DRC-24

มือจับแบบปรับรูปร่างได้ตามวัตถุ

Jamming Granular Gripper

นายสหรัฐ ท้วมเพ็ง[1], นายโชติ โชติวิจิตร[2] นายไกวัล วิชาศิลป์[3] และ นายอิทธิโชติ จักรไพวงศ์[1*]

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
25/25 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
E-mail: ittichote.chu@mahidol.ac.th Tel : +66 2-889-2138 ext. 6414

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประดิษฐ์มือจับสุญญากาศแบบปรับรูปร่างได้ตามวัตถุ (Jamming granular gripper) และวิจัยหาปัจจัยที่มีผลต่อการจับ มือจับนี้มีจุดเด่นคือ สามารถจับวัตถุที่มีขนาดและรูปร่างหลากหลายได้อย่างต่อเนื่อง ลดปัญหาความยุ่งยากในการควบคุมระบบ ใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับมือจับแบบทั่วไป และสามารถจับวัตถุอ่อนนุ่มเสียรูปร่างง่ายได้อีกด้วย การทำงานของมือจับจะอาศัยการคล้อยตัวของถุงห่อหุ้มที่ภายในบรรจุผงกาแฟบด จากนั้นทำสุญญากาศภายในถุงห่อหุ้ม ผงกาแฟบดจะอัดแน่นกันจนเป็นวัตถุแข็งเกร็งทำให้สามารถจับวัตถุยกขึ้นมาได้ แต่ในการจับแต่ละครั้งพบว่า หลังจากการจับวัตถุแล้ว สภาพถุงห่อหุ้มจะใช้งานได้ไม่ดีพอในการจับครั้งต่อไป Amend et al. (2012) จึงเสนอระบบอัดลมเข้าในถุงห่อหุ้มเพียงเล็กน้อย เพื่อให้ถุงห่อหุ้มสามารถคืนสภาพได้ดีกว่ารูปแบบเดิม คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระบบการทำงานนี้เป็นแนวทางในการพัฒนามือจับต้นแบบขึ้นมา ปัญหาหลักที่พบคือ ตัวแบบหล่อน้ำยางพาราที่ใช้ทำถุงห่อหุ้มถูกกำหนดด้วยรูปแบบและขนาดที่ใช้ต้องสามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ทำให้การออกแบบต้องพิจารณาปรับรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ ใหม่ ต้นแบบมือจับที่ได้ สามารถควบคุมระบบลมทั้งการระบายลมออก (Relief valve) ในขณะจับ เพื่อช่วยในการปรับตามรูปร่างวัตถุ สุญญากาศในขณะที่จับวัตถุ และการอัดลมเพื่อคืนรูปถุงห่อหุ้ม โดยอาศัยการออกแบบระบบควบคุมการส่งสัญญาณ (Controller) โซลินอยด์วาล์ว เครื่องอัดความดัน เครื่องทำสุญญากาศ และมือจับที่ได้ทำการออกแบบ ให้สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ ในการทดลอง มือจับที่ได้ทำการประดิษฐ์ขึ้นถูกนำไปติดกับแขนกลหุ่นยนต์ Motoman รุ่น NX100 โดยใช้การเคลื่อนที่เส้นตรงตามแนวแกน 3 มิติเท่านั้น การทดสอบจะใช้วัตถุ 2 ประเภทได้แก่ วัตถุครึ่งทรงกลมผิวขรุขระขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 40 60 และ 80 มิลลิเมตรกับวัตถุทรงกระบอกกลวง (ท่อพีวีซี) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 42 60 และ 88 มิลลิเมตรความยาว 200 มิลลิเมตรเท่ากันในทุกขนาดวัตถุ ทำการจับในแนวนอนของท่อ เพื่อวัดปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อแรงการยึดจับ จากการทดลองพบว่าการจับที่มีประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปทรง มุมสัมผัสในการจับ และพื้นที่ผิวในการจับของวัตถุ ส่งผลให้แรงในการยึดจับเปลี่ยนแปลงไป ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทำให้รู้ถึงลักษณะของงานที่จะสามารถนำมือจับชนิดนี้ไปใช้ได้ และจะได้นำไปใช้ในการปรับปรุงแบบเพื่อพัฒนาต่อไป

คำหลัก: มือจับสุญญากาศ; การขัดกันของเม็ดเล็ก; หุ่นยนต์

Abstract

This paper introduces development of a jamming granular gripper and research for factors affecting gripping performance. This gripper has advantage on its ability to hold objects in various shapes and sizes, as well as ability to hold deformable objects. The gripper reduces difficulty and time from

those performed by the conventional gripper. The gripper comprises of a bag of ground coffee. When vacuum is made inside the bag, the ground coffee jams together, forming a rigid body and enabling the bag to hold any objects. But after few repetitions, the gripper loses its effectiveness. Amend et al. (2012) proposed to fill a small amount of air into the bag to reset it to the original shape. This method is used in this work to develop the prototype. The main problem is that the latex mold for making the bag must be available in the market, therefore, some adjustments are made to the detail components. The new prototype allows air in and out in the gripper by automatic control of solenoid valves, air pump, vacuum pump, and the gripper. The air exits through a relief valve in order to conform to an object shape. The air was pumped in to inflate the bag in order to reset to the original shape. For the experiment, the gripper was attached to the robot arm Motoman NX100 using pure 3-axis translation. The gripper was tested by 2 types of objects: (a) rough surface hemispherical object with diameter of 20, 40, 60, and 80 millimeters and (b) a hollow cylinder (PVC pipe) with diameter of 26, 42, 60, and 88 millimeter (held from the side) with the length of 200 millimeter each. The experiment showed that the gripping performance depends on size, shape, contact angle and surface condition of the object. The experiment data suggest applications that are suitable for the gripper and will be used for future development.

Keywords: Vacuum gripper; granular jamming; robot

บทนำ

มนุษย์ใช้หุ่นยนต์เพื่อประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ในการช่วยผ่าตัดคนไข้ ด้านวิชาการเพื่อสำรวจและเก็บข้อมูลทางการศึกษา ด้านอุตสาหกรรมเพื่อลดต้นทุนและเวลาการผลิต ด้านความมั่นคงเพื่อใช้ในการเข้าถึงพื้นที่เสี่ยงภัยแทนมนุษย์ในงานป้องกันและงานทางทหาร เป็นต้น แต่อุปสรรคสำคัญอย่างหนึ่งของหุ่นยนต์คือ ข้อจำกัดในการจับวัตถุที่มีรูปทรงหลากหลาย รูปแบบในการจับกลไกควบคุมที่มีความยุ่งยาก ประสิทธิภาพในการจับ และอื่นๆ

จากการสืบค้นข้อมูลของคณะผู้วิจัย พบว่ารูปแบบการจับของแขนกลนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ passive และ active จากรูปแบบดังกล่าวสามารถให้ข้อสรุปได้ว่า การจับแบบ passive เริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นและมีข้อดีในเรื่องการจับวัตถุมากกว่าแบบ active อีกทั้งกลไกการจับวัตถุแบบ passive ในรูปแบบ Jamming Granular Gripper นี้สามารถแก้ไขปัญหาในการจับข้างต้นได้เป็นอย่างดี และยังมีประสิทธิภาพในการจับวัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อนกับวัตถุที่มีความอ่อนนุ่มเสียรูปง่ายได้อีกด้วย ทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกที่จะนำแนวคิดนี้มาศึกษาระบบการทำงานและการออกแบบ เพื่อประดิษฐ์มือจับแบบปรับรูปร่างได้ตามวัตถุที่สามารถใช้งานได้จริง นอกจากจะได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการจับแล้ว ยังกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาที่สำคัญในวงการหุ่นยนต์ต่อไป

รูปที่ 1 มือจับแบบปรับรูปร่างได้ตามวัตถุขณะจับกล้วยและลูกปิงปอง

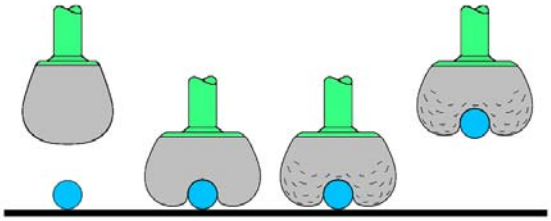
หลักการทำงานเบื้องต้นของมือจับแบบปรับรูปร่างได้ตามวัตถุมีด้วยกัน 4 ขั้นตอนดังนี้

1. มือจับที่บรรจุกาแฟบดไว้ (granular material)
2. กดมือจับลงไปที่วัตถุ น้ำหนักของผงกาแฟบดภายในถุงห่อหุ้มจะคล้อยตัวและปรับรูปร่างตาม

ผิวสัมผัสของวัตถุนั้นๆ โดยมีโคมช่วยให้การห่อหุ้มวัตถุดีขึ้น

3. สร้างสุญญากาศภายในถุงห่อหุ้ม (negative pressure) ทำให้เกิดการรัดตัวของถุงห่อหุ้ม และผงกาแฟบดจะจับตัวกันเป็นก้อนสร้างสภาวะแข็งเกร็งที่สามารถจิกรัดวัตถุ

4. ถุงห่อหุ้มและผงกาแฟบดจะจับวัตถุไว้และยกขึ้นมาได้



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการทำงานในการจับวัตถุของมือจับ [1]

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาบทความทางวิชาการที่ผ่านมา สังเกตได้ว่าทุกบทความจะมีลักษณะการทดลองที่คล้ายกันคือ เน้นการจับวัตถุที่มีรูปทรงหลากหลาย พื้นผิวเรียบ ขนาดแตกต่างกัน และมีการทดสอบหาแรงในการยึดจับวัตถุ จะเห็นได้จากข้อมูลบทความดังต่อไปนี้

Brown et al. [1] ได้คิดค้นมือจับที่มีคุณสมบัติอเนกประสงค์ สามารถปรับรูปร่างตามวัตถุที่จับได้ มีความน่าเชื่อถือในการจับ ลดความซับซ้อนในการจับ แต่พบว่าเมื่อหลังจากปล่อยวัตถุออกจากมือจับแล้ว ต้องเสียเวลาเล็กน้อยในการช่วยคืนสภาพถุงห่อหุ้มให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานทุกครั้งก่อนใช้ครั้งถัดไป

ต่อมา Amend et al. [2] ทำการศึกษากลไกสำคัญ 3 ประการที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการจับวัตถุ ได้แก่ แรงเสียดทานสถิตจากพื้นผิววัตถุ (Static friction from surface contact) การประสานกันทางเรขาคณิตระหว่างมือจับและพื้นผิวของวัตถุ (Geometric constraints from interlocking) และผลจากการสุญญากาศในถุงห่อหุ้มของมือจับที่สามารถห่อหุ้มพื้นผิวส่วนหนึ่งของวัตถุและดูดขึ้นมาได้ (Vacuum suction from an airtight seal) นอกจากนี้จากผลการทดลอง ทำให้ทราบเพิ่มเติมอีกว่าขนาดของวัตถุที่จับและแรงกดที่ใช้ในการจับมีผลต่อประสิทธิภาพในการจับเมื่อมือจับไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาด มุมสัมผัสในการจับวัตถุที่ขนาดแตกต่างกันไปมีผลต่อประสิทธิภาพในการจับ และการใช้ระบบอัดแรงดัน (positive pressure) ติดตั้งร่วมกับระบบสุญญากาศ (negative pressure) ด้วยนั้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการจับวัตถุที่มีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกันได้ดีกว่าแบบที่ไม่มีระบบอัดแรงดัน

ในเรื่องของรูปทรงมือจับ Kapadia และ Yim [3] ทำการศึกษาการเปลี่ยนรูปทรงของมือจับจากทรงกลมเป็นลักษณะมีนิ้วยื่นออกมาสามนิ้ว เปรียบเทียบกับแบบทรงกลมเดิมและมีการเติมสารพิเศษเพิ่มเติมผสมกับผงกาแฟบดในถุงห่อหุ้ม เพื่อทำให้ผงกาแฟบดสามารถปรับรูปร่างได้ดีขึ้น ผลที่ได้จากการทดสอบคือสารพิเศษที่ผสมกับกาแฟบดในถุงห่อหุ้มสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจับมากขึ้น แต่มือจับแบบมีนิ้วจะให้แรงในการจับเพิ่มขึ้นสำหรับวัตถุขนาดเล็กและกลางในการจับแบบแนวตั้งเท่านั้นแต่ในวัตถุขนาดใหญ่การจับแบบแนวตั้งกับวัตถุทุกขนาดเมื่อจับแบบแนวนอนพบว่ามือจับแบบทรงกลมให้ประสิทธิภาพในการจับที่ดีกว่า

จากข้อมูลบทความทางวิชาการที่ได้ทำการสืบค้นมานั้น พบว่าการออกแบบมือจับควรใช้ระบบสุญญากาศ (negative pressure) ควบคู่ไปกับระบบอัดลม (positive pressure) เพื่อช่วยในการคืนรูปถุงห่อหุ้ม ที่ปริมาตรผงกาแฟบดภายในถุงห่อหุ้มคิดเป็น 80% ของปริมาตรทั้งหมด มุมที่ทำให้การจับมีประสิทธิภาพควรมากกว่า 45 องศา ส่วนประกอบสำคัญของมือจับคือโคมและขนาดถุงห่อหุ้มจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการจับวัตถุที่ขนาดต่างๆ

การออกแบบ

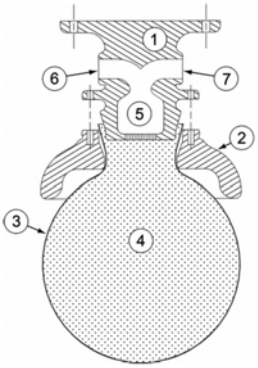
ส่วนประกอบหลักของมือจับแบบปรับรูปร่างได้ตามวัตถุดังรูปที่ 3 ประกอบด้วย

1. ฐานมือจับ เป็นส่วนเชื่อมต่อเพื่อจะนำไปประกอบกับแขนกลหุ่นยนต์

2. โคม ช่วยในการห่อหุ้มให้ปรับรูปร่างตามวัตถุ

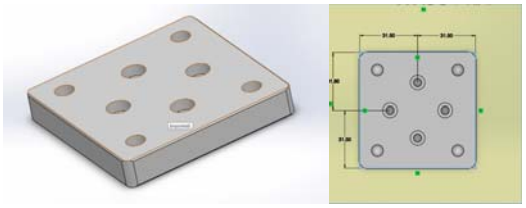
DRC-24

3. ถุงห่อหุ้ม ทำมาจากยางพาราเป็นส่วนสัมผัสกับวัตถุในการจับวัตถุยกขึ้น
4. ผงกาแฟบด บรรจุภายในถุงห่อหุ้มและเป็นตัวจับวัตถุที่สภาวะแข็งเกร็ง
5. แผ่นกรองอากาศ เพื่อกรองผงกาแฟไม่ให้หลุดออกจากถุงห่อหุ้มในสภาวะการสุญญากาศ
6. ท่อลมสุญญากาศ ทำให้เกิดสุญญากาศภายในถุงห่อหุ้ม ช่วยให้ผงกาแฟบดอยู่ในสภาวะแข็งเกร็งและจับวัตถุได้
7. ท่อลมแรงดัน เพื่อช่วยในการคืนรูปถุงห่อหุ้มให้พร้อมจับต่อไป

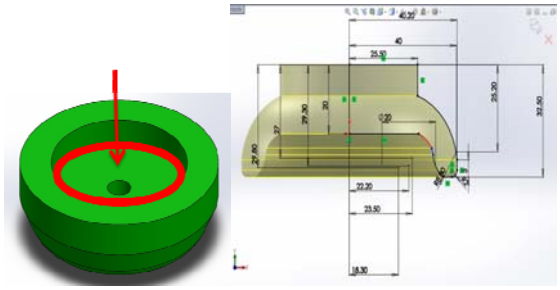


รูปที่ 3 แสดงส่วนประกอบของมือจับแบบปรับรูปร่างตามวัตถุ [2]

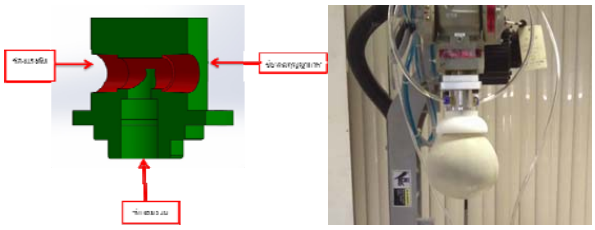
การออกแบบด้านตัวโครงสร้าง ใช้โปรแกรม SolidWorks ทำการแบ่งย่อยในการออกแบบเป็น 6 ชิ้นหลัก



(ก) (ข)



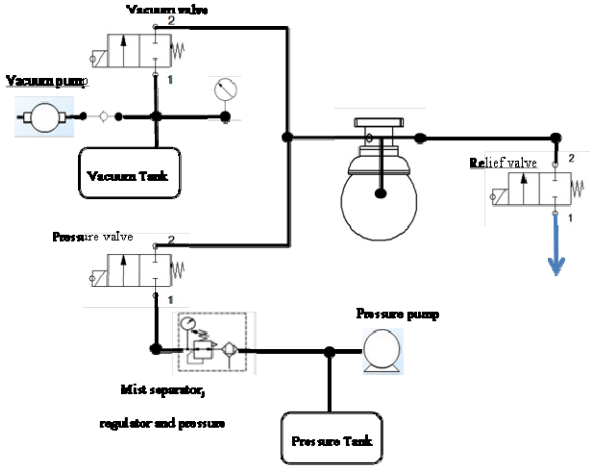
(ค) (ง)



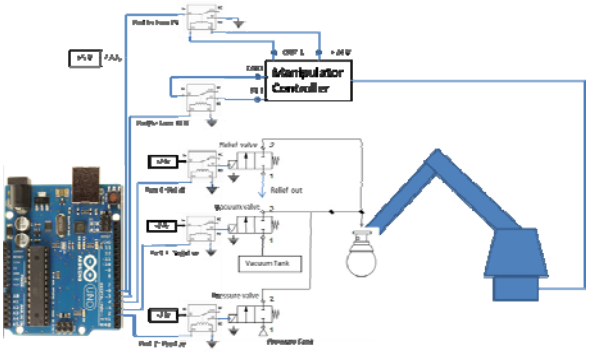
(จ) (ฉ)

รูปที่ 4 ส่วนประกอบของมือจับแบบปรับรูปร่างได้ตามวัตถุที่ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม solidworks ได้แก่ (ก) หน้าแปลนยึดติดกับตัวแขนหุ่นยนต์, (ข) หน้าแปลนที่บอกขนาดการออกแบบ, (ค) ฐานใส่ตัวกรองอากาศ, (ง) โคม, (จ) ช่องลมท่อแรงดันและท่อสุญญากาศ, (ฉ) มือจับที่ออกแบบและประกอบอย่างสมบูรณ์

ในการทำงานของมือจับนอกจากจะต้องอาศัยปั๊มลมแรงดันและปั๊มสุญญากาศแล้ว การจะควบคุมให้เป็นระบบอัตโนมัติเพื่อติดร่วมกับแขนกลและสามารถทำงานได้ตามสัญญาณคำสั่งนั้น จำเป็นต้องอาศัยคอนโทรลเลอร์และวงจรขับกระแสด้วยรีเลย์เพื่อกำหนดจังหวะการทำงานในอุปกรณ์ต่างๆ และใช้โซลินอยด์วาล์ว 2/2 ในการควบคุมการเปิด-ปิดลมควบคู่กับการระบายลมออกขณะทำการกดลงไปที่วัตถุ (Relief valve) ซึ่งในส่วนนี้เองเป็นส่วนที่ผู้วิจัยได้ทำเพิ่มเติม สำหรับความสามารถการห่อหุ้มที่ดีขึ้น



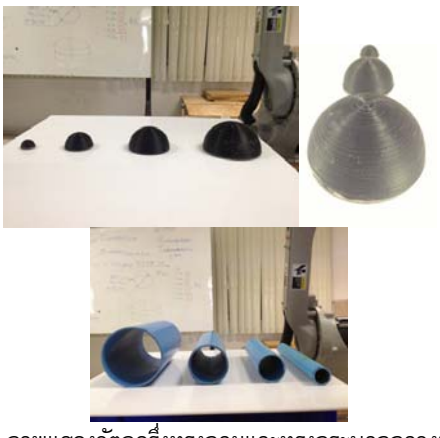
รูปที่ 5 ผังแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในวงจรลมของมือจับสุญญากาศปรับรูปร่างตามวัตถุ



รูปที่ 6 แผนภาพแสดงการต่ออุปกรณ์สำหรับใช้งานกับแขนกลหุ่นยนต์ Motoman NX 100

ระเบียบวิธีวิจัย

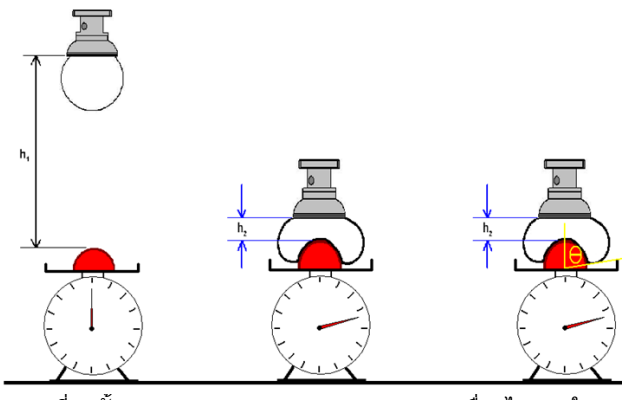
ในการทดลองจะใช้วัตถุด้วยกัน 2 ประเภท ได้แก่ วัตถุทรงครึ่งวงกลมผลิตจากพลาสติกด้วยวิธีการ 3D printing ดังนั้นพื้นผิวจะมีลักษณะเป็นชั้นลดระดับไปตามส่วนโค้งของวงกลมจำนวน 4 ขนาด ที่เส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 20, 40, 60 และ 80 mm หน้าตัดครึ่งทรงกลมเจาะรูสามารถติดตะขอสำหรับเกี่ยวสปริงวัดแรงดึงได้ กับวัตถุทรงกระบอกกลวง(ท่อพีวีซี) เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีความใกล้เคียงกับวัตถุครึ่งทรงกลมที่นำมาทดสอบมากที่สุดเพื่อสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 88, 60, 42 และ 26 mm ตามลำดับดังรูปที่ 7 ทำการทดสอบการจับในแนวนอนตามความยาวของท่อที่ได้เจาะรูตะขอไว้ด้านล่างตรงตำแหน่งกึ่งกลางของความยาวท่อเท่ากับ 100 mm เท่ากันทุกวัตถุ สำหรับการยึดตะขอกับตัววัตถุนั้นเพื่อให้วัตถุสามารถเกี่ยวเข้ากับสปริงวัดแรงดึงได้



รูปที่ 7 ภาพแสดงวัตถุครึ่งทรงกลมและทรงกระบอกกลวงที่ใช้ในการทดสอบ

หลังจากทำการออกแบบและสร้างชิ้นงานมือจับตามที่ต้องการแล้ว รูปแบบการทดลองจะดำเนินการทดลองทั้งสิ้น 2 การทดลองได้แก่ การทดลองหาแรงดึงสูงสุดที่ทำให้วัตถุหลุดออกจากมือจับ และการทดลองหาแรงที่ใช้ในการกดจับวัตถุกับมุมสัมผัสการจับในวัตถุครึ่งทรงกลม ซึ่งการทดลองดังกล่าวจะต้องอาศัยการควบคุมปัจจัยต่างๆในแต่ละการทดลองให้ได้มาตรฐาน มีความแน่นอนมากที่สุด ดังนี้

1. ถุงห่อหุ้มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 mm
2. ปริมาตรผงกาแฟบดภายในถุงห่อหุ้มที่ 80% อยู่ที่ 428.8 cm^3
3. แรงดันลมที่ใช้วัดจากเกจวัดความดันให้คงที่ที่ 0.2 MPa ที่ระยะเวลาการอัดลมเพื่อคืนรูปเป็น 400 ms
4. แรงดันสุญญากาศคงที่ที่ 0.8 บาร์ (0.08 MPa) ที่ระยะเวลาการทำสุญญากาศเท่ากับ 2100 ms หรือเทียบเท่ากับ 98% ของค่าคงตัวการสุญญากาศ
5. ท่อลมสุญญากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm ความยาววัดจากมือจับถึงระบบควบคุมลม (solenoid valve) เท่ากับ 4 m
6. ท่อลมความดันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 6 mm ความยาววัดจากมือจับถึงระบบควบคุมลม (solenoid valve) เท่ากับ 3.80 m
7. ความเร็วของแขนกลหุ่นยนต์ที่ 1.5 mm/s
8. ระยะความสูง h_1 = 350 mm, h_2 = 5 mm



รูปที่ 8 ขั้นตอนการทดสอบแรงกดและการกำหนดเงื่อนไขระยะในการกดลงบนวัตถุ

DRC-24

ในการทดลองการหาแรงดึงสูงสุดที่ทำให้มือจับไม่สามารถต้านทานแรงดึงจากวัตถุนั้นได้ จนทำให้วัตถุนั้นหลุดออกจากมือจับในที่สุด อาจกล่าวได้ว่าเราจะสามารถทราบค่าน้ำหนักสูงสุดในวัตถุขนาดนั้นๆที่มือจับสามารถจับขึ้นได้ โดยหลักการวัดแรงดึงจะใช้การวัดแรงจากระยะยืดสปริง เมื่อทราบค่านิจสปริงแน่นอนจากการหาอัตราส่วนระหว่างโหลดที่ทราบค่ากับระยะยืดที่เปลี่ยนไปมีค่าเท่ากับ 0.257 N/cm

การทดลองเริ่มจากการตั้งค่าแขนกลหุ่นยนต์ให้ได้ระยะความสูง (h_1) ต่อจากนั้นระบบจะอัดลมเข้าด้วยระยะเวลาที่กำหนดเพื่อเป็นการคืนรูปถุงห่อหุ้มและผงกาแฟบดภายในให้พร้อมใช้งาน หลังจากนั้นมือจับจะถูกเคลื่อนลงมากดลงบนวัตถุที่วางอยู่บนแท่นที่เตรียมไว้ให้วัตถุอยู่ที่ตำแหน่งเดิมเสมอจากจุดที่ทำการจับ โดยให้ความสูงในการกดจับวัตถุนั้นกำหนดให้ห่างจากระนาบอ้างอิง (ผิวบนสุดส่วนโค้งของความสูงครึ่งทรงกลม) จนถึงปลายโคมของมือจับให้มีระยะห่างที่ความสูง (h_2) เท่ากันในทุกๆวัตถุ เมื่อทำการกดจนได้ระยะเป็นที่ต้องการจากการอ่านค่าที่จอแสดงผลของแขนกลหุ่นยนต์แล้ว ระบบสุญญากาศจะเริ่มทำการดูดลมภายในถุงห่อหุ้มออกตามระยะเวลาที่กำหนด แล้วแขนกลหุ่นยนต์จะยกวัตถุขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วคงที่ ตะขอที่ติดใต้วัตถุจะดึงสปริงให้ยืดออกตามระยะที่มือจับยกวัตถุขึ้น ระยะการยืดของสปริงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดที่แรงดึงภายในของสปริงมากกว่าแรงจับวัตถุของมือจับ ทำให้วัตถุหลุดออกจากมือจับ ระยะการยืดของสปริงที่ได้สามารถอ่านค่าได้จากหน้าจอแสดงผลของแขนกลหุ่นยนต์ที่จับวัตถุยกขึ้น เมื่อวัดเทียบกับระดับอ้างอิงที่ตำแหน่งเริ่มต้นของสปริง เมื่อทราบระยะยืดของสปริงกับค่านิจสปริงแล้ว ทำให้สามารถคำนวณกลับหาค่าแรงที่ใช้ในการยึดจับได้ แล้วจึงทำการทดลองซ้ำที่วัตถุขนาดเดิมเป็นจำนวน 5 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย และทำการทดลองในแบบเดียวกัน เมื่อมีการเปลี่ยนขนาดวัตถุทดสอบจากนั้นจึงเปลี่ยนประเภทวัตถุจนครบทั้ง 2 ประเภท

รูปที่ 9 การทดสอบแรงในการยึดจับของวัตถุครึ่งทรงกลมและทรงกระบอกกลวงด้วยสปริงวัดแรงดึง

การทดลองหาแรงกดที่ใช้ในการจับวัตถุกับมุมสัมผัสการจับเมื่อวัตถุมีขนาดเปลี่ยนไป ทำให้ทราบว่าที่ระยะกดความสูงจากมือจับถึงวัตถุตามที่ต้องการนั้นจะให้แรงในการกดเพื่อจับวัตถุขึ้นที่ขนาดเท่าใด และเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดวัตถุจะส่งผลให้ที่ระยะเท่าเดิมแต่มุมสัมผัสในการจับวัตถุจะเปลี่ยนไปเช่นเดียวกัน สิ่งแรกที่ทำในการทดลองนี้คือ การตั้งค่าความสูงแขนกลหุ่นยนต์ที่ระยะ (h_1) ก่อน ต่อจากนั้นให้ระบบควบคุมอัดลมเข้าถุงห่อหุ้มที่ระยะเวลาต้องการเพื่อเป็นการคืนรูปถุงห่อหุ้มและผงกาแฟบดภายในให้พร้อมใช้งาน วางวัตถุไว้บนตาชั่งสปริง เพื่อจะวัดน้ำหนักในการกด วัตถุจะถูกวางในตำแหน่งที่ตั้งค่าไว้เพื่อให้การกดแต่ละครั้งลงมาที่ตำแหน่งเดิมเสมอ เมื่อทำการเคลื่อนแขนกลหุ่นยนต์มาในแนวดิ่งโดยให้ความสูงในการกดจับวัตถุนั้นกำหนดให้ห่างจากระนาบอ้างอิง (ผิวบนสุดส่วนโค้งของความสูงครึ่งทรงกลม) จนถึงปลายโคมของมือจับให้มีระยะห่างที่ความสูง (h_2) เท่ากันในทุกๆวัตถุแล้วดังรูปที่ 8 จะสามารถอ่านค่าแรงในการกดได้จากตาชั่งสปริงและวัดมุมสัมผัสในการจับที่วัตถุชิ้นนั้นได้ด้วยแผ่นวัดมุมครึ่งวงกลม แล้วบันทึกผลการทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้งในวัตถุขนาดเดียวกัน จากนั้นเปลี่ยนขนาดวัตถุที่ทำการทดลองและทดลองซ้ำแบบเดิมจนครบทั้ง 2 ประเภทของวัตถุ

DRC-24

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 10 การทดสอบแรงในการกดและมุมสัมผัสในการจับ (ก) ก่อนทำการกดวัตถุครึ่งทรงกลมบนตาชั่ง, (ข) ขณะทำการกดวัตถุครึ่งทรงกลมบนตาชั่ง, (ค) การวัดมุมสัมผัสในการจับของวัตถุทรงกระบอกกลวง

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าในวัตถุครึ่งทรงกลมจะต้องใช้แรงในการกดมากเพื่อให้ได้ระยะการกดที่เท่าเดิมเสมอ จนทำให้ถุงห่อหุ้มสัมผัสกับตาชั่งโดยตรง ทำให้ในวัตถุชิ้นเล็กมีแรงกดที่มากกว่าวัตถุชิ้นใหญ่ และแรงในการยึดจับ (holding force) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามขนาดที่เพิ่มขึ้น นั่นคือพื้นที่ผิวในการจับก็จะมากขึ้นตามไปด้วย แสดงว่าผลในการจับขึ้นครั้งนี้เกิดจากแรงเสียดทานบนพื้นผิวของวัตถุที่เกิดจากการสร้างชิ้นงานไล่ระดับเป็นชั้นจนได้ทรงครึ่งวงกลม จากแรงที่ใช้ในการกดกับแรงในการยึดจับจะมีค่าดีที่สุดในวัตถุขนาด 60 มม. สำหรับวัตถุทรงกระบอกกลวง มุมองศาในการจับจะมีแนวโน้มในการลดลงอย่างเห็นได้ชัด และสามารถจับได้ดีที่สุดในวัตถุขนาดเล็กที่ 26 มม. แต่เมื่อมุมน้อยกว่า 45 องศา ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Amend et al. [2] ว่าจะไม่สามารถทำการจับได้เลยหรือยกขึ้นแล้ววัตถุตกทันที แสดงว่ารูปแบบในการจับของวัตถุทรงกระบอกจะใช้การประสานกันทางเรขาคณิตระหว่างมือจับกับพื้นผิวของวัตถุ คือถุงห่อหุ้มสามารถคล้อยไปตามรูปทรงทำให้แรงในการยึดจับมาก แต่เมื่อมุมองศาในการจับน้อยลง แรงในการยึดจับจะน้อยลงอย่างต่อเนื่อง จนเมื่อมุมองศาที่น้อยที่สุดคือ 25 องศา เกิดแรงในการยึดจับน้อยมากซึ่งมาจากผลกระทบของแรงดูดสุญญากาศเท่านั้น

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองหาค่ามุมองศาในการจับ แรงที่ใช้ในการจับ(แรงกด) และแรงในการยึดจับ

ตัวแปรที่ศึกษา	วัตถุครึ่งทรงกลม			
size dia. (mm)	20.00	40.00	60.00	80.00
contact (degree)	90.00	80.00	80.00	80.00
avg. holding force (N)	0.57	0.87	5.85	4.83
S.D. holding force	0.02	0.13	1.43	1.16
avg. apply force (kg)	7.00	4.00	3.40	4.20
S.D. apply force	0.38	0.09	0.27	0.29
ตัวแปรที่ศึกษา	วัตถุท่อกลวง (PVC)			
size dia. (mm)	26.00	42.00	60.00	88.00
contact (degree)	90.00	45.00	40.00	25.00
avg. holding force (N)	13.57	5.58	2.00	0.05
S.D. holding force	2.64	1.34	0.93	0.01
avg. apply force (kg)	-	-	-	-

สรุปผลการทดลอง

ตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อการจับได้แก่ ขนาดโคมขนาดของถุงห่อหุ้ม มุมองศาในการจับ รูปทรงของวัตถุ และผิวสัมผัสของวัตถุ ล้วนแต่มีความสัมพันธ์กันทั้งสิ้น โดยจากเงื่อนไขในการทดลองเมื่อวัตถุเป็นครึ่งทรงกลมที่ขนาด 60 มม. จะให้ผลในการจับดีที่สุดคือใช้แรงกดจับน้อยแต่สามารถยึดจับได้สูง แต่ในวัตถุทรงกระบอกกลวงขนาดเล็ก สามารถช่วยให้การห่อหุ้มมีประสิทธิภาพ แรงในการยึดจับก็จะดีตามไปด้วย

เมื่อนำผลการทดลองและเงื่อนไขต่างๆในการทดลองไปเปรียบเทียบกับบทความที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ โดยมีวัตถุที่สามารถเทียบเคียงได้เพียงวัตถุเดียวคือ วัตถุทรงกระบอกกลวงขนาด 26 มม. ดังตารางที่ 2 จะพบว่าขนาดของถุงมือที่กลุ่มวิจัยใช้มีขนาดใหญ่กว่าบทความอื่นๆและมีความหนามากกว่าด้วย เมื่อความดันในการสุญญากาศใกล้เคียงกัน แต่แรงในการยึดจับมีค่ามากกว่าอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าเมื่อวัตถุมีขนาดเพิ่มขึ้น ควรที่จะมีการปรับขนาดถุงห่อหุ้มและโคมให้มากขึ้นด้วย แต่จะทำให้เวลาในการสุญญากาศนานขึ้นตามปริมาตรภายในถุงห่อหุ้ม ซึ่งแรงในการยึดจับของกลุ่มวิจัยที่ทดสอบมีค่ามากกว่าบทความที่ผ่านมา แต่น้อยกว่ามือจับแบบ active

ทั่วไป จึงเหมาะกับการใช้จับวัตถุที่เสียรูปง่าย อ่อนนุ่ม เช่น ผลไม้ ไข่ไก่ ลูกปิงปอง ขวดพลาสติก เป็นต้น ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบเงื่อนไขการทดลองของกลุ่มผู้วิจัยกับบทความที่ผ่านมาของวัตถุทรงกระบอกกลวงขนาด 26 มม.

ตัวแปรควบคุมที่ใช้	ของกลุ่มวิจัย	Amend et al. (2012)	Kapadia J. and Yim M. (2012)
รัศมีถุงห่อหุ้ม (mm)	50.00	43.00	35.00
ความหนาถุงห่อหุ้ม (mm)	0.50	0.33	0.30
ความเร็วแขนกล (mm/s)	1.50	240.00	5.00
แรงการยึดจับ (N)	13.00	10.00	5.80
แรงดันปั๊มลม(kPa)	200.00	620.00	100.00
อัตราการไหลแรงดัน (L/s)	1.14	2.16	N/A
เวลาในการอัดลม (s)	0.40	0.10	N/A
แรงดันปั๊มสุญญากาศ (kPa)	80.00	85.00	50.00
อัตราการไหลสุญญากาศ	0.34 bar/s	0.25 L/s	0.052 L/s
เวลาในการสุญญากาศ (s)	2.1 s	1.1 s	N/A

ข้อเสนอแนะ

การเพิ่มขนาดของถุงห่อหุ้มต้องอาศัยการพัฒนาคุณสมบัติของยางพาราที่ไม่ยืดตัวตามน้ำหนักผงกาแฟบดที่เพิ่มขึ้น ทนทานต่อความร้อนและของมีคมมากขึ้น ซึ่งทั้งหมดนี้ยังคงเป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของมือจับนี้ที่ยังต้องอาศัยการพัฒนาจากศาสตร์อื่นต่อไป

ปัจจัยสำคัญที่เหมาะกับการศึกษาและวิจัยต่อไป คือ การเลือกใช้วัสดุผงในถุงห่อหุ้มที่ต้องมีขนาดที่เล็กละเอียด เมื่อเกิดการอัดตัวด้วยสุญญากาศจะต้องแน่นเกิดช่องว่างน้อยที่สุด มีน้ำหนักเบา กันความชื้นที่แฝงกับน้ำในอากาศ และมีต้นทุนต่ำ แต่วัสดุผงที่ใส่ในถุงห่อหุ้มที่ผู้วิจัยใช้ยังคงเป็นกาแฟบด ซึ่งมีต้นทุนที่สูงหากจะพัฒนาในเชิงพาณิชย์ จากการที่กลุ่มผู้วิจัยเคยทำการทดสอบวัสดุแบบอื่นเช่น ทราย ถั่วเขียว และงาดำ พบว่าเม็ดทรายมีน้ำหนักมากเกินไป และความคมของทรายอาจทำให้ถุงห่อหุ้มเสียหายได้ ถั่วเขียวก็จะมีขนาดที่ใหญ่ น้ำหนักมากเกินไป เมื่อเกิดการอัดตัวจากสุญญากาศทำให้เกิดช่องว่างภายในระหว่างกันมาก เป็นผลให้การจับไม่ดี และงาดำสามารถใช้ได้ในระดับหนึ่งแต่ยังมีขนาดใหญ่อยู่เล็กน้อย ดังนั้นหากนำไปบดก่อนอาจสามารถใช้แทนได้ในราคาที่ต่ำกว่า

การทดลองในบทความนี้ยังคงขาดการทดสอบกับวัตถุที่รูปทรง ขนาด และประเภทของวัตถุเหมือนกันทุกประการ แต่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก อาจใช้เป็นการจับขวดที่มีการเปลี่ยนน้ำหนักของเหลวภายในและการทดลองจับวัตถุเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของมือจับ โคม และถุงห่อหุ้ม ซึ่งจะได้ข้อมูลที่น่าสนใจและสามารถวิเคราะห์ปัจจัยได้ครอบคลุมเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังสามารถทำการทดลองหาความสัมพันธ์เทียบระหว่างขนาดวัตถุกับขนาดถุงห่อหุ้มโดยควรเพิ่มจำนวนครั้งการทดลองให้มากขึ้นกว่านี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ ผศ.ดร.พันธ์ญา สุนินทบูรณ์ และคุณพร้อมศักดิ์ สงวนธำมรงค์ ภาควิชาพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลวิทยาเขตศาลายาในการช่วยผลิตถุงห่อหุ้มจากยางพารา

ขอบคุณ ผศ.ดร.เชง เลิศมโนรัตน์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการผลิตวัตถุที่ใช้ทดสอบ

ขอบคุณบริษัท Maximize Solution Co.,Ltd จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือเครื่องมือและอุปกรณ์การทำงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] Brown E, Rodenberg, N., Amend, J., Mozeika, A., Steltz, E., Zakin, M., Lipson, H., Jaeger, H. (2010). Universal robotic gripper based on the jamming of granular material, Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), vol. 104, no. 144, 2 November 2010, pp. 18809-18814.

[2] Amend JR, Brown EM, Rodenberg N, Jaeger HM, Lipson H. (2012). A Positive Pressure Universal Gripper Based on the Jamming of Granular Material, Robotics, IEEE Transactions, vol. 28, no. 2, April 2012, pp. 341-350.

[3] Kapadia J, Yim M. (2012). Design and performance of nubbed fluidizing jamming grippers, Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference, 14-18 May 2012.