



การวิเคราะห์การเอียงตัวของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
(A Computer-aided Dynamic Analysis of The Pneumatic Tilting System of a Tilting
Three – Wheeled Vehicle (TTWV))

นาย กิตติศักดิ์

ศรีรัตน์ชัย

รหัสนิสิต 48380261

นาย วรวุฒิ

ธิยะ

รหัสนิสิต 48380328

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 2.1.ก.ค. 2554
เลขทะเบียน..... 15556358
เลขเรียกหนังสือ..... ๑/๕.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๗๖๗๕ ๗

2552

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์การเอียงตัวของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (A Computer-aided Dynamic Analysis of The Pneumatic Tilting System of a Tilting Three – Wheeled Vehicle (TTWV))

ผู้ดำเนินโครงการ : นาย กิตติศักดิ์ ศรีรัตนชัย รหัสบัณฑิต 48380261
: นาย วรวุฒิ ธิยะ รหัสบัณฑิต 48380328

ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะกรรมการสอบโครงการ

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์)

..... กรรมการ
(ดร.ศลิษา วีรพันธุ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์สุรัตน์ ปัญญาแก้ว)

หัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์การเอียงตัวของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อด้วย
โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผู้ดำเนินโครงการ : นาย กิตติศักดิ์ ศรีรัตนชัย รหัสสนិត 48380261

นาย วรวุฒิ ธิยะ รหัสสนិត 48380328

ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2552

บทคัดย่อ

จากกลุ่มโครงการ เครื่องจำลองนิวมติคส์ของระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อ ได้สร้างแบบจำลองด้วยนิวมติคส์เพื่อทดสอบการเอียงตัวของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อ โดยมีตัวแปรที่สนใจคือ โมเมนต์ความเฉื่อย มุม ความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุม

กลุ่มโครงการนี้จึงสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่การเอียงตัวของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อ โดยเขียนแบบจำลองใน โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ และทำการทดลองหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย โดยการแกว่งมวลควบคู่ไปกับการคำนวณทางทฤษฎี และการจำลองการเคลื่อนที่ใน โปรแกรม ADAMS® เพื่อศึกษา เปรียบเทียบ และปรับแต่งแบบจำลองการเอียงของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อ ที่สร้างขึ้น ให้ใกล้เคียงกับแบบจำลองด้วยนิวมติคส์

การทดลองแบ่งเป็น 2 กรณี กรณีที่ 1 คัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเฉพาะ โครงสร้างสามเหลี่ยม กรณีที่ 2 คัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรวมทุกชิ้นส่วน โดยมีแกนอ้างอิงคือจุดศูนย์กลางมวลทำมุม 45° - 135° กับแนวระดับ ใช้ความดันที่ 225, 250 และ 275 บาร์ ในการทดสอบ เพื่อหาค่าความเร็วเชิงมุม, ความเร่งเชิงมุม และ โมเมนต์ความเฉื่อย

ผลการทดลองกรณีที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบค่า ความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุม ที่ได้จาก โปรแกรม ADAMS® กับการคำนวณทางทฤษฎี มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3.68% และ 5.20 % ตามลำดับ ผลการทดลองกรณีที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเร็วเชิงมุม จาก โปรแกรม ADAMS® และแบบจำลองด้วยนิวมติคส์ กับการคำนวณทางทฤษฎี มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.90 % และ 58.33 % ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความเร่งเชิงมุม จากโปรแกรม ADAMS® และแบบจำลองด้วยนิวมติคส์ กับการคำนวณทางทฤษฎี มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 8.95 % และ 37.11 % ตามลำดับ

Project Title : A Computer-aided Dynamic Analysis of The Pneumatic Tilting System of a Tilting
Three – Wheeled Vehicle (TTWV)

Name : Mr. Kittisak Sriratchai **Student ID** 48380261

Mr. Worawut Thiya **Student ID** 48380328

Project Advisor : Mr. Pongpun Othaganont

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2009

Abstract

This project is to create a 3D computer model of a tilting wheeled vehicle and simulate its dynamics behavior. Then, the result is compared with the previous year project, Pneumatic Tilting System Simulation of a Tilting Wheeled Vehicle.

We started from creating a 3D drawing and then imported to MSC Adams program. There were two cases to test. The first case simulated model using moment of inertia of inner triangular structure only and the second case used the whole structure. Three different pressures 225, 250 and 275 bars were used in this simulation. The angular velocity and angular acceleration are obtained from the simulation and then compared to those calculated manually.

The results show that, in the first case, the errors of angular velocity and angular acceleration compared between Adams program and calculation was 3.68% and 5.20% respectively. And the errors in the second case between Adams program and pneumatic model compare to calculation was 1.90% and 58.33% for angular velocity, 8.95% and 37.11% for angular acceleration.

กิตติกรรมประกาศ

การทำโครงการนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการศึกษาวิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ดร. พงสาด มีคุณสมบัติ ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในช่วงแรกของการทำโครงการจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยเหลือการทำโครงการให้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนอุปการะด้านการเงินและเป็นกำลังใจทำให้โครงการนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอมอบความดีของโครงการ เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแด่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิจัยฉบับนี้จะก่อประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติสืบไป

คณะผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญกราฟ	ฌ
สารบัญรูปภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน	3
1.7 อุปกรณ์ที่ใช้	3
1.8 งบประมาณ	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	17
3.1 การสร้างแบบจำลองห้องโดยสารรถยนต์สามล้อในโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ	20
3.2 การทดลองในโปรแกรม ADAMS®	21
3.3 การคำนวณค่าทางทฤษฎีจากแบบจำลองด้วยนิวมติกส์	23

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
4.1 ผลการทดลองกรณีที่ 1	28
4.2 ผลการทดลองกรณีที่ 2	31
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก	38
ภาคผนวก ก	39



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดลองแกว่งมวล	25
ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดลองการแกว่งลูกตุ้มเหล็ก	25
ตารางที่ 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของ โมเมนต์ความเฉื่อย	28
ตารางที่ 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุม จากโปรแกรม ADAMS®	31
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการคำนวณทางทฤษฎีกับโปรแกรม และผลจากแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์	31
ตารางที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนของค่าความเร็วเชิงมุมเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี ที่ความดันต่างๆ	32
ตารางที่ 4.5 ความคลาดเคลื่อนของค่าความเร่งเชิงมุมเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี ที่ความดันต่างๆ.	32



สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้า
กราฟที่ 4.1 แสดงความเร็วเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากการคำนวณ)	29
กราฟที่ 4.2 แสดงความเร็วเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จาก โปรแกรม ADAMS®)	29
กราฟที่ 4.3 แสดงความเร่งเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากการคำนวณ)	30
กราฟที่ 4.4 แสดงความเร่งเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จาก โปรแกรม ADAMS®)	30
กราฟที่ 4.5 แสดงความเร็วเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากการคำนวณ)	33
กราฟที่ 4.6 แสดงความเร็วเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จาก โปรแกรม ADAMS®)	33
กราฟที่ 4.7 แสดงความเร่งเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากการคำนวณ)	34
กราฟที่ 4.8 แสดงความเร่งเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จาก โปรแกรม ADAMS®)	34
กราฟที่ ก-1 กราฟแสดงมุมเทียบกับเวลา	56
กราฟที่ ก-2 กราฟแสดงความเร็วเชิงมุมเทียบกับเวลา	57
กราฟที่ ก-3 กราฟแสดงความเร่งเชิงมุมเทียบกับเวลา	57
กราฟที่ ก-4 กราฟแสดงความเร็วเชิงมุมเทียบกับมุม	58
กราฟที่ ก-5 กราฟแสดงความเร่งเชิงมุมเทียบกับมุม	59

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเอียงของห้องโดยสาร	4
รูปที่ 2.2 ระบบไฮดรอลิกส์ที่ใช้ควบคุมการเอียงตัวของห้องโดยสารของรถยนต์สามล้อ	4
รูปที่ 2.3 แบบจำลองด้วยนิวเมติกส์	5
รูปที่ 2.4 แบบใน โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ	5
รูปที่ 2.5 โปรแกรม ADAMS	6
รูปที่ 2.6 ชิ้นส่วนโครงสร้างที่เป็น Four-bar linkage	6
รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนรูปแบบของกลไก	7
รูปที่ 2.8 Geometric inversion	8
รูปที่ 2.9 แบบจำลองที่สร้างขึ้น	8
รูปที่ 2.10 แรงเฉื่อยที่กระทำต่อรถขณะเลี้ยวโค้ง	9
รูปที่ 2.11 มุมที่กวาดไปในระนาบของการเคลื่อนที่	10
รูปที่ 2.12 การกระจัดเชิงมุมที่เปลี่ยนไป	11
รูปที่ 2.13 โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน z	12
รูปที่ 2.14 แสดงการหาจุด CG โดยการแขวนบนเส้นเชือก	13
รูปที่ 2.15 แสดงจุด CM หรือ CG ของวัตถุรูปทรงต่างๆ	13
รูปที่ 2.16 แกนหมุนใหม่กับจุดศูนย์กลางมวล	14
รูปที่ 2.17 แกนที่ตั้งฉากกันในระนาบของวัตถุ	15
รูปที่ 2.18 ทอร์กในรูปของเวกเตอร์	15
รูปที่ 2.19 แรงในรูปเวกเตอร์	16
รูปที่ 2.20 กฎมือขวา	16
รูปที่ 3.1 ลักษณะการเอียงตัวของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อ	17
รูปที่ 3.2 แบบจำลองห้องโดยสารรถยนต์สามล้อในโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ	20
รูปที่ 3.3 แบบจำลองห้องโดยสารรถยนต์สามล้อ ในโปรแกรม ADAMS®	21
รูปที่ 3.4 มุมอ้างอิงของโครงสร้างสามเหลี่ยม	22
รูปที่ 3.5 แบบจำลองห้องโดยสารรถยนต์สามล้อในโปรแกรม ADAMS®	22
รูปที่ 3.6 การแยกชิ้นส่วน โครงสร้างสามเหลี่ยม	23
รูปที่ 3.7 การหาระยะห่างระหว่างจุด CG กับจุดหมุน O	24
รูปที่ 3.8 การแกว่งมวลเพื่อหาค่า โมเมนต์ความเฉื่อย	24

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปภาพที่	หน้า
รูปที่ 3.9 การแกว่งลูกตุ้มเหล็กเพื่อหาค่า แรง ไน้มถ่วง	25
รูปที่ 3.10 มุมอ้างอิงของแบบจำลอง	26
รูปที่ 3.11 การแตกแรง F เพื่อหาโมเมนต์	27
รูปที่ 3.12 การแตกแรง Mg เพื่อหาโมเมนต์	27
รูปภาพ ก-1 แบบร่าง โครงสร้างสามเหลี่ยม	41
รูปภาพ ก-2 โครงสร้างสามเหลี่ยม	42
รูปภาพ ก-3 ครอบอกนิวมติกส์	43
รูปภาพ ก-4 แกนนิวมติกส์	44
รูปภาพ ก-5 การกำหนดความสัมพันธ์ให้กับ โครงสร้างสามเหลี่ยม	45
รูปภาพ ก-6 การประกอบชิ้นส่วนของแกนครอบอกนิวมติกส์	46
รูปภาพ ก-7 แบบจำลองห้องโดยสารรถยนต์สามล้อที่ประกอบเสร็จแล้ว	47
รูปภาพ ก-8 การหาโมเมนต์ความเฉื่อย	47
รูปภาพ ก-9 การ Import file	48
รูปภาพ ก-10 การ Import File เข้าสู่โปรแกรม ADAMS®	49
รูปภาพ ก-11 แบบจำลองที่ Import เข้ามาใน โปรแกรม ADAMS®	49
รูปภาพ ก-12 การกำหนดคุณสมบัติให้กับชิ้นส่วนต่างๆ	50
รูปภาพ ก-13 การหาค่า โมเมนต์ของความเฉื่อยในโปรแกรม ADAMS®	51
รูปภาพ ก-14 การกำหนดจุดหมุนที่เป็นแบบ 1 Body - 1 Location	51
รูปภาพ ก-15 การกำหนดจุดหมุนที่เป็นแบบ 2 Body - 1 Location	52
รูปภาพ ก-16 การกำหนดความสัมพันธ์ให้กับครอบอกนิวมติกส์	53
รูปภาพ ก-17 การสร้างรูปแบบการสัมผัสกันของวัตถุ	54
รูปภาพ ก-18 การใส่แรง	55

บทที่ 1

1.1 ความสำคัญ และ ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันยานพาหนะได้เข้ามามีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตมากขึ้นและในขณะเดียวกันก็เป็นผลให้เกิดการจราจรที่ติดขัดตามมา โดยเฉพาะในเขตเมืองหลวงของแต่ละประเทศ ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เพราะเหตุนี้เองจึงมีการรวมกลุ่มจัดตั้งโครงการขึ้นมาในกลุ่มประเทศยุโรปเพื่อจะแก้ไขปัญหานี้ และได้ให้ชื่อโครงการนี้ว่า CLEVER Project (Compact Low Emission Vehicle For Urban Transport) [1] เป็นโครงการความร่วมมือของประเทศในกลุ่มยุโรปที่ต้องการจะลดสภาวะปัญหาโลกร้อนเพราะ CLEVER Car ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนซึ่งมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาน้อย และต้องการลดพื้นที่การจราจรที่ติดขัดบนท้องถนน เนื่องจาก CLEVER Car เป็นรถที่มีขนาดเล็กเพียง $1 \times 3 \times 1.35$ m จึงมีความคล่องตัวในการขับขึ้นบนท้องถนน แต่การที่รถมีความกว้างน้อยๆจะทำให้การทรงตัวขณะขับขี่ไม่ค่อยมีเสถียรภาพ และเมื่อมีการเลี้ยวโค้งด้วยความเร็วสูงก็จะทำให้เกิดการพลิกคว่ำได้ง่าย ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าโค้ง โดยที่มีการออกแบบให้ห้องโดยสารของคนขับสามารถเอียงไปพร้อมกับการเข้าโค้งของรถและความสามารถที่โดดเด่นคือ เป็นการผสมผสานระหว่างรถยนต์สามล้อกับรถจักรยานยนต์ที่มีระบบไฮดรอลิกส์เป็นตัวช่วยในการเข้าโค้ง

โครงการนี้จะสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขขึ้นมาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบและปรับแต่งให้เสมือนกับแบบจำลองจริง [2] มากที่สุด เพื่อที่จะสามารถใช้ออกแบบแทนการสร้างแบบจำลองจริง และเพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างต่างๆ ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

สร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่การเอียงตัวของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองและปรับแต่งค่าตัวแปรต่างๆ ให้มีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองจริงมากที่สุด โดยจะพิจารณาตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องดังนี้ มุม (θ) โมเมนต์ความเฉื่อย (I), ความเร็วเชิงมุม (ω) และความเร่งเชิงมุม (α) ของห้องโดยสารขณะที่ห้องโดยสารมีการเอียงตัว

1.3 ขอบเขต

- ศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเอียงตัวของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อที่เป็นแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ โดยพิจารณาในส่วนของ มุม (θ), โมเมนต์ความเฉื่อย (I), ความเร็วเชิงมุม (ω) และความเร่งเชิงมุม (α) ของห้องโดยสารขณะที่ห้องโดยสารมีการเอียงตัว

- สร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อขณะที่มีการเอียงตัวโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ADAMS[®] (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) [3] โดยคำนึงถึงตัวแปรดังต่อไปนี้ มุม (θ), โมเมนต์ความเฉื่อย (I), ความเร็วเชิงมุม (ω) และความเร่งเชิงมุม (α) ของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อ

- เปรียบเทียบผลการทดลองกับการคำนวณทางทฤษฎี และแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ ปรับแต่งแบบจำลองการเอียงตัวของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ให้มีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองนิวเมติกส์มากที่สุด

1.4 ระยะเวลา และแผนการปฏิบัติงาน (ไม่เป็นไปตามแผนการปฏิบัติงาน)

กิจกรรม	2551							2552		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาข้อมูลของรถสามล้อแบบห้องโดยสารเอียงตัวได้ (TTWV)	←→									
2. ศึกษาสมการที่เกี่ยวข้อง	←→									
3. ศึกษา และเขียนแบบชิ้นงานในโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ			←→							
4. ศึกษา และสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่เสมือนจริงในโปรแกรม ADAMS [®]				←→						
5. เปรียบเทียบและปรับแต่ง							←→			
6. วิเคราะห์และสรุปผล							←→			
7. จัดทำรายงาน เอกสาร-วิชาการเพื่อนำเสนองานในนิทรรศการ									←→	

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อ (TTWV) ขณะที่มีการเหยียบตัวโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ และสามารถปรับแต่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ให้ใกล้เคียงกับแบบจำลองด้วยนิวมेटริกส์ จนสามารถนำมาใช้ออกแบบแทนการสร้างแบบจำลองจริง รวมถึงใช้ในการออกแบบโครงสร้างต่างๆ ต่อไปในอนาคต

1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 อุปกรณ์ที่ใช้

12.1 อุปกรณ์-เครื่องมือวัดขนาด ชั่งน้ำหนัก

12.2 เครื่องคอมพิวเตอร์

1.8 งบประมาณ

ค่าจัดทำเอกสาร	1,500 บาท
อุปกรณ์ - เครื่องมือวัดขนาด	500 บาท
รวม	2,000 บาท

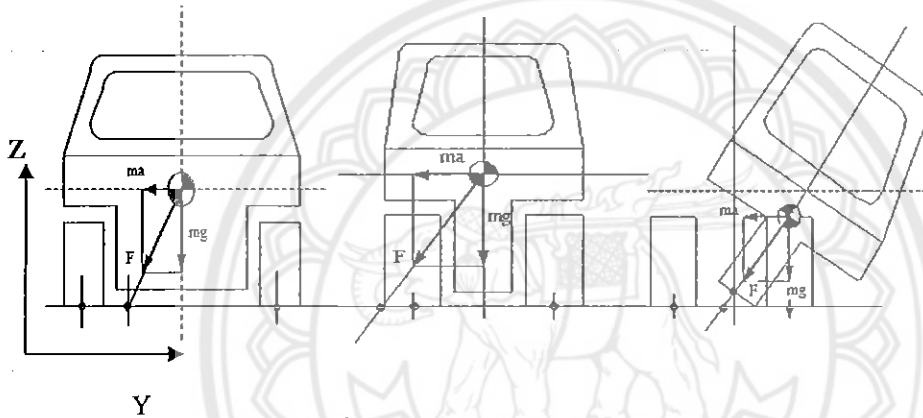


บทที่ 2

ทบทวนเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

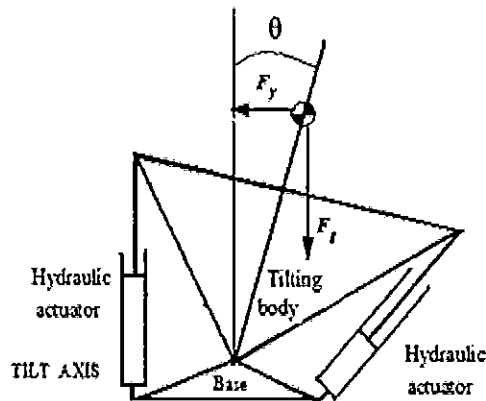
2.1 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาของรถยนต์แบบสามล้อคือ ไม่สามารถควบคุมการเอียงตัวของรถขณะ que เข้าโค้ง เช่นเดียวกับกับรถจักรยานยนต์ เมื่อเข้าโค้งด้วยความเร็วสูงมักเกิดอุบัติเหตุพลิกคว่ำ วิธีการแก้ปัญหาคือ การทำให้จุดศูนย์กลางของเครื่องนั้นอยู่ในฐานล้อ ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่และการทำมุมขณะเข้าโค้งจะใช้หลักการเกี่ยวกับการเข้าโค้งของรถจักรยานยนต์ ผลลัพธ์ที่ได้คือเวกเตอร์จะเอียงไปทางแกน y น้ำหนักจะถ่ายลงไปที่ทางแกน z ในขณะที่ล้อจะเชื่อมต่อกับจุดศูนย์กลางที่ขนานกัน (ดังรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเอียงของห้องโดยสาร [1]

การเอียงตัวของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อจะใช้ระบบไฮดรอลิกส์ในการควบคุมคือใช้ระบบอกไฮดรอลิกส์ 2 ตัว ติดตั้งระหว่างห้องผู้โดยสารและห้องเครื่อง สามารถทำมุมเอียงกับห้องเครื่องได้ $\pm 45^\circ$ (ดังรูปที่ 2.2) การทำงานของระบบนี้จะเริ่มจากปั้มถูกขับเคลื่อนโดยเครื่องยนต์ และอุปกรณ์ควบคุมความดันที่รักษาระดับน้ำมันในปั้ม โดยไฮดรอลิกส์จะถูกควบคุมโดยวงจร และใช้วาล์วเป็นตัวปิด-เปิดในการควบคุมระบบไฮดรอลิกส์โดยมีการป้องกันความเร็ว และรัศมีความโค้งของถนนเข้าไปยังระบบควบคุม (จะมีระบบ Sensor ตรวจจับอยู่)



รูปที่ 2.2 ระบบไฮดรอลิกส์ที่ใช้ควบคุมการเอียงตัวของห้องโดยสารของรถยนต์สามล้อ [1]

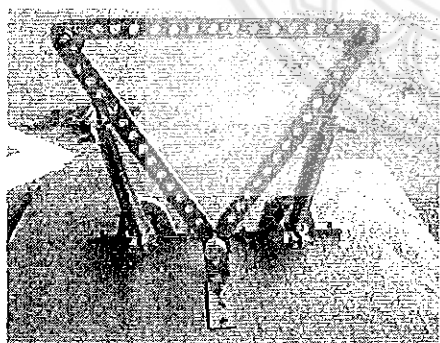
มีกลุ่มโครงการชื่อ เครื่องจำลองนิวเมติกส์ของระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อ[2] ซึ่งจะใช้อ้างอิงไปยังบทต่อไปจึงขอเรียกย่อว่า “แบบจำลองด้วยนิวเมติกส์” โดยกลุ่มแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์นี้ สร้างแบบจำลองห้องโดยสารรถยนต์สามล้อเพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมห้องโดยสารรถยนต์สามล้อและเปลี่ยนระบบการทำงานจากระบบไฮดรอลิกส์เป็นระบบนิวเมติกส์ ซึ่งการสร้างแบบจำลองจริงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลอง

การทำงานของแบบจำลองนี้ใช้ระบบนิวเมติกส์ในการบังคับให้ชิ้นส่วนเกิดการเคลื่อนที่ โดยผู้ทดสอบต้องคอยเปิดปิดปั๊มลม และมีตัวที่คอยวัดค่า และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าตัวแปรอื่นๆที่เกี่ยวข้องในการทดลองได้ใช้ความดันที่แตกต่างกัน 3 ค่า ค่าละ 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ย (ในการคำนวณความถี่ของอุปกรณ์ต่างๆ ไม่นำมาคิด)

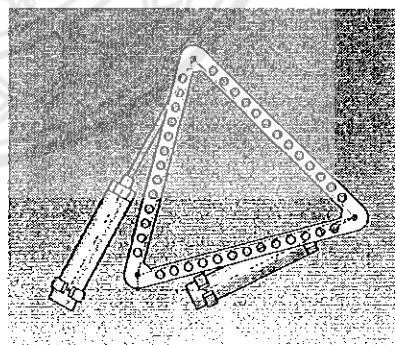
เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลองจริง โครงการนี้จึงใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาทดแทนการสร้างแบบจำลองจริงจากโครงการของ แบบจำลองนิวเมติกส์ ตัวแปรที่ต้องการศึกษาคือมุม(θ), โมเมนต์ความเฉื่อย(I), ความเร็วเชิงมุม (ω) และ ความเร่งเชิงมุม (α)

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการสร้างแบบจำลองการเอียงตัวของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อ (TTWV)

การสร้างแบบจำลองการเอียงตัวของห้องโดยสาร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นในตอนแรกเริ่มทำการวัดขนาดของแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ และนำมาเขียนแบบใน โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ (ดังรูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.3 แบบจำลองด้วยนิวเมติกส์

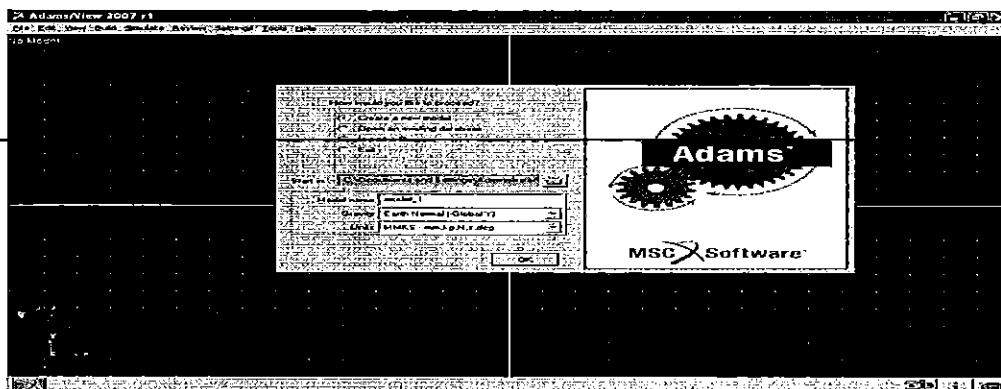


รูปที่ 2.4 แบบใน โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ

โปรแกรม ADAMS® (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems) [3]

เป็นโปรแกรมหนึ่งซึ่งต่างก็เป็นที่ยอมรับว่า สามารถใช้ในการออกแบบและจำลองการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆเช่น ที่ Ford Motor Company ใช้โปรแกรมนี้ออกแบบ ระบบเบรก และช่วงล่าง และที่ Boeing Company ใช้โปรแกรมนี้จำลอง โมเดลเครื่องบิน [4] เพื่อให้ทราบลักษณะของการเคลื่อนไหวและ

ค่าตัวแปรต่างๆที่ต้องการทราบค่า โครงการนี้จึงเลือก โปรแกรมนี้เข้ามาเพื่อที่จะใช้ในการสร้างแบบจำลอง การเคลื่อนที่ของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อที่เรียงตัวได้



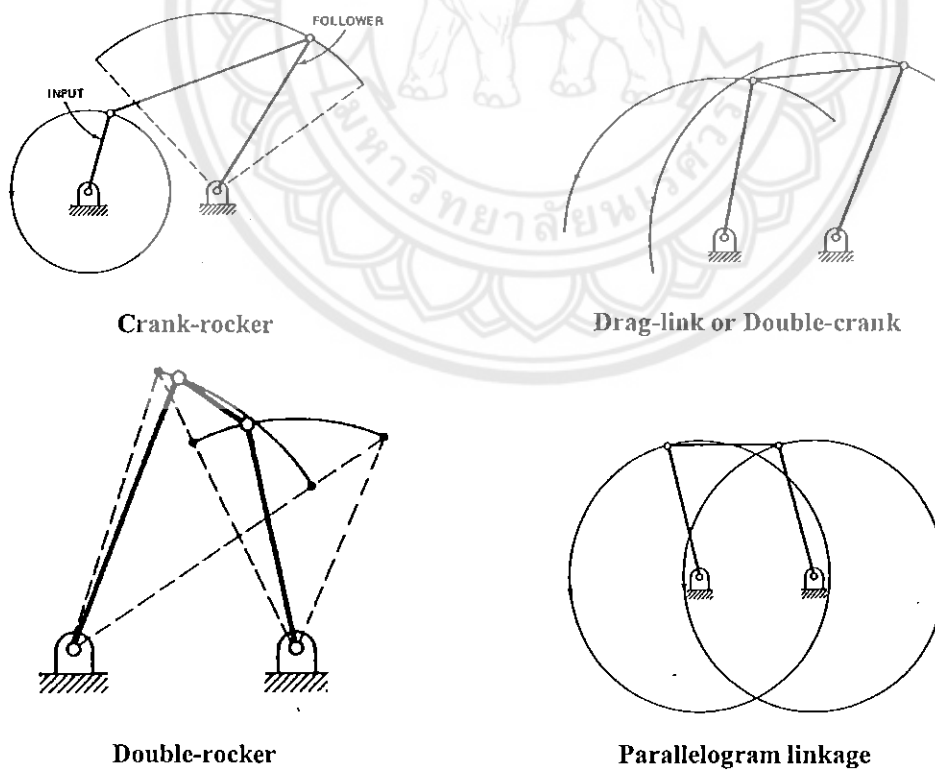
รูปที่ 2.5 โปรแกรม ADAMS® [3]

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Four-bar linkage

เป็นกลไกการเคลื่อนที่แบบง่ายๆ ประกอบด้วยชิ้นส่วนขับ ชิ้นส่วนที่เป็นตัวส่ง ชิ้นส่วนที่เป็น

ตัวตาม



รูปที่ 2.6 ชิ้นส่วน โครงสร้างที่เป็น Four-bar linkage [5]

Grashoff's Law กล่าวไว้ว่า ถ้าผลบวกของความยาวของชิ้นส่วนที่สั้นที่สุดกับชิ้นส่วนที่ยาวที่สุดมีค่าน้อยกว่าผลบวกของความยาวของชิ้นที่เหลือ จะทำให้มีการหมุนสัมพัทธ์อย่างต่อเนื่อง (ครบรอบ) ของชิ้นส่วนหนึ่งเทียบกับอีกชิ้นส่วนหนึ่ง

กำหนด s คือ ความยาวของชิ้นส่วนที่สั้นที่สุด

l คือ ความยาวของชิ้นส่วนที่ยาวที่สุด

p และ q คือ ความยาวของชิ้นส่วนที่ยาวมากกว่า s และน้อยกว่า l

ถ้า $l+s < p+q$

Crank-rocker ถ้า s เป็น crank และ อยู่ติดกับ frame(ground)

Double-crank ถ้า s เป็น frame

Rocker-crank ถ้า s เป็น follower

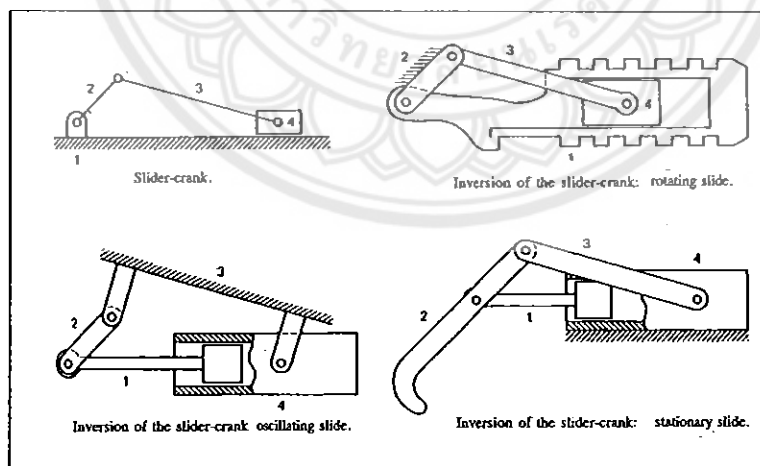
Double-rocker ถ้าถึงคี่ ตรงข้าม s เป็น frame

ถ้า $l+s > p+q$ Non-grashoff (4)

ถ้า $l+s = p+q$ ได้เหมือนกรณีที่ 1 แต่จะเกิด change point condition(singularity) หรือ ชิ้นส่วนเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน

$s = p$ และ $l = q$ เป็น deltoid หรือ parallelogram linkage

Kinematic inversion เป็นวิธีการเปลี่ยนรูปแบบของกลไก โดยการเปลี่ยน ground ของ linkage ดังรูปที่ 2.7

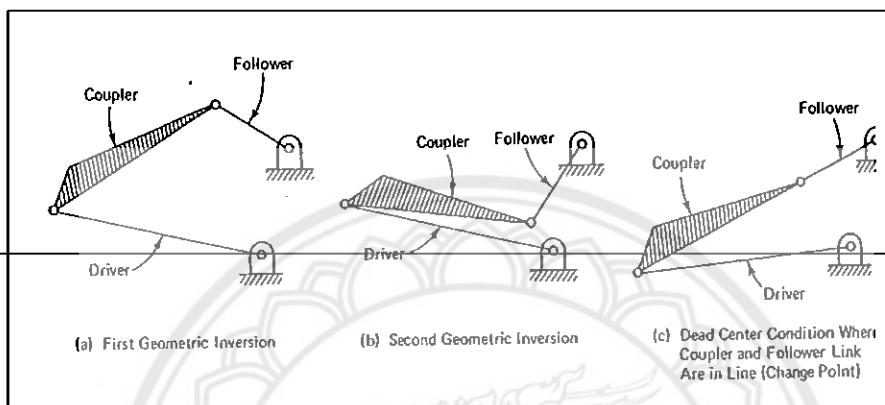


รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนรูปแบบของกลไก [5]

Geometric inversion สำหรับค่าเดียวของตำแหน่งชิ้นส่วนขับ (input link) สามารถให้ตำแหน่งการเรียงตัวของชิ้นส่วนที่เหลือมีมากกว่าหนึ่งค่า ทุกๆ four-bar linkage จะมีคุณสมบัติอันนี้

- การเปลี่ยนจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งต้องมีการเคลื่อนที่ผ่าน dead center position

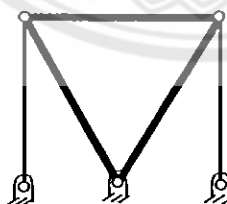
(change point) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 Geometric inversion [5]

- สำหรับ Grashoff four bar การเคลื่อนที่จะมี 2 วงจรการเคลื่อนที่ โดยสามารถทำได้โดยการถอดจุดเชื่อมระหว่าง coupler กับ follower ไม่มี dead center position เช่น Crank-rocker และ double-crank mechanisms)

- สำหรับ Non-Grashoff four bar การเคลื่อนที่จะมี 1 วงจรการเคลื่อนที่แต่ก็มี 2 geometric inversion ซึ่งการเปลี่ยนจากอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่งต้องมีการเคลื่อนที่ผ่าน dead center point



รูปที่ 2.9 แบบจำลองที่สร้างขึ้น

ลักษณะกลไกของแบบจำลองที่สร้างขึ้น เป็น four-bar linkage

2.2.2 การเคลื่อนที่บนทางโค้ง

ขณะที่รถยนต์กำลังเลี้ยวโค้ง ได้โดยที่รถยนต์ไม่ไถลออกนอกถนน เนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างพื้นถนนกับยางรถซึ่งเป็นแรงเสียดทานสถิต และแรงนี้จะมีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางความโค้งของถนน แรงสู่ศูนย์กลางนี้จะมีค่าจำกัด ขึ้นอยู่กับ รัศมีความโค้งของถนน อัตราเร็วที่รถวิ่ง เมื่อฝนตกถนนลื่น แรงเสียดทาน(แรงสู่ศูนย์กลาง)จะลดลง

ในขณะที่เดียวกันแรง F ที่ทำให้รถไถลออกนอกโค้ง ซึ่งมีแนวทางการเคลื่อนที่ตรงข้ามกับแรงสู่ศูนย์กลางคือแรงเฉื่อยของวัตถุ พยายามไถลออกจากโค้ง จึงมีแรงเสียดทาน ที่พื้นกระทำต่อล้อรถในทิศทางพุ่งเข้าในแนวผ่านศูนย์กลางความโค้ง



รูปที่ 2.10 แรงเฉื่อยที่กระทำต่อรถขณะเลี้ยวโค้ง [6]

ดังนั้น แรงเฉื่อยหาได้จาก $F_n = ma_n$

เมื่อ a_c เป็นความเร่งขณะหนึ่งที่มีทิศเข้าสู่ศูนย์กลางวงกลม

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

แรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่อวัตถุตามกฎของนิวตัน แรงสู่ศูนย์กลาง F_c จะเป็น

$$F_c = ma_c = \frac{mv^2}{r}$$

ถ้ารถเลี้ยวด้วยอัตราเร็วสูงสุดได้ปลอดภัย

$$f_s (\text{max}) = F_c$$

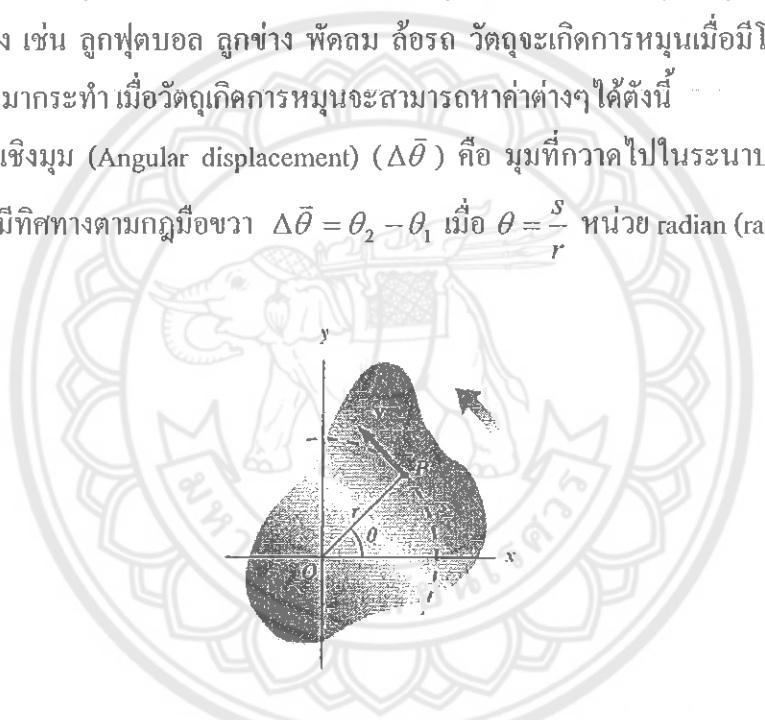
$$\mu N = \frac{mv^2}{r} \dots \dots \dots N = mg$$

แรงสู่ศูนย์กลางนี้จะมีค่าจำกัด ขึ้นอยู่กับ รัศมีความโค้งของถนน อัตราเร็วที่รถวิ่ง เมื่อฝนตกถนนลื่น แรงเสียดทาน(แรงสู่ศูนย์กลาง) จะลดลง ดังนั้นอัตราเร็วของรถยนต์จึงควรลดลงด้วย เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ

2.2.3 การเคลื่อนที่แบบหมุน (Rotational Motion)

การเคลื่อนที่แบบหมุนจะเป็นการเคลื่อนที่โดยการหมุนรอบตัวเอง รอบจุดใดจุดหนึ่ง หรือ แกนใดแกนหนึ่งในตัวมันเอง เช่น ลูกฟุตบอล ลูกข้าง พัดลม ล้อรถ วัตถุจะเกิดการหมุนเมื่อมีโมเมนต์(Moment) หรือ ทอร์ก (Torque) มากกระทำ เมื่อวัตถุเกิดการหมุนจะสามารถหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้

- การกระจัดเชิงมุม (Angular displacement) ($\Delta\bar{\theta}$) คือ มุมที่กวาดไปในระนาบของการเคลื่อนที่ เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีทิศทางตามกฎมือขวา $\Delta\bar{\theta} = \theta_2 - \theta_1$ เมื่อ $\theta = \frac{s}{r}$ หน่วย radian (rad)



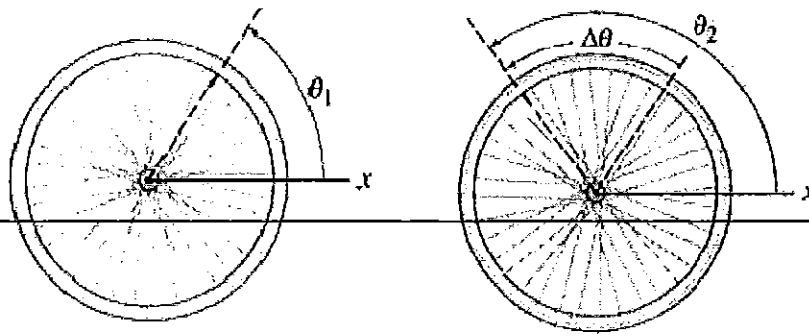
รูปที่ 2.11 มุมที่กวาดไปในระนาบของการเคลื่อนที่ [7]

- ความเร็วเชิงมุม (Angular speed) ($\bar{\omega}$) คือ การกระจัดเชิงมุมที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีทิศเดียวกับการกระจัดเชิงมุมสามารถแบ่งช่วงเวลาค้นหาได้สองกรณีคือ

กรณีที่หนึ่งความเร็วเชิงมุมเฉลี่ย $\bar{\omega} = \frac{\Delta\bar{\theta}}{\Delta t} = \frac{\bar{\theta}_2 - \bar{\theta}_1}{t_2 - t_1}$ (หน่วย rad/s) (2.1)

กรณีที่สองความเร็วเชิงมุมขณะหนึ่ง $\bar{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\bar{\theta}}{\Delta t} = \frac{d\bar{\theta}}{dt}$ (หน่วย rad/s) (2.2)

ในกรณีที่ไมทราบค่าเวลา $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha_c(\theta - \theta_0)$ (หน่วย rad/s) (2.3)



รูปที่ 2.12 การกระจัดเชิงมุมที่เปลี่ยนไป [7]

- ความเร่งเชิงมุม (α) (Angular acceleration) คือ ความเร็วเชิงมุมที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา มีทิศเดียวกับความเร็วเชิงมุมสามารถแบ่งช่วงเวลาคำนวณได้สองกรณี คือ

กรณีที่หนึ่งความเร่งเชิงมุมเฉลี่ย
$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta \bar{\omega}}{\Delta t} = \frac{\bar{\omega}_2 - \bar{\omega}_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{หน่วย rad/s}^2) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

กรณีที่สองความเร่งเชิงมุมขณะหนึ่ง
$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\bar{\omega}}{dt} \quad (\text{หน่วย rad/s}^2) \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

2.2.4 การคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia) [9]

โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุ เป็นสมบัติของวัตถุเชิงเกร็งในการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของการหมุนของวัตถุรอบแกนหมุน เป็นปริมาณสเกลาร์ หน่วย $kg \cdot m^2$ ถ้าวัตถุมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมาก จะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมน้อยถ้าวัตถุมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยน้อย จะหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมมาก

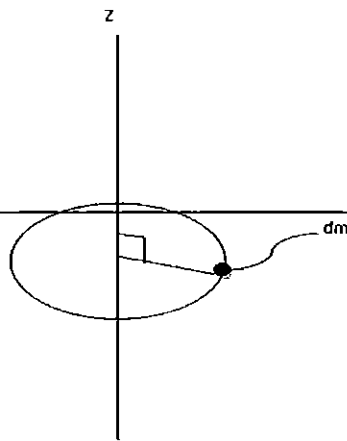
เนื่องจากวัตถุทรงรูปมีขนาดและรูปร่างที่แน่นอน ดังนั้นเมื่อมีระบบของแรงที่ไม่สมดุลมากระทำ จะทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ทั้งแบบเลื่อนและหมุน และได้สมการการเคลื่อนที่ คือ

$$F = ma \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

$$M = I\alpha \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

เราเรียกสัญลักษณ์ I ในสมการว่า “โมเมนต์ความเฉื่อยของมวล” ซึ่งหมายถึงความสามารถของวัตถุในการต้านทานการเกิดความเร็วเชิงมุม ($M = I\alpha$) ในขณะที่มวล m หมายถึงความสามารถของวัตถุในการต้านทานการเกิดความเร็วเชิงเส้น ($F = ma$)

โมเมนต์ความเฉื่อยของมวลคือ การอินทิเกรตของ โมเมนต์ที่สองรอบแกนทุกชิ้นส่วนทั้งหมดของมวล dm ที่ประกอบกันเป็นวัตถุ เช่น พิจารณาวัตถุทรงรูป ดังรูปที่ 2.13 โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน z



รูปที่ 2.13 โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน z

เมื่อแกนโมเมนต์ r เป็นระยะตั้งฉากจากแกน z ไปยังชิ้นส่วน dm ที่ประกอบเป็นวัตถุใดๆ เนื่องจากสมการเกี่ยวข้องกับค่าระยะ r ดังนั้นค่า I ที่ได้จากการคำนวณสำหรับแต่ละแกนที่เลือกจะมีค่าแตกต่างกัน ในการศึกษาจลนศาสตร์ในระนาบของวัตถุทรงรูป แกนที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์จะนิยมเลือกแกนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ G และตั้งฉากกับการเคลื่อนที่เสมอ โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุนี้จะเขียนเป็น I_G เนื่องจากแกนโมเมนต์ r ในสมการที่เป็นเทอมยกกำลังสอง ดังนั้นค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของมวลจะมีค่าเป็นบวก สามารถแบ่งกรณีการหาโมเมนต์ความเฉื่อยได้ดังนี้

$$\text{กรณีอนุภาคเป็นมวลย่อยๆ} \quad I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots + m_n r_n^2 \quad \dots\dots (2.8)$$

$$\text{กรณีอนุภาคประกอบกันเป็นวัตถุแข็งเกร็ง} \quad I = \lim_{\Delta m_i \rightarrow 0} \sum r_i^2 \Delta m_i = \int r^2 dm \quad \dots\dots (2.9)$$

2.2.5 การหาจุดศูนย์กลางมวล (C.M) และจุดศูนย์กลาง (C.G)

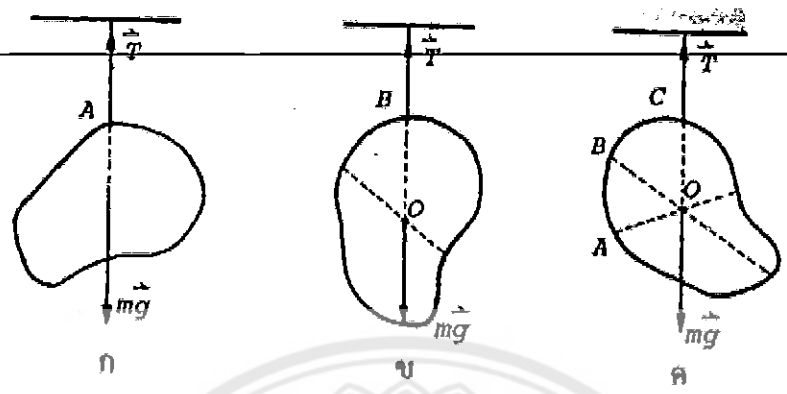
จุดศูนย์กลางมวลของวัตถุ (C.M) คือ ตำแหน่งที่มวลรวมของวัตถุอยู่ซึ่งจุดนี้อาจจะอยู่ในหรือนอกวัตถุก็ได้

จุดศูนย์กลางของวัตถุ (C.G) คือ ตำแหน่งที่น้ำหนักรวมของวัตถุอยู่ ซึ่งจุดนี้อาจจะอยู่ในหรือนอกวัตถุก็ได้

โดยทั่วไป ถ้าวัตถุมีความสูงไม่มากนักจุด C.G และจุด C.M จะอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน และถ้าวัตถุมีความสูงมากๆ จุด C.M และจุด C.G จะอยู่คนละจุด โดย C.G จะอยู่ตำแหน่งต่ำกว่าจุด C.M เสมอ เช่น จุด C.M และจุด C.G ของภูเขา เป็นต้น

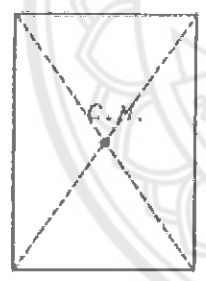
ในทางปฏิบัติสามารถหาจุด C.G ของแผ่นวัตถุรูปทรงใดๆ โดยนำแผ่นวัตถุผูกเข้ากับเชือกแล้วแขวนไว้ดังรูป (ก) เมื่อแผ่นวัตถุหยุดนิ่งจะได้แนวแรง T และ mg อยู่ในแนวเดียวกัน คือแนวเส้นประ A เมื่อเปลี่ยนจุดที่ผูกเชือกเป็นจุดอื่นๆ เช่น B และ C ดังรูป (ข) และ (ค) ลากเส้นตรงตามเส้นเชือกแต่ละครั้ง

พบว่าแนวเส้นเชือกมาตัดกันที่จุดหนึ่ง เนื่องจากแนวเส้นเชือกอยู่ในแนวเดียวกันกับแนวน้ำหนัก ดังนั้นจุดตัดของแนวเส้นเชือก คือจุดศูนย์รวมของน้ำหนักแผ่นวัตถุ เรียกจุดนี้ว่า จุดศูนย์กลางถ่วง (C.G)

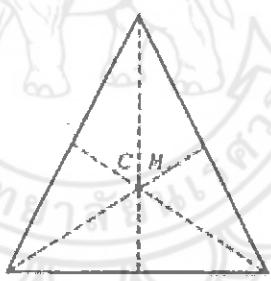


รูปที่ 2.14 แสดงการหาจุด CG โดยการแขวนบนเส้นเชือก [8]

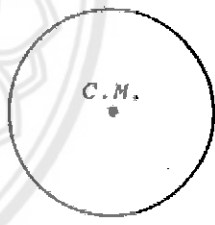
จุด C.M หรือจุด C.G ของวัตถุรูปทรงเรขาคณิตที่ควรรทราบ



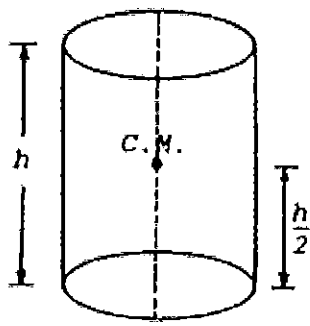
แผ่นวัตถุสี่เหลี่ยมผืนผ้า เส้นทแยงมุมตัดกัน



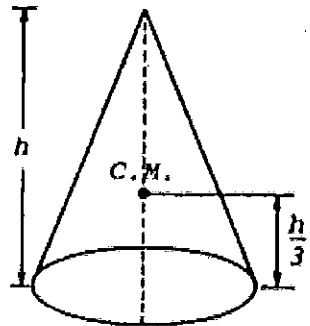
แผ่นวัตถุสามเหลี่ยม เส้นมัธยฐานตัดกัน



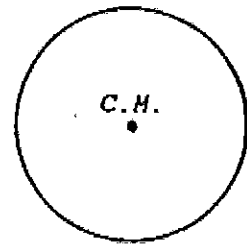
แผ่นวัตถุวงกลม จุดศูนย์กลาง



จุด C.M. ของวัตถุทรงกระบอก



จุด C.M. ของวัตถุรูปกรวย

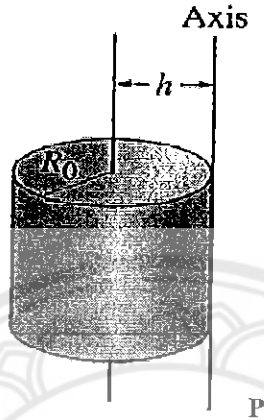


จุด C.M. ของวัตถุทรงกลม

รูปที่ 2.15 แสดงจุด CM หรือ CG ของวัตถุรูปทรงต่างๆ [8]

2.2.6 ทฤษฎีแกนขนาน

ในกรณีที่วัตถุหมุนรอบแกนที่ไม่ใช่แกนสมมาตร เราจะสามารถหาโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรอบแกนไม่สมมาตร โดยใช้ทฤษฎีแกนขนาน เป็นทฤษฎีที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ความเฉื่อย I_p ของวัตถุรอบแกนที่ผ่านจุด P กับ โมเมนต์ความเฉื่อย I_{cm} ของวัตถุรอบแกนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลและขนานกับแกนที่ผ่านจุด P ของวัตถุนั้น



รูปที่ 2.16 แกนหมุนใหม่กับจุดศูนย์กลางมวล [8]

ดังนั้น ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุที่มีจุดหมุนอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางมวลเป็นระยะ h จะมีค่าเท่ากับ ผลบวกของโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุที่หมุนผ่านจุดศูนย์กลางมวล

$$I_p = I_{cm} + Mh^2 \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

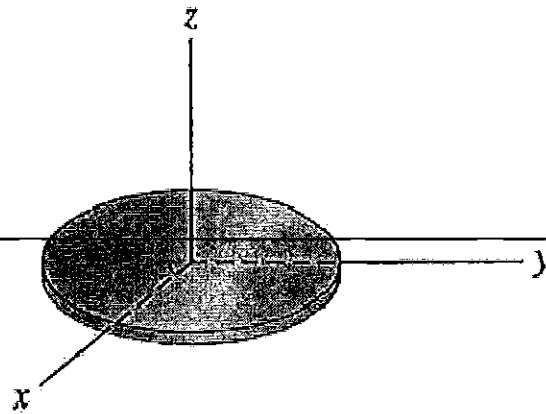
เมื่อ h คือ ระยะห่างระหว่างจุดหมุนใหม่กับจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุในแนวแกนหมุนนั้น

2.2.7 การหาโมเมนต์ความเฉื่อยโดยใช้ทฤษฎีแกนตั้งฉาก (Perpendicular – axis Theorems) [10]

ทฤษฎีแกนตั้งฉากสามารถใช้ได้เฉพาะวัตถุที่มีลักษณะรูปทรง 2 มิติ หรือรูปบนระนาบ (plane figures) เท่านั้น หรือเป็นวัตถุที่มีความหนาคงตัวและมีความหนาน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งไม่นำมาพิจารณาได้ ทฤษฎีนี้จะเป็นการรวมโมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุรูประนาบของแกน 2 แกนใด ๆ ที่ตั้งฉากกัน ในระนาบของวัตถุ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ โมเมนต์ความเฉื่อยที่ตั้งฉากที่อยู่บนจุดตัดของแกนทั้ง 2 ที่ตั้งฉากกันบนระนาบของวัตถุ จากรูปด้านล่าง วัตถุวางตัวอยู่ในระนาบ xy และหมุนรอบแกน z ดังนั้น จากทฤษฎีจะได้ว่า $I_z = I_x + I_y$ เมื่อ I_x, I_y และ I_z เป็น โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน x, y และ z ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.17

จากรูปที่ 2.17 จะได้ว่า $I_z = \frac{1}{2}Mr^2$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$I_x = I_y = \frac{1}{2}I_z = \frac{1}{4}Mr^2 \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

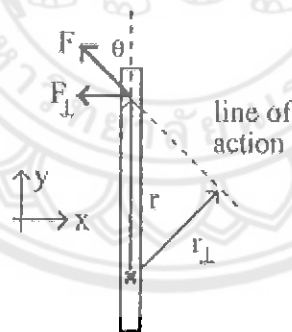


รูปที่ 2.17 แกนที่ตั้งฉากกันในระนาบของวัตถุ [7]

2.2.8 ทอร์ก

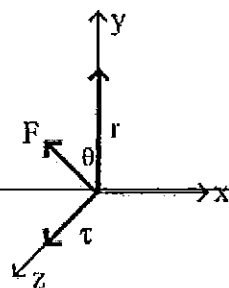
เมื่อวัตถุหมุน สามารถอธิบายได้ในเทอมของทอร์ก และพลังงานจลน์ในการหมุน ทอร์กในรูปของเวกเตอร์ขนาดของทอร์ก สามารถหาได้จากผลคูณของแรงที่ลากไปตั้งฉาก (F_{\perp}) กับแขนหมุน (r) หรือผลคูณของแขนหมุนที่ลากไปตั้งฉาก (r_{\perp}) กับแนวแรง (F) ดังรูปที่ 2.13 $\tau = F_{\perp}r = (F \sin \theta)r$ สมการที่ได้จะคล้ายกับผลคูณแบบครอส สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \dots\dots\dots (2.12)$$

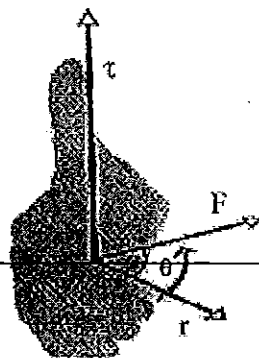


รูปที่ 2.18 ทอร์กในรูปของเวกเตอร์ [7]

รูปที่ 2.18 ทิศของทอร์กมีทิศพุ่งออกจากระนาบของหน้ากระดาษ (ตามแกน z) เนื่องจากทิศของทอร์กจะขึ้นอยู่กับระนาบที่วัตถุหมุน ในกรณีนี้เมื่อวัตถุหมุนในระนาบ xy ทอร์กเป็นเวกเตอร์และมีค่าคงที่จะมีทิศเพียงทิศเดียวเท่านั้นที่ตั้งฉากกับระนาบ xy นั่นคือแกน z แต่เนื่องจากทิศที่ตั้งฉากกับระนาบ xy มีสองทิศคือ +z กับ -z เพื่อให้เป็นไปในทางเดียวกันจึงมีการใช้กฎมือขวาในการกำหนดทิศทาง



รูปที่ 2.19 แรงในรูปเวกเตอร์ [7]



รูปที่ 2.20 กฎมือขวา [7]

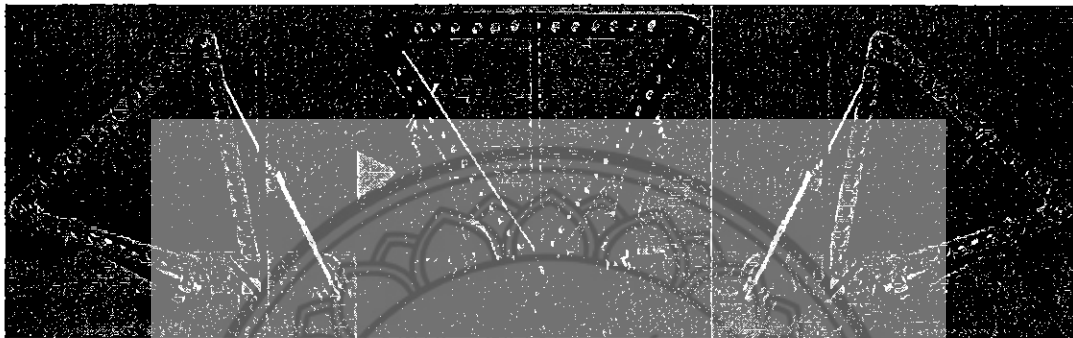
กฎมือขวา

- ให้นิ้วทั้งสี่ชี้ทิศทางของ r
- กำนิ้วทั้งสี่เข้าหาแรง F
- นิ้วหัวแม่มือจะแสดงทิศของทอร์ก τ



บทที่ 3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

จากการทดลองของกลุ่มโครงการ แบบจำลองนิวเมติกส์ ของระบบบังคับความเอียงของ
ห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อ แบบจำลองสามารถเอียงตัวได้ $\pm 45^\circ$ ดังรูปที่ 3.1 (a) และ (c)



(a)

(b)

(c)

รูปที่ 3.1 ลักษณะการเอียงตัวของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อ

การหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของกลุ่มโครงการแบบจำลองนิวเมติกส์ จะหาเฉพาะ
โครงสร้างสามเหลี่ยมเพียงชั้นเดียวชั้นส่วนอื่นไม่นำมาคิด ในการทดลองของกลุ่มโครงการ
แบบจำลองนิวเมติกส์ เมื่อโครงสร้างสามเหลี่ยมอยู่ในตำแหน่งขวาสุดดังรูปที่ 3.1 (c) ให้ความดัน
เข้าไปในกระบอกนิวเมติกส์ และทำการจับเวลาที่โครงสร้างสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ไปอยู่ตำแหน่งซ้าย
สุด ดังรูปที่ 3.1 (a) และนำค่าเวลามาคำนวณค่าความเร็วเชิงมุม ณ ตำแหน่งซ้ายสุดดังรูปที่ 3.1 (a)
และค่าความเร่งเชิงมุมที่ตำแหน่งกึ่งกลางดังรูปที่ 3.1 (b) ความดันที่ใช้คือ 225, 250 และ 275 Bar

เมื่อทราบข้อมูล และสิ่งที่ต้องควบคุมในการทดลองครบ ทำการเขียนแบบในโปรแกรม
เขียนแบบสามมิติโดยเขียนทีละชิ้นส่วน และนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นประกอบเข้ากัน นำไปจำลองการ
เคลื่อนที่ในโปรแกรม ADAMS®

การทดลอง แบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 คัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเฉพาะ โครงสร้างสามเหลี่ยม

คำนวณ และทำการทดลองเพื่อหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของ โครงสร้างสามเหลี่ยมจากแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ และใช้โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ กับ โปรแกรม ADAMS® หาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจากแบบจำลองที่สร้างขึ้น คำนวณค่าความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุมทางทฤษฎี โดยใช้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของ โครงสร้างสามเหลี่ยมเพียงชิ้นส่วนเดียวในการคำนวณ และในโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ กับ โปรแกรม ADAMS® ใส่คุณสมบัติวัสดุให้กับ โครงสร้างสามเหลี่ยมเพียงชิ้นส่วนเดียวเพื่อให้สอดคล้องกับการคำนวณของกลุ่มแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ได้จากการคำนวณ การทดลอง และหาจาก โปรแกรมนำมาเปรียบเทียบกับ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของกลุ่มแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ ผลการคำนวณค่าความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุม นำมาเปรียบเทียบกับผลจาก โปรแกรม ADAMS® ในรูปแบบของกราฟ

กรณีที่ 2 คัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทุกชิ้นส่วนของแบบจำลอง

ค่าความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุมทางทฤษฎี ใช้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของทุกชิ้นส่วนที่ได้จาก โปรแกรมเขียนแบบสามมิติในการคำนวณ (เพราะการหาโมเมนต์ความเฉื่อยของทุกชิ้นส่วนจากการคำนวณหาได้ลำบาก) ในโปรแกรม ADAMS® ใส่คุณสมบัติวัสดุให้กับชิ้นส่วนทุกชิ้นส่วน และเป็นชนิดเดียวกับ โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ เพื่อให้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของแบบจำลองสอดคล้องกับ โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ

ค่าความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุมที่ได้จากการทดลอง เปรียบเทียบกันในรูปแบบของกราฟ และเปรียบเทียบกับผลจากแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์

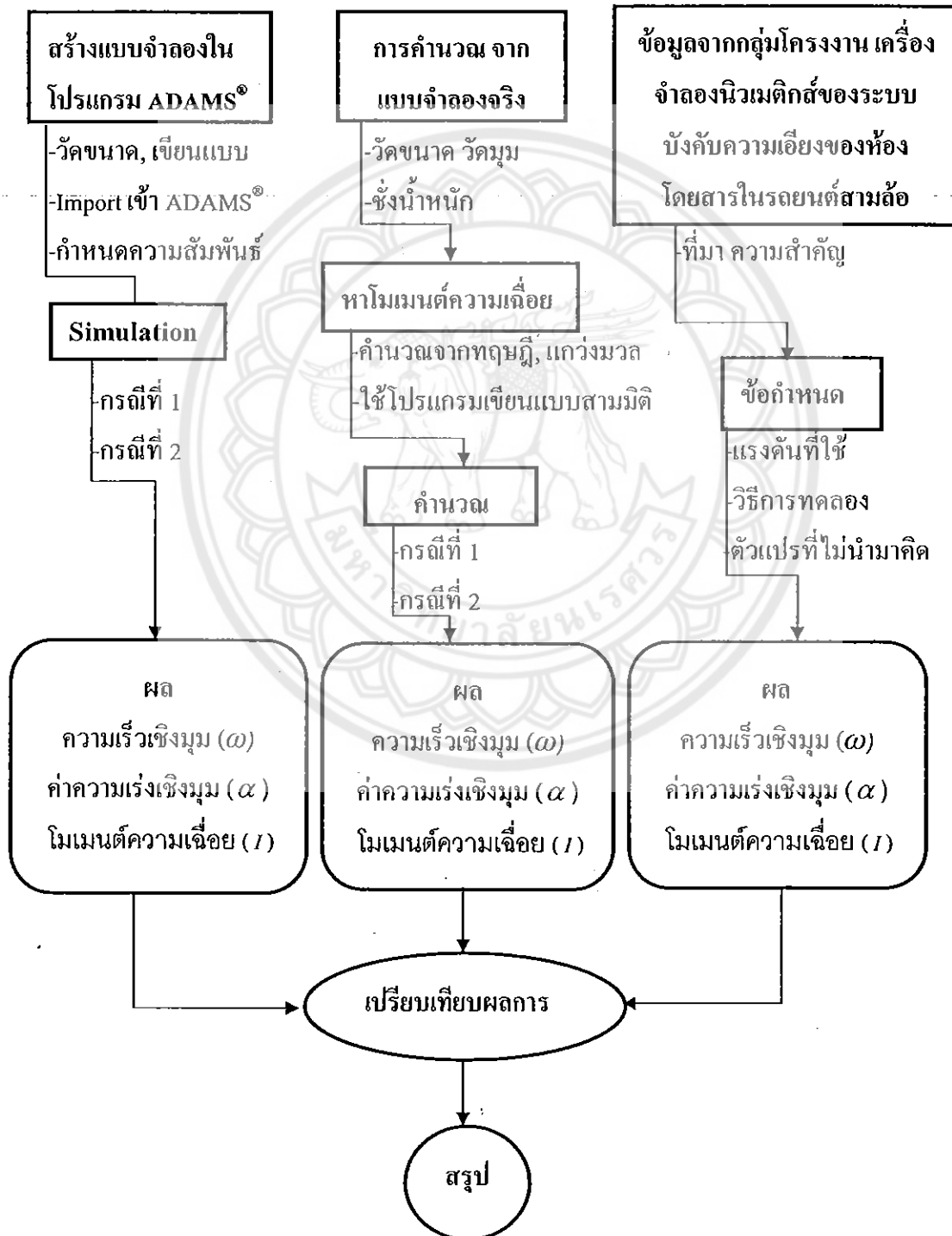
การทดลองแบ่งเป็น 2 กรณีเพราะ กลุ่มแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์คำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเฉพาะชิ้นส่วน โครงสร้างสามเหลี่ยม ส่วนผลการทดลองของกลุ่มแบบจำลองนิวเมติกส์เป็นผลมาจากโมเมนต์ความเฉื่อยของทุกชิ้นส่วนในแบบจำลอง กลุ่มโครงการนี้จึงแบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี โดยกรณีที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโครงสร้างสามเหลี่ยมจากการคำนวณ การทดลอง และการใช้โปรแกรมของโครงการนี้ กับการคำนวณของกลุ่มแบบจำลองนิวเมติกส์ และเปรียบเทียบค่าความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุม จากการคำนวณ และการใช้โปรแกรมของโครงการนี้ เพื่อทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่สร้างขึ้น ส่วนกรณีที่ 2 เพื่อให้สอดคล้องกับแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ ต้องใช้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของทุกชิ้นส่วนในการคำนวณ และการทดสอบด้วยโปรแกรม เพื่อหาค่าความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุมมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของกลุ่มแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ (ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ใช้ในการคำนวณเป็น โมเมนต์ความเฉื่อยเฉลี่ยที่หาใน โปรแกรม เขียนแบบสามมิติ)

แรงที่ใช้ในการทดลองทั้ง กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 มาจาก ความดันที่กลุ่มแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ ใช้ในการทดลอง คูณกับพื้นที่หน้าตัดของแกนกระบอกนิวเมติกส์ ค่าความดันที่ใช้ทดลองมี 3 ค่าคือ

$$225, 250 \text{ และ } 275 \text{ Bar โดยพื้นที่หน้าตัดของแกน } A = \frac{\pi}{4}d^2 = \frac{\pi}{4}(0.01)^2 = 7.85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

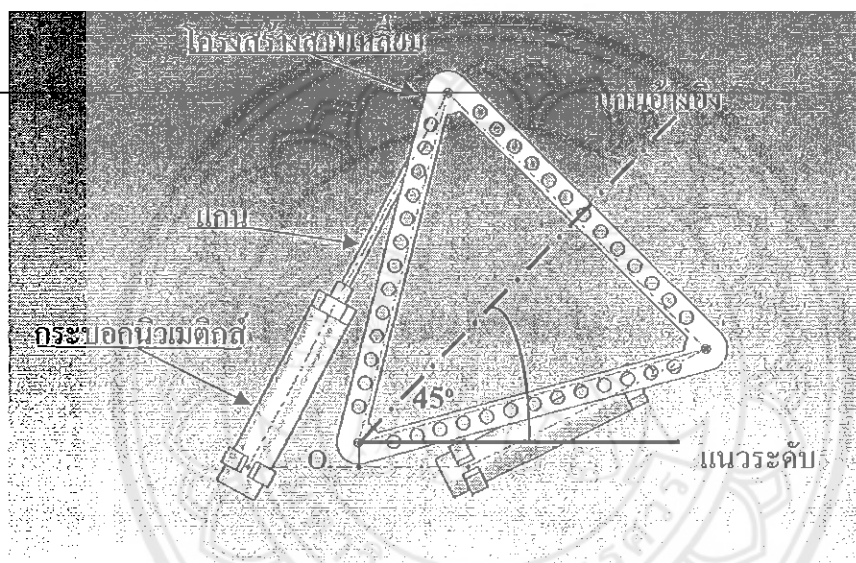
ดังนั้นแรงที่ใช้ในการทดลองคือ 17.6625, 19.625 และ 21.5875 N.

แผนภาพสรุปขั้นตอนการดำเนินงาน



3.1 การสร้างแบบจำลองห้องโดยสารรถยนต์สามล้อในโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ

วัดขนาดชิ้นส่วนต่างๆของแบบจำลองนิวมेटิกส์ และเขียนแบบในโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ แบบจำลองประกอบด้วยชิ้นส่วนของ โครงสร้างสามเหลี่ยม, แกนกระบอกนิวมेटิกส์ และกระบอกนิวมेटิกส์ เมื่อเขียนแบบชิ้นส่วนครบ นำชิ้นส่วนมาประกอบกัน โดยให้แกนที่ผ่านจุดศูนย์กลางมวลของ โครงสร้างสามเหลี่ยมเป็นแกนอ้างอิง และทำมุมกับแนวระดับ 45° เพื่อให้สอดคล้องกับการทดลองของกลุ่มแบบจำลองนิวมेटิกส์ ดังรูปที่ 3.2 (ขั้นตอนการเขียนแบบอยู่ในภาคผนวก ก)

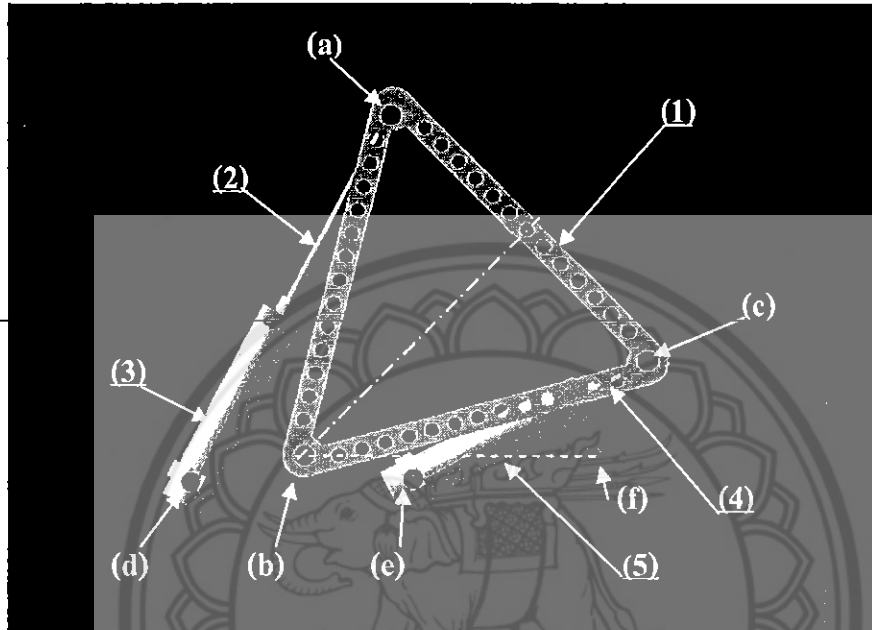


รูปที่ 3.2 แบบจำลองห้องโดยสารรถยนต์สามล้อในโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ

เมื่อสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เสร็จ หาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของ โครงสร้างสามเหลี่ยม และหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของทุกชิ้นส่วน โดยหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่มุมอ้างอิง 45° , 65° และ 90° และนำมาหาค่าเฉลี่ย บันทึกไฟล์เป็นไฟล์ Parasolid Binary (*.x_b) (เพราะโปรแกรม ADAMS® สามารถ Import ไฟล์ชนิดนี้ได้)

3.2 การทดลองในโปรแกรม ADAMS®

Import file จากโปรแกรมเขียนแบบสามมิติเข้าสู่โปรแกรม ADAMS® ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แบบจำลองห้องโดยสารรถยนต์สามล้อ ในโปรแกรม ADAMS®

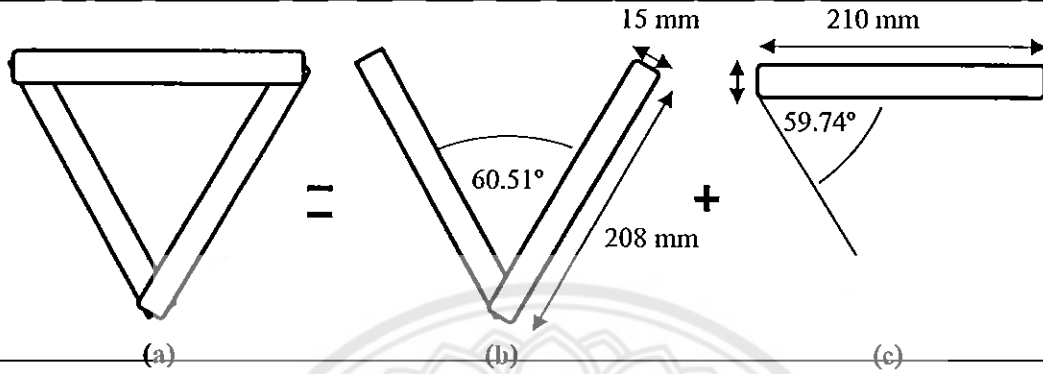
กำหนดความสัมพันธ์ให้แต่ละจุดของแบบจำลอง

กำหนดจุด (a), (b), (c), (d) และ (e) เป็นจุดหมุน และกำหนดความสัมพันธ์จุดเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วนที่ (2) กับ (3) และ (4) กับ (5) ให้เคลื่อนที่แบบ Translation และใส่แรงที่ชิ้นส่วนหมายเลข (4) กำหนดเส้นตรง (bf) เพื่อใช้อ้างอิงในการวัดมุมที่โครงสร้างสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ กำหนดการลักษณะการสัมผัสกันของชิ้นส่วนหมายเลข (2) และ (3)

ทำการ Simulation เพื่อเช็คจุดศูนย์กลางมวลของ โครงสร้างสามเหลี่ยมเคลื่อนที่จากมุม 45° ไปเป็นมุม 135° กับแนวระดับ เพื่อให้สอดคล้องกับการทดลองของกลุ่มโครงงานแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ ดังรูปที่ 3.4

3.3 การคำนวณค่าทางทฤษฎีจากแบบจำลองนิวมติกส์

- หาจุด CG จากรูปที่ 2.10 และคำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อย คัด โครงสร้างสามเหลี่ยมเป็นชิ้นส่วนแยกที่ละชิ้น โดยแยกเอาชิ้นส่วนที่เป็นรูปตัววี มาคิดเพราะความยาวของชิ้นส่วนรูปตัววีแต่ละข้างยาวเท่ากันดังรูปที่ 3.6 (b) (รูปที่เจาะไม่ได้นำมาคิด)



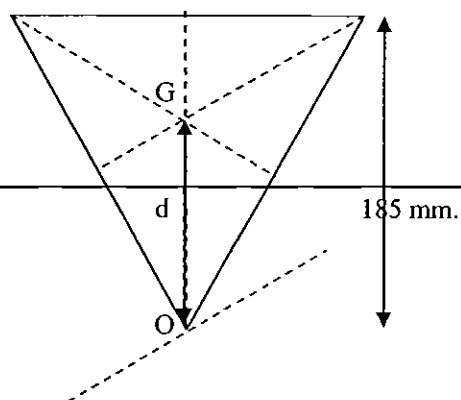
รูปที่ 3.6 การแยกชิ้นส่วน โครงสร้างสามเหลี่ยม

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ } I &= \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) + md^2 \\
 &= 2 \left[\frac{1}{12} \times m(a^2 + b^2) + m \left(\frac{a \sin \theta}{3} \right)^2 \right] \\
 &= 2 \left[\frac{1}{12} \times \frac{0.339}{3} (0.208^2 + 0.015^2) + \frac{0.339}{3} \left(\frac{0.208 \sin 60.51}{3} \right)^2 \right] = 1.642 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2
 \end{aligned}$$

ชิ้นส่วนด้านบนที่แยกออกมาคำนวณโมเมนต์ความเฉื่อย เพราะยาวไม่เท่ากับชิ้นส่วนรูปตัววี จึงแยกออกมาคิดคนละส่วน

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ } I &= \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) + md^2 \\
 &= \left[\frac{1}{12} \times m(a^2 + b^2) + m \left(\frac{a \sin \theta}{3} \right)^2 \right] \\
 &= \left[\frac{1}{12} \times \frac{0.339}{3} (0.210^2 + 0.015^2) + \frac{0.339}{3} \left(\frac{0.210 \sin 59.74}{3} \right)^2 \right] \\
 &= 8.305 \times 10^{-4} \text{ kg.m}^2
 \end{aligned}$$

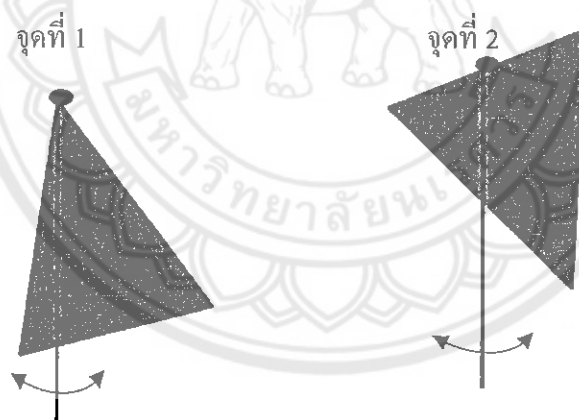
$$\therefore \bar{I}_G = 1.642 \times 10^{-3} + 8.305 \times 10^{-4} = 2.472 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$



รูปที่ 3.7 การหาระยะห่างระหว่างจุด CG กับจุดหมุน O

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } \bar{I}_O &= \bar{I}_G + md^2 ; d = 2\frac{h}{3}; d = 2\left(\frac{0.185}{3}\right) \therefore d = 0.12\text{m} \\ &= 2.472 \times 10^{-3} + 0.339(0.12)^2 \\ \bar{I}_O &= 7.35 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

3.4 การหาโมเมนต์ความเฉื่อยของโครงสร้างสามเหลี่ยมโดยการแกว่งมวล



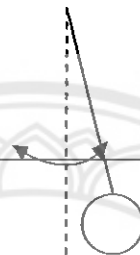
รูปที่ 3.8 การแกว่งมวลเพื่อหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย

ในการทดลองหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยทำได้โดยการแกว่งมวลโดยใช้จุดหมุน 2 จุดโดยจับเวลาในการแกว่ง 10 รอบ 3 ครั้งและนำค่าคาบเวลาที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย และค่า g ที่ใช้ในการคำนวณหาจากการแกว่งลูกตุ้มเหล็ก

ครั้งที่ จุดที่	1	2	3	T
1	8.59	8.52	8.64	0.858333
2	8.76	8.85	8.69	0.876667

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการทดลองแกว่งมวล

ค่า g ที่ใช้ในการคำนวณหาได้จากการแกว่งลูกตุ้มเหล็ก



รูปที่ 3.9 การแกว่งลูกตุ้มเหล็กเพื่อหาค่า แรงโน้มถ่วง

ครั้งที่ ระยะ L(m)	1	2	3	T
0.3	10.75	10.85	10.78	1.079333
0.4	12.31	12.53	12.59	1.247667

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดลองการแกว่งลูกตุ้มเหล็ก

$$\text{จาก } \omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \text{ จะได้ } \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{L}} \text{ ดังนั้น } L = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

ค่า g เฉลี่ยจากการทดลองคือ 10.15539

$$\text{จาก } \omega = \sqrt{\frac{g}{L_{eq}}}$$

$$\text{จะได้ } \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{L_{eq}}} \text{ , } T = 2\pi \sqrt{\frac{L_{eq}}{g}}$$

1555358

มร.

116757

2552

ดังนั้น
$$L_{eq1} = g \left(\frac{T_1}{2\pi} \right)^2 = 0.189517 \text{ m.}$$

$$L_{eq2} = g \left(\frac{T_2}{2\pi} \right)^2 = 0.1977 \text{ m.}$$

หาระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางมวลกับจุดที่ 1

$$D = \frac{x(L_{eq2} - x)}{L_{eq1} + L_{eq2} - 2x} = 0.117057 \text{ m.}$$

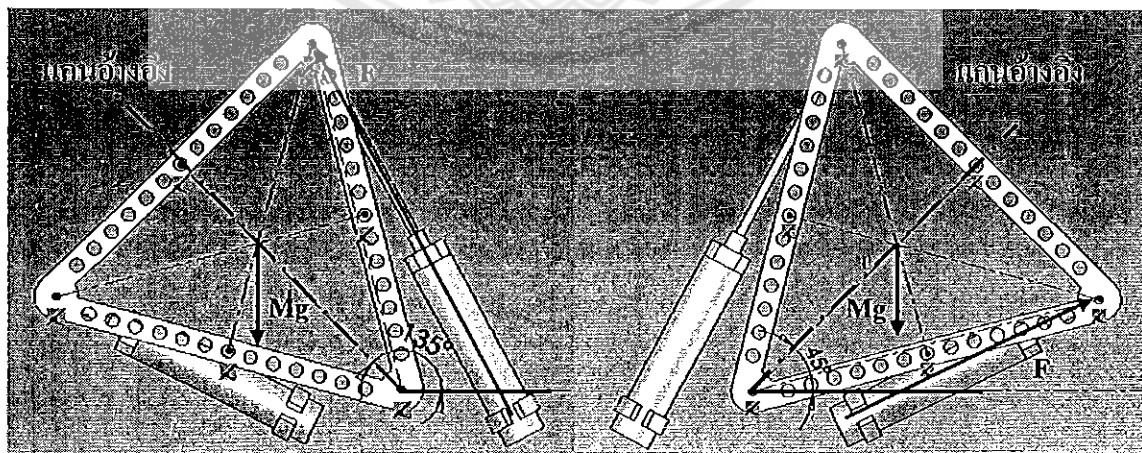
หาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดศูนย์กลางมวล

$$I_G = mD(L_{eq1} - D) = 0.002875 \text{ kg.m}^2$$

หาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุดหมุนที่ 1

$$I_O = I_G + mD^2 = 0.00752 \text{ kg.m}^2$$

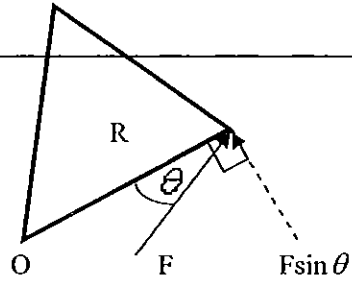
ในการหาโมเมนต์, ความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุม ใช้มุมอ้างอิงเริ่มจาก 45° ไปจนถึงมุม 135° โดยคำนวณจากมุมที่เปลี่ยนไปทุกๆ 1° จนชิ้นส่วนโครงสร้างเคลื่อนที่ได้มุม 90° พอดี (แกนอ้างอิงก็จะอยู่ที่ 135°)



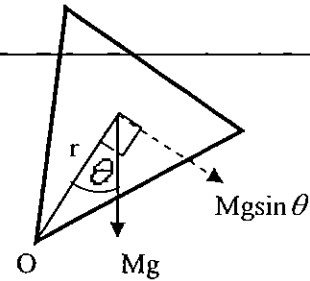
รูปที่ 3.10 มุมอ้างอิงของแบบจำลอง

- การหาค่าโมเมนต์ หาได้จากสมการ $\Sigma M = (F \times R) - (Mg \times r)$

แรง F ที่ใช้ต้องเอาค่าความดัน P คูณกับพื้นที่หน้าตัดของแกน ($A = 7.85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$)



รูปที่ 3.11 การแตกแรง F เพื่อหาโมเมนต์



รูปที่ 3.12 การแตกแรง Mg เพื่อหาโมเมนต์

- แรง F ที่ใช้คำนวณจะต้องตั้งฉากกับรัศมี r

$$\text{ดังนั้น } F = F \sin \theta = P A \sin \theta$$

- Mg ที่ใช้คำนวณจะต้องตั้งฉากกับรัศมี r

$$\text{ดังนั้น } Mg = Mg \sin \theta$$

- ความเร็วเชิงมุมหาได้จากสมการ $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha_c(\theta - \theta_0)$

- ความเร่งเชิงมุมหาได้จากสมการ $\alpha = \frac{\Sigma M}{I_o}$

(โดยกำหนดให้ความเร่งในแต่ละจุดเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพื่อคำนวณความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุมในแต่ละจุดที่โครงสร้างสามเหลี่ยมเคลื่อนที่ไป)

ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ช่วยในการคำนวณ และนำค่าความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุม มาเขียนกราฟเทียบกับมุม (ตารางค่าทางทฤษฎีแนบมาในแผ่น CD)

การคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของกลุ่มโครงการ เครื่องจำลองนิวเมติกส์ของระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อ ใช้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจากโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ เพราะการหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของทุกชิ้นส่วนทำได้ยาก

บทที่ 4

ผลการทดลอง

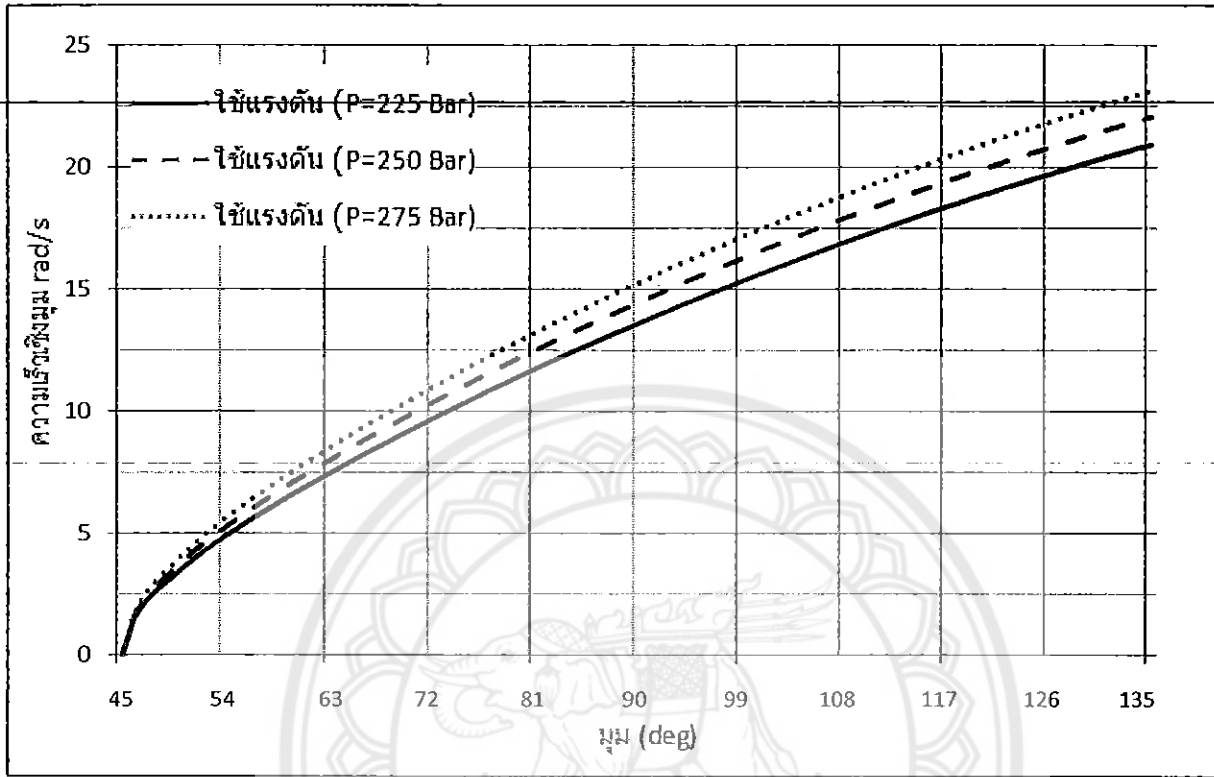
4.1 กรณีที่ 1 ผลการหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจากการคำนวณทางทฤษฎี การแกว่งมวล การใช้โปรแกรม ADAMS® การใช้โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ และการคำนวณของกลุ่ม แบบจำลองนิวเมติกส์ ได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับ $7.35 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$, $7.52 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$, $7.8095 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$, $7.7628 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$ และ $3.24 \times 10^{-2} \text{ kg.m}^2$ ตามลำดับ

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ กับโปรแกรม ADAMS® ต่างกันเพียง 0.0000467 kg.m^2

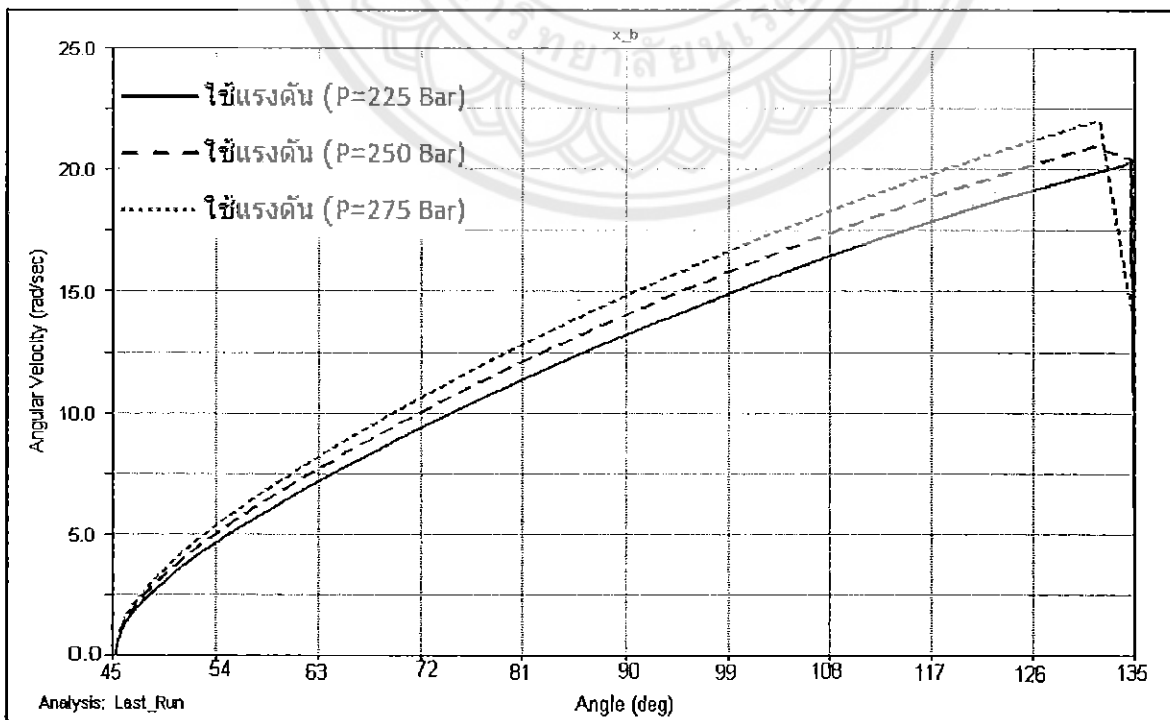
การทดลอง	ค่าความคลาดเคลื่อนของโมเมนต์ความเฉื่อยเมื่อเทียบกับการทดลองโดยการแกว่งมวล
การคำนวณทางทฤษฎี	2.26 %
โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ	3.23 %
โปรแกรม ADAMS®	3.85 %
แบบจำลองค้ำนิวเมติกส์	330.85 %

ตารางที่ 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของ โมเมนต์ความเฉื่อย

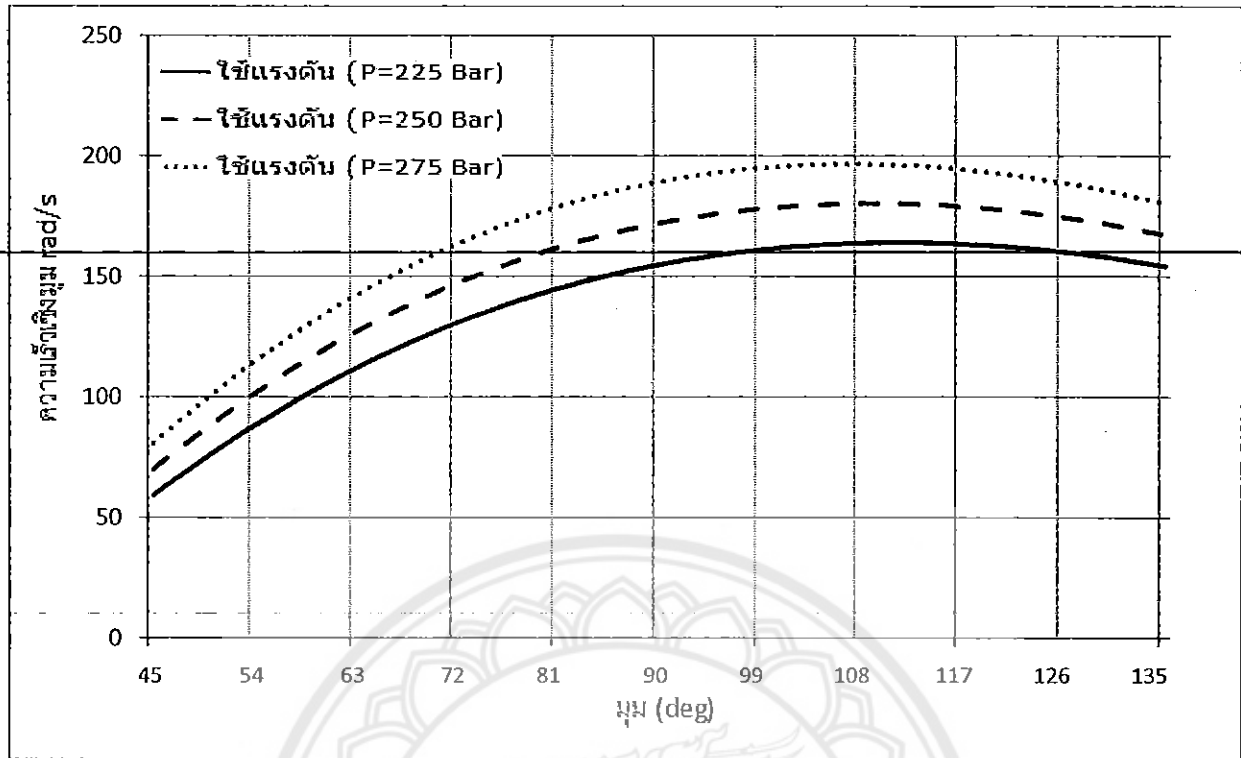
ค่าความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุมที่ได้จากการคำนวณ และการใช้โปรแกรม ADAMS® สามารถเขียนกราฟเทียบกับมุม ในแต่ละค่าความดันดังตารางที่ 4.1 - 4.4



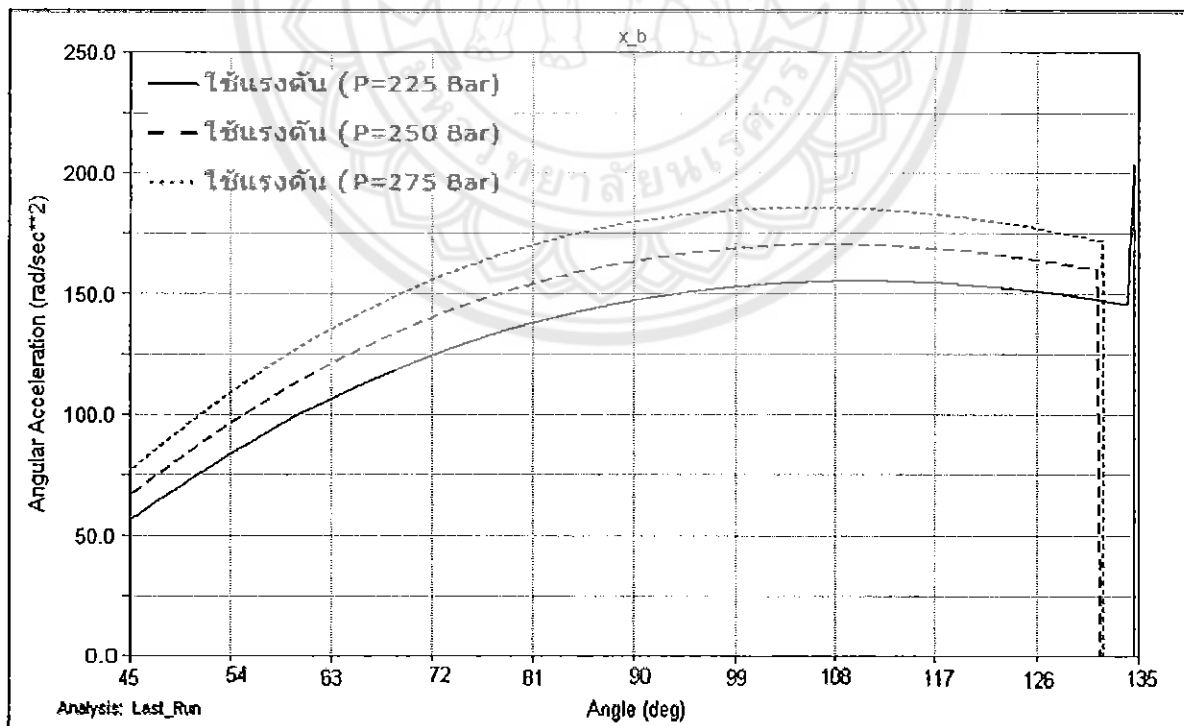
ที่ 4.1 แสดงความเร็วเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากการคำนวณ)



กราฟที่ 4.2 แสดงความเร็วเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากโปรแกรม ADAMS®)



กราฟที่ 4.3 แสดงความเร่งเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากการคำนวณ)



กราฟที่ 4.4 แสดงความเร่งเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากโปรแกรม ADAMS®)

จากกราฟความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุมที่ได้จากโปรแกรม ADAMS® เมื่อนำมาหาค่าความคลาดเคลื่อน เทียบกับการคำนวณทางทฤษฎีในแต่ละจุดของกราฟ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ดังตารางที่ 4.2

ความดัน (Bar)	ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย จากโปรแกรม ADAMS® เทียบกับ การคำนวณทางทฤษฎี	
	ความเร็วเชิงมุม	ความเร่งเชิงมุม
225	3.64 %	5.10 %
250	3.73 %	5.19 %
275	3.66 %	5.32 %

ตารางที่ 4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุม จากโปรแกรม ADAMS®

4.2 กรณีที่ 2 การคำนวณค่าความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุม ใช้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ได้จากโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ (ใช้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเท่ากับ 0.013195 kg.m^2) เพื่อให้สอดคล้องกับแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์

แรงดัน (Bar)	ความเร็วเชิงมุม (rad/s)			ความเร่งเชิงมุม (rad/s ²)		
	คำนวณ	ADAMS	แบบจำลอง นิวเมติกส์	คำนวณ	ADAMS	แบบจำลอง นิวเมติกส์
225	15.79573	16.1208	6.41	88.2337	96.3490	52.33
250	16.64767	16.4821	6.98	98.03745	106.7687	62.05
275	17.45809	16.9977	7.42	107.8412	117.2806	71.24

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการคำนวณทางทฤษฎีกับโปรแกรม และผลจากแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์

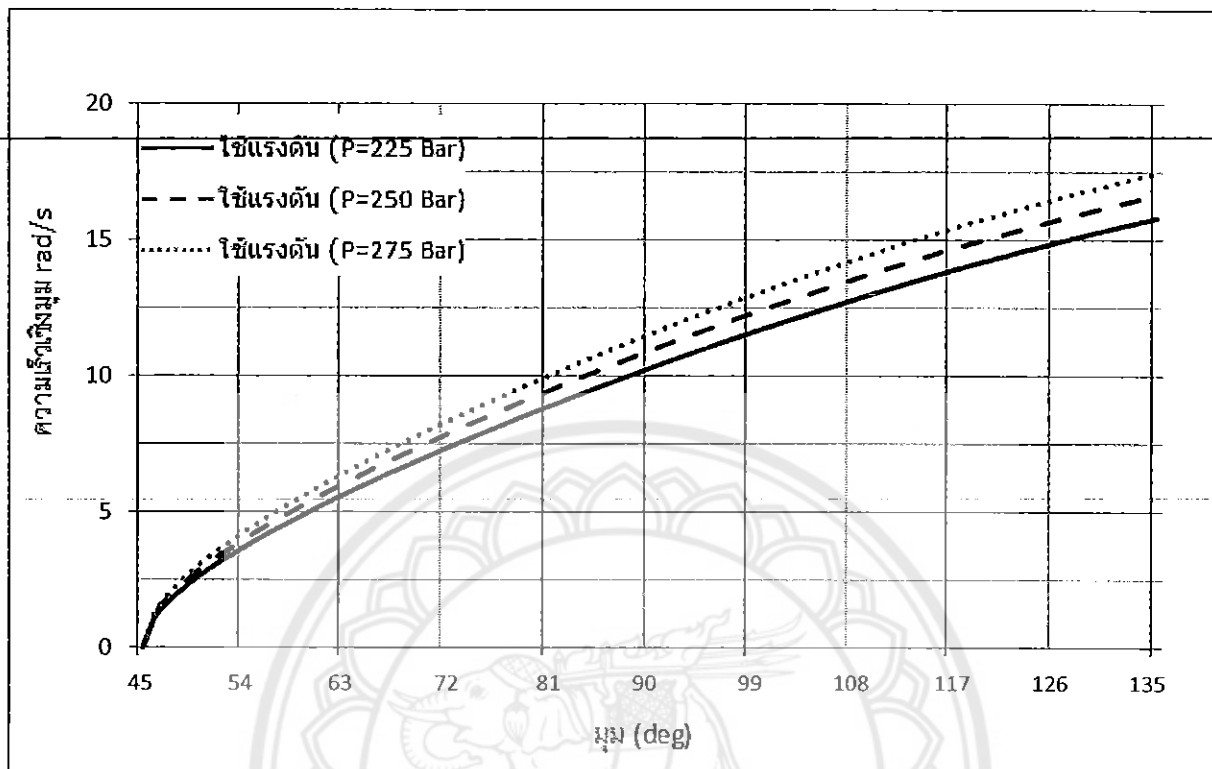
ความดัน (Bar)	ค่าความคลาดเคลื่อนของความเร็วเชิงมุม เทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี	
	โปรแกรม ADAMS®	แบบจำลองนิวมติกส์
225	2.06 %	59.42 %
250	0.99 %	58.07 %
275	2.64 %	57.50 %

ตารางที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนของค่าความเร็วเชิงมุมเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี ที่ความดันต่างๆ

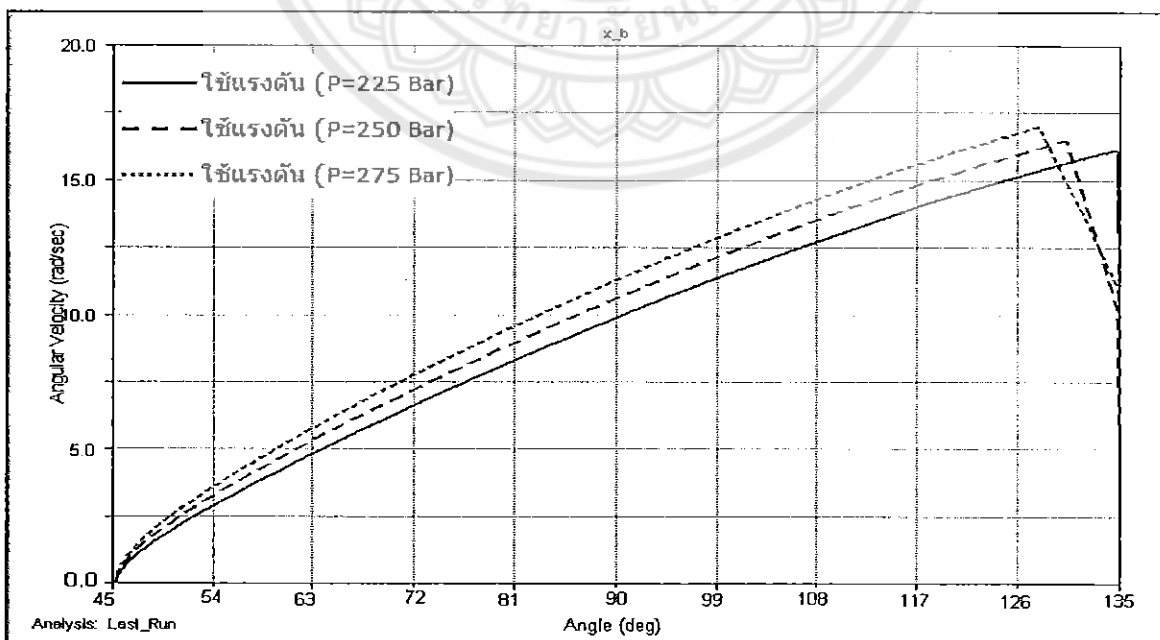
ความดัน (Bar)	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความเร่งเชิงมุม เทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี	
	โปรแกรม ADAMS®	แบบจำลองนิวมติกส์
225	9.20 %	40.69 %
250	8.91 %	36.71 %
275	8.75 %	33.94 %

ตารางที่ 4.5 ความคลาดเคลื่อนของค่าความเร่งเชิงมุมเทียบกับการคำนวณทางทฤษฎี ที่ความดันต่างๆ

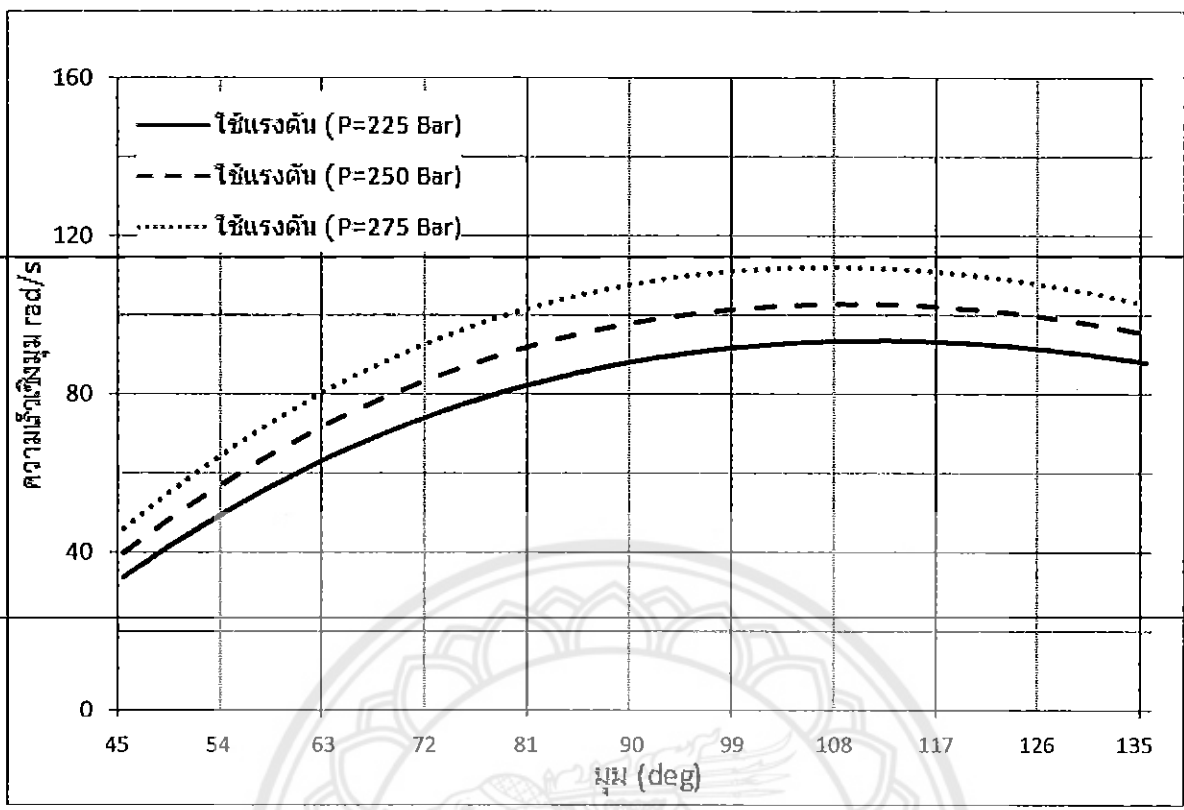
ผลการทดลองจากการคำนวณ และการใช้โปรแกรมADAMS[®] เมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟ



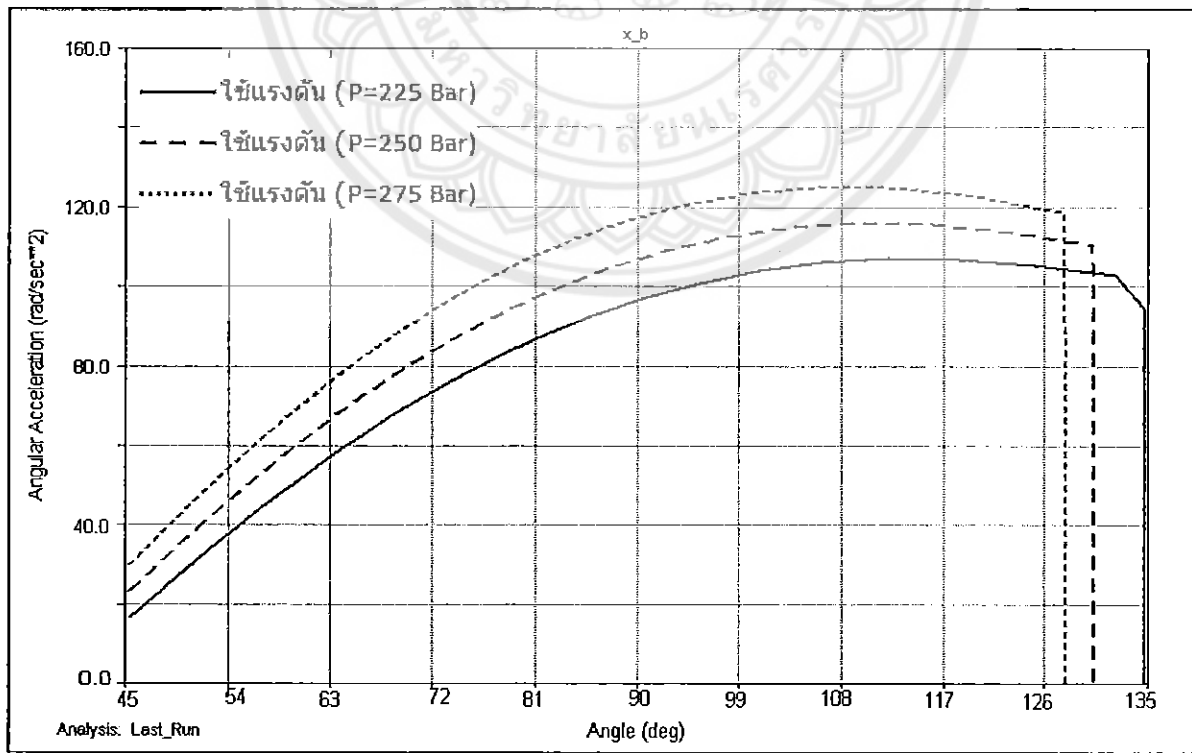
กราฟที่ 4.5 แสดงความเร็วเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากการคำนวณ)



กราฟที่ 4.6 แสดงความเร็วเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากโปรแกรม ADAMS[®])



กราฟที่ 4.7 แสดงความเร่งเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากการคำนวณ)



กราฟที่ 4.8 แสดงความเร่งเชิงมุมในแต่ละค่าแรงดันเทียบกับมุม (จากโปรแกรม ADAMS®)

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ความเฉื่อยระหว่างการคำนวณทางทฤษฎี โปรแกรมเขียนแบบตามมิติ โปรแกรม ADAMS® และแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ กับ การทดลอง โดยการแกว่งมวล มีความคลาดเคลื่อน เป็น 2.26 % , 3.23 % , 3.85 % และ 330.85 % ตามลำดับ

ค่าความเร็วเชิงมุม, ความเร่งเชิงมุม จากกราฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และค่าความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุม ที่ได้จากโปรแกรม ADAMS® เมื่อเทียบกับค่าทางทฤษฎี มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 3.68 % และ 5.20 % ตามลำดับ

ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยยึดเอาค่าจากการทดลองแกว่งมวล(เพราะเป็นค่าจากการทดลองจริง) และค่าแรงโน้มถ่วงของโลก(g)ที่ใช้ในการหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย ทดลองโดยแกว่งลูกตุ้มเหล็ก ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าโมเมนต์ความเฉื่อย เป็นผลจากการคำนวณทางทฤษฎี คำนวณโดยแยกชิ้นส่วนของโครงสร้าง เหลี่ยม ค่า g ที่ใช้เท่ากับ 9.81m/s^2 และรูที่เจาะไม่ได้นำมาคิด ส่วนค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของกลุ่มแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ มีความแตกต่างกันมากเนื่องจากน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณแตกต่างกันมาก (น้ำหนักที่โครงการนี้ซึงได้ 0.339 kg ส่วนน้ำหนักที่กลุ่มแบบจำลองนิวเมติกส์ใช้ในการคำนวณ คือ 1 kg) และ ความคลาดเคลื่อนของความเร็วเชิงมุม ความเร่งเชิงมุมเป็นผลจากการกำหนดความสัมพันธ์และคุณสมบัติต่างๆ ใน โปรแกรมซึ่งอาจไม่ตรงกับสมการที่ใช้คำนวณ

จากผลการทดลองกรณีที่ 2 เมื่อปรับค่าคุณสมบัติต่างๆ ให้ใกล้เคียงกับแบบจำลองนิวเมติกส์ ค่าความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุม ในแบบจำลองด้วยนิวเมติกส์ มีค่าน้อยกว่าในโปรแกรม ADAMS® มาก เพราะในโปรแกรม ADAMS® ไม่ได้กำหนดความฝืดของแต่ละจุดความสัมพันธ์ และแรงต้านที่มีในกระบอกนิวเมติกส์ แต่ในการทดลองของกลุ่มแบบจำลองนิวเมติกส์มีความฝืดเกี่ยวข้องด้วย และการจับเวลาในการทดลองจริงอาจมีข้อผิดพลาด เพราะเครื่องมือที่ใช้ในการจับเวลาไม่สามารถจับเวลาในการเคลื่อนที่ของโครงสร้างในช่วงเวลาสั้นๆ ได้อย่างแม่นยำ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองนี้กับค่าการคำนวณทางทฤษฎี ค่าความเร็วเชิงมุม และความเร่งเชิงมุม มีความคลาดเคลื่อน 1.90 % และ 8.95 % ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจาก ในการคำนวณ

ใช้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเฉลี่ย ของแบบจำลองจากโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ และการคำนวณไม่ได้คิดค่าโมเมนต์ของแกน และกระบอกนิวมติคส์ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน

จากผลการทดลอง ทำให้สรุปได้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นใน โปรแกรม ADAMS[®] มีความน่าเชื่อถือ การกำหนดค่าคุณสมบัติของแบบจำลองให้ใกล้เคียงกับแบบจำลองจริง ความคลาดเคลื่อนจะมีค่าน้อยมาก สามารถนำไปใช้ในการออกแบบแทนการสร้างแบบจำลองจริงที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุน กลุ่มโครงการนี้เห็นว่าโปรแกรม ADAMS[®] น่าจะเป็นประโยชน์ในงานที่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการสร้างแบบจำลองจริง

ข้อเสนอแนะ

การกำหนดความสัมพันธ์ให้กับจุดเชื่อมต่อต่างๆ ต้องให้อยู่ในระนาบเดียวกันถ้าต่างระนาบจะทำให้ไม่สามารถ Simulation ได้ ค่าผลการทดลองจะมีความถูกต้องมากขึ้นขึ้นอยู่กับ การกำหนดความสัมพันธ์ และ การกำหนดคุณสมบัติให้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้น ค่าแรงเสียดทานถ้าใส่เข้าไปในแบบจำลองได้ ค่าผลการทดลองก็จะมี ความถูกต้องมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] www.clever-project.net (ณ เดือน กรกฎาคม พ.ศ.2551)
- [2] ชีรพจน์ มียันต์ และ ธวัชชัย อุ่นลี เครื่องจำลองนิวเมติกส์ของระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อ (ปริญาานิพนธ์นี้อยู่ในขั้นตอนการทดลองและเก็บรวบรวมผลการทดลอง จะเสร็จประมาณ เดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2551)
- [3] *MSC. ADAMS Basic Full Simulation Package Training Guide*
- [4] www.mssoftware.com (ณ เดือน กันยายน พ.ศ.2551)
- [5] www.kmitl.ac.th (ณ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553)
- [6] www.rmutphysics.com (ณ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2553)
- [7] <http://e-learning.tu.ac.th> (ณ เดือน กรกฎาคม พ.ศ.2551)
- [8] <http://www.pkc.ac.th> (ณ เดือน กรกฎาคม พ.ศ.2551)
- [9] R.C. Hibbeler/รศ.อินทรชิต หอวิจิตร/จำลอง ถิมตระกูล.กลศาสตร์วิศวกรรม ภาคพลศาสตร์- (*Engineering Mechanics : Dynamics*).กรุงเทพฯ : เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อิน โด ไชน่า, 2548.
- [10] วุฒิชัย ฤทธิกาญจน์.กลไกและพลศาสตร์ของเครื่องจักรกล- (*Mechanisms and dynamic of machinery*) กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2533



ภาคผนวก ก

แบบจำลองสามมิติ และการใช้งานการจำลองการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม ADAMS®



1. คำสั่งที่เกี่ยวข้องในโปรแกรม ADAMS

โปรแกรม ADAMS มีฟังก์ชันและชุดคำสั่งต่างๆมากมายที่ผู้ใช้สามารถออกแบบการทดลองที่ต้องการได้ตามความเหมาะสมของงาน ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงชุดคำสั่งที่ใช้ในการทดลองนี้



Fitting a Model in the Window คือคำสั่งขยายชิ้นงานให้เต็มจอ



Defining a Zoom Area คือคำสั่งขยายชิ้นงาน ณ จุดใดจุดหนึ่ง



Dynamic Rotation XY คือคำสั่งหมุนชิ้นงานไปในทิศทางต่างๆรอบแกน XY



Dynamic Translate XY คือคำสั่งเลื่อนชิ้นงานไปตามแกน X



Zoom In/Out Tool คือคำสั่งขยายชิ้นงานให้ใหญ่ขึ้นหรือย่อให้เล็กลง



View คือคำสั่งมองภาพชิ้นงานจากด้านหน้าและทำให้ชิ้นงานกลับมาอยู่ในจุดเริ่มต้น



Right Side View คือคำสั่งมองภาพชิ้นงานจากด้านข้าง



Top View คือคำสั่งมองภาพชิ้นงานจากด้านบน



Isometric View คือคำสั่งมองภาพชิ้นงานเป็น 3 มิติ



Joint: Revolute คือการกำหนดความสัมพันธ์ให้กับจุดต่างๆของแบบจำลอง ให้เป็นจุดหมุน และทำการยึดชิ้นงานเข้าด้วยกัน ทำให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ได้เฉพาะรัศมีวงกลมที่กำหนด



Joint: Translational คือการกำหนดการเคลื่อนที่ในแนวทิศทางที่ต้องการศึกษา เพื่อให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการศึกษา



Contact คือคำสั่งการสร้างรูปแบบการสัมผัสกันของวัตถุสองชิ้น



Applied Force : Forces (Single-Component) คือคำสั่งใส่แรงที่กระทำให้กับชิ้นงาน



Simulation คือคำสั่งการจำลองการเคลื่อนที่

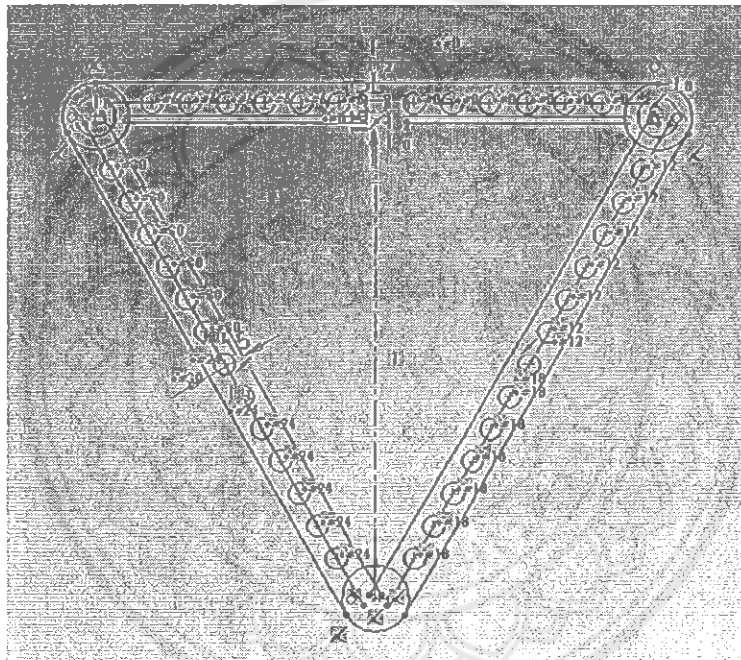
2. การสร้างแบบจำลองในโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ

2.1 วัดขนาดและเขียนแบบจำลองของห้องโดยสารรถยนต์สามล้อในโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ

2.1.1 วัดขนาดชิ้นส่วนต่างๆของแบบจำลองที่จะนำมาเขียนแบบใน โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักคือ โครงสร้างสามเหลี่ยม แกนกระบอกสูบ และกระบอกสูบ

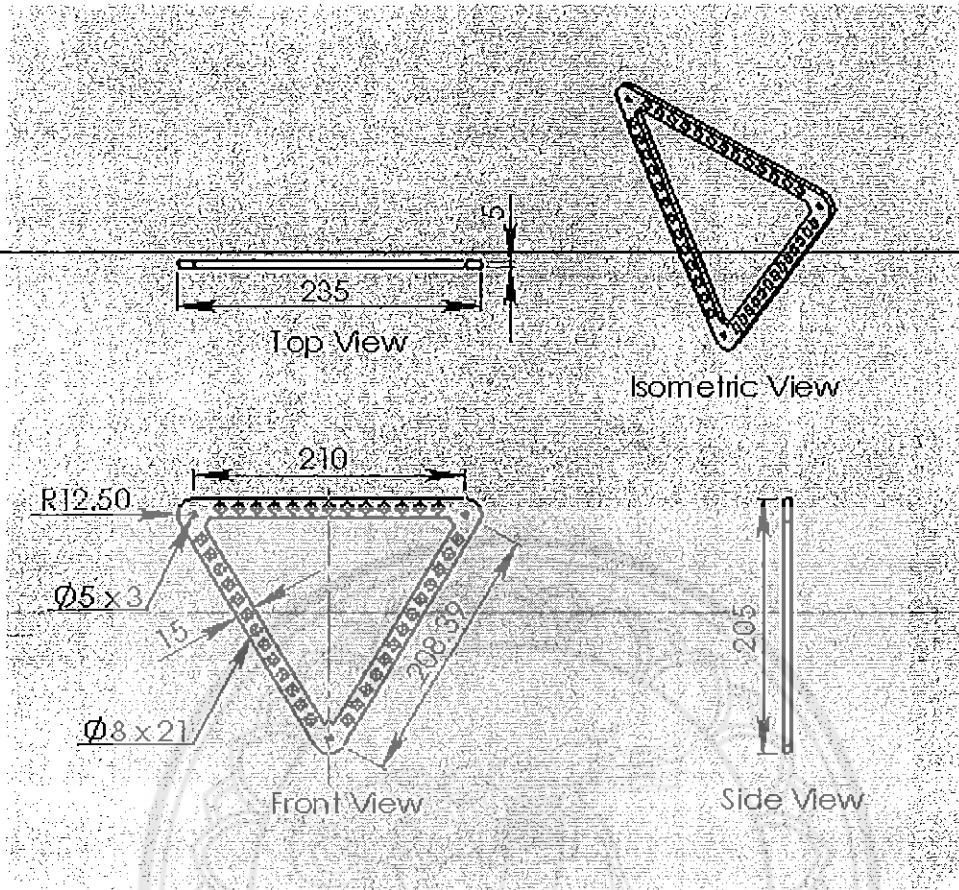
2.1.2 เขียนแบบชิ้นส่วนที่เป็น โครงสร้างสามเหลี่ยม

การเขียนแบบร่างสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมใช้คือการเขียนรูที่เจาะไปพร้อมกับ โครงสร้างสามเหลี่ยม ดังแสดงในรูปภาพ ก-1



รูปภาพ ก-1 แบบร่าง โครงสร้างสามเหลี่ยม

เมื่อเขียนเสร็จ ใช้คำสั่ง Features > Extruded Boss/Base ใต้ความหนาของชิ้นงาน ซึ่งแบบจำลอง โครงสร้างสามเหลี่ยมนี้มีความหนา 5 mm เลือกที่เครื่องหมายถูก ดังแสดงในรูปภาพ ก-2



รูปภาพ ก-2 โครงสร้างสามเหลี่ยม

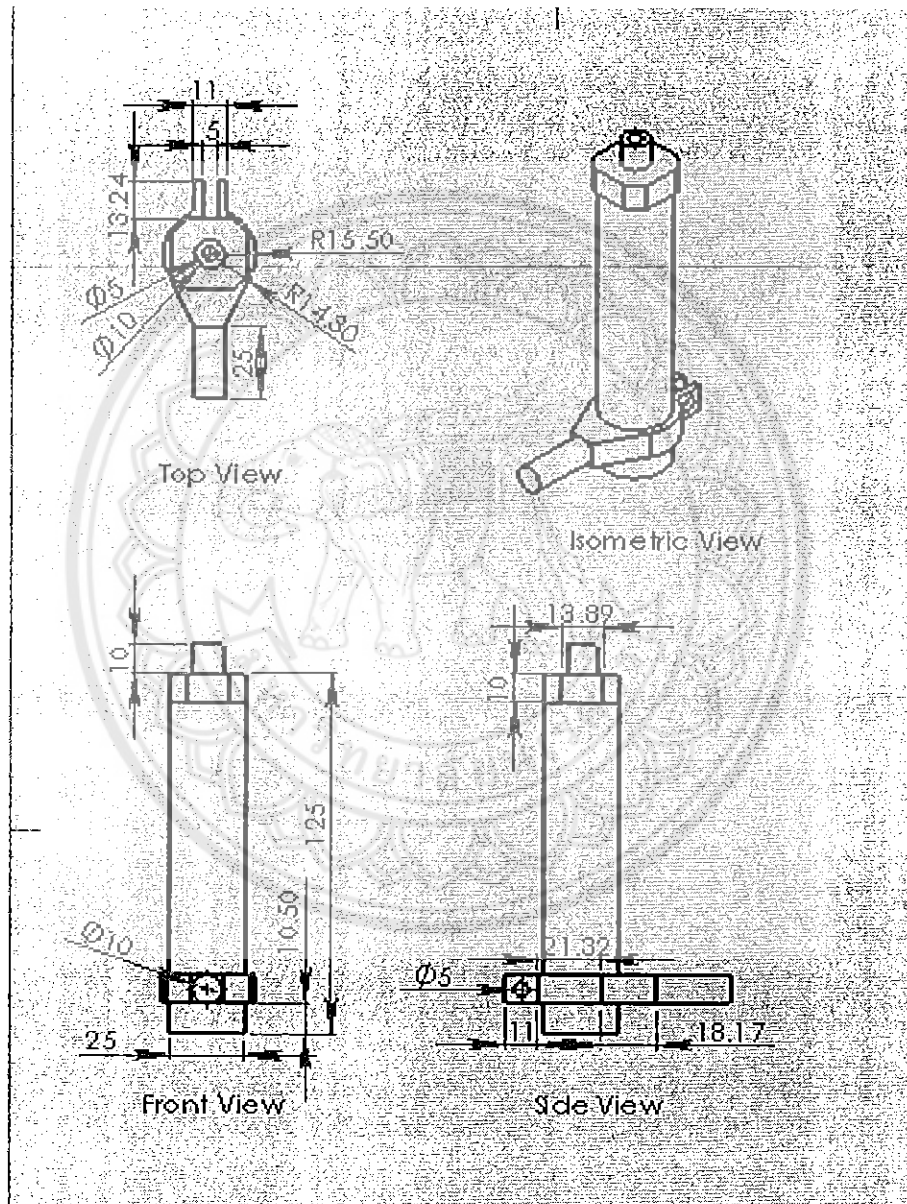
2.1.3 เขียนแบบชิ้นส่วนของแกน และกระบอกนิวมติคัส

การเขียนกระบอกนิวมติคัส

- เขียนแบบร่างเป็นวงกลม
- Extrude ให้มีความยาวขึ้นตามขนาดของแบบจำลอง
- เขียนแบบร่างในส่วนบนของกระบอกสูบเพื่อทำชิ้นส่วนด้านบนของกระบอกสูบ
- ใช้คำสั่ง Features > Extrude Boss/Base ใส่ความหนาให้มีความหนาตามแบบจำลอง
- เลือกเครื่องหมายถูก
- ทำการเจาะรูแกนของกระบอกนิวมติคัส โดยใช้คำสั่ง Features > Extrude Cut
- ใส่ความลึกของรูที่จะเจาะ

- เลือกเครื่องหมายถูก
- เขียนแบบตัวชี้คระบอกนิวมติก
- ใช้คำสั่ง Features > Extrude Boss/Base

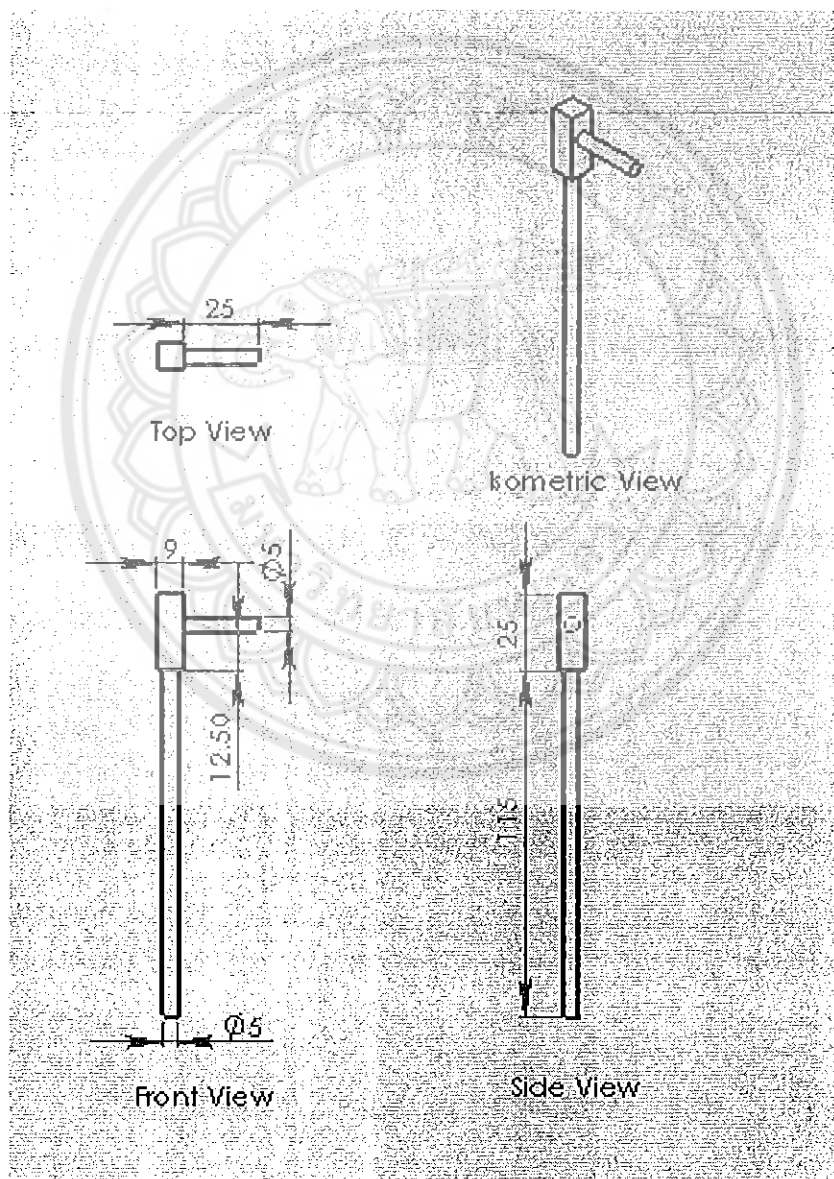
- ใส่ความหนาตามแบบ เลือกเครื่องหมายถูก



รูปภาพ ก-3 กระบอกนิวมติกส์

การเขียนแกนนิวมติกส์

- เขียนแบบร่างเป็นวงกลมตามขนาด
- ใช้คำสั่ง Features > Extrude Boss/Base
- ใส่ความยาวตามขนาดของแบบจำลอง
- ทำการเขียนแบบในส่วนของตัวชี้ค้ำนปลายของแกนนิวมติกส์
- เลือกเครื่องหมายถูก



รูปภาพ ก-4 แกนนินวมติกส์

2.1.4 การนำชิ้นส่วนมาประกอบกัน โดยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติในส่วนของ Assembly

- การเปิดโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ

- New > Assembly > Insert Component

- เลือกชิ้นส่วนที่เป็น โครงสร้างสามเหลี่ยม

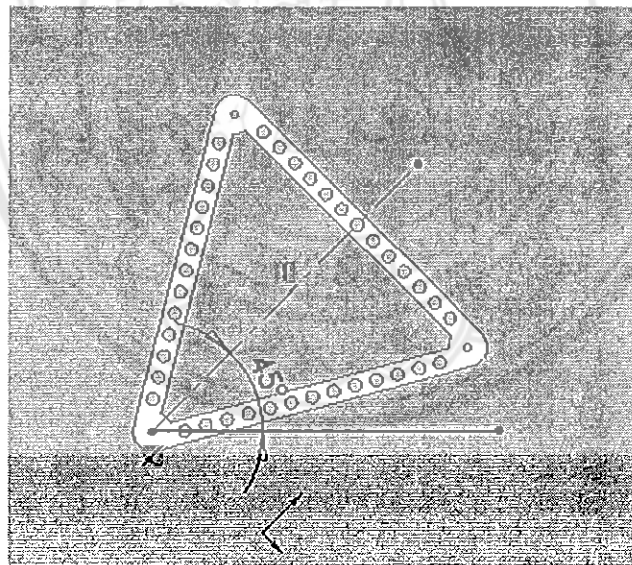
- เขียนเส้นร่างกับแนวระดับและเขียนเส้นทำมุมกับเส้นร่าง 45°

- ใช้คำสั่ง Mate > Coincident

- เลือกขอบของโครงสร้างสามเหลี่ยม กับ เส้นร่างที่ทำมุม 45°

- เลือกเครื่องหมายถูก

- Fix ชิ้นส่วนไม่ให้เคลื่อนที่



รูปภาพ ก-5 การกำหนดความสัมพันธ์ให้กับโครงสร้างสามเหลี่ยม

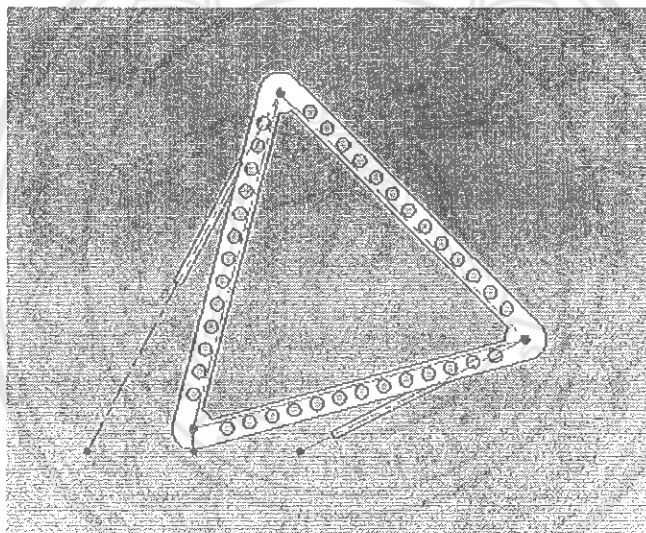
- ใช้คำสั่ง Insert Component นำแกนแต่ละข้างประกอบเข้ากับ โครงสร้างสามเหลี่ยม

- เลือกชิ้นส่วนของแกนกระบอกนิวเมติกส์

- สร้างเส้นอ้างอิงขึ้นมา โดยสร้างในระนาบที่ตัดเข้าไปอีกระนาบหนึ่งกับ โครงสร้างสามเหลี่ยม

- ใช้คำสั่ง Sketch > Plane (สามารถกำหนดได้ว่าต้องการให้ห่างจากระนาบเดิมเท่าไร)
- สร้างเส้นและจุดอ้างอิง
- ใช้คำสั่ง Mate > Concentric เลือกเส้นอ้างอิงกับแกนระบอกนิวเมติกส์

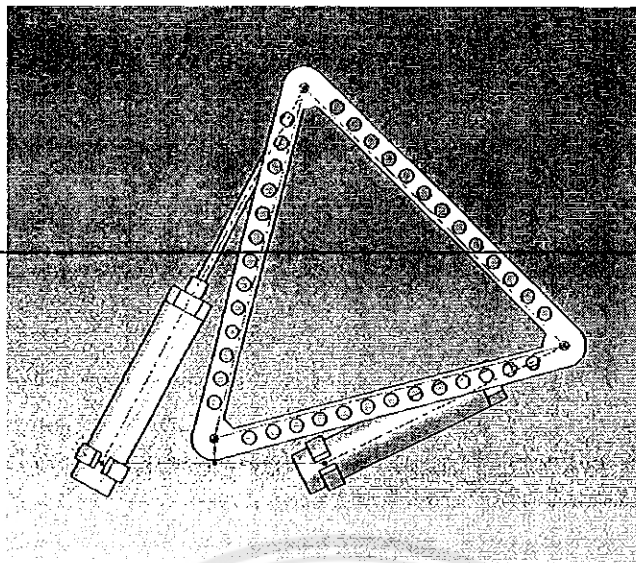
- เลือกเครื่องหมายถูก
- Mate > Concentric
- เลือกจุดที่ต้องการเชื่อมต่อด้านบนของ โครงสร้างสามเหลี่ยม กับ ปลายแกนที่เป็นส่วนที่จะเชื่อมต่อกับโครงสร้างสามเหลี่ยม



รูปภาพ ก-6 การประกอบชิ้นส่วนของแกนระบอกนิวเมติกส์

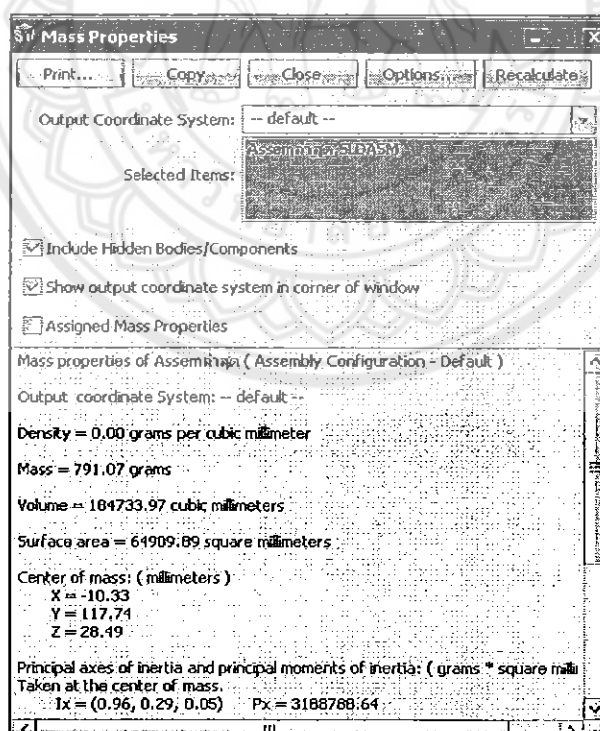
เมื่อประกอบส่วนของแกนเสร็จ

- ใช้คำสั่ง Insert Component นำระบอกนิวเมติกส์แต่ละข้างมาประกอบกันให้สมบูรณ์
- เลือกชิ้นส่วนของระบอกนิวเมติกส์
- ใช้คำสั่ง Mate > Concentric เลือกจุดเชื่อมต่อกับระบอกนิวเมติกส์กับแกน
- ใส่ระยะห่างให้กับขอบของระบอกกับขอบตัวยึดค้ำด้านบนของแกนเพื่อให้ระบอกนิวเมติกส์อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ อีกข้างหนึ่งให้ทำเหมือนกัน(ระยะห่างระหว่างขอบระบอกกับขอบตัวยึดแกนด้านบนจะไม่เท่ากันเพราะด้านหนึ่งยึดออกด้านหนึ่งหดเข้า)



รูปภาพ ก-7 แบบจำลองห้องโดยสารรถยนต์สามล้อที่ประกอบเสร็จแล้ว

การหาโมเมนต์ความเฉื่อย หาได้โดยเลือกคำสั่ง Tools > Mass Properties และเลือกชิ้นส่วนที่ต้องการทราบค่าดังรูปที่ ก – 8 (หาได้ทั้งแยกชิ้นส่วน และรวมทุกชิ้นส่วน)



รูปภาพ ก – 8 การหาโมเมนต์ความเฉื่อย

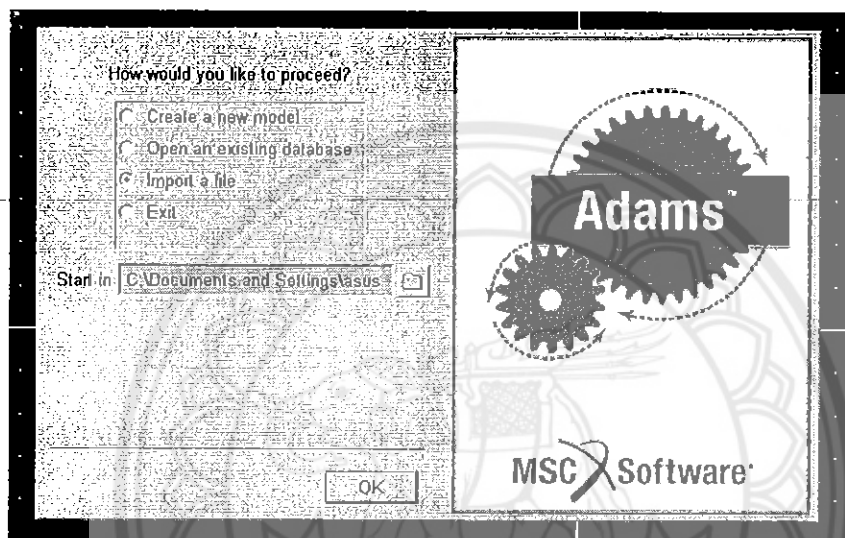
เมื่อประกอบแต่ละชิ้นส่วนเสร็จบันทึกไฟล์เป็นไฟล์ Parasolid Binary (*.x_b) เพื่อที่จะนำไปจำลองการเคลื่อนที่ในโปรแกรม ADAMS ต่อไป

3. การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม ADAMS

3.1 การ Import file ที่บันทึกไว้จากโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ

- run โปรแกรม ADAMS -View

- เลือกที่ Import a file > ok > ดังรูปภาพ ก-8

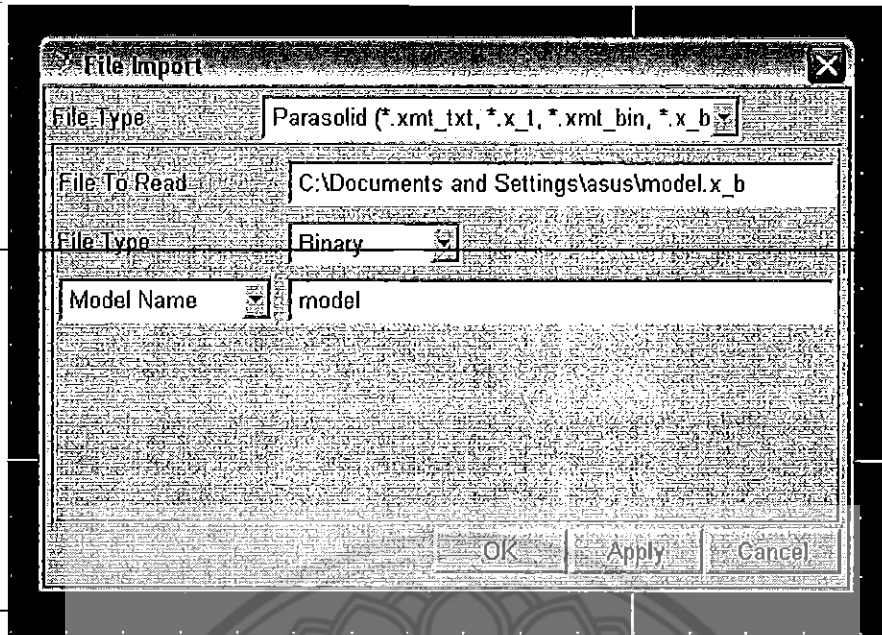


รูปภาพ ก-9 การ Import file

- file type เลือก Parasolid และ Binary

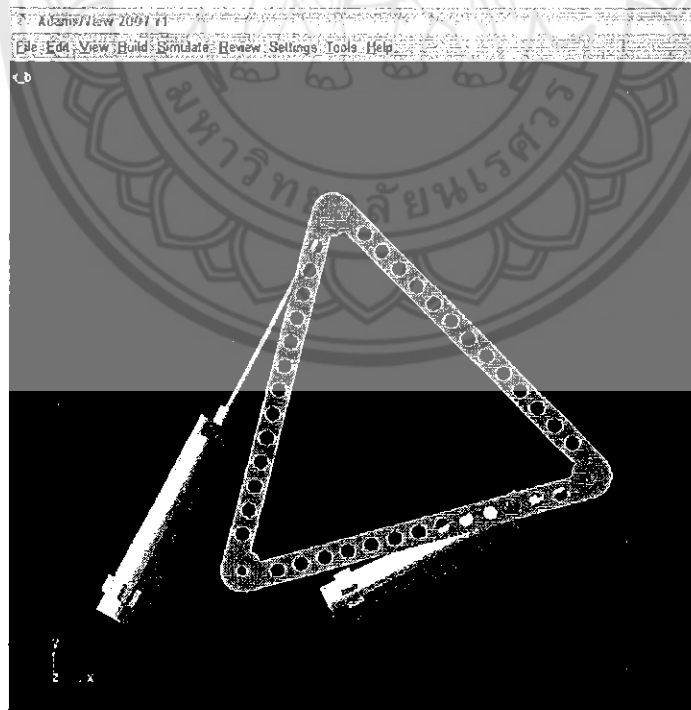
- file to read เลือกไฟล์ที่บันทึกไว้จาก โปรแกรมเขียนแบบสามมิติ

- Model Name ใส่ชื่อของไฟล์ที่เซฟไว้



รูปภาพ ก-10 การ Import File เข้าสู่โปรแกรม ADAMS

-ในตัวโปรแกรมเลือกที่ View > Model จะปรากฏ แบบจำลองขึ้นมาดังรูปภาพ ก-10



รูปภาพ ก-11 แบบจำลองที่ Import เข้ามาใน โปรแกรม ADAMS

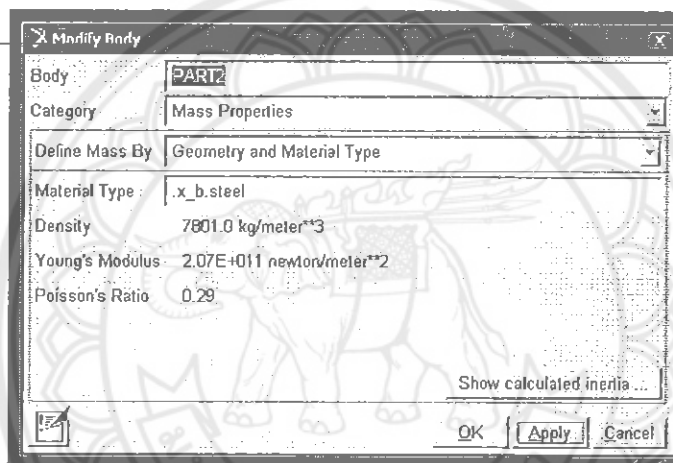
3.2 ขั้นตอนการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุและความสัมพันธ์ให้แก่จุด

3.2.1 การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุให้กับชิ้นส่วนต่างๆ

- คลิกขวาที่ชิ้นส่วน เลือก Modify

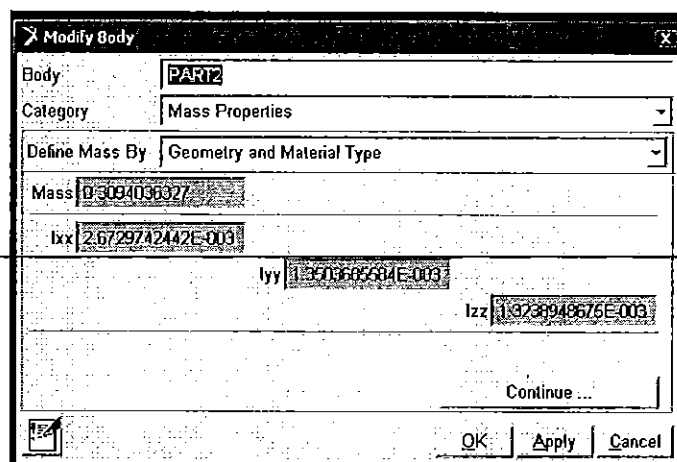
- เลือก Geometry and Material Type ในช่องของ Define Mass By เลือกวัสดุที่มีน้ำหนักใกล้เคียงกับแบบจำลองมากที่สุดจากนั้นก็เลือก Apply

- ค่าของคุณสมบัติต่างๆก็จะปรากฏขึ้นมาให้



รูปภาพ ก-12 การกำหนดคุณสมบัติให้กับชิ้นส่วนต่างๆ



เมื่อกำหนดคุณสมบัติให้กับชิ้นส่วน โครงสร้างสามเหลี่ยมแล้วก็สามารถดูค่า โมเมนต์ของความเฉื่อยในโปรแกรมนี้ได้โดย คลิกขวาที่ชิ้นส่วนที่ต้องการทราบค่า เลือก Modify ก็จะปรากฏ Modify Box ขึ้นมาดังรูปที่ ก - 12 ก็สามารถดูค่า โมเมนต์ความเฉื่อยในแกนที่ต้องการได้

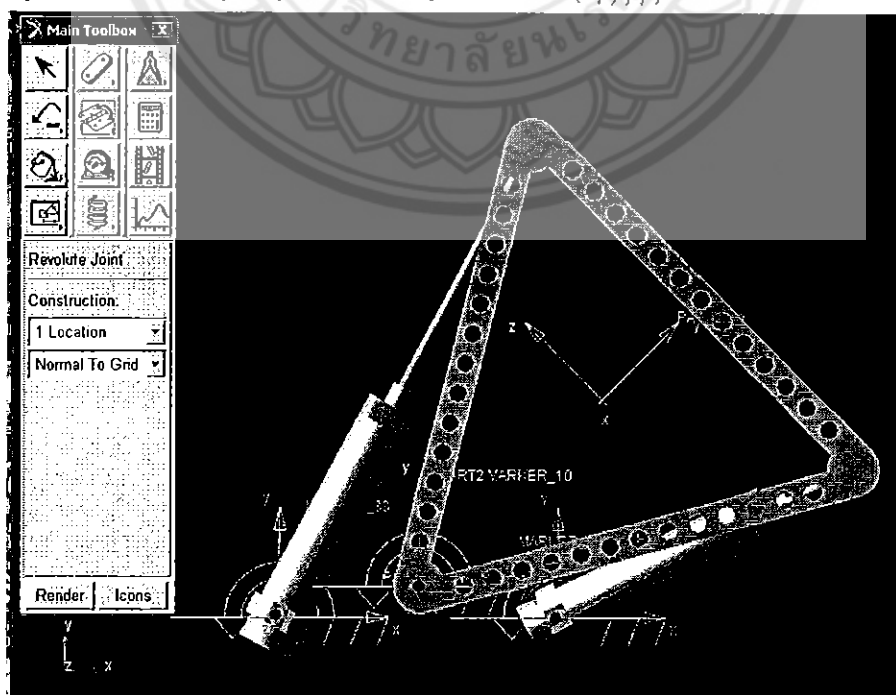


รูปภาพ ก-13 การหาค่าโมเมนต์ของความเฉื่อยในโปรแกรม ADAMS

3.2.2. การกำหนดความสัมพันธ์ที่เป็นจุดหมุน

การกำหนดความสัมพันธ์ด้านล่างของโครงสร้างสามเหลี่ยม

- Main Toolbox เลือก Joint: Revolute 
- Joint: Revolute เลือก 1 Location กับ Normal To Grid ในช่อง Construction
- จากนั้นเลือกจุด (a,b,c) ที่จะกำหนดความสัมพันธ์ให้เป็นจุดหมุน
- จุดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดหมุนจะแสดงสัญลักษณ์ 



รูปภาพ ก-14 การกำหนดจุดหมุนที่เป็นแบบ 1 Body - 1 Location

การกำหนดความสัมพันธ์ด้านบนของ โครงสร้างสามเหลี่ยม

- Joint: Revolute และเลือก 2 Bod-1 Loc กับ Normal To Grid ในช่อง Construction

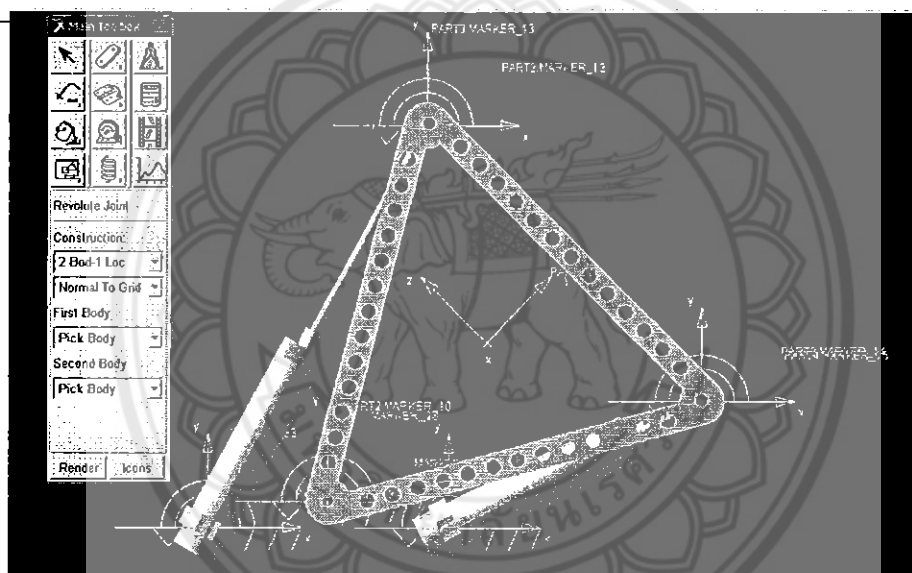
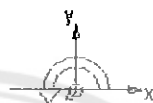
- First Body และ Second Body ให้เป็น Pick Body

- เลือกโครงสร้างสามเหลี่ยมเป็นชิ้นส่วนแรก

- เลือกแกนกระบอกนิวเมติกส์เป็นชิ้นส่วนรอง

- เลือกจุดหมุน (a,b)

- จุดที่ถูกกำหนดให้เป็นจุดหมุนจะแสดงสัญลักษณ์



รูปภาพ ก-15 การกำหนดจุดหมุนที่เป็นแบบ 2 Body - 1 Location

3.2.3 การกำหนดความสัมพันธ์ของกระบอกนิวเมติกส์

- Main Toolbox เลือก Joint: Translational

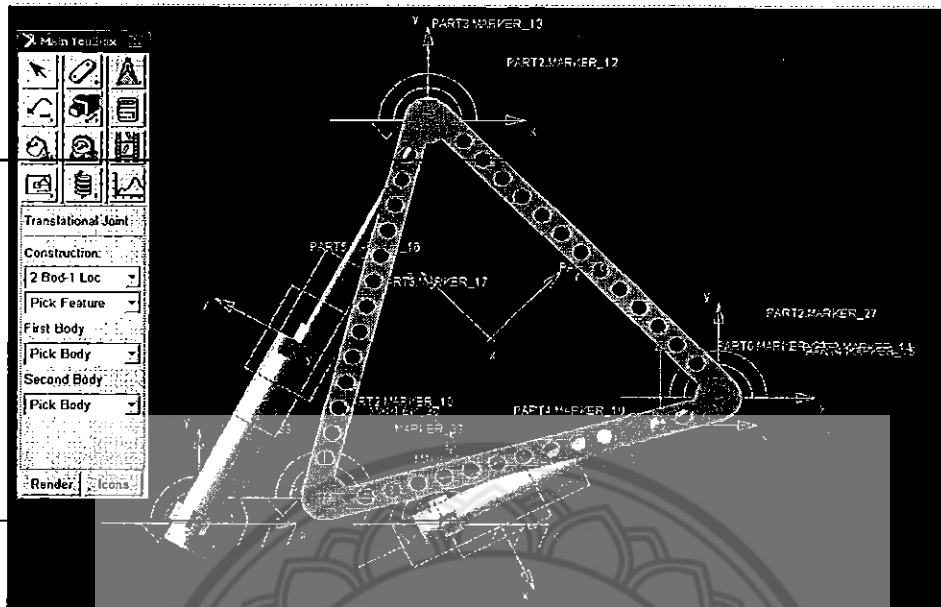


- เลือก 2 Bod – 1 Loc กับ Pick Body ในช่อง Construction:

- เลือก Pick Body ในช่องของ First Body และ Second Body


- เลือกกระบอกนิวเมติกส์เป็นชิ้นส่วนแรก

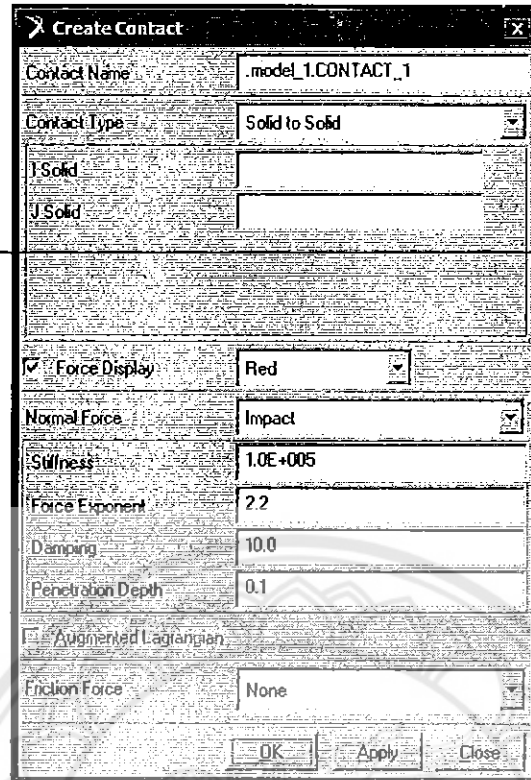
- เลือกแกนกระบอกนิวเมติกส์เป็นชิ้นส่วนรอง



รูปภาพ ก-16 การกำหนดความสัมพันธ์ให้กับกระบอกนิวเมติกส์


3.2.4 การสร้างรูปแบบการสัมผัสกันของวัตถุ

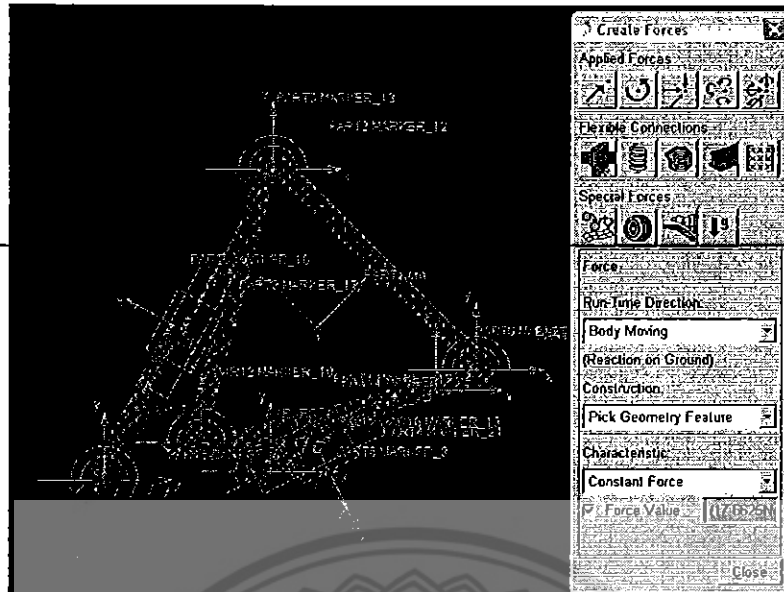
- Main Toolbox เลือก Contact 
- จะปรากฏหน้าต่าง Create Contact ขึ้นมา
- เลือกแกนกระบอกนิวเมติกส์ในช่อง I Solid
- เลือกกระบอกนิวเมติกส์ในช่อง J solid
- OK



รูปภาพ ก-17 การสร้างรูปแบบการสัมผัสกันของวัตถุ



3.3 การใส่แรงเลือกใส่ตรงแกนของกระบอกนิวเมติกส์

- Main Toolbox เลือก Applied Force : Forces (Single-Component) 
- Run-Time Direction: เลือก Body Moving
- Construction: เลือก Pick Geometry Feature
- Characteristic: เลือก Constant Force
- Force Value ใส่แรงตามขนาดแรงที่จะทำการทดลอง
- เลือกที่แกนของกระบอกนิวเมติกส์เพื่อใส่แรงกระทำ
- เลือกทิศทางที่แรงกระทำ



รูปภาพ ก-18 การใส่แรง

3.4 Simulation แบบจำลองโดยใช้คำสั่ง

- Main Toolbox เลือก Interactive Simulation Controls 
- กำหนด End time ในเวลาที่ต้องการจำลองการเคลื่อนที่
- Step เลือกที่ 100 (ยิ่งค่ามากความละเอียดของเฟรมยิ่งมากขึ้นด้วย)
- Start or continue simulation 

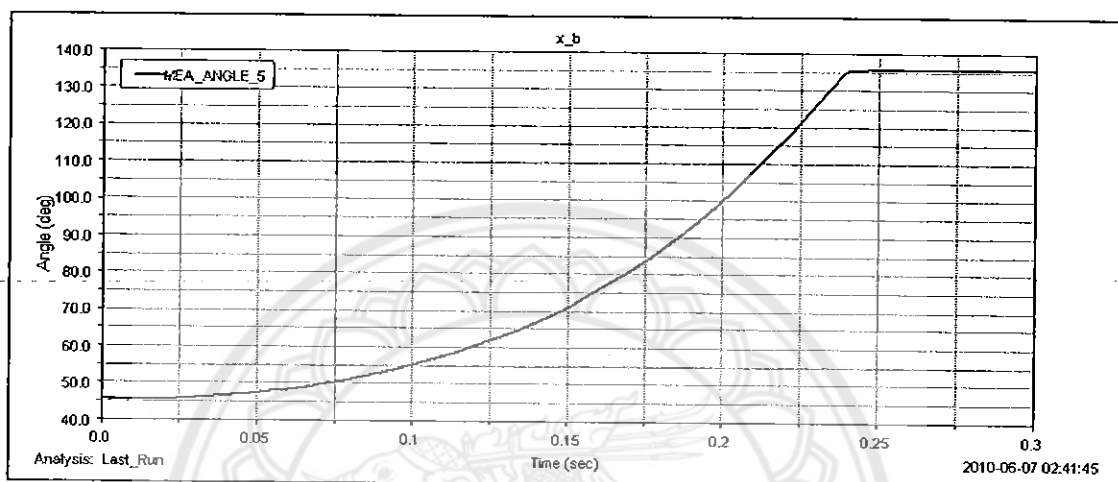
3.5 การแสดงกราฟ

3.5.1 การเขียนกราฟมุมเทียบกับเวลา

- สร้าง Marker ในแนวเดียวกับจุดหมุน เลือก Construction Geometry: Marker และเลือกจุดให้อยู่ในระนาบเดียวกันกับจุดหมุนของ โครงสร้างสามเหลี่ยม โดยดับเบิ้ลคลิก ที่ Marker ของจุดหมุน คัดลอก Location แกน y, z มาใส่ใน Marker ที่สร้างขึ้น
- เลือก Build > Measure > Angle > New...
- ในช่อง First Marker คลิกขวาเลือก Marker > Browse...
- เลือก จุด CM ของโครงสร้างสามเหลี่ยม

- ในช่อง Middle Marker คลิกขวาเลือก Marker > Browse...
- เลือก Marker ของจุดหมุนของ โครงสร้างสามเหลี่ยม
- ในช่อง Last Marker คลิกขวาเลือก Marker > Browse...

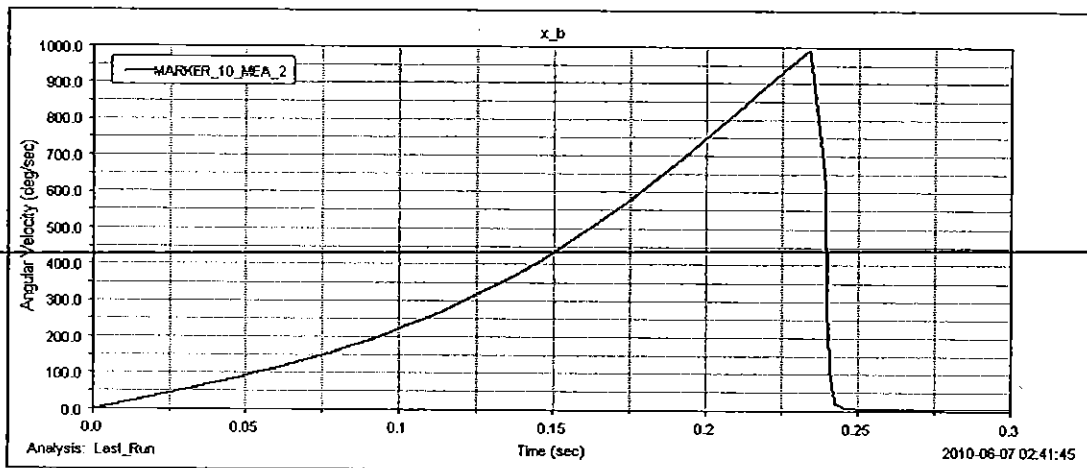
- เลือก Marker ที่สร้างขึ้นใหม่



กราฟที่ ก-1 กราฟแสดงมุมเทียบกับเวลา

3.5.2 การเขียนกราฟความเร็วเชิงมุมเทียบกับเวลา

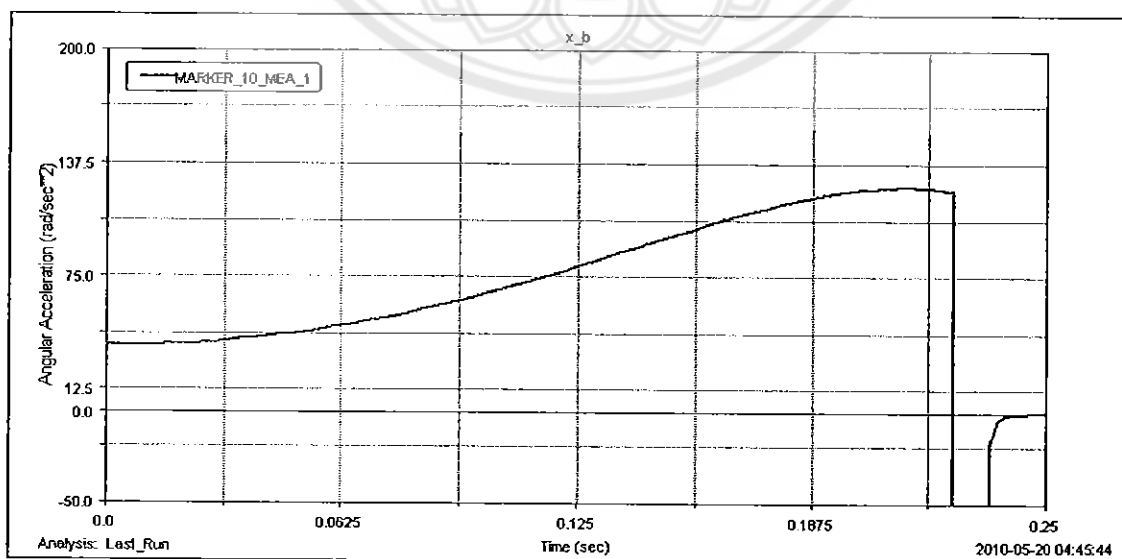
- เลือก Build > Measure > Selected Object > New...
- ใน Browse เลือก Marker ที่เป็นจุดหมุนของ โครงสร้างสามเหลี่ยม เลือก OK
- เลือก Angular velocity ในช่องของ Characteristic
- ในช่อง Component เลือก Z
- OK



กราฟที่ ก-2 กราฟแสดงความเร็วเชิงมุมเทียบกับเวลา

3.5.3 การเขียนกราฟความเร่งเชิงมุมเทียบกับเวลา

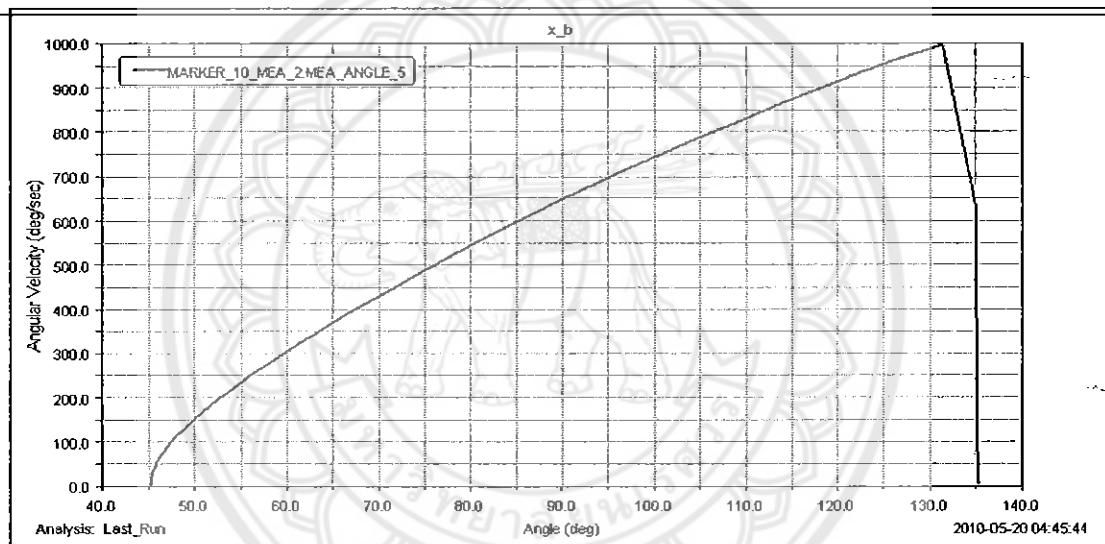
- เลือก Build > Measure > Selected Object > New...
- ใน Browse เลือก Marker ที่เป็นจุดหมุนของ โครงสร้างสามเหลี่ยม เลือก OK
- เลือก Angular acceleration ในช่องของ Characteristic
- ในช่อง Component เลือก Z
- OK



กราฟที่ ก-3 กราฟแสดงความเร่งเชิงมุมเทียบกับเวลา

3.5.4 การเขียนกราฟความเร็วเชิงมุมเทียบกับมุม

- ใน Main tool box เลือก plotting
- ใน Measure เลือกกราฟความเร็วเชิงมุม (กราฟจะอยู่ในแกน y)
- ใน Independent Axis: เลือก Data
- เลือกกราฟมุมที่จะแสดงในแกน x
- OK
- Add Curves

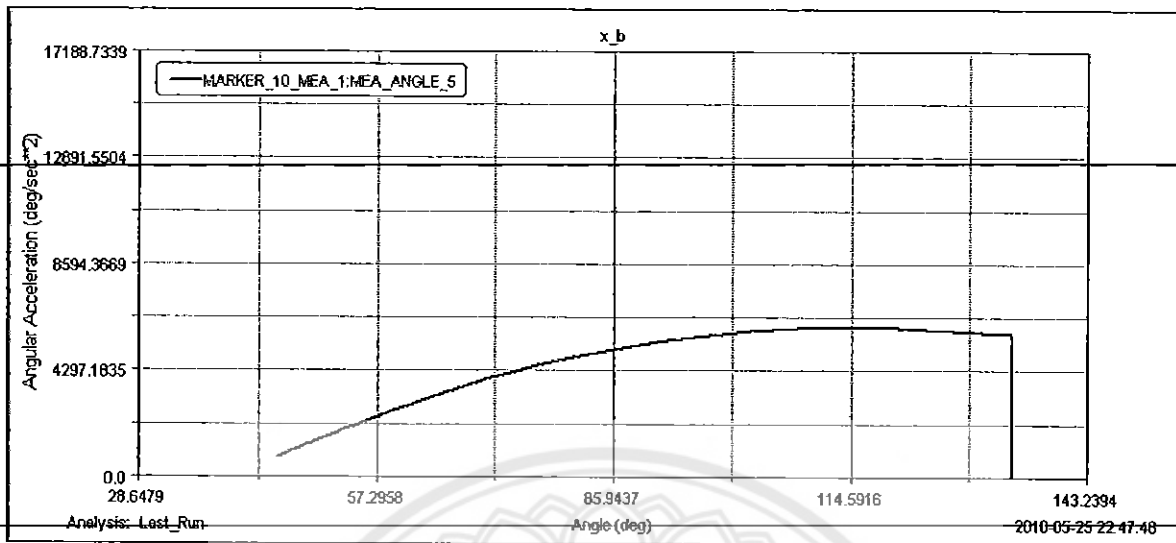


กราฟที่ ก-4 กราฟแสดงความเร็วเชิงมุมเทียบกับมุม

3.5.4 การเขียนกราฟความเร่งเชิงมุมเทียบกับมุม

- ใน Main tool box เลือก plotting
- ใน Measure เลือกกราฟความเร่งเชิงมุม (กราฟจะอยู่ในแกน y)
- ใน Independent Axis: เลือก Data
- เลือกกราฟมุมที่จะแสดงในแกน x
- OK

- Add Curves



กราฟที่ ก-5 กราฟแสดงความเร่งเชิงมุมเทียบกับมุม



ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ/นามสกุล : นาย กิตติศักดิ์ ศรีรัตนชัย

วันเกิด : 21 กุมภาพันธ์ 2529

ที่อยู่ : 339/22 หมู่ 4 ต.บึง อ.เมือง จ.อำนาจเจริญ 37000

สถานที่เกิด : จังหวัดอำนาจเจริญ

การศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนอำนาจเจริญ
จังหวัดอำนาจเจริญ ปีการศึกษา 2548

ชื่อ/นามสกุล : นาย วรวุฒิ ธิยะ

วันเกิด : 25 เมษายน 2530

ที่อยู่ : 105 หมู่ 1 ต.กองก้อย อ.สบบเมย จ.แม่ฮ่องสอน 58110

สถานที่เกิด : จังหวัดเชียงใหม่

การศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเฉลิมรัชวิทยาคม
จังหวัดแม่ฮ่องสอน ปีการศึกษา 2548

