การออกแบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ในชุดเซอร์โวมอเตอร์สำหรับหุ่นยนต์ที่ใช้ในครัวเรือน

DESIGN OF HARMONICS GEAR IN SERVOMOTOR FOR HOUSEHOLD ROBOTS

นางสาวณัฐกุล คำศรี

MS. NATTAKUL KHAMSRI

นางสาวนีรชา คำเจริญ

MS. NEERACHA KUMJAROEN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

การออกแบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ในชุดเซอร์โวมอเตอร์สำหรับหุ่นยนต์ที่ใช้ในครัวเรือน

DESIGN OF HARMONICS GEAR IN SERVOMOTOR FOR HOUSEHOLD ROBOTS

นางสาวณัฐกุล คำศรี

MS. NATTAKUL KHAMSRI

นางสาวนีรชา คำเจริญ

MS. NEERACHA KUMJAROEN

b.00266029

TB00224

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF HARMONICS GEAR IN SERVOMOTOR FOR HOUSEHOLD ROBOTS

MS. NATTAKUL KHAMSRI
MS. NEERACHA KUMJAROEN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ในชุดเซอร์โวมอเตอร์สำหรับหุ่นยนต์ที่ใช้ในครัวเรือน

DESIGN OF HARMONICS GEAR IN SERVOMOTOR FOR HOUSEHOLD ROBOTS

นักศึกษา นางสาวณัฐกุล คำศรี รหัสประจำตัว 57010411

นางสาวนีรชา คำเจริญ รหัสประจำตัว 57010692

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร. พลชัย โชติปรายนกุล)

(อาจารย์ รณน เจียรตระกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ในชุดเซอร์โวมอเตอร์สำหรับหุ่นยนต์ใช้ในครัวเรือน
นักศึกษา	นางสาวณัฐกุล คำศรี นางสาวนีรชา คำเจริญ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.พลชัย โชติปรายนกุล อาจารย์รณน เจียรตระกูล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ในชุดเซอร์โวมอเตอร์สำหรับหุ่นยนต์ที่ใช้ในครัวเรือน ซึ่งในชีวิตประจำวันเทคโนโลยีหุ่นยนต์ได้ก้าวเข้ามาสู่การใช้งานในระดับครัวเรือนมากขึ้น สำหรับข้อกำหนดหุ่นยนต์ในครัวเรือน คือ ต้องมีน้ำหนักเบาและมีความคล่องตัวสูง การใช้กับเซอร์โวมอเตอร์ชนิด RC Servo จึงควรได้รับการพัฒนาโดยการผนวกเอาเฟืองแบบฮาร์โมนิคส์มาเป็นระบบส่งกำลังที่มีคุณสมบัติอัตราทดต่อน้ำหนักที่สูง ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรก คือ การออกแบบและจำลองการทดสอบชิ้นงานต้นแบบในซอฟต์แวร์ CAD/CAE ของโปรแกรม SOLIDWORKS® และส่วนสุดท้าย คือ การสร้างชิ้นงานต้นแบบ 3 ชิ้น ได้แก่ เฟืองใน เฟืองรูปถ้วย และแกนหมุนกำเนิดคลื่น กระบวนการออกแบบเฟืองรูปถ้วย เลือกใช้ความหนาของผนังมีค่าเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นผนังที่บางที่สุดที่สามารถสร้างขึ้นจากข้อจำกัดของอายุการใช้งานและความเค้นเฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design of Harmonic Gear in Servomotor for Household Robots
Student	Ms. Nattakul Khamsri Ms. Neeracha Kumjaroen
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2017
Thesis Advisor	Dr. Pholchai Chotiprayanakul Mr. Ranon Jientrakul

ABSTRACT

This thesis presents design of harmonic gear in servomotor for household robots. Robot technology comes into household use in daily life. Requirements for an in-house-robot must have low weight and high mobility. Therefore, an ordinary servomotor as RC-servo should develop its transmission system using the harmonic gear which provide more gear ratio with less weight. This thesis is divided into two parts. First, designing and simulation testing a prototype on CAD/CAE software which is SOLIDWORKS®. Next, the prototype is built separated to 3 parts which are Circular Spline, Flexible Spline, and Wave Generator. In designing process, the Flexible Spline was chosen an optimal wall thickness of 1.5 mm. because it is thinnest wall can be built with satisfy total life and shear strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการออกแบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ในชุดมอเตอร์เซอร์โวสำหรับหุ่นยนต์ครัวเรือน ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงกลุ่มผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณบุคคลต่างๆดังต่อไปนี้

ดร.พลชัย โชติปรายนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้โอกาสในการศึกษา ความรู้ แนวคิดที่ดี คำแนะนำ การปฏิบัติ ตลอดจนการให้ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆด้าน

อาจารย์รณน เจียรตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำที่ดีๆ

ดร.เชาวลิต หามนตรี กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำที่ดีตลอดจนความช่วยเหลือในทุกๆด้าน

ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำต่างๆและบรรยากาศที่ดีๆที่มอบให้เสมอมา

นายกำธร สุขพิมาย กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ ตลอดจนการให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่มิได้กล่าวถึง รวมทั้งพี่ปริญญาเอกที่ช่วยแนะนำการทำงานต่างๆ รวมทั้งช่วยให้งานเป็นไปอย่างที่คาดไว้ รวมทั้งพ่อ แม่ พี่ น้อง และเพื่อนวิศวกรรมอุตสาหการรุ่น 18 สำหรับความช่วยเหลือและคอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

นางสาวณัฐกุล คำศรี
นางสาวนีรชา คำเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ก

ABSTRACT ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากปริญญานิพนธ์ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เฟืองฮาร์โมนิคส์ (Harmonic Gear) 3

2.1.1 เฟืองใน (Circular Spline) 3

2.1.2 เฟืองรูปถ้วย (Flexspline) 3

2.1.3 แกนหมุนกำเนิดคลื่น (Wave Generator) 4

2.1.4 การทำงานของเฟืองฮาร์โมนิคส์ 4

2.2 มอเตอร์เซอร์โว (Servo Motor) 5

2.2.1 ชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์ (Controller) 6

2.2.2 ชุดขับเซอร์โว (Servo Driver) 6

2.2.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) 7

2.3 ตลับลูกปืน (Bearings) 7

2.4 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene) 8

2.5 กรรมวิธีการผลิต 9

2.5.1 งานกลึง 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

2.5.2 การเจาะ 12
2.5.3 การกัด (Milling) 13
2.5.4 การไส 14
2.5.5 การเจียระไน (Grinding) 16
2.5.6 การฉีดพลาสติก 19

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน 23
3.2 การออกแบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ 24
3.2.2 การออกแบบเฟืองใน 24
3.2.3 การออกแบบเฟืองรูปถ้วย 25
3.2.3 การออกแบบแกนหมุนกำเนิดคลื่น 27
3.3 การสร้าง และประกอบชิ้นงานต้นแบบของชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ 27
3.3.1 การสร้างเฟืองใน 27
3.3.2 การสร้างเฟืองรูปถ้วย 28
3.3.3 การสร้างแกนหมุนกำเนิดคลื่น 29

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ 31
4.2 การทดสอบจากแบบจำลองเฟืองรูปถ้วย 33
4.2.1 การทดสอบการรับแรง 33
4.2.2 การทดสอบหาอายุการใช้งาน 35

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 บทสรุปโครงการ 37
5.2 ข้อเสนอแนะ 37

เอกสารอ้างอิง 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก.....ผก

ภาคผนวก ข .....ผข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การทดสอบหาแรงที่กระทำกับชิ้นงานที่ขนาดความหนาแตกต่างกัน 33
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบของแรงที่กระทำกับฟันเฟืองรูปถ้วยเพื่อให้ยืด.....34
ตารางที่ 3 ค่าการคำนวณหาอายุการใช้งานที่ขนาดความหนาต่างกัน.....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 เฟืองใน [3] 3
รูปที่ 2.2 เฟืองรูปถ้วย [2] 4
รูปที่ 2.3 ตลับลูกปืน [1] 4
รูปที่ 2.4 การทำงานของเฟืองฮาร์โมนิคส์ [4] 5
รูปที่ 2.5 เซอร์โวมอเตอร์ [5] 6
รูปที่ 2.6 คอนโทรลเลอร์ [5] 6
รูปที่ 2.7 เซอร์โวไดรฟ์เวอร์ [5] 7
รูปที่ 2.8 เซอร์โวมอเตอร์ [5] 7
รูปที่ 2.9 บอลแบริ่ง [6] 8
รูปที่ 2.10 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง [7] 8
รูปที่ 2. 11 การกลึงลักษณะต่างๆ [8] 9
รูปที่ 2.12 ชนิดของคมตัดเฉือนบนเครื่องกลึงที่ใช้กันทั่วๆ ไป [8] 9
รูปที่ 2.13 การกลึงปาดหน้า [8] 10
รูปที่ 2.14 มีดกลึงที่ใช้ในการกลึงปาดหน้า [8] 10
รูปที่ 2.15 การกลึงปอกผิวภายนอก [8] 11
รูปที่ 2.16 ลักษณะของการกลึงปอกผิวภายในหรือการกลึงคว้านรู [8] 11
รูปที่ 2.17 ด้ามมีดกลึงสำหรับการกลึงปอกผิวภายนอก และมีดกลึงที่ใช้ในการกลึงปอกผิวทั่วไป [8] 11
รูปที่ 2.18 ด้ามมีดกลึงสำหรับการกลึงคว้านรู [8] 12
รูปที่ 2.19 เครื่องเจาะ [9] 13
รูปที่ 2.20 เครื่องกัดประเภทต่างๆ [10] 14
รูปที่ 2.21 การไสชิ้นงาน [11] 15
รูปที่ 2.22 เครื่องไสนอน [11] 15
รูปที่ 2.23 เครื่องไสตั้ง [11] 16
รูปที่ 2.24 เครื่องไสชิด [11] 16
รูปที่ 2.25 การเจียระไนผิวราบ [12] 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.26 การเจียระไนกลม (Cylindrical Grinding) [12] 18
รูปที่ 2.27 การเจียระไนไร้ศูนย์ (Centerless Grinding) [12] 18
รูปที่ 2.28 ล้อหินเจียระไนแบบต่างๆ [12] 19
รูปที่ 2.29 ส่วนต่างๆของเครื่องฉีดพลาสติก [13] 22
รูปที่ 3.1 ผังขั้นตอนแสดงการดำเนินงาน 23
รูปที่ 3.2 ชิ้นงานจากการออกแบบเฟืองใน 24
รูปที่ 3.3 ชิ้นงานจากการออกแบบเฟืองรูปถ้วย 25
รูปที่ 3.4 เรขาคณิตฟันของชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ 25
รูปที่ 3.5 การจำลองการทดสอบหาแรงที่กระทำกับความหนาเฟือง 26
รูปที่ 3.6 ชิ้นงานจากการออกแบบแกนหมุนกำเนิดคลื่น 27
รูปที่ 3.7 การสร้างชิ้นงานต้นแบบเฟืองใน 28
รูปที่ 3.8 เครื่องมือพิมพ์ลายฟันเฟือง 28
รูปที่ 3.9 การสร้างชิ้นงานต้นแบบเฟืองรูปถ้วย 29
รูปที่ 3.10 เครื่องพิมพ์สามมิติ 29
รูปที่ 3.11 เครื่องตัดเลเซอร์ 30
รูปที่ 4.1 ชิ้นงานต้นแบบของเฟืองใน 31
รูปที่ 4.2 ชิ้นงานเฟืองรูปถ้วยพลาสติก 31
รูปที่ 4.3 ชิ้นงานแกนหมุนกำเนิดคลื่น 32
รูปที่ 4.4 แสดงภาพประกอบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์กับมอเตอร์ที่เสร็จสมบูรณ์ 32
รูปที่ 4.5 การทดสอบหาแรงที่กระทำต่อระยะยืดที่ตัวอย่างความหนา 1.50 มิลลิเมตร 34
รูปที่ 4.6 การจำลองการทดสอบของฟันเฟือง ที่ความหนา 3.30 มิลลิเมตร 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ ซึ่งเฟืองฮาร์โมนิคส์มีคุณสมบัติอัตราทดต่อน้ำหนักสูง และไม่มีระยะคลอนทำให้อุปกรณ์ไม่เกิดการสั่น และมีความแม่นยำสูง จึงนำเฟืองฮาร์โมนิคส์มาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์ในครัวเรือนเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงาน

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีหุ่นยนต์ ที่มีส่วนสำคัญต่ออุตสาหกรรมกำลังก้าวลงมาสู่การใช้งานในระดับครัวเรือนมากขึ้น และมีความต้องการให้หุ่นยนต์ที่ใช้ในงานชีวิตประจำวันนี้ มีการทำงานรวดเร็ว และแม่นยำในระดับสูงเทียบทุ่นยนต์ที่ใช้กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมมากกว่าจะเป็นของเล่น ระบบเซอร์โวมอเตอร์จึงควรได้รับการพัฒนาโดยผนวกเอาเฟืองแบบฮาร์โมนิคส์มาเป็นระบบส่งกำลังแทนระบบเฟืองแบบเก่าในเซอร์โวมอเตอร์

ชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ที่มีคุณสมบัติอัตราทดต่อน้ำหนักที่สูง และ ไม่มีระยะคลอนซึ่งทำให้อุปกรณ์ไม่เกิดการสั่นในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ และความแม่นยำที่สูงเหมาะแก่การทำงานที่ต้องการใช้ความละเอียด รวมทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานในการทำงาน และลดการชำรุดระบบไฟฟ้าเนื่องจากมอเตอร์สามารถใช้ขนาดที่เล็กเนื่องจากชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์มีอัตราทดแรงสูง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบหุ่นยนต์ที่ใช้ในครัวเรือน ซึ่งทำให้มีความเร็ว ความแม่นยำ และความปลอดภัยมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ทางผู้จัดทำโครงงานนี้จึงต้องการนำเอาระบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์มาประยุกต์ใช้ในชุดเซอร์โวมอเตอร์สำหรับหุ่นยนต์ใช้งานในครัวเรือนเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงาน

ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะประยุกต์ใช้เฟืองฮาร์โมนิคส์มาใส่ในชุดเซอร์โวมอเตอร์ที่มีเป้าหมายใช้กับหุ่นยนต์ในครัวเรือนขึ้นมาเพื่อให้นำมาใช้งานได้จริงโดยคณะผู้จัดทำจะทำการออกแบบจำลองเฟืองฮาร์โมนิคส์ในรูปสามมิติ โดยใช้โปรแกรมโซลิดเวิร์ค และทำการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติเพื่อทำการทดสอบหาขนาด และการใช้งานโดยรวมก่อนที่จะทำการขึ้นรูปชุดเฟืองจากโลหะ และพลาสติกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเฟืองฮาร์โมนิคส์
2. เพื่อออกแบบ และสร้างชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ออกแบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ต้นแบบด้วย CAD/CAE ซอฟต์แวร์ ของโปรแกรม SOLIDWORKS®
2. ออกแบบวิธีการผลิตเฟืองใน
3. ออกแบบวิธีการผลิตเฟืองรูปถ้วย
4. ออกแบบวิธีการผลิตแกนหมุนกำเนิดคลื่น

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากปริญญานิพนธ์

1. ชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์สามารถทดแทนเฟืองชนิดอื่นๆ
2. ชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์สามารถนำไปใช้งานได้กับหุ่นยนต์ระดับครัวเรือน
3. ชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์จะเพิ่มความสามารถให้กับหุ่นยนต์ที่ใช้ในครัวเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เฟืองฮาร์โมนิคส์ (Harmonic Gear)

ชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ แกนหมุนกำเนิดคลื่น เฟืองรูปถ้วย และเฟืองใน

2.1.1 เฟืองใน (Circular Spline)

เฟืองใน เป็นเฟืองรูปร่างแหวนแข็งที่มีฟันภายใน เมื่อเฟืองเข้าชุดแล้วฟันของเฟืองในจะประกอบกับฟันของเฟืองรูปถ้วย และแกนหมุนกำเนิดคลื่น

รูปที่ 2.1 เฟืองใน [3]

2.1.2 เฟืองรูปถ้วย (Flexspline)

เฟืองรูปถ้วยเป็นถ้วยทรงกระบอกบางๆ ที่ทำจากเหล็กโลหะผสมที่มีฟันด้านนอก เมื่อแกนหมุนกำเนิดคลื่นดันเฟืองรูปถ้วยจะมีรูปร่างเป็นรูปวงรี ด้านล่างของเฟืองรูปถ้วย เรียกว่าไดอะแฟรม (Diaphragm) ซึ่งไดอะแฟรมมักจะพอดีกับเพลาขาออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 เฟืองรูปถ้วย [2]

2.1.3 แกนหมุนกำเนิดคลื่น (Wave Generator)

แกนหมุนกำเนิดคลื่น คือชุดประกอบลูกปืนแบบบางที่พอดีกับขอบของเฟืองรูปถ้วย ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวแปลงแรงบิดที่มีประสิทธิภาพสูง เชื่อมต่อกับเพลามอเตอร์

รูปที่ 2.3 ตลับลูกปืน [1]

2.1.4 การทำงานของเฟืองฮาร์โมนิคส์

เฟืองฮาร์โมนิคส์ช่วยลดความเร็วในการหมุนได้โดยใช้จำนวนฟันที่ไม่เท่ากันระหว่างเฟืองในกับเฟืองรูปถ้วย โดยจำนวนฟันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองรูปถ้วยมีขนาดเล็กกว่าเฟืองในเล็กน้อย แกนหมุนกำเนิดคลื่นจะดันให้ฟันของเฟืองรูปถ้วยและเฟืองในสัมผัสกัน เมื่อแกนหมุนกำเนิดคลื่นหมุนจุดสัมผัสของฟันจะหมุนตาม เมื่อแกนหมุนกำเนิดคลื่นหมุนครบ 1 รอบ ฟันของเฟืองรูปถ้วยจะเลื่อนไป 2 ฟันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าจำนวนฟันของเฟืองรูปถ้วยต่างกับจำนวนฟันของเฟืองในเท่าไหร่ด้วย

ด้วยอัตราส่วนทดเฟือง 1: 100 จำนวนฟันเฟืองพิจารณา ดังแสดงตามสมการที่ 1.1

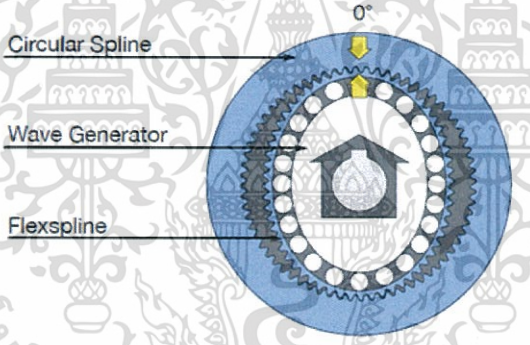
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Gear ratio} = \frac{\text{CST} - \text{FST}}{\text{CST}} \qquad 1.1$$

ซึ่ง CST = จำนวนฟันเฟืองใน

FST = จำนวนฟันของเฟืองรูปถ้วย

จำนวนฟันที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้คือ จำนวนฟันของเฟืองรูปถ้วย 99 ฟัน และจำนวนฟันของเฟืองใน 100 ฟัน ในที่นี้จะทำให้แกนหมุนกำเนิดคลื่นสัมผัสกับเฟืองรูปถ้วยเพียงจุดเดียว ซึ่งอาจจะทำให้ไม่สมดุลหรือสั่น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจึงควรทำ 2 จุดสัมผัสระหว่างแกนหมุนกำเนิดคลื่นกับเฟืองรูปถ้วย จำนวนฟันของเฟืองรูปถ้วยจึงมี 198 ฟันและจำนวนฟันของเฟืองในมี 200 ฟัน



รูปที่ 2.4 การทำงานของเฟืองฮาร์โมนิคส์ [4]

2.2 มอเตอร์เซอร์โว (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมเครื่องจักรกล หรือระบบการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามต้องการ โดยให้ผลลัพธ์ตามความต้องการที่มีความแม่นยำสูง ขนาดของเซอร์โวมอเตอร์จะมีหน่วยในการบอกขนาดเป็นวัตต์ (Watt) เซอร์โวมอเตอร์มีขนาดตั้งแต่ 50 วัตต์-15 กิโลวัตต์ ซึ่งมีความหลากหลายในการใช้งาน ชุดของเซอร์โวมอเตอร์นั้นประกอบด้วย ชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์ ชุดขับ และตัวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.5 เซอร์โวมอเตอร์ [5]

2.2.1 ชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์ (Controller)

หลักการทำงานหลักๆ หน้าที่ของตัวคอนโทรล คือ มีหน้าที่รับคำสั่งจากผู้ใช้งานว่าต้องการให้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) นั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าไหร่ และระยะทาง ใกล้หรือไกลแค่ไหน

รูปที่ 2.6 คอนโทรลเลอร์ [5]

2.2.2 ชุดขับเซอร์โว (Servo Driver)

หน้าที่ของชุดขับเซอร์โว คือ จะรับสัญญาณมาจากชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์ และสั่งการให้กับตัวเซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ตามที่ชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์สั่งการมา แต่ชุดควบคุมคอนโทรลเลอร์ ไม่สั่งการควบคุมไปที่เซอร์โวมอเตอร์โดยตรง เนื่องจากชุดขับเซอร์โวจะเป็นตัวที่ปรับตั้งค่าของตัวเซอร์โวมอเตอร์ ให้ทำงานตามรูปแบบของการควบคุมไม่ว่า จะเป็นการควบคุม ความเร็ว (Speed Control) แรงบิด (Touque) และตำแหน่ง (Position Control) ตัวชุดขับเซอร์โวจะเป็น ตัวกำหนดค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับตัวเซอร์โวมอเตอร์ ให้ทำงานได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ เพราะฉะนั้นเมื่อใช้เซอร์โวมอเตอร์ก็จะต้องมีชุดขับเซอร์โวเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 เซอร์โวไดรฟ์เวอร์ [5]

2.2.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

หน้าที่ของเซอร์โวมอเตอร์ คือ ขับเคลื่อนอุปกรณ์ของเครื่องจักรกลหรือระบบของการทำงานนั้นๆ ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ได้รับคำสั่งจากชุดขับเซอร์โวพร้อมกับส่งสัญญาณป้อนกลับให้กับตัวชุดขับเซอร์โว ว่าตอนนี้เซอร์โวมอเตอร์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าไหร่ และระยะทางในการเคลื่อนที่เป็นระยะทางเท่าไหร่ ด้วยสัญญาณของตัวเอ็นโคเดอร์ (Encoder) ที่อยู่ภายในเซอร์โวมอเตอร์ทำให้การเคลื่อนที่ของเซอร์โวมอเตอร์นั้นมีความแม่นยำสูง

รูปที่ 2.8 เซอร์โวมอเตอร์ [5]

2.3 ตลับลูกปืน (Bearings)

ตลับลูกปืนคือหนึ่งในส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องจักรและถูกใช้งานอย่างหลากหลาย แรงกดและการขับเคลื่อนถูกส่งผ่านเม็ดลูกปืน (rolling elements) ที่วิ่งอยู่บนรางลูกปืน (raceways) ตลับลูกปืนทำหน้าที่ลดความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ทำให้สามารถลดปริมาณพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขับเคลื่อนของเครื่องจักร และเนื่องจากความเสียดทานที่ลดลง จึงจะช่วยเพิ่มสมรรถนะในการทำงานของเครื่องจักรลดการสึกหรอ

รูปที่ 2.9 บอลแบริ่ง [6]

2.4 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene)

High Density Polyethylene เรียกย่อว่า HDPE เป็นพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) ที่มีค่าความหนาแน่นสูง การเรียงตัวของโมเลกุลจะมีกิ่งก้านมาก มีความหนาแน่นมากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง มีความหนาแน่นประมาณ 0.941-0.965 g/cm^3 มีจุดหลอมเหลว (Melting Point (deg. F)) 266 องศาฟาเรนไฮต์ นิยมใช้กันมากในการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก เช่น ขวด ถัง ถาด ถุงที่ต้องการความแข็งแรงแต่ไม่ต้องการความใสมากนัก พลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง มีลักษณะขุ่นกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene) มีความเหนียวค่อนข้างนิ่ม ยืดหยุ่น ทนทานต่อการหักงอได้ดี อีกทั้งยังสามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นได้สูงมาก และสามารถเพิ่มสีสันของขวดได้โดยไม่จำเป็นต้องเคลือบมัน แต่พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง มีความสามารถในการป้องกันการผ่านของอากาศได้ต่ำ จึงไม่เหมาะสำหรับการบรรจุผลิตภัณฑ์ที่ใช้อัดอากาศ และ ทนความร้อนได้เพียงเล็กน้อย

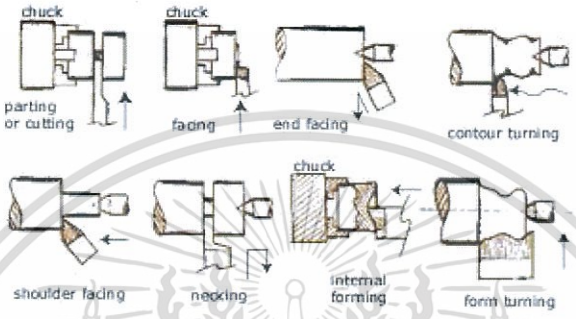
รูปที่ 2.10 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

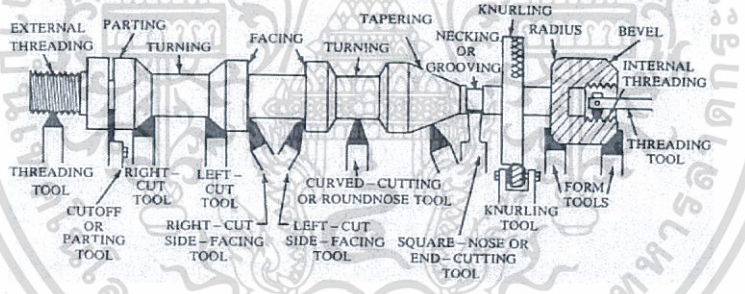
2.5 กรรมวิธีการผลิต

2.5.1 งานกลึง

งานกลึงเป็นกระบวนการตัดชิ้นงานในลักษณะของงานทรงกระบอกเป็นหลัก ลักษณะการขึ้นรูปของงานกลึงชิ้นงานจะถูกยึดกับที่ และหมุนรอบตัวเองบนหัวจับของเครื่องกลึง หลังจากนั้นเครื่องมือตัดจะเคลื่อนที่เข้าตัดชิ้นงานเป็นรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 2.11 การกลึงลักษณะต่างๆ [8]

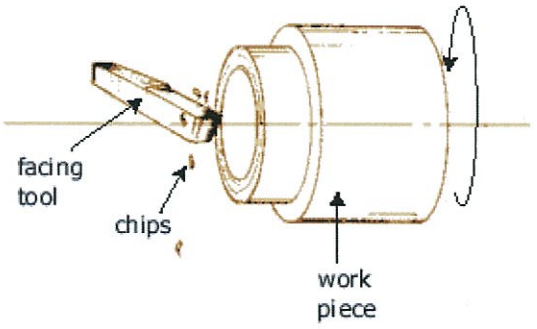


รูปที่ 2.12 ชนิดของคมตัดเฉือนบนเครื่องกลึงที่ใช้กันทั่วๆ ไป [8]

2.5.1.1 <u>การกลึงปาดหน้า</u>

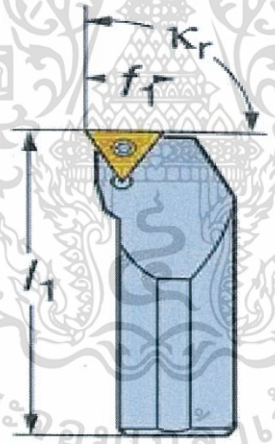
การกลึงปาดหน้า มีลักษณะเป็นการกลึงปาดผิวหน้าตัดของชิ้นงานออก ชิ้นงานจะหมุน และอยู่นิ่งกับที่ส่วนใบมีดกลึงจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน Y ในการเข้า-ออกจากชิ้นงาน เพื่อปาดผิวหน้า และจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน Z ในการเลื่อนซ้าย-ขวา เพื่อควบคุมความยาว ดังแสดงในรูปที่ 2.13 แสดงการกลึงปาดหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การกลึงปาดหน้า [8]

ส่วนมีดกลึงที่ใช้สำหรับการกลึงปาดหน้ามีหลายรูปทรงแต่ที่นิยมใช้กันมาก คือ รูปทรงสามเหลี่ยมหรือมีดกลึงชนิด T (Triangle) มีมุมขนาด 60 องศา สามารถกลึงงานได้ 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.14 แสดงมีดกลึงที่ใช้ในการกลึงปาดหน้า การเลือกขนาดรัศมีปลายมีดกลึง ขึ้นอยู่กับความละเอียดของผิวชิ้นงานที่จะปาดหน้า ถ้าต้องการผิวละเอียดมากก็ใช้รัศมีที่มีขนาดเล็ก เช่น 0.2 - 0.4 มิลลิเมตร

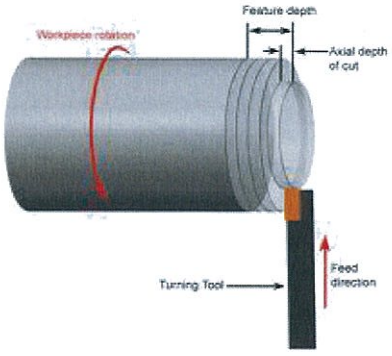


รูปที่ 2.14 มีดกลึงที่ใช้ในการกลึงปาดหน้า [8]

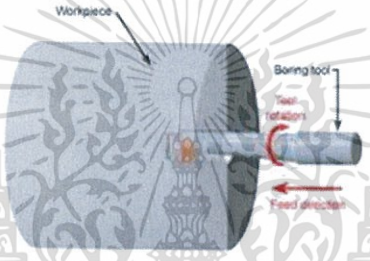
2.5.1.2 <u>การกลึงปอกผิว</u>

การกลึงปอกผิว มีลักษณะเป็นการกลึงชิ้นงานตามแนวขนานกับเพลาจับยึดของเครื่องกลึง หากเป็นการกลึงปอกผิวภายนอกจะทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานจะลดลง ดังรูปที่ 2.15 แสดงการกลึงปอกผิวภายนอก และถ้าเป็นการกลึงปอกผิวภายในหรือการกลึงคว้านรูจะทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

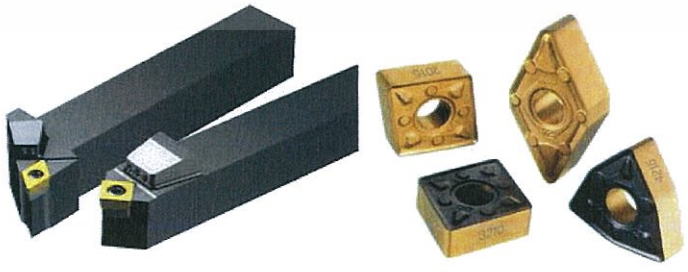


รูปที่ 2.15 การกลึงปอกผิวภายนอก [8]



รูปที่ 2.16 ลักษณะของการกลึงปอกผิวภายในหรือการกลึงคว้านรู [8]

มีดกลึงสำหรับการกลึงปอกผิวภายนอกใช้สำหรับงานกลึงภายนอกชิ้นงานโดยทั่วไป เช่น กลึงลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตลอดแนวความยาว ไม่มีร่อง ไม่มีตกบ่า ส่วนมากจะใช้มีดกลึงที่มีรูปร่าง เหมือนตัว W มีข้อดี คือ สามารถรับแรงในการกลึงได้มาก ปกติจะใช้ปลายมีดรัศมี R04, R08 สำหรับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก หากต้องการผิวงานที่มีความละเอียดมากขึ้นอาจจะต้องใช้มีด T ขนาด R02 เก็บผิวอีกครั้ง ลักษณะของด้ามมีดกลึงก็จะเป็นสี่เหลี่ยมมีทั้งมีดซ้าย และ มีดขวา



รูปที่ 2.17 ด้ามมีดกลึงสำหรับการกลึงปอกผิวภายนอก และมีดกลึงที่ใช้ในการกลึงปอกผิวทั่วไป [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนมีดกลึงสำหรับการกลึงปอกผิวภายในหรือการกลึงคว้านรูด้ามสำหรับจับยึดมีดกลึง ก็จะถูกออกแบบมาให้เป็นทรงกระบอก เนื่องการจากเป็นการทำงานตัดเฉือนภายในรู ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของด้าม (คิดตรงรัศมีของปลายมีดกลึง) จะต้องเล็กกว่าขนาดของรูเพื่อป้องกันมีดกลึงชนกับชิ้นงาน สำหรับมีดกลึงในการคว้านรูก็จะมีขนาดเล็กกว่ามีดกลึงสำหรับการกลึงปอกผิวภายนอกเนื่องจากมีพื้นที่จำกัด

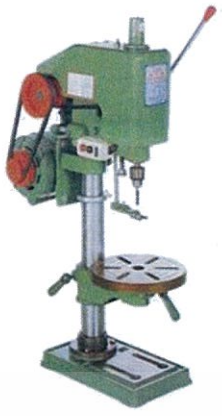
รูปที่ 2.18 ด้ามมีดกลึงสำหรับการกลึงคว้านรู [8]

2.5.2 การเจาะ

งานเจาะจัดเป็นกระบวนการผลิตขั้นพื้นฐาน ที่มีลักษณะการทำงานแบบง่ายๆ ไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานโลหะ การเจาะเป็นกระบวนการตัดเฉือนวัสดุงานออก โดยใช้ดอกสว่าน รูที่ได้จากการเจาะด้วยดอกสว่านจะมีลักษณะเป็นรูกลม เช่น รูยึดเหล็กดัดประตูหน้าต่างบานพับ กลอนประตูบ้าน เป็นต้น ส่วนประกอบของเครื่องเจาะ ประกอบด้วย มือหมุนเจาะชิ้นงาน ชุดสายพานส่งกำลัง มอเตอร์ส่งกำลัง เพลาจับสว่าน เสา แท่นรองรับชิ้นงาน เฟืองสะพาน หมุนปรับแท่นรองรับงานให้ขึ้นลงตามเสา ล็อคแท่นรองรับงานให้อยู่กับที่

เครื่องเจาะมี 2 แบบ คือ แบบตั้งโต๊ะ และแบบตั้งพื้น โดยเครื่องเจาะแบบตั้งพื้นจะสามารถจับงานขนาดใหญ่ๆได้น้ำหนักมากกว่าแบบตั้งโต๊ะ ระบบการส่งกำลังขับมีทั้งแบบตรงต่อจากมอเตอร์ผ่ายสายพาน (Pulley) เข้าเพลาเจาะหรือใช้ระบบเฟืองขับต่อจากมอเตอร์เลยก็ได้ เครื่องเจาะแบบตั้งโต๊ะเหมาะกับงานเจาะเบาๆหรืองานที่ต้องการความเร็วรอบสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 เครื่องเจาะ [9]

2.5.3 การกัด (Milling)

เครื่องกัดเป็นเครื่องจักรกลที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของโรงงาน ลักษณะการทำงานจะแตกต่างกับเครื่องไส และเครื่องกลึง เครื่องกัดดอกกัดจะเป็นตัวหมุนตัดชิ้นงาน โดยชิ้นงานจับยึดอยู่บนโต๊ะงาน แล้วเคลื่อนที่ผ่านดอกกัด เครื่องกัดสามารถทำงานได้มากมาย เช่นกัดราบ กัดร่อง กัดเฟือง ฯลฯ

2.5.3.1 <u>ชนิดของเครื่องกัด</u>

1. เครื่องกัดนอน (Horizontal Milling)

แกนของเครื่องมือกัดหมุนในแนวนอนขนานกับโต๊ะจับงานเหมาะกับการกัดผิวหน้าขนาน การกัดเซาะร่องหรือบ่าฉาก และการกัดเฟือง

2. เครื่องกัดตั้ง (Vertical Milling)

แกนของเครื่องมือกัดจะอยู่ในแนวดิ่งหมุนตั้งฉากกับโต๊ะจับงานเหมาะกับการกัดผิวหน้าเรียบด้วยมีดกัดปาดหน้า และกัดผิวข้างเรียบหรือร่องด้วยมีดกัดข้าง

3. เครื่องกัดอเนกประสงค์ (Universal Milling)

เป็นเครื่องกัดที่อาจมีทั้งแกนหมุนในแนวนอนและแนวตั้งในเครื่องเดียวกัน

4. เครื่องกัดที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer numerical control)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 เครื่องกัดประเภทต่างๆ [10]

2.5.3.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องกัด

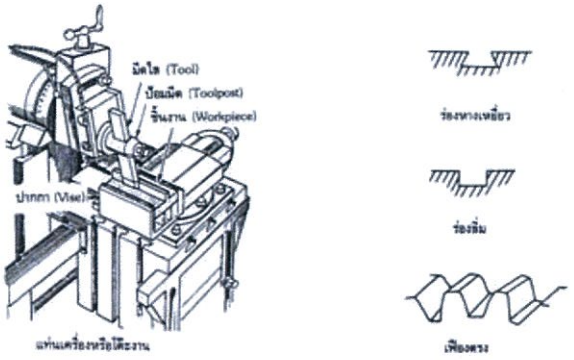
ระบบการทำงานของเครื่องกัดทั่วไปจะทำงานเหมือนกัน ดังนี้

1. ตรวจสอบสภาพความพร้อมของเครื่องเพื่อความปลอดภัยในการทางาน
2. ตรวจสอบ ติดตั้ง ความพร้อมของอุปกรณ์จับยึดต่อการใช้อย่างได้อย่างดี
3. จับมีดกัดที่จะนามาใช้กัดชิ้นงาน
4. ตั้งความเร็วรอบให้ถูกทาง
5. ป้อนอัตราป้อนกัดงานให้ถูกต้อง
6. ทาการกัดชิ้นงานตามแบบงาน

2.5.4 การไส

งานไสเป็นการตัดเฉือนชิ้นงานเพื่อลดขนาด และคุณภาพผิวของชิ้นงานตามต้องการ ด้วยมีดไสตัดเฉือนเนื้อชิ้นงานให้ขาดออกไปตามแนวไส โดยทั่วไปแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ เครื่องไสนอน เครื่องไสตั้ง และ เครื่องไสชิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 การไสชิ้นงาน [11]

2.5.4.1 <u>เครื่องไสนอน</u>

ป้อมมีดของเครื่องไสนอนเลื่อนกลับไปมาในแนวราบ และชิ้นงานยึดจับด้วยปากกาหรือสกรูยึด

รูปที่ 2.22 เครื่องไสนอน [11]

2.5.4.2 <u>เครื่องไสตั้ง</u>

ป้อมมีดของเครื่องไสตั้งเลื่อนกลับไปมาในแนวดิ่ง และชิ้นงานยึดจับด้วยปากกาหรือสกรูยึด ประเภทงานไสที่ได้จากการไสด้วยเครื่องไสแนวตั้งได้แก่ การไสร่องลิ่มบนเฟือง การไสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.23 เครื่องไสตั้ง [11]

2.5.4.3 เครื่องไสชิด

ป้อมมีดของเครื่องไสชิดจะอยู่กับที่แต่โต๊ะงานเลื่อนกลับไปมาในแนวราบ และชิ้นงานยึดจับด้วยปากกาหรือสกรูยึด ลักษณะเครื่องมีขนาดใหญ่ งานที่ผลิตจากเครื่องชิดจะเป็นงานที่มีขนาดใหญ่

รูปที่ 2.24 เครื่องไสชิด [11]

2.5.5 การเจียระไน (Grinding)

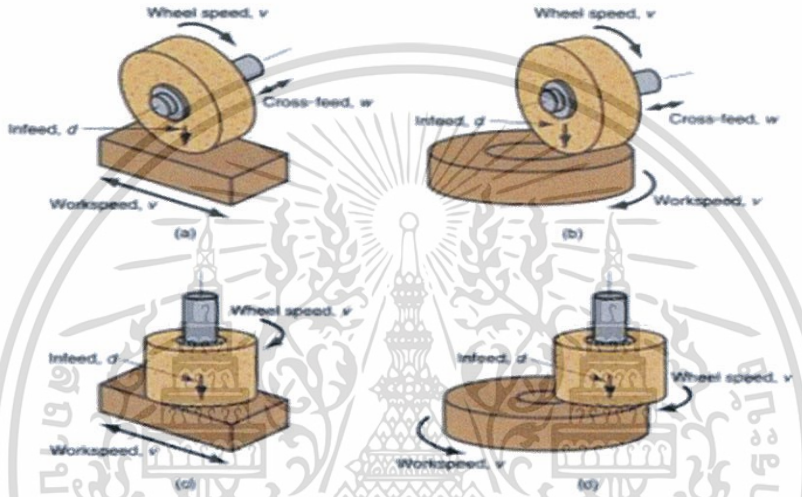
การเจียระไน เป็นการแปรรูปวัสดุด้วยการขัดสีด้วยคมตัดที่เป็นวัสดุแข็งที่ถูกยึดให้ติดกันด้วยตัวยึด และขึ้นรูปเป็นฟอร์มต่างๆ ซึ่งเรียนว่า หินเจียระไน การเจียระไนด้วยหินเจียระไนสามารถกระทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายแบบ คือ การเจียระไนราบ (Surface Grinding) การเจียระไนกลม (Cylindrical Grinding) และการเจียระไนไร้ศูนย์ (Centerless Grinding)

2.5.5.1 การเจียระไนราบ (Surface Grinding)

การเจียระไนราบ ดังรูปที่ 2.25 (a) ล้อหินเจียระไนหมุนอยู่ในแนวนอน และชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านล้อหินไปมาในแนวเส้นตรง (b) ล้อหินเจียระไนหมุนอยู่ในแนวนอน และชิ้นงานกลมหมุนผ่านล้อหิน (c) ล้อหินเจียระไนหมุนอยู่ในแนวตั้ง และชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านล้อหินไปมาในแนวเส้นตรง (d) ล้อหินเจียระไนหมุนอยู่ในแนวตั้ง และชิ้นงานกลมหมุนผ่านล้อหิน

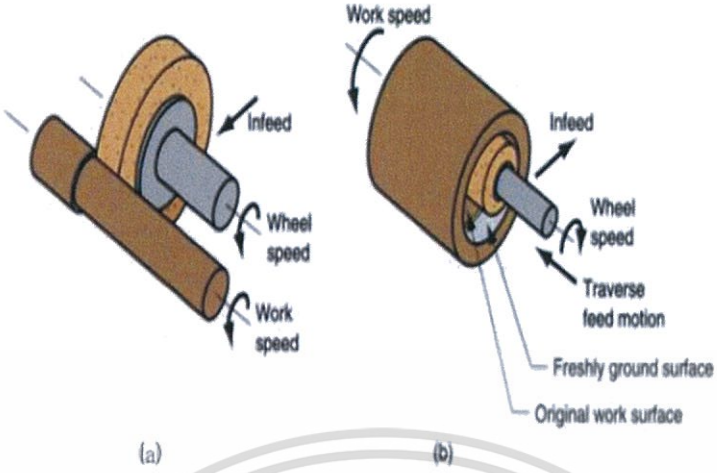


รูปที่ 2.25 การเจียระไนผิวราบ [12]

2.5.5.2 การเจียระไนกลม (Cylindrical Grinding)

การเจียระไนกลมชิ้นงานทรงกระบอก ซึ่งสามารถกระทำได้ทั้งภายนอกและภายใน ดังรูปที่ 2.26 (a) การเจียระไนภายนอก ล้อหินเจียระไนหมุนอยู่ในแนวนอน ส่วนชิ้นงานก็หมุนอยู่ในแนวนอนเช่นกันแต่ชิ้นงานนั้นยังสามารถเคลื่อนที่ไปกลับตามแนวนอนได้ด้วย เพื่อให้สามารถเจียระไนชิ้นงานที่มีความยาวมากๆ ได้ และ (b) ชิ้นงานหมุนอยู่ในแนวนอน และล้อหินเจียระไนหมุนอยู่ในแนวนอนเช่นกันและล้อหินเจียระไนยังสามารถเคลื่อนที่ไปและกลับในแนวนอนได้ด้วย

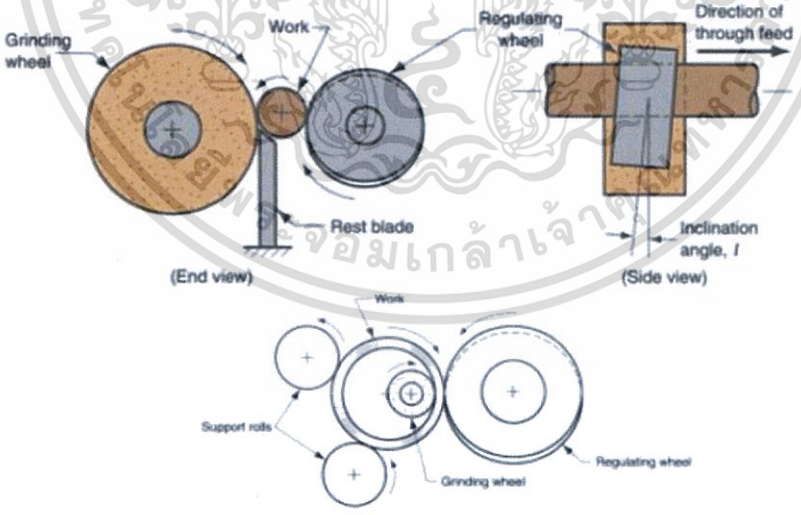
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 การเจียระไนกลม (Cylindrical Grinding) [12]

2.5.5.3 <u>การเจียระไนไร้ศูนย์ (Centerless Grinding)</u>

การเจียระไนงานทรงกระบอกที่มีลักษณะคล้ายกับการเจียระไนกลม แต่ต่างกันตรงที่การเจียระไนชนิดนี้จะไม่มีการจับยึดชิ้นงานแต่อย่างไรแต่อาศัยล้อประคองจำนวนมากเป็นตัวประคอง ดังรูปที่ 2.27

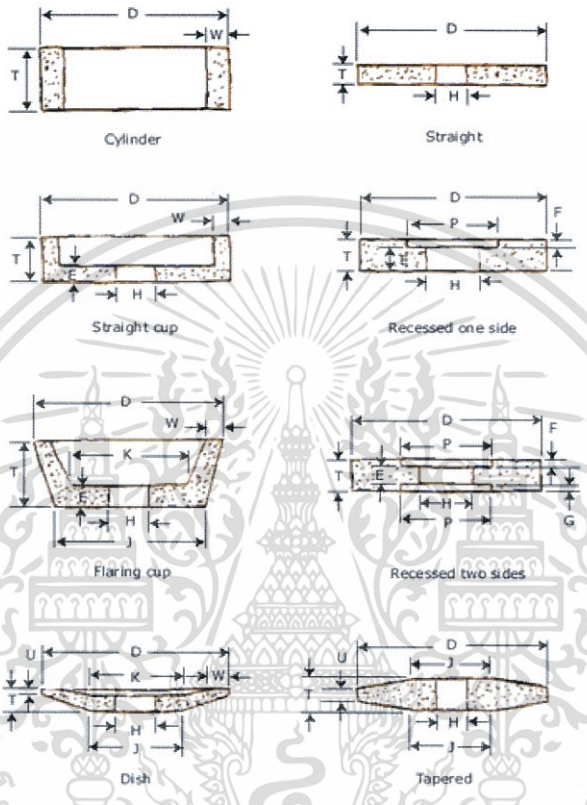


รูปที่ 2.27 การเจียระไนไร้ศูนย์ (Centerless Grinding) [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5.4 ล้อเจียนระไน (Grinding Wheel)

ล้อหินเจียระไนทำมาจากวัสดุเดียวกันตลอดทั้งก้อน โดยวัสดุที่นำมาทำล้อหินเจียระไนมี2 ชนิด คือ อลูมิเนียมออกไซด์ และซิลิกอนคาร์ไบด์ ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดนี้จะถูกยึดให้ติดกันด้วยตัวยึด แล้วนำมาขึ้นรูปให้มีรูปร่าง และขนาดที่หลากหลาย สามารถเลือกนำไปใช้งานได้หลายแบบ ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ล้อหินเจียระไนแบบต่างๆ [12]

2.5.6 การฉีดพลาสติก

2.5.6.1 องค์ประกอบในการฉีดพลาสติก

องค์ประกอบ หรือ ส่วนประกอบที่สำคัญในกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อให้ได้คุณภาพของชิ้นงานฉีดที่ดี อัตราการผลิตที่สูง และ มีจำนวนของเสียน้อย องค์ประกอบที่สำคัญควรมีทั้งหมด 6 ส่วน ด้วยกัน คือ วัตถุดิบพลาสติก (Material) แม่พิมพ์ฉีด (Mold) เครื่องฉีด (Machine) วิธีการหรือพารามิเตอร์ที่ปรับตั้งการฉีด (Method) ช่างฉีดหรือบุคลากร(Man) และการจัดการในการฉีด (Management) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วัตถุดิบพลาสติก

การเลือกชนิด และเกรดของพลาสติกได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับการใช้งาน มีการเตรียมวัตถุดิบพลาสติกให้เหมาะสม เพื่อให้มีผลกระทบต่อการเกิดของเสียน้อยที่สุด และใช้พลังงานในการผลิตขั้นตอนต่างๆน้อยที่สุด

2. แม่พิมพ์ฉีด

แม่พิมพ์ฉีดควรมีการออกแบบอย่างเหมาะสม เช่น ลักษณะของแม่พิมพ์แบบ 2 แผ่น 3 แผ่น หรืออื่นๆ จำนวนของคาวิตี้ (Cavity) ระบบการหล่อเย็นภายในแม่พิมพ์ระบบคลาย และปลดชิ้นงาน ตำแหน่งรอยประกบแม่พิมพ์ ขนาดของทางน้ำพลาสติกวิ่ง (Runner) และทางน้ำพลาสติกเข้า (Gate) ตำแหน่งของทางน้ำพลาสติกเข้าการระบายอากาศออกจากแม่พิมพ์ ควรคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุโลหะที่ถูกต้องในการทำแม่พิมพ์รวมถึงกระบวนการทางความร้อน (การชุบแข็ง) ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพของแม่พิมพ์ด้วย

3. เครื่องฉีด

เลือกขนาดของเครื่องฉีดให้เหมาะสมกับชิ้นงาน เช่น ขนาดของแรงปิดแม่พิมพ์เพียงพอหรือไม่ ปริมาณเนื้อพลาสติก และแรงดันฉีดของเครื่องฉีดต้องเพียงพอต่อขนาดของชิ้นงานที่จะทำการฉีด ความเร็วในการทำงานของเครื่องฉีดสามารถทำ Cycle Time ได้ตามที่ต้องการ ความดันฉีด ความเร็วฉีด และความดันย้ำ ซึ่งมีอยู่หลายจังหวะให้เลือกใช้ได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงานที่ทำการฉีด เครื่องฉีดมีประสิทธิภาพดี และมีความสม่ำเสมอในระหว่างการทำงาน อายุการใช้งานเหมาะสม

4. วิธีการหรือพารามิเตอร์ที่ปรับตั้งการฉีด

การสั่งการ และควบคุมเครื่องฉีดให้ทำหน้าที่ดูแลจัดการกับวัสดุพลาสติกอย่างถูกต้อง และเหมาะสมในการหลอมเหลว การไหลเข้าแม่พิมพ์ และการเย็นตัวในแม่พิมพ์ ตลอดจนดูแลจัดการให้แม่พิมพ์พร้อมที่จะรับพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ ให้พักตัวอยู่ในแม่พิมพ์ และปล่อยออกจากแม่พิมพ์เมื่อถึงเวลาที่เหมาะสม (เมื่อพลาสติกเซตตัว และเย็นตัวลงแล้ว) ซึ่งการสั่งการ การควบคุม การดูแลจัดการต่างๆ นี้จะต้องมีความเหมาะสมกันมากที่สุด เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดีที่สุด

5. ช่างฉีดหรือบุคลากร

ผู้ที่จะปรับตั้งพารามิเตอร์ต่างๆ ในการฉีดได้เป็นอย่างดีนั้นจะต้องมีความรอบรู้เกี่ยวกับวัสดุพลาสติก แม่พิมพ์ และ เครื่องฉีดที่จะใช้ในการผลิตชิ้นงานพลาสติกเป็นอย่างดีเสียก่อน สามารถวิเคราะห์เพื่อหาต้นเหตุของปัญหาได้มีแนวทาง และเลือกแนวทางในการแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้องเหมาะสม มีความรอบคอบ และผู้ปรับตั้งพารามิเตอร์ให้กับเครื่องฉีดจะต้องมีความสามารถด้านการคำนวณอยู่บ้างด้วย

6. การจัดการในการฉีด

การจัดการในการฉีด หมายถึง การวางแผนการผลิตอย่างเหมาะสม เช่น การวางแผนในการฉีดตามลำดับของชนิดของพลาสติก ลักษณะ และความเข้มของสี รูปร่างและขนาดของชิ้นงาน ลักษณะ และขนาดของแม่พิมพ์ การสั่งซื้อ ความสำคัญของลูกค้า เป็นต้น เนื่องจากการวางแผนในการฉีดจะมีผลต่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูญเสียเป็นสำคัญ เพราะถ้าการวางแผนในการฉีดไม่เหมาะสม ย่อมเกิดการสูญเสียทั้งเวลา และวัสดุพลาสติกเป็นจำนวนมาก

2.5.6.2 ขั้นตอนพื้นฐานในการฉีดพลาสติก

การทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกจะมีการทำงานอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ แบบไม่เป็นอัตโนมัติ ซึ่งจะสั่งให้เครื่องทำงานในขั้นตอนใดก่อนหลังก็ได้ตามที่ต้องการ แบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งการทำงานจะเป็นไปตามขั้นตอนของเครื่องฉีดเพียงวงรอบการทำงานเดียวเท่านั้นแล้วหยุด และแบบอัตโนมัติทั้งหมดจะมีการทำงานเป็นไปตามขั้นตอนของเครื่องฉีด โดยเมื่อครบวงรอบการทำงานของเครื่องฉีดแล้วก็จะเริ่มวงรอบการทำงานใหม่ทันที และทำต่อไปเรื่อยๆอย่างต่อเนื่อง โดยการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ และแบบอัตโนมัติทั้งหมดจะมีขั้นตอนพื้นฐานในการฉีดพลาสติกประกอบไปด้วย 9 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนแม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิด โดยจะมีพารามิเตอร์ คือ ความดัน (แรง) ความเร็ว และระยะทางในการเคลื่อนที่ปิดเข้าหากันของแม่พิมพ์ ซึ่งส่วนมากจะแบ่งออกได้เป็น 5 ช่วงด้วยกัน คือ ช่วงแรกเป็นช่วงที่แม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่เริ่มเคลื่อนที่เข้าไปหาแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่ โดยใช้ความเร็วที่ช้าเป็นระยะทางสั้นๆ ช่วงที่สองเป็นช่วงแม่พิมพ์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้นเป็นระยะทางยาวๆ ช่วงที่สามเป็นช่วงที่แม่พิมพ์กำลังลดความเร็วลงในระยะทางที่เหลือไม่มากนัก ช่วงที่สี่เป็นช่วงป้องกันแม่พิมพ์เกิดความเสียหายก่อนที่แม่พิมพ์จะปิดสนิท และ ช่วงที่ห้าเป็นช่วงที่แม่พิมพ์ปิดสนิทหรือเรียกว่า ช่วงปิดล็อกแม่พิมพ์ด้วยความดันหรือแรงที่สูงมาก

2. ขั้นตอนชุดฉีดหรือหัวฉีดเคลื่อนที่เข้าชน และแนบกับแม่พิมพ์ โดยจะมีพารามิเตอร์ คือ ความดัน (แรง) และ ความเร็ว

3. ขั้นตอนสกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มีการหมุน เพื่อขับดันพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกฉีดให้ไหลออกจากหัวฉีดเข้าไปให้เต็มแม่พิมพ์ซึ่งเรียกว่า จังหวะฉีด (Injection Phase) โดยจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์หลักๆ คือ ความเร็วฉีด ความดันฉีด ระยะทางการฉีด และเวลาในการฉีด แต่ผู้ผลิตเครื่องฉีดพลาสติกบางบริษัทได้ออกแบบให้สกรูสามารถเคลื่อนที่ตามแนวแกนพร้อมกับหมุนไปได้ด้วย เพื่อป้อนพลาสติกไปพร้อมกับการฉีด ทำให้สามารถฉีดชิ้นงานที่มีปริมาตร และน้ำหนักมากกว่าปกติได้

4. ขั้นตอนสกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มีการหมุน เพื่อขับดันพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์เพิ่มเติมหลังจากที่พลาสติกเหลวเต็มในแม่พิมพ์แล้ว ทั้งนี้เพื่อรักษาความดันให้พลาสติกในแม่พิมพ์มีความหนาแน่นตามที่ต้องการที่เรียกว่า ช่วงการย้ำ (Holding Phase) ชิ้นงานจะได้มีขนาดที่เที่ยงตรง มีความแข็งแรง โดยจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์หลักๆ คือ ความดัน เวลา และ ความเร็ว

5. ขั้นตอนที่สกรูเริ่มหมุนเพื่อดึงเม็ดพลาสติกในกรวยเติมเม็ดพลาสติก พร้อมทั้งป้อนไปข้างหน้าของสกรูเพื่อทำการหลอมผสม และป้อนพลาสติกเหลวไปอยู่หน้าปลายสกรูฉีด โดยจะมีพารามิเตอร์ คือ ความดัน (แรง) ความเร็ว และระยะทาง โดยจังหวะการทำงานนี้จะเป็นตัวกำหนดปริมาณเนื้อพลาสติกเหลวหรือระยะถอยสกรู (ระยะตั้งเนื้อพลาสติก) ตามที่ต้องการ เนื่องจากเวลาที่สั่งให้สกรูหมุนนั้น พลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายสกรูจะเกิดแรงดันจนทำให้สกรูถอยหลังกลับไปยังทิศทางของกรวยเติมเม็ดพลาสติกได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

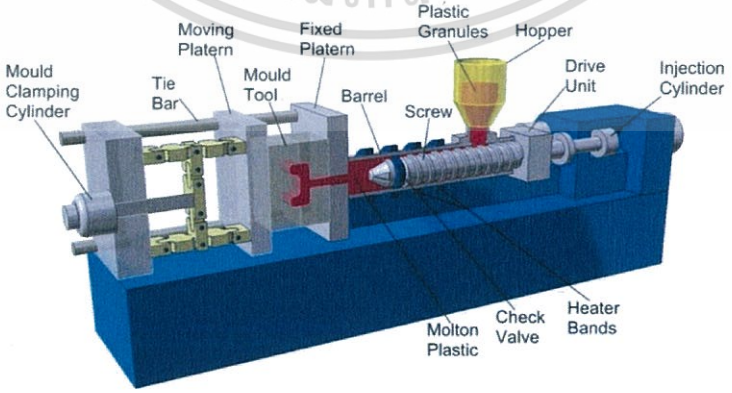
และในขั้นตอนนี้จะมีการใช้แรงดันในการต้านการถอยหลังกลับของสกรูเพื่อควบคุมความหนาแน่นของพลาสติกเหลวที่อยู่หน้าปลายสกรูฉีดให้มีค่าคงที่ที่เรียกว่า Back Pressure ตลอดจนมีการกระตุกสกรูให้เคลื่อนที่ตามแนวแกนเท่านั้น ในช่วงก่อนเริ่มต้นหมุนสกรู หรือ เมื่อสกรูหยุดหมุนแล้วที่เรียกว่า Suck Back หรือ Pull Back หรือ Decompression

6. ขั้นตอนการหล่อเย็นพลาสติกที่อยู่ในแม่พิมพ์ให้เปลี่ยนจากพลาสติกเหลวเป็นของแข็ง โดยจะทำงานพร้อมกับการเริ่มหมุนสกรู เพื่อหลอม และป้อนพลาสติกเหลวไปหน้าปลายสกรูฉีดในขั้นตอนที่ 5 โดยขั้นตอนที่ 5 และ6 นี้จะเริ่มทำงานพร้อมกันเมื่อสิ้นสุดเวลาในการย้ำรักษาความดันแล้ว

7. ขั้นตอนชุดฉีดหรือหัวฉีดเคลื่อนที่ถอยออกจากแม่พิมพ์จะทำงานเมื่อสกรูหยุดการเคลื่อนที่แล้ว กล่าวคือ หยุดหมุน และ หยุดถอยแล้วโดยจะมีพารามิเตอร์คือความดัน และความเร็ว

8. ขั้นตอนแม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิดเมื่อเวลาในการหล่อเย็นจากขั้นตอนที่ 6 นั้นหมดลงแล้ว โดยจะมีพารามิเตอร์ คือความดัน (แรง) ความเร็ว และระยะทางความเร็ว และระยะทางในการเปิดแม่พิมพ์ส่วนมากจะมีอยู่ 3 ความเร็ว และ3 ระยะทางด้วยกัน โดยความเร็วแรกเป็นช่วงที่แม่พิมพ์เริ่มเคลื่อนที่แยกออกจากกัน ควรใช้ความเร็วที่ช้าๆ และเป็นระยะทางสั้นๆ ให้ชิ้นงานฉีดสามารถขยับตัวเคลื่อนที่ออกจากแม่พิมพ์ด้านอยู่กับที่ และติดออกมากับแม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ได้ หลังจากนั้นจึงใช้ความเร็วจังหวะที่สองให้เร็วขึ้น และเป็นระยะทางที่ยาวขึ้นด้วย ความเร็วในช่วงที่สามซึ่งเป็นช่วงสุดท้ายก่อนจะถึงตำแหน่งที่แม่พิมพ์เปิดมากที่สุด ควรใช้ความเร็วที่ช้าลง และระยะทางสั้นๆ เพื่อให้แม่พิมพ์สามารถหยุดได้ตรงตามตำแหน่งโดยไม่เกิดการสั่นสะเทือน ส่วนระยะในการเปิดแม่พิมพ์ก็ไม่ควรตั้งกว้างมากเกินไป แค่พอให้ชิ้นงานไม่ติดค้างอยู่ที่หน้าแม่พิมพ์ หลังจากทำการกระทุ้งแล้ว หรือสามารถใช้มือหรือแขนกลจับออกมาได้ก็เพียงพอแล้ว

9. ขั้นตอนการกระทุ้งชิ้นงานให้หลุดออกจากแม่พิมพ์ โดยจะมีพารามิเตอร์ของความเร็ว ความดัน ระยะทาง และจำนวนครั้งในการกระทุ้ง



รูปที่ 2.29 ส่วนต่างๆของเครื่องฉีดพลาสติก [13]

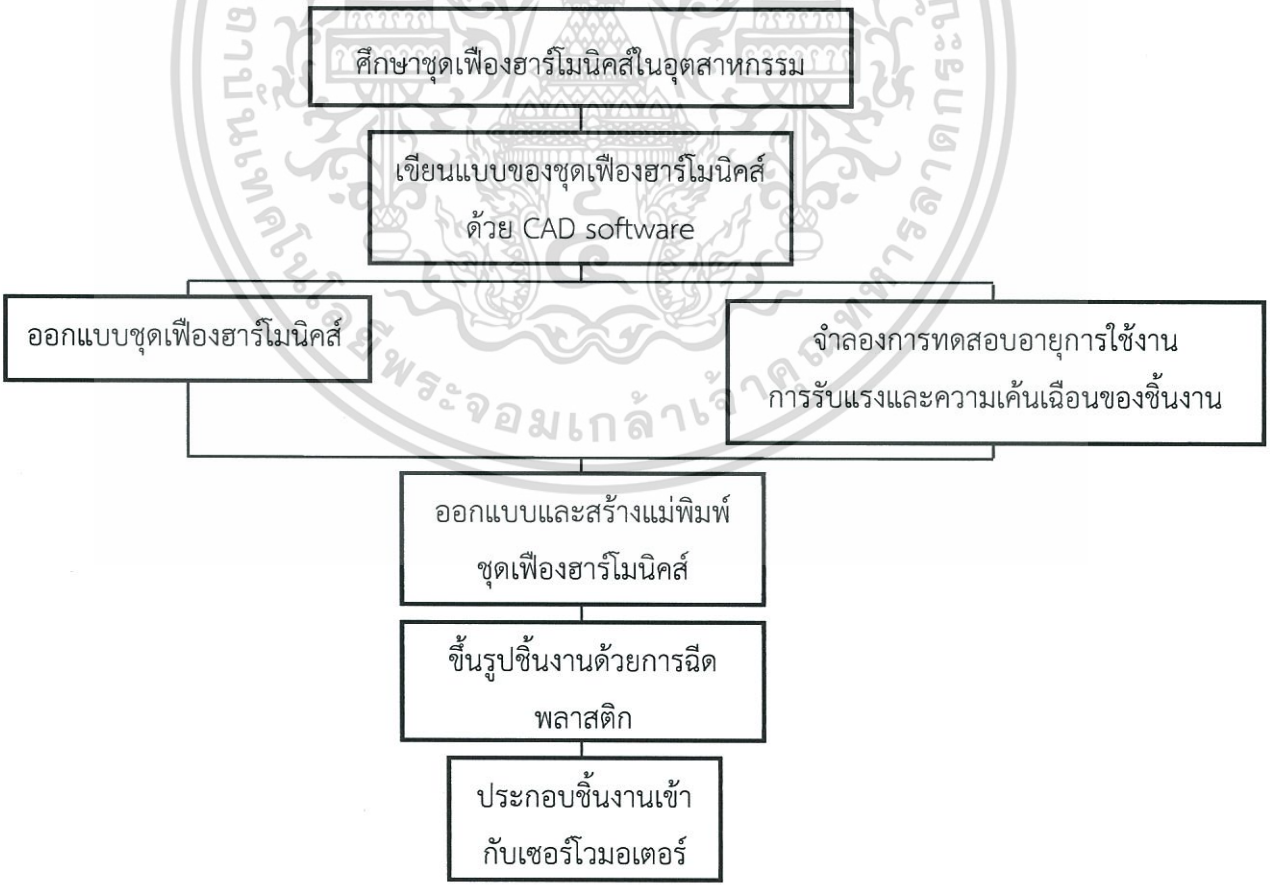
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในการออกแบบ และการสร้างชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ในชุดเซอร์โวมอเตอร์สำหรับหุ่นยนต์ที่ใช้ในครัวเรือนนี้ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

3.1 การวางแผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานของชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์จะเริ่มจากการศึกษาข้อมูล คุณสมบัติ และทำการออกแบบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ทั้งสามส่วน ได้แก่ แกนหมุนกำเนิดคลื่น เฟืองใน เฟืองรูปถ้วย แล้วนำมาทำการทดสอบจำลองชิ้นงานต้นแบบ เพื่อหาขนาดที่เหมาะสม และสุดท้ายทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบ

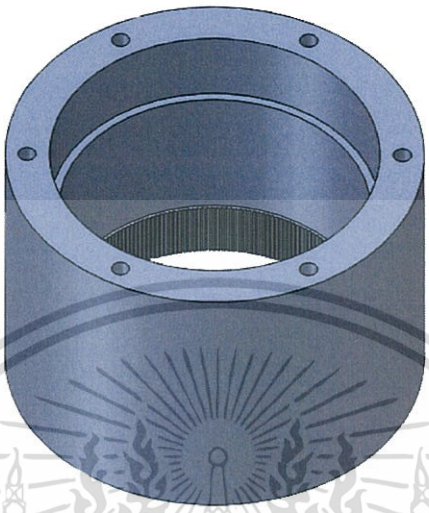


รูปที่ 3.1 ผังขั้นตอนแสดงการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบ ชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์

3.2.2 การออกแบบเฟืองใน



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานจากการออกแบบเฟืองใน

การออกแบบเฟืองในจะทำตามข้อกำหนดคือ ต้องมีอัตราทดเฟือง 1:100 ความถี่ของฟันมีระยะ 32 ฟันต่อนิ้ว ความแข็งแรงของฟัน และความยาวชิ้นงานเป็นสามเท่าของความยาวฟัน โดยจำนวนฟันของเฟืองในที่กำหนดคือ 200 ฟัน การคำนวณหาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองใน ดังแสดงในสมการ 3.1

$$PD = \frac{Z}{DP \times \pi} \tag{3.1}$$

ซึ่ง π = 3.1415926

Z = จำนวนฟันของเฟือง

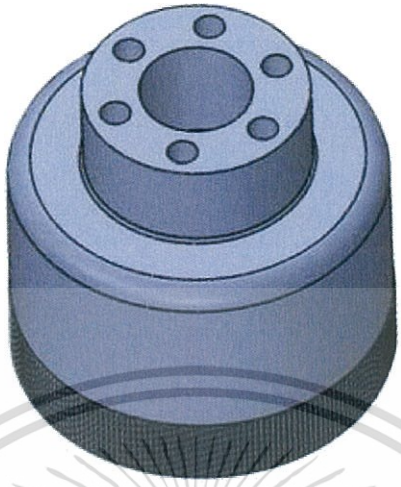
PD = เส้นผ่านศูนย์การของเฟือง (นิ้ว)

DP = ขนาดของฟันเฟือง เท่ากับ 32 ฟันต่อนิ้ว

จากการคำนวณจะได้เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองในด้านใน เท่ากับ 50.54 มิลลิเมตร โดยแต่ละฟันจะกางออกทำมุม 120 องศา เพื่อให้ขบกันได้พอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

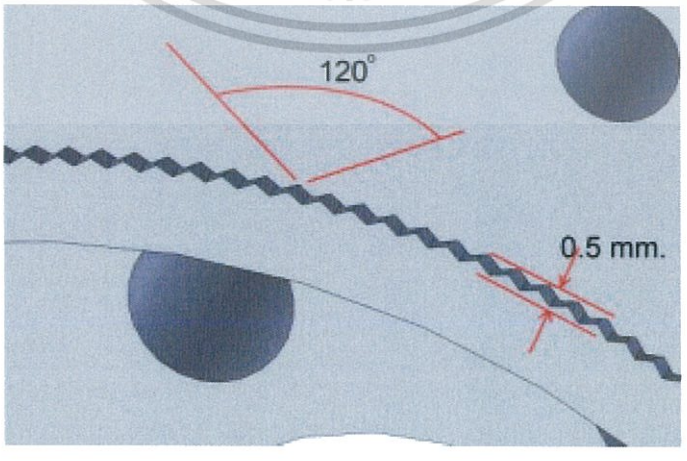
3.2.3 การออกแบบเฟืองรูปถ้วย



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานจากการออกแบบเฟืองรูปถ้วย

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบชิ้นงานต้นแบบเฟืองรูปถ้วย

การออกแบบเฟืองรูปถ้วย จะมีข้อกำหนดเหมือนการออกแบบเฟืองใน และมีการเพิ่มข้อจำกัดอื่น คือ ต้องการขึ้นรูปด้วยวัสดุโพลีพรอพไพลีนเพื่อให้มีความยืดหยุ่น ดังนั้นจึงต้องการทราบถึงอายุการใช้งานของชิ้นงาน และแรงบิดที่ชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์สามารถรับได้ จำนวนฟันของเฟืองในทั้งหมด 200 ฟัน ดังนั้นเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด อัตราทดเฟือง 1:100 จำนวนฟันของเฟืองรูปถ้วยจึง เท่ากับ 198 ฟัน ดังแสดงในสมการที่ 1.1 คำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังแสดงในสมการ 3.1 จะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองรูปถ้วยด้านนอก เท่ากับ 58 มิลลิเมตร โดยฟันจะกางออก 120 องศา และมีความสูง 0.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 เรขาคณิตฟันของชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 จำลองการทดสอบชิ้นงานเฟืองรูปถ้วย

ในการหาอายุใช้งานของเฟืองรูปถ้วยจะต้องทำการหาค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากแรงที่กระทำตลอดความสูงของฟัน

1. การจำลองการทดสอบหาแรงที่กระทำกับความหนาเฟือง

การออกแบบการทดสอบชิ้นงาน 10 ความหนา ตั้งแต่ 1 ถึง 5.5 มิลลิเมตร โดยให้ชิ้นงานออกแรงที่ความยาวฟัน เท่ากับ 10 มิลลิเมตร เป็นระยะยืด 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งมาจากระยะห่างระหว่างฟันเฟืองในและเฟืองรูปถ้วย ดังแสดงในภาพที่ 3.5

รูปที่ 3.5 การจำลองการทดสอบหาแรงที่กระทำกับความหนาเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจำลองการทดสอบหาอายุการใช้งาน [14]

การจำลองการทดสอบหาอายุการใช้งานจากเส้นโค้ง S - N ด้วย CAD ซอฟต์แวร์ เริ่มจากการหาค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการทดสอบแรงมาคำนวณเพื่อหาอายุการใช้งาน สามารถคำนวณจากสูตรของ Basquin ดังแสดงในสมการที่ 3.3 ผลการคำนวณหาอายุการใช้งานเฟืองรูปถ้วยทั้ง 10 ความหนา

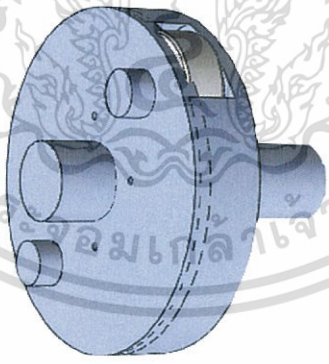
$$S_{max} = 32.46 \times N^{-0.067} \quad (3.3)$$

ซึ่ง S_{max} = ความเค้นสูงสุด

N = อายุการใช้งาน

3.2.3 การออกแบบแกนหมุนกำเนิดคลื่น

ออกแบบแกนหมุนกำเนิดคลื่นเพื่อให้มีความแข็งแรง ยึดชิ้นงานเฟืองรูปถ้วยได้ สามารถยึดแกนมอเตอร์และตลับลูกปืนได้จึงทำเป็นรูปวงกลม มีบริเวณที่ยาวที่สุดเมื่อรวมขนาดการประกอบตลับลูกปืนแล้ว เท่ากับ 17 มิลลิเมตร มีความหนาเท่ากับขนาดความยาวของฟัน มีรูยึดแกนมอเตอร์ที่ศูนย์กลางและรูยึดตลับลูกปืนบริเวณใกล้กับขอบชิ้นงาน



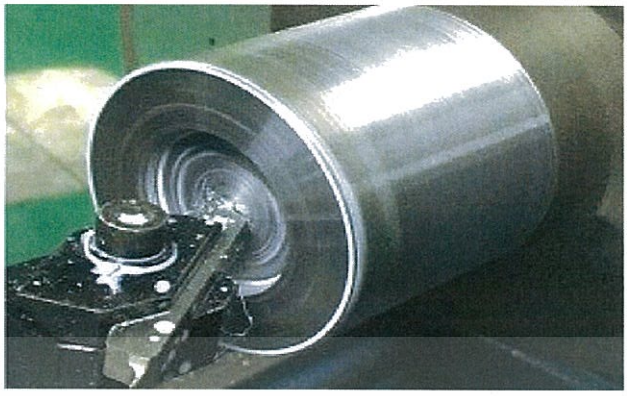
รูปที่ 3.6 ชิ้นงานจากการออกแบบแกนหมุนกำเนิดคลื่น

3.3 การสร้าง และประกอบชิ้นงานต้นแบบของชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์

3.3.1 การสร้างเฟืองใน

การสร้างชิ้นงานเฟืองใน จากวัสดุโลหะเพลาขาวด้วยกระบวนการกระบวนการเลื่อยชิ้นงาน กลึงปอกผิว คว้านรู ขัดผิวและพิมพ์ลายฟันด้วยอุปกรณ์เสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การสร้างชิ้นงานต้นแบบเฟืองใน

รูปที่ 3.8 เครื่องมือพิมพ์ลายฟันเฟือง

3.3.2 การสร้างเฟืองรูปถ้วย

การสร้างเฟืองรูปถ้วยจากวัสดุโพลีพร็อพไพลีน โดยสร้างชุดแม่พิมพ์ทั้งสามชิ้นที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ทำการฉีดพลาสติกด้วยเครื่องฉีดพลาสติก นำชิ้นงานที่ได้มาทำการกลึงปรับแต่งผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 การสร้างชิ้นงานต้นแบบเฟืองรูปถ้วย

3.3.3 การสร้างแกนหมุนกำเนิดคลื่น

การสร้างโดยเครื่องมือที่ทันสมัยเช่นเครื่องพิมพ์สามมิติ ดังแสดงในภาพที่ 3.10 สำหรับตัวชิ้นงานวัสดุที่ใช้คือ พลาสติกเอบีเอส และใช้เครื่องตัดเลเซอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.11 สำหรับฝาปิดชิ้นงานวัสดุที่ใช้คือ อะคริลิค โดยชิ้นงานจะประกอบด้วยตัวชิ้นงานส่งกำลัง ตลับลูกปืน แกนยึดมอเตอร์และแกนยึดตลับลูกปืน

รูปที่ 3.10 เครื่องพิมพ์สามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 เครื่องตัดเลเซอร์

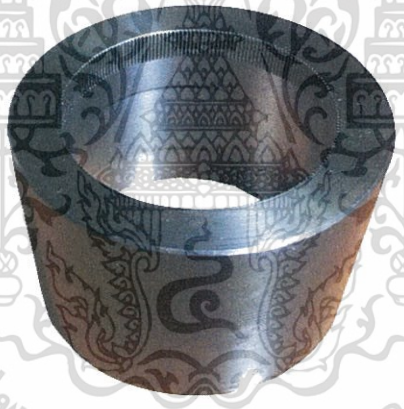
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

จากการจากการออกแบบ สร้าง และประกอบชิ้นงานชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ ทำให้ได้ชิ้นส่วนที่สมบูรณ์ของชิ้นงานต้นแบบแกนหมุนกำเนิดคลื่น เฟืองใน เฟืองรูปถ้วย และตลับลูกปืน

4.1 ชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์

ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ของชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.3 และการประกอบชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์กับมอเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.1 ชิ้นงานต้นแบบของเฟืองใน

รูปที่ 4.2 ชิ้นงานเฟืองรูปถ้วยพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 ชิ้นงานแกนหมุนกำเนิดคลื่น

รูปที่ 4.4 แสดงภาพประกอบชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์กับมอเตอร์ที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบจากแบบจำลองเฟืองรูปถ้วย

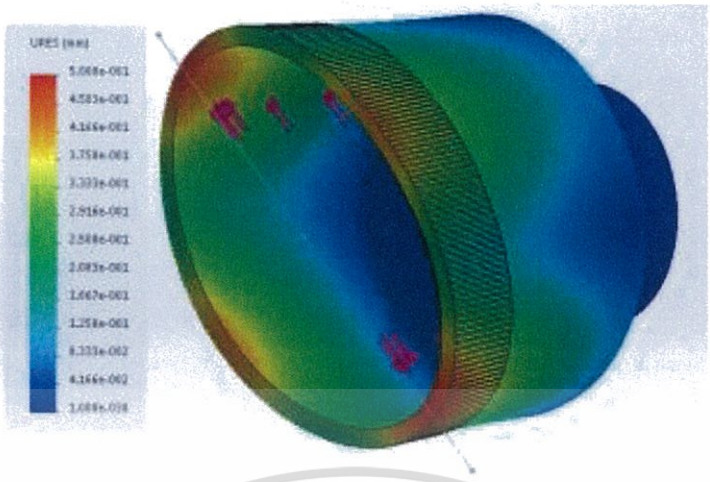
4.2.1 การทดสอบการรับแรง

จากการจำลองการทดสอบเพื่อหาการรับแรงชิ้นงานเฟืองรูปถ้วยที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตร เพื่อให้ชิ้นงานเฟืองรูปถ้วยยืดออกเป็นระยะ 0.5 มิลลิเมตร จะได้ผลลัพธ์ ดังแสดงในตารางที่ 1 และค่าจากการทดลองรับแรงของชิ้นงานจริง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การทดสอบหาแรงที่กระทำกับชิ้นงานที่ขนาดความหนาแตกต่างกัน

ขนาดความหนาชิ้นงานที่ออกแบบ (มิลลิเมตร)	แรง (นิวตัน)
1.0	4.990
1.5	9.710
2.0	16.687
2.5	28.392
3.0	45.820
3.5	70.300
4.0	102.980
4.5	145.300
5.0	198.290
5.5	261.700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การทดสอบหาแรงที่กระทำต่อระยะยืดที่ตัวอย่างความหนา 1.50 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบของแรงที่กระทำกับฟันเฟืองรูปถ้วยเพื่อให้ยืด

ลำดับการทดสอบ	แรง (นิวตัน)
1	9.85
2	9.75
3	9.90
4	9.85
5	9.70
6	9.65
7	9.95
8	9.85

จากการทดลองค่าเฉลี่ยของแรงที่ทดสอบจริง เท่ากับ 9.81 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงที่ได้จากการจำลอง ซึ่งเท่ากับ 9.90 นิวตัน จะได้ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 0.89 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดสอบหาอายุการใช้งาน

ผลการคำนวณหาอายุการใช้งานเฟืองรูปถ้วยทั้ง 10 ความหนา เพื่อหาค่าความเค้นสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 3

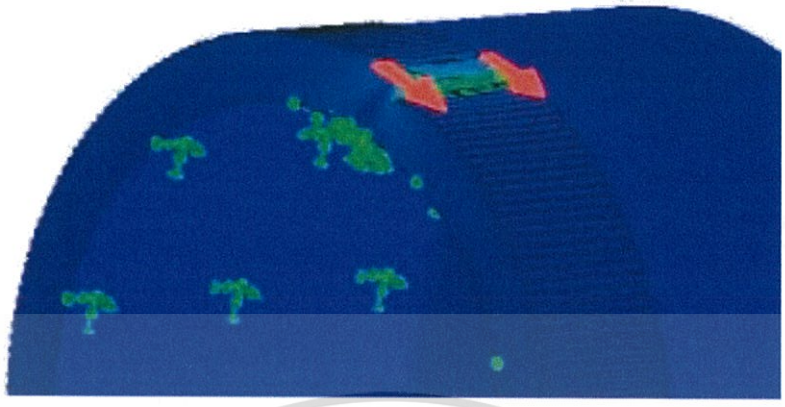
ตารางที่ 3 ค่าการคำนวณหาอายุการใช้งานที่ขนาดความหนาต่างกัน

ขนาดความหนาชิ้นงานที่ออกแบบ (มิลลิเมตร)	อายุการใช้งาน (รอบ)	ค่าความเค้นสูงสุด (เมกะปาสคาล)
1.0	3.58E+11	5.28
1.5	2.96E+11	5.35
2.0	1.87E+11	5.52
2.5	5.13E+09	7.05
3.0	3.15E+08	8.52
3.5	9218.367	17.33
4.0	1906.933	19.29
4.5	333.1015	21.72
5.0	65.89795	24.25
5.5	18.28752	26.46

จากการทดสอบแสดงว่ายิ่งความหนาของชิ้นงานมากขึ้นอายุการใช้งานก็จะน้อยลงเนื่องจากค่าความเค้นที่เกิดจะสูงขึ้นด้วย ชิ้นงานที่เลือกใช้จากการทดสอบคือ ชิ้นงานเฟืองรูปถ้วยที่ความหนา 1.5 มิลลิเมตร เพื่อจะนำไปขึ้นรูปในขั้นตอนถัดไป

การจำลองทดสอบหาแรงบิดที่พื้นที่หน้าตัดฟันสามารถรับได้เท่ากับ 2.91 นิวตันเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การจำลองการทดสอบของฟันเฟือง ที่ความหนา 3.30 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์ที่จะออกแบบเฟืองฮาร์โมนิคส์เพื่อประยุกต์ใช้ใส่ในชุดเซอร์โวมอเตอร์ที่มีเป้าหมายใช้กับหุ่นยนต์ในครัวเรือนขึ้นมาเพื่อให้นำมาใช้งานได้จริง ซึ่งผลการดำเนินการออกแบบและสร้างชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 บทสรุปโครงการ

ผลสรุปของการออกแบบและสร้างเฟืองฮาร์โมนิคส์หลังจากสร้างชิ้นงาน 3 ชิ้น ได้แก่ เฟืองใน ที่มีฟันจำนวน 200 ฟัน เฟืองรูปถ้วยที่มีฟันจำนวน 198 ฟัน และแกนหมุนกำเนิดคลื่น เมื่อประกอบเข้ากับมอเตอร์แล้วเฟืองใน เฟืองรูปถ้วยและแกนหมุนกำเนิดคลื่นสามารถทำงานได้ปกติ ในขณะที่ชุดเฟืองฮาร์โมนิคส์กำลังทำงานนั้นเฟืองรูปถ้วยหมุนด้วยความเร็วประมาณ 30 รอบต่อนาทีโดยความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ใช้ประมาณ 3000 รอบต่อนาที ซึ่งมีอัตราทดเฟือง 1:100 ตามที่ได้ออกแบบไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบและทำเฟืองฮาร์โมนิคส์นั้นต้องมีความละเอียดและแม่นยำในเรื่องของขนาดมาก เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองในและเฟืองรูปถ้วยมีผลต่อจำนวนฟัน หากคำนวณผิดพลาดหรือทำชิ้นงานขนาดคลาดเคลื่อนอาจทำให้ได้ การทดสอบเรขาคณิตของตัวเฟือง ทั้งเฟืองใน และเฟืองรูปถ้วยด้วยเครื่องมือวัดละเอียด ซึ่งจำเป็นสำหรับการตรวจสอบเรื่องขนาดชิ้นงานเป็นอย่างมาก ซึ่งทางกลุ่มแนะนำให้ทำการทดสอบเป็นลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท นวพงษ์ ดิสทรีบิวชั่น(อมตะ) จำกัด. (2557). ตลับลูกปืน. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก: http://www.ndis3.com/product-70105-1.html

[2] Paul Boughton. (2559). Getting into gears. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก: https://www.engineerive.com/content/getting-gears

[3] นวกลกิจ. (2559). เฟืองใน. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก: http://www.navakolkit.com/p/gallery.html

[4] Harmonic Drive Systems Inc. (2558). Principle of Harmonic Drive. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก: https://www.hds.co.jp/english/products/hd_theory/

[5] บริษัท แสงชัยมิเตอร์ จำกัด. (2558). Servo Motor คืออะไร. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก: https://www.sangchaimeter.com/support_detail/servo-motor

[6] ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคล. (2554). ชนิดของลูกปืน. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก:

http://www.atom.rmutphysics.com/charud/howstuffwork/howstuff1/bearing/bearingthai3.html

[7] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (2556). พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/knowledge/content/101

[8] Pos Posts (Atom). (2555). งานกลึง. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก: http://cncprog.blogspot.com/p/blog-page_11.html

Mold/Basic-knowledge-in-injection-mold-design/injection-molding-machine

[9] ประกาศิต ปะธิเก. (2556). เครื่องเจาะ. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก: https://sites.google.com/site/prakasittid3qqq/si-xen-si/kheruxng-ceaa

[10] อะตอม. (2560). เครื่องกัด. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: http://machine0031.blogspot.com/2017

[11] ประกาศิต ปะธิเก. (2556). เครื่องไส. [ออนไลน์]

เข้าถึงได้จาก: https://sites.google.com/site/prakasittid3qqq/si-xen-si/kheruxn

[12] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2555). เครื่องเจียระไน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

https://sites.google.com/site/krrmwithikarphlitt/neuxha-sara/bth-thi-6-kar-ceiyrani

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

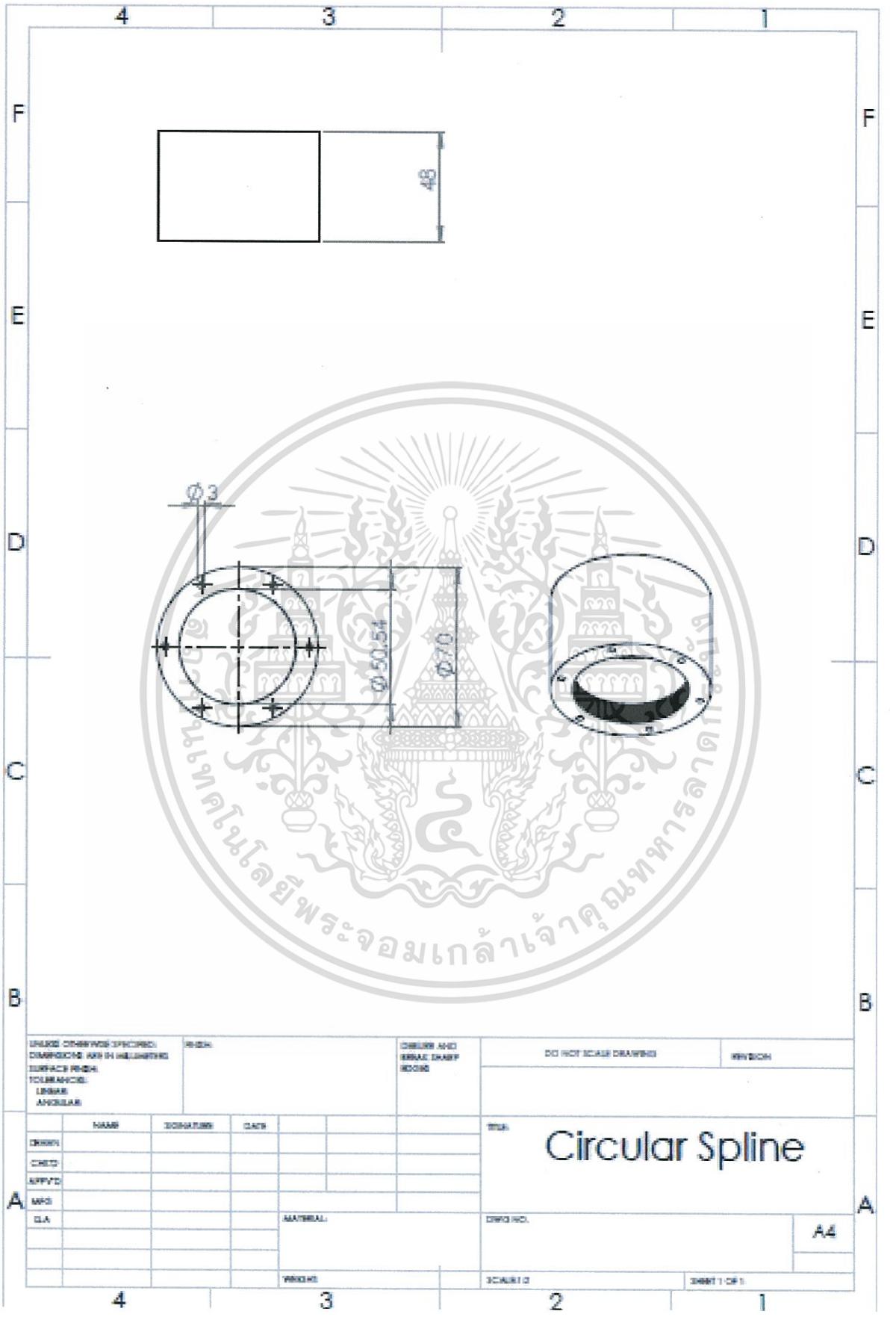
[13] เทคโนโลยีแม่พิมพ์อุตสาหกรรม. (2556). เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine). [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: https://sites.google.com/site/karxxkbaebmaephimphchid/Industrial-

[14] Djebli, A. (2014). Uniaxial Fatigue of HDPE-100 Pipe.

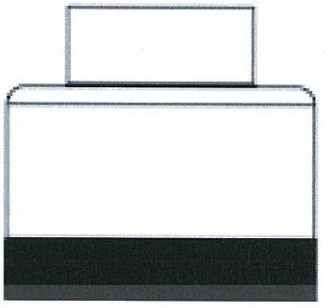
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

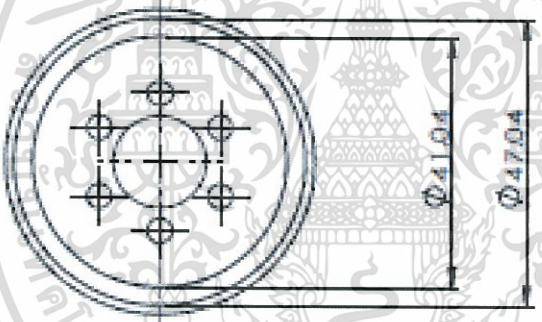
ภาคผนวก ก
แบบรายละเอียดของชุดเฟืองฮาร์โมนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



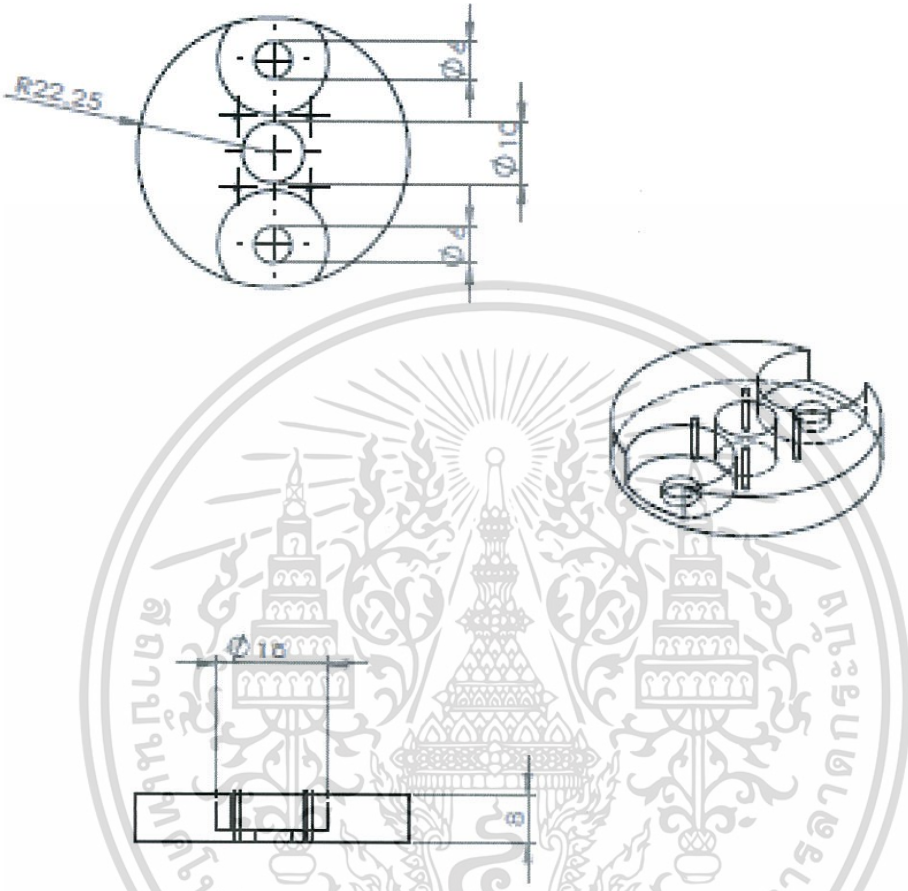


Flexible Spline

1.5 mm

A4

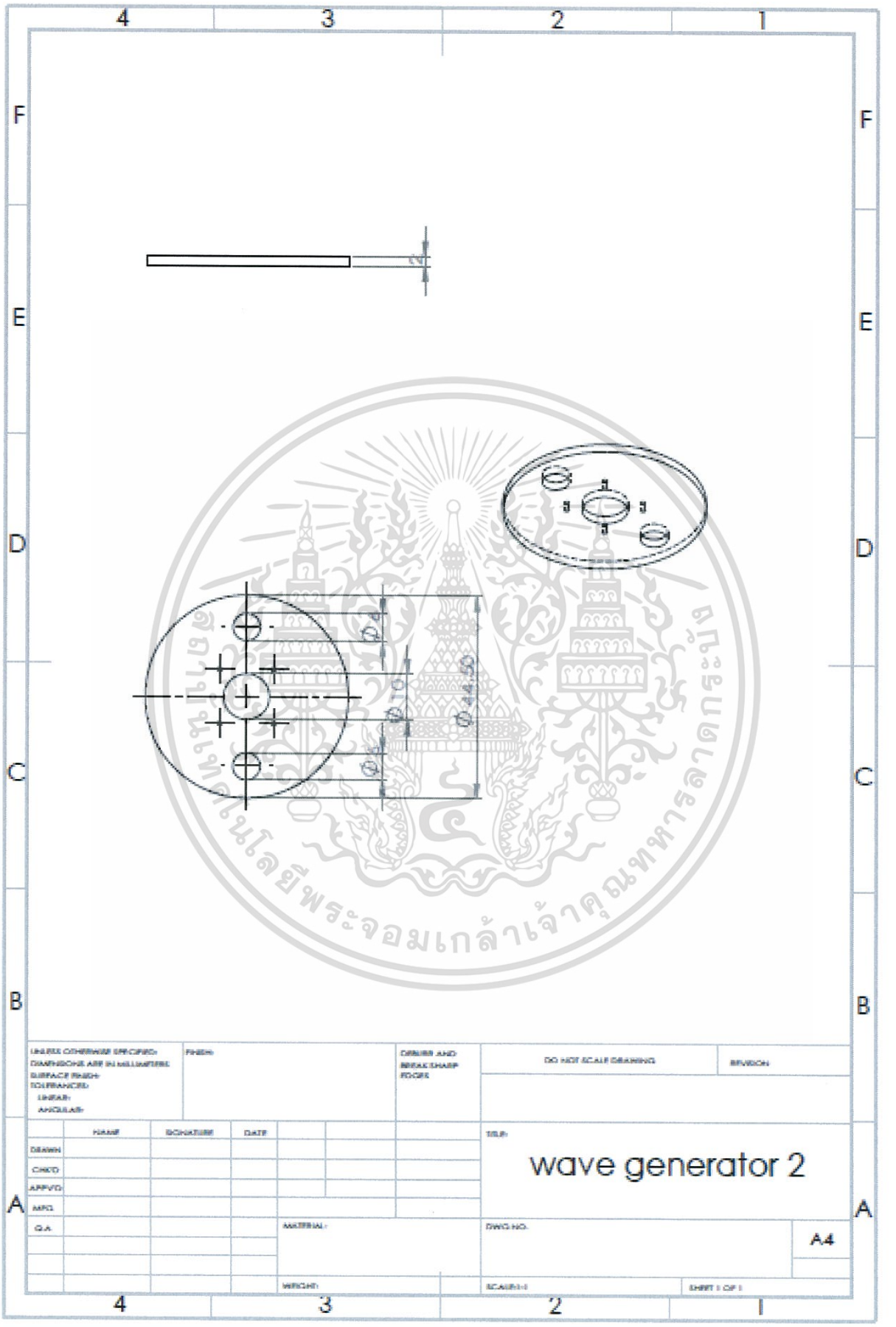
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



wave generator 1

A4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

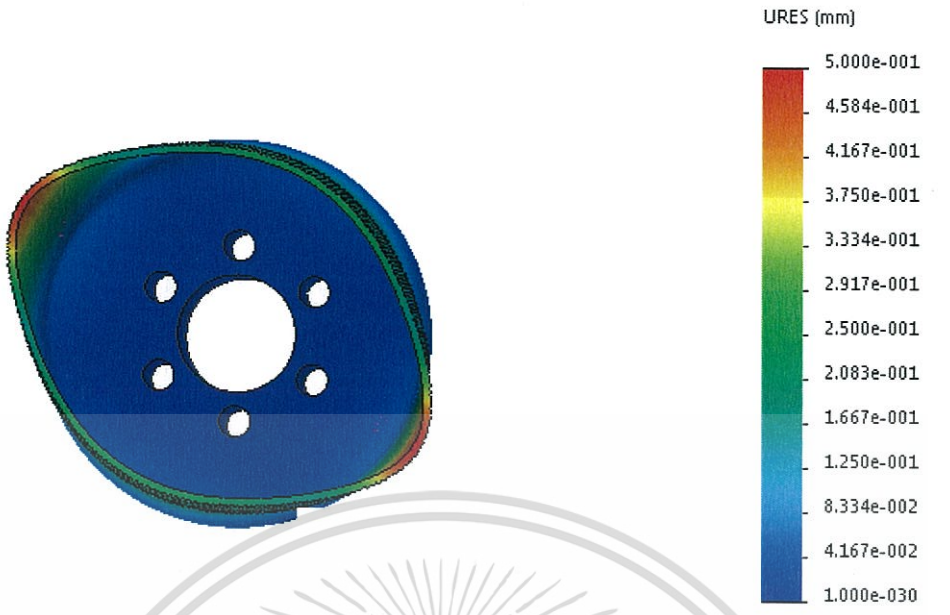


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

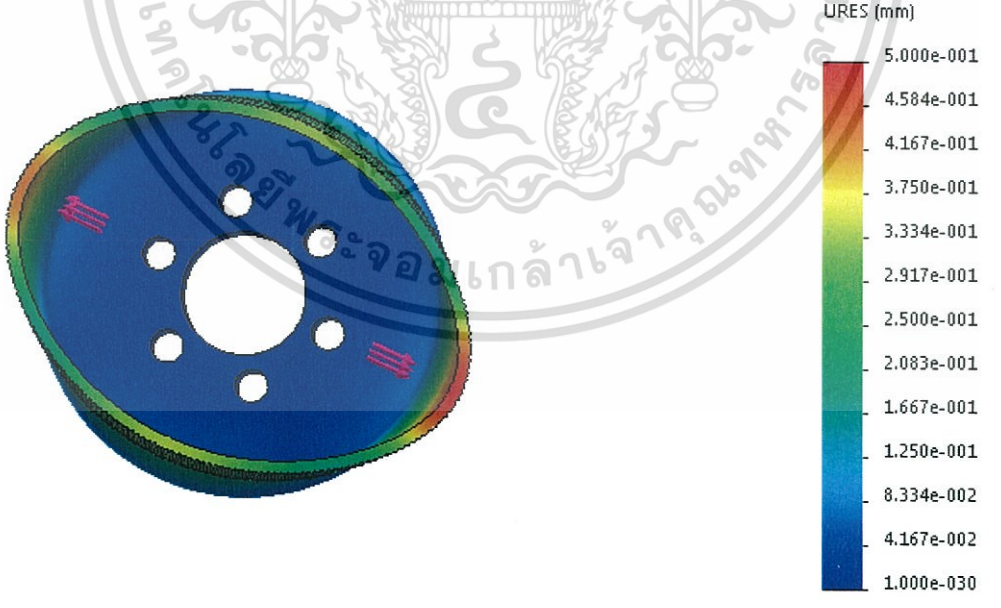
ภาคผนวก ข

การจำลองการทดสอบหาแรงที่กระทำกับความหนาเฟืองลูกถ้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

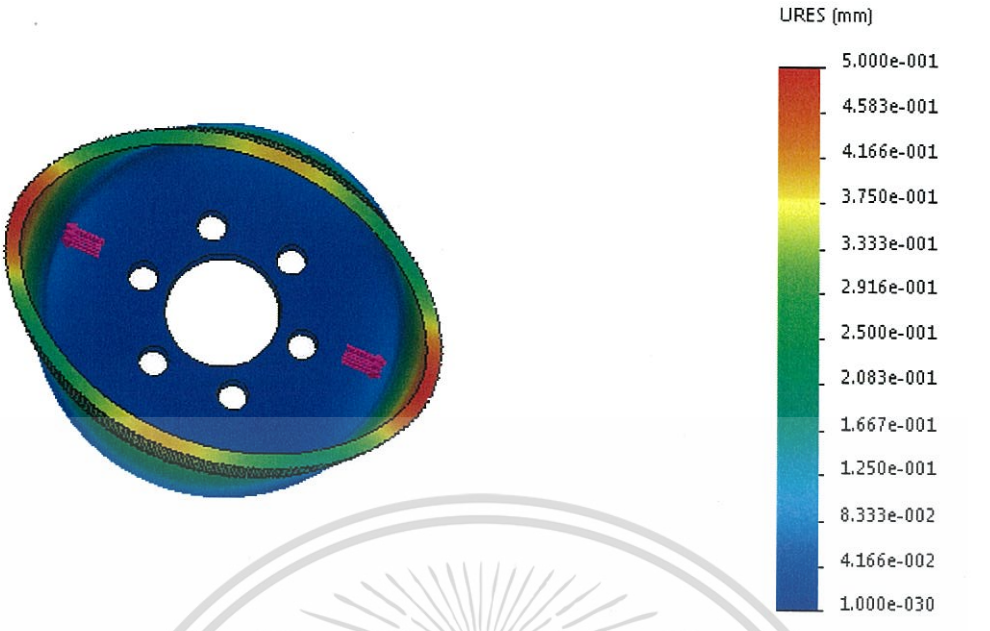


จำลองการทดสอบที่ความหนาเฟืองลูกถ้วย เท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร

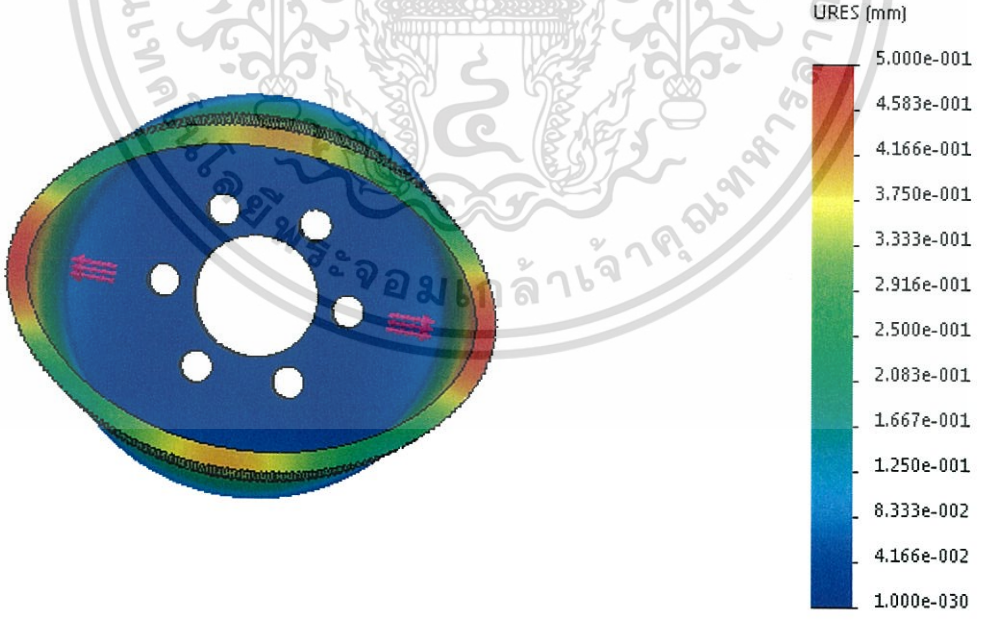


จำลองการทดสอบที่ความหนาเฟืองลูกถ้วย เท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

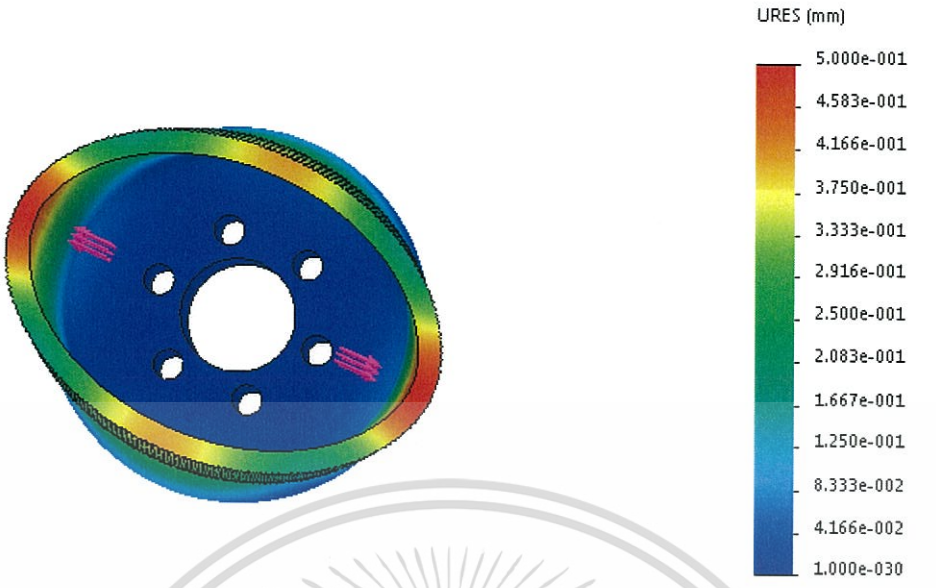


จำลองการทดสอบที่ความหนาเฟืองลูกถ้วย เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร

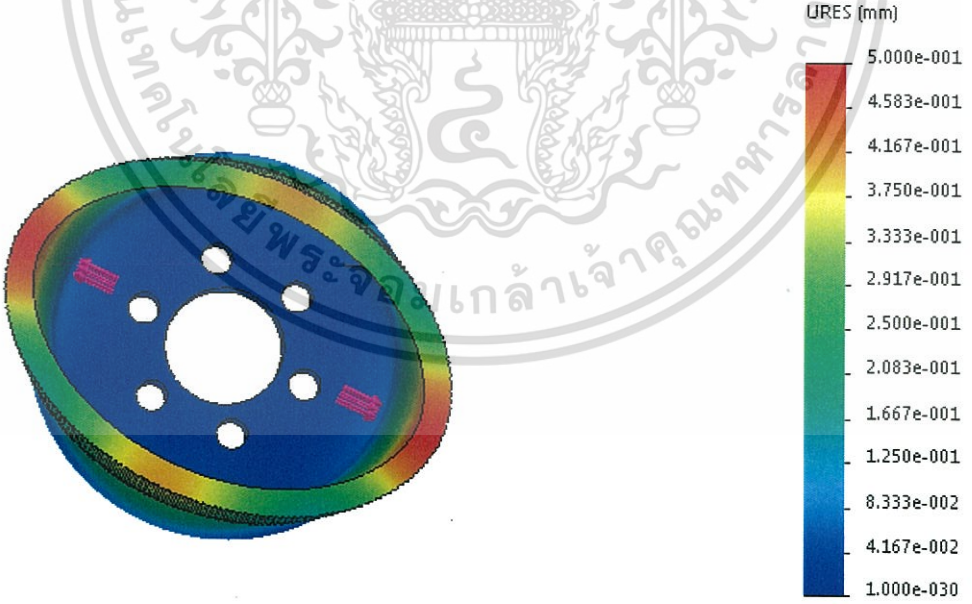


จำลองการทดสอบที่ความหนาเฟืองลูกถ้วย เท่ากับ 2.5mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

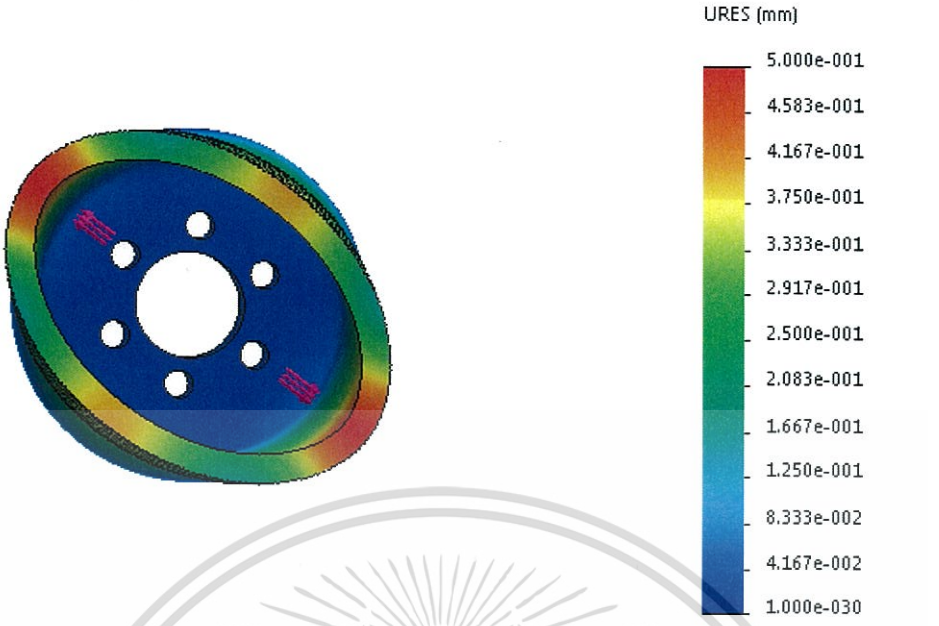


จำลองการทดสอบที่ความหนาเฟืองลูกถ้วย เท่ากับ 3.0 มิลลิเมตร

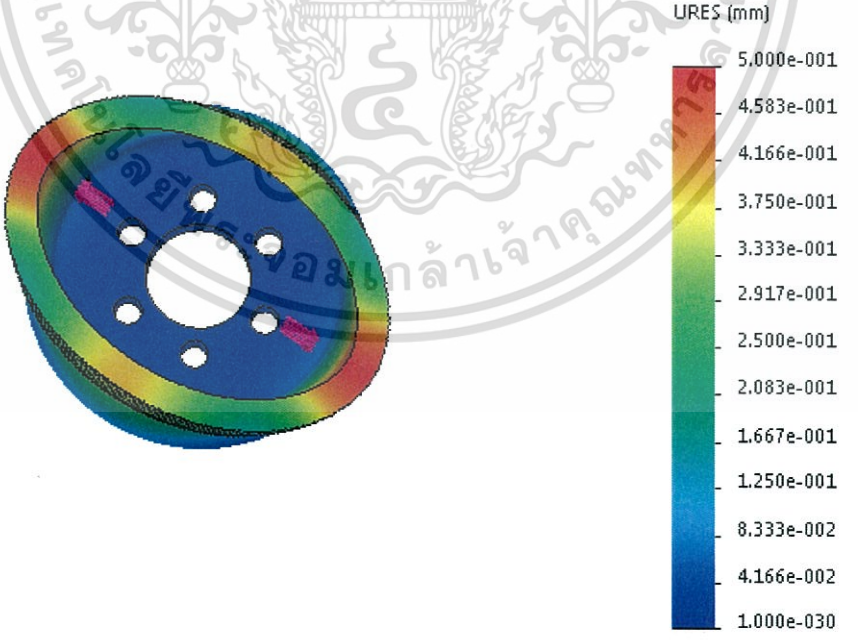


จำลองการทดสอบที่ความหนาเฟืองลูกถ้วย เท่ากับ 3.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

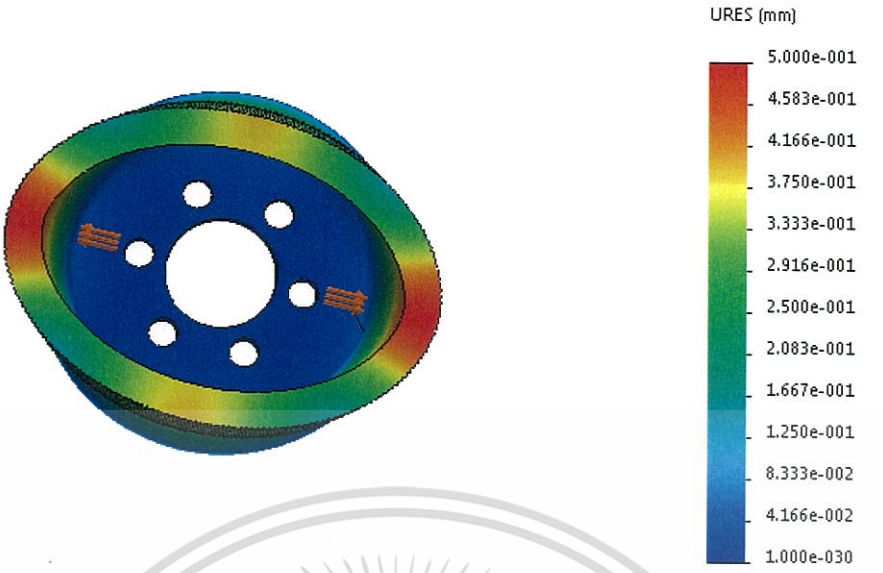


จำลองการทดสอบที่ความหนาเฟืองลูกถ้วย **เท่ากับ** 4 มิลลิเมตร

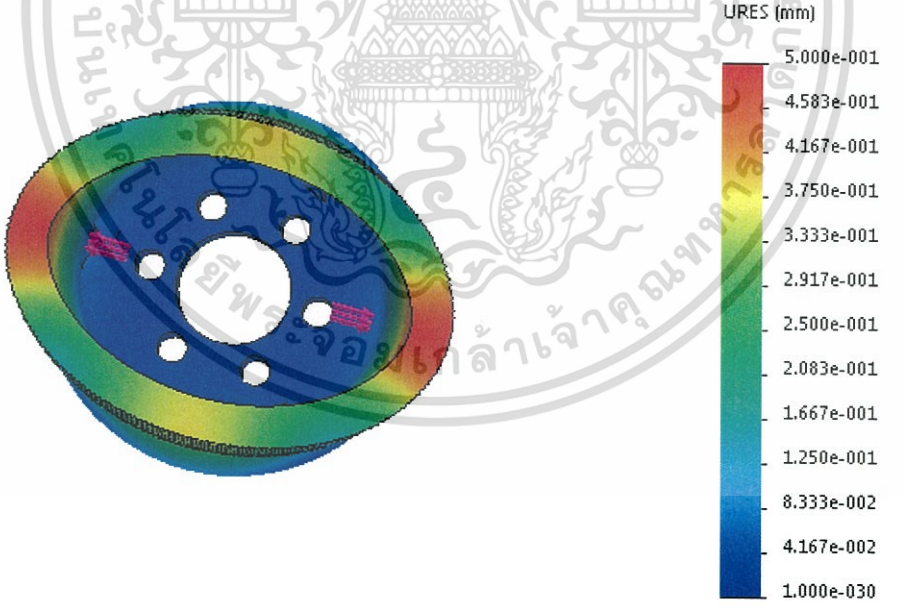


จำลองการทดสอบที่ความหนาเฟืองลูกถ้วย 4.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จำลองการทดสอบที่ความหนาเฟืองลูกถ้วย 5.0 มิลลิเมตร



จำลองการทดสอบที่ความหนาเฟืองลูกถ้วย 5.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้