SWU Engineering Journal (2016) 11(2), 1-13
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ.2559

ระเบียบวิธีการเพื่อการออกแบบชุดอุปกรณ์เสริมสำหรับเครื่องจักรอัตโนมัติ: กรณีศึกษาโมดูลหยิบจับชิ้นงานของเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์

A Methodology to Designing of an Add-on Module for Automatic Machine: Case Study Gripper Module of CNC Machining Center

ทศพร อัศวรังษี* ณัฐวุฒิ จันทร์ทอง
ศูนย์วิจัยระบบการผลิตแบบรวม ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
*Corresponding author: E-mail: tossaporn.as@gmail.com

บทคัดย่อ

ในกระบวนการผลิตที่ดำเนินการผลิตด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ (Automatic Machine) มักพบปัญหาที่เกิดขึ้นจากทำงานร่วมกันระหว่างคนและเครื่องจักร สาเหตุมาจากช่วงเวลาในการขึ้นรูปที่ส่งผลให้พนักงานต้องรอปฏิบัติงานหน้าเครื่องจักร ในขณะเดียวกันยังเกิดผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต และจำนวนพนักงานเมื่อต้องการผลผลิตสูง ดังนั้นเพื่อเพิ่มขีดความสามารถให้กับเครื่องและขจัดสาเหตุดังกล่าว งานวิจัยนี้นำเสนอระเบียบวิธีการในการออกแบบชุดอุปกรณ์เสริมสำหรับเครื่องจักรอัตโนมัติ ใช้การศึกษาการทำงานในการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานและการออกแบบทางวิศวกรรมเชิงระบบ (Engineering Design: A Systematic Approach) ในการออกแบบชุดหยิบจับชิ้นงาน (Gripper Module) ใช้งานร่วมกับเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ (CNC Machining Center) โดยใช้กรณีศึกษาจากอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องจักร ผลการออกแบบพบว่าสามารถลดการทำงานของพนักงาน 14.06 % และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับเครื่องจักร 15.86 %

คำสำคัญ: การออกแบบทางวิศวกรรมเชิงระบบ ชุดหยิบจับชิ้นงาน เครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์

ABSTRACT

Work integration problem between man and machine frequently can be found in manufacturing process with an automatic machine which is caused from man's waiting time. This also affects production cost and number of staffs when the demand is high. In order to increase machine's capacity and eliminate time problem, this research purposes a supporting module design method for automatic machine by analyzing work procedure and Engineering Design: A Systematic Approach, therefore, a case study of gripper module for CNC machining center is designed. The result shows that the work procedure of staff is reduced by 14.06 % and the machine's capacity is higher to 15.86 %

Keyword: Engineering Design, Systematic Approach, Gripper Module CNC Machining Center

1. บทนำ

ในงานด้านวิศวกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ วิศวกรและนักออกแบบต้องจัดการกับความต้องการ หน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์ รูปแบบหรือลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์ จำนวนชิ้นส่วนประกอบที่ต้องเชื่อมต่อเข้าด้วยกันและ

เทคโนโลยีที่ใช้ เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับที่มา ความต้องการ และวัตถุประสงค์ของตัวผู้ออกแบบ ตลอดจนกระบวนการออกแบบนั้นมีวิธีการ เทคนิคขั้นตอนมากมายที่เข้ามามีส่วนช่วยในการออกแบบให้ผลที่ได้ตอบรับกับความต้องการ เพื่อไม่ให้เกิดความซับซ้อนในระหว่างกระบวนการออกแบบที่อาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ [1] แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการทำความเข้าใจความต้องการและกำหนดหน้าที่การทำงาน (Functional) ของสิ่งที่ต้องการออกแบบให้ชัดเจน เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาแนวทางการออกแบบได้อย่างถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามการจัดการและการทำความเข้าใจกับปัญหาเพื่อให้ได้ผลการออกแบบที่มีคุณภาพตรงต่อวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้นำเสนอระเบียบวิธีการออกแบบทางวิศวกรรมเชิงระบบ (Engineering Design: A Systematic Approach) ซึ่งเป็นเทคนิคในการออกแบบเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ ดังที่จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2 และนำไปประยุกต์ใช้ให้สอดคล้องกับกรณีศึกษาดังหัวที่ 3 และ 4

กรณีศึกษาจากอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วน ที่ผลิตโดยใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC Machining Center) มีกระบวนการหลักในการทำงาน 3 กระบวนการ ได้แก่ การป้อนชิ้นงาน (พนักงาน), การขึ้นรูป (เครื่องจักร) และการนำชิ้นงานสำเร็จออก (พนักงาน) ลักษณะการทำงานแบบนี้จำเป็นต้องมีพนักงานควบคุม เพื่อทำงานร่วมกับเครื่องจักร โดยการป้อน (Loading) และนำชิ้นงานออก (Unloading) ขั้นตอนการทำงานในลักษณะนี้มีเวลาสูญเสียเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากเครื่องจักรต้องรอพนักงานหยิบชิ้นงานป้อนเข้าและนำออกเป็นเวลานาน อีกทั้งยังทำให้พนักงานต้องรอปฏิบัติงานกับเครื่องจักร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรให้มีความสามารถในการทำงานได้อย่างต่อเนื่องและเพิ่มอัตราการเดินเครื่องจักรให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้น ด้วยการออกแบบการทำงานร่วมกับเครื่องจักร มุ่งเน้นที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาอุปกรณ์เสริมเพื่อใช้กับเครื่องจักร ด้วยการออกแบบและพัฒนาโมดูลหยิบจับชิ้นงาน ซึ่งสามารถทำได้หลากหลายวิธี จากการศึกษาพบว่า [2] ได้ออกแบบกริปเปอร์นิวแมติกส์ (Pneumatic Gripper) ที่ใช้ร่วมกับเครื่องจักร ให้มีลักษณะคล้ายกับทูลสำหรับใช้งานกับเครื่อง จัดเก็บในแม็กกาซีนทูลได้ สามารถทำงานได้ตามโปรแกรมควบคุม หยิบและหมุนกลับฝั่งชิ้นงานที่มีลักษณะเฉพาะที่เป็นทรงกระบอก แต่ระบบนิวแมติกส์จำเป็นที่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเข้ากับเครื่อง ทำให้เกิดความยุ่งยากและซับซ้อนมากขึ้น ในทางกลับกันจะทำให้สามารถหยิบชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้ง [3] นำเสนอกริปเปอร์สำหรับหยิบจับชิ้นงานเฉพาะรูปทรงสี่เหลี่ยม ทำงานร่วมกับเครื่องจักร โดยใช้สปริงเป็นกลไกหลักในการทำงาน ชิ้นส่วนทำมาจากวัสดุอะลูมิเนียม มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบที่มีต้นทุนต่ำ ลดเวลาหยุดทำงานของเครื่อง หรือแม้กระทั่งการนำหุ่นยนต์เข้ามาช่วยในการหยิบป้อนชิ้นงาน วิธีการดังที่กล่าวมาทำให้มีปัจจัยอื่นเพิ่มขึ้น ทั้งในด้านของความยุ่งยากซับซ้อนในการประกอบร่วมกับเครื่องจักร รวมไปถึงในด้านของต้นทุน ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญหลักสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการออกแบบชุดอุปกรณ์เสริมดังกล่าว ให้สามารถทำงานร่วมกับเครื่องจักรเดิมที่มีอยู่ได้ โดยชุดอุปกรณ์ดังกล่าวใช้งานได้ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อนเมื่อติดตั้งใช้งานกับเครื่องจักร จึงได้มุ่งเน้นไปที่การใช้ระบบกลไก (Mechanism System) ในการจับชิ้นงานป้อนเข้าและนำออกเพียงอย่างเดียว

2. ระเบียบวิธีการออกแบบทางวิศวกรรมเชิงระบบ (Engineering Design :A Systematic Design Approach)

การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design) เป็นกระบวนการที่ประยุกต์ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์และแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมศาสตร์ให้เข้ากับความต้องการ ปัญหาที่พบ หรือความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ของผู้ออกแบบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตหรือนวัตกรรมใหม่ที่สอดคล้องกับความต้องการได้เป็นอย่างดี [4] ได้รวบรวมทฤษฎีและวิธีการออกแบบ สรุปเอาไว้อย่างน่าสนใจ โดยแบ่งแยกออกเป็นสองส่วน คือ ภาคการศึกษามุ่งเน้นไปที่การเรียนรู้วิธีการออกแบบ ภาคอุตสาหกรรมนั้นกระบวนการออกแบบจะเป็นการนำเอาวิธีการนั้นไป

ปรับใช้ให้เข้ากับสิ่งที่ต้องการออกแบบ โดยผลที่ได้นั้นจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข และบรรลุวัตถุประสงค์สอดคล้องกับความต้องการ

การออกแบบที่ผ่านมาในภาคการศึกษานั้นอาจหมายถึงการเขียนแบบและการคำนวณทางวิศวกรรม ทั้งนี้ ได้มีการจัดการให้ความสำคัญกับจุดเริ่มต้นของการออกแบบ โดยมุ่งเน้นไปที่หน้าที่การทำงาน (Function) และความต้องการ ในลักษณะนี้จะสามารถช่วยให้การออกแบบนวัตกรรมมีความเป็นไปได้มากขึ้นด้วยระยะเวลาอันสั้น ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานั้นได้มีการทำวิจัยและแสดงผลด้วย VDI (Association of German Engineers) โดยแนะนำ 2221 หรือเรียกว่า The Guideline VDI2221 [5] ซึ่งเป็นระเบียบวิธีการออกแบบอย่างเป็นระบบเพื่อพัฒนาและออกแบบทางเทคนิคและผลิตภัณฑ์ (Systematic Approach to the Development and design of technical system and products) โดยที่เป้าหมายนั้นจะมุ่งเน้นไปที่ทฤษฎีเบื้องต้นสำหรับการออกแบบและสนับสนุนการออกแบบอย่างเป็นระบบเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งนี้แนวทางดังกล่าวยังเป็นอิสระต่อการดำเนินการออกแบบในแต่ละขั้นตอนตลอดจนทิศทางของกระบวนการ นำไปประยุกต์ใช้ออกแบบได้หลากหลาย อาทิเช่น ทางด้านกลศาสตร์, ความแม่นยำ และการพัฒนาซอฟต์แวร์ ตลอดจนการวางแผนกระบวนการทางวิศวกรรม

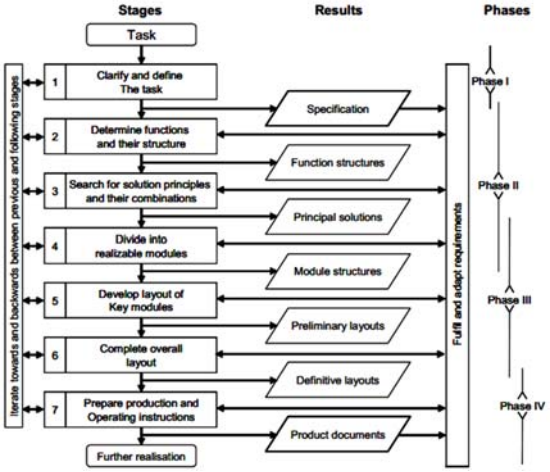
กระบวนการหรือขั้นตอนการออกแบบถูกกล่าวไว้ [7] เช่นกัน กระบวนการออกแบบอย่างเป็นระบบ (Systematic Design) นั้นแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักดังนี้

Phase I: วิเคราะห์ความต้องการ (Task clarification) หรือ อาจกล่าวได้ว่าเป็นการจัดการและทำความใจกับปัญหา ความต้องการของลูกค้า เพื่อนำไปออกแบบให้สอดคล้องและตอบสนองให้ได้มากที่สุด

Phase II: แนวคิดการออกแบบ (Conceptual design) นำความต้องการและข้อจำกัดมาวิเคราะห์หน้าที่การทำงานและโครงสร้างของระบบที่ต้องการออกแบบ รวมไปถึงการค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยทฤษฎีต่างๆ จัดระบบโครงสร้างใหม่ให้เป็นโมดูลด้วยการร่างแบบให้เป็นรูปร่างอย่างคร่าวๆ

Phase III: การทำให้เป็นรูปร่าง (Embodiment design) ดำเนินการต่อด้วยการลงรายละเลียดในการออกแบบของแต่ละชิ้นส่วนเบื้องต้น ตลอดจนครบทั้งหมดของสิ่งที่ต้องการออกแบบ

Phase IV: ออกแบบรายละเอียด (Detail design) จากการลงรายละเอียดต่างๆ เข้าสู่กระบวนการขั้นตอนทำเป็นแบบสำเร็จเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการผลิต



รูปที่ 1 Guideline VDI 2221 [4, 5, 6, 7]

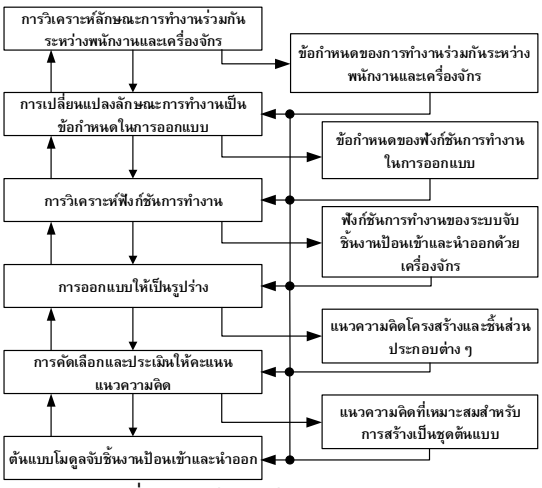
ข้อมูลที่ผ่านมาข้างต้นเป็นการออกแบบที่เป็นลำดับขั้นตอนซึ่งต้องสอดกับขั้นตอนที่ดำเนินการมาก่อนหน้าแล้วทั้งสิ้น ได้มีผู้นำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบ [8] กรณีศึกษาการออกแบบผลิตภัณฑ์ตามกระบวนการ จนกระทั่งจัดสร้างเป็นชุดต้นแบบที่ตอบรับกับความต้องการได้เป็นอย่างดี ในลักษณะเดียวกัน [9] นำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมช่วยในการออกแบบ ทำให้ลดช่วงเวลาการออกแบบและพัฒนาได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเชิงระบบ(Systematic Design) โดยใช้การศึกษาการทำงานเก็บข้อมูลจากกรณีศึกษาดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ร่วมกับซอฟต์แวร์ CAD (Computer Aid Design) ดำเนินการออกแบบโมดูลจับชิ้นงานป้อนเข้าและนำออกเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์

ลักษณะ หน้าที่การทำงาน ข้อจำกัด ตลอดจนรูปร่างของชิ้นส่วน ที่สอดคล้องกับความต้องการ

3. ระเบียบวิธีการออกแบบชุดอุปกรณ์เสริมสำหรับเครื่องจักรอัตโนมัติ

ระเบียบวิธีการออกแบบในงานวิจัยนี้ นำไปสู่การออกแบบโมดูลให้รองรับการทำงานร่วมกับเครื่องจักร ซึ่งมีกระบวนการดังรูปที่ 2 โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ลักษณะการทำงานร่วมกันระหว่างพนักงานและเครื่องจักร การเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ วิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงาน ออกแบบรูปร่างและชิ้นส่วนโมดูล คัดเลือกและประเมินให้คะแนนแนวความคิด เมื่อสิ้นสุดกระบวนการจะได้เป็นต้นแบบของโมดูลจับชิ้นงานป้อนเข้าและนำออก



รูปที่ 2 ระเบียบวิธีการออกแบบ

3.1 การวิเคราะห์ลักษณะการทำงานร่วมกันระหว่างพนักงานและเครื่องจักร

ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการศึกษาการทำงานด้วยหลักการวิเคราะห์ลักษณะการทำงานตามแนวทางทฤษฎีแผนภูมิการไหล (Flow Process Chart) [10] วิเคราะห์ขั้นตอนการไหลของวัตถุดิบ ที่เคลื่อนที่ไปในกระบวนการพร้อมกับกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยแสดงสัญลักษณ์และคำบรรยายประกอบลงในแผนภูมิ

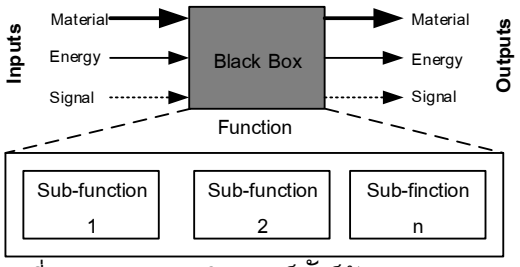
นอกจากนี้ยังใช้หลักการวิเคราะห์กิจกรรมด้วยแผนภูมิกิจกรรมพุคูณคนและเครื่องจักร โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อดูสัดส่วนการเสียเวลารอคอย และเพื่อศึกษาการลดหรือเพิ่มจำนวนคน ในงานวิจัยนี้อาจรวมไปถึงขั้นตอนการทำงานด้วย หลักการวิเคราะห์ดังกล่าวเหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลขั้นตอนการทำงานของพนักงานร่วมกับเครื่องจักร เนื่องจากผู้ออกแบบจำเป็นต้องทำความเข้าใจถึงกระบวนการทำงาน ก่อนนำไปสู่การออกแบบในขั้นตอนต่อไป พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการออกแบบ

3.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ

วิเคราะห์ลักษณะการทำงานที่เกิดขึ้นจากแผนภูมิการไหลการทำงานของพนักงานเป็นข้อกำหนดของฟังก์ชันการทำงานในการออกแบบ โดยพิจารณาการทำงานร่วมกันระหว่างพนักงานและเครื่องจักร ด้วยองค์ประกอบหรือปัจจัยอื่นๆ ที่เกิดขึ้นเป็นข้อจำกัดในแต่ละฟังก์ชั่นการทำงาน

3.3 การวิเคราะห์ฟังก์ชั่นการทำงาน

การวิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงาน (Functions Analysis) [7, 6] เสนอหลักในการวิเคราะห์โดยมุ่งเน้นว่าสิ่งใดคือสิ่งที่ต้องการออกแบบอย่างแท้จริง อาจเป็นผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์ที่ต้องการออกแบบ หรือแม้กระทั่งฟังก์ชันการทำงานของระบบ ซึ่งจะแทนด้วย Black Box อยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงจากการป้อนอินพุทแล้วเปลี่ยนแปลงออกเป็นเอาท์พุท โดยแบ่งปัจจัยต่างๆ ของอินพุทและเอาท์พุทออกเป็นสามส่วน คือ วัสดุ(Material) พลังงาน(Energy) และสัญญาณ(Signal) จากนั้นแยกฟังก์ชันการทำงานออกเป็นส่วนย่อยให้ตอบรับกับข้อกำหนด พร้อมกับสร้างบล็อกไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันย่อยนั้นๆ กำหนดขอบเขตการออกแบบ และค้นหาองค์ประกอบที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบ [11] ได้นำการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปัญหาที่ต้องการออกแบบ โดยทำความเข้าใจจากภาพรวมก่อน จากนั้นแยกออกเป็นปัญหาย่อย ซึ่งทำให้ทีมออกแบบแก้ไขปัญหาการออกแบบได้สอดคล้องกับความต้องการ



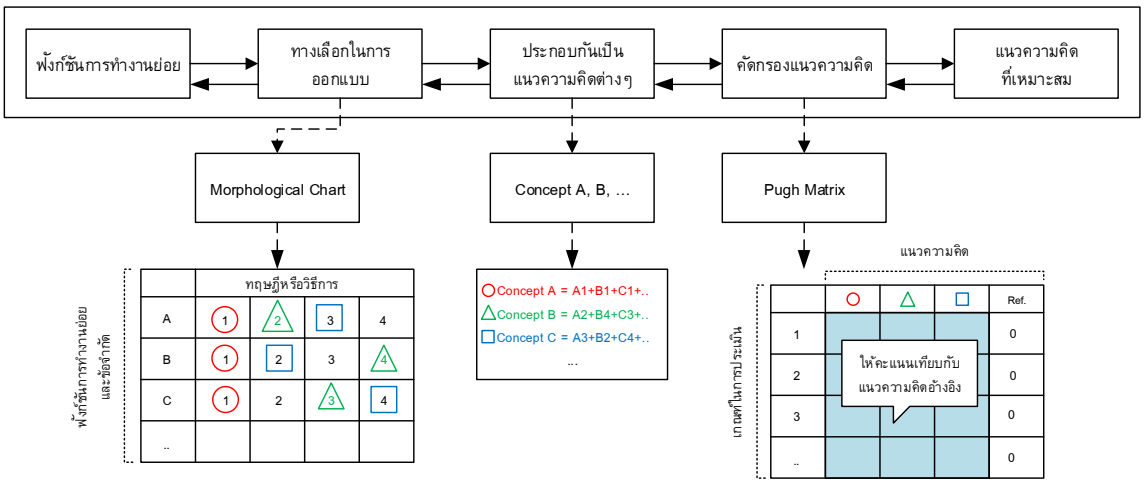
รูปที่ 3 แผนภาพการวิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงาน

3.4 การออกแบบรูปร่างและชิ้นส่วน

การออกแบบรูปร่างและชิ้นส่วนเป็นการทำให้เกิดเป็นรูปร่างด้วยการร่างแบบ หรือเขียนรูปร่างอย่างคร่าว ๆ ด้วยการนำเอาวิธีการหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ รวมไปถึงระบบกลไกต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับฟังก์ชันย่อยและความสัมพันธ์ร่วมของฟังก์ชันย่อย ด้วยการนำ Morphological Chart [7, 6] ได้เสนอไว้ มาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดแนวคิดที่หลากหลาย ซึ่งแนวคิด ทฤษฎี หรือวิธีการใด ๆ ก็ตามที่สอดคล้องกับฟังก์ชั่นการทำงานย่อยของระบบจะถูกใส่ลงในตารางก่อนดำเนินการเลือกประกอบรวมกันเป็นแนวคิดในลักษณะภาพรวมของทั้งระบบ ในส่วนนี้จะให้ได้แนวคิดที่ได้เป็นรูปร่างมากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4 ทั้งนี้ได้มีผู้นำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการออกแบบ [12] นำไปพัฒนาการออกแบบเม้าส์สำหรับใช้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อสร้างแนวคิดที่หลากหลายด้วยการใช้ภาพสามมิติเป็นทางเลือก ในลักษณะเดียวกันนี้ [13] ได้ประยุกต์ใช้ให้เกิดเป็นแนวคิดที่หลากหลาย ก่อนนำไปวิเคราะห์ความแข็งแรงหาแนวคิดที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปพัฒนาเป็นชิ้นงานต้นแบบ

3.5 การคัดเลือกแนวคิด

จากขั้นตอนก่อนหน้าทำให้ได้แนวคิดที่หลากหลาย จึงจำเป็นที่จะต้องจัดการเพื่อให้ได้แนวคิดที่เหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ [14] ได้เสนอแนวทางในการเลือกแนวคิด ซึ่งเป็นวิธีการที่ถูกพัฒนามาจาก Stuart Pugh (Pugh Matrix or Pugh Concept Selection) [6] ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ ตลอดจนถึงมีการคำนวณที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การคัดกรองแนวคิด มุ่งเน้นไปที่การลดจำนวนแนวคิดลง รวมไปถึงการทำให้ดีขึ้น และการประเมินให้คะแนนเป็นการนำแนวคิดที่ผ่านการคัดกรองมาทำการประเมินโดยทีมผู้ออกแบบจะให้น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ในการประเมินซึ่งจะสอดคล้องกับความต้องการที่กล่าวไว้ข้างต้น เทียบกับตัวอ้างอิง รวบรวมออกมาเป็นคะแนนจัดลำดับ ผลที่ได้จะเป็นแนวความคิดที่เหมาะสำหรับไปพัฒนาเป็นต้นแบบ



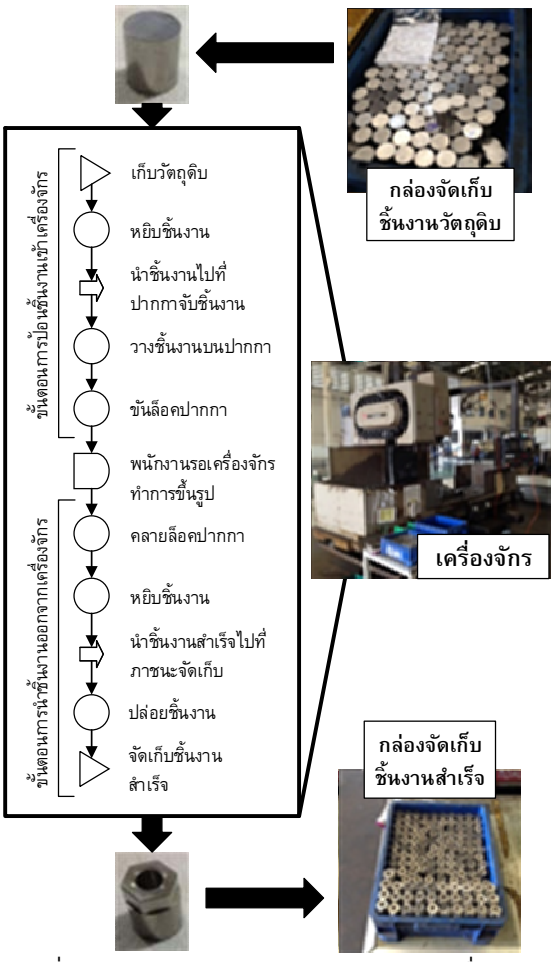
รูปที่ 4 ขั้นตอนการออกแบบให้เป็นรูปร่างและชิ้นส่วนเชื่อมโยงกับการเลือกแนวคิด

4. การออกแบบโมดูลจับชิ้นงานป้อนเข้าและนำออก

ความต้องการที่จะลดช่วงเวลาการรอคอยของเครื่องจักร และลดขั้นตอนการทำงานของพนักงานลง อุปกรณ์เสริมที่ออกแบบนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องสามารถทำงานร่วมกับตัวเครื่องจักรได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นต้องมีการประกอบติดตั้งที่ไม่ยุ่งยากจนเกินไป ใช้งานง่าย และสามารถจัดเก็บในเครื่องจักรได้ โดยข้อกำหนดของชุดอุปกรณ์ที่ดำเนินการออกแบบนี้อยู่ในลักษณะเฉพาะเจาะจง ซึ่งสามารถรองรับชิ้นงานทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด 25.4 มิลลิเมตร และสูง 33 มิลลิเมตร

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะการทำงานร่วมกันระหว่างพนักงานและเครื่องจักร

ดำเนินการเก็บข้อมูลการทำงานของพนักงานร่วมกับเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ เพื่อให้ทราบถึงขั้นตอนการทำงาน โดยเริ่มจากชิ้นงานทรงกระบอกเป็นวัตถุดิบ พนักงานป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักร ขันล็อคปากกาจับชิ้นงาน เครื่องจักรทำการขึ้นรูปชิ้นงาน คลายล็อคชิ้นงาน จากนั้นพนักงานนำชิ้นงานสำเร็จออก ขั้นตอนดังกล่าวนำมาเขียนเป็นแผนภูมิการไหลของกระบวนการ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภูมิการทำงานของพนักงานกับเครื่องจักร

4.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ

เปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ จากการวิเคราะห์ลักษณะการทำงานด้วยแผนภูมิการไหลการทำงานของพนักงานจากรูปที่ 5 แผนภูมิการไหลการทำงานของวัตถุดิบแสดงให้เห็นถึงลำดับขั้นตอนการทำงานของพนักงาน เมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร ดังตารางที่ 1 ร่วมกับเวลาในการทำงานแต่ละขั้นก่อนดำเนินการปรับปรุง ทั้งนี้พร้อมกันนั้นได้พิจารณาถึงข้อจำกัดในแต่ละลำดับขั้นตอน จึงได้เป็นแนวทางการออกแบบฟังก์ชั่นการทำงานด้วยเครื่องจักร โดยประยุกต์จากการขั้นตอนการทำงานของพนักงานผนวกเข้ากับขั้นตอนการทำงานของเครื่อง เพื่อให้การออกแบบนั้นตอบสนองต่อการทำงานร่วมกับเครื่องได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นแนวทางการออกแบบที่ได้จะเริ่มต้นจากจัดเก็บวัตถุดิบแบบเรียงชิ้น เคลื่อนที่หยิบวัตถุดิบไปวางที่ตำแหน่งปากกาจับยึด ขันล็อคปากกาจับยึด เครื่องจะทำการขึ้นรูป เมื่อได้ชิ้นงานสำเร็จ หยิบชิ้นงานสำเร็จไปจัดเก็บแบบเรียงชิ้น ในแต่ละขั้นตอนจะมีความสอดคล้องกัน ดังตารางที่ 2

4.3 การวิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงาน

ดำเนินการโดยการนำเอาแนวทางการออกแบบฟังก์ชันการทำงานด้วยเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ ตามตารางที่ 2 มาสร้างเป็นบล็อกไดอะแกรมตามหลักการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3 ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยเริ่มจากการทำงานรวมของทั้งระบบก่อน แยกออกเป็นฟังก์ชั่นย่อยตามแนวทางในการออกแบบให้สามารถทำงานร่วมกับเครื่องจักรได้ โดยจะ

เห็นความเชื่อมโยงกันในแต่ฟังก์ชั่น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการออกแบบให้สามารถทำงานต่อเนื่องกัน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนการทำงานก่อนปรับปรุง			
พนักงาน	เวลา		เครื่องจักร
หยิบชิ้นงาน	2	7	คอย
นำไปที่ปากกา	5		
วางบนปากกา	3	3	ถูกวางชิ้นงาน
ขันล็อคปากกา	16	16	ขันล็อคปากกา
กดปุ่มเริ่มทำงาน	2	2	เริ่มทำงาน
คอย	261	20	กัดปาดหน้า
		15	เปลี่ยนทูล
		101	เจาะรู
		15	เปลี่ยนทูล
		52	กัดเหลี่ยมและกัดลบมุมด้วยรัศมี 11 มม.
		16	เปลี่ยนทูล
		52	กัดเก็บผิว
คลายล็อคปากกา	16	16	ถูกคลายล็อค
หยิบชิ้นงานออก	2	2	ถูกหยิบชิ้นงาน
นำไปที่จัดเก็บ	5	8	คอย
วางลงในที่จัดเก็บ	3		

4.4 การออกแบบให้เป็นรูปร่างและชิ้นส่วน

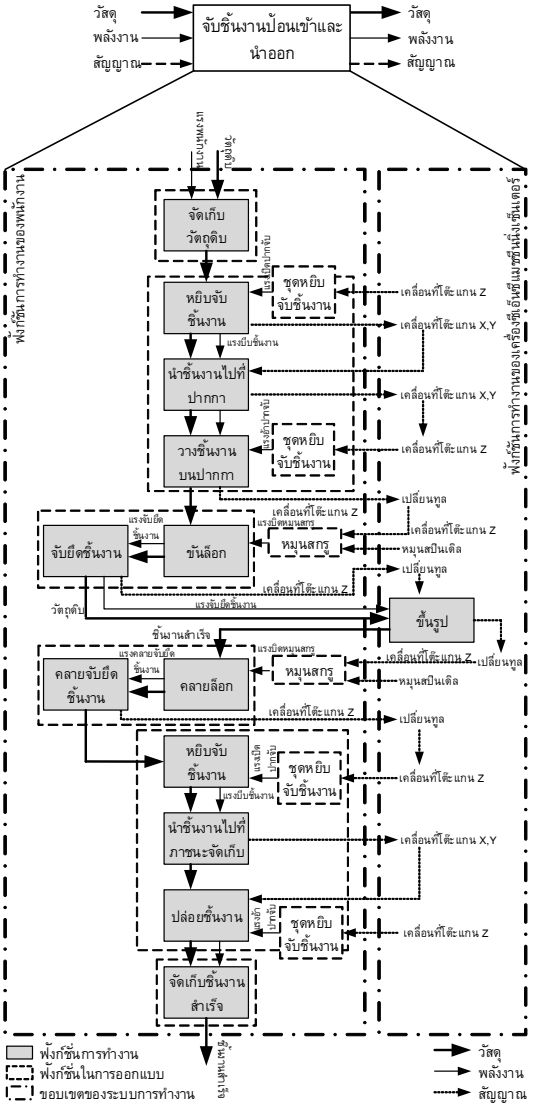
การออกแบบให้เป็นรูปร่างและชิ้นส่วนในแต่ละโมดูลนั้น ดำเนินการโดยนำเอาฟังก์ชันย่อยและความสัมพันธ์ร่วม จากรูปที่ 6 ซึ่งถือได้ว่าเป็นข้อจำกัดในการออกแบบ เนื่องจากฟังก์ชันย่อยนั้นต้องทำงานต่อเนื่องกันเป็นลำดับขั้น จึงจำเป็นที่จะต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบ ใส่รูปลักษณะการทำงานทุกรูปแบบที่เป็นไปได้ลงใน Morphological Chart ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับฟังก์ชันการทำงานย่อยและความสัมพันธ์ร่วมที่เกิดขึ้น เลือกวิธีการหรือรูปแบบให้ตรงตามแนวทางในการออกแบบตลอดจนถึงข้อกำหนด ดังที่ได้แสดงขั้นตอนไว้ดังรูปที่ 4 เลือกแต่ละรูปแบบของโมดูลที่ได้ รวบรวมเป็นแนวคิดที่หลากหลาย อาทิเช่น โมดูลหยิบจับชิ้นงาน ฟังก์ชั่นหยิบจับดำเนินการโดยวิเคราะห์พื้นที่ในการหยิบจับมีพื้นที่ที่จำกัดซึ่งมีเพียงแค่ส่วนบนของชิ้นงานเท่านั้นเนื่องจากต้องหยิบจับทั้งวัตถุดิบและชิ้นงานสำเร็จ วิเคราะห์รูปแบบที่ใช้ในการหยิบจับ ได้แก่ ผิวเรียบ, ร่องวี และผิวโค้งสัมผัส ในที่นี้ผิวโค้งสัมผัสจะสามารถหยิบจับได้ทั้งสองชนิด

ตารางที่ 2 เปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานเป็นแนวทางในการออกแบบ

ลำดับขั้นตอนการทำงานของพนักงาน		สัญลักษณ์	แนวทางการออกแบบฟังค์ชั่นการทำงานด้วยเครื่องซีเอ็นซี แมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์	ข้อจำกัด
การป้อนชิ้นงานเข้าเครื่องจักร	เก็บวัตถุดิบ	▽	จัดเก็บวัตถุดิบแบบเรียงชั้น	ขนาด รูปร่าง วัตถุดิบ
	หยิบชิ้นงาน	○	เคลื่อนที่โต๊ะงานแนวระนาบตามพิกัดแกน X และแกน Y หยิบชิ้นงานในตำแหน่งที่จัดเรียง	ขนาด รูปร่าง ประเภทวัตถุดิบ
	นำชิ้นงานไปที่ปากกาจับชิ้นงาน	⇨	เคลื่อนที่โต๊ะงานแนวระนาบตามพิกัดแกน X และ แกน Y จากตำแหน่งที่เก็บวัตถุดิบไปยังตำแหน่งปากกา	
	วางชิ้นงานบนปากกา	○	เคลื่อนที่สปินเดิลตามพิกัดแกน Z ไปยังตำแหน่งปากกา	
	ขันล็อกปากกา	○	ขันสกรูปากกาจับชิ้นงานโดยเคลื่อนที่สปินเดิลตามพิกัดแกน Z	ขนาดสกรู แรงขันกรู
การนำชิ้นงานออกจากเครื่องจักร	คลายล็อกปากกา	○	คลายสกรูปากกาจับชิ้นงาน โดยคลื่อนที่สปินเดิลตามพิกัดแกน Z	ขนาดสกรู แรงขันกรู
	หยิบชิ้นงาน	○	เคลื่อนที่สปินเดิลตามพิกัดแกน Z ไปยังตำแหน่งปากกาหยิบชิ้นงาน	ขนาด รูปร่าง ประเภทวัตถุดิบ
	นำชิ้นงานสำเร็จไปที่ภาชนะจัดเก็บ	⇨	เคลื่อนที่โต๊ะงานแนวระนาบตามพิกัดแกน X และแกน Y จากตำแหน่งปากกาไปยังตำแหน่งจัดเก็บชิ้นงานสำเร็จ	
	ปล่อยชิ้นงาน	○	เปิดปากจับชิ้นงาน	
	จัดเก็บชิ้นงานสำเร็จ	▽	จัดเก็บชิ้นงานสำเร็จโดยเรียงตามตำแหน่งพิกัด X- Y	ขนาด รูปร่าง วัตถุดิบ

ฟังก์ชั่นการนำไปวางจำเป็นต้องมีแรงบีบจึงเลือกใช้แรงจากสปริง ตำแหน่งแรงบีบมีทั้ง 2 และ 3 ตำแหน่ง ฟังก์ชั่นการวางชิ้นงานจะต้องมีแรงอ้าปากจับให้ชนะแรงบีบ โดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์ ได้แก่ ลูกเบี้ยว คานงัด ลิ่ม ร่วมกับสปริงที่เป็นส่วนที่ทำให้เกิดแรง

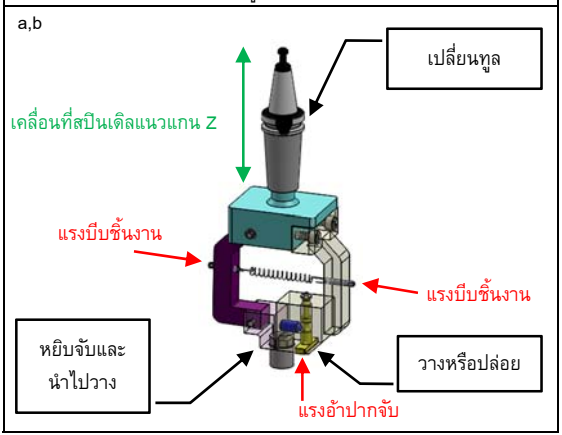
ทั้งนี้แต่ละโมดูลดำเนินการด้วยลักษณะเดียวกันก่อนที่จะได้ออกมาเป็นแนวคิดดังตารางที่ 3 ถึงตารางที่ 6



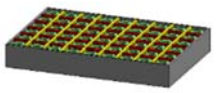
รูปที่ 6 แผนภูมิฟังก์ชั่นการทำงานของระบบ

ตารางที่ 3 โมดูลหยิบจับที่ออกแบบ จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ โดยแนวคิด a นั้นจะใช้เพียงชุดเดียวในการหยิบป้อนชิ้นงานวัตถุดิบและชิ้นงานสำเร็จ แนวคิด b จะใช้ 2 โมดูล ซึ่งจะแยกกันทำงาน โมดูลหนึ่งหยิบป้อนวัตถุดิบและอีกโมดูลหนึ่งหยิบนำชิ้นงานสำเร็จออก แรงบีบชิ้นงานได้มากจากสปริงดึง รวมไปถึงการจำกัดการเคลื่อนที่ของปลายปากจับเอาไว้ข้างหนึ่ง ส่วนอีกข้างหนึ่งให้เป็นแกนหมุนสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งนี้เพื่อให้ปลายปากที่ใช้หยิบชิ้นงานเข้าหากันอยู่ตลอด และเมื่อมีแรงอ้าปากจับให้สามารถวางชิ้นงานได้ด้วยการเปลี่ยนแรงแนวแกนมีลักษณะคล้ายลิ่ม แต่ในโมดูลนี้ใช้เป็นผิวโค้งร่วมกับสปริงดัน เกิดเป็นแรงผลักให้ปลายปากจับอ้าออกชิ้นงานหลุดออกจากปลายปากจับได้

ตารางที่ 3 แนวคิดรูปร่างและชิ้นส่วนโมดูลหยิบจับ

โมดูลหยิบจับ (Gripper)		
ข้อกำหนดการออกแบบ	(1) รูปร่าง : ทรงกระบอก (2) ขนาด : Ø 25.4 mm, สูง 33 mm (3) วัสดุ : SUS304	
หน้าที่การทำงานของพนักงาน	ป้อนวัตถุดิบ	นำชิ้นงานสำเร็จออก
	(1) หยิบจับวัตถุดิบ (2) นำวัตถุดิบไปที่ปากกา (3) วางวัตถุดิบที่ปากกา (4) เปลี่ยนทูล	(1) หยิบจับชิ้นงานสำเร็จ (2) นำไปที่ภาชนะจัดเก็บ (3) ปล่อยชิ้นงาน (4) เปลี่ยนทูล
ออกแบบรูปร่างและชิ้นส่วน		
a,b 		

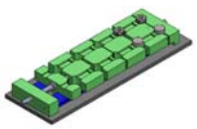
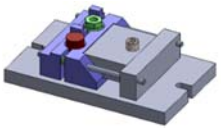
ตารางที่ 4 แนวคิดรูปร่างและชิ้นส่วนโมดูลจัดเก็บ

โมดูลจัดเก็บวัตถุดิบ	
ข้อกำหนดการออกแบบ	(1) รูปร่าง : ทรงกระบอก (2) ขนาด : Ø 25.4 mm, สูง 33 mm (3) วัสดุ : SUS304 (4) จำนวนจัดเก็บ : 40 ชิ้น(เรียงชิ้นงาน)
ฟังก์ชั่นการทำงาน	จัดเก็บวัตถุดิบ
ออกแบบรูปร่างและชิ้นส่วน	
a	b
โมดูลจัดเก็บชิ้นงานสำเร็จ	
ฟังก์ชั่นการทำงาน :	จัดเก็บชิ้นงานสำเร็จ
ออกแบบรูปร่างและชิ้นส่วน	
a 	b

ตารางที่ 4 ในการจัดเก็บวัตถุดิบมีความสัมพันธ์กับโมดูลหยิบจับ โดยการจัดเก็บแบบเรียงชิ้นจำเป็นต้องเว้นช่องระยะห่างเอาไว้ เพื่อให้โมดูลหยิบชิ้นงานสามารถหยิบชิ้นงานได้ ออกแบบให้ช่องจัดเก็บมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุดิบ โดยแบ่งออกเป็นแถวแนวตั้งและแนวนอนรวมกันทั้งหมดได้ 40 ช่องใส่วัตถุดิบเว้นระยะห่างแต่ละแถวเพื่อให้รองกับการทำงานร่วมกับโมดูลหยิบจับ ทั้งนี้โมดูลจัดเก็บชิ้นงานสำเร็จมีลักษณะการออกแบบใกล้เคียงกับโมดูลจัดเก็บวัตถุดิบ แตกต่างกันที่จะทำงานร่วมกับโมดูลหยิบจับในส่วนของการวางหรือปล่อยชิ้นงาน

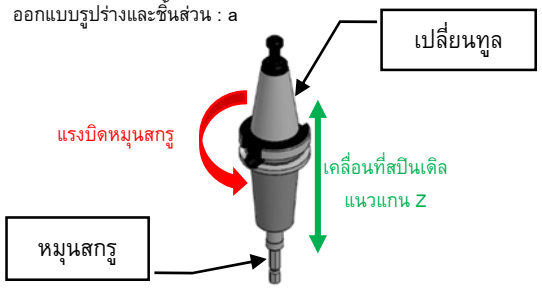
ตารางที่ 5 ทำงานร่วมกับโมดูลหยิบจับทั้งในส่วนของการหยิบและวางชิ้นงาน อีกทั้งยังต้องทำงานร่วมกับโมดูลหมุนสกรู ตารางที่ 6 ออกแบบโมดูลหมุนสกรู เพื่อให้เกิดแรงบิดหมุนสกรูกับโมดูลจับยึดให้สามารถจับยึดชิ้นงานได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นช่วย

ตารางที่ 5 แนวคิดรูปร่างและชิ้นส่วนโมดูลจับยึด

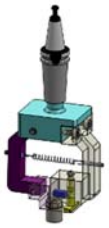
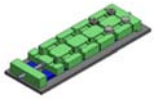
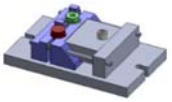
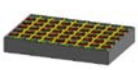
โมดูลจับยึด		
ข้อกำหนดการออกแบบ	(1) รูปร่าง : ทรงกระบอก (2) ขนาด : Ø 25.4 mm, สูง 33 mm (3) วัสดุ : SUS304 (4) พื้นที่จับยึดชิ้นงาน (5) ขนาด Ø ของสกรู	
ฟังก์ชั่นการทำงาน	ป้อนวัตถุดิบ	นำชิ้นงานสำเร็จออก
	ขันล็อก→จับยึด	คลายล็อค→คลายจับยึด
ออกแบบรูปร่างและชิ้นส่วน	a  (ต้องใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เสริมอื่นที่ทำให้เกิดแรงจับยึด)	
	b 	

ตารางที่ 7 จากการออกแบบแต่ละโมดูล นำแนวคิดที่ได้ใส่ลงในตาราง Morphological chart เพื่อดำเนินการเลือกแนวคิดทั้งหมดให้เกิดเป็นโมดูลจับชิ้นงานป้อนเข้าและนำออกทั้งระบบดังตารางที่ 7 โดยจะสอดคล้องกับรูปที่ 5 ที่ได้แสดงให้เห็นการทำงานของทั้งระบบ ทีมผู้ออกแบบได้ลงความเห็นและเลือกแนวคิดของแต่ละโมดูลประกอบเป็นแนวคิด 5 แนวคิด ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 6 แนวคิดรูปร่างและชิ้นส่วนโมดูลหมุนสกรู

โมดูลหมุนสกรู	
ข้อกำหนดการออกแบบ :	(1) ขนาด Ø ของสกรู (2) จัดเก็บในแม็กกาซีนทูล
ฟังก์ชั่นการทำงาน :	(1) หมุนสกรู (2) เปลี่ยนทูล
ออกแบบรูปร่างและชิ้นส่วน : a  หมายเหตุ มีแนวคิดเดียว	

ตารางที่ 7 Morphological chart

ลำดับ	โมดูล	การออกแบบรูปร่างและชิ้นส่วน	
		แบบ a	แบบ b
1	จัดเก็บวัตถุดิบ		
2	หยิบชิ้นงาน		
3	หมุนสกรู		
4	จับยึดชิ้นงาน		
5	จัดเก็บชิ้นงานสำเร็จ		

ตารางที่ 8 แนวคิดโมดูลจับชิ้นงานป้อนเข้าและนำออก

แนวคิด	รูปร่างและชิ้นส่วน
A	1a+2a+4a+5a
B	1a+2b+4a+5a
C	1b+2b+3a+4b+5b
D	1b+2b+4a+5b
E	1b+2b+3a+4a+5b

4.5 การเลือกแนวคิด

คัดกรองแนวคิดที่ได้จากตารางที่ 8 ให้มีจำนวนลดลง โดยทีมออกแบบและผู้วิจัยได้เลือกแนวคิด C เป็นแนวคิดอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับแนวคิดอื่นด้วยเกณฑ์ในการเลือกที่ทีมออกแบบให้ความสำคัญ รวบรวมคะแนนที่ได้พร้อมทั้งจัดอันดับดังตารางที่ 9 แนวคิดที่ผ่านจากการคัดกรองนี้จะนำไปประเมินให้คะแนน ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 9 การคัดกรองแนวคิด

เกณฑ์ในการเลือก	แนวคิด				
	A	B	C(Ref.)	D	E
จำนวนชิ้นงานที่รองรับ	+	+	0	+	0
จำนวนชิ้นส่วนประกอบ	-	-	0	-	-
ผลิตได้ง่าย	-	-	0	0	-
ถอดประกอบ	-	-	0	0	-
ติดตั้งได้ง่าย	+	0	0	0	+
ซ่อมบำรุงได้ง่าย	0	0	0	0	0
ใช้งานง่าย	0	0	0	0	0
รวม –	3	3	0	1	3
รวม 0	2	3	7	5	3
รวม +	2	1	0	1	1
คะแนนรวม	-1	-2	0	0	-2
ดำเนินการต่อ ?	✗	✗	✓	✓	✗

จากตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่าแนวคิด C และ D ผ่านการคัดกรอง และนำมาประเมินให้คะแนนแต่จะยังใช้แนวคิด C เป็นตัวอ้างอิงเช่นเดิม แต่มีการเพิ่มแนวคิดด้วยการนำแนวคิดทั้งสองนั้นผนวกเข้าด้วยกัน ผลจากการประเมินแนวคิด C+D เป็นแนวคิดที่ได้คะแนนมากที่สุด แต่คะแนนนั้นมีค่าไม่ต่างกันมากนัก อีกทั้งเมื่อพิจารณาที่จำนวนชิ้นงานที่รองรับ แนวคิด D ที่สามารถรองรับชิ้นงานได้มากกว่าแต่ที่ได้ออกแบบไว้นั้นยังคงจำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยให้เกิดแรงจับยึดชิ้นงาน ทีมผู้ออกแบบจึงลงความเห็นไปในทิศทางเดียวกันว่าแนวคิด C นั้นเหมาะสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นต้นแบบเนื่องด้วยการถอดประกอบและการติดตั้งมีค่าคะแนนที่ดีกว่า

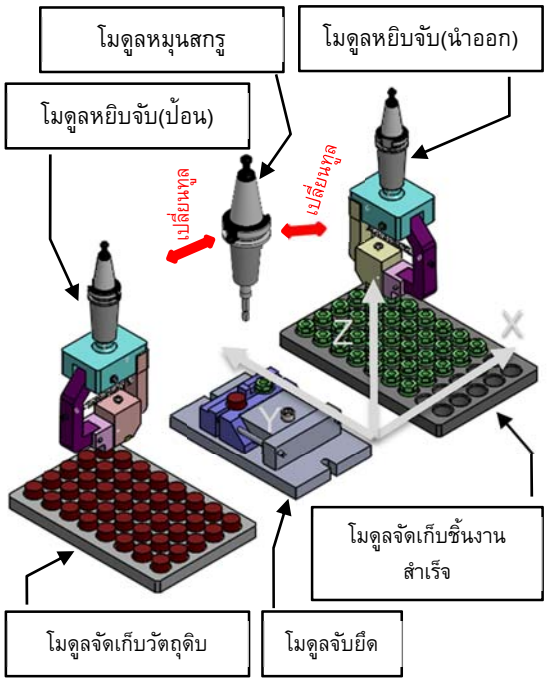
ตารางที่ 10 การประเมินให้คะแนนแนวคิด

		Design C		Design D		Design C+D	
เกณฑ์ในการประเมิน	W	R	S	R	S	R	S
จำนวนชิ้นงานที่รองรับ	25%	3	0.75	4	1	3	0.75
จำนวนชิ้นส่วนประกอบ	25%	3	0.75	2	0.5	4	1
ผลิตได้ง่าย	10%	3	0.3	2	0.2	4	0.4
ถอดประกอบ	15%	3	0.45	4	0.6	2	0.3
ติดตั้งได้ง่าย	15%	3	0.45	2	0.3	2	0.3
ซ่อมบำรุงได้ง่าย	5%	3	0.15	2	0.1	3	0.15
ใช้งานง่าย	5%	3	0.15	2	0.1	3	0.15
Total Score			3		2.8		3.05
Rank			2		3		1

หลังจากผ่านขั้นตอนการออกแบบ พิจารณาข้อกำหนดและข้อจำกัดในการออกแบบ รวมถึงการประเมินแนวความคิด จึงได้โมดูลจับชิ้นงานป้อนเข้าและนำออก ซึ่งจะประกอบไปด้วย 1) โมดูลหยิบจับ โดยแบ่งออกเป็นสองโมดูลสำหรับการป้อนวัตถุดิบและนำชิ้นงานสำเร็จออก 2) โมดูลจับยึด ใช้จับยึดชิ้นงานขณะทำการขึ้นรูป 3) โมดูลชุดหมุนสกรู 4) โมดูลจัดเก็บวัตถุดิบ 5) โมดูลจัดเก็บชิ้นงานสำเร็จ จะทำงานร่วมกับเครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ โดยใช้แนวความคิด C ในการอธิบายขั้นตอนการทำงานของโมดูลนี้ ดังรูปที่ 7

การทำงานหลักจะอาศัยการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำดังที่ได้แสดงแนวทางการออกแบบไว้ในตารางที่ 1 โดยจะเริ่มต้นจากพนักงานวางโมดูลจัดเก็บวัตถุดิบที่ถูกบรรจุแล้ว ลงในตำแหน่งที่อยู่บนโต๊ะงานของเครื่องจักร เครื่องทำการเปลี่ยนทูลเป็นโมดูลหยิบจับ (ป้อน) เคลื่อนที่โต๊ะงานตามแนวแกน X-Y ไปยังตำแหน่งหยิบวัตถุดิบที่โมดูลจัดเก็บ จากนั้นเคลื่อนที่ลงตามแนวแกน Z หยิบวัตถุดิบ เคลื่อนที่ขึ้นพร้อมกับเคลื่อนที่

โต๊ะงาน วางชิ้นงานที่โมดูลจับยึด เครื่องทำการเปลี่ยนทูลเป็นโมดูลหมุนสกรู เคลื่อนที่ลงขันล็อกโมดูลจับยึดชิ้นงานเพื่อรอทำการขึ้นรูป จากนั้นเครื่องจะดำเนินการขึ้นรูปชิ้นงาน เมื่อขึ้นรูปชิ้นงานเสร็จ เครื่องเปลี่ยนทูลอีกครั้งเป็นโมดูลหมุนสกรูเพื่อคลายล็อคโมดูลจับยึด หยิบชิ้นงานสำเร็จด้วยการเปลี่ยนทูลเป็นโมดูลหยิบจับ(นำออก) หยิบชิ้นงานสำเร็จ (ผ่านการขึ้นรูปแล้ว) ไปวางยังตำแหน่งจัดเก็บที่โมดูลจัดเก็บชิ้นงานสำเร็จ



รูปที่ 7 แนวคิดระบบการป้อนชิ้นงานเข้าและนำออก

จากขั้นตอนการทำงานของแนวคิดจะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกับแนวทางที่ตั้งไว้ในตอนต้นเป็นอย่างดี ดำเนินการตามระเบียบวิธีการออกแบบ ผลการออกแบบที่ได้ จะทำให้ขั้นตอนการทำงานของพนักงานลดลงเป็นอย่างมาก แต่จะเพิ่มขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรแทน ดังตารางที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำงานของพนักงานและเครื่องที่ทำงานร่วมกันก่อนปรับปรุงและ ตารางที่ 11 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการทำงานของพนักงานที่ทำงานร่วมกับเครื่องจักรหลังการปรับปรุง โดยจะเห็นได้ว่าหลังการปรับปรุงนั้น โมดูลที่ออกแบบเข้ามามีบทบาทหน้าที่ทำงานแทนพนักงานมากขึ้น จะเห็นได้ว่าขั้นตอนการทำงานของเครื่องเพิ่มมากขึ้น (เครื่องหมาย *) พนักงานมีขั้นตอนการทำงานลดลง ซึ่งในจุดนี้จะส่งผลให้พนักงานสามารถควบคุมเครื่องจักรมากขึ้น ไม่จำเป็นต้องรอปฏิบัติงานหน้าเครื่องตลอดเวลา แต่อย่างไรก็ดีเมื่อขั้นตอนการทำงานของเครื่องเพิ่มมากขึ้น ผลที่ตามมาคือรอบเวลาในการทำงานเพิ่มสูงขึ้นจากเดิม 315 วินาที เป็น 390 วินาที ดังตารางที่ 12 ทั้งนี้เหตุปัจจัยที่มีผลต่อการที่รอบเวลาเพิ่มสูงขึ้นนั้นคือเครื่องจักร อันเนื่องมาจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่อง อายุการใช้งานของเครื่องและผู้ปรับตั้งโปรแกรมควบคุมเครื่อง

ตารางที่ 11 ขั้นตอนการทำงานร่วมหลังปรับปรุง

ขั้นตอนการทำงานหลังปรับปรุง			
พนักงาน	เวลา		เครื่องจักร
นำโมดูลจัดเก็บวัตถุดิบเข้าเครื่อง	5	5	คอย
กดปุ่มเริ่มทำงาน	2	2	เริ่มทำงาน
คอย	378	15	เปลี่ยนทูล>โมดูลหยิบจับ(ป้อน)
		5	หยิบวัตถุดิบ*
		3	นำไปที่โมดูลจับยึด*
		3	วางวัตถุดิบ*
		15	เปลี่ยนทูล>โมดูลหมุนสกรู
		10	หมุนสกรู*
		15	เปลี่ยนทูล
		20	กัดปาดหน้า
		15	เปลี่ยนทูล
		43	เจาะรู
		15	เปลี่ยนทูล
		101	กัดเหลี่ยมและกัดลบมุมด้วยรัศมี 11 มม.
		15	เปลี่ยนทูล
		52	กัดเก็บผิวเรียบ
		15	เปลี่ยนทูล>โมดูลหมุนสกรู
		10	หมุนสกรู*
		15	เปลี่ยนทูล>โมดูลหยิบจับ
		5	หยิบชิ้นงานสำเร็จ*
		3	นำไปที่โมดูลจัดเก็บชิ้นงานสำเร็จ*
		3	วางชิ้นงาน*
นำโมดูลจัดเก็บชิ้นงานสำเร็จออก	5	5	คอย

ทั้งนี้เปรียบเทียบช่วงเวลาขั้นตอนการทำงานก่อนปรับปรุง ดังตารางที่ 1 และหลังปรับปรุง ดังตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลารอคอยของพนักงาน

เพิ่มขึ้นจาก 261 วินาที เป็น 378 วินาที เป็นเวลามากพอที่พนักงานจะสามารถควบคุมเครื่องจักรได้มากขึ้น อีกทั้งเมื่อคำนวณหาค่าประสิทธิภาพในการทำงาน [10] ได้ระบุไว้ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยนำช่วงเวลาที่มีการทำงานของพนักงานและเครื่องจักรมาคำนวณ หารด้วยรอบเวลาในการทำงาน ได้ผลดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบรอบเวลาและเปอร์เซ็นต์การทำงาน

	ก่อน	หลัง
พนักงาน	17.14%	3.08%
เครื่องจักร	82.86%	98.72%
รอบเวลาการทำงาน(วินาที)	315	390

กล่าวโดยสรุปคือ ชุดอุปกรณ์จะมีส่วนช่วยลดเวลาการทำงานของพนักงานลง และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับเครื่องจักร โดยยังส่งผลต่อเนื่องไปถึงการที่พนักงานสามารถควบคุมเครื่องจักรได้มากกว่า 1 เครื่อง ทำให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้นตามไปด้วย

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระเบียบวิธีการออกแบบชุดอุปกรณ์เสริมในโดยใช้หลักการของกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเชิงระบบ วิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงานให้สอดคล้องกับข้อมูล นำกรณีศึกษาการออกแบบโมดูลจับชิ้นงานป้อนเข้าและนำออก ซึ่งมีความต้องที่จะลดเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นจากรอคอยปฏิบัติงานของพนักงาน ดำเนินการออกแบบตามระเบียบวิธีการ ผลการออกแบบที่ได้นั้นตอบสนองต่อความต้องการและข้อกำหนดได้เป็นอย่างดี ชุดอุปกรณ์เสริมแบ่งออกเป็นโมดูลย่อย 5 โมดูล คือ 1) โมดูลจัดเก็บวัตถุดิบ 2) โมดูลหยิบจับ 3) โมดูลหมุน-สกรู 4) โมดูลจับยึด และ 5) โมดูลจัดเก็บชิ้นงานสำเร็จ ทั้ง 5 ส่วนนี้จะทำงานสัมพันธ์กันด้วยอาศัยการเคลื่อนที่ที่แม่นยำของเครื่องจักร ซึ่งจะมีส่วนช่วยในการลดขั้นตอนการทำงานของพนักงานลง โดยมีผลต่อเนื่องไปคือพนักงานสามารถควบคุมเครื่องได้จำนวนมากขึ้น ในทางกลับกันจะเป็นการเพิ่มการขั้นตอนทำงานให้กับเครื่อง เมื่อเปรียบเทียบขั้นตอนการทำงานก่อนและหลังการปรับปรุง จะเห็นได้ว่าพนักงานมีการทำงานลดลงจากเดิมคิดเป็น 14.06% และเครื่องจักรมีเปอร์เซ็นต์การทำงานเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมคิดเป็น 15.86%

6. ข้อเสนอแนะ

ระบบหยิบจับชิ้นงานที่ได้ออกแบบรองรับการทำงานกับชิ้นงานได้เพียงรูปแบบเดียว ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดในด้านอรรถประโยชน์ ดังนั้นเพื่อให้โมดูลจับชิ้นงานป้อนเข้าและนำออกมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ควรมีการพัฒนาเพื่อให้โมดูลนี้มีขีดความสามารถเพิ่มมากขึ้น เช่น รองรับชิ้นงานที่มีรูปทรง และขนาดที่หลากหลายมากขึ้น เป็นต้น

ควรมีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีวิเคราะห์เพื่อลดขนาด น้ำหนัก หรือปรับเปลี่ยนวัสดุ แต่ยังให้ความแข็งแรง หยิบจับชิ้นงานและรับแรงกดที่เกิดขึ้นได้

อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในอีกหลายส่วนที่ยังไม่ได้นำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ เช่น อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ การหยิบจับ การวาง หรือแม้กระทั่งการจับ-ยึด ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมานั้นอาจมีรูปแบบการทำงานในลักษณะอื่นที่สามารถทำงานได้และให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ณัฐวุฒิ จันทร์ทอง. "การลดความซับซ้อนในการออกแบบเชิงวิศวกรรม". *Princess of Naradhiwas University Journal.* ปีที่ 1 (ฉบับที่ 4) : 84-99, 2555.

[2] P. Farkas. (2013, Jul. 13). Pneumatic Gripper Haas VMC by WPI. [Online] Available: https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=O9A3pMJjz8A

[3] PSDCmachining. (2013, Oct. 14). CNC milling Part Gripper. [Online] Available: https://www.youtube.com/watch?v=UqBuPTlBFso

[4] T. Tomiyama, P. Gu, Y. Jin, D. Lutters, C. Kind and F. Kimura. "Design methodologies: Industrial and education applications". *CIRP Annuals - Manufacturing Technology.* vol. 58 (2) : pp. 543-5685, 2009.

[5] J. Jänsch and H. Birkhofer. "The Development of the Guideline VDI 2221 - The Change of Direction". *International Design Conference - Design 2006.* 15-18/May/2006. Dubrovnik - Croatia : 45-52, (2006).

[6] Cross, N., "Engineering Design Methods : Strategies for Product Design," *John Wiley & Son*, New York, 3rd Ed., 2000.

[7] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., and Grote, K. H., "Engineering Dedign A Systematic Approach," *Springer-Verlag*, London, 3rd Ed., 2007.

[8] K. Hain, C. Rappl, F. Kaiser and M. Fraundorfer. "A Case Study for Systematic Design of a Mechatornic Product for Buildings". *International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice.* 2-4/December/2008. Auckland, New-Zealand : 581-587, (2008).

[9] N. Starcevic, M. Bux, T. Rohr, K. Lutz, M. Kostadinov, S. Ritterbusch and J. Muller, "Development of a Robot for Biomass Handling in Solar Greenhouse Dryer," *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal.*, vol. 9, pp. 1-8, 2007.

[10] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. *การศึกษางานวิศวกรรม.* กรุงเทพฯ : ท้อป, (2550).

[11] M. Ogot. "EMS Model: Adaptation of Engineering Design Black-Box Models for Use in TRIZ". *The proceeding of ETRIA TRIZ Futures 2004 Conference.* 3-5/November/2004. Florence, Italy : 1-10, (2004).

[12] C.-H. Lo, K. C. Tseng, and C.-H. Chu, "One-Step QFD based 3D morphological charts for concept generation of product variant design," *Expert System with Applications*, vol. 37, no. 11, pp. 7351-7363, 2010.

[13] M. Mansor, S. Sapuan, A. Nuraini, and A. Hambali, "Conceptual design of kenaf fiber polymer composite automotive parking brake lever using integrated TRIZ–Morphological Chart–Analytic Hierarchy Process method". *Materials & Design.*, vol. 54, pp. 473-482, 2014.

[14] K. Ulrich and S. Eppinger. "Product design and development," *McGraw-Hill/Irwin*, New York, 5th Ed., 2012.