

แนวทางการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติ Guidelines For Designing Machine In Automation

นายศิวดล คลังดงเค็ง, นางสาวชมพูนุท ศิริกุลพิสุทธิ์ และ ผศ.สาท คำมูล
หลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และอัตโนมัติ (แขนงวิชาอัตโนมัติ)
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

Siwadon Klangdongkeng ,Chompoonut Sirikulpisut and Asst. Prof. Sart Kummool
Mechatronics and Automation Engineering Program (Major of Automation)
Department of Instrumentation and Control Engineering, School of Engineering, KMITL

บทคัดย่อ

การนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในอุตสาหกรรมนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเครื่องจักรอัตโนมัติสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้ในระยะยาว อีกทั้งยังมีความสม่ำเสมอในการทำงาน จากข้อความข้างต้น คณะผู้จัดทำจึงได้ให้ความสำคัญของการออกแบบเครื่องจักรอัตโนมัติ จึงต้องการที่จะนำเสนอองค์ความรู้ที่จำเป็นในการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติและนำเสนอแนวทางการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติ สำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ในการออกแบบเครื่องจักรมาก่อน โดยในบทความนี้จะประกอบไปด้วยองค์ความรู้ที่จำเป็นในการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติ และสุดท้ายจะเป็นการนำเสนอแนวคิดและองค์ความรู้ทั้งหมดนั้น สร้างออกเป็นเฟรมเวิร์กซึ่งมีอยู่ 3 ชุด เฟรมเวิร์กโดยชุดแรกเป็นชุดคำถามที่ทำให้มองเห็นภาพรวมโดยคร่าวๆของเครื่องจักร เฟรมเวิร์กชุดที่สองเป็นชุดคำถามที่ทำให้สามารถมองเห็นหรือสามารถกำหนดรายละเอียดต่างๆของเครื่องจักร เฟรมเวิร์กชุดที่สามจะเป็นแนวคิดหรือไอเดียต่างๆในการปรับปรุงเครื่องจักรให้ดีขึ้น

คำสำคัญ: แนวทางการออกแบบเครื่องจักร , การออกแบบเครื่องจักรอัตโนมัติ , เฟรมเวิร์กการออกแบบเครื่องจักร

Abstract

The implementation of automation systems in the industrial sector is of paramount importance. This is because automated machines can significantly reduce production costs in the long run and provide consistent work performance. Recognizing the importance of automated machine design, the authors of this paper aim to present essential knowledge and guidelines for designing automated machines for those without prior experience in machine design. This article covers the necessary knowledge for automated machine design and culminates in the creation of three frameworks based on the presented concepts and knowledge. The first framework consists of a set of questions that provide a general overview of the machine. The second framework allows for the identification and specification of various machine details. Finally, the third framework presents various ideas and concepts for improving machine performance.

Keyword : Guidelines For Designing Machine, Designing Machine In Automation, Machine Design Frameworks

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการนำระบบอัตโนมัติมาใช้ในอุตสาหกรรมนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่ง หลายๆโรงงานในภาคอุตสาหกรรมมีการนำเครื่องจักรอัตโนมัติมาใช้ในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยอ้างอิงจากหน่วยติดตามประเมินผลมาตรการเศรษฐกิจฐานราก ส่วนเศรษฐกิจฐานรากศูนย์วิจัยธนาคารออมสินที่กล่าวว่า “ในช่วงปี 2557-2561 ประเทศไทยมีการนำเข้าเครื่องจักรและหุ่นยนต์อุตสาหกรรมที่ระดับ 3,376,701 ล้านบาท เพิ่มขึ้น 97,936 ล้านบาท จากช่วงปี 2552-2556 ที่มีการนำเข้าทั้งสิ้น 3,078,765 ล้านบาท หรือขยายตัว 9.67%” จากข้อความนี้ทำให้สามารถคาดการณ์ถึงแนวโน้มของการนำเครื่องจักรมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมที่จะเพิ่มมากขึ้นอีกในอนาคต เนื่องจากเครื่องจักรสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้ในระยะยาว เพราะเครื่องจักรนั้นไม่มีค่าใช้จ่ายแอบแฝง อีกทั้งยังใช้งานมาก ต้นทุนในการผลิตก็ยิ่งต่ำลงและมีความสม่ำเสมอในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้ตลอดเวลา จึงเป็นสาเหตุให้เครื่องจักรในระบบอัตโนมัติกลายมาเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่จะขับเคลื่อนความก้าวหน้าในภาคอุตสาหกรรมในอนาคต

จากข้อความข้างต้นผู้จัดทำจึงได้เห็นความสำคัญของเครื่องจักรอัตโนมัติ แต่ขั้นตอนแรกและสำคัญที่สุดในการนำเครื่องจักรอัตโนมัติมาในโรงงานนั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบเครื่องจักรอัตโนมัติขึ้นมาก่อน ในรายงานฉบับนี้จะนำเสนอแนวทางในการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติ สำหรับผู้ที่ไม่มีประสบการณ์ในการออกแบบเครื่องจักรมาก่อน ให้ความรู้และแนวคิดในการออกแบบเครื่องจักร และสามารถนำแนวทางนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อการออกแบบเครื่องจักรใหม่ๆได้ในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำเสนอองค์ความรู้ที่จำเป็นในการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติ
2. เพื่อนำเสนอแนวทางการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติ

1.3 ขอบเขตของงาน

1. ในบทความนี้จะนำเสนอเพียงแนวคิดหรือวิธีการคิดในการออกแบบเครื่องจักรและเนื้อหาที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ไม่ได้นำเสนอถึงขั้นตอนหรือกระบวนการออกแบบเครื่องจักรจริงๆ
2. แนวคิดทั้งหมดในบทความนี้ เป็นแนวคิดสำหรับการออกแบบเครื่องจักรในงาน Factory Automation เท่านั้น
3. เนื้อหาและแนวคิดที่ได้กล่าวไปในบทความนี้ เป็นเนื้อหาและแนวคิดที่เหมาะสมสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ในการออกแบบเครื่องจักรมาก่อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผู้อ่านจะได้รับความรู้ต่างๆที่จำเป็นในการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติ
2. ผู้อ่านโดยเฉพาะผู้ที่ไม่มีประสบการณ์ในการออกแบบเครื่องจักรมาก่อน จะได้แนวทางการออกแบบเครื่องจักร ซึ่งเป็นขั้นตอนและวิธีคิด รวมถึงไอเดียต่างๆในการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติ

2. แนวทางการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติ

โตเมชัน

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอแนวคิดหลักการและขั้นตอนต่างๆในการออกแบบเครื่องจักรในระบบอัตโนมัติ เพื่อให้เป็นแนวทางสำหรับผู้เริ่มต้นออกแบบเครื่องจักร โดยวิธีการออกแบบเครื่องจักรมีขั้นตอนเป็นดังนี้

2.1 กำหนดวัตถุประสงค์และข้อกำหนด

การกำหนดวัตถุประสงค์และข้อกำหนดการทำงานของเครื่องจักร เป็นการระบุสิ่งที่เครื่องจักรควรทำได้ และข้อจำกัดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลเหล่านี้เป็นขั้นตอนแรก และเป็นขั้นตอนสำคัญในการออกแบบ โดยทั่วไปข้อมูลพวกนี้จะถูกกำหนดไว้ในความต้องการ(Requirement) แล้ว แต่กรณีที่มีข้อมูลไม่ได้ถูกกำหนดไว้ในความต้องการก็มีแนวทางการกำหนดวัตถุประสงค์และข้อกำหนดเป็นดังนี้

1) กำหนดฟังก์ชันการทำงาน

เป็นการระบุว่าเครื่องจักรนี้จะทำอะไร อธิบายงานหลักและงานรอง ระบุประเภทของงาน เช่น การขึ้นรูป การตัด การเจียรระโน ฯลฯ ระบุรายละเอียดของงาน เช่น ขนาด รูปร่าง วัสดุ ฯลฯ กำหนดลักษณะการทำงานของเครื่องจักรว่าเป็นแบบ Semi-Automated หรือ Fully Automated

2) กำหนดลักษณะภายนอกของเครื่องจักร

เป็นการระบุลักษณะของเครื่องจักรได้แก่ ขนาด ความเร็ว แรง น้ำหนัก ระบุวัสดุที่จะใช้สำหรับโครงสร้าง ชิ้นส่วนต่างๆพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ความแข็งแรง ความทนทาน การกัดกร่อน เป็นต้น

3) กำหนดความต้องการเฉพาะของเครื่องจักร

เป็นการระบุเป็นความต้องการเฉพาะของเครื่องจักรได้แก่ ความถูกต้องของงาน ความแม่นยำ Cycle Time จำนวนชิ้นงานต่อชั่วโมง หรือฟังก์ชันการทำงานของเครื่องจักร

4) งบประมาณและเวลา

ระบุงบประมาณสำหรับการออกแบบและสร้างเครื่องจักร ระบุระยะเวลาที่ต้องการ

2.2 การเลือกแอกชูเอเตอร์

แอกชูเอเตอร์ (Actuator) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนกลไกต่างๆ ในระบบอัตโนมัติ เพื่อควบคุมให้เครื่องจักรทำงานได้ตามจุดประสงค์ ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้เครื่องจักรทำงานได้ตรงกับวัตถุประสงค์ของงาน จึงต้องเลือกแอกชูเอเตอร์ให้เหมาะสม ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และความปลอดภัยของเครื่องจักร

ปัจจัยหลักก่อนเลือกแอกชูเอเตอร์ คือต้องระบุจุดประสงค์ของเครื่องจักรให้ได้ก่อนว่าต้องการเครื่องจักรอะไร จากนั้นจึงเลือกแอกชูเอเตอร์ ต่อมาก็เลือกประเภทของแอกชูเอเตอร์

ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรมีจุดประสงค์คือต้องการหยิบชิ้นงานจากจุด A ไปที่จุด B จากนั้นก็กำหนดต่ออีกว่าจะหยิบชิ้นงานเคลื่อนที่แบบใด สมมุติเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง จากนั้นจึงเลือกแอกชูเอเตอร์ที่เคลื่อนที่แบบเส้นตรง ต่อมาก็เลือกประเภทของแอกชูเอเตอร์ว่าจะใช้ประเภทอะไร ได้แก่ ไฟฟ้า ไฮดรอลิก หรือนิวแมติกส์

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเลือกแอกชูเอเตอร์ ได้แก่

- 1) จุดประสงค์ของเครื่องจักร
- 2) ประเภทของการเคลื่อนที่
- 3) ระยะการเคลื่อนที่
- 4) แรงที่ต้องการ
- 5) ความเร็วที่ต้องการ
- 6) ความแม่นยำที่ต้องการ
- 7) สภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง
- 8) ราคาของแอกชูเอเตอร์

9) ขนาด น้ำหนัก และพื้นที่ติดตั้ง

ประเภทของแอคชูเอเตอร์

- 1) แอคชูเอเตอร์ประเภทไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง/กระแสสลับ, สเต็ปเปอร์มอเตอร์, มอเตอร์เซอร์โว
- 2) แอคชูเอเตอร์ประเภทไฮดรอลิก
- 3) แอคชูเอเตอร์ประเภทนิวแมติกส์

2.3 ออกแบบระบบควบคุม

ระบบควบคุมเป็นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องจักรอัตโนมัติ เพราะเป็นการใช้เทคโนโลยีและโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานของระบบหรืออุปกรณ์ให้ทำงานตามคำสั่งให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ มักใช้เซ็นเซอร์เพื่อรับข้อมูลต่าง ๆ จากนั้นนำไปประมวลผลข้อมูลเหล่านั้นเพื่อตัดสินใจหรือสร้างคำสั่งที่เหมาะสมให้กับระบบหรืออุปกรณ์นั้น ๆ

ระบบควบคุมประกอบด้วย

- 1) เซนเซอร์ (Sensors)
- 2) แอคชูเอเตอร์ (Actuator)
- 3) อุปกรณ์ควบคุม (Controller)
- 4) อัลกอริทึม (Algorithm)

หลักการและขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุม

1) **เลือกเซนเซอร์** มีหลักการคือการวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของเครื่องจักร จากนั้นเลือกเซนเซอร์ที่เหมาะสมกับงาน ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรมีจุดประสงค์คือต้องการหยุดชิ้นงานจากจุด A ไปที่จุด B ดังนั้นเซนเซอร์ที่ใช้ก็จะเป็นเซนเซอร์ที่สามารถตรวจเช็คได้ว่าชิ้นงานอยู่ที่จุด A หรือ B หรือยัง ในที่นี้อาจจะเลือกใช้เป็น Proximity Sensor จากนั้นก็เลือกความละเอียดหรือระยะของเซนเซอร์

2) **เลือกแอคชูเอเตอร์** มีหลักการตามที่กล่าวไปในหัวข้อที่ 2.2 การเลือกแอคชูเอเตอร์

3) **เลือกอุปกรณ์ควบคุม** โดยอุปกรณ์ควบคุมที่นิยมใช้ในโรงงาน Factory Automation นั้นคือ พีแอลซี (PLC) โดยที่ พีแอลซี (Programmable Logic Controller) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมและจัดการกระบวนการต่างๆในระบบอุตสาหกรรม มีจุดเด่นคือมีความทนทานต่อการทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีความร้อน ความชื้น และสั่นไหวไฟฟ้าสูง มีความน่าเชื่อถือ และสามารถโปรแกรมเพื่อควบคุมได้

การเลือกพีแอลซีมีหลักการคือ

- 3.1) ประเภทของอินพุตและเอาต์พุต
- 3.2) จำนวนของอินพุตและเอาต์พุต
- 3.3) ความจุของหน่วยความจำ
- 3.4) ต้องการในการเพิ่มจำนวนอินพุตและเอาต์พุตในอนาคตหรือไม่

4) **ออกแบบระบบไฟฟ้า** มีหลักการคือเข้าใจชนิดและการเดินสายไฟฟ้าของเซนเซอร์ แอคชูเอเตอร์ และอุปกรณ์ควบคุม ทุกอุปกรณ์ และเดินสายไฟฟ้าให้ถูกต้องตามที่คู่มือของอุปกรณ์นั้นได้ระบุไว้ นอกจากนี้ในกรณีที่แอคชูเอเตอร์ที่มีกำลังไฟฟ้าสูง จะต้องมีการคำนวณกำลังไฟฟ้าของทั้งระบบด้วย



รูปที่ 1 ตัวอย่างการออกแบบระบบไฟฟ้า

5) ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการทำงานของเครื่องจักร

6) ปรับปรุงแก้ไขหรือเพิ่มฟังก์ชันเข้าไป เช่นปรับปรุงให้ใช้งบประมาณน้อยลง หรือใส่อุปกรณ์ต่างๆเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของเครื่องจักรให้มากขึ้น

2.4 ออกแบบโครงสร้างของเครื่องจักร

โครงสร้างเป็นส่วนประกอบหลักของเครื่องจักร ทำหน้าที่รองรับชิ้นส่วนต่างๆ และรับแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน การออกแบบโครงสร้างที่ดี จะช่วยให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม่นยำ และปลอดภัย

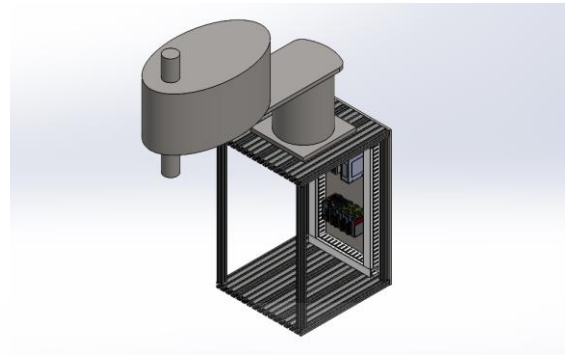
ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง

1) กำหนดขนาดและรูปแบบโครงสร้าง ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเลือกรูปแบบโครงสร้างที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยทั่วไปจะนิยมใช้เป็นโครงสร้างแบบเฟรม (Frame Structure) เพราะง่ายต่อการออกแบบแต่ก็ยังมีความแข็งแรง โดยขนาดความสูงและกว้างของเครื่องจักรจะออกแบบตามความต้องการที่ถูกกำหนดไว้



รูปที่ 2 ลักษณะโครงสร้างแบบเฟรม

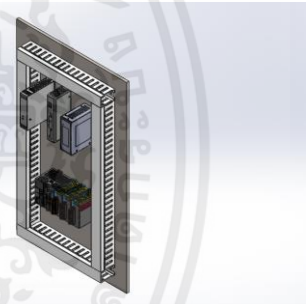
2) จัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ อันประกอบด้วย



รูปที่ 3 ตัวอย่างการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ

1) ส่วนเครื่องจักรหลัก เป็นส่วนที่ทำหน้าที่หลักของเครื่องจักร

2) ระบบควบคุม เป็นส่วนที่ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับควบคุมต่างๆ



รูปที่ 4 ตัวอย่างการออกแบบระบบควบคุม

3) เลือกวัสดุแต่ละชิ้นส่วนที่ให้สอดคล้องกับการออกแบบของเครื่องจักร เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานและรับแรงกระทำต่าง ๆ อย่างเหมาะสม

4) วิเคราะห์แรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆของเครื่องจักร เมื่อออกแบบโครงสร้างเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนจะเป็นการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อส่วนต่างๆของเครื่องจักร มีวิธีการที่หลากหลาย แต่ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบัน สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์แรงกระทำต่อส่วนต่างๆของเครื่องจักรได้

5) ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไข โดยทั่วไปการ ออกแบบเครื่องจักรจำเป็นต้องปรับแก้เป็นปกติ ทั้งนี้ก็ เพื่อให้เครื่องจักรที่ออกแบบมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

หลักการในออกแบบโครงสร้าง

- 1) มีความแข็งแรง
- 2) มีความปลอดภัย
- 3) ง่ายต่อการบำรุงรักษา
- 4) ใช้งบประมาณให้น้อยที่สุด

2.5 หาข้อผิดพลาดและปรับปรุงแก้ไข

การหาข้อผิดพลาดและแก้ไข เป็นการตรวจสอบว่า เครื่องจักรที่ได้ออกแบบเป็นไปตามความต้องการ (Requirement) หรือไม่ และเพื่อหาข้อบกพร่อง เพื่อที่จะ ได้แก้ไขและปรับแต่งเครื่องจักรให้ทำงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพ

3. สรุปผล

ในหัวข้อนี้ จะเป็นการสรุปแนวคิดทั้งหมดที่ได้กล่าวไป สร้างออกมาเป็นเฟรมเวิร์ก (framework) ขึ้นมา โดยมี จุดประสงค์คือถ้าต้องออกแบบเครื่องจักรเพื่อนำไปใช้งาน ในอัตโนมัติเช่น หากออกแบบตามแนวคิดดังต่อไปนี้ จะ สามารถออกแบบโครงร่างเครื่องจักรออกมาได้

เฟรมเวิร์กในการออกแบบนี้จะเป็นชุดคำถาม โดย มี ทั้งหมด 3 ชุด ชุดแรกเป็นชุดคำถามที่ทำให้มองเห็น ภาพรวมโดยคร่าวๆของเครื่องจักร มีคำถามคือ

1. เครื่องจักรทำหน้าที่อะไร หรือจุดประสงค์ในการ ออกแบบเครื่องจักรคืออะไร
2. เครื่องจักรมีการอินพุตอะไรเข้าไปและเอาพุตอะไร ออกมา
3. ใช้แอกชูเอเตอร์อะไรบ้าง
4. ใช้เซนเซอร์อะไรบ้าง
5. ใช้อุปกรณ์ควบคุมเป็นอะไร มีลักษณะจำเพาะเป็น แบบใด
6. เครื่องจักรมีลำดับการทำงานเป็นอย่างไร

เมื่อตอบคำถามตามเฟรมเวิร์กชุดแรกเรียบร้อยแล้ว จากนั้นจะเป็นเฟรมเวิร์กชุดที่สอง เป็นชุดคำถามที่ทำให้ สามารถมองเห็นหรือสามารถกำหนดรายละเอียดต่างๆ ของเครื่องจักร มีคำถามคือ

1. ลักษณะโครงสร้างของเครื่องจักรเป็นแบบใด
2. ขนาดของเครื่องเป็นเท่าใด
3. แต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้างใช้วัสดุอะไร
4. ตำแหน่งของแอกชูเอเตอร์และเซนเซอร์จะอยู่ตรง ส่วนไหนของเครื่องจักร
5. จะเจาะรูสำหรับยึดสกรูไว้ตรงไหนบ้าง ใช้ขนาดรู สกรูเท่าไร และส่วนที่ยึดกันสามารถรับน้ำหนักได้ ไหม

เฟรมเวิร์กชุดที่สามจะเป็นแนวคิดหรือไอเดียต่างๆใน การปรับปรุงเครื่องจักรให้ดีขึ้น มีหลักการปรับปรุงดังนี้

1. การปรับตำแหน่งของแอกชูเอเตอร์และเซนเซอร์ หรือการสร้างรูเพิ่มบนโครงของเครื่องจักรเพื่อให้ สามารถ เดินสายไฟได้ง่ายมากขึ้น
2. การออกแบบให้สามารถบำรุงรักษาได้ง่ายขึ้น โดย คำนึงถึงตำแหน่งหรือวิธีในการเปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆ ว่า สามารถทำได้ในความเป็นจริงหรือไม่ โดยปรับปรุง ส่วนเหล่านี้ให้สามารถทำได้ง่ายมากขึ้น
3. หากจุดที่อาจจะเป็นอันตราย จากนั้นก็ออกแบบให้มี ความปลอดภัยมากขึ้นเช่น การนำเพิ่มม่านแสงนิรภัย (Safety Light Curtain) หรือการติดแผ่นกัน เป็นต้น
4. ปรับปรุงส่วนต่างๆที่สามารถทำให้ใช้ค่าใช้จ่า ยน้อยลงได้ โดยที่ยังคงฟังก์ชันของส่วนนั้นๆไว้อยู่ และ ยังมีความปลอดภัย

หลักจากใช้เฟรมเวิร์กเรียบร้อยแล้ว อาจจะยังไม่ ได้ รูปร่างของเครื่องจักรตั้งแต่ครั้งแรก อาจจะต้องมีการใช้ เฟรมเวิร์กซ้ำๆ แล้วปรับปรุงแก้ไขแบบของเครื่องจักรไปเรื่อยๆ จะกระทั่งสามารถออกแบบเครื่องจักรที่ตรงกับ วัตถุประสงค์ในการออกแบบได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jullakarn (Ham) Ittirattana, “การออกแบบโครงสร้างเครื่องจักร การเคลื่อนที่และกลไกที่เกี่ยวข้อง,” [ออนไลน์]. Available: <https://misumitechnical.com/technical/mechanical/machine-structure-design-actuator/>. [เข้าถึงเมื่อ: 10 กุมภาพันธ์ 2567].
- [2] EDL Robotics, “ออกแบบเครื่องจักรกล (Machine Design),” [ออนไลน์]. Available: <https://automation-machine.blogspot.com/2017/02/1.html>. [เข้าถึงเมื่อ: 10 กุมภาพันธ์ 2567].
- [3] อธิพิล วรพันธ์, “การออกแบบเครื่องจักรกล,” [ออนไลน์]. Available: <https://anyflip.com/ksrxo/gsj0/basic>. [เข้าถึงเมื่อ: 11 กุมภาพันธ์ 2567].
- [4] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, “Automation Machine Structure Design,” [ออนไลน์]. Available: <https://beta.sut.ac.th/ie-mae/นักศึกษา-ศิษย์เก่า/เอกสารประกอบการเรียนกา/automation-machine-structure-design>. [เข้าถึงเมื่อ: 11 กุมภาพันธ์ 2567]