

# การออกแบบและการสร้างเครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวแมติก

## Design and fabrication of a semi-automatic paper petal compression machine with a pneumatic system

เจษฎา แพรกนันทโฮ<sup>1\*</sup>, มณฑล ชูโชนาค<sup>1</sup>  
Jetsada Phraeknanthoe<sup>1\*</sup>, Monthon Chuchonak<sup>1</sup>

**Received:** 20 December 2021 ; **Revised:** 22 March 2022 ; **Accepted:** 26 April 2022

### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและการสร้างเครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวแมติก เพื่ออัดกลีบกระดาษสำหรับใช้ทำดอกไม้ประดิษฐ์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการกำหนดลักษณะการทำงานของเครื่องอัดกลีบกระดาษ การเขียนแผนผังลำดับขั้นการทำงาน การออกแบบวงจรนิวแมติกและวงจรไฟฟ้า การคำนวณหาและการเลือกขนาดของอุปกรณ์นิวแมติก และการศึกษาสภาวะการอัดกลีบกระดาษที่เหมาะสมและลักษณะรอยย่นของกลีบกระดาษ โดยเครื่องอัดกลีบสามารถอัดกลีบได้พร้อมกันครั้งละ 4 ตำแหน่ง วัสดุที่ใช้ทดลองคือกระดาษ 55 และ 65 gsm ที่ตัดเป็นรูปกลีบดอก การทดลองทำโดยนำกลีบกระดาษจำนวน 6, 8, 10, 12, 14, และ 16 แผ่น ม้วนเป็นทรงกระบอกกลวง โดยกลีบกระดาษ 4 ม้วนที่มีจำนวนกลีบเท่ากันจะถูกอัดพร้อมกันที่ความดันใช้งาน 0.6 MPa ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าเครื่องอัดกลีบสามารถอัดกลีบกระดาษ 55 gsm ให้มีรอยย่นที่ค่อนข้างชัดเจนและสม่ำเสมออยู่ในช่วง 6 ถึง 14 แผ่นต่อม้วน ในขณะที่กลีบกระดาษ 65 gsm อยู่ในช่วง 6 ถึง 12 แผ่นต่อม้วน

**คำสำคัญ:** การออกแบบและการสร้าง นิวแมติก เครื่องอัดกลีบกระดาษ กึ่งอัตโนมัติ

### Abstract

This research presents the design and fabrication of a semi-automatic paper petal compression machine with a pneumatic system to crease paper petals for making artificial flowers. The description comprises the procedures of defining operating characteristics for the machine, drawing its function diagram, designing the pneumatic circuit and the electrical circuit, calculating and choosing the dimensions of pneumatic components, and studying optimum paper petal compression conditions and appearances of creases on the paper petals. The machine can be used to compress the paper petals in four positions at the same time. The experimental materials were the paper of 55 and 65 gsm which was cut in the petal shape. The experiments were done by rolling 6, 8, 10, 12, 14, and 16 pieces of paper petals into hollow cylinders of which four rolls of those with the same number of paper petals were compressed simultaneously at the operating pressure of 0.6 MPa. The results showed that the machine could be used to compress the paper petals of 55 gsm to provide quite noticeable and consistent creases in the range of 6 to 14 pieces per roll, while the paper petals of 65 gsm were in the range of 6 to 12 pieces per roll.

**Keywords:** Design and Fabrication, Pneumatic, Paper Petal Compression Machine, Semi-Automatic

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

<sup>1</sup> Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep Nanglinchi Road, Thungmahamek, Sathon, Bangkok, 10120

\* Corresponding author: e-mail: jetsada.p@mail.rmutk.ac.th

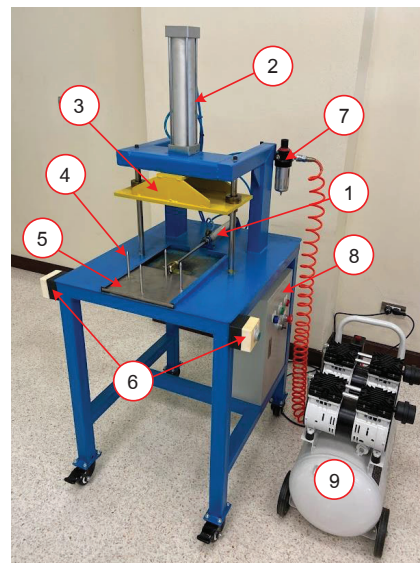
## บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้กระดาษอัดกลีบกันอย่างแพร่หลายทั่วทั้งประเทศไทย โดยวิธีการอัดกลีบกระดาษส่วนใหญ่ทำโดยใช้แรงงานมนุษย์ ซึ่งก่อให้เกิดการเมื่อยล้า เพราะต้องใช้แรงในการกดอัดเป็นเวลานาน ส่งผลให้จำนวนของกระดาษอัดที่ได้ มีปริมาณน้อย ดังนั้นเพื่อประหยัดแรงงาน และเวลาในการผลิต จึงได้มีนักวิจัยทำการศึกษาและสร้างเครื่องอัดกลีบกระดาษ ได้แก่ อำนวย (อำนวย ทองคำ, 2556) ได้ทำการศึกษาออกแบบพัฒนาเครื่องผลิตดอกไม้จันทน์โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นกำลัง เพื่อตัดกระดาษให้มีรูปทรงเป็นกลีบดอกไม้จันทน์ ในขณะที่วรพงศ์ และคณะ (วรพงศ์ บุญช่วยแทน, 2558 ; วรพงศ์ บุญช่วยแทน และคณะ, 2560) ได้สร้างเครื่องอัดกลีบดอกไม้ประดิษฐ์และศึกษาความสามารถในการผลิต โดยมีกระบอกสูบลมเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนแผ่นอัดเพื่ออัดกระดาษให้เกิดรอยย่น พบว่าให้ผลลัพธ์เป็นที่พึงพอใจ โดยงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นได้มุ่งเน้นถึงการศึกษาและการสร้างเครื่องอัดกลีบกระดาษ ปริมาณการผลิต และเวลาในการผลิต แต่ไม่ได้นำเสนอเกี่ยวกับรายละเอียดของระบบและวงจรการทำงานของเครื่องอัดกลีบมากนัก ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติที่ใช้ระบบนิวแมติกเป็นต้นกำลัง เนื่องจากระบบนิวแมติกเป็นระบบที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำ สามารถปรับความเร็วและหน่วงเวลาในการอัดของกระบอกสูบได้ สามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ช่วยเพิ่มผลผลิตลดการใช้แรงงาน และยังสามารถออกแบบให้ระบบทำงานในลักษณะกึ่งอัตโนมัติได้ด้วย นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางให้ผู้สนใจหรือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่มีความต้องการสร้างเครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติเพื่อผลิตกลีบกระดาษสำหรับทำดอกไม้ประดิษฐ์ หรือเพื่อทดแทนเครื่องจักรแบบดั้งเดิม สามารถนำขั้นตอนที่นำเสนอในบทความนี้ไปสร้างเครื่องอัดกลีบกระดาษต่อได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการนำเสนอแนวทางการออกแบบและการสร้างเครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวแมติก เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานมีหน้าที่บรรจุกระดาษเข้ากับเครื่องอัดกลีบ กดสั่งให้เครื่องอัดกลีบทำงาน และนำกระดาษออกหลังการอัดกลีบ (สร้างรอยย่น) เสร็จสิ้น โดยมุ่งเน้นนำเสนอวิธีการกำหนดลักษณะการทำงานของเครื่องอัดกลีบกระดาษ การเขียนแผนผังลำดับขั้นการทำงาน การออกแบบวงจรนิวแมติก และวงจรไฟฟ้าสำหรับเครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติ รวมถึงการคำนวณหาและการเลือกขนาดของอุปกรณ์นิวแมติก

## วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการศึกษา

เครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวแมติก แสดงใน Figure 1 ซึ่งประกอบด้วย (1) กระบอกสูบลม 1A (pneumatic cylinder 1A) ทำหน้าที่บังคับให้ชุดป้อนกระดาษเคลื่อนที่ในแนวนอนระหว่างตำแหน่งบรรจุกระดาษกับตำแหน่งอัดกลีบ, (2) กระบอกสูบลม 2A (pneumatic cylinder 2A) ทำหน้าที่อัดกลีบกระดาษ ซึ่งปลายก้านสูบจะยึดติดกับแท่นอัดกลีบ, (3) แท่นอัดกลีบ ทำหน้าที่เป็นแท่นอัดกลีบกระดาษที่ม้วนเป็นทรงกระบอกกลวง (hollow cylinder) ซึ่งสวมไว้ที่แกนอัดกลีบเพื่อทำให้กลีบกระดาษเกิดรอยย่น, (4) แกนอัดกลีบ จำนวน 4 แกน ทำหน้าที่เป็นแกนสำหรับสวมกลีบกระดาษม้วน, (5) ชุดป้อนกระดาษ ประกอบด้วยแกนอัดกลีบ 4 แกน ซึ่งติดตั้งบนฐานชุดป้อนกระดาษ (แผ่นสแตนเลส), (6) สวิตช์ปุ่มกด (push button switch) มีจำนวน 2 ตัว ซึ่งติดตั้งไว้ที่ด้านซ้ายและด้านขวาของเครื่องอัดกลีบด้านละ 1 ตัว ทำหน้าที่เป็นสวิตช์สั่งการทำงานของเครื่องอัดกลีบ โดยต้องกดสวิตช์พร้อมกันสองมือ, (7) ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด (service unit) ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรกในลมอัด ปรับตั้งค่าความดันใช้งานของลมอัด และผสมน้ำหล่อลื่นให้กับลมอัดเพื่อไปหล่อลื่นอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่, (8) ตู้ควบคุม ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าของเครื่องอัดกลีบ, และ (9) แหล่งจ่ายลมอัด ทำหน้าที่ผลิตและจ่ายลมอัดให้กับระบบนิวแมติกของเครื่องอัดกลีบ



(1) กระบอกสูบลม 1A, (2) กระบอกสูบลม 2A, (3) แท่นอัดกลีบ, (4) แกนอัดกลีบ, (5) ชุดป้อนกระดาษ, (6) สวิตช์ปุ่มกด, (7) ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด, (8) ตู้ควบคุม, (9) แหล่งจ่ายลมอัด

Figure 1 The semi-automatic paper petal compression machine with a pneumatic system

สำหรับขั้นตอนการกำหนดลักษณะการทำงานของเครื่องอัดกลีบกระดาษ การเขียนแผนผังลำดับขั้นการทำงาน การออกแบบวงจรนิวแมติกและวงจรไฟฟ้า รวมถึงการคำนวณหาและการเลือกขนาดของอุปกรณ์นิวแมติกของเครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

### การกำหนดลักษณะการทำงานของเครื่องอัดกลีบกระดาษ

แนวคิดการออกแบบ คือการประยุกต์ใช้ระบบนิวแมติกเพื่อสร้างเครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติ (semi-automation) และกำหนดลักษณะการทำงานของเครื่องอัดกลีบ ดังแสดงใน Figure 2 ซึ่งประกอบด้วยชุดป้อนกระดาษที่มีแกนอัดกลีบสำหรับสวมกลีบกระดาษม้วนจำนวน 4 แกน ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm และสูง 100 mm ติดตั้งในระยะรัศมี 95 mm รอบจุดศูนย์กลางของฐานชุดป้อนกระดาษที่ตำแหน่ง 0, 90, 180, และ 270 องศา ซึ่งทำให้แรงอัดสามารถกระจายไปยังแกนทั้ง 4 ได้เท่ากัน และยังสามารถผลิตกระดาษอัดกลีบได้ในปริมาณมากต่อครั้ง โดยมีกระบอกสูบ 1A ทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งของชุดป้อนกระดาษเพื่อดึงชุดป้อนกระดาษจากตำแหน่งบรรจุกระดาษเข้าไปยังตำแหน่งอัดกลีบ และผลักชุดป้อนกระดาษกลับตำแหน่งเดิมหลังการอัดกลีบเสร็จสิ้น (ระยะเลื่อน 200 mm) เพื่อความสะดวกในการบรรจุและนำกลีบกระดาษม้วนออกจากแกนอัดกลีบ ส่วนแท่นอัดกลีบทำหน้าที่อัดกลีบกระดาษม้วนซึ่งบรรจุไว้ที่ชุดป้อนกระดาษเพื่อทำให้อัดกลีบกระดาษเกิดรอยย่นซึ่งมีกระบอกสูบ 2A (ระยะเลื่อน 250 mm) เป็นต้นกำลังในการอัดกลีบ โดยแท่นอัดกลีบจะมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 mm ที่ตำแหน่ง 0, 90, 180, และ 270 องศา อยู่ในระยะรัศมี 95 mm รอบจุดศูนย์กลางของตำแหน่งติดตั้งปลายก้านสูบ 2A ซึ่งรูเหล่านี้จะตรงกับตำแหน่งของแกนอัดกลีบทั้ง 4 แกน เพื่อให้แท่นอัดกลีบสามารถเคลื่อนตัวทะลุแกนอัดกลีบไปกดอัดกลีบกระดาษม้วนที่แกนอัดกลีบให้ยุบตัวลงไป ซึ่งจะก่อให้เกิดรอยย่นที่กลีบกระดาษ โดยเครื่องอัดกลีบได้ออกแบบให้มีช่องว่างในตำแหน่งอัดกระดาษระหว่างแท่นอัดกลีบกับฐานชุดป้อนกระดาษประมาณ 30 mm เพื่อเป็นพื้นที่ให้กับกลีบกระดาษม้วนหลังการอัด

หลักการการทำงานของเครื่องอัดกลีบกระดาษใน Figure 2 สามารถอธิบายได้ดังนี้ โดยให้ผู้ปฏิบัติงานทำการม้วนกลีบกระดาษเป็นทรงกระบอกกลวง (กลีบกระดาษม้วน) และสวมกลีบกระดาษม้วนเข้ากับแกนอัดกลีบในตำแหน่งบรรจุกระดาษ หลังจากนั้นกดปุ่มสั่งให้เครื่องอัดกลีบทำงาน โดยกระบอกสูบ 1A จะเลื่อนเข้าเพื่อดึงชุดป้อนกระดาษเข้าไปยังตำแหน่งอัดกลีบ ต่อมากระบอกสูบ 2A จะดันแท่นอัดกลีบเลื่อนลงมาอัดกลีบกระดาษม้วนที่แกนอัดกลีบ หลังจากนั้นกระบอกสูบ 2A

จะดึงแท่นอัดกลีบให้เลื่อนขึ้นกลับตำแหน่งเดิม และกระบอกสูบ 1A จะผลักชุดป้อนกระดาษกลับตำแหน่งบรรจุกระดาษ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานนำกลีบกระดาษม้วนที่ผ่านการอัดกลีบออกจากแกนอัดกลีบ ซึ่งการทำงานตามลักษณะดังกล่าวนี้ จะก่อให้เกิดลักษณะการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ นอกจากนั้นยังช่วยลดการใช้แรงงานคน และเพิ่มอัตราการผลิตได้อีกด้วย

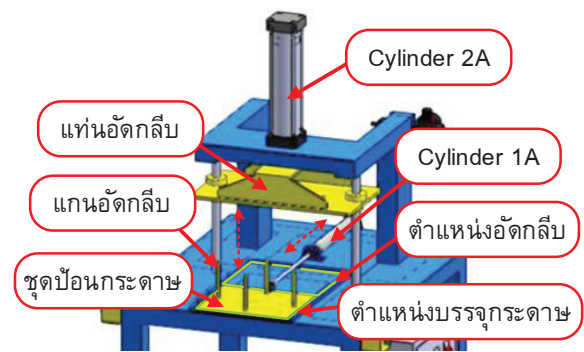


Figure 2 The positional sketch

จากการกำหนดลักษณะการทำงานของเครื่องอัดกลีบ สามารถแบ่งการทำงานของกระบอกสูบ 1A และ 2A ได้เป็น 4 จังหวะ (step) ถึงแม้ว่าการควบคุมการทำงานของกระบอกสูบในวงจรนิวแมติกมีหลายวิธี แต่การควบคุมด้วยไฟฟ้าเป็นวิธีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย และอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยทั่วไปจะมีราคาถูก และใช้งานได้หลากหลาย (ชัยนันทศรีสุภานานนท์, 2553) นอกจากนั้นการควบคุมด้วยระบบไฟฟ้าจะช่วยลดความซับซ้อนของวงจรนิวแมติกลงด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วงจรนิวแมติกที่ควบคุมการทำงานด้วยไฟฟ้า โดยกระบอกสูบ 1A และ 2A จะถูกควบคุมจังหวะการทำงานด้วยโซลินอยด์วาล์ว (solenoid valve) จำนวน 2 ตัว เพื่อให้กระบอกสูบสามารถทำงานอย่างต่อเนื่องกันตามลำดับขั้น 4 จังหวะ ด้วยการกดสวิตช์เพียงครั้งเดียว

สำหรับวิธีส่งสัญญาณสั่งโซลินอยด์วาล์วเพื่อบังคับให้กระบอกสูบทำงานในจังหวะต่อไปอย่างต่อเนื่องตามลำดับขั้นด้วยการส่งงานเพียงครั้งเดียวนั้น โดยปกติวิธีส่งสัญญาณสั่งมี 2 วิธี ได้แก่ การติดตั้งลิมิตสวิตช์ (limit switch) ที่ตำแหน่งเข้าสุดและออกสุดของปลายก้านสูบ และการติดตั้งสวิตช์แม่เหล็ก (magnetic switch) ที่ตำแหน่งหัวและท้ายของตัวกระบอกสูบ แต่ทั้งสองวิธีไม่สามารถทำได้ เนื่องจากวิธีแรกไม่มีตำแหน่งและพื้นที่เพียงพอต่อการติดตั้งลิมิตสวิตช์ เพราะตำแหน่งปลายก้านสูบของกระบอกสูบ 1A และ 2A ต้องเชื่อมต่อกับชุดป้อนกระดาษและแท่นอัดกลีบ ในขณะที่วิธีที่สองต้องใช้กระบอกสูบแบบพิเศษ ซึ่งมีราคาสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้รีเลย์ตั้งเวลา (time relay) ควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว เพื่อควบคุมลำดับขั้นการทำงานของกระบอกสูบให้เป็นไปตามลักษณะการทำงานที่กำหนด

โดยวิธีนี้ทำให้สามารถเลือกใช้กระบอบสูบแบบธรรมดาได้และ  
ง่ายต่อการติดตั้ง

**การเขียนแผนผังลำดับขั้นการทำงาน**

แผนผังลำดับขั้นการทำงาน (function diagram) จะ  
แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับขั้นการเคลื่อนที่  
ของก้านสูบกับการเคลื่อนที่ของวาล์วควบคุมทิศทาง เพื่อ  
กำหนดสัญญาณสั่งให้ไปกระทำที่วาล์วควบคุมทิศทางและ  
สั่งให้กระบอบสูบทำงานในจังหวะต่อไปตามลำดับขั้น โดย  
Figure 3 แสดงแผนผังลำดับขั้นการทำงานของเครื่องอัดกลีบ  
ซึ่งประกอบด้วยแผนผังการเคลื่อนที่ของกระบอบสูบ 1A และ  
2A (displacement-step diagram) และแผนผังการทำงาน  
ของวาล์วควบคุมทิศทาง 1V1 และ 2V1 (control chart)  
โดยวาล์ว 1V1 และ 2V1 จะทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการ  
ทำงานของกระบอบสูบ 1A และ 2A ตามลำดับ จาก Figure  
สามารถอธิบายได้ดังนี้ โดยแกนแนวตั้งของกระบอบสูบ คือ  
ความยาวช่วงชัก ซึ่งตำแหน่ง 0 หมายถึงตำแหน่งที่ก้านสูบ  
เลื่อนเข้าสู่สุด และ 1 หมายถึงตำแหน่งที่ก้านสูบเลื่อนออกสุด  
ส่วนในกรณีของวาล์วควบคุมทิศทาง ตำแหน่ง 0 หมายถึง  
ตำแหน่งปกติ (normal position) และ 1 หมายถึงตำแหน่ง  
ทำงาน (operated position) สำหรับแกนแนวนอนของแผนผัง  
แสดงถึงจังหวะการทำงานของกระบอบสูบและวาล์วควบคุม  
ทิศทาง ซึ่งมี 4 จังหวะ โดยตำแหน่งปกติก้านสูบของกระบอบสูบ  
1A จะอยู่ที่ตำแหน่งออกสุด (1) ในขณะที่ก้านสูบของกระบอบ  
สูบ 2A จะอยู่ที่ตำแหน่งเข้าสู่สุด (0) สำหรับการทำงานเริ่ม  
ต้นหลังจากผู้ปฏิบัติงานสวมกลีบกระดาดเข้ากับแกน  
อัดกลีบเรียบร้อยแล้ว ทำการกดปุ่ม S2 และ S3 พร้อม  
กัน จะทำให้วาล์วควบคุมทิศทาง 1V1 ในแกนจังหวะที่ 1  
เปลี่ยนตำแหน่งจาก 0 เป็น 1 ทำให้ก้านสูบ 1A เลื่อนเข้าจาก  
แกนจังหวะที่ 1 ถึงแกนจังหวะที่ 2 (ระหว่างแกนจังหวะที่ 1  
ถึงแกนจังหวะที่ 2 เรียกว่า 1 จังหวะ) ต่อมาที่แกนจังหวะที่ 2  
ชุดรีเลย์ตั้งเวลา KT1 จะสั่งให้วาล์ว 2V1 เปลี่ยนตำแหน่งจาก

0 เป็น 1 ทำให้ก้านสูบ 2A เลื่อนออกจากแกนจังหวะที่ 2 จน  
สุดความยาวช่วงชักที่แกนจังหวะที่ 3 ต่อมาที่แกนจังหวะที่ 3  
ชุดรีเลย์ตั้งเวลา KT2 จะสั่งให้วาล์ว 2V1 เปลี่ยนตำแหน่ง  
จาก 1 กลับมาเป็น 0 ทำให้ก้านสูบ 2A เลื่อนกลับจากแกน  
จังหวะที่ 3 จนถึงแกนจังหวะที่ 4 หลังจากนั้นที่แกนจังหวะที่  
4 ชุดรีเลย์ตั้งเวลา KT3 จะสั่งให้วาล์ว 1V1 เปลี่ยนตำแหน่ง  
จาก 1 กลับมาเป็น 0 ทำให้ก้านสูบ 1A เลื่อนกลับจากแกน  
จังหวะที่ 4 จนถึงแกนจังหวะที่ 5 ถือว่าครบ 1 รอบการทำงาน  
หลังจากนั้นให้ผู้ปฏิบัติงานนำกลีบกระดาดออกจากแกน  
อัดกลีบ ดังนั้นจาก Figure 3 จะทำให้ทราบถึงลำดับขั้นการ  
ทำงานของกระบอบสูบและวาล์วควบคุมทิศทาง รวมถึงการใช้  
รีเลย์ตั้งเวลาเพื่อกำหนดสัญญาณสั่งวาล์วควบคุมทิศทาง โดย  
ขั้นตอนต่อไป คือการออกแบบวงจรนิวแมติกและวงจรไฟฟ้า  
สำหรับเครื่องอัดกลีบกระดาด เพื่อให้สามารถทำงานได้  
ตามแผนผังลำดับขั้นการทำงาน ดังจะอธิบายต่อไป

**การออกแบบวงจรนิวแมติกและวงจรไฟฟ้า**

วงจรของเครื่องอัดกลีบกระดาดแบบกึ่งอัตโนมัติ  
สามารถแบ่งเป็น 2 วงจร ได้แก่ วงจรนิวแมติก (pneumatic  
circuit) และวงจรไฟฟ้า (electrical circuit) สำหรับ Figure 4  
แสดงวงจรนิวแมติก โดยใช้สัญลักษณ์ (symbol) ตามมาตรฐาน  
DIN ISO 1219 (Croser & Ebel, 2002) ซึ่งประกอบด้วย  
กระบอบสูบทำงานสองทาง จำนวน 2 กระบอบ (1A และ 2A),  
วาล์วควบคุมอัตราการไหล จำนวน 4 ตัว (1V2, 1V3, 2V2,  
และ 2V3), วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 5/2 ทาง ทำงานด้วย  
โซลินอยด์และลมช่วยทั้งสองด้าน จำนวน 2 ตัว (1V1 และ  
2V1), ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด (OZ2) และแหล่งจ่ายลมอัด  
(OZ1) ในขณะที่ Figure 5 แสดงวงจรไฟฟ้าสำหรับควบคุม  
การทำงานของวงจรนิวแมติก โดยใช้สัญลักษณ์ตามมาตรฐาน  
DIN EN 61082-2 (Prede & Scholz, 2002) ซึ่งประกอบด้วย  
วงจรไฟฟ้ากระแสตรง 24 V, สวิตช์ปิด-เปิด (on-off) วงจร  
ไฟฟ้า (S1), สวิตช์ปุ่มกด จำนวน 2 ตัว (S2 และ S3), รีเลย์  
(relay) จำนวน 4 ชุด (K1, K2, K3, และ K4), รีเลย์ตั้งเวลา  
(time relay) แบบหน่วงเมื่อมีสัญญาณเข้า (on delay timer)  
จำนวน 4 ชุด (KT1, KT2, KT3, และ KT4) ซึ่งรีเลย์แต่ละชุด  
ต่างมีหน้าสัมผัส (contact) ติดตั้งอยู่ในทางเดินไฟฟ้า (path)  
ต่างๆ ในวงจรไฟฟ้า มีทั้งแบบปกติปิด (normally closed) และ  
ปกติเปิด (normally open) และขดลวดโซลินอยด์ (solenoid  
coil) จำนวน 4 ชุด (1Y1, 1Y2, 2Y1, และ 2Y2) ซึ่งขดลวด  
โซลินอยด์เหล่านี้จะติดตั้งอยู่ที่ตัวของวาล์วควบคุมทิศทาง  
1V1 และ 2V1 ดัง Figure 4

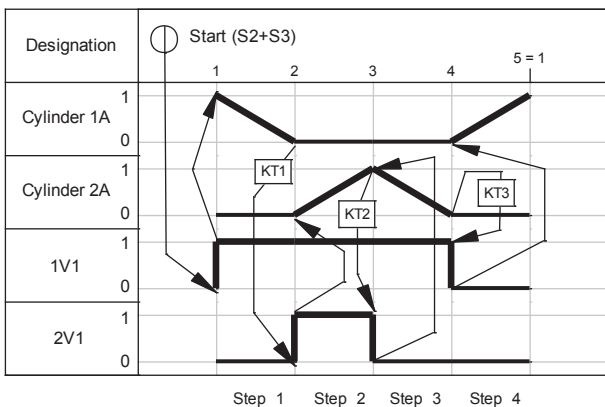


Figure 3 The function diagram

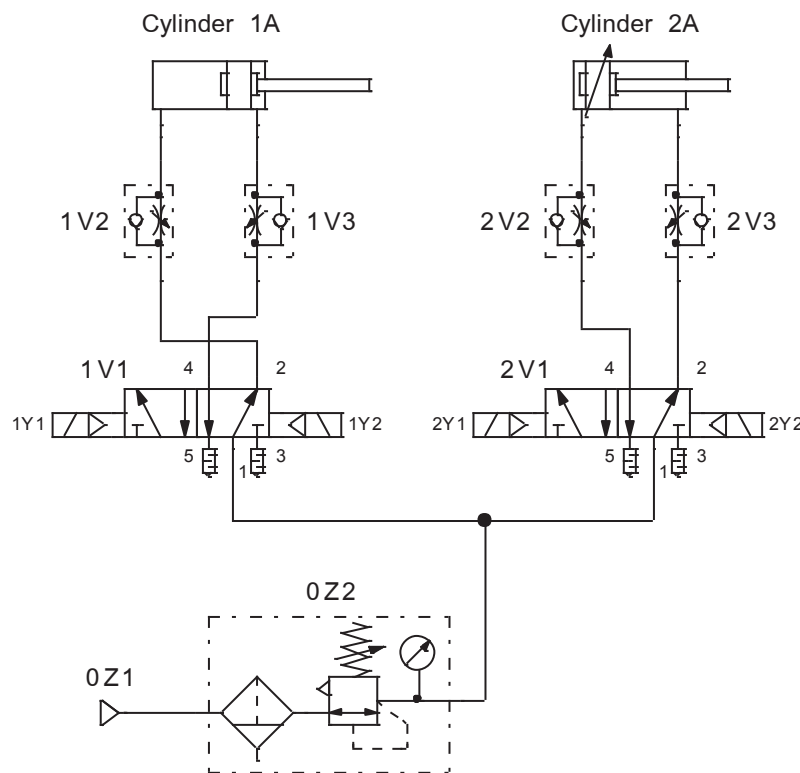


Figure 4 The pneumatic circuit diagram

หลักการทำงานของระบบนิวแมติกของเครื่องอัดกลีบกระดาษ จะต้องพิจารณา Figure 4 และ 5 พร้อมกัน โดยเริ่มต้นด้วยการเปิดสวิตช์ S1 (on-off) เพื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24 V เข้าวงจรไฟฟ้า ต่อมาวงจรนิวแมติกจะเริ่มต้นการทำงาน โดยกดสวิตช์ S2 และ S3 พร้อมกัน ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชุดรีเลย์ K1 ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าดึงดูดหน้าสัมผัส K1 (ปกติเปิด) ให้ปิดลง และต่อวงจรให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านไปยังขดลวดโซลินอยด์ 1Y1 (path 13) ทำให้วาล์วควบคุมทิศทาง 1V1 เปลี่ยนเป็นตำแหน่งทำงาน (เลื่อนสลับตำแหน่งไปด้านขวา) และจ่ายลมอัดไหลผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล 1V3 ไปดันก้านสูบ 1A ให้เลื่อนเข้าและดึงชุดป้อนกระดาษเลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งอัดกลีบ ในขณะที่เดียวกันก็มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังชุดรีเลย์ตั้งเวลา KT1 เพื่อหน่วงเวลาหน้าสัมผัส KT1 (ปกติเปิด) เป็นเวลา 5 วินาที เมื่อครบกำหนดหน้าสัมผัส KT1 จะปิดลง และต่อวงจรให้กระแสไฟฟ้าไหลไปยังชุดรีเลย์ K2 ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กดึงดูดหน้าสัมผัส K2 (ปกติเปิด) ให้ปิดลง และต่อวงจรให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดโซลินอยด์ 2Y1 (path 14) สั่งให้วาล์วควบคุมทิศทาง 2V1 เปลี่ยนเป็นตำแหน่งทำงาน ส่งผลให้มีลมอัดไหลผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล 2V2 ไปดันก้านสูบ 2A ให้เลื่อนออกและดันแท่นอัดกลีบลงมาอัดกลีบกระดาษผ่าน (ในขณะที่เดียวกันหน้าสัมผัส K2 (ปกติปิด) ในทางเดินไฟฟ้า 1 (path 1) จะเปิดออก เพื่อตัดวงจรไม่ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชุดรีเลย์ K1 ซึ่งจะทำให้หน้าสัมผัส K1 ทุกตัวกลับสู่สภาพปกติ

และเป็นการตัดวงจรขดลวดโซลินอยด์ 1Y1 รวมถึงตัดวงจรของชุดรีเลย์ตั้งเวลา KT1 ด้วย ทั้งนี้เพื่อป้องกันการลัดวงจร (short circuit) และในเวลาเดียวกันก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปเข้าชุดรีเลย์ตั้งเวลา KT2 เพื่อหน่วงเวลาหน้าสัมผัส KT2 เป็นเวลา 10 วินาที เมื่อครบกำหนดหน้าสัมผัส KT2 จะปิดลง ต่อวงจรให้กระแสไฟฟ้าไหลไปยังขดลวดรีเลย์ K3 ทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กดึงดูดหน้าสัมผัส K3 ให้ปิดลง ต่อวงจรให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดโซลินอยด์ 2Y2 (path 15) สั่งให้วาล์วควบคุมทิศทาง 2V1 เปลี่ยนกลับตำแหน่งปกติ (เลื่อนกลับไปตำแหน่งเดิม) ส่งผลให้มีลมอัดไหลผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล 2V3 ไปดันก้านสูบ 2A ให้เลื่อนกลับ (เลื่อนขึ้น) และดึงแท่นอัดกลีบกลับตำแหน่งเดิม (ในขณะที่เดียวกันหน้าสัมผัส K3 (ปกติปิด) ในทางเดินไฟฟ้า 4 (path 4) จะเปิดออก เพื่อตัดวงจรไม่ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชุดรีเลย์ K2 จะทำให้หน้าสัมผัส K2 ทุกตัวกลับสู่สภาพปกติ ซึ่งเป็นการตัดวงจรขดลวดโซลินอยด์ 2Y1 รวมถึงตัดวงจรของชุดรีเลย์ตั้งเวลา KT2} และในเวลาเดียวกันก็จะมีกระแสไฟฟ้าผ่านไปเข้าชุดรีเลย์ตั้งเวลา KT3 เพื่อหน่วงเวลาหน้าสัมผัส KT3 เป็นเวลา 10 วินาที เมื่อครบกำหนดหน้าสัมผัส KT3 จะปิดลง ต่อวงจรให้กระแสไฟฟ้าไหลไปยังขดลวดรีเลย์ K4 ก่อให้เกิดอำนาจแม่เหล็กดึงดูดหน้าสัมผัส K4 ให้ปิดลง ต่อวงจรให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ 1Y2 (path 16) ทำให้วาล์วควบคุมทิศทาง 1V1 เปลี่ยนกลับตำแหน่งปกติ ส่งผลให้มีลมอัดไหลผ่านวาล์วควบคุมอัตราการไหล 1V2 ไปดันก้านสูบ

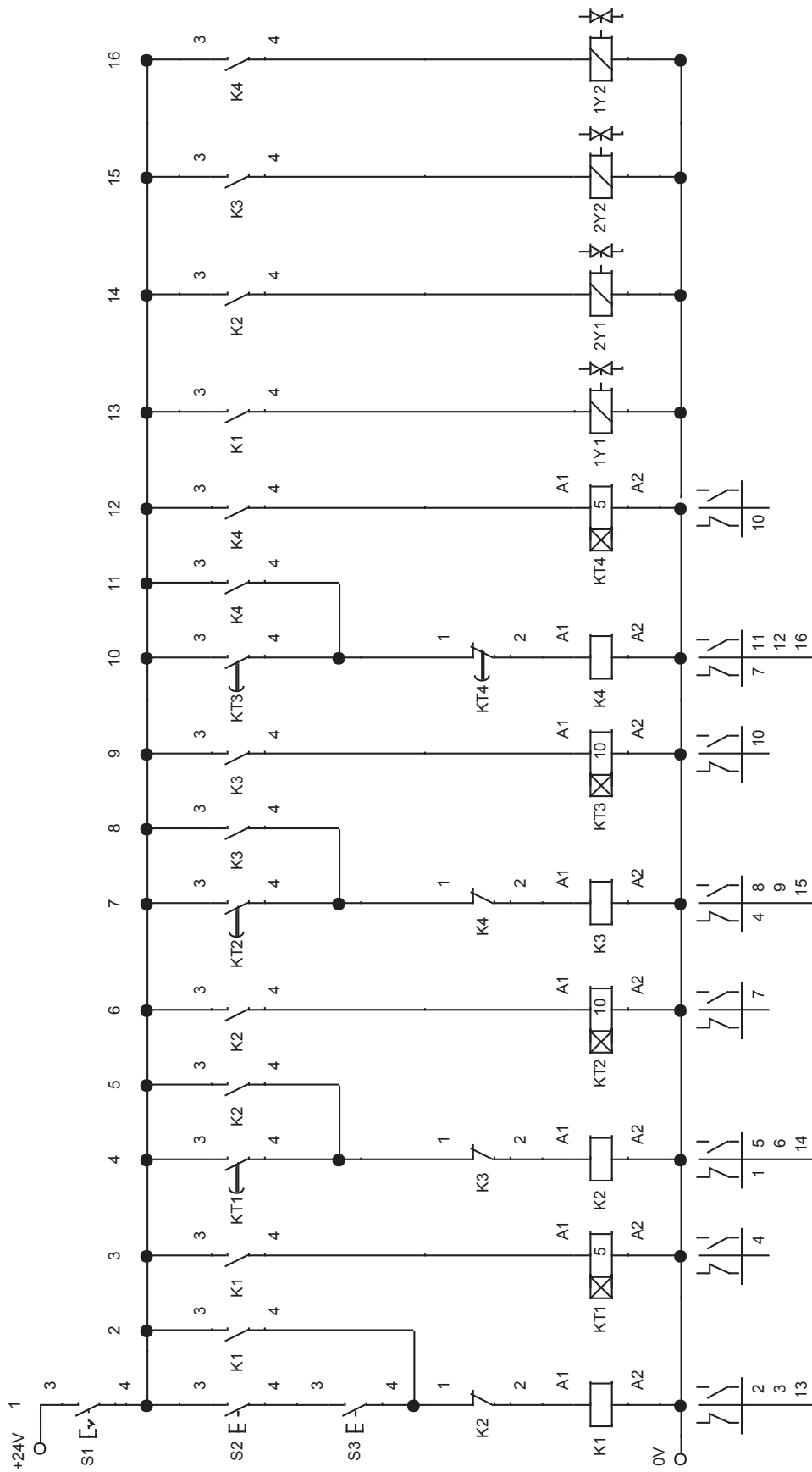


Figure 5 The electrical circuit diagram

1A ให้เลื่อนออกและผลักชุดป้อนกระดาษกลับตำแหน่งบรรจุกระดาษ {ในขณะที่เดียวกันหน้าสัมผัส K4 (ปกติปิด) ในทางเดินไฟฟ้า 7 (path 7) จะเปิดออก เพื่อตัดวงจรไม่ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชุดรีเลย์ K3 จะทำให้หน้าสัมผัส K3 ทุกตัวกลับสู่สภาพปกติ ซึ่งเป็นการตัดวงจรขดลวดโซลินอยด์ 2Y2 รวมถึงตัดวงจรของชุดรีเลย์ตั้งเวลา KT3} และในเวลาเดียวกันกระแสไฟฟ้าก็ไหลไปยังขดลวดรีเลย์ตั้งเวลา KT4 เพื่อหน่วงเวลาหน้าสัมผัส KT4 เป็นเวลา 5 วินาที เมื่อครบกำหนดหน้าสัมผัส KT4 (ปกติปิด) จะเปิดออก เพื่อตัดวงจรไม่ให้มีกระแสไฟฟ้าจ่ายไปยังชุดรีเลย์ K4 ทำให้หน้าสัมผัส K4 ทุกตัวกลับสู่สภาพปกติ ถือว่าครบหนึ่งรอบการทำงาน

### การคำนวณหาและการเลือกขนาดของอุปกรณ์นิวแมติก

จากการออกแบบวงจรนิวแมติกและวงจรไฟฟ้าข้างต้น ทำให้ทราบถึงชนิดและจำนวนของอุปกรณ์นิวแมติกที่ต้องใช้ แต่ยังไม่สามารถระบุถึงขนาดของอุปกรณ์ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะนำเสนอวิธีการคำนวณหาและการเลือกขนาดของอุปกรณ์นิวแมติก ดังต่อไปนี้

(1) ขนาดของกระบอกสูบลม 1A ที่ถูกต้องสามารถหาได้โดยใช้สมการ

$$F_{eff} = (A_p \times p) \times \mu \quad (1)$$

โดย  $F_{eff}$  คือแรงประสิทธิผลที่ได้จากลูกสูบ (effective piston force) (N),  $A_p$  คือพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ (useful piston area) ( $\text{mm}^2$ ),  $p$  คือความดันลมอัดใช้งาน (operating pressure) (MPa หรือ  $\text{N}/\text{mm}^2$ ), และ  $\mu$  คือประสิทธิภาพของกระบอกสูบ (cylinder efficiency) ซึ่งมีค่าประมาณ 90% เนื่องจากขณะทำงานแรงจะลดลงอันเป็นผลมาจากแรงเสียดทานประมาณ 10% (Croser & Ebel, 2002 ; ปานเพชรชินินทร และขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์, 2531) ดังนั้นขนาดของกระบอกสูบจะหาได้จาก

$$d_p = \sqrt{\frac{4 \times F_{eff}}{0.9 \times \pi \times p}} \quad (2)$$

โดย  $d_p$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ (mm) ซึ่งในที่นี้กำหนด  $F_{eff} = 200$  N และ  $p = 0.6$  MPa (6 bar) ซึ่งเป็นความดันใช้งานที่ให้ประสิทธิผลดีที่สุด (Croser & Ebel, 2002) โดยขนาดของกระบอกสูบ 1A คือ

$$d_{p, 1A} = \sqrt{\frac{4 \times 200}{0.9 \times \pi \times 0.6}} = 21.8 \text{ mm}$$

ต่อมาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบที่คำนวณได้ไปเลือกขนาดมาตรฐานของกระบอกสูบที่มีจำหน่ายจากบริษัทผู้ผลิต โดยต้องเลือกกระบอกสูบที่มีขนาดใกล้เคียงแต่ต้องมีขนาดที่ใหญ่กว่า เพื่อให้กระบอกสูบสามารถทำงานได้ตามข้อกำหนด ซึ่งในที่นี้ได้เลือกกระบอกสูบลม ยี่ห้อ CXF รุ่น MAL 25X200-S ที่มีขนาด  $d_p = 25$  mm, เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ = 10 mm, และความยาวช่วงชัก = 200 mm โดยมีรูทางลมเข้าและออก (port size) ขนาด 8 mm

เมื่อมีการใช้ก้านสูบไปผลักชิ้นงานจนถึงตำแหน่งสูงสุดของความยาวช่วงชัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการใช้งานที่มีระยะชักที่ยาว จะต้องมีการตรวจสอบแรงกดสูงสุดที่ก้านสูบสามารถยอมรับได้ โดยไม่เกิดการโก่งงอ (Beater, 2006) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$F_k = \frac{\pi^3 \times E \times d_r^4}{64 \times l_k^2 \times f} \quad (3)$$

โดย  $F_k$  คือแรงโก่งงอที่ยอมรับได้ (permissible buckling force) (N),  $E$  คือค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของก้านสูบ (modulus of elasticity of rod) (MPa) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 210,000 MPa สำหรับเหล็ก,  $d_r$  คือเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ (mm),  $f$  คือค่าความปลอดภัย โดยทั่วไปใช้เท่ากับ 5, และ  $l$  คือความยาวประสิทธิผล (effective length) (mm) ซึ่งจะขึ้นกับลักษณะติดตั้งกระบอกสูบ (cylinder mounting) และ  $S$  คือความยาวช่วงชัก (mm)

สำหรับแรงโก่งงอที่ยอมรับได้ของกระบอกสูบ 1A ที่ติดตั้งแบบนอน ซึ่งมีลักษณะการจับยึดกระบอกสูบแบบฐานยึดด้านหน้าและหลัง (foot mounting) และปลายก้านสูบติดตั้งแบบข้อต่อและมีปลอกนำ (pivoted and rigidly guided) ซึ่งมี  $l_k = 0.7S$  (Barber, 1997) จะได้

$$F_k = \frac{\pi^3 \times 210,000 \times 10^4}{64 \times (0.7 \times 200)^2 \times 5} = 10,381.6 \text{ N}$$

จากผลการคำนวณจะพบว่า  $F_k$  มากกว่า  $F_{eff}$  ซึ่งถือว่าก้านสูบนี้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

(2) ขนาดของกระบอกสูบลม 2A สามารถหาได้โดยกำหนด  $F_{eff} = 1,600$  N ซึ่งเป็นแรงที่ใช้สำหรับอัดกลีบกระดาษมัน และ  $p = 0.6$  MPa ดังนั้นขนาดของกระบอกสูบ 2A คือ

$$d_{p, 2A} = \sqrt{\frac{4 \times 1,600}{0.9 \times \pi \times 0.6}} = 61.5 \text{ mm}$$

ต่อมาทำการเลือกกระบอกสูบที่มีขนาดใกล้เคียงแต่ต้องโตกว่า ซึ่งในที่นี้ได้เลือกกระบอกสูบลมยี่ห้อ CXF รุ่น SC 63X250-S ที่มีขนาด  $d_p = 63$  mm,  $d_r = 20$  mm, และ  $S = 250$  mm ที่มีรูทางลมเข้าและออกขนาด 8 mm โดยเป็นกระบอกสูบแบบมีเบาะลมกันกระแทก (cushioned cylinder) เพราะว่ากระบอกสูบมีขนาดใหญ่จะก่อให้เกิดเสียงดัง อันเนื่องมาจากการเคลื่อนเข้าและออกของก้านสูบจะทำให้เกิดการกระแทกระหว่างลูกสูบกับผนังหัวท้ายของกระบอกสูบ และส่งผลให้กระบอกสูบชำรุด (เด่น ดอกพิมาย, 2552) ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวและยืดอายุการใช้งาน กระบอกสูบแบบมีเบาะลมกันกระแทกจึงเป็นสิ่งจำเป็น

สำหรับแรงโก่งงอที่ยอมรับได้ของกระบอกสูบ 2A ที่ติดตั้งแบบตั้ง ซึ่งมีลักษณะการจับยึดกระบอกสูบแบบยึดหน้าแปลนด้านหน้า (front flange mounting) และปลายก้านสูบติดตั้งแบบบังคับเคลื่อนและมีปลอกนำ (fixed and rigidly guided) ซึ่งมี  $I_k = 0.5S$  (Barber, 1997) คือ

$$F_k = \frac{\pi^3 \times 210,000 \times 20^3}{64 \times (0.5 \times 250)^2 \times 5} = 208,362.2 \text{ N}$$

จากผลการคำนวณจะพบว่า  $F_k$  มากกว่า  $F_{eff}$  ซึ่งถือว่าก้านสูบนี้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย

(3) อัตราความสิ้นเปลืองลมอัด (air consumption) ในระบบ คืออัตราการไหลของลมอัดของกระบอกสูบ 1A และ 2A โดยทั่วไปจะระบุในรูปของปริมาณลมอิสระ (free air delivery) ซึ่งอัตราความสิ้นเปลืองลมอัดจะเป็นตัวกำหนดขนาดของเครื่องอัดลมและถังพักลมอัด ทั้งนี้เพื่อให้ระบบนิวแมติกมีลมอัดเพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้นอัตราความสิ้นเปลืองลมอัดสำหรับกระบอกสูบแบบทำงานสองทิศทาง (Croser & Ebel, 2002) คือ

$$q_b = 2S \times n \times A_p \times \frac{0.1013 + p}{0.1013} \times 10^{-6} \quad (4)$$

โดย  $q_b$  คืออัตราความสิ้นเปลืองลมอัด (L/min),  $S$  คือความยาวช่วงชักของกระบอกสูบ (mm),  $n$  คือจำนวนครั้งที่ลูกสูบเคลื่อนเข้าออกต่อนาที (1/min), และ  $p$  คือความดันลมอัดใช้งาน (MPa) ซึ่งสุดท้ายอัตราความสิ้นเปลืองลมอัดจะถูกนำไปเลือกขนาดเครื่องอัดลมและถังพักลมอัดต่อไป โดยในที่นี้กำหนด  $n = 2$  ครั้งต่อนาที และ  $p = 0.6$  MPa ดังนั้นอัตราความสิ้นเปลืองลมอัดของกระบอกสูบ 1A และ 2A สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$q_b = 2(200) \times 2 \times \frac{\pi}{4} (25)^2 \times \frac{0.1013 + 0.6}{0.1013} \times 10^{-6} = 2.8 \text{ L/min}$$

$$q_{b, 2A} = 2(250) \times 2 \times \frac{\pi}{4} (63)^2 \times \frac{0.1013 + 0.6}{0.1013} \times 10^{-6} = 21.6 \text{ L/min}$$

ดังนั้น อัตราความสิ้นเปลืองลมอัดทั้งระบบ คือ

$$q_b = 2.8 + 21.6 = 24.4 \text{ L/min}$$

(4) ขนาดของเครื่องอัดลม (air compressor) มีเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาในการเลือกขนาด คือเครื่องอัดลมต้องสร้างความดันลมอัดได้มากกว่าความดันใช้งาน โดยในที่นี้กำหนดความดันสูงสุดที่ 0.8 MPa และสามารถผลิตลมอัดได้ในปริมาณที่เพียงพอต่ออัตราความสิ้นเปลืองลมอัดของกระบอกสูบ คือ 24.4 L/min โดยทั่วไปเครื่องอัดลมที่วางขายในท้องตลาดมักมาพร้อมชุดต้นกำลัง คือมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีกำลังขับเหมาะสมกับขนาดของเครื่องอัดลมอยู่แล้ว เพราะฉะนั้นในที่นี้จึงไม่ได้กล่าวถึงวิธีกำหนดขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าดังกล่าว ในขณะที่อุปกรณ์สำคัญอีกอย่างที่ต้องพิจารณาก่อนที่จะตัดสินใจเลือกขนาดของเครื่องอัดลม คือขนาดของถังพักลมอัด ซึ่งต้องมีขนาดสอดคล้องกับอัตราความสิ้นเปลืองลมอัด และขนาดของเครื่องอัดลม ดังจะอธิบายต่อไป

(5) ขนาดของถังพักลมอัด (receiver) จะต้องคำนึงถึงความดันลมอัด อัตราความสิ้นเปลืองลมอัดที่ต้องการของระบบ ความสามารถของเครื่องอัดลม รวมถึงรูปแบบของการทำงาน (ชยันนท์ ศรีสุภินานนท์, 2553) สำหรับในกรณีนี้ที่ต้องการออกแบบให้ถังพักลมอัดทำงานแบบไม่มีการส่งลมอัดเข้าสู่ถังพักลมอัดในขณะที่ลมอัดถูกดูดไปใช้งาน ซึ่งขนาดของถังพักลมอัด (Jagadeesha, 2015) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$V_r = \frac{0.1013 \times t \times q_b}{p_{max} - p_{min}} \quad (5)$$

โดย  $V_r$  คือขนาดของถังพักลมอัด (L),  $t$  คือเวลาที่ถังพักลมอัดสามารถส่งลมอัดได้ตามปริมาณที่ต้องการ (min),  $q_b$  คืออัตราความสิ้นเปลืองลมอัดของระบบนิวแมติก (L/min),  $p_{max}$  คือความดันสูงสุดในถังพักลมอัด (MPa), และ  $p_{min}$  คือความดันต่ำสุดในถังพักลมอัด (MPa) โดยในที่นี้กำหนด  $t = 3$  min,  $p_{max} = 0.8$  MPa,  $p_{min} = 0.65$  MPa, และ  $q_b = 24.4$  L/min ซึ่งจะได้

$$V_r = \frac{0.1013 \times 3 \times 24.4}{0.8 - 0.65} = 49.5 \text{ L}$$

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นระบบนิวแมติกขนาดเล็ก ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้เครื่องอัดลมที่มีถังพักลมอัดในตัวยี่ห้อ ETOP รุ่น XH-60050L (oil free) ซึ่งเป็นเครื่องอัดลมพร้อมถังพักลมขนาด 50 L โดยมีอัตราการผลิตลมอัด ( $q_b$ )



220 L/min, ความดันลมอัดสูงสุดที่ 0.8 MPa และใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังขนาด 1,200 W ซึ่งเพียงพอต่ออัตราการความสิ้นเปลืองลมอัดที่ระบบต้องการและสามารถจ่ายลมอัดได้ตามเวลาที่กำหนด

(6) ชนิดของวาล์วควบคุมทิศทาง (directional control valve) จะขึ้นกับลักษณะการทำงานของกระบอกสูบและวิธีควบคุม ซึ่งในที่นี้เลือกใช้กระบอกสูบทำงานสองทางและควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้วาล์วแบบ 5/2 ทาง ทำงานด้วยโซลินอยด์และลมช่วยทั้งสองด้าน (pilot controlled 5/2-way double solenoid valve) ยี่ห้อ KLQD รุ่น 4V220-08 ที่มีช่วงความดันใช้งาน (working pressure) ระหว่าง 0.15-0.8 MPa และมีรูทางลมเข้าและออกขนาด 8 mm จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้เป็นวาล์วควบคุมทิศทางการทำงานของกระบอกสูบ 1A และ 2A

(7) ขนาดของวาล์วควบคุมทิศทาง จะขึ้นกับอัตราการไหลของลมอัดที่ต้องการ และความดันตกคร่อมที่ยอมรับได้ของลมอัดที่ผ่านวาล์ว โดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตจะให้ค่าพื้นที่หน้าตัดใช้งานจริงของวาล์ว เพื่อใช้สำหรับการกำหนดขนาดของวาล์วควบคุมทิศทางในรูปของอัตราการไหลของลมอัดที่ผ่านวาล์ว ซึ่งจะแปรผันไปตามความดันลมอัด (SMC Corporation, 1997) โดยสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$q_v = 222 \times A_v \times \sqrt{(p_2 + 0.1013) \times \Delta p} \times \sqrt{\frac{273}{273 \times T_1}} \quad (6)$$

โดย  $q_v$  คืออัตราการไหลของลมอัดที่ผ่านวาล์ว (flow rate of valve) (L/min),  $A_v$  คือพื้นที่หน้าตัดใช้งานจริงของวาล์ว (effective section area) ( $\text{mm}^2$ ),  $p_2$  คือความดันลมอัดขาออกที่ต้องการ (MPa),  $\Delta p$  คือความดันตกคร่อมที่ยอมรับได้ (permissible pressure drop) (MPa), และ  $T_1$  คืออุณหภูมิลมอัด ( $^{\circ}\text{C}$ ) โดยในที่นี้กำหนด  $p_2 = 0.6$  MPa,  $\Delta p = 0.002$  MPa,  $T_1 = 30^{\circ}\text{C}$ , และ  $A_v = 16$   $\text{mm}^2$  สำหรับวาล์ว รุ่น 4V220-08 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากบริษัทผู้ผลิต โดยอัตราการไหลของลมอัดที่ผ่านวาล์ว คือ

$$q_v = 222 \times 16 \times \sqrt{(0.6 + 0.1013) \times 0.002} \times \sqrt{\frac{273}{273 \times 30}} \\ = 126.3 \text{ L/min}$$

จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าวาล์วดังกล่าวสามารถใช้งานได้ เพราะมีอัตราการไหลของลมอัดที่ผ่านวาล์วเพียงพอต่ออัตราการความสิ้นเปลืองลมอัดของกระบอกสูบ 1A และ 2A แต่อัตราการไหลมีค่ามากกว่าความต้องการลมอัดของกระบอกสูบ ซึ่งจะส่งผลให้ลูกสูบของกระบอกสูบเคลื่อนที่เร็วเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งวาล์วควบคุมอัตราการไหล (flow control valve) เข้าไปในวงจร จำนวน 4 ตัว โดยติดตั้งระหว่างกระบอกสูบและวาล์วควบคุมทิศทาง

(8) ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด จะต้องพิจารณาถึงความละเอียดในการกรองลมอัด ช่วงการปรับลดความดันใช้งาน และการหล่อลื่นลมอัด ในที่นี้เลือกใช้ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด ยี่ห้อ DKCN ซึ่งประกอบด้วยตัวกรองลมอัด (air filter) รุ่น BFR-2000 ที่มีไส้กรองขนาด 40  $\mu\text{m}$  และสอดคล้องกับความละเอียดของลมอัดที่กำหนดของวาล์ว, วาล์วปรับลดความดัน (pressure regulator) ซึ่งสามารถปรับลดความดันได้ในช่วง 0.05-0.9 MPa และมีเกจวัดความดัน (pressure gauge) ที่มีสเกลสูงสุดอ่านได้ 1.0 MPa, และอุปกรณ์ผสมน้ำมันหล่อลื่น (oil lubricator) รุ่น BL-2000 โดยมีรูทางลมเข้าอยู่ที่ตัวกรองลมอัดและรูทางลมออกอยู่ที่อุปกรณ์ผสมน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งมีขนาด 8 mm

(9) ท่อลมที่ใช้ในการส่งถ่ายลมอัดเข้าระบบนิวแมติก ในที่นี้ได้เลือกใช้ท่อลมชนิดอ่อน (tube) ทั้งระบบเพื่อให้เกิดความสะดวกในการติดตั้ง และง่ายต่อการซ่อมบำรุงรักษา โดยท่อลมที่ใช้มีขนาด 8x5 mm (มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 8 mm และภายใน 5 mm) ทำมาจากวัสดุโพลียูรีเทน (polyurethane, PU) มีช่วงความดันใช้งาน 1.0 MPa โดยมีขนาดที่สอดคล้องกับรูทางลมเข้าและออกของอุปกรณ์นิวแมติก และใช้ข้อต่อสวมเร็ว (push-in fitting) สำหรับการเชื่อมต่อท่อลม แต่อย่างไรก็ตามท่อลมขนาดใหญ่จะช่วยลดความเร็วการไหลของลมอัดภายในท่อลม และส่งผลให้ความดันตกคร่อมในท่อลมลดลงด้วย

### ขั้นตอนการทดลองอัดกลีบกระดาษ

กระดาษที่ใช้ในการทดลองอัดกลีบด้วยเครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติ เป็นกระดาษที่ตัดเป็นรูปกลีบดอก (petal) และสามารถนำมาประดิษฐ์เป็นดอกไม้จันทน์ได้ทันทีหลังอัดกลีบ โดยมีรูปร่างและขนาดแสดงดัง Figure 6 สำหรับกระดาษที่ใช้ในการทดลอง คือกระดาษที่มีน้ำหนัก 55 และ 65 gsm (grams per square meter หรือ กรัมต่อกระดาษ 1 ตารางเมตร) ซึ่งเป็นน้ำหนักที่นิยมนำมาประดิษฐ์เป็นดอกไม้จันทน์

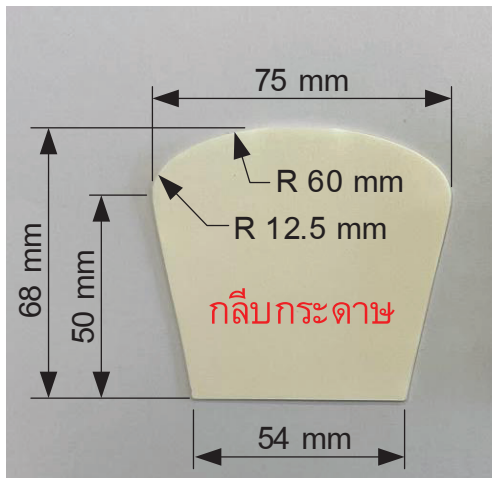


Figure 6 Dimensions of the paper petal

การศึกษาทำโดยการทดลองอัดกลีบกระดาษ 55 และ 65 gsm ที่มีจำนวน 6, 8, 10, 12, 14, และ 16 แผ่นต่อม้วน มาอัดกลีบที่ตำแหน่งแกนอัดกลีบต่างๆ โดยใช้ความดันลมอัด 0.6 MPa สำหรับขั้นตอนการทดลองเริ่มต้นโดยนำกลีบกระดาษ 55 gsm ที่ตัดเป็นรูปกลีบดอก จำนวน 6 แผ่น มาม้วนเป็นทรงกระบอกกลวง ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 12 mm โดยให้เริ่มม้วนกลีบกระดาษจากด้านบนลงมาด้านล่างแล้วติดเทปกาวยึดทรงรูป ซึ่งจะได้อัดเป็นกลีบกระดาษม้วน โดยให้ทำจำนวน 4 ม้วน ดังแสดงใน Figure 7 (a) ต่อมานำกลีบกระดาษม้วนดังกล่าวสวมเข้ากับแกนอัดกลีบ 1, 2, 3, และ 4 ที่ชุดป้อนกระดาษ ซึ่งเป็นตำแหน่งบรรจุกระดาษ ดังแสดงใน Figure 7 (b) หลังจากนั้นกดสวิตช์ปุ่มกดพร้อมกัน เพื่อเริ่มการทำงานของวงจรนิวแมติก ซึ่งก้านสูบ 1A จะดึงชุดป้อนกระดาษเลื่อนเข้าสู่ตำแหน่งอัดกลีบ ต่อมาก้านสูบ 2A จะดันแท่นอัดกลีบเลื่อนลงมาอัดกลีบกระดาษม้วนจนยุบตัวลงไป ดังแสดงใน Figure 7 (c) หลังจากนั้นก้านสูบ 2A จะเลื่อนขึ้นเพื่อดึงแท่นอัดกลีบกลับตำแหน่งเดิม และต่อมาก้านสูบ 1A ก็ดันชุดป้อนกระดาษเลื่อนออกมาด้านหลัง (ตำแหน่งบรรจุกระดาษ) ดัง Figure 7 (d) และขั้นตอนสุดท้ายคือนำกลีบกระดาษม้วนที่ผ่านการอัดกลีบแล้วออกจากแกนอัดกลีบ ถือเป็นงานสิ้นสุดการทำงาน โดยกลีบกระดาษที่ผ่านการอัดกลีบจะมีลักษณะรอยย่น ดังแสดงใน Figure 7 (e) และทำในลักษณะเดียวกันกับกลีบกระดาษจำนวน 8, 10, 12, 14, และ 16 แผ่นต่อม้วน ตามลำดับ หลังจากนั้นให้ทำการอัดกลีบในลักษณะเดียวกันกับกลีบกระดาษ 65 gsm จนครบทุกจำนวนกลีบกระดาษ ในที่นี้จะนำลักษณะรอยย่นของกลีบกระดาษที่ผ่านการอัดกลีบ มาใช้เพื่อศึกษาอิทธิพลของจำนวนกลีบกระดาษ น้ำหนักต่อพื้นที่ของกลีบกระดาษ และตำแหน่งแกนอัดกลีบที่มีต่อความสม่ำเสมอของรอยย่น ดังจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

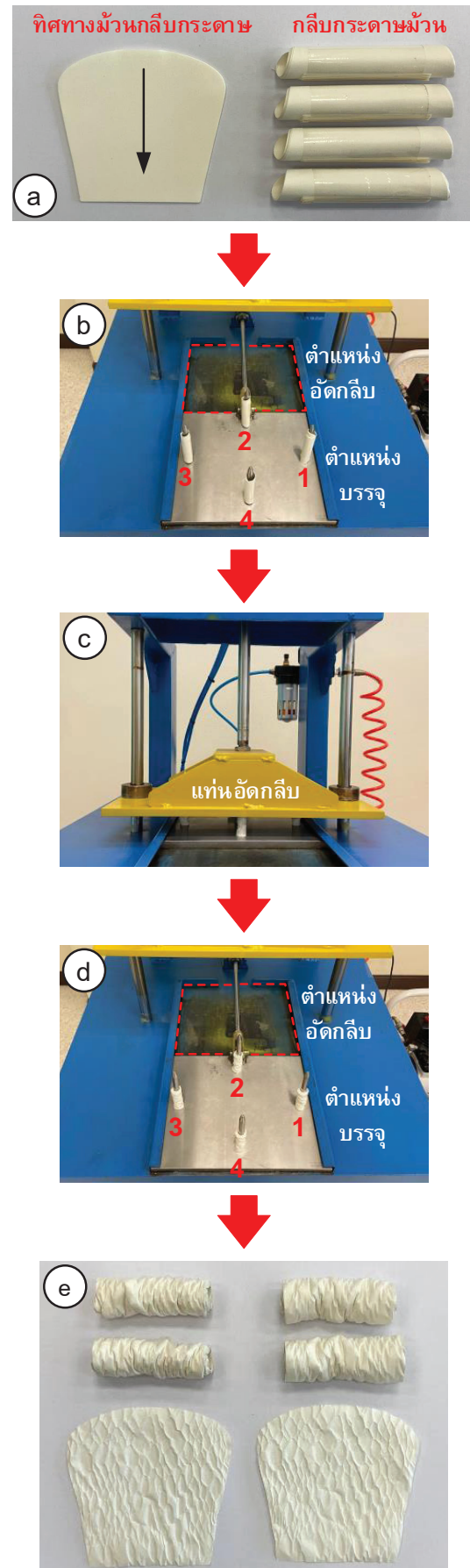


Figure 7 Procedures for compressing to crease the paper petals

## ผลการทดลองและวิจารณ์

Table 1 แสดงลักษณะรอยย่นของกลีบกระดาษ 55 gsm หลังการอัดกลีบที่ความดันลมอัด 0.6 MPa ของกลีบกระดาษจำนวน 6, 8, 10, 12, 14, และ 16 แผ่นต่อม้วนที่ตำแหน่งแกนอัดกลีบ 1, 2, 3, และ 4 โดยผลการอัดกลีบกระดาษจำนวน 6 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นค่อนข้างชัดเจนและสม่ำเสมอ แต่ที่แกนอัดกลีบ 3 และ 4 พบว่าพื้นที่บางส่วนมีรอยย่นขนาดใหญ่ ต่อมาการอัดกลีบกระดาษจำนวน 8 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นโดยทั่วไปค่อนข้างชัดเจนและกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ของกลีบกระดาษทั้ง 4 แกน และยังพบว่า มีผลที่คล้ายคลึงกันกับการอัดกลีบกระดาษจำนวน 10 แผ่นต่อม้วน ต่อมาการอัดกลีบกระดาษจำนวน 12 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นโดยทั่วไปค่อนข้างชัดเจนและสม่ำเสมอ แต่ที่แกนอัดกลีบ 2, 3, และ 4 พบว่าพื้นที่บางส่วนมีรอยย่นขนาดใหญ่ บริเวณส่วนบนและส่วนล่างของกลีบกระดาษ ในขณะที่การอัดกลีบกระดาษจำนวน 14 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นโดยทั่วไปค่อนข้างชัดเจนและสม่ำเสมอ แต่บางพื้นที่ของกลีบกระดาษมีรอยย่นขนาดใหญ่บริเวณส่วนบนและส่วนล่าง และสุดท้ายการอัดกลีบกระดาษจำนวน 16 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นที่เกิดขึ้นค่อนข้างชัดเจน แต่เกิดขึ้นไม่ทั่วพื้นที่ของกลีบกระดาษ โดยที่แกนอัดกลีบ 1, 2, และ 3 พบว่ามีพื้นที่ขนาดใหญ่ที่ไม่มีรอยย่นบริเวณส่วนกลางและยาวตลอดความสูงของกลีบกระดาษ ในขณะที่แกนอัดกลีบ 4 พบว่ามีรอยย่นขนาดใหญ่บริเวณส่วนกลางกลีบกระดาษ

Table 2 แสดงลักษณะรอยย่นของกลีบกระดาษ 65 gsm หลังการอัดกลีบที่ความดันลมอัด 0.6 MPa ของกลีบกระดาษจำนวน 6, 8, 10, 12, 14, และ 16 แผ่นต่อม้วนที่ตำแหน่งแกนอัดกลีบ 1, 2, 3, และ 4 โดยผลการอัดกลีบกระดาษจำนวน 6 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นค่อนข้างชัดเจนและสม่ำเสมอ แต่ที่แกนอัดกลีบ 4 พบว่าบางพื้นที่ของกลีบกระดาษมีรอยย่นขนาดใหญ่ ต่อมาการอัดกลีบกระดาษจำนวน 8 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นโดยทั่วไปค่อนข้างชัดเจนและสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ของกลีบกระดาษ และเมื่อพิจารณาการอัดกลีบกระดาษจำนวน 10 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นโดยทั่วไปค่อนข้างชัดเจนและกระจายสม่ำเสมอทั่วบริเวณของกลีบกระดาษ ส่วนการอัดกลีบกระดาษจำนวน 12 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นโดยทั่วไปค่อนข้างชัดเจนและสม่ำเสมอ แต่มีรอยย่นขนาดใหญ่บริเวณพื้นที่ส่วนบนและส่วนล่างของกลีบกระดาษ ในขณะที่การอัดกลีบกระดาษจำนวน 14 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นโดยทั่วไปค่อนข้างชัดเจน และพบว่าที่แกนอัดกลีบ 1, 2, และ 3 มีรอยย่นขนาดใหญ่บริเวณพื้นที่ส่วนบนและส่วนล่าง ในขณะที่แกนอัดกลีบ 4 พบว่ามีรอยย่นขนาดใหญ่บริเวณด้านขวาและยาวตลอดความสูงของกลีบกระดาษ และสุดท้ายการอัดกลีบกระดาษจำนวน 16 แผ่นต่อม้วน

พบว่ารอยย่นค่อนข้างชัดเจน แต่เกิดขึ้นไม่ทั่วพื้นที่กลีบกระดาษ และพบว่าพื้นที่ขนาดใหญ่ที่ไม่มีรอยย่นเกิดขึ้นบริเวณส่วนกลางและยาวตลอดความสูงของกลีบกระดาษ โดยที่แกนอัดกลีบ 1 พบว่ามีพื้นที่ที่ไม่มีรอยย่นน้อยที่สุด รองลงมาคือแกนอัดกลีบ 4 และมากที่สุดคือแกนอัดกลีบ 2 และ 3

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของจำนวนกลีบกระดาษที่มีต่อความสม่ำเสมอของรอยย่น พบว่าจำนวนกลีบกระดาษมากจะทำให้เกิดความสม่ำเสมอของรอยย่นลดลงและต้องใช้แรงอัดกลีบมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากเปรียบเทียบผลการอัดกลีบกระดาษ 65 gsm จำนวน 14 และ 16 แผ่นต่อม้วน พบว่ากลีบกระดาษจำนวน 14 แผ่นต่อม้วน มีรอยย่นเกิดขึ้นเกือบทั่วพื้นที่ของกลีบกระดาษ โดยบางพื้นที่ของกลีบกระดาษมีรอยย่นขนาดใหญ่ ในขณะที่กลีบกระดาษจำนวน 16 แผ่นต่อม้วน พบว่ามีรอยย่นเกิดขึ้นไม่ทั่วพื้นที่ของกลีบกระดาษอย่างชัดเจน โดยพื้นที่บริเวณส่วนกลางของกลีบกระดาษจะไม่มีรอยย่น ในขณะที่รอยย่นจะเกิดขึ้นด้านซ้ายและด้านขวาของกลีบกระดาษ เหตุการณ์นี้เป็นผลมาจากจำนวนกลีบกระดาษที่แตกต่างกัน ทำให้กลีบกระดาษที่มีจำนวนกลีบมากกว่าจะมีความหนาแน่นกว่าและมีพื้นที่รับแรงอัดกลีบมากกว่า ซึ่งหมายความว่ากลีบกระดาษม้วนจะมีแรงต้านการอัดมากกว่า ดังนั้นเมื่อใช้แรงอัดกลีบเท่ากันจึงทำให้การอัดกลีบกระดาษจำนวน 16 แผ่นต่อม้วน มีพื้นที่เรียบมากกว่าการอัดกลีบกระดาษจำนวน 14 แผ่นต่อม้วน ส่วนรอยย่นจะที่เกิดขึ้นด้านซ้ายและด้านขวาของกลีบกระดาษ 65 gsm ที่มีจำนวน 16 แผ่นต่อม้วน เป็นผลมาจากรูปร่างของกลีบกระดาษที่คล้ายกับสี่เหลี่ยมคางหมู และเมื่อนำกลีบกระดาษม้วนก็จะทำให้บริเวณส่วนปลายของกลีบกระดาษม้วน (ด้านซ้ายและด้านขวาของกลีบกระดาษ) มีความหนาน้อยกว่าส่วนกลาง จึงส่งผลให้มีแรงต้านการอัดน้อยกว่า ทำให้แท่นอัดกลีบสามารถอัดกลีบกระดาษม้วนให้ยุบตัวลงไปได้ แต่แรงอัดกลีบที่ใช้ไม่เพียงพอต่อการอัดบริเวณส่วนกลางของกลีบกระดาษม้วน เพราะเป็นส่วนที่มีความหนาแน่นมากที่สุด ซึ่งเป็นบริเวณที่มีแรงต้านการอัดสูงสุดของกลีบกระดาษม้วน โดยจากปรากฏการณ์นี้ทำให้ทราบว่าแรงอัดกลีบที่เกิดขึ้นจากกระบอกสูบ 2A ที่ความดันลมอัด 0.6 MPa ไม่สอดคล้องกับจำนวนกลีบกระดาษม้วนดังกล่าว และเกิดขึ้นในทำนองเดียวกันกับการอัดกลีบกระดาษ 55 gsm จำนวน 16 แผ่นต่อม้วน แต่อย่างไรก็ตาม หากแรงอัดกลีบที่ใช้มากพอที่จะอัดกลีบกระดาษม้วนให้ยุบตัวลงไปตามแนวแกนอัดกลีบจนเหลือความสูงตามที่กำหนดไว้ในการออกแบบ ซึ่งเป็นความสูงที่ทำให้กลีบกระดาษเกิดการยุบตัวได้ทั้งหมด ก็จะทำให้ได้กลีบกระดาษที่มีรอยย่นที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังจะเห็นได้จากผลการอัดกลีบกระดาษ 55 gsm จำนวน 6 ถึง 14 แผ่นต่อม้วน และการอัดกลีบกระดาษ 65 gsm จำนวน 6 ถึง 12 แผ่นต่อม้วน ซึ่งรอยย่นมีขนาดค่อนข้างใกล้เคียง

**Table 1** Appearances of creases on the paper petals of 55 gsm at operating pressure of 0.6 MPa

จำนวนแผ่นต่อม้วน	แกนอัดกลีบ 1	แกนอัดกลีบ 2	แกนอัดกลีบ 3	แกนอัดกลีบ 4
6				
8				
10				
12				
14				
16				

เคียงกันและสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ของกลีบกระดาษ

ต่อมาหากพิจารณาถึงอิทธิพลของน้ำหนักต่อพื้นที่ (กรัมต่อตารางเมตร) ของกลีบกระดาษที่มีต่อความสม่ำเสมอของรอยย่น พบว่าน้ำหนักต่อพื้นที่ของกลีบกระดาษมากจะทำให้ความสม่ำเสมอของรอยย่นลดลงและต้องใช้แรงอัดกลีบมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบผลการอัดกลีบ

ระหว่างกลีบกระดาษ 55 และ 65 gsm ที่จำนวน 16 แผ่นต่อม้วน ซึ่งจะพบว่ามึลักษณะรอยย่นที่คล้ายกัน กล่าวคือรอยย่นเกิดขึ้นไม่ทั่วพื้นที่ของกลีบกระดาษอย่างชัดเจน โดยมีพื้นที่บริเวณส่วนกลางของกลีบกระดาษไม่มีรอยย่น โดยกลีบกระดาษ 65 gsm จะมีพื้นที่ที่ไม่มีรอยย่นมากกว่า เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากน้ำหนักต่อพื้นที่ของกลีบกระดาษที่

แตกต่างกัน ทำให้กลีบกระดาษที่มีน้ำหนักต่อพื้นที่มากกว่า จะมีความหนาแน่นมากกว่า และส่งผลให้กลีบกระดาษมีพื้นที่รับแรงอัดกลีบมากกว่า ซึ่งหมายความว่ากลีบกระดาษมีพื้นที่รับแรงอัดมากกว่า ดังนั้นเมื่อใช้แรงอัดกลีบเท่ากันจึงทำให้กลีบกระดาษ 65 gsm มีพื้นที่เรียบมากกว่ากลีบกระดาษ

55 gsm แต่อย่างไรก็ตาม หากแรงอัดกลีบที่ใช้มีค่ามากกว่า แรงต้านการอัดของกลีบกระดาษมีพื้นที่ และสามารถอัดให้กลีบกระดาษมีรอยยุบตัวลงไปได้ตามระยะที่กำหนดไว้ ก็จะทำให้กลีบกระดาษมีรอยย่นที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

**Table 2** Appearances of creases on the paper petals of 65 gsm at operating pressure of 0.6 MPa

จำนวนแผ่นต่อม้วน	แกนอัดกลีบ 1	แกนอัดกลีบ 2	แกนอัดกลีบ 3	แกนอัดกลีบ 4
6				
8				
10				
12				
14				
16				

สำหรับอิทธิพลของตำแหน่งแกนอัดกลีบที่มีต่อความสม่ำเสมอของรอยย่น พบว่าตำแหน่งแกนอัดกลีบไม่มีผลต่อความสม่ำเสมอของรอยย่นอย่างมีนัยสำคัญ ดังจะเห็นได้จากลักษณะรอยย่นที่ตำแหน่งแกนอัดกลีบต่างๆ จะมีขนาดและความสม่ำเสมอของรอยย่นใกล้เคียงกัน เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เพราะตำแหน่งที่ติดตั้งแกนอัดกลีบจะอยู่ในแนวระยะรัศมี 95 mm ที่ตำแหน่ง 0, 90, 180, และ 270 องศา รอบจุดศูนย์กลางของแท่งอัดกลีบซึ่งเป็นจุดที่ยึดติดกับปลายก้านสูบ 2A ดังนั้นจึงส่งผลให้แรงอัดกลีบสามารถกระจายไปยังแกนอัดกลีบต่างๆ ใกล้เคียงกัน และทำให้แรงอัดกลีบที่กระทำกับกระดาษม้วนในแต่ละแกนอัดกลีบมีค่าใกล้เคียงกัน จึงทำให้รอยย่นของกลีบกระดาษค่อนข้างสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงความสม่ำเสมอของรอยย่นที่เกิดขึ้นกับกลีบกระดาษแต่ละแผ่นในม้วนเดียวกัน พบว่ากลีบกระดาษม้วนเดียวกันจะมีความสม่ำเสมอของรอยย่นใกล้เคียงกัน เนื่องจากการม้วนกลีบกระดาษและใช้เทปกาวติดให้คงรูป จะทำให้กลีบกระดาษแต่ละแผ่นติดแน่นเหมือนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งส่งผลให้รอยย่นที่เกิดขึ้นจากการอัดกลีบมีลักษณะคล้ายคลึงกันทั้งหมด

## สรุปผล

เครื่องอัดกลีบกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติด้วยระบบนิวแมติก ประกอบด้วยวงจรวอร์เรนนิวแมติกแบบสองกระบอกสูบสำหรับป้อนและอัดกลีบกระดาษ และวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานของวงจรวอร์เรนนิวแมติก โดยมีรีเลย์ตั้งเวลาทำหน้าที่ควบคุมลำดับขั้นการทำงานของกระบอกสูบผ่านโซลินอยด์วาล์ว และมีระบบสั่งงานด้วยการกดสวิทช์ปุ่มกดพร้อมกันสองมือ เพื่อความปลอดภัยขณะปฏิบัติงาน โดยผู้ปฏิบัติงานจะมีหน้าที่สวมกลีบกระดาษม้วนเข้ากับแกนอัดกลีบ หลังจากนั้นกดสวิทช์สั่งให้เครื่องอัดกลีบทำงาน และนำกลีบกระดาษม้วนออกหลังการอัดกลีบเสร็จสิ้น โดยเครื่องอัดกลีบสามารถอัดกลีบได้พร้อมกันครั้งละ 4 ตำแหน่ง และมีความดันลมอัดใช้งานสูงสุดอยู่ที่ 0.8 MPa

จากผลการอัดกลีบกระดาษที่ความดันลมอัด 0.6 MPa พบว่ากลีบกระดาษ 55 gsm จำนวน 6 ถึง 14 แผ่นต่อม้วน และกลีบกระดาษ 65 gsm จำนวน 6 ถึง 12 แผ่นต่อม้วน มีลักษณะรอยย่นค่อนข้างชัดเจนและสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ของกระดาษ ส่วนการอัดกลีบกระดาษ 65 gsm จำนวน 14 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นค่อนข้างชัดเจนแต่ขนาดไม่สม่ำเสมอ ในขณะที่การอัดกลีบกระดาษ 55 และ 65 gsm ที่มีจำนวน 16 แผ่นต่อม้วน พบว่ารอยย่นเกิดขึ้นไม่ทั่วพื้นที่ของกลีบกระดาษ นอกจากนี้พบว่าจำนวนกลีบกระดาษและน้ำหนักต่อพื้นที่มากจะทำให้ความสม่ำเสมอของรอยย่นลดลงและต้องใช้แรงอัดกลีบที่มากขึ้น ส่วนตำแหน่งของแกนอัดกลีบพบว่าไม่มีผล

ต่อความสม่ำเสมอของรอยย่นอย่างมีนัยสำคัญ และสุดท้ายพบว่ากลีบกระดาษม้วนเดียวกันจะมีลักษณะรอยย่นที่คล้ายคลึงกัน แต่อย่างไรก็ตาม หากแรงอัดกลีบที่ใช้มากพอที่จะอัดให้กลีบกระดาษม้วนยุบตัวลงไปตามระยะที่กำหนด ก็จะทำให้ได้กลีบกระดาษที่มีรอยย่นที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้สนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- ชัยนนท์ ศรีสุภินานนท์. (2553). *นิวแมติกและไฮดรอลิก (ระบบอัตโนมัติแบบประยุกต์)*. ไอกรุป เพรส.
- เด่น ดอกพิมาย. (2552). *การควบคุมนิวแมติกสำหรับอุตสาหกรรมอัตโนมัติ*. ท้อป.
- ปานเพชร ชินินทร และขวัญชัย สินิกพิทยสมบูรณ์. (2531). *นิวแมติกอุตสาหกรรม*. ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- วรวงศ์ บุญช่วยแทน. (2558). *มทร.ศรีวิชัย มอบ "เครื่องอัดกลีบดอกไม้จันทร์" แก่ชุมชน เพิ่มผลผลิต เพิ่มรายได้*. <https://talung.gimyong.com/index.php?topic=397397.0>
- วรวงศ์ บุญช่วยแทน, วรธนพร ชีววุฒิพงศ์, วีรวัฒน์ มีแสง และคณะ. (2560). การพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการอัดกลีบดอกไม้กระดาษ. ใน: *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2560* (น. 238-246). คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อำนาจ ทองคำ. (2556). *การพัฒนาเครื่องผลิตดอกไม้จันทร์เพื่อวิสาหกิจชุมชนวัดไร่ไสมนรินทร์*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- Barber, A. (1997). *Pneumatic handbook*. Elsevier.
- Beater, P. (2006). *Pneumatic drives-system design, modelling and control*. Springer.
- Croser, P. & Ebel, F. (2002). *Pneumatics: Basic Level*. Festo Didactic.
- Jagadeesha, T. (2015). *Pneumatics: Concepts, Design and Applications*. Universities Press.
- Prede, G. & Scholz, D. (2002). *Electropneumatics: Basic Level*. Festo Didactic.
- SMC Corporation. (1997). *Basic Pneumatics: a manual for fluid power components and practical applications*. SMC Pneumatics.