



การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ



อัครวินท์ ครองไชย

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ"

ของ อัครวิทย์ ครองไชย

ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล วสะภิญโญกุล)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัย)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน

(ดร.ปัญญาวัฒน์ ลำเพาพงศ์)

อนุมัติ

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล มณีสว่าง)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ
ผู้วิจัย	อัศวินท์ ครองไชย
ประธานที่ปรึกษา	ดร. สุเมธ เหมะวัฒนะชัย
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยนเรศวร , 2563
คำสำคัญ	เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ, การจำลองกลไกการจ่ายยา, ระบบตรวจจับ เม็ดยา, อินฟราเรด เซ็นเซอร์

บทคัดย่อ

การกินยาที่ถูกต้องตรงตามเวลาเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้การรักษาโรคนั้นสัมฤทธิ์ผล ทั้งในผู้ป่วยสูงอายุและผู้ป่วยที่ต้องกินยาต่อเนื่องเป็นประจำ เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติจึงเป็นเครื่องมือที่สามารถแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ เพื่อให้ผู้ป่วยสูงอายุและผู้ป่วยที่ต้องกินยาต่อเนื่องเป็นประจำได้กินยาอย่างถูกต้องแม่นยำ ในการออกแบบสำหรับการสร้างเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติให้มีความถูกต้องแม่นยำนั้น ต้องมีระบบจ่ายยาที่สามารถจ่ายยาได้อย่างถูกต้องและมีระบบตรวจจับเม็ดยาที่สามารถตรวจจับเม็ดยาได้อย่างแม่นยำ การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบและทดสอบระบบจ่ายยา โดยการสร้างแบบจำลองสามมิติขึ้นมาก่อนที่จะนำไปสร้างชิ้นจริงและได้มีการออกแบบและทดสอบการทำงานต่าง ๆ ของระบบตรวจจับเม็ดยา การทดสอบในงานวิจัยนี้ใช้เม็ดยาตัวอย่างที่ได้นำมาใช้ในการทดสอบอยู่ 8 ชนิด ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งขนาดและรูปร่างเช่น วงกลม สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และแคปซูล เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้มีการเก็บข้อมูลขนาดและน้ำหนักของเม็ดยาตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด และสร้างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยาแต่ละชนิดขึ้นมา จากนั้นได้ทำการออกแบบระบบจ่ายยาโดยการสร้างแบบจำลองสามมิติขึ้นมาโดยใช้โปรแกรม MSC-Adams เพื่อจำลองการทำงานเบื้องต้น โดย การทดสอบหาค่าระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยาบนแผ่นจ่ายยาสำหรับเม็ดยาแต่ละชนิด จากการทดสอบหาค่าระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา พบว่าเม็ดยาทุกชนิดเลือกใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร โดยมีความเอียงและทิศทางของร่องที่เหมาะสมตามรูปร่างแต่ละชนิดของเม็ดยา จากนั้นได้มีการจำลองกลไกการจ่ายยาจากโปรแกรมเปรียบเทียบกับโมดูลจ่ายยาที่จัดทำขึ้น พบว่ามีผลการจ่ายยาที่สอดคล้องกัน นอกจากนี้ในส่วนของการพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยานั้น ได้มีการทดสอบกับเม็ดยาทั้ง 8 ชนิด โดยมีการทดสอบปัจจัยต่าง ๆ เช่น การทดสอบผลของความชื้นที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยา การทดสอบสัญญาณของชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับด้วยอินฟราเรด การทดสอบหาประสิทธิภาพโดยรวมของระบบการตรวจจับเม็ดยา โดยจาก

ผลการทดลองพบว่า ความชื้นที่เหมาะสมต่อการไหลของเม็ดยามีค่าความชื้นที่เหมาะสม คือ 35 องศา และการใช้มอเตอร์สั่นสามารถกระตุ้นให้เม็ดยาไหลผ่านได้ดีมากขึ้น ผลการทดสอบการอ่านค่าสัญญาณของชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด พบว่าการตั้งค่าการตรวจจับที่ระดับสัญญาณ 50% ของระดับสัญญาณปกติให้ผลการตรวจจับที่ดี สำหรับผลการทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบการตรวจจับเม็ดยา พบว่าระบบตรวจจับเม็ดยาสามารถตรวจจับเม็ดยาได้ถูกต้อง 100% สำหรับตัวอย่างเม็ดยาที่ได้นำมาทดสอบ ดังนั้นจากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าระบบจ่ายยาและระบบตรวจจับเม็ดยาที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก และมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติได้

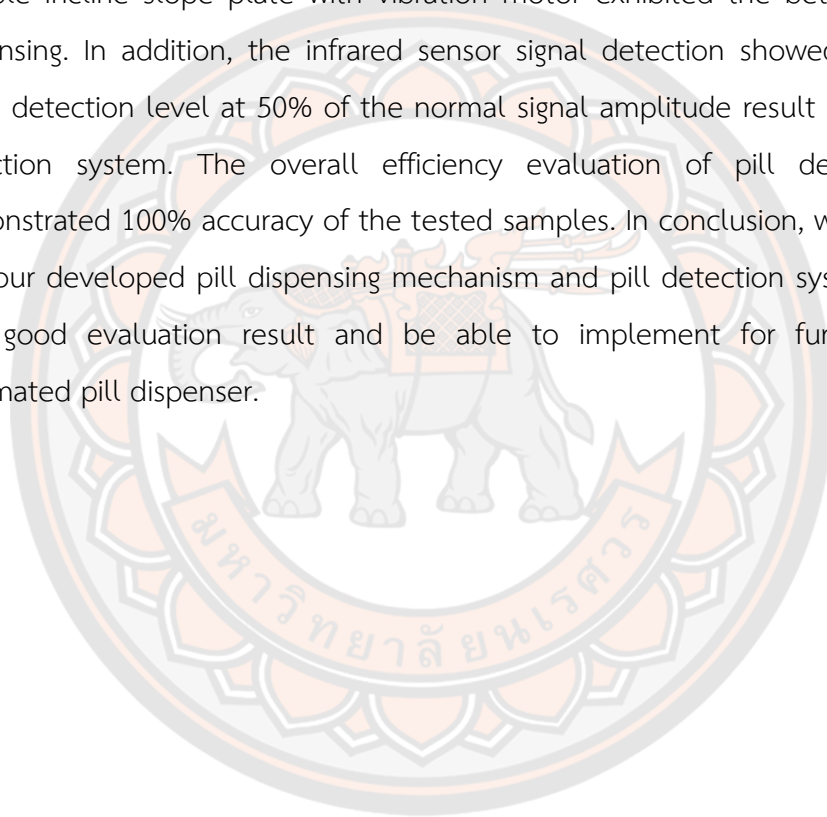


Title	DEVELOPMENT & ANALYSIS OF MECHANISM FOR AUTOMATIC MEDICINE DISPENSER
Author	AKKARAWIN KRONGCHAI
Advisor	Sumet Heamawatanachai, Ph.D.
Academic Paper	Thesis M.Eng. in Mechanical Engineering, Naresuan University, 2020
Keywords	Automatic medicine dispenser, drug dispensing mechanism modeling, Pill detection system, infrared sensor

ABSTRACT

Taking the right medication on time is a very important factor to make the treatment effective for both in elderly patients and patients who must take continuous medication. The automatic dispenser is a tool that can solve these problems that can assist patients to take medicine accurately. In order to design to develop system for an automatic dispensing machine with high accuracy. The system must have a drug dispensing system that can dispense medicines correctly and must have a tablet detection system that can detect tablets accurately. The purpose of this research was to design and test the pill dispensing system by creating a three-dimensional model and simulated in computer before manufacture. The accuracy of the tablet detection system was also testing in this research. To evaluate the system, this research used 8 types of sample tablets which are different in size and shape, such as circles, triangles, squares and capsules. In the research, measurements were made to collect data of the size and weight of all 8 types of tablet and a three-dimensional model of each tablet was created. Then, designed the dispensing system by creating a three-dimensional model and simulate with MSC-Adams to test the basic operation of the model and to find out the suitable clearance between the pill and the pill catching groove on the dispensing plate for each type of tablet. The simulation revealed that, the clearance of 0.5 mm is suitable for all type of the 8 sample tablets. The orientation of the groove depend on shape of each type of

tablet. The simulation results of the dispensing mechanism model were also agree with the experiment on the developed prototype. For the development of tablet detection system, there were experiments on eight types of pill samples. The studies were concern with the factors that affect the performance of the system, for example, the appropriate slope for pill dispense, the test of infrared sensor signal, and the overall efficiency of the developed pill detection system. The results show that the suitable incline slope to dispense the pill is 35 degree. The combination of suitable incline slope plate with vibration motor exhibited the better flow for pill dispensing. In addition, the infrared sensor signal detection showed the setting of signal detection level at 50% of the normal signal amplitude result in high accuracy detection system. The overall efficiency evaluation of pill detection system demonstrated 100% accuracy of the tested samples. In conclusion, we can conclude that our developed pill dispensing mechanism and pill detection system has shown very good evaluation result and be able to implement for further use as in automated pill dispenser.



ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดีตามความประสงค์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ ดร.สุเมธ เหมะวัฒนะชัย ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าที่ให้คำปรึกษาพร้อมทั้งคำแนะนำต่าง ๆ มาโดยตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ด้วยความเมตตาที่กรุณารับเป็นอาจารย์ปรึกษาตั้งแต่แรกเริ่มรวมทั้งให้คำแนะนำเกี่ยวกับหัวข้อวิทยานิพนธ์ จึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมล วสะภิญโญกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และดร.ปัญญวัฒน์ ลำพาพงศ์ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่และบุคลากรของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกท่านที่ได้ให้ความสะดวกในทุกด้านเพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท ชิกมาโซลูชั่นส์ จำกัด และ MSC Software Corporation ที่ได้ให้การอนุเคราะห์ในการใช้โปรแกรม MSC-Adams สำหรับการศึกษาและใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาพร้อมทั้งครอบครัว รวมถึงแฟน เพื่อน ๆ และเพื่อนนิสิตปริญญาโท ที่สนับสนุนด้านการเรียนและคอยให้กำลังใจในทุกเวลาที่เหนื่อยล้า จนการเรียนผ่านพ้นไปได้ด้วยดี และขอน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้วิจัยมีสติปัญญาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อัศวินท์ ครองไชย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
ประกาศคุุณูปการ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายของการศึกษา.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 สมมติฐานของการวิจัย.....	3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.7 แผนการดำเนินงาน.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.3 เครื่องจ่ายยาที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด.....	31
บทที่ 3 การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ.....	37

3.1 การพัฒนาระบบจ่ายยาและระบบการตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะ ประจำบ้าน (รุ่นแรก).....	39
3.2 การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ (รุ่นที่ 2)	42
3.3 การพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ.....	50
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล/ผลการทดลอง และการอภิปรายผล	58
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการ ทดสอบ.....	58
4.2 การสร้างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยา.....	63
4.3 การวิเคราะห์กลไกสำหรับระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติโดยการสร้าง แบบจำลองใน MSC-Adams.....	64
4.4 การทดสอบระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติกับกลไกที่สร้างขึ้นจริงจาก การขึ้นรูปของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ.....	74
4.5 ผลลัพธ์การพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ	82
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	89
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการ ทดสอบ.....	89
5.2 สรุปการสร้างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยา.....	89
5.3 สรุปการวิเคราะห์กลไกสำหรับระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติโดยการ สร้างแบบจำลองใน MSC-Adams.....	89
5.4 สรุปการทดสอบระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติกับกลไกที่สร้างขึ้นจริง จากการขึ้นรูปของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ	92
5.5 สรุปผลลัพธ์การพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ	92

บรรณานุกรม.....	95
ภาคผนวก ก ข้อมูลของเม็ดยาตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ	99
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบที่ 1 การหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา.....	115
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบที่ 2 การทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ.....	138
ภาคผนวก ง ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง.....	161
ประวัติผู้วิจัย	214



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แสดงแผนการดำเนินงาน	5
ตาราง 2 ตารางเปรียบเทียบฟังก์ชันการใช้งานของเครื่องจ่ายยาที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด	36
ตาราง 3 แสดงลักษณะส่วนประกอบทั้ง 12 ส่วนของระบบจ่ายยา	40
ตาราง 4 ลักษณะส่วนประกอบทั้ง 8 ส่วนของระบบจ่ายยา.....	45
ตาราง 5 ข้อมูลของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ	59
ตาราง 6 แสดงข้อมูลของเม็ดยาชนิด A1	61
ตาราง 7 ลักษณะการเก็บข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบของเม็ดยาทั้ง 8 ชนิด.....	62
ตาราง 8 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A1	62
ตาราง 9 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A2	62
ตาราง 10 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A3.....	62
ตาราง 11 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A4.....	63
ตาราง 12 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A5.....	63
ตาราง 13 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A6.....	63
ตาราง 14 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A7.....	63
ตาราง 15 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A8.....	63
ตาราง 16 แสดงตัวอย่างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยาแต่ละชนิด	64
ตาราง 17 แสดงเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ 1 การหาระยะเวลาที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา.....	69

ตาราง 18 แสดงตารางผลสรุปของการหาระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับ เม็ดยา.....	71
ตาราง 19 สรุปผลการทดสอบที่ 2 การทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยา สำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ.....	73
ตาราง 20 แสดงผลการทดสอบการจ่ายยาของระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้น.....	74
ตาราง 21 ผลการทดสอบใหม่สำหรับเม็ดยาชนิด A3 เม็ดยาชนิด A5 และเม็ดยาชนิด A6	80
ตาราง 22 ผลการทดสอบหาค่ามุมเอียงที่ส่งผลต่อการไหลของเม็ดยา.....	82
ตาราง 23 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A1.....	100
ตาราง 24 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A2.....	102
ตาราง 25 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A3.....	104
ตาราง 26 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A4.....	106
ตาราง 27 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A5.....	108
ตาราง 28 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A6.....	110
ตาราง 29 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A7.....	112
ตาราง 30 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A8.....	114

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 ร้อยละของประชากรสูงอายุที่อยู่คนเดียวตามลำพังในครัวเรือน.....	1
ภาพ 2 ลักษณะของระบบจ่ายยา	7
ภาพ 3 วงจรของหลอดไฟได้ทราบซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด	8
ภาพ 4 ระบบตรวจจับเม็ดยา	9
ภาพ 5 แผนภาพการทำงานของระบบควบคุม	9
ภาพ 6 ปริภูมิ 3 มิติเวกเตอร์ เรียงลำดับตามกฎมือขวา	12
ภาพ 7 เวกเตอร์ในระบบ 3 มิติที่มีขนาด A	13
ภาพ 8 แผนภาพการตกอิสระของเม็ดยาบนพื้นเอียง	15
ภาพ 9 เครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้าน	18
ภาพ 10 ตัวอย่างกลไกระบบจ่ายยา	19
ภาพ 11 ตู้ยาแบบอัจฉริยะที่มีระดับความสามารถในการปรับขนาดได้และการจัดการ ระยะไกล	20
ภาพ 12 ระบบเครื่องจ่ายยาแบบอิเล็กทรอนิกส์แบบ dyn-e-pill	21
ภาพ 13 ตัวควบคุมยาอัจฉริยะสำหรับคนไข้ตามอาการของคนไข้	22
ภาพ 14 ระบบจ่ายยาอัตโนมัติ	23
ภาพ 15 การจำลองหุ่นยนต์ลากจูงแบบอัตโนมัติโดยใช้ MSC-Adams	24
ภาพ 16 การสร้างแบบจำลองของกลไกการเลื่อนข้อเหวี่ยงโดยใช้ MSC-Adams	25
ภาพ 17 การสร้างแบบจำลองการจำลองและการควบคุมกลไกบันไดแบบพับโดยใช้ MSC- Adams	26

ภาพ 18 การวิเคราะห์ความเครียดของแกนต่อสำหรับความยาวที่แตกต่างกัน 10 ช่วงโดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS™	26
ภาพ 19 การจำลองแบบไดนามิกและการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไดรฟ์โดยใช้ MSC-Adams.....	27
ภาพ 20 การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาควัสดุบนสายพานลำเลียงที่มีการตกอย่างอิสระ	28
ภาพ 21 แบบจำลองอนุภาคของวัตถุบนสายพานลำเลียง.....	28
ภาพ 22 เครื่องส่งสัญญาณแสงและตัวรับสัญญาณรวมถึงเครื่องขยายสัญญาณที่เชื่อมต่อด้วยสายเคเบิลใยแก้วนำแสง.....	29
ภาพ 23 Circuit diagram สำหรับ SPU.....	30
ภาพ 24 เครื่องจ่ายยาของยี่ห้อ Philips	31
ภาพ 25 เครื่องจ่ายยายี่ห้อ Hero.....	32
ภาพ 26 เครื่องจ่ายยายี่ห้อ Livi	33
ภาพ 27 เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติยี่ห้อ Lumma.....	34
ภาพ 28 เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติยี่ห้อ Pillo.....	35
ภาพ 29 การทำงานของทุกระบบของเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ.....	38
ภาพ 30 ลักษณะของระบบจ่ายยา.....	39
ภาพ 31 หลอดไฟได้ทธานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด.....	41
ภาพ 32 แสดงวงจรของหลอดไฟได้ทธานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด.....	41
ภาพ 33 ระบบตรวจจับเม็ดยาและส่วนประกอบของระบบตรวจจับเม็ดยา	42
ภาพ 34 ลักษณะระบบจ่ายยาแบบพัฒนาและขึ้นรูปจากเครื่องพิมพ์สามมิติ.....	43
ภาพ 35 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาที่ใช้ในการศึกษา.....	44

ภาพ 36 การออกแบบระบบจ่ายยาในการพัฒนาและวิเคราะห์กลไกระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ (รุ่นที่ 2).....	45
ภาพ 37 ตัวอย่างของส่วนแผ่นจับเม็ดยา	46
ภาพ 38 ตัวอย่างของส่วนแผ่นกั้นระหว่างช่อง.....	46
ภาพ 39 ตัวอย่างของส่วนกั้นเม็ดยาคกช่องทางออก.....	47
ภาพ 40 มอเตอร์ขนาด Mini DC 6V 100RPM Gear Motor (GA12-N20).....	48
ภาพ 41 ลักษณะของการหมุนแผ่นจับเม็ดยา.....	48
ภาพ 42 ตัวอย่างระยะเฟื่อ (Clearance)	49
ภาพ 43 การใช้ MSC-Adams สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์กลไกการทำงานของระบบการจ่ายยาเม็ดยา	50
ภาพ 44 ส่วนประกอบของระบบการตรวจจับเม็ดยาแบบที่พัฒนาขึ้น.....	51
ภาพ 45 วงจรการทำงานของระบบตรวจจับเม็ดยา	52
ภาพ 46 หลักการทำงานของระบบการตรวจจับเม็ดยา	53
ภาพ 47 ชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ที่มีตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าสูงทางด้านเอาต์พุต	54
ภาพ 48 เมื่อมีเม็ดยาไหลมาตัดขวางจะทำให้สัญญาณของตัวรับเกิดการเปลี่ยนแปลง แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตทำให้สัญญาณไฟฟ้ต่ำลง.....	54
ภาพ 49 วงจรทำงานของชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) 1 ชุด	55
ภาพ 50 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor).....	56
ภาพ 51 มอเตอร์สั่น (Vibration Motor).....	56
ภาพ 52 ตำแหน่งการวางของเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) จำนวนทั้ง 4ชุด.....	57
ภาพ 53 การยกตัวอย่างกรณีเม็ดยามาหยุดตกที่ชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR).....	57
ภาพ 54 ตัวอย่างของเม็ดยาตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 8 ชนิด.....	58

ภาพ 55 แสดงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A1	60
ภาพ 56 แสดงเม็ดยาชนิดที่ A1_1 ถึง A1_20	60
ภาพ 57 กราฟตัวอย่างความเร็วเชิงมุมของการหมุนแผ่นจับเม็ดยาในระยะเวลาตั้งแต่ 0 วินาที จนถึง 25 วินาที.....	65
ภาพ 58 ตัวอย่างการแบ่งระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 4 แบบ	65
ภาพ 59 ตัวอย่างแสดงตำแหน่งของเม็ดยาในแบบจำลองของโปรแกรม MSC-Adams.....	66
ภาพ 60 ตัวอย่างกราฟผลของแบบจำลองที่ได้จากแบบจำลองในโปรแกรม MSC-Adams.....	67
ภาพ 61 แบบมุมตรง 0 องศา และมุมเอียง 45 องศา.....	68
ภาพ 62 แบบมุมตรง 0 องศาและมุมเอียง 45 องศาที่มีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับเม็ดยา.....	69
ภาพ 63 กรณีตัวอย่างที่จะเกิดขึ้นกับแบบจำลองกลไกสำหรับระบบจ่ายยาของเม็ดยาชนิด A2.....	70
ภาพ 64 ภาพตัวอย่างแสดงผลของกราฟที่ได้จากแบบจำลองในโปรแกรม MSC-Adams..	72
ภาพ 65 ตัวอย่างของกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันในเรื่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A3 (ตัวอย่าง).....	76
ภาพ 66 ตัวอย่างของผลการทดสอบในกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันในเรื่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A3 (จากการทดสอบ).....	76
ภาพ 67 ตัวอย่างของกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันในเรื่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A5 (ตัวอย่าง).....	77
ภาพ 68 ตัวอย่างของผลการทดสอบในกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันในเรื่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A5 (จากการทดสอบ).....	78
ภาพ 69 ตัวอย่างของกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันในเรื่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A5 (ตัวอย่าง).....	79

ภาพ 70 ตัวอย่างของผลการทดสอบในกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันในเรื่องจับเม็ดยา สำหรับเม็ดยาชนิด A5 (จากการทดสอบ).....	79
ภาพ 71 ตัวอย่างของกรณีที่เม็ดยาที่ไม่เกิดการซ้อนกันในเรื่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A3 (ตัวอย่าง)	81
ภาพ 72 ตัวอย่างของกรณีที่เม็ดยาที่ไม่เกิดการซ้อนกันในเรื่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A5 (ตัวอย่าง)	81
ภาพ 73 ตัวอย่างของกรณีที่เม็ดยาที่ไม่เกิดการซ้อนกันในเรื่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A6 (ตัวอย่าง)	82
ภาพ 74 ค่าความชันที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยา	84
ภาพ 75 ค่าความชันที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยาหลังจากติดตั้งมอเตอร์สั่น	85
ภาพ 76 ค่าสัญญาณของเซ็นเซอร์เมื่อไม่มีเม็ดยาตัดผ่าน	86
ภาพ 77 ค่าสัญญาณของเซ็นเซอร์เมื่อมีเม็ดยาตัดผ่าน.....	86
ภาพ 78 การทดสอบการอ่านค่าสัญญาณของเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR).....	87
ภาพ 79 ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบตรวจจับเม็ดยาและการปล่อยเม็ดยา.....	88
ภาพ 80 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A1.....	99
ภาพ 81 เม็ดยาชนิดที่ A1_1 ถึง A1_20	99
ภาพ 82 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A2.....	101
ภาพ 83 เม็ดยาชนิด A2_1 ถึง A2_20	101
ภาพ 84 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A3.....	103
ภาพ 85 เม็ดยาชนิดที่ A3_1 ถึง A3_20	103
ภาพ 86 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A4.....	105
ภาพ 87 เม็ดยาชนิดที่ A4_1 ถึง A4_20	105
ภาพ 88 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A5.....	107

ภาพ 89 เม็ดยาชนิดที่ A5_1 ถึง A5_20.....	107
ภาพ 90 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A6.....	109
ภาพ 91 เม็ดยาชนิดที่ A6_1 ถึง A6_20.....	109
ภาพ 92 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A7.....	111
ภาพ 93 เม็ดยาชนิดที่ A7_1 ถึง A7_20.....	111
ภาพ 94 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A8.....	113
ภาพ 95 เม็ดยาชนิดที่ A8_1 ถึง A8_20.....	113
ภาพ 96 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร.....	115
ภาพ 97 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา.....	115
ภาพ 98 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร.....	116
ภาพ 99 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา.....	116
ภาพ 100 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร.....	117
ภาพ 101 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา.....	118
ภาพ 102 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร.....	118
ภาพ 103 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา.....	119

ภาพ 104 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มเติมตรงท้ายของร่องจับยา.....	119
ภาพ 105 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มเติมตรงท้ายของร่องจับยา.....	120
ภาพ 106 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร.....	121
ภาพ 107 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา.....	121
ภาพ 108 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร.....	122
ภาพ 109 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา.....	122
ภาพ 110 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มเติมตรงท้ายของร่องจับยา.....	123
ภาพ 111 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มเติมตรงท้ายของร่องจับยา.....	124
ภาพ 112 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร.....	124
ภาพ 113 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา.....	125
ภาพ 114 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร.....	125

ภาพ 115 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา.....	126
ภาพ 116 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร.....	126
ภาพ 117 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา.....	127
ภาพ 118 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร.....	127
ภาพ 119 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ด.....	128
ภาพ 120 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร.....	128
ภาพ 121 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ด.....	129
ภาพ 122 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร.....	129
ภาพ 123 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ด.....	130
ภาพ 124 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร.....	130
ภาพ 125 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา.....	131
ภาพ 126 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร.....	131

ภาพ 127 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา	132
ภาพ 128 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร	133
ภาพ 129 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา	133
ภาพ 130 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร	134
ภาพ 131 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา	134
ภาพ 132 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร	135
ภาพ 133 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา	135
ภาพ 134 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร	136
ภาพ 135 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา	136
ภาพ 136 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1_Round1	138
ภาพ 137 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1_Round2	139
ภาพ 138 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1_Round3	139
ภาพ 139 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1_Round4	140
ภาพ 140 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2_Round1	141
ภาพ 141 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2_Round2	142

ภาพ 142 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2_Round3	142
ภาพ 143 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2_Round4	143
ภาพ 144 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3_Round1	144
ภาพ 145 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3_Round2	145
ภาพ 146 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3_Round3	145
ภาพ 147 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3_Round4	146
ภาพ 148 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A4_Round1	147
ภาพ 149 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A4_Round2	148
ภาพ 150 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A4_Round3	148
ภาพ 151 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A4_Round4.....	149
ภาพ 152 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5_Round1	150
ภาพ 153 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5_Round2	151
ภาพ 154 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5_Round3	151
ภาพ 155 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5_Round4.....	152
ภาพ 156 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A6_Round1	153
ภาพ 157 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A6_Round2	153
ภาพ 158 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A6_Round3	154
ภาพ 159 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A6_Round4.....	155
ภาพ 160 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7_Round1	155
ภาพ 161 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7_Round2	156
ภาพ 162 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7_Round3	157
ภาพ 163 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7_Round4.....	157

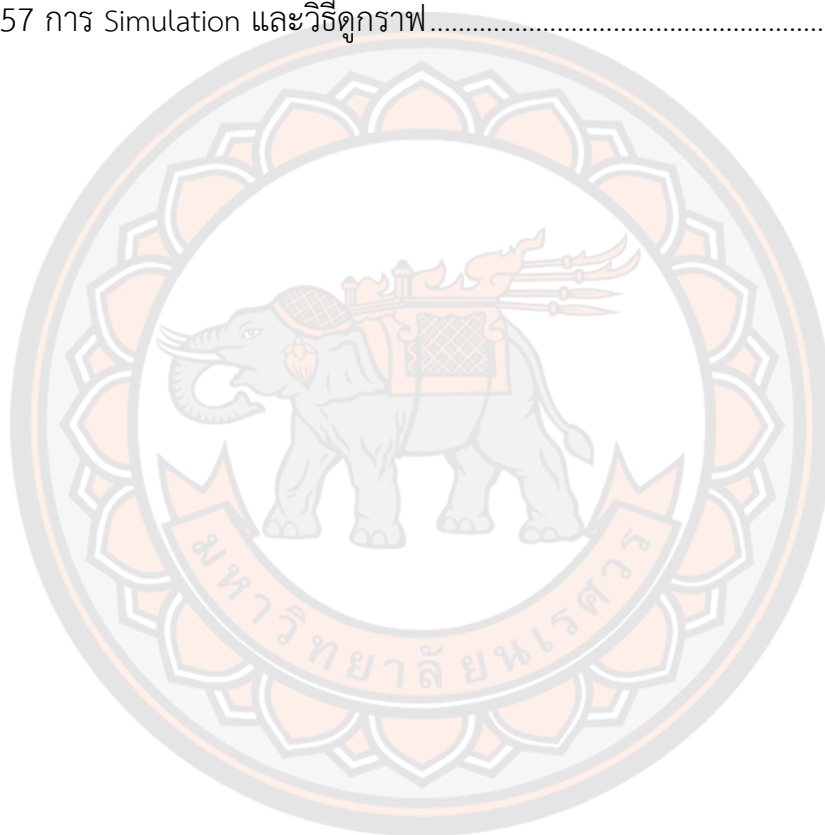
ภาพ 164 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A8_Round1	158
ภาพ 165 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A8_Round2	159
ภาพ 166 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A8_Round3	159
ภาพ 167 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A8_Round4.....	160
ภาพ 168 แบบจำลองสามมิติใน Adams View 2019.2	161
ภาพ 169 การสร้างเริ่มต้นที่ Click ที่ New Model.....	162
ภาพ 170 ขั้นตอนการสร้าง.....	162
ภาพ 171 ขั้นตอนการ Import Model.....	163
ภาพ 172 การตั้งค่า File Type.....	164
ภาพ 173 การนำเข้าไฟล์ Model แบบจำลอง.....	164
ภาพ 174 การเลือกที่เก็บไฟล์ Model.....	165
ภาพ 175 เลือก OK.....	165
ภาพ 176 การเลือก Setting Working Grid	166
ภาพ 177 การ Setting ค่าของ Working Grid.....	167
ภาพ 178 การ Zoom เข้า Zoom ออก.....	167
ภาพ 179 เมื่อการ Zoom เข้าเสร็จแล้ว.....	168
ภาพ 180 การลาก Model เพื่อเคลื่อนที่	168
ภาพ 181 เมื่อลาก Model เสร็จ.....	169
ภาพ 182 การเลือกสร้าง Merge two body.....	170
ภาพ 183 การเลือก Body 1	170
ภาพ 184 การเลือก Body 2.....	171
ภาพ 185 การเลือก Body 1	171

ภาพ 186 การเลือก Body 2.....	172
ภาพ 187 การซ่อน Part	172
ภาพ 188 การทำซ้ำ.....	173
ภาพ 189 การเลือก Body 1.....	173
ภาพ 190 การเลือก Body 2.....	174
ภาพ 191 การเปิดแสดง Part ที่ซ่อนไว้	174
ภาพ 192 การ Modify Body.....	175
ภาพ 193 การตั้งค่าใน Define Mass By	176
ภาพ 194 การตั้งค่าใน Material Type.....	176
ภาพ 195 การ Click ที่ + เพื่อขยายชิ้นส่วน.....	177
ภาพ 196 การเลือก Appearance.....	178
ภาพ 197 การเลือกสีให้ชิ้นวัตถุ.....	178
ภาพ 198 จากนั้นเลือก OK.....	179
ภาพ 199 การหมุนชิ้นงาน	180
ภาพ 200 หลังจากหมุนชิ้นงานเสร็จ.....	180
ภาพ 201 การ Create a Fixed Joint.....	181
ภาพ 202 การตั้งค่าของ Construction และเลือก Ground เป็น First Body.....	181
ภาพ 203 การเลือก Plant เป็น Second Body	182
ภาพ 204 การเลือกตรงมุมของ Plant เป็น Location.....	182
ภาพ 205 การเลือก Appearance.....	183
ภาพ 206 การเลือกขนาด Icon แล้วเลือก OK.....	183
ภาพ 207 การเลือก Create a Fixed Joint.....	184

ภาพ 208 ที่ Construction เลือก 2 Bodies - 1 Location และ Normal To Grid.....	185
ภาพ 209 การเลือก Plant เป็น First Body	185
ภาพ 210 การเลือก Glass เป็น Second Body	186
ภาพ 211 การเลือก Center ของ Glass เป็น Location	186
ภาพ 212 Click ขวาที่ JOINT_2 แล้วเลือกที่ Appearance	187
ภาพ 213 การเปลี่ยนขนาด Icon Size.....	187
ภาพ 214 การหมุนชิ้นงาน	188
ภาพ 215 การหมุนชิ้นงาน	189
ภาพ 216 การเลือก Create a Fixed Joint	189
ภาพ 217 Construction เลือก 2 Bodies - 1 Location และ Normal To Grid.....	190
ภาพ 218 เลือก Plant เป็น First Body	190
ภาพ 219 เลือก Base เป็น Second Body.....	191
ภาพ 220 การเลือกตรงฐานของ Base เป็น Location.....	191
ภาพ 221 Click ขวาที่ JOINT_3 แล้วเลือกที่ Appearance.....	192
ภาพ 222 ใส่ขนาด Icon Size.....	192
ภาพ 223 การซ่อน Part: Base.....	193
ภาพ 224 การหมุนชิ้นงาน	194
ภาพ 225 การหมุนชิ้นงาน	194
ภาพ 226 การ Zoom เข้า-ออก ชิ้นงาน.....	195
ภาพ 227 การ Zoom เข้า-ออก ชิ้นงานเสร็จ	195
ภาพ 228 การลาก Model.....	196
ภาพ 229 การเลือก Create a Rotate Joint	196

ภาพ 230 การกำหนด Construction	197
ภาพ 231 เลือก Axis เป็น Second Body	197
ภาพ 232 เลือกตรง Center ของ Axis เป็น Location	198
ภาพ 233 การเลือก Appearance เพื่อแก้ไขขนาด Icon Size	198
ภาพ 234 การแก้ไขขนาด Icon Size	199
ภาพ 235 เลือก Modify	200
ภาพ 236 หน้าต่าง Precision Move	200
ภาพ 237 การ Rotate ที่ Precision Move	201
ภาพ 238 การเลือก Apply แล้ว OK	201
ภาพ 239 การเลือก Rotational Joint Motion	202
ภาพ 240 เลือกที่ JIONT_4	203
ภาพ 241 ที่ MOTION_1 เลือก Appearance	203
ภาพ 242 เลือก Icon Size	204
ภาพ 243 Click ขวาที่ MOTION_1 แล้วเลือกที่ Modify	205
ภาพ 244 Function (time) ให้ Click ที่ Function Builder	205
ภาพ 245 Define a runtime function การป้อนค่าฟังก์ชัน	206
ภาพ 246 การ Click ตรง Apply แล้ว OK ที่หน้าต่าง Joint Motion	206
ภาพ 247 การเลือก Create a Contact จาก Forces	207
ภาพ 248 ตรง Friction Force ให้เลือก Coulomb และการเลือกตรง L Solid(s)	208
ภาพ 249 การเลือก Part ที่ต้องการ	208
ภาพ 250 การเลือก J Solid(s)	209
ภาพ 251 การเลือก Part ที่ต้องการ	209

ภาพ 252 หลังจากทีเลือก Part Solid.....	210
ภาพ 253 การแสดงไฟล์ที่ซ่อนไว้ทั้งหมด.....	211
ภาพ 254 เลือก Shaded.....	211
ภาพ 255 การเลือก Run	212
ภาพ 256 การป้อนค่าเวลา End Time และป้อนค่า Steps.....	212
ภาพ 257 การ Simulation และวิธีดูกราฟ.....	213

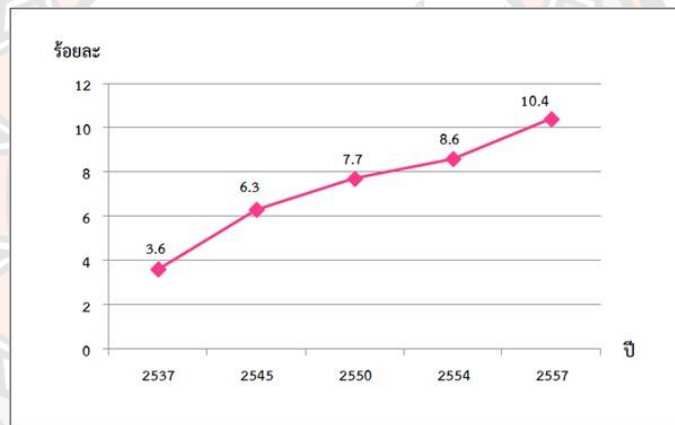


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยนั้นปัจจุบันอยู่ในสังคมผู้สูงอายุอย่างเต็มรูปแบบ อีกทั้งผู้สูงอายุส่วนมากแล้วมักจะพบกับปัญหาต่าง ๆ ที่ตามมาเมื่อมีวัยสูงขึ้นก็คือโรคประจำตัว อาทิ เช่น โรคเบาหวาน โรคความดัน โรคกระดูกพรุนและข้อเสื่อม เป็นต้น ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติปี พุทธศักราช 2557 ดังภาพ 1 แสดงแนวโน้มของการเพิ่มจำนวนของผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี (National Statistical Office, 2014)



ภาพ 1 ร้อยละของประชากรสูงอายุที่อยู่คนเดียวตามลำพังในครัวเรือน

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก: (National Statistical Office, 2014)

เมื่อมีโรคประจำตัวจึงต้องได้รับการรักษาและในการรักษา โรคส่วนนั้นมักต้องมีการกินยาตามอาการของโรค สำหรับการรักษาอาการป่วยของผู้สูงอายุและผู้ป่วยทั่วไปแล้ว เพื่อให้การรักษาสัมฤทธิ์ผลได้ดี ผู้สูงอายุและผู้ป่วยควรต้องกินยาให้ถูกต้องครบถ้วนตามมื้ออาหาร ตามคำแนะนำของแพทย์ ยาที่ต้องกินก่อนอาหารควรกินในช่วงที่ท้องว่างและยังไม่ได้รับประทานอาหารเช้าก่อนทานอาหารอย่างน้อย 30 นาที ไม่เช่นนั้นยาอาจถูกทำลายและทำให้เสียประสิทธิภาพในการรักษาได้ สำหรับยาหลังอาหารควรกินหลังอาหารทันทีหรืออาจจะกินพร้อมอาหารหรือก่อนรับประทานอาหารเช้าก็ได้ เพราะไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ยาจะเข้าไปอยู่ในกระเพาะอาหารพร้อมกับอาหารได้

เหมือนกัน และยาที่แนะนำให้กินก่อนนอนมีหลายประเภทแต่โดยทั่วไป ควรกินก่อนนอน 15 – 30 นาที เนื่องจากยามีผลข้างเคียงสำคัญคือทำให้ง่วงนอนหรือวิงเวียนศีรษะ ถ้ากินก่อนนอนนานเกินไป อาจส่งผลต่อให้ผู้ใช้ยาทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพในกรณีที่ยังไม่พร้อมจะเข้านอน ยาที่ช่วยให้นอนหลับมักใช้เวลาประมาณ 15 – 30 นาทีก่อนที่จะออกฤทธิ์ (จิรัตน์ เหมืองมันคง, 2011) การลืมหินยา หรือการกินยาที่เกินขนาดตามที่แพทย์กำหนดนั้น อาจส่งผลอันตรายต่อผู้ตัวป่วยได้ ยารักษาโรค ยังคงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่จำเป็นที่ขาดไม่ได้ในชีวิตมนุษย์ทุกเพศทุกวัย ในส่วนของผู้สูงอายุส่วนใหญ่แล้วมักจะมีโรคประจำตัวหลายโรค จึงทำให้ต้องกินยาหลายชนิดเป็นประจำ โดยผู้สูงอายุบางท่านก็ มักจะมีการหลงลืมไม่ทราบปริมาณและเวลาในการกินยาที่แน่นอน ทำให้บุคคลในครอบครัวเป็นห่วง และมีความจำเป็นต้องมีการจัดยาให้ตลอด สำหรับในส่วนของบุคคลทั่วไปและในเด็กนั้นก็มักจะมีการ กินยาเป็นประจำเหมือนกันเช่น การกินยาเพื่อรักษาโรคทั่วไป หรือการกินวิตามินและอาหารเสริม บำรุงต่าง ๆ ทางผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของการกินยาที่ถูกต้องและตรงเวลา ที่ผ่านมาจึงได้ พัฒนานวัตกรรมเพื่อช่วยในการจ่ายยาสำหรับบุคคลในครอบครัว ซึ่งสามารถโปรแกรมเวลาและชนิด ยาได้ง่ายผ่านที่หน้าจอรระบบสัมผัสของเครื่อง โดยมีลักษณะเป็นเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ เพื่อใช้จ่ายยา ให้กับผู้ป่วยได้ถูกต้องแม่นยำและตรงตามเวลา

จากการพัฒนาเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติประจำบ้านมีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอยู่ หลายประเด็นเช่น ยามีหลากหลายชนิด มีทั้งลักษณะรูปร่าง ขนาด ที่แตกต่างกันออกไป จึงทำให้ กลไกการจ่ายยาที่เหมาะสมกับยาแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของเม็ดยา ทำให้ใช้ ระยะเวลาในการลองผิดลองถูกหลายครั้งกว่าที่จะได้กลไกการจ่ายยาที่เหมาะสมสำหรับเม็ดยาแต่ละ ชนิด (อัศวินท์ ครอบไชย, ธนา เสมารัมย์, & สุภาพ มายาง, 2016) จึงเป็นที่มาของงานวิจัยในเรื่อง การศึกษาพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ สำหรับในงานวิจัยนี้จะเป็นการ สร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยซอฟต์แวร์ทางวิศวกรรมขั้นสูง เพื่อวิเคราะห์กลไกการทำงานของ ระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่มีชิ้นส่วนที่หลากหลายและซับซ้อน จากนั้นทำการหา ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและทำการวิเคราะห์ เพื่อให้ได้กลไกของระบบจ่ายยาที่เหมาะสมสำหรับ เม็ดยาแต่ละชนิด ที่มีความถูกต้องแม่นยำ ก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้ออกไปใช้ในการสร้างกลไกของระบบจ่าย ยาต้นแบบสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติประจำบ้าน และในงานวิจัยยังได้มีการพัฒนาระบบตรวจจับ เม็ดยา ซึ่งเป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ เพราะในระบบตรวจจับเม็ดยามี หน้าที่สำคัญในการตรวจจับความถูกต้องของเม็ดยาเมื่อถูกจ่ายออกมาจากระบบจ่ายยา

1.2 จุดมุ่งหมายของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาข้อมูลของเม็ดยาที่มีอยู่ในท้องตลาดแล้วนำไปสร้างโมเดลแบบจำลองคอมพิวเตอร์
2. เพื่อสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของกลไกการทำงานของระบบจ่ายยา
3. เพื่อทดสอบหาความเหมาะสมของระบบจ่ายยาโดยการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์
4. เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. องค์ความรู้และการใช้งาน Software ที่นำมาสร้างโมเดลแบบจำลองคอมพิวเตอร์
2. ระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่สามารถจ่ายยาแต่ละชนิดได้โดยมีความถูกต้องแม่นยำ
3. ระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่สามารถตรวจจับเม็ดยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. นวัตกรรมเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติสำหรับจ่ายยาให้กับผู้ป่วยสูงอายุและผู้ป่วยทั่วไปที่มีประสิทธิภาพและความถูกต้องแม่นยำที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สร้างโมเดลแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาทดลอง 8 ตัวอย่าง
2. สร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของกลไกการทำงานของระบบจ่ายยาของยาแต่ละชนิดจากเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม MSC-Adams
3. ทำการทดสอบและวิเคราะห์กลไกการทำงานของระบบจ่ายยาสำหรับเม็ดยาตัวอย่างแต่ละชนิด โดยมีการเปรียบเทียบแบบจำลองคอมพิวเตอร์กับกลไกที่สร้างขึ้นจริงเพื่อการทำ Validation
4. พัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

1.5 สมมติฐานของการวิจัย

สิ่งสำคัญในการพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติคือ ต้องมีความถูกต้องแม่นยำสำหรับการจ่ายยาในแต่ละครั้ง ซึ่งจะช่วยให้มั่นใจได้ว่าผู้ป่วยได้รับจำนวนยาในปริมาณที่ถูกต้อง เพื่อให้การรักษาหรือการบรรเทาโรคนั้นเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในการปฏิบัติงานจริงนั้น เป็นไปได้ยากที่จะทราบก่อนล่วงหน้าว่าระบบจ่ายยาที่ได้ทำการออกแบบมานั้นจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าจะทำการทดสอบจากตัวต้นแบบที่สร้างขึ้นมาข้างต้นอาจจะต้องสูญเสียเวลาและสูญเสียค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขสำหรับการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์บางอย่างมีราคาสูงหรืออาจจะต้องใช้ระยะเวลาในการรออุปกรณ์ที่สั่งมา อาจทำให้ผู้วิจัยนั้นเสียเวลานานกว่าจะได้ระบบจ่ายยาที่มีประสิทธิภาพและมีความถูกต้องแม่นยำ หรืออุปกรณ์ที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนหรือ

แก้ไขนั้นอาจจะเป็นการแก้ไขปัญหาที่ไม่ตรงจุด จึงส่งผลให้ต้องทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากการทดสอบใหม่จะทำให้เสียเวลาเพิ่มขึ้น

การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ นั้น ถูกสร้างขึ้นมาโดยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ก่อน เพื่อสังเกตพฤติกรรมและหาค่าที่เหมาะสมของระบบจ่ายยา ทำให้สามารถทราบถึงปัญหาที่เกิดจากการทดสอบ อาทิเช่น ปัญหาที่เกิดจากความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ที่สามารถสร้างแบบจำลองขึ้นมาสามารถหาความเร็วรอบที่เหมาะสมกับการใช้งานแล้วนำค่านั้นไปเลือกคุณสมบัติของตัวมอเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายและประหยัดเวลา หรือการนำแบบจำลองไปใช้กับเม็ดยาที่มีรูปร่างลักษณะที่แตกต่างกัน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่จะทำให้ระบบจ่ายยาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แน่หนอนว่าในงานที่ปฏิบัติจริงไม่ใช่มีเพียงปัญหาที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์เท่านั้น แต่การสร้างแบบจำลองของระบบจ่ายยาขึ้นมาก่อนนั้น ทำให้สามารถเห็นข้อบกพร่องต่าง ๆ ได้ก่อนที่จะนำไปสร้างต้นแบบจริง อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติคือในส่วนของระบบตรวจจับเม็ดยาเพราะระบบตรวจจับเม็ดยาจะเป็นส่วนในการตรวจสอบความถูกต้องของเม็ดยาที่ถูกจ่ายมา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยาร่วมด้วย

ปัจจุบันโปรแกรมที่เป็นตัวช่วยในการจำลองของระบบเชิงวิศวกรรมนั้นมีให้เลือกใช้หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมกับการเลือกใช้งาน ทางผู้ทำวิทยานิพนธ์ได้ทำการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับโปรแกรมที่มีชื่อว่า MSC-Adams เป็นโปรแกรมช่วยวิศวกรในการศึกษาพลวัตของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่และแรงและแรงที่กระจายอยู่ทั่วระบบเครื่องกล รวมไปถึงระบบเครื่องกลไฟฟ้าและระบบย่อยอื่น ๆ จะได้รับการตรวจสอบตามความต้องการเฉพาะของภายในกระบวนการวิศวกรรมระบบ และสามารถนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงการทำซ้ำและการออกแบบที่มีความเสี่ยงสูงและค่าใช้จ่ายที่สูงได้

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์กลไกของระบบจ่ายยา กลไกของระบบจ่ายยาเป็นระบบกลไกที่ต้องนำข้อมูลมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหในงานวิทยานิพนธ์ได้

1.5.2 การศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์

การศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วย MSC-Adams นั้น เนื่องจากในการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MSC-Adams มีฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลาย ดังนั้นผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ควรต้องทำการศึกษาโปรแกรมให้เข้าใจหลักการใช้งานก่อน

1.5.3 การศึกษาข้อมูลของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ

ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากศึกษามาออกแบบกลไกของระบบจ่ายยา

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญของของเครื่องจ่ายยา

ปัจจุบันเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติมีบทบาทอย่างยิ่งในการช่วยเหลือเภสัชกรจ่ายยาให้กับผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว และยังมีอีกหลาย ๆ งานวิจัยที่ได้ทำการพัฒนาเกี่ยวกับเครื่องจ่ายยามาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งที่ผ่านมาทางผู้ทำวิจัยและคณะได้ทำปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีการศึกษา 2559 ในหัวข้อเรื่อง การพัฒนาเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้าน (Development of a Smart Home Medicine Dispenser) เพื่อจัดการการจ่ายยาให้กับผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องแม่นยำ อีกทั้งช่วยลดระยะเวลาที่ผู้ป่วยจะต้องจัดยาด้วยตนเองและสามารถจัดการการจ่ายยาให้แก่สมาชิกในครอบครัว ในหลาย ๆ ประเทศมีนวัตกรรมเครื่องจ่ายยาที่เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาสำหรับผู้ป่วยที่รักษาตัวอยู่บ้านให้กินยาอย่างถูกต้องตรงตามเวลา อีกทั้งเครื่องจ่ายยาดังกล่าวมีราคาแพง ยากที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ในประเทศจะสามารถซื้อมาใช้งานได้ ฉะนั้นทางผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ได้เล็งเห็นถึงปัญหานี้ จึงเป็นที่มาของการคิดค้นและพัฒนาเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้านที่มีความแม่นยำสูงและมีราคาไม่แพง ที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ในประเทศสามารถเข้าถึงได้ง่าย เพื่อช่วยจ่ายยาให้คนในครอบครัวกินยาได้อย่างถูกต้อง เครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้านสามารถตั้งเวลาและชนิดยาได้ง่ายผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ ภายในตัวเครื่องจะมีกล่องบรรจุยาชนิดต่าง ๆ ได้มากถึง 8 ชนิด ซึ่งจะสามารถจ่ายยาได้ถูกต้องตรงเวลา ตามความต้องการของแต่ละบุคคลได้ ในตัวเครื่องจะมีเสียงและไฟกระพริบแจ้งเตือนเพื่อให้ทราบเมื่อถึงเวลากินยา (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

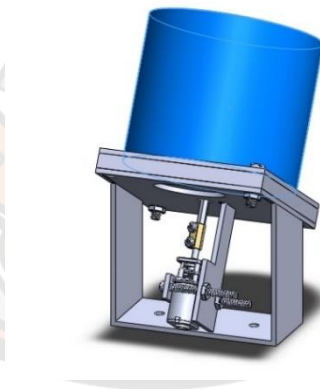
2.1.2 หลักการทำงานของเครื่องจ่ายยา

เครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้านประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ ๆ อยู่หลายส่วนเช่น ระบบจ่ายยา ระบบตรวจจับเม็ดยา ระบบการแจ้งเตือนและช่องรับยา เป็นต้น การทำงานของเครื่องจ่ายยาเริ่มต้นจากการรับข้อมูลยาที่จะทำการจ่ายในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ เมื่อถึงเวลาที่กำหนดระบบจ่ายยาจะทำการจัดยา จากนั้นเม็ดยาจะไหลไปยังระบบตรวจจับเม็ดยา ในส่วนของระบบตรวจจับเม็ดยาก็จะตรวจสอบความถูกต้องของเม็ดยาก่อนที่จะจ่ายยาไปยังช่องรับยา เมื่อจ่ายยาเสร็จตามที่กำหนดระบบแจ้งเตือนของเครื่องจ่ายยาก็จะได้ทำการแจ้งเตือน เพื่อให้ผู้ป่วยนำยาไปกิน ดังนั้น

งานวิจัยในครั้งนี้ทางผู้จัดทำได้มีความสนใจในการพัฒนาระบบจ่ายยาและระบบการตรวจจับเม็ดยา เพราะจากการที่ทำปริญญานิพนธ์เกี่ยวกับเรื่องเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้าน พบว่าระบบจ่ายยาเป็นส่วนสำคัญของเครื่องจ่ายยาที่จะสามารถจ่ายเม็ดยาที่มีลักษณะแตกต่างกันได้หลายชนิด รวมถึงระบบตรวจจับเม็ดยาที่เป็นอีกระบบหนึ่งที่มีความสำคัญเหมือนกัน ซึ่งจะทำให้การจ่ายยานั้นมีความถูกต้องและแม่นยำ

2.1.2.1 ระบบจ่ายยา

ระบบจ่ายยาเป็นระบบที่มีความสำคัญมากสำหรับเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้าน เพราะมีทำหน้าที่ในการจ่ายเม็ดยาทีละ 1 เม็ด เพราะฉะนั้นระบบจ่ายยาต้องมีหน้าที่จ่ายยาได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้านมีความสามารถในการจ่ายยาได้มากถึง 8 ชนิด ซึ่งเม็ดยาแต่ละชนิดก็มีความแตกต่างกันทั้งรูปร่าง ขนาด และความหนา ดังนั้นจึงได้กำหนดชนิดของเม็ดยาที่มีความแตกต่างทั้ง 8 ชนิด เพื่อสร้างเป็นเครื่องต้นแบบขึ้นมาสำหรับทำการศึกษาและทำการทดสอบการทำงานของระบบ เนื่องจากระบบจ่ายยาแบบเดิมอุปกรณ์ที่นำมาใช้ทำเป็นตัวต้นแบบได้เลือกใช้วัสดุที่หาได้ง่ายทั่วไป เพื่อให้ได้ตัวต้นแบบที่มีลักษณะการทำงานตามที่ต้องการ ลักษณะระบบจ่ายยาแบบแรกแสดงดังภาพ 2



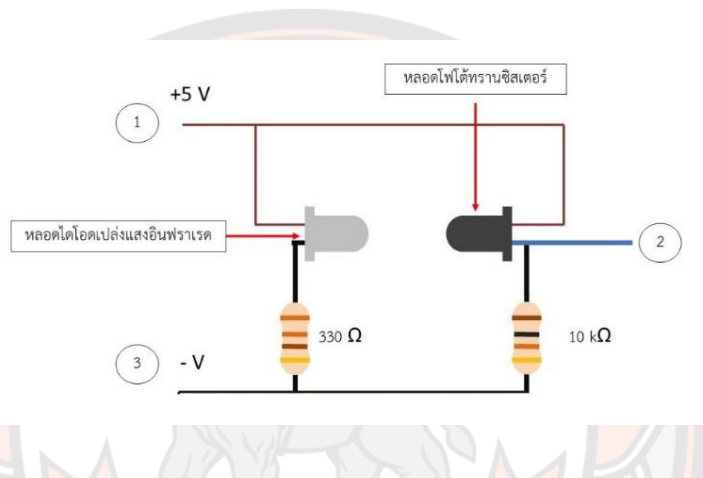
ภาพ 2 ลักษณะของระบบจ่ายยา

ที่มา: (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

เนื่องจากยาทั้ง 8 ชนิดมีลักษณะรูปร่างที่ต่างกัน ดังนั้นระบบจ่ายยาของเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้านจึงมีช่องจ่ายยาถึง 8 ช่องซึ่งแต่ละช่องจะมีอุปกรณ์บางส่วนที่เหมือนกันและใส่ส่วนที่จับเม็ดยาแต่ละช่องก็จะมีลักษณะต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของเม็ดยาแต่ละชนิด

2.1.2.2 ระบบการตรวจจับเม็ดยา

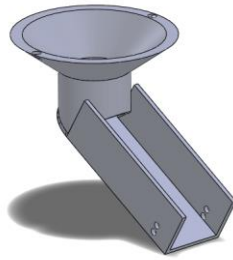
ระบบการตรวจจับเม็ดยา ใช้หลักการทำงานของหลอดโฟโตทรานซิสเตอร์ร่วมกับหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด โดยหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดจะเปล่งแสงอินฟราเรดออกมา เมื่อหลอดโฟโตทรานซิสเตอร์ได้รับแสงอินฟราเรด จะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนไป จึงได้นำหลักการทำงานของหลอดโฟโตทรานซิสเตอร์ร่วมกับหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดมาใช้เป็นเซนเซอร์ในระบบตรวจจับเม็ดยา วงจรของหลอดโฟโตทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดถูกแสดงในภาพ 3



ภาพ 3 วงจรของหลอดโฟโตทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด

ที่มา: (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

จากภาพ 3 วงจรของหลอดโฟโตทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด ที่ตำแหน่งหมายเลข 1 คือกระแสไฟบวก 5 V ที่จ่ายไปเลี้ยงวงจรของระบบ หมายเลข 2 คือเมื่อหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดเปล่งแสงออกมาจะทำให้หลอดโฟโตทรานซิสเตอร์ทำงานและสามารถวัดกระแสไฟจากหลอดโฟโตทรานซิสเตอร์ได้ และหมายเลข 3 คือกระแสไฟลบ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าทำงานได้ครบวงจร วงจรของหลอดโฟโตทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดจะถูกติดตั้งเข้ากับระบบตรวจจับเม็ดยา แสดงดังภาพ 4

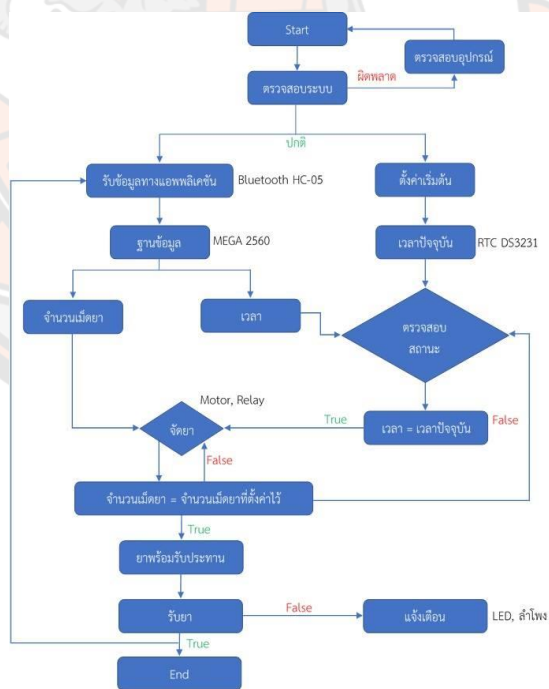


ภาพ 4 ระบบตรวจจับเม็ดยา

ที่มา: (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

2.1.2.3 การทำงานของระบบควบคุม

การทำงานของระบบควบคุมเป็นการควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดของเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะ การทำงานของระบบควบคุมจะถูกแสดงเป็นแผนภาพดังภาพ 5



ภาพ 5 แผนภาพการทำงานของระบบควบคุม

ที่มา: (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

จากภาพ 5 จะถูกอธิบายหลักการทำงานของระบบควบคุมดังนี้
ขั้นตอนการทำงาน

- เริ่มต้นและตรวจสอบความถูกต้องของระบบ

เมื่อระบบเริ่มต้นการทำงาน จะมีการตรวจสอบการทำงานของระบบเช่น การตรวจสอบค่าเริ่มต้นของเซนเซอร์ว่ามีค่าต่ำเกินไปหรือไม่ อุปกรณ์อื่น ๆ ทำงานถูกต้องหรือไม่ เป็นต้น หากมีอุปกรณ์ใดทำงานผิดพลาดระบบจะไม่สามารถทำงานได้จนกว่าจะมีการแก้ไขให้ถูกต้อง

- ตั้งเวลาการแจ้งเตือน

เมื่อระบบทำงานถูกต้อง ระบบก็จะพร้อมรับข้อมูลผ่านอุปกรณ์ Bluetooth เพื่อรับค่าต่าง ๆ เช่น เวลาเริ่มต้นการจ่ายยา จำนวนเม็ดยา เป็นต้น

- ระบบจะตรวจสอบนับจำนวนเม็ดยา

เมื่อถึงเวลาแจ้งเตือนตามที่ได้อัปเดตค่าไว้ระบบจะทำการจ่ายและนับเม็ดยาในแต่ละช่องให้ครบตามจำนวน โดยจะจ่ายยาตามจำนวนเม็ดยาที่ได้ตั้งค่าไว้ในเวลานั้น ๆ อุปกรณ์เช่นเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ จะทำการตรวจจับเม็ดยา

- เมื่อถึงเวลาทานยาจะมีเสียงและแสงไฟแจ้งเตือน

เมื่อระบบได้ทำการจัดยาเรียบร้อยแล้ว จะมีการแจ้งเตือนเพื่อให้ผู้ป่วยมารับยา โดยจะมีการแจ้งเตือนด้วยแสงไฟกะพริบ และเสียงเตือน (อัศวินท์ ครอบไชย et al., 2016)

2.1.3 MSC-Adams

ต้นกำเนิดของ MSC-Adams อยู่ในช่วงกลางทศวรรษ 1960 เมื่อคอมพิวเตอร์เริ่มก่อตัวขึ้น โปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นเพื่อคำนวณพฤติกรรมจลนศาสตร์เช่น การกระจัด ความเร็วและความเร่ง พื้นฐานของ MSC-Adams ได้รับการยกย่องว่าเป็นโปรแกรมที่สมบูรณ์ในปี 1973 และเป็นครั้งแรกที่วัตถุ 3 มิติถูกสร้างขึ้นให้เป็นไปได้ ความสนใจหลักคือรถยนต์ และการจำลองแบบ Multibody เป็นเครื่องมือที่ระบบ Multibody สามารถจำลองโดยใช้วิธีการคำนวณ ส่วนใหญ่มักจะใช้คอมพิวเตอร์ ระบบและกลไกการจำลองเป็นสิ่งสำคัญในวิศวกรรมสมัยใหม่ ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถสังเกตว่ากลไกทำงานอย่างไร โดยไม่ต้องสร้างชิ้นงานจริงที่มีราคาแพงและทำการวัดที่ใช้แรงงานมาก ตัวอย่างเช่นอุตสาหกรรมรถยนต์ใช้โปรแกรมการจำลองในระหว่างการพัฒนาเครื่องยนต์ใหม่ คุณสมบัติการออกแบบนั้นจำลองขึ้นเพื่อยืนยันว่ามันทำงานตามที่ตั้งใจไว้ พลวัตของยานพาหนะได้รับการวิเคราะห์อย่างถี่ถ้วนก่อนสร้างต้นแบบและทดสอบ ความสำคัญของการใช้ Multibody System (MBS) ในระหว่างการพัฒนาจะช่วยลดต้นทุนและลดระยะเวลาการออกแบบผลิตภัณฑ์และปรับโมเดลให้สั้นลง (Mike Blundell & Damian Harty, 2004)

การสร้างแบบจำลองที่แม่นยำอาจต้องการส่วนประกอบหลายประเภทเช่น ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์และชิ้นส่วนที่สอดคล้องและการเชื่อมต่อรวมถึงปรากฏการณ์ทางกายภาพที่ซับซ้อน

เช่น การสั่นสะเทือน แรงเสียดทานและเสียงรบกวน การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวช่วยให้สามารถรับมือกับความท้าทายเหล่านี้ได้ โดยการประเมินและปรับปรุงการออกแบบอย่างรวดเร็วสำหรับคุณลักษณะที่สำคัญเช่น ประสิทธิภาพความปลอดภัยและความสะดวกสบาย สำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวครอบคลุมฟังก์ชันการจำลองการเคลื่อนที่แบบหลายหน่วยที่มีการผ่านอินเทอร์เฟซก่อนและหลังการประมวลผลที่หลากหลายและใช้งานง่ายและแก้ปัญหาในอุตสาหกรรม (MSC Software Corporation Adams, 2014)

จากข้อมูลของ MSC Software ของ MSC Adams สามารถใช้สำหรับการวิเคราะห์และปัญหาที่หลากหลายและมีคุณสมบัติหลายอย่างเช่น (MSC Software Corporation Adams, 2014),(MSC Software Corporation):

- ระบบ Multibody ที่แข็งแกร่งและยืดหยุ่น
- การวิเคราะห์ความไว
- การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน
- การออกแบบและทดสอบยานพาหนะ
- การวิเคราะห์ / การควบคุมระบบเครื่องจักรกลคู่
- จลนศาสตร์และจลนพลศาสตร์
- การสัมผัสและแรงเสียดทาน
- Loads และ Displacement
- การวิเคราะห์ความทนทานและวิเคราะห์ life cycle
- การคำนวณการแตกหักหรือความล้า
- การกระจายพลังงานจลน์พลังงานคงที่และกระจาย
- การเลี้ยวโค้งของยานพาหนะการบังคับเลี้ยวกิ่งคงที่และการวิเคราะห์เส้นตรง
- การวิเคราะห์ระบบควบคุม

อุตสาหกรรมบางประเภทใช้ (MSC Software Corporation Adams, 2014):

-การบินและอวกาศกลาโหม: เครื่องยนต์อากาศยานยานอวกาศยานอวกาศแลนดิงเกียร์ลำตัวเฮลิคอปเตอร์ระบบอาวุธยุทโธปกรณ์กลไกควบคุมอากาศยานที่นั้งขับออกเครื่องจำลองการบินยานอวกาศสนามรบกลไกยานอวกาศที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง

-ยานยนต์: ระบบช่วงล่างระบบขับเคลื่อนระบบเบรกระบบพวงมาลัยระบบเครื่องยนต์ระบบควบคุมการส่งสัญญาณข้อต่อบูตแบริงคลัทซ์โครงสร้างแชสซี

-การผลิต: หุ่นยนต์หุ่นยนต์สายพานลำเลียงปั๊มเครื่องมือเครื่องจักรอุปกรณ์บรรจุภัณฑ์เกียร์สแตปเปอร์และเซิร์ฟเวอร์มอเตอร์

-เครื่องจักรกลหนัก: รถขุด, อุปกรณ์การเกษตร, ระบบควบคุมไฮดรอลิก, รถที่ติดตาม, รถยก, เครื่องเล่นในสวนสนุก

-การแพทย์: ศัลยกรรมกระดูก, การเคลื่อนไหวของมนุษย์, Biodynamics, พลศาสตร์, การวิเคราะห์ตามหลักสรีรศาสตร์, แขนขาหุ่นยนต์

-สินค้าอุปโภคบริโภค: สินค้ากีฬาจักรยานเครื่องมือเครื่องพิมพ์

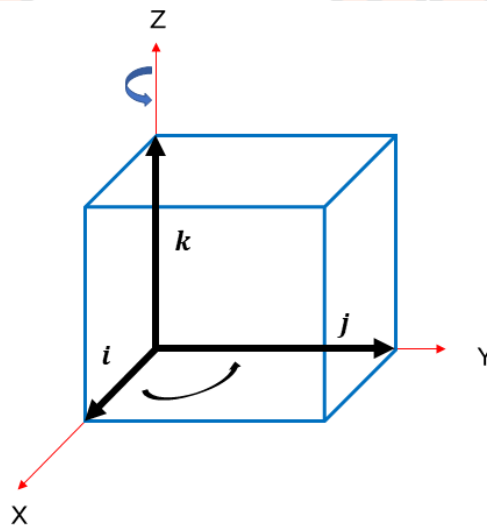
-พลังงาน: กังหันลมแผงโซลาร์เซลล์โครงสร้างนอกชายฝั่งแท่นขุดเจาะกลไกศูนย์กลาง

2.1.4 ตำแหน่ง (Positions) ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration)

ตำแหน่งสามารถกำหนดได้ด้วยเวกเตอร์ ถ้า \vec{A} เป็นเวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากับ $|A|$ โดยที่ $|A|$ ต้องไม่เป็นศูนย์ สามารถนิยามเวกเตอร์ที่มีทิศเดียวกันกับ \vec{A} แต่มีขนาดหนึ่งหน่วยได้นิยาม

ถ้ากำหนดให้ \hat{a} คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของ \vec{A} แล้วจะได้ว่า $\hat{a} = \frac{\vec{A}}{|A|}$ หรือ $\vec{A} = |A|\hat{a}$ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่สำคัญมากคือ เวกเตอร์ชุด \hat{i} , \hat{j} และ \hat{k} ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษดังนี้

1. เวกเตอร์หนึ่งหน่วยทั้งสามตั้งฉากกัน
2. โดยทั่วไปถือว่าเวกเตอร์ทั้งสามนี้เป็น เวกเตอร์คงที่ คือนอกจากขนาดจะคงที่แล้วทิศทางยังคงที่ด้วย
3. ในปริภูมิ 3 มิติเวกเตอร์ชุดนี้เรียงลำดับ ตามกฎมือขวา ดังภาพ 6



ภาพ 6 ปริภูมิ 3 มิติเวกเตอร์ เรียงลำดับตามกฎมือขวา

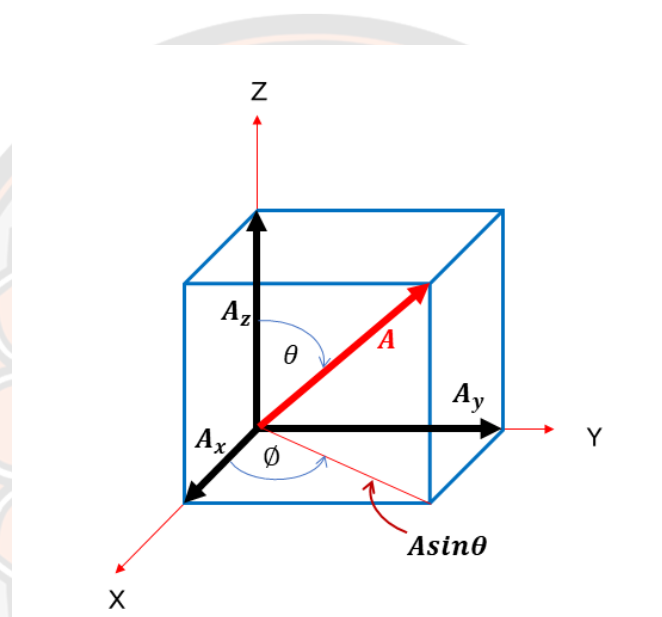
ส่วนประกอบของเวกเตอร์

เวกเตอร์ใด ๆ สามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปผลบวกของเวกเตอร์ย่อย ๆ หลาย ๆ อันได้ โดยอาจจะเลือกเวกเตอร์ย่อยเหล่านั้นให้อยู่ในทิศเดียวกัน กับ unit vectors \vec{i} , \vec{j} และ \vec{k} ซึ่งในกรณีนี้เรียกเวกเตอร์ย่อยเหล่านี้ว่า “ส่วนประกอบของเวกเตอร์” หรือ Components of vector ตำแหน่งสามารถพิจารณาส่วนประกอบของเวกเตอร์ในกรณีของเวกเตอร์ 3 มิติ

ส่วนประกอบเวกเตอร์ใน 3 มิติ

ให้ \vec{A} เป็นเวกเตอร์ในระบบ 3 มิติ ที่มีขนาด $|A|$ และมี A_x, A_y, A_z เป็นส่วนประกอบเวกเตอร์ดังภาพ

7



ภาพ 7 เวกเตอร์ในระบบ 3 มิติที่มีขนาด $|A|$

ถ้า
$$\vec{A} = A_x \vec{i} + A_y \vec{j} + A_z \vec{k} \quad (1)$$

เมื่อ
$$A_x = A \sin \theta \cos \phi \quad (2)$$

$$A_y = A \sin \theta \sin \phi \quad (3)$$

$$A_z = A \cos \theta \quad (4)$$

ดังนั้นตำแหน่งสามารถระบุได้โดย
$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (5)$$

ความเร็วเฉลี่ย : คือการกระจัดที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลาที่มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s)

เขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์
$$\vec{v} = \frac{d\vec{A}}{dt} \quad (6)$$

$$\vec{A} = \frac{d\vec{A}}{dt} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k} \quad (7)$$

อัตราเร็วคือขนาดของความเร็ว

$$\text{เขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ } v = |\vec{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \quad (8)$$

ความเร่งเฉลี่ย : คือความเร็วของวัตถุที่เปลี่ยนไปเทียบกับช่วงเวลาที่เปลี่ยนไปในการเคลื่อนที่

$$\text{เขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ } \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k} \quad (9)$$

$$\text{ขนาดของความเร่งเฉลี่ย } a = |\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (10)$$

ความเร็วเชิงมุม (angular velocity (ω)) : คือมุมที่จุดกึ่งกลางรัศมีกวาดไปได้ใน 1 หน่วย มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาทีกำลังสอง (rad/s^2)

$$\text{เขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ } \omega = \frac{\theta}{t} \quad (11)$$

โดยที่

θ = องศาที่รัศมีกวาดไปได้

t = เวลา

ความเร่งเชิงมุม (angular acceleration (α)) : คือความเร็วเชิงมุมที่เปลี่ยนไปใน 1 หน่วยเวลา มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)

$$\text{เขียนในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ } \alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (12)$$

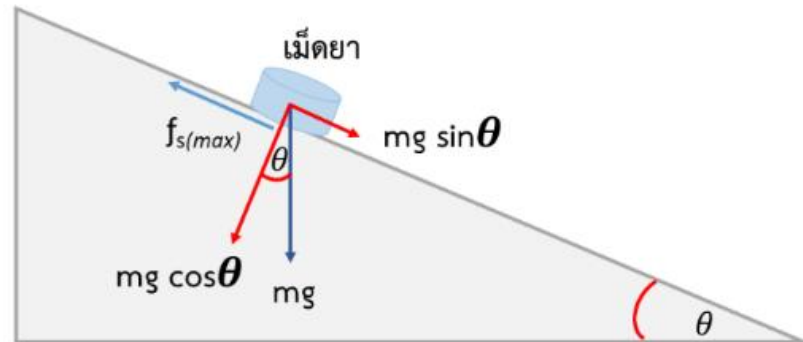
โดยที่

$\Delta\omega$ = ความเร็วเชิงมุมที่เปลี่ยนไป

Δt = เวลาที่เปลี่ยนไป

2.1.6 การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ_s)

การหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (μ_s) ระหว่างเม็ดยาแต่ละชนิดกับระบบตรวจจับเม็ดยา เนื่องจากระบบตรวจจับเม็ดยาเป็นส่วนที่รองรับเม็ดยาที่ไหลมาจากระบบจ่ายยา เมื่อเม็ดยาไหลผ่าน จะเกิดแรงเสียดทานตามแนวเอียงที่ผิวสัมผัสระหว่างเม็ดยากับระบบตรวจจับเม็ดยา ซึ่งมีแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นตัวกระทำกับน้ำหนักของเม็ดยา ดังภาพ 8



ภาพ 8 แผนภาพการตกอิสระของเม็ดยาบนพื้นเอียง

แรงเสียดทานจะเป็นแรงที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่แบบไกลผ่านกันแรงเสียดทานจะมีทิศตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของวัตถุเสมอแรงเสียดทานสถิต (Static friction) เขียนแทนด้วย f_s เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นขณะที่วัตถุอยู่นิ่งหรือวัตถุเริ่มมีการเคลื่อนที่ โดยขณะที่วัตถุเริ่มเคลื่อนที่จะเรียกแรงเสียดทานขณะนั้นว่า แรงเสียดทานสถิตที่มากที่สุด (limiting friction) เขียนแทนด้วย $f_{s(max)}$ เมื่อวัตถุอยู่นิ่ง ๆ $f_{s(ขณะใดๆ)}$ จะมีค่าเท่ากับแรงจุด (F) ขณะนั้นแต่เมื่อวัตถุเริ่มมีการเคลื่อนที่จะทำให้ $f_{s(max)}$ มีค่าเท่ากับ $\mu_s N$ ในวัตถุที่เคลื่อนที่บนพื้นเอียง แรงจุด (F) ที่มากกระทำกับวัตถุมีค่า $F = mg \sin \theta$

เมื่อ $F < f_{s(max)}$

จะสามารถสรุปได้ว่าวัตถุจะไม่เคลื่อนที่ (อยู่นิ่ง ๆ)

เมื่อ $F = f_{s(max)}$

สามารถสรุปได้ว่าวัตถุจะเริ่มเคลื่อนที่

เมื่อ $F > f_{s(max)}$

ก็จะสามารถสรุปได้ว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ไปได้

ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน μ_s จะทำการทดสอบโดยการวางวัตถุจากหยุดนิ่งแล้วทำการปรับองศาเอียงกับแนวระดับ (θ) ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งวัตถุเริ่มมีการเคลื่อนที่

$$\text{ดังนั้น} \quad F = f_{s(max)} \quad (13)$$

$$\text{ถ้า} \quad F = mg \sin \theta \quad (14)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad f_{s(max)} = mg \sin \theta \quad (15)$$

โดยที่

F = แรงจุด (N)

$f_{s(max)}$ = แรงเสียดทาน (N)

m = มวลของเม็ดยา (kg)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก ($g=9.81\text{m/sec}^2$)

θ = มุมเอียงกับแนวระดับ ($^\circ$)

ขณะที่แรงปฏิกิริยาที่ผิวสัมผัส N คำนวณได้จากสมการ

$$N = mg \cos\theta \quad (16)$$

โดยที่

N = แรงปฏิกิริยาที่ผิวสัมผัส

จากสมการแรงเสียดทานวัตถุเริ่มจะเคลื่อนที่

$$f_{s(\max)} = \mu_s N \quad (17)$$

โดยที่

μ_s = ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

แทนสมการที่ (3) และสมการที่ (4) ลงในสมการที่ (5) จะได้

$$\mu_s = \frac{f_{s(\max)}}{N} \quad (18)$$

ดังนั้นจะได้

$$\mu_s = \frac{mg \sin\theta}{mg \cos\theta} \quad (19)$$

หรือว่า

$$\mu_s = \tan\theta \quad (20)$$

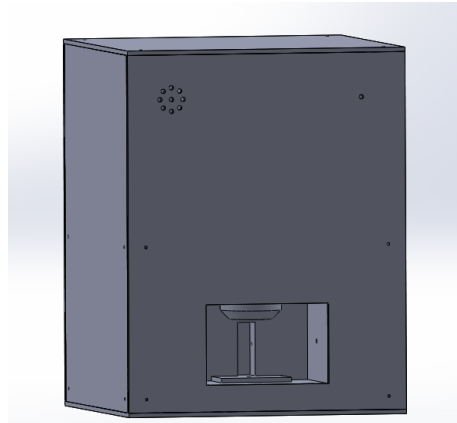
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

ปัจจุบันประเทศไทยได้เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ โดยจากข้อมูลของมูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทยและสถาบันวิจัยสังคมและประชากรมหาวิทยาลัยมหิดล ระบุว่าในปี 2560 ประเทศไทยมีประชากรผู้สูงอายุ (บุคคลที่มีอายุ มากกว่า 60 ปี) อยู่ประมาณ 11.3 ล้านคน (คิดเป็นร้อยละ 17.1 ของประชากรทั้งหมดในประเทศไทย) (มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุ, 2018), (สถาบันวิจัยประชากรและสังคมมหาวิทยาลัยมหิดล, 2018) โดยผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะมีโรคประจำตัวทำให้ต้องทานยาเพื่อรักษาอาการอย่างต่อเนื่อง ซึ่งผู้สูงอายุบางรายอาจมีโรคประจำตัวมาก ทำให้ต้องทานยาหลายชนิดหรือจากหลายแหล่ง เช่น จากแพทย์หลายคนที่รักษาต่างโรคกัน จากญาติพี่น้อง และจากการซื้อยามารับประทานเอง ทั้งยารักษาโรค วิตามิน อาหารเสริม เป็นต้น โดยโรคส่วนใหญ่ที่เกิดในผู้สูงวัยนั้นยากที่จะรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพหากปราศจากความร่วมมือจากผู้ป่วยในการดูแลตัวเองอย่างเคร่งครัด (Bumrungrad international hospital, 2012)

ในการรักษาผู้ป่วยให้มีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องมีการใช้ยาที่เหมาะสม โดยจากคู่มือการใช้ยาอย่างสมเหตุสมผลตามบัญชียาหลักแห่งชาติ: 2552 และองค์การอนามัยโลกที่ได้ให้คำจำกัดความของ “การใช้ยาอย่างสมเหตุสมผล (rational drug use)” คือ “ผู้ป่วยได้รับยาที่เหมาะสมกับปัญหาสุขภาพ โดยใช้ในขนาดที่เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละราย ด้วยระยะเวลาการรักษาที่เหมาะสม และมีค่าใช้จ่ายต่อชุมชนและผู้ป่วยน้อยที่สุด” “Patients receive medications appropriate to their clinical needs, in doses that meet their own individual requirements, for an adequate period of time, and at the lowest cost to them and their community” (WHO, 1985)

การใช้ยาอย่างไม่สมเหตุสมผลเป็นปัญหาที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วนและควรได้รับการยกสถานะเป็นวาระแห่งชาติ” ซึ่งในเวลาต่อมานโยบายแห่งชาติด้านยา พ.ศ. 2554 ได้มีการบรรจุให้ การใช้ยาอย่างสมเหตุสมผล เป็นยุทธศาสตร์ด้านที่ 2 ของยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบยาแห่งชาติ พ.ศ. 2555-2559 โดยได้กำหนดยุทธศาสตร์ย่อยไว้ 7 ประการซึ่งหนึ่งในนั้นคือ การพัฒนาเภสัชกรรมเครื่องมือนวัตกรรม เพื่อให้เกิดการใช้ยาอย่างสมเหตุสมผล (รุ่งทิศา หมิ่นปา & นภาพรณ ฎริปัญญวานิช, 2017),(Brahma, Marak, & Wahlang, 2012) จึงเป็นที่มาของการพัฒนานวัตกรรมเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติสำหรับผู้ป่วย ซึ่งเครื่องจ่ายยามีประโยชน์อย่างยิ่งในการเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการแก้ปัญหาการจัดการการจ่ายยาให้กับผู้ป่วยได้อย่างถูกต้องแม่นยำตรงตามเวลา จากการศึกษาพบว่ามีการวิจัยหลายผลงาน ได้พยายามแก้ไขปัญหาคิดค้นนวัตกรรมเกี่ยวกับการจัดการในเรื่องของการจัดจ่ายเม็ดยาหรือจัดเตรียมเม็ดยาให้โรงพยาบาล ร้านขายยาและกับผู้ป่วยด้วยเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติแบบต่าง ๆ อาทิเช่น งานวิจัยนี้ผู้ทำวิจัยและคณะได้พัฒนานวัตกรรม เพื่อช่วยในการจ่ายยาสำหรับคนในครอบครัวให้ทานยาได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสามารถโปรแกรมตั้งเวลาและชนิดยาได้ง่ายผ่านแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือ โดยมีลักษณะเป็นเครื่องที่ใช้จ่ายยาให้กับผู้ป่วยได้ถูกต้องแม่นยำและตรงตามเวลา เพื่อป้องกันการผิดพลาดเมื่อผู้ป่วยลืมรับประทานยา โดยเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้านนี้สามารถใช้งานได้ง่าย ภายในตัวเครื่องจะมีกล่องบรรจุยาชนิดต่าง ๆ โดยถาดใส่ยาภายในเครื่องรองรับยาได้มากถึง 8 ชนิด สามารถจ่ายยาได้ตรงเวลา ตามความต้องการของแต่ละบุคคลได้ ซึ่งตัวเครื่องจะมีเสียงและไฟกระพริบแจ้งเตือนให้ทราบเมื่อถึงเวลาทานยา ดังภาพ 9 (อัครวินท์ ครองไชย et al., 2016)



ภาพ 9 เครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้าน

ที่มา: (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

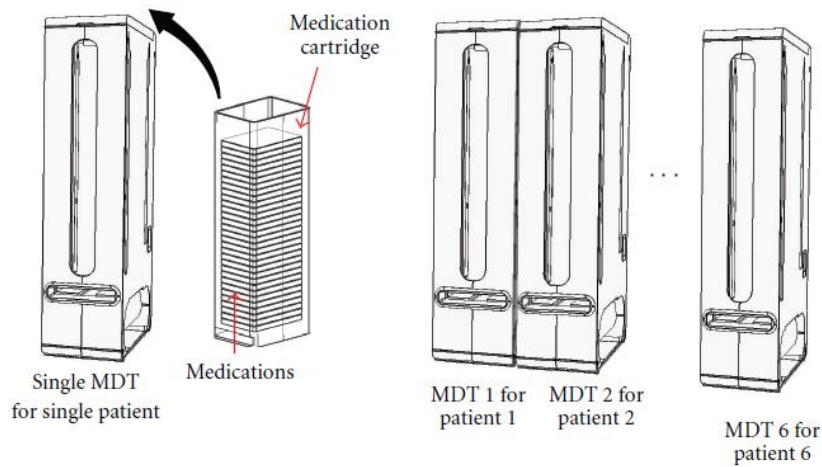
ในส่วนบทความของ Ahadani และคณะ ได้มีการนำเสนอต้นแบบหุ่นยนต์เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่มีต้นทุนต่ำ ที่มีความสามารถเพิ่มหรือลดขนาดได้ตามจำนวนชนิดของเม็ดยา ที่เหมาะสมกับการใช้งานของเภสัชกร ต้นแบบหุ่นยนต์เครื่องจ่ายยานี้มีความสามารถในการนับและจ่ายเม็ดยาใส่ขวดบรรจุได้โดยอัตโนมัติ ตามคำสั่งของเภสัชกร ต้นแบบหุ่นยนต์เครื่องจ่ายยานี้เหมาะสำหรับการใช้งานในร้านขายยาหรือตามในโรงพยาบาลที่มีผู้ป่วยจำนวนมาก ช่วยลดระยะเวลาในการจ่ายยาจึงทำให้เภสัชกรสามารถจ่ายยาให้กับผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น จากผลการทดสอบพบว่าในหนึ่งใบสั่งยาเครื่องสามารถจ่ายยาได้ภายใน 1 นาที และเมื่อมีใบสั่งยา 60 ใบสั่ง เครื่องสามารถจ่ายยาได้ภายใน 1 ชั่วโมง ตัวอย่างต้นแบบหุ่นยนต์เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่มีต้นทุนต่ำแสดงดังภาพ 10 (Ahadani, De Silva, Petra, Hameed, & Wong, 2012)



ภาพ 10 ตัวอย่างกลไกระบบจ่ายยา

ที่มา: (Ahadani et al., 2012)

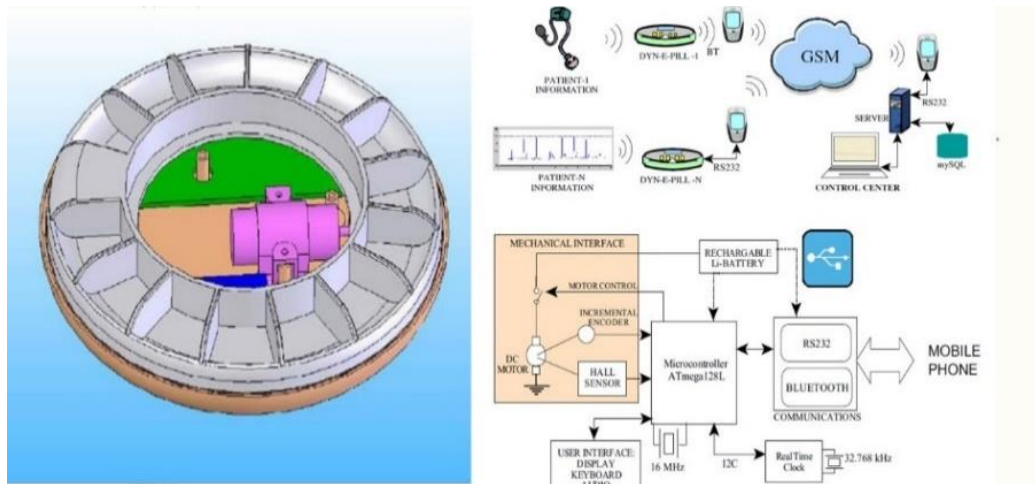
จากงานวิจัยของ Pak, J., และ Park, K. เป็นเครื่องจ่ายยาแบบอัจฉริยะที่มีระดับความสามารถในการปรับขยายได้หากมีความต้องการของผู้ป่วยที่เพิ่มมากขึ้นและความสามารถในการจัดการจากระยะไกล เครื่องจ่ายจะทำงานดังต่อไปนี้ เมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้ ผู้ใช้จะกดปุ่มจ่ายยา ดังนั้นยาที่กำหนดไว้จะถูกจ่ายออกมา การจ่ายยาในเครื่องจ่ายยานี้ ยาสำหรับผู้ป่วยแต่ละรายจะถูกจัดเก็บไว้ในถาดจัดยาที่ถูกเตรียมไว้ เครื่องจ่ายยาชุดมีส่วนประกอบสำคัญอย่างหนึ่งคือถาดสำหรับจัดยา อย่างไรก็ตามเครื่องสามารถขยายเพิ่มได้เพื่อรองรับผู้ใช้หลายราย นอกจากนี้การตั้งค่าของระบบ หากเกิดข้อผิดพลาดในการดำเนินงานสามารถจัดการได้จากระยะไกลโดยเจ้าหน้าที่ทางการแพทย์และผู้ดูแลระบบ ผลของการนำไปใช้งานและการทดสอบพบว่าเครื่องจ่ายยานั้นทำงานได้ดีและสามารถทำการทดสอบการใช้ยาอย่างเหมาะสมจากเซิร์ฟเวอร์ เครื่องจ่ายยาแบบอัจฉริยะแสดงตัวอย่างดังภาพ 11 (Pak & Park, 2012)



ภาพ 11 ตู้ยาแบบอัจฉริยะที่มีระดับความสามารถในการปรับขนาดได้และการจัดการระยะไกล

ที่มา: (Pak & Park, 2012)

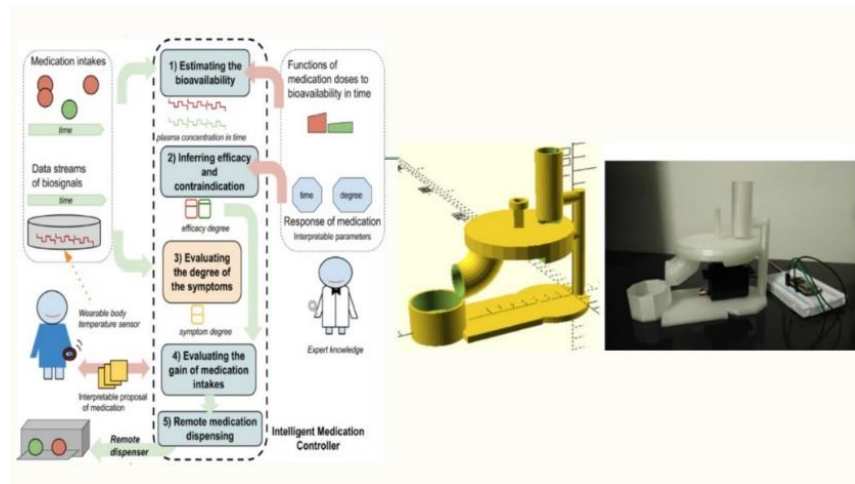
ส่วนในบทความของ Artacho และคณะได้มีการนำเสนอเกี่ยวกับเครื่องจ่ายยาอิเล็กทรอนิกส์แบบ dyn-e-pill คือเป็นเครื่องจ่ายยาที่ได้มีการจัดเตรียมยาที่ผู้ป่วยจะต้องทานใส่ไว้ในแต่ละช่องที่มีอยู่ 14 ช่อง เมื่อถึงเวลาที่ต้องทานยาตัวเครื่องจ่ายยาจะมีการแจ้งเตือนแล้วจัดยาตามที่ตั้งค่าไว้ และมีการควบคุมการสื่อสารกับผู้ใช้งานผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยการส่งข้อความ (SMS) ระบบ dyn-e-pill แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ เซิร์ฟเวอร์และผู้ใช้งาน เซิร์ฟเวอร์จะเป็นส่วนการควบคุมเพื่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน และศูนย์ควบคุมจะประกอบด้วยฐานข้อมูลของผู้ใช้งาน ผู้ดูแลและแพทย์สามารถลงชื่อเข้าใช้งานระบบและสามารถแก้ไขข้อมูลได้ เช่นการเปลี่ยนแปลงเวลาทานยาหรือปรับจำนวนยาที่ผู้ป่วยจะต้องทาน ตัวอย่างเครื่องจ่ายยาอิเล็กทรอนิกส์แบบ dyn-e-pill ดังภาพ 12 (Boquete, Rodriguez-Ascariz, Artacho, Cantos-Frontela, & Peixoto, 2010)



ภาพ 12 ระบบเครื่องจ่ายยาแบบอิเล็กทรอนิกส์แบบ dyn-e-pill

ที่มา: (Boquete et al., 2010)

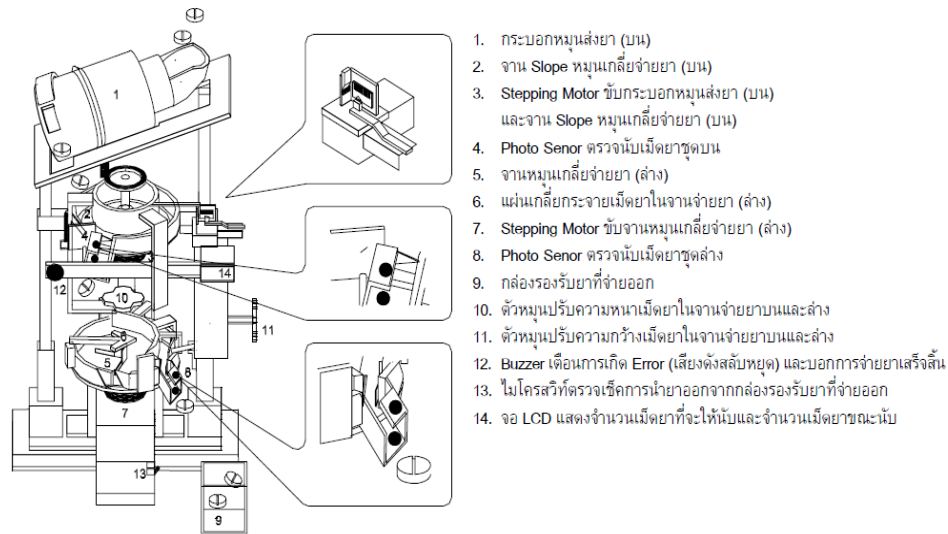
ในงานวิจัยของ Medina และคณะได้มีการนำเสนอ ตัวควบคุมการจ่ายยาอัจฉริยะที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากอุณหภูมิจากร่างกายของผู้ป่วย นวัตกรรมหลักของงานวิจัยนี้คือ การวิเคราะห์ทางเภสัชจลนศาสตร์และเภสัชพลศาสตร์นวัตกรรม โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากอุณหภูมิของผู้ป่วย ที่ส่งมาจากอุปกรณ์สวมใส่ที่สามารถวัดอุณหภูมิของร่างกายได้ จากนั้นจะส่งผลการวิเคราะห์ที่ให้ความถูกต้องและแม่นยำ สำหรับใช้ในการตัดสินใจให้ตัวควบคุมยาอัจฉริยะทำการจ่ายยาให้ผู้ป่วย บริโภคในปริมาณที่เหมาะสมและเพียงพอต่อระยะเวลาที่ต้องการ ตัวควบคุมการจ่ายยาอัจฉริยะแสดงตัวอย่างดังภาพ 13 (Medina, Espinilla, García-Fernández, & Martínez, 2018)



ภาพ 13 ตัวควบคุมยาอัจฉริยะสำหรับคนไข้ตามอาการของคนไข้

ที่มา: (Medina et al., 2018)

และสุดท้ายเป็นผลงานการวิจัยที่ถูกสร้างและพัฒนาขึ้นโดย มงคล วรรณประภา และ วิริยะ พิเชฐจำเริญ คือระบบจ่ายยาอัตโนมัติ เป็นการพัฒนาและสร้างระบบจ่ายยาอัตโนมัติขึ้นมา ในระบบจ่ายยาอัตโนมัตินี้ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญหลัก ๆ อยู่ 3 ส่วน คือ 1.) เป็นในด้านส่วนของการออกแบบและสร้างระบบเครื่องจ่ายยาซึ่งมีหน้าที่ในการนับและจ่ายยาที่มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน 2.) ในส่วนนี้จะเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างวงจรเชื่อมโยงสื่อสารของระบบจ่ายยาอัตโนมัติ เพื่อเชื่อมโยงการสื่อสารระหว่างเครื่องจ่ายยากับคอมพิวเตอร์และ 3.) ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบจ่ายยา ที่สามารถ รับ-ส่งข้อมูล เก็บข้อมูล เพื่อแสดงผลข้อมูลยาและข้อมูลผู้ป่วย การสร้างเครื่องต้นแบบระบบจ่ายยาอัตโนมัตินี้ขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบระบบจ่ายยาอัตโนมัติ ที่ใช้ในสถานพยาบาลที่มีผู้ป่วยจำนวนมากและมีจำนวนยาหลากหลายชนิด ลักษณะของระบบจ่ายยาอัตโนมัติแสดงดังภาพ 14 (มงคล วรรณประภา & วิริยะ พิเชฐจำเริญ, 2001)

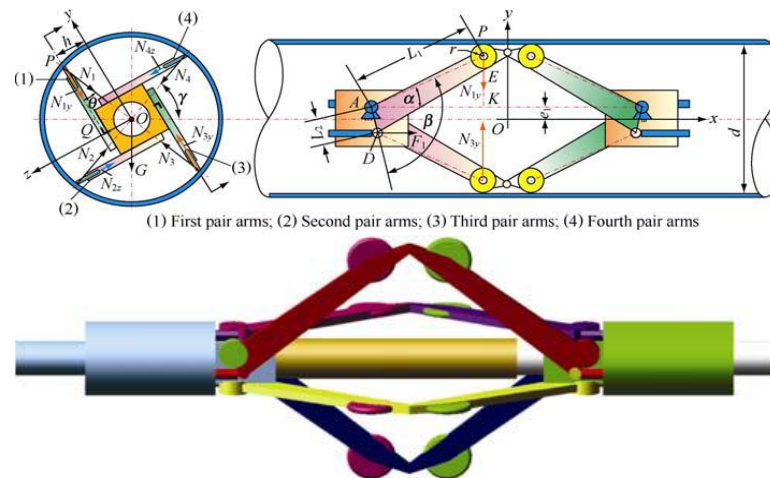


ภาพ 14 ระบบจ่ายยาอัตโนมัติ

ที่มา: (มงคล วรรณประภา & วิริยะ พิเชฐจำเริญ, 2001)

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลอง

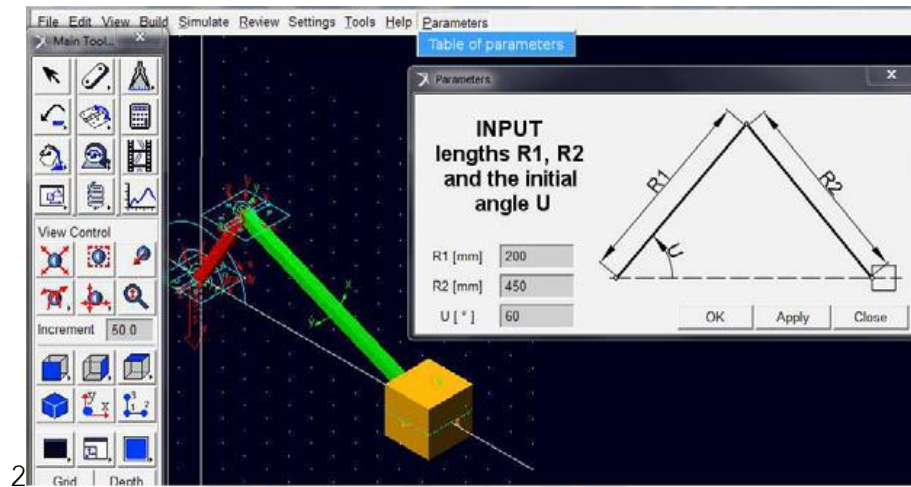
ในด้านของโปรแกรมของการสร้างแบบจำลอง มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโปรแกรม MSC-Adams มาช่วยในการสร้างแบบจำลองอยู่หลายงานวิจัยยกตัวอย่างดังนี้ ในปีค.ศ.2010 Xianglin และคณะได้นำ โปรแกรม MSC-Adams มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเกี่ยวกับหุ่นยนต์ลากจูงแบบอัตโนมัติที่ทำงานอยู่ในท่อน้ำมัน ที่มีความสามารถในการบันทึกข้อมูล โดยการนำ MSC-Adams (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) เข้ามาใช้เพื่อวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์และค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างและแรงสปริง ดังนั้นจึงได้สร้างแบบจำลองขึ้นเพื่อใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพและได้ทำการศึกษาเชิงจำลองเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลและสมรรถนะด้วยการสร้างแบบจำลองและโมดูลจำลอง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างเดิมที่มีข้อเสยขณะข้ามอุปสรรค ดังนั้นจึงได้ใช้โครงสร้างที่ดีขึ้นเพื่อขจัดข้อจำกัดของโครงสร้างเดิม และการทดสอบแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างใหม่หลีกเลี่ยงการแบกภาระกับด้านใดด้านหนึ่งและมีแรงกระทกน้อยกว่าขณะข้ามอุปสรรค ดังนั้นการปรับปรุงการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ลากจูงแบบอัตโนมัติจึงเป็นไปอย่างราบรื่น ตัวอย่างการจำลองหุ่นยนต์ลากจูงแบบอัตโนมัติโดยใช้ MSC-Adams แสดงดังภาพ 15 (Xianglin, Haoyu, & Faxian, 2010)



ภาพ 15 การจำลองหุ่นยนต์ลากจูงแบบอัตโนมัติโดยใช้ MSC-Adams

ที่มา: (Xianglin et al., 2010)

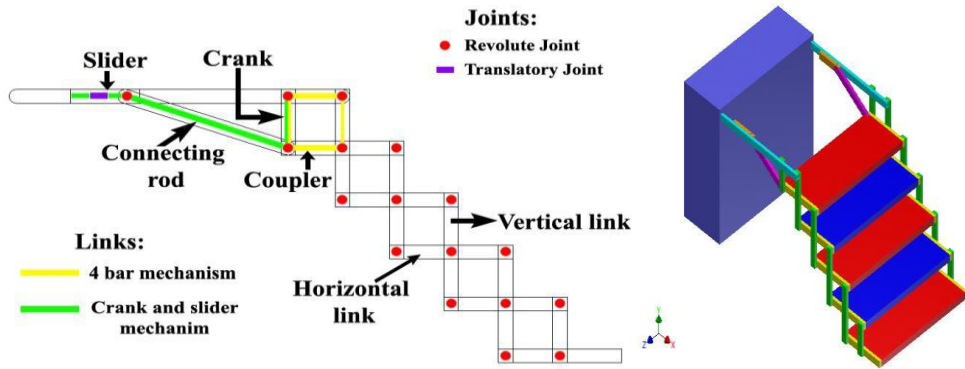
ต่อมาในปี ค.ศ. 2012 Hroncová และทีมได้พัฒนารูปแบบการทำงานของกลไกข้อเหวี่ยง ศูนย์กลาง ในโปรแกรม MSC-Adams และการวิเคราะห์ทางจลนพลศาสตร์ ขั้นตอนต่อไปคือการจำลองด้วยชุดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้การวิเคราะห์ทางจลนพลศาสตร์ สุดท้ายข้อมูลที่รวบรวมในขั้นตอนนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบและประเมินผล จากข้อสรุปพบว่า MSC-Adams มีอินเตอร์เฟซพิเศษสำหรับการสร้างวัตถุเสมือนจริงซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนที่ rigid และ deformable ซึ่งเชื่อมโยงซึ่งกันและกันด้วย kinematic links ที่แตกต่างกันได้ ซึ่งจะช่วยให้การสร้างแบบจำลองแบบ kinematic และ dynamic โดยการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ การคำนวณรูปแบบของกลไกการเคลื่อนข้อเหวี่ยงเมื่อได้เปรียบเทียบผลลัพธ์แสดงผลจากการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์กับการสร้างแบบจำลองพารามิเตอร์ได้ผลตามการดำเนินการ โดยโปรแกรมจำลอง MSC-Adams แสดงตัวอย่างการจำลองดังภาพ 16 (Hroncová, Binda, Šarga, & Kičák, 2012)



ภาพ 16 การสร้างแบบจำลองของกลไกการเลื่อนข้อเหวี่ยงโดยใช้ MSC-Adams

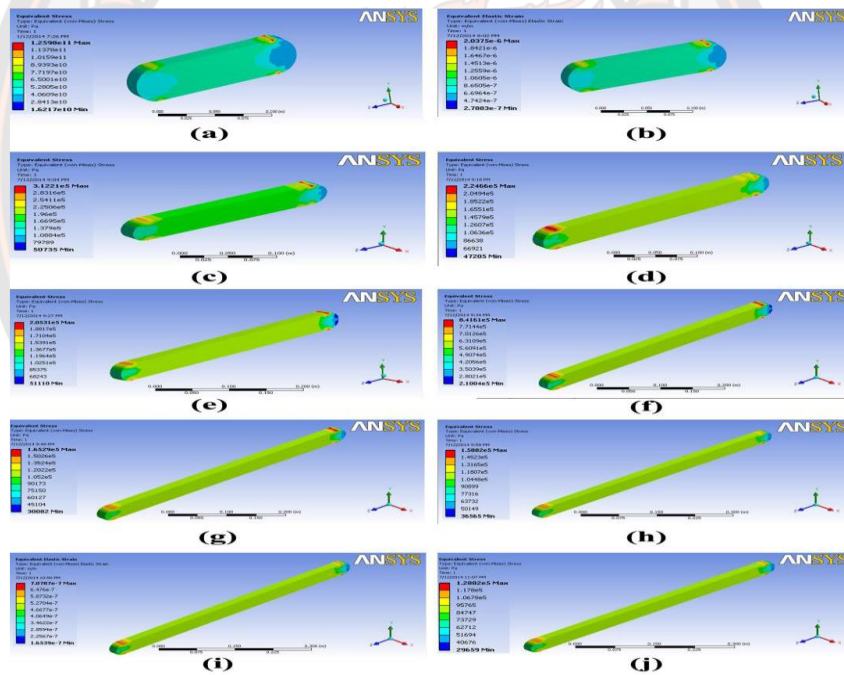
ที่มา: (Hroncová et al., 2012)

ส่วนในปีค.ศ. 2014 Rajashekhar และคณะได้ทำการสร้างแบบจำลองการจำลองและการควบคุมกลไกแบบไดนามิก ในสถานที่ที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ ที่สามารถใช้แบบไดนามิกแบบพับเก็บได้ถูกจำลองโดยใช้ Solidworks™ จากนั้นโมเดลถูกนำเข้าจาก Solidworks™ ไปยัง MSC-Adams ดังภาพ 17 และผลของการเปลี่ยนแปลงความยาวของก้านเชื่อมต่อของการเคลื่อนที่เชิงเส้นไปยังการเคลื่อนที่แบบหมุนจะต้องมีการวิเคราะห์ โดยมีการพิจารณาความยาวที่แตกต่างกัน 10 ช่วงของแกนที่เชื่อมต่อ แรงที่ต้องการย้ายแถบเลื่อนจะวัดโดยใช้ซอฟต์แวร์ MSC-Adams ในแต่ละกรณี ดังนั้นในบทความนี้จะได้นำเสนอผลของการเปลี่ยนแปลงความยาวของแกนต่อโดยการพิจารณาแรงที่ต้องการสำหรับการกระตุ้นและระยะทางเชิงเส้นที่จะเคลื่อนย้ายไปได้ ดังนั้นจึงมีการตรวจสอบความยาวของแก่งานที่แตกต่างกัน 10 อันและต้องใช้แรงที่ต้องการและความยาวของจังหวะที่จำเป็นสำหรับการดำเนินการ กลไกนี้ถูกจำลองและจำลองเพื่อยืนยันการทำงาน จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ความเครียดของแกนโดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS™ สำหรับความยาวที่แตกต่างกัน 10 ช่วง (โดยให้แรงเป็นอินพุต) ดังภาพ 18 (Rajashekhar, Thirupathi, & Senthil, 2014)



ภาพ 17 การสร้างแบบจำลองการจำลองและการควบคุมกลไกบันไดแบบพับโดยใช้ MSC-Adams

ที่มา: (Rajashekhar et al., 2014)

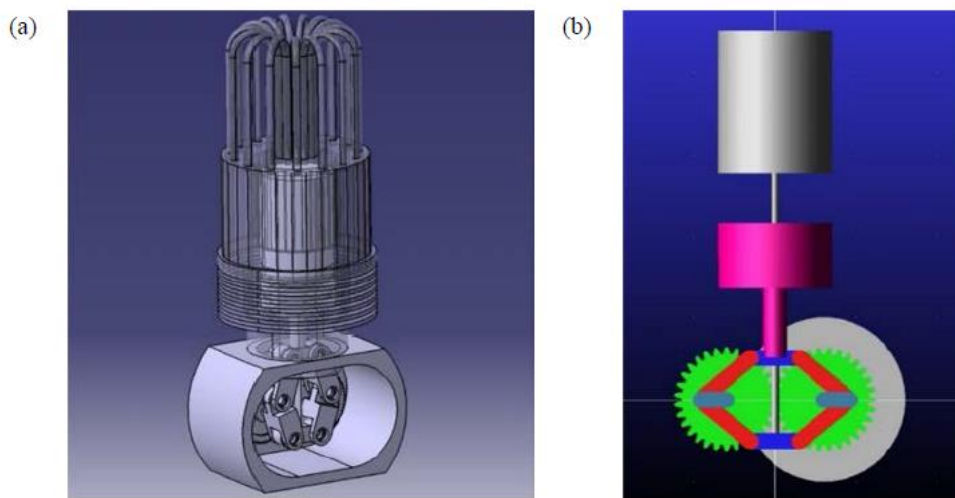


ภาพ 18 การวิเคราะห์ความเครียดของแกนต่อสำหรับความยาวที่แตกต่างกัน 10 ช่วงโดยใช้

ซอฟต์แวร์ ANSYS™

ที่มา: (Rajashekhar et al., 2014)

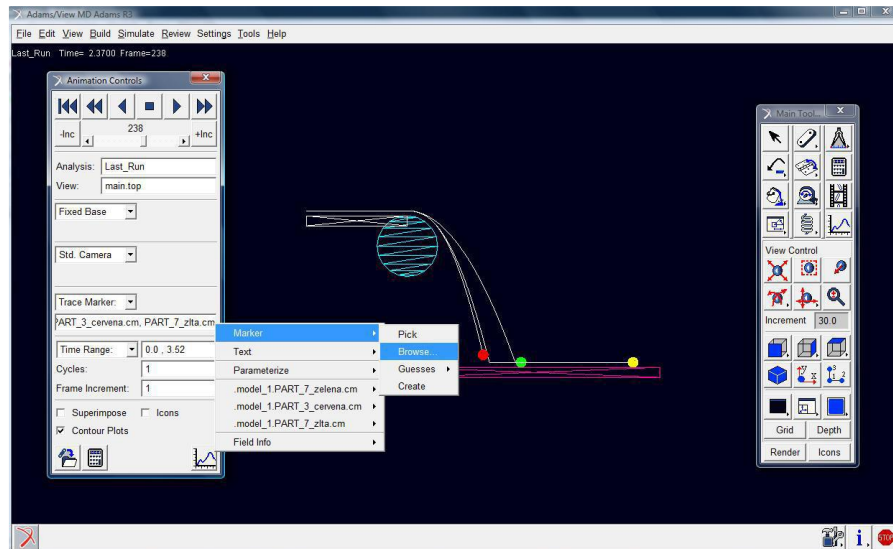
ในปีค.ศ.2016 Badr และคณะได้ทำการสร้างแบบจำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดเบต้าเครื่องยนต์รุ่น Schmidt เพื่อตรวจสอบความดันก๊าซโดยใช้โปรแกรม MSC-Adams ดังนั้นสามารถคำนวณแรงที่กระทำกับลูกสูบกำลังได้ ผลการวิจัยพบว่า กำลังขับสามารถเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำได้โดยการปรับพารามิเตอร์ทางเรขาคณิตของเครื่องยนต์ให้เหมาะสม ดังภาพ 19 (Badr, Fanni, Abdel-Rahman, & Rasoul, 2016)



ภาพ 19 การจำลองแบบไดนามิกและการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงไครฟ์โดยใช้ MSC-Adams

ที่มา: (Badr et al., 2016)

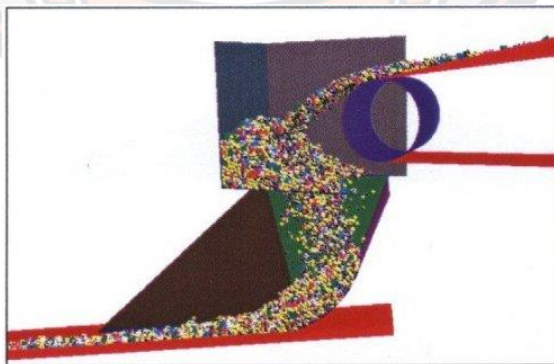
ในบทความของ Molnár, Vierošlav และ Šveda, Mikuláš ได้มีการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาควัสดุบนสายพานลำเลียงที่มีการตกอย่างอิสระ เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่และวิถีโคจรของอนุภาควัสดุที่มีการเคลื่อนที่จากสายพานลำเลียงหนึ่งแล้วตกลงไปยังสายพานลำเลียงอีกอันหนึ่งที่มีการกำหนดความเร็วเริ่มต้นที่แตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ โดยที่แบบจำลองถูกสร้างขึ้นในโปรแกรม MSC-Adams ที่เป็นเครื่องมือสำหรับการสร้างแบบจำลองและการสร้างภาพของแบบจำลองได้ง่ายที่มีการประเมินผลของผลลัพธ์ได้อย่างสะดวก ดังภาพ 20 (Molnár & Šveda, 2019)



ภาพ 20 การสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาควัสดุบนสายพานลำเลียงที่มีการตกอย่างอิสระ

ที่มา: (Molnár & Šveda, 2019)

และในบทความของ David J. และ Kruses P.E. ที่ได้มีการศึกษาแบบจำลองอนุภาคของวัตถุบนสายพานลำเลียงโดยใช้วิธีการ Discrete Element Method (DEM) มาวิเคราะห์เพื่อจำลองพฤติกรรมระหว่างอนุภาคของวัตถุที่ถูกขนส่งบนสายพานลำเลียง ดังภาพ 21 (David & Kruses, 2016)

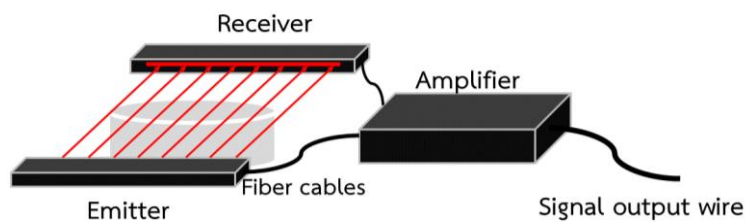


ภาพ 21 แบบจำลองอนุภาคของวัตถุบนสายพานลำเลียง

ที่มา: (David & Kruses, 2016)

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยา

ในบทความของ Al-Mallahi และคณะ ได้อธิบายเกี่ยวกับการประมาณค่าการไหลของมวลของวัตถุ โดยใช้เซ็นเซอร์ไฟเบอร์ออปติกดิจิทัล เช่นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับการไหลของวัตถุ เป็นเซ็นเซอร์ไฟเบอร์ออปติกแบบปิด (Keyence, FS-N10) ประกอบด้วยเครื่องส่งสัญญาณแสงและตัวรับสัญญาณ รวมถึงเครื่องขยายสัญญาณที่เชื่อมต่อกับสายเคเบิลใยแก้วนำแสงตามที่แสดงในภาพ 22 (Al-Mallahi & Kataoka, 2013)



ภาพ 22 เครื่องส่งสัญญาณแสงและตัวรับสัญญาณรวมถึงเครื่องขยายสัญญาณที่เชื่อมต่อกับสายเคเบิลใยแก้วนำแสง

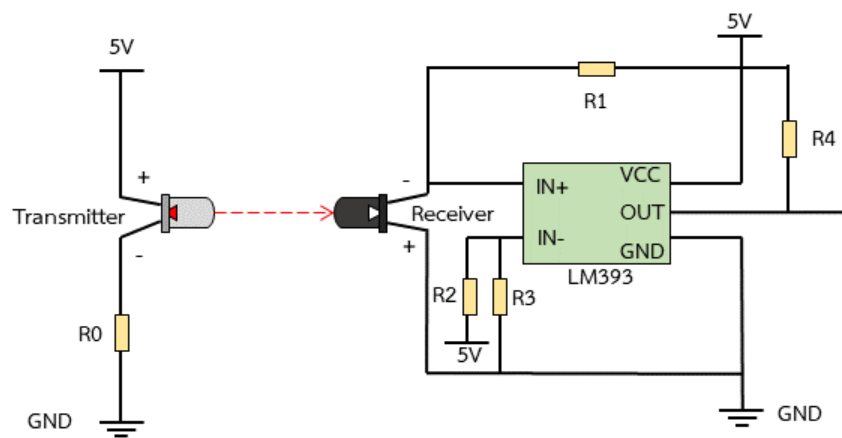
ที่มา: (Al-Mallahi & Kataoka, 2013)

ต่อมาในบทความของ Che และคณะ ได้นำเอาเทคโนโลยีการตรวจสอบด้วยการตรวจจับอินฟราเรดซึ่งเป็นเทคโนโลยีการตรวจสอบโฟโตอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป นำมาออกแบบโดยใช้โฟโตอิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ชนิดวางไว้ตรงกันข้ามกัน ซึ่งมีตัวส่งสัญญาณที่ใช้ LED อินฟราเรด (ไดโอดเปล่งแสง) ให้สัญญาณอินฟราเรดไปยังตัวรับสัญญาณ เมื่อตัวรับสัญญาณมีการตอบสนองของแสง โฟโตไดโอดของตัวรับสัญญาณจะส่งค่าของสัญญาณออกมา เพื่อตรวจจับวัตถุที่ไหลผ่าน เมื่อมีวัตถุอยู่ระหว่างตัวส่งและตัวรับสัญญาณ ตัวรับสัญญาณก็จะตรวจเจอวัตถุ ทำให้ค่าของสัญญาณลดลงและสามารถตรวจจับวัตถุได้เพื่อนับจำนวนของวัตถุ ที่ไหลผ่านทีละ 1 ชิ้นได้ (Che, Wei, Liu, Li, & Wang, 2017)

ส่วนในงานของ Karimi และคณะมีการหาแนวทางในการออกแบบเพื่อเปรียบเทียบชุดตรวจจับแบบไม่สัมผัสสำหรับการตรวจจับอัตราการไหลของวัตถุ โดยตรวจสอบจากอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจริง และได้มีการเสนอชุดตรวจจับแบบไม่สัมผัสทั้งหมด 3 แบบ โดยแต่ละแบบจะใช้ 1.) ตัวต้านทานแบบฟิงพาแสง (LDR) 2.) ชุดอินฟราเรด (IR) และ 3.) เลเซอร์ไดโอด (LD) ผลการศึกษาพบว่าค่า strong linear relationship ($r = 0.87$) ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของมวลวัตถุจริงกับแรงดันไฟฟ้า สอดคล้องกันในชุดตรวจจับอินฟราเรด (IR) เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบจากการตรวจจับแบบใช้ตัวต้านทานที่ฟิงพาแสง (LDR), ชุดอินฟราเรด (IR) และเลเซอร์ไดโอด (LD) ที่

ทดสอบ ได้มีการแนะนำว่าชุดตรวจจับแบบอินฟราเรด (IR) เป็นชุดตรวจจับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประมาณอัตราการไหลของวัตถุ (Karimi, Navid, Besharati, Behfar, & Eskandari, 2017)

ในบทความของ Liu และคณะ ได้เลือกชุดตรวจวัดรังสีอินฟราเรดสำเร็จรูป (Shenzhen Telesky electronics Co. , Ltd., China) มาใช้ในการทดลองซึ่งประกอบด้วยตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ในแรงดันไฟฟ้าของตัวรับสัญญาณ IR นั้นจะสอดคล้องกับความเข้มของแสงอินฟราเรดที่ได้รับ หน่วยประมวลผลสัญญาณ (SPU) ถูกออกแบบมาเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบอนาล็อกของตัวรับสัญญาณ IR เป็นสัญญาณระดับไฟฟ้า แผนภาพวงจรของ SPU แสดงในภาพ 23 องค์ประกอบหลักของ SPU มี LM393 เป็นเครื่องมือเปรียบเทียบความแตกต่าง เป็นหากไม่มีการตัดผ่านของวัตถุ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าแบบอนาล็อกที่พอร์ต IN + จะต่ำกว่าแรงดันอ้างอิงที่พอร์ต IN- ดังนั้น LM393 จะส่งค่าเอาต์พุต low level ในทางตรงกันข้ามเมื่อวัตถุตัดผ่านรังสีอินฟราเรดแรงดันอินพุตที่พอร์ต IN + จะสูงกว่าแรงดันอ้างอิง IN- ดังนั้น LM393 จะส่งค่าเอาต์พุต high level นั่นคือจะบอกว่าการส่งออกค่าของ SPU สามารถแสดงว่ามีวัตถุตัดผ่านระหว่างชุดตรวจวัดรังสีอินฟราเรดหรือไม่ (Liu et al., 2019)



ภาพ 23 Circuit diagram สำหรับ SPU

ที่มา: (Liu et al., 2019)

และในงานของ Besharati, B. และคณะพบว่าวัตถุต่าง ๆ มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกััน ซึ่งมันเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ใช้งานที่จะสามารถวัดอัตราการไหลของวัตถุได้ เพื่อจุดประสงค์นี้ระบบตรวจจับแสงแบบอินฟราเรดจึงได้รับการพัฒนาขึ้นจะประกอบไปด้วยหลอด LED IR และโฟโต้

ไดโอดที่วางไว้แบบตรงกันข้ามกัน เมื่อมีวัตถุไหลผ่าน ค่าของโฟโตนิกไดโอดที่รับแสงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางแรงดันไฟฟ้าทำให้เกิดการตอบสนอง โดยวัตถุที่จะนำมาทดสอบมีอยู่สามประเภทคือ ถั่วเขียว, ข้าวสาลี, และหญ้าอัลฟัลฟา วัตถุเหล่านี้มีขนาดตามลำดับใหญ่ กลางและละเอียด ทำการทดสอบโดยการวัดอัตราการไหลที่ได้จากการประมาณคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุกับแรงดันเซ็นเซอร์ขาออกพบว่าระบบตรวจจับแสงแบบอินฟราเรดสามารถนำไปใช้งานได้ (Besharati, Navid, Karimi, Behfar, & Eskandari, 2019)

2.3 เครื่องจ่ายยาที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

จากการศึกษาเบื้องต้นเครื่องจ่ายยาที่มีการจำหน่ายจะพบว่าเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติสำหรับใช้งานประจำที่บ้าน ยกตัวอย่างเครื่องจ่ายยาที่มีอยู่ประมาณ 5 ยี่ห้อ มีอยู่ 3 ยี่ห้อที่ได้มีการจัดจำหน่าย แล้วมีอีก 2 ยี่ห้ออยู่ในช่วงของการระดมทุน ซึ่งแต่ละยี่ห้อที่มีการจำหน่ายอยู่ต่างประเทศ สำหรับประเทศไทยยังไม่มีผู้นำเข้ามาจำหน่าย เครื่องจ่ายยายี่ห้อต่าง ๆ ที่ศึกษามีรายละเอียดดังนี้ ยี่ห้อแรกเป็นเครื่องจ่ายยาของยี่ห้อ Philips ที่มีการจำหน่ายอยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีคุณสมบัติในการแจ้งเตือนจากเครื่องด้วยระบบเสียงจะทำการแจ้งเตือนนาฬิกาครั้งเพื่อเตือนความจำ จนกว่าจะได้รับยา มีการแจ้งเตือนไปยังอุปกรณ์พกพาผ่านทางโทรศัพท์ไปยังผู้ดูแล โดยการป้อนข้อมูลจะถูกกำหนดตามตารางการใช้ยาตามที่แพทย์สั่ง สามารถบรรจุยาได้ด้วยการบรรจุแบบถ้วยยาเข้าไปในเครื่อง สามารถบรรจุได้มากถึง 60 ถ้วยและสามารถรองรับได้ถึงหกถ้วยต่อวันและการตั้งเวลาได้นานถึง 40 วัน มีระบบแจ้งเตือนเมื่อยาใกล้หมด มีระบบแจ้งเตือนเมื่อผู้ป่วยไม่ได้รับยาจะทำการแจ้งเตือนนาฬิกาครั้งจนกว่าจะได้รับยา การรับยาจะต้องกดปุ่มปลดล็อคเพื่อรับยา ดังภาพ 24 (philips, 2016)



ภาพ 24 เครื่องจ่ายยาของยี่ห้อ Philips

ที่มา: (philips, 2016)

ต่อมาเป็นของยี่ห้อ Hero มีการจำหน่ายอยู่ที่ New York ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่ใช้เพื่อเป็นที่จัดเก็บยาและจัดการจ่ายยา เพื่อให้สามารถรับวิตามินและยาได้อย่างถูกต้องตามเวลา โดยมีคุณสมบัติ การแจ้งเตือนจากเครื่องเมื่อถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ มีการแจ้งเตือนไปยังอุปกรณ์พกพา ถึงผู้ใช้จะไม่อยู่ในบ้านเครื่องก็สามารถแจ้งเตือนไปยังอุปกรณ์สื่อสารได้ โดยใช้การเชื่อมต่อผ่านแอปพลิเคชันของ Hero สามารถป้อนข้อมูลผ่านปุ่มและจอที่มีสำหรับการป้อนข้อมูล อีกทั้งยังสามารถบรรจุยาได้หลายชนิดและยาจะถูกจัดเก็บไว้อย่างปลอดภัย มีการแยกชนิดยาแต่ละชนิดตามรูปร่างของเม็ดยา มีระบบแจ้งเตือนเมื่อผู้ป่วยไม่ได้รับยา ช่วยเตือนให้ทานยาเมื่อถึงเวลาที่กำหนด และสามารถตรวจสอบสถานการณ์รับยาได้ สามารถใช้งานได้กับผู้ใช้หลายคนทั้งครอบครัว โดยมีระบบล็อคและป้องกันด้วยรหัสผ่านเพื่อให้ยาจ่ายให้กับผู้ใช้งานโดยเฉพาะ และระบบรักษาความปลอดภัยล็อคและป้องกันด้วยรหัสผ่านเพื่อให้ยาจ่ายให้กับผู้ใช้งานโดยเฉพาะ มีการแจ้งเตือนหากมีคน ปิดหรือเปิด ดังนั้นจะรู้ได้ว่ายาถูกเก็บรักษาไว้อย่างมีความปลอดภัย ผ่านการเชื่อมต่อแอปพลิเคชันของ Hero และมีการปรับปรุงด้วยซอฟต์แวร์อยู่เสมอ เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ Hero แสดงดังภาพ 25 (Hero, 2016)



ภาพ 25 เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ Hero

ที่มา: (Hero, 2016)

และเครื่องจ่ายยาอีกยี่ห้อที่มีจำหน่ายที่ South Carolina ประเทศสหรัฐอเมริกาคือยี่ห้อ Livi เป็นเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะสำหรับใช้ในบ้าน ที่ออกแบบมาสำหรับผู้ป่วยและผู้ดูแลเพื่อลดความซับซ้อนของการจัดการยาที่หลากหลายสำหรับผู้ป่วย ที่ใช้งานได้ง่ายและปลอดภัยเมื่อถึงเวลาที่ต้องทานยาป้อน สีเขียวจะสว่างขึ้น เพียงกดปุ่มก็ปล่อยเม็ดยาที่กำหนดไว้ เครื่องจ่ายยานี้สามารถแจกจ่ายยาที่มีขนาดแตกต่างกันได้ถึง 15 เม็ด ผู้ใช้และผู้ดูแลจะได้รับข้อความเมื่อ Livi จ่ายยาให้ตรงเวลาหรือถ้าผู้ใช้พลาดในการรับยาก็จะมีการแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแล เครื่องจ่ายยาชื่อ Livi แสดงดังภาพ 26 (Livi, 2019)



ภาพ 26 เครื่องจ่ายยาชื่อ Livi

ที่มา: (Livi, 2019)

ส่วนในอีก 2 ยี่ห้ออยู่ในช่วงของการระดมทุนได้แก่ยี่ห้อ Lumma เป็นเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการแก้ไขปัญหาสำหรับผู้ที่ใช้ยาและอาหารเสริม เพื่อป้องกันการจ่ายยาที่ผิดพลาดและการที่ไม่ได้รับยาอย่างถูกต้องและการทานยาที่ไม่ตรงต่อเวลา จึงได้มีการสร้างเครื่องมือจ่ายยานี้ขึ้นมาเพื่อที่สามารถช่วยจ่ายยาได้อย่างถูกต้องแม่นยำ Lumma เป็นเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่ใช้สำหรับภายในบ้าน ที่มีความสามารถในการจ่ายยาได้ถูกต้องตรงต่อเวลา และมีระบบแจ้งเตือนเพื่อให้ทราบเมื่อถึงเวลาที่ต้องได้รับยา โดยคุณสมบัติการแจ้งเตือนจากเครื่องมือถึงเวลาทานยาหรืออาหารเสริม ตัวเครื่องจะมีการแจ้งเตือนให้ทราบ มีการแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์เป็นแบบข้อความและทางอีเมลเมื่อถึงเวลาที่ต้องรับทานยา ใช้การป้อนข้อมูลให้กับเครื่องโดยผ่านจอทัชสกรีนหรือโทรศัพท์ผ่านสัญญาณบลูทูธ อีกทั้งยังมีการให้ความรู้ทางด้านสุขภาพ การให้ข้อมูลเกี่ยวกับยา ประสิทธิภาพของยา ผลข้างเคียง และข้อควรระวังในการใช้ยา และยังสามารถบรรจุยาได้หลายรูปแบบแต่สามารถบรรจุได้ที่ละ 1 ชนิดต่อหนึ่งเครื่องเท่านั้น มีระบบรักษาความปลอดภัยโดยข้อมูลทั้งหมดมีความ

ปลอดภัย HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996) ที่ได้รับการรับรองบนระบบคลาวด์และสามารถเข้าถึงได้ด้วยระบบ Android , Apple IOS , คอมพิวเตอร์ เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติหือ Lumma แสดงดังภาพ 27 (LITE, 2015)



ภาพ 27 เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติหือ Lumma

ที่มา: (LITE, 2015)

และหือ Pillo เป็นเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ สามารถช่วยให้คำปรึกษาด้านสุขภาพ และสามารถตอบคำถามเกี่ยวกับสุขภาพโดยการเชื่อมต่อกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านการดูแลสุขภาพได้โดยตรง เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการจัดการยาและอาหารเสริมต่าง ๆ มีคุณสมบัติ การแจ้งเตือนจากตัวเครื่องเอง การแจ้งเตือนไปยังอุปกรณ์พกพาที่มีการเชื่อมต่อแบบไร้สายเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น เช่น แจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์มือถือ และมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต Pillo สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่สวมใส่แบบไร้สาย สามารถติดตามผลการออกกำลังกายด้วยเครื่องมือที่ผู้ใช้สวมใส่ได้ เพื่อช่วยให้สามารถจัดการด้านสุขภาพได้ อีกทั้งยังมีความสามารถในการให้ความรู้ทางด้านสุขภาพได้ และสามารถเชื่อมต่อกับผู้เชี่ยวชาญด้านการดูแลสุขภาพได้โดยตรง สามารถบรรจยาได้หลายชนิดโดยมีการเตรียมยาไว้เป็นชุด ๆ ก่อน มีระบบแจ้งเตือนเมื่อยาใกล้หมด มีระบบแจ้งเตือนเมื่อผู้ป่วยไม่ได้รับยา Pillo สามารถส่งข้อมูลให้ผู้ดูแลผู้ป่วยและแจ้งเตือนถ้าต้องการความช่วยเหลือจากผู้เชี่ยวชาญได้ และใช้งานได้กับผู้ใช้หลายคนโดยมีเทคโนโลยีการจดจำใบหน้า ส่วนด้านระบบการรักษาความปลอดภัยมีการเก็บบรรจุและจ่ายวิตามินและยา และเทคโนโลยีการจดจำใบหน้าตัวอย่างผลิตภัณฑ์ แสดงดังภาพ 28 (The Pillo Health Team, 2016)



ภาพ 28 เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติชื่อ Pillo

ที่มา: (The Pillo Health Team, 2016)

สำหรับข้อแตกต่างระหว่างเครื่องจ่ายยาที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดถูกนำมาเปรียบเทียบฟังก์ชันกับ
เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติดังแสดงในตาราง 2

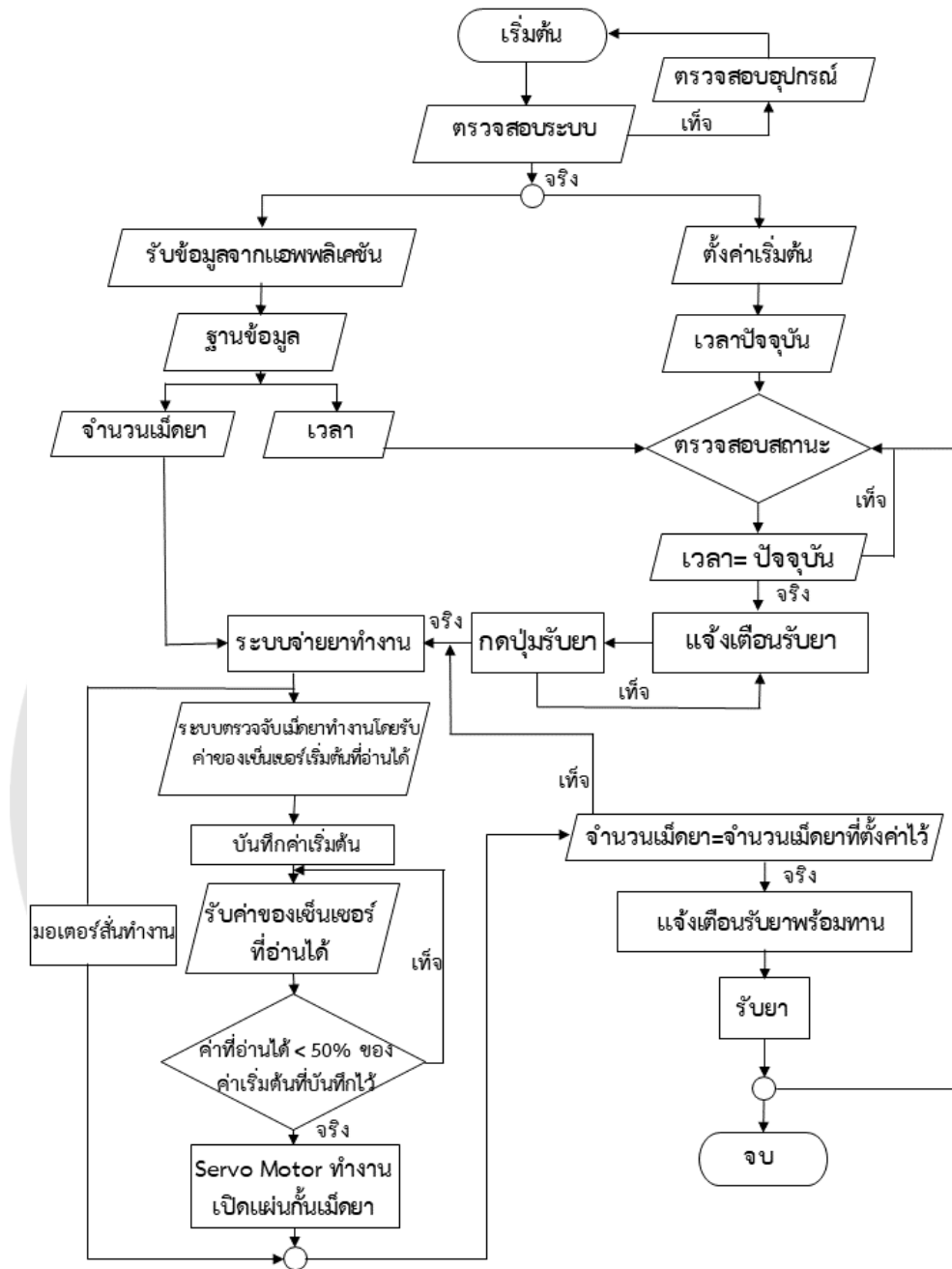
ตาราง 2 ตารางเปรียบเทียบฟังก์ชันการใช้งานของเครื่องจ่ายยาที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด

ยี่ห้อ	Philips	Hero	Livi	Lumma	Pillo	เครื่องจ่ายยา อัตโนมัติ
การใช้งาน						
แจ้งเตือนจาก ตัวเครื่อง	✓	✓	✓	✓	✓	✓
แจ้งเตือนไปยัง อุปกรณ์พกพา	✓	✓	✓	✓	✓	✓
การป้อนข้อมูล	กำหนดตาม คำสั่งแพทย์	ผ่านปุ่มและจอ	ผ่านปุ่มและจอ	ผ่านจอ	ผ่านจอ	ผ่านจอและ แอปพลิเคชัน
การตอบ คำถามด้าน สุขภาพ	✓	-	✓	-	✓	-
บรรจุยาได้ หลายชนิด	✓	✓	✓	✓	✓	✓
การจัดเตรียม ยา	บรรจุลงในถ้วย ไว้ก่อนล่วงหน้า	บรรจุตามชนิด ของเม็ดยา	บรรจุตามชนิด ของเม็ดยา	ไม่ทราบข้อมูล	เตรียมเป็นชุด ล่วงหน้า	บรรจุตามชนิด ของเม็ดยา
ระบบแจ้งเตือน เมื่อยาใกล้หมด	-	✓	✓	-	✓	-
การแยกชนิด ยาและรูปร่าง	-	✓	✓	-	-	✓
ระบบแจ้งเตือน เมื่อผู้ป่วยไม่ได้ รับยา	-	✓	✓	✓	-	✓
ใช้งานได้กับ ผู้ใช้หลายคน	-	✓	✓	-	✓	✓

บทที่ 3

การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

เครื่องจ่ายยาอัตโนมัติประกอบด้วยส่วนที่สำคัญอยู่หลายส่วนเช่น ส่วนของระบบจ่ายยา ระบบตรวจจับเม็ดยา ระบบการแจ้งเตือน เป็นต้น การทำงานของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ จะมีการทำงานร่วมกันกับระบบอื่น ๆ ในเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ เริ่มต้นจากการรับข้อมูลยาที่จะทำการจ่ายยาในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ เมื่อถึงเวลาจ่ายยาตามที่ได้กำหนดไว้ ระบบจะมีการแจ้งเตือนให้ผู้บริโภครีบทราบเพื่อให้มารับยา หลังจากที่ผู้บริโภครีบมารับยาเสร็จ ระบบจ่ายยาจะได้รับคำสั่งให้ทำหน้าที่ในการจ่ายยามาจากระบบจ่ายยา จากนั้นเมื่อเม็ดยาถูกจ่ายออกมาจากระบบจ่ายยา เม็ดยาก็จะเคลื่อนที่ไปยังระบบตรวจจับเม็ดยา ซึ่งในส่วนของระบบตรวจจับเม็ดยานั้นก็จะมีชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) จำนวน 4 ชุด เมื่อชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ได้มีการตรวจเจอเม็ดยาที่ถูกจ่ายมาจากระบบจ่ายยา ระบบจ่ายยาจะได้รับคำสั่งให้หยุดทำงาน เพื่อให้หยุดการจ่ายเม็ดยา และในส่วนของชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) เมื่อได้ตรวจจับเม็ดยาเสร็จก็ได้มีปล่อยเม็ดยาให้ผู้บริโภคที่มารับยา และเมื่อมียาหลายชนิดระบบก็จะได้ทำการจ่ายยาเม็ดอื่น ๆ ให้ครบตามที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่ขั้นแรก เมื่อเครื่องจ่ายยาได้ทำการจ่ายยาให้กับผู้บริโภคได้รับครบตามจำนวนที่กำหนดไว้ ตัวเครื่องก็จะมีสัญญาณแจ้งเตือนให้ผู้บริโภคนำยาที่จ่ายมาไปรับประทานได้ จากนั้นระบบก็จะได้มีการเริ่มต้นทำงานใหม่ เมื่อถึงเวลารับประทานยาในรอบถัดไป ดังภาพ 29 แสดงการทำงานของทุกระบบของเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ แต่ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ทางผู้ทำวิจัยได้มุ่งเน้นการศึกษาค้นคว้าไปที่การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติและการพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยาเป็นหลัก เนื่องจากระบบ 2 ส่วนนี้เป็นหัวใจสำคัญหลักของเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ



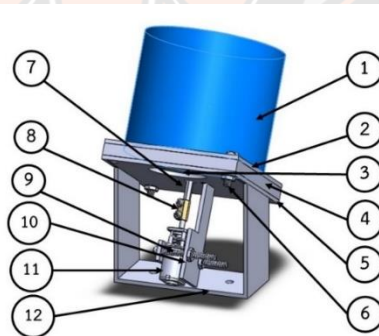
ภาพ 29 การทำงานของทุกระบบของเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

3.1 การพัฒนาระบบจ่ายยาและระบบการตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้าน (รุ่นแรก)

การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ นั้น ได้มีการเริ่มต้นมาจากปริญญาานิพนธ์เรื่องการพัฒนาเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้าน (Development of a Smart Home Medicine Dispenser) ได้มีการพัฒนาเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ (รุ่นแรก) ขึ้นมาโดยมีการสร้างเครื่องต้นแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้จ่ายยาให้กับผู้ป่วยและผู้สูงอายุได้ถูกต้องแม่นยำและตรงตามเวลา เพื่อให้คุณภาพชีวิตการเป็นอยู่ที่ดีขึ้น และช่วยป้องกันอันตรายจากการทานยาที่ผิดพลาด ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นการต่อยอดของการพัฒนาและวิเคราะห์กลไกระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ (รุ่นที่ 2)

ระบบจ่ายยา (รุ่นแรก)

ระบบจ่ายเป็นระบบที่มีความสำคัญมากต่อเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้านเพราะระบบจ่ายยาจะทำหน้าที่ในการจ่ายยาทีละ 1 เม็ด เพราะฉะนั้นระบบจ่ายยาต้องมีหน้าที่ในการจ่ายยาได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้านมีความสามารถในการจ่ายยาได้มากถึง 8 ชนิด ซึ่งยาแต่ละชนิดก็จะมีขนาดที่แตกต่างกันทั้งรูปร่าง ขนาด ความหนา ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดชนิดของเม็ดยาที่มีความแตกต่างกันทั้งหมด 8 ชนิด และได้สร้างเป็นเครื่องต้นแบบขึ้นมาเพื่อที่จะทำการศึกษาและทำการทดสอบการทำงานของระบบ เนื่องจากระบบจ่ายยาแบบเดิมในรุ่นแรกอุปกรณ์ที่นำมาใช้สร้างเป็นตัวต้นแบบได้เลือกใช้วัสดุที่หาได้ง่ายทั่วไปตามร้านขายวัสดุก่อสร้างเพื่อที่จะได้สร้างตัวต้นแบบขึ้นมาให้สามารถทำงานได้ตามรูปแบบฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการ ลักษณะของระบบจ่ายยาแบบเดิมแสดงดังภาพ 30



ภาพ 30 ลักษณะของระบบจ่ายยา

ที่มา: (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

จากภาพ 30 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบการจ่ายยาประกอบด้วย 12 ส่วน ในตาราง 3 ดังนี้
ตาราง 3 แสดงลักษณะส่วนประกอบทั้ง 12 ส่วนของระบบจ่ายยา

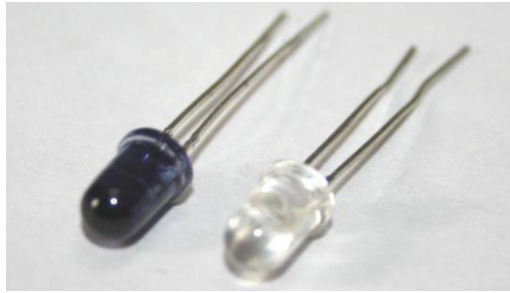
ลำดับ	ส่วนประกอบ
1.	ช่องใส่ยา (มาจากท่อ PVC)
2.	แผ่นป้องกันยาคกช่องทางออก
3.	แผ่นจับเม็ดยา
4.	แผ่นกั้นระหว่างช่อง
5.	แผ่นช่องทางออกของเม็ดยา
6.	นอตตัวผู้ตัวเมียยึดแผ่นกั้น
7.	เพลลาจับแผ่นจับเม็ดยา
8.	ตัวยึดมอเตอร์กับเพลลา
9.	นอตยึดมอเตอร์กับแผ่นยึดมอเตอร์
10.	แผ่นยึดมอเตอร์
11.	มอเตอร์เกียร์ทด 100 รอบต่อนาที
12.	ขายึด

ที่มา: (อัครวินท์ ครองไชย et al., 2016)

เนื่องจากยาที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 8 ชนิด ที่มีลักษณะรูปร่างที่ต่างกัน ดังนั้นระบบจ่ายยาของเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะประจำบ้านจึงมีช่องจ่ายยาถึง 8 ช่องซึ่งแต่ละช่องจะมีอุปกรณ์บางส่วนที่เหมือนกันและมีอุปกรณ์บางส่วนแต่ละช่องก็จะมีลักษณะต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของเม็ดยาแต่ละชนิด

ระบบการตรวจจับเม็ดยา (รุ่นแรก)

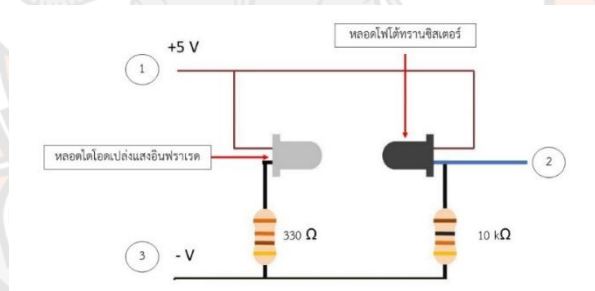
ในส่วนของระบบการตรวจจับเม็ดยาในรุ่นแรกนั้น โดยจะใช้หลักการทำงานของหลอดโฟโตไดทรานซิสเตอร์ร่วมกับหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด โดยหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดจะเปล่งแสงอินฟราเรดออกมา เมื่อหลอดโฟโตไดทรานซิสเตอร์ได้รับแสงอินฟราเรดจะทำให้เกิดค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป จึงได้นำหลักการทำงานของหลอดโฟโตไดทรานซิสเตอร์ร่วมกับหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดมาใช้เป็นเซนเซอร์ในระบบตรวจนับเม็ดยา หลอดโฟโตไดทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดแสดงในภาพ 31



ภาพ 31 หลอดไฟไดโอดทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด

ที่มา: (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

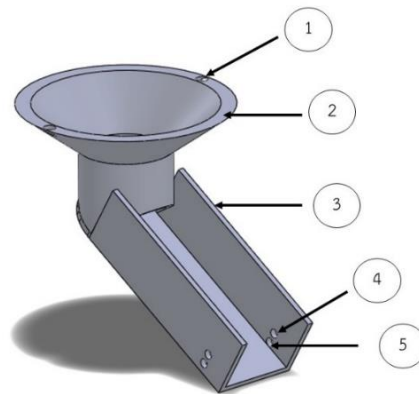
หลักการการทำงานของหลอดไฟไดโอดทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดมาใช้เป็นเซ็นเซอร์ในระบบตรวจจับเม็ดทราย วงจรของหลอดไฟไดโอดทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดถูกแสดงในภาพ 32



ภาพ 32 แสดงวงจรของหลอดไฟไดโอดทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด

ที่มา: (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

จากภาพ 32 วงจรของหลอดไฟไดโอดทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรด ที่ตำแหน่งหมายเลข 1 คือการจ่ายกระแสไฟบวก 5 V ที่ถูกจ่ายไปเลี้ยงวงจรของระบบ เมื่อหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดเปล่งแสงออกมาจะทำให้หลอดไฟไดโอดทรานซิสเตอร์ทำงานและสามารถวัดกระแสไฟจากหลอดไฟไดโอดทรานซิสเตอร์ได้ที่ตำแหน่งหมายเลข 2 และในส่วนของตำแหน่งที่หมายเลข 3 คือไฟลบของวงจรเพื่อในวงจรได้ทำงานครบวงจรหลอดไฟไดโอดทรานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดจะถูกติดเข้ากับระบบตรวจจับเม็ดทรายดังภาพ 33



ภาพ 33 ระบบตรวจจับเม็ดยาและส่วนประกอบของระบบตรวจจับเม็ดยา

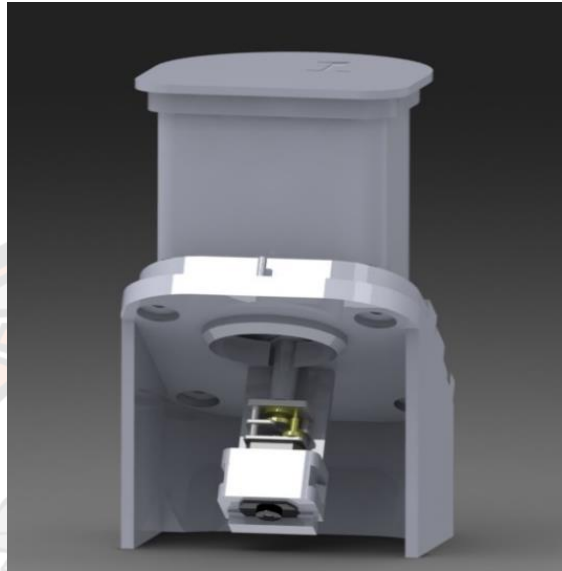
ที่มา: (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

จากภาพ 33 ส่วนประกอบของระบบตรวจจับเม็ดยาแต่ละส่วนมีลักษณะดังต่อไปนี้
 หมายเลข 1 คือรูที่มีไว้สำหรับใส่น็อตเพื่อยึดเข้ากับตัวเครื่องเพื่อให้สามารถถอดประกอบได้ง่าย
 หมายเลข 2 คือส่วนที่รองรับเม็ดยามาจากระบบลำเลียงเม็ดยา
 หมายเลข 3 คือส่วนที่นำเม็ดยาไปยังหลอดไฟโตทธานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดเพื่อตรวจนับเม็ดยาก่อนที่จะถูกจ่ายไปยังผู้ใช้งาน
 หมายเลข 4 คือส่วนที่ติดตั้งหลอดไฟโตทธานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดเพื่อตรวจนับเม็ดยาชุดที่ 1
 หมายเลข 5 คือส่วนที่ติดตั้งหลอดไฟโตทธานซิสเตอร์และหลอดไดโอดเปล่งแสงอินฟราเรดเพื่อตรวจนับเม็ดยาชุดที่ 2 (อัศวินท์ ครองไชย et al., 2016)

3.2 การพัฒนาและวิเคราะห์กลไกระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ (รุ่นที่ 2)

ในส่วนของการพัฒนาและวิเคราะห์กลไกระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติรุ่นที่สอง ได้มีการปรับปรุงรูปแบบของระบบจ่ายยา โดยมีการออกแบบด้วยโปรแกรมการออกแบบสามมิติในคอมพิวเตอร์ แล้วได้ทำการสร้างแบบจำลองการทำงานเสมือนจริงของระบบจ่ายยา เพื่อทดสอบการทำงานว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริงหรือไม่ โดยการใช้โปรแกรม MSC-Adams ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์การทำงานของระบบจ่ายยา หลังจากที่ได้ทำการออกแบบและสร้างแบบจำลอง เพื่อทดสอบการทำงานของระบบจ่ายยาแล้ว จึงได้ใช้เครื่องมือสามมิติมาขึ้นรูปในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ เพราะการออกแบบด้วยโปรแกรมในคอมพิวเตอร์และขึ้นรูปมาจากเครื่องมือ

สามมิติ สามารถสร้างชิ้นงานที่มีความซับซ้อนที่มีขนาดและมีความแม่นยำสูงได้มากกว่าเดิม แต่ยังคงใช้หลักการทำงานคล้ายแบบเดิม ลักษณะระบบจ่ายยาแบบพัฒนาและขึ้นรูปจากเครื่องพิมพ์สามมิติ แสดงดังภาพ 34



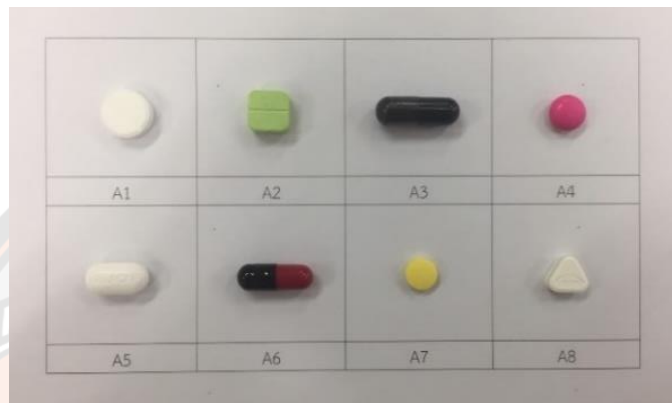
ภาพ 34 ลักษณะระบบจ่ายยาแบบพัฒนาและขึ้นรูปจากเครื่องพิมพ์สามมิติ

ในการการออกแบบสามมิติและการสร้างแบบจำลองการทำงานเสมือนจริงของระบบจ่ายยา ต้องมีการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาที่จะนำมาใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ เนื่องจากระบบจ่ายยาสำหรับการจ่ายยาแต่ละชนิดนั้นจะสามารถจ่ายยาได้ต้องขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาแต่ละชนิด ฉะนั้นทางผู้วิจัยจึงได้มีการศึกษาและเก็บข้อมูลลักษณะของเม็ดยาตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในการทำงานวิจัย ซึ่งเม็ดยาที่จะได้นำมาทดสอบนั้นจะมีตัวอย่างทั้งหมดอยู่ 8 ชนิดที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันและความหลากหลาย

3.2.1 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ

ในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบนั้น จะมีอยู่ทั้งหมด 8 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะนำตัวอย่างของเม็ดยามาเก็บข้อมูลชนิดละ 20 เม็ด โดยการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาจะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่จำเป็นที่จะต้องใช้ในการนำมาสร้างแบบจำลอง หลังจากนั้นก็นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยาแต่ละเม็ดขึ้นมา ดังนั้นการเก็บข้อมูลของเม็ดยาตัวอย่างแต่ละชนิดนั้นก็จะมีกรเก็บข้อมูลที่แตกต่างกันไป โดยการเก็บข้อมูลของเม็ดยาตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีการให้สัญลักษณ์แทนตัวอย่างเม็ดยาแต่ละชนิดเช่น เม็ดยาตัวอย่าง

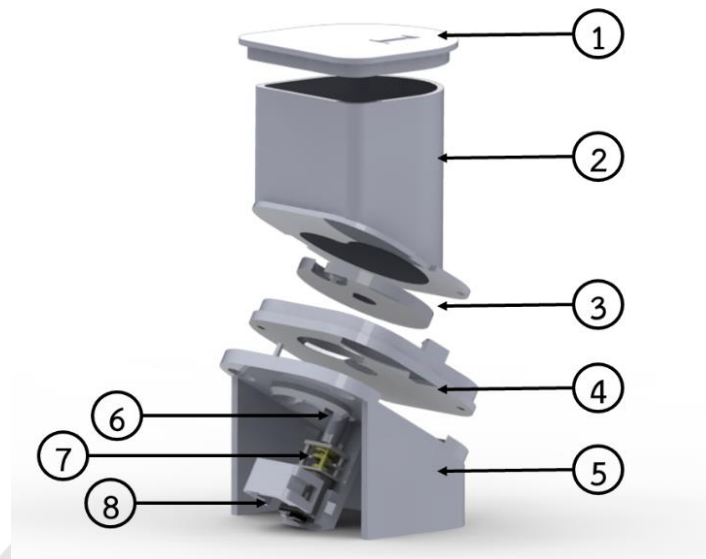
ชนิดที่ 1 จะใช้สัญลักษณ์ A1 แทน จนไปถึงเม็ดยาตัวอย่างชนิดที่ 8 ก็จะใช้สัญลักษณ์ A8 แทนเม็ดยาชนิดที่ 8 เป็นต้นดังแสดงในภาพ 35 ในส่วนเม็ดยาของยาแต่ละชนิดก็จะแทนด้วยตัวเลข ที่ขึ้นด้วยชนิดของเม็ดยาตามด้วย _ และลำดับของเม็ดยาของยาแต่ละชนิดเช่น เม็ดยาชนิดที่ 1 เม็ดที่ 1 ก็จะใช้ สัญลักษณ์ A1_1 ถ้าเม็ดยาชนิดที่ 2 เม็ดที่ 2 ก็จะใช้ สัญลักษณ์ A2_2 เป็นต้น ฉะนั้นเม็ดยาตัวอย่างชนิดที่ 1 ก็จะมีสัญลักษณ์แทนตั้งแต่ A1_1 ถึง A1_20



ภาพ 35 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาที่ใช้ในการศึกษา

3.2.2 การออกแบบระบบจ่ายยา

การออกแบบระบบจ่ายยา หลังจากที่ได้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ จึงได้ทำการออกแบบระบบจ่ายยาโดยอ้างอิงมาจากหลักการของระบบจ่ายยาแบบเดิมแต่ใช้การออกแบบด้วยโปรแกรมการออกแบบสามมิติ ข้อดีของการออกแบบด้วยโปรแกรมสามมิติทำให้สามารถสร้างระบบจ่ายยาต้นแบบได้ง่ายขึ้น ได้รูปแบบที่ดีขึ้น ได้ขนาดตรงตามที่กำหนด อีกทั้งยังสามารถเห็นข้อบกพร่องได้ก่อนการสร้างตัวต้นแบบขึ้นมา การออกแบบระบบจ่ายยาในการพัฒนาและวิเคราะห์กลไกระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ (รุ่นที่ 2) นั้นจะมีลักษณะอธิบายดังภาพ 36



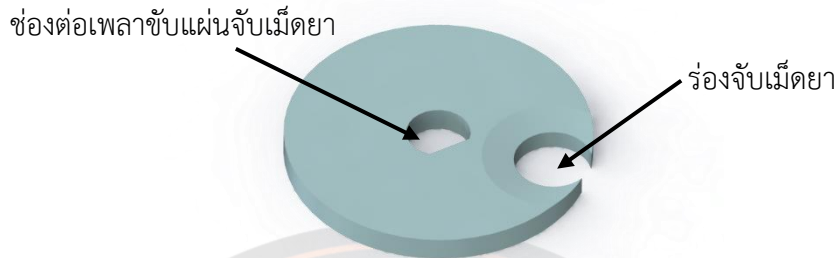
ภาพ 36 การออกแบบระบบจ่ายยาในการพัฒนาและวิเคราะห์กลไกระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ (รุ่นที่ 2)

ตาราง 4 ลักษณะส่วนประกอบทั้ง 8 ส่วนของระบบจ่ายยา

ส่วนที่	ส่วนประกอบ
1.	ฝาปิดช่องใส่เม็ดยา
2.	ช่องใส่เม็ดยา
3.	แผ่นจับเม็ดยา
4.	แผ่นกั้นระหว่างช่อง
5.	ฐานระบบจ่ายยา
6.	เพลาชับแผ่นจับเม็ดยา
7.	มอเตอร์
8.	ที่ล้อคมอเตอร์

จากส่วนประกอบของระบบจ่ายยาที่กล่าวมาข้างต้นจะมีอยู่สองส่วนที่สำคัญที่ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของเม็ดยา คือส่วนที่ 3 คือแผ่นจับเม็ดยา ซึ่งในส่วนของแผ่นจับเม็ดยานี้จะต้องมีการบากร่องจับเม็ดยาให้มีลักษณะตามความเหมาะสมทางกายภาพของเม็ดยา เพราะแผ่นจับเม็ดยามีหน้าที่ในการจับเม็ดยาในจ่ายออกมาได้ที่ละหนึ่งเม็ด ถ้าร่องจับเม็ดยามีขนาดไม่เหมาะสมก็อาจจะทำให้ระบบจ่ายเกิดการจ่ายยาที่ผิดพลาดได้ อาทิเช่น ถ้าหากร่องจับเม็ดยามีขนาดเล็กกว่าเม็ดยาก็จะ

ทำให้ไม่สามารถจับเม็ดยาแล้วจ่ายเม็ดยาออกมาได้ หรือถ้าหากว่าร่องจับเม็ดยาให้มีขนาดใหญ่มากเกินไปก็อาจจะทำให้จ่ายเม็ดยาได้เกินออกมาตามที่กำหนด ส่วนแผ่นจับเม็ดยาจะแสดงตัวอย่างดังภาพ 37



ภาพ 37 ตัวอย่างของส่วนแผ่นจับเม็ดยา

และอีกหนึ่งส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของระบบจ่ายยาคือส่วนที่ 4 คือแผ่นกั้นระหว่างช่อง ในส่วนแผ่นกั้นนี้จะมีขนาดขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพความหนาของเม็ดยาเพราะถ้าส่วนแผ่นกั้นระหว่างช่องมีความหนาที่ไม่เหมาะสมเช่นหนาน้อยกว่าความหนาของเม็ดยาเม็ดยา也不能ถูกระบบจ่ายยาจ่ายออกมาได้ ในทางตรงกันข้ามถ้าหากแผ่นกั้นระหว่างช่องมีความหนามากเกินไปก็จะทำให้เม็ดยาออกมาเกินหนึ่งเม็ด และในแผ่นกั้นระหว่างช่องก็จะมีช่องทางออกสำหรับเม็ดยาเพื่อจ่ายเม็ดยาออกจากระบบจ่ายยา ตัวอย่างของแผ่นกั้นระหว่างช่องและช่องทางออกแสดงดังภาพ 38



ภาพ 38 ตัวอย่างของส่วนแผ่นกั้นระหว่างช่อง

สำหรับส่วนประกอบอื่น ๆ ของระบบจ่ายยาที่ไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของเม็ดยา ได้แก่ ส่วนของฝาปิดช่องใส่ยามีหน้าที่ปิดช่องจ่ายยา เพื่อป้องกันเม็ดยาเกิดการปนเปื้อนและป้องกันเม็ดยากระเด็นออกมาจากช่องใส่ยา ส่วนช่องใส่ยามีไว้เพื่อบรรจุเม็ดยาที่เตรียมการไว้สำหรับรอจ่ายในระบบจ่ายยาและในส่วนของช่องใส่เม็ดยาจะมีส่วนหนึ่งที่มีไว้สำหรับกันเม็ดยาดกช่องทางออกเพื่อไม่ให้เม็ดยาถูกจ่ายออกมาเกินหนึ่งเม็ดตามที่กำหนดไว้ แสดงดังภาพ 39

ส่วนกันเม็ดยาดกช่องทางออก



ภาพ 39 ตัวอย่างของส่วนกันเม็ดยาดกช่องทางออก

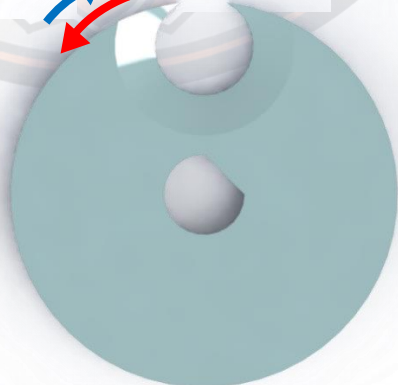
ส่วนฐานของระบบจ่ายยามีไว้สำหรับเป็นที่ตั้งเพื่อรองรับระบบจ่ายยาและสามารถนำไปประกอบเข้ากับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ ส่วนเพลลาขับแผ่นจับเม็ดยามีหน้าที่ในการส่งแรงที่ถูกขับมาจากมอเตอร์ มอเตอร์ที่ใช้จะเป็นมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ขนาด Mini DC 6V 100RPM Gear Motor (GA12-N20) ดังภาพ 40 มอเตอร์เป็นส่วนสำคัญหลักส่วนหนึ่งของระบบจ่ายยาที่มีไว้เพื่อให้กำลังขับแผ่นจับเม็ดยาในระบบจ่ายยา และส่วนที่ลือคมอเตอร์มีไว้สำหรับลือคมอเตอร์ให้ยึดติดอยู่กับส่วนฐานของระบบจ่ายยา



ภาพ 40 มอเตอร์ขนาด Mini DC 6V 100RPM Gear Motor (GA12-N20)

หลักการทำงานของระบบจ่ายยาคือเริ่มต้นจากการบรรจุเม็ดยาลงในช่องจ่ายยาแล้วทำการปิดฝาให้สนิท เมื่อถึงเวลาจ่ายยามอเตอร์ก็จะถูกสั่งการควบคุมให้ทำงานส่งกำลังผ่านเพลาคับแผ่นจับเม็ดยา เพื่อขับเคลื่อนแผ่นจับเม็ดยาตัวแผ่นจับเม็ดยา ก็จะเกิดการหมุน ในการทำงานของมอเตอร์ในส่วนแผ่นจับเม็ดยานี้จะมีลักษณะการหมุนที่หมุนไปข้างหน้า 45 องศาเป็นเวลา 0.9 วินาทีและหมุนกลับ 15 องศาเป็นเวลา 0.3 วินาที ซึ่งการหมุนในลักษณะนี้ได้มีการอ้างอิงมาจากการหมุนของแผ่นจับเม็ดยาจากเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติรุ่นแรก (อัศวินท์ ครอบงาย et al., 2016) ด้วยลักษณะการหมุนแบบนี้ จะทำให้เม็ดยาเกิดการเคลื่อนที่ไป-มา เหมือนเป็นการเขย่าไปในตัวและจะทำให้เม็ดยาตกลงไปยังร่องจับเม็ดยาได้พอดีและสามารถทำงานได้ดีกว่าการหมุนส่วนแผ่นจ่ายยาไปในทิศทางเดียว แล้วแผ่นจับเม็ดยา ก็จะหมุนไปเรื่อยๆ จนจ่ายเม็ดยาเสร็จทีละ 1 เม็ด ลักษณะของการหมุนแผ่นจับเม็ดยาแสดงดังภาพ 41

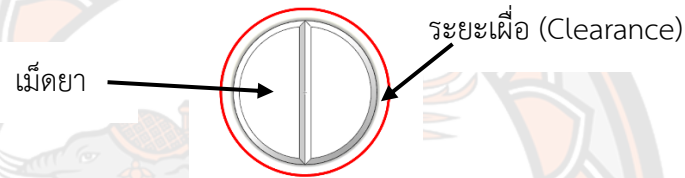
15 องศา 45 องศา



ภาพ 41 ลักษณะของการหมุนแผ่นจับเม็ดยา

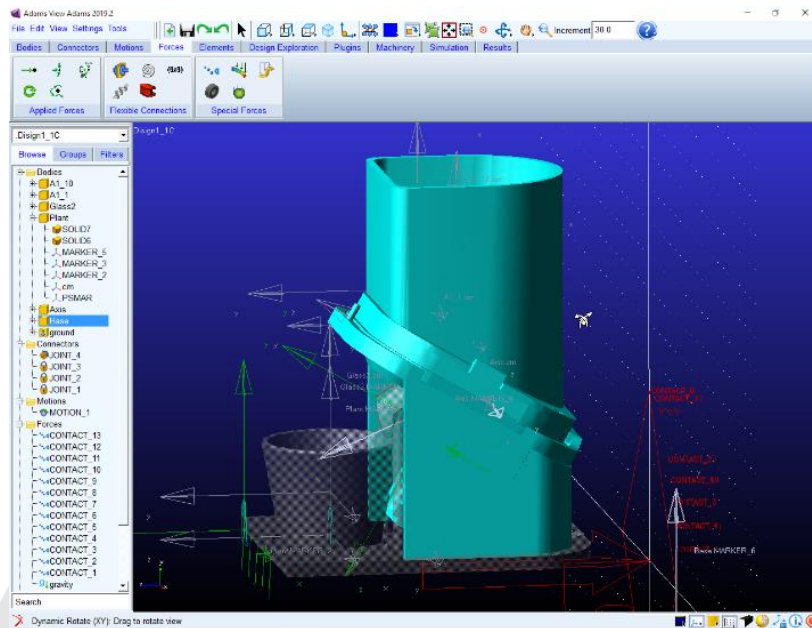
3.2.3 การสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์กลไกสำหรับระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

การสร้างแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์กลไกระบบจ่ายยาของเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ หลังจากที่ได้ทำการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ และได้ทำการออกแบบระบบจ่ายยาให้สามารถจ่ายเม็ดยาตัวอย่างทั้ง 8 ชนิดได้ จากนั้นจึงได้ทำการสร้างแบบจำลองขึ้นมา เพื่อทดสอบการทำงานของระบบจ่ายยาว่าระบบจ่ายยาที่ได้ทำการออกแบบนั้นสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ โดยการทดสอบนั้นจะมีการทดสอบโดยการหาขนาดร่องบากที่เหมาะสมกับเม็ดยาตัวอย่างแต่ละชนิด ซึ่งขนาดของร่องบากที่เหมาะสมนั้นหาได้จากระยะเผื่อ (Clearance) ที่ได้ข้อมูลมาจากลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ ดังแสดงตัวอย่างในภาพ 42



ภาพ 42 ตัวอย่างระยะเผื่อ (Clearance)

สำหรับการทดสอบการหาขนาดร่องบากที่เหมาะสมกับเม็ดยาตัวอย่างแต่ละชนิด ในส่วนของส่วนแผ่นจับเม็ดยาอยู่ในการทดสอบที่ 1 การหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา และได้มีการทดสอบเสริม เรื่องการวางตำแหน่งร่องบากสำหรับเม็ดยาบางชนิด (เม็ดยาชนิด A2) เมื่อได้ข้อสรุปของร่องบากที่เหมาะสม แล้วจึงได้ทำการทดสอบในแบบจำลองว่าระบบจ่ายยานั้นสามารถใช้งานได้กับเม็ดยาทั้ง 8 ชนิดได้ดีหรือไม่ ในการทดสอบที่ 2 การทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ หลังจากทำการทดสอบและวิเคราะห์กลไกการทำงานของระบบการจ่ายยาเม็ดยาแต่ละชนิดแล้ว จึงได้มีการเปรียบเทียบกับกลไกที่สร้างขึ้นจริงที่เลือกมาหนึ่งชนิดเพื่อการทำ Validation ส่วนการจำลองการทำงานของระบบจ่ายยาที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมานี้ทางผู้ทำวิจัยได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ของ MSC-Adams สำหรับการศึกษาวิจัยในการสร้างแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์กลไกระบบจ่ายยาของเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ ดังภาพ 43 แสดงตัวอย่างการใช้ MSC-Adams ในฟังก์ชัน Adams View 2019.2 ทำแบบจำลองการวิเคราะห์กลไกการทำงานของระบบการจ่ายยาเม็ดยา สำหรับตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม MSC-Adams จะอธิบายรายละเอียดการใช้งานและขั้นตอนการสร้างแบบจำลองในภาคผนวก ง

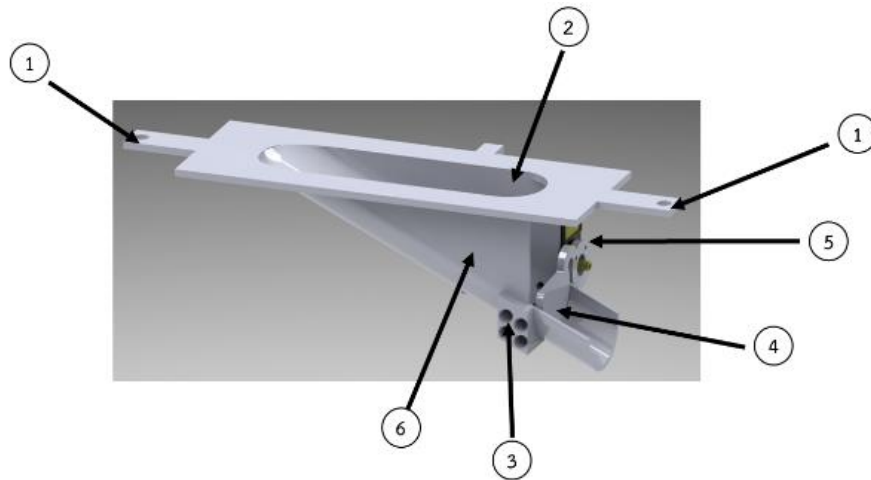


ภาพ 43 การใช้ MSC-Adams สร้างแบบจำลองการวิเคราะห์กลไกการทำงานของระบบการจ่ายยา
เม็ดยา

3.3 การพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

3.3.1 การออกแบบระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

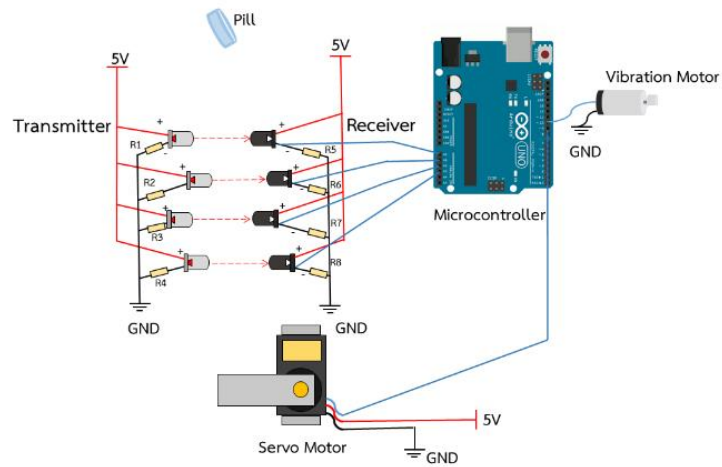
การออกแบบระบบตรวจจับเม็ดยา ระบบตรวจจับเม็ดยาถือว่าเป็นระบบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ เป็นส่วนที่รับเม็ดยาต่อมาจากระบบจ่ายยามาทีละ 1 เม็ด เพื่อนำเม็ดยาที่ถูกจ่ายมาตรวจสอบความถูกต้องของเม็ดยา โดยใช้ชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) เป็นตัวตรวจจับและนับเม็ดยา ซึ่งในตัวระบบตรวจจับเม็ดยาถูกออกแบบและสร้างขึ้นมาเป็นต้นแบบ โดยใช้การขึ้นรูปสามมิติจากเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D printing) ตัวต้นแบบของระบบตรวจจับเม็ดยาจะมีลักษณะเป็นช่องลาดเอียงสำหรับรองรับเม็ดยาที่มาจากระบบจ่ายยา และทำให้เม็ดยาไหลผ่านตามแรงโน้มถ่วงของโลกผ่านช่องลาดเอียงไปยังชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ในส่วนของตัวระบบตรวจจับเม็ดยาต้องมีความเอียงที่เหมาะสมที่ทำให้เม็ดยาไหลผ่านได้ดี อีกทั้งในตัวระบบการตรวจจับเม็ดยาที่มีสำหรับติดตั้งชุดเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ที่ต่อกับแผ่นกั้นเม็ดยา ช่องสำหรับติดตั้งชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ที่มีตัวส่งสัญญาณกับตัวรับ สัญญาณที่วางไว้ตรงกันข้ามกัน และตำแหน่งที่ติดตั้งมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เพื่อช่วยให้เม็ดยาไหลได้ดียิ่งขึ้นมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ดังภาพ 44



ภาพ 44 ส่วนประกอบของระบบการตรวจจับเม็ดยาแบบที่พัฒนาขึ้น

การอธิบายหมายเลขที่กำกับไว้สำหรับระบบการตรวจจับเม็ดยา ดังนี้ หมายเลข 1 คือ รูที่มีไว้สำหรับใส่น้ำเพื่อยึดเข้ากับตัวเครื่อง เพื่อให้สามารถถอดประกอบได้ง่าย หมายเลข 2 คือ ส่วนช่องลาดเอียง ที่สำหรับรองรับเม็ดยาและเป็นส่วนที่นำเม็ดยาไปยังเซ็นเซอร์ตรวจจับเม็ดยา หมายเลข 3 คือ ส่วนที่ติดตั้งชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ตรวจจับนับเม็ดยา ชุดที่ 1-4 หมายเลข 4 คือ แผ่นกั้นเม็ดยาเพื่อให้ เซ็นเซอร์ตรวจจับเม็ดยา หมายเลข 5 คือ เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เพื่อเปิด-ปิดแผ่นกั้นเม็ดยา หมายเลข 6 คือ ตำแหน่ง ที่ติดตั้งมอเตอร์สั่น (Vibration Motor)

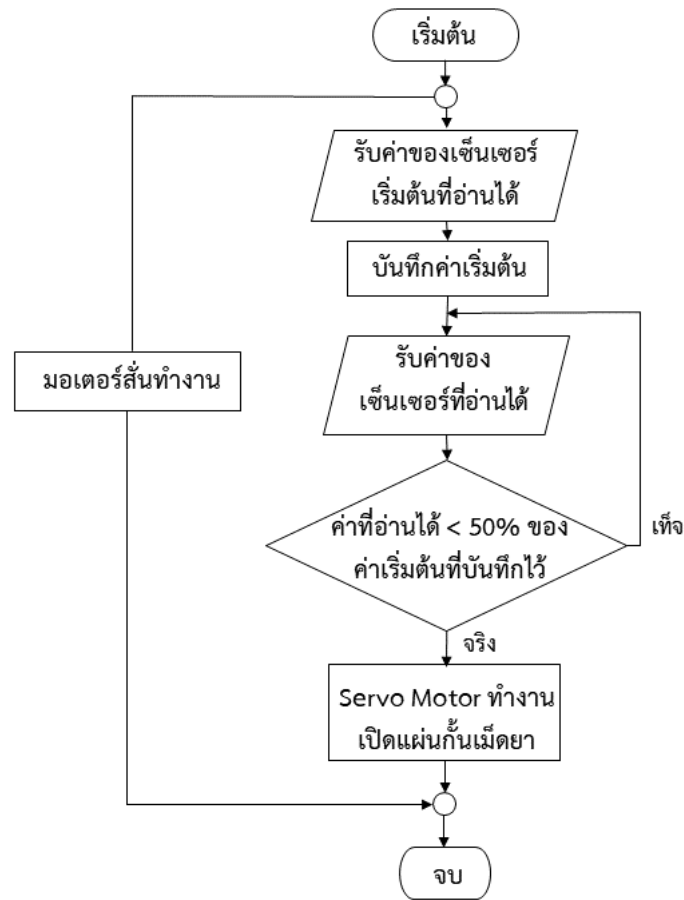
ในส่วนวงจรของระบบตรวจจับเม็ดยาจะมีชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ที่มีตัวรับ-ตัวส่งวางไว้ตรงกันข้ามกันอยู่ 4 ชุด มีวงจรชุดเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ที่ต่อกับแผ่นกั้นเม็ดยาและมีวงจรมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) สำหรับช่วยกระตุ้นให้เม็ดยาไหลได้ดี แสดงดังภาพ 45



ภาพ 45 วงจรการทำงานของระบบตรวจจับเม็ดยา

หลักการทำงานของระบบการตรวจจับเม็ดยา

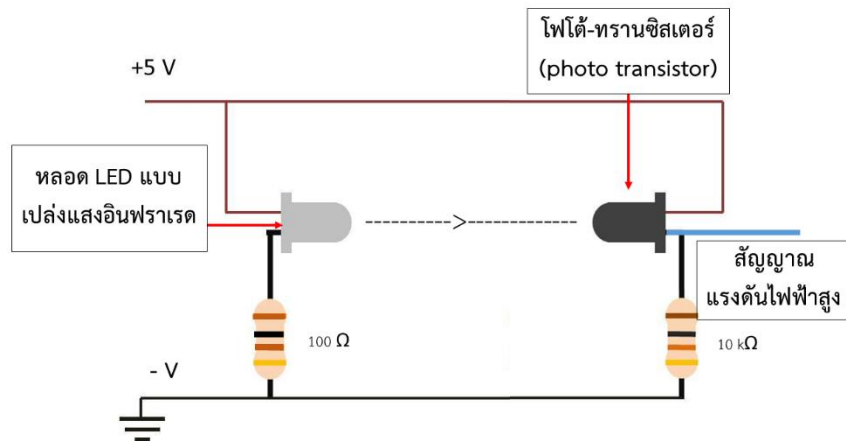
เบื้องต้นเซ็นเซอร์ตรวจจับเม็ดยาจะทำการอ่านค่าสัญญาณเริ่มต้นแล้วทำการบันทึกค่าไว้ หลังจากทีเม็ดที่ใช้ในการทดสอบถูกจ่ายมาจากระบบจ่ายยาเม็ดยา ก็จะถูกส่งมายังระบบการตรวจจับเม็ดยาโดยไหลผ่านช่องลาดเอียงที่รองรับเม็ดยา เม็ดยาก็จะไหลมาหยุดที่ตรงแผ่นกั้นเม็ดยาเพื่อทำให้ชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) รับค่าสัญญาณที่เปลี่ยนไปจากค่าเริ่มต้นจึงสามารถตรวจจับเม็ดยาได้ เมื่อชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ตรวจจับเม็ดยาได้แล้วจะสั่งให้ตัวเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ยกแผ่นกั้นขึ้นเพื่อให้เม็ดยาไหลออกจากระบบการตรวจจับเม็ดยา ระหว่างการทำงานทั้งหมดนั้นมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ก็จะทำงานตลอดต่อเนื่องเพื่อช่วยกระตุ้นให้เม็ดยาไหลผ่านได้ดีตั้งแต่เม็ดยาไหลเข้าระบบการตรวจจับเม็ดยาและไหลออกจากระบบการตรวจจับเม็ดยาดังแสดงในภาพ 46



ภาพ 46 หลักการทำงานของระบบการตรวจจับเม็ดยา

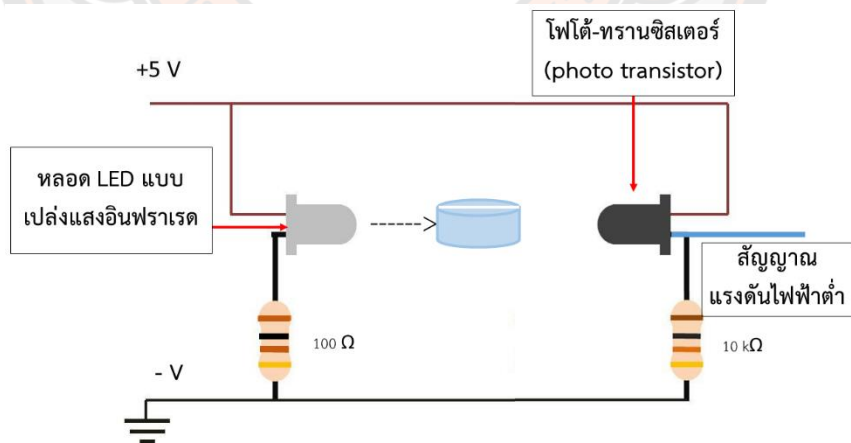
3.3.2 เซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR)

ชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) คือเซ็นเซอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการทำงานโดยมีตัวส่งแสงและตัวรับแสงที่มีส่วนประกอบหลักๆมีอยู่ 2 ส่วนคือ ตัวส่งแสง (emitter) และตัวรับแสง (receiver) ลักษณะของการเกิดการตรวจจับเกิดขึ้นจากการที่แสงที่เกิดจากตัวส่งถูกส่งไปสะท้อนกับวัตถุหรือถูกขวางกั้นด้วยวัตถุ ส่งผลให้ตัวรับแสงรับรู้ถึงสถานะที่เกิดขึ้นและเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งาน อุปกรณ์ที่เป็นตัวรับแสงนิยมนำมาใช้งานคือโฟโตไดโอด (photo diode) หรือเรียกอีกอย่างว่าโฟโต้-ทรานซิสเตอร์ (photo transistor) สำหรับตัวส่งแสงนั้นโดยทั่วไปใช้ LED (Light Emitting Diode) LED แบบเปล่งแสงอินฟราเรด มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 910-950 nm และไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ระบบการตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ที่มีตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณจะถูกนำมาวางไว้ในด้านที่ตรงกันข้ามกัน ดังภาพ 47



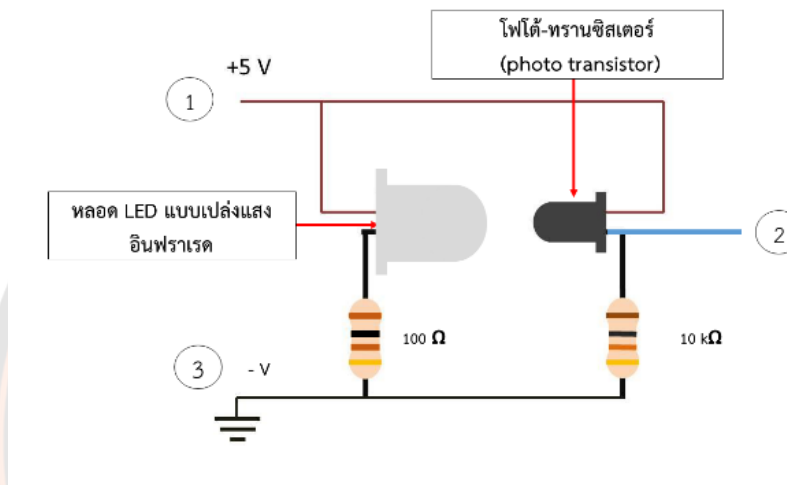
ภาพ 47 ชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ที่มีตัวส่งสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ แรงดันไฟฟ้าสูงทางด้านเอาต์พุต

เมื่อมีเม็ดยาไหลมาตัดขวางจะทำให้สัญญาณของตัวรับเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตและนำค่าสัญญาณนั้นนำไปใช้ในการทำงานดังแสดงในภาพ 48 ซึ่งในระบบการตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) จะถูกติดตั้งทั้งหมด 4 ชุดเพื่อให้ความถูกต้องแม่นยำในการตรวจจับเม็ดยา



ภาพ 48 เมื่อมีเม็ดยาไหลมาตัดขวางจะทำให้สัญญาณของตัวรับเกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตทำให้สัญญาณไฟฟ้าต่ำลง

วงจรการทำงานของชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ที่ใช้ในระบบการตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติหนึ่งชุดประกอบด้วยตัวส่งแสง (emitter) ใช้หลอด LED แบบเปล่งแสงอินฟราเรดขนาด 5 มิลลิเมตร เป็นตัวส่งสัญญาณแสง สำหรับตัวรับแสง (receiver) ใช้หลอดโฟโต-ทรานซิสเตอร์ (photo transistor) ขนาด 3 มิลลิเมตร เป็นตัวรับสัญญาณแสง ตัวต้านทานขนาด 100 Ω ต่อเข้ากับหลอด LED แบบเปล่งแสงอินฟราเรด และ ตัวต้านทานขนาด 10 k Ω ต่อเข้ากับหลอดโฟโต-ทรานซิสเตอร์ (photo transistor) การต่อวงจรแสดงดังภาพ 49



ภาพ 49 วงจรทำงานของชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) 1 ชุด

การอธิบายหมายเลขสำหรับวงจรการทำงานของชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) หมายเลข 1 คือไฟกระแสตรง 5 โวลต์ จ่ายเข้าในวงจรการทำงานของชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) หมายเลข 2 คือกระแสสัญญาณของตัวรับที่เกิดการเปลี่ยนแปลง แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต หมายเลข 3 คือขั้วลบของวงจร

3.3.3 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าแบบหนึ่ง ที่ใช้ในการหมุนตัวขับเคลื่อน (actuator) ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยความแม่นยำ โดยใช้สัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดตำแหน่งในการหมุน ในระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติใช้เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) แสดงดังภาพ 50 เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดแผ่นกั้นเม็ดยา เพื่อให้เซ็นเซอร์ตรวจจับเม็ดยาตรวจจับหลักการทำงานคือ เมื่อไม่มีเม็ดยาตัดผ่านเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) แผ่นกั้นเม็ดยาก็จะปิดลงมาและเมื่อเม็ดยาตัดผ่านเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) แผ่นกั้นเม็ดยาก็จะเปิดขึ้น เพื่อให้เม็ดยาออกจากระบบตรวจจับเม็ดยา



ภาพ 50 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor)

3.3.4 มอเตอร์สั่น (Vibration Motor)

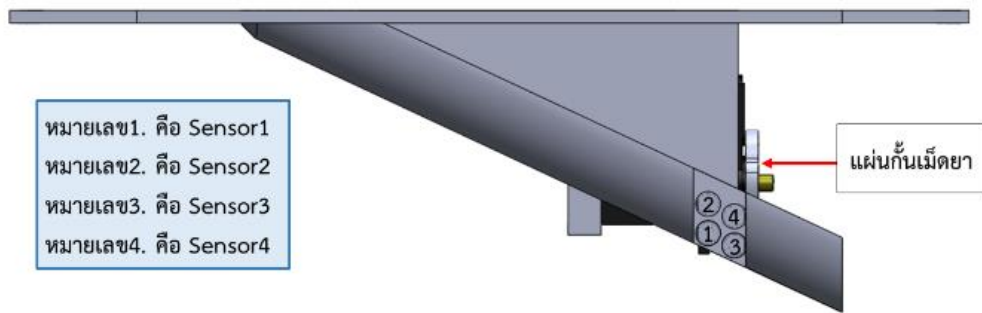
มอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เป็นตัวให้กำเนิดแรงเหวี่ยง โดยใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางแสดงดังภาพ 51 มอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ช่วยทำให้ช่องสำหรับรองรับเม็ดยาและส่วนที่นำเม็ดยาไปยังเซ็นเซอร์ตรวจจับนับเม็ดยาเกิดการสั่น เพื่อช่วยให้เม็ดยาเกิดการเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น หลักการทำงานของมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ในระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ จะทำงานเมื่อระบบจ่ายเม็ดยามายังระบบตรวจจับเม็ดยา หลังจากที่เม็ดยาออกจากระบบตรวจจับเม็ดยามอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ก็จะหยุดทำงาน



ภาพ 51 มอเตอร์สั่น (Vibration Motor)

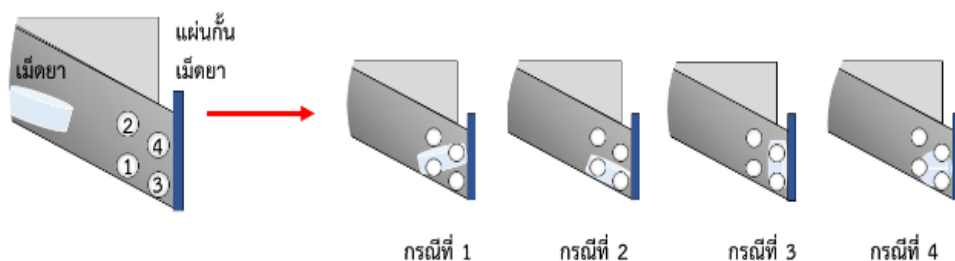
3.3.5 การติดตั้งชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR)

ตำแหน่งการติดตั้งชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) มีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับระบบตรวจจับเม็ดยาเพราะเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) จะสามารถตรวจจับเม็ดยาได้นั้นต้องมีเม็ดยามาขัดขวางสัญญาณของตัวรับสัญญาณ ดังนั้นการวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) มีการวางแบบ 2 ชั้น ชั้นละ 2 ชุด ดังภาพ 52



ภาพ 52 ตำแหน่งการวางของเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) จำนวนทั้ง ชุด 4

การติดตั้งชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ทั้ง 4 ชุด ในระบบตรวจจับเม็ดยาแบบนี้ เพื่อให้ชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) สามารถตรวจจับเม็ดยาที่ตกลงมาและหยุดในกรณีต่าง ๆ เนื่องจากธรรมชาติของการตกแบบอิสระของเม็ดยามีความเป็นไปได้ในหลายกรณี ซึ่งการที่เม็ดยามาหยุดที่ชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) จะมีลักษณะการหยุดที่ไม่แน่นอนเพราะฉะนั้นการติดตั้งเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ทั้ง 4 ชุด เป็นการช่วยเพิ่มความน่าจะเป็นที่จะสามารถตรวจจับเม็ดยาได้ทุกครั้งที่มีเม็ดยามาตัดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) จะยกตัวอย่างกรณีเม็ดยามาหยุดตกที่ชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ดังภาพ 53



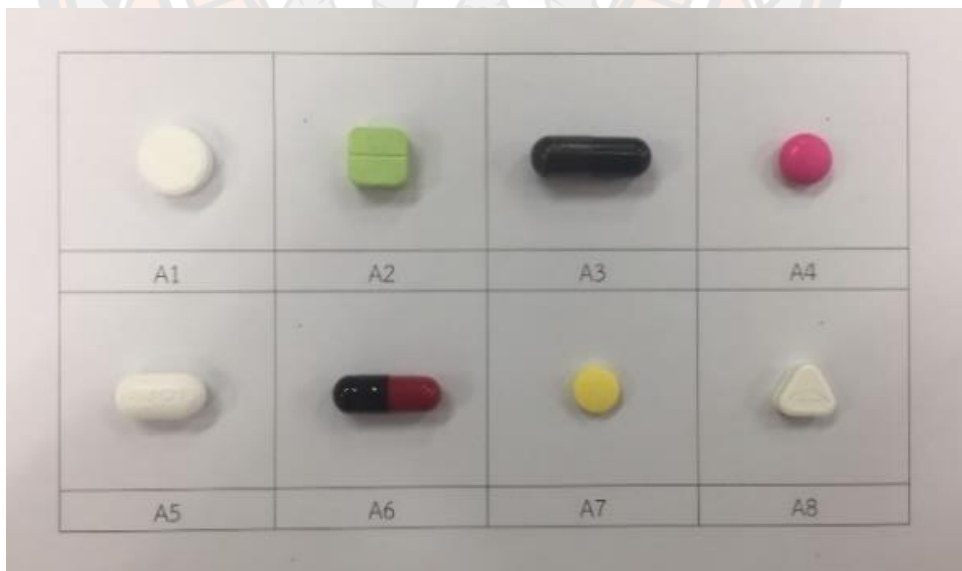
ภาพ 53 การยกตัวอย่างกรณีเม็ดยามาหยุดตกที่ชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล/ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ

เนื่องจากเม็ดยาตัวอย่างที่ทางผู้วิจัยได้นำมาใช้ทำการเป็นตัวอย่างในการทดสอบในงานวิจัยนี้มีลักษณะที่แตกต่างกันทางกายภาพจำนวนทั้งหมดถึง 8 ชนิด ซึ่งเม็ดยาแต่ละชนิดได้มีการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันออกไป แล้วแต่ความเหมาะสมของเม็ดยาชนิดนั้น ๆ ข้อมูลที่เก็บมาจากเม็ดยาแต่ละชนิดก็จะมีข้อมูลลักษณะทางกายภาพเช่น ความกว้าง ความยาว ความหนาและน้ำหนักของเม็ดยา แต่สำหรับยาบางชนิดอาจจะมีอาจจะมีข้อมูลและรายละเอียดเพิ่มเติมต่าง ๆ ที่แตกต่างออกไปตามลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาแต่ละชนิด เนื่องจากข้อมูลที่สำคัญเหล่านี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ทำวิจัยจะได้เอาข้อมูลไปสร้างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยา เพื่อนำไปทดสอบในแบบจำลองสามมิติ สำหรับการวิเคราะห์หลักไกระบบจ่ายยาของเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติต่อไป ตัวอย่างของเม็ดยาตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 8 ชนิดแสดงดังภาพ 54 และข้อมูลของเม็ดยาแต่ละชนิดแสดงดังตาราง 5



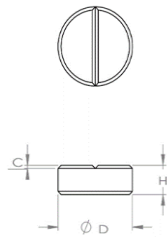
ภาพ 54 ตัวอย่างของเม็ดยาตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 8 ชนิด

ตาราง 5 ข้อมูลของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ

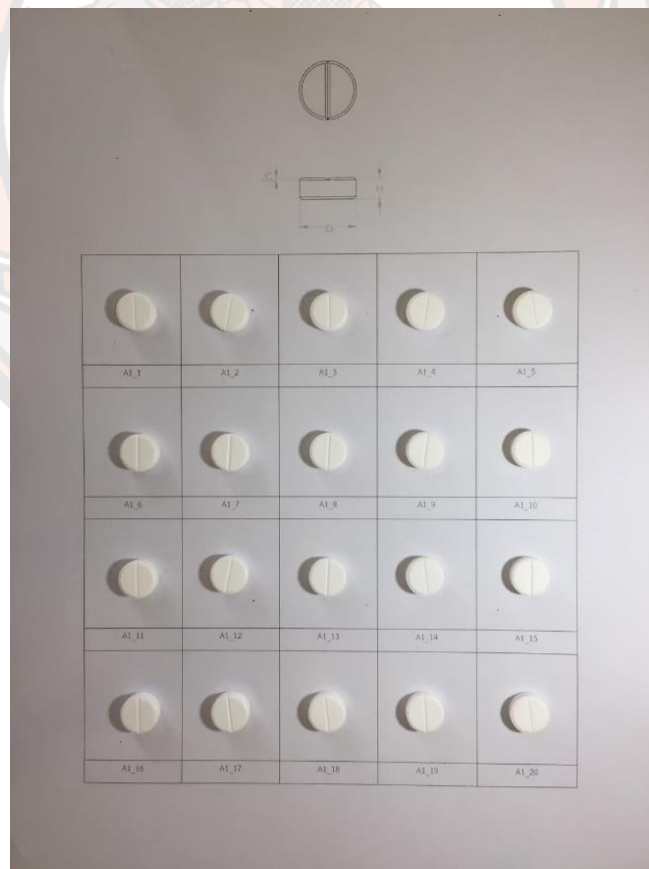
เม็ดยา	ข้อมูลของเม็ดยาตัวอย่าง			
	ชื่อยา	รูปแบบเม็ดยา	ตัวยาที่สำคัญ	รักษาอาการ
เม็ดยาชนิด A1	Sara	Film coated tablets	Paracetamol 500 mg	บรรเทาปวด ลดไข้
เม็ดยาชนิด A2	Nuosic	squares Tablet	Paracetamol 500mg Orpheadrine citrate 35 mg	แก้ปวดคลาย กล้ามเนื้อ
เม็ดยาชนิด A3	CA-R-BON	Capsule contains	Activated Charcoal 250 mg	บรรเทา อาการ ท้องเสีย ท้องอืดเพื่อ
เม็ดยาชนิด A4	Bromma	sugar-coated tablets	Brompheniramine Maleate	แก้แพ้ ลด น้ำมูก
เม็ดยาชนิด A5	Paracap	Film coated tablets	Paracetamal 500 mg	บรรเทาปวด ลดไข้
เม็ดยาชนิด A6	Ampicillin	Capsule contains	equivalent to ampicillin 500 mg	ฆ่าเชื้อ แบคทีเรีย
เม็ดยาชนิด A7	Enzymc	sandwich tablet	Mamylase 37.5 mg Thiamine mononitrate 0.75 mg Diastase 25.0 mg Scopolia extract 2.5 mg Sodium bicarbonate 50.0 mg Precipitated calcium carbonate 200.0 mg Cinnamon oil 0.3 mg Clove oil 0.3 mg Fennel oil 0.3 mg Ginger oil 0.4 mg Menthol 1.0 mg Dried aluminium hydroxide gel 36.635 mg	รักษาอาการ ท้องอืด ปวดท้อง จุกเสียด แน่นท้อง
เม็ดยาชนิด A8	dimenhydrina te	Film coated tablets	dimenhydrinate 50 mg	แก้เมา

ตัวอย่างการเก็บข้อมูลลักษณะของเม็ดยา ของเม็ดยาชนิดที่ 1

เม็ดยาชนิด A1 เป็นเม็ดยาชนิดวงกลม ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิดนี้แสดงดังภาพ 55 ประกอบไปด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดยา (D) ความหนาของเม็ดยา (H) ที่มุมของเม็ดยามีการทำมุมแบบ Chamfer (C) และข้อมูลน้ำหนัก (Weight) ภาพ 56 แสดงภาพของเม็ดยาตัวอย่างชนิด A1 ทั้ง 20 ตัวอย่างและในตาราง 6 แสดงข้อมูลของเม็ดยาชนิด A1



ภาพ 55 แสดงข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A1



ภาพ 56 แสดงเม็ดยาชนิดที่ A1_1 ถึง A1_20

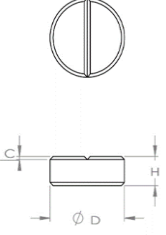
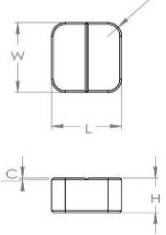
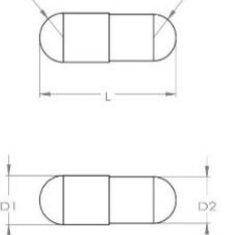
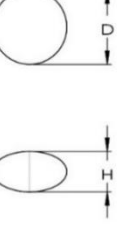
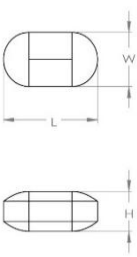
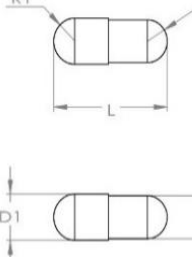
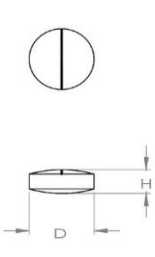
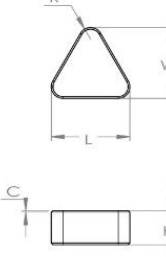
ตาราง 6 แสดงข้อมูลของเม็ดยาชนิด A1

A1	D(mm)	H(mm)	C(mm)	Weight(g)
A1_1	12.16	4.48	0.50	0.567
A1_2	12.16	4.60	0.50	0.579
A1_3	12.16	4.58	0.50	0.579
A1_4	12.16	4.58	0.50	0.577
A1_5	12.16	4.60	0.50	0.570
A1_6	12.16	4.48	0.50	0.573
A1_7	12.16	4.58	0.50	0.584
A1_8	12.16	4.48	0.50	0.577
A1_9	12.16	4.50	0.50	0.569
A1_10	12.16	4.48	0.50	0.574
A1_11	12.16	4.46	0.50	0.585
A1_12	12.16	4.62	0.50	0.594
A1_13	12.16	4.46	0.50	0.573
A1_14	12.16	4.40	0.50	0.557
A1_15	12.16	4.50	0.50	0.573
A1_16	12.16	4.56	0.50	0.578
A1_17	12.16	4.48	0.50	0.576
A1_18	12.16	4.52	0.50	0.580
A1_19	12.16	4.48	0.50	0.572
A1_20	12.16	4.48	0.50	0.573
MAX.	12.16	4.62	0.50	0.594
MIN.	12.16	4.40	0.50	0.557
AVERAGE	12.16	4.52	0.50	0.576

จากตัวอย่างของการเก็บข้อมูลเม็ดยาชนิดที่ 1 ทั้ง 20 เม็ด ได้มีการเก็บข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาที่จำเป็นต่อการออกแบบระบบจ่ายยา ส่วนข้อมูลของเม็ดยาที่เหลือจะแสดงในภาคผนวก ก ข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาดังกล่าวที่ใช้ในการทดสอบจะแสดงการเก็บข้อมูลของยาแต่ละชนิดดัง

แสดงในตาราง 7 และในตาราง 8-15 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาทั้ง 8 ชนิดที่
จำเป็นต่อการออกแบบในระบบจ่ายยา

ตาราง 7 ลักษณะการเก็บข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบของเม็ดยาทั้ง
8 ชนิด

			
เม็ดยาชนิด A1	เม็ดยาชนิด A2	เม็ดยาชนิด A3	เม็ดยาชนิด A4
			
เม็ดยาชนิด A5	เม็ดยาชนิด A6	เม็ดยาชนิด A7	เม็ดยาชนิด A8

ตาราง 8 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A1

เม็ดยา	D(mm)	H(mm)	C(mm)	Weight(g)
เม็ดยาชนิด A1	12.16	4.40	0.50	0.576

ตาราง 9 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A2

เม็ดยา	W(mm)	L(mm)	H(mm)	C(mm)	R(mm)	Weight(g)
เม็ดยาชนิด A2	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.605

ตาราง 10 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A3

เม็ดยา	D1(mm)	D2(mm)	R1(mm)	R2(mm)	L(mm)	Weight(g)
เม็ดยาชนิด A3	7.66	7.26	3.83	3.63	21.18	0.374

ตาราง 11 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A4

เม็ดยา	D(mm)	H(mm)	Weight(g)
เม็ดยาชนิด A4	9.20	5.00	0.307

ตาราง 12 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A5

เม็ดยา	W(mm)	L(mm)	H(mm)	Weight(g)
เม็ดยาชนิด A5	8.14	14.84	6.10	0.566

ตาราง 13 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A6

เม็ดยา	D1(mm)	D2(mm)	R1(mm)	R2(mm)	L(mm)	Weight(g)
เม็ดยาชนิด A6	6.88	6.48	3.44	3.24	19.16	0.415

ตาราง 14 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A7

เม็ดยา	D(mm)	H(mm)	Weight(g)
เม็ดยาชนิด A7	8.12	3.18	0.164

ตาราง 15 แสดงผลสรุปของข้อมูลทางกายภาพของเม็ดยาชนิด A8

เม็ดยา	W(mm)	L(mm)	H(mm)	R(mm)	C(mm)	Weight(g)
เม็ดยาชนิด A8	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.449

4.2 การสร้างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยา

ในการสร้างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยา จากที่ได้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยา ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 8 ชนิด จึงได้นำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยา ตามผลการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ เม็ดยาแต่ละเม็ดของเม็ดยาทั้ง 8 ชนิดจะถูกนำมาสร้างแบบจำลองให้ได้ลักษณะทางกายภาพตรงตามข้อมูลที่ได้ ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างของเม็ดยา จะแสดงตัวอย่างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยาแต่ละชนิดดัง ตาราง 16

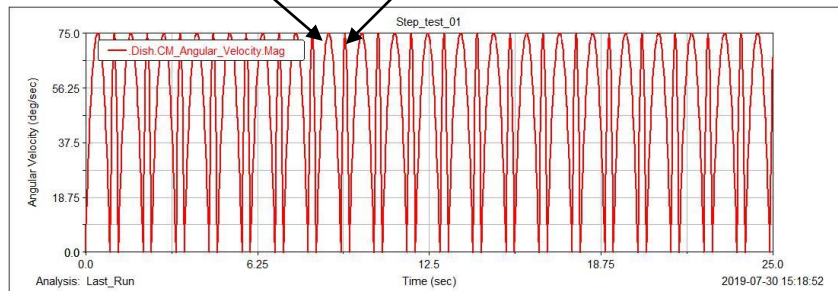
ตาราง 16 แสดงตัวอย่างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยาแต่ละชนิด

			
เม็ดยาชนิด A1	เม็ดยาชนิด A2	เม็ดยาชนิด A3	เม็ดยาชนิด A4
			
เม็ดยาชนิด A5	เม็ดยาชนิด A6	เม็ดยาชนิด A7	เม็ดยาชนิด A8

4.3 การวิเคราะห์ท่กลไกสำหรับระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติโดยการสร้างแบบจำลองใน MSC-Adams

หลังจากที่ได้ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ จึงได้ทำการออกแบบระบบจ่ายยา โดยการหาความเหมาะสมของร่องจับเม็ดยาในส่วนแผ่นจับเม็ดยา การหาความเหมาะสมของร่องจับเม็ดยานี้ จะขึ้นอยู่กับลักษณะของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ ทั้ง 8 ชนิด และสำหรับความหนาของส่วนแผ่นจับเม็ดยาจะมีความหนาเท่ากับความหนาของเม็ดยาเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ โดยในการทดสอบได้มีการกำหนดการหมุนของส่วนแผ่นจับเม็ดยาโดยหมุนไปข้างหน้า 45 องศาเป็นเวลา 0.9 วินาทีและหมุนกลับ 15 องศาเป็นเวลา 0.3 วินาที ภาพ 57 จะเป็นกราฟแสดงตัวอย่างความเร็วเชิงมุมของการหมุนแผ่นจับเม็ดยาในระยะเวลาตั้งแต่ 0 วินาที จนถึง 25 วินาที รวมทั้งได้มีการกำหนดค่า Static Coefficient เป็น 0.3 และค่า Dynamic Coefficient เป็น 0.1 สำหรับในการทดสอบที่ 1 จะเป็นการหาระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา โดยอ้างอิงมาจากขนาดของเม็ดยา หลังจากวิเคราะห์โดยการสร้างแบบจำลอง เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วจึงได้ทำการทดสอบแบบทดสอบที่ 2 โดยนำค่าที่ได้จากการทดสอบที่ 1 ไปสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบกับเม็ดยาตัวอย่าง

หมุนไปข้างหน้า 45 องศาเป็นเวลา 0.9 วินาที หมุนกลับ 15 องศาเป็นเวลา 0.3 วินาที



ภาพ 57 กราฟตัวอย่างความเร็วเชิงมุมของการหมุนแผ่นจับเม็ดยาในระยะเวลาตั้งแต่ 0 วินาที จนถึง 25 วินาที

4.3.1 การทดสอบที่ 1 การหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา

จากการที่ได้ออกแบบร่องจับเม็ดยาโดยอ้างอิงมาจากลักษณะของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบแล้ว จึงได้มีการหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา สำหรับวัตถุประสงค์หลักของการทดลองการหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยานี้ เพื่อหาค่าที่เหมาะสม ถ้าหาระยะเผื่อมีมากเกินไปเม็ดยาอาจจะซ้อนกันและทำให้ระบบจ่ายยาไม่สามารถทำงานต่อไปได้ และถ้าระยะเผื่อน้อยเกินไปก็อาจจะทำให้เม็ดยาไม่ถูกจ่ายออกมาตามที่ต้องการได้ ดังนั้นจึงได้แบ่งระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) สำหรับการทดสอบอยู่ 4 แบบ คือ

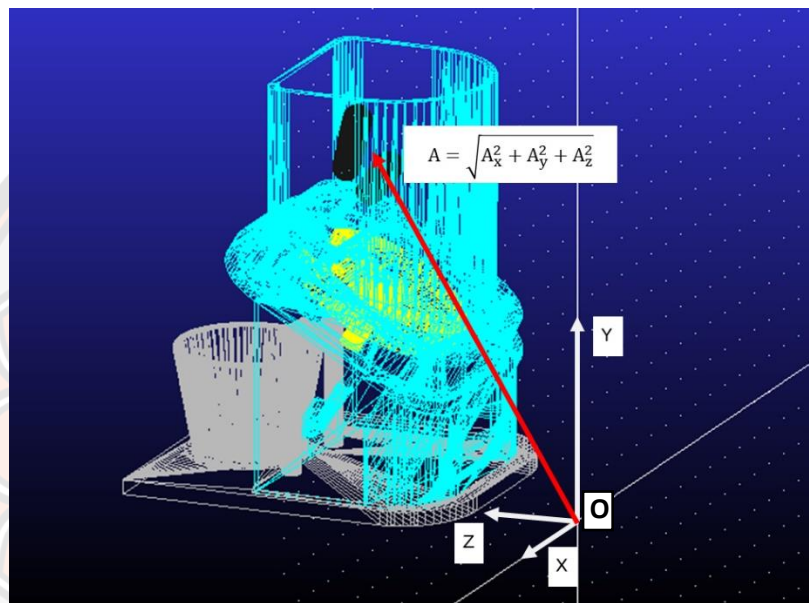
- แบบที่ 1 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร
- แบบที่ 2 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา
- แบบที่ 3 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1 มิลลิเมตร
- แบบที่ 4 ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

แสดงตัวอย่างดังภาพ 58



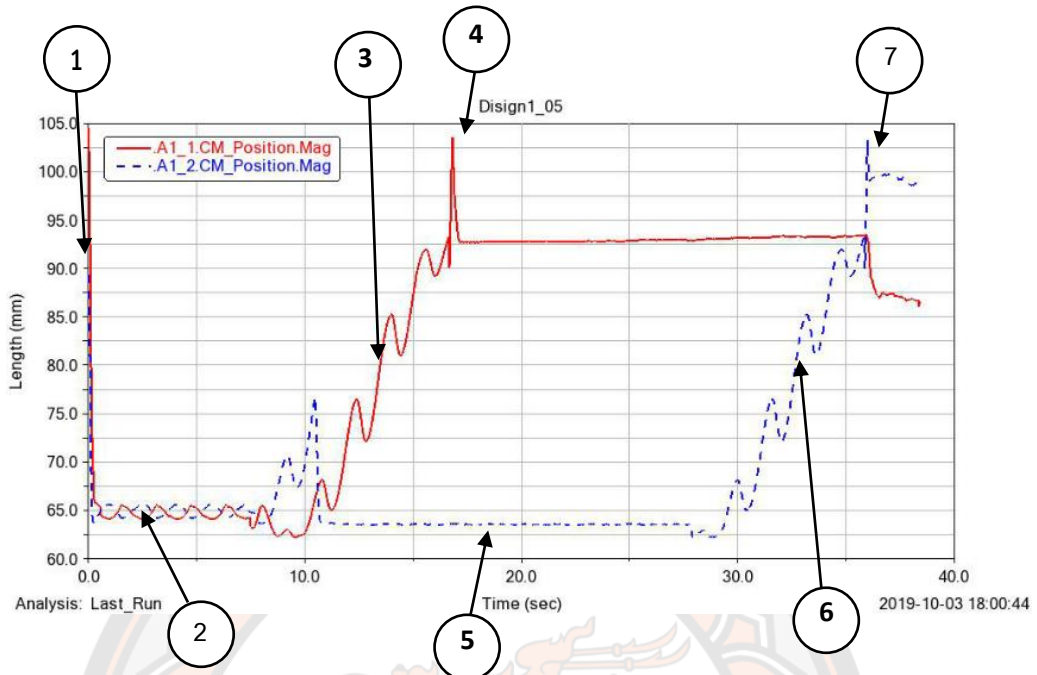
ภาพ 58 ตัวอย่างการแบ่งระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 4 แบบ

โดยการทดสอบในแบบจำลองนั้นจะทำการทดสอบกับเม็ดยา เพื่อดูว่าระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) แบบใดจะให้ผลการทดสอบออกมาได้ดี โดยการทดสอบจะใช้เม็ดยาตัวอย่างชนิดละ 2 เม็ด มาทำการทดสอบในระบบจ่ายยา สำหรับการสังเกตว่าเม็ดยาจะถูกจ่ายหรือไม่จะสังเกตได้จาก ตำแหน่งของเม็ดยาในทั้ง 3 แกนดังสมการที่ 5 ตัวอย่างตำแหน่งของเม็ดยาแสดงดังภาพ 59 จากภาพ 59 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของเม็ดยาจะอยู่ห่างจากจุด Origin (O) เป็นระยะทาง A ดังนั้นตำแหน่งของ เม็ดยาจะสามารถทราบได้จากตำแหน่งของ A ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเมื่อเวลาผ่านไป



ภาพ 59 ตัวอย่างแสดงตำแหน่งของเม็ดยาในแบบจำลองของโปรแกรม MSC-Adams

สำหรับผลการทดสอบจะเห็นได้จากกราฟแสดงตำแหน่งของ A นั้น ในกราฟจะแสดงค่า A เป็น Length (mm) ของเม็ดยาแกนแนวตั้งเทียบกับเวลาที่แสดงเป็นค่า Time (sec) ในแกนแนวนอน เมื่อเม็ดยาถูกจ่ายออกมา จะทำให้ตำแหน่งของกราฟเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วหยุดค้างอยู่ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง แต่ถ้าหากว่าเม็ดยาไม่ถูกจ่ายออกมากกราฟจะตกลงมายังตำแหน่งเดิม ยกตัวอย่างดังภาพ 60 ส่วนผลการทดสอบทั้งหมดจะถูกแสดงในภาคผนวก ข



ภาพ 60 ตัวอย่างกราฟผลของแบบจำลองที่ได้จากแบบจำลองในโปรแกรม MSC-Adams

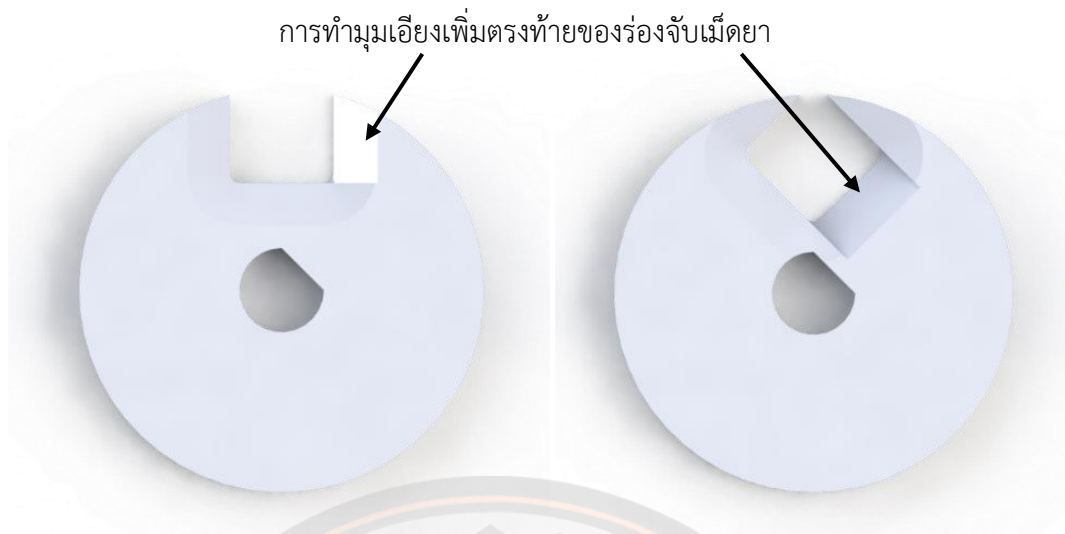
จากภาพ 60 หมายเลข 1 จะแสดงให้เห็นได้ว่าเริ่มต้นที่วินาทีที่ 0 ตำแหน่งเริ่มต้นของเม็ดยา ทั้ง 2 เม็ดตกลงไปในช่องใส่เม็ดยา จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป ในหมายเลข 2 เม็ดยาทั้งสองเม็ดเกิดการชนกันอยู่ในช่องใส่เม็ดยา ในช่วงระยะเวลาประมาณตั้งแต่วินาทีที่ 10 เป็นต้นไปในหมายเลข 3 เห็นได้ว่าเม็ดยาชนิด A1_1 ได้มีการเปลี่ยนตำแหน่งไปจากเดิม ซึ่งสังเกตได้ว่าตำแหน่งของเม็ดยาได้มีการเคลื่อนที่ไปตามความเร็วเชิงมุมของการหมุนแผ่นจับเม็ดยา ต่อมาในหมายเลข 4 เมื่อผ่านเวลาประมาณวินาทีที่ 16-17 กราฟเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปที่สูงสุดแล้วกราฟตกลงมาในค้ำนั้น แสดงว่าเม็ดยาชนิดที่ A1_1 ถูกจ่ายออกมาแล้วเป็นเม็ดแรก เนื่องจากตำแหน่งของเม็ดยาค้ำที่และอยู่ในตำแหน่งของแก้วที่รองรับยา ระหว่างนั้นในหมายเลข 5 จะเห็นได้ว่าเม็ดยาชนิด A1_2 กราฟแสดงผลออกมาค่อนข้างนิ่งเนื่องจากมีเม็ดยาเหลืออยู่เม็ดเดียวจึงไม่เกิดการชนกับเม็ดอื่น ต่อมาช่วงก่อนวินาทีที่ 30 ที่หมายเลข 6 เม็ดยาชนิด A1_2 เริ่มตกลงไปในร่องจับเม็ดยาแล้วเคลื่อนที่ไปตามความเร็วเชิงมุมของการหมุนแผ่นจับเม็ดยา หลังจากเวลาประมาณวินาทีที่ 36-37 ดังหมายเลข 7 จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเม็ดยาได้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งแล้วกราฟมาค้ำนั้นก็แสดงว่าเม็ดยาชนิด A1_2 ก็ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 ดังนั้นจากที่กราฟที่ได้จากการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม MSC-Adams จะทำให้สามารถสังเกตพฤติกรรมของระบบจ่ายยาที่ได้นำมาทำการทดสอบได้

สำหรับเม็ดยาชนิด A2 เนื่องจากเป็นเม็ดแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส จึงได้ทำการทดสอบเพิ่มโดยการปรับมุมของร่องจับยาออกเป็น 2 มุม ได้แก่การใช้แบบมุมตรง 0 องศา และมุมเอียง 45 องศา แสดงตัวอย่างดังภาพ 61 และมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยาเนื่องเม็ดยาชนิด A2 มีโอกาสที่จะเกิดการซ้อนกันของเม็ดยาได้ง่ายจึงทำมุมเอียงเพิ่มเพื่อให้เม็ดยาล้มลงและไม่เกิดการติดขัดระหว่างการจ่ายยาแสดงดังภาพ 62 จึงได้ทำการทดสอบเพิ่มสำหรับเม็ดยาเม็ดที่สองอีก 2 แบบคือ

- แบบที่ 5 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา
- แบบที่ 6 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา



ภาพ 61 แบบมุมตรง 0 องศา และมุมเอียง 45 องศา



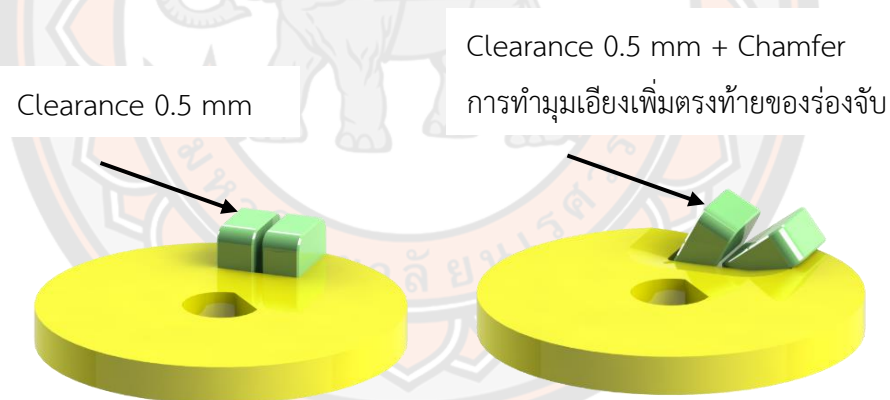
ภาพ 62 แบบมุมตรง 0 องศาและมุมเอียง 45 องศาที่มีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับเม็ดยา

ผลการทดสอบที่ 1 การหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาทั้ง 8 ชนิด ที่ได้ทำการทดสอบได้สรุปผลการทดสอบทั้งหมดดังตารางที่ 17

ตาราง 17 แสดงเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ 1 การหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา

เม็ดยา	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3	แบบที่ 4	แบบที่ 5	แบบที่ 6
เม็ดยาชนิด A1	2	2	2	2	-	-
เม็ดยาชนิด A2 มุมตรง 0 องศา	2	2	2	2	2	2
เม็ดยาชนิด A2 มุมเอียง 45 องศา	0	0	0	2	2	2
เม็ดยาชนิด A3	2	2	2	2	-	-
เม็ดยาชนิด A4	2	2	2	2	-	-
เม็ดยาชนิด A5	2	2	2	2	-	-
เม็ดยาชนิด A6	2	2	2	2	-	-
เม็ดยาชนิด A7	2	2	2	2	-	-
เม็ดยาชนิด A8	2	2	2	2	-	-

จากตาราง 17 แสดงการเปรียบเทียบของผลการทดสอบที่ 1 จะเห็นได้ว่า จากการทดสอบ โดยการสร้างแบบจำลองกลไกสำหรับระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ เพื่อหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ พบว่าเม็ดยาแต่ละชนิดใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร เพียงพอต่อการออกแบบสำหรับร่องจับเม็ดยา และการเพิ่มการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาจะทำให้เม็ดยาไหลเข้าร่องจับเม็ดยาได้ดีกว่าการที่ไม่มีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา แต่สำหรับเม็ดยาชนิด A2 นั้นการใช้การปรับมุมของร่องจับยาโดยใช้แบบมุมตรง 0 องศา จะทำให้เม็ดยาไหลเข้าร่องจับเม็ดยาได้ดีกว่าการใช้แบบมุมเอียง 45 องศา และในกรณีของเม็ดยาชนิด A2 ควรเลือกใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา และมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา เนื่องจากการทำมุมเอียงตรงท้ายจะช่วยในกรณีที่เม็ดยาไหลตกลงไปในร่องจับเม็ดยา 2 เม็ด มุมเอียงนั้นจะทำให้เม็ดยาล้มลงและไหลออกจากร่องจับเม็ดยาเพื่อป้องกันการผิดพลาดในการจ่ายเม็ดยาและป้องกันการติดขัดของระบบจ่ายยาดังแสดงตัวอย่างดังภาพ 63



ภาพ 63 กรณีตัวอย่างที่จะเกิดขึ้นกับแบบจำลองกลไกสำหรับระบบจ่ายยาของเม็ดยาชนิด A2

จากภาพ 63 จะเห็นได้ว่าในกรณีที่มิแคะระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร เพียงอย่างเดียวอาจทำให้ในกรณีที่เม็ดยาไหลเข้าไปในร่องจับเม็ดยา 2 เม็ดดังภาพตัวอย่าง เม็ดยาหมุนไปชนเข้ากับช่องใส่ยาที่ภายในจะมีแผ่นกั้นเม็ดยาดกช่องทางออก จะทำให้แผ่นจับเม็ดยาเกิดการค้างและไม่สามารถจ่ายเม็ดยาต่อได้ แต่ในขณะเดียวกันกับในกรณีที่มิระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา และมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา เมื่อเม็ดยาหมุนไปชนเข้ากับช่องใส่ยาที่ภายในจะมีแผ่นกั้นเม็ดยา

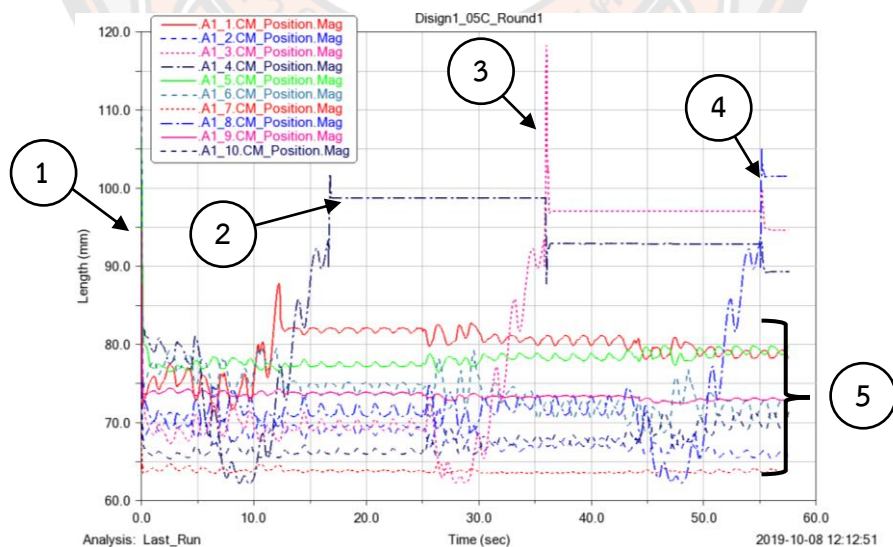
ตกช่องทางออก จะทำให้เม็ดยาสามารถล้นเอียงและหลุดออกจากร่องจับเม็ดยาและยังสามารถทำให้แผ่นจับเม็ดยาทำงานหมุนต่อไปได้เพื่อจับเม็ดยาในรอบใหม่ ดังนั้นสำหรับเม็ดยาดังต่อไปนี้ให้นำมาใช้ในการทดสอบชนิด A2 ร่องจับเม็ดยาที่เหมาะสมควรจะเป็นแบบกรณีที่มีระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา และมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา และสำหรับเม็ดยาชนิดอื่นๆที่เหลือควรเลือกใช้ร่องจับเม็ดยาที่เหมาะสมตามผลสรุปของการหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยาดังตาราง 18

ตาราง 18 แสดงตารางผลสรุปของการหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา

ชนิดของเม็ดยา	ร่องจับเม็ดยาที่เหมาะสม
เม็ดยาชนิด A1	ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา
เม็ดยาชนิด A2 มุมตรง 0 องศา	ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา
เม็ดยาชนิด A3	ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา
เม็ดยาชนิด A4	ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา
เม็ดยาชนิด A5	ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา
เม็ดยาชนิด A6	ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา
เม็ดยาชนิด A7	ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา
เม็ดยาชนิด A8	ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

4.3.2 การทดสอบที่ 2 การทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

เมื่อได้ผลสรุปของการหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยาดังตาราง 18 จึงได้ทำการทดสอบแบบจำลองของระบบจ่ายยากับเม็ดยาดัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบทั้ง 8 ชนิด ชนิดละ 10 เม็ด โดยจะทำการทดสอบทั้งหมด 4 รอบ ในแต่ละรอบนั้นจะได้มีการสุมปล่อยตำแหน่งเริ่มต้นเพื่อให้เปรียบเสมือนกับการบรรจุยาใส่ลงในช่องใส่เม็ดยาที่ไม่เหมือนกันและจะให้แผ่นจับเม็ดยาหมุนเพื่อให้จ่ายยาทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วสังเกตพฤติกรรมการทำงานของระบบจ่ายยาและเม็ดยาดัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ ข้อสำคัญของระบบจ่ายยาที่ได้ทำการออกแบบและทดสอบนั้น คือระบบจ่ายยาสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและไม่เกิดการติดขัดของเม็ดยา เพราะถึงแม้ว่าเม็ดยาไม่สามารถจ่ายมาได้ในรอบที่ 1 แต่ระบบจ่ายยายังสามารถทำงานต่อไปได้แบบไม่ติดขัด และระบบจ่ายยาก็สามารถทำงานในรอบถัดไปได้ วัตถุประสงค์ของการทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัตินี้ เพื่อที่จะสังเกตว่าลักษณะของ ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยาที่ได้เลือกมาใช้นั้นสามารถทำการจ่ายยาได้อย่างไม่ติดขัดระหว่างการจ่ายยาได้ดีหรือไม่ ข้อสังเกตของกราฟแสดงผลการทดลองที่ได้จากการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม MSC-Adams เพื่อดูพฤติกรรมของจะสังเกตจากการเปลี่ยนตำแหน่ง (Length (mm)) ของเม็ดยาเทียบกับเวลา (Time (sec)) ถ้าเม็ดยาเม็ดใดเม็ดหนึ่งถูกจ่ายกราฟที่แสดงก็จะเห็นได้ชัดดังตัวอย่างในภาพ 64



ภาพ 64 ภาพตัวอย่างแสดงผลของกราฟที่ได้จากแบบจำลองในโปรแกรม MSC-Adams

จากภาพ 64 ตัวอย่างกราฟในวินาทีที่ 0 หมายเลข 1 แสดงให้เห็นตำแหน่งของเม็ดยาทุกเม็ดที่นำมาทำการสร้างแบบจำลองโดยการสุ่มตำแหน่งของเม็ดยาในแต่ละเม็ดร่วงสู่ช่องใส่เม็ดยาจากนั้นในกราฟแสดงให้เห็นสิ่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงกับเม็ดยาทั้งสามเม็ด โดยหมายเลข 2 เมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A1_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาในหมายเลข 3 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A1_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อถึงหมายเลข 4 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A1_8 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย แต่หมายเลข 5 เม็ดยาเม็ดที่เหลือทั้ง 7 เม็ดยังคงอยู่ที่ตำแหน่งเดิมภายในช่องใส่เม็ดยา โดยผลการทดสอบที่ 2 การทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติทั้งหมดจะแสดงในภาคผนวก ค

จากผลการทดสอบที่ 2 การทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ ผลการทดสอบทั้งหมดสำหรับเม็ดยาทั้ง 8 ชนิดได้แสดงผลการสรุปผลของการทดสอบดังตาราง 19

ตาราง 19 สรุปผลการทดสอบที่ 2 การทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

เม็ดยา	จำนวนเม็ดยาที่ถูกจ่าย				หมายเหตุ
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	
เม็ดยาชนิด A1	3	3	3	3	
เม็ดยาชนิด A2	3	2	2	3	
เม็ดยาชนิด A3	3	2	3	2	
เม็ดยาชนิด A4	3	3	3	3	
เม็ดยาชนิด A5	3	3	1	3	รอบที่ 3 เม็ดยาเกิดการติดขัดทำให้ระบบไม่สามารถทำงานต่อได้
เม็ดยาชนิด A6	3	2	3	2	
เม็ดยาชนิด A7	3	3	3	3	
เม็ดยาชนิด A8	3	3	3	3	

จากตาราง 19 แสดงผลสรุปการทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ พบว่าระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่ได้มีการออกแบบและได้มีการสร้างแบบจำลองขึ้นมานั้น พบว่าผลการจำลองของระบบจ่ายยาในโปรแกรม MSC-Adams สามารถจำลองการทำงานของระบบจ่ายยาได้ และเห็นการทำงานของระบบจ่ายยาก่อนนำไปสร้างชิ้นจริงได้ดี การทำงานของระบบจ่ายยาที่ได้ทำแบบจำลองขึ้นมานั้นพบว่ากลไกของระบบจ่ายยาสามารถ

ใช้งานได้ดีตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ คือสามารถจ่ายยาได้โดยไม่ทำให้ระบบจ่ายยาเกิดการติดขัด ยกเว้น เม็ดยาชนิดที่ 5 รอบที่ 3 พบว่าแบบจำลองของการจ่ายยานั้นขณะกำลังจ่ายเม็ดยาเกิดมีเหตุการณ์เม็ดยาชนิด A5_3 ตกลงไปในร่องจับเม็ดยาในแนวตั้งขึ้น จึงทำให้เม็ดยาเกิดการติดขัดเกิด และไม่สามารถทำให้ระบบจ่ายยาสามารถทำงานจ่ายยาในรอบถัดไปต่อไปได้ จากข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นชี้ให้เห็นได้ว่าแบบจำลองสามารถนำมาใช้ทดสอบระบบจ่ายยาได้จริงก่อนที่จะนำโมเดลของระบบจ่ายยาไปสร้างจริง แต่เนื่องด้วยจากระยะเวลาในการใช้โปรแกรมมีอย่างจำกัดจึงไม่ได้มีการแก้ไขโมเดลให้ใช้งานได้ดีได้แต่สามารถนำปัญหาดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับกลไกที่สร้างขึ้นจริงจากการขึ้นรูปของเครื่องพิมพ์ 3 มิติได้

4.4 การทดสอบระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติกับกลไกที่สร้างขึ้นจริงจากการขึ้นรูปของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

จากการที่ได้ทำการทดสอบแบบจำลองกลไกการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ จากนั้นจึงได้มีการทำการทดสอบกลไกการจ่ายยาของระบบจ่ายยากับกลไกของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่สร้างขึ้นจริงโดยการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อทดสอบและสังเกตการทำงานของกลไกระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้นจริงแล้วสังเกตผลการทดสอบว่าจะสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ สำหรับการทดสอบจริงนั้นจะทำการทดสอบโดยทำการจ่ายยาของเม็ดยาดัวอย่างจำนวน 5 รอบ รอบละ 20 เม็ด รวมแล้วเป็นการทดสอบการจ่ายยา ของเม็ดยาดัวอย่าง ชนิดละ 100 ครั้ง แล้วสังเกตว่าระบบจ่ายยาสามารถใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการหรือไม่ ผลการทดสอบที่ได้ทำการทดลองแสดงผลดังตาราง 20

ตาราง 20 แสดงผลการทดสอบการจ่ายยาของระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้น

เม็ดยา	จำนวนเม็ดยาที่ถูกจ่าย					รวม	หมายเหตุ
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5		
เม็ดยาชนิด A1	20	20	20	20	20	100	
เม็ดยาชนิด A2	20	20	20	20	20	100	
เม็ดยาชนิด A3	12	8	7	4	2	33	เม็ดยาซ้อนกัน และติดจ่ายยาต่อไม่ได้
เม็ดยาชนิด A4	20	20	20	20	20	100	
เม็ดยาชนิด A5	20	14	7	10	12	63	เม็ดยาซ้อนกัน และติดจ่ายยาต่อไม่ได้
เม็ดยาชนิด A6	4	3	6	3	3	19	เม็ดยาซ้อนกัน และติดจ่ายยาต่อไม่ได้
เม็ดยาชนิด A7	20	20	20	20	20	100	

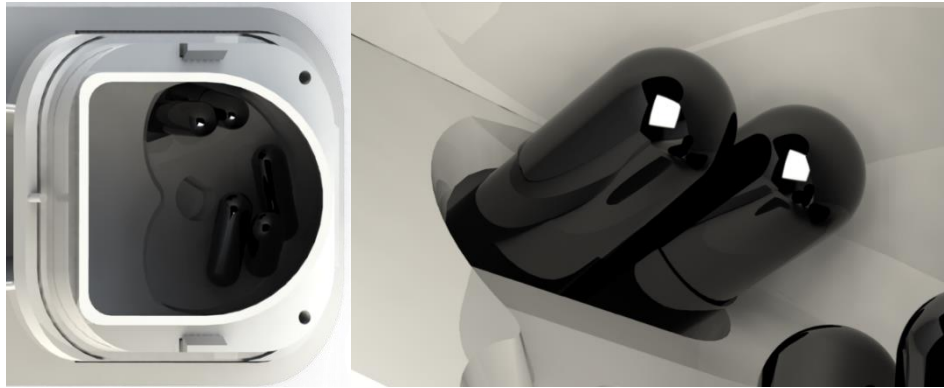
เม็ดยา	จำนวนเม็ดยาที่ถูกจ่าย					รวม	หมายเหตุ
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5		
เม็ดยาชนิด A8	20	20	20	20	20	100	

การอภิปรายสำหรับผลการทดสอบการจ่ายยาของระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้นจากโดยการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ จากตาราง 19 แสดงผลการทดสอบการจ่ายยาของระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้นจริง

- เม็ดยาชนิด A1 จากผลการทดสอบพบว่า การจ่ายยาในรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 5 ระบบจ่ายยาสามารถทำงานได้อย่างดีและจ่ายยาได้ครบ 20 เม็ดในทุกรอบ จากการสังเกตการจ่ายยาของเม็ดยาชนิดที่ 1 ในแต่ละรอบไม่พบปัญหาในการจ่ายยา เมื่อเปรียบเทียบกับระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้นจริงกับแบบจำลองกลไกการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติพบว่ามีการทำงานที่สัมพันธ์กันและสามารถใช้งานได้จริง

- เม็ดยาชนิดที่ 2 จากผลการทดสอบพบว่า การจ่ายยาในรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 5 ระบบจ่ายยาสามารถทำงานได้อย่างดีและจ่ายยาได้ครบ 20 เม็ดในทุกรอบ จากการสังเกตการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเม็ดยาชนิดที่ 2 พบว่าเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ เนื่องจากเม็ดยาชนิดที่สองได้เลือกใช้ร่องจับเม็ดยาแบบมุมตรง 0 องศา ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา ทำให้การจ่ายยาเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น คือเมื่อมีเม็ดยาซ้อนกันอยู่สองเม็ดการเพิ่มมุมตรงท้ายของร่องจับเม็ดยาจะช่วยให้เม็ดยาล้มลงเมื่อเม็ดยาที่ซ้อนเคลื่อนที่มาถึงส่วนกันเม็ดยาตกช่องทางออกของช่องใส่เม็ดยา

- เม็ดยาชนิด A3 จากผลการทดสอบพบว่า การจ่ายยาในรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 5 พบว่าในแต่ละรอบเมื่อเม็ดยาจ่ายยาไปได้ส่วนหนึ่งแล้วเม็ดยาก็เกิดการซ้อนกันและติดไม่สามารถจ่ายต่อได้ เมื่อมีเม็ดยาไปติดค้างตรงที่ร่องจับเม็ดยาแล้วแผ่นจับเม็ดยาเคลื่อนที่มาถึงส่วนกันเม็ดยาตกช่องทางออกของช่องใส่เม็ดยาจะทำให้ยาติดค้างและเม็ดยาไม่สามารถหลุดออกมาจากร่องจับเม็ดยาได้เอง จึงทำให้ระบบจ่ายยาไม่สามารถทำงานต่อเพื่อจ่ายยาเม็ดที่เหลือต่อได้ กรณีที่เม็ดยาติดในร่องจับเม็ดยาแสดงดังในภาพ 65 เป็นการแสดงภาพตัวอย่างในกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันเกิดขึ้นและทำให้ระบบจ่ายเม็ดยาติดขัด และในภาพ 66 เป็นการแสดงตัวอย่างของผลการทดสอบจริงที่เกิดขึ้นในกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกัน



ภาพ 65 ตัวอย่างของกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันในร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A3 (ตัวอย่าง)

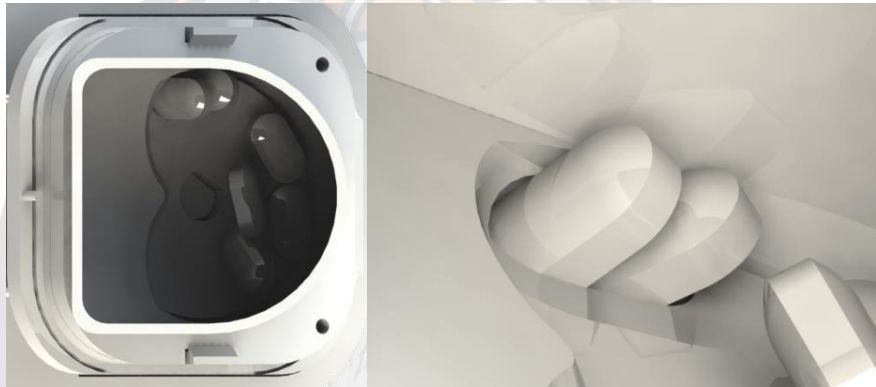


ภาพ 66 ตัวอย่างของผลการทดสอบในกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันในร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A3 (จากการทดสอบ)

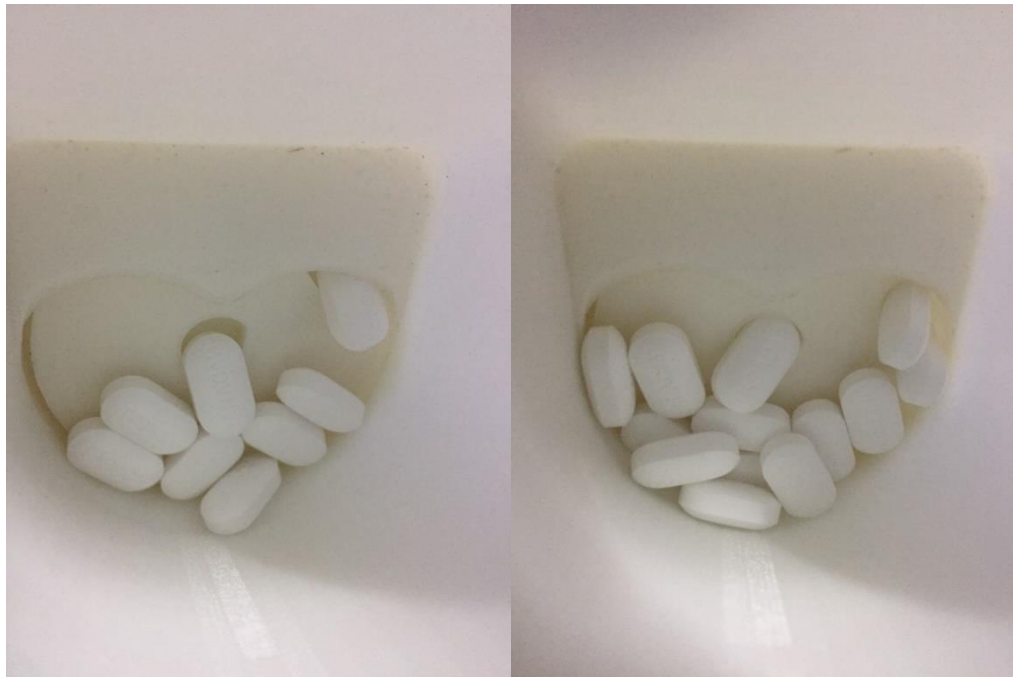
- เม็ดยาชนิด A4 จากผลการทดสอบพบว่า การจ่ายยาในรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 5 ระบบจ่ายยาสามารถทำงานได้อย่างดีและจ่ายยาได้ครบ 20 เม็ดในทุกกรอบ จากการสังเกตการจ่ายยาของเม็ดยาชนิดที่ 4 ในแต่ละรอบไม่พบปัญหาในการจ่ายยา เมื่อเทียบระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้นจริงและแบบจำลอง

กลไกการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติพบว่ามีการทำงานที่คล้าย ๆ กันและสามารถใช้งานได้จริง

- เม็ดยาชนิด A5 จากผลการทดสอบพบว่าการจ่ายยาในรอบที่ 1 ระบบจ่ายยาสามารถทำงานได้อย่างดีและจ่ายยาได้ครบ 20 เม็ด ต่อมาในรอบที่ 2 ถึงรอบที่ 5 เม็ดยาเกิดการซ้อนกันและติดไม่สามารถจ่ายต่อได้ เนื่องจากมีเม็ดยาหนึ่งเม็ดหรือสองเม็ดตกลงไปในร่องจับยาในแนวตั้งจึงทำให้ระบบจ่ายยาเกิดการติดขัดและค้างไม่สามารถจ่ายยาเม็ดที่เหลือต่อได้ทำให้ต้องหยุดการทดสอบในแต่ละรอบไป ตัวอย่างกรณีที่มีเม็ดยาติดแสดงดังภาพ 67 และตัวอย่างการทดสอบจริงแล้วเกิดปัญหาเนื่องจากมีเม็ดยาติดแสดงดังภาพ 68

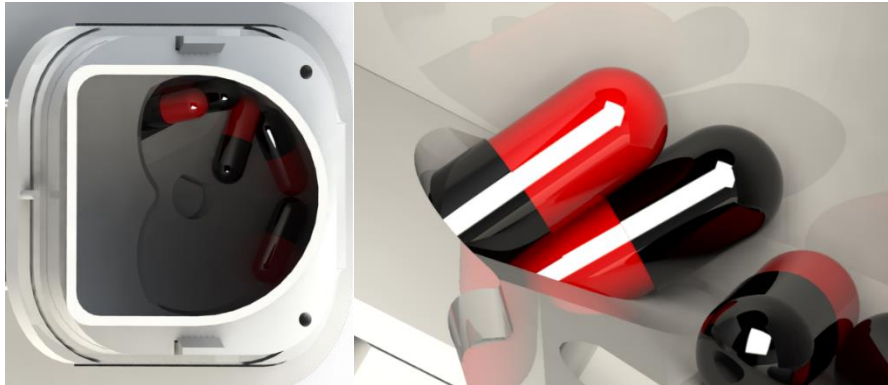


ภาพ 67 ตัวอย่างของกรณีที่มีเม็ดยาเกิดการซ้อนกันหรือติดในร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A5 (ตัวอย่าง)



ภาพ 68 ตัวอย่างของผลการทดสอบในกรณีที่มีเม็ดยาเกิดการซ้อนกันในร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A5 (จากการทดสอบ)

- เม็ดยาชนิด A6 จากผลการทดสอบพบว่า การจ่ายยาในรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 5 มีพฤติกรรมการจ่ายคล้ายคลึงกับเม็ดยาชนิด A3 เนื่องจากเป็นยาแคปซูลเหมือนกันเพียงแค่นขนาด กรณีที่มีเม็ดยาดูดในร่องจับเม็ดยาแสดงดังในภาพ 69 เป็นการแสดงภาพตัวอย่างในกรณีที่มีเม็ดยาเกิดการซ้อนกันเกิดขึ้นและทำให้ระบบจ่ายเม็ดยาดูดขัด และในภาพ 70 เป็นการแสดงตัวอย่างของผลการทดสอบจริงที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีเม็ดยาเกิดการซ้อนกัน



ภาพ 69 ตัวอย่างของกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันในร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A5 (ตัวอย่าง)



ภาพ 70 ตัวอย่างของผลการทดสอบในกรณีที่เม็ดยาเกิดการซ้อนกันในร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A5 (จากการทดสอบ)

- เม็ดยาชนิด A7 จากผลการทดสอบพบว่า การจ่ายยาในรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 5 ระบบจ่ายยาสามารถทำงานได้อย่างดีและจ่ายยาได้ครบ 20 เม็ดในทุกกรอบ จากการสังเกตการจ่ายยาของเม็ดยาชนิดที่ 7 ในแต่ละรอบไม่พบปัญหาในการจ่ายยา เมื่อเทียบระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้นจริงและแบบจำลอง

กลไกการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติพบว่ามีการทำงานที่คล้ายๆ กันและสามารถใช้งานได้จริง

- เม็ดยาชนิด A8 จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องจ่ายยาในรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 5 ระบบจ่ายยาสามารถทำงานได้อย่างดีและจ่ายยาได้ครบ 20 เม็ดในทุกรอบ จากการสังเกตการจ่ายยาของเม็ดยาชนิดที่ 8 ในแต่ละรอบไม่พบปัญหาในการจ่ายยา เมื่อเทียบระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้นจริงและแบบจำลองกลไกการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติพบว่ามีการทำงานที่คล้าย ๆ กันและสามารถใช้งานได้จริง

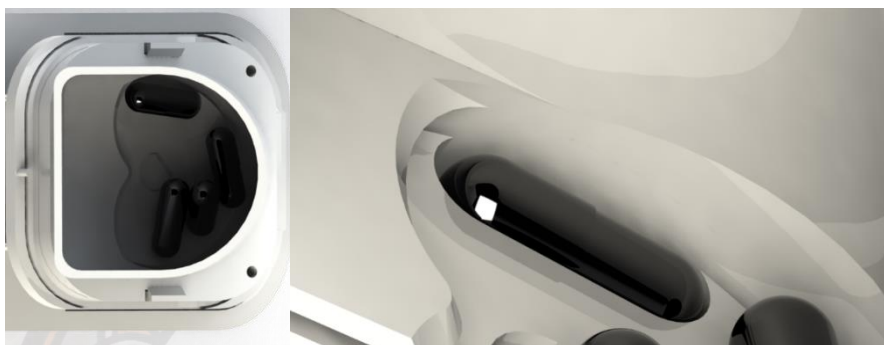
จากการทดสอบระบบจ่ายยากับกลไกของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่สร้างขึ้นจริงโดยการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ กับเม็ดยาทั้งหมด 8 ชนิดมีเม็ดยাজำนวน 3 ชนิดที่มีปัญหาในการจ่ายยาก็คือ เม็ดยาชนิด A3 เม็ดยาชนิด A5 และเม็ดยาชนิด A6 และจากการสังเกตพบว่สาเหตุที่ทำให้ระบบจ่ายยาทั้ง 3 ชนิดมีปัญหาเนื่องจากแผ่นจับเม็ดยาของยาทั้ง 3 ชนิดมีความหนาที่ไม่เหมาะสมเพราะมีความหนาเกินไปจึงทำให้เม็ดยาเกิดการตกลงไปในร่องจับเม็ดยาแล้วเกิดการตั้งขึ้นแล้วซ้อนกันจึงได้ทำการลดขนาดความหนาของเม็ดยาทั้ง 3 ชนิดใหม่แล้วได้ทำการทดสอบซ่อมสำหรับเม็ดยาทั้ง 3 ชนิด และผลการทดสอบแสดงดังตาราง 21

ตาราง 21 ผลการทดสอบใหม่สำหรับเม็ดยาชนิด A3 เม็ดยาชนิด A5 และเม็ดยาชนิด A6

เม็ดยา	จำนวนเม็ดยาที่ถูกจ่าย					รวม	หมายเหตุ
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5		
เม็ดยาชนิด A1	20	20	20	20	20	100	
เม็ดยาชนิด A2	20	20	20	20	20	100	
เม็ดยาชนิด A3	20	20	20	20	20	100	ทดลองซ่อม
เม็ดยาชนิด A4	20	20	20	20	20	100	
เม็ดยาชนิด A5	20	20	20	20	20	100	ทดลองซ่อม
เม็ดยาชนิด A6	20	20	20	20	20	100	ทดลองซ่อม
เม็ดยาชนิด A7	20	20	20	20	20	100	
เม็ดยาชนิด A8	20	20	20	20	20	100	

จากการทดสอบใหม่โดยการปรับความหนาแผ่นจับเม็ดยาใหม่ สำหรับแผ่นจ่ายเม็ดยาที่ประสบปัญหาเม็ดยาดิดและไม่สามารถจ่ายยาต่อไปได้ โดยการปรับขนาดความหนาของเม็ดยาให้น้อยลง จากการทดสอบพบว่าเมื่อแผ่นจับเม็ดยามีขนาดความหนาน้อยลง ทำให้เม็ดยาไม่เกิดการติด

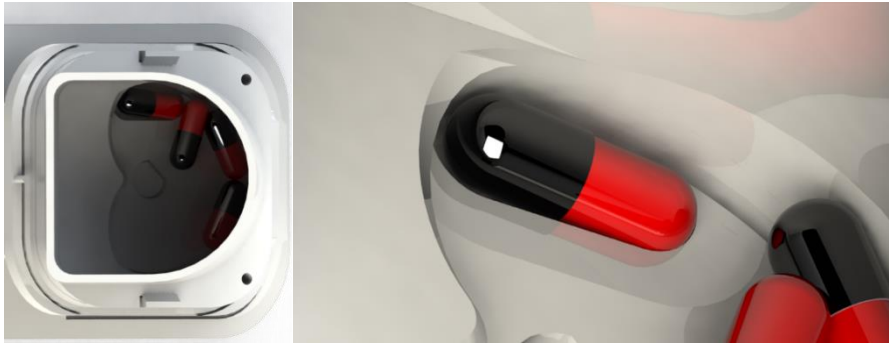
และซ้อนกันเหมือนการทดสอบในครั้งแรก ซึ่งเมื่อเม็ดยาเกิดการติดหรือซ้อนเม็ดยาจะไม่ค้างเหมือนในที่เกิดปัญหาข้างต้นเพราะความหนาที่ลดลงทำให้เม็ดยาสามารถลงได้ง่ายและระบบจ่ายยาก็ไม่เกิดการติดขัดระหว่างการจ่ายยาและสามารถจ่ายต่อไปได้จนเสร็จทั้ง 20 เม็ด แสดงดังในภาพ 71 ภาพ 72 และภาพ 73 เป็นการแสดงภาพตัวอย่างในกรณีที่เม็ดยาไม่เกิดการซ้อนกันเกิดขึ้นและทำให้ระบบจ่ายเม็ดยาไม่เกิดติดขัด



ภาพ 71 ตัวอย่างของกรณีที่เม็ดยาที่ไม่เกิดการซ้อนกันในร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A3 (ตัวอย่าง)



ภาพ 72 ตัวอย่างของกรณีที่เม็ดยาที่ไม่เกิดการซ้อนกันในร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A5 (ตัวอย่าง)



ภาพ 73 ตัวอย่างของกรณีที่มีเม็ดยาที่ไม่เกิดการซ้อนกันในร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาชนิด A6 (ตัวอย่าง)

4.5 ผลลัพธ์การพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

4.5.1 ผลการทดสอบการหาค่ามุมเอียงที่ส่งผลต่อการไหลของเม็ดยา

จากการทดสอบการหาค่ามุมเอียงที่ส่งผลต่อการไหลของเม็ดยา ผลจากการทดสอบแสดงในตาราง 22 การหาค่ามุมเอียงที่ส่งผลต่อการไหลของเม็ดยา หาได้จากองศาของมุมเอียงกับแนวระดับ (θ) ที่ทำให้เม็ดยาเริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง พบว่าเม็ดยาชนิด A4 ได้มีการเริ่มเคลื่อนที่ไหลผ่านระบบตรวจจับเม็ดยาที่มุม 25 องศา ในส่วนของเม็ดยาชนิด A1 A2 A5 A6 และ A7 ได้มีการเริ่มเคลื่อนที่ไหลผ่านระบบตรวจจับเม็ดยาที่มุม 30 องศา และเม็ดยาชนิด A3 และ A8 ได้มีการเริ่มเคลื่อนที่ไหลผ่านระบบตรวจจับเม็ดยาที่มุม 35 องศา ส่วนค่าหามุมเอียงที่ส่งผลต่อการไหลของเม็ดยาที่ทดสอบได้ค่าที่น้อยที่สุดคือ 25 องศา และค่าหามุมเอียงที่ส่งผลต่อการไหลของเม็ดยาที่ทดสอบได้ค่าที่มากที่สุดคือ 35 องศา

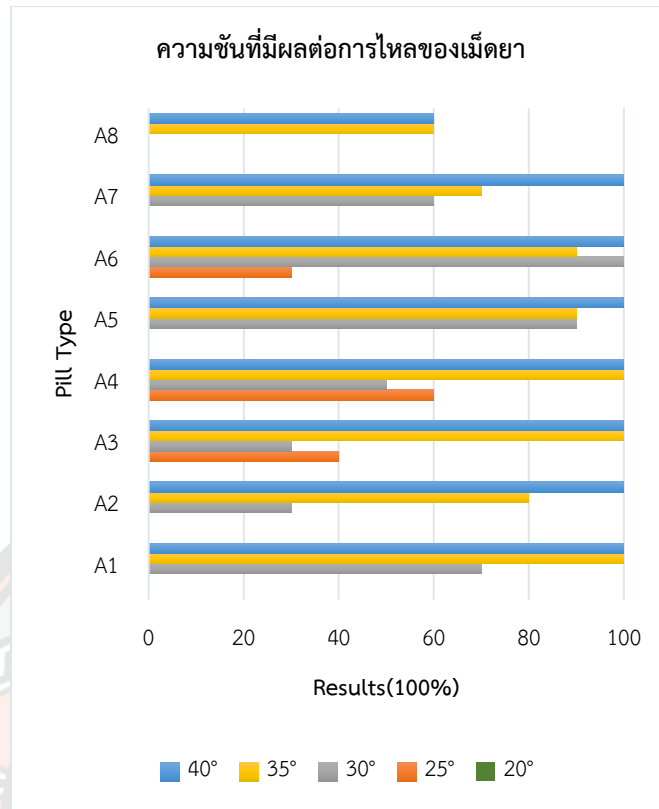
ตาราง 22 ผลการทดสอบหาค่ามุมเอียงที่ส่งผลต่อการไหลของเม็ดยา

เม็ดยา	Degree ($^{\circ}$)	$\tan(\theta)$
เม็ดยาชนิด A1	30	0.58
เม็ดยาชนิด A2	30	0.58
เม็ดยาชนิด A3	35	0.70
เม็ดยาชนิด A4	25	0.47
เม็ดยาชนิด A5	30	0.58
เม็ดยาชนิด A6	30	0.58
เม็ดยาชนิด A7	30	0.58
เม็ดยาชนิด A8	35	0.70

4.5.2 ผลของการทดสอบความชื้นที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยา

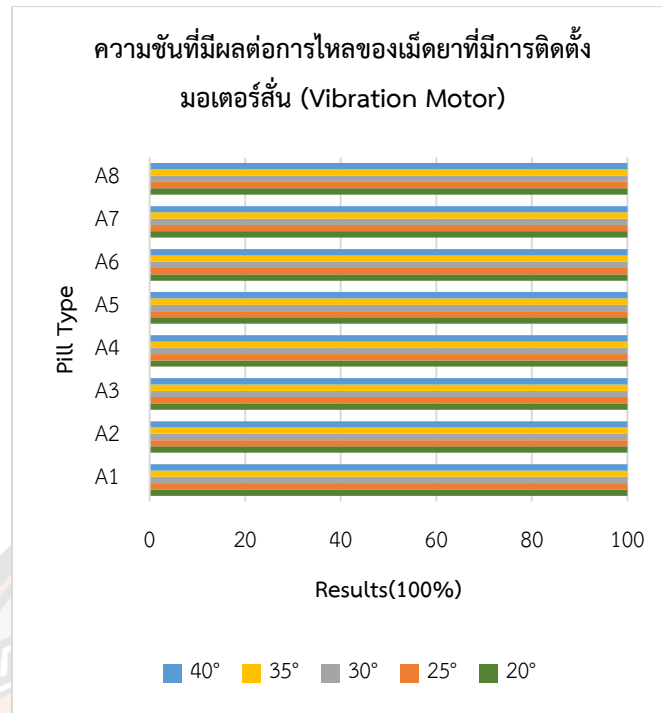
การทดสอบความชื้นที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยาของระบบตรวจจับเม็ดยา จะทำการทดสอบกับเม็ดยาตัวอย่างแต่ละชนิดกับระบบตรวจจับเม็ดยาที่อิงตามมุมเอียงกับแนวระดับ (θ) ในมุมต่าง ๆ โดยเริ่มการทดสอบมุมเอียงตั้งแต่ 20 องศา และเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศา จนถึงมุมเอียง 40 องศา ทดสอบกับเม็ดยาตัวอย่างทั้งหมด 8 ชนิด โดยจะทำการทดสอบโดยการนำเม็ดยาตัวอย่างแต่ละชนิดที่กำหนดมาทำการสู่วางที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบตรวจจับเม็ดยา เพื่อสังเกตพฤติกรรมการไหลของเม็ดยากับมุมเอียงของแต่ละองศา ในขั้นตอนการทดสอบความชื้นที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยานี้ จะทดสอบโดยปล่อยให้เม็ดยาไหลได้อย่างอิสระและไม่ใช้มอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เป็นตัวช่วย หลังจากที่ทำการทดสอบเสร็จจะมีการทำการทดสอบเพิ่ม โดยทำการทดสอบเหมือนกับการทดสอบข้างต้นแต่จะใช้มอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เป็นตัวช่วยกระตุ้นเพื่อให้เม็ดยาไหลได้ดีขึ้นและนำผลการทดสอบทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน

ค่าที่แสดงในภาพ 74 ผลของการทดสอบความชื้นที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยา ค่าที่แสดงผล (Results) 100% คือเม็ดยาทุกเม็ดที่ทำการทดสอบสามารถไหลผ่านออกจากระบบตรวจจับเม็ดยา ความชื้นแต่ละองศาต่างได้ค่าอื่น ๆ ก็เป็นค่าของจำนวนเม็ดยาที่ไม่สามารถไหลผ่านออกจากระบบตรวจจับเม็ดยาที่ความชื้นระดับต่าง ๆ ได้ ในการทดสอบนั้นจะทำการสู่วางเม็ดยาในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบตรวจจับเม็ดยา ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อิงตามมุมเอียงกับแนวระดับ (θ) 20 องศาไม่มีเม็ดยาชนิดใดสามารถไหลออกจากระบบตรวจจับเม็ดยาได้เลย ที่อิงตามมุมเอียงกับแนวระดับ (θ) 25 องศา มีเพียงเม็ดยา A3,A4 และ A6 ที่สามารถไหลผ่านออกจากระบบตรวจจับเม็ดยาได้บางส่วนที่อิงตามมุมเอียงกับแนวระดับ (θ) 30 องศา มีเม็ดยาบางส่วนของเกือบทุกชนิดสามารถไหลผ่านตามความชื้นนี้ได้และเห็นว่าเม็ดยาชนิด A6 สามารถได้ผ่านออกได้ทุกเม็ด แต่เม็ดยาชนิด A8 ไม่มีเม็ดยาที่จะสามารถไหลผ่านได้เลยที่ระดับองศาเอียงกับแนวระดับ (θ) 30 องศา เม็ดยาทุกชนิดมีการไหลผ่านออกไปได้บางส่วน มี A1,A3 และ A4 ที่ไหลออกไปได้ทั้งหมด ที่ระดับองศาเอียงกับแนวระดับ (θ) สุดท้ายของการทดสอบ 40 องศา มีเม็ดยาเกือบทุกชนิดที่สามารถไหลผ่านออกมาจากระบบตรวจจับเม็ดยาได้ทั้งหมดยกเว้นเม็ดยาชนิด A8 เท่านั้นที่สามารถไหลมาได้เฉพาะบางส่วนแต่ไม่ทั้งหมด



ภาพ 74 ค่าความชันที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยา

เนื่องจากผลการทดสอบที่ผ่านมาในภาพ 74 แสดงให้เห็นได้ว่าเม็ดยาแต่ละชนิดยังไม่สามารถไหลผ่านออกมาจากระบบตรวจจับเม็ดยาได้ทั้งหมด จึงได้มีการติดตั้งมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) และจากการทดสอบโดยการติดตั้งมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เพื่อเป็นตัวช่วยกระตุ้นให้เม็ดยาสามารถไหลผ่านได้ดี จากนั้นทำการทดสอบปล่อยเม็ดยาที่จะทำการทดสอบที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบตรวจจับเม็ดยา ผลการทดสอบดังแสดงภาพ 75 จากการทดสอบเห็นได้ชัดเจนว่าหลังจากที่ติดตั้งมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เม็ดยาทุกเม็ดของเม็ดยาทุกชนิดสามารถไหลผ่านได้ดีมากในระบบตรวจจับเม็ดยาตั้งแต่ค่าองศามุมเอียงกับแนวระดับ (θ) 20 องศาและค่าความชันในระดับอื่น ๆ



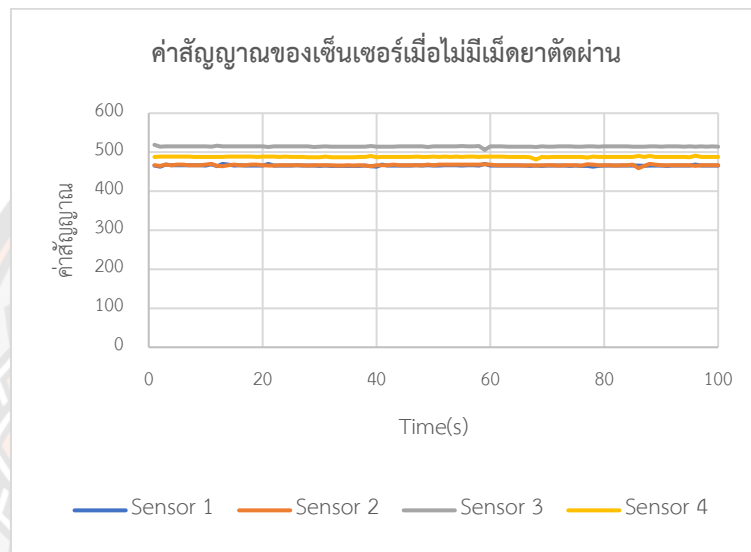
ภาพ 75 ค่าความชันที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยาหลังจากติดตั้งมอเตอร์สั่น

ผลจากการทดสอบความชันที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยาทั้งสองรูปแบบที่มีการปล่อยเม็ดยาลงสู่ระบบตรวจจับเม็ดยาแบบไม่มีมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ช่วยกระตุ้นกับการปล่อยเม็ดยาลงสู่ระบบตรวจจับเม็ดยาแบบมีมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ช่วยกระตุ้น ทำให้เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนว่าการที่มีมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ช่วยกระตุ้น ทำให้เม็ดยาไหลผ่านระบบตรวจจับเม็ดยาได้ดี เพราะการสั่นจะเป็นการช่วยกระตุ้นให้เม็ดยาไหลผ่านในทางลาดชันได้ดียิ่งขึ้น

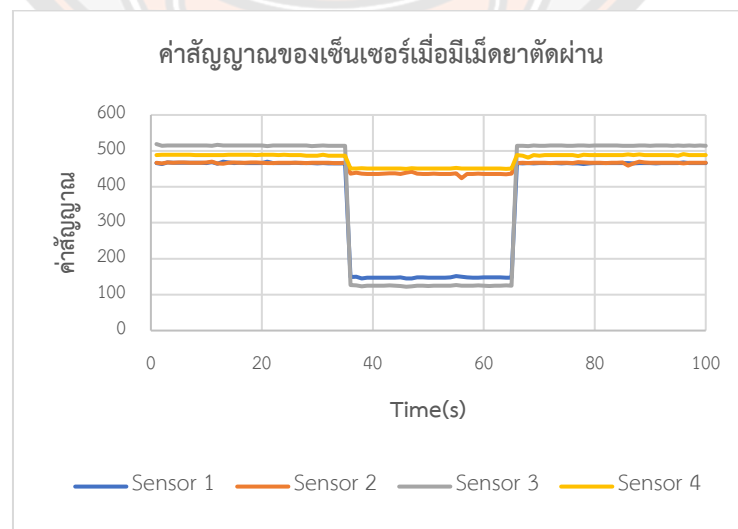
4.5.3 การทดสอบการอ่านค่าสัญญาณเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR)

ลักษณะของการตรวจจับที่เกิดขึ้นจากแสงที่ของตัวส่งส่งผลให้ตัวรับแสงรับรู้ถึงสถานะที่เกิดเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทางด้านเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งานเมื่อไม่มีวัตถุ (เม็ดยา) มาขวางกั้นระหว่างตัวรับสัญญาณและตัวส่งสัญญาณ จะส่งผลให้ตัวรับแสงสามารถรับค่าได้ค่าหนึ่งดังแสดงในภาพ 76 ในภาพแสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) แต่ละชุดจะอ่านค่าสัญญาณออกมาได้ในค่าต่าง ๆ คงที่ แต่เมื่อมีวัตถุ (เม็ดยา) ไหลผ่านมาขวางกั้นจะทำให้ตัวรับแสงรับค่าได้ลดลงดังแสดงในภาพ 77 จากภาพ 77 จะเห็นได้ว่าค่าของสัญญาณเซ็นเซอร์มีค่าลดลงเมื่อมีวัตถุ (เม็ดยา) มาขวางกั้นระหว่างตัวรับสัญญาณและตัวส่งสัญญาณจากการที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณทางไฟฟ้า ทำให้สามารถนำค่าที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ไปใช้ประโยชน์ในการตรวจจับเม็ดยา จากค่าเริ่มต้นที่เซ็นเซอร์อ่านค่าได้ในช่วงที่ไม่มีวัตถุ (เม็ดยา) ตัดผ่านและนำค่าที่ได้มาเป็นตัวเปรียบเทียบสำหรับค่าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อ

มีเม็ดยาตัดผ่าน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากค่าที่อ่านได้เริ่มต้น จะทำการทดสอบโดยการจ่ายเม็ดยาที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 8 ชนิดจำนวน 3 รอบ เพื่อดูพฤติกรรมของเซ็นเซอร์ในการตรวจจับเม็ดยาแต่ละชนิดดัง แสดงในภาพ 78 จากภาพ 78 แสดงผลการทดสอบสังเกตได้ว่าเม็ดยาแต่ละชนิดที่เซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ทั้ง 4 ชุดตรวจจับเม็ดยาได้แต่ละชุดจะตรวจจับเม็ดยาได้ไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับลักษณะพฤติกรรมการตกของเม็ดยา การทดสอบนี้จะนำไปเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจให้เซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) เป็นตัวกำหนดในการตรวจจับเม็ดยา

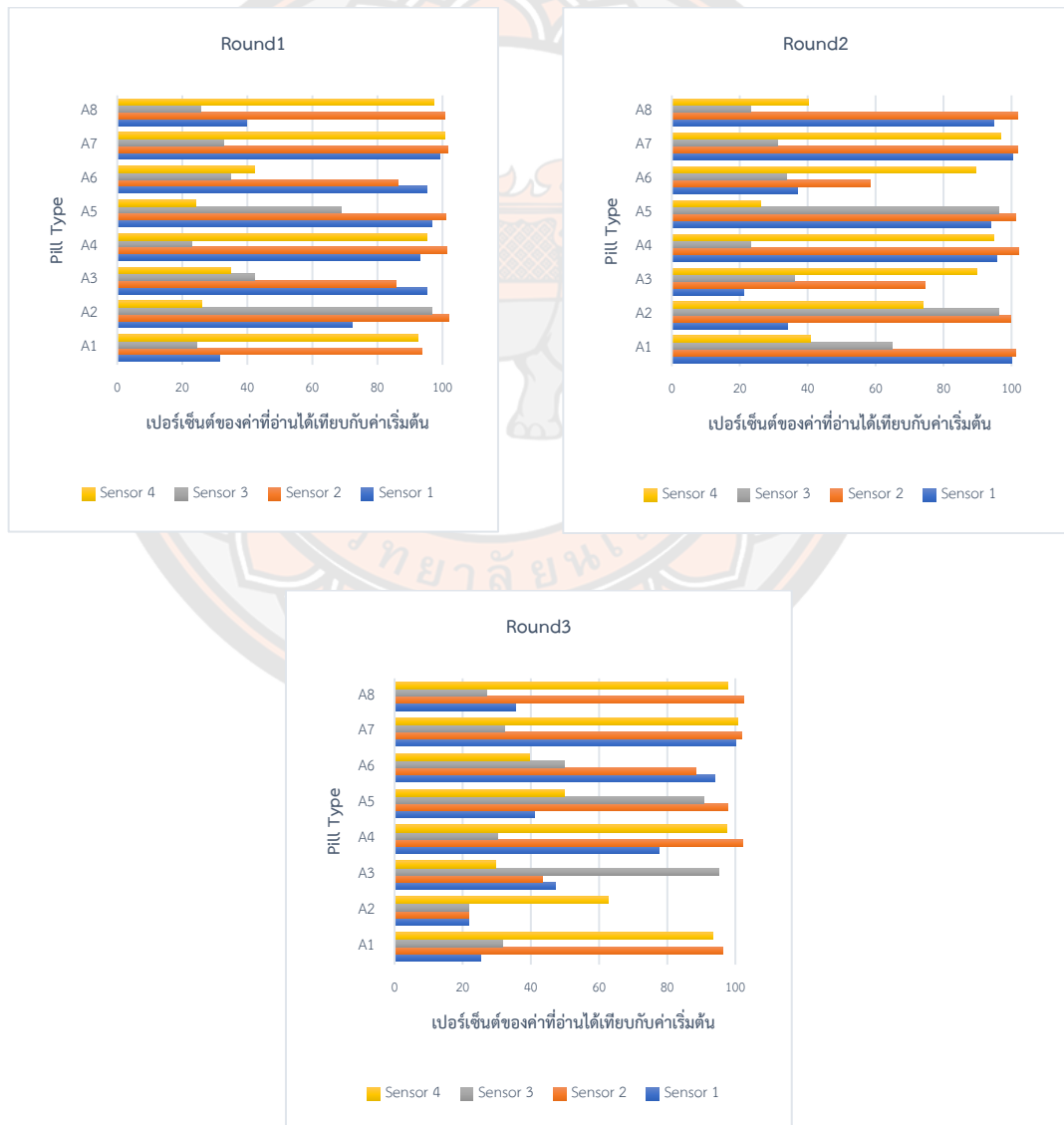


ภาพ 76 ค่าสัญญาณของเซ็นเซอร์เมื่อไม่มีเม็ดยาตัดผ่าน



ภาพ 77 ค่าสัญญาณของเซ็นเซอร์เมื่อมีเม็ดยาตัดผ่าน

จากการทดสอบการอ่านค่าสัญญาณของเซ็นเซอร์ (IR) ที่ได้ทำการทดสอบกับเม็ดยาแต่ละชนิดจำนวน 3 รอบ พบว่าเม็ดยาที่ได้นำมาทำการทดสอบในแต่ละรอบนั้นชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) สามารถตรวจจับเม็ดยาได้ดี สังเกตได้จากผลการที่ได้มีการวางตำแหน่งของชุดเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) แต่ละชุดเป็นแบบ Array ทำให้เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับเม็ดยาได้อย่างน้อยชุดใดชุดหนึ่งและจากภาพ 78 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าที่อ่านได้เทียบกับค่าเริ่มต้น ก็จะสามารถสังเกตได้ว่าเมื่อชุดเซ็นเซอร์ชุดใดชุดหนึ่งสามารถตรวจจับเม็ดยาได้ ค่าเซ็นเซอร์ที่อ่านค่าได้จะมีค่าน้อยกว่า 50% ของค่าที่อ่านได้ของเซ็นเซอร์เริ่มต้น ดังนั้นจึงได้นำเอาค่าเซ็นเซอร์ที่มีค่าน้อยกว่า 50% ของค่าที่อ่านได้ของเซ็นเซอร์เริ่มต้นมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในการตรวจจับเม็ดยา

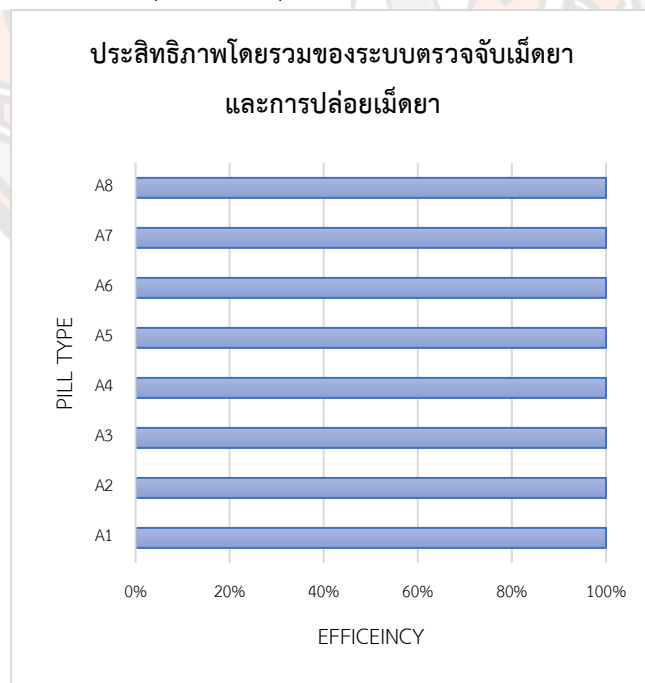


ภาพ 78 การทดสอบการอ่านค่าสัญญาณของเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR)

4.5.4 การทดสอบหาประสิทธิภาพรวมระบบตรวจจับเม็ดยา

การทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบตรวจจับเม็ดยา หลังจากที่ได้ค่าความเอียงที่เหมาะสมต่อการไหลของเม็ดยาทุกชนิดรวมถึงการใช้มอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เป็นตัวกระตุ้นให้เม็ดยาไหลผ่านได้ดีและจากการตัดสินใจจากเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) เป็นตัวกำหนดในการตรวจจับเม็ดยา จะทำการทดลองโดยการปล่อยเม็ดยาทีละ 1 เม็ดเข้าสู่ระบบตรวจจับเม็ดยาเมื่อเม็ดยาไหลผ่านมาถึงตัวเซ็นเซอร์ก็จะมีแผ่นกั้นเม็ดยาไว้ก่อนหลังจากที่เซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ชูดใดชูดหนึ่งสามารถตรวจจับเม็ดยาได้แล้วนั้นเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ก็จะเปิดตัวแผ่นกั้นเม็ดยาขึ้น เพื่อให้เม็ดยาออกจากระบบตรวจจับเม็ดยา ในการทดสอบนั้นจะทดสอบกับเม็ดยาแต่ละชนิดอย่างละ 100 รอบ เพื่อหาประสิทธิภาพของการตรวจจับของระบบตรวจจับเม็ดยา

จากการทดสอบการหาค่าความเอียงที่เหมาะสมจึงได้ทำการตัดสินใจเลือกค่ามุมเอียงกับแนวระดับ (θ) ที่ 35 องศา และใช้มอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ช่วยทำให้เม็ดยาไหลผ่านระบบตรวจจับเม็ดยาได้ดี ค่าที่ได้จากการอ่านค่าสัญญาณของอินฟราเรด (IR) จะนำมาเป็นตัวกำหนดในการตรวจจับเม็ดยาโดยใช้ค่าที่น้อยกว่า 50% ของค่าที่อ่านได้ของเซ็นเซอร์เริ่มต้นเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ จากที่ได้ทำการทดสอบได้ผลดังภาพ 79 จะแสดงให้เห็นผลการทดสอบได้ว่าของระบบตรวจจับเม็ดยาทำงานได้ดีอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะเม็ดยาทุกชนิดที่นำมาทำการทดสอบนั้นสามารถตรวจจับได้อย่าง 100% ทุกเม็ดและทุกชนิด



ภาพ 79 ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบตรวจจับเม็ดยาและการปล่อยเม็ดยา

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ

ผลสรุปจากการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่าง เนื่องจากการสร้างแบบจำลองสามมิตินั้น ทางผู้ทำวิจัยจึงต้องการทราบข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ เพื่อที่จะได้นำข้อมูลของเม็ดยาไปทำการออกแบบระบบจ่ายยาและการเผื่อขนาดสำหรับร่องจับเม็ดยาและหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ดังนั้นจึงได้มีการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบ อีกทั้งได้มีการศึกษาข้อมูลของเม็ดยาที่มีความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพ โดยการเลือกเม็ดยาที่มีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันมาทั้ง 8 ชนิด มาเป็นตัวอย่างในการทดสอบ เพื่อที่จะทำให้ได้สังเกตเห็นพฤติกรรมของเม็ดยาชนิดต่าง ๆ ในขณะที่ถูกจ่ายจากระบบจ่ายยา แต่ในความเป็นจริงแล้วนั้นเม็ดยาที่ใช้ในการรักษาโรคต่าง ๆ ยาบำรุง หรืออาหารเสริม ยังมีอีกหลายลักษณะแต่จากการทดสอบเบื้องต้นกับยาทั้ง 8 ชนิด

5.2 สรุปการสร้างแบบจำลองสามมิติของเม็ดยา

จากการสร้างแบบจำลองเม็ดยาของเม็ดยาตัวอย่างแต่ละชนิด โดยมีการอ้างอิงตามลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาที่ได้มีการเก็บข้อมูล จะทำให้แบบจำลองของเม็ดยาแต่ละชนิดมีลักษณะรูปร่างเหมือนกับเม็ดยาดั้งเดิม ดังนั้นเมื่อนำแบบจำลองของเม็ดยาไปทดสอบกับแบบจำลองของระบบจ่ายยา ผลที่ได้ก็จะมีใกล้เคียงกับการทดสอบของระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้นจริง

5.3 สรุปการวิเคราะห์กลไกสำหรับระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติโดยการสร้างแบบจำลองใน MSC-Adams

5.3.1 การทดสอบที่ 1 การหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา

จากการทดสอบที่ 1 การหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยาโดยการทดสอบได้มีการสร้างแบบจำลองขึ้นมาด้วยโปรแกรม MSC-Adams หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบจ่ายยาขึ้นมาในคอมพิวเตอร์ แล้วทางผู้วิจัยต้องการที่จะทราบว่าระบบจ่ายยาที่ได้ทำการออกแบบมานั้นจะสามารถจ่ายเม็ดยาได้จริงหรือไม่หากนำไปผลิตขึ้นเพื่อใช้งานจริง ดังนั้นจึงได้มีการทดสอบระบบจ่ายยาด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ขึ้นมา ก่อน เพื่อที่จะได้หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบจ่ายที่เหมาะสมกับเม็ดยาแต่ละชนิด ซึ่งในการทดสอบนี้จะได้ทำการทดสอบหาค่าระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา โดยแบ่งระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 4 แบบโดย

- แบบที่ 1 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

- แบบที่ 2 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา
- แบบที่ 3 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1 มิลลิเมตร
- แบบที่ 4 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

และได้มีการทดสอบเพิ่มเติมสำหรับเม็ดยาชนิด A2 โดยการปรับมุมของร่องจับยาออกเป็น 2 มุม ได้แก่การใช้แบบมุมตรง 0 องศา และมุมเอียง 45 องศาและได้เพิ่มการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับเม็ดยาจึงได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมอีก 2 แบบสำหรับเม็ดยาชนิด A2 คือ

- แบบที่ 5 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา
- แบบที่ 6 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา

จากการทดสอบแบบจำลองสามมิติเพื่อการหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยาสำหรับเม็ดยาทุกชนิดผลการทดสอบพบว่าระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ทั้ง 4 แบบ นั้นสามารถจ่ายเม็ดยาได้ครบ 2 เม็ดสำหรับเม็ดยาเกือบทุกชนิดยกเว้น เม็ดยาชนิด A2 ที่มุมเอียง 45 องศา ไม่สามารถจ่ายยาได้คือ

- แบบที่ 1 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร
- แบบที่ 2 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา
- แบบที่ 3 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1 มิลลิเมตร

แต่ในส่วนของ

- แบบที่ 4 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา
- แบบที่ 5 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา
- แบบที่ 6 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา

สามารถจ่ายยาได้ทั้งสองเม็ดเหมือนแบบอื่น ๆ จากการทดสอบนี้ทำให้ผู้ทำวิจัยสามารถสังเกตเห็นได้ว่าถ้าหากเลือกขนาดของร่องจับเม็ดยาได้ไม่เหมาะสมระบบจ่ายยาก็จะไม่สามารถทำงานจ่ายยาได้ ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงได้เลือกความเหมาะสมของร่องจับเม็ดยาดังตาราง 17 เม็ดยาทุกชนิดเลือกใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่

ขอบของร่องจับเม็ดยา ยกเว้นเม็ดยาชนิด A2 เลือกใช้แบบมุมตรง 0 องศา ที่ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา ดังนั้นการทดสอบแบบจำลองสามมิติด้วยโปรแกรม MSC-Adams ทำให้ผู้ทำวิจัยสามารถทดสอบการทำงานเบื้องต้นของกลไกระบบจ่ายยาและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับระบบจ่ายยาได้ และยังสามารถสังเกตเห็นพฤติกรรมของเม็ดยาแต่ละชนิดด้วยการทดสอบเบื้องต้นนี้ได้อีกด้วย

5.3.2 การทดสอบที่ 2 การทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

หลังจากที่ได้ผลสรุปของการหาระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยาดังตาราง 18 แล้วจึงได้นำเอาร่องจับเม็ดยาที่คาดว่าจะมีความเหมาะสม มาใช้ในการทำการทดสอบแบบจำลองของระบบจ่ายยากับเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบทั้ง 8 ชนิด เพื่อที่จะทำให้สามารถยืนยันได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้นนั้นสามารถนำมาใช้งานได้กับเม็ดยาตัวอย่างแต่ละชนิด จากการทดสอบกับเม็ดยาทั้ง 8 ชนิด ชนิดละ 10 เม็ด และได้ทำการทดสอบทั้งหมด 4 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบนั้นจะได้มีการสุ่มปล่อยตำแหน่งเริ่มต้นเพื่อให้เปรียบเสมือนกับการบรรจุยาใส่ลงในช่องใส่เม็ดยาที่ไม่เหมือนกันและจะให้แผ่นจับเม็ดยาหมุน เพื่อให้จ่ายยาทั้งหมด 3 ครั้ง ผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าการทดสอบการจ่ายยาด้วยโปรแกรม MSC-Adams จะเห็นได้ว่าพฤติกรรมของการจ่ายยาในแบบจำลองสามมิติของระบบจ่ายยานั้นสามารถจ่ายยาได้ตามที่คาดการณ์ไว้ซึ่งผลการทดสอบที่แสดงในตาราง 19 นั้นเห็นได้ว่าการจ่ายยาในแบบจำลองนั้นระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาได้โดยที่ระบบจ่ายยาไม่ติดขัดถึงแม้ว่าระบบจ่ายยาสำหรับเม็ดยาบางชนิดไม่สามารถจ่ายยาออกมาได้ครบทั้งสามรอบ แต่ระบบก็ยังสามารถทำงานไปได้อย่างต่อเนื่องและไม่ติดขัด แต่ยกเว้นพฤติกรรมการจ่ายยาสำหรับเม็ดยาชนิด A5 ในรอบที่ 3 นั้นระบบจ่ายยาเกิดการติดขัดเนื่องจากมีเม็ดยาเข้าไปติดในร่องจับเม็ดยาในแนวตั้งแล้วไม่สามารถทำให้ระบบทำงานต่อไปได้ ระบบจ่ายเม็ดยาจึงได้หยุดการทำงาน ดังนั้นจากการสร้างแบบจำลองและทดสอบขึ้นมาก่อน ทำให้สามารถทราบพฤติกรรมการจ่ายยาของระบบจ่ายยาได้ก่อนที่จะนำระบบจ่ายยานั้นไปสร้างขึ้นจริง

จากการทดสอบการสร้างแบบจำลองของระบบจ่ายยาด้วยโปรแกรม MSC-Adams ทั้ง 2 การทดสอบสามารถทำให้ผู้ทำวิจัยเห็นพฤติกรรมของการทำงานของระบบจ่ายยาเม็ดยาได้ก่อนที่จะได้นำต้นแบบของระบบจ่ายยานั้นไปสร้างขึ้นจริงและสามารถเลือกความเหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมก่อนที่จะได้นำต้นแบบนั้นไปใช้งานจริง เพื่อช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการสร้างตัวต้นแบบขึ้นมา และในการสร้างแบบจำลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานประเภทอื่น ๆ ที่ต้องมีการสร้างต้นแบบหรือการสร้างกลไกเพื่อทดสอบระบบต่าง ๆ ได้

5.4 สรุปการทดสอบระบบจ่ายยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติกับกลไกที่สร้างขึ้นจริงจากการขึ้นรูปของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

จากการที่ได้มีการสร้างแบบจำลองของระบบจ่ายยาขึ้นมาก่อนด้วยโปรแกรม MSC-Adams เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับระบบจ่ายยา จึงได้มีการนำต้นแบบของระบบจ่ายยามาสร้างขึ้นจริงโดยการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งขนาดของระบบจ่ายยาที่สร้างขึ้นมานั้นมีขนาดและหลักการการทำงานเหมือนกับระบบจ่ายยาที่ได้สร้างขึ้นในแบบจำลองสามมิติ โดยการทดสอบได้มีการนำระบบจ่ายยามาทดสอบกับเม็ดยาตัวอย่างทั้ง 8 ชนิด จากการทดลองพบว่าเม็ดยาส่วนหนึ่งสามารถจ่ายยาได้ดีตามผลของแบบจำลองที่แสดงผลออกมา แต่ก็มีเม็ดยาบางชนิดคือเม็ดยาชนิด A3 เม็ดยาชนิด A5 และเม็ดยาชนิด A6 เกิดการติดขัดระหว่างการทดสอบ จากการสังเกตพบว่าสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถจ่ายเม็ดยาได้ตามที่ต้องการนั้น เกิดขึ้นจากในส่วนของแผ่นจับเม็ดยามีขนาดของค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม จึงได้ทำการปรับปรุงและแก้ไขโดยการลดขนาดของความหนาของแผ่นจับเม็ดยา แล้วได้มีการทดสอบเพิ่มเติมจนได้ผลออกมาเป็นที่น่าพึงพอใจ คือระบบจ่ายยาทั้งหมดสามารถจ่ายยาออกมาได้อย่าง 100 % ซึ่งสาเหตุที่เม็ดยาเกิดการติดขัดนั้นได้แสดงผลให้เห็นในการสร้างแบบจำลองของระบบจ่ายยาในเม็ดยาชนิด A5 ในรอบที่ 3 ทำให้สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นได้มีการทำงานที่สอดคล้องกับระบบจ่ายยาจริง แสดงว่าการสร้างแบบจำลองของระบบจ่ายยาขึ้นมาด้วยโปรแกรม MSC-Adams สามารถศึกษาพฤติกรรมและการทำงานของระบบจ่ายยาได้ก่อนที่จะนำระบบจ่ายยานั้นไปใช้ในการทดสอบจริงได้

5.5 สรุปผลลัพธ์การพัฒนาระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ

จากผลการทดลองระบบตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติพบว่าเม็ดยาที่นำมาเป็นตัวอย่างเป็นการทดสอบแต่ละชนิดก็มีรูปร่างลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันมาพอสมควรเพื่อให้เกิดความหลากหลายในการทดสอบกับระบบการตรวจจับเม็ดยา และการทดลองต่าง ๆ ระหว่างเม็ดยากับระบบตรวจจับเม็ดยาพบว่า

เม็ดยาตัวอย่างแต่ละชนิดที่นำมาทดสอบการหาค่ามุมเอียงที่ส่งผลต่อการไหลของเม็ดยาระหว่างพื้นผิวที่เม็ดยาสัมผัสกับระบบตรวจจับเม็ดยามีค่าที่แตกต่างกันอยู่พอสมควรสาเหตุเนื่องจากพื้นผิวของเม็ดยาแต่ละชนิดมีสภาพไม่เหมือนกันอีกทั้งผิวของระบบ ตรวจจับเม็ดยาเองก็ค่อนข้างที่จะไม่เรียบเพราะเกิดจากการขึ้นรูปแบบสามมิติซึ่งข้อสรุปก็พบว่าค่ามุมเอียงที่ส่งผลต่อการไหลของเม็ดยาของเม็ดยาที่นำมาทดสอบอยู่ระหว่าง 25 องศา - 35 องศา

การทดสอบความชันที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยาพบว่าเมื่อไม่มีมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เม็ดยาก็มีการเกิดการติดขัดระหว่างระบบตรวจจับเม็ดยา แม้ว่าเมื่อมีความชันเพิ่มมากขึ้นเม็ดยาก็สามารถไหลผ่านได้ดี แต่ก็ไม่สามารถไหลผ่านได้ทั้งหมดยังเกิดการติดขัดอยู่ แต่เมื่อทำการทดสอบความชันที่มีผลต่อการไหลของเม็ดยาและเพิ่มการใช้มอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เป็นตัว

ช่วยกระตุ้นให้เม็ดยาไหลผ่านได้ดี จากการทดสอบเห็นได้ชัดว่าการเพิ่มมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ทำให้เม็ดยาไหลผ่านระบบตรวจจับเม็ดยาได้ดีมาก ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงได้เลือกใช้ความถี่ที่ 35 องศาและมีมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เป็นตัวช่วยกระตุ้นเม็ดยาให้ไหลผ่านได้ดีในระบบตรวจจับเม็ดยา

จากการทดสอบการอ่านค่าสัญญาณของเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ที่มีการวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ที่มีตัวจ่ายสัญญาณและตัวรับสัญญาณโดยการวางแบบ Array นั้นทำให้เซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) นั้นช่วยเพิ่มสามารถตรวจจับเม็ดยาได้เป็นอย่างดีและการอ่านค่าสัญญาณของเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ชุดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดสอบในแต่ละรอบนั้นพบว่าเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) สามารถตรวจจับเม็ดยาได้ทุกครั้งไม่ชุดใดก็ชุดหนึ่งใน 4 ชุดทุกครั้งที่เม็ดยามาตัดขวางระหว่างเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ที่มีตัวจ่ายสัญญาณและตัวรับสัญญาณจะทำให้ค่าสัญญาณที่อ่านได้มีค่าน้อยกว่า 50% ของค่าเซ็นเซอร์ที่อ่านได้เริ่มต้นเมื่อไม่มีเม็ดยามาตัดขวางจึงได้นำการทดสอบนี้มาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในการเช็คค่าการตรวจจับเม็ดยา จากการทดสอบประสิทธิภาพรวมทั้งหมดของระบบตรวจจับเม็ดยาโดยการปล่อยเม็ดยาทีละ 1 เม็ดสู่ระบบตรวจจับเม็ดยาที่ความถี่ 35 องศา และมีมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) เป็นตัวช่วยให้เม็ดยาไหลผ่านได้ดี และใช้ค่าสัญญาณที่อ่านได้ที่มีค่าน้อยกว่า 50 % ของค่าเซ็นเซอร์ที่อ่านได้เริ่มต้นเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในการตรวจจับเม็ดยาและมีแผ่นกั้นเม็ดยาที่เป็นตัวกั้นเม็ดยาก่อนเพื่อจะทำให้เม็ดยาถูกตรวจจับด้วยชุดเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ชุด และเมื่อเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ชุดใดชุดหนึ่งสามารถตรวจจับเม็ดยาได้ แผ่นกั้นเม็ดยาก็น่าจะปล่อยเม็ดยาออกไปยังช่องจ่ายยา พบว่าจากทดสอบประสิทธิภาพเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ ดังนั้นจึงให้ข้อสรุปได้ว่าการพัฒนาการตรวจจับเม็ดยาสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติที่ได้ทำการออกแบบและติดตั้งระบบเซ็นเซอร์แบบ Array และมีการเลือกความถี่ที่เหมาะสมและทำงานร่วมกับมอเตอร์สั่น (Vibration Motor) อีกทั้งยังมีแผ่นกั้นที่จะช่วยกันให้เม็ดยาถูกเซ็นเซอร์อินฟราเรด (IR) ตรวจจับได้อย่างแน่นอนใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้งานร่วมกับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติได้จริง

จากการศึกษาและทำวิจัยเรื่องการพัฒนาและวิเคราะห์กลไกสำหรับเครื่องจ่ายยาอัตโนมัติ ที่ได้มีการศึกษาและได้มีการทดสอบนั้นสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้กับเม็ดยาที่หลากหลายและแตกต่างจากเม็ดยาตัวอย่างที่นำมาใช้ในการทดสอบทั้ง 8 ชนิดได้ ตามที่ได้มีเก็บข้อมูลและการออกแบบการทดสอบ โดยการเริ่มจากการเก็บข้อมูลลักษณะทางกายภาพของเม็ดยาที่ต้องการนำมาทดสอบจากนั้น ได้นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากเม็ดยามาทำการออกแบบระบบจ่ายยาสำหรับเม็ดยาที่ต้องการนำมาทำการทดสอบ จากนั้นก็นำเอาระบบจ่ายยาที่ได้ออกแบบมาสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและทดสอบการใช้งานในแบบจำลองสามมิติ ก่อนที่จะนำไปสร้างระบบจ่ายยาสำหรับเม็ดยาดังกล่าวไปสร้างชิ้นจริงสำหรับจ่ายเม็ดยาจริงได้ และ

ในส่วนขอระบบตรวจจับเมล็ดยาตามที่ได้มีการออกแบบและทดสอบสามารถนำข้อมูลการศึกษาและผลการทดสอบไปปรับใช้กับเมล็ดยาชนิดอื่นๆ ที่นอกเนื่องจากเมล็ดยาดังกล่าวทั้ง 8 ชนิดนี้ได้เช่นกัน

ปัญหาและอุปสรรค

1. การใช้งานโปรแกรม MSC-Adams ในการทดสอบแบบจำลองสามมิติ เนื่องจากเป็นโปรแกรมสำหรับใช้ในการศึกษามีข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการใช้งาน
2. การสร้างต้นแบบสำหรับกลไกของระบบจ่ายยา เนื่องจากชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3D Printer) บางชิ้นงานใช้ระยะเวลาในการขึ้นรูป หากเกิดปัญหาจำเป็นต้องมีการเริ่มต้นขึ้นรูปชิ้นงานใหม่ จึงทำให้ใช้ระยะเวลานานกว่าที่คาดไว้
3. ข้อจำกัดทางวัสดุอุปกรณ์ เนื่องจากต้องการลดต้นทุนในการผลิตจึงทำให้วัสดุอุปกรณ์บางชิ้นส่วนต้องใช้ของคุณภาพที่พอใช้ได้ทำให้ได้คุณภาพไม่ได้อย่างที่ต้องการ

ข้อเสนอแนะและแนวทางในการแก้ไข

1. จากการสร้างแบบจำลองสามมิติกลไกของระบบจ่ายยา ควรมีการทำการทดสอบให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อจะให้เห็นพฤติกรรมกลไกของระบบจ่ายยา และพฤติกรรมของเมล็ดยาได้มากกว่านี้ และผลการจำลองที่ได้ออกมาสมจริงมากยิ่งขึ้น
2. การเลือกใช้เซ็นเซอร์สำหรับระบบการตรวจจับเมล็ดยา ควรเลือกใช้เซ็นเซอร์ที่มีความแม่นยำสูงขึ้น เพื่อที่จะได้สามารถตรวจจับเมล็ดยาได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
3. สำหรับต้นแบบเครื่องจ่ายยาและต้นแบบระบบตรวจจับเมล็ดยาที่เกิดขึ้นจากการขึ้นรูปจากเครื่องพิมพ์สามมิติ ประสบปัญหาเรื่องความเรียบของพื้นผิวของวัตถุ ควรทำจากวัสดุที่ให้ความเรียบมากกว่านี้

บรรณานุกรม



- Hroncová, D., Binda, M., Šarga, P., & Kičák, F. (2012). Kinematical Analysis of Crank Slider Mechanism Using MSC Adams/View. *Procedia Engineering*, 48, 213-222. doi:10.1016/j.proeng.2012.09.507
- Karimi, H., Navid, H., Besharati, B., Behfar, H., & Eskandari, I. (2017). A practical approach to comparative design of non-contact sensing techniques for seed flow rate detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142(Part A), 165-172. doi:10.1016/j.compag.2017.08.027
- LITE. (2015). Lumma: Smart Pill Dispenser. Retrieved from <https://www.kickstarter.com/projects/402921688/lumma-automated-medication-sorter-and-dispenser>
- Liu, W., Hu, J., Zhao, X., Pan, H., Ali Lakhari, I., & Wang, W. (2019). Development and experimental analysis of an intelligent sensor for monitoring seed flow rate based on a seed flow reconstruction technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 164. doi:10.1016/j.compag.2019.104899
- Livi. (2019). Smart Medication Dispensing! The missing link in telehealth. Retrieved from <https://www.liviathome.com/>
- Medina, J., Espinilla, M., García-Fernández, Á. L., & Martínez, L. (2018). Intelligent multi-dose medication controller for fever: From wearable devices to remote dispensers. *Computers & Electrical Engineering*, 65, 400-412. doi:10.1016/j.compeleceng.2017.03.012
- Mike Blundell, & Damian Harty. (2004). Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics. *SAE International*(2004). doi:ISBN 0768014964
- Molnár, V., & Šveda, M. (2019). A simulation model of material particle trajectory by shifting of material by free fall. *MATEC Web of Conferences*, 263, 01011-01011. doi:10.1051/mateconf/201926301011
- MSC Software Corporation. Multibody dynamics. Retrieved from <https://www.mscsoftware.com/application/multibody-dynamics>
- MSC Software Corporation Adams. (2014). Multibody dynamics for functional virtual prototyping. (2014).
- National Statistical Office. (2014). ลักษณะการอยู่อาศัยของผู้สูงอายุ (ครอบครัว) และความเหมาะสมของที่อยู่อาศัย. *THE 2014 SURVEY OF THE OLDER PERSONS IN*

THAILAND(245), 42.

doi:<http://www.nso.go.th/sites/2014/Pages/%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%88/%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B8%A1/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%AA%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%84%E0%B8%A1/%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%AA%E0%B8%B9%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%B8.aspx>

Pak, J., & Park, K. (2012). Construction of a smart medication dispenser with high degree of scalability and remote manageability. *J Biomed Biotechnol*, 2012, 381493. doi:10.1155/2012/381493

philips. (2016). Medication Dispensing Service. Retrieved from <https://www.lifeline.philips.com/business/medication-management-solutions.html>

Rajashekhar, V. S., Thirupathi, K., & Senthil, R. (2014). Modelling, Simulation and Control of a Foldable Stair Mechanism with a Linear Actuation Technique. *Procedia Engineering*, 97, 1312-1321. doi:10.1016/j.proeng.2014.12.411

The Pillo Health Team. (2016). Pillo: Your Personal Home Health Robot. Retrieved from https://www.indiegogo.com/projects/pillo-your-personal-home-health-robot#

Xianglin, B., Haoyu, L., & Faxian, L. (2010). Dynamic simulation of auto-centralizer for horizontal well traction robot based on ADAMS. *Petroleum Exploration and Development*, 37(1), 104-110. doi:[https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(10\)60019-5](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(10)60019-5)

ธีรัตน์ เหมือนมั่นคง. (2011). ยาก่อนอาหาร ยาหลังอาหาร ลืมกินตามเวลา อันตรายหรือไม่. บทความเผยแพร่ความรู้สู่ประชาชน.

doi:<https://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/83/%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%81%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3-%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%8>

7%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3-
 %E0%B8%A5%E0%B8%B7%E0%B8%A1%E0%B8%81%E0%B8%B4%E0%B8%99
 %E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%80
 %E0%B8%A7%E0%B8%A5%E0%B8%B2-
 %E0%B8%AD%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%B
 2%E0%B8%A2%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B9%
 84%E0%B8%A1%E0%B9%88/

มงคล วรรณประภา, & วิริยะ พิเชฐจำเริญ. (2001). Automatic tablet dispensing system.

*Proceedings of the 39th Kasetsart University Annual Conference:
 Engineering*(552), 200-208.

doi:https://kukr.lib.ku.ac.th/db/index.php?BKN/search_detail/result/7889

มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุ. (2018). Thai population 2018. Retrieved from

<https://thaitgri.org/?cat=8>

รุ่งทิพา หมิ่นปา, & นภาพรณ ฎริปัญญาพานิช. (2017). การใช้ยาอย่างสมเหตุผล(rational drug use).

Center for Continuing Pharmaceutical Education.

doi:https://ccpe.pharmacycouncil.org/index.php?option=article_detail&subpage=article_detail&id=209

สถาบันวิจัยประชากรและสังคมมหาวิทยาลัยมหิดล. (2018). จำนวนประชากรไทย. Retrieved

from www.ipsr.mahidol.ac.th/ipsrbeta/th/Index.aspx

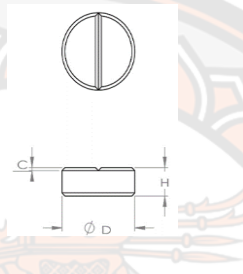
อัศวินท์ ครองไชย, ธนา เสมารัมย์, & สุภาพ มายาง. (2016). การพัฒนาเครื่องจ่ายยาอัจฉริยะ
 ประจำบ้าน. (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ.), มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ภาคผนวก ก

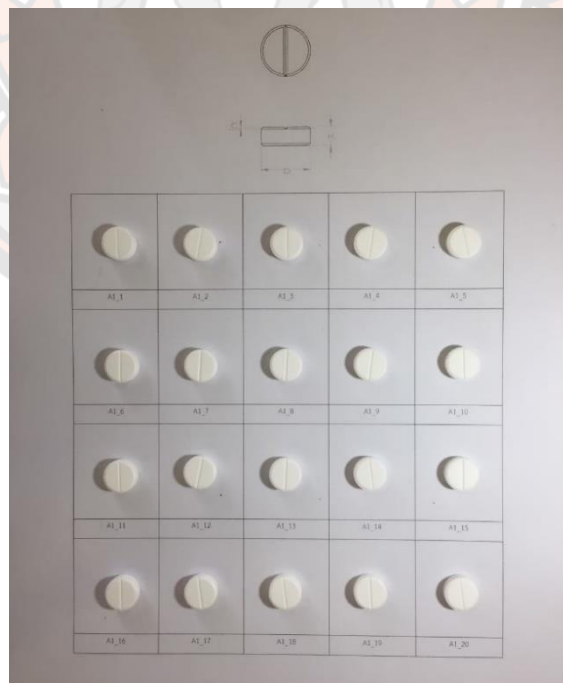
ข้อมูลของเม็ดยาตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A1

เม็ดยาชนิด A1 เป็นเม็ดยาดวงกลม ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิดนี้แสดงดังภาพ 80 ประกอบไปด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดยา (D) ความหนาของเม็ดยา (H) ที่มุมของเม็ดยามีการทำมุมแบบ Chamfer (C) และข้อมูลน้ำหนัก (Weight) ภาพ 81 แสดงภาพของเม็ดยาตัวอย่างชนิด A1 ทั้ง 20 ตัวอย่างและในตาราง 23 แสดงข้อมูลของเม็ดยาชนิด A1



ภาพ 80 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A1



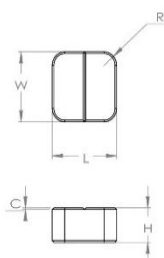
ภาพ 81 เม็ดยาชนิดที่ A1_1 ถึง A1_20

ตาราง 23 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A1

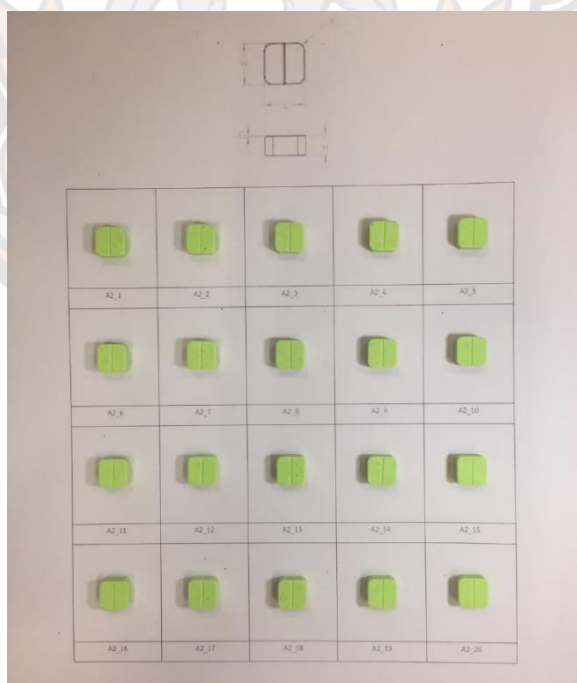
A1	D(mm)	H(mm)	C(mm)	Weight(g)
A1_1	12.16	4.48	0.50	0.567
A1_2	12.16	4.60	0.50	0.579
A1_3	12.16	4.58	0.50	0.579
A1_4	12.16	4.58	0.50	0.577
A1_5	12.16	4.60	0.50	0.570
A1_6	12.16	4.48	0.50	0.573
A1_7	12.16	4.58	0.50	0.584
A1_8	12.16	4.48	0.50	0.577
A1_9	12.16	4.50	0.50	0.569
A1_10	12.16	4.48	0.50	0.574
A1_11	12.16	4.46	0.50	0.585
A1_12	12.16	4.62	0.50	0.594
A1_13	12.16	4.46	0.50	0.573
A1_14	12.16	4.40	0.50	0.557
A1_15	12.16	4.50	0.50	0.573
A1_16	12.16	4.56	0.50	0.578
A1_17	12.16	4.48	0.50	0.576
A1_18	12.16	4.52	0.50	0.580
A1_19	12.16	4.48	0.50	0.572
A1_20	12.16	4.48	0.50	0.573
MAX.	12.16	4.62	0.50	0.594
MIN.	12.16	4.40	0.50	0.557
AVERAGE	12.16	4.52	0.50	0.576

ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A2

เม็ดยาชนิด A2 เป็นเม็ดยาชนิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิดนี้แสดงดังภาพ 82 ประกอบไปด้วยขนาดความกว้าง (W) ความยาว (L) รัศมีความโค้งของเม็ดยา (R) ความหนาของเม็ดยา (H) ที่ขอบของเม็ดยามีการทำตัดแบบ Chamfer (C) และข้อมูลน้ำหนัก (Weight) ภาพ 83 แสดงภาพของเม็ดยาดตัวอย่างชนิด A2 ทั้ง 20 ตัวอย่างและในตาราง 24 แสดงข้อมูลของเม็ดยาชนิด A2



ภาพ 82 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A2



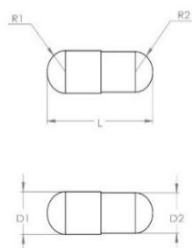
ภาพ 83 เม็ดยาชนิด A2_1 ถึง A2_20

ตาราง 24 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A2

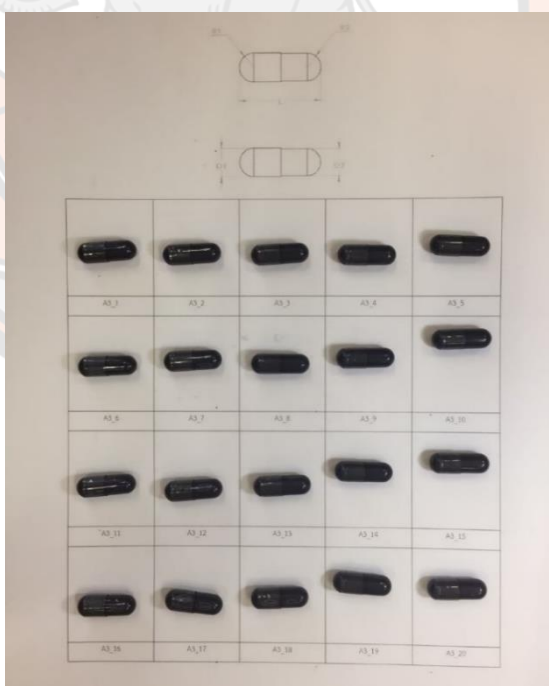
A2	W(mm)	L(mm)	H(mm)	C(mm)	R(mm)	Weight(g)
A2_1	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.607
A2_2	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.603
A2_3	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.608
A2_4	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.608
A2_5	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.602
A2_6	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.602
A2_7	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.606
A2_8	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.602
A2_9	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.611
A2_10	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.601
A2_11	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.606
A2_12	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.608
A2_13	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.605
A2_14	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.599
A2_15	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.609
A2_16	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.604
A2_17	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.611
A2_18	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.604
A2_19	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.605
A2_20	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.600
MAX.	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.611
MIN.	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.599
AVERAGE	10.30	10.30	5.00	0.25	2.00	0.605

ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A3

เม็ดยาชนิด A3 เป็นเม็ดยาชนิดแคปซูลขนาด 500 มิลลิกรัม ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิดนี้แสดงดังภาพ 84 ประกอบไปด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเปลือกนอก (D1) เส้นผ่านศูนย์กลางเปลือกใน (D2) ความยาว (L) รัศมีความโค้งของเม็ดยาเปลือกนอก (R1) รัศมีความโค้งของเม็ดยาเปลือกใน (R2) และข้อมูลน้ำหนัก (Weight) ภาพ 85 แสดงภาพของเม็ดยาตัวอย่างชนิด A3 ทั้ง 20 ตัวอย่างและในตาราง 25 แสดงข้อมูลของเม็ดยาชนิด A3



ภาพ 84 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A3



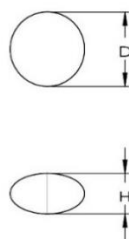
ภาพ 85 เม็ดยาชนิดที่ A3_1 ถึง A3_20

ตาราง 25 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A3

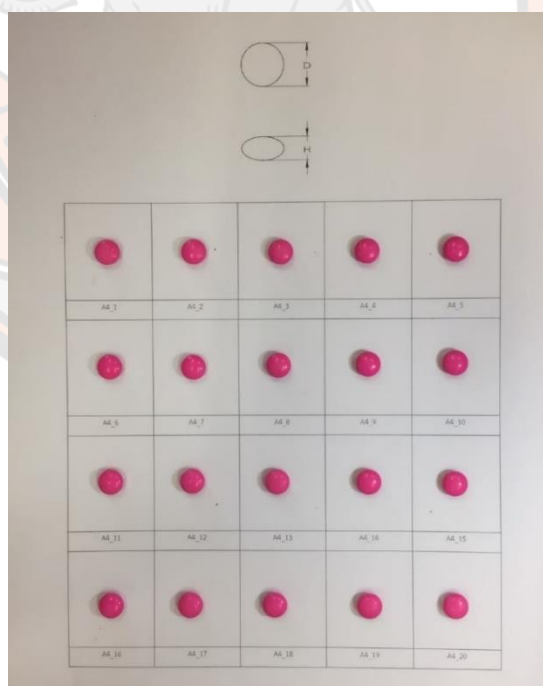
A3	D1(mm)	D2(mm)	R1(mm)	R2(mm)	L(mm)	Weight(g)
A3_1	7.66	7.26	3.83	3.63	21.18	0.374
A3_2	7.66	7.26	3.83	3.63	21.40	0.365
A3_3	7.66	7.26	3.83	3.63	21.28	0.381
A3_4	7.66	7.26	3.83	3.63	21.04	0.377
A3_5	7.66	7.26	3.83	3.63	21.14	0.371
A3_6	7.66	7.26	3.83	3.63	21.30	0.376
A3_7	7.66	7.26	3.83	3.63	21.26	0.383
A3_8	7.66	7.26	3.83	3.63	21.30	0.366
A3_9	7.66	7.26	3.83	3.63	21.26	0.381
A3_10	7.66	7.26	3.83	3.63	21.10	0.376
A3_11	7.66	7.26	3.83	3.63	21.12	0.376
A3_12	7.66	7.26	3.83	3.63	21.30	0.351
A3_13	7.66	7.26	3.83	3.63	21.20	0.376
A3_14	7.66	7.26	3.83	3.63	21.26	0.366
A3_15	7.66	7.26	3.83	3.63	21.22	0.384
A3_16	7.66	7.26	3.83	3.63	21.12	0.374
A3_17	7.66	7.26	3.83	3.63	21.30	0.368
A3_18	7.66	7.26	3.83	3.63	21.12	0.363
A3_19	7.66	7.26	3.83	3.63	21.12	0.401
A3_20	7.66	7.26	3.83	3.63	21.12	0.373
MAX.	7.66	7.26	3.83	3.63	21.4	0.401
MIN.	7.66	7.26	3.83	3.63	21.04	0.351
AVERAGE	7.66	7.26	3.83	3.63	21.21	0.374

ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A4

เม็ดยาชนิด A4 เป็นเม็ดยาคณิตวงกลมแบบเคลือบน้ำตาล ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิดนี้แสดงดังภาพ 86 ประกอบไปด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดยา (D) ความหนาของเม็ดยา (H) และข้อมูลน้ำ (Weight) ภาพ 87 แสดงภาพของเม็ดยาตัวอย่างชนิด A4 ทั้ง 20 ตัวอย่างและในตาราง 26 แสดงข้อมูลของเม็ดยาชนิด A4



ภาพ 86 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A4



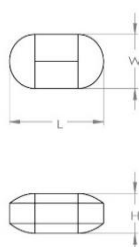
ภาพ 87 เม็ดยาชนิดที่ A4_1 ถึง A4_20

ตาราง 26 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A4

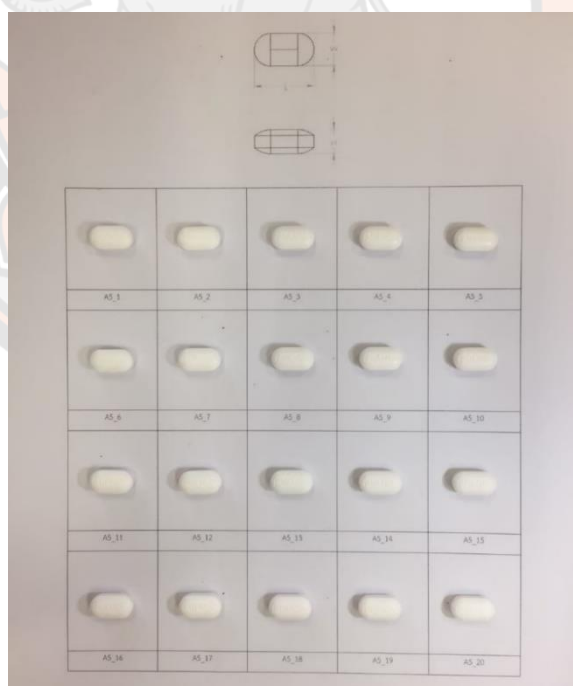
A4	D(mm)	H(mm)	Weight(g)
A4_1	9.20	5.00	0.302
A4_2	9.20	5.00	0.315
A4_3	9.20	5.00	0.311
A4_4	9.20	5.00	0.314
A4_5	9.20	5.00	0.301
A4_6	9.20	5.00	0.303
A4_7	9.20	5.00	0.307
A4_8	9.20	5.00	0.302
A4_9	9.20	5.00	0.307
A4_10	9.20	5.00	0.317
A4_11	9.20	5.00	0.317
A4_12	9.20	5.00	0.296
A4_13	9.20	5.00	0.306
A4_14	9.20	5.00	0.309
A4_15	9.20	5.00	0.309
A4_16	9.20	5.00	0.305
A4_17	9.20	5.00	0.309
A4_18	9.20	5.00	0.304
A4_19	9.20	5.00	0.304
A4_20	9.20	5.00	0.295
MAX.	9.20	5.00	0.317
MIN.	9.20	5.00	0.295
AVERAGE	9.20	5.00	0.307

ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A5

เม็ดยาชนิด A5 เป็นเม็ดยาชนิดเม็ดทรงรี ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิดนี้แสดงดังภาพ 88 ประกอบไปด้วยขนาดความกว้าง (W) ความยาว (L) รัศมีความโค้งของเม็ดยา (R) ความหนาของเม็ดยา (H) และข้อมูลน้ำหนัก (Weight) ภาพ 89 แสดงภาพของเม็ดยาตัวอย่างชนิด A5 ทั้ง 20 ตัวอย่างและในตาราง 27 แสดงข้อมูลของเม็ดยาชนิด A5



ภาพ 88 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A5



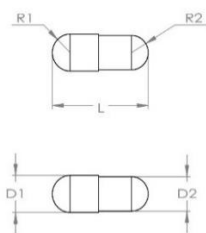
ภาพ 89 เม็ดยาชนิดที่ A5_1 ถึง A5_20

ตาราง 27 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A5

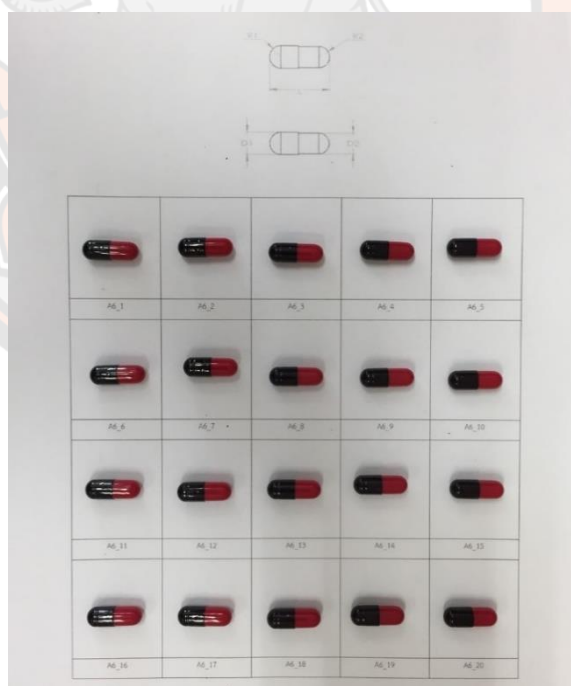
A5	W(mm)	L(mm)	H(mm)	Weight(g)
A5_1	8.14	14.84	6.10	0.567
A5_2	8.14	14.84	6.10	0.564
A5_3	8.14	14.84	6.10	0.557
A5_4	8.14	14.84	6.10	0.563
A5_5	8.14	14.84	6.10	0.568
A5_6	8.14	14.84	6.10	0.573
A5_7	8.14	14.84	6.10	0.569
A5_8	8.14	14.84	6.10	0.565
A5_9	8.14	14.84	6.10	0.574
A5_10	8.14	14.84	6.10	0.563
A5_11	8.14	14.84	6.10	0.559
A5_12	8.14	14.84	6.10	0.563
A5_13	8.14	14.84	6.10	0.567
A5_14	8.14	14.84	6.10	0.574
A5_15	8.14	14.84	6.10	0.570
A5_16	8.14	14.84	6.10	0.565
A5_17	8.14	14.84	6.10	0.563
A5_18	8.14	14.84	6.10	0.574
A5_19	8.14	14.84	6.10	0.562
A5_20	8.14	14.84	6.10	0.567
MAX.	8.14	14.84	6.10	0.574
MIN.	8.14	14.84	6.10	0.557
AVERAGE	8.14	14.84	6.10	0.566

ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A6

เม็ดยาชนิด A6 เป็นเม็ดยาชนิดแคปซูลขนาด 250 มิลลิกรัม ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิดนี้แสดงดังภาพ 90 ประกอบไปด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเปลือกนอก (D1) เส้นผ่านศูนย์กลางเปลือกใน (D2) ความยาว (L) รัศมีความโค้งของเม็ดยาเปลือกนอก (R1) รัศมีความโค้งของเม็ดยาเปลือกใน (R2) และข้อมูลน้ำหนัก (Weight) ภาพ 91 แสดงภาพของเม็ดยาตัวอย่างชนิด A6 ทั้ง 20 ตัวอย่างและในตาราง 28 แสดงข้อมูลของเม็ดยาชนิด A6



ภาพ 90 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A6



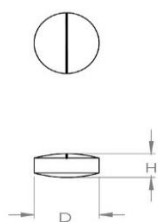
ภาพ 91 เม็ดยาชนิดที่ A6_1 ถึง A6_20

ตาราง 28 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A6

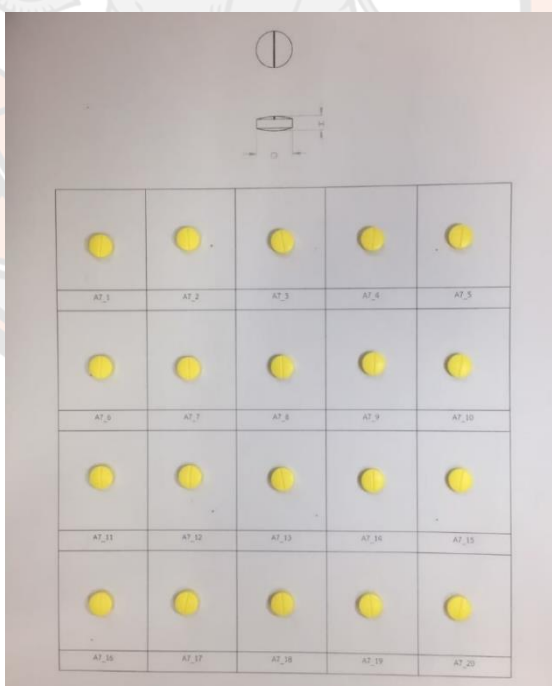
A6	D1(mm)	D2(mm)	R1(mm)	R2(mm)	L(mm)	Weight(g)
A6_1	6.88	6.48	3.44	3.24	19.16	0.416
A6_2	6.88	6.48	3.44	3.24	19.16	0.426
A6_3	6.88	6.48	3.44	3.24	19.20	0.413
A6_4	6.88	6.48	3.44	3.24	19.14	0.404
A6_5	6.88	6.48	3.44	3.24	19.12	0.390
A6_6	6.88	6.48	3.44	3.24	19.16	0.409
A6_7	6.88	6.48	3.44	3.24	19.16	0.409
A6_8	6.88	6.48	3.44	3.24	19.18	0.450
A6_9	6.88	6.48	3.44	3.24	19.12	0.409
A6_10	6.88	6.48	3.44	3.24	19.18	0.416
A6_11	6.88	6.48	3.44	3.24	19.14	0.414
A6_12	6.88	6.48	3.44	3.24	19.14	0.417
A6_13	6.88	6.48	3.44	3.24	19.16	0.423
A6_14	6.88	6.48	3.44	3.24	19.14	0.411
A6_15	6.88	6.48	3.44	3.24	19.16	0.424
A6_16	6.88	6.48	3.44	3.24	19.14	0.411
A6_17	6.88	6.48	3.44	3.24	19.16	0.413
A6_18	6.88	6.48	3.44	3.24	19.12	0.415
A6_19	6.88	6.48	3.44	3.24	19.16	0.419
A6_20	6.88	6.48	3.44	3.24	19.12	0.415
MAX.	6.88	6.48	3.44	3.24	19.20	0.450
MIN.	6.88	6.48	3.44	3.24	19.12	0.390
AVERAGE	6.88	6.48	3.44	3.24	19.15	0.415

ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A7

เม็ดยาชนิด A7 เป็นเม็ดยาคอนวอกกลมแบบเล็ก ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาคอนวอกนี้แสดงดังภาพ 92 ประกอบไปด้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดยา (D) ความหนาของเม็ดยา (H) และข้อมูลน้ำหนัก (Weight) ภาพ 93 แสดงภาพของเม็ดยาคอนวอกชนิด A7 ทั้ง 20 ตัวอย่างและในตาราง 29 แสดงข้อมูลของเม็ดยาคอนวอกชนิด A7



ภาพ 92 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A7



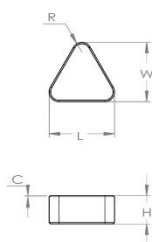
ภาพ 93 เม็ดยาคอนวอกที่ A7_1 ถึง A7_20

ตาราง 29 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A7

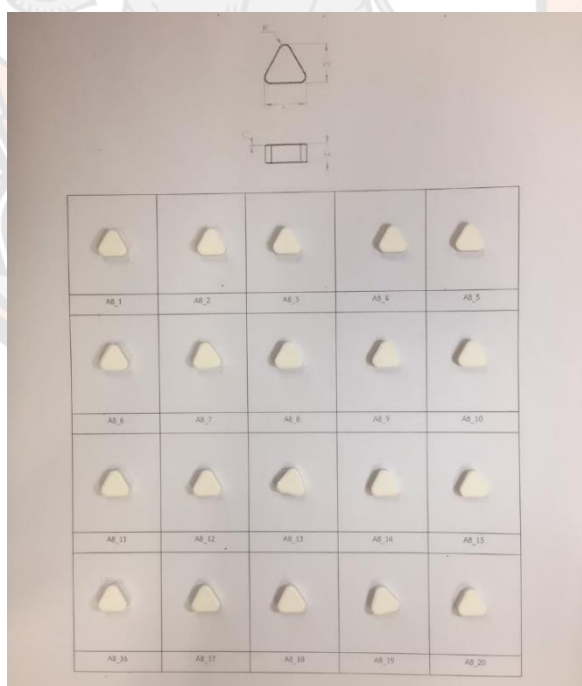
A7	D(mm)	H(mm)	Weight(g)
A7_1	8.12	3.18	0.164
A7_2	8.12	3.18	0.162
A7_3	8.12	3.18	0.162
A7_4	8.12	3.18	0.164
A7_5	8.12	3.18	0.164
A7_6	8.12	3.18	0.166
A7_7	8.12	3.18	0.165
A7_8	8.12	3.18	0.163
A7_9	8.12	3.18	0.167
A7_10	8.12	3.18	0.162
A7_11	8.12	3.18	0.160
A7_12	8.12	3.18	0.165
A7_13	8.12	3.18	0.165
A7_14	8.12	3.18	0.164
A7_15	8.12	3.18	0.165
A7_16	8.12	3.18	0.163
A7_17	8.12	3.18	0.165
A7_18	8.12	3.18	0.164
A7_19	8.12	3.18	0.167
A7_20	8.12	3.18	0.164
MAX	8.12	3.18	0.167
MIN	8.12	3.18	0.160
AVERAGE	8.12	3.18	0.164

ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A8

เม็ดยาชนิด A8 เป็นเม็ดยาชนิดสามเหลี่ยมจัตุรัส ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิดนี้แสดงดังภาพ 94 ประกอบไปด้วยขนาดความกว้าง (W) ความยาว (L) รัศมีความโค้งของเม็ดยา (R) ความหนาของเม็ดยา (H) ที่มุมของเม็ดยามีการทำมุมแบบ Chamfer (C) และข้อมูลน้ำหนัก (Weight) ภาพ 95 แสดงภาพของเม็ดยาตัวอย่างชนิด A8 ทั้ง 20 ตัวอย่างและในตาราง 30 แสดงข้อมูลของเม็ดยาชนิด A8



ภาพ 94 ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับเม็ดยาชนิด A8



ภาพ 95 เม็ดยาชนิดที่ A8_1 ถึง A8_20

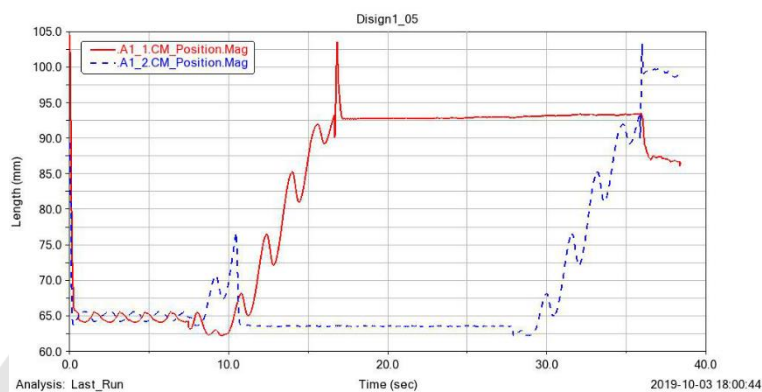
ตาราง 30 ข้อมูลของเม็ดยาชนิด A8

A8	W(mm)	L(mm)	H(mm)	R(mm)	C(mm)	Weight(g)
A8_1	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.451
A8_2	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.453
A8_3	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.447
A8_4	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.441
A8_5	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.455
A8_6	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.449
A8_7	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.452
A8_8	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.437
A8_9	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.462
A8_10	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.457
A8_11	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.452
A8_12	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.446
A8_13	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.459
A8_14	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.451
A8_15	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.448
A8_16	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.443
A8_17	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.441
A8_18	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.450
A8_19	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.451
A8_20	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.440
MAX.	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.462
MIN.	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.437
AVERAGE	9.20	10.16	4.30	1.50	0.15	0.449

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบที่ 1 การหาระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) ของร่องจับเม็ดยา เม็ดยาชนิด A1

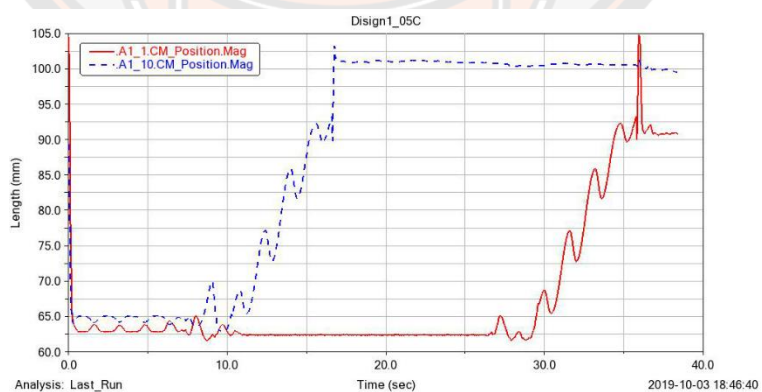
แบบที่ 1 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร



ภาพ 96 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A1_1 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A1_2 ถูกจ่ายออกมาตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

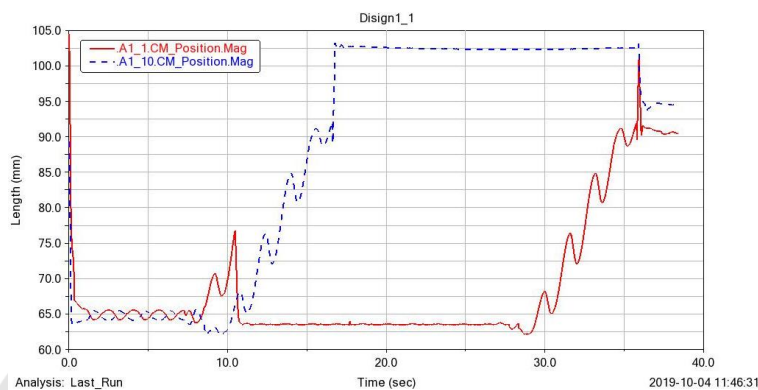
แบบที่ 2 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา



ภาพ 97 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A1_10 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ด ยา A1_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบ จ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

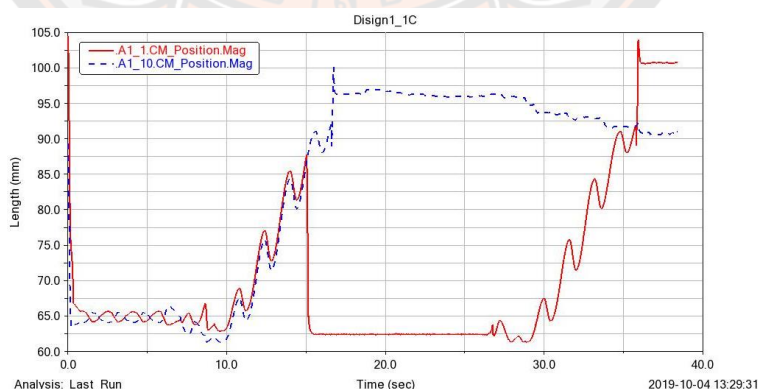
แบบที่ 3 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร



ภาพ 98 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A1_10 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ด ยา A1_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบ จ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

แบบที่ 4 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบ ของร่องจับเม็ดยา



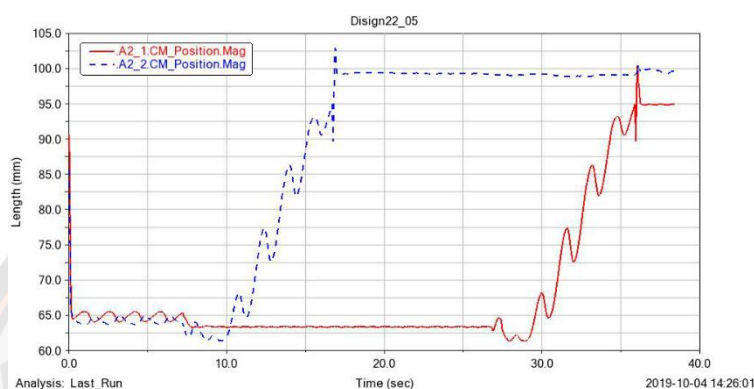
ภาพ 99 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและ การทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A1_10 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A1_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

เม็ดยาชนิด A2

เม็ดยาชนิด A2 โดยใช้แบบมุมตรง 0 องศา

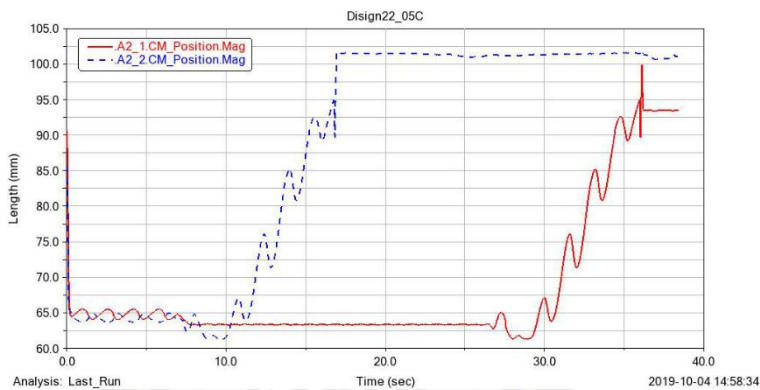
แบบที่ 1 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร



ภาพ 100 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A2_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A2_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

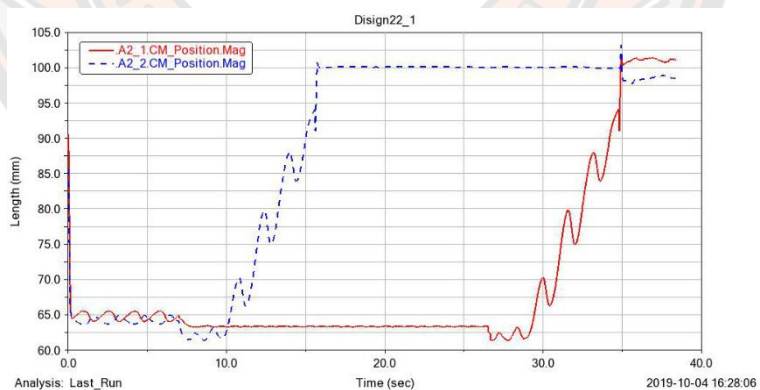
แบบที่ 2 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา



ภาพ 101 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A2_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A2_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

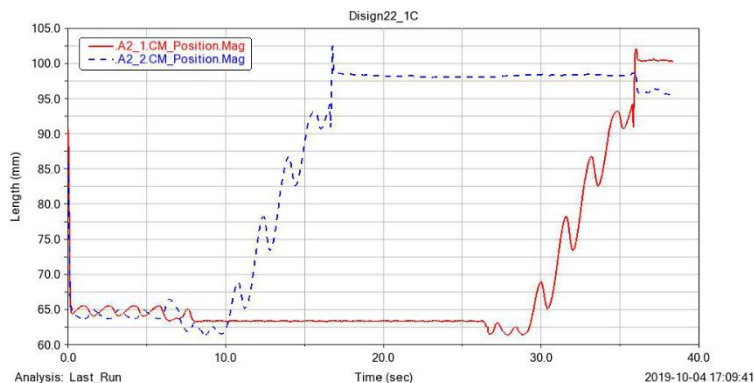
แบบที่ 3 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร



ภาพ 102 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A2_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A2_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

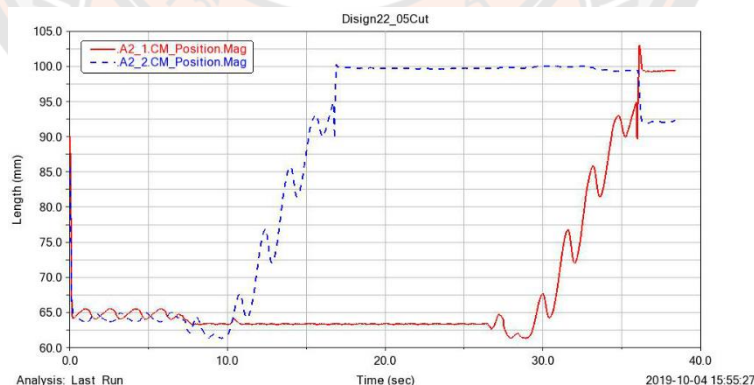
แบบที่ 4 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา



ภาพ 103 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่าเม็ดยา A2_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A2_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

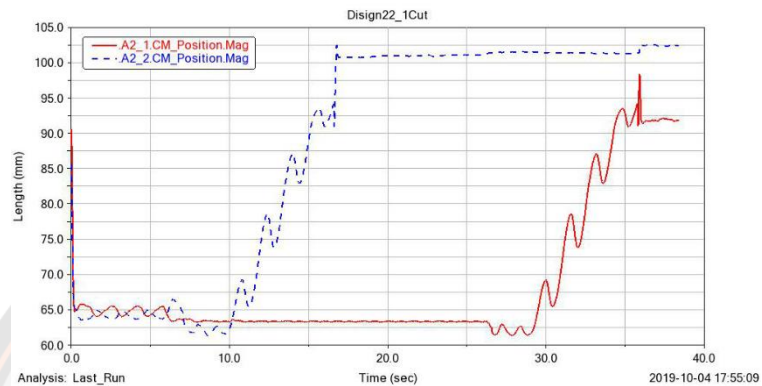
แบบที่ 5 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา



ภาพ 104 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A2_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A2_1 ถูกจ่ายออกมาตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

แบบที่ 6 ใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา



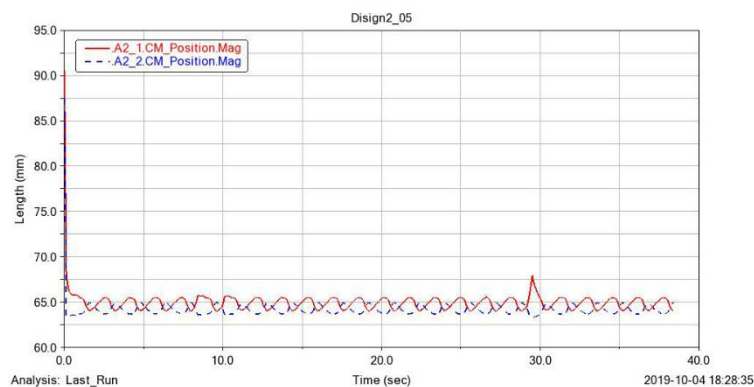
ภาพ 105 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา

คำอธิบาย

จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A2_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A2_1 ถูกจ่ายออกมาตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

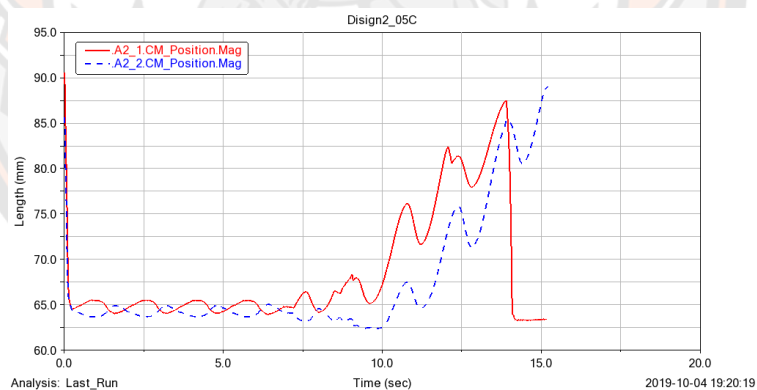
เม็ดยาชนิด A2 โดยใช้แบบมูม 45 องศา

แบบที่ 1 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร



ภาพ 106 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

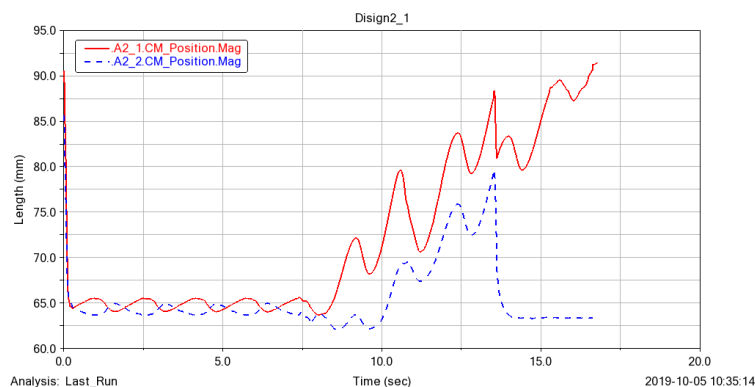
คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่าไม่มีเม็ดยาเม็ดไหนที่สามารถถูกจ่ายออกมาได้เลย
แบบที่ 2 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่
ขอบของร่องจับเม็ดยา



ภาพ 107 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร
และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A2_2 ถูกไม่สามารถถูกจ่ายออกมาได้เนื่องจากเกิดการ
ติดค้างเม็ดยาในร่องจับเม็ดยาและทำให้ระบบจ่ายยาเกิดการติดขัดไม่สามารถทำงานต่อจนเสร็จสิ้น
กระบวนการจ่ายยาทั้งสองเม็ดได้ ส่วนเม็ดยาเม็ดที่ A2_1 นั้นมีการเคลื่อนที่ตามไปกับเม็ดยาเม็ดที่
A2_2 แต่ก็กลับลงมาเหมือนเดิมและไม่ถูกจ่ายออกมา

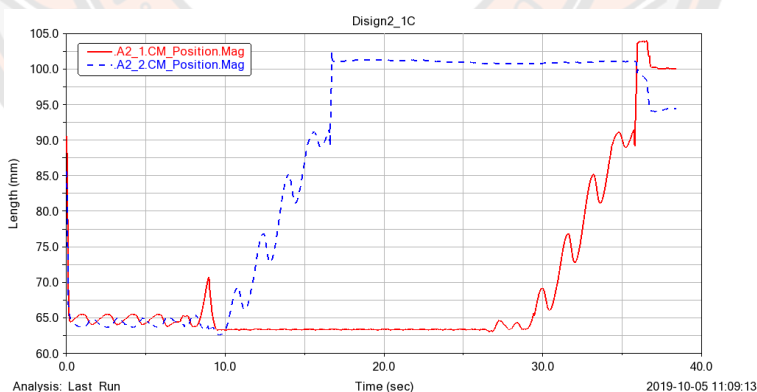
แบบที่ 3 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร



ภาพ 108 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A2_1 ไม่สามารถถูกจ่ายออกมาได้เนื่องจากเกิดการติดค้างเม็ดยาในร่องจับเม็ดยาและทำให้ระบบจ่ายยาเกิดการติดขัดไม่สามารถทำงานต่อจนเสร็จสิ้นกระบวนการจ่ายยาทั้งสองเม็ดได้ ส่วนเม็ดยาเม็ดที่ A2_2 นั้นมีการเคลื่อนที่ตามไปกับเม็ดยาเม็ดที่ A2_1 แต่ก็กลับลงมาเหมือนเดิมและไม่ถูกจ่ายออกมา

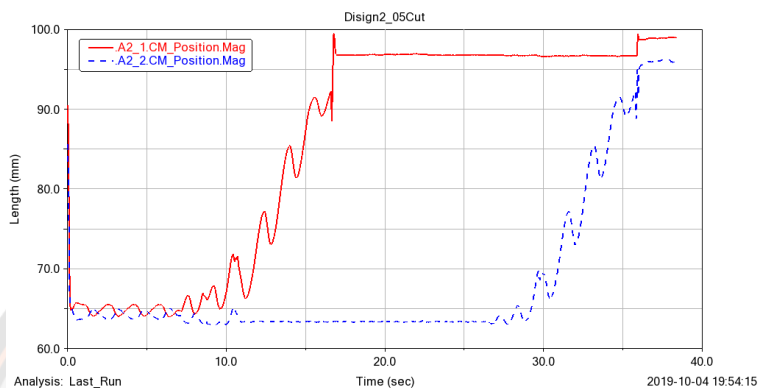
แบบที่ 4 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา



ภาพ 109 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A2_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A2_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

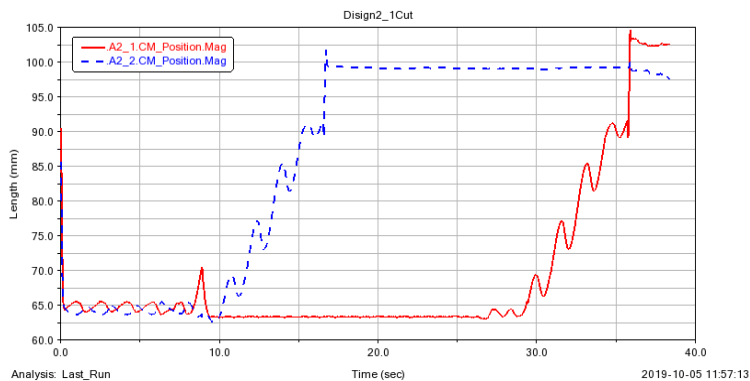
แบบที่ 5 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา



ภาพ 110 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A2_1 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A2_2 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

แบบที่ 6 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา

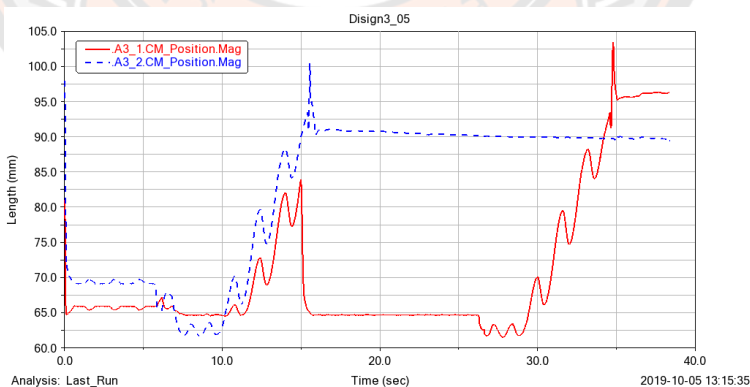


ภาพ 111 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยาและมีการทำมุมเอียงเพิ่มตรงท้ายของร่องจับยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A2_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A2_1 ถูกจ่ายออกมาตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

เม็ดยาชนิด A3

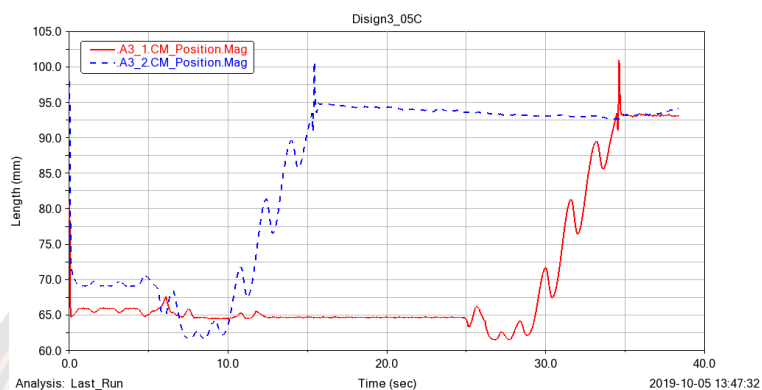
แบบที่ 1 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร



ภาพ 112 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A3_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A3_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

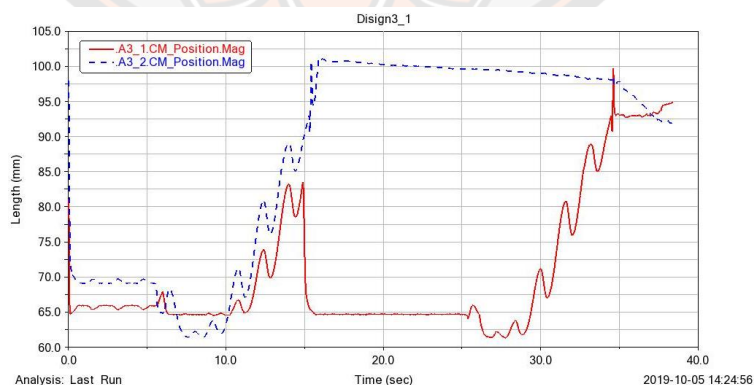
แบบที่ 2 ใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา



ภาพ 113 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A3_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A3_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

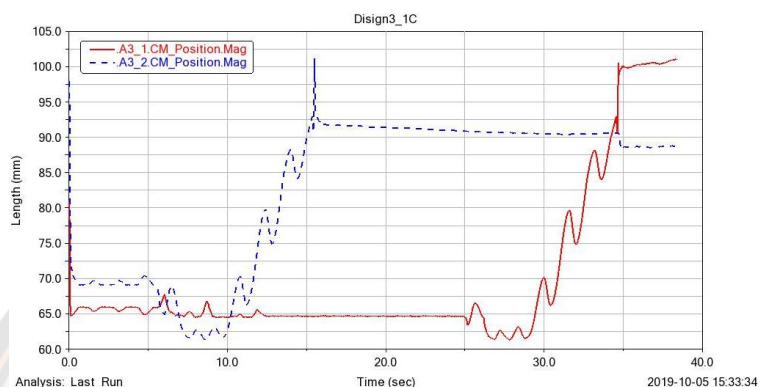
แบบที่ 3 ใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร



ภาพ 114 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A3_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A3_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

แบบที่ 4 ใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

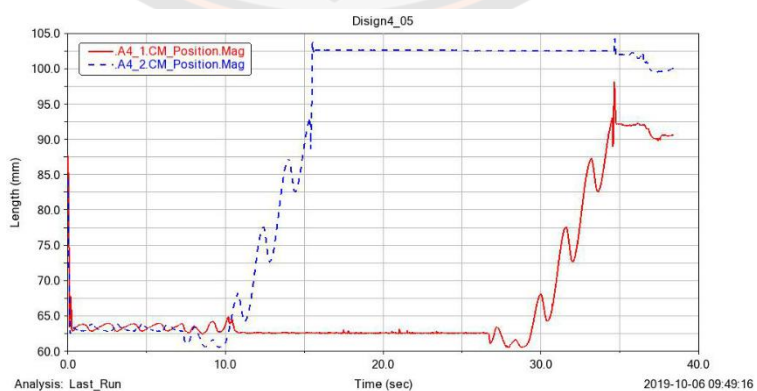


ภาพ 115 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A3_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A3_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

เม็ดยาชนิด A4

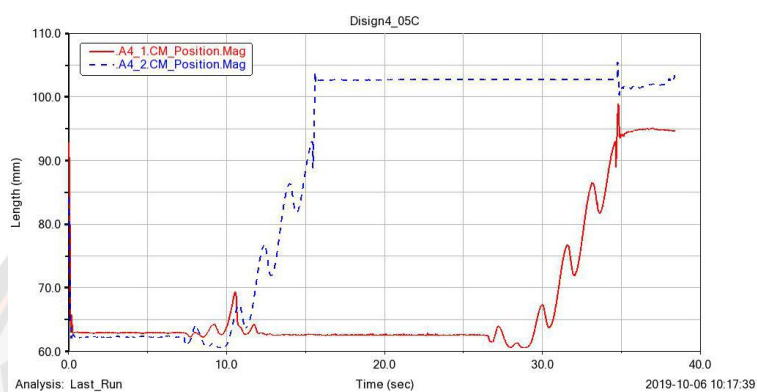
แบบที่ 1 ใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร



ภาพ 116 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A4_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A4_1 ถูกจ่ายออกมาตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

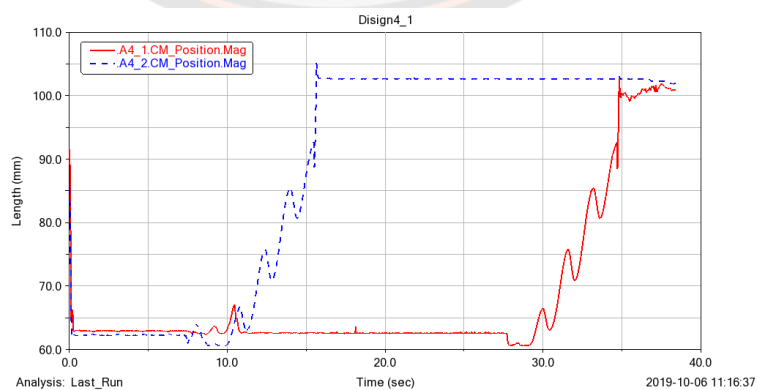
แบบที่ 2 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา



ภาพ 117 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A4_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A4_1 ถูกจ่ายออกมาตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

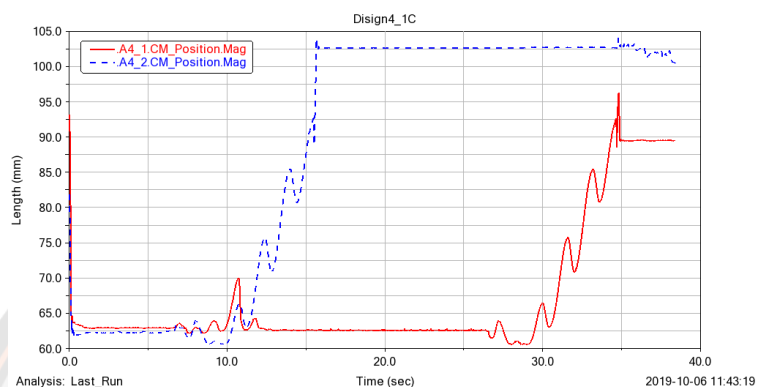
แบบที่ 3 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร



ภาพ 118 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A4_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A4_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

แบบที่ 4 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

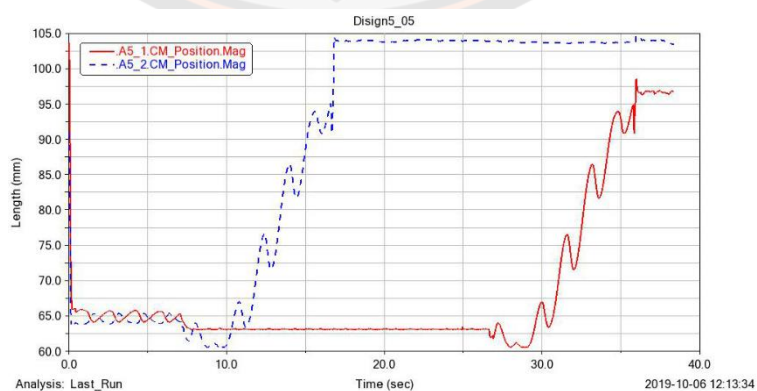


ภาพ 119 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ด

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A4_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A4_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

เม็ดยาชนิด A5

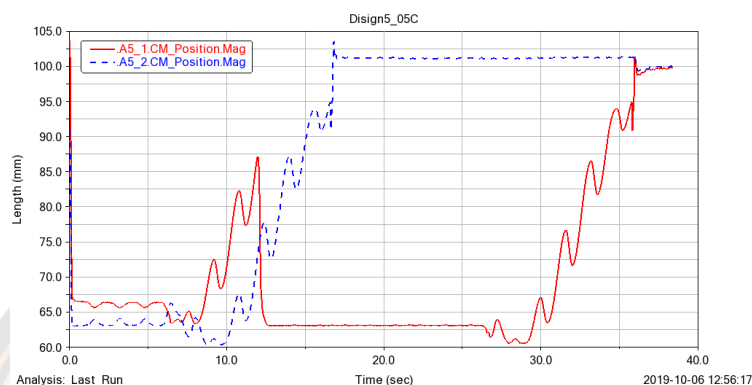
แบบที่ 1 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร



ภาพ 120 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A5_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A5_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

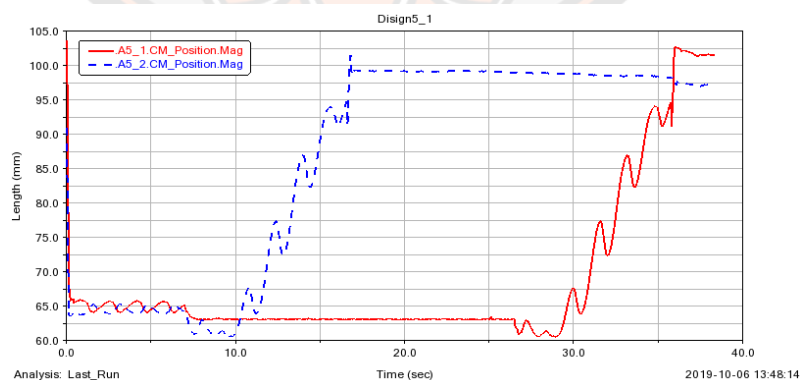
แบบที่ 2 ใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ด



ภาพ 121 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ด

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A5_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A5_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

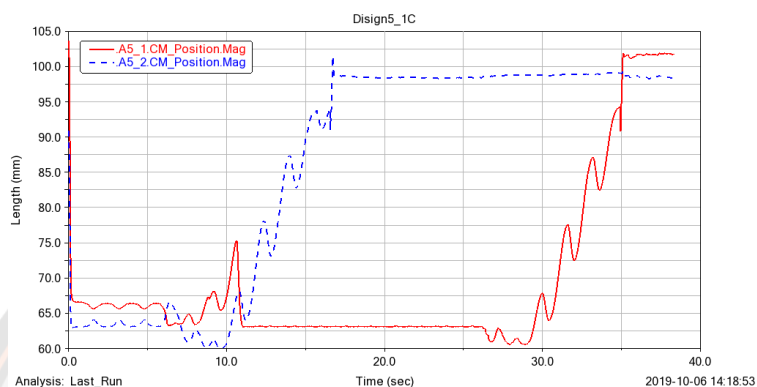
แบบที่ 3 ใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร



ภาพ 122 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A5_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A5_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

แบบที่ 4 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ด

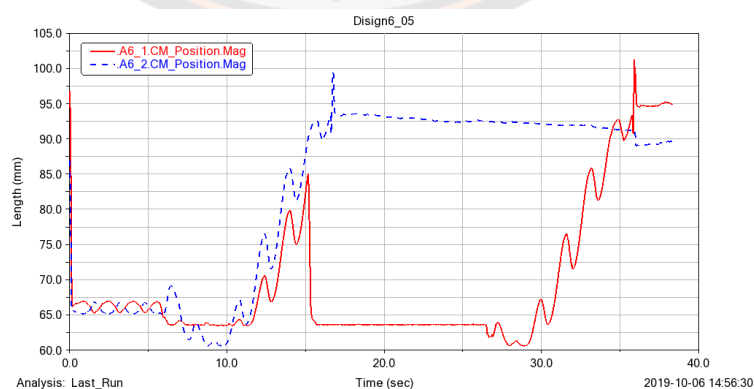


ภาพ 123 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ด

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A5_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A5_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

เม็ดยาชนิด A6

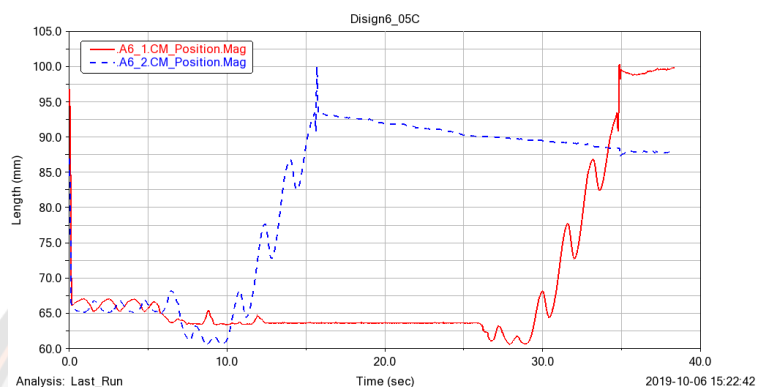
แบบที่ 1 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร



ภาพ 124 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A6_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A6_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

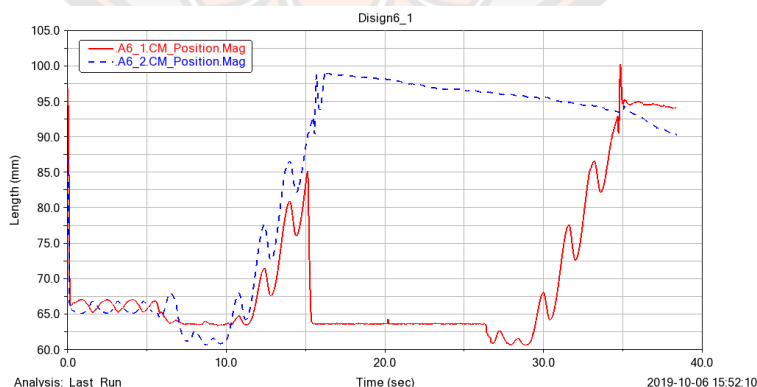
แบบที่ 2 ใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา



ภาพ 125 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A6_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A6_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

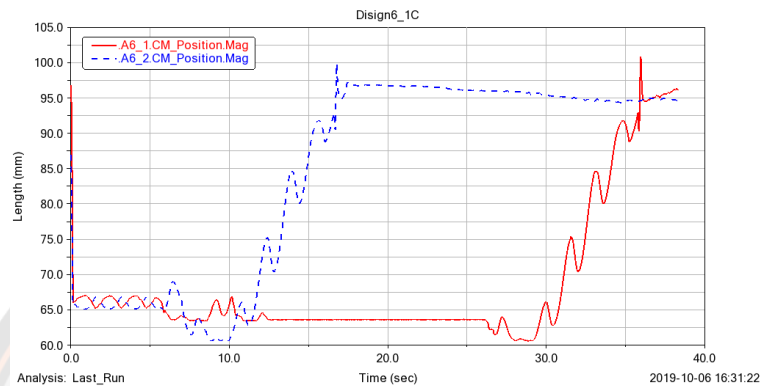
แบบที่ 3 ใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร



ภาพ 126 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่ที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A6_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A6_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

แบบที่ 4 ใช้ระยะชดเชยที่เหมาะสม (offset) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

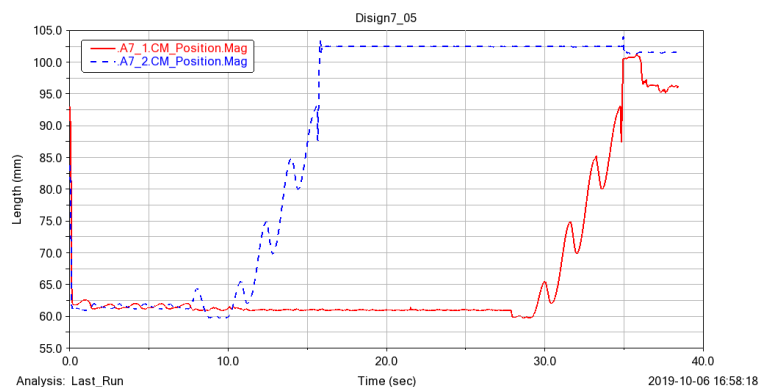


ภาพ 127 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A6_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A6_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

เม็ดยาชนิด A7

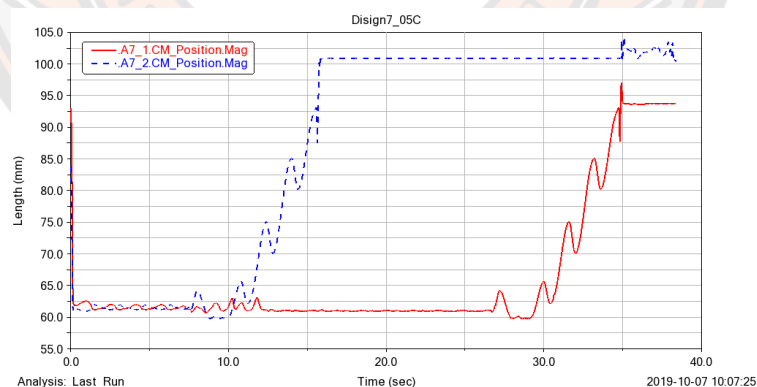
แบบที่ 1 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร



ภาพ 128 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A7_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A7_1 ถูกจ่ายออกมาตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

แบบที่ 2 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

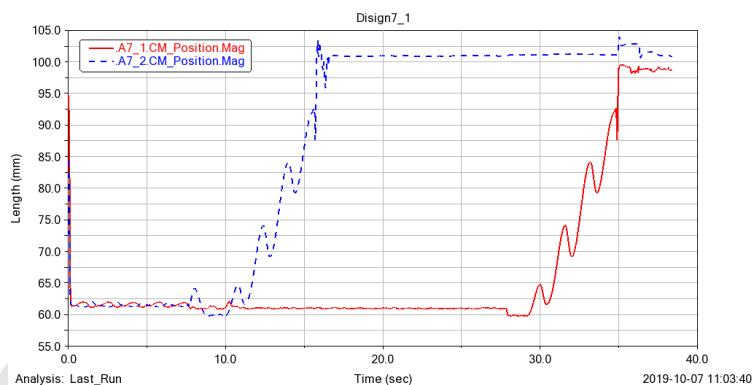


ภาพ 129 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A7_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A7_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

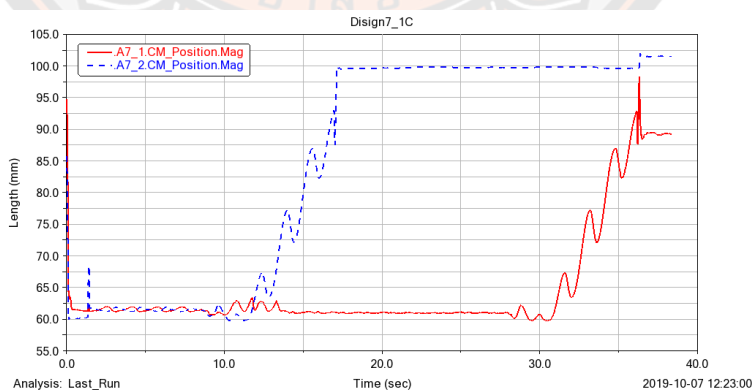
แบบที่ 3 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร



ภาพ 130 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A7_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A7_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

แบบที่ 4 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

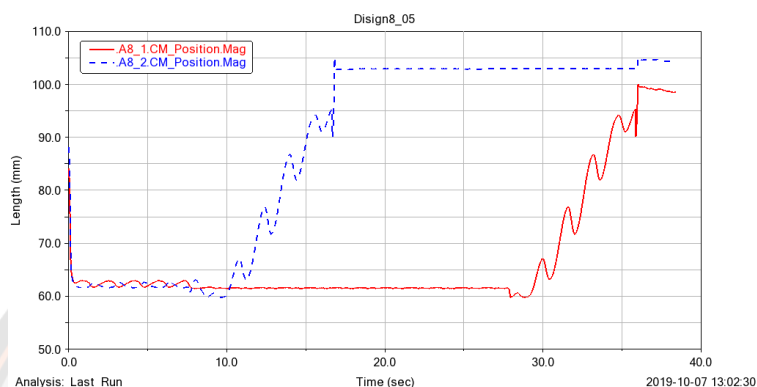


ภาพ 131 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A7_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A7_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

เม็ดยาชนิด A8

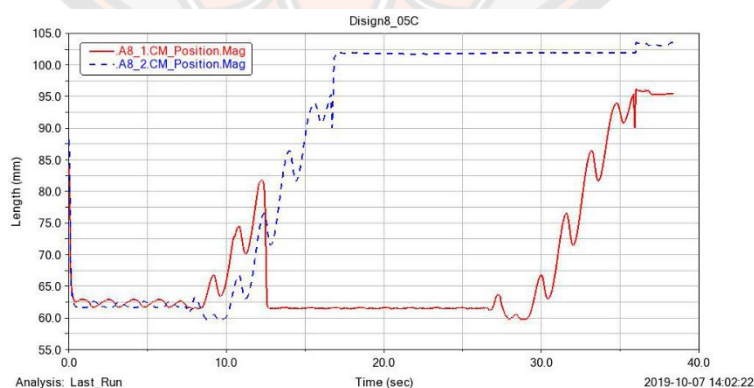
แบบที่ 1 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร



ภาพ 132 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A8_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A8_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

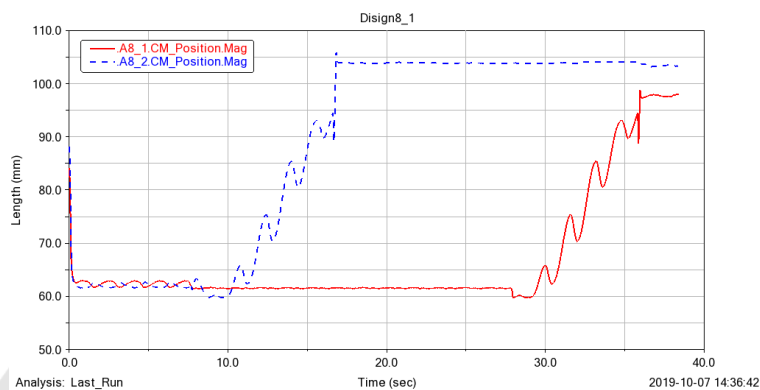
แบบที่ 2 ใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา



ภาพ 133 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเผื่อที่เหมาะสม (Clearance) 0.5 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A8_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A8_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

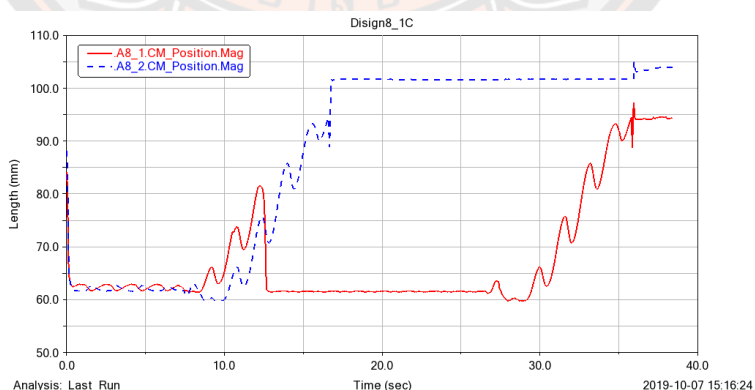
แบบที่ 3 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร



ภาพ 134 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร

คำอธิบาย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A8_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A8_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกราฟที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

แบบที่ 4 ใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตรและมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา



ภาพ 135 กราฟแสดงผลของแบบจำลองการใช้ระยะเพื่อที่เหมาะสม (Clearance) 1.0 มิลลิเมตร และมีการทำมุมเอียง (Chamfer) ที่ขอบของร่องจับเม็ดยา

คำอภิปราย จากกราฟที่ จะเห็นได้ว่ามีเม็ดยา A8_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก หลังจากนั้นก็มีเม็ดยา A8_1 ถูกจ่ายออกตามมาเป็นเม็ดที่ 2 จากผลของแบบจำลองดังกล่าวที่ แสดงให้เห็นได้ว่าระบบจ่ายยาสามารถจ่ายยาออกมาได้ทั้งสองเม็ด

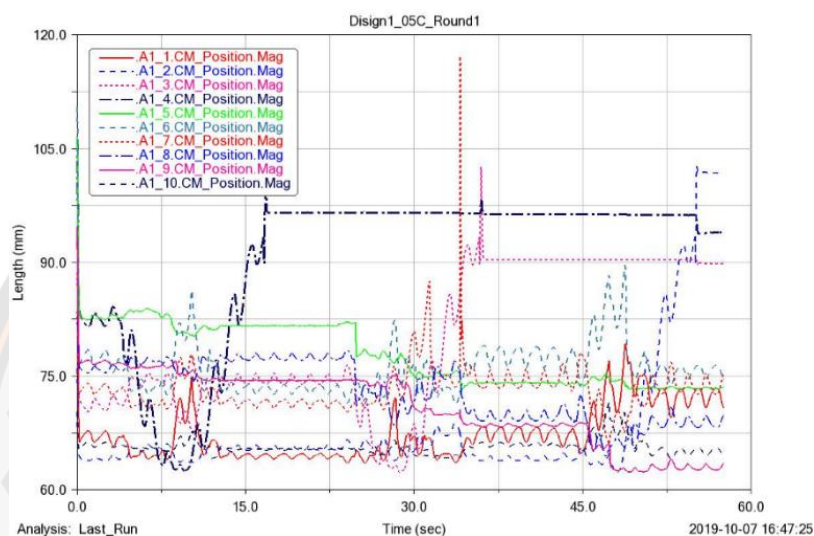


ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบที่ 2 การทดสอบแบบจำลองการจ่ายยาของระบบจ่ายยาสำหรับเครื่อง
จ่ายยาอัตโนมัติ

กราฟวิเคราะห์ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1

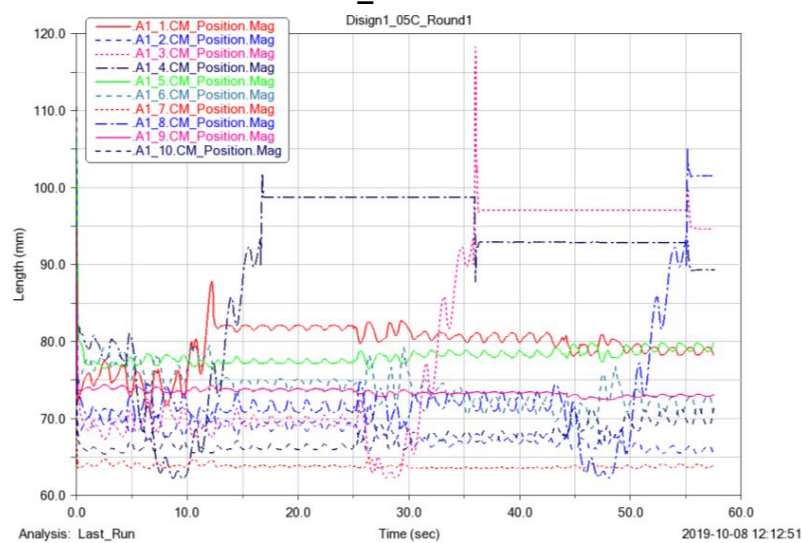
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1 รอบที่ 1 (A1_Round1)



ภาพ 136 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1_Round1

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A1_Round1 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A1_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A1_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A1_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

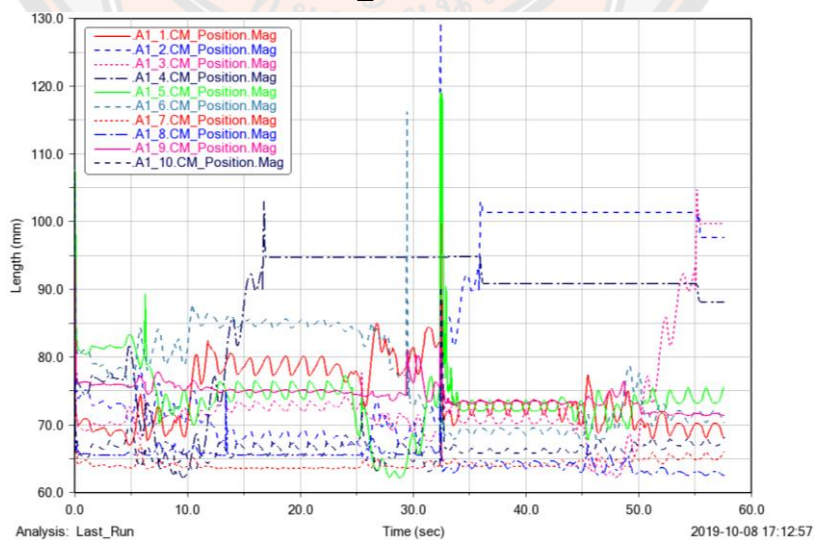
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1 รอบที่ 2 (A1_Round2)



ภาพ 137 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1_Round2

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A1_Round2 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A1_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A1_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A1_8 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

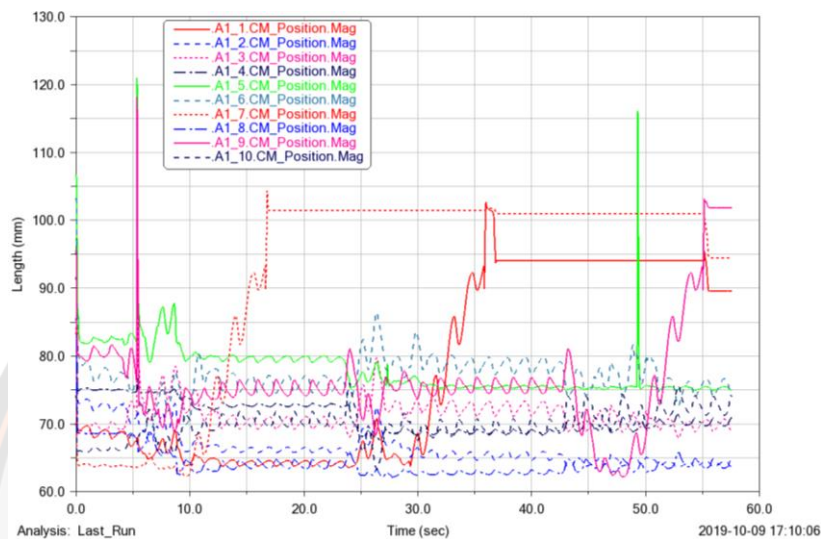
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1 รอบที่ 3 (A1_Round3)



ภาพ 138 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A1_Round3

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A1_Round3 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A1_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A1_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A1_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A1 รอบที่ 4 (A1_Round4)

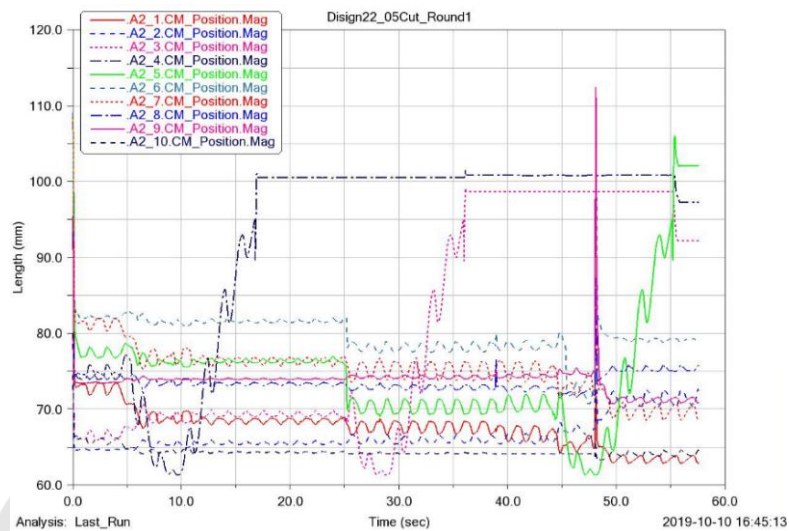


ภาพ 139 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A1_Round4

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A1_Round4 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A1_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A1_1 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A1_9 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

กราฟวิเคราะห์ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2

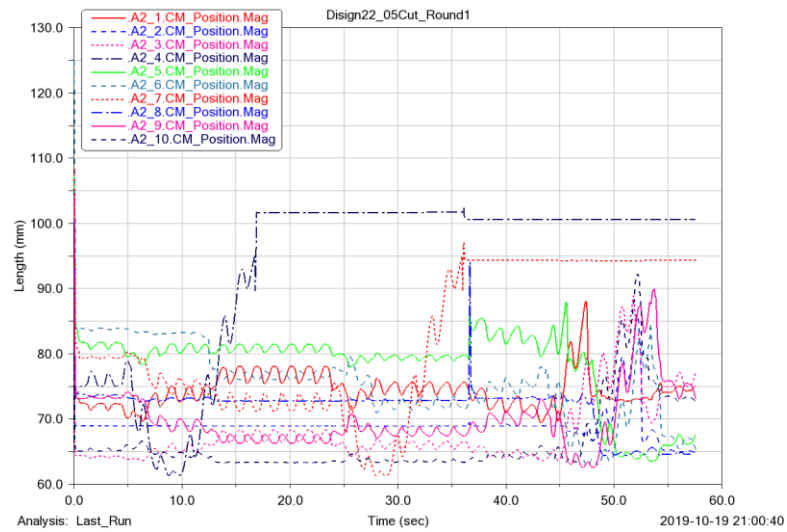
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2 รอบที่ 1 (A2_Round1)



ภาพ 140 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2_Round1

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A2_Round1 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A2_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A2_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A2_5 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

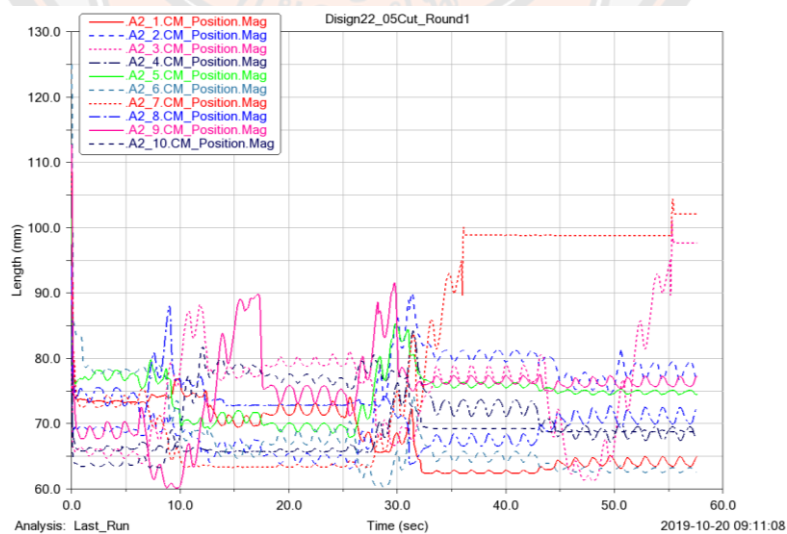
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2 รอบที่ 2 (A2_Round2)



ภาพ 141 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2_Round2

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A2_Round2 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A2_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A2_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ไม่มีเม็ดยาถูกจ่ายออกมาแต่ระบบยังสามารถทำงานต่อไปได้จนเสร็จสิ้น

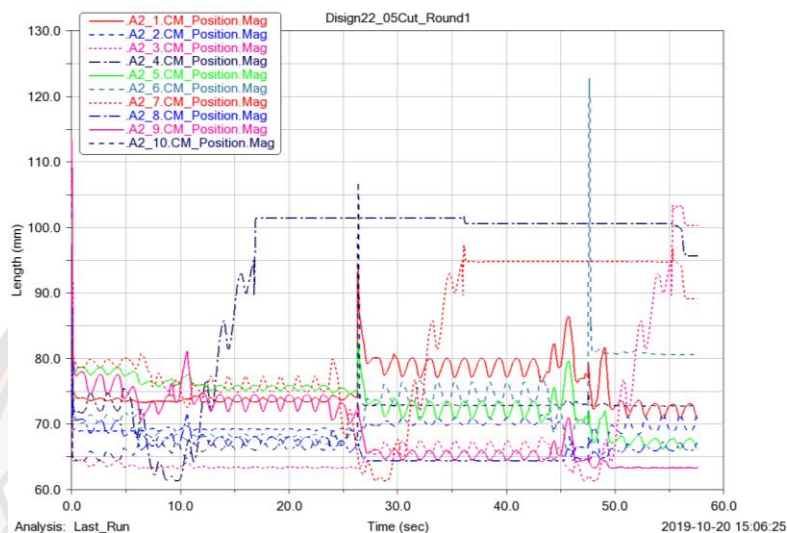
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2 รอบที่ 3 (A2_Round3)



ภาพ 142 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2_Round3

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A2_Round3 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้ไม่มีเม็ดยาถูกจ่ายออกมาแต่ระบบทำงานได้และต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A2_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A2_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

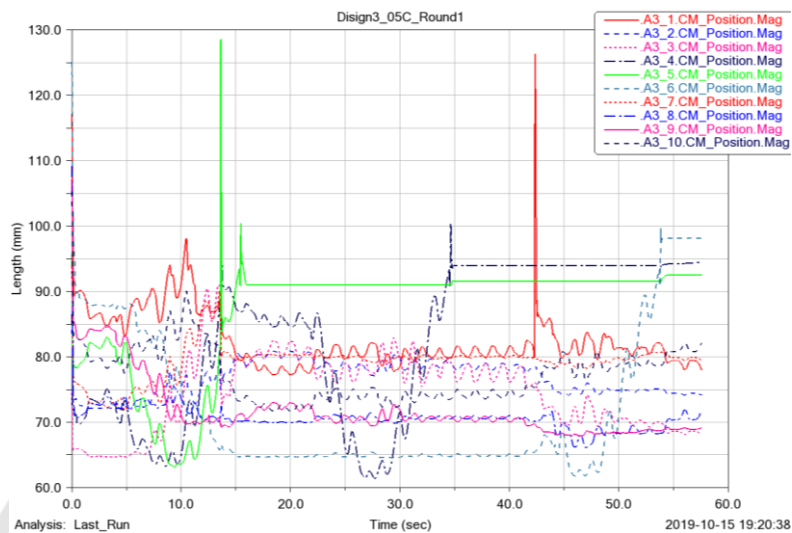
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2 รอบที่ 4 (A2_Round4)



ภาพ 143 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A2_Round4

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A2_Round4 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A2_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A2_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A2_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

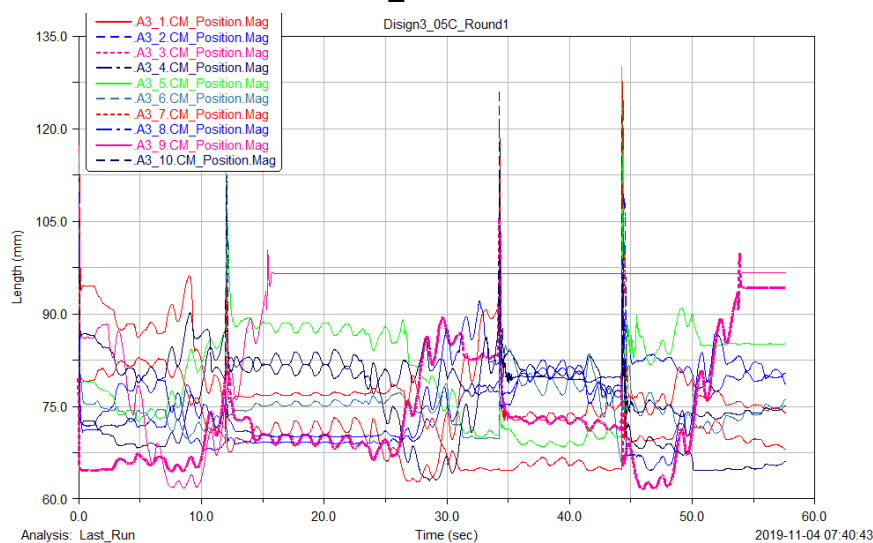
กราฟวิเคราะห์ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3 รอบที่ 1 (A3_Round1)



ภาพ 144 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3_Round1

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A3_Round1 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A3_5 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A3_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A3_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

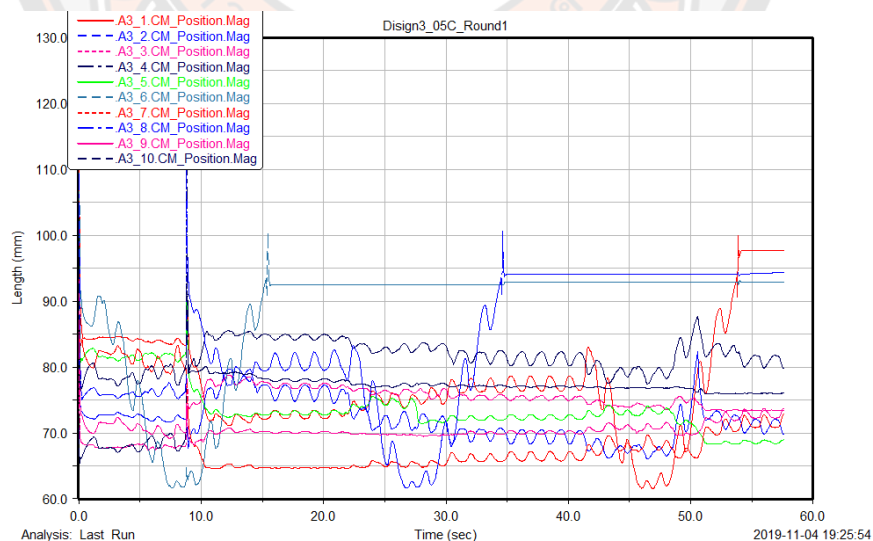
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3 รอบที่ 2 (A3_Round2)



ภาพ 145 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3_Round2

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A3_Round2 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A3_9 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ไม่มีเม็ดยาถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A3_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

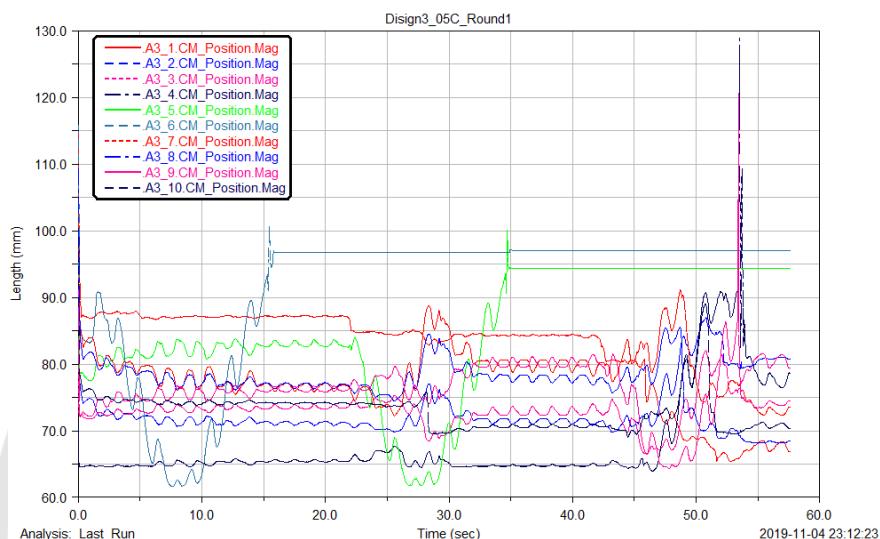
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3 รอบที่ 3 (A3_Round3)



ภาพ 146 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A3_Round3

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A3_Round3 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A3_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A3_8 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A3_1 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A3 รอบที่ 4 (A3_Round4)

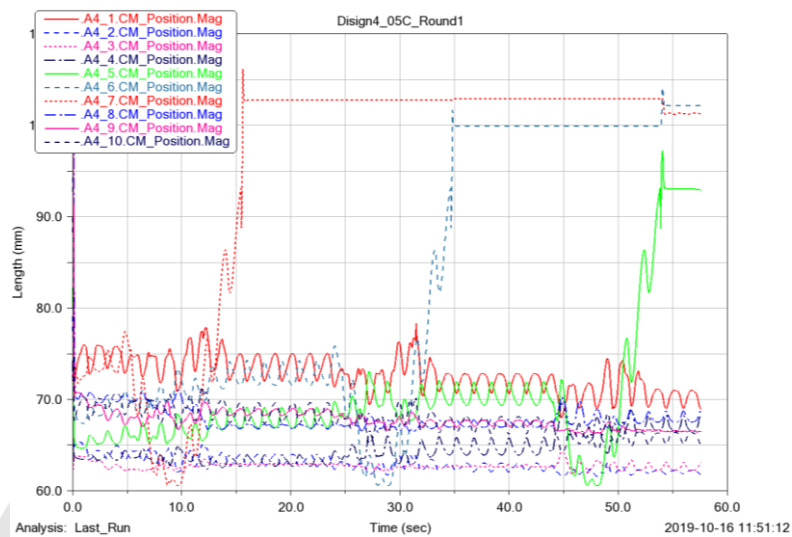


ภาพ 147 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A3_Round4

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A3_Round4 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A3_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A3_5 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ไม่มีเมื่อยาถูกจ่ายออกมาแต่ระบบยังสามารถทำงานต่อไปได้จนเสร็จสิ้น

กราฟวิเคราะห์ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A4

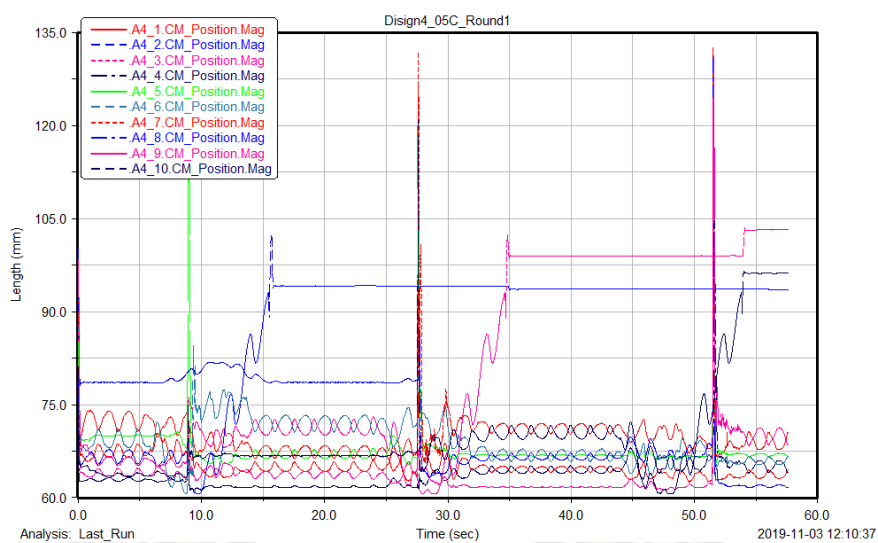
ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A4 รอบที่ 1 (A4_Round1)



ภาพ 148 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A4_Round1

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A4_Round1 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A4_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A4_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A4_5 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

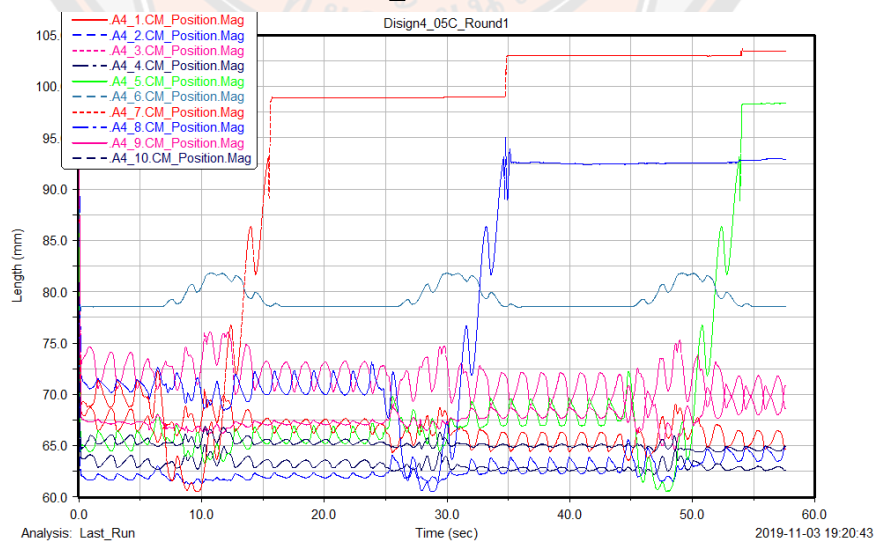
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A4 รอบที่ 2 (A4_Round2)



ภาพ 149 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A4_Round2

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A4_Round2 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A4_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A4_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A4_10 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

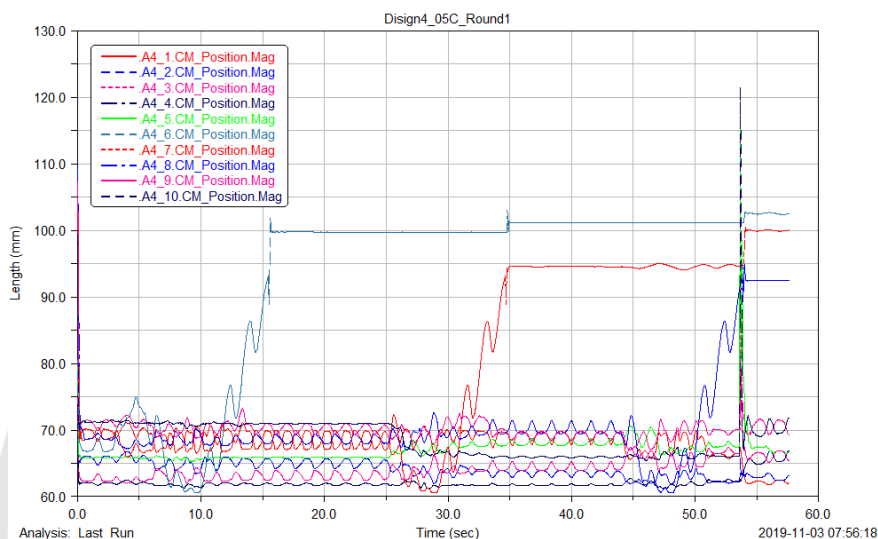
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A4 รอบที่ 3 (A4_Round3)



ภาพ 150 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A4_Round3

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A4_Round3 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A4_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A4_8 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A4_5 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

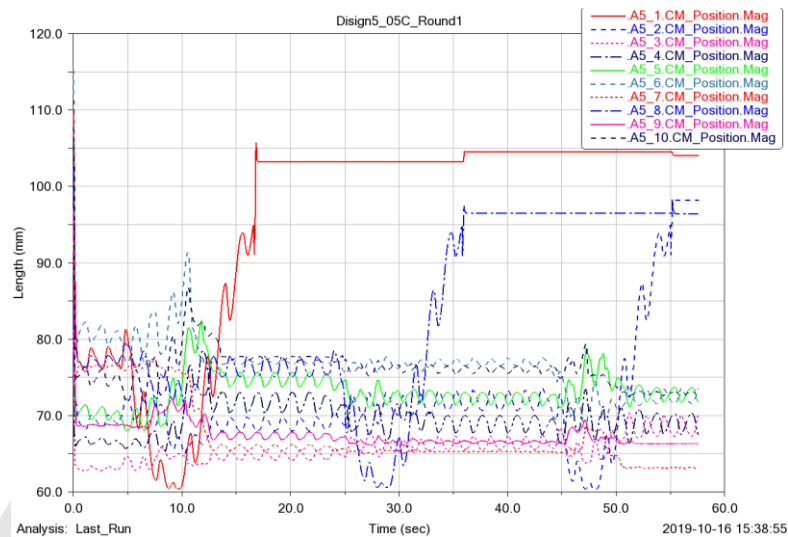
ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A4 รอบที่ 4 (A4_Round4)



ภาพ 151 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A4_Round4

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A4_Round4 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A4_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A4_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A4_8 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

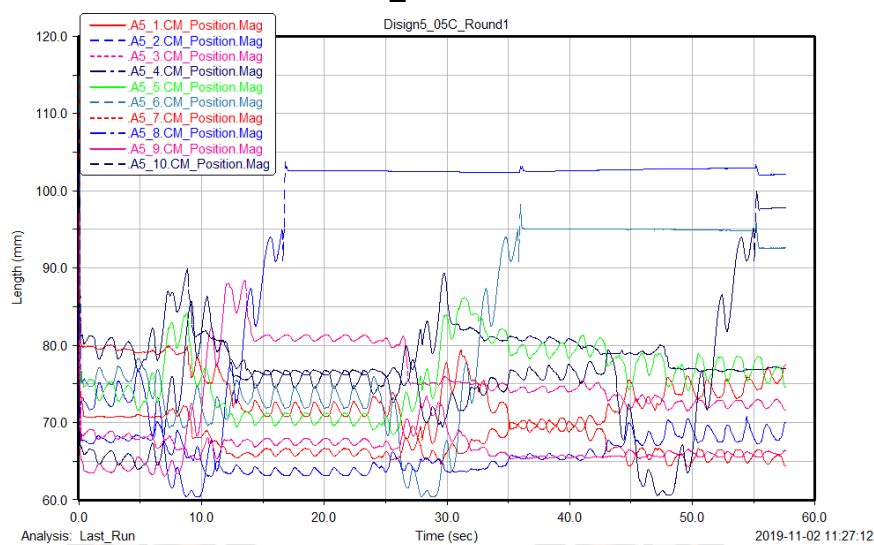
กราฟวิเคราะห์ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5 รอบที่ 1 (A5_Round1)



ภาพ 152 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5_Round1

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A5_Round1
แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A5_1 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยา
หมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A5_8 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3
ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A5_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5 รอบที่ 2 (A5_Round2)

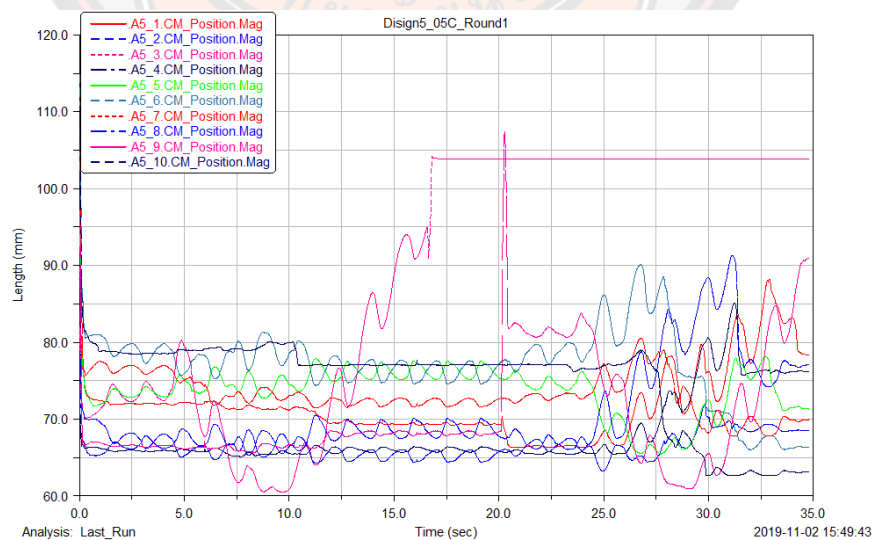


ภาพ 153 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5_Round2

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A5_Round2

แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A5_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A5_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A5_10 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

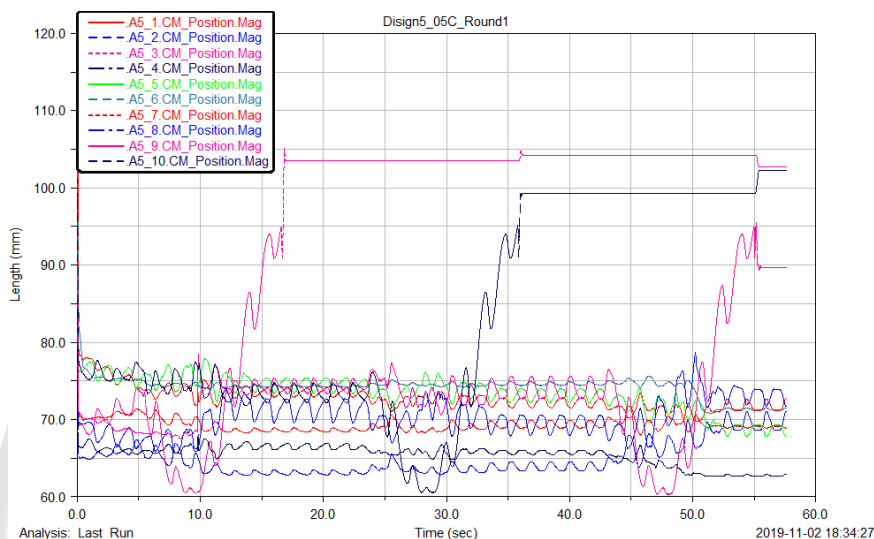
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5 รอบที่ 3 (A5_Round3)



ภาพ 154 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A5_Round3

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A5_Round3 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A5_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 1 จากนั้นส่วนของแผ่นจับเมื่อยาหยุดไปในขณะที่กำลังจะจ่ายเมื่อยาในรอบที่สองเกิดการติดขัดของเมื่อยาชนิด A5_9 เกิดการตกลงไปแบบแนวตั้งจึงไม่สามารถทำให้ระบบจ่ายยาสามารถทำงานต่อไปได้จึงได้หยุดการทำงานที่วินาทีที่ 35

ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A5 รอบที่ 4 (A5_Round4)

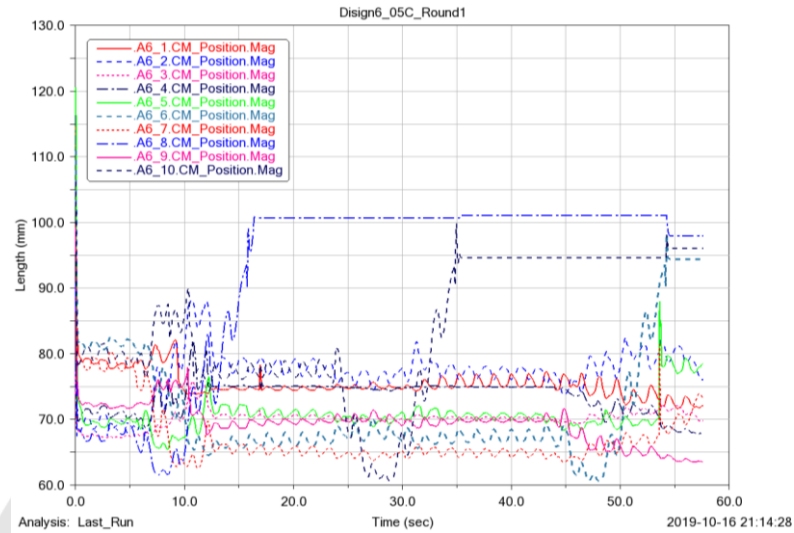


ภาพ 155 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A5_Round4

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A5_Round4 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A5_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A5_10 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A5_9 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

กราฟวิเคราะห์ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A6

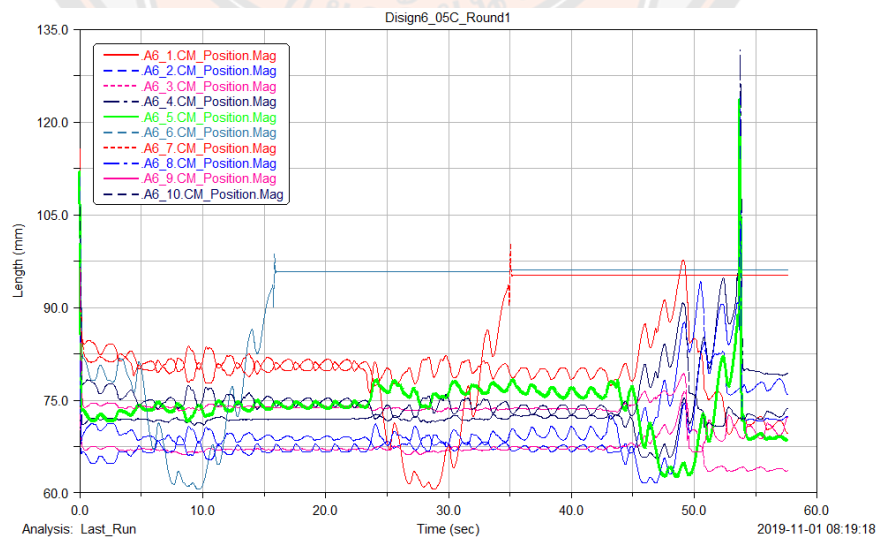
ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A6 รอบที่ 1 (A6_Round1)



ภาพ 156 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A6_Round1

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A6_Round1 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A6_8 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 เมื่อยาชนิด A6_10 ถูกจ่ายเป็นเม็ดที่ 2 เมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ทำให้เมื่อยาชนิด A6_6 ถูกจ่ายออกมาเม็ดสุดท้าย

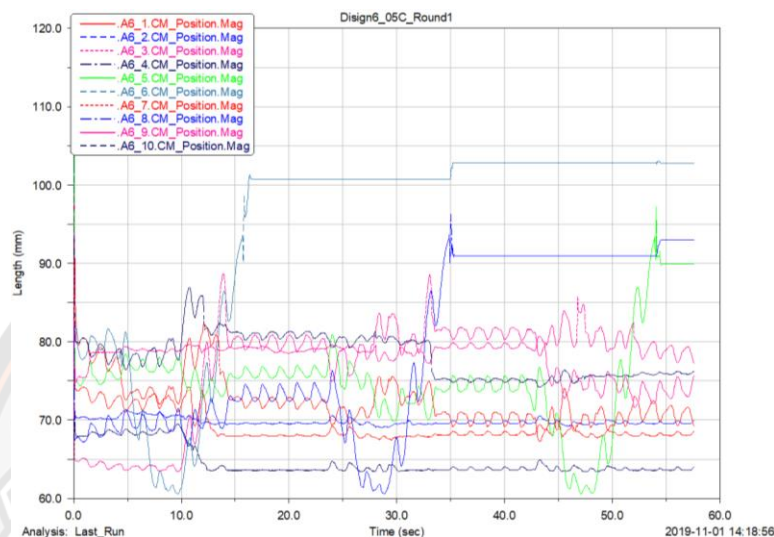
ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A6 รอบที่ 2 (A6_Round2)



ภาพ 157 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A6_Round2

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A6_Round2 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A6_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A6_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ไม่มีเมื่อยาถูกจ่ายออกมาแต่ระบบยังสามารถทำงานต่อไปได้จนเสร็จสิ้น

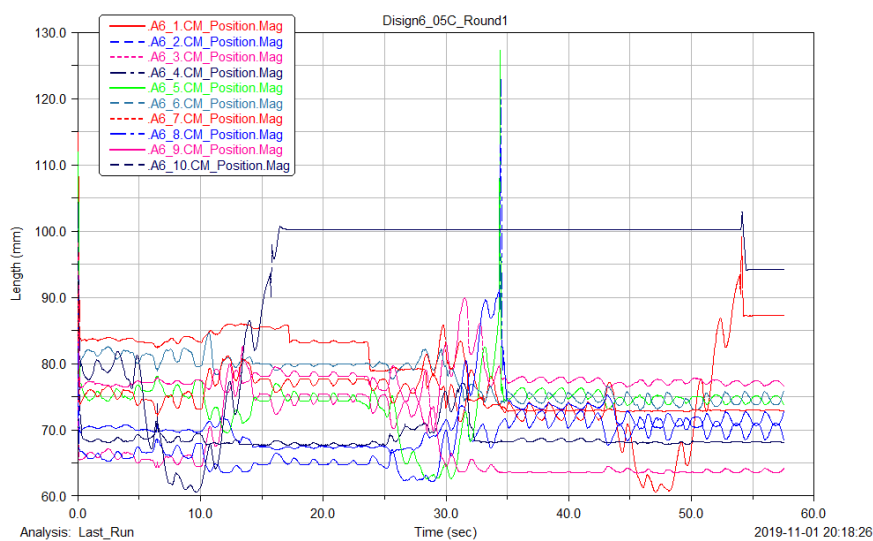
ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A6 รอบที่ 3 (A6_Round3)



ภาพ 158 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A6_Round3

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A6_Round3 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A6_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A6_8 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A6_5 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A6 รอบที่ 4 (A6_Round4)

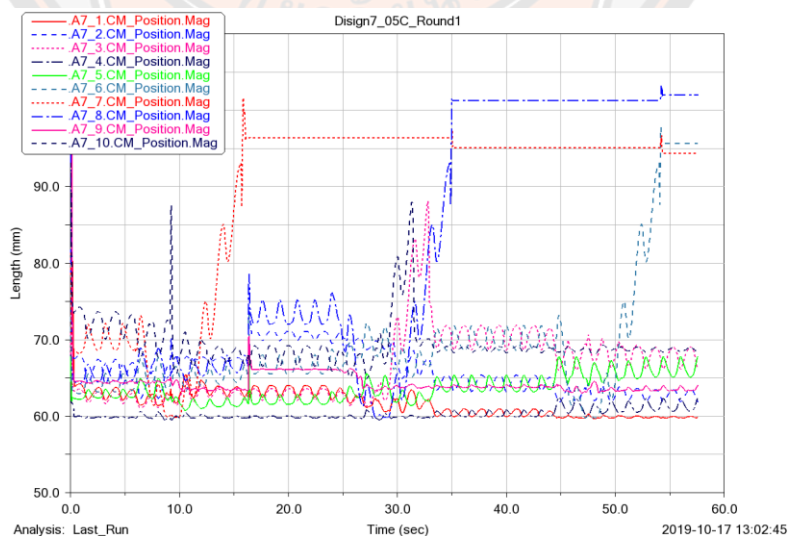


ภาพ 159 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A6_Round4

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A6_Round4 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A6_1 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ไม่มีเม็ดยาเม็ดใดถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 เมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 เม็ดยาชนิด A6_10 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

กราฟวิเคราะห์ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7

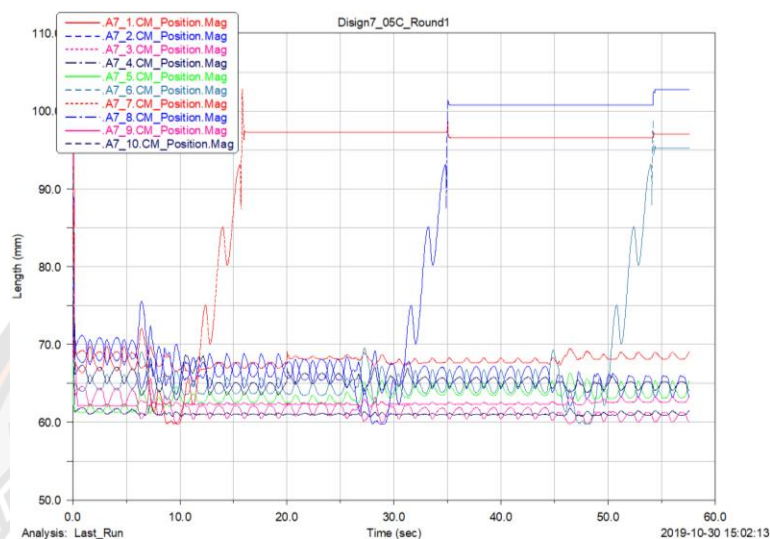
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7 รอบที่ 1 (A7_Round1)



ภาพ 160 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7_Round1

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A7_Round1 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A7_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A7_8 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A7_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

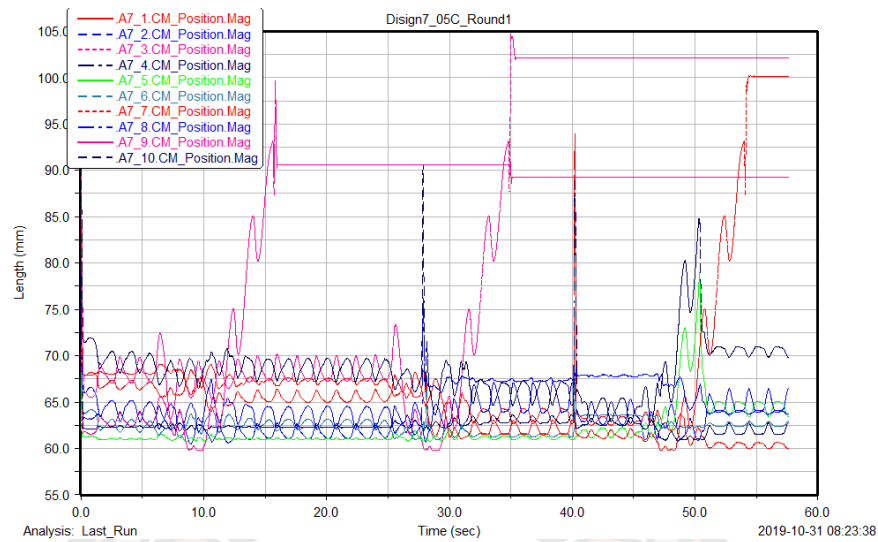
ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A7 รอบที่ 2 (A7_Round2)



ภาพ 161 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A7_Round2

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A7_Round2 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A7_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A7_8 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A7_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

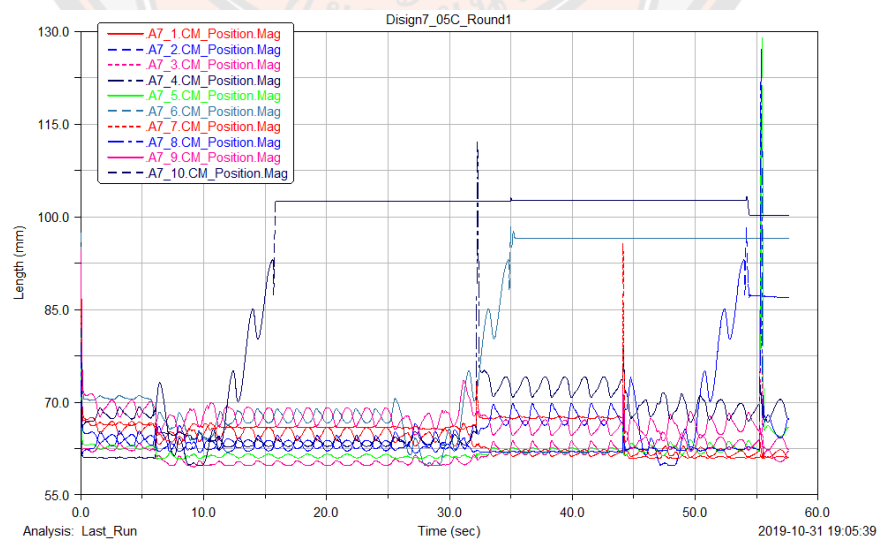
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7 รอบที่ 3 (A7_Round3)



ภาพ 162 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7_Round3

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A7_Round3 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A7_9 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A7_3 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A7_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7 รอบที่ 4 (A7_Round4)

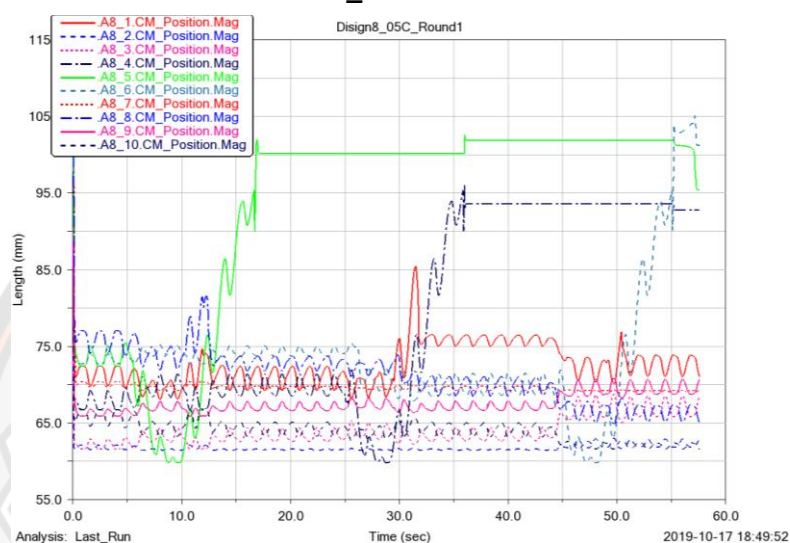


ภาพ 163 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A7_Round4

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A7_Round4 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A7_10 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A7_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A7_2 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

กราฟวิเคราะห์ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A8

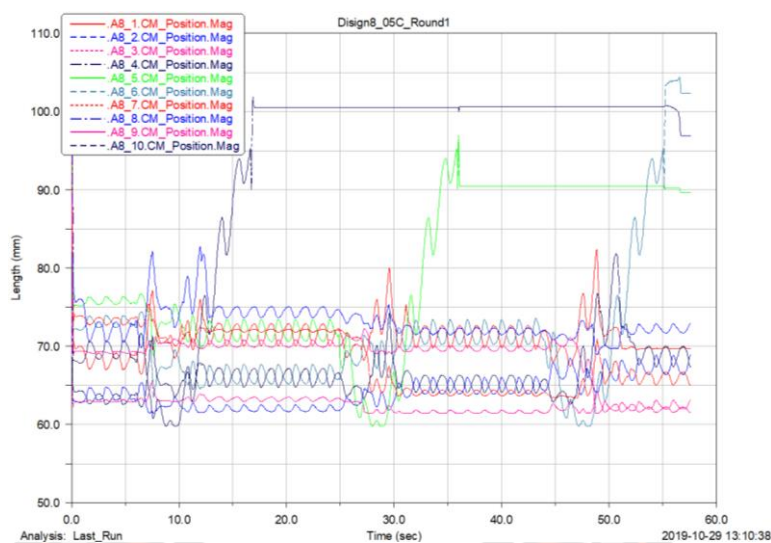
ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A8 รอบที่ 1 (A8_Round1)



ภาพ 164 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A8_Round1

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A8_Round1 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A8_5 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A8_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A8_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

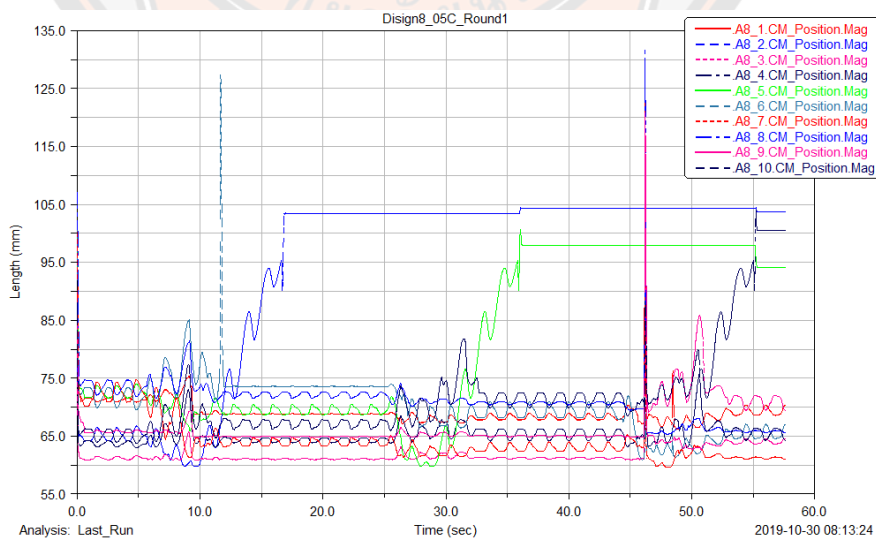
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A8 รอบที่ 2 (A8_Round2)



ภาพ 165 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A8_Round2

อภิปรายกราฟเม็ดยาที่ตกของเม็ดยาชนิด A8_Round2 แผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เม็ดยาชนิด A8_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เม็ดยาชนิด A8_5 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเม็ดยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เม็ดยาชนิด A8_6 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

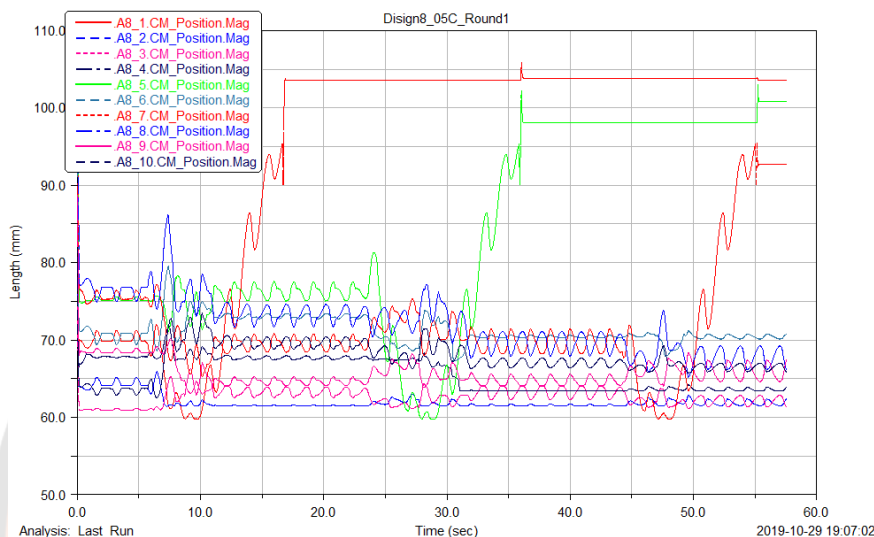
ผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A8 รอบที่ 3 (A8_Round3)



ภาพ 166 กราฟแสดงผลแบบจำลองเม็ดยาชนิด A8_Round3

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A8_Round3 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A8_4 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A8_5 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A8_10 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

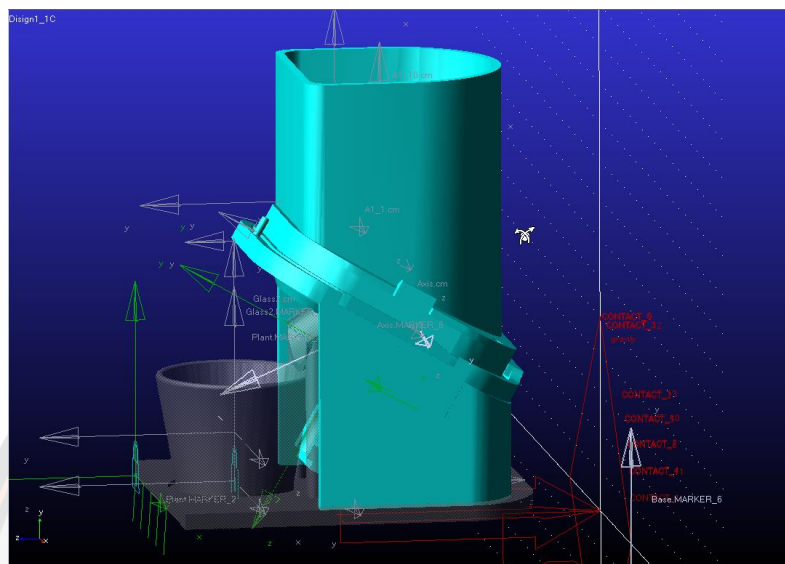
ผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A8 รอบที่ 4 (A8_Round4)



ภาพ 167 กราฟแสดงผลแบบจำลองเมื่อยาชนิด A8_Round4

อภิปรายกราฟเมื่อยาที่ตกของเมื่อยาชนิด A8_Round4 แผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 1 ทำให้เมื่อยาชนิด A8_1 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดแรก ต่อมาแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 2 ทำให้เมื่อยาชนิด A8_5 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดที่ 2 และเมื่อแผ่นจับเมื่อยาหมุนครั้งที่ 3 ก็ทำให้เมื่อยาชนิด A8_7 ถูกจ่ายออกมาเป็นเม็ดสุดท้าย

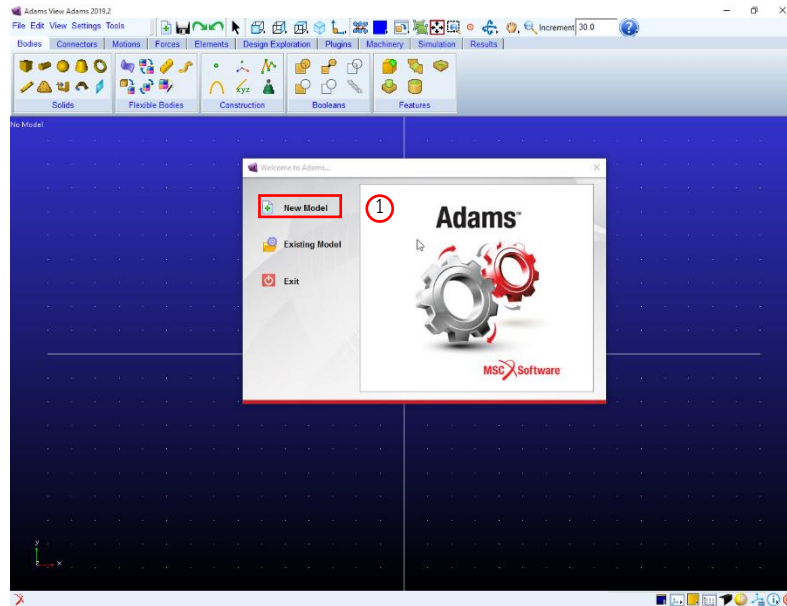
ภาคผนวก ง
 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง



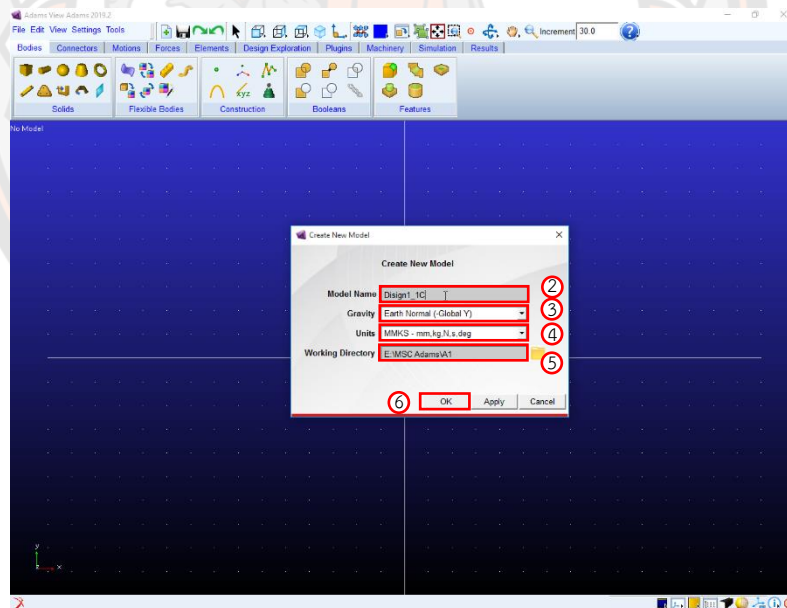
ภาพ 168 แบบจำลองสามมิติใน Adams View 2019.2

Step 1 Create a New Adams database.

1. Click ที่ New Model ดังภาพ 169
2. สำหรับ Model Name ให้ตั้งชื่อสำหรับแบบจำลองดังภาพ 170
3. สำหรับ Gravity ให้เลือก Earth Normal (-Global Y) ดังภาพ 170
4. สำหรับ Unit ให้เลือก MMKS – mm,kg,N,s,deg ดังภาพ 170
5. สำหรับ Working Directory ให้เลือก Folder ที่ต้องการจะบันทึกไฟล์แบบจำลองดังภาพ 170 แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 170



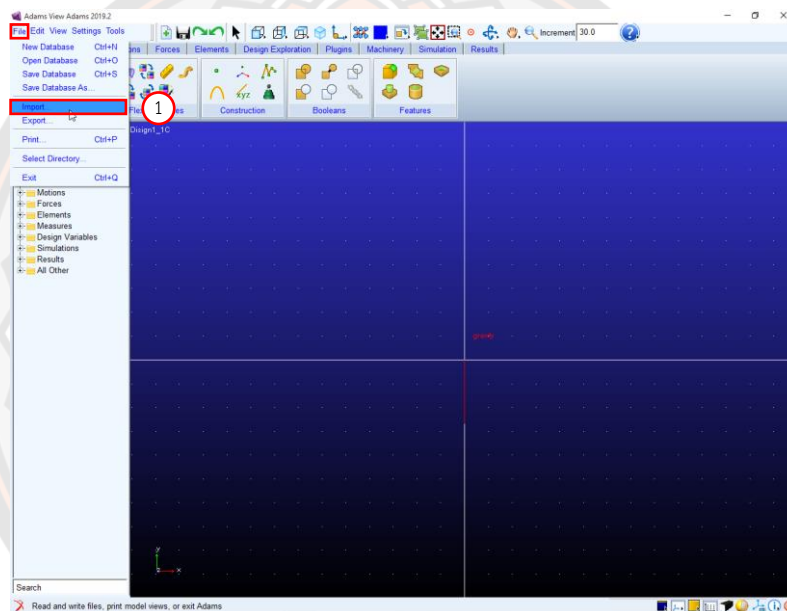
ภาพ 169 การสร้างเริ่มต้นที่ Click ที่ New Model



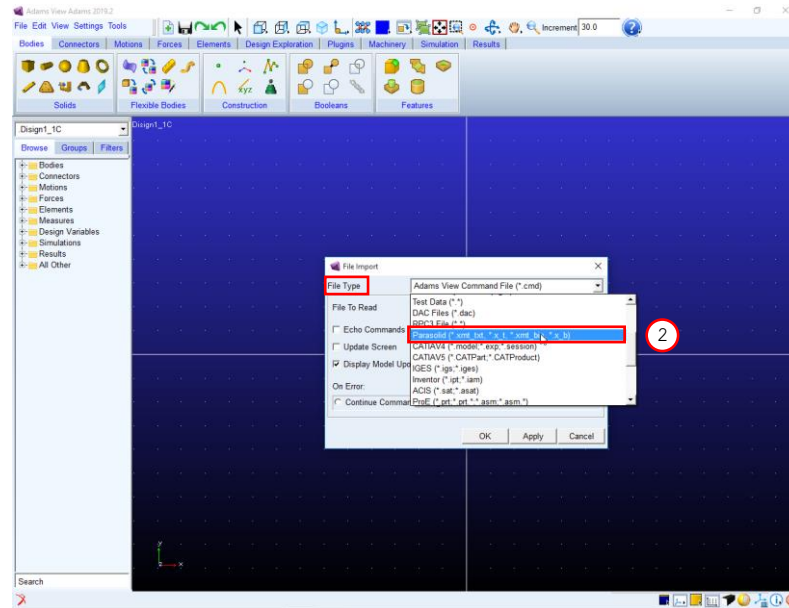
ภาพ 170 ขั้นตอนการสร้าง

Step 2 Import Model

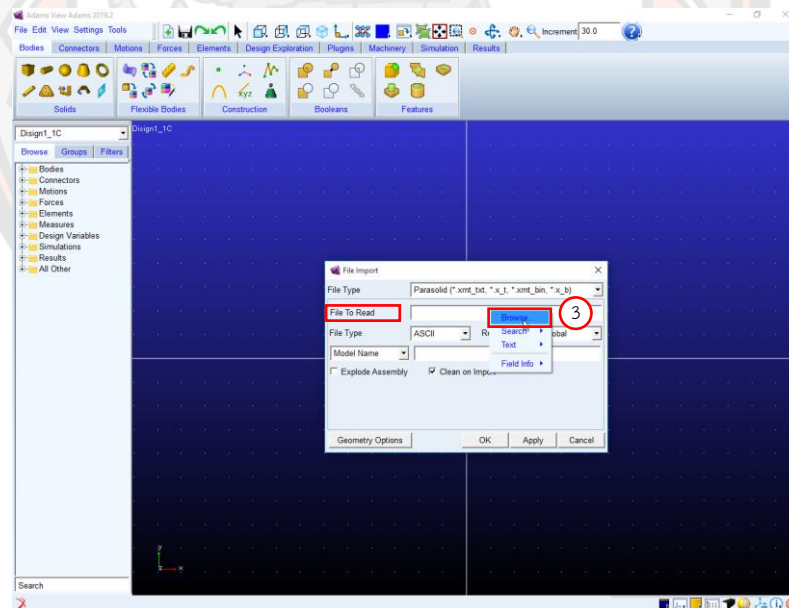
- 1.ไปที่ File --> Import ดังภาพ 171
- 2.ตั้งค่า File Type เป็น Parasolid (*.xmt_txt, *.x_t, *.xmt_bin, *.x_b) ดังภาพ 172
- 3.ที่ File To Read ให้ Click ขวาแล้วเลือก Browse... เพื่อนำเข้าไฟล์ Model แบบจำลอง ดังภาพ 173
- 4.เลือก Model Name ให้ Click ขวาแล้วเลือก Model --> Guesses --> ไฟล์ของแบบจำลองดังภาพ 174
- 5.เลือก OK ดังภาพ 175



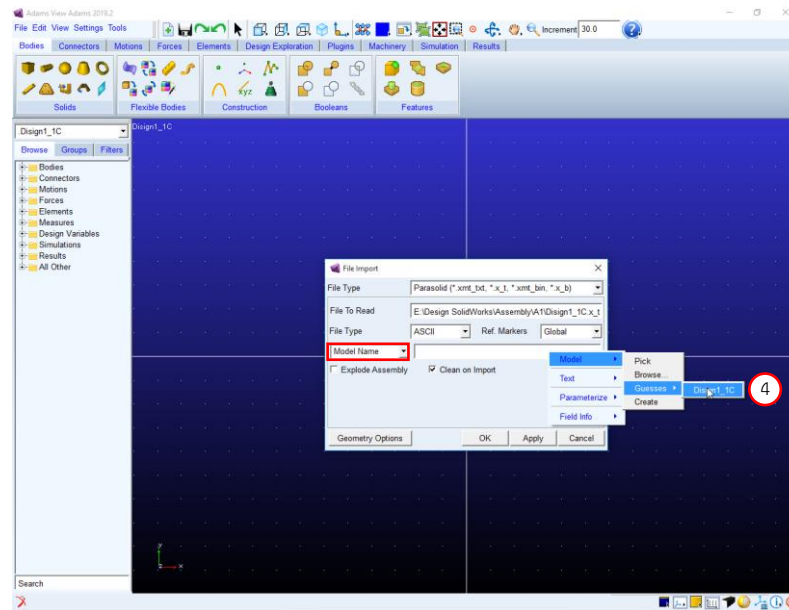
ภาพ 171 ขั้นตอนการ Import Model



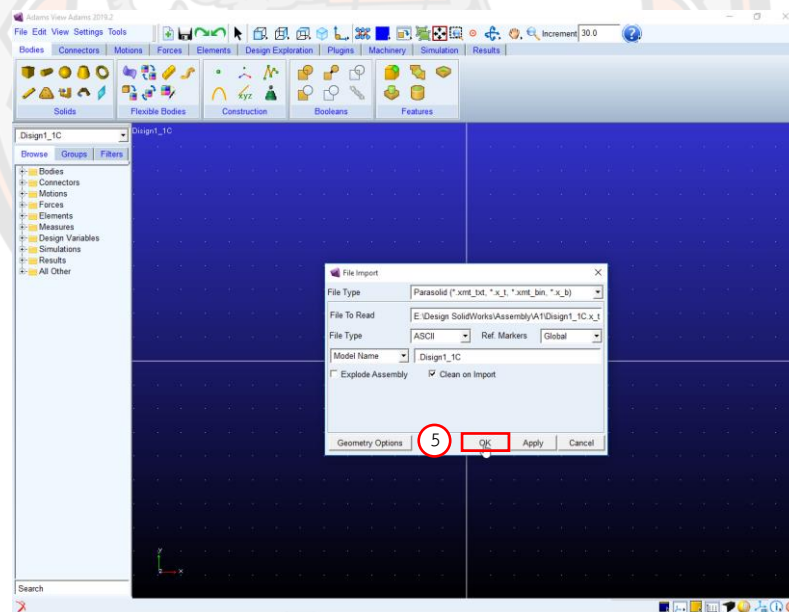
ภาพ 172 การตั้งค่า File Type



ภาพ 173 การนำเข้าไฟล์ Model แบบจำลอง



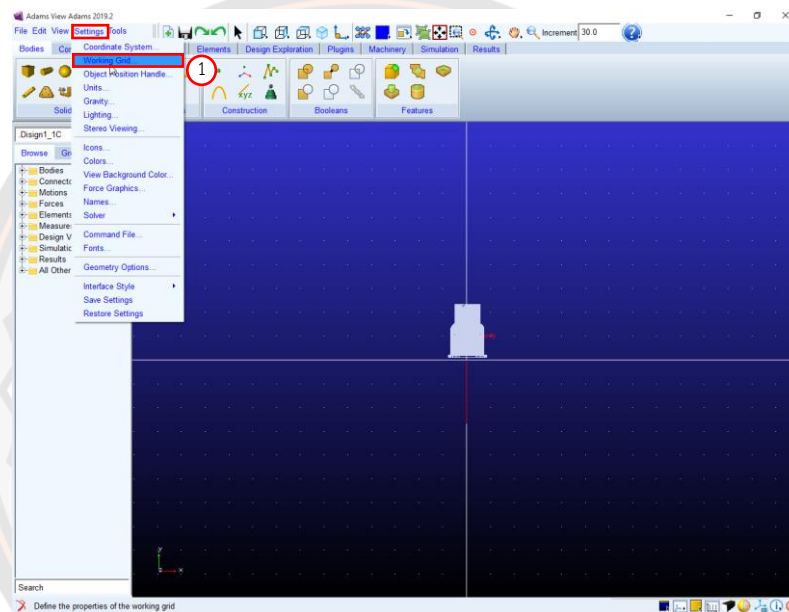
ภาพ 174 การเลือกที่เก็บไฟล์ Model



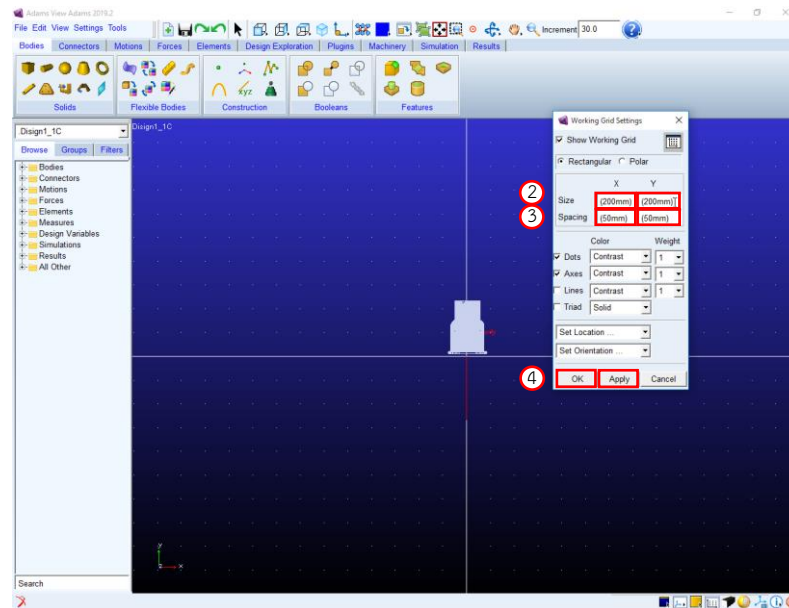
ภาพ 175 เลือก OK

Step 3 Setting Working Grid

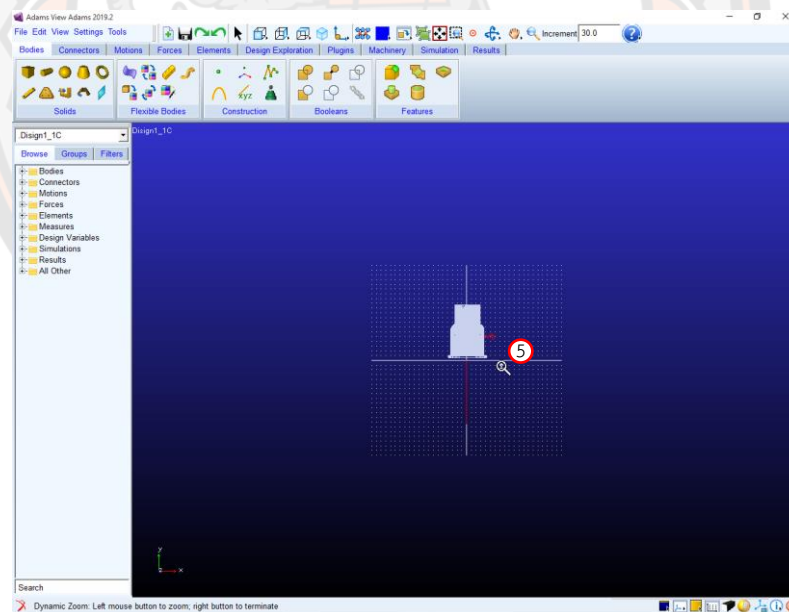
1. ไปที่เมนู Settings เลือก Working Grid ดังภาพ 176
2. ตั้งค่า Size 200 mm ในแกน X และแกน Y ดังภาพ 177
3. ตั้งค่า Spacing 10 mm ในแกน X และแกน Y ดังภาพ 177
4. จากนั้น Click ที่ Apply แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 177
5. กดปุ่ม Z ที่เป็นพิมพ์เพื่อ Zoom เข้า-ออก ดังภาพ 178
6. กดปุ่ม T ที่เป็นพิมพ์เพื่อลาก Model ดังภาพ 180



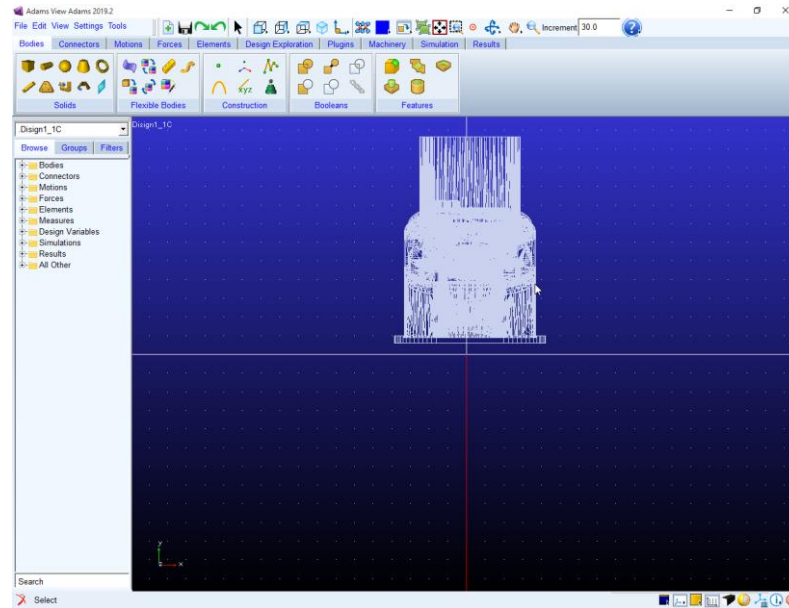
ภาพ 176 การเลือก Setting Working Grid



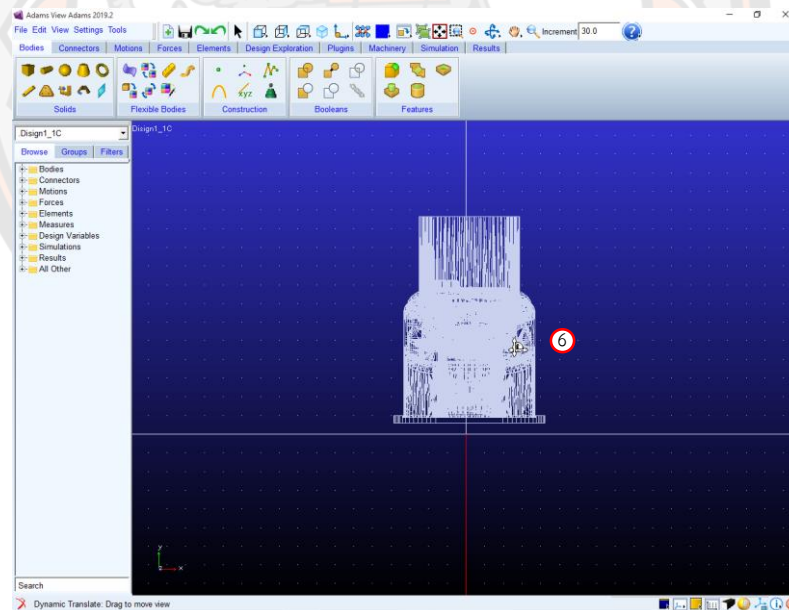
ภาพ 177 การ Setting ค่าของ Working Grid



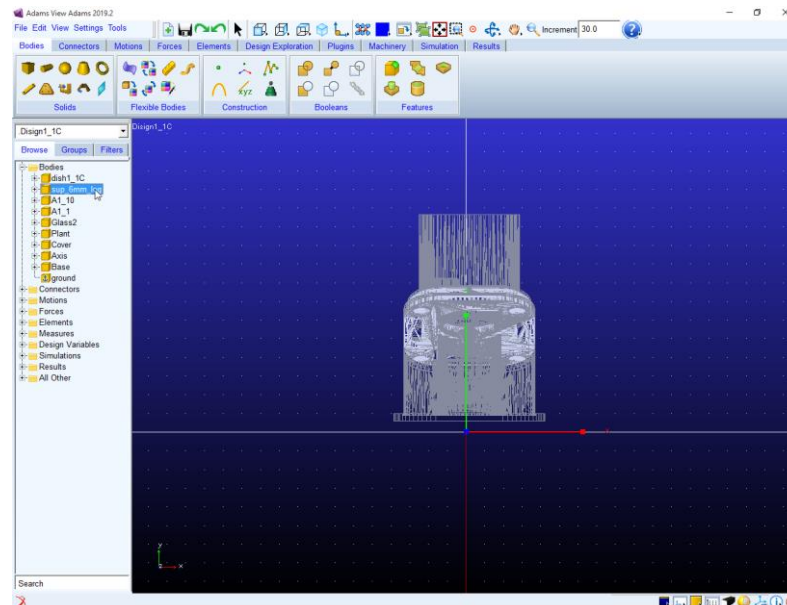
ภาพ 178 การ Zoom เข้า Zoom ออก



ภาพ 179 เมื่อการ Zoom เข้าเสร็จแล้ว



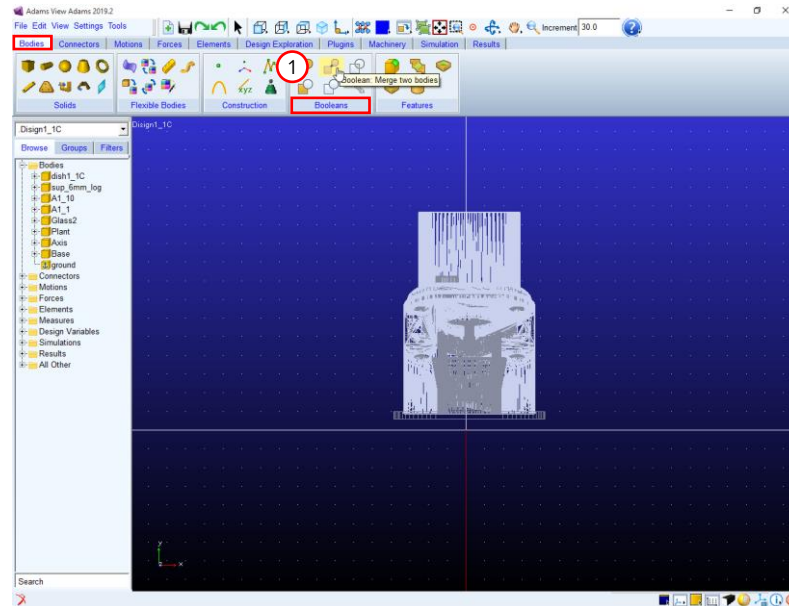
ภาพ 180 การลาก Model เพื่อเคลื่อนที่



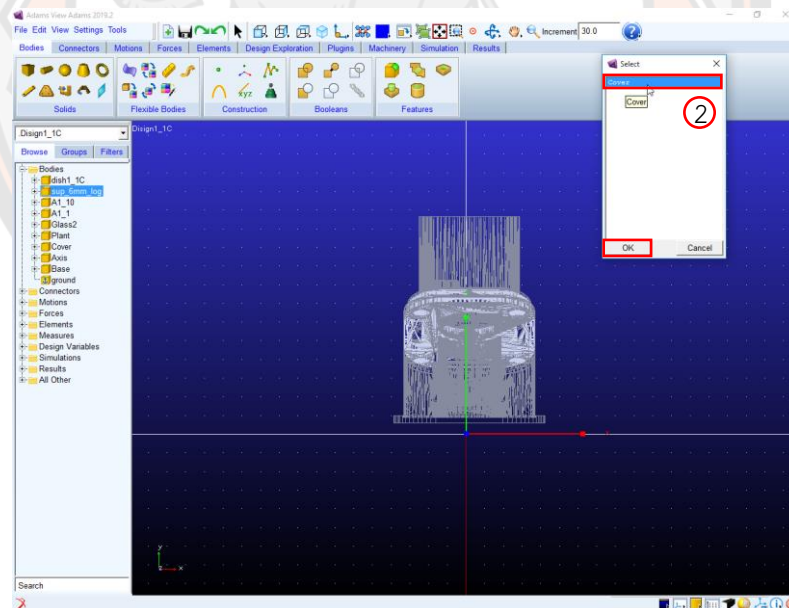
ภาพ 181 เมื่อลาก Model เสร็จ

Step 4 Merge two body

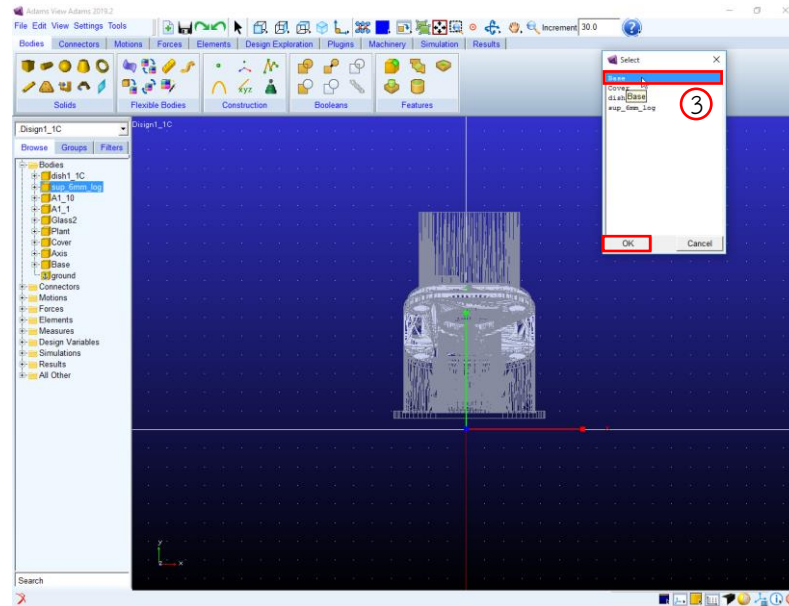
1. ให้ Click เลือก Merge two bodies จาก Bodies --> Booleans ดังภาพ 182
2. Body 1 ให้ Click ขวา บน Model จากนั้นเลือก Part: Cover แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 183
3. Body 2 ให้ Click ขวา บน Model จากนั้นเลือก Part: Base แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 184
4. ทำซ้ำข้อ 1 ให้ Click เลือก Merge two bodies จาก Bodies --> booleans
5. Body 1 ให้ Click ขวา บน Model จากนั้นเลือก Part: Sup_6mm_log แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 185
6. Body 2 ให้ Click ขวา บน Model จากนั้นเลือก Part: Base แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 186
7. ทำการซ่อน Part: Base โดยไปที่ Folder: Bodies --> Base --> Hide ดังภาพ 187
8. ทำซ้ำข้อ 1 ให้ Click เลือก Merge two bodies จาก Bodies --> Booleans ดังภาพ 188
9. Body 1 ให้ Click ขวา บน Model จากนั้นเลือก Part: Dish1_1c แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 189
10. Body 2 ให้ Click ขวา บน Model จากนั้นเลือก Part: Axis แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 190
11. ทำการแสดง Part: Base ที่ซ่อนไว้โดยไปที่ Folder: Bodies --> Base --> Show ดังภาพ 191



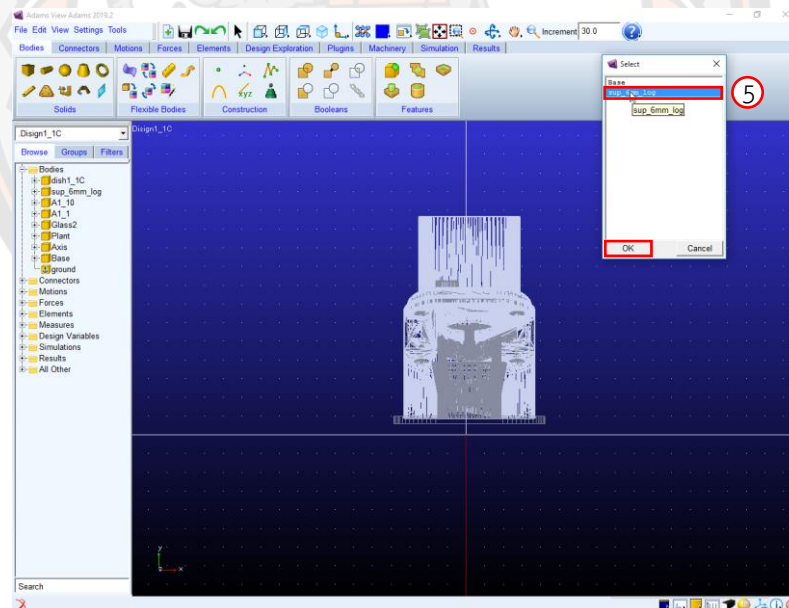
ภาพ 182 การเลือกสร้าง Merge two body



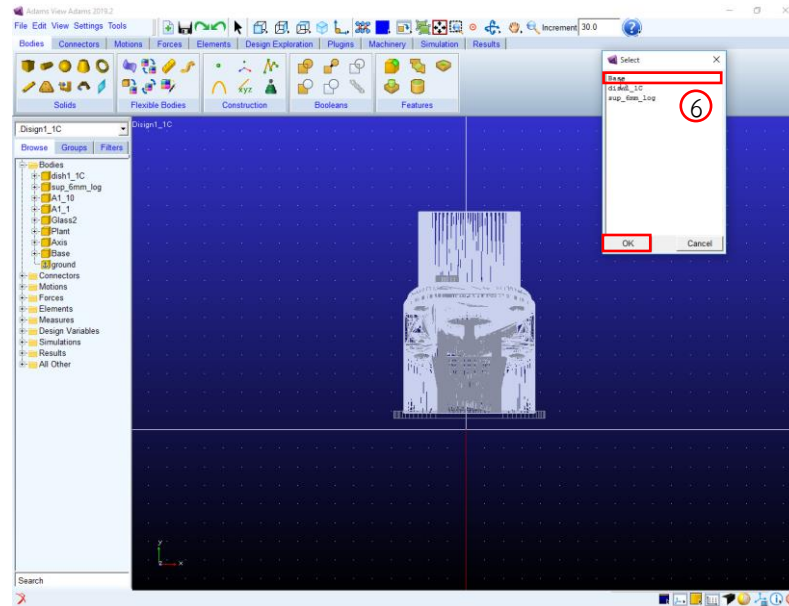
ภาพ 183 การเลือก Body 1



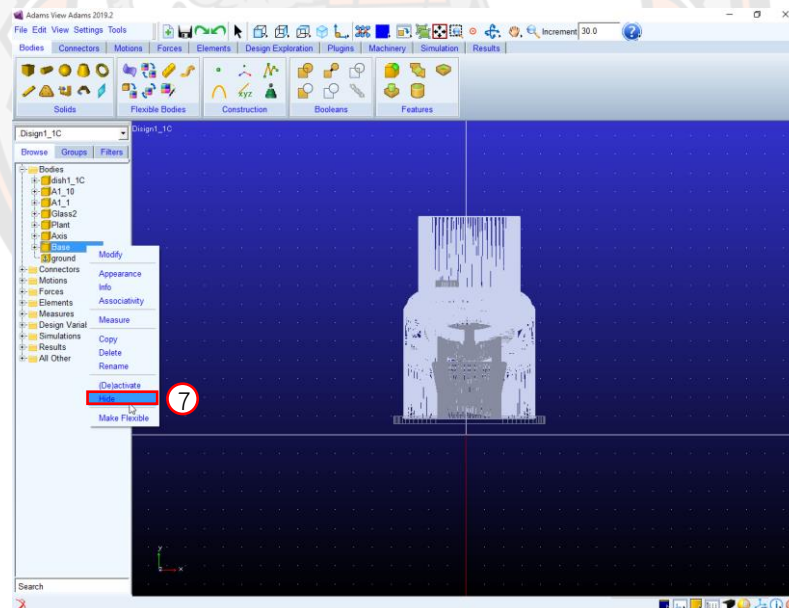
ภาพ 184 การเลือก Body 2



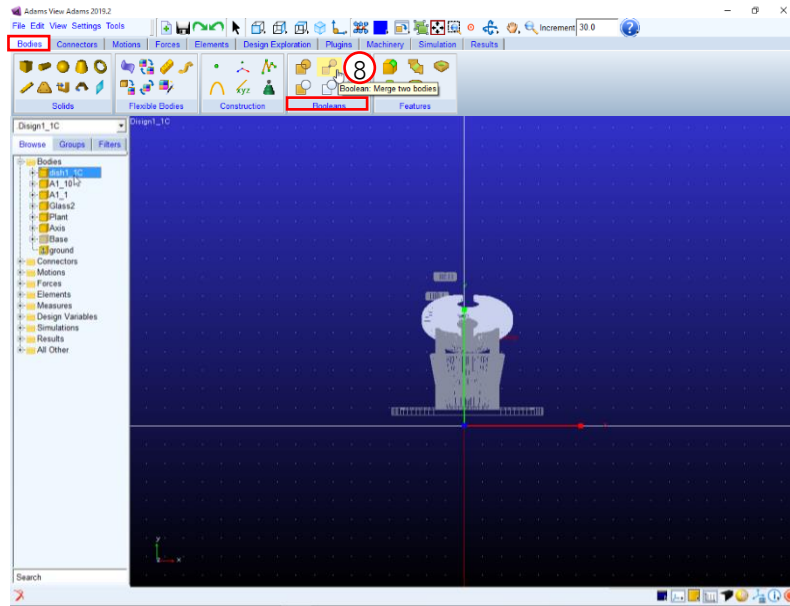
ภาพ 185 การเลือก Body 1



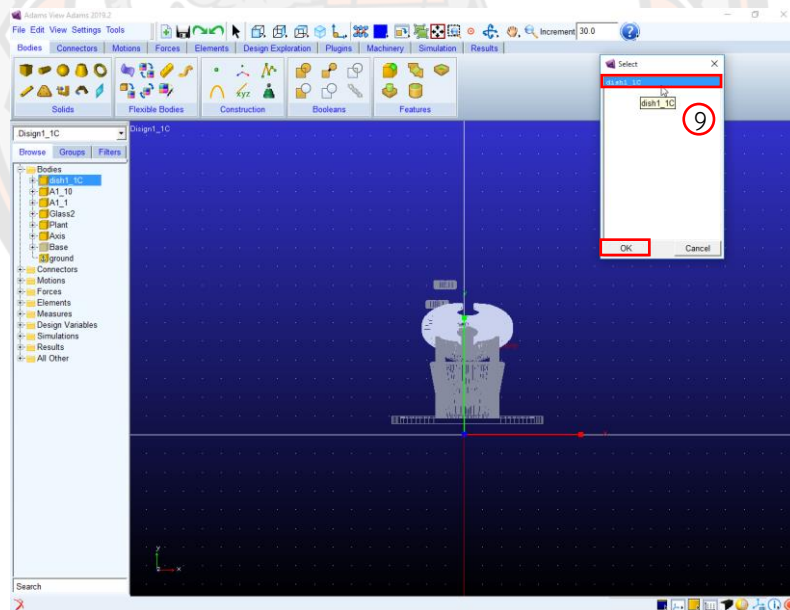
ภาพ 186 การเลือก Body 2



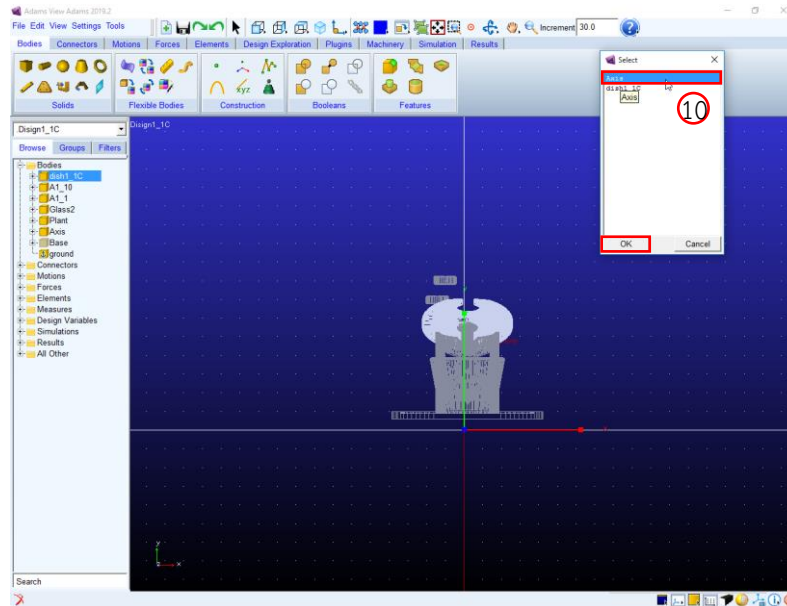
ภาพ 187 การซ่อน Part



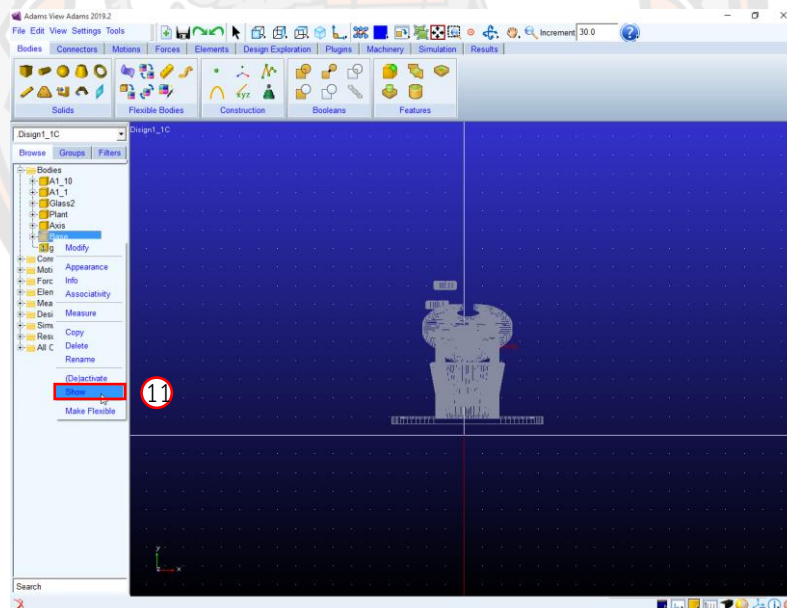
ภาพ 188 การทำซ้ำ



ภาพ 189 การเลือก Body 1



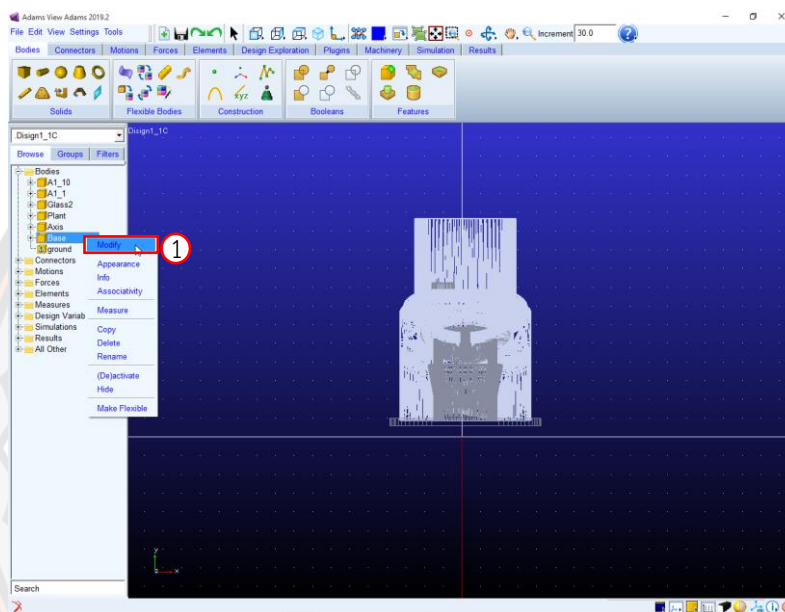
ภาพ 190 การเลือก Body 2



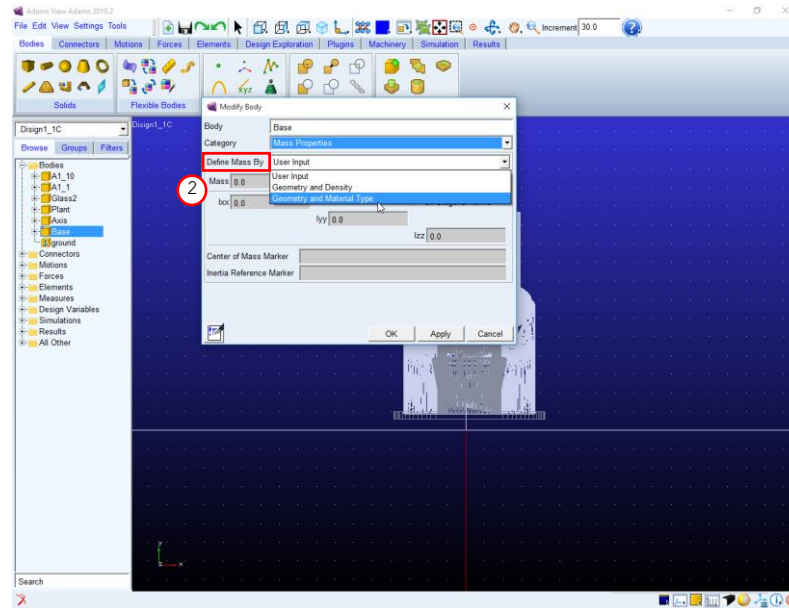
ภาพ 191 การเปิดแสดง Part ที่ซ่อนไว้

Step 5 Modify Body

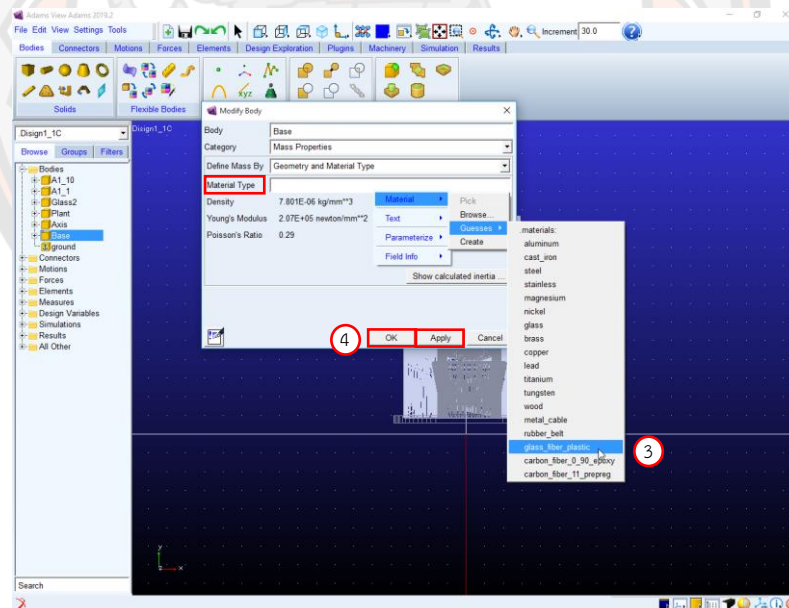
1. เลือก Part: Base โดยไปที่ Folder: Bodies --> Base --> Modify ดังภาพ 192
2. จากนั้นใน Define Mass By เลือก Geometry and Material Type ดังภาพ 193
3. ใน Material Type ให้ Click ขวา แล้วเลือก Material --> Guesses --> glass_fiber_plastic ดังภาพ 194
4. จากนั้น Click ที่ Apply แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 194



ภาพ 192 การ Modify Body



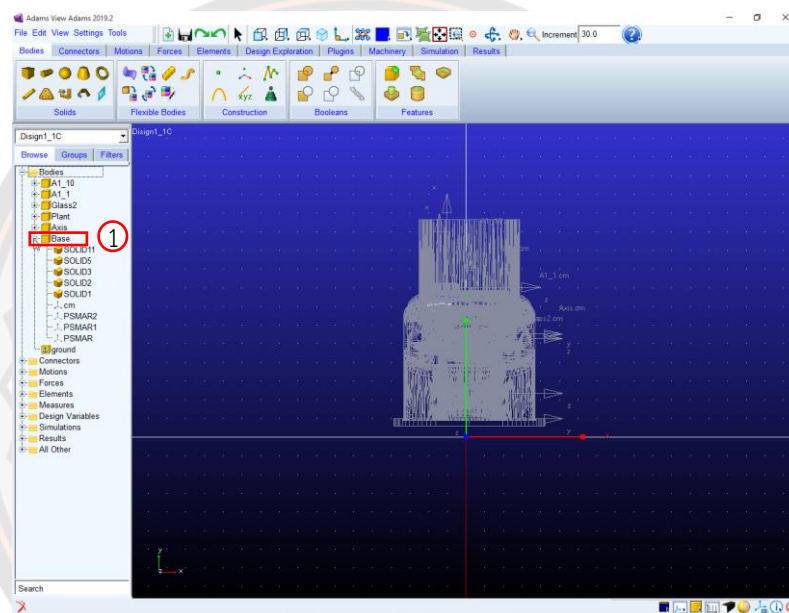
ภาพ 193 การตั้งค่าใน Define Mass By



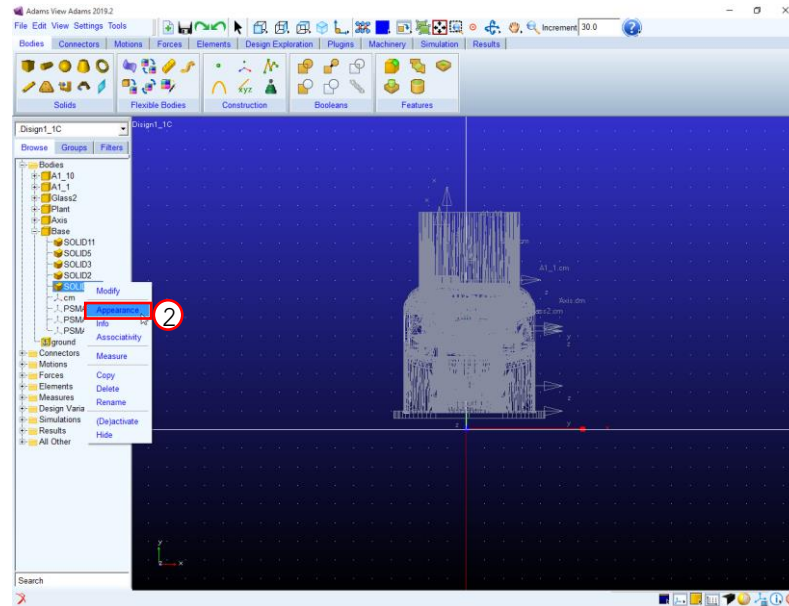
ภาพ 194 การตั้งค่าใน Material Type

Step 6 Change Color

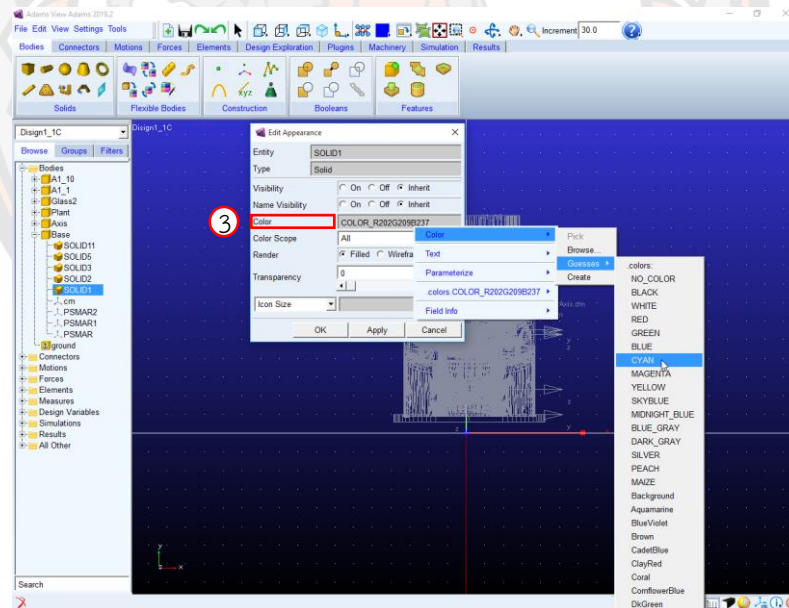
1. ทำการเปลี่ยนสีแบบจำลองโดย Part: Base แล้ว Click ที่ + เพื่อขยายขึ้นส่วนย่อย Part: Solid ดังภาพ 195
2. จากนั้น Click ขวาที่ Part: Solid แล้วไปที่ Appearance ดังภาพ 196
3. ที่หน้าต่าง Edit Appearance ให้ Click ขวาที่ Color ไปที่ Color --> Guesses -->. colors:(เลือกสีสำหรับขึ้นส่วนย่อย) ดังภาพ 197
4. แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 198



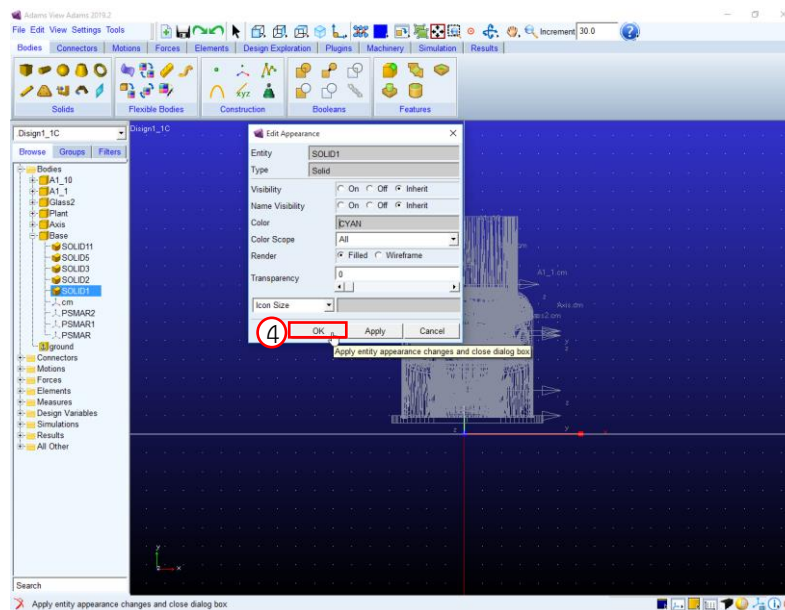
ภาพ 195 การ Click ที่ + เพื่อขยายขึ้นส่วน



ภาพ 196 การเลือก Appearance



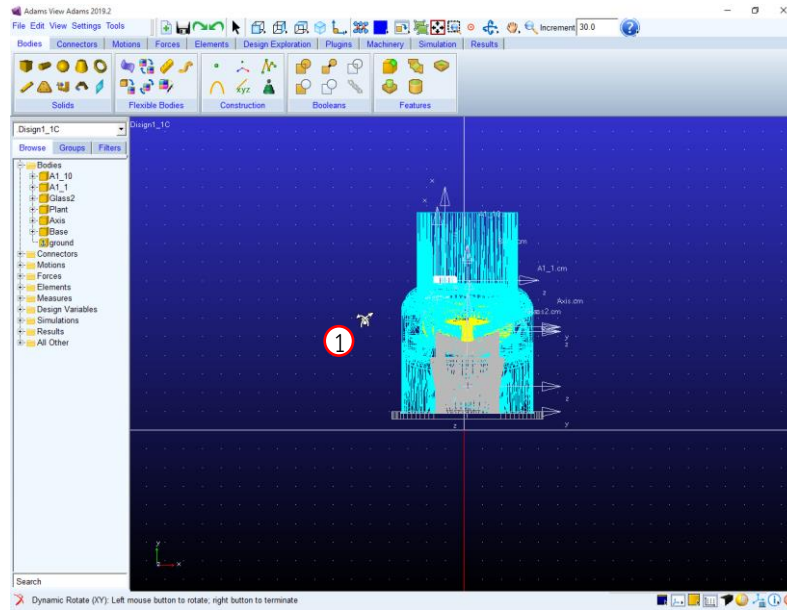
ภาพ 197 การเลือกสีให้ชิ้นวัตถุ



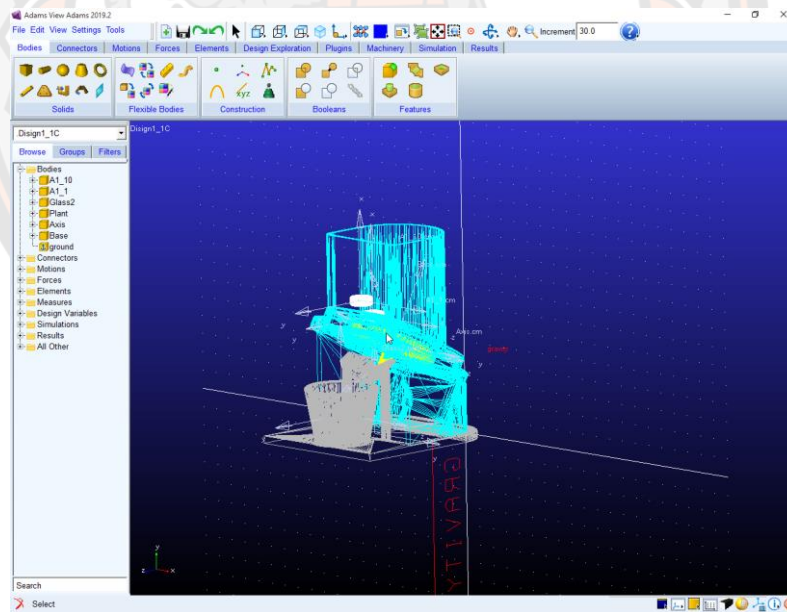
ภาพ 198 จากนั้นเลือก OK

Step 7 Connectors

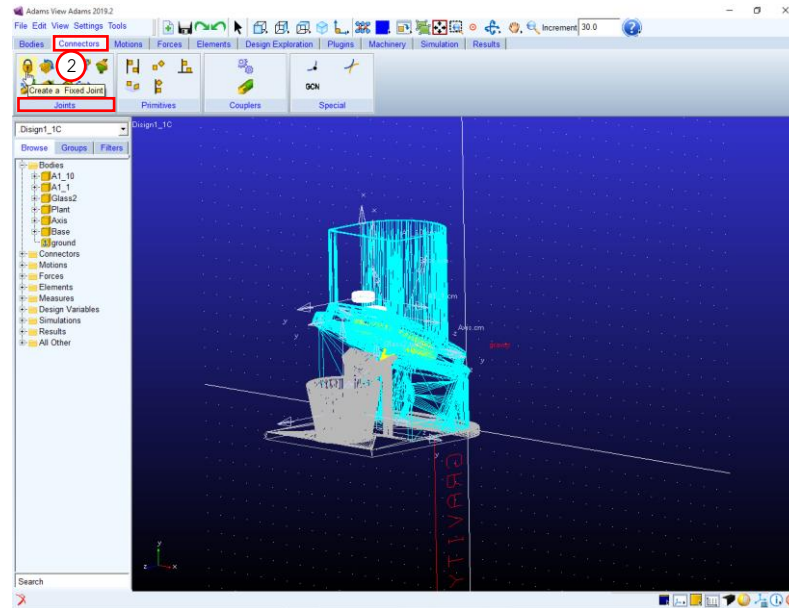
1. ทำการหมุนชิ้นงานโดยกดปุ่ม R แล้วลากที่เมาท์ ดังภาพ 199
2. ให้เลือก Create a Fixed Joint จาก Connectors --> Joints ดังภาพ 201
3. ตรง Construction เลือก 2 Bodies - 1 Location และ Normal To Grid ดังภาพ 202
4. เลือก Ground เป็น First Body และเลือก Plant เป็น Second Body ดังภาพ 202 และ ดังภาพ 203
5. เลือกตรงมุมของ Plant เป็น Location ดังภาพ 204
6. Click ขวาที่ JOINT_1 แล้วเลือกที่ Appearance ดังภาพ 205
7. ที่ Edit Appearance เลือก Icon Size ให้ใส่ขนาด Icon เป็น 5 ดังภาพ 206
8. แล้ว Click ที่ OK



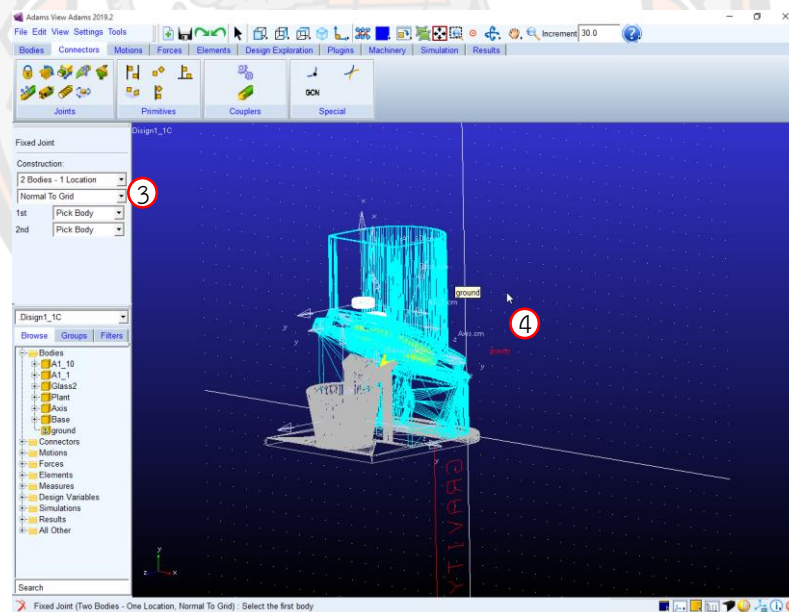
ภาพ 199 การหมุนชิ้นงาน



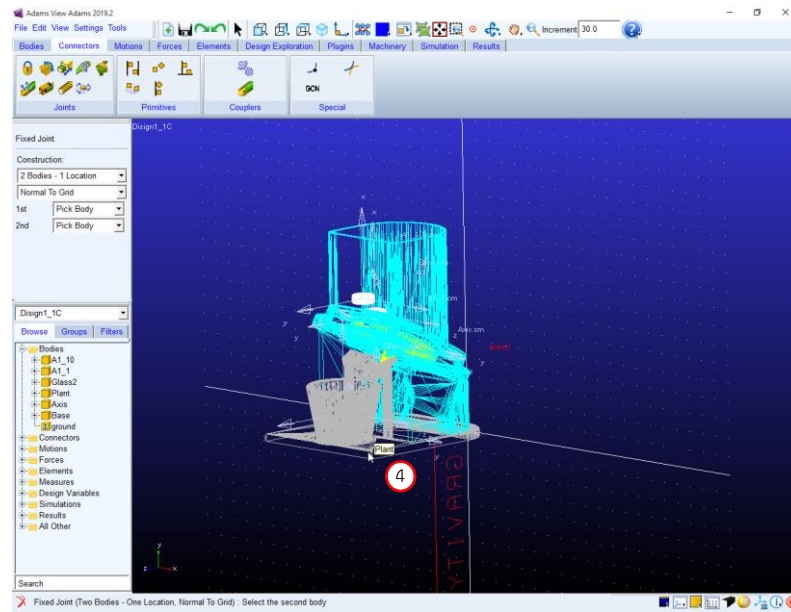
ภาพ 200 หลังจากหมุนชิ้นงานเสร็จ



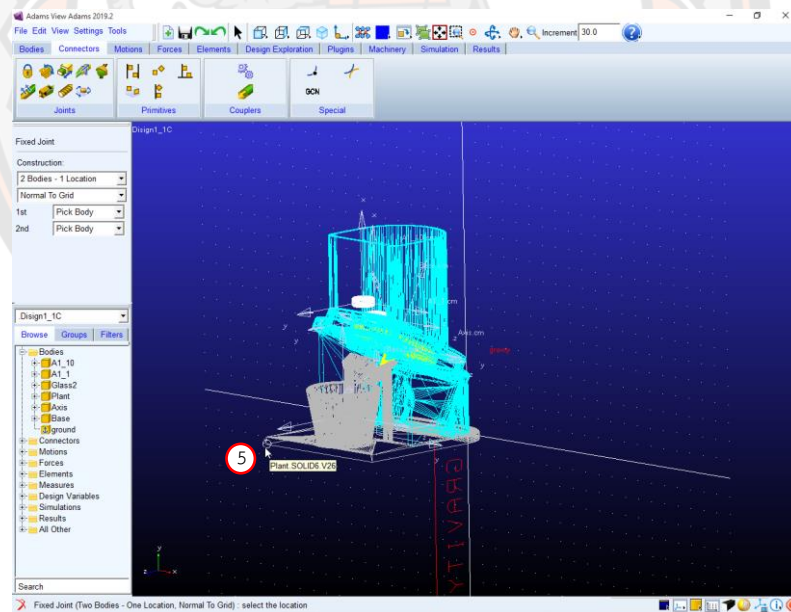
ภาพ 201 การ Create a Fixed Joint



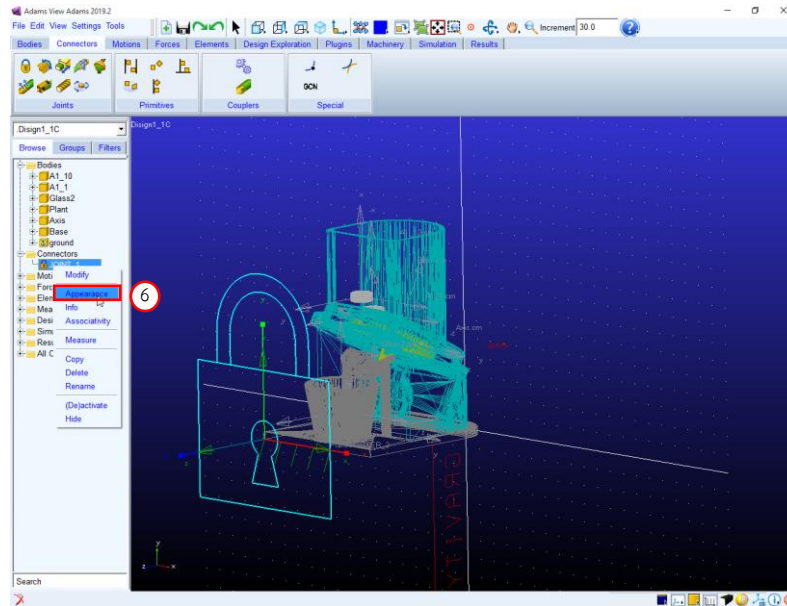
ภาพ 202 การตั้งค่าของ Construction และเลือก Ground เป็น First Body



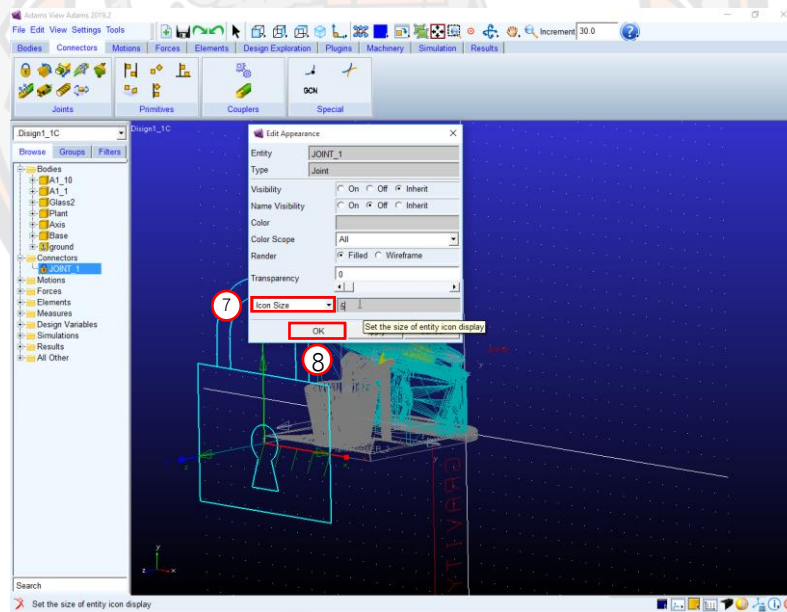
ภาพ 203 การเลือก Plant เป็น Second Body



ภาพ 204 การเลือกตรงมุมของ Plant เป็น Location



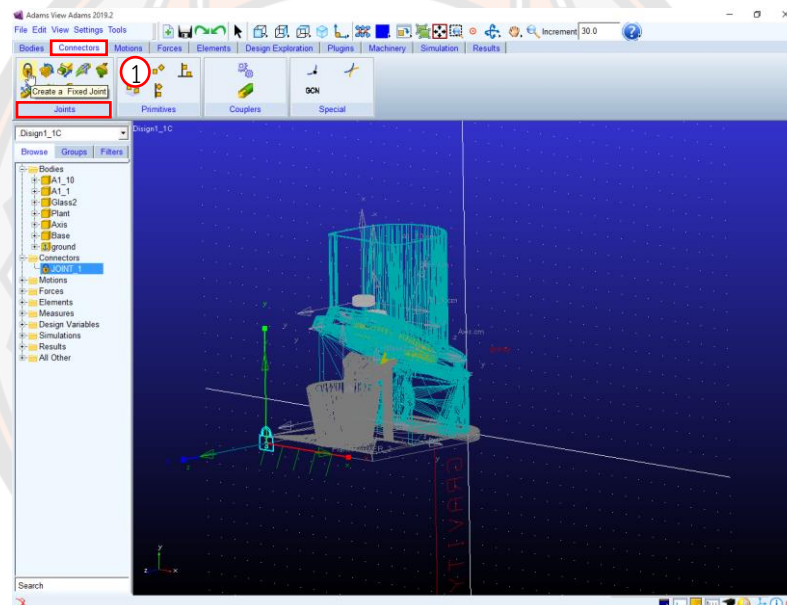
ภาพ 205 การเลือก Appearance



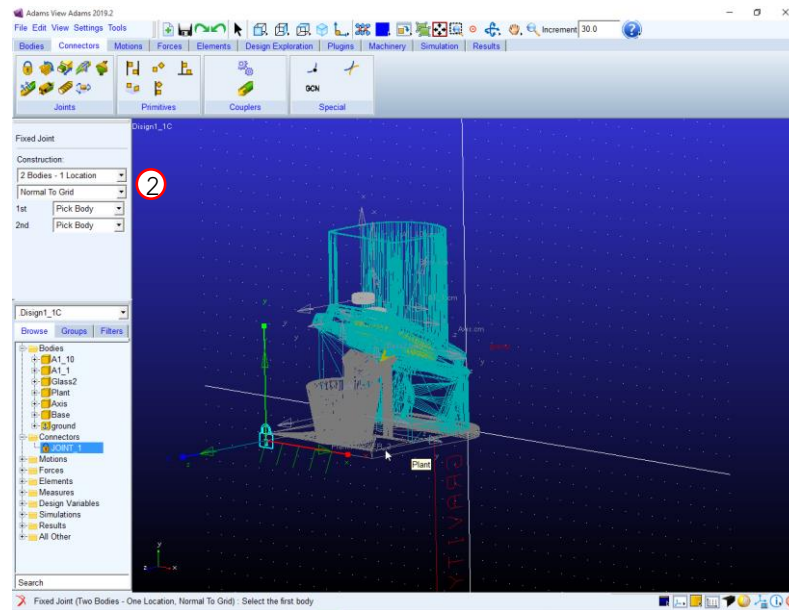
ภาพ 206 การเลือกขนาด Icon แล้วเลือก OK

Step 8 การ Create a Fixed Joint ของ Plant และ Glass

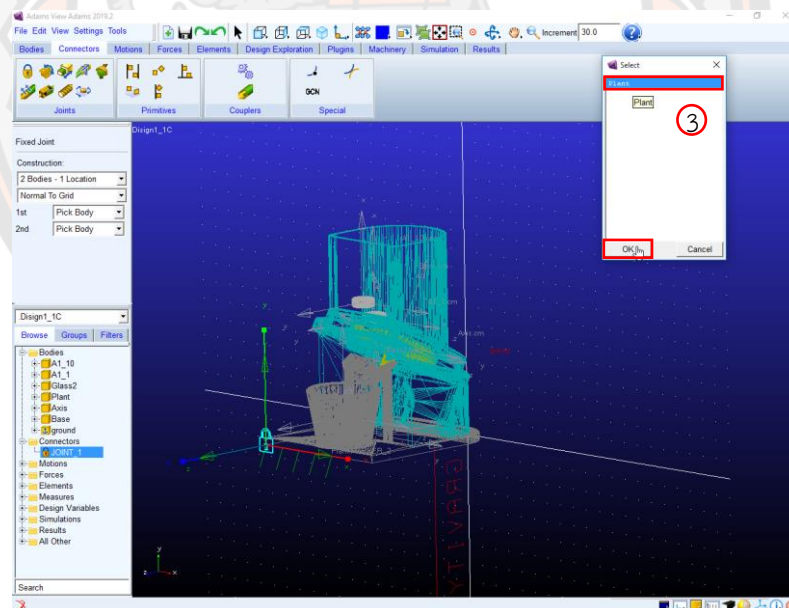
1. ให้เลือก Create a Fixed Joint จาก Connectors --> Joints ดังภาพ 207
2. ตรง Construction เลือก 2 Bodies - 1 Location และ Normal To Grid ดังภาพ 208
3. เลือก Plant เป็น First Body และเลือก Glass เป็น Second Body ดังภาพ 209 และดังภาพ 210
4. เลือกตรงมุมของ Center ของ Glass เป็น Location ดังภาพ 211
5. Click ขวาที่ JOINT_2 แล้วเลือกที่ Appearance ดังภาพ 212
6. ที่ Edit Appearance เลือก Icon Size ให้ใส่ขนาด Icon เป็น 5 ดังภาพ 213
7. แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 213



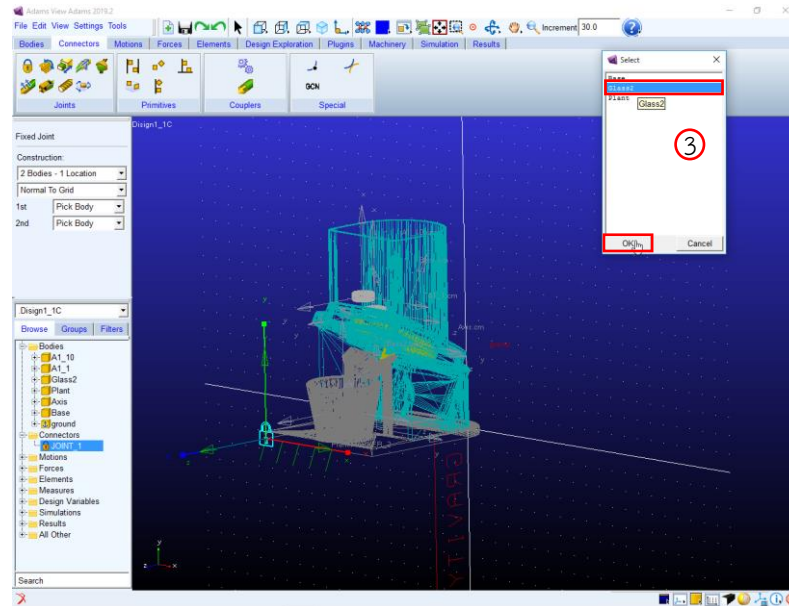
ภาพ 207 การเลือก Create a Fixed Joint



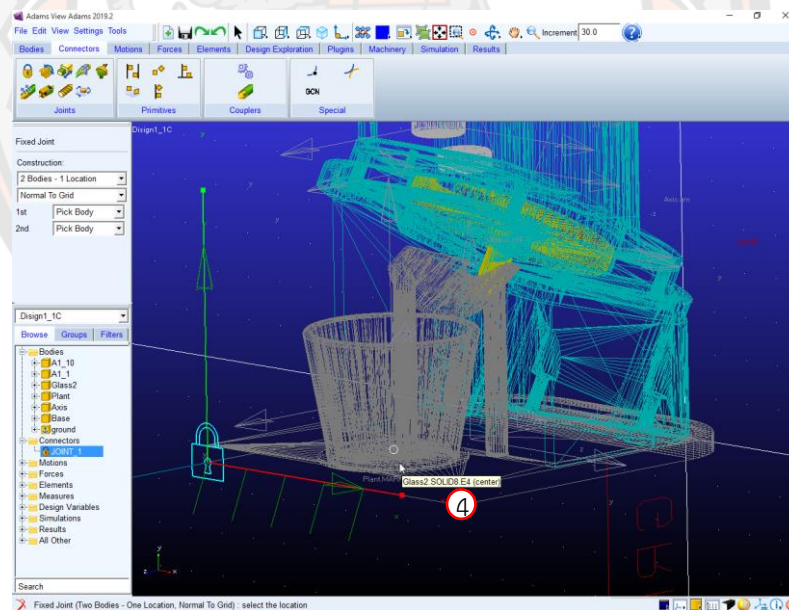
ภาพ 208 ที่ Construction เลือก 2 Bodies - 1 Location และ Normal To Grid



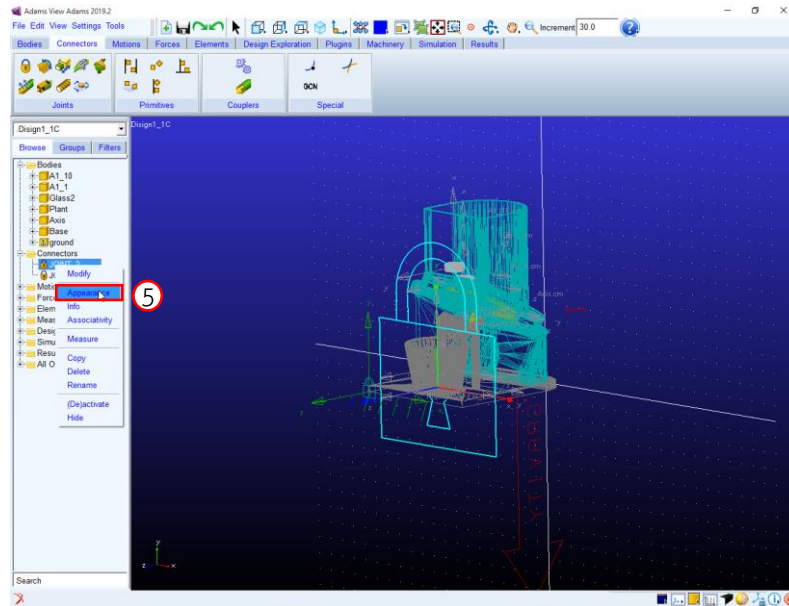
ภาพ 209 การเลือก Plant เป็น First Body



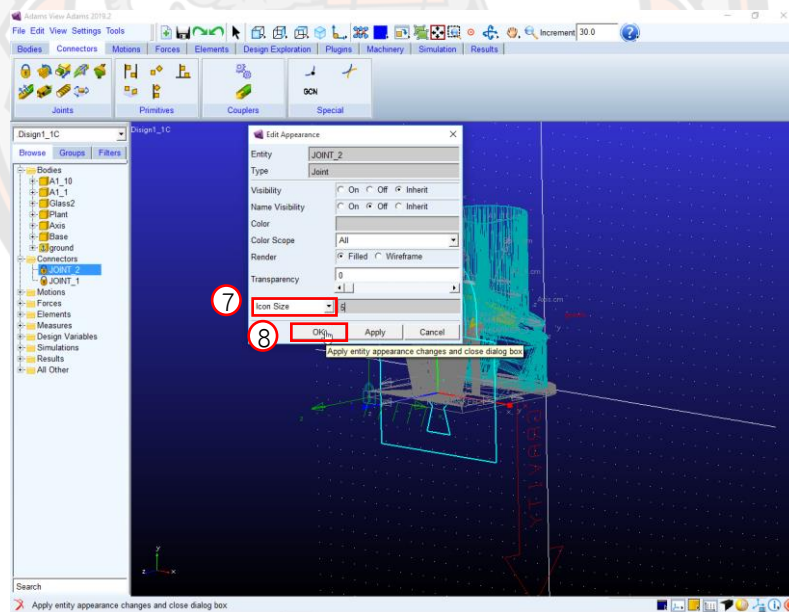
ภาพ 210 การเลือก Glass เป็น Second Body



ภาพ 211 การเลือก Center ของ Glass เป็น Location



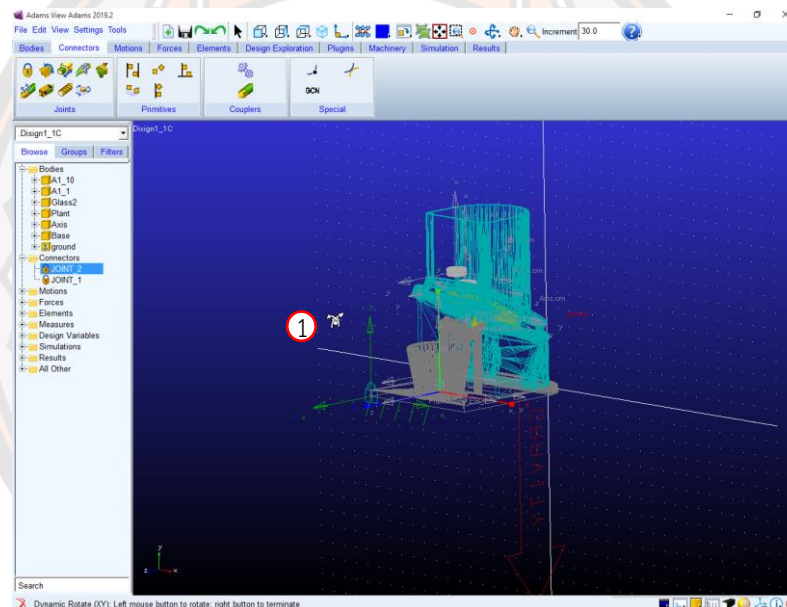
ภาพ 212 Click ขวาที่ JOINT_2 แล้วเลือกที่ Appearance



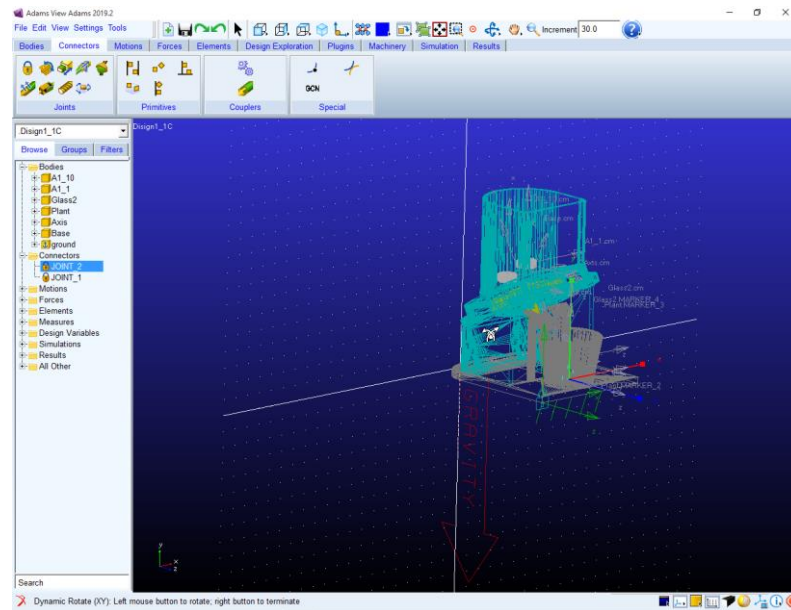
ภาพ 213 การเปลี่ยนขนาด Icon Size

Step 9 การ Create a Fixed Joint ของ Plant และ Base

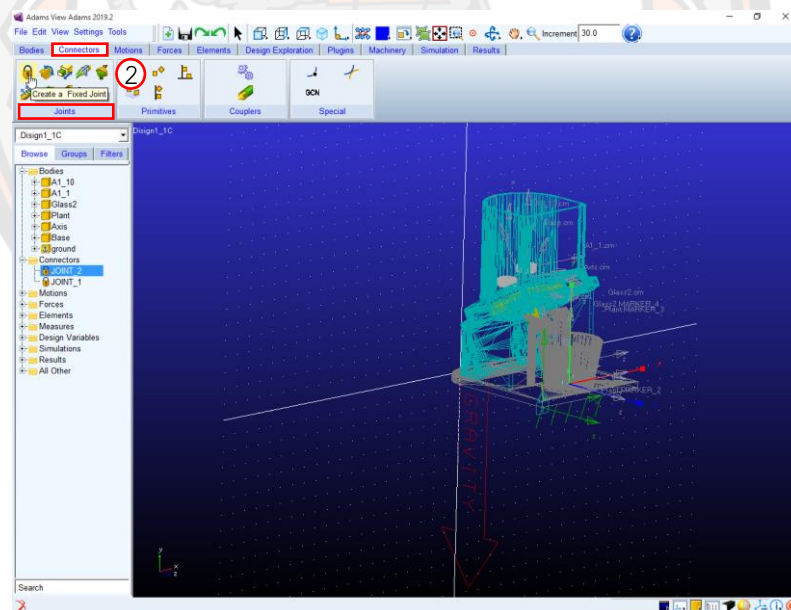
1. ทำการหมุนชิ้นงานโดยกดปุ่ม R แล้วลากที่เมาท์ ดังภาพ 214 และ ดังภาพ 215
2. ให้เลือก Create a Fixed Joint จาก Connectors --> Joints ดังภาพ 216
3. ตรง Construction เลือก 2 Bodies - 1 Location และ Normal To Grid ดังภาพ 217
4. เลือก Plant เป็น First Body และเลือก Base เป็น Second Body ดังภาพ 218 และ ดังภาพ 219
5. เลือกตรงฐานของ Base เป็น Location ดังภาพ 220
6. Click ขวาที่ JOINT_3 แล้วเลือกที่ Appearance ดังภาพ 221
7. ที่ Edit Appearance เลือก Icon Size ให้ใส่ขนาด Icon เป็น 5 ดังภาพ 222
8. แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 222



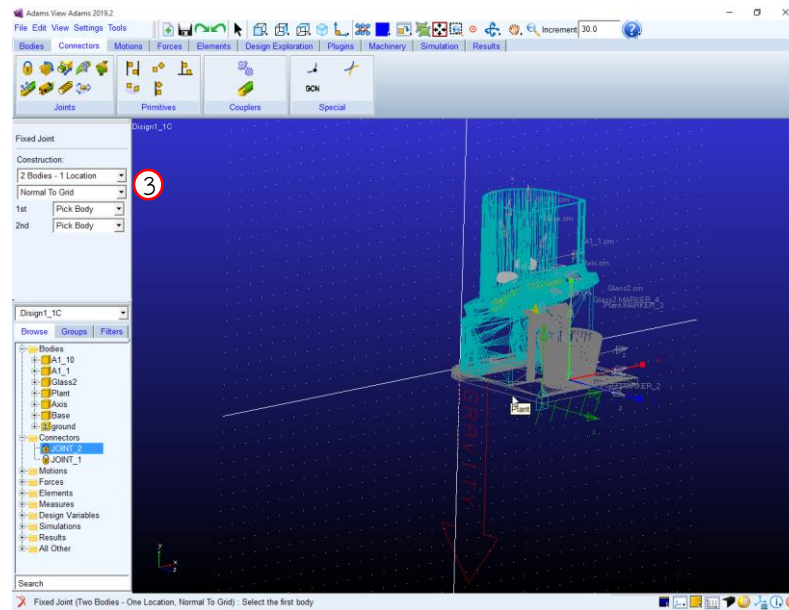
ภาพ 214 การหมุนชิ้นงาน



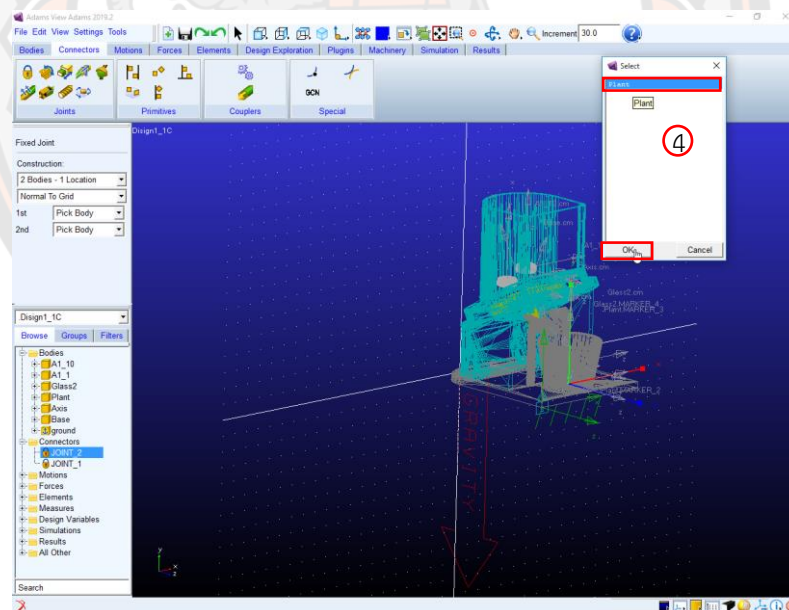
ภาพ 215 การหมุนชิ้นงาน



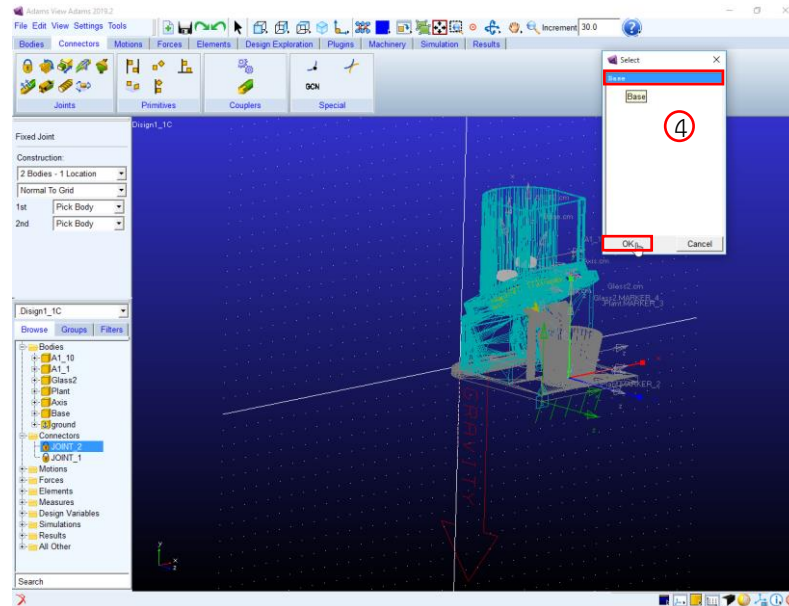
ภาพ 216 การเลือก Create a Fixed Joint



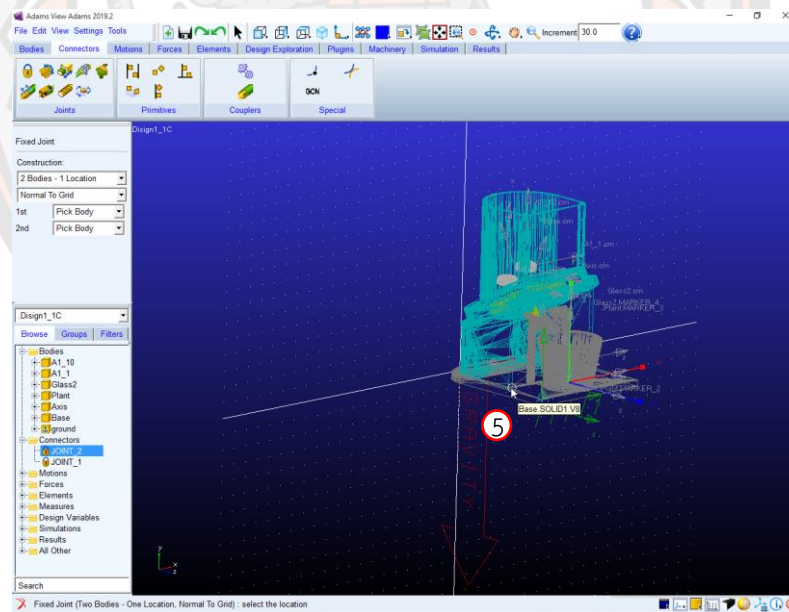
ภาพ 217 Construction เลือก 2 Bodies - 1 Location และ Normal To Grid



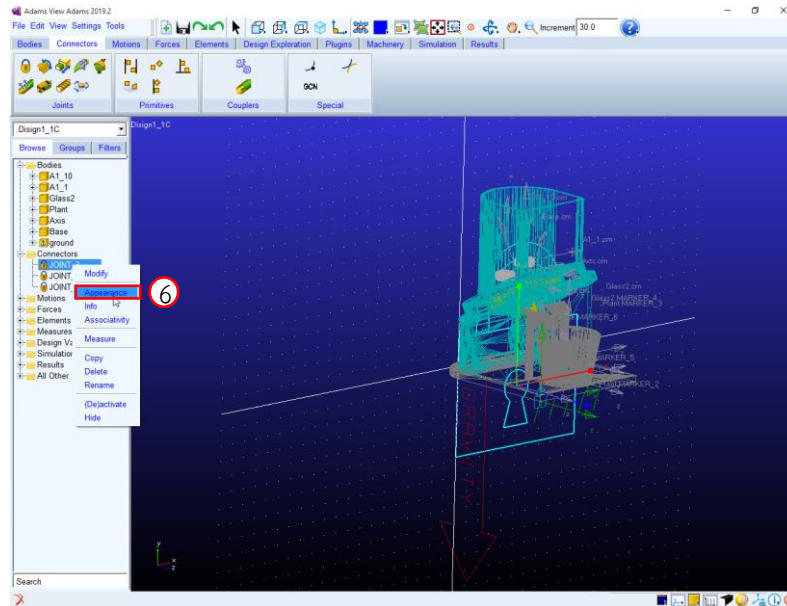
ภาพ 218 เลือก Plant เป็น First Body



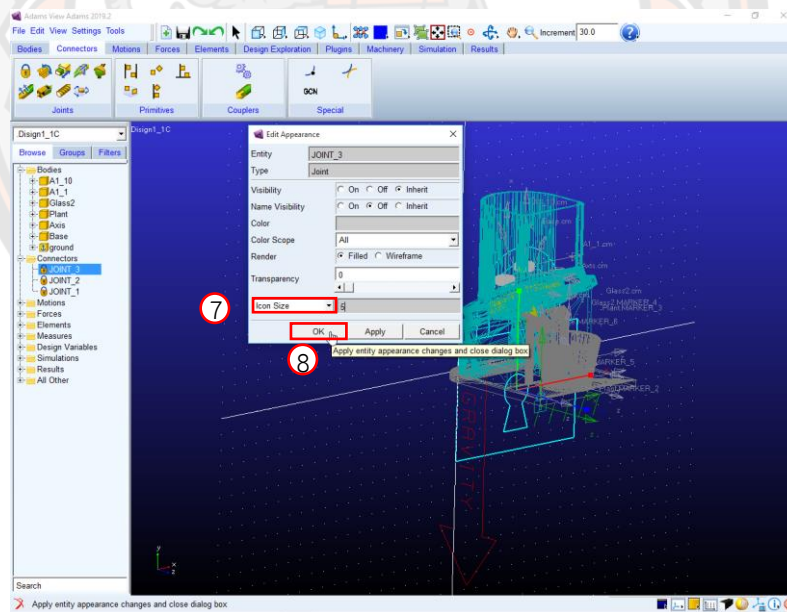
ภาพ 219 เลือก Base เป็น Second Body



ภาพ 220 การเลือกตรงฐานของ Base เป็น Location



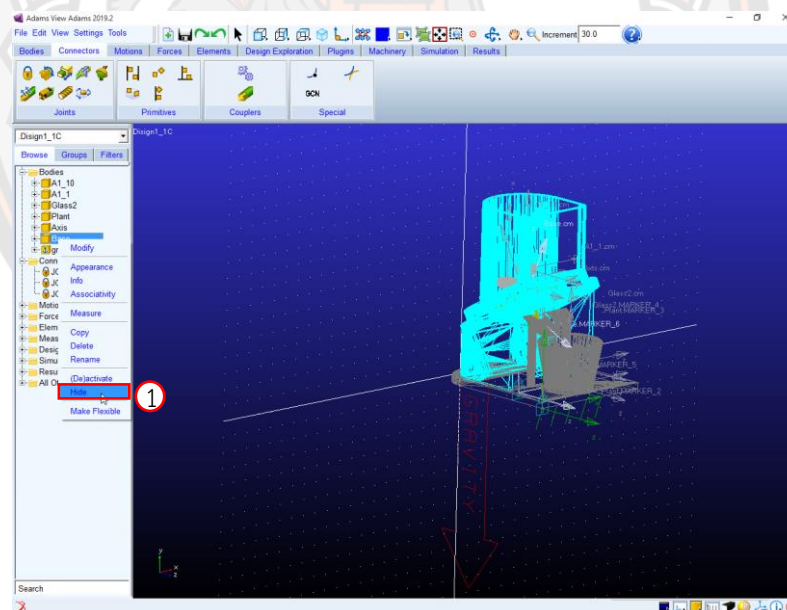
ภาพ 221 Click ขวาที่ JOINT_3 แล้วเลือกที่ Appearance



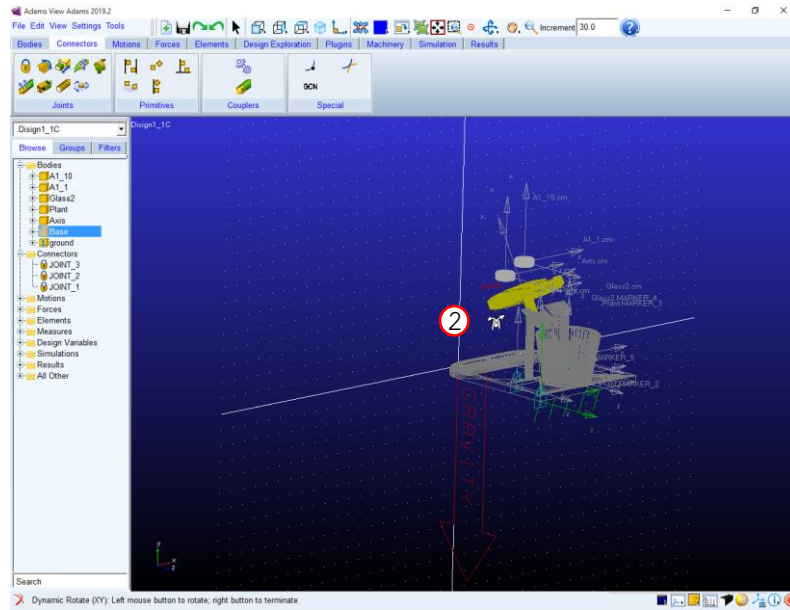
ภาพ 222 ใส่ขนาด Icon Size

Step 10 การ Create a Rotate Joint ของ Ground และ Axis

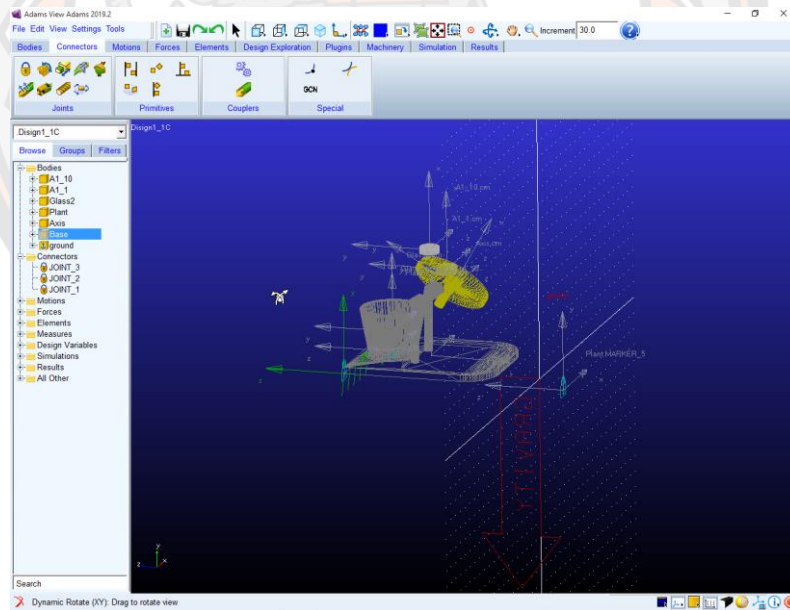
1. ทำการซ่อน Part: Base โดยไปที่ Folder: Bodies --> Base --> Hide ดังภาพ 223
2. ทำการหมุนชิ้นงานโดยกดปุ่ม R แล้วลากที่เมาท์ ดังภาพ 224 และดังภาพ 225
3. กดปุ่ม Z ที่แป้นพิมพ์เพื่อ Zoom เข้า-ออก ดังภาพ 226 และดังภาพ 227
4. กดปุ่ม T ที่แป้นพิมพ์เพื่อลาก Model ดังภาพ 228
5. ให้เลือก Create a Rotate Joint จาก Connectors --> Joints ดังภาพ 229
6. ตรง Construction เลือก 2 Bodies - 1 Location และ Normal To Grid ดังภาพ 230
7. เลือก Ground เป็น First Body และเลือก Axis เป็น Second Body ดังภาพ 230 และดังภาพ 231
8. เลือกตรง Center ของ Axis เป็น Location ดังภาพ 232
9. Click ขวาที่ JOINT_4 แล้วเลือกที่ Appearance ดังภาพ 233
10. ที่ Edit Appearance เลือก Icon Size ให้ใส่ขนาด Icon เป็น 10 ดังภาพ 234
11. แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 234



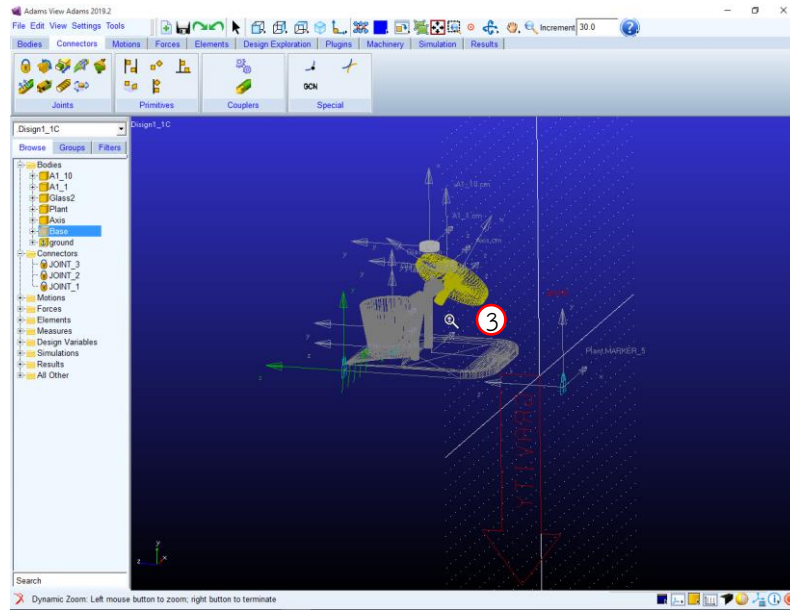
ภาพ 223 การซ่อน Part: Base



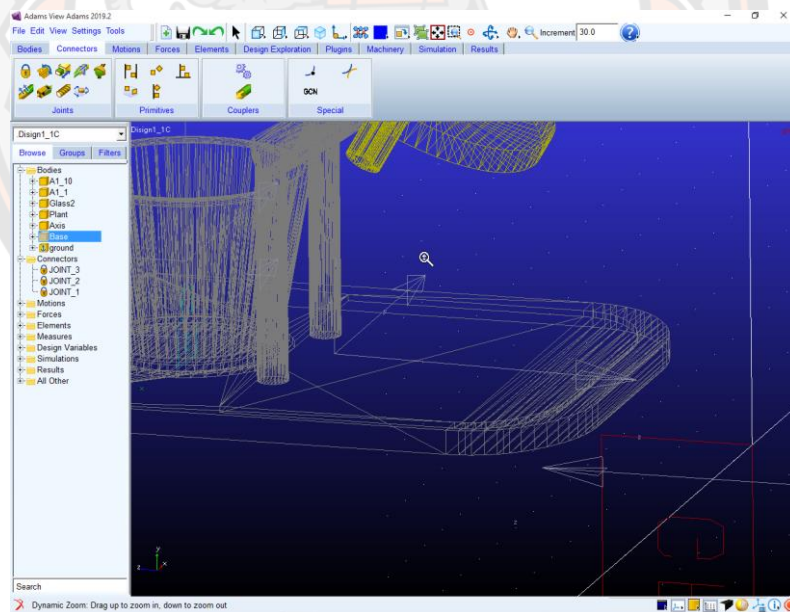
ภาพ 224 การหมุนชิ้นงาน



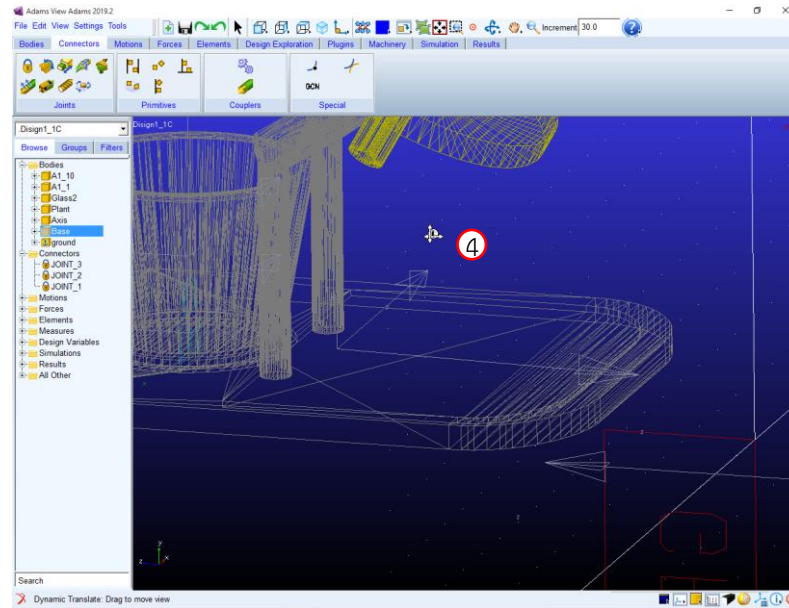
ภาพ 225 การหมุนชิ้นงาน



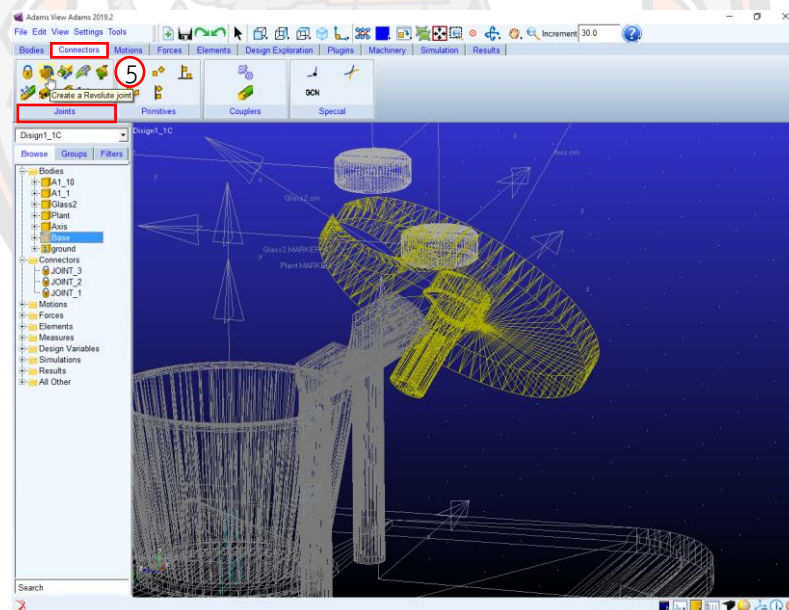
ภาพ 226 การ Zoom เข้า-ออก ชิ้นงาน



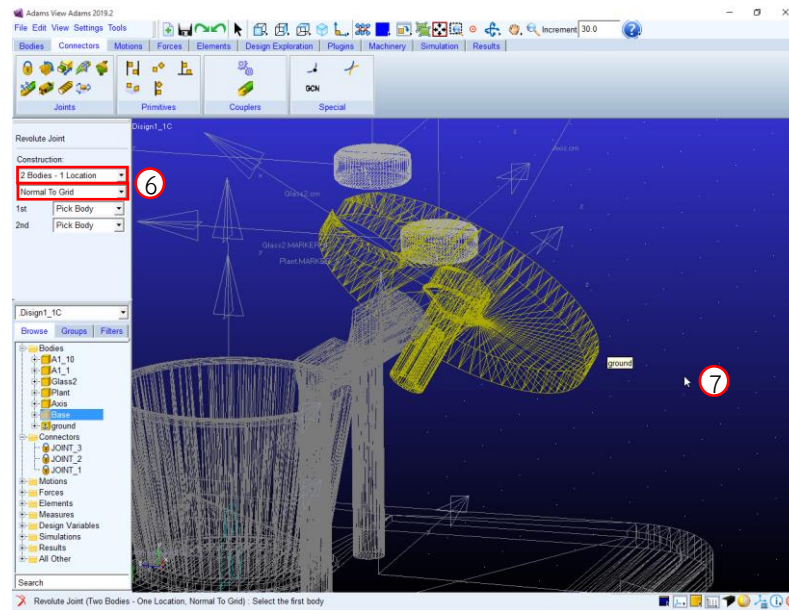
ภาพ 227 การ Zoom เข้า-ออก ชิ้นงานเสร็จ



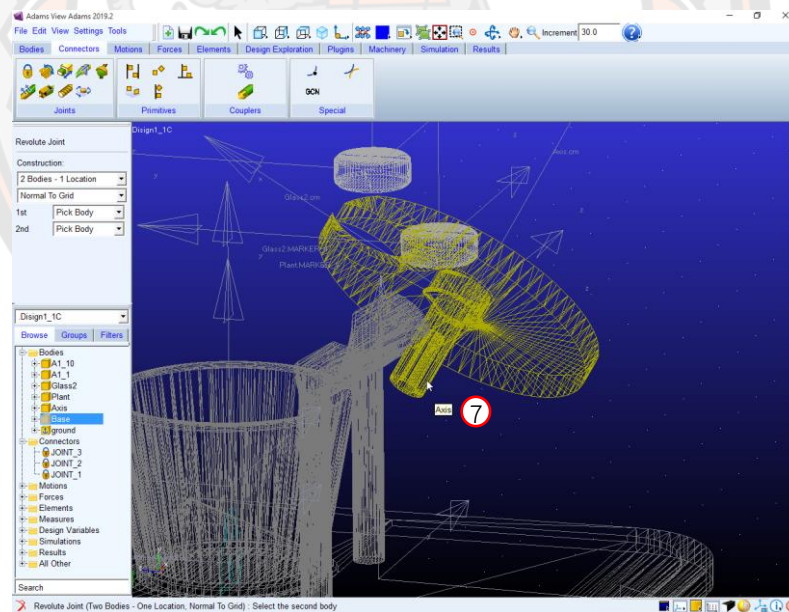
ภาพ 228 การลาก Model



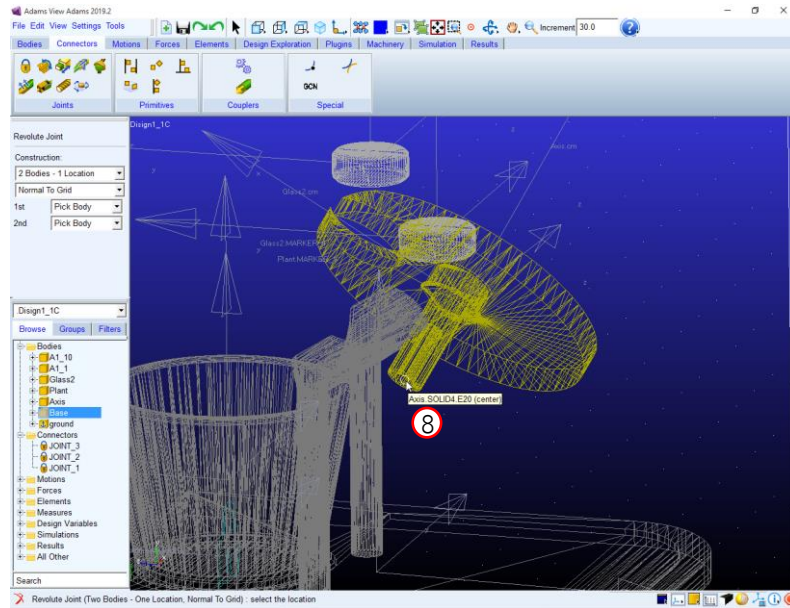
ภาพ 229 การเลือก Create a Rotate Joint



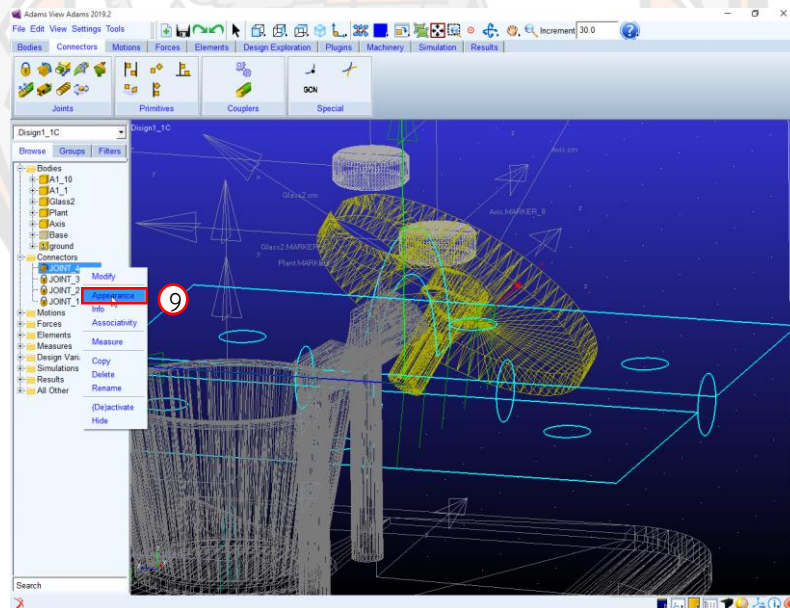
ภาพ 230 การกำหนด Construction



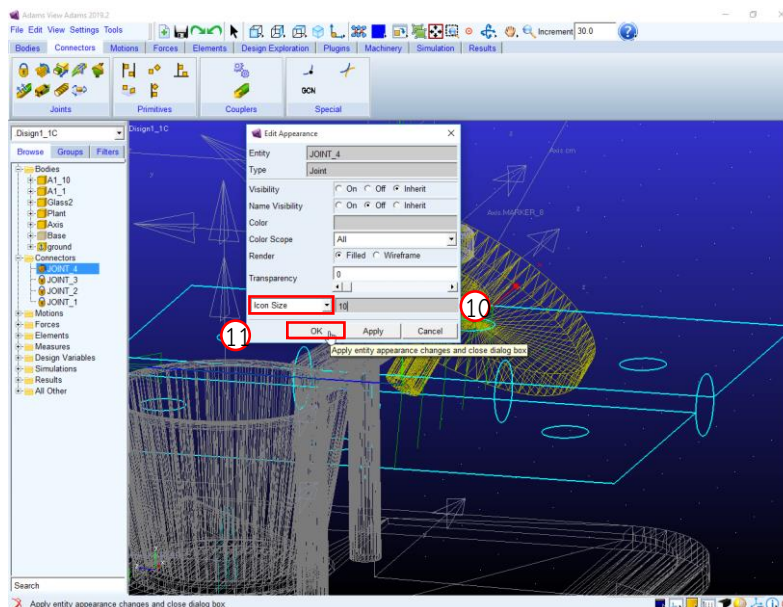
ภาพ 231 เลือก Axis เป็น Second Body



ภาพ 232 เลือกตรง Center ของ Axis เป็น Location



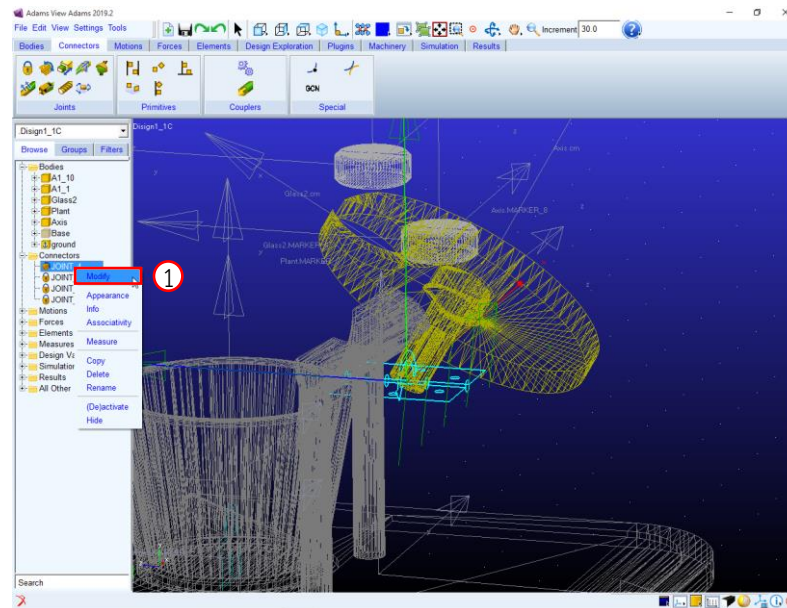
ภาพ 233 การเลือก Appearance เพื่อแก้ไขขนาด Icon Size



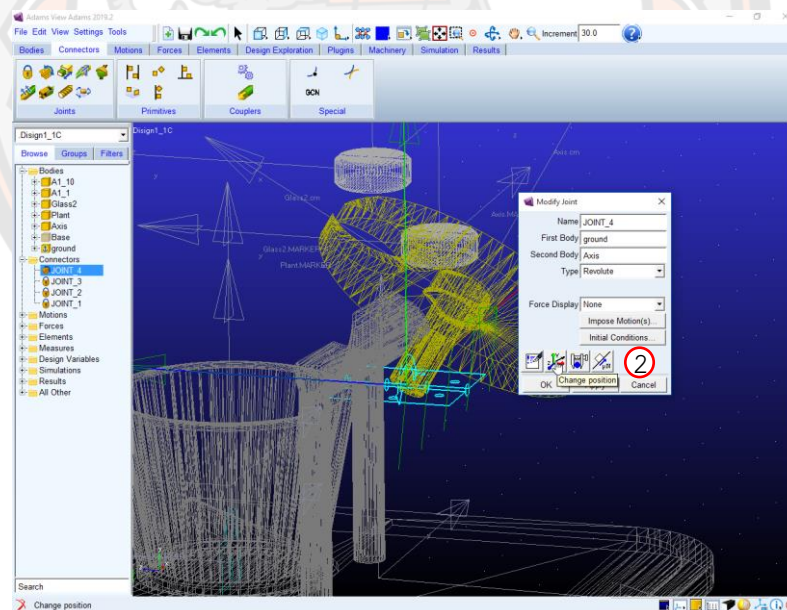
ภาพ 234 การแก้ไขขนาด Icon Size

Step 11 Change Position

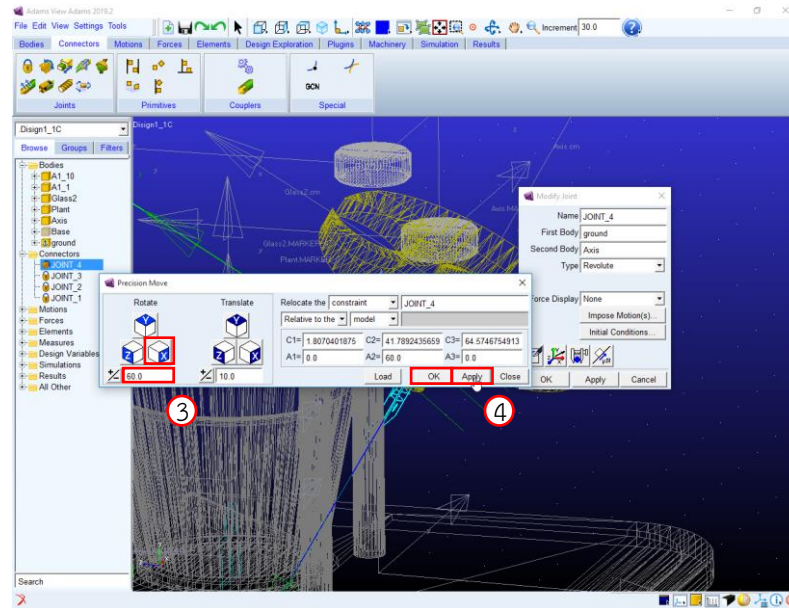
1. Click ขวาที่ JOINT_4 แล้วเลือกที่ Modify ดังภาพ 235
2. ที่ Modify Joint ให้ไปที่ Change Position จะปรากฏหน้าต่าง Precision Move ดังภาพ 236
3. ที่หน้าต่าง Precision Move ที่ Rotate ให้ป้อนค่า 60 แล้ว Click ที่ X ดังภาพ 237
4. ให้ Click ตรง Apply แล้ว OK หน้าต่าง Precision Move ดังภาพ 237
5. ให้ Click ตรง Apply แล้ว OK ที่ Modify Joint ดังภาพ 238



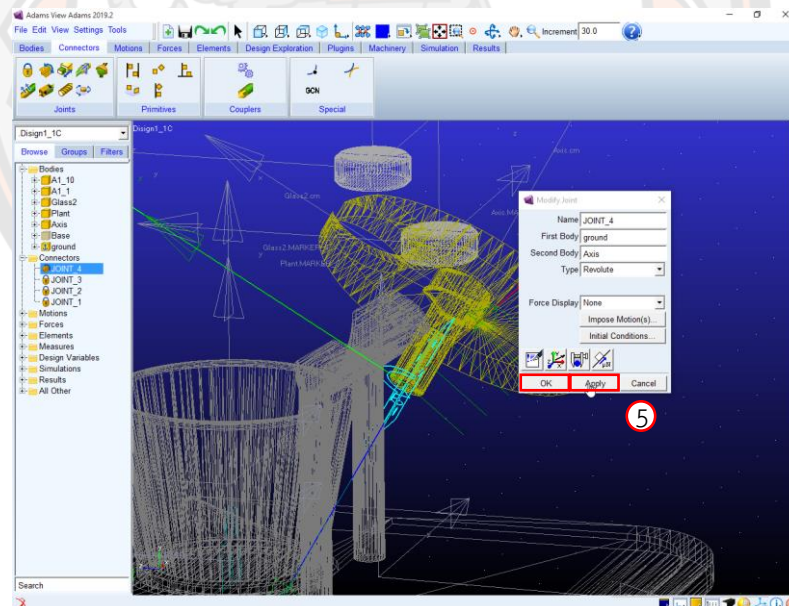
ภาพ 235 เลือก Modify



ภาพ 236 หน้าต่าง Precision Move



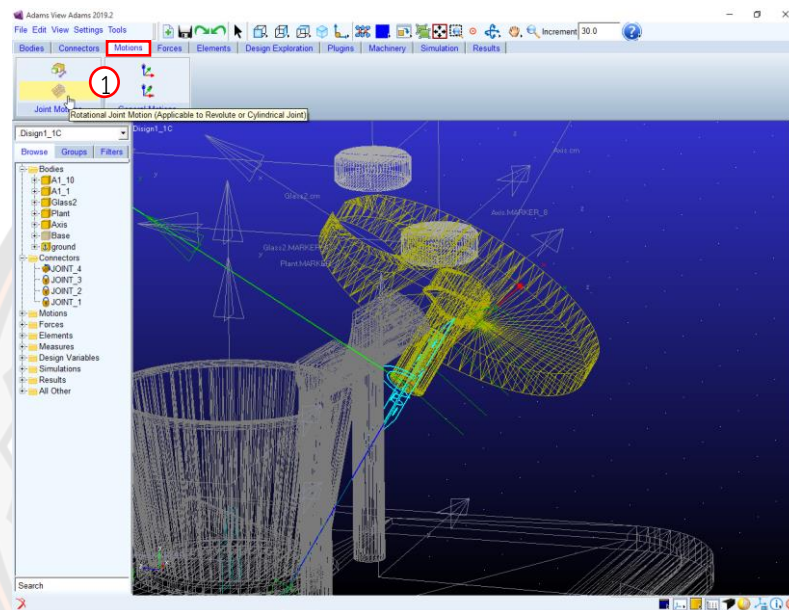
ภาพ 237 การ Rotate ที่ Precision Move



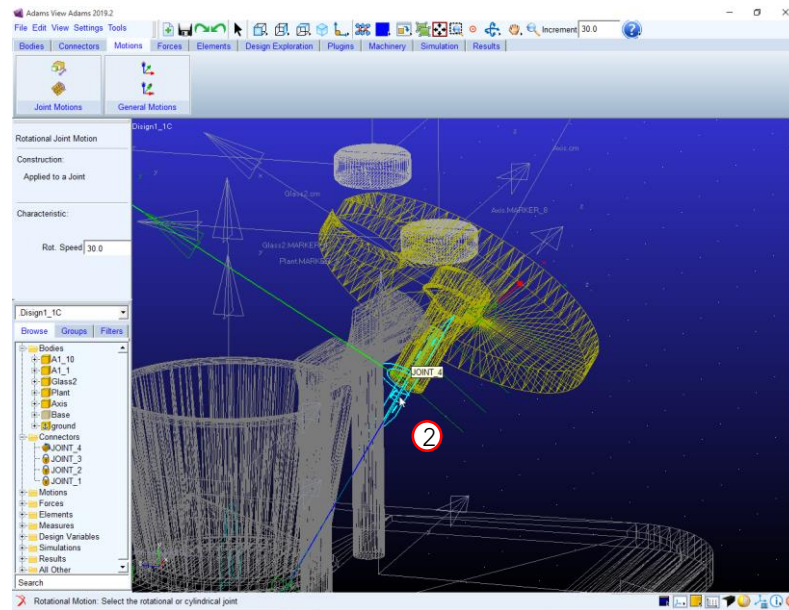
ภาพ 238 การเลือก Apply แล้ว OK

Step 12 Rotational Joint Motion

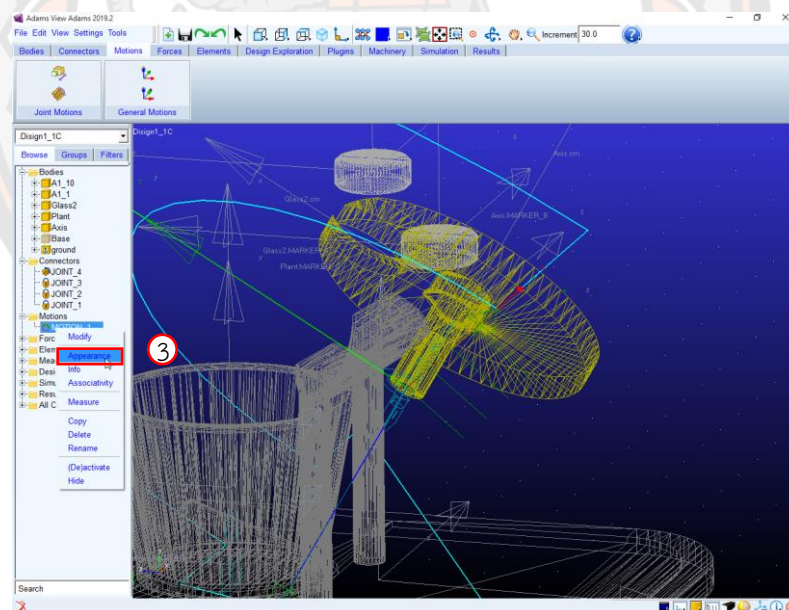
1. ให้เลือก Rotational Joint Motion จาก Motion --> Joint Motion ดังภาพ 239
2. จากนั้น Click เลือกที่ JOINT_4 ดังภาพ 240
3. Click ขวาที่ MOTION_1 แล้วเลือกที่ Appearance ดังภาพ 241
4. ที่ Edit Appearance เลือก Icon Size ให้ใส่ขนาด Icon เป็น 10 ดังภาพ 242
5. แล้ว Click ที่ OK ดังภาพ 242



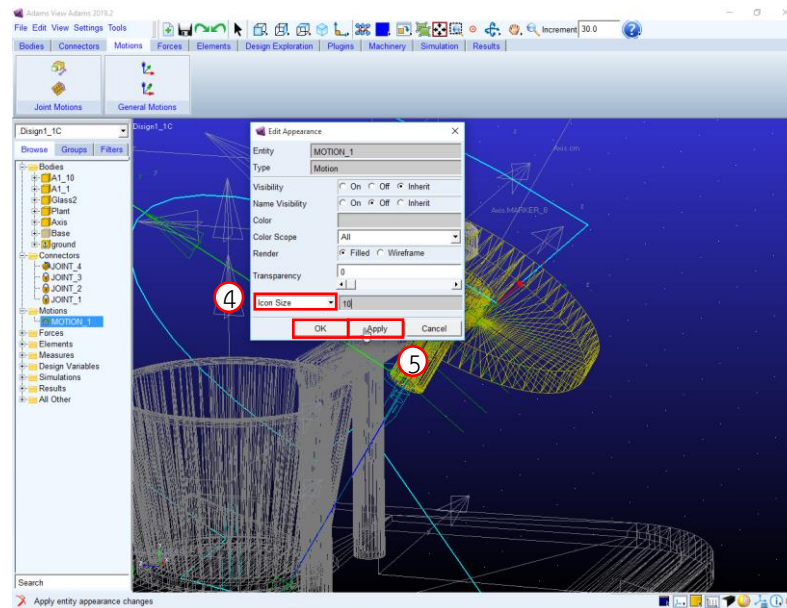
ภาพ 239 การเลือก Rotational Joint Motion



ภาพ 240 เลือกที่ JOINT_4



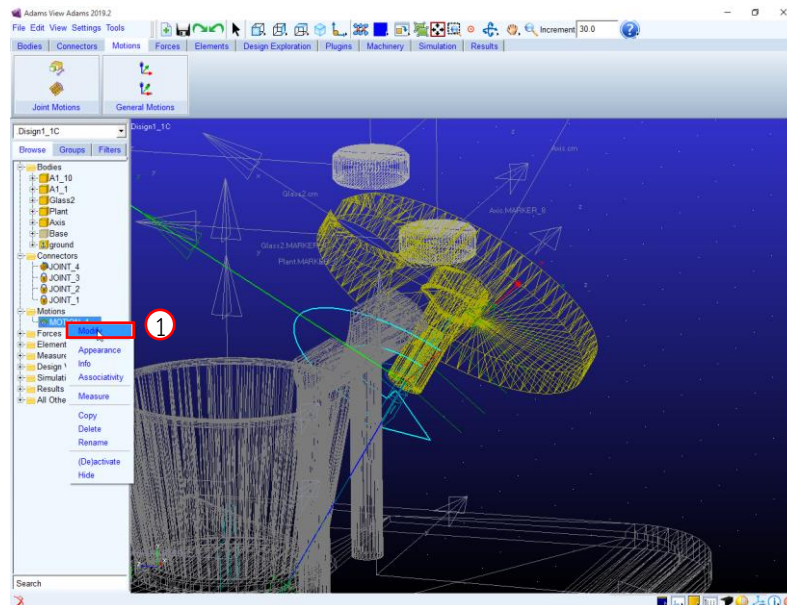
ภาพ 241 ที่ MOTION_1 เลือก Appearance



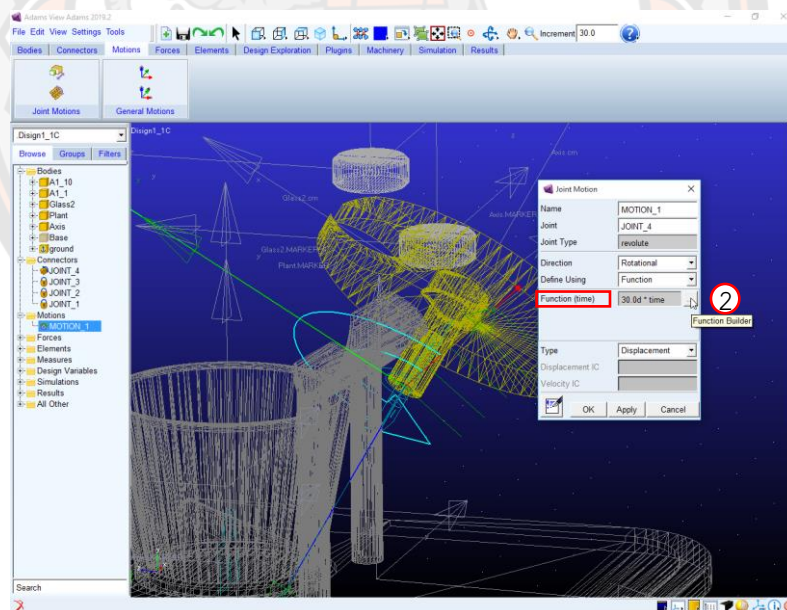
ภาพ 242 เลือก Icon Size

Step 13 Function

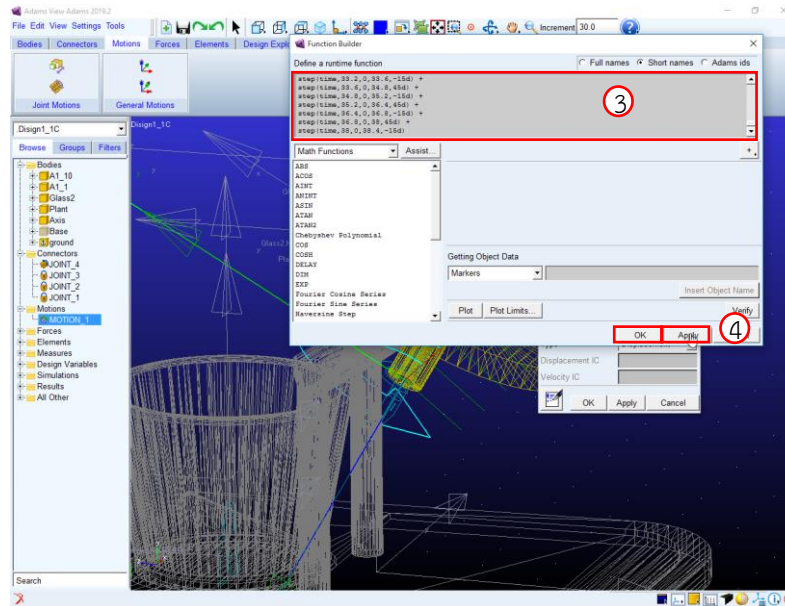
1. Click ขวาที่ MOTION_1 แล้วเลือกที่ Modify ดังภาพ 243
2. ที่หน้าต่าง Joint Motion ตรง Function (time) ให้ Click ที่ Function Builder ดังภาพ 244
3. ตรงหน้าต่าง Function Builder ที่ Define a runtime function ให้ป้อนค่าฟังก์ชัน ดังภาพ 245
4. จากนั้นให้ Click ตรง Apply แล้ว OK ที่หน้าต่าง Define a runtime function ดังภาพ 245
5. แล้วให้ Click ตรง Apply แล้ว OK ที่หน้าต่าง Joint Motion ดังภาพ 246



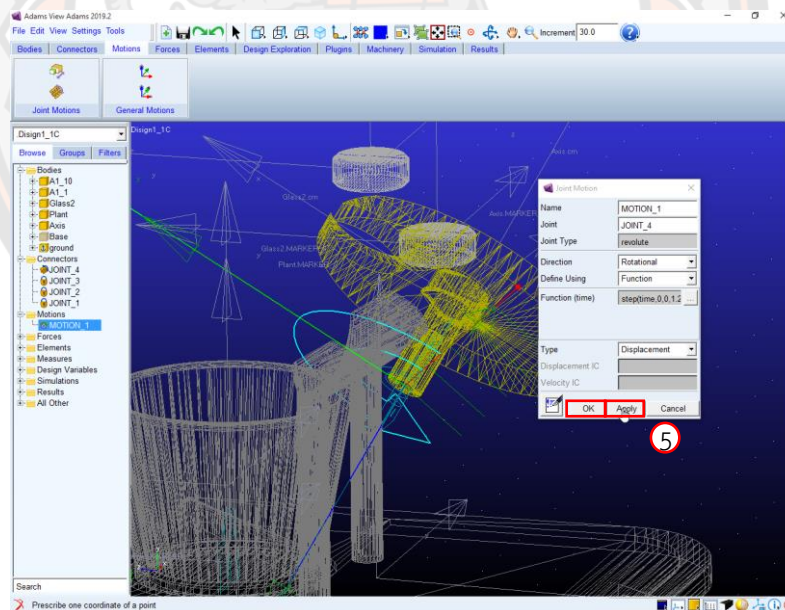
ภาพ 243 Click ขวาที่ MOTION_1 แล้วเลือกที่ Modify



ภาพ 244 Function (time) ให้ Click ที่ Function Builder



ภาพ 245 Define a runtime function การป้อนค่าฟังก์ชัน

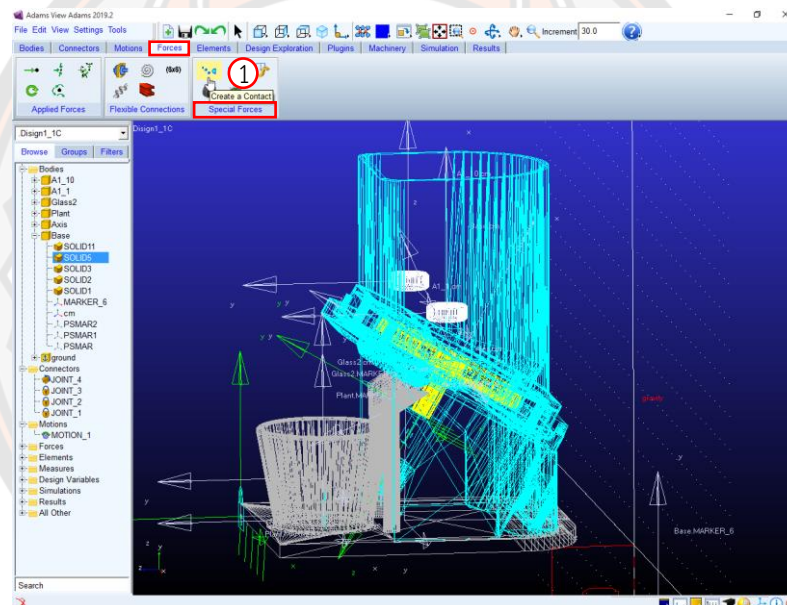


ภาพ 246 การ Click ตรง Apply แล้ว OK ที่หน้าต่าง Joint Motion

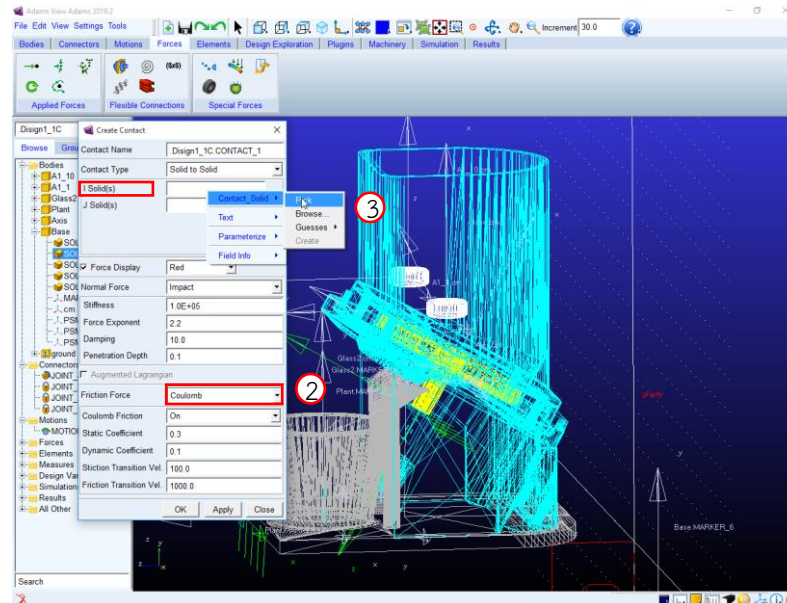
Step 14 การ Create Force

1. เลือก Create a Contact จาก Forces --> Special Forces ดังภาพ 247
2. ตรง Friction Force ให้เลือก Coulomb ดังภาพ 248
3. แล้วตรง L Solid(s) ใช้ Click ขวา จากนั้นไปที่ Contact Solid --> Pick ดังภาพ 248
4. ให้ Click ขวาที่ตำแหน่งของ Part แล้วให้เลือก Part ที่ต้องการ จากนั้น Click ที่ ดังภาพ OK 249
5. แล้วตรง J Solid(s) ใช้ Click ขวา จากนั้นไปที่ Contact Solid --> Pick ดังภาพ 250
6. ให้ Click ขวาที่ตำแหน่งของ Part แล้วให้เลือก Part ที่ต้องการ จากนั้น Click ที่ ดังภาพ OK 251
7. หลังกจากที่เลือก Part Solid ครบแล้ว ให้ Click ที่ Apply ดังภาพ 252

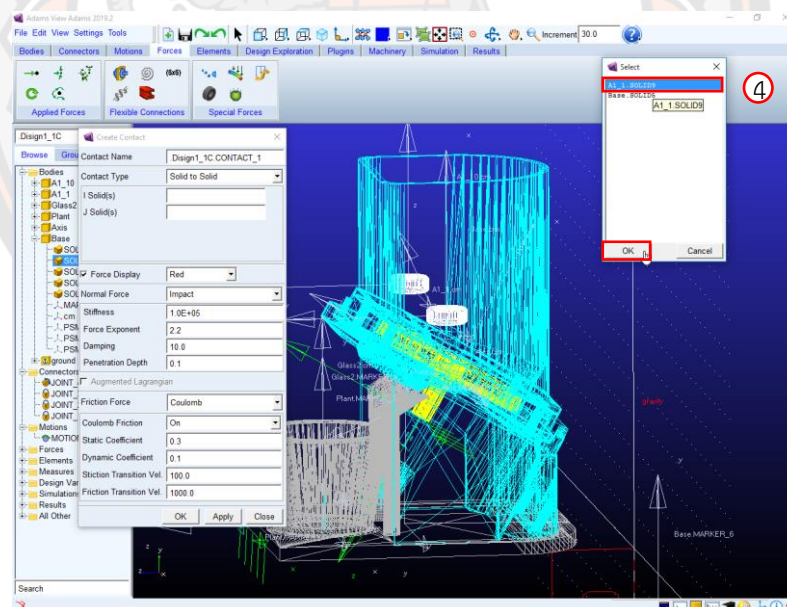
หมายเหตุ จากนั้นให้ทำแบบนี้ซ้ำกับทุก Part Solid เพื่อให้แบบจำลองได้มีแรงกระทำที่ผิวของแต่ละวัตถุ



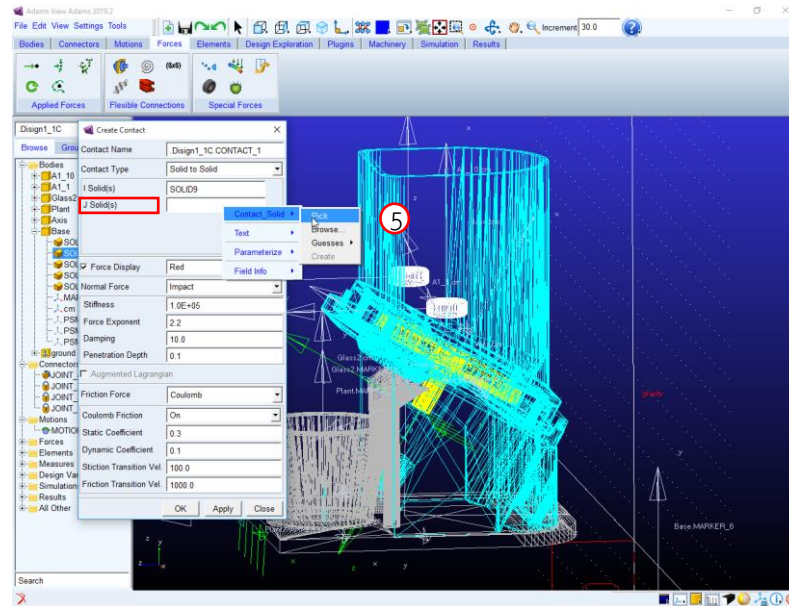
ภาพ 247 การเลือก Create a Contact จาก Forces



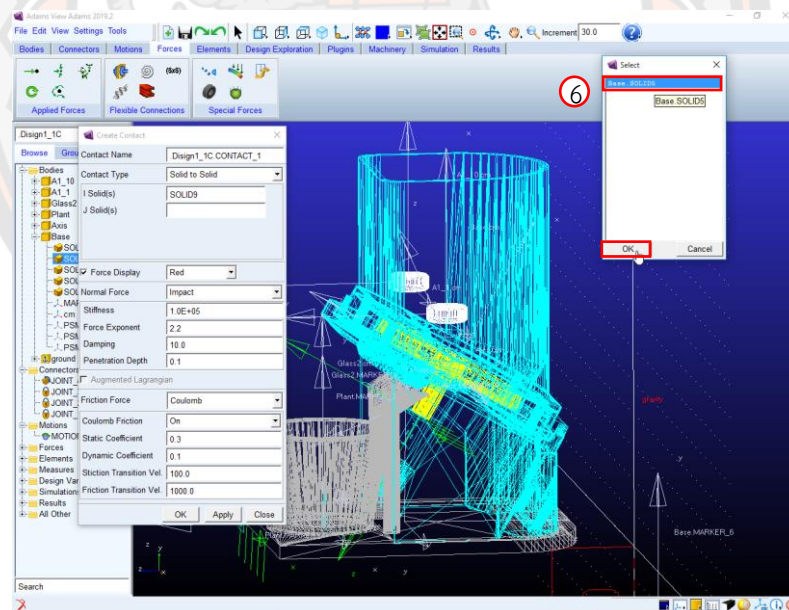
ภาพ 248 ตรง Friction Force ให้เลือก Coulomb และการเลือกตรง L Solid(s)



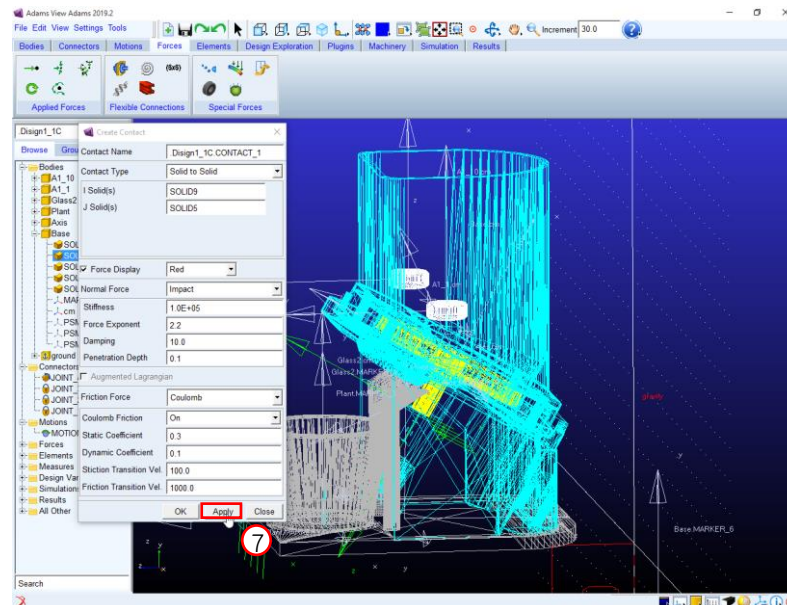
ภาพ 249 การเลือก Part ที่ต้องการ



ภาพ 250 การเลือก J Solid(s)



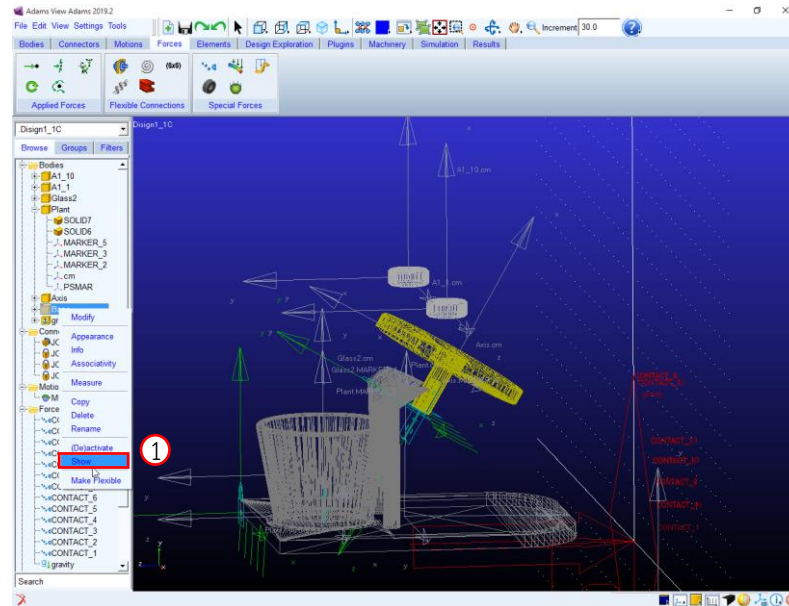
ภาพ 251 การเลือก Part ที่ต้องการ



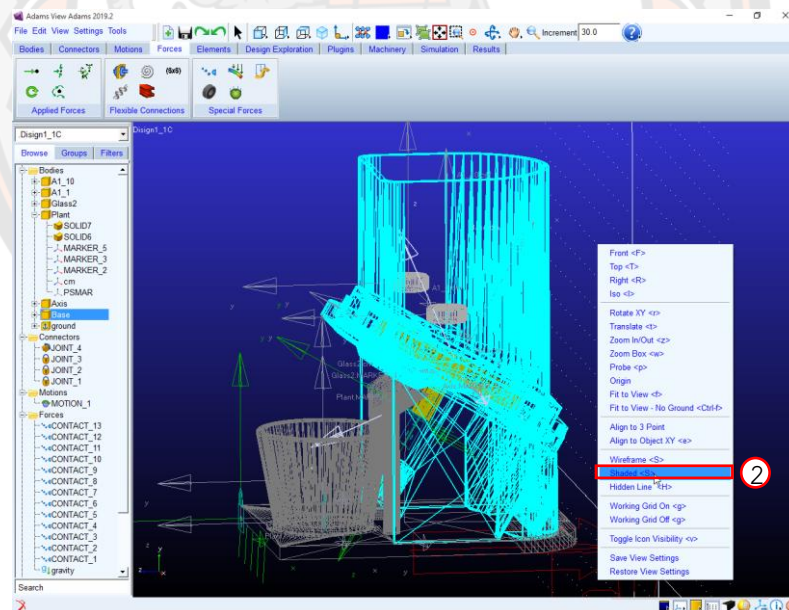
ภาพ 252 หลังจากทีเลือก Part Solid

Step 15 Run Simulation

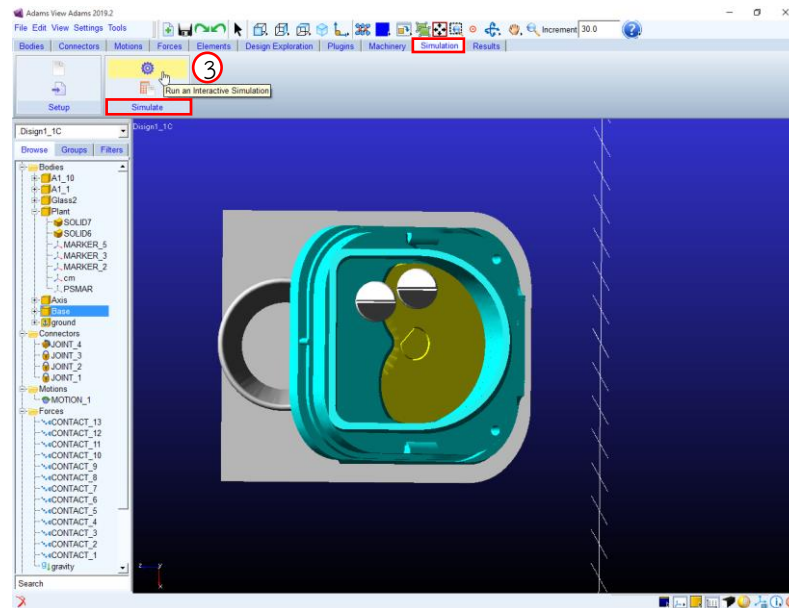
1. แสดงไฟล์ที่ซ่อนไว้ทั้งหมดโดยไปที่ Folder: Bodies --> Base --> Show ดังภาพ 253
2. จากนั้นให้ Click ขวาตรงพื้นที่ว่าง แล้วเลือก Shaded<s> ดังภาพ 254
3. จากนั้นเลือก Run an Interactive Simulation จาก Simulation --> Simulate ดังภาพ 255
4. ที่ Simulation control ให้เปลี่ยนเป็น End Time แล้วป้อนเวลา (เป็นเวลาให้แบบจำลองทำงาน) ดังภาพ 256
5. ต่อมาให้เปลี่ยนเป็น Steps แล้วป้อนค่า Step (เป็น Step การทำงานของแบบจำลอง) ดังภาพ 256
6. เริ่ม Simulation โดยกดที่ Start simulation ดังภาพ 257
7. เมื่อโปรแกรม Run เสร็จต้องการจะดูกราฟให้เลือกตรง plotting ดังภาพ 257



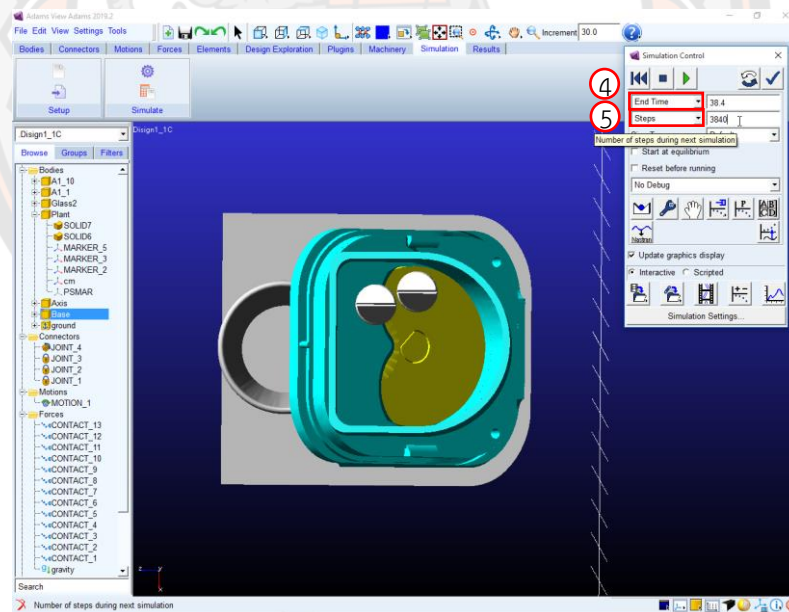
ภาพ 253 การแสดงไฟล์ที่ซ่อนไว้ทั้งหมด



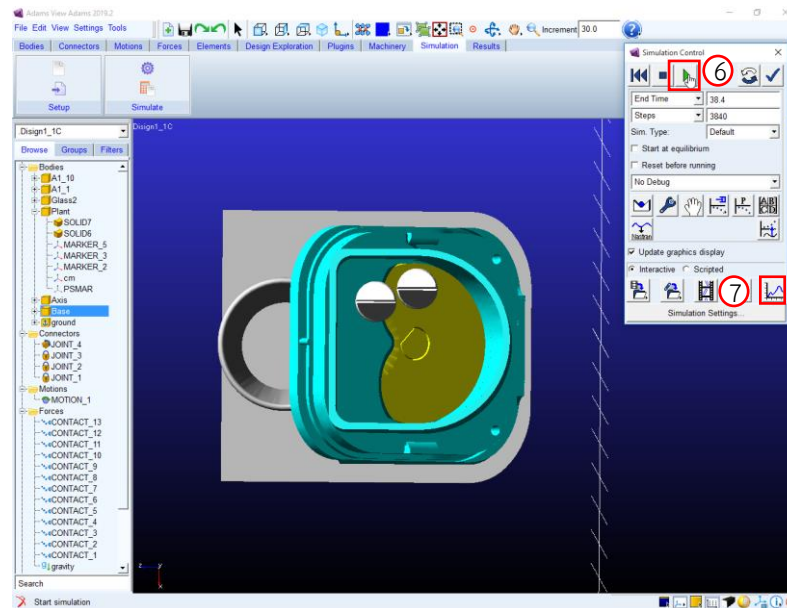
ภาพ 254 เลือก Shaded



ภาพ 255 การเลือก Run



ภาพ 256 การป้อนค่าเวลา End Time และป้อนค่า Steps



ภาพ 257 การ Simulation และวิธีดูกราฟ

