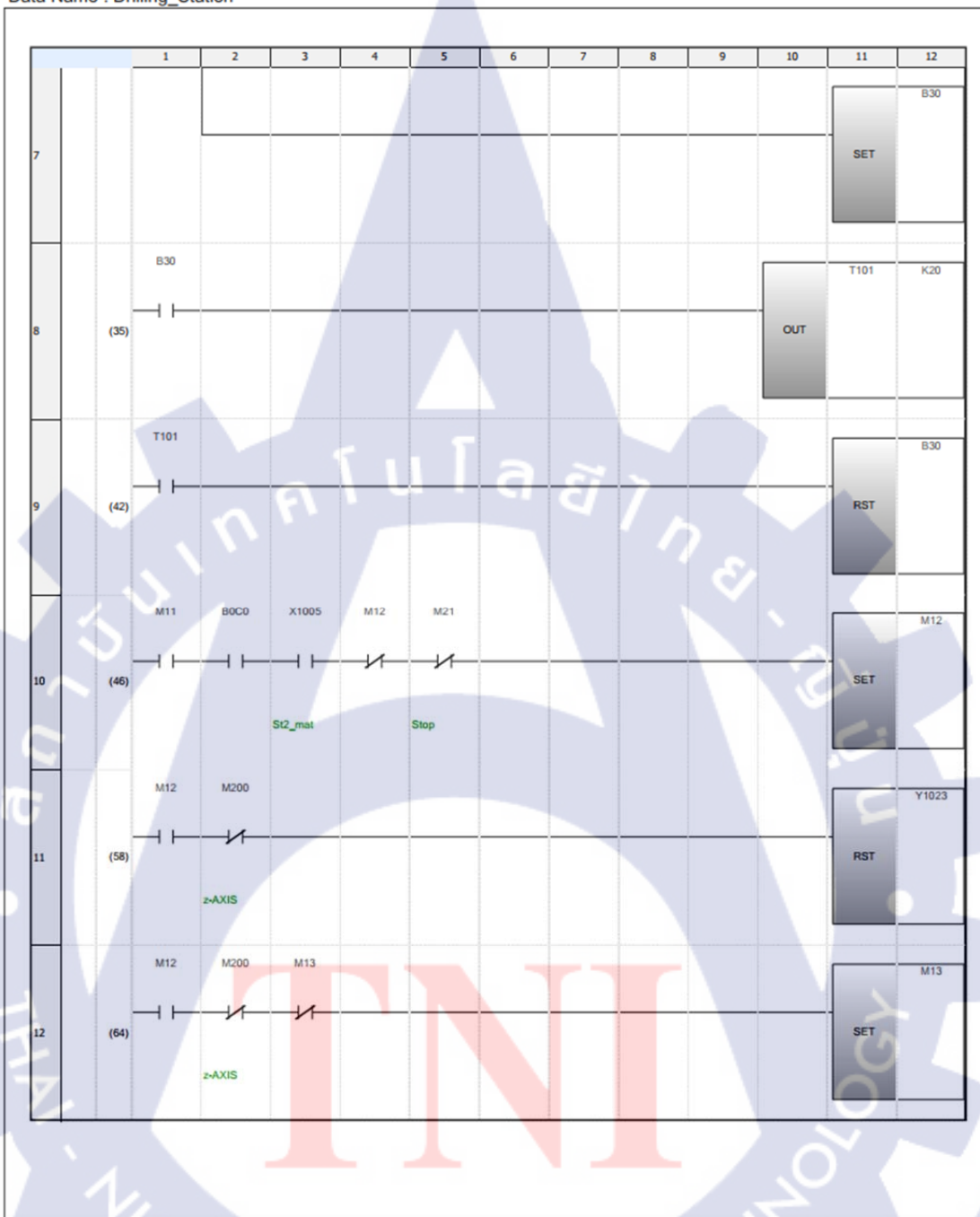
Ladder  
Data Name : Drilling\_Station

10/21/2024



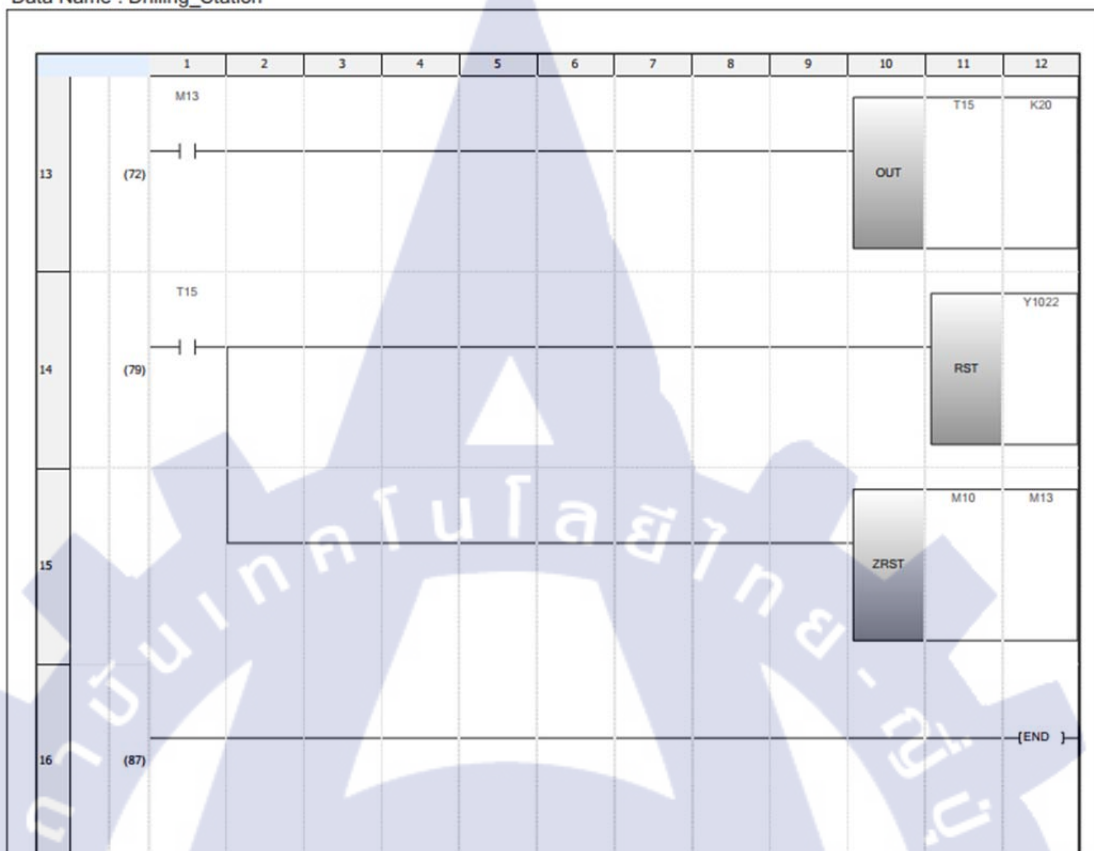
Ladder  
Data Name : Drilling\_Station

10/21/2024



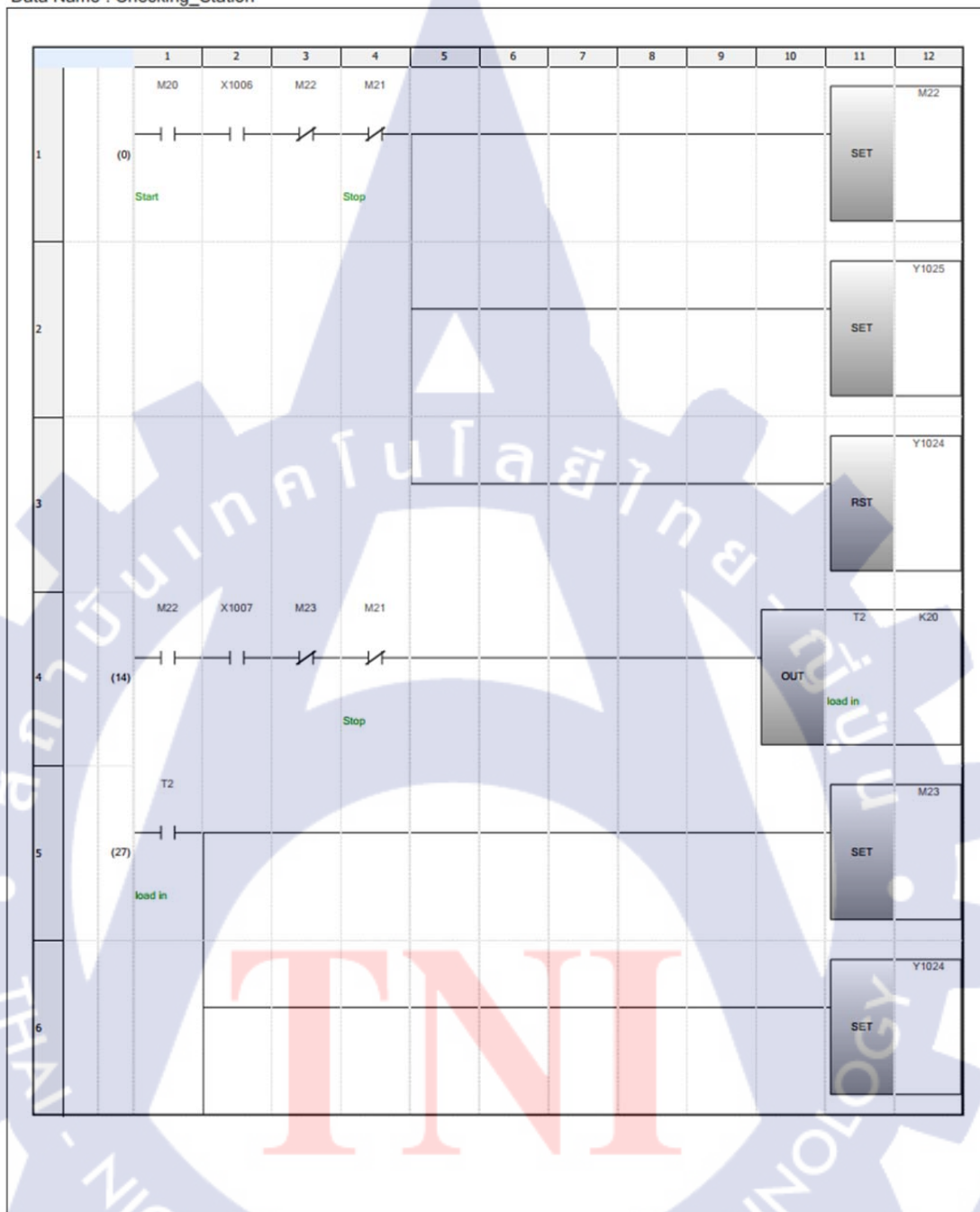
Ladder  
Data Name : Drilling\_Station

10/21/2024



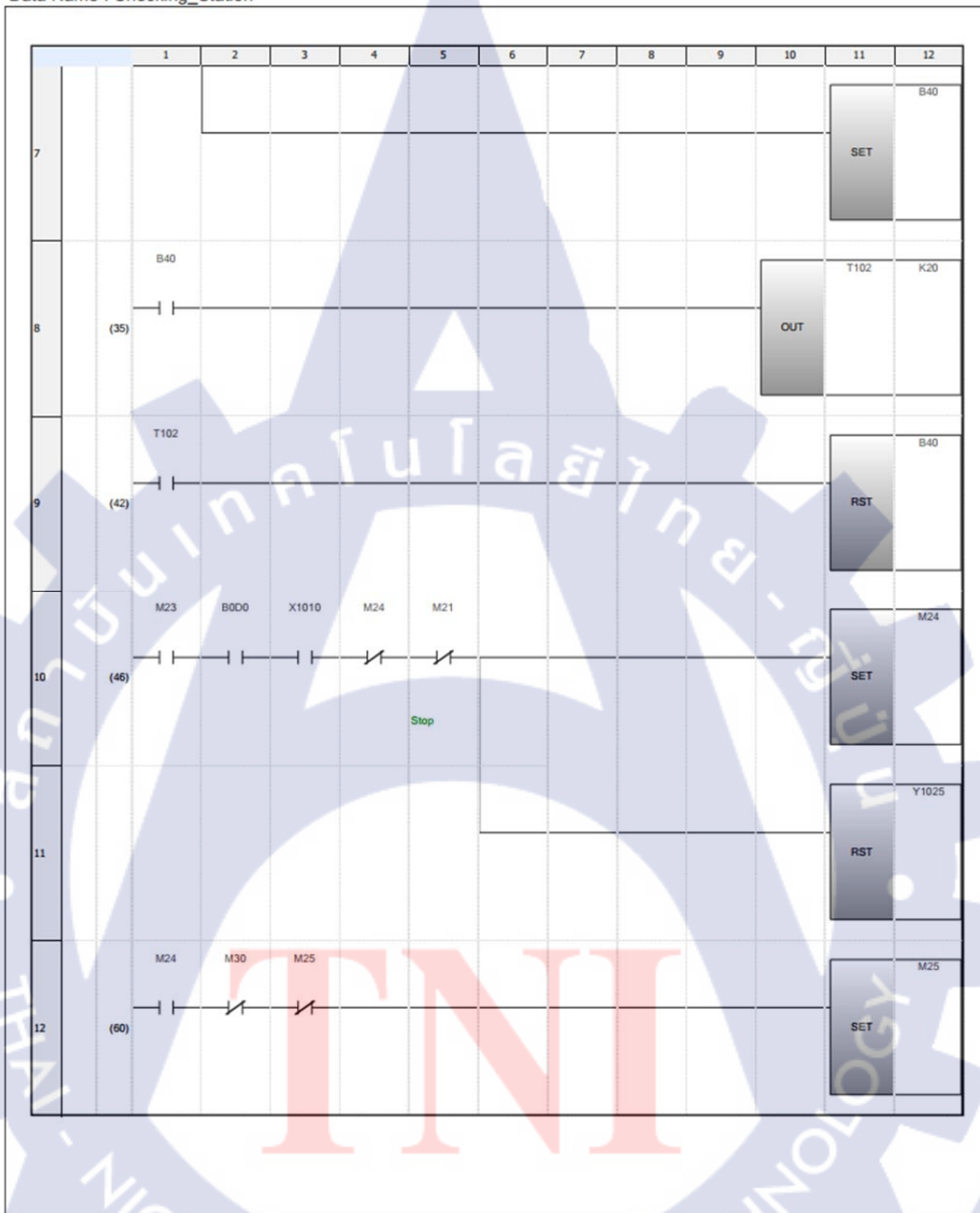
Ladder  
Data Name : Checking\_Station

10/21/2024



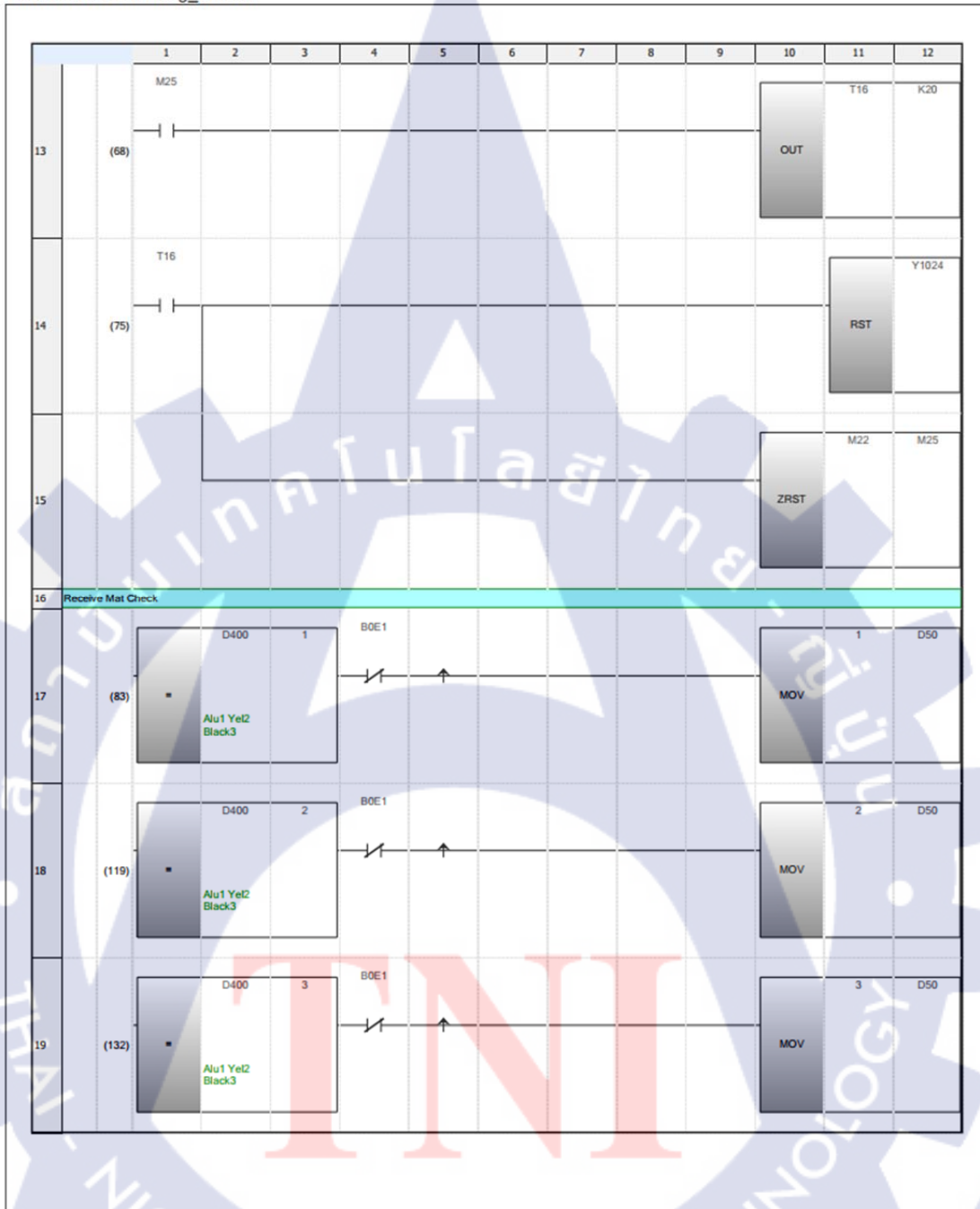
Ladder  
Data Name : Checking\_Station

10/21/2024



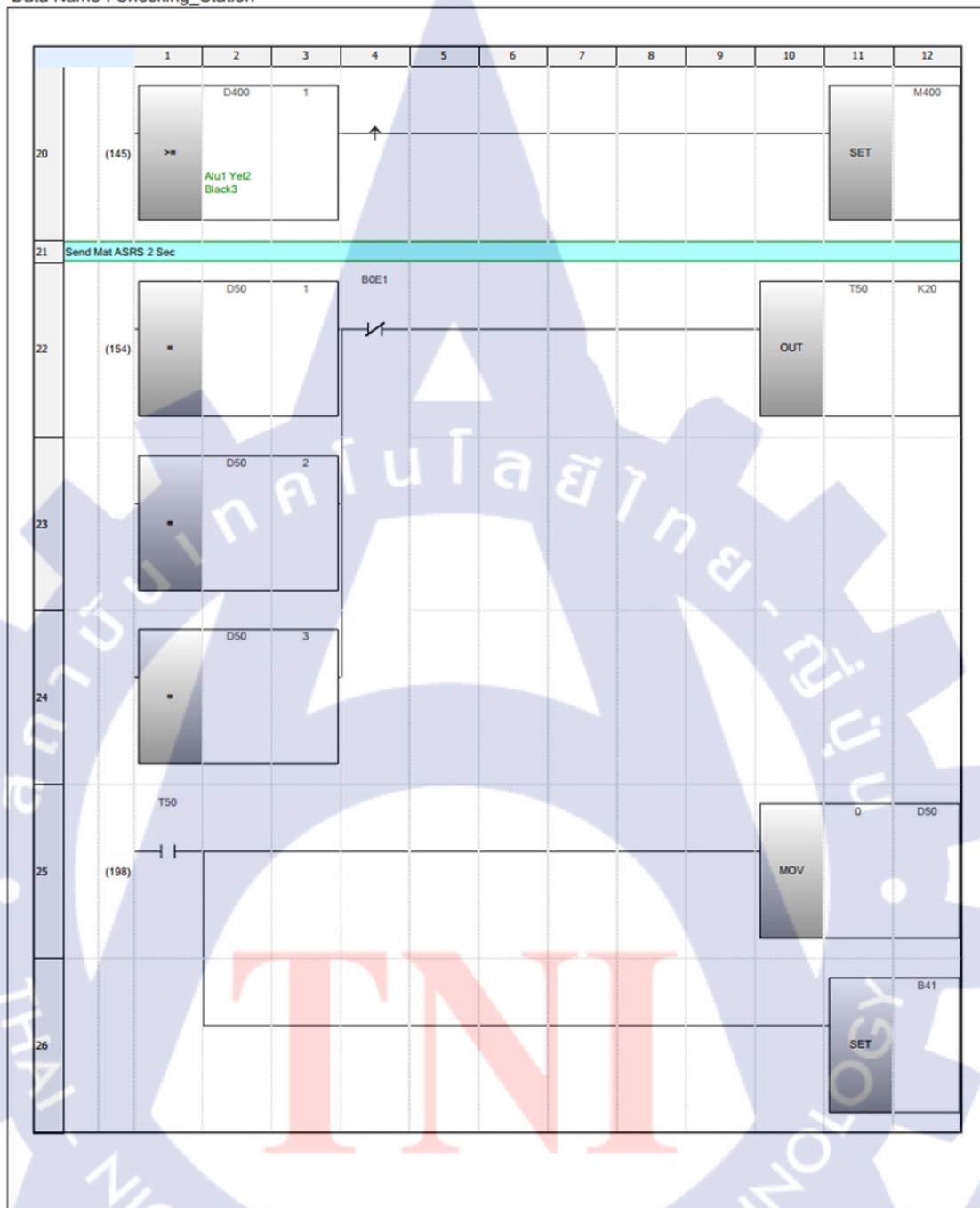
Ladder  
Data Name : Checking\_Station

10/21/2024



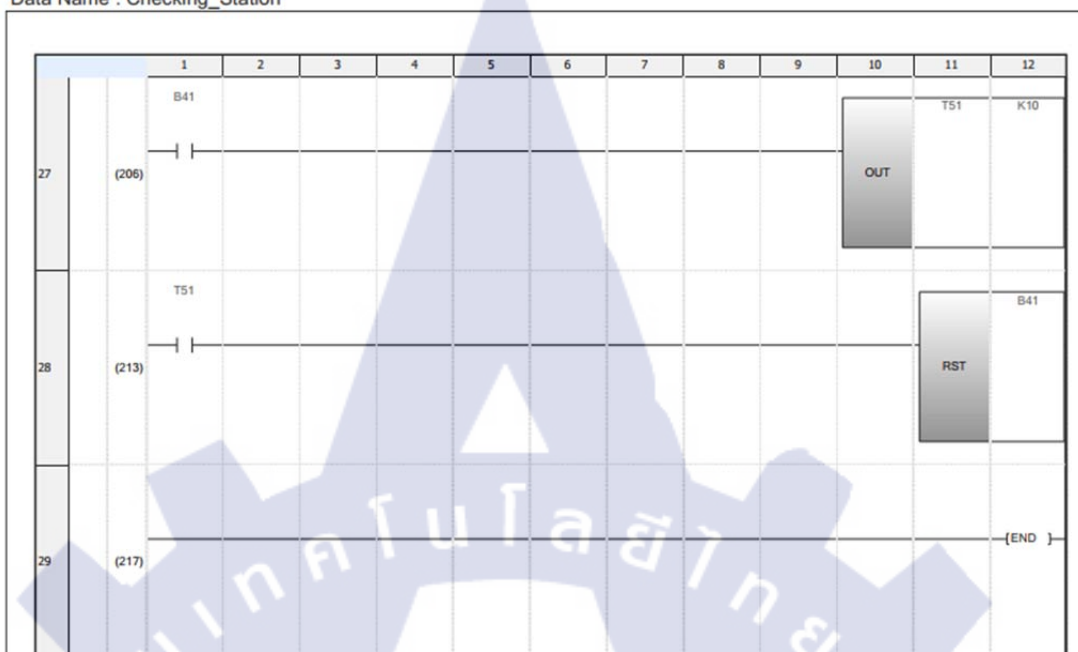
Ladder  
Data Name : Checking\_Station

10/21/2024



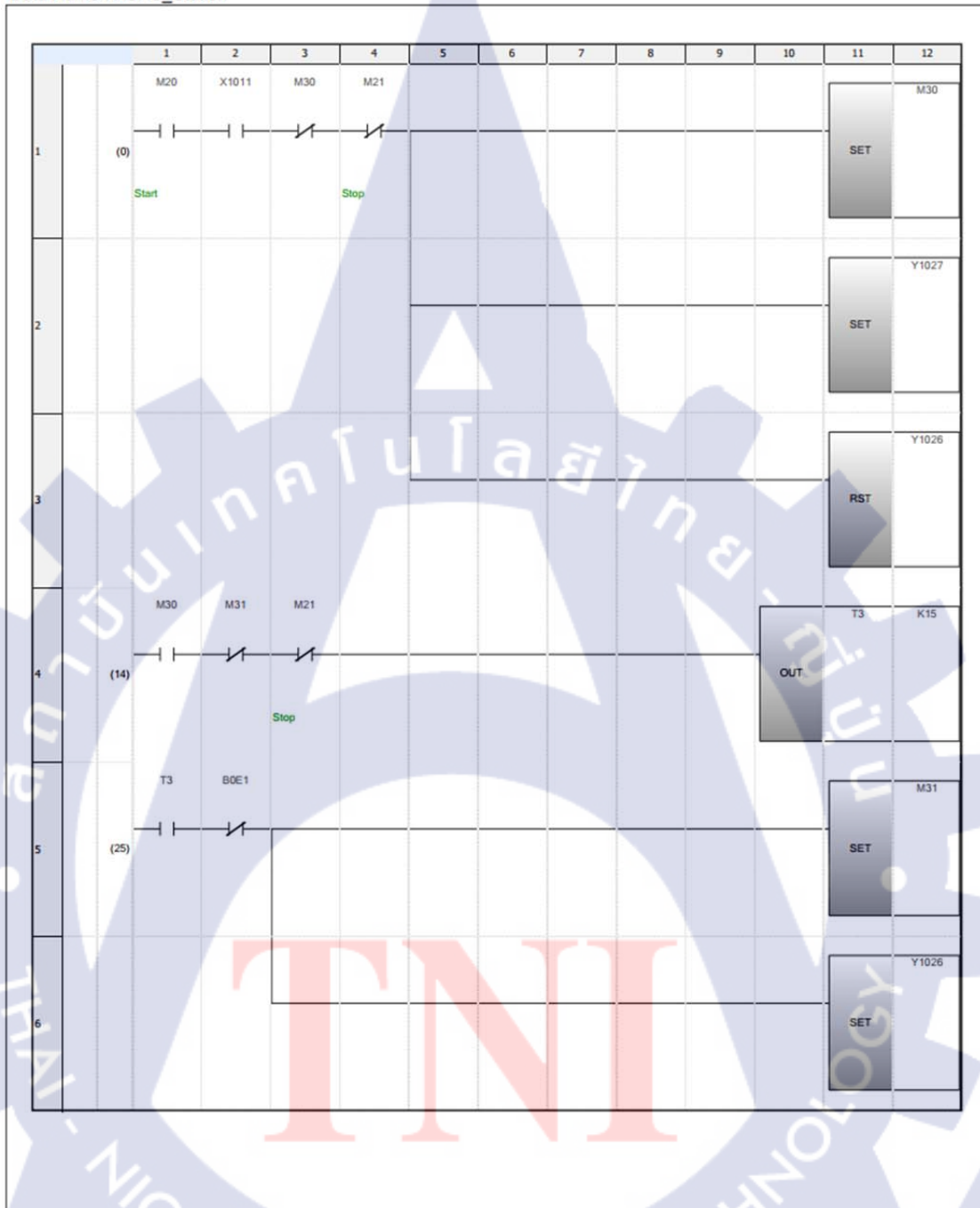
Ladder  
Data Name : Checking\_Station

10/21/2024



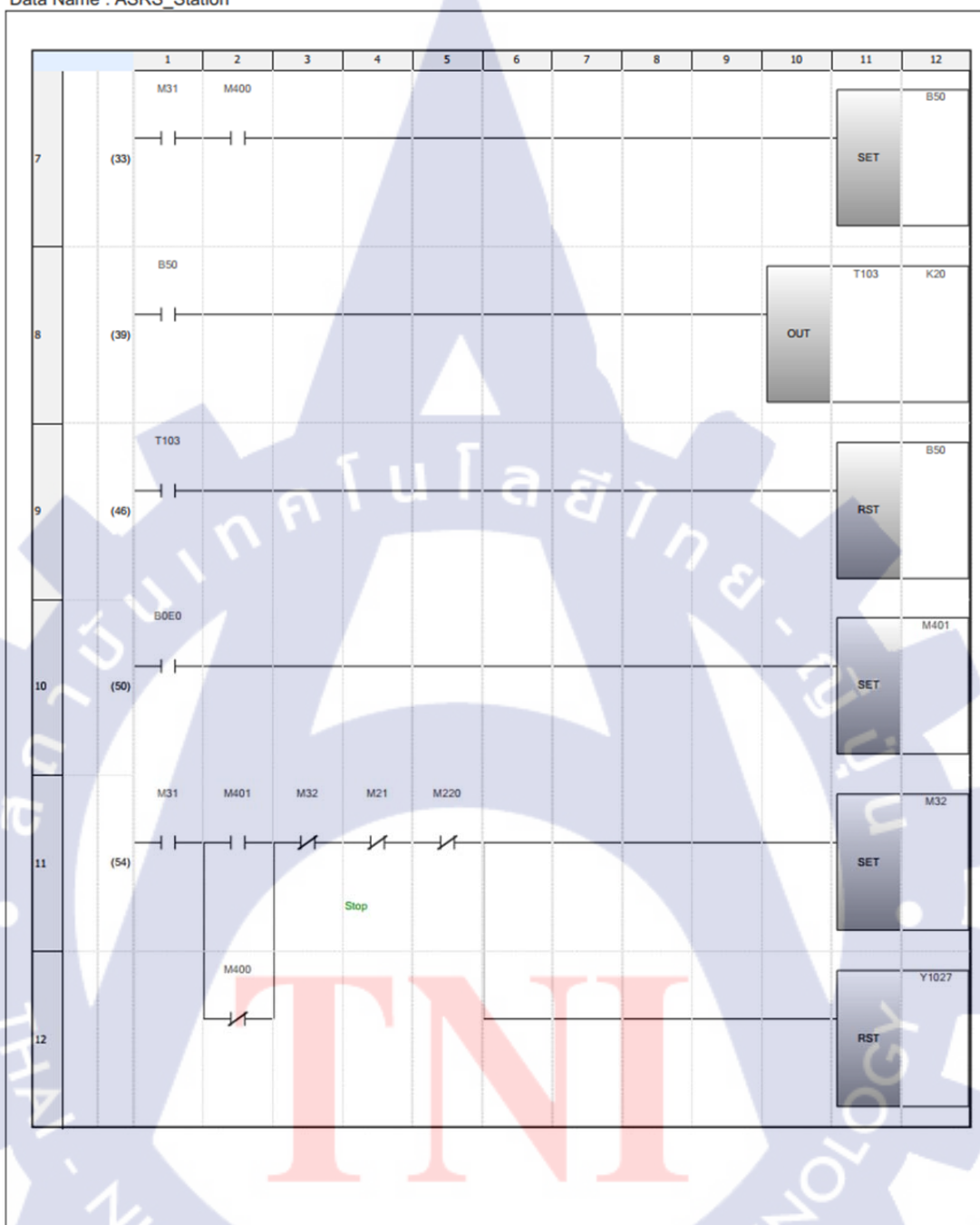
Ladder  
Data Name : ASRS\_Station

10/21/2024



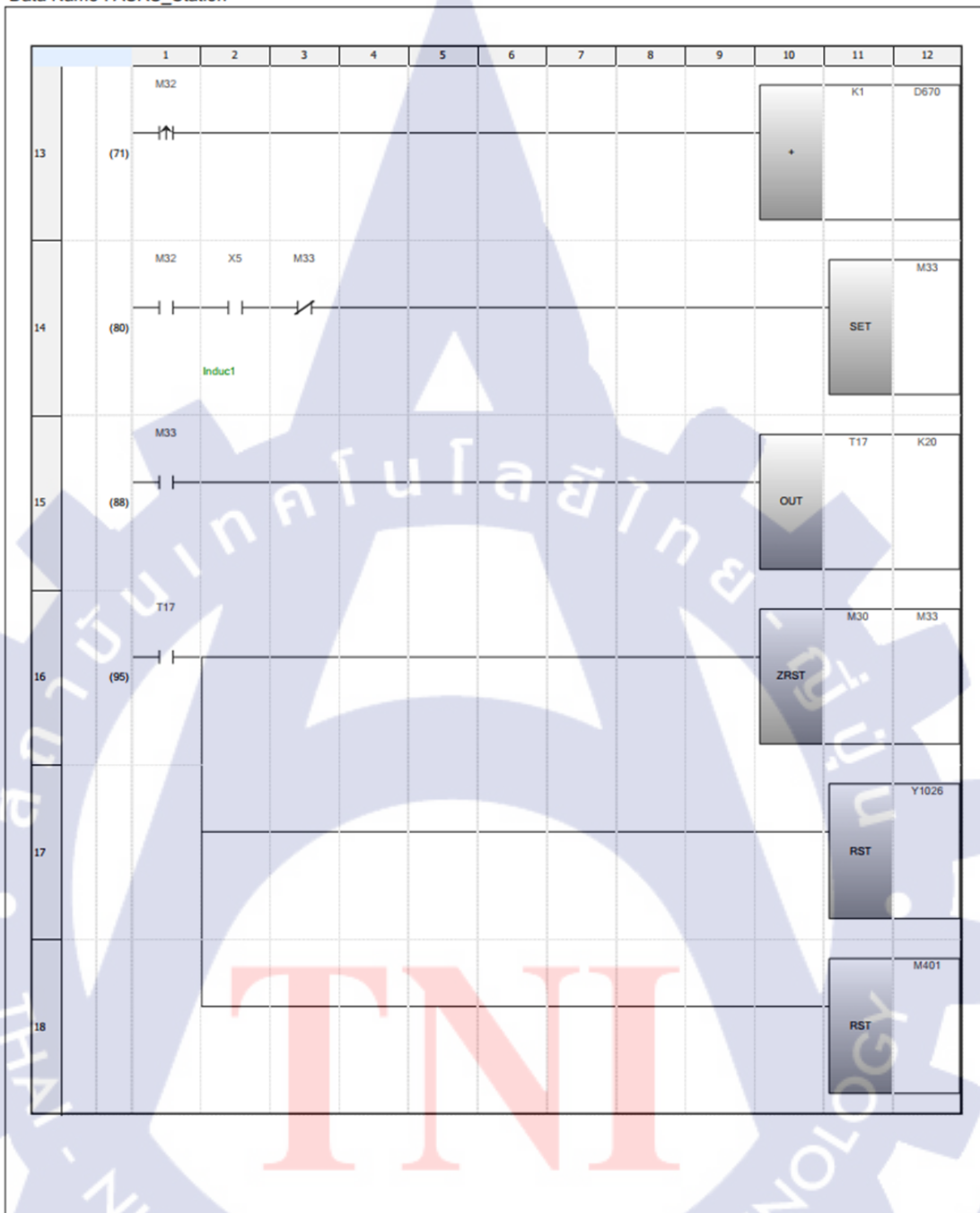
Ladder  
Data Name : ASRS\_Station

10/21/2024



Ladder  
Data Name : ASRS\_Station

10/21/2024



Ladder  
Data Name : ASRS\_Station

10/21/2024

|    |       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12     |
|----|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|--------|
| 19 | (105) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    | {END } |