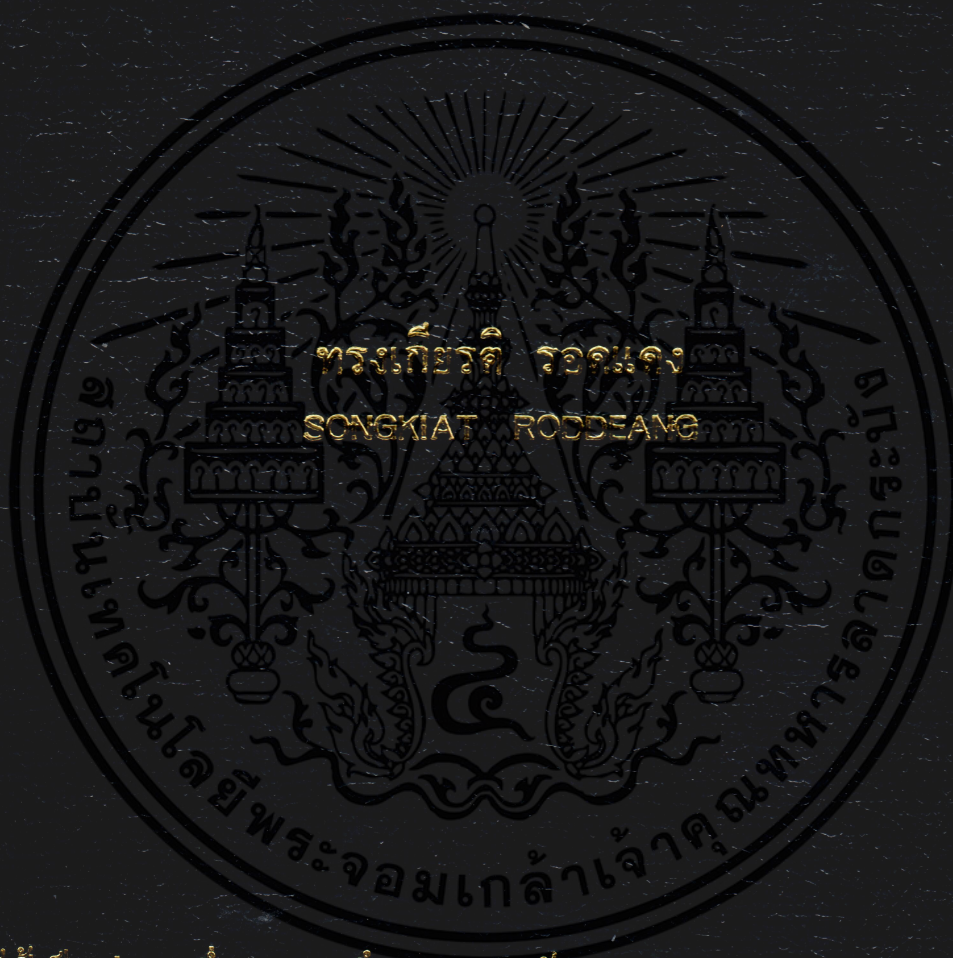


การพัฒนาาระบบขับเคลื่อนเพื่อลดข้อเสียของเครื่องพิมพ์ซิลค์สกรีน

DEVELOPMENT OF TRANSMISSION SYSTEM FOR DEFECT
REDUCTION OF SILK SCREEN PRINTING MACHINE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-080-364

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาระบบขับเคลื่อนเพื่อลดข้อเสียของเครื่องพิมพ์ซิลค์สกรีน

**DEVELOPMENT OF TRANSMISSION SYSTEM FOR DEFECT
REDUCTION OF SILK SCREEN PRINTING MACHINE**



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 82685
วัน,เดือน,ปี..... 21 ก.ค. 2551

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-030-364

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DEVELOPMENT OF TRANSMISSION SYSTEM FOR DEFECT
REDUCTION OF SILK SCREEN PRINTING MACHINE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008

KMITL-2008-EN-M-030-364

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบขับเคลื่อนเพื่อลดของเสียของเครื่องพิมพ์ซิลค์ สกรีน
นักศึกษา	นายทรงเกียรติ รอดแดง
รหัสประจำตัว	46060422
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2550
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ศศ.มิ่ง โลกกิจแสงทอง

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบการขับเคลื่อนเพื่อลดของเสียในเครื่องพิมพ์ซิลค์สกรีน โดยมีระบบขับเคลื่อนสองแบบกล่าวคือเป็นแบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม (ระบบที่พัฒนาเสร็จ) (Cam-Follower) และแบบกลไก Geneva (ระบบที่มีอยู่) ในระบบทั้งสองนี้จะมีการเคลื่อนที่เป็นจังหวะ โดย ขึ้น-หยุดพัก-ลง (Rise-Dwell-Fall) เป็นช่วงๆ ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวัดค่าความเร่งของตัวตามของเครื่องพิมพ์ซิลค์สกรีนในโรงงานแล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบปรับแต่งระบบการเคลื่อนที่แบบลูกเบี้ยว - ตัวตาม ของชุดทดลองให้ได้กราฟความเร่งใกล้เคียงกัน จากสถานะของชุดทดลองตามที่ได้ปรับแต่งแล้ว ก็ได้ทำการวัดความเร่งของตัวตามในระบบการเคลื่อนที่แบบกลไก Geneva แล้วนำผลไปเปรียบเทียบกับแบบลูกเบี้ยว - ตัวตาม เพื่อศึกษาผลกระทบของความเร่งที่มีต่อสายงานการผลิต คือ การลดปริมาณงานพิมพ์ที่เสียและเวลาที่พิมพ์ ปรากฏว่ากลไกแบบลูกเบี้ยว - ตัวตามสามารถลดปริมาณของเสียโดยเฉลี่ยได้ถึงร้อยละ 0.65 ในปริมาณงานพิมพ์จากประมาณ 1,000-3,000 ขวด และลดเวลาที่พิมพ์ลงโดยเฉลี่ยได้ถึงร้อยละ 42.8 เมื่อเทียบกับกลไก Geneva

Thesis Title	Development of Transmission System for Defect Reduction of Silk Screen Printing Machine
Student ID.	Mr.Songkiat Roddeang
Degree	Master Degree
Programme	Mechanical Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Asst.Prof. Ming Lokitsangtong

ABSTRACT

The aimed of this research is to develop a transmission system for defect reduction of silk screen printing machine. There are two types of transmission system under consideration 1) Cam-Follower (developed system) and 2) Geneva (existing system). Two they will have intermittent rotary movement rhythm (Rise-Dwell-Fall). From this study, the measurements are made to determine the acceleration of follower to used in the silk screen printing machine in a factory. Then the results are used to compare and curves the cam-follower model system is adjusted in order to get the comparable acceleration. From the adjusted condition of experimental set, the measurement is then made to determine the acceleration of follower in the Geneva's movement system. The result is then used to compare with the cam-follower to study the effect of acceleration on the production line. That is to reduce the quantities of wasted print and the length of time for printing. The cam-follower system can reduce the quantities wasted to 0.65% on average for printing lots about 1,000-3,000 bottles and time length for printing to 42.80% on average in comparison to the Geneva System.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำสั่งสอน , ให้คำแนะนำ, ให้คำปรึกษาและความกรุณาของ ผศ.มิ่ง โลกกิจแสงทอง ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่ลูกศิษย์คนนี้ ขอขอบพระคุณยิ่ง

ขอขอบคุณทีมงานเทคโนโลยีวัสดุ (วว.) คลอง 5 จ.ปทุมธานี ที่ได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอขอบคุณทีมงานบริษัท Babou Printing และ บริษัท Labtech Engineering ที่ได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

ขอขอบคุณบิดา มารดา ภรรยา บุตรีศิกา และญาติ ๆ ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจ เลี้ยงดูและคอยอบรมสั่งสอนให้ผู้วิจัยก้าวมาถึงวันนี้

ขอแสดงความขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นอย่างสูง ที่ได้สนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในฉบับนี้

ทรงเกียรติ รอดแดง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	4
2.1 การทดลองของ Chang Zoungyu และคณะ (1999)	4
2.2 การทดลองของ Chu-Jen และ Jorge Angeles (2001).....	6
2.3 การทดลองของ Jao-Hwa Kuang, Ah-Der Lin และ Tzong-Yow Ho.....	8
2.4 การทดลองของ Giorgio Figliolini และ Jorge Angeles (2002).....	12
บทที่ 3 ทฤษฎี.....	17
3.1 พื้นฐานในระบบคิเนเมติก (kinematics).....	17
3.2 กลูกเบี้ยว (cam).....	19
3.3 รูปแบบพื้นฐานส่วนโค้งลูกเบี้ยวของไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตาม.....	23
3.3.1 แบบความเร็วคงที่ (uniform-velocity).....	23
3.3.2 แบบ (simple harmonic motion).....	23
3.3.3 แบบอัตราเร่งคงที่ (uniform-acceleration).....	24
3.3.4 แบบความเร็วคงที่ที่ดัดแปลง (modified uniform-velocity).....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.5 แบบไซโคครอล (cycloidal motion).....	25
3.4 รูปแบบการพัฒนาส่วนโค้งลูกเบี้ยวของไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตาม.....	26
3.4.1 แบบ Modified Trapezoid	26
3.4.2 แบบ Modified Sine.....	29
3.4.3 แบบ Polynomial.....	32
3.5 พื้นฐานของการออกแบบส่วนโค้งของลูกเบี้ยว.....	34
3.5.1 มุมกดลูกเบี้ยว (pressure angle)	34
3.5.2 การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นของลูกเบี้ยว.....	36
3.6 สรุปการออกแบบส่วนโค้งลูกเบี้ยว	37
บทที่ 4 การออกแบบลูกเบี้ยวและวิธีการทดลอง.....	38
4.1 การออกแบบรูปร่างของลูกเบี้ยวที่เป็นเคลื่อนที่จังหวะ ที่ใช้ในการทดลอง.....	38
4.2 การออกแบบรูปร่างของ Geneva Wheel ที่เป็นเคลื่อนที่จังหวะ ที่ใช้ในการทดลอง.....	43
4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและทดสอบ.....	46
4.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตลูกเบี้ยว.....	46
4.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ.....	46
4.3.3 เครื่องทดสอบค่าความแข็ง.....	48
4.3.4 คราซังคิจิตอด.....	48
4.3.5 ตลับลูกปืนมาตรฐาน.....	49
4.3.6 อุปกรณ์ในการจับเคลื่อนและควบคุมความเร็วรอบ.....	49
4.3.7 คัปปลิ่ง (coupling).....	50
4.3.8 เครื่องมือวัดค่าความเร่ง (accelerometer).....	50
4.3.9 อุปกรณ์เข้ารหัส (encoder).....	51
4.3.10 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (thermometer).....	52
4.3.11 เครื่องมือวัดรอบ.....	52
4.4 การติดตั้งอุปกรณ์	53
4.4.1 การทดสอบวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้น จากเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ ในโรงงานด้วยระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม.....	53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.2 การทดสอบวัดค่าความเร่งจากการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม.....	55
4.4.3 การทดสอบวัดค่าความเร่งจากการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบ Geneva.....	58
4.5 วิธีการทดลองและบันทึกผลการทดลอง.....	60
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	61
5.1 ผลการทดสอบวัดค่าความเร่งจากเครื่องพิมพ์ที่โรงงาน โดยวัดความเร็วในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 ขวด ต่อชั่วโมง และ 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง.....	62
5.2 ผลการทดลองและทดสอบวัดค่าความเร่งจากชุดทดลองลูกเบี้ยว-ตัวตาม โดยวัดความเร็วเดียวกับการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 และ 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง.....	64
5.3 ผลการทดลองและทดสอบวัดค่าความเร่งจากชุดทดลองระบบ Geneva โดยวัดความเร็วเดียวกับการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 และ 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง.....	65
5.4 ผลของการเปรียบเทียบจากการวัดค่าความเร่งระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม โดยวัดความเร็วเดียวกับการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 และ 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง.....	67
5.5 ผลของการเปรียบเทียบจากการวัดค่าความเร่งระหว่างชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตามกับ ระบบกลไก Geneva โดยวัดความเร็วเดียวกับการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 และ 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง.....	73
5.6 ผลสรุปของการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลจากการวัดค่าความเร่งตามข้อมูลในการออกแบบและข้อมูลในทดลอง โดยวัดความเร็วเดียวกับการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 และ 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง.....	77
5.7 ผลการทดลองวัดค่าตำแหน่งการหมุน ของชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม และ ชุดทดลองระบบกลไก Geneva.....	80
5.8 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานจริงจากเครื่องพิมพ์ที่มีระบบขับเคลื่อน ระหว่างระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบ Geneva แล้ววิเคราะห์ผลกระทบกับของเสียที่เกิดขึ้น.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม.....	84
ภาคผนวก.....	85
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	86
ภาคผนวก ข.....	95
ผลของสมการการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์แบบต่างๆ	95
ประวัติผู้เขียน.....	101



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แผนการทดลองของระบบการขับเคลื่อนการหมุนเป็นจังหวะ	60
5.1 แสดงการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นจากการพิมพ์ระหว่าง ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับระบบ Geneva.....	79



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะรูปร่างของลูกเบี้ยวแบบทรงกระบอก (Cylinder cam).....	4
2.2 แผนภูมิการจำลองการทดลองระบบลูกเบี้ยวกับ Rotary Table.....	6
2.3 ผลการทดลอง (a) ค่าความเร่งของงานหมุนที่เกิดไม่ขึ้นของช่องว่าง (b) ค่าความเร่งของงานหมุนที่เกิดขึ้นของช่องว่าง.....	6
2.4 การเคลื่อนที่เป็นจังหวะของลูกเบี้ยวและลูกกลิ้ง.....	7
2.5 รูปแบบ (a) กลไกลูกเบี้ยวและลูกกลิ้งหลัก (b) กลไกลูกเบี้ยวและลูกกลิ้งรอง.....	7
2.6 ลักษณะรูปร่างลูกเบี้ยวทรงกระบอก (globoidal Cam).....	8
2.7 การวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจากการจำลองการเคลื่อนที่กับอุปกรณ์และเครื่องมือวัด.....	9
2.8 ผลจากการทดลองวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข.....	10
2.9 การเกิดค่ามุมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งด้วยวิธีสามส่วนโค้ง MS จะดีขึ้นกว่า MT และ B-Spline.....	10
2.10 การคำนวณและการวัดค่าจากการทดลองการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการหมุน (a) และ 8(b) แสดง การคำนวณและการวัดค่าจากการทดลองการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการหมุนของงานด้วยความ ความเร็วคงที่ 60 รอบต่อนาที และทำให้เกิดองศาของความเร่ง.....	11
2.11 ผลของการแสดงค่าความสั่นสะเทือนของรัศมีที่เกิดจากความคลาดเคลื่อน ของการเคลื่อนที่ โดยดูจากความเร็วที่เปลี่ยนแปลงกับแอมพลิจูดที่เกิดขึ้น มากที่สุดของแต่ละความเร็วที่เกิดจากลูกเบี้ยว.....	12
2.12 กลไกการทำงานของ Geneva กับช่องเจาะรูที่มีลักษณะยาว (Slot).....	13
2.13 ไคอะแกรมการเคลื่อนที่ของ Geneva ($-45^{\circ} + 45^{\circ}$) เมื่อ $n = 4, b = 100$ mm.....	14
2.14 ไคอะแกรมมุมกด (Pressure angle)เคลื่อนที่ของ Geneva เมื่อ $n = 4, b = 100$ mm.....	15
2.15 ไคอะแกรมแรงบิดเคลื่อนที่ของ Geneva เมื่อ $n = 4, b = 100$ mm.....	15
2.16 การทำงานของ Geneva ร่วมกับเส้นส่วนโค้งบังคับการเคลื่อนที่หมุนไปตามองศาที่มีร่อง ของ Geneva Wheel $n=4$ ที่คาบเวลาการหมุน 90° หมุนทวนเข็มนาฬิกา.....	16
3.1 ลักษณะของตัวตามได้อีก 3 ชนิด คือ ชนิด in-line ชนิด offset และชนิด pivot	20
3.2 ลักษณะของตัวตามลูกเบี้ยวทรงกระบอก(cylindrical cam หรือ drum cam).....	21
3.3 ลักษณะของตัวตามลูกเบี้ยวเชิงเส้น (linear cam).....	21
3.4 ลักษณะของตัวตามลูกเบี้ยว แบบ positive action.....	21
3.5 การเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวขึ้น-ลงตามไคอะแกรมการทำงานของตัวตาม.....	22

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 การสร้างไดอะแกรมการเคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่.....	23
3.7 การสร้างไดอะแกรมการเคลื่อนที่แบบ Harmonic	24
3.8 การสร้างไดอะแกรมการเคลื่อนที่แบบ Uniform-acceleration.....	24
3.9 การสร้างไดอะแกรมการเคลื่อนที่แบบ เร็วคงที่ตัดแปลง.....	25
3.10 สร้าง ไดอะแกรมการเคลื่อนที่แบบ Cycloidal motion.....	26
3.11 ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่แบบ Modified Trapezoid.....	27
3.12 ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่แบบ Modified Sine.....	30
3.13 รูปแบบระยะขจัดที่เกิดขึ้นจากสมการ แบบ Polynomial.....	32
3.14 ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่แบบ Polynomial.....	33
3.15 ค่าของความเร็วที่เกิดขึ้นจากมุมกระหว่งลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้ง.....	34
3.16 มุมกดที่เกิดจากความเร็วที่ได้จากระยะขจัด.....	35
3.17 ผลกระทบของเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวตาม.....	36
3.18 การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นของลูกเบี้ยว.....	36
4.1 ไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว.....	40
4.2 ระยะขจัดของสมการเคลื่อนที่ของส่วน โค้ง Modified Sine.....	41
4.3 ขจัด ความเร็ว และ ความเร่งของสมการเคลื่อนที่ของส่วน โค้ง Modified Sine ที่ความเร็วรอบคงที่ ($n=1$).....	41
4.4 ลักษณะรูปร่างของลูกเบี้ยวตาม ไดอะแกรม.....	42
4.5 มุมกด (pressure angle) (γ) ของสมการเคลื่อนที่ของส่วน โค้ง Modified Sine.....	42
4.6 แรงเฉื่อยภายในที่มากระทำของสมการเคลื่อนที่ของส่วน โค้ง Modified Sine.....	43
4.7 ไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของ Geneva Wheel.....	44
4.8 ระยะขจัด ความเร็ว และ ความเร่งของสมการเคลื่อนที่ของ Geneva Wheel.....	45
4.9 ลักษณะรูปร่างของ Geneva Wheel ตาม ไดอะแกรม.....	45
4.10 ลักษณะรูปร่างของ Geneva Wheel ที่ทำการผลิตมาทำการทดสอบ.....	46
4.11 เครื่องจักร Machine Center (CNC).....	46
4.12 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการตรวจสอบ ด้วย คอมพิวเตอร์ CMM.....	47
4.13 ผลการตรวจวัดส่วน โค้ง (Cam profiles) เฉลี่ย ± 0.1 มม.....	47
4.14 เครื่องทดสอบค่าความแข็ง.....	48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15	ตราขั้วคิติดอลและกระบอกควง.....49
4.16	คัลบ์ลูกป็นมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ.....49
4.17	มอเคอร์ขั้วเคลือ่น กับ ชุดอุปกรณ์การควบคุมความเร็วรอบ.....50
4.18	คัลบ์ปลึงแบบเขี้ยว.....50
4.19	เครื่องมือวัดค่าความเร่ง (Accelerometer) พร้อมอุปกรณ์บันทึก.....51
4.20	อุปกรณ์เข้ารหัสแบบเพิ่มค่า (Increment Encoder).....52
4.21	เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer).....52
4.22	เครื่องมือวัดความเร็วรอบแบบใช้แสง.....52
4.23	ลักษณะเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ใน โรงงาน.....53
4.24	ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเร่งในของเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์.....54
4.25	กลไกสมการทางพลศาสตร์ (Dynamic) ของเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์.....54
4.26	ระบบการขับเคลื่อนการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบลูกเบี้ยว (Cam-Follower).....55
4.27	ชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม.....56
4.28	กลไกสมการทางพลศาสตร์ (Dynamic) ของชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม.....56
4.29	แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบวัดค่าความเร่งจากการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบลูกเบี้ยว.....57
4.30	ชุดทดลองระบบ Geneva58
4.31	กลไกสมการทางพลศาสตร์ (Dynamic) ของชุดทดลองระบบ Geneva59
4.32	แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบวัดค่าความเร่งจากการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบ Geneva Wheel.....59
5.1	กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม (a_n, a_t) จากเครื่องพิมพ์ที่โรงงานในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง.....62
5.2	กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม (a_n, a_t) จากเครื่องพิมพ์ที่โรงงานในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง.....63
5.3	กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม (a_n, a_t) จากชุดทดสอบในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง.....64
5.4	กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม (a_n, a_t) จากชุดทดสอบในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง.....65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.5	กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อน Geneva (a_n, a_t) จากชุดทดสอบในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง.....	66
5.6	กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อน Geneva (a_n, a_t) จากชุดทดสอบในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง.....	67
5.7	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง (a_n, a_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง.....	68
5.8	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง a_t ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง.....	69
5.9	กราฟแสดงผลการกรองสัญญาณค่าความเร่ง a_t ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง.....	70
5.10	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร็ว (V_t) และระยะขจัด (S_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง.....	71
5.11	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง (a_n, a_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง.....	72
5.12	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง (a_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง.....	72
5.13	กราฟแสดงผลการกรองสัญญาณค่าความเร่ง a_t ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง.....	73
5.14	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร็ว (V_t) และระยะขจัด (S_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.15 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง (a_n, a_r) ระหว่าง ชุดทดสอบระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบกลไก Geneva ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวด ต่อชั่วโมง.....	74
5.16 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร็ว (V_r) และระยะขจัด (S_r) ระหว่าง ชุดทดสอบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบกลไก Geneva ที่อัตราการผลิตของ เครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง.....	75
5.17 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง (a_n, a_r) ระหว่าง ชุดทดสอบระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบกลไก Geneva ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง.....	76
5.18 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร็ว (V_r) และระยะขจัด (S_r) ระหว่าง ชุดทดสอบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบกลไก Geneva ที่อัตราการผลิตของ เครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง.....	76
5.19 แสดงการสรุปผลค่าความเร่งตามแนวรัศมี (a_n) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการทดลอง	77
5.20 แสดงการสรุปผลค่าความเร่งตั้งฉากกับแนวรัศมี (a_r) ที่เกิดขึ้นทั้งหมด จากการทดลอง.....	78
5.21 แสดงการสรุปผลค่าความเร็วที่ตั้งฉากกับแนวรัศมี (V_r) ที่เกิดขึ้นทั้งหมด จากการทดลอง.....	79
5.22 แสดงการสรุปผลค่าระยะขจัดที่ตั้งฉากกับแนวรัศมี (S_r) ที่เกิดขึ้นทั้งหมด จากการทดลอง.....	79
5.23 แสดงตำแหน่งการหมุน ของชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตามบนงานหมุน.....	80
5.24 แสดงตำแหน่งการหมุน ของชุดทดลองระบบกลไก Geneva บนงานหมุน.....	81
5.25 แสดงข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นจากการพิมพ์ระหว่าง ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับระบบ Geneva.....	83
5.26 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์เวลาที่ลดลงระหว่าง ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับระบบ Geneva.....	83

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
α	ความเร่งเชิงมุม	rad / s^2
β	มุม, ทิศทางของความเร่งในการเคลื่อนที่แนวโค้ง	องศา
θ	การขจัดเชิงมุม	องศา
ρ_0	ความหนาแน่นมวล	kg/m^3
ω	ความเร็วเชิงมุม	rad / s
a	ความเร่งเชิงเส้น	m/s^2
a_n	ความเร่งเชิงเส้นในแนวตั้งฉาก ของแผ่นกลมหมุน	m/s^2
a_t	ความเร่งเชิงเส้นในแนวสัมผัส ของแผ่นกลมหมุน	m/s^2
F	แรง, แรงเสียดทาน, แรงลัพธ์ที่กระทำกับอนุภาคหรือวัตถุ	N, kN
F_n	แรงตั้งฉากที่กระทำกับอนุภาคหรือวัตถุ	N, kN
F_t	แรงในแนวสัมผัสที่กระทำกับอนุภาคหรือวัตถุ	N, kN
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงโลก = 9.81	m/s^2
N	ขนาดของ N จำนวนรอบ	รอบ
r	ตำแหน่งตามแนวรัศมีของแผ่นกลมหมุน	mm
s	ระยะขจัด	mm
t	เวลา	s
v	ความเร็ว	m/s
v_t	ความเร็วในแนวสัมผัส ในการเคลื่อนที่แนวโค้ง	m/s
v_n	ความเร็วในแนวตั้งฉาก	m/s

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิต ยังคงใช้เครื่องจักรอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติที่มีการเคลื่อนที่เป็นจังหวะตามความเร็วรอบ โดยมีการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศเป็นจำนวนมาก ทำให้ประเทศไทยเกิดการเสียดุลทางการค้าเป็นอย่างมาก อาทิ เช่น เครื่องจักรในการบรรจุภัณฑ์ เครื่องจักรในการพิมพ์ เครื่องจักรที่ใช้ในการตรวจสอบชิ้นงาน เป็นต้น ในระบบของแบบการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร โดยทั่วไปจะหาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่เป็นจังหวะเข้าไป-มาตามระยะเวลาการเคลื่อนที่ครบหนึ่งรอบที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบ โดยมีระบบกลไกที่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรได้หลายลักษณะ อาทิเช่น การควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า เช่น เซอร์โว มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเสถียรป้อนมอเตอร์ และการควบคุมด้วยระบบนิวเมติก-ไฮดรอลิก และการควบคุมด้วยระบบกลไก เช่น ลูกเบี้ยว แต่ละระบบของการควบคุมก็จะมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น ประสิทธิภาพการทำงานตามรูปแบบของกลไกและลักษณะของการทำงาน การบำรุงรักษา อายุการใช้งาน ปัจจัยในการลงทุน เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้จะ พิจารณาระบบควบคุมกลไกการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนเป็นจังหวะ กล่าวคือ ระบบของลูกเบี้ยวและตัวตามหน้าลูกกิ้งแบบแกว่ง (cam with swinging roller follower) และ ระบบ Geneva Wheel ในส่วนระบบของลูกเบี้ยว โดยจะอาศัยเส้นโค้งของลูกเบี้ยว (cam curve) ที่อธิบายการเคลื่อนที่เป็นจังหวะตามกลไกของระบบ ในส่วนของระบบ Geneva Wheel จะอาศัยร่องที่มีช่องทางการหมุน โดยทั้งสองระบบนี้จะมีการเคลื่อนที่ตามหลักการทางกลศาสตร์ มีระยะในการขจัด ความเร็ว ความเร่ง และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงตามความเร็วของการเคลื่อนที่เป็นแบบการหมุน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานโดยสามารถผลิตสินค้าได้ปริมาณเพิ่มขึ้น ทั้งรวดเร็ว และแม่นยำ จึงทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง การบำรุงรักษาอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ดังนั้นเราจึงทำการศึกษาและพัฒนาสำหรับการเคลื่อนที่เป็นจังหวะแบบต่างๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งานของการควบคุมเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และเปรียบเทียบค่าความเคลื่อนที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจาก ข้อบกพร่องของการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นทั้งสองระบบ เพื่อเป็นพื้นฐานนำไปพัฒนาและปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น และยังเป็นต้นแบบของการออกแบบกลไกของเครื่องจักรในแบบเดียวกันต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของลูกเบี้ยว-ตัวตาม(cam-follower) และระบบกลไก Geneva ที่มี การเคลื่อนที่เป็นจังหวะ และออกแบบชิ้นกลไก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งพิมพ์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิผลของการทำงานเครื่องพิมพ์
- 1.2.4 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการทำงานของระบบกลไกลูก เบี้ยวและระบบกลไก Geneva

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

ในโรงงานเดิมนั้นใช้ระบบกลไก Geneva ในการพิมพ์ซิลค์สกรีนกับขวดพลาสติก ซึ่งให้ ปริมาณขวดพิมพ์เสียมากเกินความต้องการ จึงเปลี่ยนมาใช้ระบบกลไกแบบลูกเบี้ยว - ตัวตาม แทน ดังนั้นจึงออกแบบกลไกลูกเบี้ยว - ตัวตาม โดยสมมุติว่าความเร็วรอบในการหมุน แกนเพลาลูกเบี้ยวคงที่ เพื่อหาผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของกลไกทั้งสองระบบที่มีต่อการ ทำงานของเครื่องพิมพ์ จึงทำการทดลองกับกลไกซึ่งมีขนาดและการประกอบ เช่นเดียวกับใน ตัวเครื่องจักร เพราะฉะนั้นกราฟความเร่งกับเวลา ควรจะมีลักษณะเดียวกันทั้งในเครื่องจักรและ ชุดทดลอง

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดในการวิจัย

ในการทำงานที่ความเร็วรอบต่ำ ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่แบบไหนจะ ไม่มีข้อแตกต่างกัน มากนัก แต่ที่ความเร็วสูงของการเคลื่อนที่แบบต่างๆจะมีความแตกต่างออกจากกัน ไปจึงเป็นสาเหตุ ที่ทำการวิจัยและในการพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ที่เป็นจังหวะ โดยทำการ การพิจารณาเลือกแบบการเคลื่อนที่ของตัวตาม โดยใช้คุณสมบัติของตามหลักการของการเคลื่อนที่ เป็นเกณฑ์โดยคุณสมบัติเหล่านั้น ได้แก่ ระยะขจัด ความเร็ว ความเร่ง ที่เกิดขึ้นจากการหมุนใน ระบบการเคลื่อนที่ที่เป็นจังหวะ ในการพิจารณาค่าของความเร็ว ความเร่งที่มีการเปลี่ยนแปลงกับ ความแตกต่างของตำแหน่งชิ้นงานที่เกิดขึ้น ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของระบบ เป็นสาเหตุทำ ให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ทำการทดลองหาค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจากเครื่องพิมพ์จริง
- 1.5.2 ทำการทดลองหาค่าความเร่งที่เกิดขึ้นตามการเคลื่อนที่ที่เป็นจังหวะของแบบจำลองทั้ง 2 แบบ ได้แก่ ระบบลูก-ตัวตาม (cam-follower) และ กลไก Geneva

1.5.3 ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองจากเครื่องพิมพ์จริงกับชุดทดลอง ทั้ง 2 แบบ

1.5.4 ทำการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นที่มีผลกระทบต่อของเสีย

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.6.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

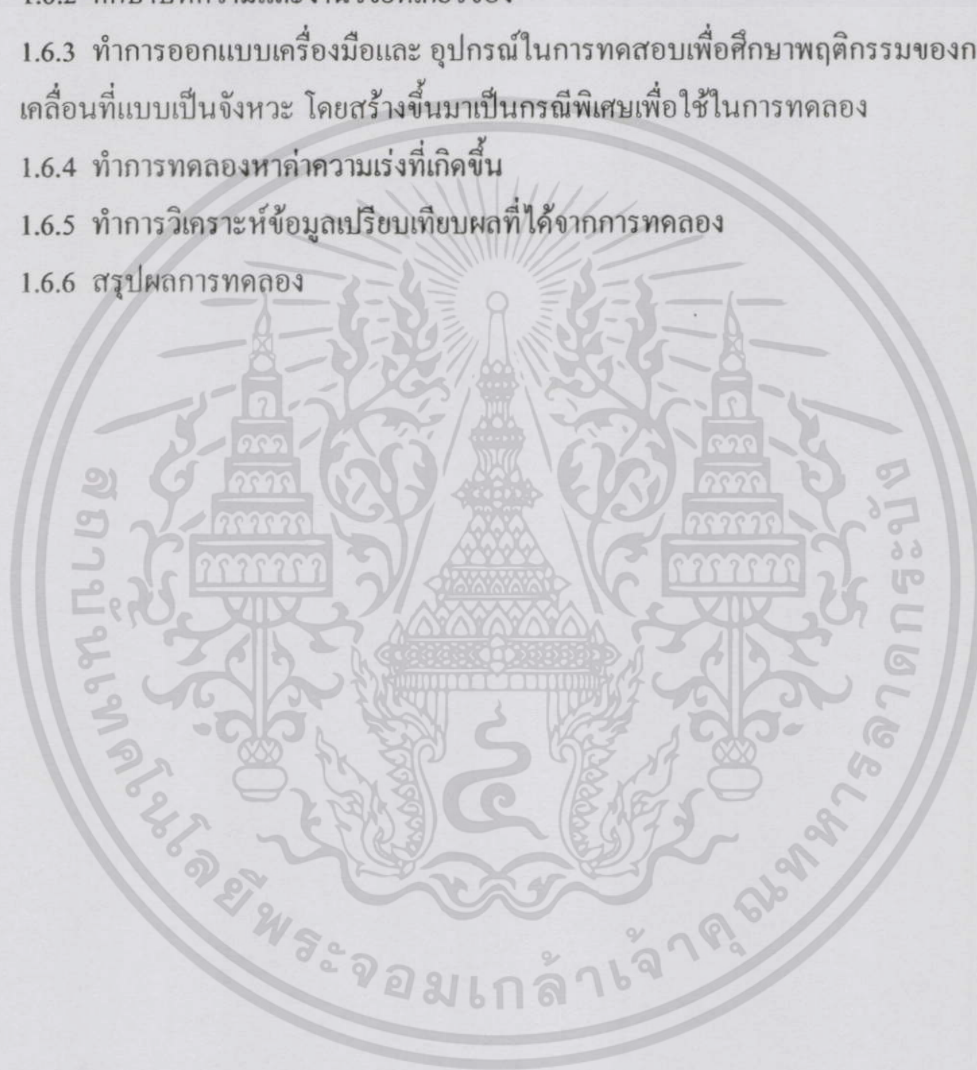
1.6.2 ศึกษาบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.3 ทำการออกแบบเครื่องมือและ อุปกรณ์ในการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่แบบเป็นจังหวะ โดยสร้างขึ้นมาเป็นกรณีพิเศษเพื่อใช้ในการทดลอง

1.6.4 ทำการทดลองหาค่าความเร่งที่เกิดขึ้น

1.6.5 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง

1.6.6 สรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางของการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาเพื่อศึกษาและค้นคว้าเพิ่มเติมของการเคลื่อนที่แบบเป็นจังหวะในระบบกลไกลูกเบี้ยว และแบบกลไก Geneva Wheel รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องความคลาดเคลื่อน สำหรับการทดลองหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงดังต่อไปนี้

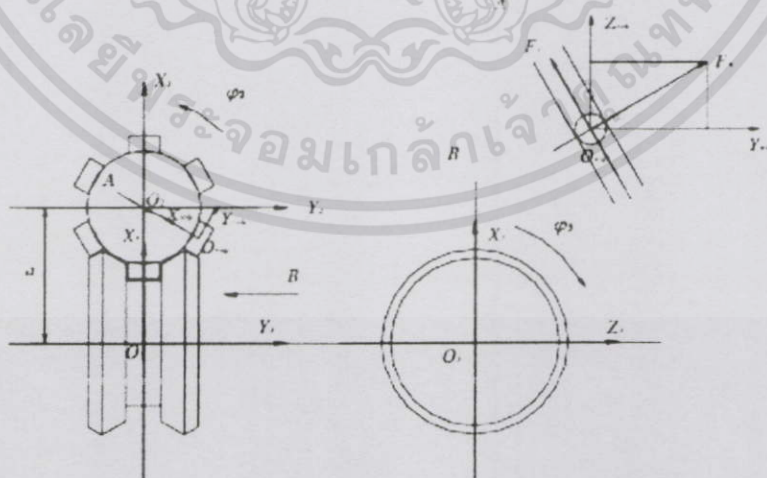
2.1 การทดลองของ Chang Zoungyu และคณะ (1999)

ในชื่อเรื่อง A study on dynamics of roller gear cam system considering clearances ในบทความนี้ศึกษาถึง ระบบการส่งถ่ายกำลังของลูกเบี้ยวทางพลศาสตร์ กับการพิจารณาช่องว่างที่เกิดขึ้นจากความคลาดเคลื่อนจากการหมุนของลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้ง และศึกษาของมุมกดแต่ละองศาที่ทำให้เกิดแรงกระตุ้น ซึ่งมีผลกระทบต่อกลไกของระบบการส่งถ่ายกำลังในค่าของความเร่งในแต่ละจุดของตำแหน่งการเคลื่อนที่การหมุนนั้นๆ โดยทำการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณเชิงตัวเลขกับผลของการทดลองที่เกิดขึ้น

จากสมการของการเคลื่อนที่ "Kane" โดยพิจารณาจากรูป 2.1 ดังนี้

$$r_3 = a - r_2 \cos \phi_2 \tag{2.1}$$

$$\phi_2 = r(\phi_3) \tag{2.2}$$



รูปที่ 2.1 ลักษณะรูปร่างของลูกเบี้ยวแบบทรงกระบอก (Cylinder cam)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ของระยะขจัดระหว่าง จุดศูนย์กลางของการหมุนกับจุดศูนย์กลางของลูก
เบี้ยว ตามองศาของการหมุน จากรูป 2.1 จะได้

$$\Delta x = x_3 - x_2, \Delta y = y_3 - y_2, \Delta z = z_3 - z_2, \varphi_{20} = \tau(\varphi_3). \quad (2.3)$$

โดยจัดรูปแบบตำแหน่งทางเวกเตอร์จะได้

$$X = \{\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, x_3, y_3, z_3\}^T. \quad (2.4)$$

ดังนั้น เวกเตอร์ความเร็วที่ได้จากระยะขจัดจะได้

$$U = \dot{X} \{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8, u_9, u_{10}, u_{11}, u_{12}, u_{13}\} \quad (2.5)$$

$$v_i = \sum_r (v_r)_i u_r, \quad (2.6)$$

ในส่วนองแรงกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้งจากการหมุน โดยสมมุติค่าเป็น
ที่เกิดจากช่องว่างทั้ง 2 ด้าน คือ

$$P = kf(\theta) \text{ โดยที่}$$

$$f(\theta) = \begin{cases} \theta - \varepsilon, & \theta > \varepsilon, \\ 0, & |\theta| \leq \varepsilon, \\ \theta + \varepsilon, & \theta < -\varepsilon \end{cases}$$

$$\text{เมื่อ } \theta = \varphi_{21} - \varphi_2.$$

นำไปหาแรงรวมที่เกิดจากการแรงที่เกิดจากการสัมผัสแรงเสียดทาน และ แรงหนีง ;

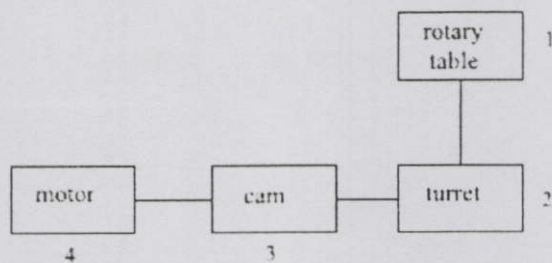
$$F_c = F_N + F_f + F_e. \quad (2.7)$$

พร้อมกับการหาโมเมนต์ของการหมุนในแต่ละส่วนทั้งงานหมุน, ลูกเบี้ยว, มอเตอร์ เป็น
สมการในแต่ละสมการ โดยนำมารวมกันทางพลศาสตร์จะได้

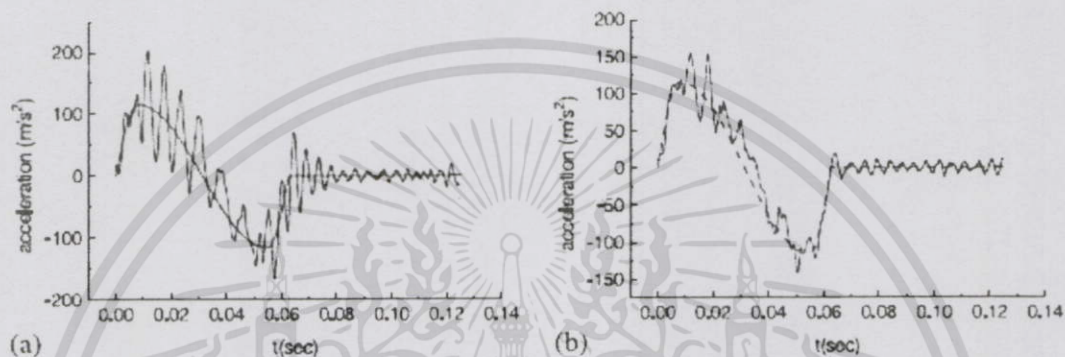
$$(\omega_r)_i = \frac{\partial \omega_i}{\partial u_r}, \quad (2.8)$$

$$(v_r)_i = \frac{\partial v_i}{\partial u_r}. \quad (2.9)$$

ในรูปแบบการทดลอง จะแสดงแผนภูมิ จากรูปที่ 2.2 โดยที่ Rotary table ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดค่า
ความเร่ง เพื่อวัดค่าตอบสนองที่เกิดขึ้นของช่องว่างระหว่างลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้งที่เกิดขึ้นแล้ว
ผลกระทบต่อระบบการส่งถ่ายกำลังมายัง Rotary table จะได้ค่า ดังนี้



รูปที่ 2.2 แผนภูมิการจำลองการทดลองระบบลูกเบี้ยวกับ Rotary Table

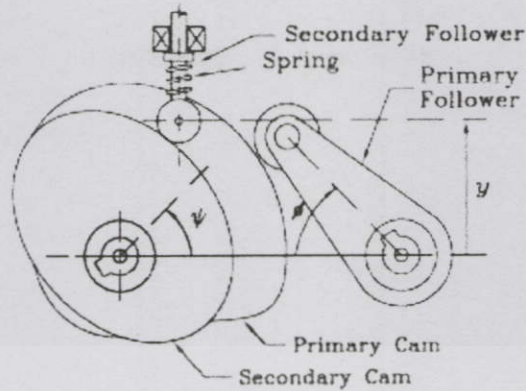


รูปที่ 2.3 ผลการทดลอง (a) ค่าความเร่งของงานหมุนที่เกิดขึ้นของช่องว่าง (b) ค่าความเร่งของงานหมุนที่เกิดขึ้นของช่องว่าง

สรุปผลการทดลองที่เกิดขึ้นของช่องว่างระหว่างลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้ง ทำให้เกิดแรงกระตุก ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร อาจทำให้เกิดความเสียหายได้ทั้งด้านเสียงดัง, การสึกหรอสูง, ลดอายุการใช้งาน ดังนั้นในการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ของกลไกลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้ง ช่องว่างนั้นมีส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบ จึงควรคำนึงถึงในการออกแบบ และวิเคราะห์ให้เกิดความแข็งแรงของระบบกลไก

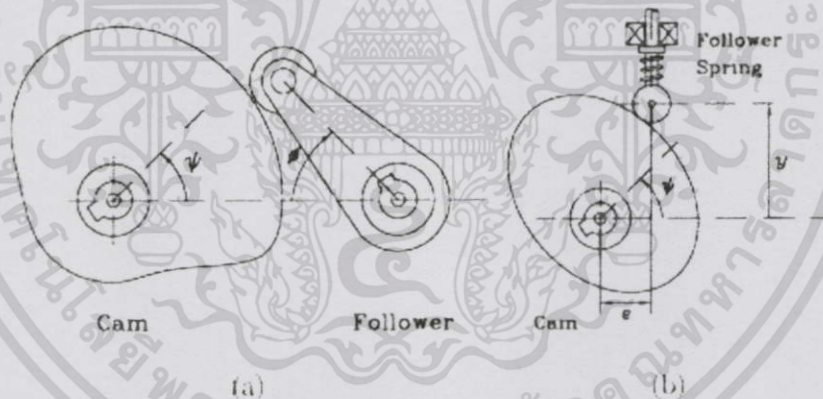
2.2 การทดลองของ Chu-Jen และ Jorge Angeles (2001)

ในชื่อเรื่อง The optimum synthesis of an elastic torque – compensating cam mechanism ในบทความนี้ได้ศึกษาถึง การออกแบบระบบกลไกลูกเบี้ยวแบบใช้สปริงทดด้วยการเปลี่ยนแปลง ด้วยการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็วที่ทำให้เกิดค่าการกระตุกที่มาก ทำให้เกิดความเสียหายของระบบกลไก และหลีกเลี่ยงจากการออกแบบทางวัสดุที่มีคุณภาพที่สูงและราคาแพง โดยใช้หลักการชดเชยแรงบิดที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่ที่เป็นจังหวะของลูกเบี้ยวและลูกกลิ้ง

แสดงการเคลื่อนที่ที่เป็นจังหวะของลูกเบี้ยวและลูกกลิ้ง โดยตัวจับจะหมุนกับลูกเบี้ยวด้วยความเร็วคงที่ และแรงบิดคงที่ และลูกกลิ้งจะทำงานตามจังหวะของส่วนโค้งลูกเบี้ยว จากกลไกดังรูป จะแบ่งการทำงานเป็น 2 แบบ คือ แบบแรกลูกกลิ้งจะหมุนไปกับตัวตามเป็นหลัก และเป็นจุดหลักในการเคลื่อนที่ ส่วนแบบที่ 2 เป็นส่วนการชดเชยแรงบิดที่ใช้สปริงเป็นตัวช่วย และส่วนโค้งของลูกเบี้ยว จะแสดงรูปแยกได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 รูปแบบ (a) กลไกลูกเบี้ยวและลูกกลิ้งหลัก (b) กลไกลูกเบี้ยวและลูกกลิ้งรอง

ในขบวนการทางการคำนวณ โดยใช้สมการจากการเคลื่อนที่ของส่วนโค้งลูกเบี้ยวเป็นหลักทั้งระยะจัด ความเร็ว ความเร่ง และแรงบิดที่เกิดขึ้นภายใน จนกระทั่งถึงแรงที่เกิดจากการสั่นสะเทือนในระบบ เป็นการออกแบบโดยส่วนในเชิงแรงที่เป็นหลัก และส่วนของการชดเชยเป็นแบบที่ 2 จะทำการคำนวณค่าความแข็งแรงของสปริงเป็นหลัก โดยมีการทดลองและทำการหาค่าที่คิที่สุดของสปริงแบบชนิดที่ใช้ในการชดเชยของสมการ ดังนี้

$$\tau_{\min} = \frac{\tau_{\max}}{2}; P_{\min} = \frac{P_{\max}}{2} \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = \left(\frac{16P_{\max}R}{\pi\tau_{\max}} \right)^{1/3}, \quad (2.11)$$

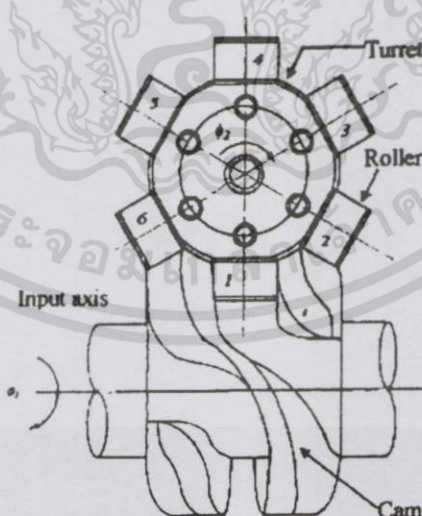
$$N = \frac{d^4 Gh}{64(P_{\max} - P_{\min})R^3}, \quad (2.12)$$

จะได้กราฟที่แสดงค่าคิที่สูงสุดของสมการ

สรุป จากการคำนวณค่าความแข็งแรงในการชดเชยแรงบิด พบว่าค่าความสั้นสะเทือนลดลง แทนการออกแบบของลูกเบี้ยวที่มีขนาดใหญ่ลงได้

2.3 การทดลองของ Jao-Hwa Kuang, Ah-Der Lin และ Tzong-Yow Ho

ในชื่อเรื่อง Dynamic Responses of a Globoidal Cam System ในบทความนี้ อธิบายถึง สมการการเคลื่อนที่เป็นเชิงหระ โดยใช้ระบบลูกเบี้ยวทรงกระบอก โดยมีลูกกลิ้งเป็นตัวตามหมุน ในช่วงที่มีส่วนโค้ง เพื่อทดลองค่าความสั้นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับระบบกลไกด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์เชิงตัวเลข และเชิงการทดลอง โดยพิจารณาเวลาที่ลูกเบี้ยวหมุนพา ลูกกลิ้งเกิดการเคลื่อนที่ (rise) และช่วงเวลาที่ลูกเบี้ยวกลิ้งหมุนอยู่กับที่ (dwell) จนครบรอบ และพิจารณาค่าความแข็งแรงที่เกิดขึ้น ความสั้นสะเทือนที่เกิดจากการคัน และหน่วงที่เกิดกับลูกกลิ้ง โดยใช้วิธีจำลองการเคลื่อนที่ และใช้เครื่องมือวัดค่าความเร่ง เพื่อหาสาเหตุจากการขับเคลื่อนของลูกเบี้ยวที่มีเส้นโค้งเป็นสมการการเคลื่อนที่ทั้งความเร็ว ความเร่ง และแรงขับ การสั้นสะเทือนในระบบกลไกต่อไปได้ จากรูป 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะรูปร่างและกลไกลูกเบี้ยวทรงกระบอก (Globoidal Cam)

ในระบบสมการการเคลื่อนที่ของเส้นโค้ง จะได้จากการคำนวณเชิงตัวเลข และมีความสำคัญมากในระบบลูกเบี้ยว เพราะเป็นจุดเริ่มต้นของการขับเคลื่อน ทั้งระยะจัด ความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร่ง และแรงกระตุ้น จากบทความนี้ จะใช้สมการเส้นส่วนโค้ง ของ MSC = (modified Sine), MTO = (modified Trapezoidal) และ (RBC) = B-spline ที่เกิดจากการพัฒนาของสมการการเคลื่อนที่ ดังสมการ

$$\theta_0 = U(\theta_i) \tag{2.13}$$

เมื่อ θ_0 = มุมการเคลื่อนที่ของลูกกลิ้ง

θ_i = มุมการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ทางการเคลื่อนที่แบบการหมุนจะได้

$$\dot{\theta}_0 = U'(\theta_i) \cdot \Omega \tag{2.14}$$

$$\ddot{\theta}_0 = U''(\theta_i) \cdot \Omega^2 + U' \cdot \alpha \tag{2.15}$$

เมื่อสมการทางอนุพันธ์ของค่า U, U' ของสมการส่วน โค้งของลูกเบี้ยว

ในรูปที่ 3 เป็นวิธีการวัดค่าความแข็งแรงของหน้าสัมผัสระหว่างลูกเบี้ยว และลูกกลิ้งในจุดเล็ก ๆ ของหน้าสัมผัส พบว่าในการวัดค่าตามตัวแปรของสมการการเคลื่อนที่มีตัวแปรที่น่าสนใจ จะแสดงใน ที่เกิดจากการวัดค่าความแข็งแรงของหน้าสัมผัส และความหน่วง โดยประมาณการดังนี้

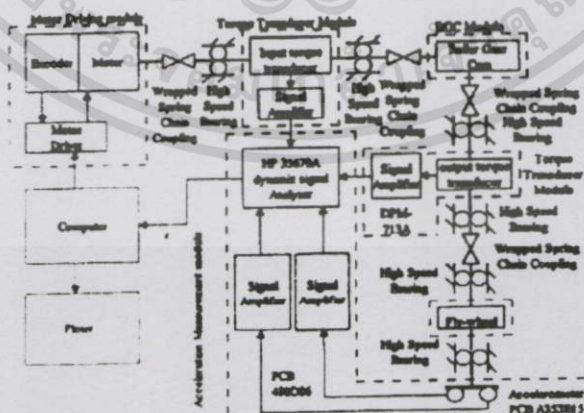
$$K_m = \begin{cases} ka & \text{คาบเวลาของการเคลื่อนที่} \\ kd & \text{คาบเวลาของการหยุดนิ่ง} \end{cases}$$

$$C_m = \begin{cases} Ca & \text{คาบเวลาของการเคลื่อนที่} \\ Cd & \text{คาบเวลาของการหยุดนิ่ง} \end{cases}$$

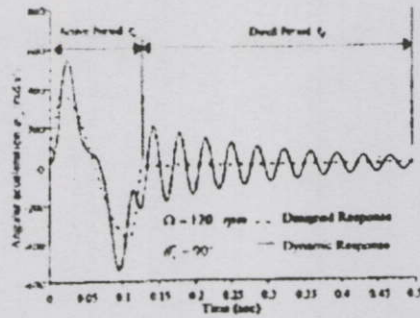
เมื่อค่า K_m และค่า C_m เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากการทดลองค่าแล้วทำการกรองเส้นส่วน

โค้งด้วยวิธี Curve fitting ตามลูกกลิ้งทั้ง 6 ลูก

ในการจำลองการทดลอง จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 ด้วยการวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่

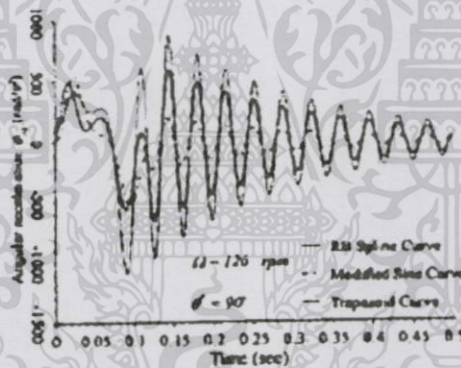


รูปที่ 2.7 การวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจากการจำลองการเคลื่อนที่ที่กับบุปกรณ์และเครื่องมือวัด



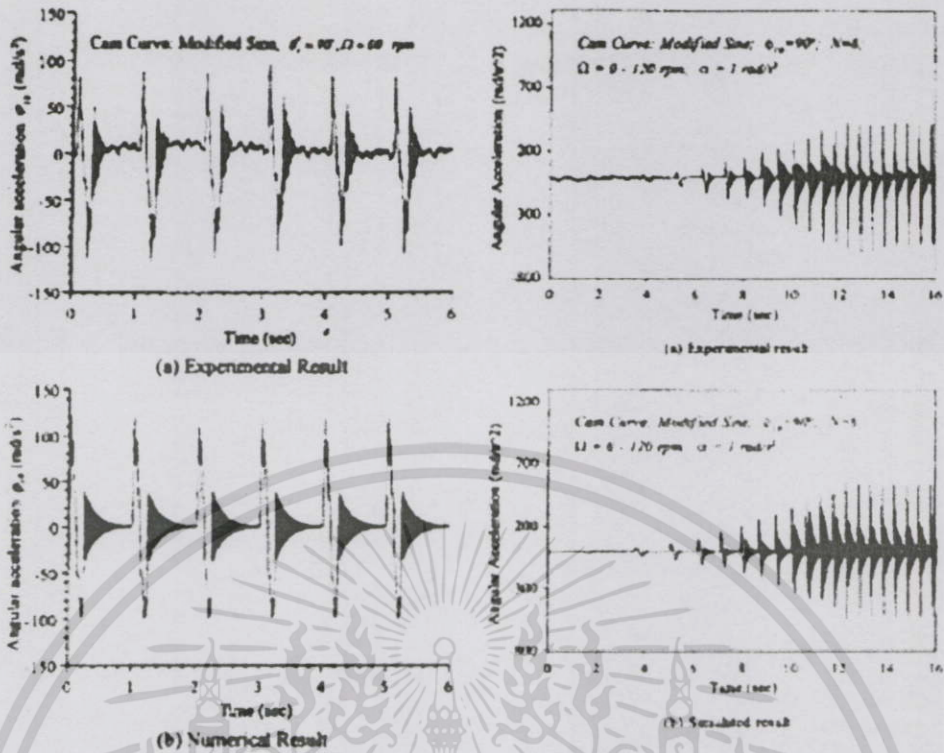
รูปที่ 2.8 ผลจากการทดลองวิธีการคำนวณเชิงตัวเลข

ในรูปที่ 2.7 แสดงชุดคิดค้นเพื่อวัดความตอบสนองของมุมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งที่เกิดขึ้นจาก ลานที่ติดตั้งด้วยตัววัดความเร่ง (accelerometer) ที่ speed $\Omega = 120$ ด้วยวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขว่า เวลาการเคลื่อนที่ที่มีการตอบสนอง ด้วยค่าแอมพลิจูดที่ทำงานพร้อมกับค่าความเร็วของงานหมุนที่มี ผลกระทบกับส่วน โคนึงลูกเบี้ยว



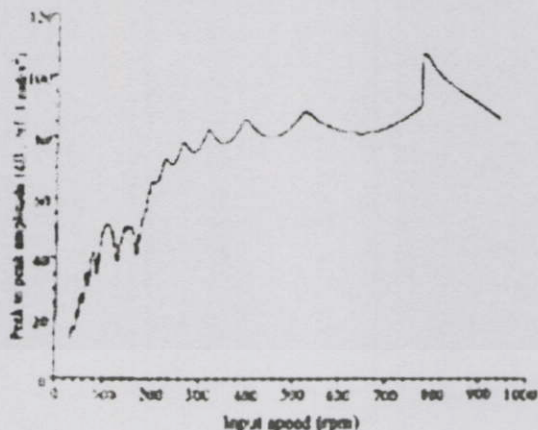
รูปที่ 2.9 การเกิดค่ามุมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งด้วยวิธีมีส่วน โคนึง MS จะดีขึ้นกว่า MT และ B-spline

ในรูปที่ 2.8 แสดงการเกิดค่ามุมที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่งด้วยวิธี MS จะพบว่าส่วน โคนึง MS จะดีขึ้น กว่า MT และ B-spline ที่เกิดขึ้นจากการทำงานของความเร็วที่ความถี่ในการเกิดความถี่สะเทือนที่ 28.6 Hz



รูปที่ 2.10 การคำนวณและการวัดค่าจากการทดลองการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการหมุน (a) และ 8(b) แสดงการคำนวณและการวัดค่าจากการทดลองการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการหมุนของงาน ด้วยความเร็วคงที่ 60 รอบต่อวินาที และทำให้เกิดองศาของความเร่ง

จากการทดลอง พบว่ามีความแตกต่างกันของค่าความเร่งที่เกิดขึ้นระหว่างผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับผลการทดลอง โดยผลของการทดลองมีค่าแอมป์พิจูดที่สูงกว่าการคำนวณ เป็นผลเนื่องมาจากระบบกลไกของส่วนโค้งของลูกเบี้ยว และยังพบว่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นไม่เป็นสัดส่วนกับความเร็วของมอเตอร์ หรือตัวขับ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (b)



รูปที่ 2.11 ผลของการแสดงค่าความสั่นสะเทือนของรัศมีที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ โดยดูจากความเร็วที่เปลี่ยนแปลงกับแอมพลิจูดที่เกิดขึ้นมากที่สุดของแต่ละความเร็วที่เกิดจากลูกเบี้ยว

สรุปผลการทดลอง ในการศึกษาการเคลื่อนที่เป็นจังหวะของระบบลูกเบี้ยวทรงกระบอก ผลกระทบที่เกิด ส่วนโค้งของลูกเบี้ยวมีการแปรผันของหน้าสัมผัสที่ทำให้เกิดความแข็งแรงและความหน่วง และความเร็วของการขับเคลื่อน ค่าของความสั่นสะเทือนของลูกเบี้ยว จากการคำนวณเชิงตัวเลขกับการทดลอง สรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ค่าสูงสุดของค่าความสั่นสะเทือน จากการคำนวณเชิงตัวเลขที่มีทิศทางใกล้เคียงกับการทดลองวัดค่า แสดงว่าสมการในการเคลื่อนที่มีความถูกต้องตามการทดลองภายใต้เงื่อนไขของสมการส่วนโค้งของลูกเบี้ยว
2. ผลการคำนวณที่แสดงของระบบลูกเบี้ยวที่หมุนด้วยความเร็ว ตามส่วนโค้งของลูกเบี้ยวเกิดแรงกระทำต่อส่วนโค้งมีผลทำให้เกิดความเสียหายได้ และถ้ามีการออกแบบควรคำนึงถึง อันตรายที่เกิดขึ้นจากส่วนโค้งของลูกเบี้ยวในระบบของโครงสร้างลูกเบี้ยวเป็นสำคัญ

2.4 การทดลองของ Giorgio Figliolini และ Jorge Angeles (2002)

ในชื่อเรื่อง Synthesis of conjugate Geneva mechanisms with Curver slots. ในบทความนี้ศึกษาถึงการทำงานร่วมกันของกลไก Geneva กับช่องเจาะรูที่มีลักษณะยาว (Slot) ที่ทำงานได้เหมือนกับลูกเบี้ยวกับลูกกิ้งเป็นจังหวะ โดยอาศัยมุมกดของลูกกิ้งเป็นตัวพาให้เกิดการส่งถ่ายแรงให้เคลื่อนที่ โดยการออกแบบให้ทำงานได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง โดยเปรียบเทียบกับกลไกการทำงานของซีเฟืองที่มีสปริงขับไปให้หมุนไปได้ทิศทางเดียว (ratchet) ว่าดีกว่า ตรงที่ช่วยลดเสียงดังในรอบที่สูงขึ้น สามารถหมุนได้ทั้งทวนเข็มนาฬิกา และตามเข็มนาฬิกาได้ มีความแม่นยำมากขึ้น และการสั่นสะเทือนของกลไกลดน้อยลง โดยใช้หลักการในการพิจารณาจากรูปที่ 2.11 โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีข้อเหวี่ยงหมุนเป็นวงกลมกับสลักที่ติดกับลูกกลิ้ง หมุนไปในร่างของ Geneva ตามจำนวนร่องที่แบ่งไว้เท่ากับ $\sin \frac{\pi}{n} = \frac{a}{b} = \frac{1}{m}$, โดยมุมของการเคลื่อนที่เป็น $a=b+c$,

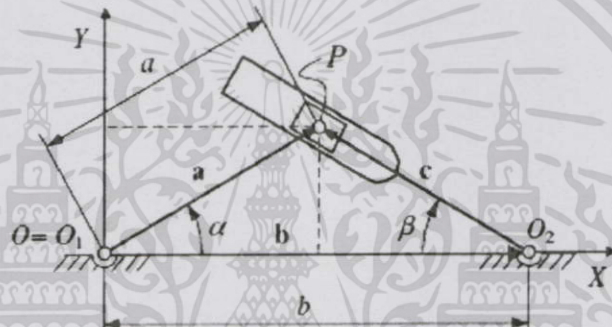
$$\vec{a} = a \begin{bmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{bmatrix}, \vec{b} = b \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \vec{c} = c \begin{bmatrix} \cos(\pi + \beta) \\ \sin(\pi + \beta) \end{bmatrix}, \quad (2.16)$$

$$c \sin \beta = a \sin \alpha, \quad (2.17)$$

$$c \cos \beta = b - a \cos \alpha, \quad (2.18)$$

$$\tan \beta = \frac{\sin \alpha}{m - \cos \alpha}, \quad (2.19)$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha}, \quad (3.20)$$



รูปที่ 2.12 กลไกการทำงาน Geneva กับช่องเจาะรูที่มีลักษณะยาว (slot)

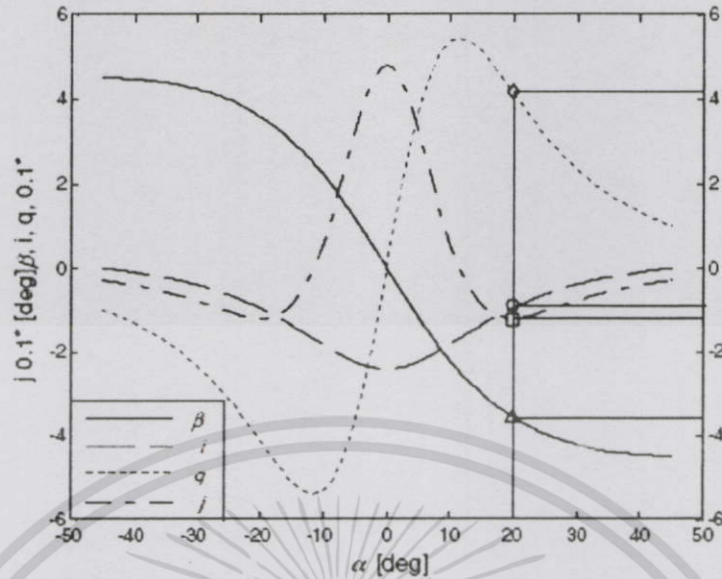
ในส่วนขอความเร็วจะใช้อัตราส่วนระหว่าง มุมการเคลื่อนที่ของข้อเหวี่ยงกับมุมการเคลื่อนที่ของร่อง Geneva ดังนี้

$$\beta = \pm \cos^{-1} \left(\frac{m - \cos \alpha}{\sqrt{1 + m^2 - 2m \cos \alpha}} \right), \quad (2.21)$$

$$i = \frac{\dot{\beta}}{\dot{\alpha}} = - \frac{m \cos \alpha - 1}{1 + m^2 - 2m \cos \alpha}, \quad (2.22)$$

$$q = \frac{\ddot{\beta}}{\dot{\alpha}^2} = - \frac{m \sin \alpha (1 - m^2)}{(1 + m^2 - 2m \cos \alpha)^2}, \quad (2.23)$$

$$j = \frac{\ddot{\beta}}{\dot{\alpha}^3} = - \frac{m(1 - m^2)[(1 + m^2) \cos \alpha - 2m(1 + \sin^2 \alpha)]}{(1 + m^2 - 2m \cos \alpha)^3}. \quad (2.24)$$



รูปที่ 2.13 โค้ดแกรมการเคลื่อนที่ของ Geneva ($-45^\circ + 45^\circ$) เมื่อ $n = 4$ $b = 100$ mm.

จากการเขียนเวกเตอร์การทำงานของ Geneva เพื่อหาแรงที่เกิดขึ้นจากการหมุน พบว่าการกระทำของการหมุน T_1 จะทำให้แขนของ O_1P เคลื่อนที่ตามมุม α และกลไกต่อเนื่องของร่องกับลูกกลิ้ง ทำให้แขน O_2P เคลื่อนที่ตามมุม β ทำให้เกิดการส่งถ่ายแรง จากจุด P ดังนั้นแรงที่เกิดขึ้นจากการถ่ายแรง จาก T_1 ไปยัง T_2 โดยผ่านจุด P จากการเขียนการทำงานในรูปเวกเตอร์มีส่วนคล้ายคลึงรูปสามเหลี่ยมที่มีส่วนประกอบของค่า μ ที่แสดงให้เห็นว่าไม่มีส่วนในการส่งถ่ายแรง เพราะมีช่องว่างของร่องที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของลูกกลิ้ง ส่วนการวิเคราะห์หาค่าแรงกด (pressure angle) จะกระทำได้จากแรงที่เกิดขึ้นของ f_n จากสมการ

$$\tan \mu = \frac{f_n^T E f}{f_n^T f} \tag{2.25}$$

$$f = f \begin{bmatrix} -\sin \alpha \\ \cos \alpha \end{bmatrix} \text{ and } f_n = f \cos(\alpha - \beta) \begin{bmatrix} -\sin \beta \\ \cos \beta \end{bmatrix} \tag{2.26}$$

$$E = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 10 & \end{bmatrix} \tag{2.27}$$

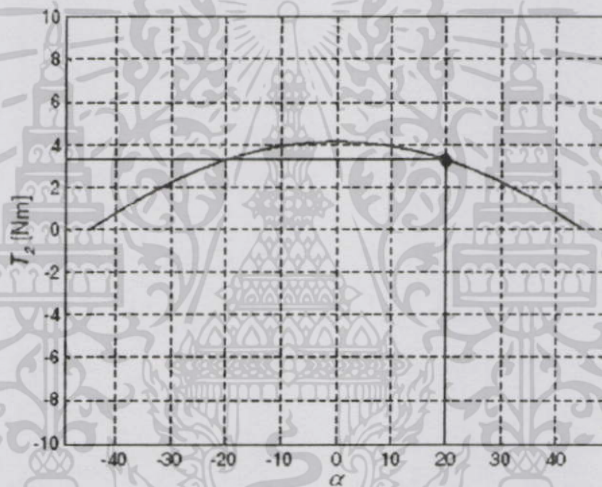
จากการหมุนจะได้แรงบิดที่ T_2 จากสมการ

$$T_2 = F c c \cos(\alpha - \beta - \pi) \tag{2.28}$$

เมื่อทำการแทนค่าของการหมุนตอองศาการทำงานของ Geneva Wheel ตั้งแต่ $(-45^\circ + 45^\circ)$ จะเกิดโค้ดแกรมการทำงานของมุมกด (μ) (pressure Angle) และค่าแรงบิด ดังรูป 2.12 และ ดังรูป 2.13 ตามลำดับ



รูปที่ 2.14 ไคอะแกรมมุมกด (pressure angle) เคลื่อนที่ของ Geneva เมื่อ $n = 4, b = 100 \text{ mm}$.



รูปที่ 2.15 ไคอะแกรมแรงบิดเคลื่อนที่ของ Geneva เมื่อ $n = 4, b = 100 \text{ mm}$.

จากไคอะแกรมที่แสดงจะเห็นว่าเมื่อแขนหมุนลูกกลิ้งก็จะเคลื่อนที่ตามร่องของ Geneva เมื่อมีการส่งถ่ายแรง สัมผัสจาก เมื่อ $\mu = 0$ จะได้ว่า $\alpha = 0$ ก็จะเกิดแรง T_2 มากที่สุด

จากบทความนี้ของการเคลื่อนที่ของ Geneva กับเส้นส่วนโค้งบังคับการเคลื่อนที่ เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่น้อยลง จะแสดงได้จากรูปที่

จากการเคลื่อนที่เป็นของสมการ

$$p_1 = b \frac{i}{i+1}, p_2 = b \frac{1}{i+1}, \quad (2.29)$$

$$p_1 = b \frac{m \cos \alpha - 1}{m(m - \cos \alpha)}, p_2 = b \frac{1 + m^2 - 2m \cos \alpha}{m(m - \cos \alpha)} \quad (2.30)$$

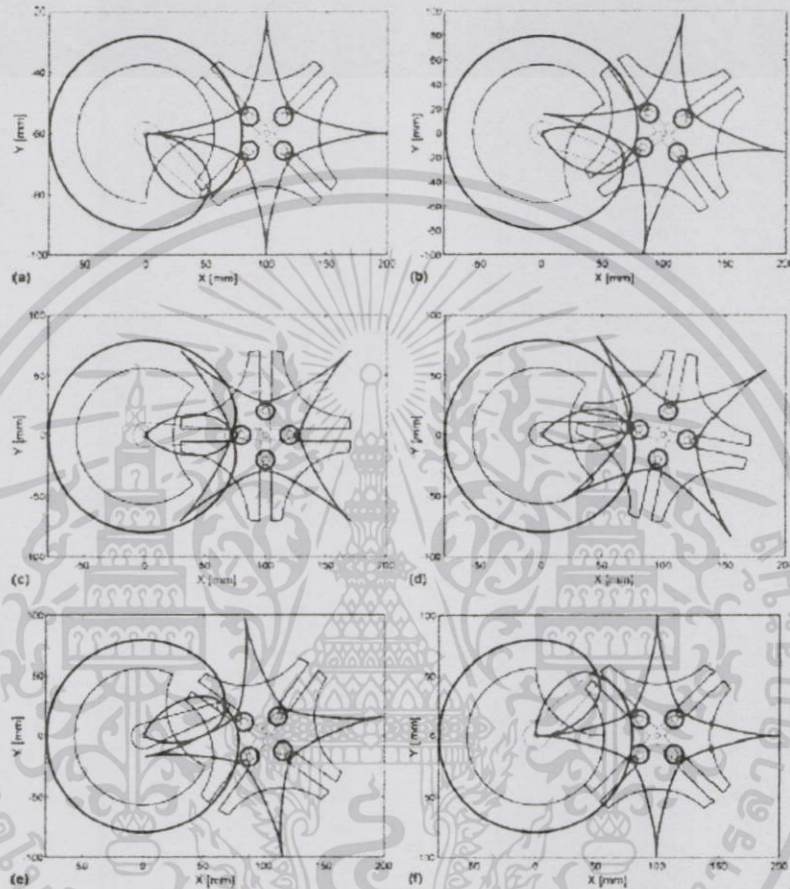
$$P_1 = p_1 \begin{bmatrix} \cos \phi_1 \\ \sin \phi_1 \end{bmatrix}, P_2 = p_2 \begin{bmatrix} \cos \phi_2 \\ \sin \phi_2 \end{bmatrix}, \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\varphi_2 = -(\pi + \beta) \tag{2.32}$$

$$P_{10} = M_1 p_1, \quad P_{20} = M_2 p_2 + b, \tag{2.33}$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}, \quad M_2 = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta \\ \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \tag{2.34}$$



รูปที่ 2.16 การทำงานของ Geneva ร่วมกับเส้นส่วนโค้งบังคับการเคลื่อนที่หมุนไปตามองศาที่มีร่องของ Geneva Wheel $n=4$ ที่คาบเวลาการหมุน 90° หมุนทวนเข็มนาฬิกา

จากรูป 2.14 (a) เป็นจุดเริ่มต้นของการหมุน ดังเกิดจากแขนเริ่มต้นตรงปลายร่องของ Geneva จากนั้น รูปที่ 2.14(b) ก็เกิดการหมุน ทำให้งานของ Geneva หมุนไปตามองศาและส่วนโค้งบังคับความคลาดเคลื่อนก็จะหมุนแปรผันตามการเคลื่อนที่ของการหมุนต่อไป

สรุป ในการวิเคราะห์กลไกการทำงานของ Geneva ร่วมกับเส้นส่วนโค้งบังคับการเคลื่อนที่ โดยมีความสัมพันธ์ร่วมกันกับการทำงานที่เกิดจากการหมุนของลูกกลิ้ง กับร่อง Geneva และลูกกลิ้งกับเส้นบังคับการหมุนได้ในทำนองเดียวกัน สามารถหาค่าความเร่ง (a) ได้เช่นกัน จากอัตราส่วนของการหมุน ได้แก่และในทำนองเดียวกันสามารถหาค่า, ของอัตราส่วนของการหมุนได้เช่นกันดังนั้นสามารถลากเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 พื้นฐานในระบบ คิเนเมติก (Kinematics)

เราทราบว่าวัตถุอันหนึ่งเคลื่อนที่สัมพันธ์กับวัตถุอีกอันหนึ่งได้ ก็ต่อเมื่อตำแหน่งของวัตถุ เปลี่ยนไปตามเวลาเมื่อวัดเทียบกับวัตถุที่สองในทางตรงข้าม ถ้าตำแหน่งเปรียบเทียบนี้ไม่ได้ เปลี่ยนไปตามเวลา วัตถุนั้นย่อมอยู่นิ่ง ดังนั้นการเคลื่อนที่การอยู่นิ่ง จึงเป็นมโนภาพสัมพันธ์ นั่นคือ การเคลื่อนที่ที่จะมีการอยู่นิ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของวัตถุที่สัมพันธ์กับวัตถุอีกอันหนึ่งเป็นสิ่งอ้างอิง ในการเคลื่อนที่จึงอาจนิยามได้ว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่ต่อเนื่องกันไป การบอกลักษณะ เคลื่อนที่ของอนุภาคนั้น อาศัยศัพท์ต่าง ๆ ที่คุ้นเคยในชีวิตประจำวัน ที่สามารถเขียนเป็นสมการในการแสดงปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ได้

ปริมาณสเกลาร์ คือ ปริมาณที่บอกแต่ขนาดอย่างเดียวก็เข้าใจความหมายโดยสมบูรณ์ ปริมาณสเกลาร์ประกอบด้วยจำนวนเลขและหน่วย

ปริมาณเวกเตอร์ คือ ปริมาณที่ต้องบอกทั้งขนาดและทิศจึงจะเข้าใจความหมายโดยสมบูรณ์ ตำแหน่ง (position) คืออนุภาคที่บ่งบอกการเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง

การกระจัด (displacement) คือ การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอนุภาคในช่วงเวลา

การขจัดเชิงมุม (θ) หน่วย SI ของการขจัดเชิงมุม คือ เรเดียน ใช้สัญลักษณ์ rad มุม 1 rad คือ มุมที่จุดศูนย์กลางของวงกลมที่รองรับส่วน โค้งของวงกลมยาวเท่ากับรัศมีของวงกลมนั้น มาตรฐาน เรเดียน (ส่วน โค้ง/รัศมี) เป็นจำนวนเลขไม่มีมิติ (หน่วย) $\theta = \frac{s}{r}$ เมื่อ θ = การขจัดเชิงมุม, s = ส่วน โค้งของวงกลม และ r = รัศมีของวงกลม เนื่องจาเส้นรอบวง = $2\pi r$ ดังนั้นการขจัดเชิงมุมใน 1 รอบจึงเท่ากับ 2π เรเดียน เพราะฉะนั้น $\theta = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi$ การขจัดเชิงมุมเป็นเรเดียน = $2\pi \times$ การขจัดเชิงมุมเป็นรอบ

ความเร็ว (velocity) เป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งขนาดเหมือนกับอัตราเร็ว และบอกทิศกำกับไว้ ด้วยความเร็วของวัตถุเปลี่ยนไปเมื่ออัตราเร็วเปลี่ยนหรือทิศเปลี่ยน หรือเปลี่ยนทั้งสองอย่าง

อัตราเร็ว (speed) เป็นปริมาณสเกลาร์ ซึ่งกำหนดขนาด หรือค่าตัวเลขของอัตราการเคลื่อนที่ โดยไม่คำนึงหรืออ้างอิงถึงทิศของการเคลื่อนที่

ความเร็วเชิงมุม (ω) ความเร็วเชิงมุมของวัตถุ คือ อัตราเวลาของการขจัดเชิงมุมรอบแกนที่กำหนดให้ หน่วย SI ของความเร็วเชิงมุม คือ 1 rad s^{-1} คือ $\overline{\omega}(\text{rads}^{-1}) =$ มุมที่หมุนไปได้ (rad)/

เวลา (s) ที่ใช้ $= \frac{\theta}{t}$

ความเร่ง (acceleration) คือ ความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา เป็นปริมาณเวกเตอร์ หน่วย SI เมตรต่อวินาทีกำลังสอง (1 m s^{-2}) ในที่นี่จะพิจารณาแต่ความเร่งคงที่เท่านั้น

ความเร่งเชิงมุม (α) ความเร่งเชิงมุมของวัตถุ คือ อัตราเวลาของการเปลี่ยนความเร็วเชิงมุม หน่วย SI ของความเร่งเชิงมุม คือ 1 rad s^{-2}

แรง (force) คือ อะไรอย่างหนึ่งที่มีอิทธิพลหรืออำนาจที่จะเปลี่ยนการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนรูปร่างของวัตถุ แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ แรงที่มีผลทำให้ความเร็วของวัตถุเปลี่ยนไป ถ้ามีแรงสุทธิกระทำต่อวัตถุ วัตถุนั้นจะเกิดความเร่งในทิศของแรง ในทางตรงกันข้าม ถ้าวัตถุมีความเร่ง ย่อมจะต้องมีแรงสุทธิกระทำต่อวัตถุในทิศของความเร่ง แรงสุทธิที่กระทำต่อวัตถุ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของมวลกับความเร่งที่เกิดจากแรงสุทธินั้น

ทอร์ก (torque) คือ ผลของแรงที่ทำให้เกิดการหมุนรอบแกนอันหนึ่ง ผลหมุนของแรงวัดด้วยผลคูณของแรงกับระยะทางตั้งฉากจากแกนหมุนไปยังแนวกระทำของแรง จะเท่ากับ แรง \times ระยะทางตั้งฉากจากแกนไปยังแนวแรง

โมเมนตัมของวัตถุ คือ มวล \times ความเร็ว เป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งมีทิศเดียวกับความเร็ว อิมพัลส์คือ แรง \times เวลาที่แรงกระทำ เป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งมีทิศเดียวกับแรง มวล (m) ของวัตถุหมายถึงเนื้อแท้ของวัตถุ หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึงความเฉื่อยของมัน น้ำหนัก (W) ของวัตถุ คือ แรงที่เกิดจากความโน้มถ่วงที่กระทำต่อวัตถุ มีค่าเปลี่ยนไปตามที่ต่าง ๆ และทิศเข้าสู่จุดศูนย์กลางของโลก

การเปรียบเทียบปริมาณเชิงเส้นกับปริมาณเชิงมุม

การขจัดเชิงเส้น s	เทียบได้กับ	การขจัดเชิงมุม	θ
อัตราเร็วเชิงเส้น v	“ “	อัตราเร็วเชิงมุม	ω
ความเร่งเชิงเส้น a	“ “	ความเร่งเชิงมุม	α
มวล (ความเฉื่อย) m	“ “	โมเมนต์แห่งความเฉื่อย	I
แรง F	“ “	ทอร์ก	Γ
โมเมนตัมเชิงเส้น mv	“ “	โมเมนตัมเชิงมุม	$I\omega$
อิมพัลส์เชิงเส้น F_t	“ “	อิมพัลส์เชิงมุม	Γ_t

กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

กฎข้อที่หนึ่ง คือวัตถุจะคงอยู่ในสถานะอยู่นิ่ง หรือเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอ (อัตราเร็วคงที่) ในแนวเส้นตรง เว้นแต่จะมีแรงสุทธิมากระทำเพื่อเปลี่ยนสถานะนั้น ๆ หรือกล่าวอีกอย่างว่า วัตถุจะมีความเร่งได้ก็ต่อเมื่อมีแรงสุทธิมากระทำเท่านั้น

กฎข้อที่สอง คือแรงสุทธิ (F) กระทำต่อวัตถุจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวล m และเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร่ง (a) แรงสุทธิและความเร่งมีทิศเดียวกัน คือ อยู่ในทิศของการเคลื่อนที่นั่นเอง

กฎข้อที่สาม คือเมื่อวัตถุหนึ่งออกแรงกระทำต่อวัตถุอีกอันหนึ่ง วัตถุอันที่สองจะออกแรงกระทำตอบด้วยขนาดเท่ากันในทิศตรงกันข้ามกับแรงอันแรก

การเคลื่อนที่ของวัตถุแข็งเกร็งเป็นการเคลื่อนที่แบบเลื่อนตำแหน่ง (translational motion) และอาจมีการเคลื่อนที่แบบหมุน (rotational motion) ด้วยก็ได้ ในกรณีทั่วไปส่วนมากจะพบว่าแรงเดี่ยวเพียงแรงเดียวที่กระทำต่อวัตถุ มักจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งการเคลื่อนที่แบบเลื่อนตำแหน่งและแบบหมุน แต่เมื่อมีแรงหลายแรงกระทำต่อวัตถุอันหนึ่งพร้อม ๆ กัน ผลการกระทำของแรงอาจหักล้างกันหมดก็ได้ ทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งแบบเลื่อนตำแหน่ง และแบบหมุน เมื่อเกิดภาวะเช่นนี้ขึ้น เราเรียกวัดภูนั้นว่าอยู่ในภาวะสมดุล ซึ่งมีอยู่ 2 เงื่อนไข คือ (1) วัตถุทั้งก้อนอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงด้วยอัตราเร็วคงที่ และ (2) วัตถุนั้นไม่หมุน หรือหมุนด้วยอัตราคงที่ วัตถุได้ชื่อว่าเป็นสภาวะสมดุลต่อการเลื่อนตำแหน่ง เมื่อไม่มีแรงสุทธิ (net force) กระทำต่อวัตถุ นั้น วัตถุที่อยู่ลักษณะสมดุลนี้จะไม่มี ความเร่ง และจะคงอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงด้วยอัตราเร็วคงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภาวะเดิมว่าเป็นอย่างไร

แรงเสียดทาน (μ) คือ เมื่อวัตถุอันหนึ่งเลื่อนไถลไปบนวัตถุอีกอันหนึ่ง ย่อมจะมีแรงต่อต้านการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสนั้น ๆ โดยมีทิศขนานกันผิวสัมผัส แรงต้านทานดังกล่าว เรียกว่า แรงเสียดทาน แรงเสียดทานนี้อาจจะเกิดขึ้นได้เมื่อยังไม่มี การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นด้วย เช่น ออกแรงในแนวระดับลากของหนัก ๆ ไปบนพื้นราบ ถ้าเราออกแรงไม่พอ ของก็ไม่เคลื่อนที่ ขณะนี้ก็จะ มีแรงต้านการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นด้วยขนาดเท่ากับแรงที่เราลาก จนกระทั่งเราออกแรงพอดีที่ทำให้วัตถุเริ่มเคลื่อนที่ แรงเสียดทานตอนนี้จะมีค่ามากที่สุดของวัตถุคู่นี้ ต่อเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่แล้ว เราไม่ต้องใช้แรงดึงมากเท่าที่กล่าว วัตถุก็ยังคงเคลื่อนที่ต่อไปได้ จึงเห็นได้ว่าเมื่อเคลื่อนที่แล้วแรงเสียดทานมีค่าลดลง

3.2 ลูกเบี้ยว (Cam)

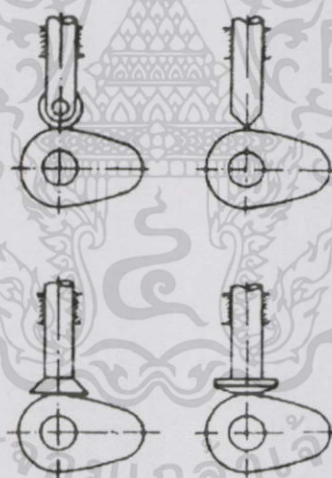
ลูกเบี้ยว หรือที่มักเรียกว่าตามศัพท์ภาษาอังกฤษกันว่า แคม (cam) จัดว่าเป็นส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องจักร ที่ทำให้สามารถทำงานหรือเคลื่อนที่ได้ในรูปแบบสม่ำเสมอและอาจนับได้ว่า เป็นหัวใจของเครื่องจักรกลหลายชนิดและ เป็นพื้นฐานของระบบทำงานอัตโนมัติแบบเบื้องต้นที่สุด เช่น ได้แก่ ระบบลูกเบี้ยวในเครื่องยนต์ของรถยนต์ ที่ทำหน้าที่เปิดและปิดวาล์วไอดี-ไอเสียตามจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ แม้ในปัจจุบันได้มีกาเอาระบบคอมพิวเตอร์มาใช้ในกระบวนการทำงานของเครื่องจักร หรือ ระบบ Computer Numerical Control (CNC) เครื่องจักร

มากมายในปัจจุบันก็ยังคงใช้ระบบลูกเบี้ยวเพื่อให้เกิดการทำงานแบบอัตโนมัติในจังหวัดการทำงานที่เหมาะสมและเข้ากันได้ระหว่างชิ้นส่วนเครื่องยนต์ต่าง ๆ

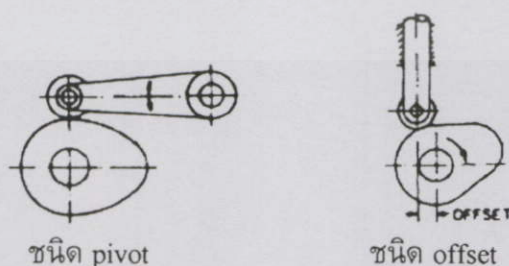
การทำงานของลูกเบี้ยวนั้น จะถูกกำหนดไว้โดย Cam Profile ซึ่งเมื่อกล่าวถึง Cam Profile แล้วโดยปกติมักจะเข้าใจว่า Cam Profile คือเส้นรอบรูป (outline) ของลูกเบี้ยว แต่ทว่า ความหมายนี้สามารถใช้ได้เฉพาะลูกเบี้ยวที่ส่งผ่านการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนหมุนเท่านั้น ดังนั้น Cam Profile จึงอาจนิยามได้ว่า เป็นรูปร่างของลูกเบี้ยวที่ทำให้ ตัวตาม (Follower) เคลื่อนที่ในรูปแบบที่กำหนดไว้ โดยตัวตามคือ ชิ้นต่อโยงส่วนหนึ่งของระบบเคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับลูกเบี้ยวตามที่กำหนดไว้โดย Cam Profile ตัวตามอาจเคลื่อนในลักษณะเป็นเส้นตรง เส้นโค้ง หรือ 3 มิติก็ได้ ส่วนที่สัมผัสระหว่างลูกเบี้ยวและตัวตามอาจมีลักษณะเป็นจุดหรือเป็นเส้น และรูปแบบของการสัมผัส อาจเป็นการสัมผัสแบบเลื่อนไถล (sliding contact) หรือ การสัมผัสแบบหมุน (rolling contact) โดยที่ตัวตามมักจะถูกบังคับให้กดแนบอยู่กับ Cam Profile โดยแรงสปริง หรือที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยแรงกด เพราะว่ามี การเคลื่อนที่ไปตามแนวร่องของลูกเบี้ยวที่บังคับไว้

ชนิดของลูกเบี้ยว ในปัจจุบันลูกเบี้ยวที่นิยมใช้ในเครื่องจักรกลมีอยู่ 4 ชนิด

3.2.1 ลูกเบี้ยวรัศมี (Radial Cam) จะเป็นลูกเบี้ยวที่พบมากที่สุด และยังสามารถแบ่งออกตามลักษณะของตัวตามได้อีก 3 ชนิด คือ ชนิด in-line ชนิด offset และชนิด pivot ดังรูป 3.1



ชนิด in-line



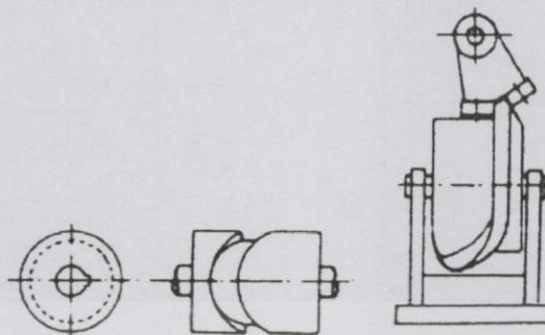
ชนิด pivot

ชนิด offset

รูปที่ 3.1 ลักษณะของตัวตามได้อีก 3 ชนิด คือ ชนิด in-line ชนิด offset และชนิด pivot

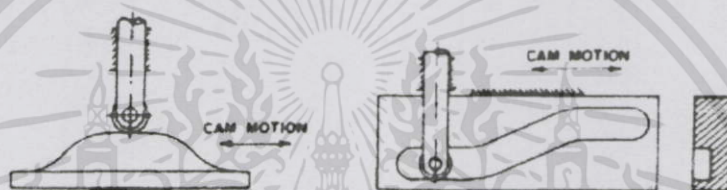
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ลูกเบี้ยวทรงกระบอก (cylindrical cam หรือ drum cam) คังรูป 3.2



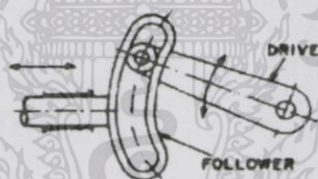
รูปที่ 3.2 ลักษณะของตัวตามลูกเบี้ยวทรงกระบอก(cylindrical cam หรือ drum cam)

3.2.3 ลูกเบี้ยวเชิงเส้น (linear cam) คังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะของตัวตามลูกเบี้ยวเชิงเส้น (linear cam)

3.2.4 ลูกเบี้ยวแบบ positive action คังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะของตัวตามลูกเบี้ยว แบบ positive action

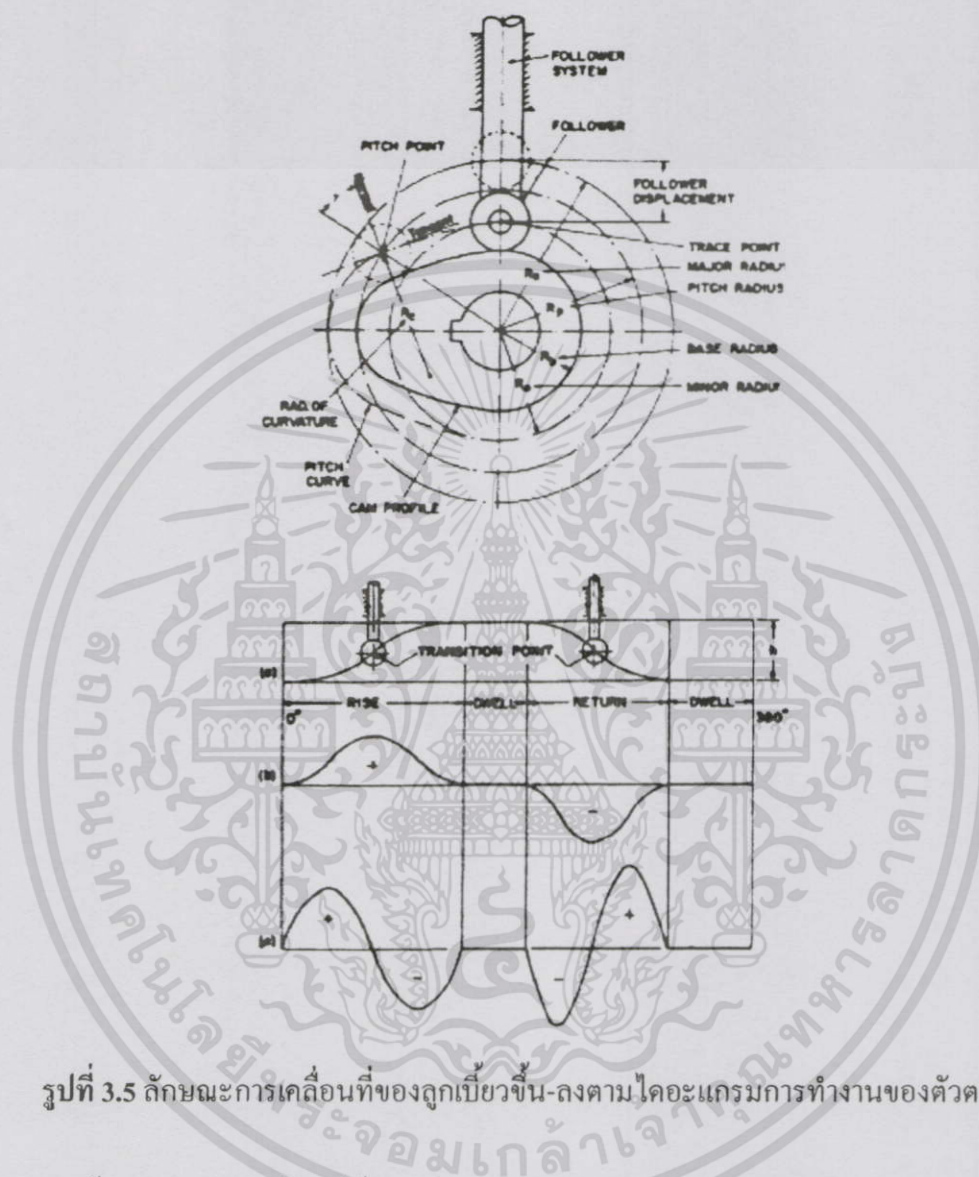
การเคลื่อนที่ของตัวตามจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของลูกเบี้ยว การออกแบบลูกเบี้ยวให้สามารถถ่ายทอดการเคลื่อนที่ตามความต้องการนั้นจำเป็นจะต้องกำหนดการเคลื่อนที่ ที่ต้องการให้แน่นอนลงไปว่า เมื่อลูกเบี้ยวเคลื่อนที่ไปจำนวนเท่าใด จะต้องทำให้ตัวตามเคลื่อนที่ไปเท่าใด โคอะแกรมการเคลื่อนที่ที่กำหนดขึ้น โดยนำเอาระยะเคลื่อนที่ของตัวตามมาเขียนเป็นเส้นกราฟเปรียบเทียบกับเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว (ถ้าเป็นลูกเบี้ยวรัศมีก็จะใช้จำนวนมุมที่ลูกเบี้ยวหมุนไป) หรือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

สำหรับการเคลื่อนที่ของตัวตามนั้น อาจแบ่งออกได้เป็นช่วงต่างๆ ในระหว่างการหมุนของลูกเบี้ยวคือ

ช่วงขึ้น (rise) เป็นช่วงที่ตัวตามเคลื่อนที่ห่างออกจากจุดหมุนของลูกเบี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงลง (fall) เป็นช่วงที่ตัวตามเคลื่อนที่เข้าหาจุดหมุนของลูกเบี้ยว
 ช่วงพัก (dwell) เป็นช่วงที่ตัวตามหยุดนิ่ง ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวขึ้น-ลงตาม โคอะแกรมการทำงานของตัวตาม

แกนตั้งแสดงถึงการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวตาม (lift) ส่วนแกนอนแสดงถึงเส้นรอบรูปของลูกเบี้ยวที่ถูกแบ่งออกเป็นช่วงต่าง ๆ (cam angle) เพื่อแสดงถึงการขจัดเชิงมุมที่ลูกเบี้ยวหมุน และเนื่องจากว่า ลูกเบี้ยวโดยทั่วไปจะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ ดังนั้นแกนอนจึงยังหมายถึงช่วงเวลาได้อีกด้วย อนึ่ง ให้สังเกตด้วยว่า ฟังการขจัดแสดงถึงการขจัดของตัวตามเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงลักษณะของการสัมผัสระหว่างลูกเบี้ยวและตัวตาม

รูปร่างฟังการขจัดนับว่า เป็นสิ่งที่กำหนดการเคลื่อนที่ของตัวตาม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วรูปร่างของ ฟังการขจัดจะถูกกำหนดขึ้นจากความต้องการของระบบ แต่อย่างไรก็ตาม วิศวกรจำเป็นต้องคำนึงถึง มุมกด, ความเร็ว และความเร่งของตัวตามด้วย กล่าวคือ พลศาสตร์ของระบบจะต้องได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาก่อนที่จะสร้างผังการจัดขึ้นมา ผังการจัดของระบบหนึ่งอาจไม่เหมาะสมกับอีก ระบบหนึ่งก็ได้ เช่น ผังการจัดที่ออกแบบมาสำหรับระบบขนาดใหญ่ และเคลื่อนที่ช้า จะไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบที่ต้องการความเร็วสูง

3.3 รูปแบบพื้นฐานส่วนโค้งลูกเบี้ยวของไคอะแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตาม

รูปแบบพื้นฐานของไคอะแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตามที่พบโดยทั่วไป ได้แก่

3.3.1 แบบความเร็วคงที่ (Uniform-velocity)

3.3.2 แบบ (Simple harmonic motion)

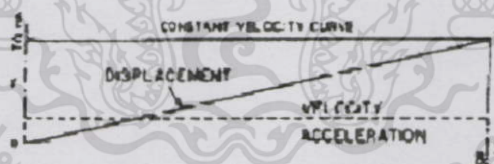
3.3.3 แบบอัตราเร่งคงที่ (Uniform-acceleration)

3.3.4 แบบความเร็วคงที่ที่ดัดแปลง (Modified uniform-velocity)

3.3.5 แบบไซโคครอด (Cycloidal motion)

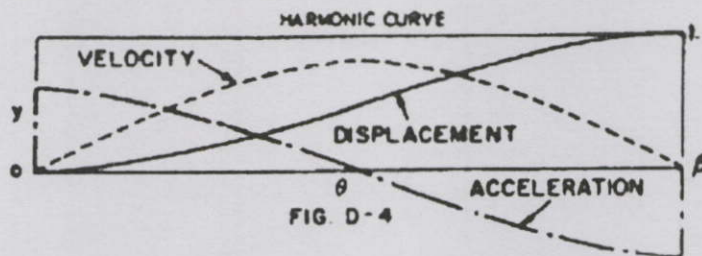
ไคอะแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตามจะอธิบายดังต่อไปนี้

3.3.1 แบบความเร็วคงที่ (Uniform-velocity) ถ้าตัวตามเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ไคอะแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตามจะต้องเป็นเส้นตรง เพื่อให้ความชันมีค่าเท่ากันตลอด ลักษณะของไคอะแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตามแบบความเร็วคงที่ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 การเคลื่อนที่ของตัวตามแบบนี้จะใช้กับงานที่ไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก และมีความเร็วต่ำ ตรงจุดเริ่มต้นไคอะแกรมและจุดปลายของไคอะแกรมจะมีอัตราเร่งสูง ทำให้ตัวตามกระโดดออกจากลูกเบี้ยวได้ การเคลื่อนที่ที่แท้จริงจะไม่เป็นไปตามไคอะแกรม เพราะลักษณะของลูกเบี้ยวจะมีความมนเล็กน้อย ตรง 2 จุดนี้



รูปที่ 3.6 การสร้างไคอะแกรมการเคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่

3.3.2 แบบ (Simple harmonic motion) ในกรณีที่ต้องการให้ตัวตามเคลื่อนที่เป็น Simple harmonic motion ไคอะแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตามจะต้องเป็นไปตามรูปที่ 3.7 ระยะที่ตัวตามเคลื่อนที่ไปทั้งหมด จะสังเกตได้ว่าสำหรับไคอะแกรมแบบนี้ เราจะต้องแบ่งช่วงการหมุนของลูกเบี้ยวออกเป็นช่วงจำนวนเท่ากับการแบ่งเส้นรอบวงของครึ่งวงกลม



รูปที่ 3.7 การสร้างไดอะแกรมการเคลื่อนที่แบบ Harmonic

3.3.3 แบบอัตราเร่งคงที่ (Uniform-acceleration) ถ้าต้องการให้ตัวตามเคลื่อนที่โดยมีอัตราเร่งคงที่ ไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตามจะต้องเป็นไปตามรูปที่ 3.8 การสร้างไดอะแกรมในรูปนี้ทำได้โดยแบ่งช่วงการหมุนของลูกเบี้ยวออกเป็นช่วงที่เท่ากันตลอด แต่การแบ่งช่วงของการเคลื่อนที่ของตัวตามจะต้องแบ่งออกตามสูตร

$$S = t^2 \tag{3.1}$$

เมื่อ S = ระยะการเคลื่อนที่ของตัวตาม
 t = ค่าค้ำที่ของเส้นที่แบ่งการหมุนของลูกเบี้ยว

เส้นกราฟในรูปที่ 3.8 เขียนเป็นเส้นทึบไว้ครั้งเดียว สำหรับครึ่งบนที่เป็นเส้นประสร้างได้ในวิธีเดียวกัน แต่จะต้องกลับกับการสร้างเส้นกราฟครึ่งล่างการสร้างไดอะแกรมการเคลื่อนที่แบบอัตราเร่งคงที่อีกวิธีหนึ่ง ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.8 ในรูปนี้แกนตั้งจะแบ่งออกเป็นช่วงที่เท่ากันตลอด เช่นเดียวกับการแบ่งแกนนอน

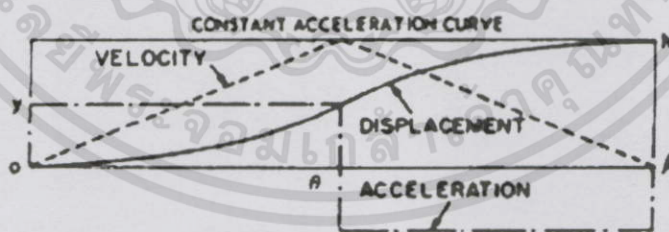


FIG D-2



CONSTRUCTION DIAGRAM-CONSTANT ACCELERATION

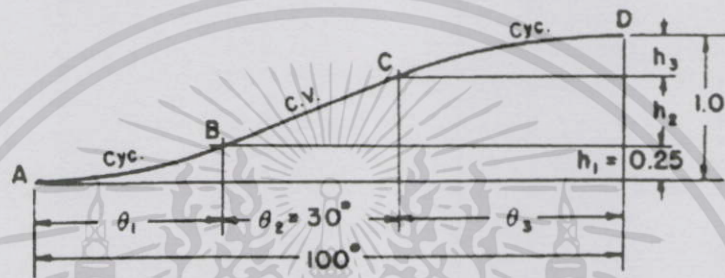
รูปที่ 3.8 การสร้างไดอะแกรมการเคลื่อนที่แบบ Uniform-acceleration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 แบบความเร็วคงที่ตัดแปลง ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการเคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่ จะทำให้เกิดการเริ่มต้นและหยุดอย่างทันทีทันใด ซึ่งจะให้อัตราเร่งมีค่าสูงมาก การเคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่จึงมักจะตัดแปลงในช่วงเริ่มต้น และช่วงสุดท้าย เป็นเส้นโค้งเล็กน้อย การสร้างไคอะแกรมการเคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่ที่ตัดแปลง มีอยู่ 2 วิธี คือ

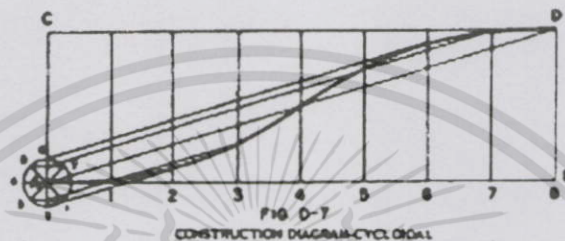
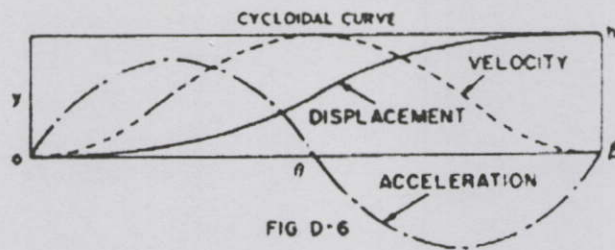
3.3.4.1 ทำให้เส้นกราฟช่วงเริ่มต้น แล่งสุดท้ายเป็นส่วนโค้ง

3.3.4.2 ทำให้เส้นกราฟช่วงเริ่มต้นเป็นแบบอัตราคงที่ และช่วงสุดท้ายเป็นแบบอัตราหน่วงคงที่



รูปที่ 3.9 การสร้างไคอะแกรมการเคลื่อนที่แบบความเร็วคงที่ตัดแปลง

3.3.5 แบบไซโครครอต (Cycloidal motion) ในกรณีที่ต้องการให้ตัวตามเคลื่อนที่แบบ cycloidal motion ไคอะแกรมจะเคลื่อนที่ของตัวตามจะต้องเป็นไปตามรูป 3.9 วงกลมที่นำมาแบ่งเป็นส่วน ๆ เพื่อลากเส้นฉายไปสร้างเส้นกราฟ จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับระยะเคลื่อนตัวทั้งหมดของลูกเบี้ยวหารด้วย π คือ $d = \frac{S}{\pi}$ เส้นรอบวงของวงกลมนี้จะถูกแบ่งส่วนเท่า ๆ กัน และจำนวนส่วนที่แบ่งจะต้องตรงกับจำนวนการหมุนของลูกเบี้ยวด้วย



รูปที่ 3.10 การสร้างโคเอแกรมการเคลื่อนที่แบบ Cycloidal motion

3.4 รูปแบบการพัฒนาส่วนโค้งลูกเบี้ยวของโคเอแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตาม

รูปแบบการพัฒนาส่วนโค้งลูกเบี้ยวของโคเอแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตามที่พบ โดยทั่วไป ได้แก่

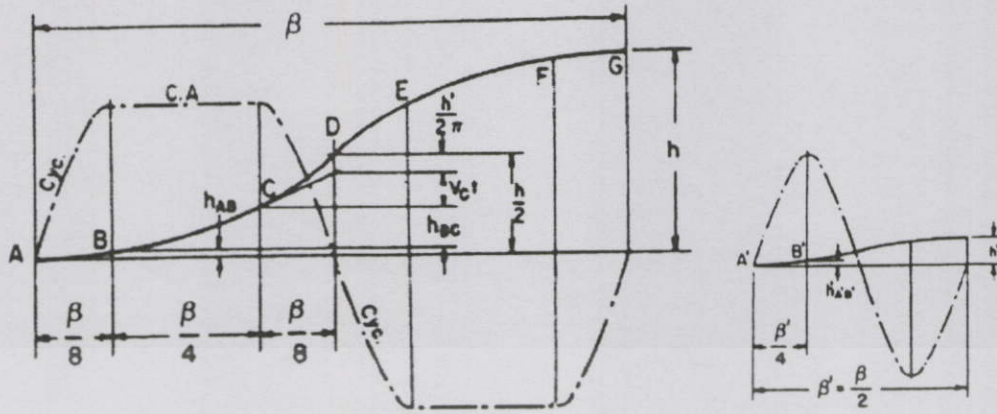
3.4.1 แบบ Modified Trapezoid

3.4.2 แบบ Modified Sine

3.4.3 แบบ Polynomial

โคเอแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตามจะอธิบายดังต่อไปนี้

3.4.1 แบบ Modified Trapezoid เป็นส่วนโค้งที่เกิดจากการรวมกันระหว่าง Cycloidal กับ Constant Acceleration โดยมีค่าความเร่งที่ต่ำกว่า Cycloidal และยังรักษาความเร่งคงที่เท่ากับค่าสูงสุดของส่วนโค้ง Cycloidal ในลักษณะของแรงกระทำที่เกิดขึ้น จะมีค่ามากที่สุดเป็นบวก และน้อยสุดเป็นค่าลบที่เท่ากัน ดังนั้นช่วง 1 คาบเวลาจะทำการแบ่งเป็น 8 ช่อง โดยช่วงเวลาแรกจะเริ่มต้นด้วยส่วนโค้งของสมการ Cycloidal $\frac{\beta}{8}$ และช่วง Constant Acceleration มาเป็น $\frac{\beta}{4}$ ตามมาด้วย $\frac{\beta}{8}$ ของ Cycloidal จะแสดงดังรูป 3.11



รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่แบบ Modified Trapezoid

โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้ จากตารางภาคผนวก ระยะขจัดของ Cycloidal จุดที่ 30 จะได้ค่า β' เท่ากับ

$$h'_{A'B'} = 0.09085h' \quad (3.2)$$

$$\text{เมื่อ } h'_{A'B'} = h_{AB}$$

$$h'_{AB} = 0.09085h' \quad (3.3)$$

เมื่อความเร็วของ β' เท่ากับความเร็วของ β จากความสัมพันธ์ที่ 1 รอบต่อนาที

$$v_B = C_v h' \left(\frac{6N}{\beta'} \right) = 1.0h' \frac{6}{0.5\beta} = \frac{12h'}{\beta} \quad (3.4)$$

จากความสัมพันธ์ทางอนุพันธ์ ค่า β' จะเท่ากับ β

$$a_B = C_a h' \left(\frac{6N}{\beta'} \right)^2 = 6.2832h' \left(\frac{6}{0.5\beta} \right)^2 = 6.2832h' \left(\frac{12}{\beta} \right)^2 \quad (3.5)$$

จากสมการ Constant Acceleration

$$h_{BC} = v_B t + 0.5a_B t^2 \quad (3.6)$$

แต่

$$t = \frac{0.25\beta}{6N} = \frac{\beta}{24} \quad (3.7)$$

ทำการร่วมสมการ (3.4), (3.5) และ (3.7) ในสมการที่ (3.6) จะได้

$$h_{BC} = 1.2854h' \quad (3.8)$$

ทำการหาค่าระยะขจัดจากจุด D จากสมการ Constant Acceleration

$$v_C = v_B + a_B t \quad (3.9)$$

หักล้างสมการ (3.4) และ (3.5)

$$v_C = 4.1416h' \left(\frac{12}{\beta} \right)$$

จากโครงสร้างเส้นโค้งของ Cycloidal ระยะขจัดจะร่วมกับการทำงานของ Constant Velocity และ harmonic ตามทฤษฎีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_{CD} = v_c t + \frac{h'}{2\pi}$$

ในคาบเวลา C และ D เป็น $0.125 \frac{\beta}{6}$ จะทำการร่วมกับสมการที่ 8 จะได้

$$h_{CD} = 1.19455h' \quad (3.10)$$

ดังนั้น

$$h_{AB} + h_{BC} + h_{CD} = 0.5h$$

แทนค่าจะได้

$$0.09085h' + 1.2854h' + 1.19455h' = 0.5h$$

ดังนั้น

$$h' = 0.1945h \quad (3.11)$$

จากสมการที่ (3.3) จะได้

$$h_{AB} = 0.0177h \quad (3.12)$$

จากสมการที่ (3.8) จะได้

$$h_{BC} = 0.2500h \quad (3.13)$$

จากสมการที่ (3.10) จะได้

$$h_{CD} = 0.2323h \quad (3.14)$$

ลักษณะของส่วนโค้ง Modified Trapezoid หาได้จากสมการต่อไปนี้

จากส่วนโค้ง A ถึง B

$$K = 0.3890 \frac{\theta}{\beta} - 0.03095 \sin 4\pi \frac{\theta}{\beta} \quad (3.15)$$

$$C_v = 0.3890 - 0.3890 \cos 4\pi \frac{\theta}{\beta} \quad (3.16)$$

$$C_a = 4.88812 \sin 4\pi \frac{\theta}{\beta} \quad (3.17)$$

จากส่วนโค้ง B ถึง C

$$K = 2.44406 \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2 - 0.22203 \frac{\theta}{\beta} + 0.00723 \quad (3.18)$$

$$C_v = 4.88812 \frac{\theta}{\beta} - 0.22203 \quad (3.19)$$

$$C_a = 4.88812 \quad (3.20)$$

จากส่วนโค้ง C ถึง D

$$K = 1.61102 \frac{\theta}{\beta} - 0.03095 \sin \left(4\pi \frac{\theta}{\beta} - \pi \right) - 0.30551 \quad (3.21)$$

$$C_v = 1.61102 - 0.38898 \cos \left(4\pi \frac{\theta}{\beta} - \pi \right) \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_a = 4.88812 \sin\left(4\pi \frac{\theta}{\beta} - \pi\right) \quad (3.23)$$

จากส่วนโค้ง D ถึง E

$$K = 1.61102 \frac{\theta}{\beta} + 0.03095 \sin\left(4\pi \frac{\theta}{\beta} - 2\pi\right) - 0.30551 \quad (3.24)$$

$$C_v = 1.61102 + 0.38898 \cos\left(4\pi \frac{\theta}{\beta} - 2\pi\right) \quad (3.25)$$

$$C_a = -4.88812 \sin\left(4\pi \frac{\theta}{\beta} - 2\pi\right) \quad (3.26)$$

จากส่วนโค้ง E ถึง F

$$K = 4.66609 \frac{\theta}{\beta} - 2.44406 \left(\frac{\theta}{\beta}\right)^2 - 1.22927 \quad (3.27)$$

$$C_v = 4.66609 - 4.88812 \frac{\theta}{\beta} \quad (3.28)$$

$$C_a = -4.88812 \quad (3.29)$$

จากส่วนโค้ง F ถึง G

$$K = 0.61102 + 0.38898 \frac{\theta}{\beta} + 0.03095 \sin\left(4\pi \frac{\theta}{\beta} - 3\pi\right) \quad (3.30)$$

$$C_v = 0.38898 + 0.38898 \cos\left(4\pi \frac{\theta}{\beta} - 3\pi\right) \quad (3.31)$$

$$C_a = -4.88812 \sin\left(4\pi \frac{\theta}{\beta} - 3\pi\right) \quad (3.32)$$

3.4.2 แบบ Modified Sine เป็นส่วนโค้งที่เกิดขึ้นจากการรวมกันระหว่าง Cycloidal กับ Harmonic โดยมีค่าความเร่งที่เกิดขึ้นมากกว่า Modified Trapezoid แต่น้อยกว่า Cycloidal ในการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะของส่วนโค้งจะมีค่าที่ดี เพราะมีช่วงเวลาที่ยาวนาน เหมาะสำหรับงานที่ใช้ในการหมุนเป็นจังหวะ ในการพัฒนารูปแบบนี้ขึ้นจะทำการเหมือนกับการพัฒนา Modified Trapezoid โดยแบ่งเป็นช่วงคาบเวลาเป็น 8 ช่วงคาบเวลา โดยเริ่มต้นจากช่วงเวลาแรกเป็นส่วนโค้งสมการ Cycloidal $\frac{\beta}{8}$ และช่วงต่อมาเป็นคาบเวลาของสมการ Harmonic $\frac{3\beta}{4}$ และช่วงสุดท้ายเป็นคาบเวลาของสมการ Cycloidal $\frac{\beta}{8}$ อีกครั้ง จะแสดงดังรูป 3.12

$$a_B = C_a h' \left(\frac{6N}{\beta'} \right)^2 = 6.2832 h' \left(\frac{12}{\beta} \right)^2 \quad (3.40)$$

ทำการรวมกันระหว่างสมการที่ (3.39), (3.40) จะได้

$$h'' = 2.86478 h' \quad (3.41)$$

นำสมการที่ (3.41) มาหักล้างกันในสมการที่ (3.38) จะได้

$$h_{BC} = 2.09239 h' \quad (3.42)$$

ดังนั้น

$$h_{AB} + h_{BC} = 0.5h$$

จากสมการที่ (3.34) และ (3.42) จะได้

$$0.09085 h' + 2.09239 h' = 0.5h \quad (3.43)$$

จากสมการที่ (3.41) จะได้

$$h'' = 0.63011 h \quad (3.44)$$

จากสมการที่ (3.34) จะได้

$$h_{AB} = 0.01998 h \quad (3.45)$$

จากสมการที่ (3.42) จะได้

$$h_{BC} = 0.48002 h \quad (3.46)$$

ลักษณะของส่วนโค้ง Modified Sine หาได้จากสมการต่อไปนี้

จากส่วนโค้ง A ถึง B

$$K = 0.43990 \frac{\theta}{\beta} - 0.03501 \sin 4\pi \frac{\theta}{\beta} \quad (3.47)$$

$$C_r = 0.43990 \left(1 - \cos 4\pi \frac{\theta}{\beta} \right) \quad (3.48)$$

$$C_a = 5.528 \sin 4\pi \frac{\theta}{\beta} \quad (3.49)$$

จากส่วนโค้ง B ถึง D

$$K = 0.43990 \frac{\theta}{\beta} - 0.31505 \cos \left(\frac{4\pi \theta}{3\beta} - \frac{\pi}{6} \right) + 0.28005 \quad (3.50)$$

$$C_v = 0.43990 + 1.31967 \sin \left(\frac{4\pi \theta}{3\beta} - \frac{\pi}{6} \right) \quad (3.51)$$

$$C_a = 5.528 \cos \left(\frac{4\pi \theta}{3\beta} - \frac{\pi}{6} \right) \quad (3.52)$$

จากส่วนโค้ง D ถึง E

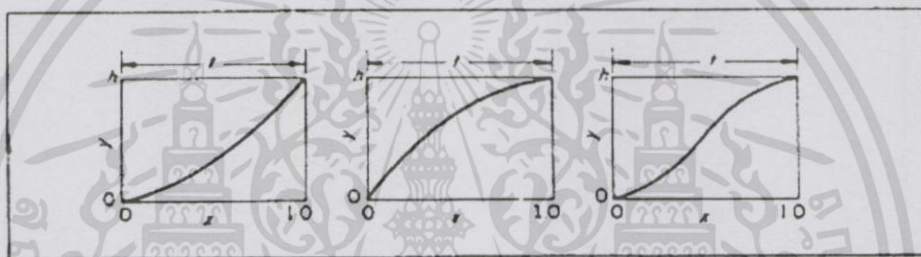
$$K = 0.56010 + 0.43990 \frac{\theta}{\beta} - 0.03501 \sin 2\pi \left(2 \frac{\theta}{\beta} - 1 \right) \quad (3.53)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_r = +0.43990 \left[1 - \cos 2\pi \left(2 \frac{\theta}{\beta} - 1 \right) \right] \quad (3.54)$$

$$C_a = +5.528 \sin 2\pi \left(2 \frac{\theta}{\beta} - 1 \right) \quad (3.55)$$

3.4.3 แบบ Polynomial เป็นส่วนโค้งที่เกิดขึ้นจากสมการที่ยกกำลังตามรูปแบบส่วนโค้งของสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความสัมพันธ์กับเวลา ในส่วนโค้งที่ใช้สมการ Polynomial ของลูกเบี้ยว นั้นจะเป็นตัวเลขที่ยกกำลังที่สูงตั้งแต่ 4, 5, 6 ขึ้นไป เพื่อจะได้ค่าที่ราบเรียบและลดการกระตุกจากค่าความเร็วที่เกิดขึ้นของส่วนโค้งได้ โดยเริ่มต้นจากระยะขจัด $y_0 = 0$ และจุดสูงสุดของการเคลื่อนที่ $y_F = h$ แสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.13 ระยะขจัดที่เกิดขึ้นจากสมการ แบบ Polynomial

จากสมการ Polynomial ที่มีเลขยกกำลังที่ 6 ของเงื่อนไข จะได้

$$y = C_0 + C_1x + C_2x^2 + C_3x^3 + C_4x^4 + C_5x^5 \quad (3.56)$$

จากอนุพันธ์ของสมการค่าของความเร็วจะได้ $\left(\frac{dy}{dt} \right)$ และค่าความเร็วของสมการจะได้ $\left(\frac{d^2y}{dt^2} \right)$ และ

การกระตุกของสมการจะได้ $\left(\frac{d^3y}{dt^3} \right)$ จะแสดงได้ดังนี้

$$y = H_1h + H_2v_0t + H_3v_Ft + H_4a_0t^2 + H_5a_Ft^2 \quad (3.57)$$

$$\frac{dy}{dt} = v_1 \frac{h}{t} + V_2v_0 + V_3v_F + V_4a_0t + V_5a_Ft \quad (3.58)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = A_1 \frac{h}{t^2} + A_2 \frac{v_0}{t} + A_3 \frac{v_F}{t} + A_4a_0 + A_5a_F \quad (3.59)$$

$$\frac{d^3y}{dt^3} = P_1 \frac{h}{t^3} + P_2 \frac{v_0}{t^2} + P_3 \frac{v_F}{t^2} + P_4 \frac{a_0}{t} + P_5 \frac{a_F}{t} \quad (3.60)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ v_0 จะเท่ากับ ความเร็วที่เริ่มต้น และ v_F จะเป็นความเร็วที่สุดท้าย เหมือนกับ a_0 จะเท่ากับ ความเร่งเริ่มต้น และ a_F จะเป็นความเร่งที่สุดท้าย ดังนั้น

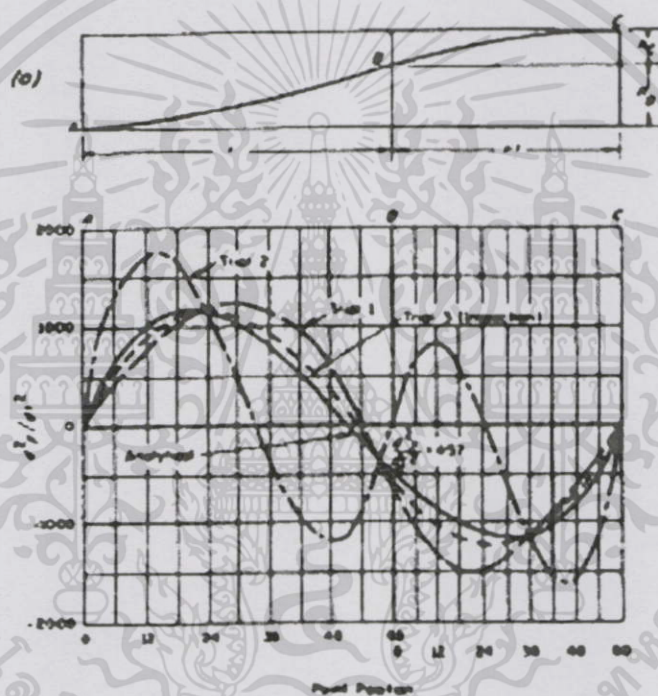
$$H_1 = 10x^3 - 15x^4 + 6x^5 \quad (3.61)$$

$$H_2 = x - 6x^3 + 8x^4 - 3x^5 \quad (3.62)$$

$$H_3 = -4x^3 + 7x^4 - 3x^5 \quad (3.63)$$

$$H_4 = \frac{x^2}{2} - \frac{3x^3}{2} + \frac{3x^4}{2} - \frac{x^5}{2} \quad (3.64)$$

$$H_5 = \frac{x^3}{2} - x^4 + \frac{x^5}{2} \quad (3.65)$$



รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่แบบ Polynomial

ความสำคัญของสมการที่ 3.61 ถึงสมการที่ 3.65 พบว่า

3.4.3.1 จากสมการเมื่อ v_0 , v_F , a_0 และ a_F เป็นศูนย์ ความเร่งที่เกิดขึ้นเป็น ฟังก์ชัน Sine เหมาะสมกับส่วนโค้ง Cycloidal

3.4.3.2 จากสมการเมื่อ $v_0 = 0$, $v_F = 0$, $a_0 = \pi^2 h / 2t^2$ และ $a_F = -\pi^2 h / 2t^2$ ความเร่งจะเป็นฟังก์ชัน Cosine เหมาะสมกับส่วนโค้ง Harmonic

3.4.3.3 จากสมการเมื่อ $v_0 = v_F = h/t$ และ a_0 และ $a_F = 0$ สมการการเคลื่อนที่ จะเป็น Constant Velocity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.4 จากสมการเมื่อ $v_0 = 0, v_F = h/t$ และ $a_0 = a_F = 2h/t^2$ ผลที่ได้จะเป็น
บวกของสมการ Constant Velocity

3.4.3.5 จากสมการเมื่อ $v_0 = 0, v_F = 2h/t$ และ $a_0 = a_F = -2h/t^2$ ผลที่ได้จะ
เป็นลบของสมการ Constant Velocity

3.5 พื้นฐานของการออกแบบส่วนโค้งของลูกเบี้ยว

ส่วนโค้งของลูกเบี้ยวจะเป็นตัวกำหนดของเส้นทางเดินของลูกกลิ้งตัวตาม ดังนั้นวิธีการหา
จุดบนส่วนโค้งจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อระยะขจัด ความเร็ว ความเร่ง โดยจุดแต่ละจุดของส่วนโค้งยัง
กำหนดความแม่นยำของตำแหน่ง และความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ ในการหาระยะส่วนโค้งแต่ละ
จุด จะได้สมการพื้นฐานทั้ง Cycloidal, Harmonic, Constant Velocity, Constant Acceleration
หรือสมการที่ได้จากการพัฒนาส่วนโค้ง ได้แก่ Modified Trapezoid, Modified Sine, Polynomial
อื่น ๆ อีก แต่ละสมการจะได้สรุปไว้ในตารางภาคผนวก เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานขึ้น โดยใช้
ตารางที่จัดทำไว้ให้นำมาเข้ากับสมการ เพื่อหาจุดแต่ละจุด ดังต่อไปนี้

$$y = kh \quad (3.66)$$

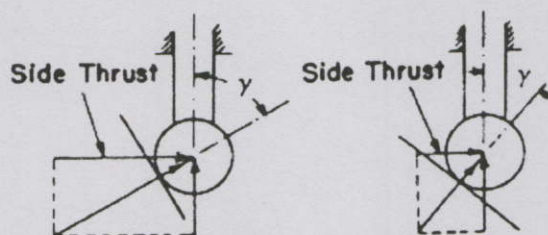
$$R_n = R_0 + y \quad (3.67)$$

$$\theta_n = n \frac{B}{N} \quad (3.68)$$

จำนวนจุดที่เกิดขึ้นบนส่วนโค้ง ของสมการส่วนโค้งจะหาได้จากสมการ

$$\Delta\theta = \frac{9}{rc} \sqrt{R_g} \quad (3.69)$$

3.5.1 มุมกดลูกเบี้ยว (pressure angle) มุมกดในระบบลูกเบี้ยว คือ มุมระหว่างแนวการ
เคลื่อนที่ของตัวตาม กับเส้นที่ตัดฉากกับผิวของลูกเบี้ยว ณ จุดสัมผัส ถ้ามุมกดมีขนาดใหญ่มากขึ้น
จะส่งผลให้เกิดแรงกระทำที่เบร้งของตัวตามมากขึ้น ทำให้ในระบบลูกเบี้ยวขนาดใหญ่ที่มีการ
ถ่ายทอดแรงขนาดใหญ่ไปยังตัวตามนิยมนำให้มีมุมกดขนาดเล็กเพื่อลดแรงที่กระทำกับเบร้ง ของตัว
ตาม โดยทั่วไปแล้ว จะนิยมนำให้มีมุมกดมีขนาดไม่เกิน 35°

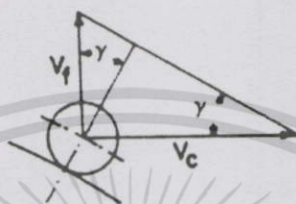


รูปที่ 3.15 ค่าของความเร็วที่เกิดขึ้นจากมุมกดระหว่างลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างช่วงขึ้นและช่วงลงของตัวตาม มุมกดจะมีผลในช่วงขึ้นมากกว่าในช่วงลง เนื่องจากในช่วงขึ้น ลูกเบี้ยวต้องออกแรงกระทำกับตัวตามเพื่อดันตัวตามขึ้น ทำให้มีแรงปฏิกิริยาระหว่างลูกเบี้ยวกับตัวตามสูงในขณะนั้น แต่ในช่วงลง แรงที่เกิดเกิดจากแรงของสปริงที่ตัวตามแบบหน้าสัมผัสเรียบ ในการคำนวณมุมกดลูกเบี้ยวจึงหาได้จากสมการ

$$\tan \gamma = \frac{V_f}{V_c} \quad (3.70)$$



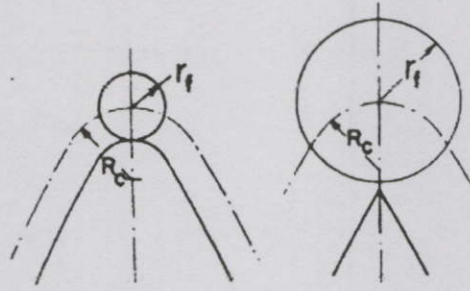
รูปที่ 3.16 มุมกดที่เกิดจากความเร็วที่ได้จากระยะขจัด

ดังนั้นความเร็วที่ได้จากระยะขจัดมารวมกับสมการ (15) จะ ได้สมการดังนี้

$$\tan \gamma = \frac{57.3C_v h}{R_n \beta} \quad (3.71)$$

มุมกดสามารถทำให้มีขนาดเล็กลงได้โดย

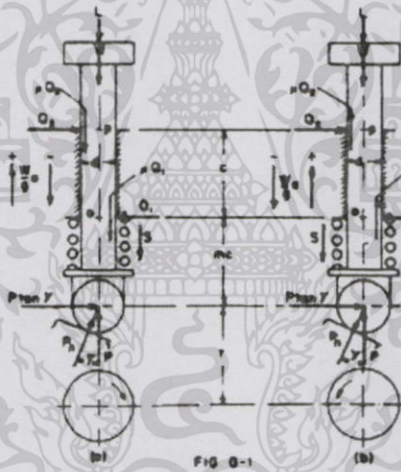
- 3.5.1.1 เพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมฐาน ซึ่งมีผลกระทบให้ลูกเบี้ยวมีขนาดใหญ่ขึ้น
 - 3.5.2.2 เพิ่มระยะขจัดเชิงมุมของลูกเบี้ยวที่กระทำในช่วงขึ้นของตัวตาม แต่วิธีนี้ ไม่สามารถกระทำได้ในหลายกรณีเนื่องจากข้อจำกัดจากความต้องการในการออกแบบ
 - 3.5.2.3 ลดระยะเยื้อง (offset) ของตัวตาม โดยแนะนำให้เลือกที่จะเยื้องตัวตามออกไปทางด้านของลูกเบี้ยวที่ทำให้เกิดการเริ่มการเคลื่อนที่ขึ้น เพื่อที่จะลดขนาดของมุมกดในช่วงนั้น
- รัศมีของวงกลมพิทช์ (pitch circle) ซึ่งมีค่าเท่ากับ รัศมีของวงกลมฐาน (R_b) บวกด้วยรัศมีของตัวตาม (R_f) สำหรับระยะขจัดเชิงมุมค่าน้อย ๆ หรือ $d\theta$ ตัวตามจะเคลื่อนที่ขึ้นด้วยระยะ ds และหากประมาณระยะขจัดในแนวอนของจุดศูนย์กลางของตัวตามด้วย (R) ($d\theta$) จะได้ มุมกดเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวตาม เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวตามนั้น มีผลกระทบโดยตรงต่อรูปร่างของ Cam profile กล่าวคือ ถ้าตัวตามมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่มากเกินไป อาจจะทำให้ Cam profile มีลักษณะเป็นมุมแหลมหรือแม้กระทั่งเป็น Loop ขึ้นได้ ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ ดังนั้นโดยทั่วไปแล้ว เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวตาม จะถูกจำกัดให้มีขนาดไม่ใหญ่กว่ารัศมีความโค้งของ Cam profile



รูปที่ 3.17 ผลกระทบของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของตัวตาม

3.5.2 การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นของลูกเบี้ยว

ในแรงกระทำที่เกิดขึ้นจะประกอบไปด้วย แรงภายใน (inertial force) น้ำหนักของมวลที่เคลื่อนที่ (weight of elements) , แรงภายนอกกระทำ (external load) ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (friction) ระหว่างหน้าสัมผัสของส่วนโค้งลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้ง



รูปที่ 3.18 การวิเคราะห์แรงที่เกิดขึ้นของลูกเบี้ยว

จากกฎของนิวตัน แรงทั้งหมดที่เกิดจากทิศทางของความเร่ง ดังสมการดังนี้

$$\sum F_h = 0 = Q_1 - Q_2 - P \tan \gamma \quad (3.72)$$

$$\sum F_v = \pm \frac{W}{g} a = P - W - L - S \mu (\mu Q_1 + \mu Q_2) \quad (3.73)$$

$$P = \pm \frac{W}{g} a + W + L + S \pm (\mu Q_1 + \mu Q_2) \quad (3.74)$$

$$\sum M_o = 0 = (P \tan \gamma) mc - Q_2 c \mu 0.5 \mu Q_1 d \pm 0.5 \mu Q_2 d \quad (3.75)$$

$$\sum M_p = 0 = (P \tan \gamma) (mc + c) - Q_1 c \mu 0.5 \mu Q_1 d \pm 0.5 \mu Q_2 d \quad (3.76)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(P \tan \gamma)mc - Q_2c = 0 \quad (3.77)$$

$$(P \tan \gamma)(mc + c) - Q_1c = 0 \quad (3.78)$$

$$Q_2 = (P \tan \gamma)m \quad (3.79)$$

$$Q_1 = (P \tan \gamma)(m + 1) \quad (3.80)$$

$$P = \frac{\pm(W/g)\alpha + W + L + S}{1 \pm \mu(2m + 1)\tan \gamma} \quad (3.81)$$

$$P = \frac{\pm(W/g)\alpha + W + L + S}{1 \pm f} \quad (3.82)$$

$$P_n = \frac{P}{\cos \gamma} \quad (3.83)$$

$$T = rP \tan \gamma \quad (3.84)$$

3.6 สรุปการออกแบบส่วนโค้งลูกเบี้ยว ดังต่อไปนี้

3.6.1 หาระยะพิชน์ของรัศมีส่วนโค้งของลูกเบี้ยว (R_p) ตามองศาการเคลื่อนที่ จะได้ค่าที่ยอมรับของมุมกด (Pressure Angle) จากสมการ

3.6.2 หาระยะรัศมีที่น้อยสุดของส่วนโค้งของลูกเบี้ยว (R_o) ตามองศาการเคลื่อนที่จากสมการ $R_o - R_p - 0.5h$

3.6.3 หาระยะขจัดจากสมการการเคลื่อนที่ หรือตารางจากภาคผนวกมาใส่ในสมการ ตาม

3.6.4 จุดที่เกิดการเคลื่อนที่ ตั้งแต่จุดเริ่มต้นของส่วนโค้งลูกเบี้ยว จนถึงจุดสุดท้ายของส่วนโค้งลูกเบี้ยว

หาระยะรัศมีที่เกิดขึ้นจากสมการการเคลื่อนที่ $R_n = (R_o + y)$

3.6.5 หามุมกด (r) จากสมการ

3.6.6 หารัศมีส่วนโค้งมากที่สุดที่ค่าความเร่งเป็นบวกและลบตามองศาการเคลื่อนที่

3.6.7 หาค่าความเร็ว และความเร่งจากสมการการเคลื่อนที่ หรือตารางภาคท้ายผนวกตามองศาการเคลื่อนที่จากสมการ

3.6.8 หาดั้วแรงกระทำกับลูกเบี้ยว จากสมการ

3.6.9 หาค่าแรงที่เกิดขึ้นจากระบบกลไกในระบบลูกเบี้ยว (P) จากสมการ

3.6.10 หาแรงปกติที่เกิดขึ้นจากค่าความเร่งมากที่สุด ของสมการ

3.6.11 หาค่าความเค้นสัมผัสระหว่างลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้ง

จากสมการจะแสดงวิธีการคำนวณในบทที่ 4 ที่ทำการจำลองทดลองและบันทึกผลการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การออกแบบลูกเบี้ยวและวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยและทดลองเพื่อศึกษาถึง ผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่เป็นจังหวะของลูกเบี้ยวตามเงื่อนไขของระยะชักของส่วน โค้ง และภาระที่มากกระทำกับระบบกลไกในการขับเคลื่อนทั้งทางตรง และทางอ้อม ซึ่งจะมีผลกระทบต่ออายุการใช้งานโดยตรงของลูกเบี้ยว ดังนั้นสาเหตุจากค่าความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่เป็นจังหวะจึงมีเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อลูกเบี้ยวดังนี้คือ ความเร่งที่เกิดขึ้นภายใต้ภาระของระบบกลไก ในการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อน โดยการคำนวณ โดยตรงจากเครื่องจักรต้นแบบจะเป็นการยากเมื่อเทียบกับการทดลองหาค่าจากแบบจำลอง

ในขั้นตอนการทดสอบและวัดค่าได้ มีการนำเครื่องมือ เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆมาใช้ในการทดลองเพื่อ การทดสอบและเก็บผลการทดลอง ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงเนื้อหาตั้งแต่การออกแบบ วิธีการผลิต การตรวจสอบ วัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง อุปกรณ์เครื่องมือ เครื่องจักรรวมถึงวิธีและขั้นตอนในการทดลอง ซึ่งแบ่งเป็นหัวข้อหลัก ๆ ดังนี้

1. การออกแบบรูปร่างของลูกเบี้ยวที่ใช้ในการทดลอง
2. การออกแบบรูปร่างของกลไก Geneva Wheel ที่ใช้ในการทดลอง
3. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและทดสอบ
4. การติดตั้งอุปกรณ์
5. วิธีการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

เราจะแสดงการวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนพื้นผิวราบเทียบกับพื้นที่เป็นรูปร่าง ซึ่งพื้นที่ที่เป็นรูปร่างจะเป็นตัวแทนของพื้นผิวราบ โดยพื้นที่รูปร่างของทั้งคู่จะสามารถใช้งาน ได้หลายอย่าง เช่น การเชื่อมต่อของชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้ทำงานตามความสัมพันธ์ต่าง ๆ โดยในพื้นที่รูปร่างภายนอกเป็นการแบ่งแยกพื้นที่ตามส่วนที่เกินให้เป็นช่องว่างเป็นพื้นที่อิสระ ซึ่งทั้งสองแยกออกจากกันได้ และสามารถเป็นหน้าสัมผัสพื้นที่ทั้งสองได้ พื้นที่ที่เกิดการสัมผัสซึ่งกันและกันเป็นการสัมผัสที่ได้เปิดและปิดตามจังหวะของการทำงานของหน้าสัมผัสซึ่งกันและกันในการสัมผัสกันจะเห็นระหว่างลักษณะเฉพาะการสัมผัสนี้

4.1 การออกแบบรูปร่างของลูกเบี้ยวที่เป็นเคลื่อนที่จังหวะ ที่ใช้ในการทดลอง

จุดประสงค์ในการออกแบบรูปร่างของลูกเบี้ยวขึ้นอยู่กับการทำงานของระบบ กลไก ดังนั้นในการศึกษาเชิงทดลองในการออกแบบเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์แบบสกรีน โดยอัตโนมัติ ที่มีระบบการขับเคลื่อนแบบเป็นจังหวะเพื่อนำชิ้นงานเคลื่อนที่ตามตำแหน่งต่าง ๆ และจังหวะหยุดชั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่อยู่ในตำแหน่งหัวของการพิมพ์ก็จะทำการพิมพ์ ดังนั้นลายในการพิมพ์ที่ดี ขึ้นอยู่หลายปัจจัย แต่ก็มีอยู่ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญก็คือ การเคลื่อนที่ที่มีความแม่นยำ ไม่คลาดเคลื่อนของตำแหน่งต่าง ๆ

การออกแบบรูปร่างของลูกเบี้ยวที่เป็นเคลื่อนที่จังหวะที่ใช้ในการทดลอง ในระบบการขับเคลื่อนของลูกเบี้ยวที่เคลื่อนที่เป็นจังหวะ ในการทดลองนี้จะออกแบบรูปร่างลูกเบี้ยวที่มีลักษณะแบบจาน (disc cam) โดยลูกเบี้ยวมีการหมุนรอบจุดหมุนแล้วฟังก์ชันของการหมุนนี้ก็คือ องศาของการหมุนของลูกเบี้ยว (cam angle) โดยที่ลูกเบี้ยวจะเป็นตัวขับและลูกกลิ้งจะเป็นตัวตาม ดังนั้นคาบเวลาในการเคลื่อนที่ของตัวขับ (ลูกเบี้ยว) จะเท่ากับ 360 องศา ถ้าเรากำหนดการเคลื่อนที่ของตัวตามเท่ากับ 60 องศา จะได้ จำนวนการหยุดพัก (dwell) เท่ากับ $360/60=6$ ช่วงการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ เนื่องจากผู้ใช้งานต้องการใช้เวลาที่หยุดหมุนของลูกกลิ้งตัวตามเท่ากับ 1.2 และ 1.5 วินาที ตามลำดับ ดังนั้นจากสมการที่ (3.15)

$$N = (60/\text{time}) * (\theta/360) \quad (4.1)$$

แทนค่า

$$100 = (60/0.5) * (300/360)$$

$$86.6 = (60/0.6) * (300/360)$$

$$73.3 = (60/0.7) * (300/360)$$

$$50 = (60/0.8) * (300/360)$$

$$46.6 = (60/0.9) * (300/360)$$

$$33.3 = (60/1) * (300/360)$$

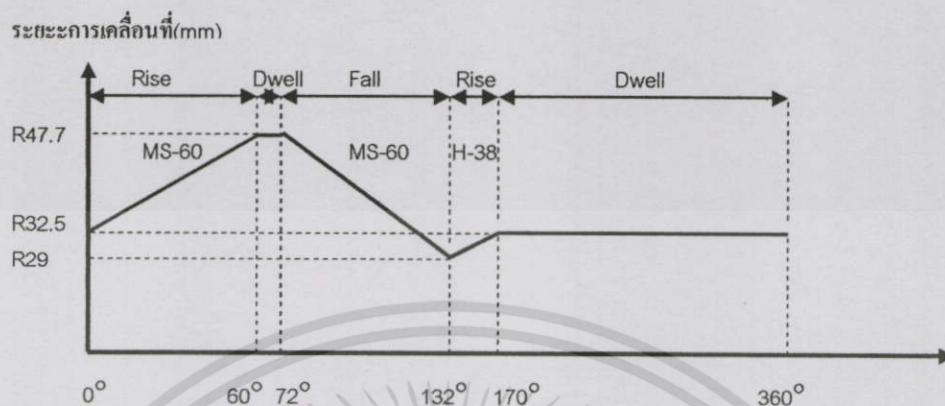
จะได้ค่าการหมุนของลูกเบี้ยว

ในการหาค่าส่วนโค้งของลูกเบี้ยว จะกำหนดการทำงานโดยจะมีไดอะแกรมการหมุนดังนี้

องศาการหมุนของลูกเบี้ยว	สมการของการเคลื่อนที่	ระยะเวลาการเคลื่อนที่ (มม.)
$0^\circ \sim 60^\circ = (60^\circ)$	Modified Sine	15.2 = (47.7-32.5) ช่วงขึ้น
$60^\circ \sim 72^\circ = (12^\circ)$	Dwell	0 = ช่วงหยุดพัก
$72^\circ \sim 132^\circ = (60^\circ)$	Modified Sine	18.7 = (47.7-29) ช่วงลง
$132^\circ \sim 170^\circ = (38^\circ)$	Harmonic	3.5 = (32.5-29) ช่วงขึ้น
$170^\circ \sim 360^\circ = (190^\circ)$	Dwell	0 = ช่วงหยุดพัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทำการเขียน โค้ดแอมการเคลื่อนที่ของตัวตามดังนี้



รูปที่ 4.1 โค้ดแอมการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว

ดังนั้นในการหาค่า ระยะขจัดของสมการส่วนโค้ง Modified Sine ดังนี้

กำหนดให้ $h = 15.2$; $\beta = 60^\circ$; $N = 1$ rpm

หาค่ารัศมีของวงกลมพิซซี (pitch radius) R_p

$$\text{แทนค่า } R_p = \frac{160h}{\beta} = \frac{160 \times 15.2}{60} = 40.5 \text{ มม.}$$

หาค่ารัศมีของส่วนโค้งเล็กสุด (minor radius) R_o

$$\text{แทนค่า } R_o = R_p - (0.5h) = 40.5 - 0.5(15.2) = 32.5 \text{ มม.}$$

จากตารางภาคผนวก ข ค่ารัศมีคิของ Modified Sine จะได้ค่า

$$K_{(30 \times 2)} = K_{(60)} = 0.5,$$

$$Cv_{(30 \times 2)} = Cv_{(60)} = 1.7596,$$

$$Ca_{(30 \times 2)} = Ca_{(60)} = 0$$

เป็นสัมประสิทธิ์ของสมการหาระยะขจัดความเร็ว และความเร่งได้จากสมการ (3.66)

ตามลำดับ โดยกำหนดให้ค่า ความเร็วเท่ากับ (N) 1 rpm แทนค่าจะได้

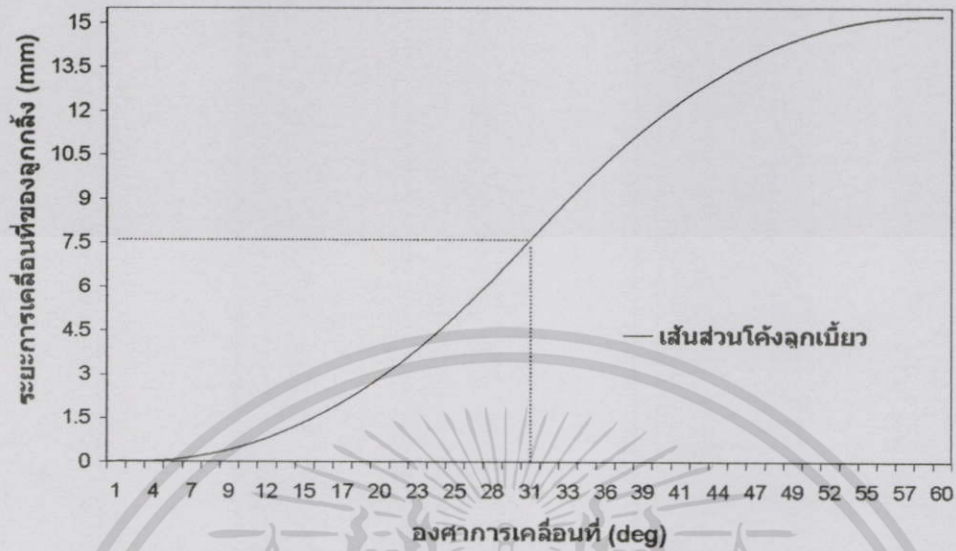
$$Y_{(30 \times 2)} = Kh = 0.5 \times (15.2) = 7.6 \text{ มม.}$$

$$V_{(30 \times 2)} = C_r h \left(\frac{6N}{\beta} \right) = 1.7596 \times (15.2) \left(\frac{6(1)}{60} \right) = 2.67 \text{ มม./วินาที}$$

$$a_{(30 \times 2)} = Ca h \left(\frac{6n}{\beta} \right)^2 = 0 \times (15.2) \left(\frac{6(1)}{60} \right)^2 = 0 \text{ มม./วินาที}^2$$

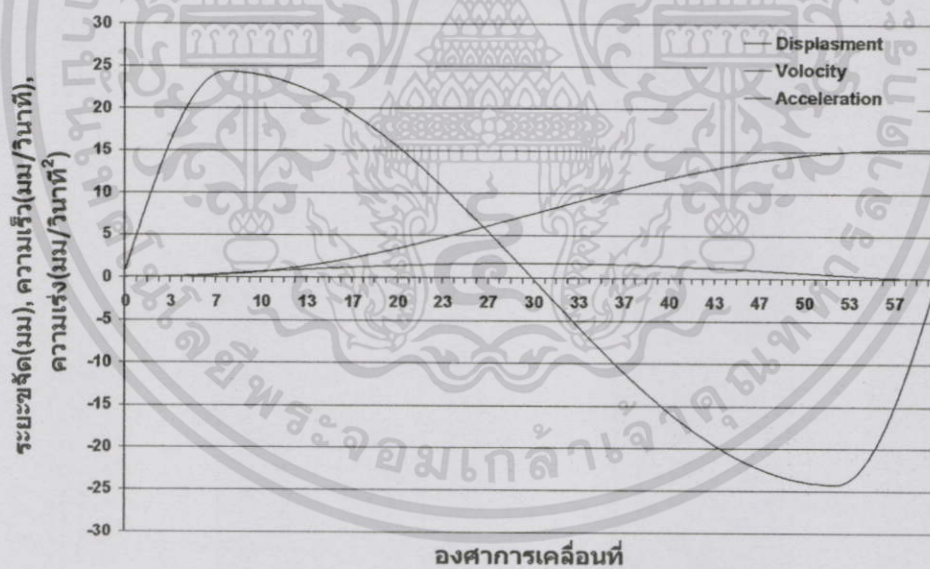
เมื่อทำแทนสมการ β ตั้งแต่ $0 - 60^\circ$ จะได้กราฟของระยะขจัด ความเร็ว และความเร่ง ดังนี้

ระยะขจัดของสมการ การเคลื่อนที่ของส่วนโค้ง
Modified Sine กับ ระยะการเคลื่อนที่ของลูกกลิ้ง



รูปที่ 4.2 ระยะขจัดของสมการเคลื่อนที่ของส่วนโค้ง Modified Sine

ไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว

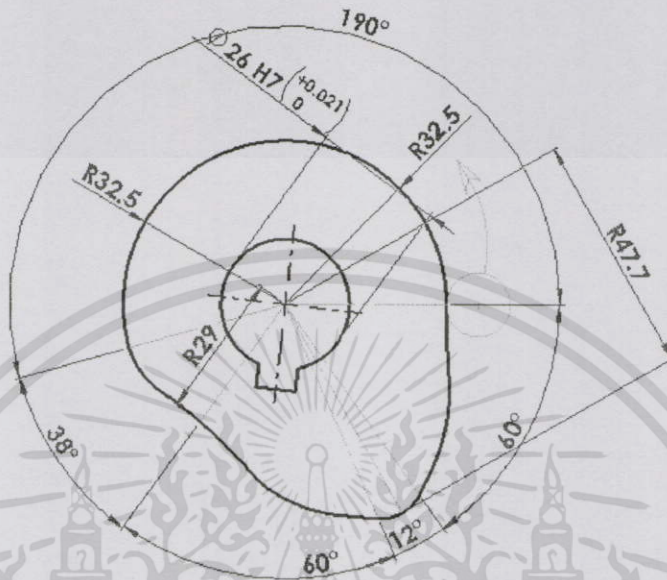


รูปที่ 4.3 ระยะขจัด ความเร็ว และ ความเร่งของสมการเคลื่อนที่ของส่วนโค้ง Modified Sine ที่ความเร็วรอบคงที่ ($n=1$)

จากนั้นทำการแทนค่าระยะขจัดตามองศาที่เคลื่อนที่ตั้งแต่ $0-60^\circ$ ที่จุดเริ่มต้นของรัศมีเล็กสุด $R_{o(60)} = 32.5$ มม. จะได้ส่วนโค้งของระยะขจัดตามองศาที่ 60 องศาเท่ากับ $(32.5+15.2) = 47.7$ มม. แล้วทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแทนค่า β ตามองศาการเคลื่อนที่ที่จะได้รูปร่างของลูกเบี้ยวจากการคำนวณตามไดอะแกรมการเคลื่อนที่ ดังรูป 4.4

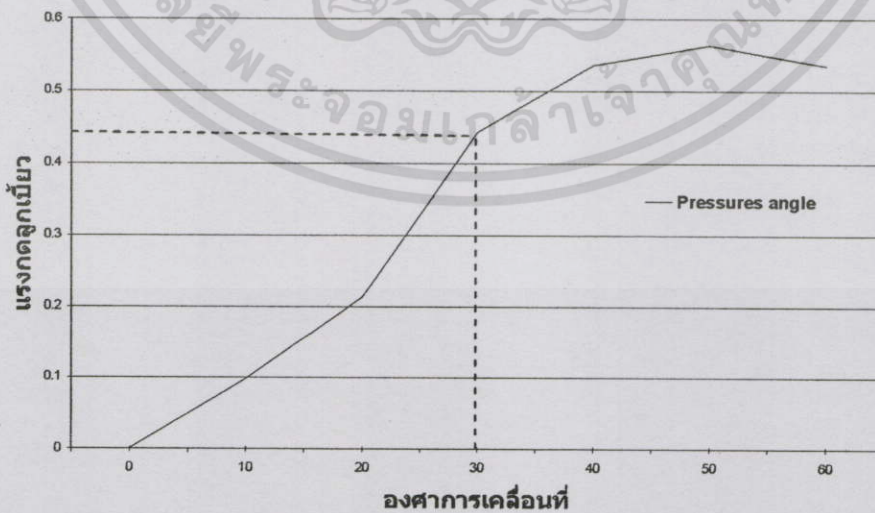


รูปที่ 4.4 ลักษณะรูปร่างของลูกเบี้ยวตามไดอะแกรม

การหาค่ามุมกด (Pressure angle), (γ) จากสมการ (3.71)

$$\text{แทนค่า } r_{30} = \frac{57.3CVh}{R_{30}B} = \frac{57.3 \times 1.0997 \times (1.5)}{36.0623 \times (60)} = 0.44 \text{ องศา}$$

มุมกดของลูกเบี้ยว



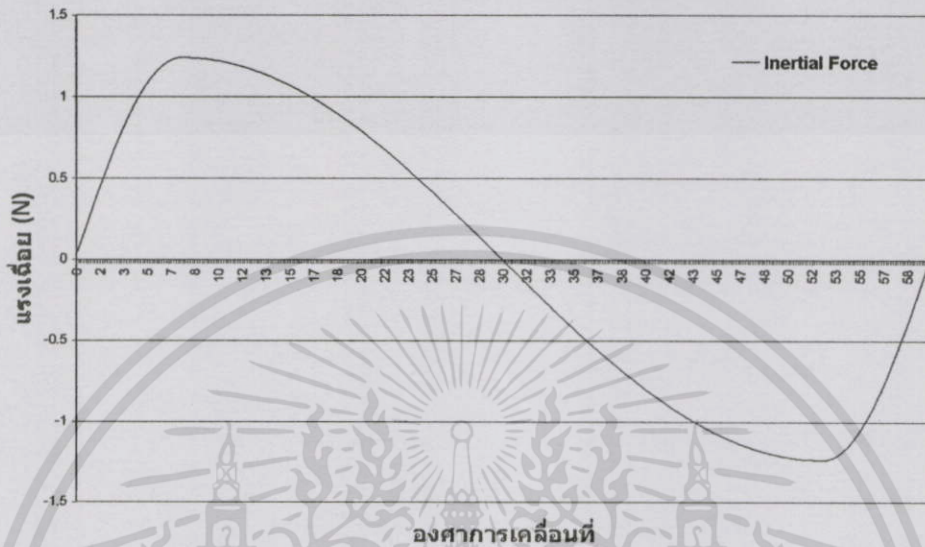
รูปที่ 4.5 มุมกด (Pressure angle), (γ) ของสมการเคลื่อนที่ของส่วนโค้ง Modified Sine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าแรงเฉื่อยภายในที่มากกระทำ (Inertial force) จากสมการ (3.82)

$$(W/g) \cdot a_{(30^{\circ}2)} = (0.5/9.81) \cdot 0 = 0 \text{ N} \quad (\text{ไม่คำนึงถึงแรงภายนอกมากกระทำ})$$

ไดอะแกรมการเคลื่อนที่ ($W/g = 0.5/9.81$)a



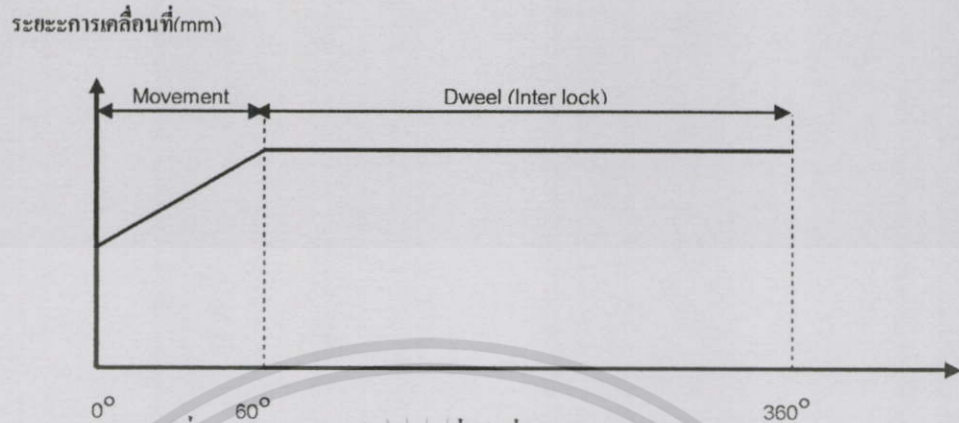
รูปที่ 4.6 แรงเฉื่อยภายในที่มากกระทำของสมการเคลื่อนที่ของส่วน โคง Modified Sine

4.2 การออกแบบรูปร่างของ Geneva Wheel ที่เป็นเคลื่อนที่จังหวะ ที่ใช้ในการทดลอง

แนวคิดของ Geneva ทั้งคู่ ประกอบด้วยตัวขับ และล้อตาม ตัวขับนั้นประกอบด้วยหมุดการขับ และการล็อกในส่วนของล้อตามนั้นประกอบด้วย 6 การล็อกเป็นส่วน และ 6 รู ก้อนั้นหมุนรอบแกนตัวตาม และตัวขับนั้นหมุนรอบแกน ส่วนของขนาดนั้นปรากฏ การหมุนแต่ละตัวขับเป็นสาเหตุให้ล้อตามเกิดการทํางานหยุดเป็นระยะ ๆ ของการเคลื่อนที่ของล้อตามด้วย 6 ช่วงระยะเวลาของการขับ ด้วยหยุดที่สัมผัสในช่วงของล้อตามนั้น และด้วยช่วงหมุดที่ไม่สัมผัสกับช่องว่างนั้นจะเป็นการล็อกไม่ให้ล้อตามเคลื่อนที่ไปได้ ระยะเวลาที่ดี พื้นที่ลักษณะรูปทรงประสานกับส่วนที่เป็นตำแหน่ง θ และ ω ในหน่วยวัดเรเดียน (90 องศา) ทั้งคู่ถูกแสดงในรูปตามตำแหน่ง $(0, 0)$ ซึ่งเป็นจุดพื้นที่ที่ล็อกเป็นบริเวณสี่เหลี่ยม สัมผัสพื้นที่เป็นเส้น โคงสี่ด้าน และพื้นที่อิสระเป็นช่องระหว่างเส้นโค้งนั้น พื้นที่อิสระเป็นรูปแบบช่องทางเดียว ซึ่งทำให้ห้องรอบแวนอน และแนวตั้งเส้นแบ่งเขตจนกระทั่งรูปร่างภายนอกอยู่ที่ $\pm\pi$ เกิดขึ้นพร้อมกัน การอธิบายสมการของช่องเส้นแบ่งเขตเส้นโค้งผ่านการสัมผัสระหว่างส่วนของทิศทาง แวนอนส่วนที่เป็นตัวอย่างสัมผัสกันระหว่างพื้นที่ที่ถูกล็อก ซึ่งยึดติดกับล้อไม่เคลื่อนที่ ส่วนที่เป็นตัวอย่างสัมผัสระหว่างเข็มหมุดและช่องว่าง ซึ่งหมุนล้อนั้น การสัมผัสต่อเนื่องกันของทั้งคู่เป็นที่รูปร่างภายนอกนำทางในพื้นที่อิสระ และพื้นที่ที่สัมผัสชนิดของการต่อเนื่องกัน ตัวขับหมุนตามเข็มนาฬิกา (การลดลง θ) และสลับกันระหว่างตัวขับล้อตามนั้นหมุนทวนเข็มนาฬิกาด้วยหมุด (การเพิ่มขึ้น θ) และล็อกด้วยพื้นที่ (จำนวนคงที่ ω)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทำการเขียนไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของตัวตามดังนี้



รูปที่ 4.7 ไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของ Geneva Wheel

จากสมการการเคลื่อนที่ ของบทความการทดลองของ Giorgio Figliolini และ Jorge Angeles (2002) ในบทที่ 2.4 กำหนดให้ $a = 37.5$ มม, $b = 75$ มม, $m = 75/37.5 = 2$, $\alpha = 20^\circ$

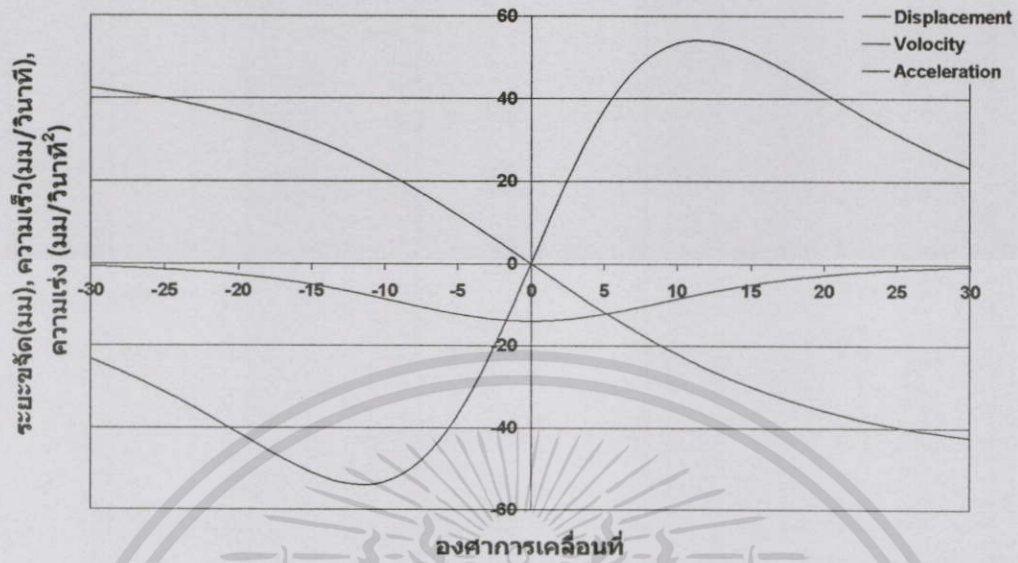
จากสมการ (2.21) ทำการแทนค่าที่กำหนด จะได้มุมการเคลื่อนที่ของ Geneva Wheel (β) = -17.7 จากสมการ (2.22) จะได้ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ (i) = -0.571 จากสมการ (2.23) จะได้ค่าความเร่งในการเคลื่อนที่ (q) = 13.32 ดังนั้น ทำการแทนค่ามุมในการเคลื่อนที่ α ตั้งแต่ -30° ถึง 30° จะได้มุมในการเคลื่อนที่เท่ากับ 60° ดังรูป 4.8

$$\text{จากสมการ (2.21)} \quad \beta = \pm \cos^{-1} \left(\frac{m - \cos \alpha}{\sqrt{1 + m^2 - 2m \cos \alpha}} \right)$$

$$\text{จากสมการ (2.22)} \quad i = \frac{\dot{\beta}}{\dot{\alpha}} = \frac{m \cos \alpha - 1}{1 + m^2 - 2m \cos \alpha}$$

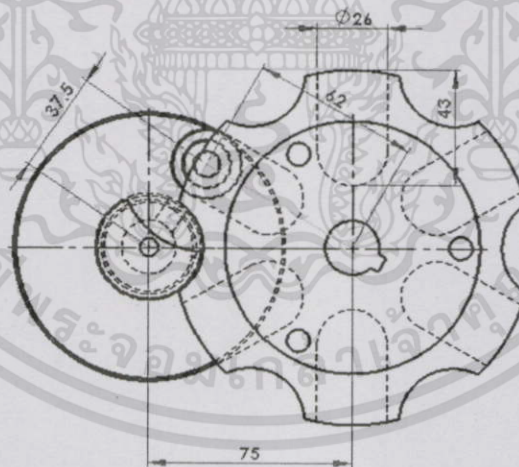
$$\text{จากสมการ (2.23)} \quad q = \frac{\ddot{\beta}}{\dot{\alpha}^2} = \frac{m \sin \alpha (1 - m^2)}{(1 + m^2 - 2m \cos \alpha)^2}$$

ไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของ Geneva Wheel (n=6)



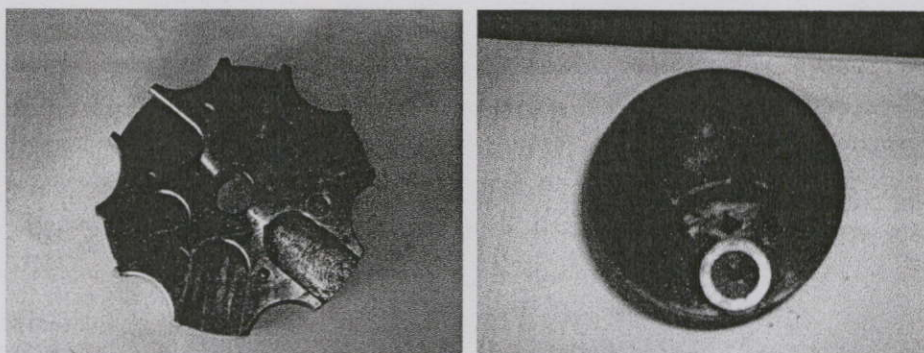
รูปที่ 4.8 ระยะขจัด ความเร็ว และ ความเร่งของสมการเคลื่อนที่ของ Geneva Wheel

จากนั้นนำตัวแปรและค่ามุมการเคลื่อนที่ของ Geneva Wheel (β) มาเขียนเป็นแบบ ดังรูป 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 ลักษณะรูปร่างของ Geneva Wheel ตามไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า; ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ลักษณะรูปร่างของ Geneva Wheel ที่ทำการผลิตมาทำการทดสอบ

4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและทดสอบ

ในการจัดเตรียมอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิตลูกเบี้ยว รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ต้องคำนึงถึงค่าความละเอียดก่อนสั่งสูงและมีค่าแม่นยำมากเพื่อให้ได้ผลการทดลองและทดสอบที่มีประสิทธิภาพ จึงมีการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่ทันสมัยช่วยในการทดสอบซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

4.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตลูกเบี้ยว ได้แก่ เครื่องจักร Machine Center (CNC) ยี่ห้อ Hartford รุ่น เป็นเครื่อง Milling ที่สามารถอ่านโปรแกรมที่ได้จากการป้อนรหัส G-Code และ M-Code ได้ โดยมีแกน X เคลื่อนที่ความกว้าง ส่วนแกน Y เคลื่อนที่ตามความยาว และ แกน Z เคลื่อนที่ตามความสูง โดยมีหัวปาด (spindle) เคลื่อนที่ตาม และหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงประมาณ 12000 รอบต่อนาที (high speed) แสดงดังรูป 4.11

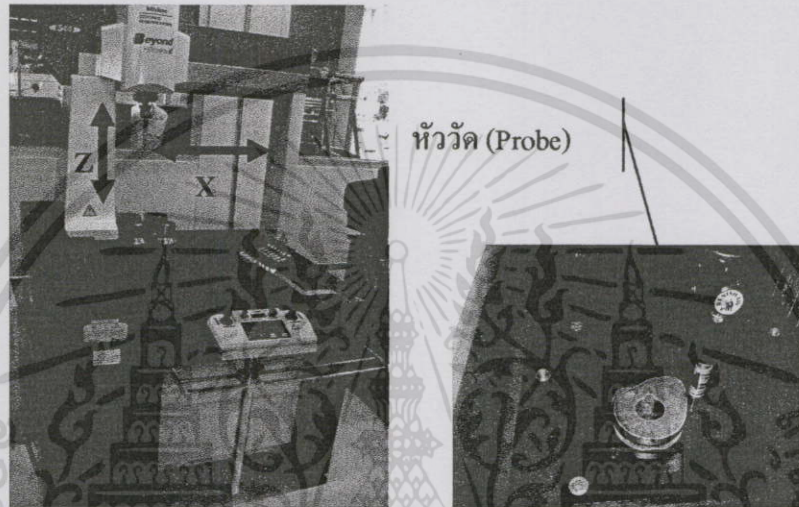


รูปที่ 4.11 เครื่องจักร Machine Center (CNC)

4.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบ ซึ่งได้แก่ เครื่อง CMM มาจาก Coordinate Measuring Machine เป็นเครื่องที่ใช้ในการวัด ขนาดของชิ้นงาน โดยมีลักษณะเป็นหัววัดที่มีความละเอียดสูง

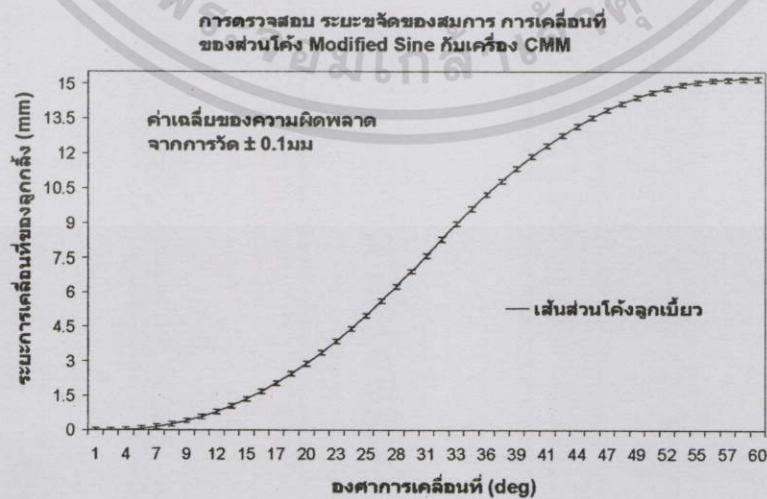
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(probe) ไปสัมผัสตามจุดต่าง ๆ เพื่อวัดขนาดของชิ้นงาน ในระนาบ 3 มิติ ซึ่งใช้สัมผัสจุด ตั้งแต่ 2 จุดขึ้นไปบนชิ้นงาน แล้วทำการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะให้ค่าที่ละเอียด ซึ่งในอุตสาหกรรมรถยนต์มักใช้เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดชิ้นส่วนเพื่อการควบคุมคุณภาพ ส่วนรายละเอียดและประเภทต่าง ๆ ซึ่งข้อดีของการใช้ คอมพิวเตอร์ ผู้ผลิตสามารถออกแบบให้เครื่องสามารถคำนวณค่าอื่น ๆ ได้อีกตามที่ต้องการ ได้โดยมีแกน X เคลื่อนที่ตามความกว้าง ส่วนแกน Y เคลื่อนที่ตามความยาว และ แกน Z เคลื่อนที่ตามความสูง โดยมีหัววัดที่มีความละเอียดสูง (probe) ดังรูป 4.12



รูปที่ 4.12 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการตรวจสอบ ด้วย คอมพิวเตอร์ CMM

ในกรรมวิธีขบวนการผลิต อาจเกิดความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือที่ใช้มีการสึกหรอไม่เท่ากัน ความเร็วรอบในการกัดชิ้นงาน เป็นต้น ดังนั้นจึงทำการตรวจสอบค่าความละเอียดของส่วนโค้งลูกเบี้ยว ได้ด้วยเครื่อง CMM โดยมีผลการตรวจวัดเฉลี่ย ± 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่กักยอมรับได้ ดังรูป 4.13

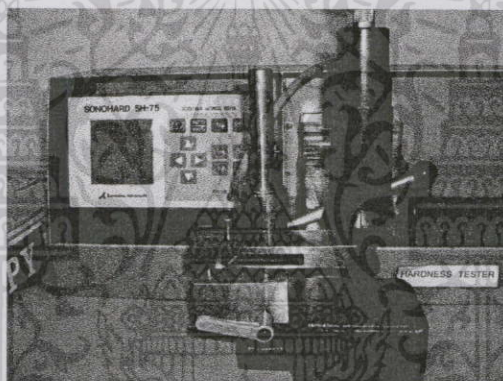


รูปที่ 4.13 ผลการตรวจวัดส่วน โค้ง (Cam profiles) เฉลี่ย ± 0.1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 เครื่องทดสอบค่าความแข็ง

หลังจากการตรวจสอบแล้วได้นำลูกเบี้ยวไปทำการเพิ่มความแข็งเฉพาะรอบๆ ส่วนโค้งโดยการทำการวิธี Induction ที่ผิวด้วยลวดทำความร้อนและทำการปล่อยให้เย็นในน้ำมัน แล้วทำการทดสอบค่าความแข็ง โดยการทดสอบและวัดค่าความแข็งทดสอบและวัดค่าโดยเครื่องทดสอบค่าความแข็งแบบ ไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers Hardness Testing) หรือที่เรียกกันว่า วิกเกอร์สเกล (HV) ใช้น้ำหนักในการกดชิ้นงาน 0.3 กิโลกรัม หรือประมาณ 3 นิวตัน และเวลาในการกด 10 วินาที ซึ่งการทดสอบแบบไมโครวิกเกอร์นี้รอยกดที่ได้จะมีขนาดเล็ก การวัดขนาดของรอยกดต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ในการวัดขนาด ซึ่งวิธีการวัดแบบนี้เหมาะสำหรับการวัดและทดสอบในบริเวณพื้นที่แคบ และพื้นที่ที่ต้องการความละเอียดสูงอย่างเช่น บนพื้นที่หน้าค้ำของแท่งอลูมิเนียมที่ผ่านการดัดขึ้นรูปแล้ว ซึ่งเครื่องทดสอบค่าความแข็งนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 เครื่องทดสอบค่าความแข็ง

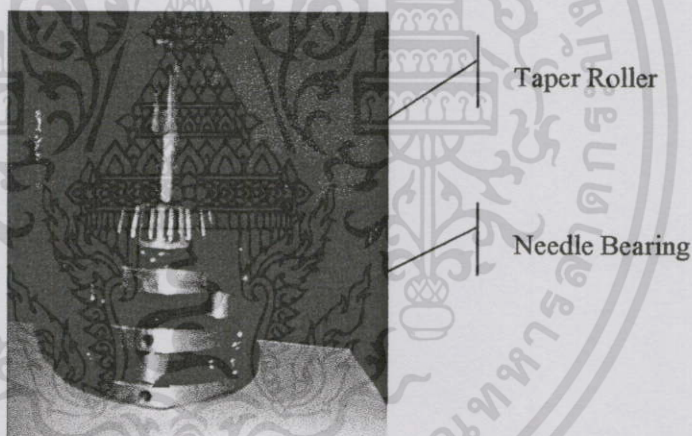
4.3.4 ทรายเชิงคิจิตอล

ทรายชั่งน้ำหนักแบบคิจิตอล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดหาค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน ภายหลังจากการทดสอบการรับภาระของเสียคิสิระหว่าง ส่วนโค้งของลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้งว่ามีการสึกหรอ โดยการใช้หลักการจากสมการค่าความหนาแน่นของสาระ คือ $\rho = \frac{m}{V}$ (g/cm^3) เมื่อ m คือ มวลของแท่งอลูมิเนียมซึ่งได้จากการชั่งและอ่านค่าจากทรายชั่ง และ V คือ ปริมาตรของลูกเบี้ยวแสดงไว้ในรูปที่ 4.15



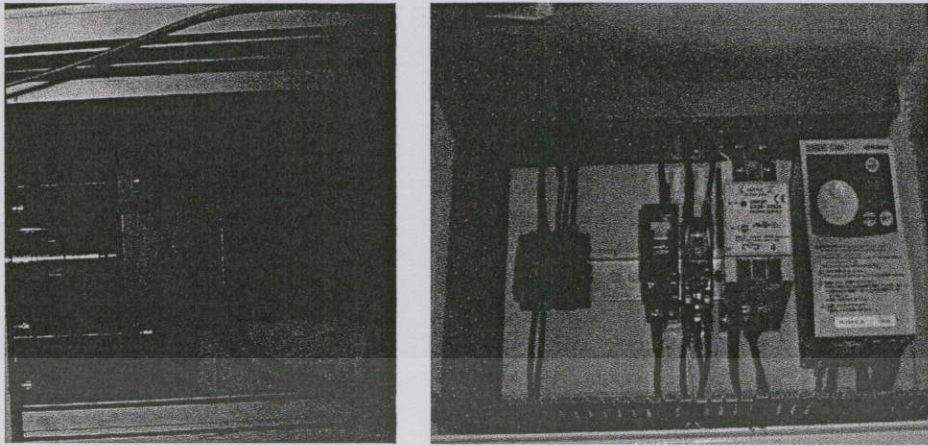
รูปที่ 4.15 トラซังคิจิตอลและกระบอกตวง

4.3.5 ตลับลูกปืนมาตรฐาน ยี่ห้อ INA ได้แก่ Needle Bearing รุ่น NAST-8 สามารถรับภาระ 580 kgf. โดยทำหน้าที่ เป็นลูกกลิ้งสัมผัสส่วนโค้งให้เคลื่อนที่ตามการทำงานของลูกเบี้ยว ส่วนตลับลูกปืนมาตรฐาน ยี่ห้อ SKF ได้แก่ Taper Roller รุ่น 30302 และ 30303 ทำหน้าที่ รับแรงในแนวแกน ดังรูป 4.16



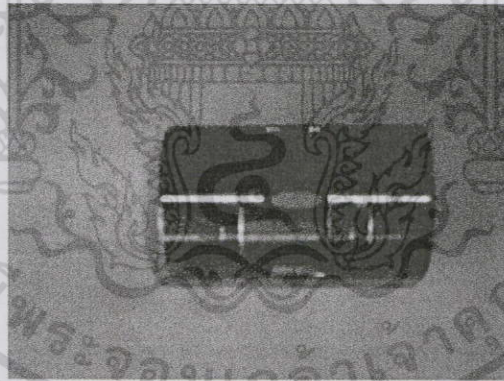
รูปที่ 4.16 ตลับลูกปืนมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

4.3.6 อุปกรณ์ในการขับเคลื่อนและควบคุมความเร็วรอบ ซึ่งได้แก่ มอเตอร์เกียร์ และ Inverter ทำหน้าที่เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลและเป็นต้นกำเนิดแรงบิด ขนาด 360 วัตต์ ต่อกับหัวเกียร์ที่มีอัตราทด เท่ากับ 1: 15 และยังสามารถควบคุมความเร็วรอบ ด้วย Inverter รุ่น S500 ยี่ห้อ Mitsubishi ความเร็วรอบในการทดลอง ได้แก่ 100, 86.6, 73.3, 50, 46.6 และ 33.3 รอบต่อนาที ตามลำดับ ดังรูป 4.17



รูปที่ 4.17 มอเตอร์ขับเคลื่อน กับ ชุดอุปกรณ์การควบคุมความเร็วรอบ

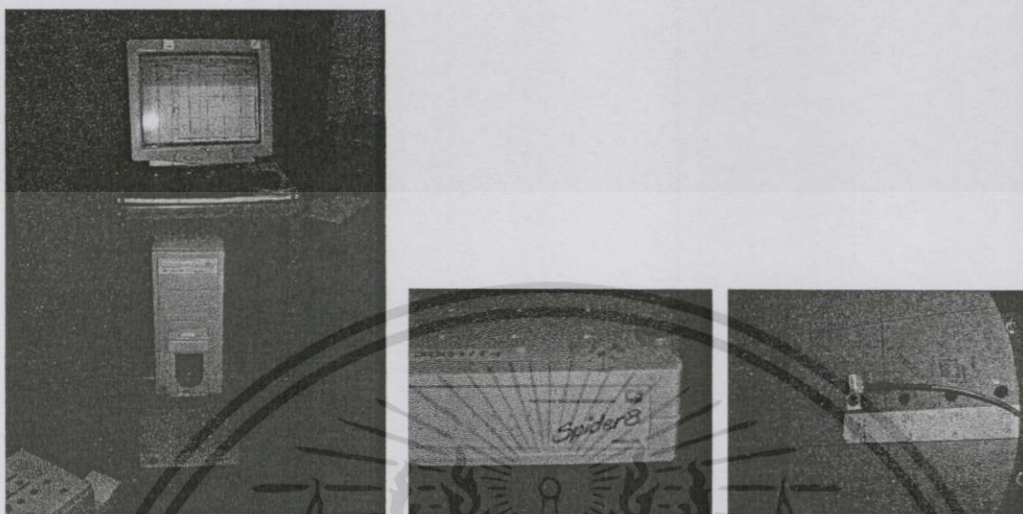
4.3.7 คัปปลิง (coupling) มีหน้าที่ยึดเพลาสองเพลาให้เข้าด้วยกัน หรือส่งถ่ายโมเมนต์บิดในลักษณะส่งกำลังด้วยรูปร่างหรือลักษณะ ส่งกำลังด้วยแรง คัปปลิงยังช่วยในการประกอบให้ง่ายขึ้น และทำหน้าที่ต่อหรือตัดการสมดุลกันได้ ซึ่งที่มีใช้กันมากคือ คัปปลิงแบบเขี้ยว โดยมีลักษณะด้วยรูปร่างที่ขบเข้าด้วยกัน ดังรูป 4.18 คัปปลิงแบบเขี้ยวจะอนุญาตให้เลื่อนขบกันได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาพหยุดนิ่ง หรือที่ความเร็วรอบของเพลาต่างกันเล็กน้อยเท่านั้น ดังรูป 4.18



รูปที่ 4.18 คัปปลิงแบบเขี้ยว

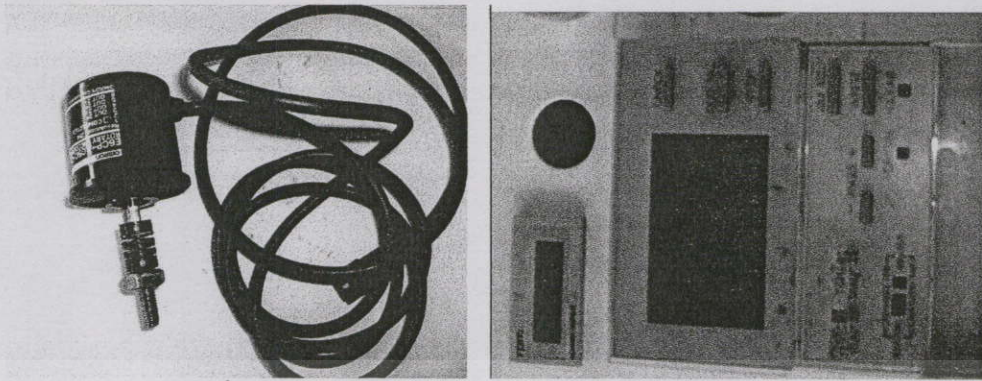
4.3.8 เครื่องมือวัดค่าความเร่ง (accelerometer) เป็นเครื่องวัดค่าความเร่งของการเคลื่อนที่ ซึ่งเซนเซอร์วัดความเร่งนี้ อาศัยหลักของ Piezoelectric Transducer อาศัยปรากฏการณ์ Piezoelectric Effect ที่เกิดในสารคริสตัลบางอย่าง โดยเมื่อสารเหล่านี้ถูกทำให้เสียรูปเช่นถูกบีบ ก็จะเกิดประจุไฟฟ้า (electrical charge) ขึ้นในตัว แล้วขยายสัญญาณที่ได้เพิ่มเติมสัญญาณที่ได้ ในการทดลอง ได้เลือกเซนเซอร์วัดความเร่ง ยี่ห้อ Kyowa รุ่น AS-20TB โดยเลือกจากการคำนวณของค่าความเร่งสูงสุดในตำแหน่งมากที่สุดที่ความเร็วรอบสูงสุดที่ 20 G และทำการต่อเข้ากับ Data logger รุ่น Spider - 8 เพื่อแสดงผลของค่าความเร่งที่เคลื่อนที่ตามเวลาและทำการบันทึกผลของการทดลองในแต่ละค่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ โดยจะติดตั้งตัว Accelerometer ไว้บนจานหมุนของลูกกอล์ฟในแนวตั้งฉากกับรัศมีที่ปรับเปลี่ยนตำแหน่งได้ ดังรูป 4.19



รูปที่ 4.19 เครื่องมือวัดค่าความเร่ง (accelerometer) พร้อมอุปกรณ์บันทึกผล

4.3.9 อุปกรณ์เข้ารหัส (Encoder) จัดเป็นอุปกรณ์เซนเซอร์เชิงกลที่สามารถให้ผลของสัญญาณไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตในรูปของไบนารี ดิจิตอล และอะนาลอก (ขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างของ Encoder แต่ละชนิด) โดยใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เซนเซอร์ทางแสง การได้มาซึ่งสัญญาณทางด้านเอาต์พุตนั้นอาศัยหลักการตัดต่อลำแสงระหว่างตัวรับ และตัวส่งแสงจากแถบทึบแสงของ Encoder ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพสามารถแบ่งประเภทของ Encoder ออกได้เป็น 2 ชนิด คือ อุปกรณ์เข้ารหัสแบบเพิ่มค่า (increment Encoder) และอุปกรณ์เข้ารหัสแบบสัมบูรณ์ (absolute Encoder) นอกจากการแบ่งประเภทของ Encoder แล้วยังสามารถแบ่งลักษณะการใช้งานออกตามตำแหน่งและการเคลื่อนที่ได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การวัดการกระจัดแบบเชิงเส้นและแบบเชิงมุม ซึ่งจะประกอบไปด้วย Encoder ที่ติดตั้งและยึดติดกับแกนในกรณีที่เป็นลักษณะเชิงเส้นหรือยึดติดกับเพลาหมุนในกรณีที่เป็นลักษณะเชิงมุม ในตำแหน่งระหว่างตัวรับและตัวส่งแสงของ Photo Sensor แบบลำแสงผ่านตลอดเพื่อให้แถบทึบแสงของ Encoder ตัดต่อลำแสงในขณะที่มีการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่ง การเซนเซอร์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนที่มีระยะเป็นบวก (+) และลบ (-) หรือการเซนเซอร์การหมุนของเพลาเพื่อหาตำแหน่งองศาหรือทิศทางการหมุนตามเข็ม และทวนเข็มนาฬิกา เพื่อส่งสัญญาณที่ได้จากการเซนเซอร์ให้กับวงจรจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณทำการปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะสม ดังรูป 4.20



รูปที่ 4.20 อุปกรณ์เข้ารหัสแบบเพิ่มค่า (Increment Encoder)

4.3.10 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer) ทำหน้าที่ วัดอุณหภูมิภายนอกขณะทดสอบ โดยมีหัววัดที่สามารถสัมผัสกับชิ้นงาน ได้สามารถแสดงค่าอุณหภูมิ เป็นองศาเซ็นเซียส (C°) ดังรูป 4.21



รูปที่ 4.21 เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Thermometer)

4.3.11 เครื่องมือวัดรอบ ทำหน้าที่ วัดความเร็วรอบของการหมุนของแกนเพลลา ในการวัดค่าความเร็วรอบจำเป็นต้องทำเครื่องหมายที่แกนเพลลา ก่อน หลังจากนั้นจะทำการวัดก็ทำการกดปุ่มสีแดง ให้ลำแสงพุ่งชนเครื่องหมายที่แกนเพลลา เครื่องมือวัดรอบก็จะแสดงรอบออกมาที่หน้าปัด โดยมีหน่วยเป็นความเร็วรอบต่ออนาที ดังรูป 4.22



รูปที่ 4.22 เครื่องมือวัดความเร็วรอบแบบใช้แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

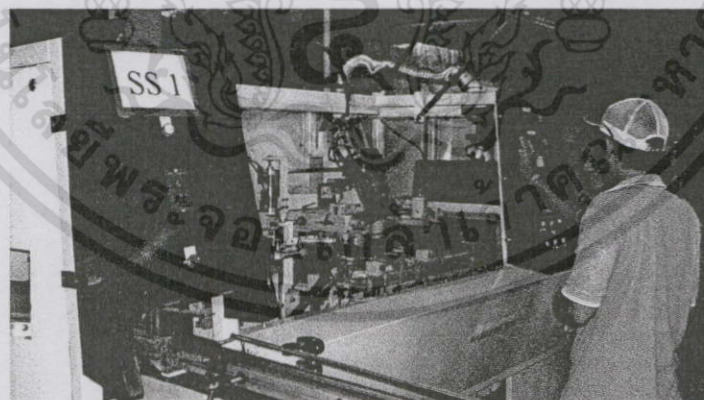
4.4 การติดตั้งอุปกรณ์

ในการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อใช้ในการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

- 1 การทดสอบวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้น จากเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ในโรงงานด้วยระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม
- 2 การทดสอบวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้น จากชุดจำลองการทดสอบด้วยระบบลูกเบี้ยว
- 3 การทดสอบวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้น จากชุดจำลองการทดสอบด้วยระบบ Geneva

4.4.1 การทดสอบวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้น จากเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ในโรงงานด้วยระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม

ระบบการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ โดยมีระบบขับเคลื่อนแบบการเคลื่อนที่เป็นจังหวะด้วยระบบกลไกลูกเบี้ยว-ตัวตาม จากความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่เริ่มจากการป้อนวัสดุ (loading) เข้ามาในระบบโซ่ลำเลียง (chain Conveyer) โดยมีการเคลื่อนที่หยุดเป็นจังหวะตาม ตำแหน่งต่าง ๆ ของการทำงานในระบบการพิมพ์ และเมื่อมาถึงตำแหน่งของการพิมพ์ (printing) ในระบบกลไกการพิมพ์ก็จะทำงานโดย กรอบสกรีน (block screen) กับยางปวด จะเป็นตัวเคลื่อนที่พิมพ์ลงบนชิ้นงานตามจังหวะการพิมพ์ และส่งต่อไปยังชุดอบแห้งต่อไป ในที่กล่าวมาแล้วว่าระบบการขับเคลื่อนแบบการเคลื่อนที่เป็นจังหวะจะควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยกลไกลูกเบี้ยว-ตัวตาม จึงมีความสำคัญทางระบบพิมพ์อย่างมาก อาทิเช่น ตำแหน่งการเริ่มพิมพ์ ตำแหน่งการพิมพ์เสร็จ และระบบป้อนวัสดุ และระบบปล่อยวัสดุ เป็นต้น ดังรูป 4.23

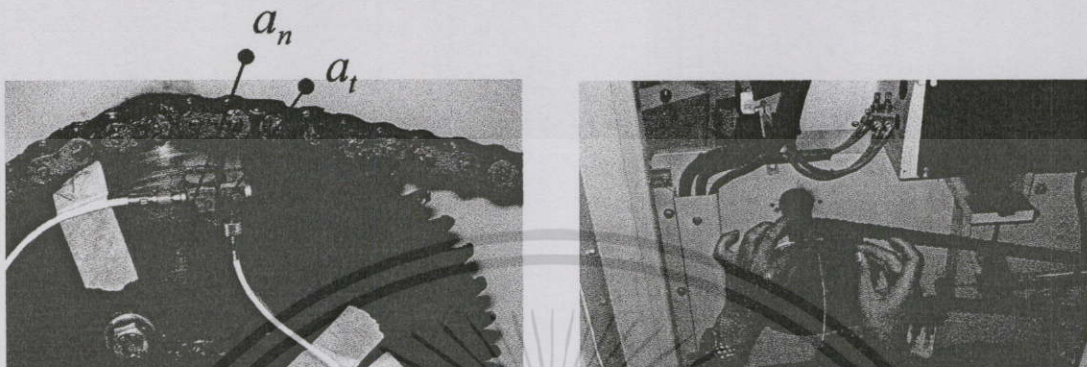


รูปที่ 4.23 ลักษณะเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ในโรงงาน

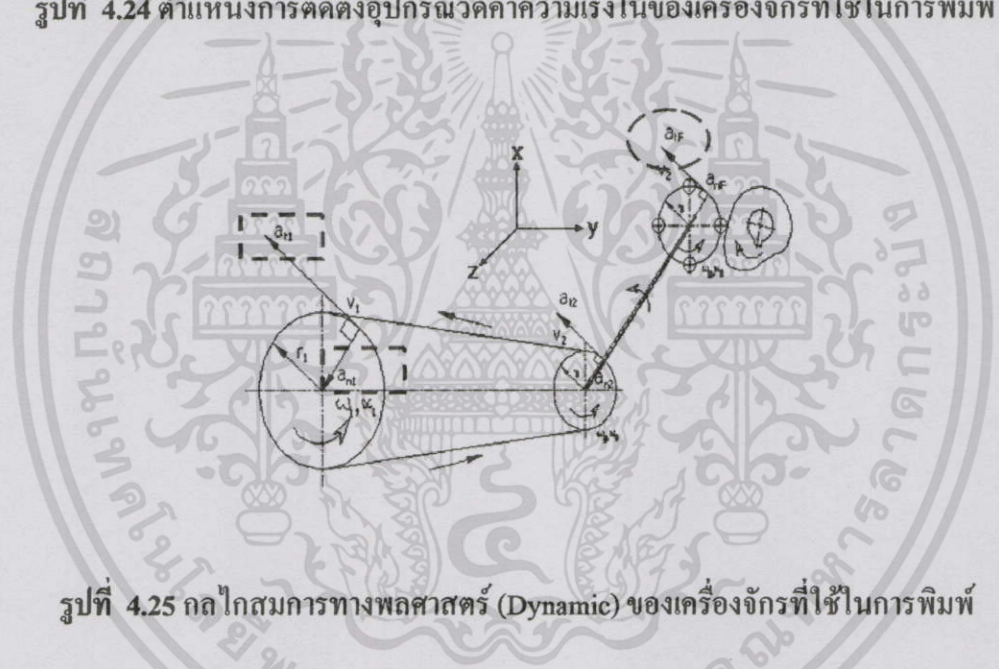
รูปแบบสมการของเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ เพื่อวัดค่าความเร่งจากการเคลื่อนที่เป็นจังหวะการทำงานในระบบกลไกลูกเบี้ยว-ตัวตาม โดยจะติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเร่งขึ้นที่หนึ่ง (accelerometer) ที่เฟืองโซ่ที่ 1 ดังรูป 4.24 โดยมีระยะห่างจากแกนหมุนเฟืองโซ่เป็นระยะรัศมี 75 มิลลิเมตร ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับรัศมีเฟืองโซ่ (tangential) และในทิศทางเดียวกับการหมุนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนเพลลาเฟืองโซ่ที่ 1 จากนั้นทำการติดตั้ง อุปกรณ์วัดค่าความเร่งขึ้นที่สอง (accelerometer) เพิ่มในตำแหน่งขนาดกึ่งแกนเพลลาร์ศมีเฟืองโซ่ (radial) ในทิศทางเข้าหาศูนย์กลางของแกนเพลลาเฟืองโซ่ ดังรูป 4.24



รูปที่ 4.24 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเร่งในของเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์



รูปที่ 4.25 กลไกสมการทางพลศาสตร์ (Dynamic) ของเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์

จากการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเร่งตามกลไกของเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ สามารถเขียนเป็นสมการทางพลศาสตร์ (Dynamic) ดังรูป 4.25 ได้ดังนี้

จากความสัมพันธ์ของความเร็ว

$$v_1 = v_2 \tag{4.2}$$

เมื่อ $v_i = r_i \omega_i \tag{4.3}$

และ $a_{t1} = a_{t2} \tag{4.4}$

จะได้ $\alpha_1 = \frac{a_{t1}}{r_1}$ และ $\alpha_2 = \frac{r_1}{r_2}$

ดังนั้น $a_{t1} = \alpha_2 r_2 \tag{4.5}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

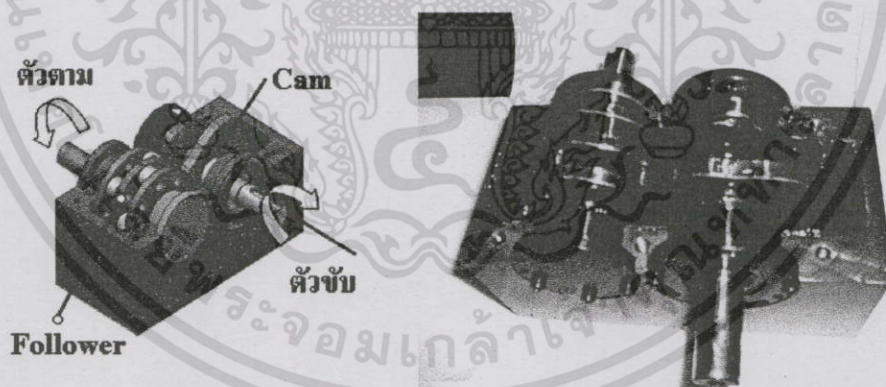
เนื่องจากเฟืองโซ่ที่ 2 อยู่บนแกนเพลาเดียวกันกับลูกกลิ้งตัวตาม ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของการหมุนจะได้ $\alpha_2 = \alpha_F$

$$\text{ดังนั้น} \quad a_{IF} = \alpha_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right) \quad 4.6$$

ในการวัดค่าความเร่งจากเครื่องมือวัดค่าความเร่งทั้ง 2 แกน ได้แก่ แกนตั้งฉากกับรัศมีเฟืองโซ่ที่ 1 และแกนขนานเดียวกับรัศมีเฟืองโซ่ที่ 1 เพื่อหาค่าความเร่งที่เกิดขึ้นในแกนหมุนลูกกลิ้งตัวตาม (a_{IF}) โดยจะได้ความสัมพันธ์การเคลื่อนที่การหมุนของตัวตามในรูปร่างของลูกเบี้ยว (cam profiles) ที่เกิดขึ้น เพื่อทำการวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับรูปแบบจำลองลูกเบี้ยว-ตัวตาม

4.4.2 การทดสอบวัดค่าความเร่งจากการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม

ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบการขับเคลื่อนที่เป็นระบบกลไกลูกเบี้ยว-ตัวตาม โดยเริ่มจากการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว โดยที่เพลาลูกเบี้ยวจะทำการหมุนไปตามรอบของมอเตอร์ และลูกเบี้ยวก็จะหมุนไปผลักดันลูกกลิ้งตัวตามให้เกิดการเคลื่อนที่ตามรูปร่างของลูกเบี้ยวทำให้เกิดการหมุนเป็นจังหวะตามการทำงานของไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว ในจังหวะหยุดของตัวตามจะเป็นช่วงหยุดนิ่ง (Dwell) จนครบรอบ และกระทำซ้ำการทำงานในรอบต่อไป ดังรูป 26

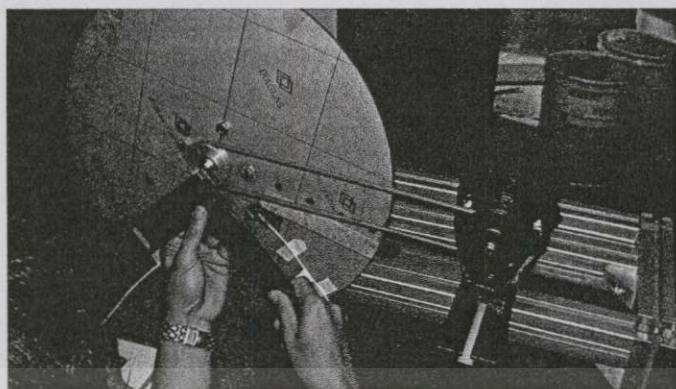


รูปที่ 4.26 ระบบการขับเคลื่อนการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบลูกเบี้ยว (Cam-Follower)

ในการจำลองการทำงานของระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม เป็นอุปกรณ์ชุดที่ติดตั้งเดียวกันในเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์จากโรงงาน เพื่อจะได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน

โดยที่ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม เป็นชุดที่ติดตั้งเดียวกันกับเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์จากโรงงาน ในการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่งตามกลไกของเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ สามารถจำลองลักษณะการเคลื่อนที่เป็นชุดทดลองในระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม เพื่อใช้ในการวัดหาค่าความเร่งที่เกิดขึ้นในชุดทดลองและสามารถนำไปเปรียบเทียบกับชุด Geneva ได้ดังรูป 4.27

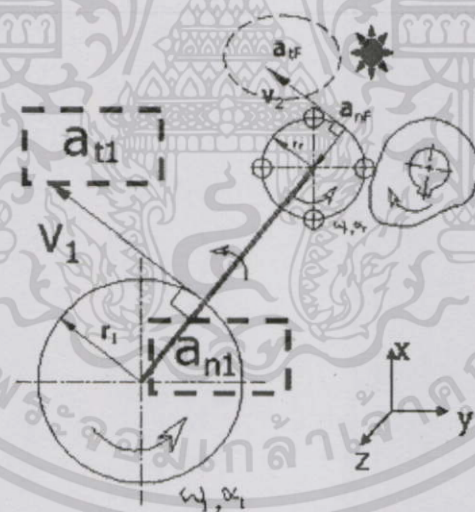
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชุดปรับหาแรง
เสียดทานแบบ
ใช้แรงกดสปริง
กับแผ่น Clutch

รูปที่ 4.27 ชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม

ในการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเร่งในชุดทดลองต้องติดตั้งให้เหมือนกับการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเร่งในเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ที่โรงงาน โดยอุปกรณ์วัดค่าความเร่งชิ้นที่หนึ่ง (Accelerometer) ที่งานหมุนที่ ดังรูป 4.27 โดยมีระยะห่างจากแกนหมุนเฟืองโซ่เป็นระยะรัศมี 75 มิลลิเมตร ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับรัศมีเฟืองโซ่ (tangential) และในทิศทางเดียวกับการหมุนของแกนเพลลาจานหมุน จากนั้นทำการติดตั้ง อุปกรณ์วัดค่าความเร่งชิ้นที่สอง (accelerometer) เพิ่มในตำแหน่งขนาดกับแกนเพลลารัศมีจานหมุน (Radial) ในทิศทางเข้าหาศูนย์กลางของแกนเพลลาเฟืองโซ่ ดังรูป 4.27



รูปที่ 4.28 กลไกสมการทางพลศาสตร์ (Dynamic) ของชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม

จากการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความเร่งตามกลไกของเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ สามารถเขียนเป็นสมการทางพลศาสตร์ (Dynamic) ดังรูป 4.28 ได้ดังนี้

$$a_{n1} = \alpha_1 r_1 \quad 4.7$$

$$a_{rf} = \alpha_F r_F \quad 4.8$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

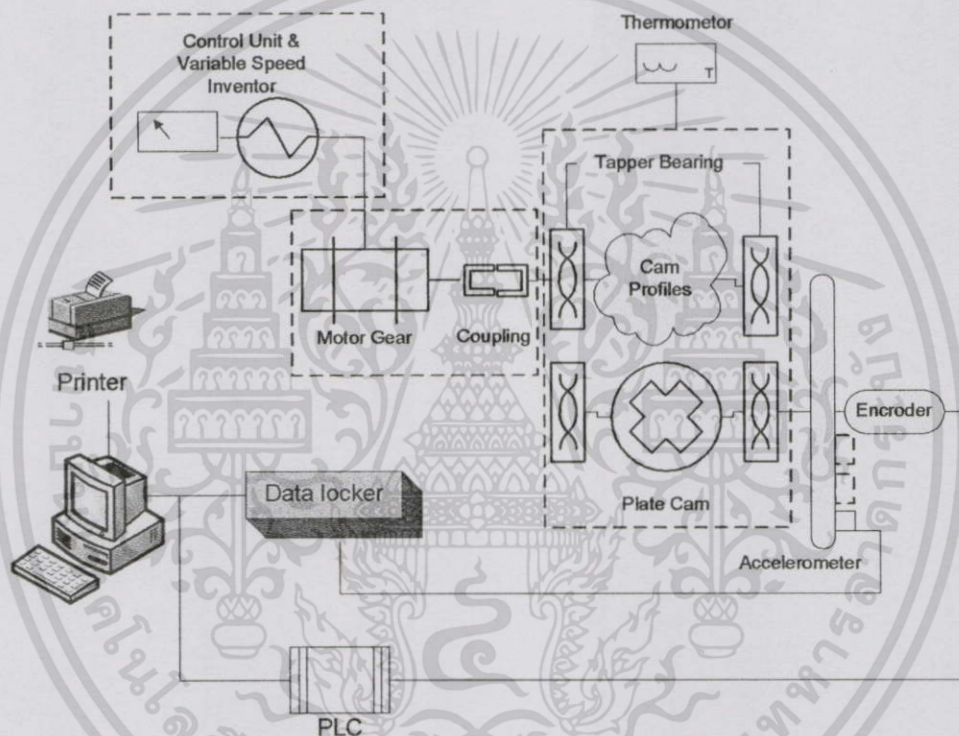
จากความสัมพันธ์การหมุนจะได้ $\alpha_1 = \alpha_F$

$$\text{ดังนั้น} \quad a_{tF} = a_{t1} \left(\frac{r_F}{r_1} \right) \quad 4.9$$

ความเร่งในตำแหน่งทิศทางขนานกับรัศมี (Radial Acceleration) ของแกนเพลาลูกกลิ้งในทิศทางเข้าหาศูนย์กลางของแกนเพลาลูกกลิ้ง จะได้

$$a_{n1} = \omega_1^2 r_1 = \frac{v^2}{r_1} \quad 4.10$$

ในการชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตามสามารถเขียนแผนผังของการติดตั้งดังรูป 4.29



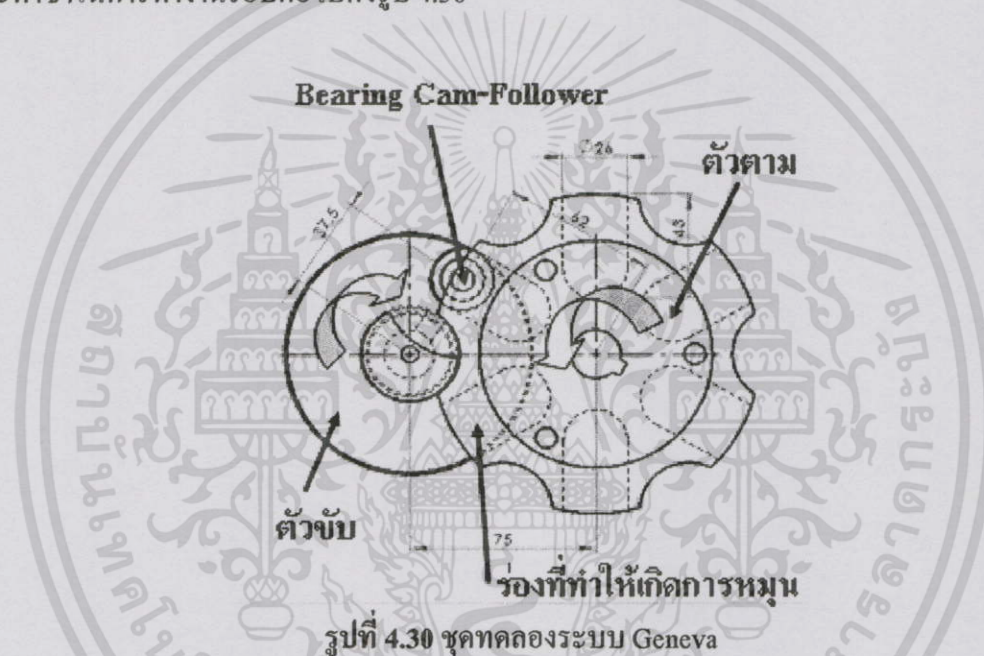
รูปที่ 4.29 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบวัดค่าความเร่งจากการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบลูกเบี้ยว

เริ่มต้นจากระบบขับเคลื่อน ประกอบด้วย มอเตอร์เกียร์ และ ระบบควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่สามารถปรับค่าและแสดงค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ จากมอเตอร์เกียร์มาต่อกับ Coupling ส่งกำลังโดยลิ้มที่เชื่อมต่อของการหมุนให้คงที่ จากนั้นก็เข้าระบบการขับเคลื่อนแบบเป็นจังหวะของลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้ง ที่ออกแบบเป็นสัดส่วนต่างหากเพื่อจ่ายต่อการนำไปใช้งาน โดยต่อเข้ากับงานหมุนที่แกนกลางจะต่อเข้ากับ Encoder ต่อผ่านไปยัง PLC ที่เชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผล ส่วนเครื่องมือวัดค่าความเร่ง (Accelerometer) ก็จะติดตั้งอยู่บนงานหมุนของคาร์ซีมี 75 มิลลิเมตร จากเครื่องมือวัดค่าความเร่งเชื่อมต่อไปยัง Data logger เพื่อแสดงผลของค่าความเร่งที่

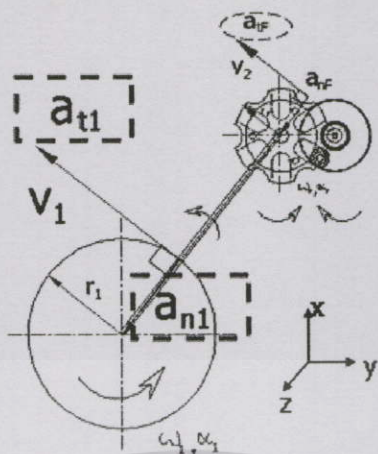
เคลื่อนที่ตามเวลาและทำการบันทึกผลของการทดลองในแต่ละค่าเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ ส่วนเครื่องพิมพ์จะแสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองผ่านระบบพิมพ์บนแผ่นกระดาษ

4.4.3 การทดสอบวัดค่าความเร่งจากการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบ Geneva

ในส่วนของระบบกลไก Geneva มีลักษณะการทำงาน โดยเริ่มจากการหมุนของแคมโพลโลเวอร์ ที่มีระยะห่างระหว่างแกนหมุนตามการหมุนของรอมมอดเตอร์ และแคมโพลโลเวอร์ จะเป็นตัวผลักดันชุดตัวตามให้เคลื่อนที่ความร่อง (Slot) ทำให้เกิดการหมุนเป็นจังหวะ พอแคมโพลโลเวอร์หลุดพ้นจากร่อง (Slot) ก็จะทำให้เกิดการหยุดการเคลื่อนที่ของตัวตามจนครบรอบ และกระทำซ้ำในการทำงานรอบต่อไปดังรูป 4.30

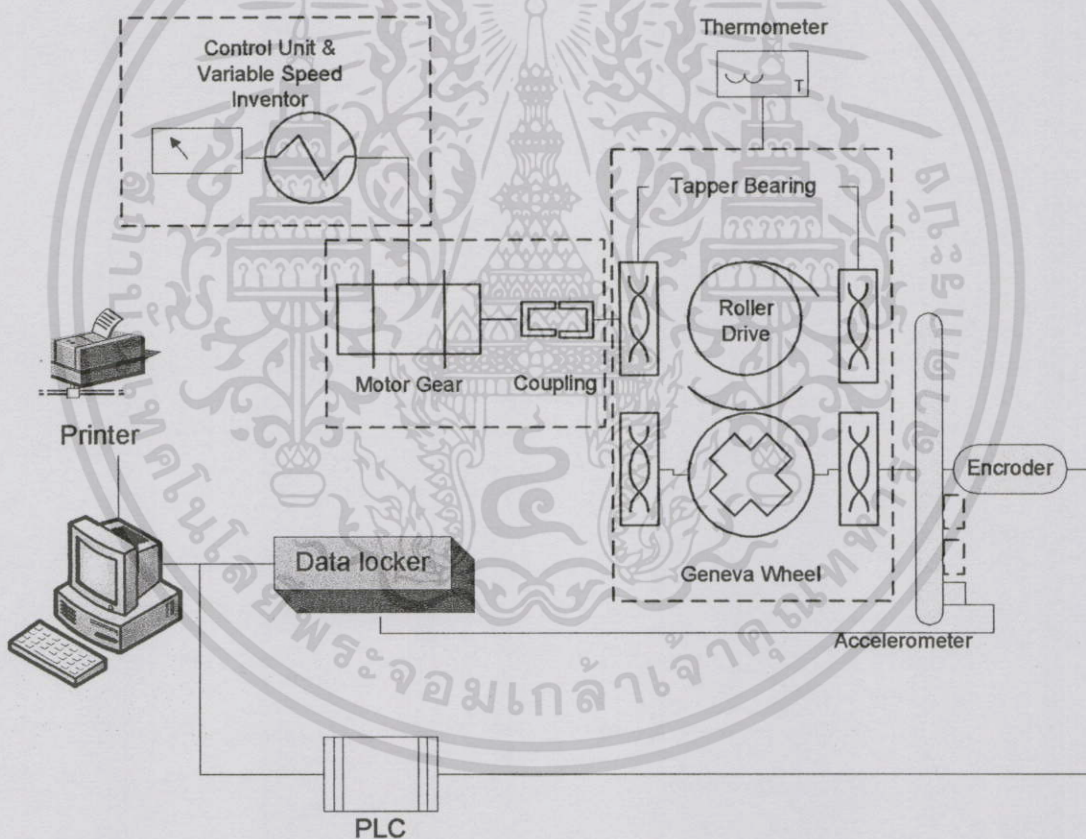


ในการทำงานเดียวกันกับระบบกลไก Geneva จะทำการจำลองเช่นเดียวกันกับการจำลองชุดลูกเบี้ยว-ตัวตาม จะมีความแตกต่างกันตรงในระบบของการขับเคลื่อนทางกลไกของแต่ละระบบไม่เหมือนกัน แต่ลักษณะของการเคลื่อนที่ของตัวตามมีลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนกัน โดยจะเคลื่อนที่เป็นมุม 60° องศา และจะหยุดเคลื่อนที่ตามคาบเวลาการหมุนของตัวขับทั้ง 2 ระบบ ดังนั้น at_r ของระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม จะทำการวัดหาค่าความเร่งที่เกิดขึ้นทั้งสองแกน เช่นเดียวกันกับระบบกลไก Geneva



รูปที่ 4.31 กลไกสมการทางพลศาสตร์ (Dynamic) ของชุดทดลองระบบ Geneva

ในการชุดทดลองระบบ Geneva สามารถเขียนแผนผังของการติดตั้งดังรูป 4.32



รูปที่ 4.32 แผนผังการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบวัดค่าความเร่งจากการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบ Geneva Wheel

ในการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบด้วยวิธีนี้คล้ายคลึงกับการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบวัดค่าความเร่งจากการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบลูกเบี้ยว โดยมีระบบการขับเคลื่อนและระบบการวัดผลเหมือนกันจะแตกต่างตรงระบบการหมุนเป็นจังหวะด้วยระบบ Geneva

4.5 วิธีการทดลองและบันทึกผลการทดลอง

วิธีการทดลองและบันทึกผล จากอุปกรณ์การวัดค่าความเร่ง (accelerometer) ในการทดลอง ในลักษณะต่างๆควรมีลักษณะการติดตั้งในลักษณะที่เหมือนกันเพื่อ ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่จะนำมา เปรียบเทียบและวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ในโรงงานด้วยระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม จากข้อมูลชุดจำลองการทดสอบด้วยระบบลูกเบี้ยว และ จากข้อมูลชุดจำลองการทดสอบด้วยระบบ Geneva ในการติดตั้งและตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่มีการเคลื่อนที่เป็น จังหวะอยู่ในขณะพร้อมที่จะทำการทดลอง ดังนี้

1. ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความเร่งในตำแหน่งรัศมีที่ 75 มิลลิเมตรที่ตั้งฉากกับรัศมี แกนเพลาหมุน (Tangential acceleration)
2. ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าความเร่งในตำแหน่งรัศมีที่ 75 มิลลิเมตรที่ตั้งขนานกับรัศมี แกนเพลาหมุน (Radial acceleration)
3. ทำการปรับความเร็วที่ถ่วงควบคุมความเร็ว ที่มีอัตราการผลิตที่ 3500 ขวดต่อชั่วโมง และทำการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดรอบ
4. ทำการบันทึกผลการทดลองที่เกิดขึ้น
5. ทำการทดลองซ้ำ ในข้อที่ 3 โดยปรับเปลี่ยนความเร็วรอบที่มีอัตราการผลิตที่ 2000 ขวดต่อชั่วโมงและทำการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดรอบ และทำการบันทึกผลการทดลองที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.1 แผนการทดลองของระบบการขับเคลื่อนการหมุนเป็นจังหวะ

ระบบการขับเคลื่อน	ความเร็วรอบ (ขวดต่อชั่วโมง)
เครื่องพิมพ์Cam-Follower	
ชุดทดลองCam-Follower	3500
	2000
ชุดทดลองGeneva	

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในการดำเนินการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบการขับเคลื่อน เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในเครื่องพิมพ์ซิลค์สกรีน โดยมีระบบขับเคลื่อนสองแบบ กล่าวคือ ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม (Cam-Follower) และระบบกลไก Geneva โดยทั้งสองระบบนี้จะมีการเคลื่อนที่เป็นจังหวะ โดยมีช่วงหยุดพัก (Dwell) เป็นช่วง ๆ

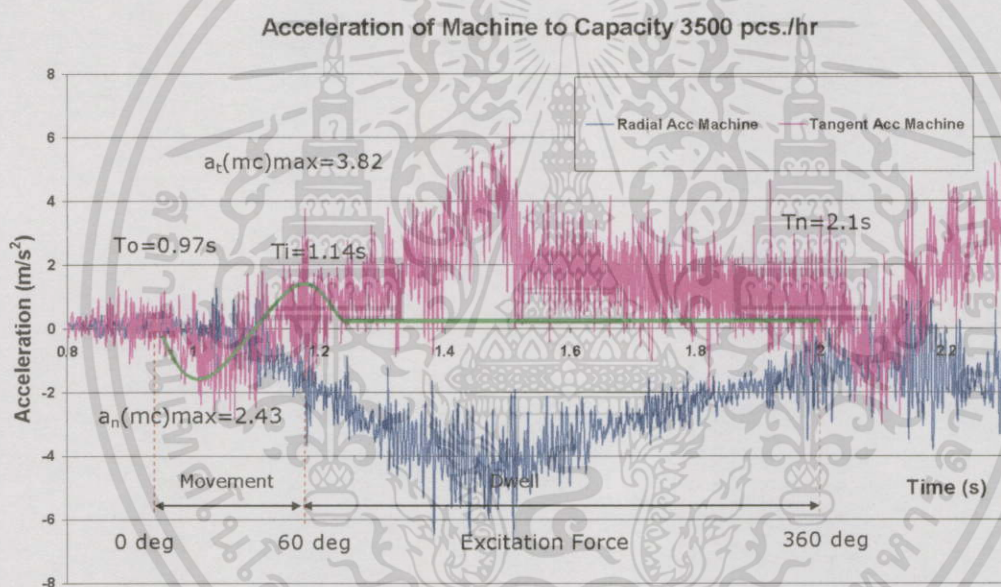
ในการวัดหาค่าความเร่งที่เกิดขึ้นของตัวตามของเครื่องพิมพ์ซิลค์สกรีนในโรงงาน แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบและปรับแต่งระบบการจำลองการเคลื่อนที่แบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม ของชุดทดลองให้มีสภาวะของชุดทดลองเดียวกัน จากนั้นก็ทำการวัดหาค่าความเร่งของตัวตามในระบบการเคลื่อนที่แบบกลไก Geneva แล้วนำผลที่เกิดขึ้นไปเปรียบเทียบกับแบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นของค่าความเร่งที่มีผลต่อการลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการพิมพ์ซิลค์สกรีน และเวลาที่ใช้ในการพิมพ์ซิลค์สกรีน ในที่นี้ขอแยกพิจารณาการทดลองตามขั้นตอนและได้ผลจากการทดลองจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบวัดค่าความเร่งจากเครื่องพิมพ์ที่โรงงาน โดยวัดความเร็วในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 ขวด ต่อชั่วโมง และ 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง
2. ผลการทดลองและทดสอบวัดค่าความเร่งจากชุดทดสอบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม ตามความเร็วที่เกิดขึ้นตามอัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 ขวด ต่อชั่วโมง
3. ผลการทดลองและทดสอบวัดค่าความเร่งจากชุดทดสอบระบบ Geneva ตามความเร็วที่เกิดขึ้นตามอัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 ขวด ต่อชั่วโมง
4. ผลการเปรียบเทียบค่าความเร่งที่เกิดขึ้นระหว่างเครื่องจักรที่โรงงานที่ใช้ระบบขับเคลื่อนแบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม
5. ผลการเปรียบเทียบค่าความเร่งที่เกิดขึ้น ระหว่างชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตามกับชุดทดลองระบบกลไก Geneva
6. ผลสรุปของการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลจากการวัดค่าความเร่ง ตามข้อมูลในการออกแบบและข้อมูลในทดลอง
7. วิเคราะห์ผลการทดลองวัดค่าตำแหน่งการหมุน ของชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม และชุดทดลองระบบกลไก Geneva
8. การทดลองพิมพ์ชิ้นงานจริงจากเครื่องพิมพ์ที่มีระบบขับเคลื่อน ระหว่าง ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบ Geneva แล้ววิเคราะห์ผลกระทบกับของเสียที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ผลการทดสอบวัดค่าความเร่งจากเครื่องพิมพ์ที่โรงงาน โดยวัดความเร็วในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 ขวด ต่อชั่วโมง และ 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง

ในการทดลองในรูปที่ 4.25 ในบทที่ 4 ได้ผลการทดลองของค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับระบบลูกเบี้ยว-ตัวตามที่เคลื่อนที่เป็นจังหวะ โดยทำการวัดค่าความเร่งทั้งสองแกนได้แก่ ความเร่งในแนวตั้งฉากกับรัศมีของแกนเพลลาเฟืองโซ่ตามทิศทางการหมุน (a_r) และความเร่งในแนวเดียวกับรัศมีของแกนเพลลาเฟืองโซ่ตามทิศทางเข้าหาศูนย์กลางเพลลา (a_n) จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดค่านำมาเข้าสมการ 4.6 เพื่อหาความเร่งที่เกิดขึ้นในตำแหน่งของลูกกึ่งตัวตาม (a_{LF}) โดยค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามเวลาของการเคลื่อนที่ จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบจากเครื่องพิมพ์ที่โรงงานในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง ตามลำดับ จะได้ผลดังต่อไปนี้



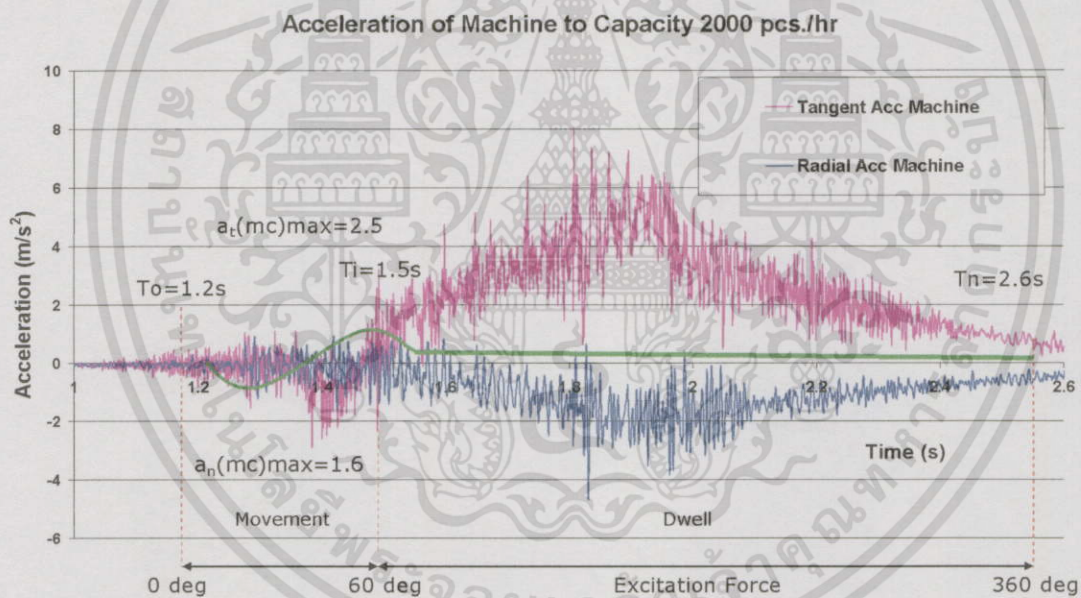
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม (a_n, a_r) จากเครื่องพิมพ์ที่โรงงานในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเวลาเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ ($T_o=0.97$ วินาที) จะเท่ากับองศาเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวที่ 0 องศา จากความเร็วในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง จะได้คาบเวลาที่ใช้ในการพิมพ์ขวดที่หนึ่งขวดเป็น $(3600/3500)$ เท่ากับ 1.02 วินาทีต่อหนึ่งขวด ดังนั้น คาบเวลาที่สั้นสุดในการพิมพ์ขวดที่หนึ่งขวดเป็น $(0.97+1.02)$ เท่ากับ (T_n), 2.01 วินาที ดังนั้น เวลาในการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว ทำกับ 60 องศา จะได้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เป็น $(2.01/(360/60))$ เท่ากับ 0.18 วินาที จากกราฟเวลาที่เคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวที่ใช้ในจังหวะเดียวกันกับการพิมพ์ เท่ากับ (T_i), 1.15 วินาที จากช่วงเวลากการเคลื่อนที่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม จึงเป็นส่วนที่สำคัญในการพิจารณา ค่าความเร่งที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานี้เป็น หลักสำหรับความเร็วเครื่องพิมพ์ที่โรงงานในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อ ชั่วโมง จะได้ค่าความเร่งจากกราฟ 5.1 a_n (mc)max = 3.82 m/s² และ a_t (mc)max = 2.43 m/s² ตามลำดับ

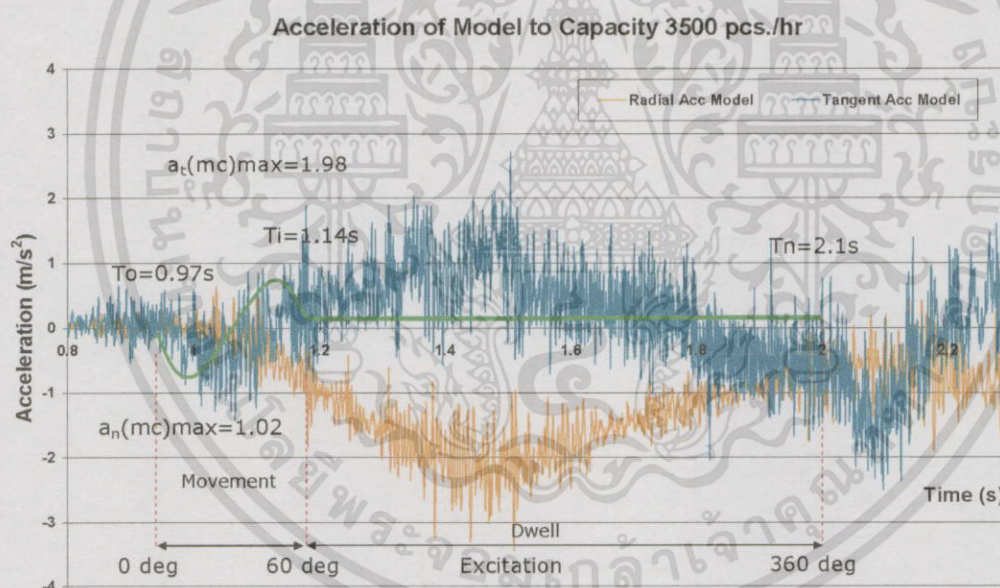
ในทำนองเดียวกันทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการพิมพ์ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง จะได้คาบเวลาที่ใช้ในการพิมพ์ขวดที่หนึ่งขวดเป็นเท่ากับ 1.8 วินาทีต่อหนึ่ง ขวด ดังนั้นคาบที่เวลาที่สั้นสุดในการพิมพ์ขวดที่หนึ่งขวดเป็น) เท่ากับ (Tn), 2.6 วินาที เวลาในการ เคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว ทำกับ 60 องศา จะได้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เป็น เท่ากับ 0.3 วินาที จาก กราฟเวลาที่เคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวที่ใช้ในจังหวะเดียวกันกับการพิมพ์ เท่ากับ (Ti), 1.5 วินาที จะได้ค่า ความเร่งจากกราฟ 5.2 a_n (mc)max = 1.6 m/s² และ a_t (mc)max = 2.5 m/s² ตามลำดับ จะได้ผล ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม (a_n, a_t) จากเครื่องพิมพ์ที่ โรงงานในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง

5.2 ผลการทดลองและทดสอบวัดค่าความเร่งจากชุดทดลองลูกเบี้ยว-ตัวตาม โดยวัดความเร็วเดียวกับการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง

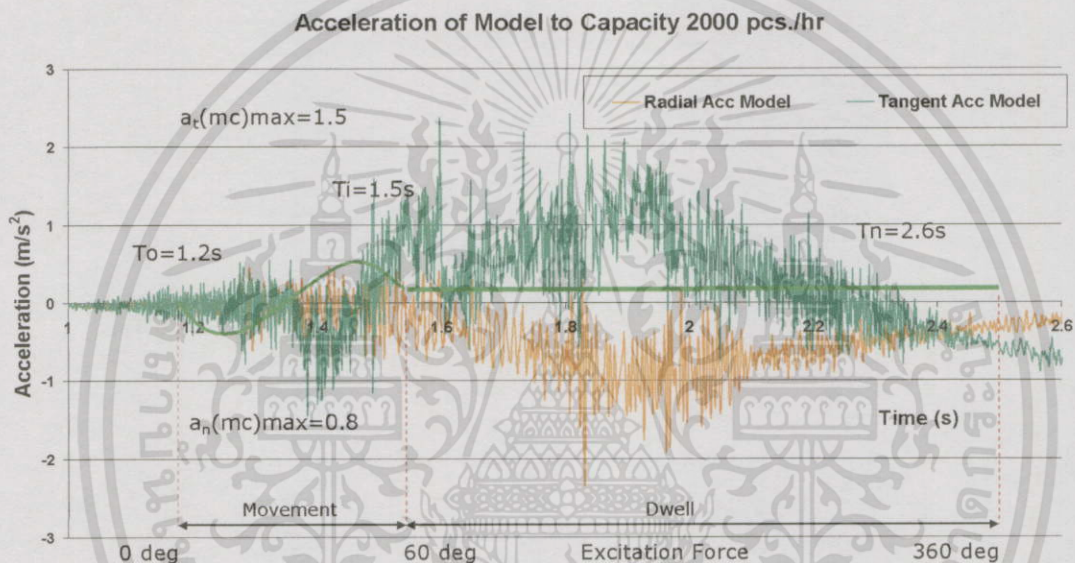
ในการทดลองในรูปที่ 4.28 ในบทที่ 4 ได้ผลการทดลองของค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับระบบลูกเบี้ยว-ตัวตามที่เคลื่อนที่เป็นจังหวะ โดยทำการวัดค่าความเร่งทั้งสองแกนได้แก่ ความเร่งในแนวตั้งฉากกับรัศมีของแกนเพลลาจานหมุนตามทิศทางการหมุน (a_t) และความเร่งในแนวเดียวกับรัศมีของแกนเพลลาจานหมุนตามทิศทางเข้าหาศูนย์กลางเพลลา (a_n) จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดค่านำมาเข้าสมการ 4.9 เพื่อหาความเร่งที่เกิดขึ้นในตำแหน่งของลูกกลิ้งตัวตาม (a_{TF}) โดยค่าความเร่งที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามเวลาของการเคลื่อนที่ จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบจากเครื่องพิมพ์ที่โรงงานในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมงตามลำดับ จะได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม (a_n, a_t) จากชุดทดสอบในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเวลาเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ ($T_o=0.97$ วินาที) จะเท่ากับองศาเริ่มต้นในการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวที่ 0 องศา เช่นเดียวกับความเร็วในการพิมพ์ขวด จะได้คาบเวลาที่ใช้ในการพิมพ์ขวดที่หนึ่งขวดเป็น เท่ากับ 1.02 วินาทีต่อหนึ่งขวด ดังนั้น คาบที่เวลาที่สิ้นสุดในการ

พิมพ์ขวดที่หนึ่งขวดเป็น เท่ากับ(T_n), 2.01 วินาที ดังนั้น เวลาในการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว ทำกับ 60 องศา จะได้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่เป็นเท่ากับ 0.18 วินาที จากกราฟเวลาที่เคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวที่ใช้ในจังหวะเดียวกันกับการพิมพ์ เท่ากับ (T_i), 1.15 วินาที จะเห็นได้ว่าจะใช้เวลาเดียวกันเนื่องจากชุดของระบบขับเคลื่อนเป็นชุดเดียวกันกับเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ จะได้ค่าความเร่งจากกราฟที่ 5.3 ของเครื่องจักร 3,500 a_n (mc)max = 1.02 m/s² และ a_t (mc)max = 1.98 m/s² ตามลำดับ และกราฟที่ 5.4 จะแสดงค่าความเร่ง ของเครื่องจักร 2,000 a_n (mc)max = 0.8 m/s² และ a_t (mc)max = 1.5 m/s² ตามลำดับ จะได้ผลดังนี้



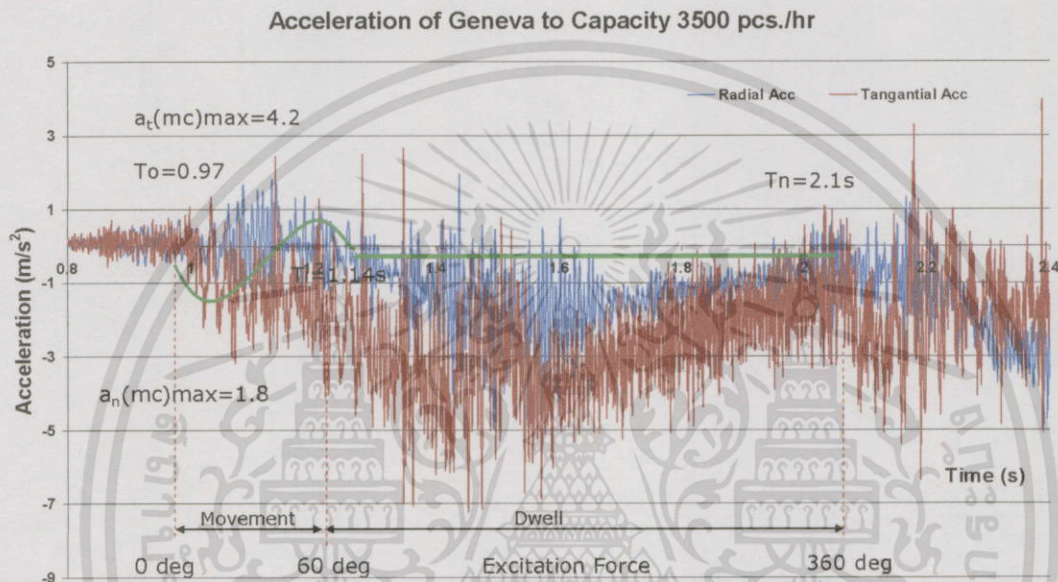
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม (a_n, a_t) จากชุดทดสอบในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง

5.3 ผลการทดลองและทดสอบวัดค่าความเร่งจากชุดทดลองระบบ Geneva โดยวัดความเร็วเดียวกับการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง

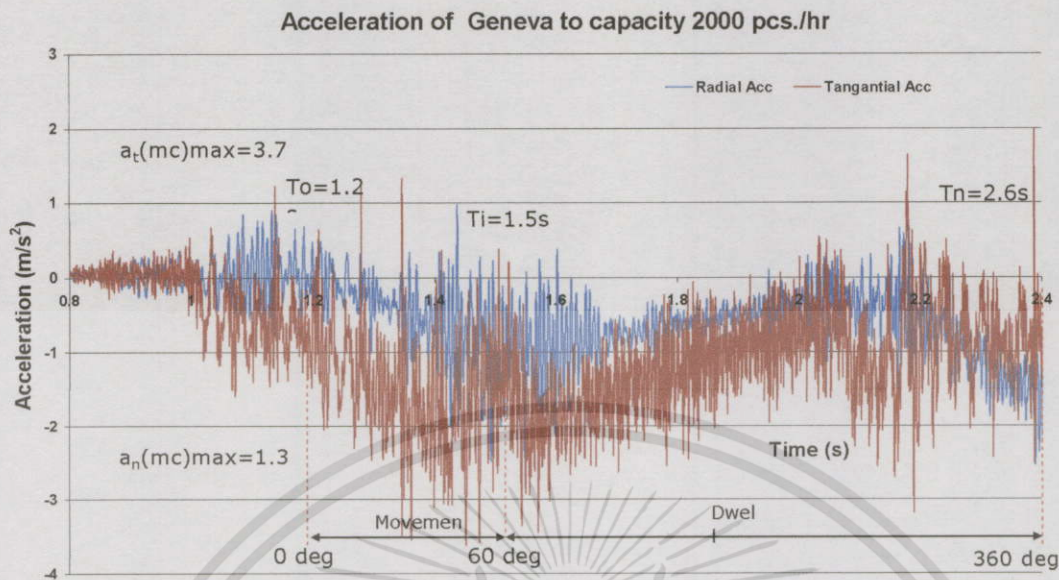
ในการทดลองในรูปที่ 4.31 ในบทที่ 4 ได้ผลการทดลองของค่าความเร่งที่เกิดขึ้นกับระบบ Geneva ที่เคลื่อนที่เป็นจังหวะ โดยทำการวัดค่าความเร่งทั้งสองแกนได้แก่ ความเร่งในแนวตั้งฉากกับรัศมีของแกนเพลงานหมุนตามทิศทางการหมุน (a_t) และความเร่งในแนวเดียวกับรัศมีของแกนเพลงานหมุนตามทิศทางเข้าหาศูนย์กลางเพล (a_n) จากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดค่านำมาเข้าสมการ 4.9 เพื่อหาความเร่งที่เกิดขึ้นในตำแหน่งของลูกกลิ้งตัวตาม (a_{IF}) โดยค่าความเร่งที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะแปรผันตามเวลาของการเคลื่อนที่ จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบจากเครื่องพิมพ์ที่โรงงานในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง ตามลำดับ จะได้ค่าความเร่งจากกราฟที่ 5.5 ของเครื่องจักร 3,500 a_n (mc)max = 1.8 m/s² และ a_t (mc)max = 4.2 m/s² ตามลำดับ และกราฟที่ 5.6 จะแสดงค่าความเร่ง ของเครื่องจักร 2,000 a_n (mc)max = 1.3 m/s² และ a_t (mc)max = 3.7 m/s² ตามลำดับ จะได้ผลดังนี้



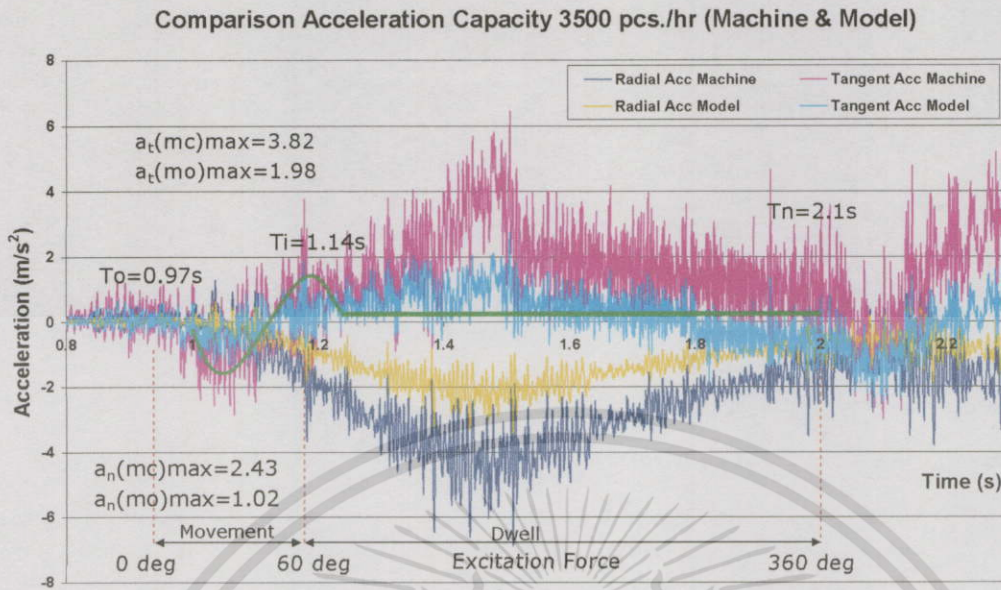
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อน Geneva (a_n , a_t) จากชุดทดสอบในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงค่าความเร่งของระบบขับเคลื่อน Geneva (a_n , a_t) จากชุดทดสอบในการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง

5.4 ผลของการเปรียบเทียบจากการวัดค่าความเร่งระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงาน กับชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม โดยวัดความเร็วเดียวกับการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 และ 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง

ผลที่ได้จากการทดลองวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นระหว่าง เครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม แสดงให้เห็นว่า กราฟของค่าความเร่งที่เกิดขึ้นทั้งสองมีความสอดคล้องกัน จากสถานะของชุดทดลองที่ได้มีการปรับแต่งในชุดปรับหาแรงเสียดทานที่ใช้แรงกดของสปริงกับแผ่นคลัตช์ (Clutch) จะได้ผลดังต่อไปนี้

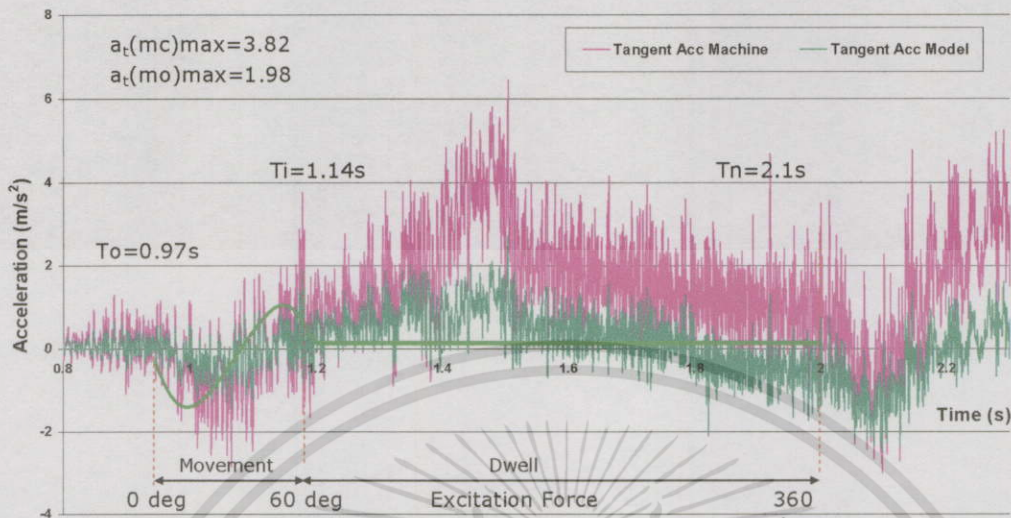


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง (a_n, a_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง

จากกราฟจะเห็นว่าค่าความเร่งทั้ง (a_n, a_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ มีความสอดคล้องกันในช่วงของการเคลื่อนที่ (movement) แต่ค่าความเร่งสูงสุดที่เกิดขึ้น และค่าแอมพลิจูด (amplitude) ของค่าความเร่ง ทั้งสองเกณฑ์ที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยชุดทดลอง ลูกเบี้ยว-ตัวตาม จะมีค่าความเร่งที่ต่ำกว่าเครื่องพิมพ์ที่โรงงาน อันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนที่สูง และมีแรงกระตุ้นที่มากกว่ากับกลไก (excitation force) จึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรที่ไม่ราบเรียบ และยังส่งผลกระทบต่อในช่วงที่หยุดการเคลื่อนที่ (dwell) โดยสังเกตได้จากกราฟในช่วงที่หยุดการเคลื่อนที่ ยังมีแรงกระตุ้นที่มากกว่ากับกลไกทำให้เกิดการสั่นสะเทือน จะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในจังหวะที่หยุดนิ่ง ซึ่งทำให้รู้ถึงค่าความคลาดเคลื่อนของช่องว่างระหว่างลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้งที่เกิดขึ้น

จากนั้นค่าความเร่งที่มีผลกระทบในช่วงการพิมพ์ที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนมากคือ ค่าความเร่งในแนวตั้งฉากกับรัศมีของแกนเพลงานหมุนตามทิศทางการหมุน (a_t) จึงทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมระหว่าง ค่าความเร่งในแนวตั้งฉากกับรัศมี ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ จะได้ผลดังต่อไปนี้

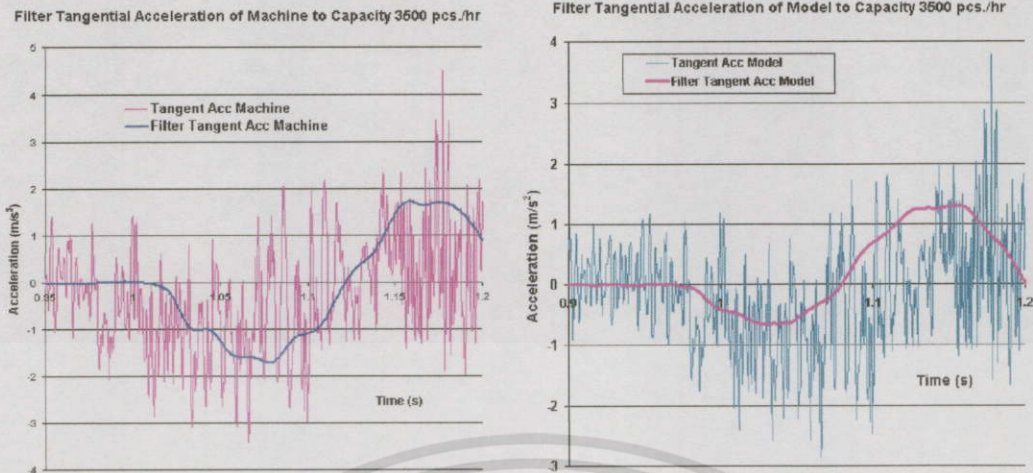
Comparison Tangential Acceleration of Capacity 3500 pcs./hr (Machine & Model)



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง a_t ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง

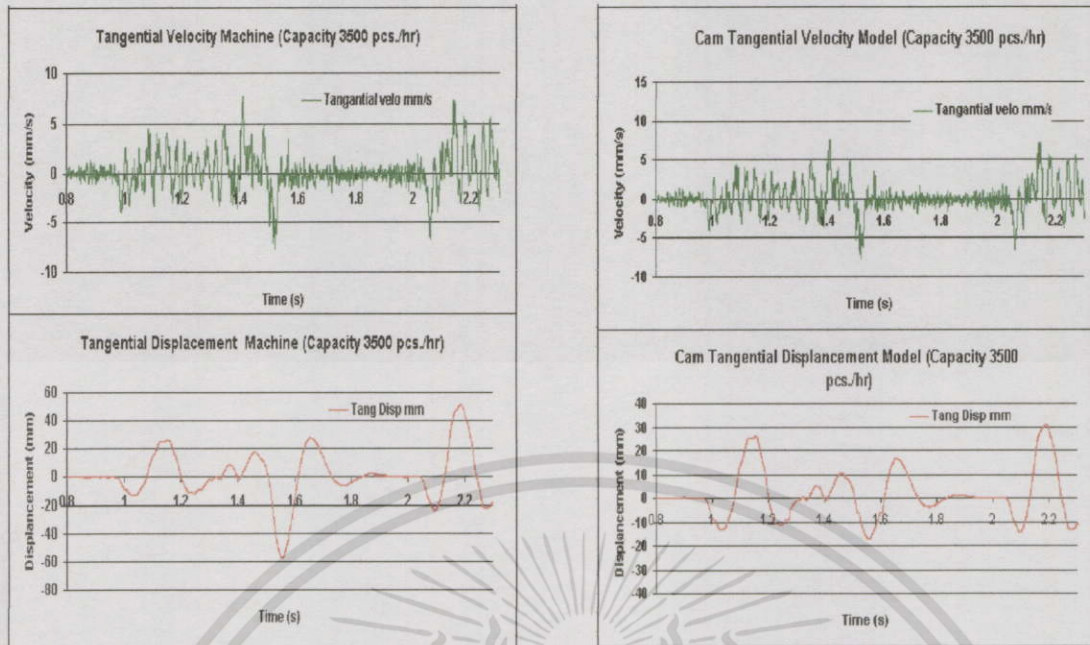
จากกราฟจะเห็นว่าค่าความเร่งทั้ง $a_t(mc)$, $a_t(mo)$ ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบมีความสอดคล้องกันตามช่วงเวลาการเคลื่อนที่ ดังนั้นในการทดลองระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ มีแนวโน้มที่คล้ายกันตามช่วงเวลาการเคลื่อนที่

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ในช่วงที่มีการเคลื่อนที่ตั้งแต่เวลาที่ 0.97 วินาที จนถึง ช่วงเวลา 2.1 วินาที ทำการกรองสัญญาณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ชื่อว่า Flexpro V.7.1 โดยการกรองสัญญาณที่เกิดขึ้นเพื่อดูผลค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการตัดสัญญาณที่ไม่เกี่ยวข้องออก จะทำให้เห็นผลที่ง่ายขึ้นที่จะนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าความเร่งที่ได้จากการ คำนวณของระบบการเคลื่อนที่แบบหยุดเป็นจังหวะ จะได้ผลดังต่อไปนี้



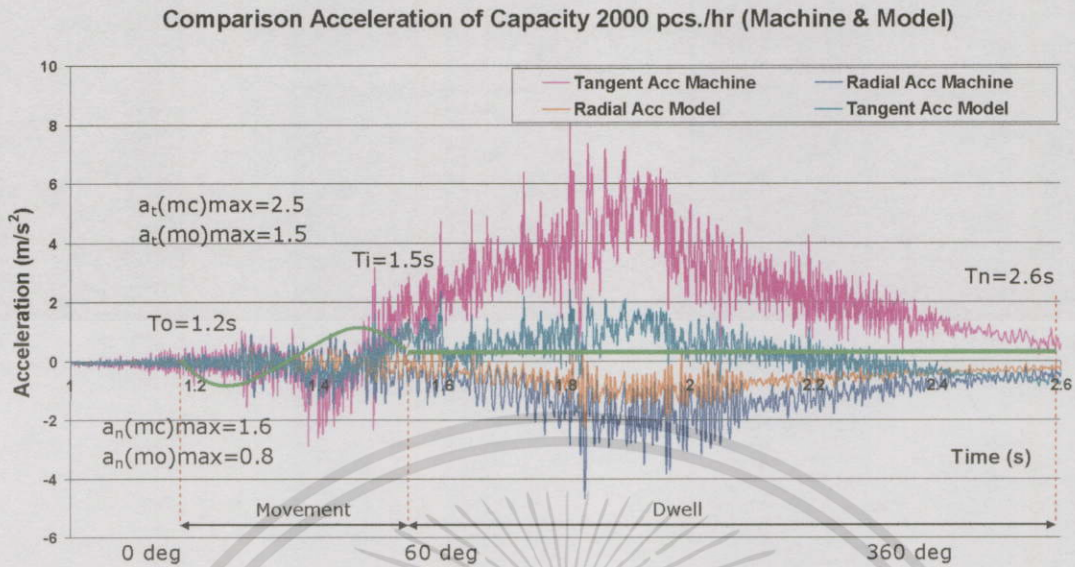
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงผลการกรองสัญญาณค่าความเร่ง a_t ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง

จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาค่าความเร็ว (V_t) และระยะขจัด (S_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ชื่อว่า Flexpro V.7.1 โดยทำการอินทิเกรต จากค่าความเร่ง a_t ที่เกิดขึ้นตามเวลา จะได้ค่าความเร็ว (V_t) ที่เกิดขึ้นตามเวลา และทำการอินทิเกรต จากค่าความเร็ว V_t ที่เกิดขึ้นตามเวลา จะได้ระยะขจัด S_t ที่เกิดขึ้นตามเวลา จะได้ผลดังต่อไปนี้

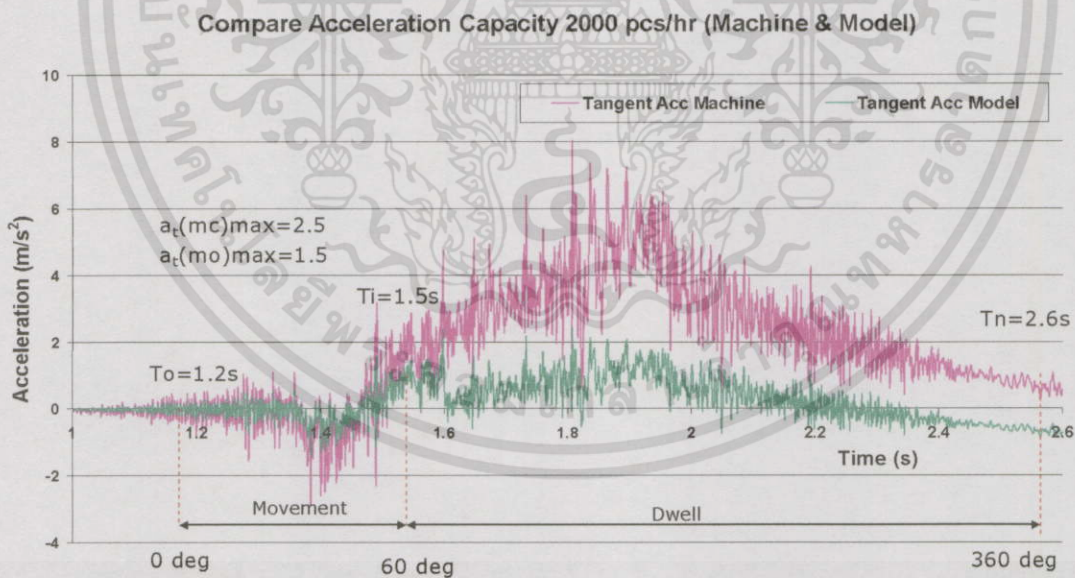


รูปที่ 5.10 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร็ว (V_t) และระยะขจัด (S_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง

จากนั้น ได้ทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากทดลองเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ การพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง กับระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ แล้วทำการวิเคราะห์ผลเช่นเดียวกับความเร็วรอบการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 ขวดต่อชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ความเร่ง ความเร็ว และระยะขจัด จะมีผลลดลงกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่เกิดขึ้น จะได้ผลดังต่อไปนี้

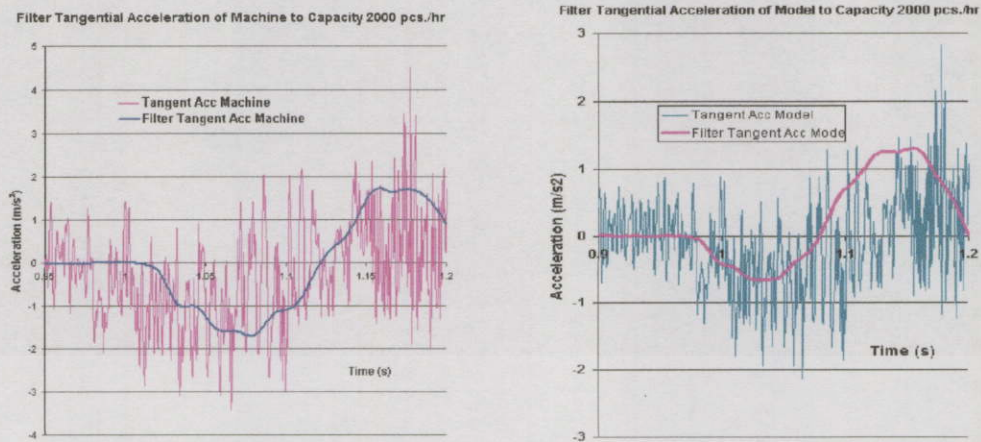


รูปที่ 5.11 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง (a_n, a_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง

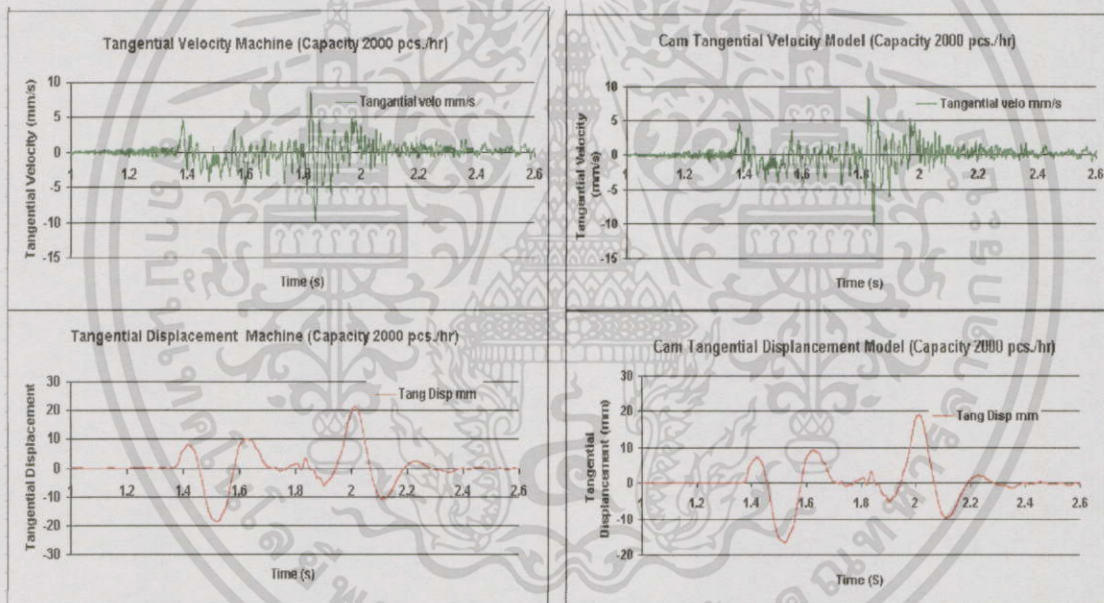


รูปที่ 5.12 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง (a_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



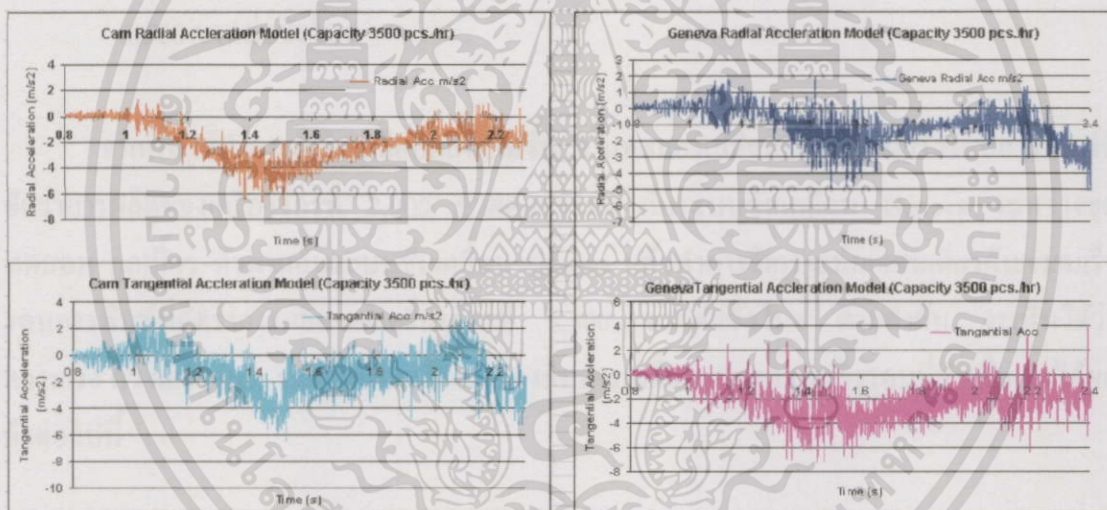
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงผลการกรองสัญญาณค่าความเร่ง a_t ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร็ว (V_t) และระยะขจัด (S_t) ของระบบขับเคลื่อนลูกเบี้ยว-ตัวตาม ระหว่างเครื่องพิมพ์ที่โรงงานกับชุดทดสอบ ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง

5.5 ผลของการเปรียบเทียบจากการวัดค่าความเร่งระหว่างชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตามกับ ระบบกลไก Geneva โดยวัดความเร็วเดียวกับการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง

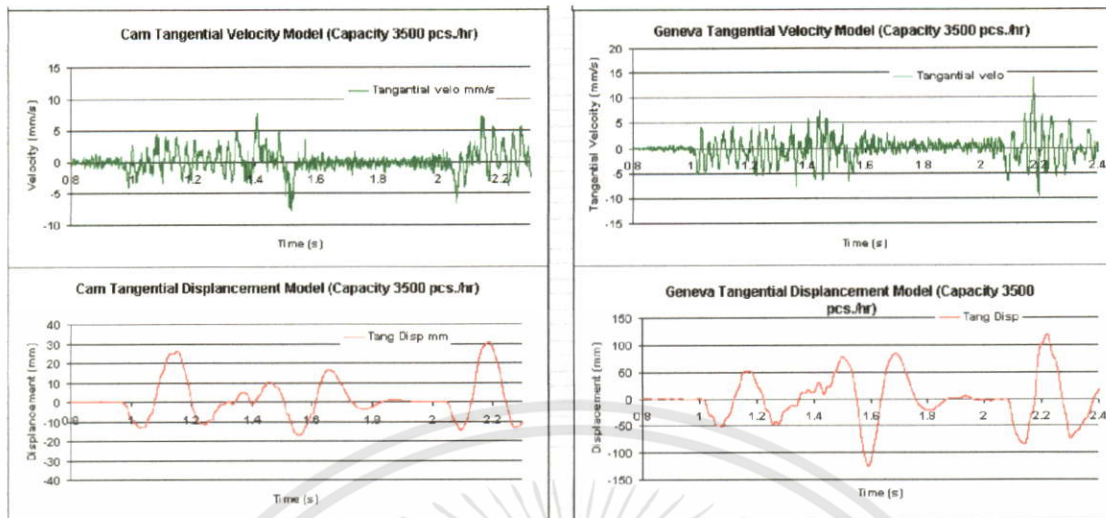
ในการทดลองวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นในระบบ Geneva ผลที่ได้จากการทดลองวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นระหว่างชุดทดลองระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตามกับระบบ Geneva แสดงให้เห็นว่า กราฟของค่าความเร่งที่เกิดขึ้นทั้งสองมีความแตกต่างกัน จากสภาวะของชุดทดลองที่ได้มีการปรับแต่งในชุดปรับแรงเสียดทานที่ใช้แรงกดของสปริงกับแผ่นคลัตช์ (clutch) เท่ากับระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม จะเห็นว่า ความเร่ง a_n, a_t ทั้งสองที่เกิดขึ้นสูงระบบระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม และค่าแอมพลิจูด (amplitude) ของค่าความเร่ง ทั้งสองแกนที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยชุดทดลอง ลูกเบี้ยว-ตัวตาม จะมีค่าความเร่งที่ต่ำกว่าระบบระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม อันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนที่สูง และลักษณะรูปร่างของ Geneva จึงส่งผลกระทบต่อผลการเคลื่อนที่เกิดความไม่ราบเรียบ และยังส่งผลการทบไปในช่วงที่หยุดการเคลื่อนที่ (dwell) โดยสังเกตได้จากกราฟในช่วงที่หยุดการเคลื่อนที่ ยังมีแรงกระตุ้นที่มากกระทำกับกลไก Geneva ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน จะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในจังหวะที่หยุดนิ่ง ซึ่งทำให้รู้ถึงค่าความคลาดเคลื่อนของช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งกับร่องในจานหมุนของตัวตามที่เกิดขึ้น จะได้ผลการเปรียบเทียบดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง (a_n, a_t) ระหว่าง ชุดทดสอบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบกลไก Geneva ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ชุดต่อชั่วโมง

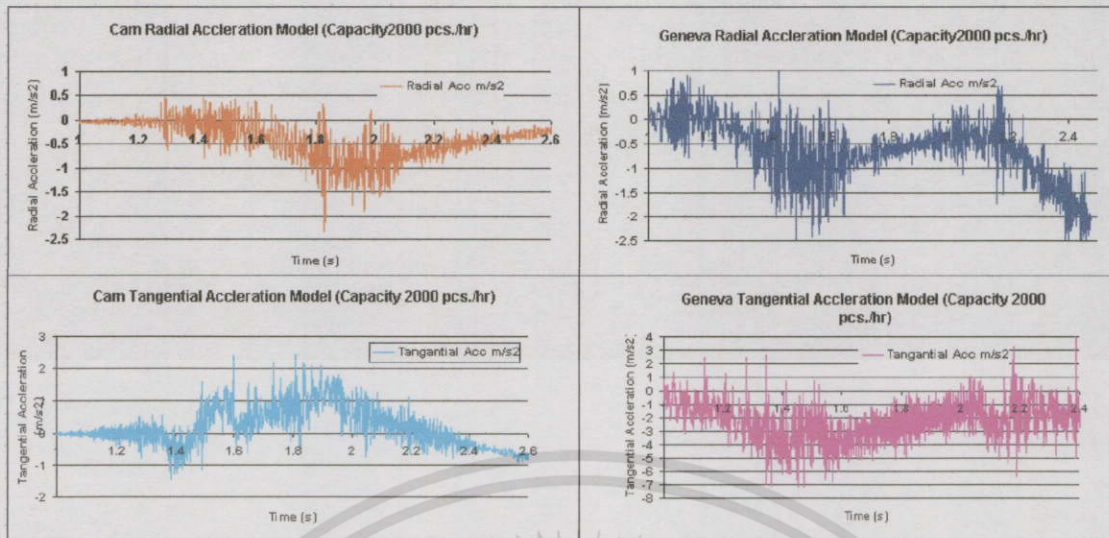
จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความเร็ว (V_t) และระยะขจัด (S_t) ของระบบขับเคลื่อนระหว่างชุดทดสอบระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับระบบกลไก Geneva ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ชื่อว่า Flexpro V.7.1 โดยทำการอินทิเกรต จากค่าความเร่ง a_t ที่เกิดขึ้นตามเวลา จะได้ค่าความเร็ว (V_t) ที่เกิดขึ้นตามเวลา และทำการอินทิเกรต จากค่าความเร็ว V_t ที่เกิดขึ้นตามเวลา จะได้ระยะขจัด S_t ที่เกิดขึ้นตามเวลา จะได้ผลดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

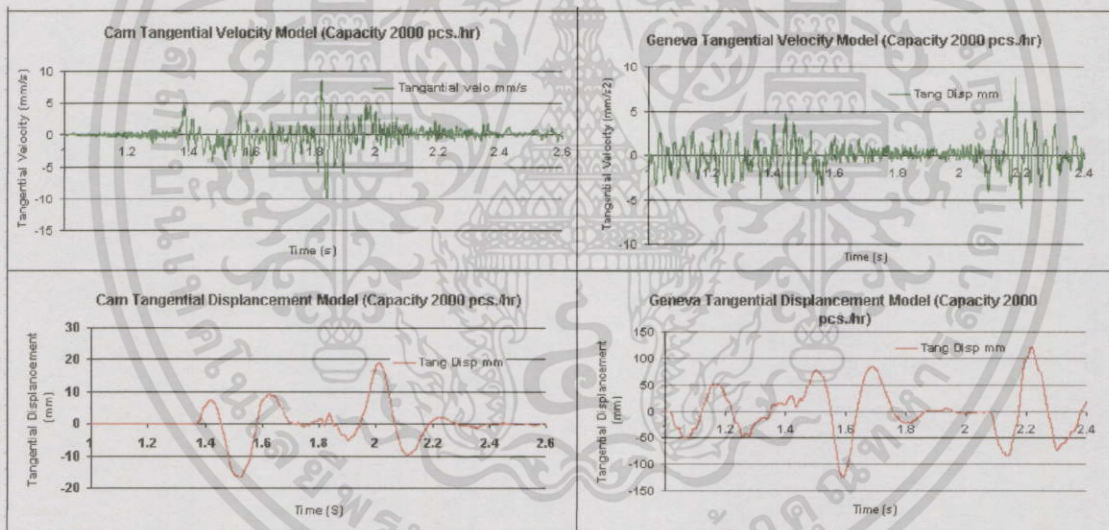


รูปที่ 5.16 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร็ว (V_t) และระยะขจัด (S_t) ระหว่าง ชุดทดสอบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบกลไก Geneva ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 3,500 ขวดต่อชั่วโมง

จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้น จากทดลองเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง กับระบบขับเคลื่อน Geneva ระหว่างชุดทดสอบ ลูกเบี้ยว-ตัวตามกับระบบขับเคลื่อน Geneva แล้วทำการวิเคราะห์ผลเช่นเดียวกับความเร็วรอบการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 ขวดต่อชั่วโมง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ความเร่ง ความเร็ว และ ระยะขจัด จะมีผลลดลงกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบที่เกิดขึ้น จะได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร่ง (a_n, a_t) ระหว่าง ชุดทดสอบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบกลไก Geneva ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง



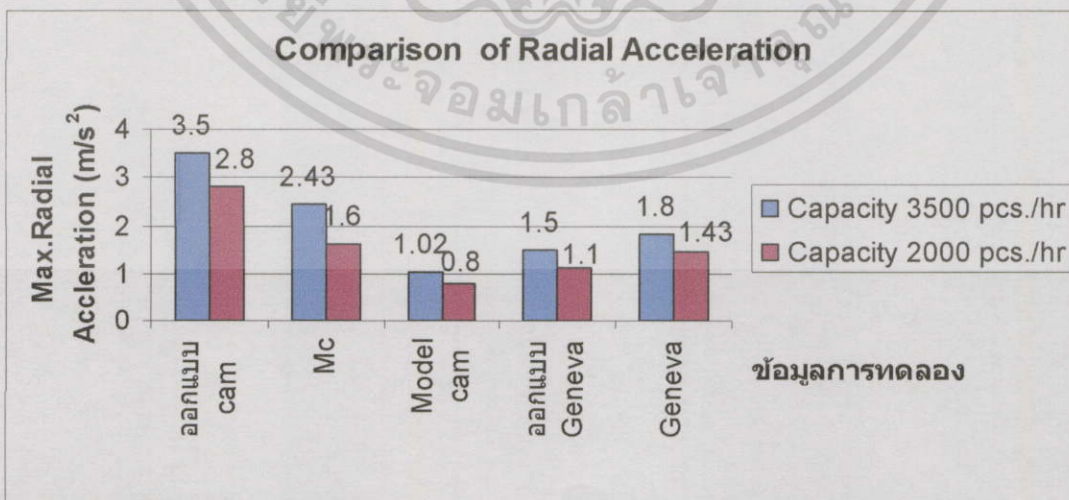
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความเร็ว (V_t) และระยะขจัด (S_t) ระหว่าง ชุดทดสอบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบกลไก Geneva ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักร 2,000 ขวดต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ผลสรุปของการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลจากการวัดค่าความเร่ง ตามข้อมูลในการออกแบบและข้อมูลในทดลอง โดยวัดความเร็วเดียวกับการพิมพ์ที่อัตราการผลิตของเครื่องจักรที่ 3,500 และ 2,000 ขวด ต่อชั่วโมง

จากการทดลองในการวัดค่าความเร่งที่เกิดขึ้นแบบต่าง ๆ ทั้งในเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์ในแบบชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม และในชุดทดลองระบบ Geneva เพื่อมาเปรียบเทียบกับผลการออกแบบทั้งระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม และระบบ Geneva ที่แบ่งแยกตามความเร็วที่ใช้ในการผลิตที่ 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง จะได้ทำการพิจารณาค่าความเร่งที่เกิดขึ้นทั้งค่าความเร็วตามแนวรัศมี (a_n) และความเร่งที่เกิดตามแนวตั้งฉากรัศมี (a_t) ความเร็วที่เกิดจากความเร่งที่ตั้งฉากกับรัศมี (v_t) และระยะขจัดที่เกิดจากการอินทิเกรตจากความเร่งตั้งฉากกับรัศมี (s_t) จะแสดงผลตามลำดับดังนี้

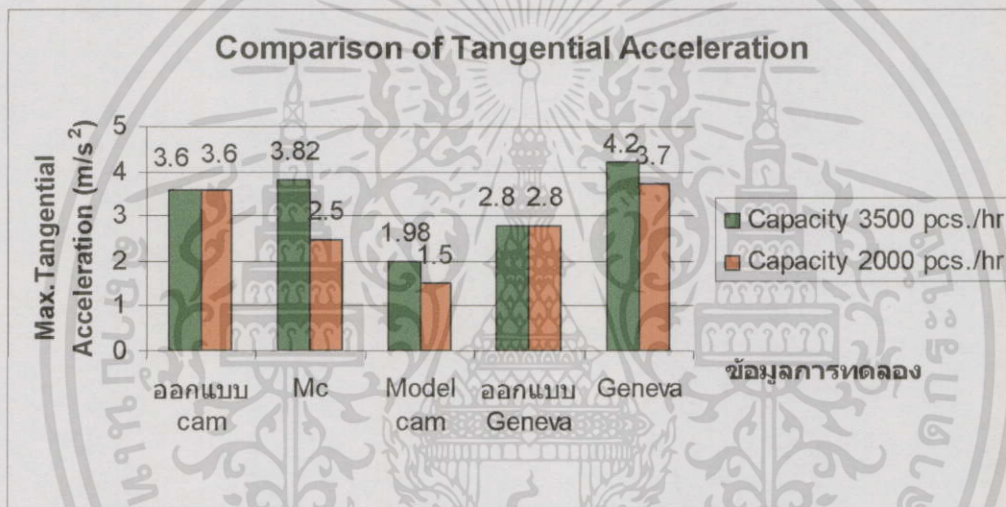
ค่าความเร่งตามแนวรัศมี (a_n) (radial acceleration) ที่เกิดจากความเร็วที่ใช้ในการผลิตที่ 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูป 5.19 ในข้อมูลการทดลอง คือ การออกแบบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม จะได้เท่ากับ 3.5 m/s^2 และ 2.8 m/s^2 วัดค่าที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์เท่ากับ 2.4 m/s^2 และ 1.6 m/s^2 วัดค่าที่เกิดขึ้นในชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม เท่ากับ 1.02 m/s^2 และ 0.8 m/s^2 ในการออกแบบระบบ Geneva จะได้เท่ากับ 1.5 m/s^2 และ 1.1 m/s^2 วัดค่าที่เกิดขึ้นในชุดทดลองระบบ Geneva เท่ากับ 1.8 m/s^2 และ 1.43 m/s^2 จะเห็นได้ว่า ความเร่งที่เกิดขึ้นในแนวรัศมีจะแทนอัตราการเปลี่ยนแปลงทิศทางของความเร็วเมื่อเทียบกับเวลา และมีทิศทางตามการหมุนจะเป็นบวก เนื่องจากแรงนี้จะพุ่งเข้าหาศูนย์กลางของส่วนโค้งทางเดินที่เรียกว่า แรงสู่ศูนย์กลาง (centripetal Force) เนื่องจากการพิจารณาแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ คือ $\sum F = ma_n$ ไม่มีผลต่อระบบการเคลื่อนที่ในการพิมพ์



รูปที่ 5.19 แสดงการสรุปผลค่าความเร่งตามแนวรัศมี (a_n) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการทดลอง

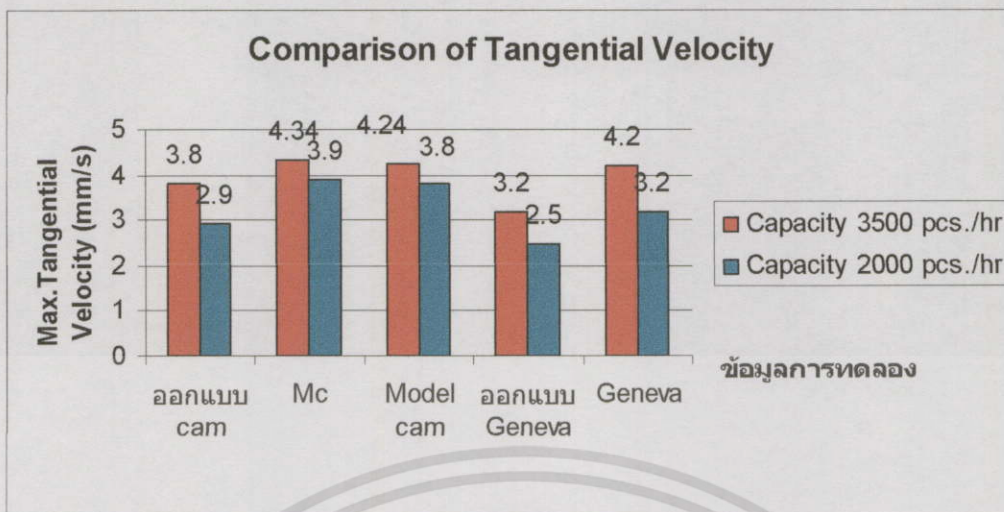
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเร่งแนวตั้งฉากกับรัศมี (a_t), (tangential acceleration) ที่เกิดจากความเร็วที่ใช้ในการผลิตที่ 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูป 5.20 ในข้อมูลการทดลอง คือ การออกแบบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม จะได้เท่ากับ 3.6 m/s^2 และ 3.6 m/s^2 วัตค่าที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์เท่ากับ 3.82 m/s^2 และ 2.5 m/s^2 วัตค่าที่เกิดขึ้นในชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม เท่ากับ 1.98 m/s^2 และ 1.5 m/s^2 ในการออกแบบระบบ Geneva จะได้เท่ากับ 2.8 m/s^2 และ 2.8 m/s^2 วัตค่าที่เกิดขึ้นในชุดทดลองระบบ Geneva เท่ากับ 4.2 m/s^2 และ 3.7 m/s^2 จะเห็นได้ว่า ความเร่งที่เกิดขึ้นในแนวตั้งฉากกับรัศมีจะแทนอัตราการเปลี่ยนแปลงทิศทางของความเร็วเมื่อเทียบกับเวลา และมีทิศทางตามการหมุนจะเป็นบวก เนื่องจากแรงนี้ในใช้การพิจารณาแรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ คือ $\sum F = ma_t$ โดยที่ค่าความเร่งมีผลต่อระบบการเคลื่อนที่ในการพิมพ์



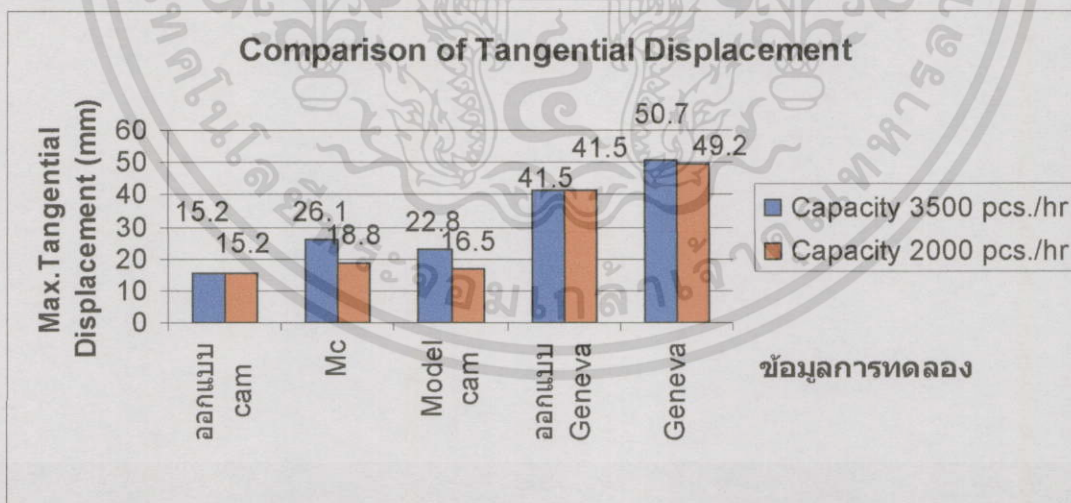
รูปที่ 5.20 แสดงการสรุปผลค่าความเร่งตั้งฉากกับแนวรัศมี (a_t) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการทดลอง

ค่าความเร็วตามแนวตั้งฉากกับรัศมี (v_n) (tangential velocity) ที่เกิดจากความเร็วที่ใช้ในการผลิตที่ 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูป 5.21 ในข้อมูลการทดลอง คือ การออกแบบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม จะได้เท่ากับ 3.8 m/s และ 2.9 m/s วัตค่าที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์เท่ากับ 4.34 m/s และ 2.9 m/s วัตค่าที่เกิดขึ้นในชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม เท่ากับ 4.24 m/s และ 3.8 m/s ในการออกแบบระบบ Geneva จะได้เท่ากับ 3.2 m/s และ 2.5 m/s วัตค่าที่เกิดขึ้นในชุดทดลองระบบ Geneva เท่ากับ 4.2 m/s และ 3.2 m/s



รูปที่ 5.21 แสดงการสรุปผลค่าความเร็วที่ตั้งฉากกับแนวรัศมี (V_t) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการทดลอง

ค่าระยะขจัดตามแนวตั้งฉากกับรัศมี (s_t) (tangential displacement) ที่เกิดจากความเร็วที่ใช้ในการผลิตที่ 3,500 และ 2,000 ขวดต่อชั่วโมง ตามลำดับ ดังรูป 5.22 ในข้อมูลการทดลอง คือ การออกแบบระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม จะได้เท่ากับ 15.2 mm และ 15.2 mm วัดค่าที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์เท่ากับ 26.1 mm และ 18.8 mm วัดค่าที่เกิดขึ้นในชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม เท่ากับ 22.8 mm และ 16.5 mm ในการออกแบบระบบ Geneva จะได้เท่ากับ 41.5 mm และ 41.5 mm วัดค่าที่เกิดขึ้นในชุดทดลองระบบ Geneva เท่ากับ 50.7 mm และ 49.2 mm



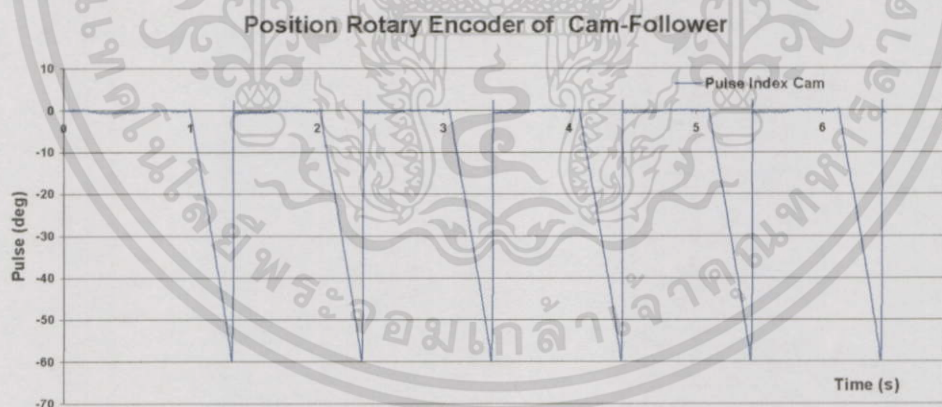
รูปที่ 5.22 แสดงการสรุปผลค่าระยะขจัดที่ตั้งฉากกับแนวรัศมี (S_t) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

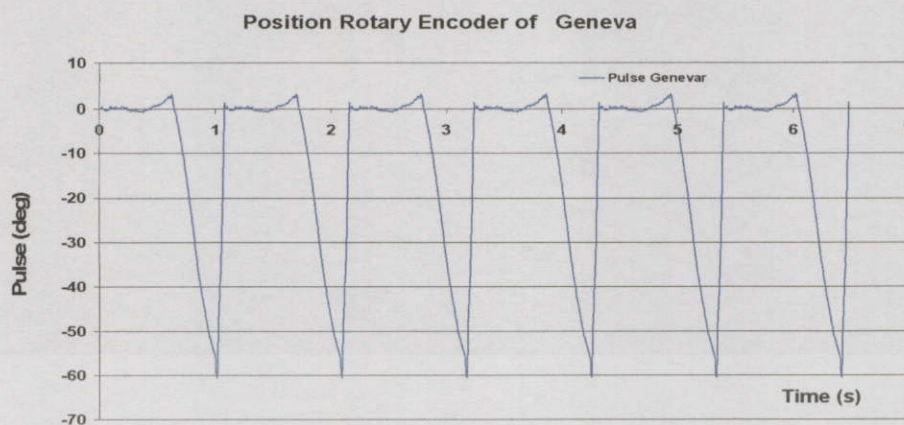
5.7 ผลการทดลองวัดค่าตำแหน่งการหมุน ของชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม และ ชุดทดลองระบบกลไก Geneva

ในการพิจารณาค่าตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของชิ้นงานที่ใช้ในการพิมพ์ มีความสำคัญมาก เนื่องจากตำแหน่งที่เกิดการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาพิมพ์กับการหมุนของชิ้นงานไม่สัมพันธ์กัน ก็จะเกิดการพิมพ์ที่ไม่ดี ทำให้เกิดของเสีย ดังนั้นในการพิจารณาค่าตำแหน่งตั้งแต่การพิมพ์ชิ้นงานก็จะเท่ากับการเคลื่อนที่ของระบบขับเคลื่อนทั้งระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม และระบบ Geneva โดยทำการวัดค่าจากอุปกรณ์ถอดรหัส (Encoder) จะได้ผลดังนี้

1. ในการจับค่าสัญญาณ Encoder ในระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม จะมีค่าความคลาดเคลื่อนในขณะที่เริ่มต้น และสุดท้ายของการเคลื่อนที่ที่หยุดนิ่งเป็นจังหวะจะได้ค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 0.2 องศา ดังรูป 5.23
2. ในการจับค่าสัญญาณ Encoder ในระบบ Geneva จะมีค่าความคลาดเคลื่อนในขณะที่เริ่มต้น และสุดท้ายของการเคลื่อนที่ที่หยุดนิ่งเป็นจังหวะจะได้ค่าความผิดพลาดไม่เกิน ± 0.2 องศา ดังรูป 5.24
3. ในการพิจารณาค่าสัญญาณ Encoder แสดงว่า ค่าความผิดพลาดของลูกเบี้ยว-ตัวตาม น้อยกว่าระบบขับเคลื่อน Geneva



รูปที่ 5.23 แสดงค่าตำแหน่งการหมุน ของชุดทดลองระบบลูกเบี้ยว-ตัวตามบนงานหมุน



รูปที่ 5.24 แสดงตำแหน่งการหมุน ของชุดทดลองระบบกลไก Geneva บนจานหมุน

5.8 การทดลองพิมพ์ชิ้นงานจริงจากเครื่องพิมพ์ที่มีระบบขับเคลื่อน ระหว่าง ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบ Geneva แล้ววิเคราะห์ผลกระทบกับของเสียที่เกิดขึ้น

ในการพิจารณาของเสียที่เกิดขึ้นจากการพิมพ์ชิ้นงานในเครื่องจักรที่ใช้พิมพ์ในโรงงานในระบบการขับเคลื่อนด้วยลูกเบี้ยว-ตัวตาม และในระบบ Geneva ตามปริมาณจำนวนชิ้นงานที่ได้จากการพิมพ์ และของเสียที่เกิดขึ้นตามปริมาณการพิมพ์เวลาที่ใช้ในการพิมพ์ตามปริมาณการพิมพ์ ตั้งแต่การพิมพ์ที่มีปริมาณตั้งแต่ 1,000 ขวด ถึง 4,500 ขวด จึงได้ทำการบันทึกผลเป็นระยะ จะแสดงตารางที่ 5.1 ดังนี้

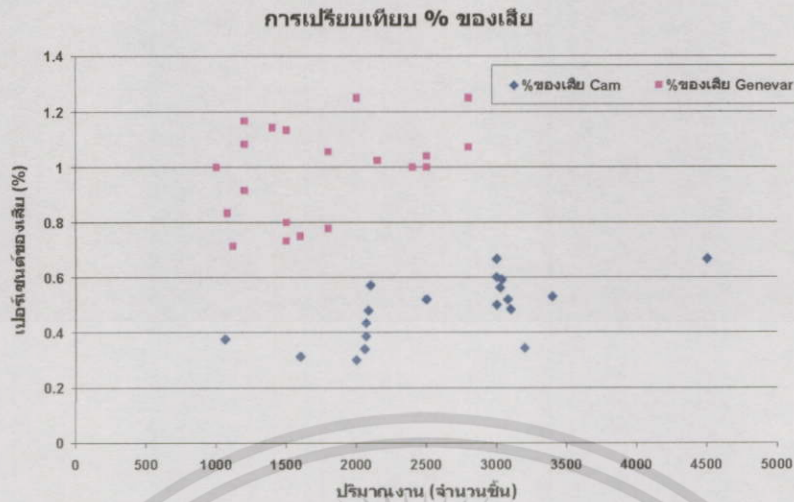
ตารางที่ 5.1 แสดงการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นจากการพิมพ์ระหว่าง ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบ Geneva

Cam				Geneva			
จำนวนชิ้นงานที่พิมพ์	จำนวนของเสีย	%ของเสีย Cam	เวลาที่ใช้พิมพ์ (min)	จำนวนชิ้นงานที่พิมพ์	จำนวนของเสีย	%ของเสีย Geneva	เวลาที่ใช้พิมพ์ (min)
1064	4	0.38	18.2	1000	10	1.00	31.9
1600	5	0.31	27.4	1080	9	0.83	48.0
2000	6	0.30	34.3	1120	8	0.71	60.0
2058	7	0.34	35.3	1200	11	0.92	61.7
2070	8	0.39	35.5	1200	13	1.08	62.1
2070	9	0.43	35.5	1200	14	1.17	62.1
2085	10	0.48	35.7	1400	16	1.14	62.6
2100	12	0.57	36.0	1500	17	1.13	63.0
2500	13	0.52	42.9	1500	11	0.73	75.0
3000	15	0.50	51.4	1500	12	0.80	90.0
3000	18	0.60	51.4	1600	12	0.75	90.0
3000	20	0.67	51.4	1800	14	0.78	90.0
3025	17	0.56	51.9	1800	19	1.06	90.8
3038	18	0.59	52.1	2000	25	1.25	91.1
3080	16	0.52	52.8	2150	22	1.02	92.4
3100	15	0.48	53.1	2400	24	1.00	93.0
3100	15	0.48	53.1	2500	25	1.00	93.0
3200	11	0.34	54.9	2500	26	1.04	96.0
3400	18	0.53	58.3	2800	30	1.07	102.0
4500	30	0.67	77.1	2800	35	1.25	135.0

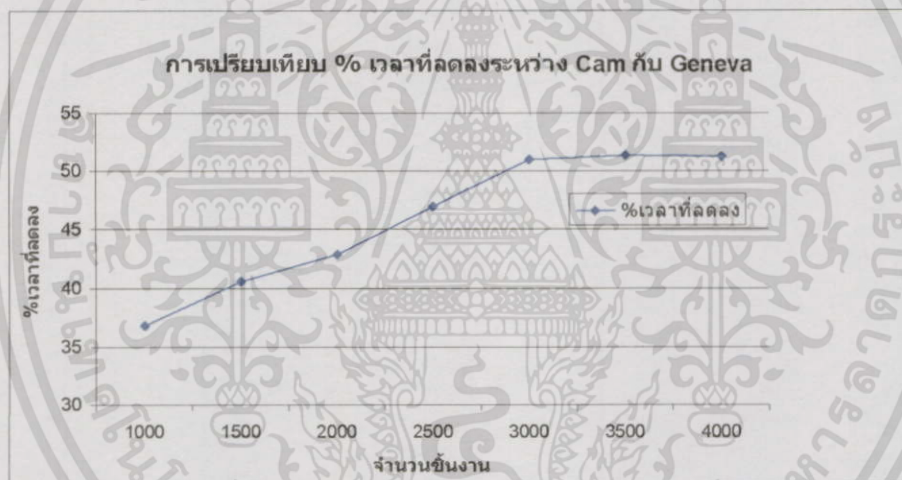
จากข้อมูลที่ได้จากการบันทึกผลของเสียที่เกิดขึ้นตามปริมาณ จึงมาทำการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นในรูปแบบของการกระจายตัวของข้อมูลเพื่อทราบว่าข้อมูลชุดใดมีการกระจายตัวมากน้อยเพียงใด ในข้อมูลที่มีการกระจายตัวมาก แสดงว่าข้อมูลชุดนั้นมีค่ามากตามกัน และทำการหาค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากข้อมูลในการกระจายตัวของเสียระหว่างระบบขับเคลื่อนแบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับระบบขับเคลื่อน Geneva อยู่ที่ 0.65% ในข้อมูลการลดของเสียที่เกิดขึ้น ดังรูป 5.25 ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการพิมพ์ดังรูป 5.26 เป็นเวลาที่ใช้กับปริมาณชิ้นงานที่จะทำการพิมพ์สามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการของเวลาลดลงระหว่างระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบกลไก Geneva จากสมการ

$$\frac{Time_{cam} - Time_{Geneva}}{Time_{Geneva}} \times 100\%$$

จะได้เวลาที่ลดลงเมื่อเทียบกับระบบกลไก Geneva จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการพิมพ์ระหว่างระบบ ลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบกลไก Geneva ลดลงเท่ากับ 4.28 %



รูปที่ 5.25 แสดงข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นจากการพิมพ์ระหว่าง ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับระบบ Geneva



รูปที่ 5.26 แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์เวลาที่ลดลงระหว่าง ระบบลูกเบี้ยว-ตัวตาม กับ ระบบ Geneva

ค่าเฉลี่ยของเสียที่ลดลง 0.65% หมายความว่า พิมพ์งาน ได้ชั่วโมงละ 3,000 ขวด วันละ 8 ชั่วโมง จะเท่ากับ 24,000 ขวด ดังนั้นเปอร์เซ็นต์ของเสียที่ลดลงได้จากการพิมพ์จะเท่ากับ $24,000 \times 0.65\% = 156$ ใบ ซึ่งราคาต้นทุนของขวด 1 ใบ เท่ากับ 1 บาท (พ.ศ. 2550) ดังนั้น $156 \times 1 = 156$ บาท ถ้า 30 วัน จะเท่ากับ $156 \times 30 = 4,680$ บาท เวลาที่ลดลง 42.80% หมายความว่า ต้องการพิมพ์งาน 24,000 ขวด ใช้ ระบบGeneva ในการพิมพ์อยู่ที่ ชั่วโมงละ 3,000 ขวด ใช้เวลาในการพิมพ์ 8 ชั่วโมง แต่ใช้ ระบบCam-Follower ใช้เวลาในการพิมพ์ 5.6 ชั่วโมง

บรรณานุกรม

- [1] ไพศาล สมประกิจ “กลศาสตร์เครื่องจักรกล” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2541.
- [2] บัญชา คังตระกูล “ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ,2526.
- [3] วิสรุต ศรีรัตน์นะ “เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ในงานอุตสาหกรรม” ซีเอ็ดดูเคชั่น ,2550.
- [4] วุฒิชัย กปิลกาญจน์ “กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล” ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2533.
- [5] Ah-Der Lin , “Dynamic Responses of a Globoidal Cam System” Department of Mechanical and Electromechanical Engineering, Taiwan, Journal of Mechanical Design (2004), 909-915
- [6] Chang Zongyu, “A study on dynamics of roller gear cam system considering clearances” College of Mechanical Engineering , China , Journal of Mechanical Design (2001), 143-152
- [7] Fan Y. Chen, “Mechanics and Design of cam Mechanisms” Pergamon press, Library of Congress Cataloging in Publication data, 1931-1981
- [8] Jack t. Kimbrell, “Kinematic Analysis and synthesis” , McGraw-Hill, 1991
- [9] Jorge Angeles, “The optimum synthesis of an elastic torque-compensating cam mechanism” Department of Mechanical Engineering , Canada, Journal of Mechanical Design (2001), 245-259
- [10] R. Garziera, “Synthesis of cams with negative radius follower and evaluation of the pressure angle” University di Parma, Journal Mechanism and Machine Theory (2003), 1017-1032



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

ME NETT 20th
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
EXTENDED ABSTRACT

การประชุมวิชาการ
 สหกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20
 วันที่ 18-20 ตุลาคม 2549
 ณ แมนดาริน โกลเด้น วิลเลจ โฮเทล แอนด์ รีสอร์ท
 เขาใหญ่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

Hitachi Global Storage Technologies

TNGC MTEC McGraw Hill BELTON TECHNOLOGY WILEY

รูปที่ ผก1 หน้าปกวารสารทางวิชาการที่ลงตีพิมพ์บทความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญบทความ(ต่อ)

Paper ID	Title
AMM034	การสร้างแม่พิมพ์ด้วยอ็พทิกซ์เรซิ่นเติมอลูมิเนียมสำหรับการฉีดพลาสติก
AMM035	การใช้ FEM วิเคราะห์การดึงท่อทองแดงด้วยวิธีไฟลตติงปล้ำ
AMM036	Aeroelastic Analysis of an Aircraft Wing Structure-the Use of a Discrete-Time Model
AMM037	Multiobjective Design of a Horizontal-Axis Wind Turbine Blade
AMM038	Topological Design of Structures with Stress Constraints
AMM039	การลดเวลากระบวนการชุบผิวแข็งแบบแก๊สคาร์บูไรซิ่ง โดยการลดเวลาเพิ่มและการบำบัดเย็น
AMM040	การศึกษาเชิงเปรียบเทียบของลูกเบี้ยวแบบเคลื่อนที่เป็นจังหวะ
AMM042	การสันสะเทือนที่มีผลต่อเสียงของสปริงเคลมมอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
AMM043	การศึกษาอิทธิพลของรูปเบร็องบางที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของร่องบ ถานบนฝากระโปงบรรจุเครื่องคัม โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
AMM044	การเปลี่ยนพฤติกรรมคล้ายแผ่นบางอื่นเป็นพฤติกรรมคล้ายกัน
AMM045	การวิเคราะห์และตรวจสอบความบกพร่องของผ้าใย
AMM046	Experimental Observations of Mass and Velocity Parametric Sweeps of Impact Regime Boundaries
AMM047	On the Concept and Application of Impact Response Maps
AMM048	Hot Deformation Behaviors of Low Carbon Steels
AMM050	การออกแบบและสร้างเครื่องจักรเรียงลูกเบมดินแบบกึ่งอัตโนมัติ
AMM051	การศึกษาความสามารถในการถูกตัดเฉือนของยาง โดยกระบวนการกัดและการกลึง
AMM052	การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานออกแบบและงานวิเคราะห์ในการหาสภาวะเหมาะสมในระบบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง
AMM053	การใช้แบบจำลองเครือข่ายประสาทเทียมในการทำนายการหดตัวของผลิตภัณฑ์ต่างในระบบการอัดขึ้นรูป
AMM054	การศึกษาการเปรียบเทียบการใช้งานของเครื่องเก็บค่าที่กัลสามมิติระบบเลเซอร์และระบบของเปิดที่ใช้สำหรับงานวิศวกรรมขั้นรอย
AMM055	การหล่อลื่นแบบเทอร์โมกลาส ไฮโดรไดนามิกที่สัมผัสเป็นเส้นตรงในโรลเลอร์ที่เป็นวัสดุผสม
AMM056	การหล่อลื่นแบบเทอร์โมไฮดรไดนามิก ในเฟืองฟันตรง
AMM057	การประเมินอายุใช้งานวัสดุเคลือบฟันในฟันปลอมแบบยึดแน่น โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
AMM060	การทดสอบความแข็งแรงดึงของล้อยางดันสองชั้น
AMM062	การศึกษาความสามารถในการดูดซับพลังงานของโครงสร้างด้านข้างรถยนต์โดยสารภายใต้แรงกด แรงบิดและแรงดัด
AMM063	การศึกษาการไหลแบบตกแก่แบบไร้ความหนืด
AMM064	การศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อลักษณะของรอยเชื่อมในกระบวนการเชื่อมด้วยเลเซอร์

รูปที่ ผก2 สารบัญวารสารทางวิชาการที่ลงตีพิมพ์บทความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบของลูกเบี้ยวแบบเคลื่อนที่เป็นจังหวะ Comparative Study of Cam with Intermittent Rotary Movement

ทรงเกียรติ รอดแดง^{1*} มิ่ง โลกิจแสงทอง²

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทร 0-6331-8156 *อีเมล kiatkob@yahoo.com

Songkiat Roddeang^{1*} Ming Lokitsangtong²

^{1,2} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520

Tel 0-6331-8156, *E-mail: kiatkob@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเชิงเปรียบเทียบของลูกเบี้ยวแบบเคลื่อนที่เป็นจังหวะ โดยทำการพิจารณาระยะขจัด (displacement) ความเร็ว (velocity) และ ความเร่ง (Acceleration) ของลักษณะรูปร่างของลูกเบี้ยวพื้นฐาน 3 แบบ คือ Simple Harmonic, Cycloidal และ Polynomial เปรียบเทียบกับลักษณะรูปร่างของลูกเบี้ยวที่มีการพัฒนาขึ้นมาใหม่จากพื้นฐานที่กล่าวมาทั้ง 3 แบบ คือ Modified Sine (MS) ซึ่งมีการพัฒนาจากการเคลื่อนที่แบบ Harmonic แบบที่สองคือ Modified Trapezoid (MT) ซึ่งมีการพัฒนาขึ้นจากการเคลื่อนที่แบบ Cycloidal และแบบสุดท้ายคือ Sine Function Modified Trapezoid (SMT) ซึ่งมีการพัฒนาจากการเคลื่อนที่แบบ Modified Trapezoid รวมกับ Polynomial หลังจากการพัฒนาแสดงผังการขจัด ผังความเร็ว และ ผังความเร่ง จากนั้นทำการเปรียบเทียบระยะขจัด และความเร่งระหว่างลักษณะพื้นฐานกับลักษณะที่มีการพัฒนาขึ้น ภายหลังจากการพัฒนาแบบการเคลื่อนที่ให้ระยะขจัดมีค่าคงที่ หรือเท่ากันในทุกรูปแบบที่กล่าวมาพบว่า การเคลื่อนที่แบบ Sine Function Modified Trapezoid (SMT) ให้ค่าความเร่งอยู่ในช่วงต่ำสุดเท่ากับ ± 4.57 ซึ่งระยะขจัดและค่าความเร่งเป็นพื้นฐานในการการออกแบบ และเลือกใช้ลูกเบี้ยวในระบบกลไกให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

Abstract

The aim of this research work are to compare of three figure cams with intermittent rotary movement which are examined by displacement ,velocity and acceleration. The figure basic curves cam such as Harmonic, Cycloidal and Polynomial function which compare and develop figure of cams. The first is Modified Sine (MS) that improved from Harmonic , second is Modified Trapezoid (MT) that improved from Cycloidal , third is Sine

Function Modified Trapezoid (SMT) that improved between Modified Trapezoid with Polynomial. The result is presented to graph which compared such values of them by constant displacement. The Sine Function Modified Trapezoid (SMT) show at minimum of acceleration is ± 4.57 that calculated from displacement and acceleration. Conclusion displacement and acceleration is important value of them for a basic other design model. Curve cams figure and improving curve cams figure more effectively than old model.

Keyword: Cams, Cycloidal, Polynomial, Modified Sine, Modified Trapezoid

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ในอุตสาหกรรมการผลิต ยังมีความต้องการในการใช้ระบบกลไกแบบลูกเบี้ยว ที่มีสมรรถนะในการทำงานที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงของการทำงานเคลื่อนที่เป็นจังหวะในระบบกลไก และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบของเครื่องจักรได้อย่างแพร่หลาย โดยที่ลูกเบี้ยวสามารถตอบสนองความต้องการของระบบกลไกได้หลาย ๆ ชนิดในลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆ เช่น ลักษณะการหมุนและการเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทำงานของลูกเบี้ยวนั้นจะถูกกำหนดไว้โดย เส้นรอบรูปของลูกเบี้ยว (Cam profiles) ที่ทำให้ตัวตาม (Follower) เคลื่อนที่ในรูปแบบที่กำหนดไว้ โดยที่ตัวตามคือชิ้นส่วนต่อโยงส่วนหนึ่งของระบบลูกเบี้ยวที่มีการเคลื่อนที่สัมพันธ์ระหว่าง ลูกเบี้ยวกับลูกกลิ้งตามการสัมผัสแบบหมุน ดังนั้นในการเคลื่อนที่ที่เป็นจังหวะจึงอาศัยหลักการที่กล่าวขึ้นมาข้างต้นเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาในการออกแบบ ผังการขจัดของระบบลูกเบี้ยว ส่วนมุมที่แนวการเคลื่อนที่ของตัวตามกระทำกับแนวตั้งฉากกับผิวลูกเบี้ยวที่จุดสัมผัส เรียกว่า มุมกด (Pressure angle) ซึ่งอาจเปรียบเทียบได้กับ มุมส่งผ่านกำลังของระบบต่อโยง [1] กล่าวคือ เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่บอกได้ถึงความยากง่ายของการปฏิบัติงานของระบบลูกเบี้ยว โดยถ้าหากว่ามุมกดมีขนาดเล็ก จะทำให้แรงที่ส่งผ่านไปยังแบริ่งของตัวตามมีขนาดเล็กด้วย แต่ถ้าหากมุมกดมีขนาดใหญ่เกินไป แบริ่งของตัวตามจะต้องรับแรงมากขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดการสึกหรอเร็วเกินควรได้

ระยะขจัด ความเร็ว และ ความเร่ง ที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว เป็นปัจจัยที่ในการเลือกลูกเบี้ยวให้มีความเหมาะสมกับลักษณะงาน ในบทความนี้จึงศึกษาและเปรียบเทียบปัจจัยดังกล่าว โดยการพัฒนารูปร่างลักษณะของลูกเบี้ยวพื้นฐานด้วยวิธี แบ่งตามสัดส่วนในการเคลื่อนของคาบเวลา และกำหนดเงื่อนไขโดยให้ระยะขจัดของการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากันทั้งหมด เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบค่าความเร่งได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

2. หลักการพื้นฐานในการคำนวณรูปร่างของลูกเบี้ยว

สมการในการเคลื่อนที่ของเพลาลูกเบี้ยวจะขึ้นอยู่กับตัวแปรใดมิติ ซึ่งประกอบด้วยตำแหน่ง ระยะขจัด ความเร็ว และความเร่ง ในรูปแบบเปลี่ยนแปลงของวัตถุเมื่อเทียบกับเวลา ในที่นี้จะนำเสนอด้วยกราฟผังการขจัดของระบบลูกเบี้ยว (Displacement Diagram) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการขจัดของตัวตาม กับจำนวนองศาที่ถูกหมุนไป (Cam angle) หรือเวลา เมื่อ differentiate ต่อเนื่องกันไปจะได้ความสัมพันธ์ของความเร็วกับเวลา และความสัมพันธ์ของความเร่งกับเวลา แสดงในสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ [2]

$$T = \frac{t - t_0}{t_1 - t_0} = \frac{t - t_0}{th}, \quad S = \frac{\tau - \tau_0}{\tau_1 - \tau_0} = \frac{\tau - \tau_0}{\tau h} \quad (1)$$

โดยที่ $t = t_0, \tau = 0$ และ $t = 1, \tau = 1$ มีเงื่อนไขที่ $t_1 > t_0$ และ $\tau_1 > \tau_0$ เมื่อ $S = S(T)$ และ $t_0 \leq t \leq t_1$ ดังนั้น $S(0) = 0, S(1) = 1$

โดยที่ τ = รูปแบบของฟังก์ชันที่อยู่ภายใต้เงื่อนไข, S = ระยะการขจัด จากความสัมพันธ์ของ Differential ของเวลาได้ดังนี้

$$V = \frac{dS}{dT}, \quad A = \frac{d^2S}{dT^2}, \quad J = \frac{d^3S}{dT^3} \quad (2)$$

เมื่อ V = ความเร็ว (Velocity), A = ความเร่ง (Acceleration), J = แรงสะบัด (Jerk)

2.1 การเคลื่อนที่แบบ ความเร่งคงที่ (Constant Acceleration)

การเคลื่อนที่แบบมีความเร่งคงที่ แสดงไว้ในสมการที่ 3 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร่ง ระยะขจัด ต่อเวลา

$$S = \frac{A_m t^2}{2} \quad (3)$$

2.2 การเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic motion (SHM)

ในการเคลื่อนที่แบบนี้ ระยะขจัด ความเร็ว และความเร่งจะสัมพันธ์กับจุดกำเนิดของฟังก์ชันเวลา ดังนั้นการขจัดของอนุภาคจะเข้าไปเข้ามาตามคาบเวลาในแสดงสมการที่ 4

$$S = A_m \cos(\omega t)$$

$$V = \frac{ds}{dt} = -R\omega \sin(\omega t) \quad (4)$$

$$A = \frac{d^2s}{dt^2} = -R\omega^2 \cos(\omega t)$$

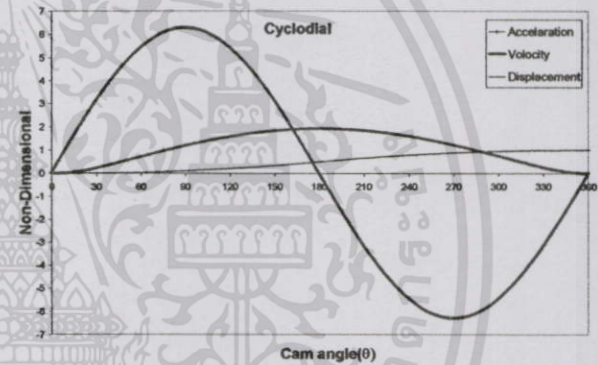
2.3 การเคลื่อนที่แบบ Cycloidal

ในการเคลื่อนที่ของเส้นโค้งที่เป็นทางเดินของจุดที่อยู่บนเส้นรอบวงของวงกลม ในขณะที่วงกลมนั้นกำลังไปบนเส้นตรง สามารถหาได้จากสมการที่ 5 ดังนี้ และในรูปที่ 1 แสดง ผังการขจัด ความเร็ว และความเร่ง ในการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว 360 องศา

$$A = A_m \sin(2\pi T)$$

$$V = \frac{1}{2\pi} A_m (1 - \cos(2\pi T)) \quad (5)$$

$$S = \frac{1}{2\pi} A_m (T - \frac{1}{2\pi} \sin(2\pi T))$$

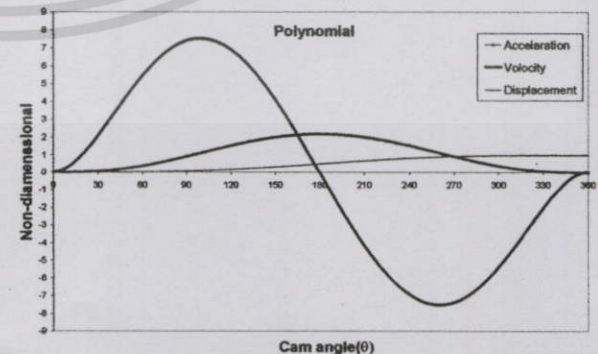


รูปที่ 1 ระยะขจัด, ความเร็ว และความเร่ง ต่อเวลา ของการเคลื่อนที่แบบ Cycloidal

2.4 การเคลื่อนที่แบบ Polynomial

ทำการประยุกต์ของ การเคลื่อนที่โดยเพิ่มอัตราเร่งของรูปแบบสมการโพลิโนเมียล 4-5-6-7 จากสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$S = C_0 + C_1\theta + C_2\theta^2 + C_3\theta^3 + C_4\theta^4 + \dots + C_n\theta^n \quad (6)$$



รูปที่ 2 ระยะขจัด, ความเร็ว และความเร่ง ต่อเวลา ของการเคลื่อนที่แบบ Polynomial

3. การพัฒนาการรูปร่างของลูกเบี้ยวจากลักษณะพื้นฐาน

ในการวิจัยของรูปแบบส่วนโค้งของเพลาลูกเบี้ยวได้มีการศึกษาต่อ โดยผู้วิจัยที่มีความเชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ได้ทำการทดลอง และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยมีการรวบรวมสูตรทางคณิตศาสตร์ตามหลักการฟิสิกส์ และทำการจัดรูปแบบของฟังก์ชันใหม่ที่เป็นสัดส่วนของรูปแบบ Harmonic และ Polynomial จนเป็นมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมดังนี้

3.1 การเคลื่อนที่แบบ Modified Sine (MS)

เป็นการปรับปรุงและพัฒนาและนำไปประยุกต์ของ การเคลื่อนที่แบบ Harmonics ในฟังก์ชันของ Sine [3] สามารถหาได้จากสมการแสดงตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

$$T_1 = T_2 = \frac{1}{8}, T_3 = T_4 = 0.5, T_5 = T_6 = 1 - T_1$$

$$Am = \frac{1}{\frac{2T_1}{\pi} + \frac{2-8T_1}{\pi^2}}, \quad V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = \frac{2}{\pi} T_1 Am$$

$$V_3 = V_4 = \frac{2}{\pi} (T_3 - T_2) Am + V_2$$

$$S_1 = S_2 = \left(\frac{2T_1}{\pi}\right)^2 Am - \left(\frac{2T_1}{\pi}\right)^2 Am$$

$$S_3 = S_4 = \left\{ \frac{2}{\pi} (T_3 - T_2) \right\}^2 Am + V_2 (T_3 - T_2) + S_2$$

$$S_5 = S_6 = 1 - S_1$$

period_I (0 ≤ T ≤ T₁)

$$A = Am \cdot \sin \frac{\pi T}{2T_1}$$

$$V = \frac{2T_1}{\pi} Am \left(1 - \cos \frac{\pi T}{2T_1} \right)$$

$$S = \frac{2T_1}{\pi} Am \left(T - \frac{2T_1}{\pi} \sin \frac{\pi T}{2T_1} \right)$$

period_III (T₂ ≤ T ≤ T₃)

$$A = Am \cdot \cos \frac{\pi(T-T_2)}{2(T_3-T_2)}$$

$$V = \frac{2}{\pi} (T_3 - T_2) Am \cdot \sin \frac{\pi(T-T_2)}{2(T_3-T_2)} + V_2$$

$$S = \left\{ \frac{2}{\pi} (T_3 - T_2) \right\}^2 Am \left[1 - \cos \frac{\pi(T-T_2)}{2(T_3-T_2)} \right] + V_2 (T - T_2) + S_2$$

period_V (T₄ ≤ T ≤ T₅)

$$A = -Am \cdot \sin \frac{\pi(T-T_4)}{2(T_5-T_4)}$$

$$V = \frac{2}{\pi} (T_5 - T_4) Am \left[\cos \frac{\pi(T-T_4)}{2(T_5-T_4)} - 1 \right] + V_4$$

$$S = \frac{2}{\pi} (T_5 - T_4) Am \left[\frac{2}{\pi} (T_5 - T_4) \sin \frac{\pi(T-T_4)}{2(T_5-T_4)} \right]$$

$$-(T - T_4) + V_4 (T - T_4) + S_4$$

period_VII (T₆ ≤ T ≤ 1)

$$A = -Am \cdot \cos \frac{\pi(T-T_6)}{2(1-T_6)}$$

$$V = -\frac{2}{\pi} (1 - T_6) Am \cdot \sin \frac{\pi(T-T_6)}{2(1-T_6)} + V_6$$

$$S = \left\{ \frac{2}{\pi} (1 - T_6) \right\}^2 Am \left[\cos \frac{\pi(T-T_6)}{2(1-T_6)} - 1 \right] + V_6 (T - T_6) + S_6$$

3.2 การเคลื่อนที่แบบ Modified Trapezoid (MT)

เป็นการปรับปรุงและพัฒนาและนำไปประยุกต์ของ การเคลื่อนที่แบบ Cycloid [4] สามารถหาได้จากสมการแสดงตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

$$T_1 = \frac{1}{8}, T_2 = \frac{3}{8}, T_3 = T_4 = 0.5, T_5 = 1 - T_2, T_6 = 1 - T_1$$

$$Am = \frac{1}{\frac{1}{4} - T_1 + \frac{2}{\pi} T_1}$$

$$V_1 = V_6 = \frac{2T_1}{\pi} Am$$

$$V_2 = V_5 = Am(T_2 - T_1) + V_1$$

$$V_3 = V_4 = \frac{2}{\pi} (T_3 - T_2) Am + V_2$$

$$S_1 = \frac{2T_1}{\pi} Am \left(T_1 - \frac{2T_1}{\pi} \right)$$

$$S_2 = \frac{Am}{2} (T_2 - T_1)^2 + V_1 (T_2 - T_1) + S_1$$

$$S_3 = S_4 = \left\{ \frac{2}{\pi} (T_3 - T_2) \right\}^2 Am + V_2 (T_3 - T_2) + S_2$$

$$S_5 = 1 - S_2$$

$$S_6 = 1 - S_1$$

period_I (0 ≤ T ≤ T₁)

$$A = Am \cdot \sin \frac{\pi T}{2T_1}$$

$$V = \frac{2T_1}{\pi} Am \left(1 - \cos \frac{\pi T}{2T_1} \right)$$

$$S = \frac{2T_1}{\pi} Am \left(T - \frac{2T_1}{\pi} \sin \frac{\pi T}{2T_1} \right)$$

period_II (T₁ ≤ T ≤ T₂)

$$A = Am$$

$$V = Am(T - T_1) + V_1$$

$$S = \frac{Am}{2} (T - T_1)^2 + V_1 (T - T_1) + S_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

period_III_\$(T_2 \le T \le T_3)\$

$$A = -Am \cdot \cos \frac{\pi(T-T_2)}{2(T_3-T_2)}$$

$$V = \frac{2}{\pi}(T_3-T_2) Am \cdot \sin \frac{\pi(T-T_2)}{2(T_3-T_2)} + V_2$$

$$S = \left\{ \frac{2}{\pi}(T_3-T_2) \right\}^2 Am \left[1 - \cos \frac{\pi(T-T_2)}{2(T_3-T_2)} \right] + V_2(T-T_2) + S_2$$

period_V_\$(T_4 \le T \le T_5)\$

$$A = Am \cdot \sin \frac{\pi(T-T_4)}{2(T_5-T_4)}$$

$$V = \frac{2}{\pi}(T_5-T_4) Am \left[\cos \frac{\pi(T-T_4)}{2(T_5-T_4)} - 1 \right] + V_4$$

$$S = \frac{2}{\pi}(T_5-T_4) Am \left[\frac{2}{\pi} \sin \frac{\pi(T-T_4)}{2(T_5-T_4)} - (T-T_4) \right] + V_4(T-T_4) + S_4$$

period_VI_\$(T_5 \le T \le T_6)\$

$$A = -Am$$

$$V = -Am(T-T_5) + V_5$$

$$S = -\frac{Am}{2}(T-T_5)^2 + V_5(T-T_5) + S_5$$

period_VII_\$(T_6 \le T \le 1)\$

$$A = -Am \cdot \cos \frac{\pi(T-T_6)}{2(1-T_6)}$$

$$V = -\frac{2}{\pi}(1-T_6) Am \cdot \sin \frac{\pi(T-T_6)}{2(1-T_6)} + V_6$$

$$S = \left\{ \frac{2}{\pi}(1-T_6) \right\}^2 Am \left[\cos \frac{\pi(T-T_6)}{2(1-T_6)} - 1 \right] + V_6(T-T_6) + S_6$$

3.3 การเคลื่อนที่แบบ Sine Function Modified Trapezoid (SMT)

ที่มีการปรับปรุงและพัฒนาและนำไปประยุกต์ของ การเคลื่อนที่แบบ (MT) ร่วมกับ 3rd Power Polynomial [2] สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$T_1 = \frac{1}{8}, T_2 = \frac{3}{8}, T_3 = T_4 = 0.5, T_5 = 1 - T_2$$

$$T_6 = 1 - T_1, S_3 = 0.5$$

$$Am = \frac{20S_3}{9T_3^2 - T_2^2 + T_1^2 + 2T_2T_3 - 5T_1 \cdot T_3}$$

period_I_\$(0 \le T \le T_1)\$

$$A = \frac{Am}{T_1^3}(T-T_1)^3 + Am$$

$$V = \frac{Am}{4T_1^3} \left[(T-T_1)^4 - T_1^4 \right] + AmT$$

$$S = \frac{Am}{20T_1^3} \left[(T-T_1)^5 + T_1^5 - 5T_1^4 \cdot T \right] + \frac{Am}{2} T^2$$

period_II_\$(T_1 \le T \le T_2)\$

$$A = Am$$

$$V = Am(T-T_1) + V_1$$

$$S = \frac{Am}{2}(T-T_1)^2 + V_1(T-T_1) + S_1$$

period_III_\$(T_2 \le T \le T_3)\$

$$A = -\frac{Am}{(T_3-T_2)^3}(T-T_2)^3 + Am$$

$$V = -\frac{Am}{4(T_3-T_2)^3}(T-T_2)^4 + Am(T-T_2) + V_2$$

$$S = -\frac{Am}{20(T_3-T_2)^3}(T-T_2)^5 + \frac{Am}{2}(T-T_2)^2 + V_2(T-T_2) + S_2$$

period_IV_\$(T_4 \le T \le T_5)\$

$$A = -Am \frac{(T-T_4)^3}{(T_5-T_4)^3} + 3Am \frac{(T-T_4)^2}{(T_5-T_4)^2} - 3Am \frac{(T-T_4)}{(T_5-T_4)}$$

$$V = -Am \frac{(T-T_4)^4}{4(T_5-T_4)^3} + Am \frac{(T-T_4)^3}{(T_5-T_4)^2} - 3Am \frac{(T-T_4)^2}{2(T_5-T_4)} + V_4$$

$$S = -\frac{Am(T-T_4)^5}{20(T_5-T_4)^3} + Am \frac{(T-T_4)^4}{4(T_5-T_4)^2} - Am \frac{(T-T_4)^3}{2(T_5-T_4)} - V_4(T-T_4) + S_4$$

period_VI_\$(T_5 \le T \le T_6)\$

$$A = -Am$$

$$V = -Am(T-T_5) + V_5$$

$$S = -\frac{Am}{2}(T-T_5)^2 + V_5(T-T_5) + S_5$$

period_VI_\$(T_6 \le T \le 1)\$

$$A = \frac{Am}{(1-T_6)^3}(T-T_6)^3 - Am$$

$$V = \frac{Am}{4(1-T_6)^3}(T-T_6)^4 - Am(T-T_6) + V_6$$

$$S = \frac{Am}{20(1-T_6)^3}(T-T_6)^5 - Am(T-T_6)^2 + V_6(T-T_6) + S_6$$

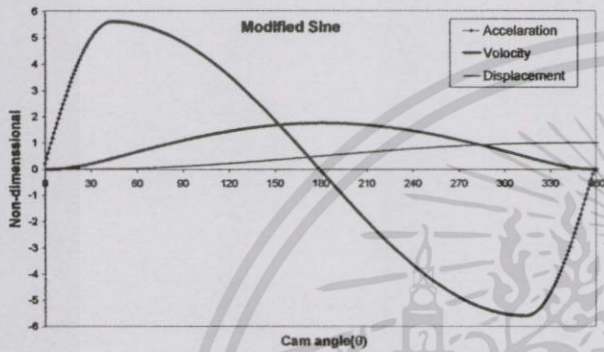
4. ผลการพัฒนาและเปรียบเทียบรูปร่างลูกเบี้ยว

ภายหลังจากการพัฒนาลักษณะรูปร่างของเพลาลูกเบี้ยว ขึ้นมาใหม่แล้ว ทำการสร้างกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของ ตำแหน่งเชิงมุม (θ) กับ ระยะขจัด (Displacement) ความเร็ว (Velocity) และ ความเร่ง (Acceleration) แสดงไว้ในรูปที่ 3-5 โดยในรูปที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการพัฒนาลักษณะรูปร่างของเพลาลูกเบี้ยวแบบ Modified Sine (MS) ซึ่งถูกพัฒนาจากการเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic ซึ่งความเร่งที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ระหว่าง ± 5.33 ในรูปที่ 4 แสดงผลที่ได้จากการพัฒนา

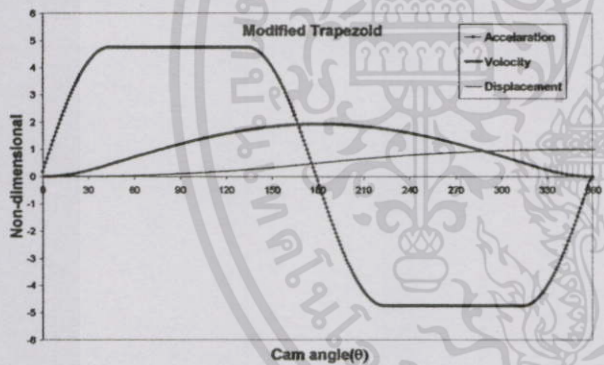
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

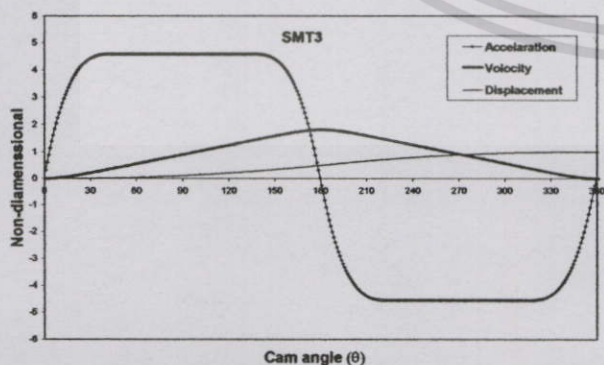
ลักษณะรูปร่างของเพลาลูกเบี้ยวแบบ Modified Trapezoid (MT) ซึ่งถูกพัฒนาจากการเคลื่อนที่แบบ Cycloidal ซึ่งความเร่งที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ระหว่าง ± 4.83 และในรูปที่ 5 แสดงผลที่ได้จากการพัฒนาลักษณะรูปร่างของเพลาลูกเบี้ยวแบบ Sine Function Modified Trapezoid (SMT) ซึ่งถูกพัฒนาจากการเคลื่อนที่แบบ Cycloidal ร่วมกับ Polynomial กำลัง 3 ซึ่งความเร่งที่เกิดขึ้นมีค่าอยู่ระหว่าง ± 4.57 จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่า หลังจากการพัฒนาลักษณะรูปร่างของลูกเบี้ยวพื้นฐานที่ใช้อยู่ทั่วไปโดยการรวมเอา การเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวแบบ Cycloidal และ Polynomial จะให้ค่าความเร่งต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบพื้นฐานและรูปแบบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่คือ MS และ MT



รูปที่ 3 ระยะเวลา, ความเร็ว และความเร่ง ต่อเวลา ของการเคลื่อนที่แบบ Modified Sine

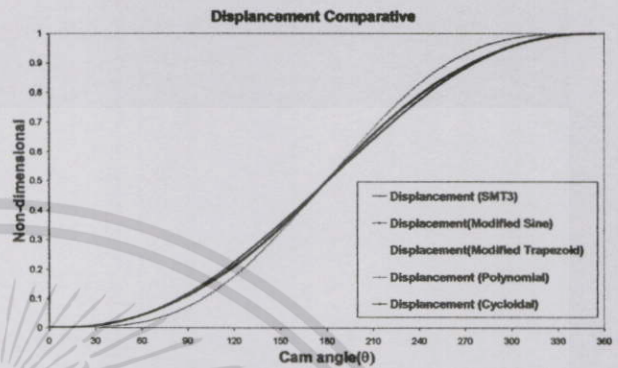


รูปที่ 4 ระยะเวลา, ความเร็ว และความเร่ง ต่อเวลา ของการเคลื่อนที่แบบ Modified Trapezoid



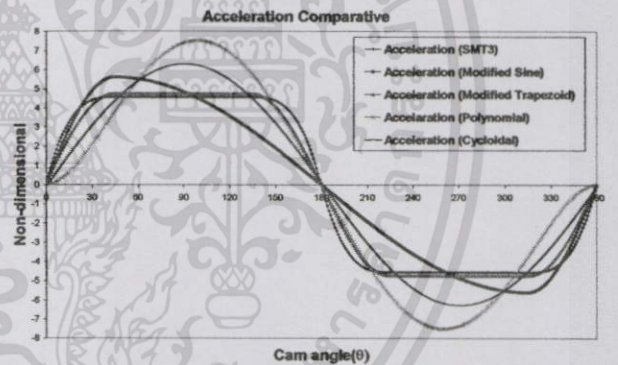
รูปที่ 5 ระยะเวลา, ความเร็ว และความเร่ง ต่อเวลา ของการเคลื่อนที่แบบ Modified Trapezoid

ภายหลังการพัฒนาและสร้างผังการจัด ความเร็ว และความเร่ง แล้ว ทำการเปรียบเทียบในส่วนของระยะเวลา ของการเคลื่อนที่แบบพื้นฐานกับการเคลื่อนที่หลังปรับปรุงพัฒนา ผลที่ได้หลังจากที่ถูกกำหนดเงื่อนไขให้ระยะเวลาคงที่ จะเห็นได้ว่าผังการจัดที่ได้ก่อนและหลังการพัฒนาในแต่ละแบบมีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงไว้ในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบระยะเวลา ของการเคลื่อนที่แบบพื้นฐานกับการเคลื่อนที่แบบปรับปรุงพัฒนา

ในส่วนของความเร่ง ผลที่ได้จากการพัฒนารูปร่างลักษณะพื้นฐานค่าความเร่งมีค่าลดลงจากเดิมแสดงไว้ในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบค่าความเร่ง ของการเคลื่อนที่แบบพื้นฐานกับการเคลื่อนที่แบบปรับปรุงพัฒนา

ตารางที่ 1 ผลของการเปรียบเทียบของการเคลื่อนที่แบบพื้นฐานกับการเคลื่อนที่แบบปรับปรุงพัฒนา

Item	Motion curve	Vm	Am
1	Constant Acceleration	2.18	± 8.00
2	Simple Harmonic(SHM)	1.57	± 6.93
3	Cycloidal	2.00	± 6.28
4	Polynomial	1.88	± 7.78
5	Modified Sine (MS)	1.76	± 5.33
6	Modified Trapezoid (MT)	2.00	± 4.83
7	SMT	2.00	± 4.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วิเคราะห์ผล

จากสมการพื้นฐานของฟังก์ชันการจัด ความเร็ว และความเร่งบ่งบอกถึงรูปแบบการเคลื่อนที่ของตัวตามโดยตัวตามมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงด้วยความเร็วคงที่ ดังแสดงในกราฟความเร็ว แต่เมื่อมาพิจารณาที่กราฟแสดงความเร่งแล้ว จะพบว่า การที่ตัวตามจะเคลื่อนที่จากช่วงพักที่ความเร็วเท่ากับศูนย์ ไปสู่ความเร็วคงที่ V ในทันทีทันใด ณ ตำแหน่งมุมลูกเบี้ยวนั้น ตัวตามจะต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเท่ากับอนันต์ (Infinity) ในทางทฤษฎี ดังนั้นสิ่งที่เกิดขึ้นก็คือ การเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งที่สูงมาก และเกิดการเคลื่อนที่แบบ กระตุก (Jerk) ขึ้น โดยอาการกระตุก หรือ Jerk นี้ derivative ของความเร่ง หรือ $\frac{dA}{dt}$ นั่นเอง (โดย A คือ อัตราเร่ง) และอาการกระตุกนี้เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในระบบกลไก

จากรูปแบบการเคลื่อนที่แบบพื้นฐานและมีการพัฒนาของการเคลื่อนที่การจัดรูปแบบของฟังก์ชัน ตามสัดส่วนคาบเวลาร่วมกับรูปแบบสมการพื้นฐาน เพื่อต่อช่วงการเคลื่อนที่เข้าด้วยกันโดยพิจารณาหัวข้อที่ 3.1 การเคลื่อนที่แบบ Modified Sine (MS) จะทำการแบ่งคาบเวลาการเคลื่อนที่ออกเป็น 8 ช่วงคาบเวลา (T) ตามสมการโดยรูปแบบของช่วงคาบเวลาเริ่มต้นกับช่วงคาบเวลาสุดท้ายใช้รูปแบบของสมการ Cycloidal เห็นได้จาก $period_I_ (0 \leq T \leq T_1)$ และ $period_VII_ (T_6 \leq T \leq 1)$ จะเห็นได้ว่าค่าของความเร่งเป็นศูนย์ที่จุดเริ่มต้นทำให้ Pressure Angle มีค่าน้อย ส่วนคาบเวลาที่ $T2$ ถึง $T5$ จะใช้การต่อช่วงคาบเวลาการเคลื่อนที่เข้าด้วยกันตามสัดส่วนการเคลื่อนที่แบบ Harmonic ในช่วง $period_III_ (T_2 \leq T \leq T_3)$ ต่อเนื่องกับ $period_III_ (T_4 \leq T \leq T_5)$ เพื่อต้องการความราบเรียบของค่าระยะจัดและค่าความเร่งกับค่าความเร่งช่วงเริ่มต้นกับช่วงสุดท้าย โดยให้ช่วงเวลาการเคลื่อนที่ที่อยู่ระหว่างกลางมีความราบเรียบที่ยาวนานขึ้น จะแสดงจากรูปที่ 4

จากนั้นทำการพิจารณาตามหัวข้อที่ 3.2 การเคลื่อนที่แบบ Modified Trapezoid (MT) จะทำการแบ่งช่วงคาบเวลาการเคลื่อนที่ออกเป็น 6 ช่วงคาบเวลา (T) ตามสมการ โดยรูปแบบช่วงคาบเวลาเริ่มต้นกับช่วงคาบเวลาสุดท้ายใช้รูปแบบ Cycloidal จะเห็นได้จาก $period_I_ (0 \leq T \leq T_1)$ จะได้ค่าความเร่งเป็นศูนย์ที่จุดเริ่มต้นเหมือนกับสมการ Modified Sine (MS) จากนั้น ทำการต่อช่วงคาบเวลาการเคลื่อนที่เข้าด้วยกันตามสมการของความเร่งคงที่ในหัวข้อ 2.1 (Constant Acceleration) จะเห็นได้จาก $period_II_ (T_1 \leq T \leq T_2)$ และ $period_VI_ (T_5 \leq T \leq T_6)$ ตามลำดับ เพื่อต้องการความราบเรียบของค่าความเร่งคงที่และต่ำลง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเร่งของสมการ Cycloidal จะเห็นได้ว่าค่าความเร่งลดลง ถึง 22% จะแสดงจากรูปที่ 5

จากนั้นได้ทำการพิจารณาหัวข้อที่ 3.3 การเคลื่อนที่แบบ Sine Function Modified Trapezoid (SMT) จะทำการแบ่งคาบเวลาการเคลื่อนที่ออกเป็น 6 ช่วงคาบเวลาเหมือนกับ Modified Trapezoid (MT) จะมีความแตกต่างกันตรงช่วงคาบเวลาเริ่มต้นกับช่วงคาบเวลาสุดท้าย โดยใช้รูปแบบสมการ Polynomial แทนเห็นได้จาก $period_I_ (0 \leq T \leq T_1)$ และ $period_VII_ (T_6 \leq T \leq 1)$ ตามลำดับ และเชื่อมต่อกับช่วงคาบเวลา

ด้วยรูปแบบสมการ (Constant Acceleration) เห็นได้จาก $period_III_ (T_2 \leq T \leq T_3)$ และ $period_VI_ (T_5 \leq T \leq T_6)$ ตามลำดับ เพื่อต้องการค่าของความเร่งต่ำลงกว่าการเคลื่อนที่แบบ Modified Trapezoid (MT) จากสมการ Polynomial ช่วงคาบเวลาเริ่มต้น จะแสดงจากรูปที่ 5

ภายหลังทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของระยะจัดกับความเร็วจากรูปแบบการเคลื่อนที่ที่พื้นฐานกับการเคลื่อนที่แบบปรับปรุงพัฒนาเข้าด้วยกัน จะเห็นว่า ระยะจัดตามองศาการเคลื่อนที่จะแตกต่างกันน้อยมาก แต่ในรูปแบบสมการของ Polynomial จะมองเห็นการเคลื่อนที่ต่ำกว่าในช่วงองศาเริ่มต้น และจะมีค่าสูงกว่าในช่วงองศาสุดท้าย แสดงในรูปที่ 6 และยังเป็นบ่งบอกถึงความสัมพันธ์กับค่าความเร่งที่ต่ำและค่าความเร่งที่สูงในรูปแบบการเคลื่อนที่อื่น ๆ ที่กล่าวมา แสดงในรูปที่ 7 ในตารางที่ 1 จะทำการเปรียบเทียบค่าความเร่งทั้งหมดที่กล่าวมา เห็นว่ารูปแบบการเคลื่อนที่แบบ Sine Function Modified Trapezoid (SMT) ให้ค่าความเร่งอยู่ในช่วงต่ำสุดเท่ากับ ± 4.57 ได้ให้ค่าความเร่งที่ต่ำสุดกว่าสมการอื่นๆ โดยเฉพาะ Modified Trapezoid (MT) จากช่วงคาบเวลาของรูปแบบการเคลื่อนที่ที่เท่ากัน

6. สรุปผล

ในบทความนี้ทำการศึกษารูปแบบเปรียบเทียบรูปร่าง และลักษณะของลูกเบี้ยวที่ถูกพัฒนาขึ้นเทียบกับลักษณะพื้นฐาน ซึ่งหลังจากการพัฒนาทำให้ค่าความเร่งในการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวลดลง แต่การเคลื่อนที่ของตัวตามยังคงมีลักษณะเหมือนเดิม ซึ่งเป็นผลให้สามารถเลือกใช้ลูกเบี้ยวเพื่อลดการกระตุกให้มีค่าน้อยลงในลักษณะงานเดียวกันได้รูปร่างฟังก์ชันจัดนับว่า เป็นสิ่งที่กำหนดการเคลื่อนที่ของตัวตาม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วรูปร่างของฟังก์ชันจัดจะถูกกำหนดขึ้นจากความต้องการของระบบ แต่อย่างไรก็ตาม วิศวกรจำเป็นต้องคำนึงถึง มุมกด, ความเร็ว และความเร่งของตัวตามด้วย กล่าวคือ พลศาสตร์ของระบบจะต้องได้รับการพิจารณาก่อนที่จะสร้างฟังก์ชันจัดขึ้นมา ฟังก์ชันจัดของระบบหนึ่งอาจไม่เหมาะสมกับอีกระบบหนึ่งก็ได้ เช่น ฟังก์ชันจัดที่ออกแบบมาสำหรับระบบขนาดใหญ่ และเคลื่อนที่ช้า จะไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบที่ต้องการความเร็วสูง

7. กิตติกรรมประกาศ

ในบทความนี้ขอขอบคุณคณะอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษา และแนะนำจนบทความสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] S.Cara, R. Garziera, M. Pellegrini, 2004. Synthesis of cams with negative radius follower and evaluation of the pressure angle .College of Mechanical Engineering , Italy , Journal of Mechanical Design , Vol.34 pp.1017-1032
- [2] Sankyo , Manual indexing drive, Japan , 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [3] Fan Y. Chen. Mechanics and Design of cam Mechanisms, Pergamon press , Library of Congress Cataloging in Publication data, 1931-1981
- [4] Clyde H. Moon,P.E. "Manual for engineering designers and draftsmen" Commercial cam division Emerson electric company,1961
- [5] รศ.วุฒิชัย กปิลกาญจน์, กลไกและกลศาสตร์ของเครื่องจักรกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , พ.ศ. 2533
- [6] ดร.ไพศาล สมประกิจ, กลไกและกลศาสตร์ของเครื่องจักรกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร , พ.ศ. 2541



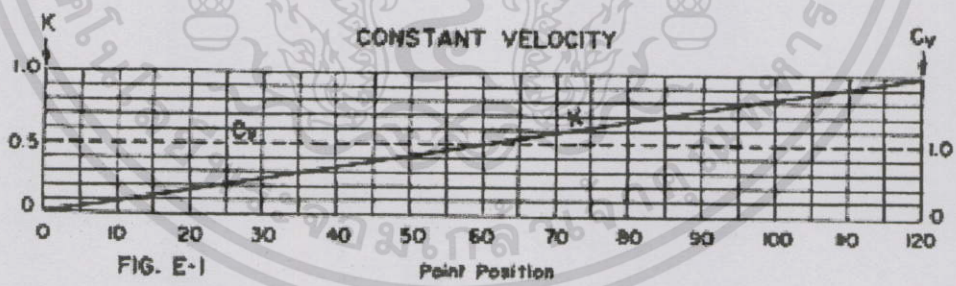
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.- 1

ผลการคำนวณสมการ Constant Velocity แบบไร้มิติ เมื่อ $P_t =$ องศาการเคลื่อนที่, $K =$ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจัด, $C_v =$ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว, $C_a =$ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว

CONSTANT VELOCITY FACTORS

Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca
0	0.00000	1.00000	Zero	30	0.25000	1.00000	Zero	60	0.50000	1.00000	Zero	90	0.75000	1.00000	Zero
1	0.00833	"	"	31	0.25833	"	"	61	0.50833	"	"	91	0.75833	"	"
2	0.01667	"	"	32	0.26667	"	"	62	0.51667	"	"	92	0.76667	"	"
3	0.02500	"	"	33	0.27500	"	"	63	0.52500	"	"	93	0.77500	"	"
4	0.03333	"	"	34	0.28333	"	"	64	0.53333	"	"	94	0.78333	"	"
5	0.04167	"	"	35	0.29167	"	"	65	0.54167	"	"	95	0.79167	"	"
6	0.05000	"	"	36	0.30000	"	"	66	0.55000	"	"	96	0.80000	"	"
7	0.05833	"	"	37	0.30833	"	"	67	0.55833	"	"	97	0.80833	"	"
8	0.06667	"	"	38	0.31667	"	"	68	0.56667	"	"	98	0.81667	"	"
9	0.07500	"	"	39	0.32500	"	"	69	0.57500	"	"	99	0.82500	"	"
10	0.08333	"	"	40	0.33333	"	"	70	0.58333	"	"	100	0.83333	"	"
11	0.09167	"	"	41	0.34167	"	"	71	0.59167	"	"	101	0.84167	"	"
12	0.10000	"	"	42	0.35000	"	"	72	0.60000	"	"	102	0.85000	"	"
13	0.10833	"	"	43	0.35833	"	"	73	0.60833	"	"	103	0.85833	"	"
14	0.11667	"	"	44	0.36667	"	"	74	0.61667	"	"	104	0.86667	"	"
15	0.12500	"	"	45	0.37500	"	"	75	0.62500	"	"	105	0.87500	"	"
16	0.13333	"	"	46	0.38333	"	"	76	0.63333	"	"	106	0.88333	"	"
17	0.14167	"	"	47	0.39167	"	"	77	0.64167	"	"	107	0.89167	"	"
18	0.15000	"	"	48	0.40000	"	"	78	0.65000	"	"	108	0.90000	"	"
19	0.15833	"	"	49	0.40833	"	"	79	0.65833	"	"	109	0.90833	"	"
20	0.16667	"	"	50	0.41667	"	"	80	0.66667	"	"	110	0.91667	"	"
21	0.17500	"	"	51	0.42500	"	"	81	0.67500	"	"	111	0.92500	"	"
22	0.18333	"	"	52	0.43333	"	"	82	0.68333	"	"	112	0.93333	"	"
23	0.19167	"	"	53	0.44167	"	"	83	0.69167	"	"	113	0.94167	"	"
24	0.20000	"	"	54	0.45000	"	"	84	0.70000	"	"	114	0.95000	"	"
25	0.20833	"	"	55	0.45833	"	"	85	0.70833	"	"	115	0.95833	"	"
26	0.21667	"	"	56	0.46667	"	"	86	0.71667	"	"	116	0.96667	"	"
27	0.22500	"	"	57	0.47500	"	"	87	0.72500	"	"	117	0.97500	"	"
28	0.23333	"	"	58	0.48333	"	"	88	0.73333	"	"	118	0.98333	"	"
29	0.24167	"	"	59	0.49167	"	"	89	0.74167	"	"	119	0.99167	"	"
30	0.25000	"	"	60	0.50000	"	"	90	0.75000	"	"	120	1.00000	"	"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.- 2

ผลการคำนวณสมการ Constant Velocity แบบ ไร้มิติ เมื่อ $P_t =$ องศาการเคลื่อนที่, $K =$ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจัด, $C_v =$ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว, $C_a =$ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร่ง

CONSTANT ACCELERATION FACTORS

Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca
0	0.0000	0.0000	0.000	30	0.12500	1.0000	1.000	60	0.25000	2.0000	1.000	90	0.37500	1.0000	1.000
1	0.00014	0.0333	-	31	0.13067	1.0333	-	61	0.25167	1.9667	-	91	0.38167	0.9667	-
2	0.00056	0.1667	-	32	0.14222	1.2667	-	62	0.25722	1.9333	-	92	0.38722	0.9333	-
3	0.00125	0.3000	-	33	0.15375	1.5000	-	63	0.26278	1.9000	-	93	0.39278	0.9000	-
4	0.00222	0.4333	-	34	0.16528	1.7333	-	64	0.26833	1.8667	-	94	0.39833	0.8667	-
5	0.00347	0.5667	-	35	0.17681	2.0000	-	65	0.27389	1.8333	-	95	0.40389	0.8333	-
6	0.00500	0.7000	-	36	0.18833	2.2333	-	66	0.27944	1.8000	-	96	0.40944	0.8000	-
7	0.00664	0.8333	-	37	0.19986	2.4667	-	67	0.28499	1.7667	-	97	0.41499	0.7667	-
8	0.00849	0.9667	-	38	0.21139	2.7000	-	68	0.29054	1.7333	-	98	0.42054	0.7333	-
9	0.01125	1.0000	-	39	0.22292	2.9333	-	69	0.29609	1.7000	-	99	0.42609	0.7000	-
10	0.01500	1.0000	-	40	0.23445	3.1667	-	70	0.30164	1.6667	-	100	0.43164	0.6667	-
11	0.01961	0.9667	-	41	0.24598	3.4000	-	71	0.30719	1.6333	-	101	0.43719	0.6333	-
12	0.02500	0.9000	-	42	0.25751	3.6333	-	72	0.31274	1.6000	-	102	0.44274	0.6000	-
13	0.03125	0.8333	-	43	0.26904	3.8667	-	73	0.31829	1.5667	-	103	0.44829	0.5667	-
14	0.03847	0.7667	-	44	0.28057	4.1000	-	74	0.32384	1.5333	-	104	0.45384	0.5333	-
15	0.04667	0.7000	-	45	0.29210	4.3333	-	75	0.32939	1.5000	-	105	0.45939	0.5000	-
16	0.05586	0.6333	-	46	0.30363	4.5667	-	76	0.33494	1.4667	-	106	0.46494	0.4667	-
17	0.06604	0.5667	-	47	0.31516	4.8000	-	77	0.34049	1.4333	-	107	0.47049	0.4333	-
18	0.07722	0.5000	-	48	0.32669	5.0333	-	78	0.34604	1.4000	-	108	0.47604	0.4000	-
19	0.08939	0.4333	-	49	0.33822	5.2667	-	79	0.35159	1.3667	-	109	0.48159	0.3667	-
20	0.10250	0.3667	-	50	0.34975	5.5000	-	80	0.35714	1.3333	-	110	0.48714	0.3333	-
21	0.11661	0.3000	-	51	0.36128	5.7333	-	81	0.36269	1.3000	-	111	0.49269	0.3000	-
22	0.13172	0.2333	-	52	0.37281	5.9667	-	82	0.36824	1.2667	-	112	0.49824	0.2667	-
23	0.14783	0.1667	-	53	0.38434	6.2000	-	83	0.37379	1.2333	-	113	0.50379	0.2333	-
24	0.16494	0.1000	-	54	0.39587	6.4333	-	84	0.37934	1.2000	-	114	0.50934	0.2000	-
25	0.18305	0.0333	-	55	0.40740	6.6667	-	85	0.38489	1.1667	-	115	0.51489	0.1667	-
26	0.20216	0.0000	-	56	0.41893	6.9000	-	86	0.39044	1.1333	-	116	0.52044	0.1333	-
27	0.22227	0.0000	-	57	0.43046	7.1333	-	87	0.39599	1.1000	-	117	0.52599	0.1000	-
28	0.24338	0.0000	-	58	0.44199	7.3667	-	88	0.40154	1.0667	-	118	0.53154	0.0667	-
29	0.26549	0.0000	-	59	0.45352	7.6000	-	89	0.40709	1.0333	-	119	0.53709	0.0333	-
30	0.28860	0.0000	-	60	0.46505	7.8333	-	90	0.41264	1.0000	-	120	0.54264	0.0000	-

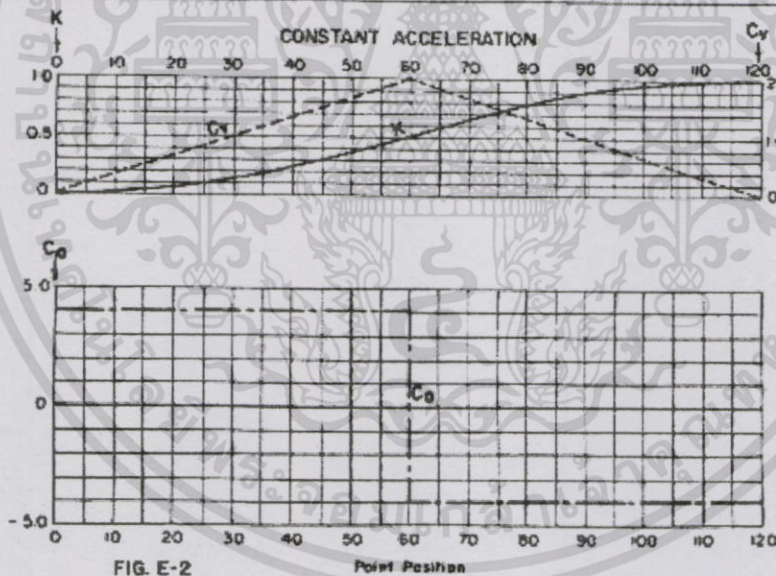


FIG. E-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.- 3

ผลการคำนวณสมการ Constant Velocity แบบ ไร้มิติ เมื่อ P_t = องศาการเคลื่อนที่, K = ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย, C_v = ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว, C_a = ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว

HARMONIC FACTORS

Pt.	K	C_v	C_a	Pt.	K	C_v	C_a	Pt.	K	C_v	C_a	Pt.	K	C_v	C_a
0	0.0000	0.0000	4.9998	30	0.14644	1.1107	3.4395	60	0.50000	1.5108	0.0000	90	0.85354	1.1107	-4.4095
1	0.00017	0.0411	4.9931	31	0.15252	1.1294	3.3989	61	0.51399	1.5273	-0.1290	91	0.86369	1.0813	-4.5796
2	0.00069	0.0829	4.9691	32	0.16043	1.1673	3.3000	62	0.52917	1.5606	-0.2402	92	0.87107	1.0511	-4.6673
3	0.00194	0.1232	4.9296	33	0.17027	1.2195	3.2049	63	0.54583	1.5980	-0.3470	93	0.87604	1.0200	-4.7325
4	0.00376	0.1622	4.9010	34	0.18203	1.2867	3.1076	64	0.56427	1.6382	-0.4498	94	0.87830	0.9880	-4.7751
5	0.00600	0.2094	4.8866	35	0.19562	1.3694	3.0081	65	0.58467	1.6804	-0.5481	95	0.87780	0.9562	-4.8010
6	0.00861	0.2647	4.8841	36	0.21091	1.4680	2.9066	66	0.60732	1.7245	-0.6422	96	0.87451	0.9250	-4.8094
7	0.01157	0.3282	4.8922	37	0.22787	1.5829	2.8131	67	0.63262	1.7704	-0.7325	97	0.86850	0.8947	-4.8004
8	0.01499	0.3996	4.9210	38	0.24656	1.7147	2.7287	68	0.66006	1.8181	-0.8180	98	0.86014	0.8655	-4.7831
9	0.01890	0.4787	4.9705	39	0.26693	1.8637	2.6534	69	0.68994	1.8677	-0.8987	99	0.84982	0.8377	-4.7576
10	0.02324	0.5656	4.7566	40	0.28990	1.9404	2.4814	70	0.72261	1.9193	-0.9750	100	0.83702	0.8113	-4.7231
11	0.02805	0.6604	4.7334	41	0.31542	1.9504	2.3347	71	0.75921	1.9821	-1.0485	101	0.82234	0.7861	-4.6804
12	0.03334	0.7634	4.6933	42	0.34353	1.9996	2.2040	72	0.79911	1.9999	-1.1200	102	0.80630	0.7621	-4.6304
13	0.03912	0.8743	4.6510	43	0.37427	1.9973	2.0845	73	0.84101	1.9807	-1.1897	103	0.78949	0.7392	-4.5741
14	0.04540	0.9929	4.6079	44	0.40866	1.9732	1.9745	74	0.88539	1.9461	-1.2575	104	0.77242	0.7175	-4.5121
15	0.05218	1.1191	4.5758	45	0.44673	1.9284	1.8824	75	0.93194	1.9074	-1.3234	105	0.75574	0.6971	-4.4451
16	0.05943	1.2539	4.5526	46	0.48851	1.8650	1.7989	76	0.98137	1.8652	-1.3877	106	0.73991	0.6781	-4.3741
17	0.06714	1.3972	4.5441	47	0.53393	1.7860	1.7243	77	1.03389	1.8199	-1.4500	107	0.72536	0.6604	-4.3001
18	0.07530	1.5491	4.5500	48	0.58305	1.6923	1.6579	78	1.08970	1.7724	-1.5105	108	0.71253	0.6441	-4.2241
19	0.08390	1.7096	4.5705	49	0.63583	1.5850	1.6025	79	1.14901	1.7230	-1.5694	109	0.70091	0.6291	-4.1471
20	0.09293	1.8784	4.7137	50	0.69233	1.4673	1.5572	80	1.21120	1.6724	-1.6267	110	0.70000	0.6151	-4.0601
21	0.09730	2.0557	4.7076	51	0.75350	1.3424	1.5120	81	1.27667	1.6204	-1.6825	111	0.70942	0.6021	-3.9741
22	0.09806	2.2414	4.7317	52	0.81940	1.2135	1.4670	82	1.34562	1.5674	-1.7368	112	0.72960	0.5901	-3.8901
23	0.09533	2.4357	4.7669	53	0.89000	1.0839	1.4323	83	1.41833	1.5139	-1.7897	113	0.76000	0.5791	-3.8081
24	0.08949	2.6384	4.8136	54	0.96527	0.9560	1.4079	84	1.49490	1.4604	-1.8412	114	0.79110	0.5691	-3.7291
25	0.08130	2.8492	4.8710	55	1.04510	0.8324	1.3904	85	1.57443	1.4074	-1.8915	115	0.83250	0.5601	-3.6541
26	0.11162	3.0685	4.9451	56	1.12953	0.7147	1.3795	86	1.65782	1.3554	-1.9407	116	0.88480	0.5521	-3.5841
27	0.11979	3.2962	4.9795	57	1.21857	0.6034	1.3749	87	1.74517	1.3044	-1.9889	117	0.94850	0.5451	-3.5191
28	0.12983	3.5311	4.9673	58	1.31213	0.4989	1.3766	88	1.83157	1.2544	-2.0362	118	1.02310	0.5391	-3.4591
29	0.13731	3.7733	4.9706	59	1.41020	0.4017	1.3849	89	1.91712	1.2054	-2.0827	119	1.10810	0.5341	-3.4041
30	0.14244	4.0237	4.9802	60	1.51277	0.3120	1.3990	90	2.00193	1.1574	-2.1284	120	1.20300	0.5301	-3.3541

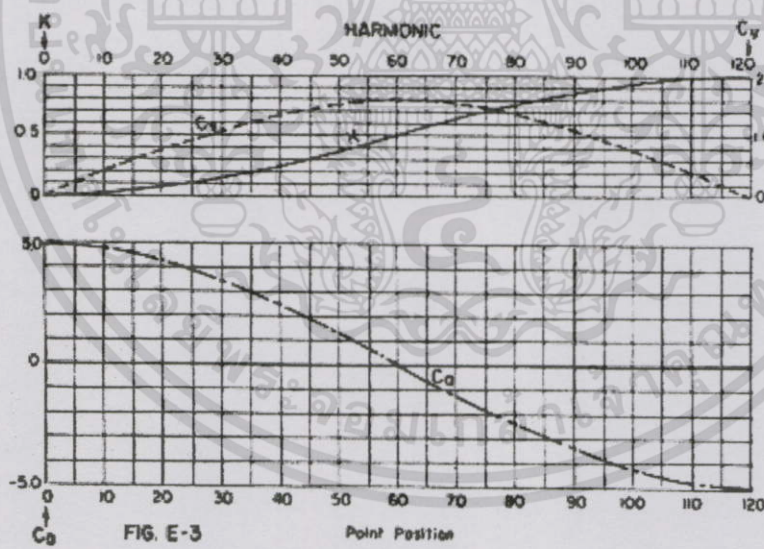


FIG. E-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.- 4

ผลการคำนวณสมการ Constant Velocity แบบ ไร้มิติ เมื่อ P_t = องศาการเคลื่อนที่, K = ค่าสัมประสิทธิ์การกระจัด, C_v = ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว, C_a = ค่าสัมประสิทธิ์ความเร่ง

CYCLOIDAL FACTORS

Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca
0	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.0989	1.0900	6.2032	60	0.50000	2.0000	0.0000	90	0.90515	1.0000	-6.2032
1	0.0000	0.0004	0.3099	31	0.0999	1.0912	6.2766	61	0.51046	1.9986	+0.3099	91	0.91726	0.9477	-6.2766
2	0.0003	0.0015	0.6160	32	0.1013	1.1040	6.2488	62	0.52331	1.9993	-0.6160	92	0.93495	0.8995	-6.2488
3	0.0010	0.0123	0.9285	33	0.11781	1.1164	6.2059	63	0.54306	1.9877	-0.9285	93	0.93219	0.8636	-6.2059
4	0.0024	0.0415	1.3063	34	0.12766	1.2079	6.1459	64	0.56682	1.9782	-1.3063	94	0.91000	0.7381	-6.1459
5	0.0052	0.0942	1.6952	35	0.13794	1.2958	5.0691	65	0.58256	1.9619	-1.6952	95	0.94540	0.7412	-6.0691
6	0.0082	0.1679	1.9416	36	0.14264	1.3950	5.0041	66	0.59615	1.9512	-1.9416	96	0.97135	0.6910	-5.9757
7	0.0120	0.2666	2.2517	37	0.15075	1.3954	5.0659	67	0.61535	1.9326	-2.2517	97	0.95601	0.6415	-5.8859
8	0.0165	0.3965	2.5576	38	0.17128	1.4061	5.1740	68	0.63142	1.9125	-2.5576	98	0.94006	0.5933	-5.7900
9	0.0217	0.5598	2.8572	39	0.18380	1.4240	5.3384	69	0.64725	1.8910	-2.8572	99	0.92688	0.5460	-5.7028
10	0.0275	0.7340	3.1416	40	0.19950	1.5000	5.4414	70	0.66291	1.8660	-3.1416	100	0.97116	0.5000	-5.6414
11	0.0349	0.1633	5.4221	41	0.20800	1.5444	5.2699	71	0.67835	1.8387	-2.4221	101	0.97314	0.4554	-5.2699
12	0.0364	0.1920	5.6931	42	0.22124	1.5879	5.0830	72	0.69355	1.8090	-3.6931	102	0.94876	0.4122	-5.0830
13	0.0387	0.2225	5.9941	43	0.23465	1.6297	4.8935	73	0.70869	1.7772	-3.9941	103	0.98201	0.3707	-4.8935
14	0.0418	0.2519	6.2043	44	0.24860	1.6691	4.6992	74	0.72316	1.7431	-4.2043	104	0.98394	0.3309	-4.6992
15	0.0446	0.2909	6.4459	45	0.26346	1.7071	4.4479	75	0.73734	1.7073	-4.4459	105	0.98734	0.2909	-4.4479
16	0.0485	0.3309	6.6693	46	0.27664	1.7431	4.2043	76	0.75160	1.6693	-4.6693	106	0.99082	0.2509	-4.2043
17	0.0499	0.3707	6.8930	47	0.29111	1.7772	3.9684	77	0.76535	1.6297	-4.8930	107	0.99183	0.2207	-3.9684
18	0.0522	0.4102	7.0832	48	0.30645	1.8000	3.6931	78	0.77976	1.5879	-5.0832	108	0.99150	0.1900	-3.6931
19	0.0543	0.4554	7.2691	49	0.32165	1.8185	3.4221	79	0.79386	1.5444	-5.2691	109	0.99101	0.1633	-3.4221
20	0.0559	0.5000	7.4416	50	0.33709	1.8660	3.1416	80	0.80850	1.5000	-5.4416	110	0.99623	0.1340	-3.1416
21	0.0530	0.5466	7.1964	51	0.35275	1.8940	2.8925	81	0.82600	1.4540	-5.5164	111	0.99725	0.1090	-2.8925
22	0.03794	0.5933	5.7400	52	0.36860	1.9133	2.6196	82	0.84810	1.4067	-5.7400	112	0.99800	0.0865	-2.6196
23	0.04309	0.6426	5.8659	53	0.38464	1.9336	2.3537	83	0.86895	1.3594	-5.8659	113	0.99870	0.0668	-2.3537
24	0.04868	0.6910	5.9757	54	0.40089	1.9521	2.0816	84	0.89236	1.3090	-5.9757	114	0.99910	0.0499	-2.0816
25	0.05450	0.7412	6.0691	55	0.41713	1.9699	1.8052	85	0.91806	1.2588	-6.0691	115	0.99952	0.0341	-1.8052
26	0.06100	0.7981	6.1459	56	0.43358	1.9930	1.5062	86	0.94234	1.2079	-6.1459	116	0.99974	0.0205	-1.5062
27	0.06810	0.8636	6.2059	57	0.45010	1.9977	1.1829	87	0.96519	1.1564	-6.2059	117	0.99990	0.0123	-1.1829
28	0.07505	0.8995	6.2488	58	0.46669	1.9994	0.8500	88	0.98661	1.1045	-6.2488	118	0.99999	0.0075	-0.8500
29	0.08274	0.9477	6.2766	59	0.48334	1.9986	0.5059	89	0.99660	1.0523	-6.2766	119	0.99999	0.0034	-0.5059
30	0.09095	1.0000	6.2832	60	0.50000	2.0000	0.0000	90	0.99915	1.0000	-6.2832	120	1.00000	0.0000	0.0000

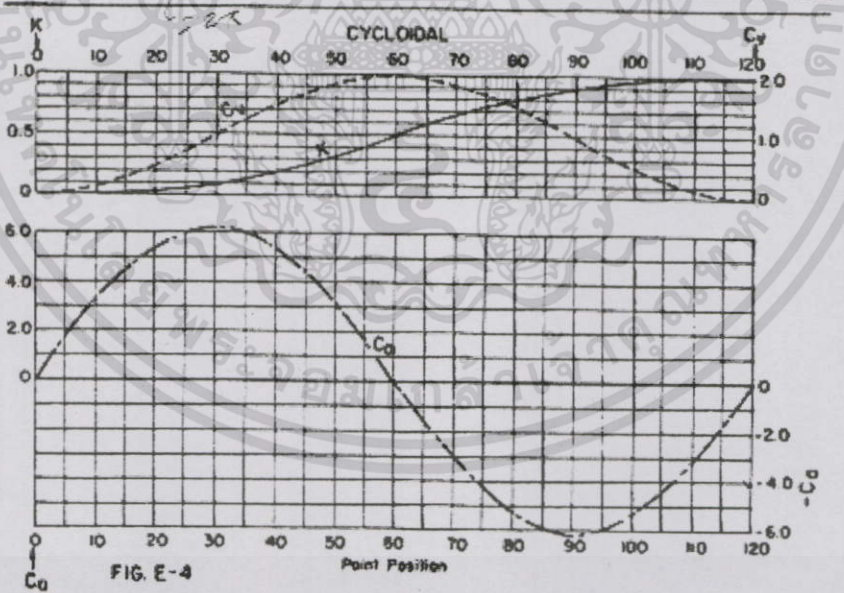


FIG. E-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.- 5

ผลการคำนวณสมการ Constant Velocity แบบ ไร้มิติ เมื่อ $P_t =$ องศาการเคลื่อนที่, $K =$ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจัด, $C_v =$ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว, $C_a =$ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร่ง

MODIFIED TRAPEZOID FACTORS

Pl.	K	Cv	Ca	Pl.	K	Cv	Ca	Pl.	K	Cv	Ca	Pl.	K	Cv	Ca
0	0.0000	0.0000	0.0000	30	0.10451	1.0000	1.5001	60	0.50000	2.0000	0.0000	90	0.89549	1.0000	-1.5001
1	0.0001	0.0091	0.5110	31	0.11300	1.0407	1.5001	61	0.51667	1.9979	-0.5110	91	0.90370	0.9953	-1.5001
2	0.0002	0.0082	1.0163	32	0.12151	1.0815	1.5001	62	0.53300	1.9953	-1.0163	92	0.91193	0.9905	-1.5001
3	0.0003	0.0170	1.5175	33	0.13000	1.1223	1.5001	63	0.54939	1.9925	-1.5175	93	0.92000	0.9857	-1.5001
4	0.0004	0.0336	2.0140	34	0.13851	1.1632	1.5001	64	0.56583	1.9896	-2.0140	94	0.92804	0.9809	-1.5001
5	0.0005	0.0491	2.5065	35	0.14700	1.2041	1.5001	65	0.58232	1.9867	-2.5065	95	0.93605	0.9761	-1.5001
6	0.0010	0.0743	3.0131	36	0.15551	1.2450	1.5001	66	0.59885	1.9837	-3.0131	96	0.94404	0.9713	-1.5001
7	0.0015	0.0999	3.5198	37	0.16400	1.2859	1.5001	67	0.61542	1.9807	-3.5198	97	0.95201	0.9665	-1.5001
8	0.0020	0.1260	4.0265	38	0.17251	1.3268	1.5001	68	0.63203	1.9777	-4.0265	98	0.95996	0.9617	-1.5001
9	0.0025	0.1524	4.5332	39	0.18100	1.3677	1.5001	69	0.64868	1.9747	-4.5332	99	0.96789	0.9569	-1.5001
10	0.0030	0.1791	5.0400	40	0.18951	1.4086	1.5001	70	0.66537	1.9717	-5.0400	100	0.97580	0.9521	-1.5001
11	0.0035	0.2061	5.5467	41	0.19800	1.4495	1.5001	71	0.68210	1.9687	-5.5467	101	0.98369	0.9473	-1.5001
12	0.0040	0.2334	6.0535	42	0.20651	1.4904	1.5001	72	0.69887	1.9657	-6.0535	102	0.99156	0.9425	-1.5001
13	0.0045	0.2610	6.5602	43	0.21500	1.5313	1.5001	73	0.71568	1.9627	-6.5602	103	0.99941	0.9377	-1.5001
14	0.0050	0.2889	7.0670	44	0.22351	1.5722	1.5001	74	0.73253	1.9597	-7.0670	104	0.99726	0.9329	-1.5001
15	0.0055	0.3171	7.5737	45	0.23200	1.6131	1.5001	75	0.74942	1.9567	-7.5737	105	0.99510	0.9281	-1.5001
16	0.0060	0.3456	8.0805	46	0.24051	1.6540	1.5001	76	0.76635	1.9537	-8.0805	106	0.99293	0.9233	-1.5001
17	0.0065	0.3743	8.5873	47	0.24900	1.6949	1.5001	77	0.78332	1.9507	-8.5873	107	0.99076	0.9185	-1.5001
18	0.0070	0.4032	9.0941	48	0.25751	1.7358	1.5001	78	0.80033	1.9477	-9.0941	108	0.98858	0.9137	-1.5001
19	0.0075	0.4323	9.6010	49	0.26600	1.7767	1.5001	79	0.81738	1.9447	-9.6010	109	0.98640	0.9089	-1.5001
20	0.0080	0.4615	10.1079	50	0.27451	1.8176	1.5001	80	0.83447	1.9417	-10.1079	110	0.98421	0.9041	-1.5001
21	0.0085	0.4909	10.6148	51	0.28300	1.8585	1.5001	81	0.85160	1.9387	-10.6148	111	0.98202	0.8993	-1.5001
22	0.0090	0.5204	11.1217	52	0.29151	1.8994	1.5001	82	0.86877	1.9357	-11.1217	112	0.97983	0.8945	-1.5001
23	0.0095	0.5501	11.6286	53	0.29999	1.9403	1.5001	83	0.88598	1.9327	-11.6286	113	0.97764	0.8897	-1.5001
24	0.0100	0.5800	12.1355	54	0.30851	1.9812	1.5001	84	0.90323	1.9297	-12.1355	114	0.97545	0.8849	-1.5001
25	0.0105	0.6100	12.6424	55	0.31700	2.0221	1.5001	85	0.92052	1.9267	-12.6424	115	0.97326	0.8801	-1.5001
26	0.0110	0.6401	13.1493	56	0.32551	2.0630	1.5001	86	0.93785	1.9237	-13.1493	116	0.97107	0.8753	-1.5001
27	0.0115	0.6703	13.6562	57	0.33400	2.1039	1.5001	87	0.95522	1.9207	-13.6562	117	0.96888	0.8705	-1.5001
28	0.0120	0.7006	14.1631	58	0.34251	2.1448	1.5001	88	0.97263	1.9177	-14.1631	118	0.96669	0.8657	-1.5001
29	0.0125	0.7310	14.6700	59	0.35100	2.1857	1.5001	89	0.99008	1.9147	-14.6700	119	0.96450	0.8609	-1.5001
30	0.0130	0.7615	15.1769	60	0.35951	2.2266	1.5001	90	0.99747	1.9117	-15.1769	120	0.96231	0.8561	-1.5001

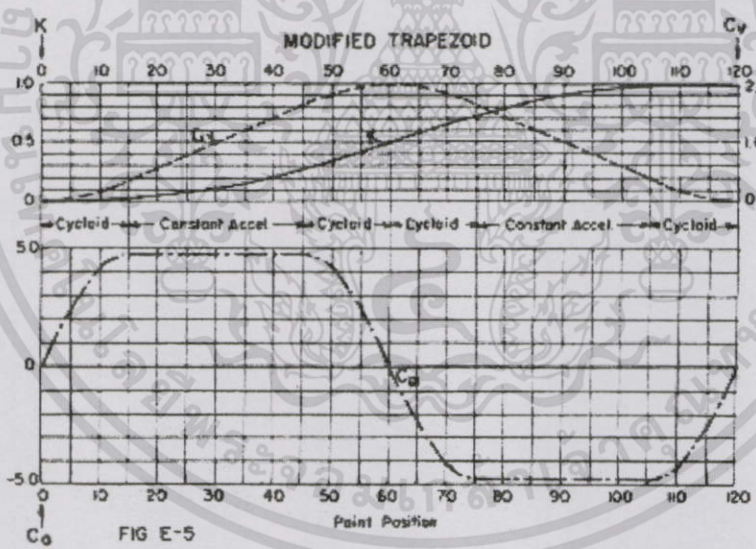


FIG E-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวทช. อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.- 6

ผลการคำนวณสมการ Constant Velocity แบบ ไร่มีติ เมื่อ $Pt =$ องศาการเคลื่อนที่, $K =$ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจัด, $Cv =$ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว, $Ca =$ ค่าสัมประสิทธิ์ความเร่ง

MODIFIED SINE FACTORS

Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca	Pt.	K	Cv	Ca
0	0.00000	0.00000	0.00000	30	0.11715	1.0997	4.1874	60	0.50000	1.7536	0.00000	90	0.86602	1.0997	4.1874
1	0.00060	0.0024	0.0075	31	0.12650	1.1398	4.6330	61	0.51466	1.7309	-0.1989	91	0.87210	1.0996	4.0069
2	0.00090	0.0036	0.0119	32	0.13616	1.1778	5.1809	62	0.52931	1.7084	-0.3926	92	0.87808	1.0994	3.8285
3	0.00150	0.0054	0.0179	33	0.14613	1.2136	5.8362	63	0.54396	1.6862	-0.5778	93	0.88399	1.0991	3.6511
4	0.00240	0.0084	0.0264	34	0.15642	1.2474	6.5981	64	0.55861	1.6643	-0.7549	94	0.88982	1.0987	3.4757
5	0.00360	0.0126	0.0390	35	0.16702	1.2802	7.4677	65	0.57326	1.6427	-0.9239	95	0.89558	1.0982	3.3024
6	0.00540	0.0189	0.0561	36	0.17793	1.3121	8.4461	66	0.58791	1.6214	-1.0874	96	0.90127	1.0977	3.1312
7	0.00810	0.0279	0.0795	37	0.18915	1.3431	9.5343	67	0.60256	1.6004	-1.2464	97	0.90688	1.0972	2.9621
8	0.01260	0.0414	0.1134	38	0.20068	1.3732	10.734	68	0.61721	1.5797	-1.4009	98	0.91241	1.0967	2.7951
9	0.01890	0.0612	0.1623	39	0.21252	1.4025	12.048	69	0.63186	1.5593	-1.5509	99	0.91786	1.0962	2.6302
10	0.02790	0.0882	0.2286	40	0.22467	1.4310	13.479	70	0.64651	1.5392	-1.6964	100	0.92333	1.0957	2.4674
11	0.04140	0.1266	0.3165	41	0.23712	1.4587	15.029	71	0.66116	1.5194	-1.8374	101	0.92872	1.0952	2.3067
12	0.06120	0.1818	0.4419	42	0.25000	1.4857	16.699	72	0.67581	1.4999	-1.9739	102	0.93413	1.0947	2.1481
13	0.08820	0.2616	0.6090	43	0.26331	1.5120	18.492	73	0.69046	1.4807	-2.1059	103	0.93946	1.0942	1.9916
14	0.12660	0.3708	0.8346	44	0.27706	1.5376	20.410	74	0.70511	1.4618	-2.2334	104	0.94482	1.0937	1.8372
15	0.18180	0.5238	1.1361	45	0.29125	1.5625	22.456	75	0.71976	1.4432	-2.3564	105	0.95021	1.0932	1.6849
16	0.26160	0.7398	1.5306	46	0.30588	1.5867	24.633	76	0.73441	1.4249	-2.4749	106	0.95562	1.0927	1.5347
17	0.37080	1.0338	2.0346	47	0.32095	1.6104	26.944	77	0.74906	1.4069	-2.5889	107	0.96106	1.0922	1.3866
18	0.52380	1.4238	2.7666	48	0.33646	1.6335	29.392	78	0.76371	1.3892	-2.6984	108	0.96653	1.0917	1.2406
19	0.73980	1.9362	3.7626	49	0.35241	1.6561	31.980	79	0.77836	1.3718	-2.8034	109	0.97204	1.0912	1.0967
20	1.03380	2.6106	5.1606	50	0.36880	1.6782	34.712	80	0.79301	1.3547	-2.9039	110	0.97759	1.0907	0.9549
21	1.42380	3.5706	7.0026	51	0.38573	1.6999	37.592	81	0.80766	1.3379	-3.0000	111	0.98318	1.0902	0.8152
22	1.93620	4.9626	9.4326	52	0.40320	1.7212	40.624	82	0.82231	1.3214	-3.0921	112	0.98881	1.0897	0.6776
23	2.61060	6.8466	12.6066	53	0.42121	1.7421	43.812	83	0.83696	1.3052	-3.1802	113	0.99448	1.0892	0.5421
24	3.57060	9.3786	16.6806	54	0.43976	1.7626	47.108	84	0.85161	1.2893	-3.2643	114	0.99999	1.0887	0.4086
25	4.96260	12.7146	21.6066	55	0.45885	1.7827	50.516	85	0.86626	1.2737	-3.3444	115	1.00556	1.0882	0.2771
26	6.84660	17.0106	28.4466	56	0.47848	1.8024	54.040	86	0.88091	1.2584	-3.4205	116	1.01119	1.0877	0.1486
27	9.37860	22.4226	37.3506	57	0.49865	1.8217	57.684	87	0.89556	1.2434	-3.4926	117	1.01688	1.0872	0.0231
28	12.71460	29.1186	48.4806	58	0.51936	1.8406	61.452	88	0.91021	1.2287	-3.5607	118	1.02263	1.0867	-0.0984
29	17.01060	37.3506	62.8906	59	0.54061	1.8591	65.338	89	0.92486	1.2143	-3.6248	119	1.02844	1.0862	-0.2219
30	22.42260	47.3826	80.1426	60	0.56240	1.8772	69.346	90	0.93951	1.2002	-3.6849	120	1.03431	1.0857	-0.3484

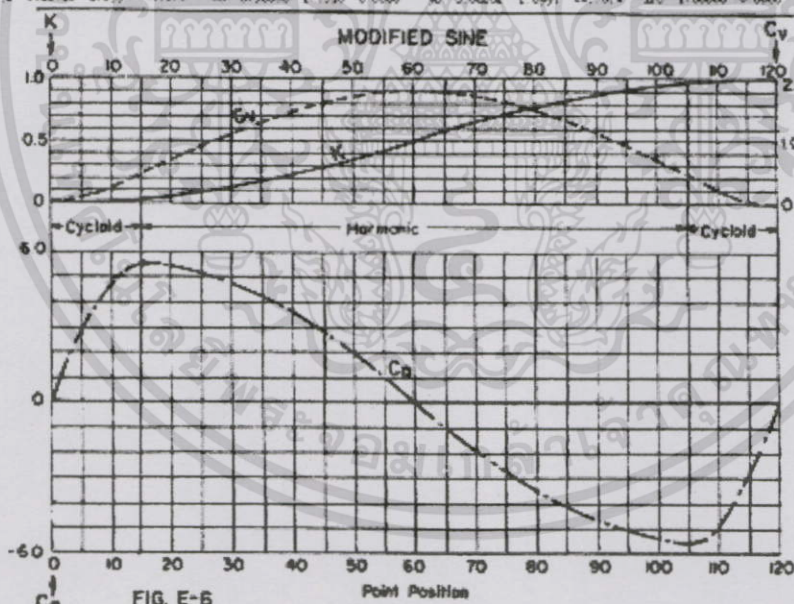


FIG. E-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายทรงเกียรติ รอดแดง เกิดเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2518 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ
ที่อยู่ 111 หมู่ 8 111 หมู่ 8 ซ.วัดคู่สร้าง ถ.สุขสวัสดิ์ ต.ในคลองบางปลากด อ. พระ
สมุทรเจดีย์ จ. สมุทรปราการ 10290 .

ประวัติการศึกษา พ.ศ.2540 อุดสาหกรรมศาสตรบัณฑิต อส.บ. สาขาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ปว.ส. สาขาวิชา อุดสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขต
เทคนิคกรุงเทพฯ และได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ในปีการศึกษา 2546

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2548-ปัจจุบัน บริษัท แล็บเทค เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ตำแหน่ง วิศวกรมออกแบบเครื่องกล

พ.ศ.2540-2548 บริษัทคูนิซ ฟาร์อีส ประเทศไทย ตำแหน่ง วิศวกรมออกแบบเครื่องกล