

เครื่องจำลองนิวมัติกส์ของระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อ
(Pneumatic tilting system simulator of a Tilting Three – Wheeled Vehicle (TTWV))

นาย ชีรพจน์ มียันต์ รหัส 47380129
นาย รัชชัย อุนลี รหัส 47380388

ห้องสมุด	1 ก.ย. 2552
วันที่รับ	
เลขทะเบียน	5200082
เลขเรียกหนังสือ	1 ก 203470
มหาวิทยาลัยอเนศวร	

ร/ร
ส 631 ด
2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอเนศวร
ปีการศึกษา 2551




ใบรับรองโครงการ


หัวข้อโครงการ : เครื่องจำลองนิวมติกส์ของระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อ (Pneumatic tilting system simulator of a Tilting Three - Wheeled Vehicle (TTWV))

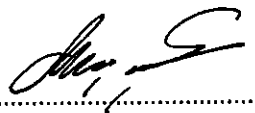
ผู้ดำเนินโครงการ : นาย ชีรพนัน มียันต์ รหัสนิสิต 47380129
นาย ธวัชชัย อุ่นดี รหัสนิสิต 47380388

ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.พงศาต มีคุณสมบัติ
ที่ปรึกษาโครงการร่วม : อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2551

.....
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอเนก อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะกรรมการสอบโครงการ


.....ประธานกรรมการ
(ดร.พงศาต มีคุณสมบัติ)


.....กรรมการ
(อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์)


.....กรรมการ
(ดร.ภาณุ พุทวงศ์)

หัวข้อโครงการ : เครื่องจำลองนิวมติกส์ของระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารใน
รถยนต์สามล้อ

ผู้ดำเนินโครงการ : นาย ชีรพจน์ มียันต์ รหัสบัณฑิต 47380129
นาย ชวิษชัย อุ่นลี รหัสบัณฑิต 47380388

ที่ปรึกษาโครงการ : ดร.พงศาล มีคุณสมบัติ

ที่ปรึกษาโครงการร่วม : อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบังคับความเอียงของห้องโดยสารรถสามล้อ
ในขณะที่เข้าโค้งด้วยระบบนิวมติกส์ แบบควบคุมด้วยมือ โดยได้ประดิษฐ์แบบจำลองเพื่อทดสอบ
การเข้าโค้งของรถด้วยการจำลองเหล็ก โครงสร้างสามเหลี่ยมเป็นตัวยึดห้องโดยสารที่สามารถเอียงตัว
ได้ $\pm 45^\circ$ เพื่อศึกษาและทดสอบพลศาสตร์การเคลื่อนที่ของการเอียงตัวของโครงสร้างโดยได้ทำ
การทดลองใช้ความดันในระบบนิวมติกส์เริ่มต้นที่ 2.25 – 2.75 บาร์ และจับเวลาที่โครงสร้าง
เคลื่อนที่ตามความดันนั้นๆและนำค่าที่ได้มาคำนวณหาโมเมนต์เฉลี่ยเทียบกับการคำนวณจากทฤษฎี
โดยได้รวมถึงแรงต้านอันเนื่องมาจากอากาศที่ตกค้างอยู่ในกระบอคนิวมติกส์ ผลปรากฏว่าโมเมนต์
เฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง คลาดเคลื่อนจากการคำนวณประมาณ 57% - 61 % อันเนื่องมาจากความ
ฝืดของลูกสูบกับผนังกระบอคนิวมติกส์ที่ไม่ได้นำมาพิจารณาด้วย

ชุดการทดลองนี้ยังสามารถนำไปพัฒนาต่อให้มีความซับซ้อนมากขึ้นเพื่อการจำลองระบบ
บังคับความเอียงของห้องโดยสารรถสามล้อที่ใกล้เคียงระบบจริงมากขึ้นต่อไป

Project Title : Pneumatic tilting system simulator of a Tilting Three – Wheeled Vehicle
(TTWV)

Name : Mr. Teerapoth Meeyan Student ID 47380129
Mr. Thawatchai Ounlee Student ID 47380388

Project Advisor : Dr. Phongsan Meekunnasombat

Project Advisor : Mr. Pongpun Othaganont

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2008

Abstract

The objectives of this project were to build and study a simple simulator of a cabin tilting system of a Tilting Three- wheeled Vehicle (TTWV) when enters the curve using a pneumatic system with manual control. The tilting cabing which can be tilted from -45° to $+45^\circ$, is simulated with a simple metal triangle to study and test the kinematics of the structure by supplying air pressure from 2.25 – 2.75 bar into the pneumatic and measure the time taken for the structure to rotate 90 degrees. The moment of inertia is then calculated (including the air resistant in the pneumatic cylinders), and compared with the theoretical value. It is found that the errors are between 57% – 61 %. Due to the friction between the pistons and the cylinder walls that are not taken into account.

This simple simulator can be further developed to a more complex one to simulate the motion of prototype tilting system more accurately .

กิตติกรรมประกาศ

โครงการศึกษาวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือ ในด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงการจาก ดร. พงศาต มีคุณสมบัติ และ อาจารย์ ปองพันธ์ โอทกานนท์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการศึกษาวิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ครูช่างทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ทางด้านอุปกรณ์ต่าง ๆ เทคนิคในการทำงานเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณเพื่อนทุกท่านที่ช่วยเหลืองานด้านการทำโครงการให้เสร็จสิ้นโดยเรียบร้อย
สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้ดำเนินโครงการตลอดมา อย่างสม่ำเสมอ

นาย ชีรพจน์

มีชัยนัต

นาย ธวัชชัย

อุณหิ



สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
สารบัญกราฟ	ญ
สารบัญสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	4
1.4 ขั้นตอนและระยะเวลาการปฏิบัติงาน	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 งบประมาณที่ใช้	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ประวัติความเป็นมาของรถสามล้อ	6
2.2 การคำนวณหาความยาวและมุมต่างๆของโครงสร้าง	11
2.3 ตารางแสดงผลจากการคำนวณ	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	16
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
4.1 การคำนวณหาโมเมนต์เฉื่อย	28
4.2 การทดลองหาค่าโมเมนต์เฉื่อย	29
ตารางแสดงผลการทดลอง	33
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	34
บรรณานุกรม	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก อุปกรณ์นิเวศิกส์และระบบควบคุมชนิดต่างๆ	38
ภาคผนวก ข การคำนวณระยะและมุมของโครงสร้างสามเหลี่ยม	47
ภาคผนวก ค ระบบวงจรควบคุม และ ระบบการทำงานของระบบควบคุม	79
ภาคผนวก ง การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ	87
ประวัติผู้จัดทำ	94



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงร้อยละยานพาหนะของผู้บาดเจ็บ [1]	2
ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนและระยะเวลาการปฏิบัติงาน	4
ตารางที่ 2.1 แสดงผลจากการคำนวณ	15



สารบัญรูปภาพ

	หน้า	
รูปที่ 2.1	วิวัฒนาการของรถสามล้อตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน[3]	6
รูปที่ 2.2	ตัวอย่างของรถ Trikes[4]	7
รูปที่ 2.3	(a) รถ VM Scooter[5] (b) รถ Grinnall Scorpoim [6] (c) รถ Morgan 3-wheeler[7]	7
รูปที่ 2.4	ลักษณะการเอียงของห้องโดยสาร[3]	8
รูปที่ 2.5	ตัวอย่างรถ Mercedes Benz F300 "Life Jet"[8]	9
รูปที่ 2.6	ตัวอย่างรถ Scooter-type Vehicles from Honda[9]	9
รูปที่ 2.7	ลักษณะการเอียงตัวของห้องโดยสารของรถยนต์สามล้อ[3]	10
รูปที่ 2.8	ความเอียงของถนนขณะเข้าโค้ง	11
รูปที่ 2.9	ระยะของนิวมติกส์ปกติที่ไม่มีการยึดหด	12
รูปที่ 2.10	ลักษณะการวางตัวของโครงสร้างระบบนิวมติกส์ (ระยะปกติ)	13
รูปที่ 2.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม ϕ กับ M_0	15
รูปที่ 3.1	ระยะยึดสูงสุดของกระบอคนิวมติกส์	17
รูปที่ 3.2	ระยะกึ่งกลางของกระบอคนิวมติกส์	17
รูปที่ 3.3	ระยะหดสุดของกระบอคนิวมติกส์	17
รูปที่ 3.4	ตัวล็อกกระบอคนิวมติกส์	18
รูปที่ 3.5	โครงสร้างของเหล็กสามเหลี่ยม	19
รูปที่ 3.6	ตัวล็อกเหล็กสามเหลี่ยม	19
รูปที่ 3.7	ฐานยึด Potentiometer	19
รูปที่ 3.8	วาล์วควบคุมทิศทาง (Solenoid Valve ชนิด 5/3)	20
รูปที่ 3.9	หม้อแปลงไฟฟ้าและแผงวงจร	20
รูปที่ 3.10	สวิตช์ไฟฟ้า	21
รูปที่ 3.11	การพันลีสขึ้นส่วนที่เป็นเหล็ก	21
รูปที่ 3.12	ยึดตัวล็อกกระบอคนิวมติกส์กับฐาน	22
รูปที่ 3.13	นำกระบอคนิวมติกส์มาติดกับตัวล็อก	22
รูปที่ 3.14	ติดตัวล็อกเหล็กสามเหลี่ยมกับปลายนิวมติกส์	23
รูปที่ 3.15	นำฐานยึด Potentiometer มาติดกับฐานรอง	23
รูปที่ 3.16	นำ Potentiometer มาติดกับตัวยึด	24

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.17 การติดตั้งเหล็กสามเหลี่ยม	24
รูปที่ 3.18 การทดสอบการเอียงตัวของแบบจำลอง	24
รูปที่ 3.19 นำท่อลมที่เหลืออีกด้านไปต่อกับปั๊มลมโดยผ่านทางวาล์วควบคุม	25
รูปที่ 3.20 ชุดควบคุมไฟฟ้า	25-26
รูปที่ 3.21 วาล์วควบคุมทิศทาง	26
รูปที่ 3.22 แบบจำลองโครงสร้างเมื่อต่อกับชุดควบคุม	27
รูปที่ 4.1 แนวแกนที่หมุนของโครงสร้างสามเหลี่ยม	28
รูปที่ 4.2 โครงสร้างสามเหลี่ยมเคลื่อนที่รอบจุด O	29
รูปที่ 4.3 แสดงแรงที่กระทำกับนิวมติกส์ โดยคิด loss ที่ทางออกด้านบนกระบอบอก	30
รูปที่ 4.4 แสดงแรงที่กระทำกับนิวมติกส์ โดยคิด loss ที่ทางออกด้านล่างกระบอบอก	31



สารบัญญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 1.1 แสดงสถิติการตายและการเกิดอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์[1]	1
กราฟที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง μ กับ M_0	15



สารบัญสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
ϕ	มุมเอียงของกระบอกนิวเมติกส์	องศา ($^{\circ}$)
θ	เป็นมุมระหว่างจุด $C\hat{D}O$	องศา ($^{\circ}$)
A	เป็นมุมระหว่างจุด $O\hat{C}D$	องศา ($^{\circ}$)
ρ	เป็นมุมระหว่างจุด $A\hat{D}O$	องศา ($^{\circ}$)
ξ	เป็นมุมระหว่างจุด $A\hat{O}D$	องศา ($^{\circ}$)
ψ	เป็นมุมระหว่างจุด $C\hat{O}D$	องศา ($^{\circ}$)
λ	เป็นมุมที่ตั้งฉากระหว่างแรงลัพธ์ (F)	องศา ($^{\circ}$)
$\bar{\omega}$	อัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย	rad/s
$\bar{\alpha}$	อัตราเร่งเชิงมุมเฉลี่ย	rad/s ²
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m ³
A	พื้นที่	m ²
A_{in}	พื้นที่ภายในของกระบอกนิวเมติกส์ (ทางเข้า)	m ²
$A_{out,1}$	พื้นที่ภายในของกระบอกนิวเมติกส์ (ด้านบน)	m ²
$A_{out,2}$	พื้นที่ภายในของกระบอกนิวเมติกส์ (ด้านล่าง)	m ²
B,b	ความยาวด้านของโครงสร้างสามเหลี่ยมใหญ่และเล็ก	cm
\hat{b}	แกนที่ตั้งฉากกับแนวระนาบ	-
D	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกนิวเมติกส์	cm
D_s	เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านกระบอกนิวเมติกส์	cm
d	ระยะของจุดหมุนของโครงสร้างสามเหลี่ยม	cm
d_{out}	เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกตรงทางออก	mm
F_A	แรงที่กระทำกับกระบอกเมื่ออัดลมเข้าไป	N
F_C	แรงหนีออกจากจุดศูนย์กลาง	N
F_N	แรงที่ตั้งฉากกับพื้นถนน	N

สารบัญสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
F_{R1}	แรงดันของอากาศที่ค้างอยู่ในกระบอกลอด(ด้านบน)	N
F_{R2}	แรงดันของอากาศที่ค้างอยู่ในกระบอกลอด(ด้านล่าง)	N
g	แรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
h_{L1}	head loss ของกระบอกลอดด้านล่าง	m
h_{L2}	head loss ของกระบอกลอดด้านบน	m
h_o	ความสูงทั้งหมดของนิวมติคส์ในระยะปกติ	cm
I_G	โมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุด G	$kg \cdot m^2$
I_O	โมเมนต์ความเฉื่อยรอบจุด O	$kg \cdot m^2$
$\bar{I}_{o,ex}$	โมเมนต์ความเฉื่อยที่ได้จากการทดลอง	$N \cdot m/s^2$
K_L	minor loss coefficient	-
L	ความยาว	cm
$M_{,m}$	น้ำหนักของโครงสร้างสามเหลี่ยมใหญ่และเล็ก	kg
M_o	ผลรวมของโมเมนต์ข้อบจุด O	N.m
\hat{n}	แกนที่วางตัวอยู่ในระนาบ	-
P	ความดัน	Bar, Pa
ΔP	ผลต่างของความดันภายในและภายนอก	Bar, Pa
ΔP_{L1}	ผลต่างของความดันภายในและภายนอก (ล่าง)	Bar, Pa
ΔP_{L2}	ผลต่างของความดันภายในและภายนอก (บน)	Bar, Pa
R	ความกว้างของฐานแบบจำลอง	cm
r	ระยะแกนที่ตั้งฉากกับแนวแรง	cm
\hat{r}	รัศมีความโค้งของถนน	m
s	ระยะทางที่กระบอกลอด	cm

สารบัญสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
t	เวลา	s
$t_{\text{เฉลี่ย}}$	เวลารวมที่หารต่อจำนวนครั้ง	s
v	ความเร็วขณะเข้าโค้ง	m/s
V_{in}	ความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบที่ทางเข้า	m/s
V_{out1}	ความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบที่ทางออก(ด้านบน)	m/s
V_{out2}	ความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบที่ทางออก (ด้านล่าง)	m/s
$X_{R,O}, X_{L,O}$	ระยะปกติของกระบอกนิวมติกส์	cm

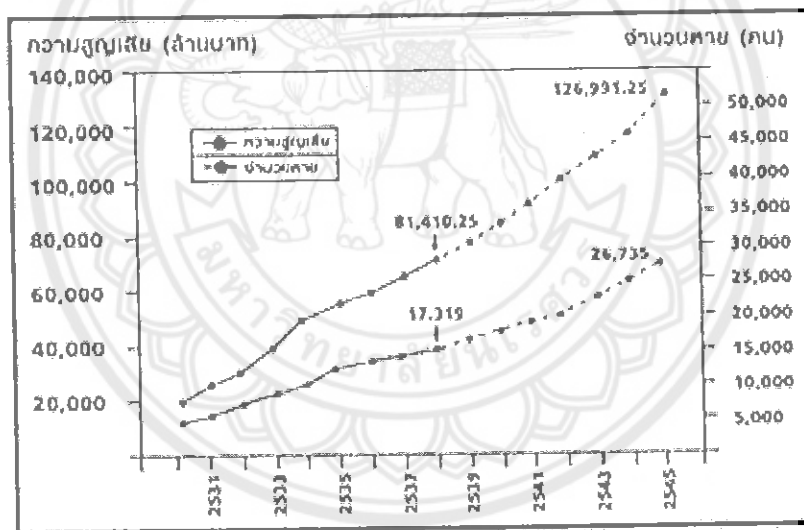


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันยานพาหนะมีบทบาทต่อการใช้ชีวิตมากขึ้นซึ่งในขณะเดียวกันเป็นผลให้เกิดอุบัติเหตุตามมา โดยเฉพาะในกลุ่มของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์และรถยนต์สามล้อดังแสดงในรูปที่ 1.1 และตารางที่ 1.1 เห็นได้ว่าสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์ มีจำนวนสูงมากเมื่อเทียบกับรถยนต์ประเภทอื่นๆ ซึ่งนอกเหนือจากความประมาทของผู้ขับขี่แล้วธรรมชาติของการขับขี่บนพาหนะสองล้อย่อมมีเสถียรภาพน้อยกว่ารถยนต์สี่ล้อ ส่วนรถยนต์สามล้อแม้จะมีเสถียรภาพมากกว่ารถจักรยานยนต์ และมีขนาดที่กะทัดรัดกว่ารถยนต์สี่ล้อ แต่ เมื่อเข้าโค้งด้วยความเร็วสูงจะทำให้เกิดการพลิกคว่ำได้ เพราะจุดศูนย์ถ่วงของตัวรถยนต์สามล้อมันเคลื่อนออกจากฐานล้อรถ



รูปที่ 1.1 กราฟแสดง สถิติการตายและการเกิดอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์ [1]

ตารางที่ 1.1 แสดงร้อยละยานพาหนะของผู้บาดเจ็บ[2]

ยานพาหนะของผู้บาดเจ็บ	ร้อยละ
เดินเท้า	2.6
รถจักรยาน/สามล้อถีบ	3.6
รถจักรยานยนต์	78.2
รถสามล้อเครื่อง	2.1
รถยนต์นั่งส่วนบุคคล	1.0
รถกระบะ	11.4
รถใช้งานเกษตร	1.0
รวม	100.0

CLEVER Project (Compact Low Emission Vehicle for uRban transport) [3] เป็นโครงการความร่วมมือของประเทศในกลุ่มยุโรป ที่ต้องการจะลดสถานะปัญหาโลกร้อนเพราะ CLEVER car ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน ซึ่งมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกมาน้อยมากเพียง 59.5 g/km (เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซิน) และต้องการลดพื้นที่การจราจรบนท้องถนน เนื่องจาก CLEVER car เป็นรถที่มีขนาดเล็กมากเพียง 1×3×1.35 m จึงมีความคล่องตัวในการขับขึ้นท้องถนน และมีประสิทธิภาพในการเข้าโค้งได้ดีในทางโค้ง โดยที่ห้องสารของรถสามารถเอียงไปพร้อมกับการเข้าโค้งของรถและความสามารถที่โดดเด่นคือ เป็นการผสมผสานระหว่างรถยนต์สามล้อกับรถจักรยานยนต์ที่มีระบบไฮโดรลิกส์เป็นตัวช่วยในการเข้าโค้ง

ข้อดีและข้อเสียของรถยนต์สามล้อที่มีระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารหรือ Tilting Three – Wheeled Vehicle (TTWV) เมื่อเทียบกับมอเตอร์ไซด์ รถสามล้อทั่วไปและรถยนต์ มีดังนี้

ข้อดี

- เมื่อเทียบกับรถจักรยานยนต์ TTWV มีความปลอดภัยในการขับขี่มากกว่า โดยเฉพาะการเข้าโค้งที่มีเสถียรภาพกว่า คือห้องโดยสารของคนขับสามารถเอียงไปพร้อมกับการเข้าโค้งในขณะที่มีล้อสัมผัสกับพื้นถึงสามล้อทำให้ในการเข้าโค้งมีความปลอดภัยมากขึ้น สามารถวิ่งในขณะฝนตกโดยที่ผู้ขับขี่ไม่เปียกฝน และยังมีความปลอดภัยในการบรรทุกสัมภาระ

- เมื่อเทียบกับรถสามล้อทั่วไป TTWV สามารถรับการเข้าโค้งที่ดีแม้ขณะที่รถวิ่งด้วยความเร็วสูงด้วยความสามารถในการบังคับความเอียงของห้องโดยสาร แต่ถ้านเป็นรถสามล้อที่วิ่งด้วยความเร็วสูงอาจเกิด อุบัติเหตุและพลิกคว่ำได้

- เมื่อเทียบกับรถยนต์ TTWV มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่า จึงประหยัดน้ำมันดีกว่ารถยนต์ทั่วไป

ข้อเสีย

- TTWV มีราคาสูงกว่ารถมอเตอร์ไซด์ และยังไม่มีการจำหน่ายในประเทศไทย
- มีการทำงานที่ซับซ้อนและต้องซ่อมบำรุงโดยช่างเฉพาะทาง

ทางสมาชิกกลุ่มจึงได้นำแนวคิดของ CLEVER Project มาศึกษาเพื่อสร้างแบบจำลองระบบ-บังคับความเอียงของห้องโดยสาร actuator ที่มีให้เลือกใช้มีอยู่หลายแบบ เช่น Hydraulic, Pneumatic และ Lead screw เป็นต้น ทางสมาชิกกลุ่มได้เลือกใช้ Pneumatic เนื่องจากมีราคาถูกกว่า Hydraulic ที่ใช้จริงใน TTWV โดยที่มึการทำงานคล้ายกัน และยังสามารถกำหนดให้หยุดตรงตำแหน่งตามที่ต้องการได้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบเครื่องจำลองการทำงานของระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อด้วยระบบนิวเมติกส์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ได้ทราบถึงการทำงานของระบบนิวมติกส์ในการควบคุมความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อ แบบห้องโดยสารปรับเอียงได้ เพื่อไม่เกิดการพลิกคว่ำขณะเข้าโค้งเพื่อความเข้าใจพื้นฐานสำหรับในการศึกษาและพัฒนาต่อไป

1.6 งบประมาณที่ใช้

1. ครอบอกนิวมติกส์	จำนวน 2 ครอบ	ราคา 400 บาท
2. วาล์วควบคุม	จำนวน 1 ตัว	ราคา 280 บาท
3. ดับลูกปืน - ใหญ่	จำนวน 3 ตัว	ราคา 210 บาท
- เล็ก	จำนวน 2 ตัว	ราคา 160 บาท
4. เหล็กโครงสร้าง	จำนวน 1 อัน	ราคา 180 บาท
5. ตัวต้อนนิวมติกส์	จำนวน 2 ตัว	ราคา 500 บาท
6. ท่อจ่ายลม	จำนวน 2 เมตร	ราคา 120 บาท
7. สวิตช์ไฟฟ้า	จำนวน 2 ตัว	ราคา 185 บาท
8. ตัวต่อวาล์ว(Fitting)	จำนวน 3 ตัว	ราคา 270 บาท
9. หม้อแปลงไฟฟ้า	จำนวน 1 ตัว	ราคา 100 บาท
10. สายไฟฟ้าและหัวต่อสายไฟ		ราคา 50 บาท
11. ไม้บัลซ่า	จำนวน 1 แผ่น	ราคา 100 บาท
12. กาวติดไม้		ราคา 22 บาท
13. ตัว Bridge rectifier	จำนวน 1 ตัว	ราคา 15 บาท
14. ค่าถ่ายเอกสาร		ราคา 200 บาท
15. ค่าจัดพิมพ์เอกสารและเข้าเล่ม		ราคา 1,200 บาท

รวม

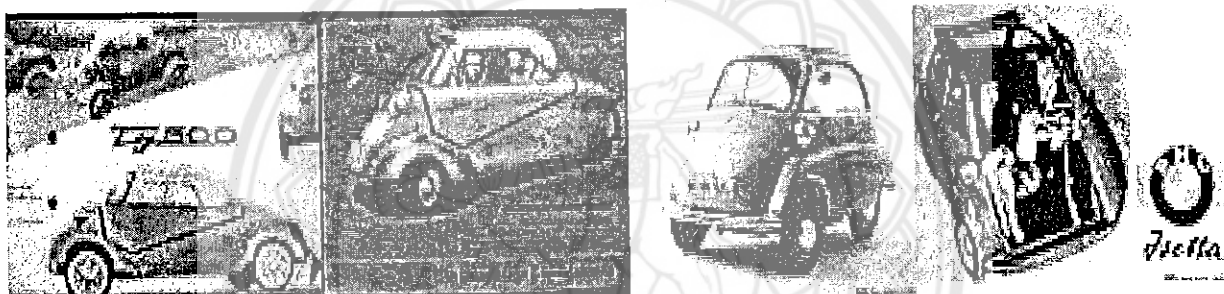
3,992 บาท

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

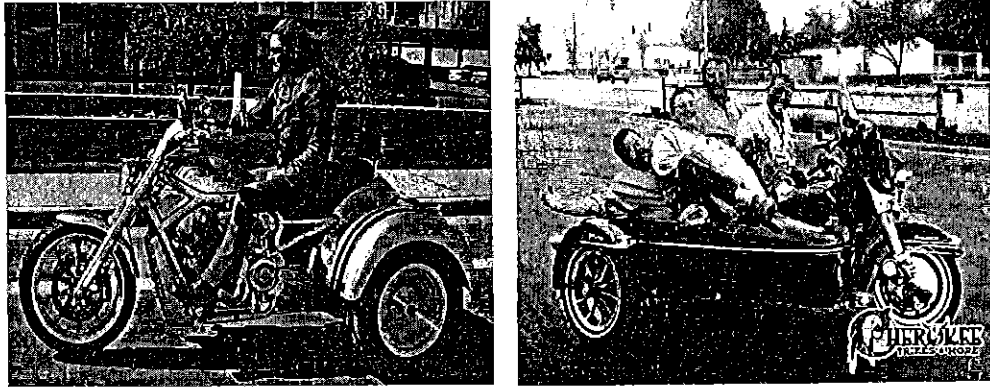
2.1 ประวัติความเป็นมาของรถยนต์สามล้อ

อุตสาหกรรมยานยนต์ได้มีการสร้างรถสามล้อมาแล้วมากกว่า 100 ปี รถยนต์สามล้อคันแรกคือ Benz Patent Motorwagen ในปี ค.ศ. 1886 ในปีต่อๆ มารถยนต์สามล้อได้พัฒนาหลายมาเป็น Morgan 3 – wheeler เรียกว่า Bubble cars จาก Heinkel Company และ Messerschmitt, Mathis VL333, Bond Bug จาก Ogle Design Company, Velorex Company, Brusch Mopetta Company และอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



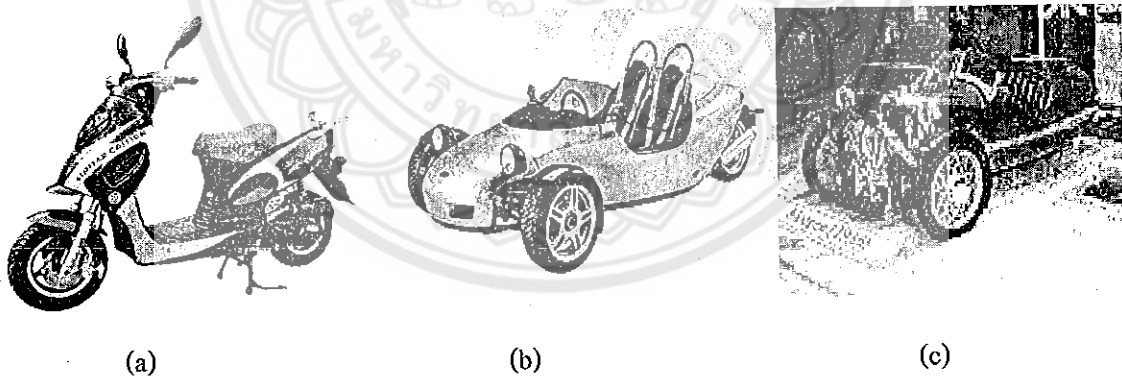
รูปที่ 2.1 วิวัฒนาการของรถสามล้อตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน[3]

ปัจจุบันในบางประเทศรถยนต์สามล้อเป็นที่นิยมใช้มากกว่ารถตู้และรถคันเล็กๆ และมีชื่อเรียกว่า Trikes คือเป็นการผสมผสานระหว่างรถจักรยานยนต์กับรถยนต์ ซึ่งมีความคล่องตัวในการขับขี่ สามารถขับขี่ในพื้นที่ที่แคบและจำกัด และยังประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงได้มากกว่ารถยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



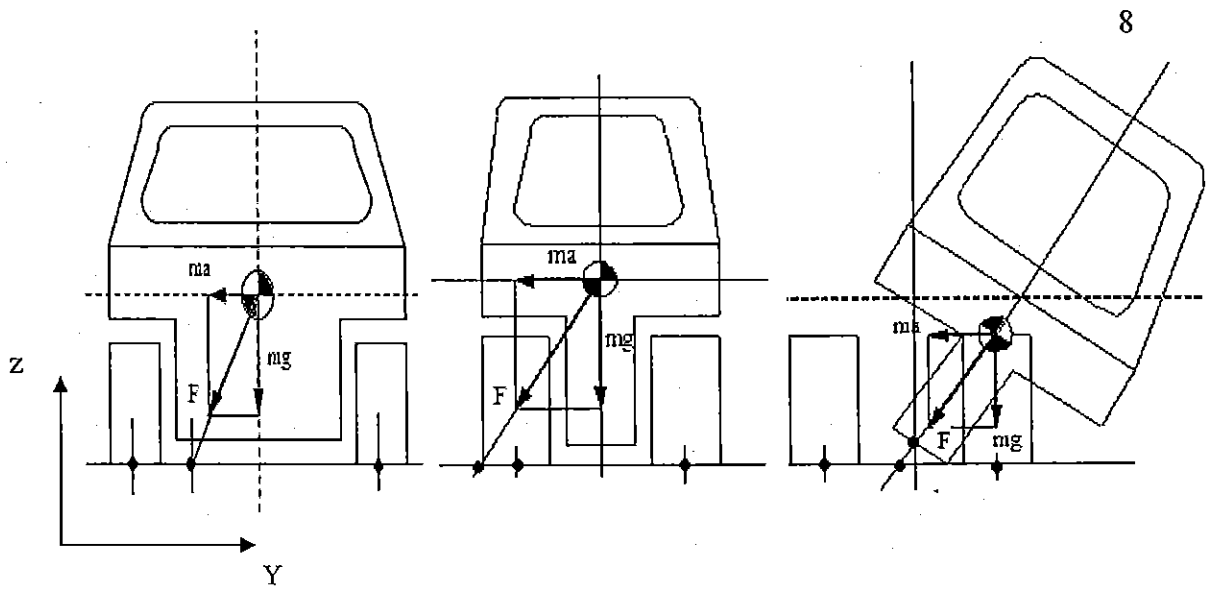
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของรถ Trikes[4]

จากแนวคิดของรถ VM Scooter (รูปที่ 2.3 (a)) ได้มีการดัดแปลงมาเป็นรถยนต์สามล้อคันเล็กที่ออกมาวิ่งตามท้องถนน คือ รุ่น Scorpion (รูปที่ 2.3 (b)) จากนั้น Grinnall Cars Company ได้พัฒนาต่อมาเป็น Morgan 3 – wheeler (รูปที่ 2.3 (c)) เป็นเหตุผลที่ทำให้เกิดการพัฒนารถยนต์สามล้อในประเทศอังกฤษ หลังจากนั้นประมาณ 50 - 60 ปี ก็ได้สูญหายไปเนื่องจากเศรษฐกิจในทวีปยุโรปดีขึ้นและความต้องการที่จะใช้ก็ลดน้อยลง ในช่วงทศวรรษที่ 50 และ 60 เศรษฐกิจในทวีปยุโรปได้มีการพัฒนาที่ดีขึ้น ส่งผลให้ผู้คนก็หันมานิยมใช้รถยนต์สี่ล้อแทนรถยนต์สามล้อกันมากขึ้น



รูปที่ 2.3 (a) รถ VM Scooter[5] , (b) Grinnall Scorpion III [6], (c) Morgan 3–wheeler [7]

ปัญหาของรถยนต์แบบสามล้อ คือไม่สามารถควบคุมการเอียงท่ามุมขณะที่เข้าโค้งได้ เช่นเดียวกับรถจักรยานยนต์ เมื่อมีความเร็วสูงจะทำให้เกิดการพลิกคว่ำ วิธีการแก้ปัญหา คือทำให้จุดศูนย์กลางของเครื่องนั้นจะต้องอยู่ภายในฐานล้อ ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ท่ามุมจะทำให้หลักการเกี่ยวกับการเข้าโค้งรถมอเตอร์ไซด์ ผลลัพธ์ที่ได้ของเวกเตอร์จะเอียงไปทางแกน y น้ำหนักจะลงไปตามแกน z ในขณะที่ล้อจะเชื่อมต่อกับจุดศูนย์กลางที่ขนานกัน ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะการเอียงของห้องโดยสาร[3]

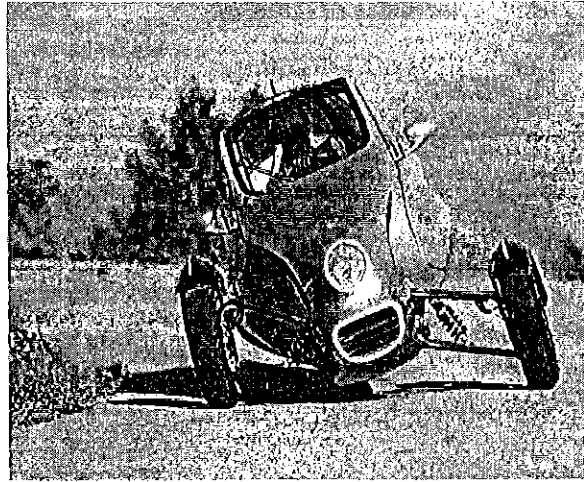
มี 2 แนวคิดในการวิเคราะห์เพื่อแก้ไขการเข้าโค้งของรถแบบสามล้อดังนี้

1. เปลี่ยนมุมของ Camber (มุมที่ล้อรถกระทำกับถนน) ให้มีความโค้งมากขึ้น เพื่อให้สามารถรับกับการเอียงของรถยนต์
2. มุมของรถที่อยู่รอบๆจุดหมุนจะต้องมีความสัมพันธ์กับแกนล้อ

จากทั้ง 2 แนวคิดนี้จะสามารถทำได้โดยการควบคุมโครงสร้างของรถแบบสามล้อนี้ได้อย่างรวดเร็วโดย การเพิ่มตัวเลขที่ไม่น่าเชื่อว่า วิธีการผลิตแบบเล็กๆนี้สามารถทำได้ด้วยตนเองและการออกแบบที่ว่ามี มหาวิทยาลัยบาธ (Bath University) ประเทศอังกฤษ ได้มีแนวคิดที่จะทำโครงการนี้ขึ้นมา เพื่อศึกษาค้นคว้าและนำมาสู่การสร้างต้นแบบในการผลิต โดยมีแนวคิดดังต่อไปนี้

แนวคิดที่ 1 นั้นสามารถประยุกต์ใช้ได้กับล้อหน้าและล้อหลัง

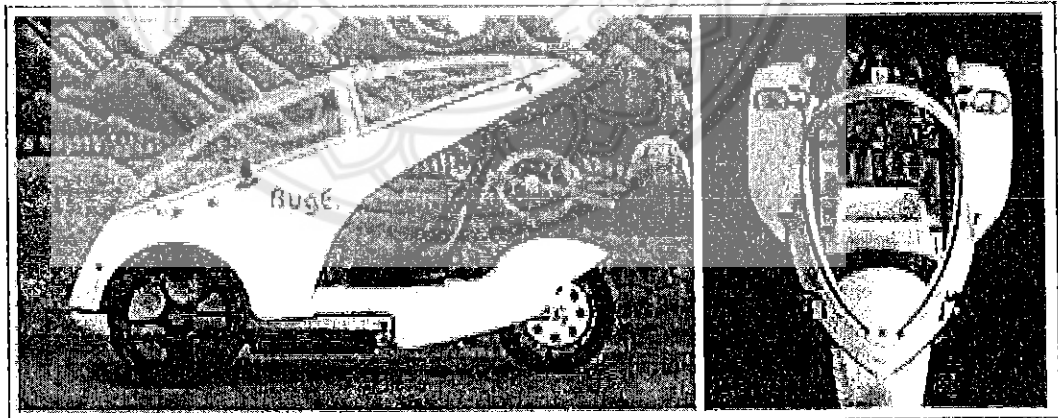
ตัวอย่างของรถ ที่ใช้แนวคิด แบบที่ 1 ได้เริ่มใช้ในช่วงปี ค.ศ. 1948 ตัวอย่างเช่น Ernst Neuman - Neander และแนวคิดนี้ก็ถูกนำมาใช้เรื่อยมาจนถึง ปี ค.ศ. 1997 โดยใช้ในรถ Mercedes Benz F300 "Life Jet" ดังรูปที่ 2.5 ต่อมาก็ได้มีการพัฒนามาใช้กับรถ Scooter-type และรูปแบบเดิมนี้ก็ได้มีการพัฒนาจากเดิม โดยใช้วิธีการสร้างผ่านกระบวนการผลิตอย่างดีซึ่งได้เลือกที่มานั้นอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างรถ Mercedes Benz F300 “Life Jet” [8]

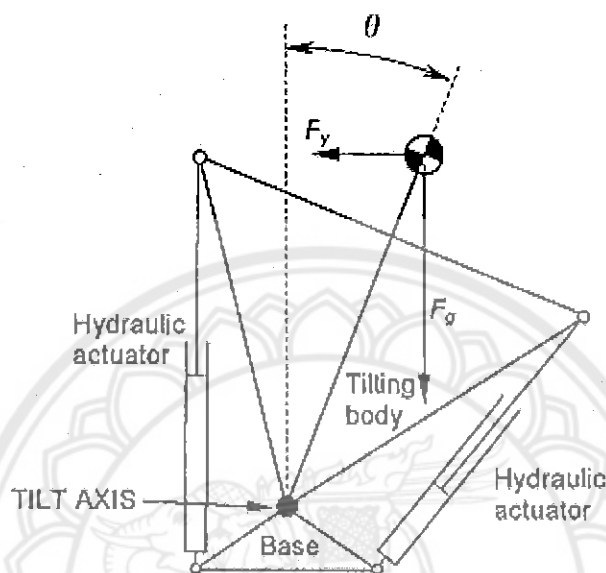
แนวคิดที่ 2 สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับล้อหลังได้อย่างเดียวและที่ด้านหลังสามารถนั่งได้คนเดียว

ตัวอย่างของรถ ที่ใช้แนวคิด แบบที่ 2 ได้นำแนวคิดนี้มาใช้ในปี ค.ศ. 1983 “GM Laen Machine ” , “Carver” จาก Vandenbrink และ Scooter-type Vehicles จาก Honda (รูปที่ 2.6) จากนั้นได้มีการพัฒนาโดย BMW ในช่วงปี ค.ศ. 1991



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างรถ Scooter-type Vehicles from Honda [9]

ความพิเศษของรถสามล้อแบบนี้ คือความสามารถในการบังคับความเอียงของห้องโดยสาร โดยที่ห้องโดยสารกับล้อหน้าเชื่อมโยงด้วยห้องเครื่อง และ 2 ล้อที่อยู่ด้านหลังโดยมี Pivot bolt (น็อตที่ใช้เป็นแกนยึดที่ทำให้วัตถุที่ถูกยึดสามารถหมุนรอบแกนในแนวรัศมี) การเคลื่อนที่ของห้องโดยสารเกิดจากกระบอกลไฮดรอลิกส์ 2 ตัว (รูปที่ 2.7) ที่ถูกติดตั้งระหว่างห้องผู้โดยสารและห้องเครื่อง โดยตัวกระบอกลไฮดรอลิกส์สามารถทำมุมเอียงกับห้องเครื่องจะทำได้แค่ $\pm 45^\circ$ เท่านั้น



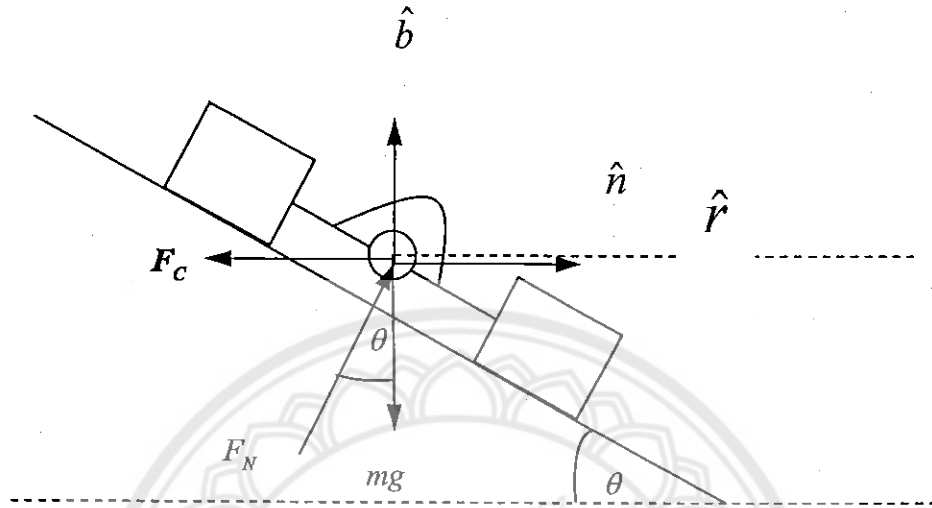
รูปที่ 2.7 ลักษณะการเอียงตัวของห้องโดยสารของรถยนต์สามล้อ [3]

ระบบไฮดรอลิกส์ประกอบด้วยปั๊มที่ถูกขับเคลื่อนโดยตรงจากเครื่องยนต์และหม้อควบคุมความดันที่รักษาระดับน้ำมันในปั๊ม โดยไฮดรอลิกส์จะถูกควบคุมโดยวงจร และใช้วาล์วเป็นตัวปิดเปิด ในการควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ โดยมีการป้องกันความเร็วและรัศมีความโค้งของถนนเข้าไปยังระบบควบคุม (จะมีระบบ Sensor ตรวจจับอยู่)

จากการศึกษาข้อมูลทั้งหมดแล้ว ทางสมาชิกกลุ่มได้ออกแบบเครื่องจำลองโครงสร้างระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสาร ขึ้นมาแต่ยังไม่ทราบขนาดที่เหมาะสมของแบบจำลองของห้องโดยสารดังนั้นจึงต้องศึกษาคำนวณหาขนาดของแบบจำลองที่เหมาะสมขึ้นมาเพื่อนำมาสร้างแบบจำลองระบบบังคับความเอียงในห้องโดยสารซึ่งมีวิธีการคำนวณดังแสดงในหัวข้อถัดไป

2.2 การคำนวณมุมที่เปลี่ยนไปในขณะเข้าโค้ง

มุมเอียง θ (θ) ที่เปลี่ยนแปลงไปขณะรถเข้าโค้งด้วยความเร็ว (v) และรัศมีความโค้งของถนน (r) ดังแสดงในรูป 2.8 สามารถคำนวณได้จากสมการ (a)



รูปที่ 2.8 ความเอียงของถนนขณะเข้าโค้ง

มุมที่เปลี่ยนไป คำนวณได้จากสมการ ต่อไปนี้

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v^2}{rg} \right) \quad (a)$$

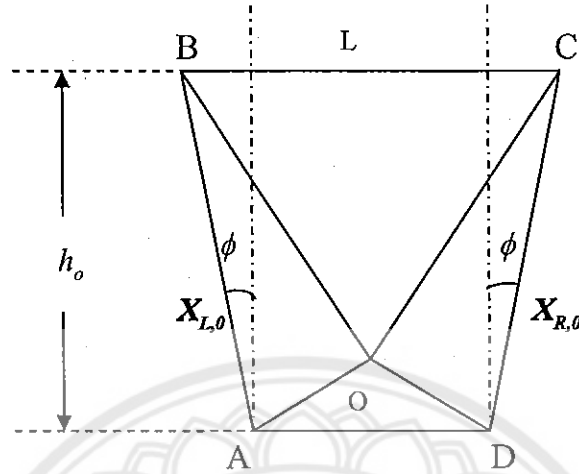
θ = มุมเอียงของถนน (หรือตัวรถ)

v = ความเร็ว

\hat{r} = รัศมีความโค้งของถนน

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

สามเหลี่ยม OBC ในรูปที่ 2.9 แทนโครงสร้างของห้องโดยสาร พร้อมกระบอคนิวเมติกส์ บังคับเลี้ยวในขณะที่ยังไม่เอียง เส้น AB และ CD คือความยาวของกระบอคนิวเมติกส์ที่สามารถยืดหดได้เพื่อบังคับความเอียงห้องโครงสร้างห้องโดยสารสามเหลี่ยม OAD เป็นฐานล้อที่อยู่กับที่



รูปที่ 2.9 ระยะเวลาของนิวเมติกส์ปกติที่ไม่มีการยืดหด

ระยะเวลาของกระบอคนิวเมติกส์ปกติที่ไม่มีการยืดหด สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$X_{R,0} = X_{L,0} = \frac{h_o}{\cos \phi}$$

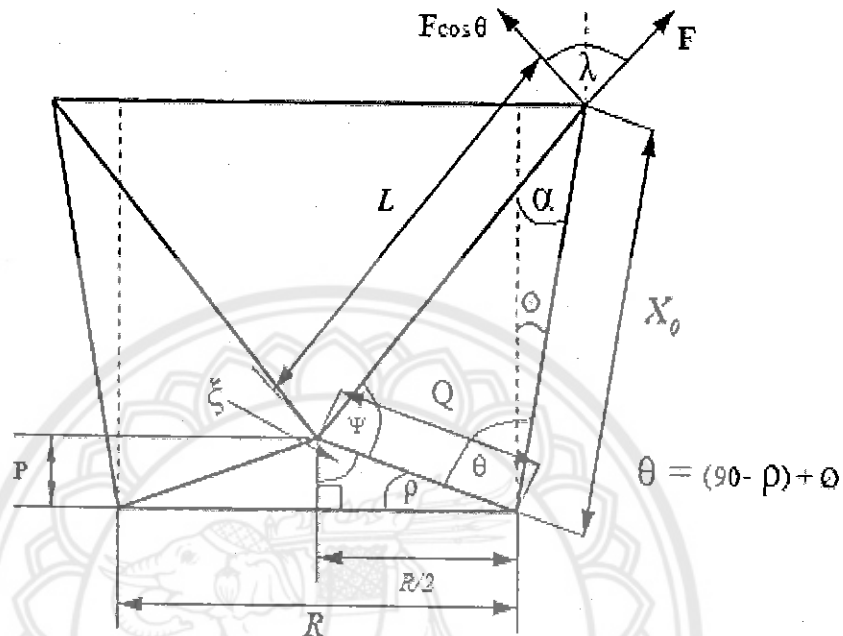
$X_{R,0} = X_{L,0}$ = ระยะเวลาของนิวเมติกส์ปกติ (ความยาว)

h_o = ความสูงทั้งหมดของนิวเมติกส์ในระยะเวลาปกติ

ϕ = มุมเอียงของนิวเมติกส์

2.3 การคำนวณหาความยาวและมุมต่างๆของโครงสร้าง

การคำนวณหาความยาวของเหล็กโครงสร้าง (L) ที่จะนำมาออกแบบโครงสร้าง และทำการคำนวณหามุมแต่ละมุมของชิ้นส่วน โครงสร้าง ที่จะนำมาทำให้เครื่องจำลองระบบนิวเมติกส์เพื่อให้เครื่องจำลองระบบนิวเมติกส์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด มีดังนี้



รูปที่ 2.10 ลักษณะการวางตัวของโครงสร้างระบบนิวเมติกส์ (ระยะปกติ)

กำหนดให้ : R , P และ X_0 คงที่

หาค่า Q ได้จากสมการ ;

$$Q = \sqrt{\left(\frac{R^2}{2}\right) + P^2} \quad (2.1)$$

หาค่า ρ ได้จากสมการ ;

$$\tan \rho = \left(\frac{P}{R/2}\right)$$

$$\rho = \tan^{-1}\left(\frac{P}{R/2}\right) \quad (2.2)$$

หาค่า ξ ได้จากสมการ ;

$$\xi = 180 - 90 - \rho \quad (2.3)$$

หาค่า θ ได้จากสมการ ;

$$\theta = (90 - \rho) + \phi \quad (2.4)$$

หาด้าน L ได้จากกฎของ Cosine ;

$$\begin{aligned} L^2 &= X_0^2 + Q^2 - 2X_0Q\cos\theta \\ L &= \sqrt{X_0^2 + Q^2 - 2X_0Q\cos\theta} \end{aligned} \quad (2.5)$$

หาค่ามุม ψ และมุม α โดยใช้กฎของ Sine ;

$$\frac{X_0}{\sin\psi} = \frac{Q}{\sin\alpha} = \frac{L}{\sin\theta}$$

จะได้

$$\frac{L}{\sin\theta} = \frac{X_0}{\sin\psi}$$

$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{X_0}{L} \sin\theta \right] \quad (2.6)$$

และ

$$\frac{L}{\sin\theta} = \frac{Q}{\sin\alpha}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left[\frac{Q}{L} \sin\theta \right] \quad (2.7)$$

สามารถหามุม λ ได้จาก ;

$$\lambda = 180 - 90 - \alpha \quad (2.8)$$

** โดยวิธีการคำนวณและการแทนค่าในสมการจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ข **

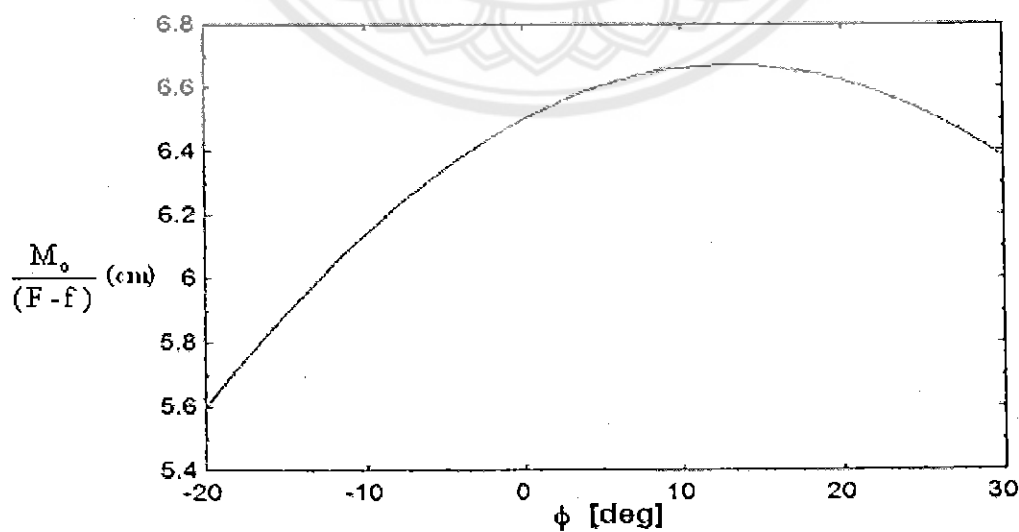
2.4 ตารางแสดงผลจากการคำนวณ

ลักษณะโครงสร้างที่พิจารณามี 3 แบบ แตกต่างกันที่มุมที่กระบอกนิวเมติกส์เทียบกับแนวตั้ง (ϕ) โดยแบบที่ 1 มีมุม $\phi = (10^\circ)$ แบบที่ 2 มีมุม $\phi = (0^\circ)$ แบบที่ 3 มีมุม $\phi = (-10^\circ)$

ตารางที่ 2.1 แสดงผลจากการคำนวณ

แบบ	ขนาดของมุม λ (องศา) (จากการคำนวณ)	ระยะ L (cm) (การวัดจากการคำนวณ)	$\frac{M_o}{(F-f)}$ (cm) (จากการคำนวณ)
1	69	18.199	6.522
2	70	19.335	6.613
3	69	17.038	6.106

นอกจากสมการที่คำนวณมาข้างต้นแล้วทางสมาชิกยังได้มีการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ โปรแกรมที่ใช้คำนวณนี้คือโปรแกรม Engineering Equation Solver (EES) ซึ่งเราได้ทำการป้อนค่าต่างๆ ลงสมการในโปรแกรม จากนั้นทำการรันค่าในโปรแกรม ทำให้ได้ค่าโมเมนต์และมุมที่เหมาะสม ดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.13 (สมการและตารางการรันโปรแกรมจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ข) เมื่อทราบค่ามุมและโมเมนต์ที่เหมาะสมคือ มุม ϕ ที่ทำให้เกิดโมเมนต์สูงสุดจะอยู่ในช่วงระหว่าง $10^\circ - 15^\circ$ เห็นได้ว่าโมเมนต์ที่ได้จะไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้น เราจึงได้เลือกใช้มุม ϕ ที่ 10° เพราะง่ายต่อการวัดมุมและการประกอบโครงสร้าง จากนั้นก็จะนำไปทำการออกแบบโครงสร้างแบบจำลองระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อ ต่อไป



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม ϕ กับ $\frac{M_o}{(F-f)}$ (cm)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงาน โดยเริ่มจากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบนิวมติกส์ เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องจำลองระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อ และทำการออกแบบชิ้นส่วนที่สำคัญและหาอุปกรณ์ต่างๆ จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองขึ้นมา โดยขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของระบบนิวมติกส์ และการทำงานของระบบควบคุมด้วยมือ

3.2 ออกแบบเครื่องจำลองการทำงานของระบบบังคับความเอียงของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อด้วยระบบนิวมติกส์ และออกแบบระบบควบคุมด้วยมือ (รูปที่ 2.9)

3.2.1 ออกแบบโครงสร้างแบบจำลองในโปรแกรม AutoCAD โดยทำการเปลี่ยนขนาดของความกว้างของฐานไปเรื่อยๆ พร้อมกับหาจุดหมุนไปด้วย (ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ติดตั้ง Potentiometer) และหาระยะยึดสูงสุดและระยะหัดสูงสุดของกระบอคนิวมติกส์

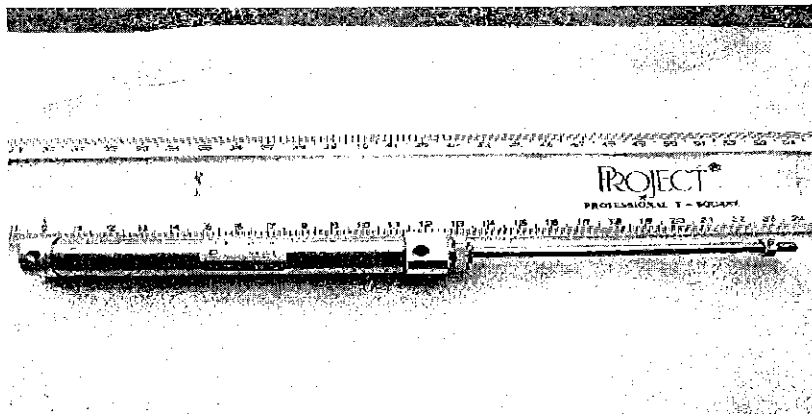
3.2.2 ออกแบบตัวจับยึดกระบอคนิวมติกส์

3.2.3 ออกแบบเหล็กโครงสร้าง

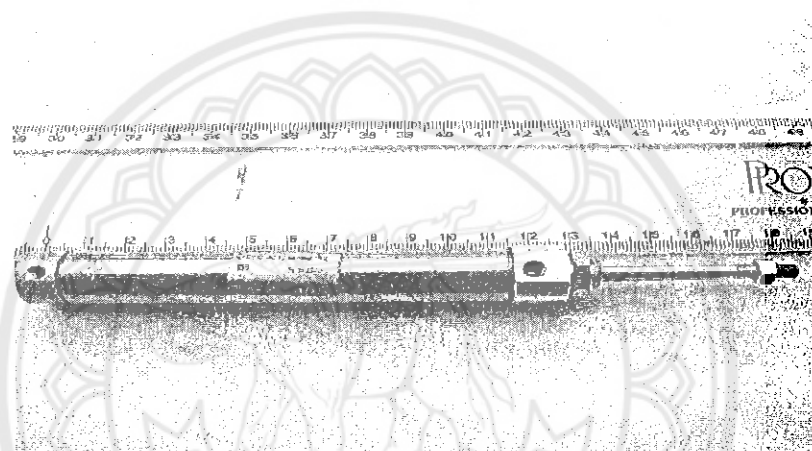
3.2.4 ออกแบบตัวล็อกเหล็กสามเหลี่ยมเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ในการไหลเข้า-ออกของเหล็กสามเหลี่ยม (รูปที่ 3.6)

3.2.5 จากนั้นทำการออกแบบท่อต่อลมที่จะทำการต่อจากวาล์วควบคุมเข้าสู่กระบอคนิวมติกส์

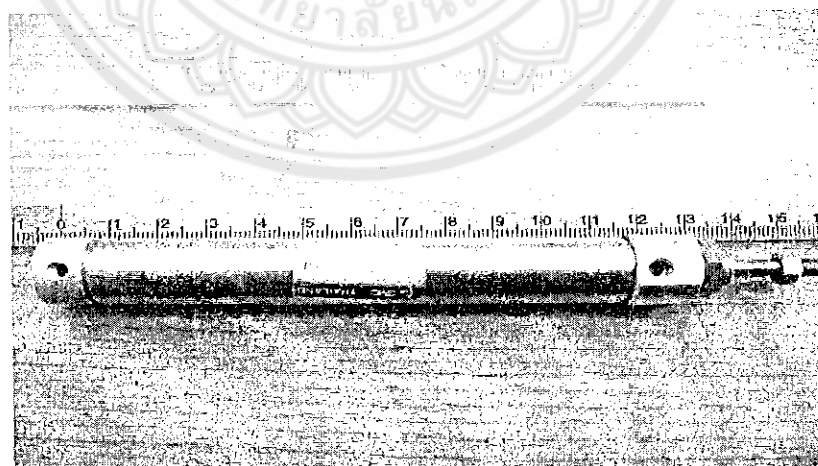
3.3 เมื่อออกแบบโครงสร้างแบบจำลองในโปรแกรม AutoCAD เสร็จแล้วก็จัดหากระบอคนิวมติกส์ที่มีช่วงการชักของกระบอคนิวมติกส์ และระยะการยึด-หัดสูงสุดใกล้เคียงกับที่เราได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งกระบอคนิวมติกส์ที่หามาได้คือมีช่วงของการชักเท่ากับ 10 cm. ระยะยึดสูงสุดเท่ากับ 23.5 cm. และระยะหัดสูงสุดเท่ากับ 13.5 cm.



รูปที่ 3.1 ระยะเวลาสูงสุดของกระบอกนิวมติกส์



รูปที่ 3.2 ระยะเวลากึ่งกลางของกระบอกนิวมติกส์

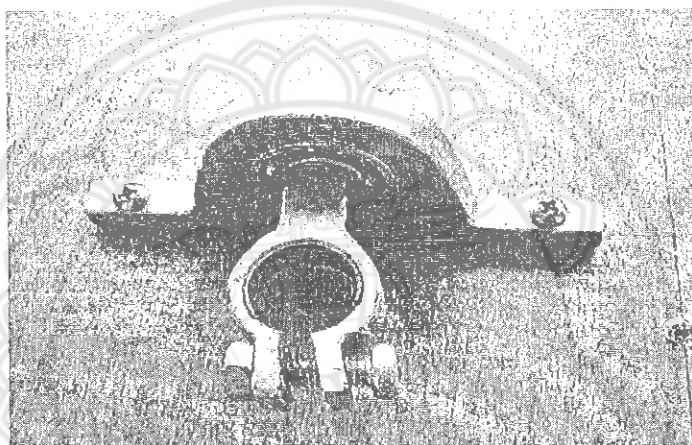


รูปที่ 3.3 ระยะเวลาหดสั้นสุดของกระบอกนิวมติกส์

3.4 กำหนดหาขนาดของโครงสร้างของเครื่องจำลอง โดยใช้ระยะของกระบอคนิวเมติกส์ที่หามาได้ ทำให้ทราบขนาดของฐาน ความสูงที่จะติดตั้ง Potentiometer และระยะยึด - หดสูงสุดของกระบอคนิวเมติกส์แล้ว ทำการกำหนดหาขนาดของเหล็กสามเหลี่ยม และขนาดมุมของโครงสร้าง ซึ่งในการคำนวณนั้นจะใช้ระยะกึ่งกลางของระยะยึด - หดสูงสุดของกระบอคนิวเมติกส์ (รูปที่ 2.10) (การคำนวณและผลการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

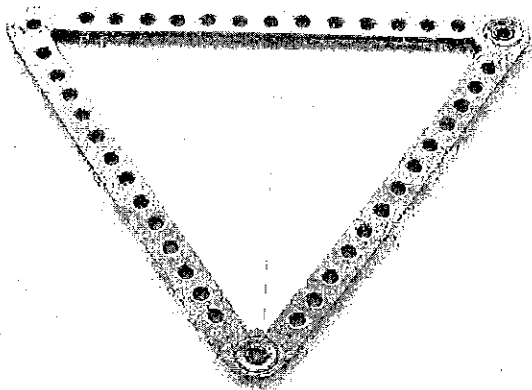
3.5 ออกแบบชิ้นส่วนที่สำคัญ และจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ

3.5.1 เมื่อออกแบบตัวจับหรือตัวล็อคนิวเมติกส์แล้วก็ให้โรงกลึงเหล็กเป็นผู้ทำขึ้นมา



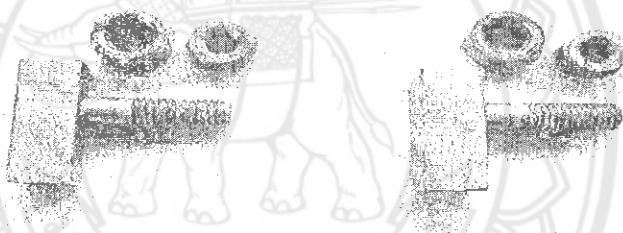
รูปที่ 3.4 ตัวล็อคกระบอคนิวเมติกส์

3.5.2 ตัดเหล็กแผ่นที่มีความหนาขนาด 0.6 cm ให้เป็นรูปสามเหลี่ยม จากนั้นทำการเจาะรูไปบนเหล็กสามเหลี่ยมให้มีขนาดของรูเจาะและระยะห่างระหว่างรูเท่ากัน เพื่อช่วยลดน้ำหนักของเหล็กสามเหลี่ยม จากนั้นก็ใส่แบริ่งเข้าไปที่มุมของเหล็กสามเหลี่ยมจำนวน 1 ตัว 2 มุม ส่วนอีกมุมหนึ่งไม่ใส่แบริ่งเข้าไป เพราะอีกมุมหนึ่งเราจะทำการยึดติดกับ Potentiometer



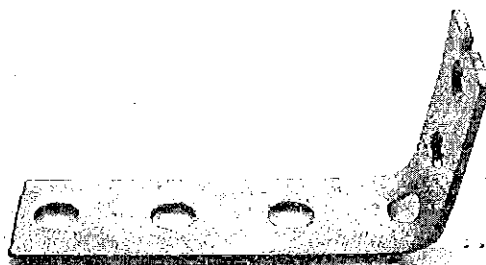
รูปที่ 3.5 โครงสร้างของเหล็กสามเหลี่ยม

3.5.3 ทำตัวล็อกเหล็กสามเหลี่ยม โดยการเจาะรูทำเดือยยื่นออกมาให้สวมเข้ากับรูของแมริงพอดี้ และเจาะรูทำเกลียวขันเข้ากับปลายกระบอคนิวแมติกส์



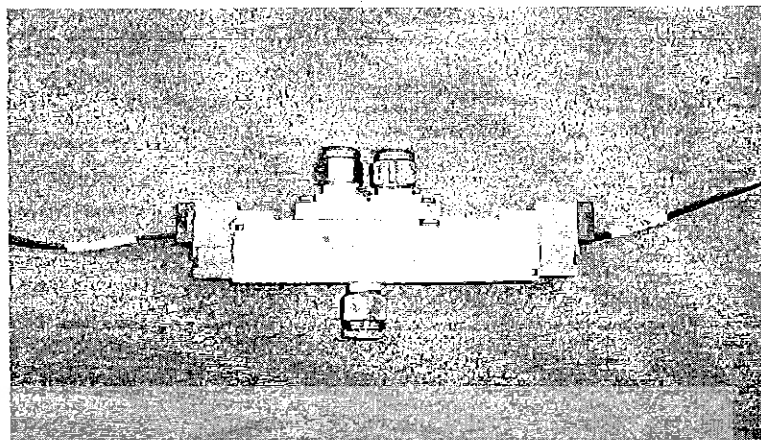
รูปที่ 3.6 ตัวล็อกเหล็กสามเหลี่ยม

3.5.4 ทำฐานยึด Potentiometer โดยการตัดเหล็กให้เป็นมุมฉาก ดังรูปที่ 3.7



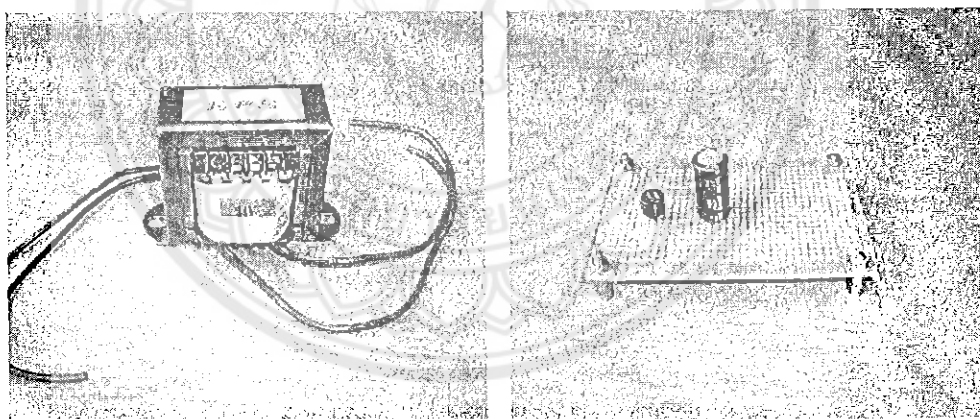
รูปที่ 3.7 ฐานยึด Potentiometer

3.5.5 จัดหาตัววาล์วควบคุมทิศทาง (Solenoid Valve ชนิด 5/3) ไฟฟ้ากระแสตรงตรง 24 V (24VDC) พร้อมกับข้อต่อวาล์วและท่อลมที่สามารถทนความดันได้ 7 bar



รูปที่ 3.8 วาล์วควบคุมทิศทาง (Solenoid Valve ชนิด 5/3)

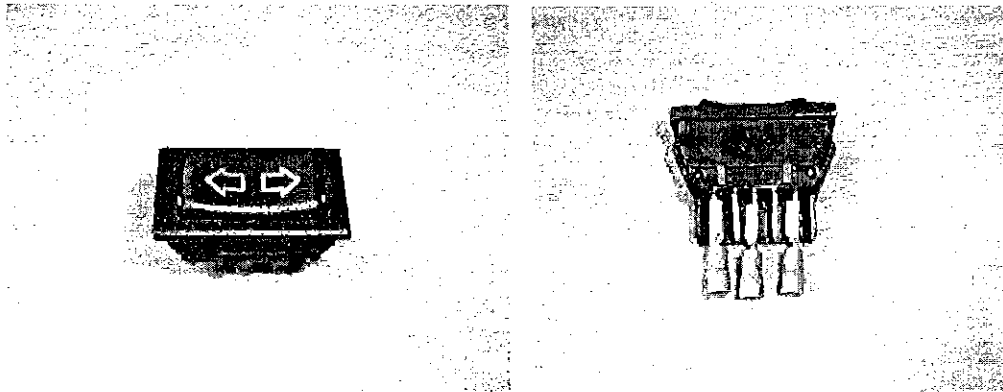
3.5.6 หาหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 220 วัตต์ สวิตช์ไฟฟ้า แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ควบคุมหน้าจอดีแสดงผลการเปลี่ยนแปลงของมุมจาก Potentiometer



(a)

(b)

รูปที่ 3.9 (a) หม้อแปลงไฟฟ้า และ (b) แผงวงจร

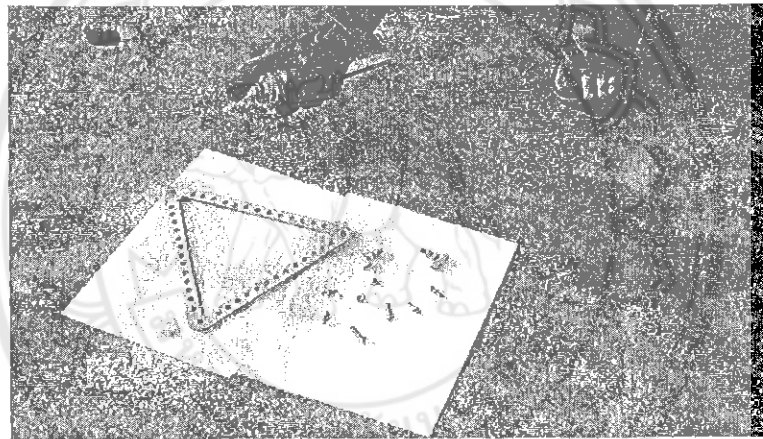


(a) ภาพด้านบนแสดงปุ่มกด

(b) ภาพด้านล่างแสดงขั้วต่อไฟฟ้า

รูปที่ 3.10 สวิตซ์ไฟฟ้า

3.6 นำชิ้นส่วน โครงสร้างที่เป็นเหล็กมาพ่นสีเพื่อป้องกันการเกิดสนิม

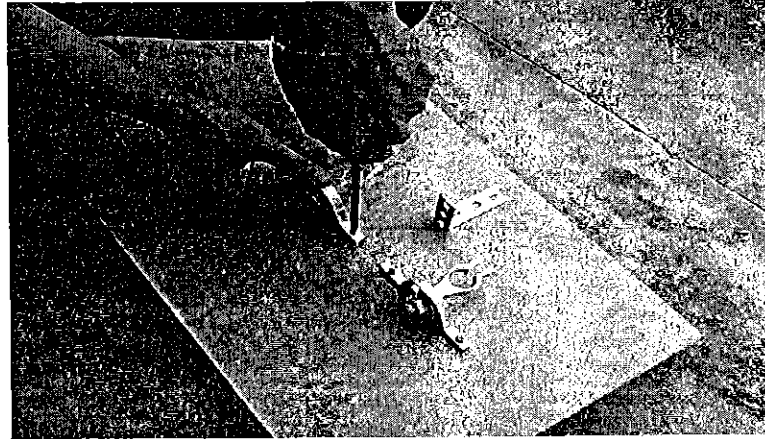


รูปที่ 3.11 การพ่นสีชิ้นส่วนที่เป็นเหล็ก

3.7 นำชิ้นส่วนที่สำคัญและอุปกรณ์ทั้งหมดมาประกอบเพื่อทำโครงสร้างแบบจำลอง และประกอบชุดควบคุมด้วยมือให้สมบูรณ์

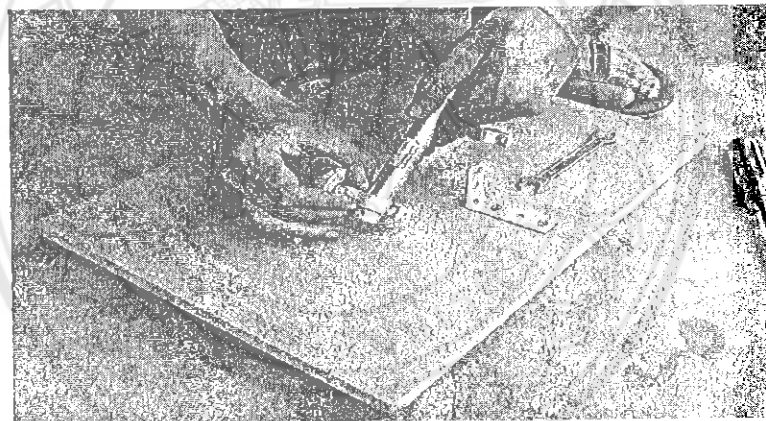
3.7.1 ตัดแผ่นไม้อัดให้มีขนาด กว้าง 35 cm x ยาว 70 cm x หนา 1.8 cm เพื่อให้มีพื้นที่เหมาะสมสำหรับการวางอุปกรณ์ทั้งหมด

3.7.2 นำตัวล็อกนิวเมติกส์มายึดติดกับฐานรอง (แผ่นไม้)



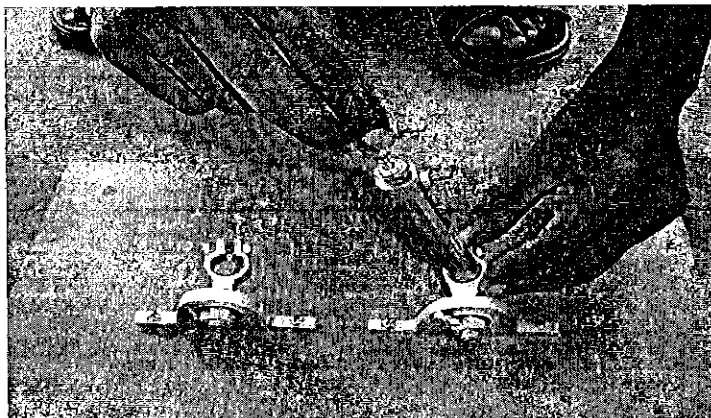
รูปที่ 3.12 ยึดตัวล็อกกระบอคนิวเมติกส์กับฐาน

3.7.3 จากนั้นนำกระบอคนิวเมติกส์มายึดติดกับตัวล็อกนิวเมติกส์



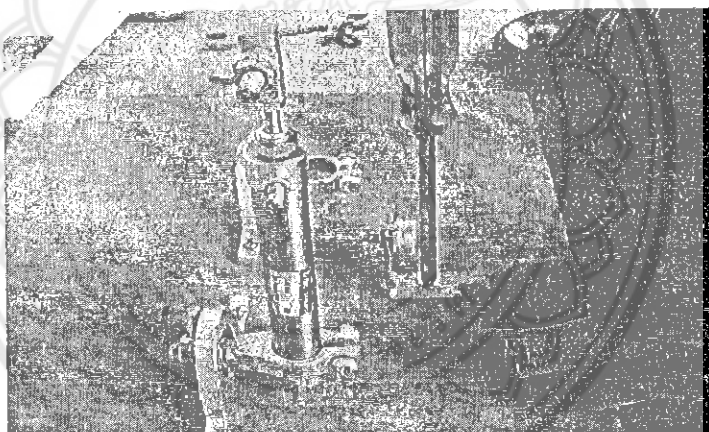
รูปที่ 3.13 นำกระบอคนิวเมติกส์มาติดกับตัวล็อก

3.7.4 นำตัวล๊อคเหล็กสามเหลี่ยมมายึดกับปลายท่อของกระบอกนิวเมติกส์



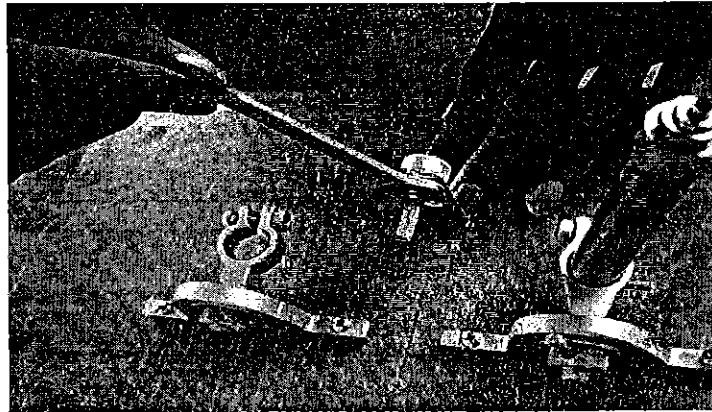
รูปที่ 3.14 ติดตัวล๊อคเหล็กสามเหลี่ยมกับปลายนิวเมติกส์

3.7.5 นำฐานยึด Potentiometer มายึดติดกับฐานรอง (แผ่นไม้)



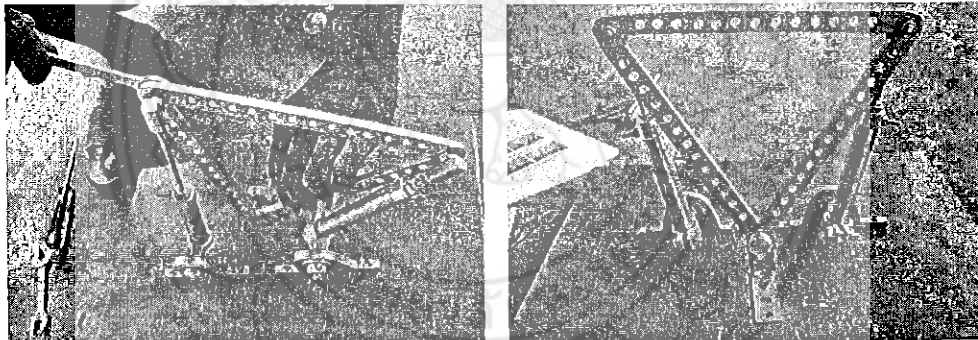
รูปที่ 3.15 นำฐานยึด Potentiometer มาติดกับฐานรอง

3.7.6 นำ Potentiometer มายึดติดกับตัวตัววัดให้มีความสูงเท่ากับ 1.5 cm



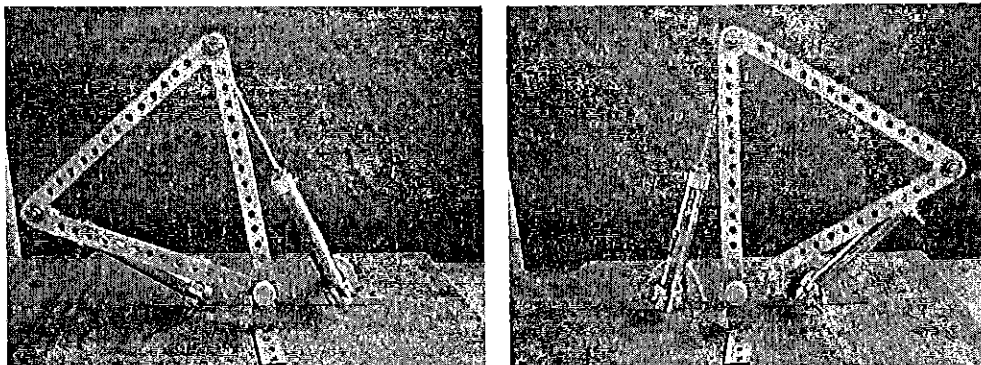
รูปที่ 3.16 นำ Potentiometer มาติดกับตัววัด

3.7.7 นำเหล็กสามเหลี่ยมมาติดกับตัวล็อกเหล็กสามเหลี่ยม และติดกับ Potentiometer แล้วทำการขันน็อตให้แน่น จากนั้นทำการเช็การเอียงตัวของแบบจำลอง



(a) การติดตั้งเหล็กสามเหลี่ยม (b) โครงสร้างสามเหลี่ยมเมื่อติดตั้งเสร็จแล้ว

รูปที่ 3.17 การติดตั้งเหล็กสามเหลี่ยม

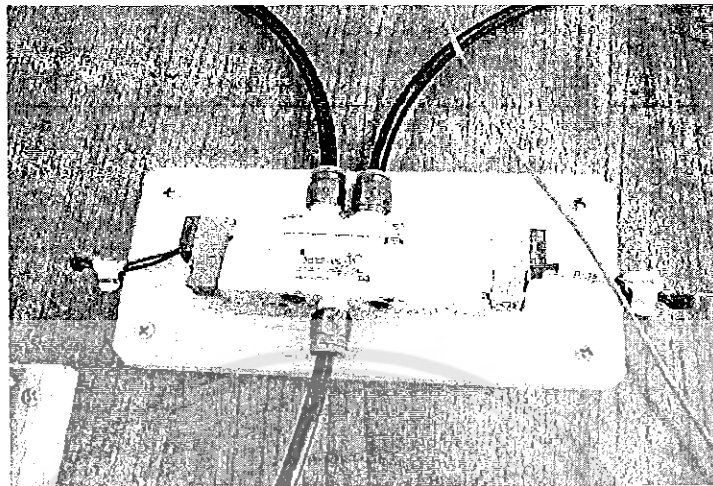


(a) ทดสอบการเอียงของโครงสร้าง (ด้านซ้าย) (b) ทดสอบการเอียงของโครงสร้าง (ด้านขวา)

รูปที่ 3.18 การทดสอบการเอียงตัวของแบบจำลอง

๖ ๗๒๐๓๔๗๐

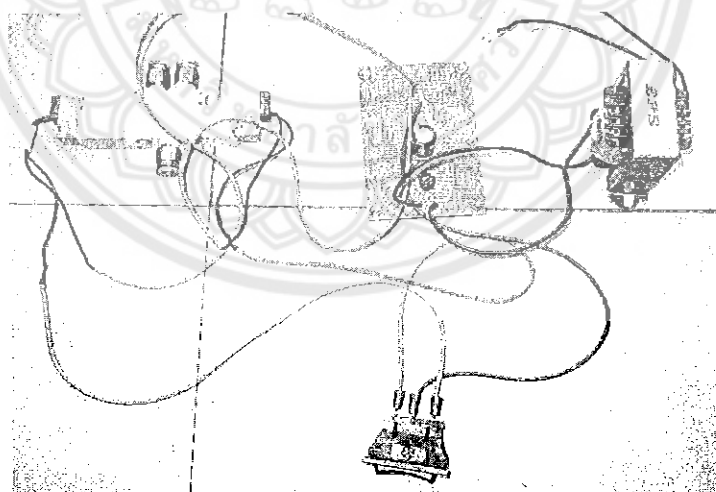
3.7.8 นำปลายท่อลมที่เหลือจากการต่อจากวาล์วควบคุมไปต่อกับกระบอกนิวแมติกส์ โดยที่ท่อลมอีกเส้นหนึ่งจะต่อเข้ากับปั๊มลมที่อีกด้านหนึ่งของวาล์วควบคุม



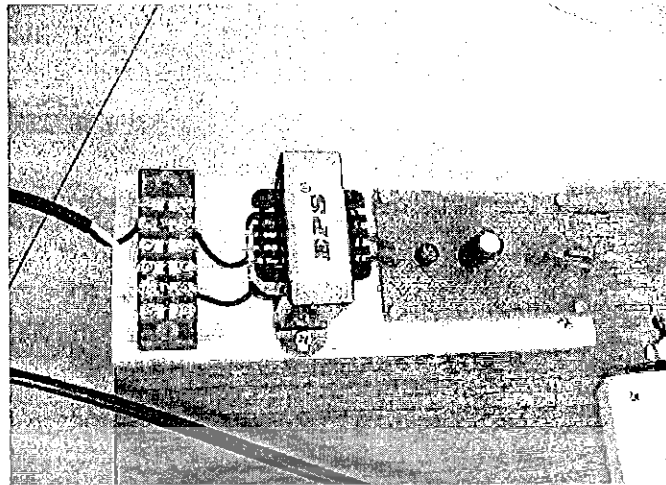
5200082

รูปที่ 3.19 นำท่อลมที่เหลืออีกด้านไปต่อกับปั๊มลม โดยผ่านทางวาล์วควบคุม

3.7.9 นำสายไฟที่ต่อจากวาล์วควบคุมไปต่อกับสวิตช์ไฟฟ้า โดยจะมีชุดควบคุมเป็นตัวสั่งการทั้งหมด

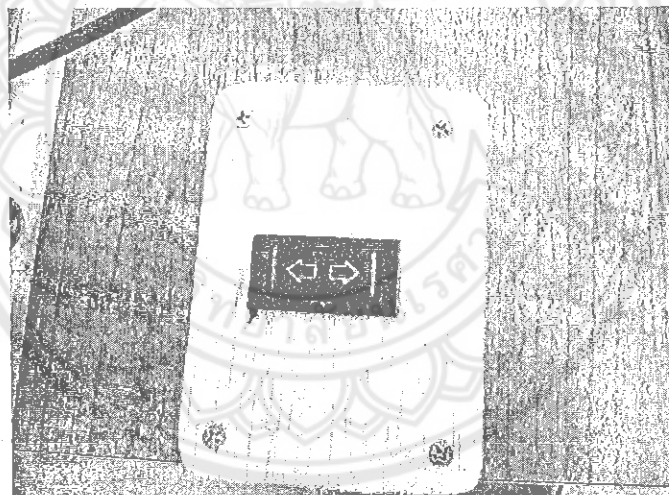


(a) ชุดอุปกรณ์ควบคุมทั้งหมด



(b) ชุดควบคุมไฟฟ้าที่พร้อมใช้งาน

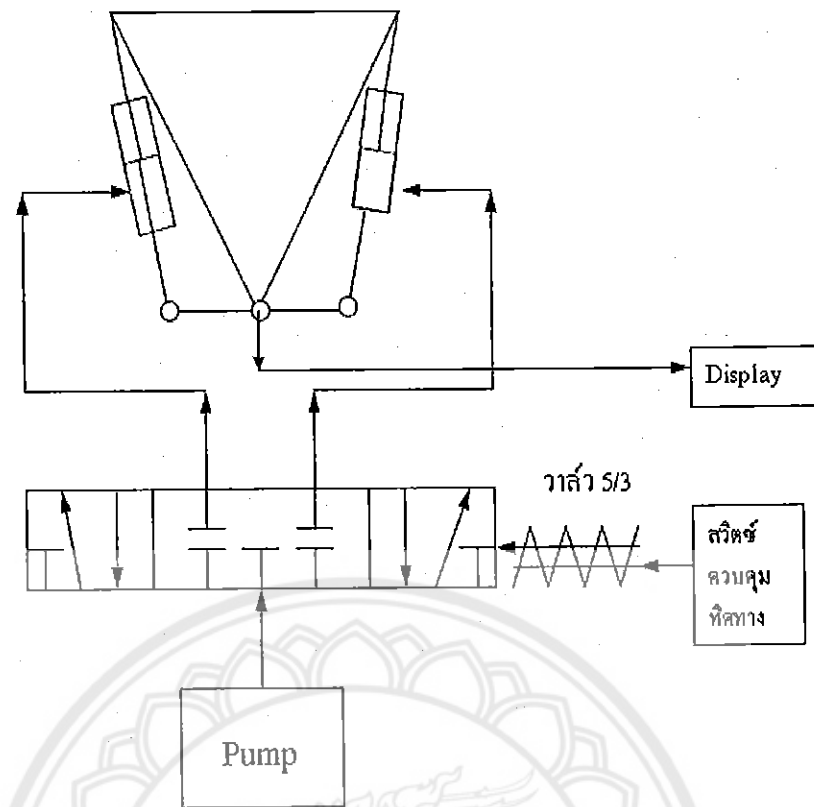
รูปที่ 3.20 ชุดควบคุมไฟฟ้า



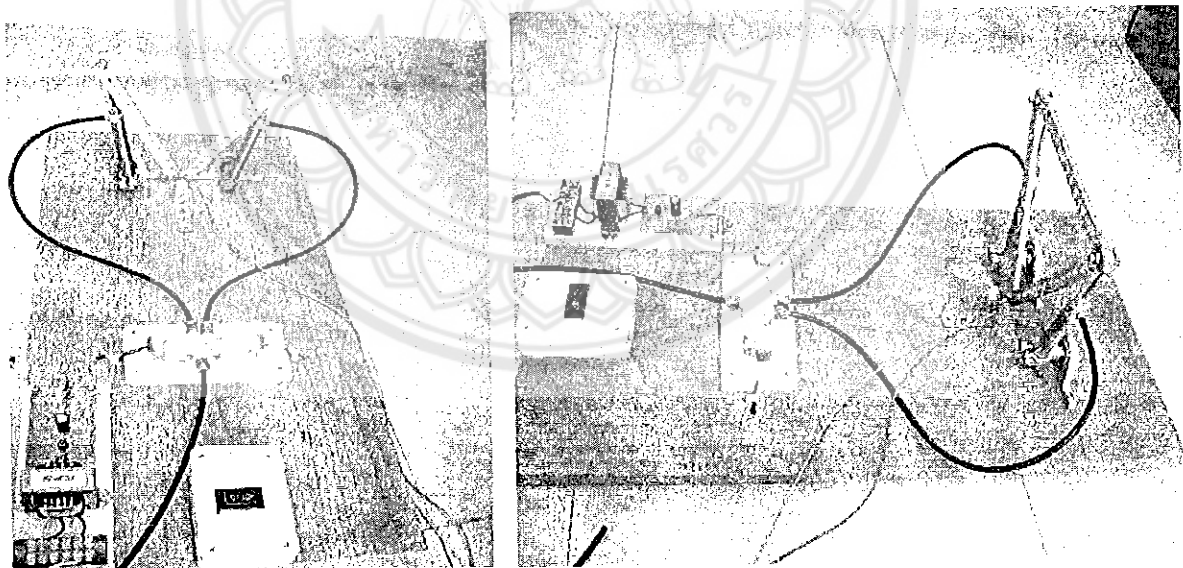
รูปที่ 3.21 กล่องสวิทส์ควบคุมทิศทาง ช้าย-ขวา

3.7.10 นำสายไฟที่ต่อจาก Potentiometer ไปต่อกับหน้าจอแสดงผล โดยที่หน้าจอแสดงจะไปต่อกับชุดควบคุมอีกทีหนึ่ง

3.8 นำแบบจำลองโครงสร้างระบบบังคับความเร็วของห้องโดยสารในรถยนต์สามล้อมาต่อกับชุดควบคุมด้วยมือ โดยที่มีวาล์วควบคุมและสวิทซ์ไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดทิศทางการไหลเข้า-ออกของลมที่จะไหลเข้าสู่ระบบนิวเมติกส์ (รูปที่ 3.22)



(a) ภาพแผนภูมิแสดงลักษณะการทำงานของระบบควบคุม



ด้านหน้า

ด้านหลัง

(b) ภาพถ่ายชุดอุปกรณ์ควบคุม

รูปที่ 3.22 แบบจำลองโครงสร้างเมื่อต่อกับชุดควบคุม

3.9 ทำการทดสอบ และบันทึกผลการทดสอบ

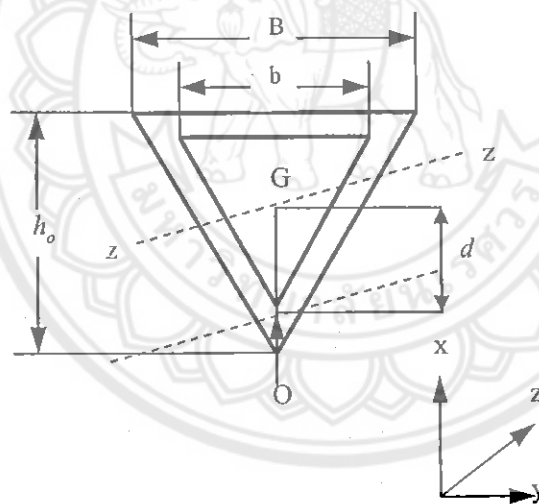
บทที่ 4

ผลการทดลอง

เนื่องจากโมเมนต์ความเฉื่อย มีความสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบระบบควบคุมแบบย้อนกลับได้ (feedback control) ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดค่าของโมเมนต์ความเฉื่อยจากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎี สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

4.1 การคำนวณหาโมเมนต์เฉื่อย

การคำนวณหาโมเมนต์เฉื่อย (Moment of Inertia) จากทฤษฎีของโครงสร้างสามเหลี่ยม สามารถคำนวณหาโมเมนต์เฉื่อยได้จากสมการ $I_G = \left[\frac{1}{12} (MB^2 - mb^2) \right]$ และเมื่อเราได้ค่าโมเมนต์เฉื่อย รอบจุด (G) แล้วเราสามารถคำนวณหาโมเมนต์เฉื่อยรอบจุด O (ในรูปที่ 4.1) ได้ โดยวิธีการย้ายจุดหมุน และสามารถคำนวณได้จากสมการ $I_O = I_G + (M - m)d^2$



รูปที่ 4.1 แนวแกนที่หมุนของโครงสร้างสามเหลี่ยม

- เมื่อ M และ m คือ น้ำหนักของโครงสร้างสามเหลี่ยมใหญ่และเล็ก
 B และ b คือ ความยาวด้านของโครงสร้างสามเหลี่ยมใหญ่และเล็ก
 d คือ ระยะของจุดหมุนของโครงสร้างสามเหลี่ยม ($d = \frac{2h}{3}$)
 h_o คือ ความสูงที่ตั้งฉากของโครงสร้างสามเหลี่ยมจากฐานถึงปลาย
 (ดังแสดงในรูปที่ 4.1)

เพราะฉะนั้นค่า โมเมนต์เฉื่อย ของโครงสร้างสามเหลี่ยมรอบจุด O ที่ได้จากทฤษฎีคือ

$$I_o = 0.0122 \text{ kg.m}^2$$

4.2 การทดลองหาค่าโมเมนต์เฉื่อย

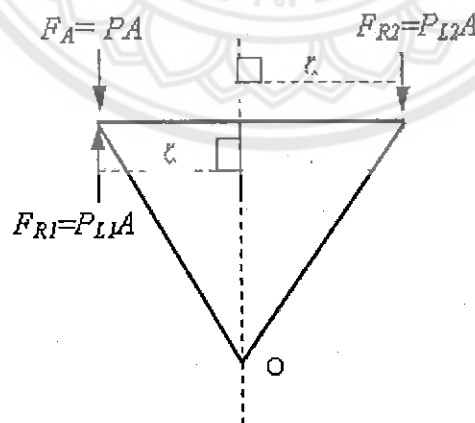
ในการทดลองครั้งนี้ได้มีการทดลองที่ความดันต่างๆ 3 ความดันที่แตกต่างกัน โดยทำการจดบันทึกเวลา (t) ที่ได้ของโครงสร้างสามเหลี่ยมที่มีการเคลื่อนที่จากซ้ายสุดไปขวาสุด หรือจากขวาสุดมาซ้ายสุด โดยทำการลองที่ความดันแต่ละค่าจำนวน 10 ครั้งและทำการหาค่าเฉลี่ยของเวลา (t) ออกมาเพื่อที่จะนำค่าเฉลี่ยของเวลา (t) ที่ได้นำมาคำนวณหาโมเมนต์เฉื่อย ต่อไป (เวลาที่ได้มีการจดบันทึกทั้งหมดแสดงอยู่ที่ภาคผนวก ข)

การคำนวณหาโมเมนต์ของแรงที่กระทบกับรูปสามเหลี่ยมรอบจุด O ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (โครงสร้างสามเหลี่ยมที่เคลื่อนที่รอบจุด O) และสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

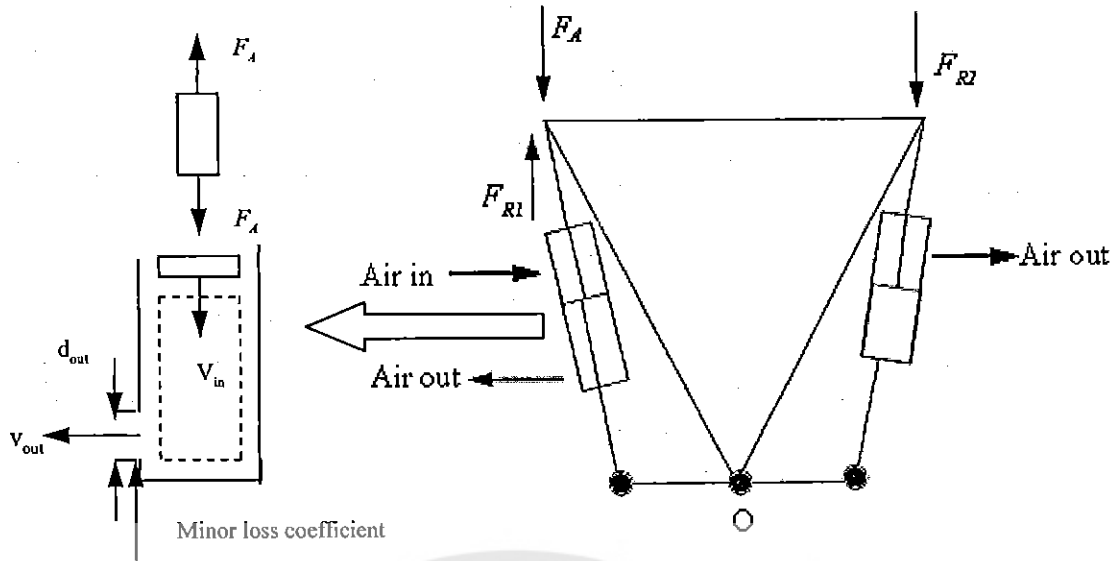
$$\sum M = (F \cdot r) = (F_A \cdot r) - (F_{R1} \cdot r) - (F_{R2} \cdot r)$$

$$\sum M = (F_A \cdot r) - [(F_{R1} + F_{R2}) \cdot r]$$

เมื่อ $F_A = PA$, $F_{R1} = \Delta P_{L1}A$ และ $F_{R2} = \Delta P_{R2}A$ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โครงสร้างสามเหลี่ยมที่เคลื่อนที่รอบจุด O



รูปที่ 4.3 แสดงแรงที่กระทำกับกระบอกนิวมดิกส์ (ทิศทางออกด้านล้างกระบอก)

แรงดันของอากาศที่ค้างอยู่ในกระบอกที่พยายามจะอัดอากาศออก (F_{R1}) สามารถหาได้จากผลต่างของความดันที่เกิดจากการอัดอากาศออกจากกระบอกนิวมดิกส์ (ΔP_{L1} ดังแสดงในรูปที่ 4.3) สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\Delta P = \Delta P_L = \rho g h_{L1}$$

สามารถหาค่า h_L ได้จากสมการต่อไปนี้

$$h_{L1} = K_L \frac{V_{out,1}^2}{2g}$$

จากกฎทรงมวลจะได้ว่า

$$V_{in} A_{in} = V_{out,1} A_{out,1}$$

$$V_{out,1} = V_{in} \frac{A_{in}}{A_{out,1}} = V_{in} \frac{D^2 - D_s^2}{d_{out}^2}$$

นำค่า $V_{out,1}$ ไปแทนลงใน h_L จะได้เป็น

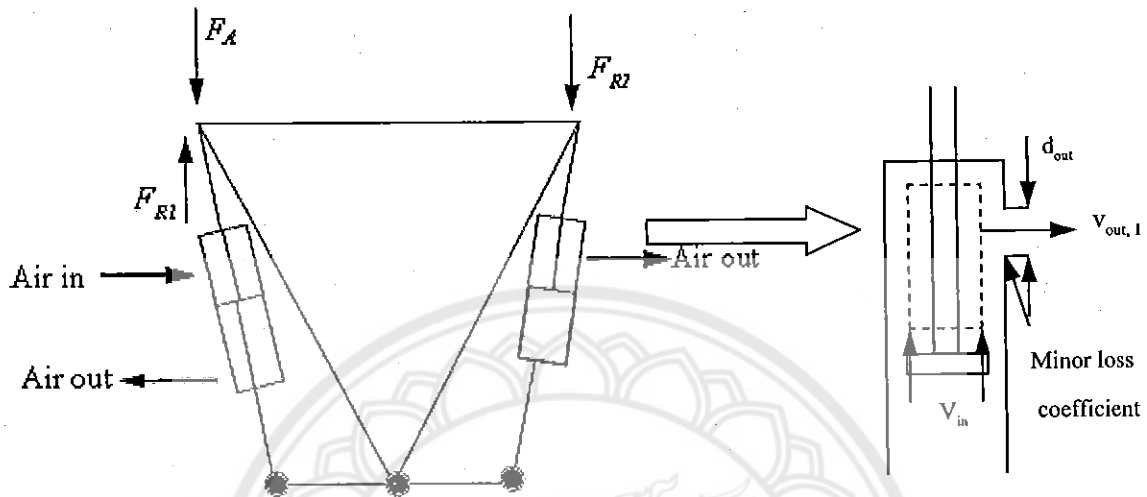
$$h_{L1} = K_L \frac{\left(V_{in} \frac{D^2 - D_s^2}{d_{out}^2} \right)^2}{2g}$$

นำค่า h_L ที่ได้ไปแทนลงใน ΔP_L จะได้ว่า

$$\Delta P = \Delta P_{L1} = \rho g K_L \frac{\left(V_{in} \frac{D^2 - D_s^2}{d_{out}^2} \right)^2}{2g} = \frac{1}{2} \rho K_L V_{in}^2 \frac{(D^2 - D_s^2)^2}{d_{out}^4}$$

จากนั้นนำค่า $\Delta P = \Delta P_{L1}$ ไปแทนลงในสมการ $F_{R1} = \Delta P_{L1} A$ จะได้ว่า

$$F_{R1} = \frac{1}{8} \pi \rho K_L V_{in}^2 \frac{(D^2 - D_s^2)^4}{d_{out}^4}$$



รูปที่ 4.4 แสดงแรงที่กระทำกับกระบอกนิวมेटริกส์ (ทิศทางออกด้านบนกระบอก)

แรงต้านของอากาศที่ค้างอยู่ในกระบอกที่พยายามจะอัดอากาศออก (F_{R2}) สามารถหาได้จากผลต่างของความดันที่เกิดจากการอัดอากาศออกจากกระบอกนิวมेटริกส์ ΔP_{L2} ดังแสดงในรูปที่ 4.4 สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\Delta P = \Delta P_{L2} = \rho g h_{L2}$$

สามารถหาค่า h_{L2} ได้จากสมการต่อไปนี้

$$h_{L2} = K_L \frac{V_{out,2}^2}{2g}$$

จากกฎทรงมวลจะได้ว่า

$$V_{in} A_m = V_{out,2} A_{out,2}$$

$$V_{out,2} = V_{in} \frac{A_{in}}{A_{out,2}} = V_{in} \frac{D^2}{d_{out}^2}$$

นำค่า $V_{out,2}$ ไปแทนลงใน h_{L2} จะได้เป็น

$$h_{L2} = K_L \frac{(V_{in} \frac{D^2}{d_{out}^2})^2}{2g}$$

นำค่า h_{L2} ที่ได้ไปแทนลงใน ΔP_L จะได้ว่า

$$\Delta P = \Delta P_{L2} = \rho g K_L \frac{(V_{in} \frac{D^2}{d_{out}^2})^2}{2g} = \frac{1}{2} \rho K_L V_{in}^2 \frac{D^4}{d_{out}^4}$$

จากนั้นนำค่า $\Delta P = \Delta P_{L2}$ ไปแทนลงในสมการ $F_{R2} = \Delta P_{L2} A$ จะได้ว่า

$$F_{R2} = \frac{1}{8} \pi \rho K_L V_{in}^2 \frac{D^6}{d_{out}^4}$$

เมื่อเราได้โมเมนต์ของแรงรอบจุด O แล้ว ต่อไปก็คำนวณหาค่าของความเร็วเชิงมุมเฉลี่ย ($\bar{\omega}$) โดยสมมุติให้โครงสร้างสามเหลี่ยมมีการเคลื่อนที่ไปเป็นมุม 90 องศา และเวลาที่ใช้ในการคำนวณก็ใช้เป็นเวลาเฉลี่ย สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

$$\bar{\omega} = \frac{\theta}{t} = \frac{\pi/2}{t} \text{ rad/s ; เมื่อ } \theta = 90 \text{ องศา} = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

เมื่อ t คือ เวลาเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของโครงสร้างสามเหลี่ยม ณ ความดันนั้นๆ

เมื่อเราได้ค่าความเร็วเชิงมุม ($\bar{\omega}$) แล้ว เราก็สามารถประมาณความเร่งเชิงมุม ($\bar{\alpha}$) ได้ โดยที่เราจะทำการคิดว่าโครงสร้างสามเหลี่ยม เคลื่อนที่มาอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ดังนั้นเวลา (t) ที่ใช้จึงต้องลดลงครึ่งหนึ่ง สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

$$\bar{\alpha} = \frac{\bar{\omega}}{t/2} \text{ rad/s}^2$$

เมื่อได้ค่าทุกค่าตามที่ต้องการแล้วเราก็สามารถคำนวณหาโมเมนต์เฉื่อยได้จากสมการต่อไปนี่ (วิธีการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข)

$$\bar{I}_{o,ex} = \frac{\sum M}{\alpha}$$

ตารางแสดงผลการทดลอง

การทดลอง	P (Bar)	$F_{R1} + F_{R2}$ (N)	$\sum M_o$ (N.m)	$\bar{\omega}$ (rad/s)	$\bar{\alpha}$ (rad/s ²)	$\bar{I}_{o,ex}$ (N.m/s ²)	ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าจากทฤษฎี
1	2.25	25×10^{-4}	1.663	6.41	52.33	0.0317	61 %
2	2.50	28.5×10^{-4}	1.847	6.98	62.05	0.0297	59 %
3	2.75	32×10^{-4}	2.032	7.42	71.24	0.0285	57 %

*โมเมนต์ความเฉื่อยที่ได้จากทฤษฎีมีค่าเท่ากับ $I_o = 0.0122 \text{ kg.m}^2$

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการคำนวณทางทฤษฎี ค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นยังไม่ใช่ค่าที่ถูกต้อง 100 % เพราะในการคำนวณในครั้งนี้ไม่ได้พิจารณารูปร่างของรูปสามเหลี่ยม ดังนั้นค่าที่ได้จากทฤษฎีในครั้งนี้จึงเป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

ในการทดลองได้ทดสอบปรับความดันที่ใช้ในการดันให้โครงสร้างสามเหลี่ยมเริ่มมีการเคลื่อนที่ โดยที่ทำการปรับที่ความดันน้อยๆก่อน พบว่าที่ความดัน 2.25 Bar สามารถทำให้โครงสร้างสามเหลี่ยมเริ่มเกิดการเคลื่อนที่ จากนั้นก็ทำการค่อยๆปรับความดันขึ้นทีละน้อยๆ โดยทำการปรับความดันไปที่ 2.50 Bar และ 2.75 Bar ตามลำดับ โดยทำการทดลองที่ความดัน 3 ค่า และทำการบันทึกผลการทดลอง โดยทำการจดบันทึกเวลาที่โครงสร้างสามเหลี่ยมใช้ในการเคลื่อนที่จากซ้ายสุด ไปยังขวาสุด โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมดจำนวน 10 ครั้ง ในแต่ละความดัน เพื่อหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ออกมา

จากการวิเคราะห์ พบว่าแรง (F_p) ที่กระทำกับกระบอกนิวเมติกส์และความฝืดต่างๆ มีผลต่อโมเมนต์เฉื่อย คือ ถ้าแรง (F_p) ที่กระทำกับกระบอกนิวเมติกส์มีมากจะทำให้ค่าของโมเมนต์เฉื่อยมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ ถ้าความฝืด (F_f) มีมากจะทำให้ค่าของโมเมนต์เฉื่อยมีค่าน้อยลง

จากผลการทดลองทั้งจากทฤษฎีและจากการทดลอง พบว่าค่าของโมเมนต์เฉื่อย ที่ได้จากการทดลองและจากการทฤษฎีมีค่าแตกต่างกันมาก ด้วยค่าความคลาดเคลื่อน 57%- 61% ซึ่งเป็นสิ่งที่สมเหตุสมผลกันแล้ว เพราะในทางทฤษฎีเราพิจารณาเฉพาะ โครงสามเหลี่ยมเท่านั้น แต่ในการทดลองจริงจะมีองค์ประกอบหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความฝืด เป็นต้น

ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดจาก ความฝืดของส่วนประกอบต่างๆ ที่ไม่ได้นำมาพิจารณาร่วมด้วย เช่น ความฝืดระหว่างลูกสูบกับผนังของกระบอกนิวเมติกส์ทั้งสองข้าง ความฝืดที่ตำแหน่งที่ติด Potentiometer อากาศที่ถูกดูดเข้ามายังกระบอกนิวเมติกส์อีกด้านหนึ่งซึ่งเข้ามาทางด้านล่างของกระบอก เป็นต้น และผู้ทำการทดลองเองในการจับเวลา ทำให้ผลการทดลองที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อนดังกล่าว

ในรถยนต์สามล้อของจริง ถ้าโมเมนต์เฉื่อยมากจะส่งผลทำให้แรงที่ใช้บังคับการเอียงของห้องโดยสารมีมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นผู้ผลิตรถยนต์สามล้อแบบห้องโดยสารเอียงได้ จึงใช้ระบบ Hydraulic แทนที่จะใช้ Pneumatic เพราะ Hydraulic สามารถรับแรงได้มากกว่า Pneumatic

ข้อเสนอแนะ

- ควรใช้เครื่องมือจับเวลาขณะทำการทดลองที่มีความแม่นยำ หรือใช้ accelerometer ในการวัดความเร่งของการเคลื่อนที่ของโครงสร้างสามเหลี่ยม
- ในการทดลองระบบควบคุมแบบย้อนกลับได้ (feedback control) ควรใช้ค่าเริ่มต้นโมเมนต์เฉื่อยที่อยู่ระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎี และค่าจากการทดลอง เพื่อนำไปสู่ค่าที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง



บรรณานุกรม

- [1] ที่มา:โครงการเมาไม่ขับ สถาบันการแพทย์ด้านอุบัติเหตุและสาธารณสุขภัย
- [2] ที่มา งานป้องกันควบคุมโรค สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอ่างทอง
- [3] www.clever-project.net (สืบค้น ณ เดือน สิงหาคม 2550)
- [4] www.vtwinwines.com (สืบค้น ณ เดือน สิงหาคม 2550)
- [5] www.countyimports.com (สืบค้น ณ เดือน สิงหาคม 2550)
- [6] www.21stcentury.com (สืบค้น ณ เดือน สิงหาคม 2550)
- [7] www.bobleroi.com (สืบค้น ณ เดือน สิงหาคม 2550)
- [8] www.conceptcarz.com (สืบค้น ณ เดือน สิงหาคม 2550)
- [9] www.ecotality.com (สืบค้น ณ เดือน กันยายน 2550)
- [10] ณรงค์ ตันชีวะวงศ์. นิวเมติกส์และไฮดรอลิกส์เบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2542.
- [11] ประวิตร ทิมประวัตนะ. นิวเมติกส์ – ไฮดรอลิกส์. วิทยาลัยเทคโนโลยี และอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทคนิคขอนแก่น (ไทย - เยอรมัน), 2524.
- [12] www.chontech.ac.th (สืบค้น ณ เดือน กันยายน 2550)
- [13] www.rstudio.de (สืบค้น ณ เดือน กันยายน 2550)
- [14] <http://www.sptc.ac.th> (สืบค้น ณ เดือน กันยายน 2550)

ภาคผนวก





อุปกรณ์ระบบนิวเมติกส์

อุปกรณ์ในระบบนิวเมติกส์ ที่สำคัญได้แก่

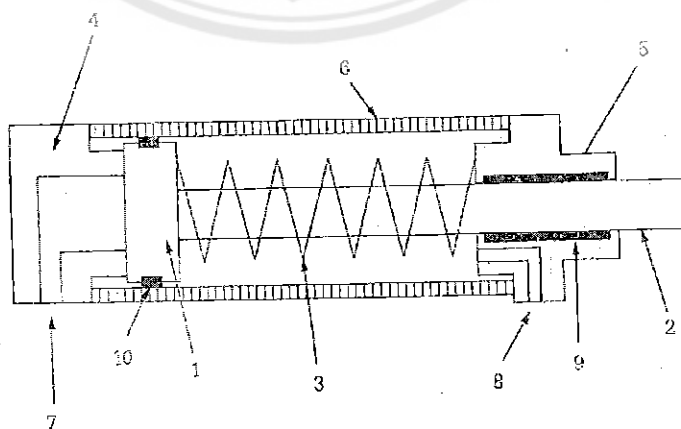
1. กระบอกลูกสูบ เป็นอุปกรณ์ให้กำลังทำงานร่วมกับเครื่องมือกลโดยเปลี่ยนพลังงานความกดดันให้เป็นพลังงานกล กระบอกลูกสูบทำงานเคลื่อนที่ในลักษณะเส้นตรง แต่สามารถทำงานในลักษณะหมุนได้บ้างโดยต่อแขน แต่ก็ไม่เหมาะสำหรับงานของมอเตอร์

หลักการทำงาน ลูกสูบและก้านสูบในกระบอกลูกสูบทำงานได้ โดยป้อนลมอัดเข้าไปด้านหนึ่งของกระบอกลูกสูบ (ด้านหัวลูกสูบ) ดันให้ลูกสูบและก้านสูบเคลื่อนที่ ในลักษณะเดียวกัน ถ้าต้องการให้ก้านสูบเคลื่อนที่เข้า ป้อนลมอัดเข้าสกระบอกลูกสูบทางด้านก้านสูบ ลูกสูบจะกลับเข้าที่เดิม

กระบอกลูกสูบที่ใช้กันมากในระบบนิวเมติกส์ แบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ กระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว (single acting air cylinder) และ กระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง(double acting air cylinder)

1.1 กระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว (Single Acting Air Cylinder) กระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว อุปกรณ์ทำงานชนิดหนึ่งที่ให้แรงในแนวเส้นตรงและทำงานทิศทางเดียว มักจะเป็นทิศทางให้ก้านสูบวิ่งออก ขณะที่ก้านสูบวิ่งออกก็จะดันให้สปริงภายในกระบอกลูกสูบยุบตัว เมื่อตัดสัญญาณลมที่ป้อนเข้ากระบอกลูกสูบให้วิ่งออกนั้น สปริงที่ยุบตัวอยู่นี้จะคลายตัวออกมาพร้อมกับดันให้ลูกสูบถอยกลับมายู่ในตำแหน่งเดิม กระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียวจะมีรูต่อลมเพียงรูเดียวอยู่ทางด้านก้านลูกสูบ ส่วนอีกรูหนึ่งที่อยู่ทางด้านหัวลูกสูบจะเป็นรูระบายลมเท่านั้น ซึ่งเจาะไว้โดยที่ไม่มีเกลียวสำหรับใส่ข้อต่อลม (fitting)

โครงสร้างของกระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว



รูปที่ ก-1 โครงสร้างของกระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว[9]

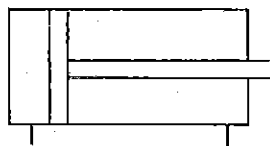
โครงสร้างของกระบอกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว ประกอบด้วย

- หมายเลข 1 ลูกสูบ (piston)
- หมายเลข 2 ก้านสูบ (piston rod)
- หมายเลข 3 สปริงสำหรับคืนให้ลูกสูบถอยกลับ (return spring)
- หมายเลข 4 ฝาครอบท้าย (base end cover)
- หมายเลข 5 ฝาครอบหัว (head end cover)
- หมายเลข 6 กระบอกสูบ (cylinder tube)
- หมายเลข 7 รูต่อลม (pressure connection)
- หมายเลข 8 รูระบายลม (vent hole)
- หมายเลข 9 บุชก้านสูบ (bush and sealing element)
- หมายเลข 10 ซีลลูกสูบ (piston seal)

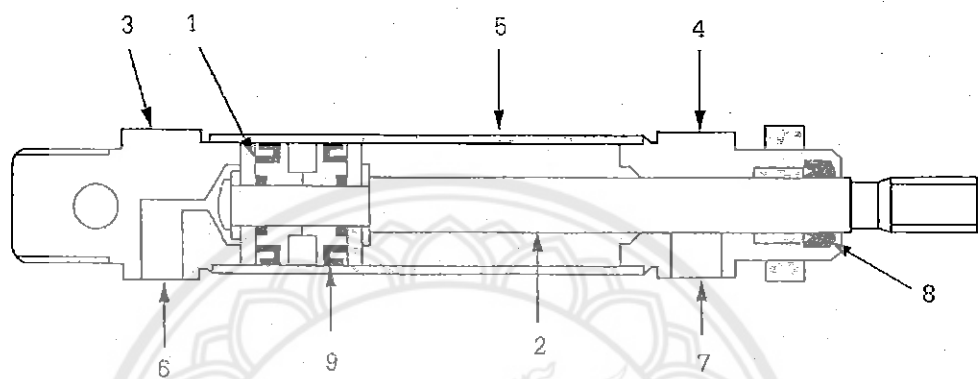
แรงของกระบอกสูบที่เกิดจากการไหลอัดเข้าไปดันลูกสูบ (กระบอกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว) จะได้ลดลงเพราะลบลด้วยแรงต้านของสปริง ตัวอย่างการใช้งานของกระบอกสูบชนิดนี้เช่น การจับยึดชิ้นงาน (clamping) การส่งชิ้นงาน (ejecting) การอัดชิ้นงาน (pressing) การป้อนชิ้นงาน (feeding) เป็นต้น ความเร็วของลูกสูบอยู่ในช่วง 50 – 500 มม./วินาที

1.2 กระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง (Double Acting Air Cylinder) กระบอกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง คือ อุปกรณ์ทำงานชนิดหนึ่งที่ให้แรงในแนวเส้นตรงทั้งจังหวะวิ่งเข้าและวิ่งออก กระบอกชนิดนี้จะไม่มสปริงอยู่ภายในกระบอกสูบ ดังนั้น การให้ลูกสูบวิ่งออกจึงต้องเอาลมอัดใส่เข้าไปทางด้านลูกสูบ และการให้ลูกสูบหดกลับตำแหน่งเดิมก็ต้องเอาลมอัดใส่เข้าไปทางด้านก้านสูบ ความเร็วของลูกสูบอยู่ในเกณฑ์ 30 – 2,000 มม./วินาที ลักษณะงานที่ใช้มักจะเป็นงาน โดยทั่ว ๆ ไป

กระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง



สัญลักษณ์



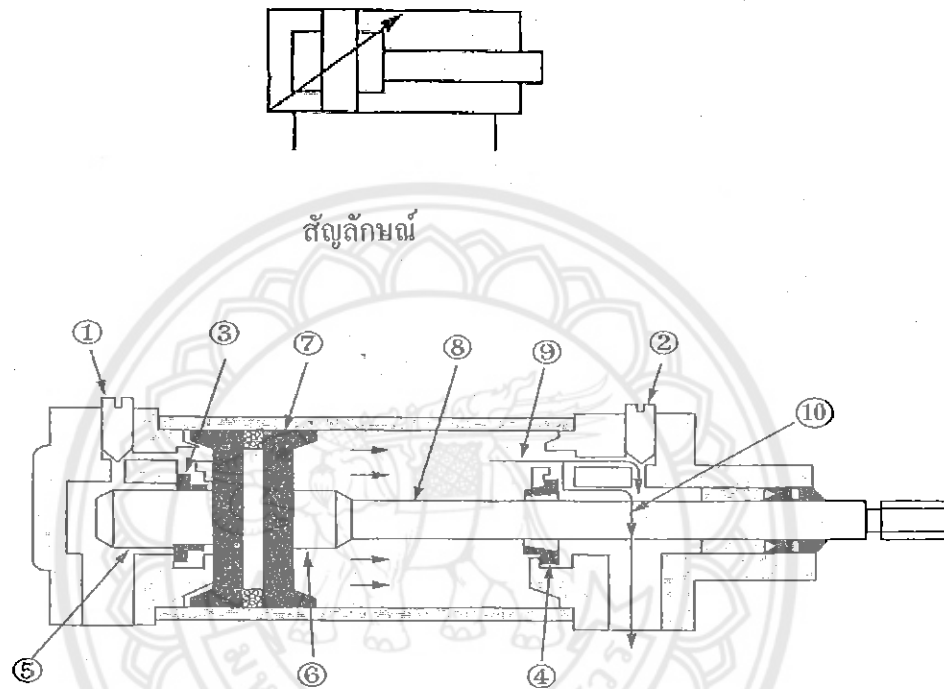
รูปที่ ก-2 กระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง[9]

โครงสร้างของกระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทิศทาง ส่วนใหญ่แล้วจะเหมือนกับกระบอกลูกสูบชนิดทำงานทิศทางเดียว คือ

- หมายเลข 1 ลูกสูบ (piston)
- หมายเลข 2 ก้านสูบ (piston rod)
- หมายเลข 3 ฝาครอบท้าย (base end cover)
- หมายเลข 4 ฝาครอบหัว (head end cover)
- หมายเลข 5 กระบอกลูกสูบ (cylinder tube)
- หมายเลข 6 รูต่อลมด้านลูกสูบ (pressure connector, base side)
- หมายเลข 7 รูต่อลมด้านก้านสูบ (pressure connector, base side)
- หมายเลข 8 ซีลก้านสูบ (bush and sealing element)
- หมายเลข 9 ซีลลูกสูบ (piston seal)

1.3 กระบอกลูกสูบที่มีอุปกรณ์ป้องกันการกระแทก เมื่อกระบอกลูกสูบทำงานด้วยความเร็วมาก ๆ จะทำให้ลูกสูบวิ่งกระแทกฝาครอบหัวและท้ายทำให้มีเสียงดังและชำรุดได้ง่าย วิธีการป้องกันการกระแทกดังกล่าวนี้ ทำได้โดยใช้กระบอกลูกสูบที่มีอุปกรณ์ป้องกันการกระแทกดังรูป ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

กระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทิศทางมีอุปกรณ์ป้องกันการกระแทก (Cushion)



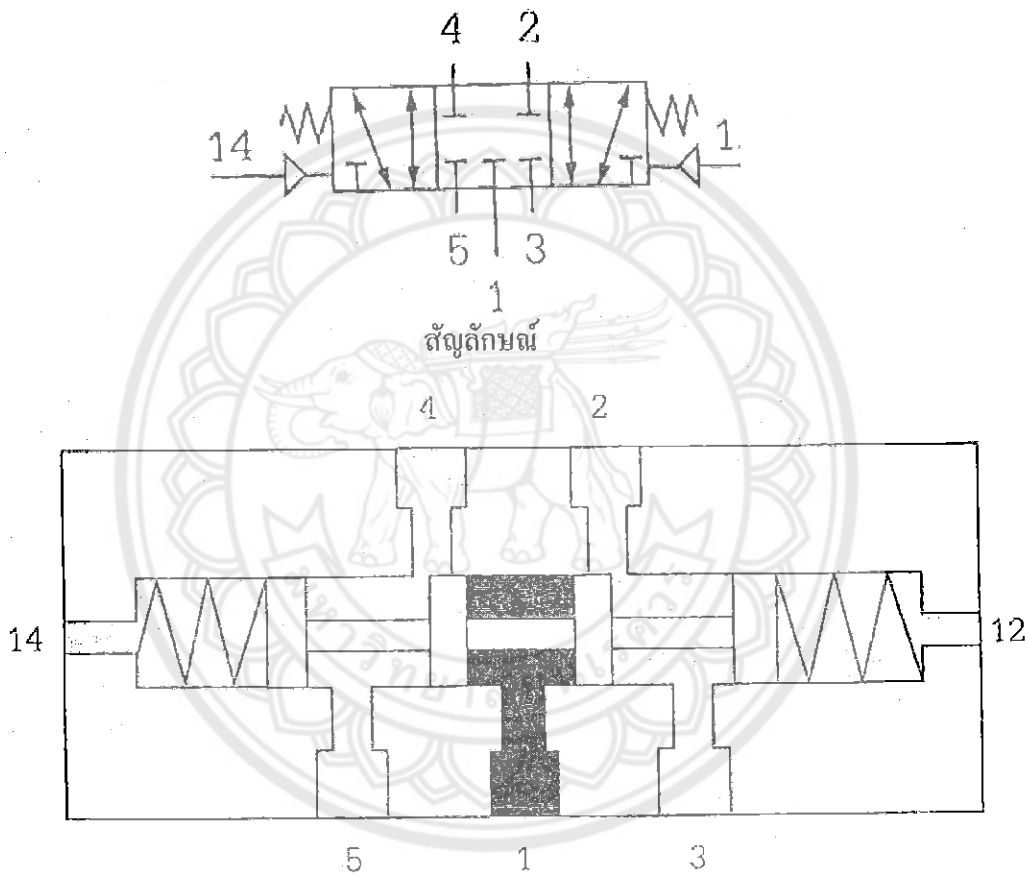
รูปที่ ก-3 กระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทิศทางมีอุปกรณ์ป้องกันการกระแทก (Cushion)[9]

เมื่อลูกสูบ 7 ถูกดันให้วิ่งออกจะทำให้ลมอัดที่อยู่ด้านก้านลูกสูบถูกดันให้ออกจากกระบอกลูกสูบทางหมายเลข 9 และ 10 ซึ่งขณะนี้ความเร็วของลูกสูบ 7 ก็ยังคงมีความเร็วตามปกติ จนกระทั่งเดือย 6 ดันซีล 4 ให้ปิดทางออกของลมอัดหมายเลข 10 ทำให้ความดันลมมีทางออกเพียงทางเดียวเท่านั้นคือ ทางหมายเลข 9 แต่ทางออกหมายเลข 9 นี้จะต้องผ่านวาล์วปรับขนาดของช่องทางหมายเลข 2 ทำให้ลมอัดในกระบอกลูกสูบวิ่งออกจากกระบอกลูกสูบได้น้อยลงถ้าปรับวาล์ว 2 ให้แคบลงไปอีก ความเร็วของลูกสูบก็ยิ่งลดน้อยลงไปอีก ถ้าดูในรูป ในขณะที่จะเป็นตำแหน่งการหดกลับของลูกสูบที่ปิดช่องทางของลมอัดในทางออกปกติแต่จะเปิดทางออกของลมอัดให้ออกทางวาล์วเชื่อมหมายเลข 1 เท่านั้น ทำให้ความเร็วของลูกสูบลดน้อยลง การกระแทกระหว่างลูกสูบกับฝาครอบทั้งด้านหัวและท้ายก็ลดน้อยตามไปด้วย

2. วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional control valves)

หลักการการทำงานของวาล์ว การควบคุมทิศทางในระบบนิวเมติกส์ ใช้วาล์วควบคุมเพื่อหยุดการไหลของลมอัดหรือบังคับทิศทางของลมอัดตามมาตรฐานของ DIS ISO 1219 มีหลักการทำงานต่อไปนี้

วาล์ว 5/3 ทำงานด้วยลมทั้งสองด้าน

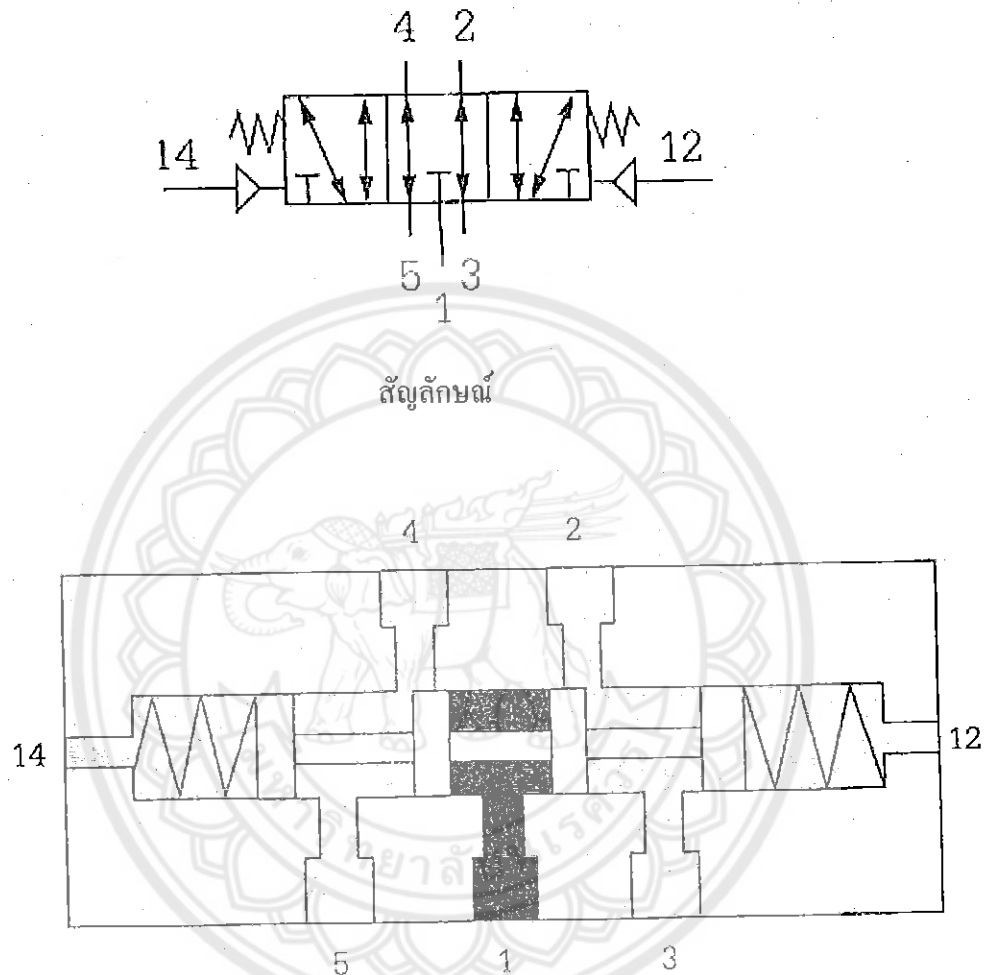


รูปที่ ก-4 วาล์ว 5/3 ทำงานด้วยลมทั้งสองด้าน[9]

โครงสร้างของวาล์วเป็นชนิดสปูลวาล์ว อนุญาตให้ลมอัดไหลได้ทั้งสองทิศทาง ทำงานด้วยลมทั้งสองด้าน มีสปริงดันวาล์วให้ลดยกกลับตำแหน่งปกติ (ตำแหน่งกลาง) (spring centered) เมื่อไม่มีสัญญาณลมทั้งด้าน ตำแหน่งกลางวาล์วเป็นชนิดปิดทั้งหมด (closed center position) นอกจากนี้แล้วยังมีวาล์วชนิดตำแหน่งกลางเปิด (open center position) ดังรูปที่ ซึ่งควบคุมกระบอก

สูบสองทิศทางที่สามารถดึงน้ำมันสูบลู่ให้วิ่งออกหรือหดรูดกลับได้อย่างอิสระ ต่างกับวาล์วชนิดตำแหน่งกลางปิดที่ไม่อนุญาตให้ลมเข้าหรือออกจากกระบอกสูบได้

วาล์ว 5/3 ทำงานด้วยลมทั้งสองด้าน ตำแหน่งกลางเปิด



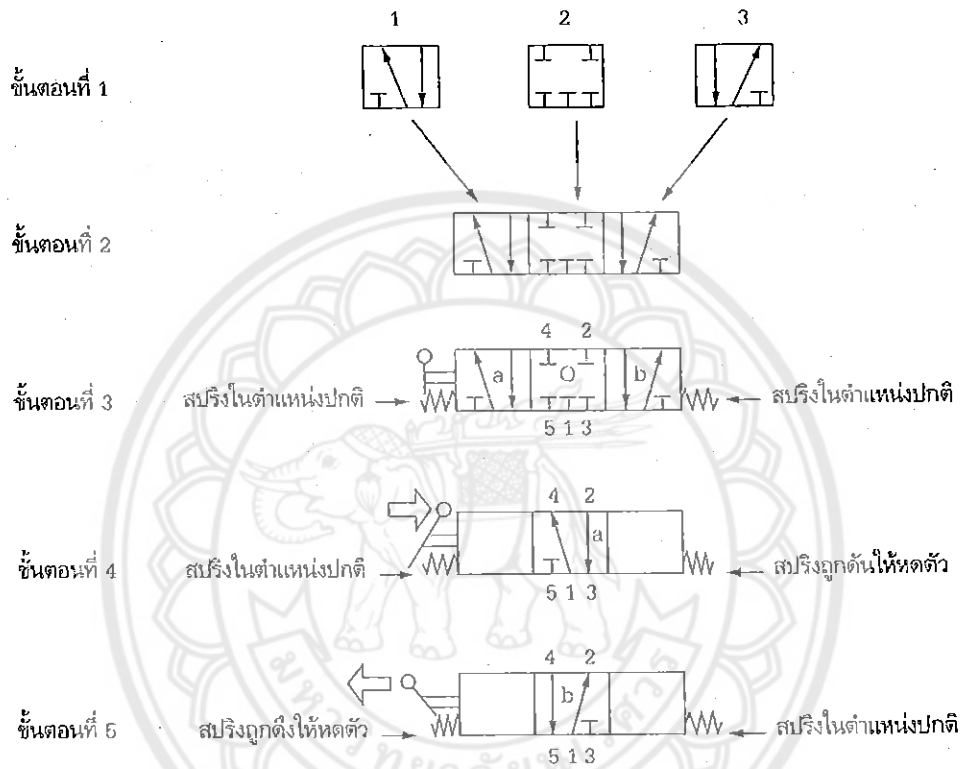
รูปที่ ก-5 วาล์ว 5/3 ทำงานด้วยลมทั้งสองด้าน ตำแหน่งกลางเปิด[9]

2.1 การบังคับทิศทางและการปรับความเร็วในระบบนิวแมติกส์

การบังคับทิศทาง การบังคับทิศทางในระบบนิวแมติกส์ คือ การใช้วาล์วควบคุมทิศทางเพื่อบังคับทิศทางของลมอัดให้ไหลออก หรือถูกปิดกั้น หรือให้หน่วงสัญญาณ ตามวัตถุประสงค์ การควบคุมดังกล่าวนี้

ใช้วาล์วควบคุมทิศทาง 2/2, 3/2, 4/2, 5/2 และ 5/3 เพื่อให้ระบบอกสูบทั้งชนิดทำงานทิศทางเดียวและชนิด ทำงานสองทิศทาง หรือมอเตอร์ลม หรือระบบอกสูบชนิดหมุน ไปมา ให้ทำงานตามขั้นตอนหรือลำดับการทำงาน

การทำงานของวาล์วควบคุมทิศทาง ชนิด 5/3 (ตำแหน่งกลางปิด)



รูปที่ ก-6 การบังคับทิศทางของวาล์ว 5/3 (ตำแหน่งกลางปิด)[9]

การทำงานของวาล์วชนิดนี้เริ่มจากขั้นตอนที่ 1 โดยแยกตำแหน่งวาล์วออกเป็น 3 ตำแหน่ง และมีรูลมแต่ละตำแหน่งจำนวน 5 รู จึงเรียกชื่อวาล์วนี้ว่า วาล์ว 5/3

เมื่อนำเอาตำแหน่งทั้ง 3 ตำแหน่งมารวมกันก็จะได้รูตามขั้นตอนที่ 2 สำหรับขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนที่แสดงเครื่องหมายการเปลี่ยนตำแหน่งและทิศทางของลมอัด สมมุติว่าเลือกเป็นแบบยกมือ และมีสปริงดันวาล์วกลับในตำแหน่งเดิม สำหรับวาล์วชนิดมี 3 ตำแหน่ง จะให้ตำแหน่งกลาง (อักษรโอ) เป็นตำแหน่งเดิมหรือตำแหน่งปกติ หมายถึงตำแหน่งที่ไม่ทำงานนั่นเอง ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอน

ที่โยกวาลัวโดยให้ตำแหน่ง a ไปแทนที่ตำแหน่งกลาง (อักษรโอ) ก็จะได้ทิศทางของลมอัด ตามตำแหน่ง a คือ ลมจากหมายเลข 1 ต่อกับหมายเลข 4 และหมายเลข 2 ต่อกับหมายเลข 3 ส่วนหมายเลข 5 จะปิดกั้นทิศทางลม ชั้นตอนที่ 5 เป็นชั้นตอนที่ดึงคัน โยกดตำแหน่ง b มาแทนตำแหน่งกลาง ก็จะได้ทิศทางลมอัดตามตำแหน่ง b คือ หมายเลข 1 ต่อกับหมายเลข 2 และหมายเลข 4 ต่อกับหมายเลข 5 ส่วนหมายเลข 3 จะปิดกั้นทางลมอัด

เมื่อปล่อยมือจากการกดวาลัวนี้ จะทำให้สปริงซึ่งมีอยู่ 2 ด้านดันให้วาลัวไปอยู่ตำแหน่งปกติก็คือ ตำแหน่ง 0 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ปิดกั้นทางลมทั้งหมด ตามรูปในชั้นตอนที่ 3 อีก ครั้งหนึ่ง วาลัวที่มี 3 ตำแหน่งจะมีตำแหน่งกลางอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ปิดหมด เปิดหมด และมีชนิด 4 รู 5 รู เป็นต้น แต่หลักการทำงานจะเหมือนกับหลักการที่ได้กล่าวมาแล้ว



ภาคผนวก ข

การกำหนดระยะและมุมของโครงสร้างสามเหลี่ยม



การคำนวณหาขนาดของโครงสร้างสามเหลี่ยมที่เหมาะสมเพื่อนำไปสร้างแบบจำลอง

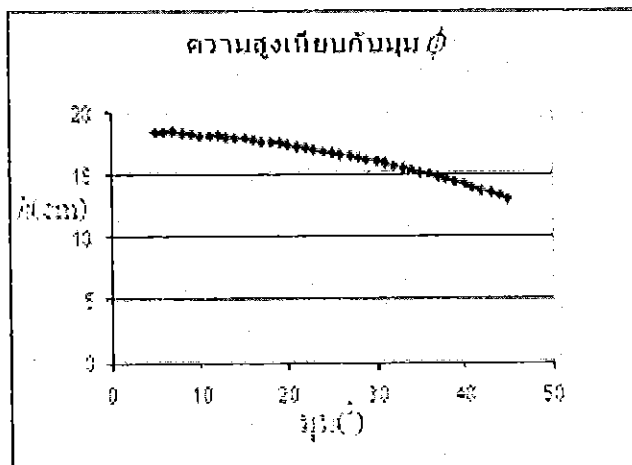
การคำนวณหาค่ามุม ϕ , θ , ระยะการยืดสูงสุด(X_L), ระยะหดสุด(X_R) และความเร็วที่เหมาะสมที่ใช้ในการเข้าโค้ง (รูปที่ 2.9) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

fixed ; $X_L = X_R = 18.5$ cm.

free มุม ตั้งแต่ 5° ถึง 45°

$X_L = X_R$ [cm]	มุม ϕ [$^\circ$]	$\cos \phi$	h [cm]
18.5	5	0.9962	18.4297
18.5	6	0.9945	18.3983
18.5	7	0.9925	18.3613
18.5	8	0.9903	18.3206
18.5	9	0.9877	18.2725
18.5	10	0.9848	18.2188
18.5	11	0.9816	18.1596
18.5	12	0.9781	18.0949
18.5	13	0.9744	18.0264
18.5	14	0.9703	17.9506
18.5	15	0.9659	17.8692
18.5	16	0.9613	17.7841
18.5	17	0.9563	17.6916
18.5	18	0.951	17.5935
18.5	19	0.9455	17.4918
18.5	20	0.9397	17.3845
18.5	21	0.9336	17.2716

$X_L = X_R$ [cm]	มุม ϕ [$^\circ$]	$\cos \phi$	h [cm]
18.5	22	0.9272	17.1532
18.5	23	0.9205	17.0293
18.5	24	0.9135	16.8998
18.5	25	0.9063	16.7666
18.5	26	0.8988	16.6278
18.5	27	0.891	16.4835
18.5	28	0.8829	16.3337
18.5	29	0.8746	16.1801
18.5	30	0.866	16.021
18.5	31	0.8572	15.8582
18.5	32	0.848	15.688
18.5	33	0.8387	15.516
18.5	34	0.829	15.3365
18.5	35	0.8191	15.1534
18.5	36	0.809	14.9665
18.5	37	0.7986	14.7741
18.5	38	0.788	14.578
18.5	39	0.7771	14.3764
18.5	40	0.766	14.171
18.5	41	0.7547	13.962
18.5	42	0.7431	13.7474
18.5	43	0.7313	13.5291
18.5	44	0.7193	13.3071
18.5	45	0.7071	13.0814



กราฟที่ ข-1 การเปรียบเทียบความสูงกับมุมที่เปลี่ยนไป

การคำนวณหาระยะขีดสูงสุด (X_L) ของโครงสร้างสามเหลี่ยมเพื่อนำไปพิจารณาในการสร้างแบบจำลอง สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

fixed $\theta = 45^\circ$

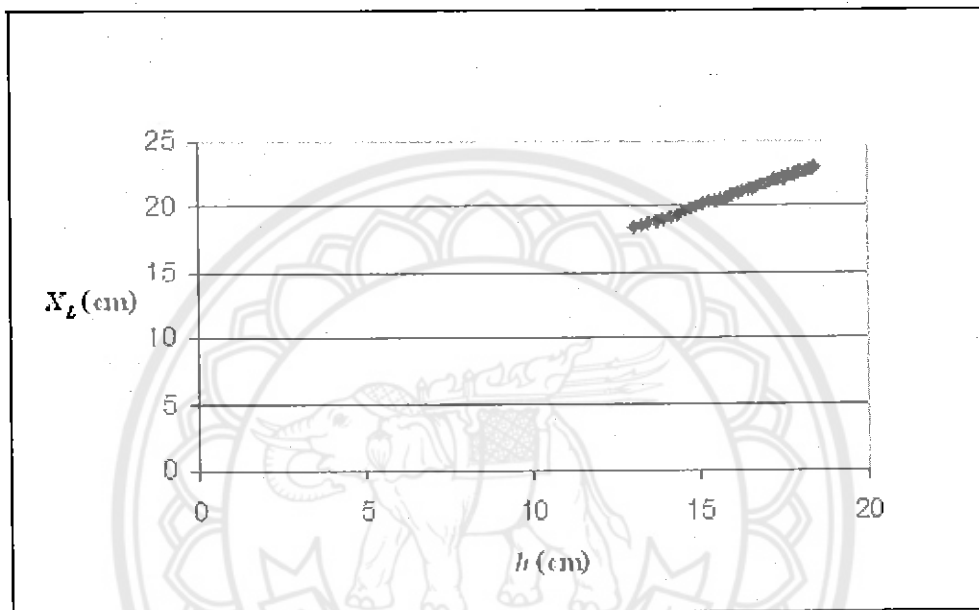
fixed มุม $\phi = 10^\circ$

fixed ระยะความยาว $L = 16.4$ cm.

h [cm]	$\cos 45$	$h \cos 45$	$\cos 35$	$\sin 45$	$L/2$ [cm]	$(L/2) \sin 45$	X_L [cm]
18.4297	0.7071	13.03164	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.98848
18.3983	0.7071	13.00944	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.96137
18.3613	0.7071	12.98328	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.92943
18.3206	0.7071	12.9545	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.89429
18.2725	0.7071	12.92048	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.85277
18.2188	0.7071	12.88251	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.80641
18.1596	0.7071	12.84065	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.75531
18.0949	0.7071	12.7949	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.69946
18.0264	0.7071	12.74647	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.64032
17.9506	0.7071	12.69287	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.57489
17.8692	0.7071	12.63531	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.50462
17.7841	0.7071	12.57514	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.43115

h [cm]	$\cos 45$	$h\cos 45$	$\cos 35$	$\sin 45$	$L/2$ [cm]	$(L/2)\sin 45$	X_L [cm]
17.691	0.7071	12.50973	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.3513
17.5935	0.7071	12.44036	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.26661
17.4918	0.7071	12.36845	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.17882
17.3845	0.7071	12.29258	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	22.08619
17.2716	0.7071	12.21275	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	21.98873
17.1532	0.7071	12.12903	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	21.88652
17.0293	0.7071	12.04142	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	21.77956
16.8998	0.7071	11.94985	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	21.66777
16.7666	0.7071	11.85566	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	21.55278
16.6278	0.7071	11.75752	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	21.43296
16.4835	0.7071	11.65548	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	21.30839
16.3337	0.7071	11.54956	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	21.17907
16.1801	0.7071	11.44095	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	21.04648
16.021	0.7071	11.32845	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	20.90913
15.8582	0.7071	11.21333	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	20.76859
15.688	0.7071	11.09298	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	20.62166
15.516	0.7071	10.97136	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	20.47318
15.3365	0.7071	10.84444	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	20.31823
15.1534	0.7071	10.71497	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	20.16016
14.9665	0.7071	10.58281	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	19.99882
14.7741	0.7071	10.44677	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	19.83273
14.578	0.7071	10.3081	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	19.66344
14.3764	0.7071	10.16555	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	19.48941
14.171	0.7071	10.02031	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	19.31209
13.962	0.7071	9.87253	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	19.13167

h [cm]	$\cos 45$	$h \cos 45$	$\cos 35$	$\sin 45$	$L/2$ [cm]	$(L/2) \sin 45$	X_L [cm]
13.7474	0.7071	9.720787	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	18.94641
13.5291	0.7071	9.566427	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	18.75796
13.3071	0.7071	9.40945	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	18.56632
13.0814	0.7071	9.249858	0.8191	0.7071	8.2	5.79822	18.37148



กราฟที่ ข-2 การเปรียบเทียบความสูงกับระยะยึด

การคำนวณหาระยะยึดสูงสุด (X_R) ของ โครงสร้างตามเหลี่ยมเพื่อนำไปพิจารณาในการสร้างแบบจำลอง สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

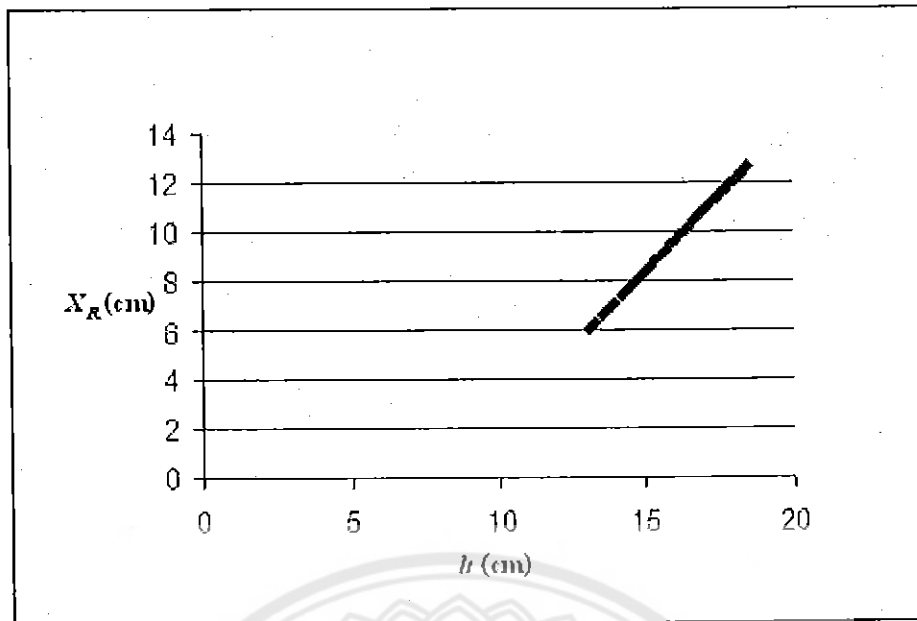
fixed $\theta = 45^\circ$

fixed มุม $\phi = 10^\circ$

fixed ระยะความยาว $L = 16.4$ cm.

h [cm]	$\cos 45$	$h\cos 45$	$\cos 55$	$\sin 45$	$L/2$ [cm]	$(L/2)\sin 45$	X_R [cm]
18.4297	0.7071	13.03164	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	12.61277
18.3983	0.7071	13.00944	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	12.57405
18.3613	0.7071	12.98328	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	12.52843
18.3206	0.7071	12.9545	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	12.47825
18.2725	0.7071	12.92048	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	12.41894
18.2188	0.7071	12.88251	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	12.35273
18.1596	0.7071	12.84065	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	12.27974
18.0949	0.7071	12.7949	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	12.19997
18.0264	0.7071	12.74647	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	12.11551
17.9506	0.7071	12.69287	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	12.02206
17.8692	0.7071	12.63531	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	11.92169
17.7841	0.7071	12.57514	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	11.81677
17.6916	0.7071	12.50973	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	11.70272
17.5935	0.7071	12.44036	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	11.58177
17.4918	0.7071	12.36845	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	11.45638
17.3845	0.7071	12.29258	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	11.32408
17.2716	0.7071	12.21275	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	11.18488
17.1532	0.7071	12.12903	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	11.0389
17.0293	0.7071	12.04142	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	10.88613
16.8998	0.7071	11.94985	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	10.72647
16.7666	0.7071	11.85566	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	10.56224
16.6278	0.7071	11.75752	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	10.3911
16.4835	0.7071	11.65548	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	10.21319
16.3337	0.7071	11.54956	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	10.02849
16.1801	0.7071	11.44095	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	9.839108

h [cm]	$\cos 45$	$h \cos 45$	$\cos 55$	$\sin 45$	$L/2$ [cm]	$(L/2) \sin 45$	X_R [cm]
16.021	0.7071	11.32845	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	9.642945
15.8582	0.7071	11.21333	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	9.44222
15.688	0.7071	11.09298	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	9.232371
15.516	0.7071	10.97136	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	9.020303
15.3365	0.7071	10.84444	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	8.798987
15.1534	0.7071	10.71497	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	8.573233
14.9665	0.7071	10.58281	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	8.342794
14.7741	0.7071	10.44677	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	8.105573
14.578	0.7071	10.3081	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	7.86379
14.3764	0.7071	10.16555	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	7.615227
14.171	0.7071	10.02031	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	7.361978
13.962	0.7071	9.87253	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	7.10429
13.7474	0.7071	9.720787	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	6.839698
13.5291	0.7071	9.566427	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	6.570543
13.3071	0.7071	9.40945	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	6.296827
13.0814	0.7071	9.249858	0.5735	0.7071	8.2	5.79822	6.018549



กราฟที่ ข-3 การเปรียบเทียบความสูงกับระยะหด

การคำนวณหามุม theta (θ) ที่เปลี่ยนแปลงของรถขณะเข้าโค้งด้วยความเร็ว (V) ต่างๆ โดยมีรัศมีการเข้าโค้งอยู่ที่ 3 เมตร สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

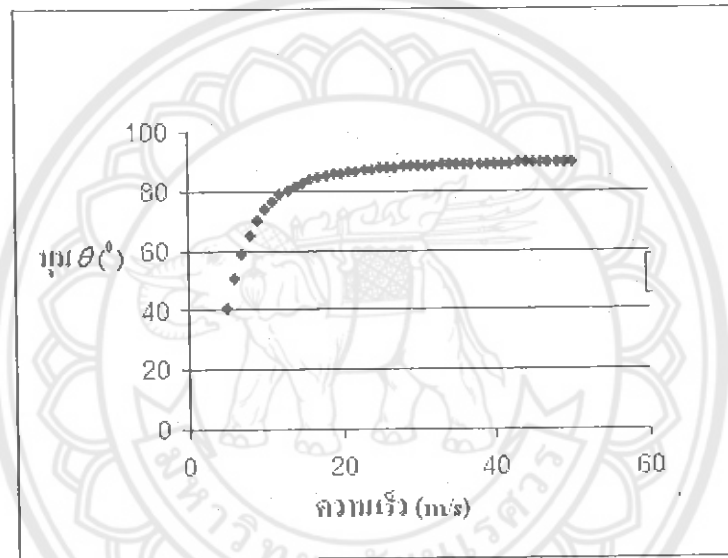
fixed ; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$r = 3 \text{ m}$

$V^2 [\text{m/s}^2]$	$r [\text{m}]$	$g [\text{m/s}^2]$	$V^2/(r \cdot g)$	$\theta [^\circ]$
25	3	9.81	0.849473	40.347
36	3	9.81	1.223242	50.734
49	3	9.81	1.664968	59.01
64	3	9.81	2.174652	65.305
81	3	9.81	2.752294	70.032
100	3	9.81	3.397893	73.6
121	3	9.81	4.111451	76.329
144	3	9.81	4.892966	78.449
169	3	9.81	5.74244	80.121
196	3	9.81	6.659871	81.46
225	3	9.81	7.64526	82.548

V^2 [m/s]	r [m]	g [m/s ²]	$V^2/(r*g)$	θ [°]
256	3	9.81	8.698607	83.442
289	3	9.81	9.819912	84.185
324	3	9.81	11.00917	84.809
361	3	9.81	12.26639	85.339
400	3	9.81	13.59157	85.792
441	3	9.81	14.98471	86.182
484	3	9.81	16.4458	86.52
529	3	9.81	17.97486	86.815
576	3	9.81	19.57187	87.075
625	3	9.81	21.23683	87.304
676	3	9.81	22.96976	87.507
729	3	9.81	24.77064	87.688
784	3	9.81	26.63948	87.85
841	3	9.81	28.57628	87.995
900	3	9.81	30.58104	88.127
961	3	9.81	32.65375	88.246
1024	3	9.81	34.79443	88.353
1089	3	9.81	37.00306	88.452
1156	3	9.81	39.27965	88.541
1225	3	9.81	41.62419	88.623
1296	3	9.81	44.0367	88.699
1369	3	9.81	46.51716	88.768
1444	3	9.81	49.06558	88.832
1521	3	9.81	51.68196	88.891
1600	3	9.81	54.36629	88.946
1681	3	9.81	57.11859	88.997
1764	3	9.81	59.93884	89.044
1849	3	9.81	62.82705	89.088

V^2 [m/s]	r [m]	g [m/s ²]	$V^2/(r*g)$	θ [°]
1936	3	9.81	65.78321	89.129
2025	3	9.81	68.80734	89.167
2116	3	9.81	71.89942	89.203
2209	3	9.81	75.05946	89.236
2304	3	9.81	78.28746	89.268
2401	3	9.81	81.58342	89.297
2500	3	9.81	84.94733	89.325



กราฟที่ ข-4 การเปรียบเทียบมุมกับความเร็ว

การคำนวณหาความเร็ว V ที่ใช้ในการเข้าโค้งที่ทำมุม 45 องศา กับพื้นถนน และมีการเปลี่ยนแปลงรัศมีการเข้าโค้งต่างๆ สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

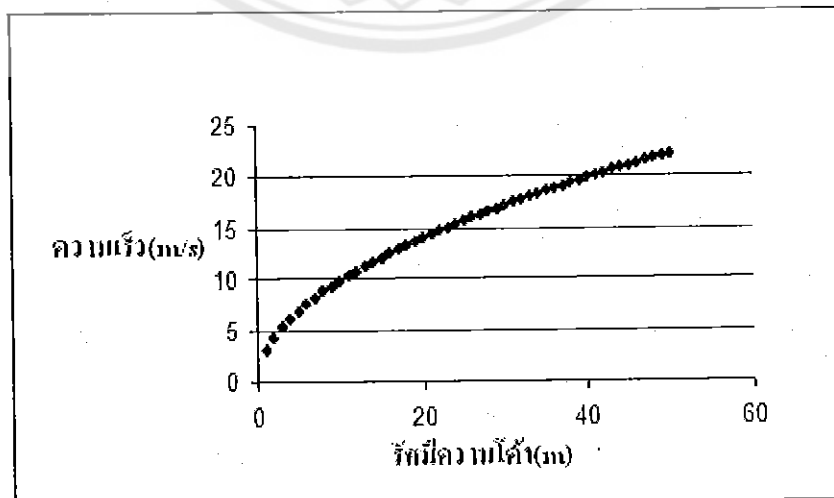
fixed; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

$\theta = 45^\circ$

r [m]	g [m/s ²]	$\tan 45$	$r*g*\tan 45$	V [m/s]
1	9.81	1	9.81	3.132092
2	9.81	1	19.62	4.429447
3	9.81	1	29.43	5.424942
4	9.81	1	39.24	6.264184

$r[m]$	$g[m/s^2]$	$\tan 45$	$r*g*\tan 45$	$V[m/s]$
5	9.81	1	49.05	7.003571
6	9.81	1	58.86	7.672027
7	9.81	1	68.67	8.286736
8	9.81	1	78.48	8.858894
9	9.81	1	88.29	9.396276
10	9.81	1	98.1	9.904544
11	9.81	1	107.91	10.38797
12	9.81	1	117.72	10.84988
13	9.81	1	127.53	11.29292
14	9.81	1	137.34	11.71921
15	9.81	1	147.15	12.13054
16	9.81	1	156.96	12.52837
17	9.81	1	166.77	12.91395
18	9.81	1	176.58	13.28834
19	9.81	1	186.39	13.65247
20	9.81	1	196.2	14.00714
21	9.81	1	206.01	14.35305
22	9.81	1	215.82	14.69081
23	9.81	1	225.63	15.02099
24	9.81	1	235.44	15.34405
25	9.81	1	245.25	15.66046
26	9.81	1	255.06	15.9706
27	9.81	1	264.87	16.27483
28	9.81	1	274.68	16.57347
29	9.81	1	284.49	16.86683
30	9.81	1	294.3	17.15517
31	9.81	1	304.11	17.43875
32	9.81	1	313.92	17.71779

r[m]	g[m/s ²]	tan 45	r*g*tan45	V[m/s]
33	9.81	1	323.73	17.9925
34	9.81	1	333.54	18.26308
35	9.81	1	343.35	18.52971
36	9.81	1	353.16	18.79255
37	9.81	1	362.97	19.05177
38	9.81	1	372.78	19.30751
39	9.81	1	382.59	19.55991
40	9.81	1	392.4	19.80909
41	9.81	1	402.21	20.05517
42	9.81	1	412.02	20.29828
43	9.81	1	421.83	20.5385
44	9.81	1	431.64	20.77595
45	9.81	1	441.45	21.01071
46	9.81	1	451.26	21.24288
47	9.81	1	461.07	21.47254
48	9.81	1	470.88	21.69977
49	9.81	1	480.69	21.92464
50	9.81	1	490.5	22.14723



กราฟที่ ข-5 การเปรียบเทียบความเร็วกับรัศมีความโค้ง

การคำนวณหาระยะยัดสูงสุด (X_R) ของโครงสร้างสามเหลี่ยมเพื่อนำไปพิจารณาในการสร้างแบบจำลองโดยพิจารณาค่าความสูงที่ $h = 18.22$ cm. สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

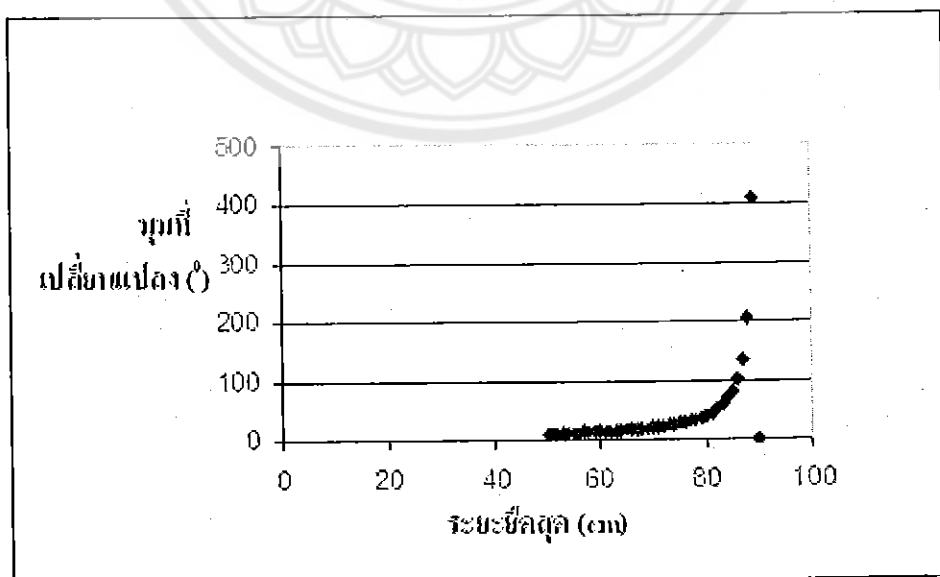
fixed ; $h = 18.22$ cm.

$\theta = 45^\circ$

$L/2 = 8.2$ cm.

h [cm]	$\cos 45$	$L/2$ [cm]	$\sin 45$	θ [$^\circ$]	ϕ [$^\circ$]	$\theta + \phi$ [$^\circ$]	$\cos(\theta + \phi)$	$h \cos 45$	$L \sin 45$	X_R [cm]
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	5	50	0.6428	12.88336	5.79822	11.02231
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	6	51	0.6293	12.88336	5.79822	11.25877
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	7	52	0.6157	12.88336	5.79822	11.50746
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	8	53	0.6018	12.88336	5.79822	11.77325
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	9	54	0.5878	12.88336	5.79822	12.05366
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	10	55	0.5736	12.88336	5.79822	12.35206
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	11	56	0.5592	12.88336	5.79822	12.67014
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	12	57	0.5446	12.88336	5.79822	13.00981
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	13	58	0.5299	12.88336	5.79822	13.37072
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	14	59	0.515	12.88336	5.79822	13.75756
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	15	60	0.5	12.88336	5.79822	14.17028
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	16	61	0.4848	12.88336	5.79822	14.61457
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	17	62	0.4695	12.88336	5.79822	15.09082
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	18	63	0.454	12.88336	5.79822	15.60604
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	19	64	0.4384	12.88336	5.79822	16.16136
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	20	65	0.4226	12.88336	5.79822	16.7656
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	21	66	0.4067	12.88336	5.79822	17.42105
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	22	67	0.3907	12.88336	5.79822	18.13448
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	23	68	0.3746	12.88336	5.79822	18.91389
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	24	69	0.3583	12.88336	5.79822	19.77433
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	25	70	0.342	12.88336	5.79822	20.71679
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	26	71	0.3255	12.88336	5.79822	21.76695
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	27	72	0.309	12.88336	5.79822	22.92926

$h[\text{cm}]$	$\cos 45$	$L/2[\text{cm}]$	$\sin 45$	$\theta [^\circ]$	$\phi [^\circ]$	$\theta + \phi [^\circ]$	$\cos(\theta + \phi)$	$h \cos 45$	$L \sin 45$	$X_R[\text{cm}]$
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	28	73	0.2924	12.88336	5.79822	24.23099
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	29	74	0.2756	12.88336	5.79822	25.70806
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	30	75	0.2588	12.88336	5.79822	27.3769
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	31	76	0.2419	12.88336	5.79822	29.28955
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	32	77	0.2249	12.88336	5.79822	31.50352
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	33	78	0.2079	12.88336	5.79822	34.07957
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	34	79	0.1908	12.88336	5.79822	37.13387
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	35	80	0.1736	12.88336	5.79822	40.81303
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	36	81	0.1564	12.88336	5.79822	45.30142
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	37	82	0.1392	12.88336	5.79822	50.89901
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	38	83	0.1218	12.88336	5.79822	58.1703
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	39	84	0.1045	12.88336	5.79822	67.8004
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	40	85	0.0872	12.88336	5.79822	81.25163
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	41	86	0.0697	12.88336	5.79822	101.652
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	42	87	0.0523	12.88336	5.79822	135.4712
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	43	88	0.0349	12.88336	5.79822	203.0127
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	44	89	0.0174	12.88336	5.79822	407.1921
18.22	0.7071	8.2	0.7071	45	45	90	0	12.88336	5.79822	#DIV/0!



กราฟที่ ข-6 การเปรียบเทียบระยะหัดกับมุม

การคำนวณหาระยะยึดสูงสุด (X_L) ของโครงสร้างสามเหลี่ยมเพื่อนำไปพิจารณาในการสร้างแบบจำลองโดยพิจารณาค่าความสูงที่ $h = 18.22$ cm. สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

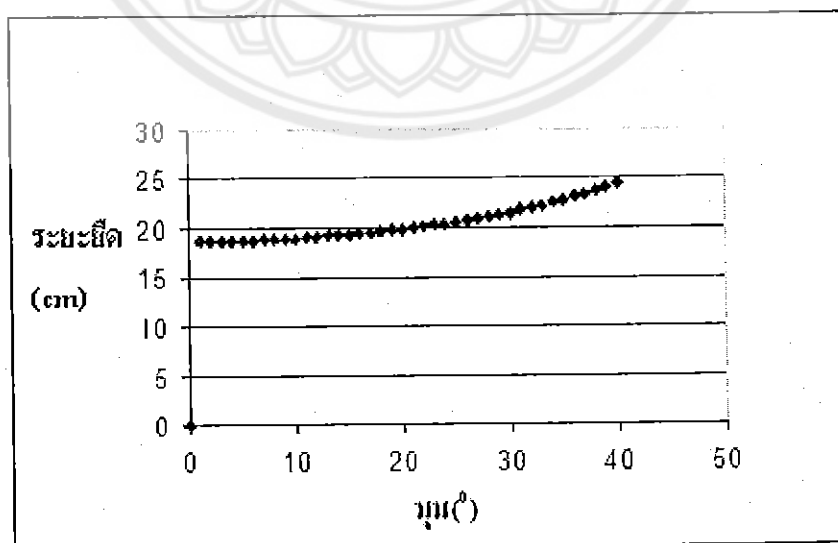
fixed ; $h = 18.22$ cm.

$$\theta = 45^\circ$$

$$L/2 = 8.2$$
 cm.

$h\cos 45$	$L\sin 45$	$\theta [^\circ]$	$\phi [^\circ]$	$\theta + \phi [^\circ]$	$\cos(\theta + \phi)$	X_L [cm]
12.88336	5.79822	45	5	40	0.766	24.38849
12.88336	5.79822	45	6	39	0.7771	24.04012
12.88336	5.79822	45	7	38	0.788	23.70759
12.88336	5.79822	45	8	37	0.7986	23.39291
12.88336	5.79822	45	9	36	0.809	23.09219
12.88336	5.79822	45	10	35	0.8191	22.80745
12.88336	5.79822	45	11	34	0.829	22.53508
12.88336	5.79822	45	12	33	0.8387	22.27445
12.88336	5.79822	45	13	32	0.848	22.03017
12.88336	5.79822	45	14	31	0.8571	21.79627
12.88336	5.79822	45	15	30	0.866	21.57226
12.88336	5.79822	45	16	29	0.8746	21.36014
12.88336	5.79822	45	17	28	0.8829	21.15934
12.88336	5.79822	45	18	27	0.891	20.96698
12.88336	5.79822	45	19	26	0.8988	20.78502
12.88336	5.79822	45	20	25	0.9063	20.61302
12.88336	5.79822	45	21	24	0.9135	20.45055
12.88336	5.79822	45	22	23	0.9205	20.29504
12.88336	5.79822	45	23	22	0.9272	20.14838
12.88336	5.79822	45	24	21	0.9336	20.01026
12.88336	5.79822	45	25	20	0.9397	19.88037
12.88336	5.79822	45	26	19	0.9455	19.75841
12.88336	5.79822	45	27	18	0.951	19.64414

$h\cos 45$	$L\sin 45$	$\theta [^\circ]$	$\phi [^\circ]$	$\theta + \phi [^\circ]$	$\cos(\theta + \phi)$	$X_L [\text{cm}]$
12.88336	5.79822	45	28	17	0.9563	19.53527
12.88336	5.79822	45	29	16	0.9612	19.43568
12.88336	5.79822	45	30	15	0.9659	19.34111
12.88336	5.79822	45	31	14	0.9703	19.25341
12.88336	5.79822	45	32	13	0.9744	19.17239
12.88336	5.79822	45	33	12	0.9781	19.09987
12.88336	5.79822	45	34	11	0.9816	19.03176
12.88336	5.79822	45	35	10	0.9848	18.96992
12.88336	5.79822	45	36	9	0.9877	18.91422
12.88336	5.79822	45	37	8	0.9902	18.86647
12.88336	5.79822	45	38	7	0.9925	18.82275
12.88336	5.79822	45	39	6	0.9945	18.7849
12.88336	5.79822	45	40	5	0.9962	18.75284
12.88336	5.79822	45	41	4	0.9975	18.7284
12.88336	5.79822	45	42	3	0.9986	18.70777
12.88336	5.79822	45	43	2	0.9994	18.6928
12.88336	5.79822	45	44	1	0.9998	18.68532



กราฟที่ ข-7 การเปรียบเทียบกับระยะชิดกับมุม

การคำนวณและการแทนค่าสมการ

ในการทดลองในครั้งนี้ได้มีการออกแบบโครงสร้างของรูปสามเหลี่ยมไว้ 3 แบบ เพื่อทำการหาความยาวและระยะมุมที่ดีที่สุดของของโครงสร้างสามเหลี่ยม เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาโมเมนต์ของโครงสร้างของรูปสามเหลี่ยม โดยวิธีการคำนวณจะแสดงดังต่อไปนี้

แบบที่ 1 สามารถคำนวณได้จากรูปที่ 2.10

$$\text{กำหนดให้ } X_0 = 18.5 \text{ cm}$$

$$R = 13 \text{ cm}$$

$$P = 1.5 \text{ cm}$$

$$\phi = 10^\circ$$

แทนค่าลงในสมการ

จากสมการ (2.1);

$$Q = \sqrt{\left(\frac{R^2}{2}\right) + P^2}$$

$$Q = \sqrt{\left(\frac{13^2}{2}\right) + (1.5)^2} = 6.671 \text{ cm.}$$

จากสมการ (2.2);

$$\tan \rho = \left(\frac{P}{R/2}\right)$$

$$\rho = \tan^{-1}\left(\frac{P}{R/2}\right)$$

$$\rho = \tan^{-1}\left(\frac{1.5}{13/2}\right) = 13^\circ$$

จากสมการ (2.3);

$$\xi = 180 - 90 - \rho$$

$$\xi = 180 - 90 - 13 = 77^\circ$$

จากสมการ (2.4);

$$\theta = (90 - \rho) + \phi$$

$$\theta = (90 - 13) + 10 = 87^\circ$$

จากสมการ (2.5);

$$L^2 = X_0^2 + Q^2 - 2X_0Q \cos \theta$$

$$L = \sqrt{X_0^2 + Q^2 - 2X_0Q \cos \theta}$$

$$L = \sqrt{(18.5)^2 + (6.671)^2 - 2(18.5)(6.671) \cos 87^\circ}$$

$$= 19.335 \text{ cm.}$$

จากสมการ (2.6);

$$\frac{L}{\sin \theta} = \frac{X_0}{\sin \psi}$$

$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{X_0}{L} \sin \theta \right]$$

$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{18.5}{19.335} \sin 87^\circ \right] = 72.84^\circ \approx 73^\circ$$

จากสมการ (2.7);

$$\frac{L}{\sin \theta} = \frac{Q}{\sin \alpha}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left[\frac{6.671}{19.335} \sin 87^\circ \right] = 20.15^\circ \approx 20^\circ$$

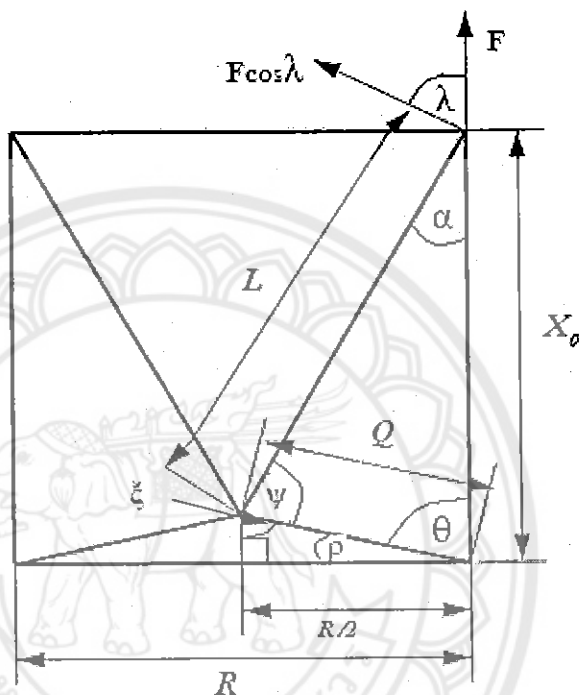
จากสมการ (2.8) ;

$$\lambda = 180 - 90 - \alpha$$

$$\lambda = 180 - 90 - 20 = 70^\circ$$

แบบที่ 2

เปลี่ยนมุม ϕ จาก 10° เป็น 0° จะได้



รูปที่ ข-1 ลักษณะการวางตัวของโครงสร้างระบบนิวมติคส์ที่มุม ϕ เป็น 0°

จากสมการ (2.4) ;

$$\theta = (90 - \rho) + \phi \quad ; \text{เมื่อ } \phi = 0^\circ$$

$$\theta = (90 - 13) = 77^\circ$$

จากสมการ (2.5) ;

$$L^2 = X_0^2 + Q^2 - 2X_0Q \cos \theta$$

$$L = \sqrt{X_0^2 + Q^2 - 2X_0Q \cos \theta}$$

$$L = \sqrt{(18.5)^2 + (6.671)^2 - 2(18.5)(6.671) \cos 77^\circ}$$

$$= 18.199 \text{ cm} \approx 18.2 \text{ cm.}$$

จากสมการ (2.4);

$$\theta = (90 - \rho) + \phi \quad ; \text{เมื่อ } \phi = -10^\circ$$

$$\theta = (90 - 13) + (-10) = 67^\circ$$

จากสมการ (2.5);

$$L^2 = X_0^2 + Q^2 - 2X_0Q \cos \theta$$

$$L = \sqrt{X_0^2 + Q^2 - 2X_0Q \cos \theta}$$

$$L = \sqrt{(18.5)^2 + (6.671)^2 - 2(18.5)(6.671) \cos 67^\circ}$$

$$= 17.038 \text{ cm} \approx 17 \text{ cm.}$$

จากสมการ (2.7);

$$\frac{L}{\sin \theta} = \frac{Q}{\sin \alpha}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \left[\frac{6.671}{17.038} \sin 67^\circ \right] = 21.12^\circ \approx 21^\circ$$

หามุม ψ ของรูปสามเหลี่ยมจากมุมภายใน จะได้

$$\psi = 180 - 90 - \alpha$$

$$\psi = 180 - 90 - 21^\circ = 92^\circ$$

จากสมการ (2.8);

$$\lambda = 180 - 90 - \alpha$$

$$\lambda = 180 - 90 - 21^\circ = 69^\circ$$

การคำนวณหาโมเมนต์ที่หมุนรอบจุดหมุนโดยมีจุดหมุนอยู่ที่จุด O สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

โดยกำหนดให้ F และ f คือค่าคงที่

$$M_o = r \times F$$

$$(M_o)_F - (M_o)_f = LF \cos \lambda - Lf \cos \lambda$$

$$M_o = L \cos \lambda (F - f)$$

โดยผลการคำนวณแสดงอยู่ในตารางแสดงผลจากการคำนวณในบทที่ 2

สมการการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Engineering Equation Solver (EES)

$$F = 1 \text{ [N]}$$

$$M_o = L * \cos(\lambda) * F$$

$$x_0 = 18.5 \text{ [cm]}$$

$$R = 13 \text{ [cm]}$$

$$P = 1.5 \text{ [cm]}$$

$$\phi = 13 \text{ [deg]}$$

$$Q = \sqrt{P^2 + (R/2)^2}$$

$$\rho = \arctan((2*P)/R)$$

$$L^2 = x_0^2 + Q^2 - (2*x_0*Q)*\cos(90-\rho+\phi)$$

$$L/\sin(90-\rho+\phi) = Q/\sin(\xi)$$

$$L/\sin(90-\rho+\phi) = x_0/\sin(\psi)$$

$$\lambda = 90-\xi$$

ผลการรันจากโปรแกรม Engineering Equation Solver (EES) โดยทำการรันทั้งหมด 30 ครั้ง

Run	ϕ [deg]	M_o [cm]
Run 1	-20	5.595
Run 2	-18.28	5.702
Run 3	-16.55	5.803
Run 4	-14.83	5.9
Run 5	-13.1	5.991
Run 6	-11.38	6.076
Run 7	-9.655	6.156
Run 8	-7.931	6.231
Run 9	-6.207	6.3
Run 10	-4.483	6.363
Run 11	-2.759	6.42
Run 12	-1.034	6.472
Run 13	0.6897	6.518
Run 14	2.414	6.557
Run 15	4.138	6.591
Run 16	5.862	6.619
Run 17	7.586	6.641
Run 18	9.31	6.657
Run 19	11.03	6.667
Run 20	12.76	6.671
Run 21	14.48	6.669
Run 22	16.21	6.66
Run 23	17.93	6.646
Run 24	19.66	6.626
Run 25	21.38	6.6
Run 26	23.1	6.567
Run 27	24.83	6.529

Run	ϕ [deg]	M_0 [cm]
Run 28	26.55	6.485
Run 29	28.28	6.435
Run 30	30	6.379

จากนั้นเมื่อนำค่ามุม (ϕ [deg]) และค่าโมเมนต์ (M_0 [cm]) ที่ได้ไปพล็อตลงในกราฟจะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2.13



การคำนวณจากทฤษฎี

ค่าที่ได้จากการวัด

$$M = 1.6 \text{ kg} \quad m = 1.1 \text{ kg}$$

$$B = 22.4 \text{ cm} \quad b = 18 \text{ cm}$$

$$d = \frac{2}{3}h_o = \frac{2}{3} \times 19.5 = 13 \text{ cm}$$

จากสมการ $\bar{I}_G = \frac{1}{12}(MB^2 - mb^2)$

$$= \frac{1}{12}[(1.6 \times 0.224^2) - (1.1 \times 0.18^2)]$$

$$= 3.72 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot m^2$$

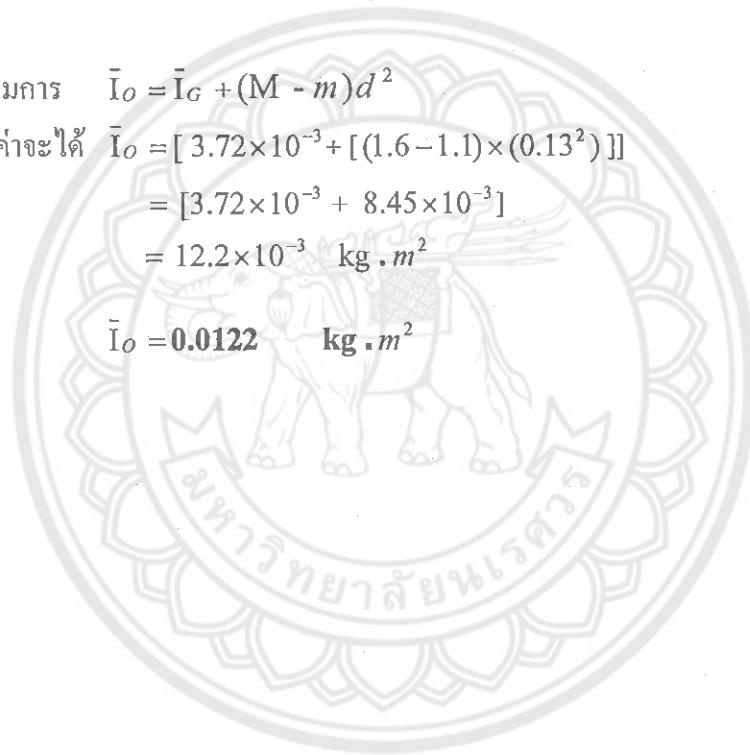
จากสมการ $\bar{I}_O = \bar{I}_G + (M - m)d^2$

แทนค่าจะได้ $\bar{I}_O = [3.72 \times 10^{-3} + [(1.6 - 1.1) \times (0.13^2)]]$

$$= [3.72 \times 10^{-3} + 8.45 \times 10^{-3}]$$

$$= 12.2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot m^2$$

$$\bar{I}_O = 0.0122 \text{ kg} \cdot m^2$$



การคำนวณจากการทดลอง

การทดลองครั้งที่ 1

ใช้ความดันเริ่มต้นที่ $P = 2.25 \text{ bar} = 225 \times 10^3 \text{ Pa}$

$$\text{พื้นที่ภายในของลูกสูบ } A = \frac{\pi}{4}(D^2 - D_s^2) = \frac{\pi}{4}(0.01^2 - 0.04^2) = 6.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

V_{in} = ความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ ; เมื่อ $V_{in} = \frac{s}{t}$; $s = 10 \text{ cm}$, $t = 0.245 \text{ s}$

$$V_{in} = \frac{10}{0.245} = 40.8 \text{ cm/s หรือ } 0.408 \text{ cm/s}$$

สามารถคำนวณหาความฝืด F_{R1} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F_{R1} = \frac{1}{8} \pi \rho K_L V_{in}^2 \frac{D^6}{d_{out}^4}$$

$$F_{R1} = \frac{1}{8} \pi (1.2)(0.5)(0.408)^2 \frac{0.01^6}{0.002^4}$$

$$F_{R1} = 0.0025 \text{ N}$$

สามารถคำนวณหาความฝืด F_{R2} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F_{R2} = \frac{1}{8} \pi \rho K_L V_{in}^2 \frac{(D^2 - D_s^2)^4}{d_{out}^4}$$

$$F_{R2} = \frac{1}{8} \pi \times 1.2 \times 0.5 \times 0.408^2 \times \frac{(0.01^2 - 0.004^2)^4}{0.002^4}$$

$$F_{R2} = 0.000000122 \text{ N}$$

เพราะฉะนั้น $F_{Rรวม} = 0.002500122 \text{ N หรือ } 25 \times 10^{-4} \text{ N}$

$$\sum M = (F \cdot r) = (F_A \cdot r) - (F_{R1} \cdot r) - (F_{R2} \cdot r)$$

$$\sum M = (F_A \cdot r) - [(F_{R1} + F_{R2}) \cdot r]$$

$$\text{เมื่อ } F_A = PA \quad , \quad F_{R1} = \Delta P_{L1} A \quad \text{และ} \quad F_{R2} = \Delta P_{R2} A$$

$$\text{แทนค่า} \quad \sum M = [(225 \times 10^3)(6.6 \times 10^{-5}) \times (11.2 \times 10^{-2})] - [(25 \times 10^{-4}) \times (11.2 \times 10^{-2})]$$

$$\sum M = 1.663 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\bar{\omega} = \frac{\pi/2}{t} = \left(\frac{\pi/2}{0.245} \right) = 6.41 \text{ rad/s}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\omega}{t/2} = \left(\frac{6.41}{0.245/2} \right) = 52.33 \text{ rad/s}^2$$

จากสมการ

$$\begin{aligned} \bar{I}_O &= \frac{\sum M}{\alpha} \\ &= \frac{1.663}{52.33} \\ \bar{I}_{O,ex} &= 0.0317 \text{ N}\cdot\text{m/s}^2 \end{aligned}$$

ตารางบันทึกค่าการทดลอง

การทดลองครั้งที่	เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา ใช้เวลา t (s)	เคลื่อนที่จากขวาไปซ้าย ใช้เวลา t (s)
1	0.27	0.28
2	0.24	0.24
3	0.24	0.24
4	0.25	0.25
5	0.24	0.24
6	0.24	0.24
7	0.24	0.25
8	0.25	0.24
9	0.24	0.24
10	0.24	0.24
t เฉลี่ย	0.245	0.246
t เฉลี่ยที่ใช้จริง = $\frac{0.245 + 0.246}{2} = 0.2455$		

การทดลองครั้งที่ 2

ใช้ความดันที่ $P = 2.5 \text{ bar} = 250 \times 10^3 \text{ Pa}$

$$\text{พื้นที่ภายในของลูกสูบ } A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (0.01)^2 = 7.85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$V_{in} = \text{ความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ ; เมื่อ } V_{in} = \frac{s}{t} ; s = 10 \text{ cm. , } t = 0.225 \text{ s}$$

$$V_{in} = \frac{10}{0.225} = 44.4 \text{ cm/s หรือ } 0.44 \text{ cm/s}$$

สามารถคำนวณหาความฝืด F_{R1} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F_{R1} = \frac{1}{8} \pi \rho K_L V_{in}^2 \frac{D^6}{d_{out}^4}$$

$$F_{R1} = \frac{1}{8} \pi (1.2)(0.5)(0.44)^2 \frac{0.01^6}{0.002^4}$$

$$F_{R1} = 0.00285 \text{ N}$$

สามารถคำนวณหาความฝืด F_{R2} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F_{R2} = \frac{1}{8} \pi \rho K_L V_{in}^2 \frac{(D^2 - D_s^2)^4}{d_{out}^4}$$

$$F_{R2} = \frac{1}{8} \pi \times 1.2 \times 0.5 \times 0.44^2 \times \frac{(0.01^2 - 0.004^2)^4}{0.002^4}$$

$$F_{R2} = 0.000000144 \text{ N}$$

เพราะฉะนั้น $F_{Rรวม} = 0.002850144 \text{ N หรือ } 28.5 \times 10^{-4} \text{ N}$

$$\sum M = (F \cdot r) = (F_A \cdot r) - (F_{R1} \cdot r) - (F_{R2} \cdot r)$$

$$\sum M = (F_A \cdot r) - [(F_{R1} + F_{R2}) \cdot r]$$

$$\text{เมื่อ } F_A = PA \quad , \quad F_{R1} = \Delta P_{L1} A \quad \text{และ} \quad F_{R2} = \Delta P_{R2} A$$

$$\text{แทนค่า} \quad \sum M = [(250 \times 10^3)(6.6 \times 10^{-5}) \times (11.2 \times 10^{-2})] - [(28.5 \times 10^{-4}) \times (11.2 \times 10^{-2})]$$

$$\sum M = 1.847 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\bar{\omega} = \frac{\pi/2}{2} = \left(\frac{\pi/2}{0.225} \right) = 6.98 \text{ rad/s}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\omega}{t/2} = \left(\frac{6.98}{0.225/2} \right) = 62.05 \text{ rad/s}^2$$

จากสมการ

$$\bar{I}_o = \frac{\sum M}{\alpha}$$

$$= \frac{1.847}{62.05}$$

$$\bar{I}_{o,ex} = 0.0297 \text{ N}\cdot\text{m/s}^2$$

ตารางบันทึกค่าการทดลอง

การทดลองครั้งที่	เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา ใช้เวลา t (s)	เคลื่อนที่จากขวาไปซ้าย ใช้เวลา t (s)
1	0.23	0.24
2	0.24	0.22
3	0.23	0.21
4	0.21	0.23
5	0.22	0.25
6	0.21	0.23
7	0.25	0.22
8	0.23	0.22
9	0.22	0.21
10	0.21	0.23
tเฉลี่ย	0.225	0.226
tเฉลี่ยที่ใช้จริง = $\frac{0.225 + 0.226}{2} = 0.2255$		

การทดลองครั้งที่ 3

ใช้ความดันที่ $P = 2.75 \text{ bar} = 275 \times 10^3 \text{ Pa}$

$$\text{พื้นที่ภายในของลูกสูบ } A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (0.01)^2 = 7.85 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$V_m = \text{ความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ ; เมื่อ } V_m = \frac{s}{t} ; s = 10 \text{ cm. , } t = 0.215 \text{ s}$$

$$V_m = \frac{10}{0.215} = 46.5 \text{ cm/s หรือ } 0.465 \text{ cm/s}$$

สามารถคำนวณหาความฝืด F_{R1} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F_{R1} = \frac{1}{8} \pi \rho K_L V_m^2 \frac{D^6}{d_{out}^4}$$

$$F_{R1} = \frac{1}{8} \pi (1.2)(0.5)(0.465)^2 \frac{0.01^6}{0.002^4}$$

$$F_{R1} = 0.0032 \text{ N}$$

สามารถคำนวณหาความฝืด F_{R2} ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F_{R2} = \frac{1}{8} \pi \rho K_L V_m^2 \frac{(D^2 - D_s^2)^4}{d_{out}^4}$$

$$F_{R2} = \frac{1}{8} \pi \times 1.2 \times 0.5 \times 0.465^2 \times \frac{(0.01^2 - 0.004^2)^4}{0.002^4}$$

$$F_{R2} = 0.000000158 \text{ N}$$

เพราะฉะนั้น $F_{Rรวม} = 0.003200158 \text{ N หรือ } 32 \times 10^{-4} \text{ N}$

$$\Sigma M = (F \cdot r) = (F_A \cdot r) - (F_{R1} \cdot r) - (F_{R2} \cdot r)$$

$$\Sigma M = (F_A \cdot r) - [(F_{R1} + F_{R2}) \cdot r]$$

$$\text{เมื่อ } F_A = PA \quad , \quad F_{R1} = \Delta P_{L1} A \quad \text{และ} \quad F_{R2} = \Delta P_{R2} A$$

$$\text{แทนค่า} \quad \Sigma M = [(275 \times 10^3)(6.6 \times 10^{-5}) \times (11.2 \times 10^{-2})] - [(32 \times 10^{-4}) \times (11.2 \times 10^{-2})]$$

$$\Sigma M = 2.032 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\bar{\omega} = \frac{\pi/2}{t} = \left(\frac{\pi/2}{0.21} \right) = 7.48 \text{ rad/s}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\omega}{t/2} = \left(\frac{7.48}{0.21/2} \right) = 71.24 \text{ rad/s}^2$$

จากสมการ

$$\begin{aligned} \bar{I}_o &= \frac{\sum M}{\alpha} \\ &= \frac{2.032}{71.24} \\ \bar{I}_o &= 0.0285 \text{ N}\cdot\text{m/s}^2 \end{aligned}$$

ตารางบันทึกค่าการทดลอง

การทดลองครั้งที่	เคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา ใช้เวลา t (s)	เคลื่อนที่จากขวาไปซ้าย ใช้เวลา t (s)
1	0.22	0.23
2	0.23	0.22
3	0.21	0.21
4	0.2	0.23
5	0.18	0.17
6	0.21	0.21
7	0.21	0.23
8	0.19	0.19
9	0.23	0.22
10	0.22	0.2
t เฉลี่ย	0.21	0.211
$t_{\text{เฉลี่ยที่ใช้จริง}} = \frac{0.21 + 0.211}{2} = 0.2150$		

ภาคผนวก ก

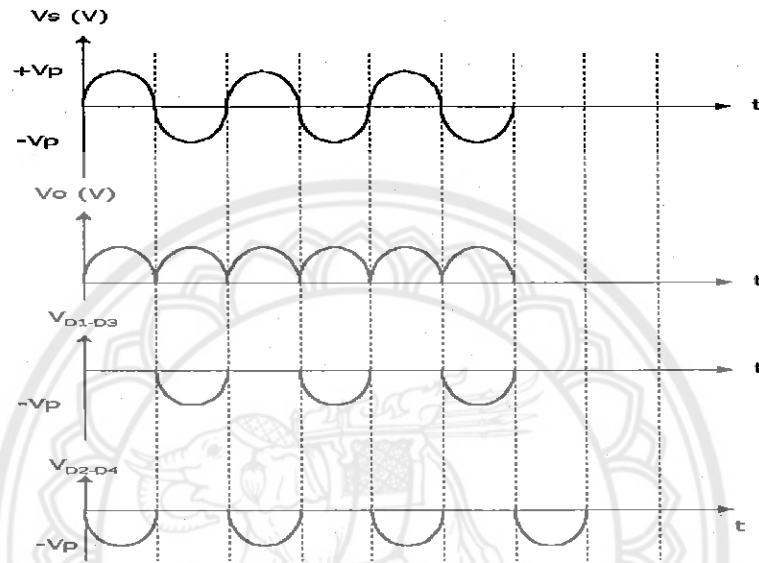
ระบบวงจรควบคุมและการทำงานของระบบควบคุม



ระบบวงจรควบคุม

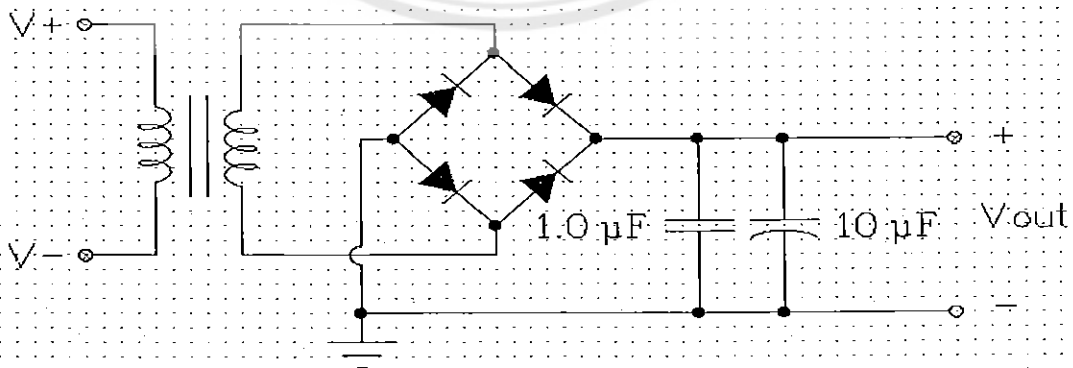
วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge rectifier)

วงจรที่ให้สัญญาณออกเป็นรูปฟูลเวฟ (full wave) อีกแบบหนึ่งคือวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ แต่ที่ต่างกันคือในวงจรบริดจ์จะใช้ไดโอด 4 ตัว และหม้อแปลงจะเป็นแบบไม่มีเซ็นเตอร์แท็ป



รูปที่ ก-1 คลื่นวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ [11]

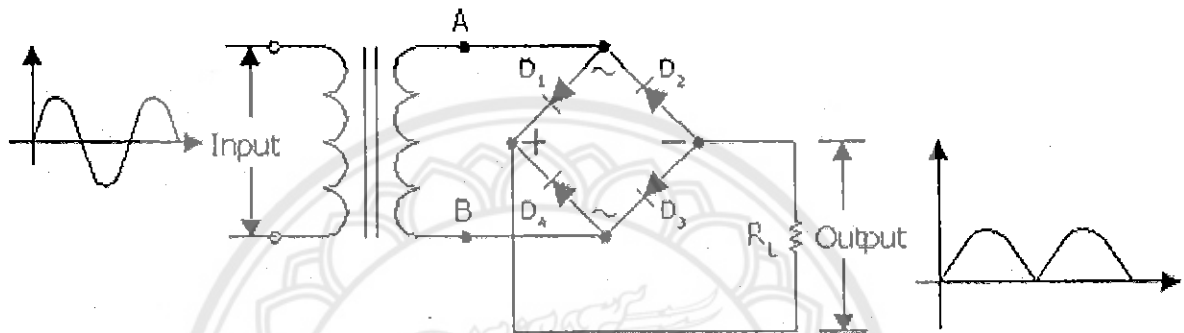
Bridge Rectifier



รูปที่ ก-2 แสดงลักษณะวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ [11]

การทำงานของวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

เมื่อมีสัญญาณไฟซีกบวกเข้ามาที่จุด A จะทำให้ที่ D2 และ D4 ได้รับไบแอสตรง กระแสไฟจะไหลผ่าน D2 โหลด RL และ D4 ครบวงจรที่จุด B ในขณะเดียวกันที่ D1 และ D3 จะได้รับไบแอสกลับ ทำให้ไดโอดไม่นำกระแส และเมื่อที่จุด B มีสัญญาณไฟซีกบวกเข้ามา กระแสจะไหลผ่าน D3 โหลด RL และ D1 ครบวงจรที่จุด A แต่ในขณะเดียวกันที่ D2 และ D4 จะไม่นำกระแส วงจรบริดจ์จะให้สัญญาณเอาต์พุตเหมือนกับวงจรฟูลเวฟ ดังแสดงในรูปที่



รูป ค-3 แสดงการทำงานของวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ [11]



รูปที่ ค-4 แสดง Transformer และ Bridge Rectifier [12]

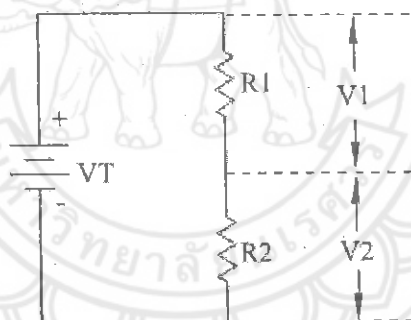
วงจรแบ่งแรงดัน

วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า เรียกว่า “โวลต์เดจดีไวเดอร์” (Voltage Divider) ใช้หลักการของวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม (Series Circuit) เนื่องจากวงจรอนุกรมมีแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานหรือโหลดไม่เท่ากัน

วงจรแบ่งแรงดันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider) และวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider)

1.วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีโหลด (Unloaded voltage divider)

วงจรการแบ่งแรงดันที่ไม่มีโหลด unloaded voltage divider ก็คือ วงจรแบบอนุกรมทั่วๆ ไปนั่นเอง ซึ่งเราสามารถที่จะแบ่งแรงดันได้หลายๆ ค่า เพื่อนำไปจ่ายให้กับโหลดที่ต้องการแรงดันในระดับต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งทั้งนี้แรงดันที่ถูกแบ่งทั้งหมดจะได้มาจากแหล่งกำเนิดแรงดันเพียงตัวเดียวเท่านั้น วงจรแรงดันแต่ยังไม่ต่อโหลด การคำนวณจึงไม่ต้องนำโหลดมาพิจารณา ดังรูปวงจรที่ 1



รูปที่ ก-5 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด (Unloaded Voltage Divider) [13]

จากวงจรจะได้สูตร V_1 , V_2 ดังนี้

$$V_1 = V_T \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

$$V_2 = V_T \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

จากรูปที่ เป็นวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม (Series Circuit) การแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Dividers) ตัวต้านทาน R_1 และ R_2 จะทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งแรงดันไฟฟ้า เพราะแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ไม่เท่ากัน

การหาค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม ถ้าจะใช้สูตรตามหลักการของวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรม (Series Circuit) จะทำให้เกิดความยุ่งยากและเสียเวลา ดังนั้นเพื่อการคำนวณที่ง่ายและรวดเร็วขึ้นจึงมีสูตรเฉพาะที่ใช้กับวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบไม่มีโหลด

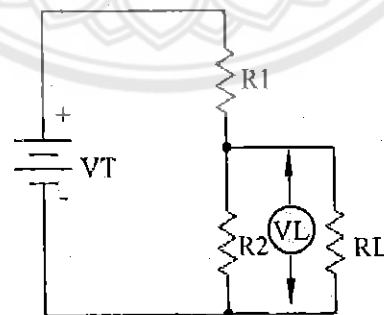
$$V_1 = V_T \left\{ \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right\}$$

$$V_2 = V_T \left\{ \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right\}$$

2. วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider)

ในวงจรอนุกรมที่คำนวณค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานต่างๆ เมื่อนำเอาโหลด (R_L) มาต่อคร่อมตัวต้านทานตัวใดตัวหนึ่งก็จะได้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด

อย่างไรก็ตามจะต้องมีการคำนวณค่ากระแสของแหล่งจ่ายให้เพียงพอต่อการจ่ายกระแสให้โหลดด้วย เพราะเนื่องจากถ้าโหลดใช้กระแสมาก แรงดันที่จ่ายให้โหลดจะลดลงจากกรณีที่ไม่มีโหลด วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (Loaded Voltage Divider) แสดงดังรูปที่ 2



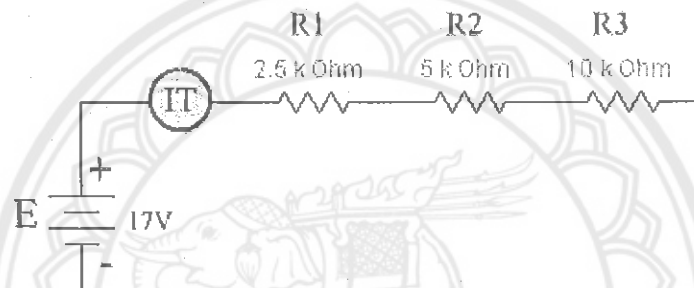
รูปที่ ค-6 วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (R_L) [13]

จากรูปวงจรที่ 2 มีโหลด (R_L) มาต่อคร่อมอยู่กับตัวต้านทาน R_2 ดังนั้นในการหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่แบ่งมาให้โหลด (R_L) เพื่อการคำนวณที่ง่ายและรวดเร็วขึ้นจึงมีสูตรคำนวณเฉพาะที่ใช้กับวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าแบบมีโหลด (R_L) ดังนี้

$$V_L = V_T \left\{ \frac{(R_2 // R_L)}{(R_2 // R_L) + R_1} \right\}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างที่ 1 จากวงจรรูปที่ ก-7 จงคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน R_1 , R_2 และ R_3



รูปที่ ก-7 แสดงวงจรแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน [13]

วิธีทำ

$$V_1 = V_T \left\{ \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \right\}$$

$$V_1 = 17 \text{ V} \left\{ \frac{2.5 \text{ k}\Omega}{2.5 \text{ k}\Omega + 5 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} \right\}$$

$$V_1 = 17 \text{ V} \left\{ \frac{2.5 \text{ k}\Omega}{17.5 \text{ k}\Omega} \right\}$$

$$V_1 = 2.428 \text{ V}$$

$$V_2 = V_T \left\{ \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \right\}$$

$$V_2 = 17 \text{ V} \left\{ \frac{5 \text{ k}\Omega}{2.5 \text{ k}\Omega + 5 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} \right\}$$

$$V_2 = 17 \text{ V} \left\{ \frac{5 \text{ k}\Omega}{17.5 \text{ k}\Omega} \right\}$$

$$V_2 = 4.857 \text{ V}$$

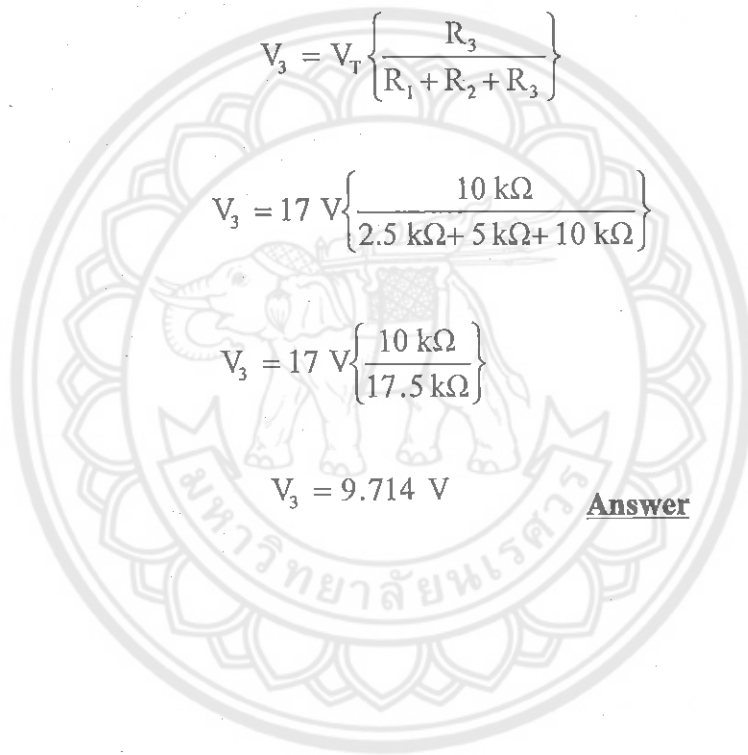
$$V_3 = V_T \left\{ \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \right\}$$

$$V_3 = 17 \text{ V} \left\{ \frac{10 \text{ k}\Omega}{2.5 \text{ k}\Omega + 5 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} \right\}$$

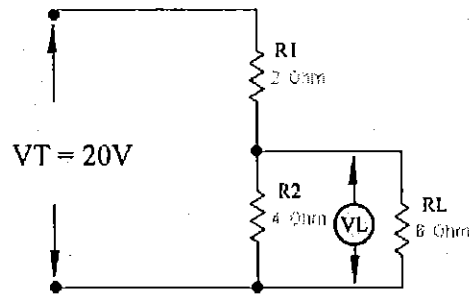
$$V_3 = 17 \text{ V} \left\{ \frac{10 \text{ k}\Omega}{17.5 \text{ k}\Omega} \right\}$$

$$V_3 = 9.714 \text{ V}$$

Answer



ตัวอย่างที่ 2 จากรูปที่ ค-8 จงคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด (R_L) เมื่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 20 V



รูปที่ ค-8 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลด (R_L) [13]

วิธีทำ

$$V_L = V_T \left\{ \frac{(R_2 // R_L)}{(R_2 // R_L) + R_1} \right\}$$

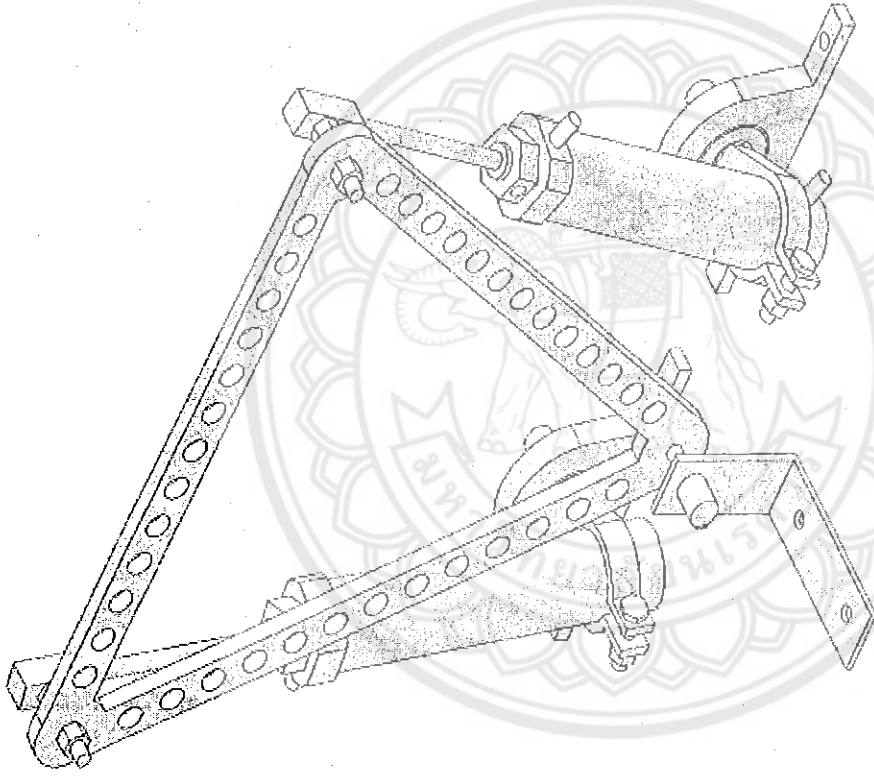
$$V_L = 20 \text{ V} \left\{ \frac{\left(\frac{4 \Omega \times 6 \Omega}{4 \Omega + 6 \Omega} \right)}{\left(\frac{4 \Omega \times 6 \Omega}{4 \Omega + 6 \Omega} \right) + 2 \Omega} \right\}$$

$$V_L = 20 \text{ V} \left\{ \frac{2.4 \Omega}{4.4 \Omega} \right\}$$

$$V_L = 10.909 \text{ V}$$

Answer





FACULTY OF ENGINEERING
NARESUAN UNIVERSITY

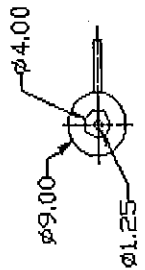
แบบจำลองโครงสร้างของระบบ
บังคับความเอียงของห้องโดยสาร์ไน
รถยนต์ตามล้อด้วยระบบนิวมติกส์

DATE : 10/10/08

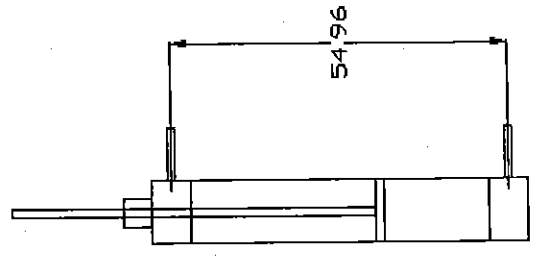
DN BY : M. Teerapoth
O. Thawatchai

SCALE :

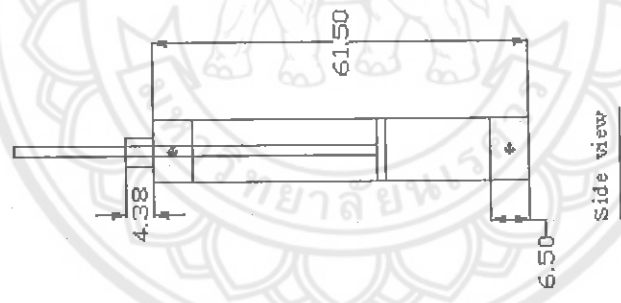
SHEET : 1/6



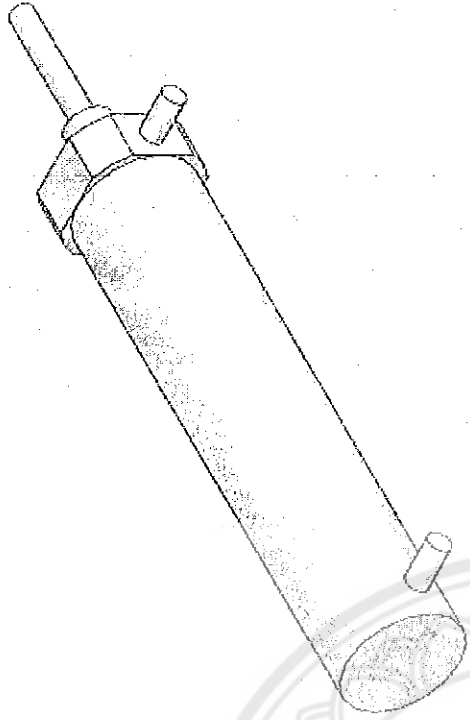
Top view



Front view



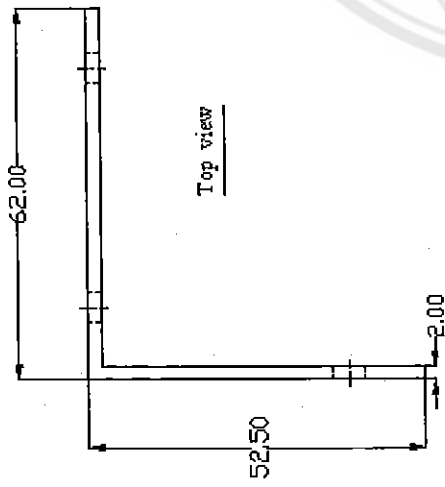
Side view



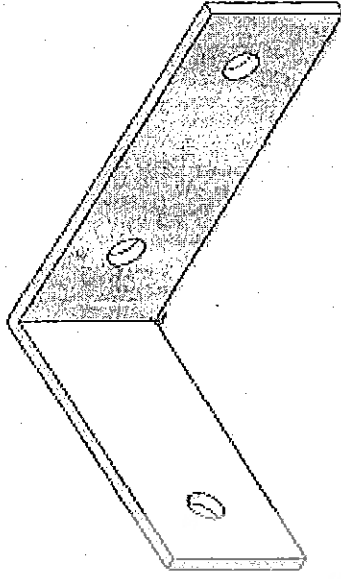
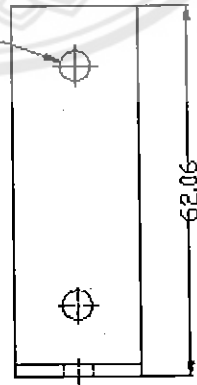
Isometric View

NOTE : All dimensions are in millimeters

<p>FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY</p>	<p>กระบอกนิวเมติกส์</p>	<p>DATE : 10/10/08</p> <p>DN BY : M. Teerapoth O. Thawatchai</p>	<p>SCALE : 1:1</p> <p>SHEET : 2/6</p>

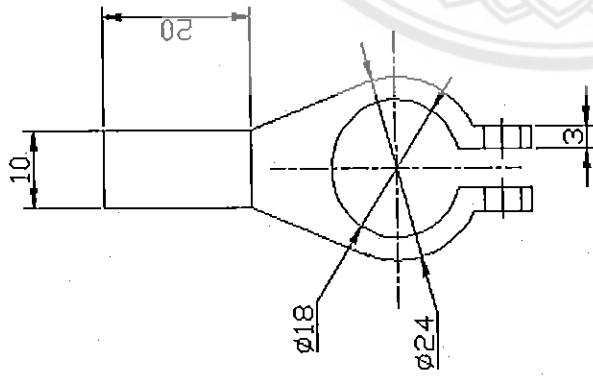


∅5.00 x 3 hole

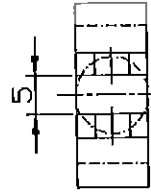


NOTE : All dimensions are in millimeters

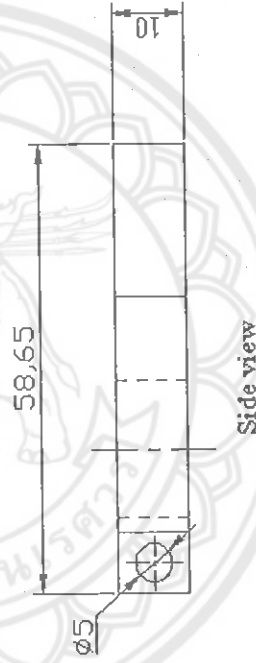
<p>DATE : 10/10/08</p> <p>SCALE : 1:1</p>	<p>ฐานวัด Potentiometer</p>	<p>FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY</p>
<p>DN BY : M. Teerapoth O. Thawatchai</p>		<p>SHEET : 3/6</p>



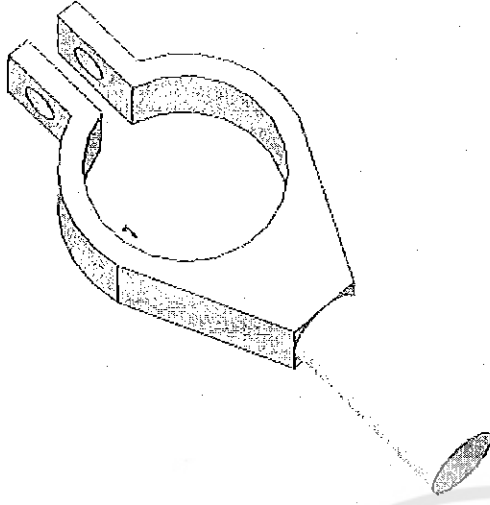
Top view



Front view



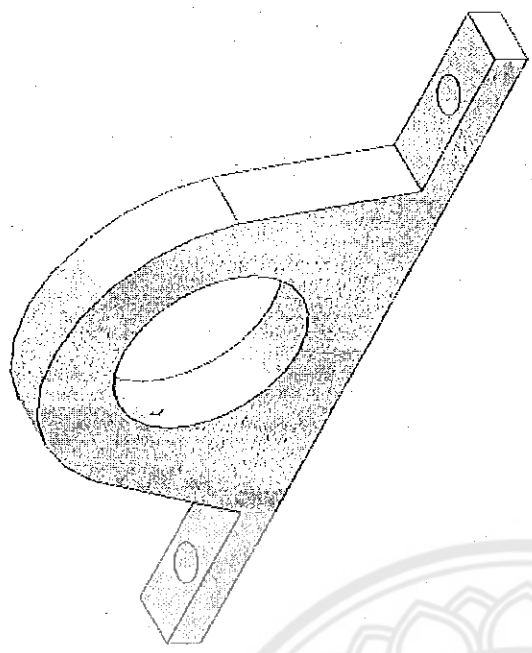
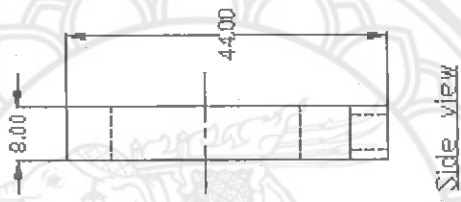
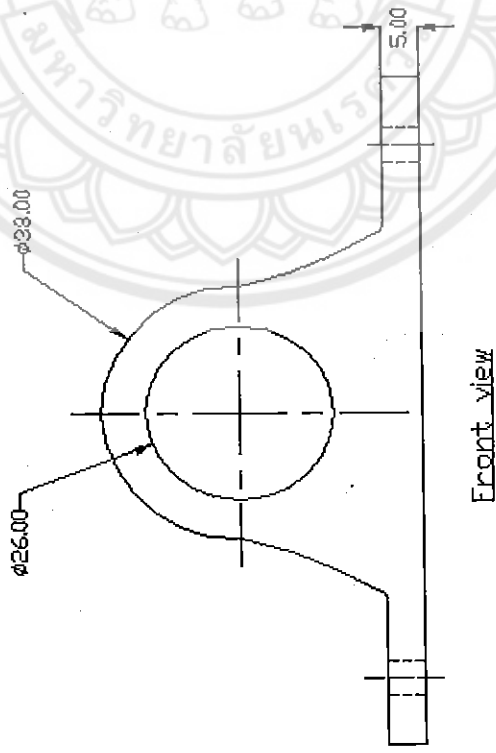
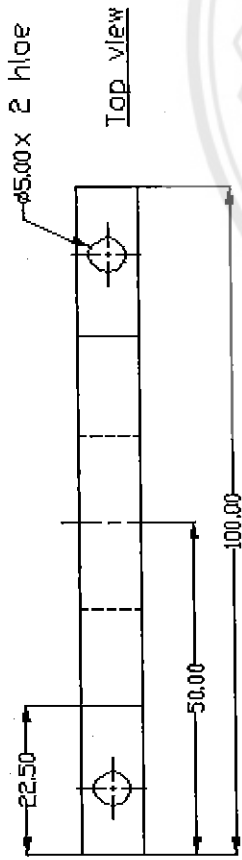
Side view



Isometric View

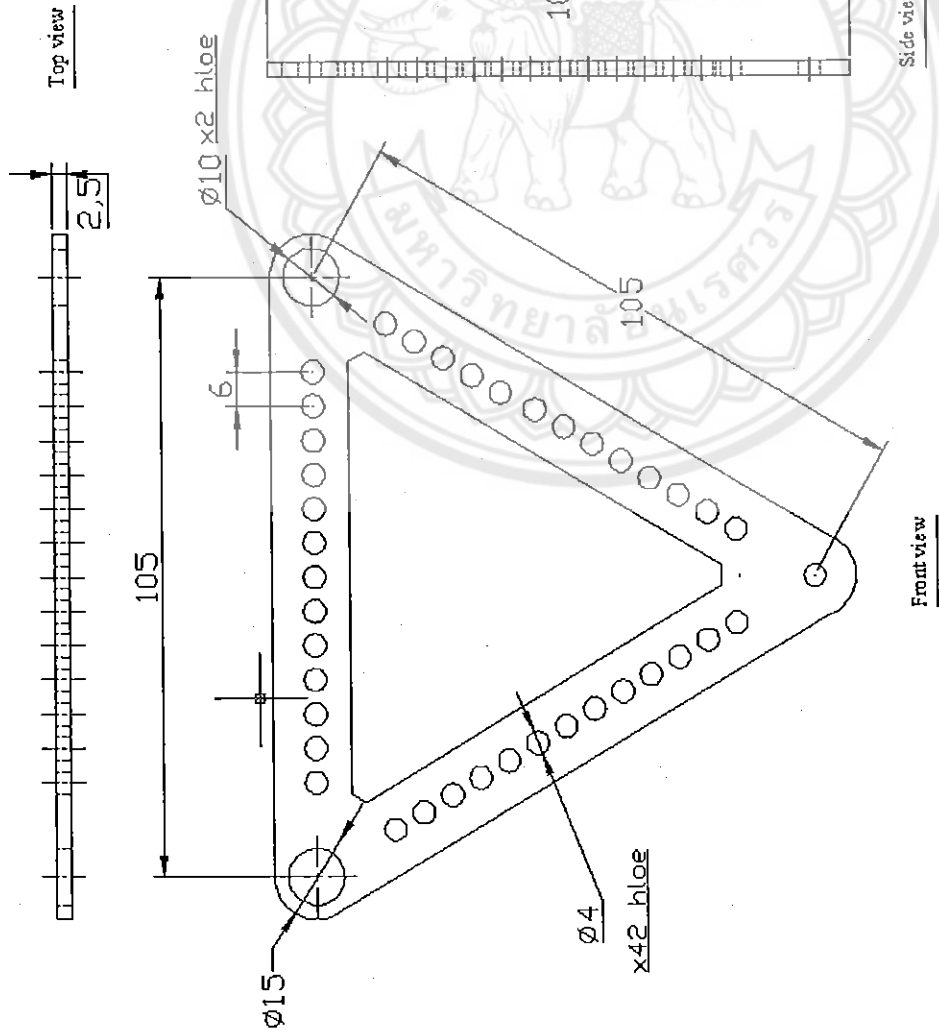
NOTE : All dimensions are in millimeters

<p>DATE : 10/10/08</p>	<p>SCALE : 1:1</p>	<p>FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY</p>
<p>DN BY : M. Teerapoth</p>	<p>SHEET : 4/6</p>	<p>ตัวออกแบบเมตริกซ์</p>
<p>O. Thawatchai</p>		

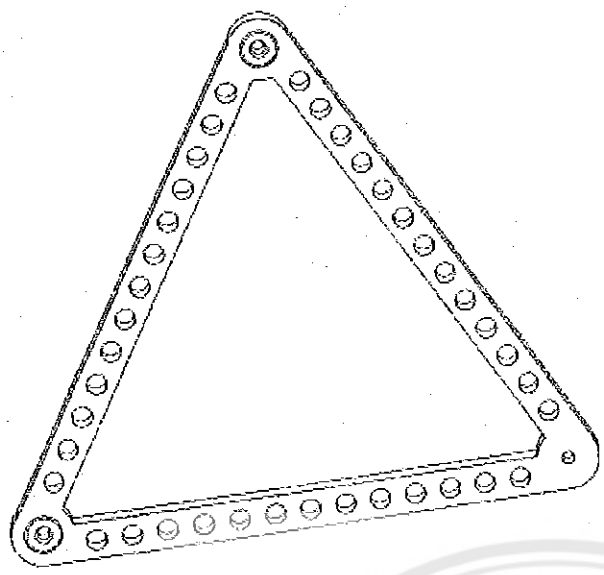


NOTE : All dimensions are in millimeters

<p>FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY</p>	<p>ฐานจับตัวลอคนิวเมติกส์</p>	<p>DATE : 10/10/08</p>	<p>SCALE : 1:1</p>
<p>DN BY : M. Teerapoth O. Thawatchai</p>		<p>SHEET : 5/6</p>	



Isometric View



NOTE : All dimensions are in millimeters

<p>FACULTY OF ENGINEERING NARESUAN UNIVERSITY</p>	<p>โครงสร้างเหล็กสามเหลี่ยม</p>	<p>DATE : 10/10/08</p>	<p>SCALE : 2:1</p>
			<p>DN BY : M. Teerapoth O. Thawatchai</p>

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ/นามสกุล : นาย ธีรพจน์ มียงค์
วันเกิด : 17 กุมภาพันธ์ 2528
ที่อยู่ : 129 หมู่10 ต.แม่สุก อ.แจ้ห่ม จ.ลำปาง 52120
สถานที่เกิด : จังหวัดลำปาง
การศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมตอนปลาย จาก โรงเรียนแจ้ห่มวิทยา
จังหวัดลำปาง ปีการศึกษา 2547

ชื่อ/นามสกุล : นาย ธวัชชัย อุ่นลี
วันเกิด : 29 มิถุนายน 2528
ที่อยู่ : 78/6 ต.ทุ่งขมพู่ อ. ภูเวียง จ.ขอนแก่น 40150
สถานที่เกิด : จังหวัดขอนแก่น
การศึกษา : จบการศึกษาระดับมัธยมตอนปลาย จาก โรงเรียนภูเวียงวิทยาคม
จังหวัดขอนแก่น ปีการศึกษา 2547

