

การออกแบบและวิเคราะห์หุ่นยนต์ 5 ขา

DESIGN AND ANALYSIS OF A FIVE-LEGGED ROBOT



นายบัญชา โสภณ

นายประชาธิป วาศิวุฑฒิ

นายวิษณุพันธ์ กันนิน

Handwritten text: ๒๕๖๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 62424  
วันเดือนปี 17 ส.ค. 2549

11623408  
b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การออกแบบและวิเคราะห์หุ่นยนต์ 5 ขา**  
**DESIGN AND ANALYSIS OF A FIVE-LEGGED ROBOT**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

**ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล**

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและวิเคราะห์หุ่นยนต์ 5 ขา

DESIGN AND ANALYSIS OF 5 LEGGED ROBOT

ผู้จัดทำ

1. นายบัญชา โสภณ รหัสประจำตัว 45010419
2. นายประชาธิป ราสีวิสุทธิ รหัสประจำตัว 45010438
3. นายวิชญ์พันธ์ กันนัม รหัสประจำตัว 45010705

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. อำนาจ คณะรัฐ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การออกแบบและวิเคราะห์หุ่นยนต์ 5 ขา**

นายบัญชา โสภณ 45010419

นายประชาธิบ ราศิริสุทธิ 45010438

นายวิชญ์พันธ์ กันน้อม 45010705

ดร.อำนาจ คณะรัฐ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

**บทคัดย่อ**

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาเรื่องการออกแบบหุ่นยนต์และวิเคราะห์การเดินของหุ่นยนต์แบบมีขา โดยได้ทำการออกแบบ หุ่นยนต์ซึ่งมีจำนวนห้าขา โดยทำการออกแบบหุ่นยนต์ให้เหมาะสมกับการกิจ และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ และคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นสำคัญ โดยจะทำการวิเคราะห์แรงที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์ และทำการสังเคราะห์การเดินให้มีการเดินที่สมดุลและมีปลอดภัย และได้แบบที่นำไปใช้สร้างจริงได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DESIGN AND ANALYSIS OF A FIVE-LEGGED ROBOT**

Bancha Sapon

Prachatip Raseewisut

Wichapan kannim

Dr.Amnart Kanarat      Advisor

**ABSTRACT**

This paper concerns about design and analysis of walking patterns for a legged robot . A five legged-robot is selected to be operating in many missions the most suitable for. Safety and stability is the primary concerns in design and analysys of the robot. All force and moment analyses have been conducted to use in designing the robot. Moreover, the walking gait synthesis has been studied to ensure safe and stable walking sequences. The result from this project can be used in the construction of a full-scale legged robot.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ดร.อำนาจ คณะรัฐ  
ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในการดูแลเป็น  
อย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และ คุณนิวัฒน์ ภู  
เจริญ เจ้าหน้าที่วิจัยและบริการซอฟต์แวร์ทางด้านวิศวกรรม สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม  
คอมพิวเตอร์ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และ  
ให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

1. นายบัญชา โสภณ รหัสประจำตัว 45010419
2. นายประชาธิป ราสีวิสุทธิ รหัสประจำตัว 45010438
3. นายวิษณุพันธ์ กันนั่ม รหัสประจำตัว 45010705

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>สารบัญ</b>	<b>หน้าที่</b>
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	1
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การเลือกขาของหุ่นยนต์	3
2.1 ความสำคัญของหุ่นยนต์	3
2.2 กลไกการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้ขา	4
2.3 รูปแบบการเดินของหุ่นยนต์โดยใช้ขา	4
2.4 การเดินหลายขา	5
บทที่ 3 ระบบเดินกำลังของหุ่นยนต์	7
3.1 การเลือกระบบเดินกำลัง	7
3.2 หลักการทำงานของระบบเดินกำลังแบบไฮดรอลิก	9
บทที่ 4 การออกแบบขาหุ่นยนต์	10
4.1 การออกแบบสำหรับการแตกหักเนื่องจากความล้า	10
4.2 การคำนวณแรง	20
4.3 การวิเคราะห์แรงภายในที่ตำแหน่งต่างๆ โดยใช้โปรแกรม ADAMS VIEW	23
4.4 การวิเคราะห์แรงสำหรับชิ้นส่วนต่างๆ โดยทฤษฎี	25
4.5 การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ความแข็งแรง	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สารบัญ(ต่อ)**

	<b>หน้าที่</b>
4.6 ระบบที่ติดตั้งเพื่อใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์	34
บทที่ 5 การเดิน	52
5.1 การสังเคราะห์การเดิน	52
5.2 ลักษณะการเดิน	55
5.3 ตัวอย่างการเดิน	57
บทที่ 6 สรุปลและข้อเสนอแนะ	64
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก ก	66
ภาคผนวก ข	83
ภาคผนวก ค	96
ภาคผนวก ง	104
ภาคผนวก จ	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 2-1 ความต้องการใช้หุ่นยนต์ในอุตสาหกรรมต่างๆ	3
ตารางที่ 2-2 ประเภทของกลไกการเคลื่อนที่ที่ใช้กับหุ่นยนต์	4
ตารางที่ 2-3 ตารางเปรียบเทียบจำนวนขาเพื่อทำการสร้างหุ่นยนต์	5
ตารางที่ 3-1 แสดงข้อมูลของต้นกำลังชนิดต่างๆ	6
ตารางที่ 3-2 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับต้นกำลังกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกที่ใช้ในกระบอกลูกสูบ	9
ตารางที่ 4-5 แสดงแรงปฏิกิริยาที่ขาหุ่นยนต์ที่มุมต่างๆ	21
ตารางที่ 4-6 แสดงผลการคำนวณแรงจากโปรแกรม ADAMS VIEW	24
ตารางที่ 4-7 แสดงค่าต่างๆของโปรแกรม	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 3-1 กระบอกสูบ	9
รูปที่ 4-1 ความเค้นบริเวณรูเจาะ	11
รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับจำนวนวัฏจักร	11
รูปที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้นกับเวลา	11
รูปที่ 4-4 แสดงเกณฑ์ของโซเดอร์เบิร์ก	14
รูปที่ 4-5 แสดง เสาชนิดต่างๆ	16
รูปที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอัตราส่วนความเครียด จากสูตรออยเลอร์และจอห์นสัน	19
รูปที่ 4-7 แสดงแรงต่างๆที่กระทำกับหุ่นยนต์	20
รูปที่ 4-8 แสดงการยื่น 3 ขาของหุ่นยนต์	20
รูปที่ 4-9 แสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรม ADAMS VIEW	23
รูปที่ 4-10 แสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรม ADAMS VIEW ในการวิเคราะห์แรง	24
รูปที่ 4-11 แสดงตำแหน่งข้อต่อของขา	25
รูปที่ 4-12 ก แสดงภาพหน้าของเสาที่ใช้ประกอบกรคำนวณ	27
รูปที่ 4-13 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นที่ 1 ส่วนก่อนปรับปรุง	29
รูปที่ 4-14 แสดงการวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนที่ 1 เมื่อปรับปรุงรูปร่าง	29
รูปที่ 4-15 แสดงแบบวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนที่ 2 ก่อนปรับปรุง	30
รูปที่ 4-16 แสดงแบบวิเคราะห์ความแข็งแรง ชิ้นส่วนที่ 2 การปรับปรุงครั้งแรก	30
รูปที่ 4-17 แสดงการวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนที่ 2 เมื่อปรับปรุงรูปร่าง	31
รูปที่ 4-18 แสดงการวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนที่ 2 เมื่อปรับปรุงรูปร่าง	31
รูปที่ 4-19 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนที่ 3 ก่อนปรับปรุง	32
รูปที่ 4-20 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนที่ 3 ก่อนปรับปรุง	32
รูปที่ 4-21 แสดงการวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนที่ 3 เมื่อปรับปรุงรูปร่าง	33
รูปที่ 4-21 ก แสดงแบบของหุ่นยนต์ที่สมบูรณ์	33
รูปที่ 4-22ก แสดงอุปกรณ์ในวงจรไฮดรอลิกเบื้องต้น	34
รูปที่ 4-22ข แสดง อุปกรณ์ในวงจรไฮดรอลิกเบื้องต้น	35
รูปที่ 4-23 แสดงระบบไฮดรอลิกเบื้องต้นที่แสดงด้วยรูปตัดขวางและสัญลักษณ์	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สารบัญภาพ (ต่อ)**

	หน้าที่
รูปที่ 4-24 แสดงกลไกการทำงานของระบบไฮดรอลิก	36
รูปที่ 4-25 แสดงกลไกการทำงานของระบบไฮดรอลิก	37
รูปที่ 4-26 แสดงกลไกการทำงานของระบบไฮดรอลิก	38
รูปที่ 4-27 แสดงกลไกการทำงานของระบบไฮดรอลิก	38
รูปที่ 4-28 แสดงวงจรชุดต้นกำลัง	39
รูปที่ 4-29 โครงสร้างของถังน้ำมันไฮดรอลิก	40
รูปที่ 4-30 แสดง ถังน้ำมันไฮดรอลิก	40
รูปที่ 4-31 แสดงกรองน้ำมันจิ้งหะหะคู่ หรือที่เรียกว่า สเตรเนอร์	41
รูปที่ 4-32 แสดงกรองน้ำมันชนิดความดันสูง	41
รูปที่ 4-33 แสดงกรองน้ำมันจิ้งหะหะไหลกลับ	42
รูปที่ 4-34 แสดงวงจรตำแหน่งการติดตั้งกรองน้ำมันไฮดรอลิกทั้ง 3 ตำแหน่ง	42
รูปที่ 4-35 ป้อนแบบเฟือง	43
รูปที่ 4-36 ป้อนแบบเวน	43
รูปที่ 4-37 ป้อนแบบลูกสูบ	44
รูปที่ 4-38 แสดง ป้อนแบบลูกสูบชนิดมีลูกสูบอยู่แนวเดียวกับเพลาชับ	44
รูปที่ 4-39 แสดงป้อนแบบลูกสูบชนิดลูกสูบทำเป็นมุมเอียงกับเพลาชับ	45
รูปที่ 4-40แสดงวิธีฟาล์ว	47
รูปที่ 4-41 แสดงการต่อวิธีฟาล์วในระบบไฮดรอลิก	47
รูปที่ 4-42 แสดงเกววัดความดัน	48
รูปที่ 4-43 แสดง เช็ควาล์วทั้งชนิดต่อตรงและชนิดคดเป็นมุมฉาก	49
รูปที่ 4-44 แสดงสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมชนิดต่างๆ	49
รูปที่ 4-45 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่ง โดยการทำงานของโซลินอยด์	50
รูปที่ 4-46 แสดงลักษณะของ POWER UNIT	50
รูปที่ 4-47 แสดงข้อมูลของ POWER UNIT	51
รูปที่ 4-48 แสดง POWER UNIT	51
รูปที่ 5-1 แสดงความสัมพันธ์ ของจุดพักคิดใดๆ กับมุมที่เกี่ยวข้อง	52
รูปที่ 5-2 แสดงมุมที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สารบัญญภาพ (ต่อ)**

	<b>หน้าที่</b>
รูปที่ 5-3 ภาพแสดงตำแหน่งการวางขาของหุ่นยนต์	54
รูปที่ 5-4 แสดงเวกเตอร์ที่คูณกันเพื่อพิจารณาสมดุลของหุ่นยนต์	55
รูปที่ 5-5 แสดงการเดิน ครอบ 1 รอบการเดินตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้	56
รูปที่ 5-6 แสดงการเดิน	57
รูปที่ 5-7 แสดงการเคลื่อนที่ของลำตัว	58
รูปที่ 5-8 แสดงการก้าวขาถัดมายังตำแหน่งเช่นเดียวกับตอนเริ่มต้น	59
รูปที่ 5-9 แสดงการก้าวขาถัดมายังตำแหน่งเช่นเดียวกับตอนเริ่มต้น	60
รูปที่ 5-10 แสดงการก้าวขาถัดมายังตำแหน่งเช่นเดียวกับตอนเริ่มต้น	61
รูปที่ 5-11 แสดงการก้าวขาถัดมายังตำแหน่งเช่นเดียวกับตอนเริ่มต้น	62
รูปที่ 5-12 แสดงการก้าวขาถัดมายังตำแหน่งเช่นเดียวกับตอนเริ่มต้น	63
รูปที่ ก-1 เปิดโปรแกรม ADAMS VIEW	66
รูปที่ ก-2 แสดงการเปิดข้อมูลโดยใช้ Open an existing database	67
รูปที่ ก-3 แสดงการเปิดข้อมูลโดยใช้ Import a file	67
รูปที่ ก-4 แสดงหน้าจอของ โปรแกรม ADAMS VIEW	68
รูปที่ ก-5 แสดงการตั้งค่า	68
รูปที่ ก-6 แสดง การตั้งค่าแรงโน้มถ่วง	69
รูปที่ ก-7 แสดงการตั้งค่า Working Grid	70
รูปที่ ก-8 แสดงการตั้งค่าหน่วย	70
รูปที่ ก-9 แสดงการสร้าง Link	71
รูปที่ ก-10 แสดงการสร้าง Box	72
รูปที่ ก-11 แสดงการสร้าง Cylinder	73
รูปที่ ก-12 แสดงการสร้าง Cylinder	73
รูปที่ ก-13 แสดงการสร้าง joint	75
รูปที่ ก-14 แสดงการสร้าง Translation Joint	76
รูปที่ ก-15 แสดงการสร้าง Fixed Joint	77
รูปที่ ก-16 แสดงการใส่แรงและการเคลื่อนที่	78
รูปที่ ก-17 แสดงการใส่ทิศทางของการเคลื่อนที่ของแรง	79
รูปที่ ก-18 แสดงการ SIMULATION MODEL	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สารบัญญภาพ (ต่อ)**

	<b>หน้าที่</b>
รูปที่ ก-19 แสดง Information window	81
รูปที่ ก- 20 แสดงวิธีการ simulate model	81
รูปที่ ข-1 แสดงแผนภูมิ การทำงานของโปรแกรมในการเดิน 1 รอบ	95
รูปที่ ค-1 แสดงแบบขึ้นส่วนของลำตัว	96
รูปที่ ค-2 แสดงแบบขึ้นส่วนประกอบของขาส่วนบน	97
รูปที่ ค-3 แสดงแบบขึ้นส่วนตัวยึดลำตัวกับขา	98
รูปที่ ค-4 แสดงแบบขึ้นส่วนที่แขวนกระบอกสูบ	99
รูปที่ ค-5 แสดงแบบขึ้นส่วนขาส่วนล่าง	100
รูปที่ ค-6 แสดงแบบขึ้นส่วนของเสาที่เชื่อมต่อตัวยึดกับลำตัว	101
รูปที่ ค-7 แสดงส่วนเท้าของหุ่นยนต์	102
รูปที่ ค-8 รูปแสดงขึ้นส่วนตัวยึดกระบอกสูบด้านข้าง	103
รูปที่ ง-1 การสร้างวัตถุจาก โปรแกรม Solid Work	104
รูปที่ ง-2 การเริ่มใช้โปรแกรม COSMOS ในการวิเคราะห์	104
รูปที่ ง-3 การกำหนดค่าและตั้งชื่อ ชิ้นงาน	105
รูปที่ ง-4 กำหนดชนิดวัสดุที่ทำการวิเคราะห์	105
รูปที่ ง-5 กำหนดขนาดภาระที่จะให้กับชิ้นงาน	106
รูปที่ ง-6 ใส่แรงที่กระทำต่อชิ้นงานในระนาบต่างๆ	106
รูปที่ ง-7 ก การ กำหนดพื้นผิวชิ้นงาน	107
รูปที่ ง-7 ข การ Mesh ชิ้นงาน	107
รูปที่ ง-8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรง	108
รูปที่ จ-1 แสดงสูตรสำเร็จของหน้าตัดชนิดต่างๆ	109
รูปที่ จ-2 แสดงตัวประกอบผิวสำเร็จสำหรับเหล็กกล้า	110
รูปที่ จ- 3 แสดงแผนภูมิความไวของรอยเจาะสำหรับเหล็กกล้าและอะลูมิเนียมผสมเหนียว ที่อยู่ภายใต้การการคัดกลับ ไปกลับมาหรือการดึงสลับกันในแนวนอน ในกรณีรอยเจาะ โตกว่าในรูป ให้หาค่า $q$ ที่ค่ารัศมี $r=4$	110
รูปที่ จ-4 แสดงแผนภูมิความไวของรอยเจาะชิ้นงานที่อยู่ภายใต้การบิดกลับ ไปกลับ ในกรณีรอยเจาะโตกว่าในรูป ให้หาค่า $q$ ที่ค่ารัศมี $r=4$	111
รูปที่ จ-5 แสดงเพลลาที่มีฟิลเลตภายใต้แรงต่างๆ	112
รูปที่ จ-6 แสดงเพลลาที่มีร่องโคจรภายใต้แรงต่างๆ	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ จ-7 แสดงเพลาที่มีรูเจาะในแนวรัศมี	114
รูปที่ จ-8 แสดงแท่งโลหะที่มีบ่าเป็นฟิลเลต	115
รูปที่ จ-9 แสดงรอยเจาะของแท่งโลหะแบน	116
รูปที่ จ-10 แสดงแผ่นโลหะมีรูเจาะตรงกลางภายใต้แรงต่างๆ	117
รูปที่ จ-11 แสดงแท่งโลหะรูปตัว T อยู่ภายใต้แรงในแนวแกน	118
รูปที่ จ-12 แสดงแผ่นโลหะมีรูเจาะเยื้องศูนย์กลาง อยู่ภายใต้แรงค้ำ	119



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันหุ่นยนต์ถือว่ามีบทบาทอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นใน ด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ หรือในบางภารกิจที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติหรือทำได้ยาก เช่น การสำรวจในพื้นที่อันตราย ยากลำบาก การเข้าไปช่วยเหลือกู้ภัยหรือ อาจจะใช้ในการปฏิบัติการด้านการเกษตรและป่าไม้ โดยพื้นที่ที่จะเข้าไปนั้น ไม่สามารถคาดหมายลักษณะล่วงหน้าได้ หุ่นยนต์แบบมีล้อหรือแม้แต่แบบตีนตะขาบ จึงไม่เหมาะสมเพราะการเคลื่อนแบบใช้ล้อหรือแบบตีนตะขาบนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีความสูงมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ ได้อีกทั้งยังมีโอกาสที่จะล้มคว่ำได้มากกว่าหุ่นยนต์แบบมีขา ในขณะที่หุ่นยนต์แบบมีขานั้นสามารถที่จะเคลื่อนที่เข้าไปยังภูมิประเทศต่างๆ โดยที่ขายังคงรักษาระดับของตัวหุ่นให้ขนานกับพื้นได้และหุ่นยนต์แบบมีขานี้ยังสามารถเดินแบบคล่องตัวไปในทุกทิศทางจึงทำ ซึ่งทำให้สามารถวางแผนการเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ซึ่งถือเป็นที่มาและความสำคัญของโครงการนี้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาจำนวนรูปแบบของขารวมทั้งการเดินของหุ่นยนต์
- 1.2.2 เปรียบเทียบและคัดเลือกระบบต้นกำลังที่เหมาะสม
- 1.2.3 สังเคราะห์การเดินของหุ่นยนต์แบบห้าขา
- 1.2.4 ออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์แบบห้าขา
- 1.2.5 จำลองการเดินของหุ่นยนต์แบบห้าขบบนคอมพิวเตอร์

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 สามารถนำทฤษฎีด้านหุ่นยนต์โดยมุ่งเน้นทางด้านกลศาสตร์ และลักษณะ การเดินแบบต่างๆของหุ่นยนต์หรือสิ่งมีชีวิตมาใช้ในการออกแบบหุ่นยนต์แบบห้าขาได้
- 1.3.2 สามารถออกแบบหุ่นยนต์และสังเคราะห์การเดินของหุ่นยนต์โดยที่สามารถนำไปใช้สร้างจริงได้ต่อไปในอนาคต

### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาหุ่นยนต์แบบมีขาลักษณะต่างๆ
- 1.4.2 พิจารณาหาจำนวนขาที่เหมาะสม
- 1.4.3 เลือกชนิดของต้นกำลังให้เหมาะสม
- 1.4.4 พิจารณาารูปแบบขาของหุ่นยนต์ เป็น 2 ลิงค์ 3 ลิงค์ 4 ลิงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.4.5 เลือกราชของหุ่นยนต์ที่เหมาะสม ปัจจัย กราฟต์เคลียร์เรนจ์
- 1.4.6 เลือกรขนาดกระบอกสูบและขนาดชิ้นส่วนต่างๆของขา
- 1.4.7 ทดสอบการรับแรงของขาที่ได้ออกแบบไว้
- 1.4.8 สังเคราะห์การเดินของหุ่นยนต์บนคอมพิวเตอร์
- 1.4.9 เขียนแบบชิ้นส่วนของหุ่นยนต์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้แบบโครงสร้างหุ่นยนต์แบบห้าขา ที่สามารถนำไปออกแบบได้จริงในอนาคตต่อไป
- 1.5.2 ได้วิธีการและ โปรแกรมการสังเคราะห์การเดินโดยทั่วไปของหุ่นยนต์แบบห้าขา
- 1.5.3 เป็นข้อมูลเพื่อใช้เป็นฐานความรู้แก่ผู้สนใจทั่วไป
- 1.5.4 เพิ่มประสบการณ์และความรู้แก่นักศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### การเลือกของหุ่นยนต์

#### 2.1 ความสำคัญของหุ่นยนต์

ในปัจจุบันหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในประเทศต่างๆ ในโลกนี้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว สาเหตุที่มีการนำหุ่นยนต์มาใช้งานในการผลิตก็คือการแก้ปัญหาเรื่องการขาดแรงงาน แม้จะมีปัญหาเรื่องคนตกงานในสังคมปัจจุบันก็ตามแต่ในภาคการผลิตก็ยังขาดคนงานที่เป็นแรงงานที่มีฝีมือในประเทศสหรัฐอเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่น อัตราการเพิ่มของผลเมืองจะลดลง และประชากรที่อยู่ในวัยทำงานจะลดลงไปเรื่อยๆ ทำให้ขาดแคลนแรงงาน จำเป็นต้องใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมมาช่วยในการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม แต่ก็ไม่ใช่ว่าเหตุผลเดียวที่มีการต้องการหุ่นยนต์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการผลิตหุ่นยนต์มีการพัฒนาไปอย่างมาก ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตของหุ่นยนต์ดีขึ้นอย่างมาก โรงงานที่ไม่ใช้หุ่นยนต์ไม่สามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพและทันเวลาได้อย่างที่เห็นในปัจจุบันนี้ หุ่นยนต์ที่มีคอมพิวเตอร์เทคโนโลยีทันสมัยอยู่ภายในสามารถทำงานได้หลายงานแทนมนุษย์ ได้แก่ งานที่อันตรายสำหรับมนุษย์ งานซ่อมบำรุงและปฏิกรณ์ปรมาณู ซึ่งมีโอกาสที่จะถูกรังสีจากเตาได้ งานเหล่านี้เอามาให้หุ่นยนต์ทำงานแทนคน หุ่นยนต์ที่ใช้เป็นพยาบาลดูแลคนชรา หรือคนพิการที่ช่วยตัวเองไม่ได้ งานพยาบาลนี้หากคนทำงานได้ยากหรือไม่สามารถดูแลได้ตลอดเวลาทั้งวันทั้งคืน หุ่นยนต์เหล่านี้จะเกิดจากความต้องการในสังคม ในปัจจุบันมีหุ่นยนต์ใหม่ๆ เกิดขึ้นตลอดเวลา ส่วนใหญ่จะเป็นหุ่นยนต์ที่ตอบสนองต่อความต้องการความจำเป็นของมนุษย์นั่นเอง

#### ตารางที่ 2-1 ความต้องการใช้หุ่นยนต์ในอุตสาหกรรมต่างๆ

ชนิดอุตสาหกรรม	ความต้องการใช้หุ่นยนต์
การเกษตร	เพิ่มผลผลิต ทดแทนแรงงานที่ขาดแคลน ช่วยคนทำงาน
อวกาศ	สำรวจและทำงานบนดาวเคราะห์และอวกาศ
ดับเพลิง	ค้นหาคนและทำงานในที่อันตราย
ก๊าซ น้ำประปา	ทำงานแทนคนในที่อันตราย ทำงานโดยอัตโนมัติในงานที่ต้องใช้เวลามากๆ
ไฟฟ้า	ค้นหาหรือทำงานในที่อันตราย ทำงานในสถานที่คนเข้าไปไม่ได้
สื่อสาร	ทดแทนแรงงานฝีมือที่ขาดแคลน ทำงานในที่อันตราย
ก่อสร้าง โยธา	ทดแทนแรงงานฝีมือที่ขาดแคลน ทำงานในที่อันตราย เพิ่มคุณภาพงาน
การขนส่ง คลังสินค้า	ทดแทนแรงงานฝีมือที่ขาดแคลน ทำงานในที่อันตราย เพิ่มผลผลิตของงาน
การแพทย์	ช่วยงานพยาบาล ทดแทนแรงงานพยาบาล ให้กำลังใจผู้ป่วย
กำจัดขยะ	ทำงานในที่สกปรกและอันตราย
ทำความสะอาด	
การศึกษา การวิจัย	ช่วยงานวิจัย หรือทำงานแทนคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของอุตสาหกรรม	ความต้องการใช้หุ่นยนต์
การค้าขาย	เพิ่มผลผลิตในการค้า
การบริการต่างๆ	เพิ่มผลผลิต ทดแทนแรงงานที่ขาดแคลน เพิ่มความสามารถในการเรียกลูกค้า

เราคาดหวังที่จะใช้หุ่นยนต์ในสถานที่อันตรายมากๆ ในสภาพแวดล้อมที่เลวร้าย ที่คนเราไม่สามารถทนได้ เช่น ในอวกาศ ทะเลลึก บริเวณภูเขาไฟที่เพิ่งระเบิด นอกจากนั้นในสถานที่อันตรายเหมาะกับมนุษย์เข้าไปทำงาน เช่น การตรวจสอบเตาปฏิกรณ์ปรมาณู โรงงานเคมี หรือสถานที่บางแห่งที่คนเข้าไปไม่ได้ หรือมีขนาดเล็ก เช่น ในท่อ

## 2.2 กลไกการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้ขา

กลไกการเคลื่อนไหวกลายเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ในการขยายพื้นที่การทำงานของหุ่นยนต์ การเคลื่อนที่เดินสองขาเหมือนคน การเดินสองขาจะต้องใช้เทคโนโลยีการควบคุมขั้นสูง ถ้าเป็นบริเวณที่ขรุขระหรือมีสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่อยู่มาก การเดินแบบหลายขาเป็นวิธีที่เหมาะสม ยิ่งขาที่ใช้ยาวเท่าไรก็สามารถข้ามสิ่งกีดขวาง หลุมบ่อ หรือพื้นเป็นขั้นได้อย่างสบาย การรักษาสสมดุลตลอดเวลาระหว่างการเดินด้วยขาสองขา หรือสามขาไม่ใช่เรื่องง่าย แต่ถ้ามีจำนวนขามากกว่านั้น แม้ขาบางขาจะยกลอยอยู่แต่ถ้ามีขามากกว่าสามขาและอยู่กับพื้นก็จะสามารถรักษาสสมดุลได้

### ตารางที่ 2-2 ประเภทของกลไกการเคลื่อนที่ที่ไว้กับหุ่นยนต์

การเดินโดยใช้ขา	การเดิน 2 ขา
	การเดิน 3 ขา
	การเดิน 4 ขา
	การเดิน 6 ขา
	การเดิน 8 ขา
การเดินไม่ใช้ขา	เช่น หุ่นยนต์มีล้อ หุ่นยนต์งู
แบบผสม	เช่น ล้อ+ขาหลายขา

## 2.3 รูปแบบ การเดินของหุ่นยนต์โดยใช้ขา

การเคลื่อนที่ด้วยการเดินโดยใช้ขานั้น กลไกที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่มักจะมีองศาความอิสระ (Degree of Freedom) จำนวนมากเพื่อให้มีอิสระในการเคลื่อนที่สูง และสามารถเคลื่อนที่ไปบนพื้นที่ขรุขระมากๆ ได้ โดยทั่วไปต้องมีอุปกรณ์ในการตรวจสอบสภาพพื้นล่วงหน้าเพื่อช่วยในการวางเท้าลงสัมผัสพื้น ระบบควบคุมจะมีความซับซ้อนมากตามไปด้วย เนื่องจากต้องควบคุมข้อต่อและอุปกรณ์ตรวจรูปร่างจุดเด่นของการเคลื่อนที่แบบนี้คือสามารถเคลื่อนที่บนพื้นที่ขรุขระมากๆ ได้ดีมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 การเดินแบบสถิต

การเดินลักษณะนี้จะรักษาสมดุลไว้ตลอดเวลา เห็นได้ทั่วไปจากการเดินสองขาของหุ่นยนต์ของเล่น ลักษณะเด่นคือ แม้จะหยุดการเคลื่อนไหวในขณะที่ยกขาขึ้นขาหนึ่ง ก็ยังสามารถยืนอยู่ได้โดยไม่เสียการทรงตัว

### 2.3.2 การเดินแบบจลน์

วิธีการเดินนี้มีเจตนาที่ให้เสียสมดุลไปในระหว่างการถ่วงน้ำหนัก เมื่อเสียสมดุลไปจะใช้การก้าวขาออกไปข้างหนึ่งทำให้กลับมามีสมดุล ซึ่งในระหว่างที่ก้าวขาออกไปจะไม่มีการรักษาสมดุล ดังนั้น จึงไม่สามารถหยุดนิ่งระหว่างที่ก้าวขาได้อย่างการเดินแบบสถิต

## 2.4 การเดินหลายขา

เมื่อเปรียบเทียบกับกรเดินสองขาแล้ว การเดินหลายขาโดยเฉพาะด้วยขามากกว่าสี่ขา จะมีความมันคงแตกต่างกันมาก สำหรับการเดินสองขาหากไม่ใช้การเดินแบบจลน์ จะนำหุ่นยนต์ไปใช้งานจริงได้ยาก แต่การเดินด้วยขามากกว่าสี่ขา แม้จะเป็นการเดินแบบสถิตก็สามารถทำให้เคลื่อนที่ได้รวดเร็วพอที่จะใช้งานได้จริง ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าการทรงตัวสามารถทำได้ด้วยขาสามขา ในการเดินด้วยขามากกว่าสี่ขาจึงสามารถใช้ขาอื่นนอกจากสามขานั้นในการก้าวเคลื่อนที่ได้ง่ายดาย นั่นคือ ใช้ขาสามขาวางกับพื้นเพื่อรักษาสมดุลไว้ แล้วใช้ขาที่เหลือในการขับเคลื่อนที่ การเดินเป็นการเดินแบบสถิต ดังนั้น การควบคุมจึงทำได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับการเดินแบบจลน์

### 2.4.1 ข้อดีของการเดินหลายขา

การเดินด้วยขาเมื่อเปรียบเทียบกับกรวิ่งด้วยล้อนั้นมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นจึงควบคุมยากขึ้นด้วย แต่ในพื้นที่ทุรกันดารหรือในกองซากปรักหักพัง ในการเคลื่อนที่ด้วยล้อดินตะขាប់ทำได้ยากหุ่นยนต์ที่เดินหลายขาถูกคิดค้นมาเพื่อใช้ทำงานในที่อันตรายที่ยากที่มนุษย์จะเข้าไปถึง นอกจากนี้ในพื้นที่ที่ไม่มีส่วนพื้นราบเรียบเลยก็ตาม หุ่นยนต์ที่เดินหลายขาสามารถที่จะเคลื่อนที่ไปได้โดยใช้ขาโอบสิ่งกีดขวางนั้นไว้ จึงเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางนั้นได้ นอกจากนี้ยังมีความสามารถหลายอย่างแฝงอยู่ในการเดินหลายขา

### ตารางที่ 2-3 ตารางเปรียบเทียบจำนวนขาเพื่อทำการสร้างหุ่นยนต์

จำนวนขา	ปัจจัยแสดงการเลือกขา					รวม
	สมดุล	น้ำหนัก	พลังงาน	ราคา	พลังงาน	
4	x	3	3	3	3	x
5	2	2	2	2	2	10
6	3	1	1	1	1	7

หมายเหตุ 3 = ดี 2 = ปานกลาง 1 = ไม่ดี x = ขอมรับไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเปรียบเทียบจำนวนขาเพื่อทำการสร้างหุ่นยนต์นั้น ปัจจัยในการเลือกขาเพื่อการปฏิบัติการกิจนี้ ต้องการหุ่นยนต์ที่มีการเดินแบบสติดเพื่อรับประกันความมั่นคงในการก้าวเดิน แม้ว่าหุ่นยนต์จะเกิดอุบัติเหตุจนถึงกับต้องหยุดเดินก็จะไม่เกิดความเสียหาย ดังนั้นหุ่นยนต์ที่มีขา 4 ขาซึ่งมีการเดินเป็นแบบ จลน์นั้นจึงไม่เหมาะสมกับภารกิจนี้ แม้ว่าความเหมาะสมในด้านอื่น ๆ จะมีมากกว่าหุ่นยนต์ 5 ขา และ 6 ขา เมื่อพิจารณาความเหมาะสมจากหุ่นยนต์ที่เหลือนั้นพบว่า หุ่นยนต์ที่มีขา 5 ขานั้นมีความเหมาะสมในการ สร้างมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### ระบบต้นกำลังของหุ่นยนต์

#### 3.1 การเลือกระบบต้นกำลัง

ต้นกำลังที่นิยมใช้ในการสร้างหุ่นยนต์มีหลายประเภท เช่น

- 1.แบบกลไก
- 2.แบบไฟฟ้าซึ่งใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- 3.แบบไฮดรอลิกใช้ของไหลเป็นตัวกลาง
- 4.แบบนิวแมติกใช้อากาศอัดเป็นตัวกลาง

ตารางที่ 3-1 แสดงข้อมูลของต้นกำลังชนิดต่างๆ

รายละเอียดของระบบ		ระบบการทำงาน			
		กลไก	ไฟฟ้า	ไฮดรอลิก	นิวแมติก
ระบบ ขับเคลื่อน	เคลื่อนที่ เป็นเส้นตรง	ง่าย	ยาก	ง่าย	ง่าย
	เคลื่อนที่ แบบหมุน	ง่าย	ง่าย	ค่อนข้างยาก	ค่อนข้างยาก
	กำลังขับ	ขนาดเล็ก- ใหญ่	ขนาดเล็ก- ใหญ่	ขนาดเล็ก- มาก-กลาง	ขนาดเล็ก- กลาง
	การปรับ กำลังขับ	ยาก	ยาก	ง่าย	ง่าย
	ความเร็วที่ ขับได้	ต่ำ-สูง	กลาง-สูง	ต่ำ-กลาง	ต่ำ-สูง
	ความคงที่ ของ ความเร็ว	ดีมาก	ดี	ดี	ไม่คงที่- ความเร็วต่ำ
	โครงสร้าง	ค่อนข้าง ซับซ้อน	ค่อนข้าง ซับซ้อน	ค่อนข้าง ซับซ้อน	ง่าย
	การรับภาระ เกินพิกัด	ค่อนข้างยาก	ยาก	ค่อนข้างง่าย	ง่าย
	การ ตอบสนอง	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดี แต่ขึ้นอยู่กับ สภาวะ
	อิสระในการ ติดตั้ง	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้คนอื่นไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ถือว่าผิดกฎหมายทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	อุบัติเหตุเมื่อไฟดับ	เป็นไปได้เล็กน้อย	ยาก	ค่อนข้างง่าย	ง่าย
	การบำรุงรักษา	ง่าย	ต้องใช้เทคโนโลยี	ค่อนข้างง่าย	ง่าย
ระบบการควบคุม	การแปลงสัญญาณ	ยาก	ง่ายมาก	ค่อนข้างยาก	ง่าย
	ความหลากหลายในการคำนวณ	น้อย	มาก	น้อย	ปานกลาง
	ความเร็วในการคำนวณ	สูง	สูงมาก	ปานกลาง	ปานกลาง
	รูปแบบการคำนวณ	แอนะล็อก (ดิจิทัล)	ดิจิทัล/แอนะล็อก	แอนะล็อก	ดิจิทัล (แอนะล็อก)
	ทนต่อการระเบิด	ดี	ต้องแก้ไขพิเศษ	ดี	ดีมาก
	ผลจากอุณหภูมิ	น้อย	มาก	ปานกลาง	น้อย
	ผลกระทบจากความชื้น	น้อย	มาก	น้อย	ต้องระบายทิ้ง
	ทนต่อการสั่นสะเทือน	ธรรมดา	ไม่ดี	ธรรมดา	ธรรมดา
	อิสระในการควบคุม	เล็กน้อย	มาก	เล็กน้อย	มาก
	ความหลากหลายของสัญญาณวัด	เล็กน้อย	มาก	เล็กน้อย	ปานกลาง

จากตารางข้อมูลเปรียบเทียบต้นกำลังชนิดต่างๆนี้ เมื่อนำมาใช้กับหุ่นยนต์ที่จะสร้าง ซึ่งได้วางภารกิจให้เป็นหุ่นยนต์ใช้ในการกู้ภัย การสำรวจ การเกษตร ซึ่งต้องการกำลังที่มากเพื่อใช้ในการแบกรับน้ำหนักที่จะมีขึ้นได้ในภารกิจ มีการบำรุงรักษาง่าย มีความปลอดภัยสูง สามารถควบคุมตำแหน่งที่หุ่นยนต์จะก้าวขาไปถึงได้ สามารถป้องกันอุบัติเหตุเมื่อเกิดไฟฟ้าดับได้ ซึ่งจากการพิจารณาพบว่าต้นกำลังที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

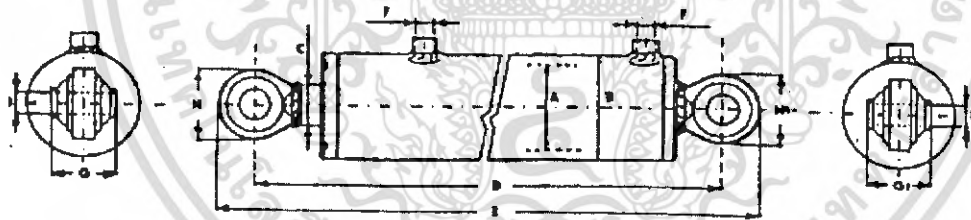
เป็นไฮดรอลิกสามารถตอบสนองความต้องการได้ดี โครงการนี้จึงเลือกใช้ต้นกำลังแบบไฮดรอลิกในการสร้างหุ่นยนต์

ข้อดีของระบบไฮดรอลิก

1. ระบบไฮดรอลิกมีความดันสูงจึงเหมาะที่จะใช้ในงานที่มีภารกิจในการรับน้ำหนักมาก กระบอกสูบไฮดรอลิกมีความดันอย่างต่ำ 175 bar
2. บำรุงรักษาได้ง่าย เพราะไม่มีอุปกรณ์ที่ต้องการความละเอียดอ่อน อย่าง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
3. มีความปลอดภัยเพราะ ทนต่อการระเบิด
4. สามารถควบคุมความเร็วและการหยุดของกระบอกสูบได้ดี ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ได้ตำแหน่งที่แม่นยำ
5. ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น ฝุ่นหรือความชื้น

### 3.2 หลักการทำงานของระบบต้นกำลังแบบไฮดรอลิก

ระบบไฮดรอลิก ก็เป็นสิ่งหนึ่งที่ยังนิยมใช้กันแพร่หลายซึ่งนำมาใช้ในการทำงานที่หนักๆ เกินความสามารถของแรงคน หลักการทำงานอย่างง่าย ของระบบไฮดรอลิกก็คือ ออกแรงกระทำดันของไหล (ของเหลว หรือ ก๊าซ) ด้วยลูกสูบที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อย แล้วของไหลนั้นจะไปดันลูกสูบที่มีพื้นที่หน้าตัดมาก ลูกสูบที่พื้นที่หน้าตัดมาก ก็จะไปดันเพื่อทำงานเช่นไปดันเพื่อยกของหนักมากๆ การจะให้ผ่อนแรงมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบทั้งสอง ยิ่งพื้นที่แตกต่างกันมากเท่าไรก็ยิ่งผ่อนแรงได้มากเท่านั้น



## CILINDRO CON ATTACCHI M 01

รูปที่ 3-1 กระบอกสูบ

ตารางที่ 3-2 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับต้นกำลังกระบอกสูบไฮดรอลิกที่ใช้ในกระบอกสูบ

CODICE	A	B	C	CORSA mm.	D mm	E mm	F	H	G	I	H <sub>1</sub>	G <sub>1</sub>	I <sub>1</sub>
A4020010	40	50	20	100	350	396	¼ inch	46	20	16	46	20	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบขาคู่ขนาน

ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบขาคู่ขนานมี 3 ปัจจัยด้วยกัน คือ 1. ความแข็งแรงของขาคู่ขนาน  
2. ความสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1 เมตรเสมอ 3. น้ำหนักของขาคู่ขนาน โดยใช้ทฤษฎีทางการออกแบบ  
เครื่องจักรกล

#### 4.1 การออกแบบสำหรับการแตกหักเนื่องจากความล้า

ในบทที่ผ่านมาแล้วกล่าวถึงการออกแบบชิ้นส่วนโดยคิดให้แรงอยู่หนึ่ง ไม่ว่าจะแรงที่กระทำจะเป็น  
แรงแบบอยู่หนึ่งหรือไม่ก็ตาม โดยใช้ค่าความปลอดภัยต่างกันไปตามลักษณะของแรงที่มากระทำ จากการ  
วิเคราะห์ความเค้นในชิ้นงานที่แตกหักเนื่องจากแรงที่กระทำซ้ำกัน โดยมีขนาดของแรงเปลี่ยนจากค่า  
ต่ำสุด ไปยังค่าสูงสุด จะพบว่าความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานดังกล่าวยังมีค่าต่ำกว่าความต้านทานแรงดึง  
ครากของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานนั้น การแตกหักอันเนื่องมาจากแรงที่กระทำซ้ำหลายๆวัฏจักร (cycle) นี้  
เรียกว่าการแตกหักอันเนื่องมาจากความล้า (fatigue) ตัวอย่างเช่น เมื่อตัดลวดกลับไปกลับมาจำนวนหลายๆ  
ครั้ง ถึงแม้ว่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในลวดจะยังต่ำกว่าความต้านทานแรงดึงที่ลวดจะรับได้ แต่ลวดก็จะ  
ขาดออกจากกันเมื่อตัดกลับไปกลับมาหลายๆครั้ง เป็นต้น

กลไกของความล้า

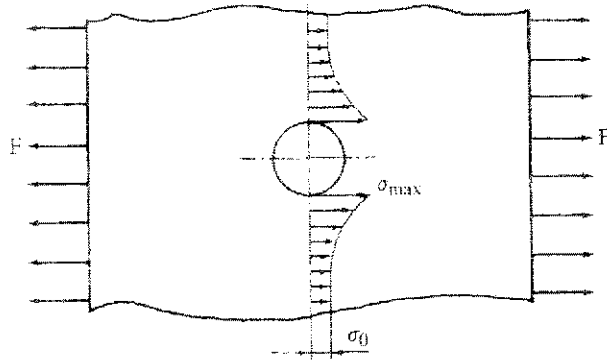
การแตกหักอันเนื่องมาจากความล้า อาจจะเริ่มขึ้นจากบริเวณที่มีรอยแตกขนาดเล็ก รอยแตกนี้จะ  
มีขนาดเล็กมากจนกระทั่งไม่อาจมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ถึงแม้ว่าจะใช้เครื่องเอ็กเรย์ตรวจก็ยังไม่สามารถ  
ตำแหน่งรอยแตกนี้ได้ ณ ตำแหน่งนี้ ความเค้นที่เกิดขึ้นซ้ำๆกัน (repeated stress) จะมีค่าสูงกว่าความ  
ต้านทานแรงเสียดทาน (endurance strength) ของวัสดุ (ซึ่งจะได้กล่าวถึงในตอนต่อไป) ทำให้รอยแตก  
ขนาดเล็กๆจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกัน

ในกรณีที่ชิ้นงานมีลักษณะขาดความต่อเนื่อง (discontinuity) เช่น เปลี่ยนแปลงหน้าตัดอย่าง  
กะทันหัน ความเค้นที่เกิดขึ้นที่บริเวณเหล่านี้จะมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่นๆ รูปที่ 4.1 แสดงถึงแผ่นแบนราบมี  
รูเจาะอยู่ตรงกลาง และอยู่ภายใต้แรงดึง  $F$  ความเค้นที่บริเวณขอบรูจะมีค่าสูงกว่าบริเวณที่ห่างออกไป  
จากรูเจาะ ถ้าแรง  $F$  นี้เป็นแรงที่กระทำซ้ำกันอยู่ตลอดเวลา รอยแตกก็อาจจะเริ่มจากบริเวณขอบรูก่อน แล้ว  
ค่อยๆขยายออกไป อัตราส่วนระหว่างความเค้นสูงสุดที่บริเวณรูเจาะ  $\sigma_{max}$  กับความเค้นบริเวณที่ห่างห่าง  
จากรูเจาะ  $\sigma_0$  (ซึ่งหาได้จากสมการ  $\sigma_0 = F/A$ ) มีชื่อเรียกว่า ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น (stress  
concentration factor) นั่นคือ

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_0} \quad (4.1)$$

ซึ่งเป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่รับแรงกลับไปกลับมา หรือแรงที่กระทำซ้ำกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ความเค้นบริเวณรูเจาะ

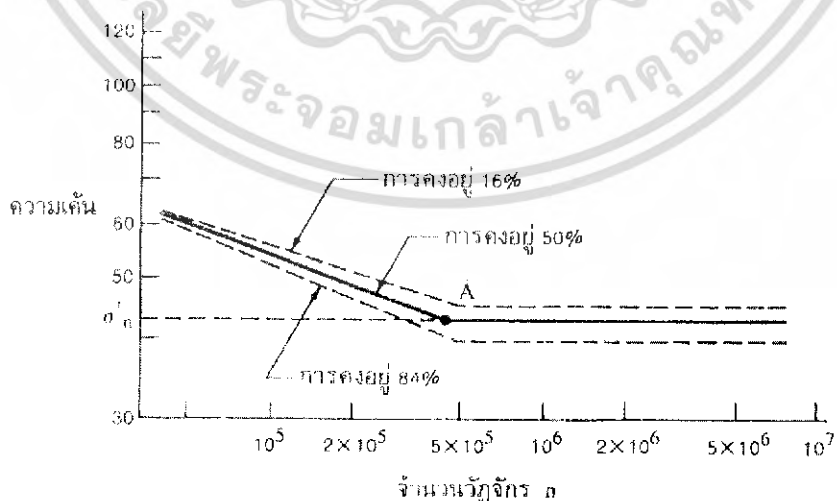
#### รูปที่ 4-1 ความเค้นบริเวณรูเจาะ

ความล้าเป็นปรากฏการณ์ที่สลับซับซ้อน และมีผู้ที่เข้าใจอย่างลึกซึ้ง โดยเฉพาะเมื่อต้องศึกษาลงไปถึงระดับจุลภาค (microscopic) เนื่องจากขาดความรู้อย่างถ่องแท้ในเรื่องความล้า ดังนั้นในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจึงต้องเลือกใช้ค่าความปลอดภัยให้มากไว้ก่อนในบางโอกาส

ความต้านแรงทนทานและขีดจำกัดความทนทาน

การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่รับแรงเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักร จะไม่ใช้ความต้านทานแรงดึงครากหรือความต้านทานแรงดึงเป็นรากฐาน แต่จะใช้ความต้านทานแรงดึงที่เรียกว่าความต้านทานทนทาน ซึ่งหาได้จากขีดจำกัดความทนทาน (endurance limit) หรือจากการทดลอง โดยมีกรรมนิยาม ดังนี้

ขีดจำกัดความทนทานหรือขีดจำกัดความล้า (fatigue limit)  $\sigma'_n$  หมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่กระทำซ้ำกันสองทิศทาง (reversed stress) ต่อชิ้นทดสอบผิวขัดมัน (mirror polished) เป็นจำนวนวัฏจักรนับไม่ถ้วน โดยที่ชิ้นทดสอบนั้นไม่เกิดการแตกหัก (เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบประมาณ 8 mm)



#### รูปที่ 4-2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับจำนวนวัฏจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตำแหน่ง A ในรูปจะเห็นว่ากราฟเป็นเส้นตรงเกือบอยู่ในแนวระดับแสดงว่าถ้าให้ความเค้นต่อชิ้นทดสอบต่ำกว่านี้แล้ว ชิ้นทดสอบจะไม่แตกหักเลย (ทางทฤษฎี) แต่ในทางปฏิบัติชิ้นทดสอบจะต้องขาดออกเมื่อจำนวนวัฏจักรสูงมาก ถ้าชิ้นทดสอบเป็นแบบผิวขัดมันและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8 mm ความเค้นที่จุด A บนเส้นการคงอยู่ 50% (survival) เรียกว่าขีดจำกัดความทนทานและชิ้นทดสอบที่รับความเค้นระดับนี้ให้ถือว่ามียุทธการใช้งานไม่จำกัด (infinite life) ในทางปฏิบัติให้ถือว่าชิ้นงานที่สามารถรับแรงได้มากกว่า 1 ล้านเป็นชิ้นงานที่มีอายุการใช้งานไม่จำกัด

สำหรับวัสดุบางชนิด เช่น ทองเหลือง ทองแดง อลูมิเนียม และแมกนีเซียม เส้นกราฟจะไม่มีรอยหักมุม แต่เส้นกราฟจะลดลงมาเรื่อยๆ แสดงว่าวัสดุเหล่านี้ไม่มีขีดจำกัดความทนทาน วัสดุเหล่านี้จะต้องระบุจำนวนวัฏจักรและระดับความเค้นที่ทำให้ชิ้นทดสอบแตกหักด้วย และความเค้นนี้เรียกว่าความเค้นแรงทนทาน

ชิ้นงานทั่วไปมีขนาดไม่เท่าชิ้นงานทดสอบ และผิวหน้าก็อาจจะไม่ได้ขัดมัน ตลอดจนแรงที่กระทำก็อาจเป็นแรงกระทำอื่นๆ เช่น แรงบิด จากการทดสอบพบว่า ขีดจำกัดความทนทานจะผิดไปจากชิ้นทดสอบมาตรฐาน (ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป) ในกรณีเช่นนี้จะเรียกว่าความต้านทานแรงทนทานเช่นกัน เพราะฉะนั้นเมื่อกล่าวอย่างกว้างๆแล้ว ความต้านทานแรงทนทานหมายถึง ความต้านทานแรงทนทานของชิ้นทดสอบที่ไม่มีขีดจำกัดทนทาน หรือความต้านทานแรงทนทานของชิ้นงานจริง

เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับขีดจำกัดแรงทนทานมีน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้วิธีการประมาณค่าขีดจำกัดความทนทาน (สำหรับการคงอยู่ 50%) ในกรณีของการตัด ดังนี้คือ

$\sigma'_n = 0.5 \sigma_u$  สำหรับเหล็กกล้าเหนียว ซึ่ง  $\sigma_u < 1380 \text{ N/mm}^2$  และ  $\text{HB} < 400$

$\sigma'_n = 690 \text{ N/mm}^2$  สำหรับเหล็กกล้าเหนียว ซึ่ง  $\sigma_u < 1380 \text{ N/mm}^2$

$\sigma'_n = 0.4 \sigma_u$  สำหรับเหล็กกล้าหล่อ และเหล็กหล่อ

$\sigma'_n = 0.38 \sigma_u$  สำหรับแมกนีเซียมหล่อ และแมกนีเซียมผสมเหนียว (อายุการใช้งาน  $10^6$  วัฏจักร)

$\sigma'_n = 0.45 \sigma_u$  สำหรับนิกเกิลผสมและทองแดงผสม

$\sigma'_n = 0.38 \sigma_u$  สำหรับอะลูมิเนียมผสมเหนียว ที่มีความต้านแรงดึงสูงถึง  $275 \text{ N/mm}^2$

(อายุการใช้งาน  $5 \times 10^8$  วัฏจักร)

$\sigma'_n = 0.16 \sigma_u$  สำหรับอะลูมิเนียมผสมหล่อที่มีความต้านทานแรงดึงสูงถึง  $345 \text{ N/mm}^2$

(อายุการใช้งาน  $5 \times 10^8$  วัฏจักร)

ค่าดังกล่าวนี้เป็นเพียงค่าโดยประมาณเพื่อใช้ประกอบการคำนวณในที่นี้เท่านั้น ค่าที่แน่นอนยิ่งขึ้นควรจะสอบถามจากผู้ผลิตหรือผู้ทำการทดสอบ

#### ตัวประกอบผิว

ค่าขีดจำกัดความทนทานดังที่กล่าวมาแล้วใช้สำหรับทดสอบผิวขัดมันเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วคุณภาพของผิวชิ้นงานจะต่ำกว่าชิ้นทดสอบ ความขรุขระของผิวหน้าก็ทำให้ชิ้นงานแตกหักเนื่องจากความกล้าได้ง่ายขึ้นอีก เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการปรับค่าขีดจำกัดความทนทานของชิ้นงานตามสภาพผิว

ดังรูป จ-2 ในภาคผนวก ซึ่งแสดงตัวประกอบที่ใช้สำหรับลดค่าดังกล่าวนี้ของผิวชนิดต่างๆมีชื่อเรียกว่าตัวประกอบของผิว (surface factor)  $k_s$  โปรดสังเกตจากรูปที่ จ-1 ว่า ถ้าชิ้นงานที่มีโอกาสแตกหักเนื่องจากความล้าแล้ว คุณภาพของผิวมีผลต่ออายุการใช้งานของชิ้นงานมาก

ตัวประกอบขนาด

การทดสอบหาขีดจำกัดความทนทานทำโดยใช้ชิ้นทดสอบมาตรฐาน เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 mm ถ้าขนาดหน้าตัดโตขึ้นไปอีกจะพบว่าขีดจำกัดความทนทานจะลดลง ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบมาคูณค่าขีดจำกัดความทนทานจากชิ้นทดสอบมาตรฐาน เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่กว่า ชิ้นงานทดสอบซึ่งมีชื่อเรียกว่า ตัวประกอบของขนาด (size factor)  $k_d$  โดยแนะนำให้ใช้ค่าดังต่อไปนี้

$$k_d = 1.00 \text{ สำหรับ } d < 8 \text{ mm}$$

$$k_d = 0.85 \text{ สำหรับ } 8 < d < 50 \text{ mm}$$

$$k_d = 0.75 \text{ สำหรับ } d > 50 \text{ mm}$$

ตัวประกอบของขนาดนี้ใช้ได้ทั้ง การดึง การบิด การคด ในกรณีที่ชิ้นงานมีลักษณะไม่กลมก็ให้คิดความยาวส่วนที่สั้นที่สุดของความยาวนั้นเป็นหลัก

ตัวประกอบของแรง

จากการที่ได้ทราบมาแล้วว่า วัสดุทั่วไปมีคุณสมบัติในการรับความเค้นเฉือนได้น้อยกว่าการรับความเค้นดึงหรือกด ในกรณีของขีดจำกัดความทนทานก็เช่นเดียวกัน จากการทดสอบจะพบว่าขีดจำกัดความทนทานสำหรับการเฉือนมีค่าน้อยกว่าการคด ตัวประกอบที่ใช้ลดค่าขีดจำกัดความทนทานจากการคดนี้ เรียกว่า ตัวประกอบของแรง (load factor)  $k_c$  โดยแนะนำให้ใช้ค่าดังต่อไปนี้

$$k_c = 1.00 \text{ สำหรับการคด}$$

$$k_c = 0.80 \text{ สำหรับการดึงหรือการกด}$$

$$k_c = 0.60 \text{ สำหรับการเฉือน}$$

เพราะฉะนั้น สำหรับการคด  $\sigma_n = k_c k_d \sigma_n$

$$\text{สำหรับการดึง } \sigma_n = 0.80 \times (\sigma_n \text{ จากการคด})$$

$$\text{สำหรับการเฉือน } \tau_n = 0.60 \times (\sigma_n \text{ จากการคด})$$

ค่า  $\sigma_n$  หรือ  $\tau_n$  นี้คือ ค่าความต้านแรงทนทาน

ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น

ความต้านทานแรงทนทานดังกล่าวมาแล้วเป็นค่าสำหรับชิ้นงานที่มีหน้าตัดคงที่ ในกรณีทั่วไปชิ้นงานอาจมีลักษณะขาดความต่อเนื่อง เช่น มีร่อง รูเจาะ หรือเปลี่ยนขนาด จึงทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นในบริเวณนี้มีค่าสูงกว่าที่คำนวณตามปกติ นั่นคือ

$$\sigma_{\max} = K_f \sigma_0 \quad (4.2)$$

โดยที่  $\sigma_0$  เป็นค่าคงที่ ที่ได้คำนวณจาก  $F/A$ ,  $Mc/I$  หรือ  $Tr/J$  โดยคิดพื้นที่หน้าตัดสุทธิ (net) และ  $k_f$  มีชื่อเรียกว่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นทางทฤษฎี (theoretical stress concentration factor)

ค่า  $k_f$  เป็นค่าที่ได้จากการทดลองชิ้นงานต่างๆ ซึ่งใช้วัสดุพิเศษโดยเฉพาะ เรียกว่า วัสดุยืดหยุ่น

โปร่งแสง (photoelastic material) ซึ่งได้แสดงอยู่ในรูปที่ จ-4 ถึงรูปที่ จ-12 ตามปกติแล้วชิ้นงานจริงจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นวัสดุที่แตกต่างไปจากวัสดุที่ใช้ทดลอง ดังนั้นความไว(sensitivity) ของวัสดุต่อการเพิ่มความเค้นบริเวณที่มีร่อง รู หรือเปลี่ยนขนาดจึงแตกต่างกันไปด้วย เช่น เหล็กหล่อเป็นโลหะเนื้อพรุน ฉะนั้นจึงอึดตัวต่อความเค้นหนาแน่นอยู่แล้ว ค่า  $k_f$  จึงควรเข้าใกล้ 1 (แสดงว่ามีความเค้นหนาแน่นเพิ่มขึ้น เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานมีค่าน้อยมาก ) ดัชนีที่ใช้บอกในความไวของวัสดุต่อการเพิ่มความหนาแน่นนี้เรียกว่า ความไวของรอยเจาะ (notch sensitivity)  $q$  ซึ่งมีนิยามว่า

$$q = \frac{K_f - 1}{K_t - 1} \quad (4.3)$$

$$\text{หรือ} \quad K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (4.4)$$

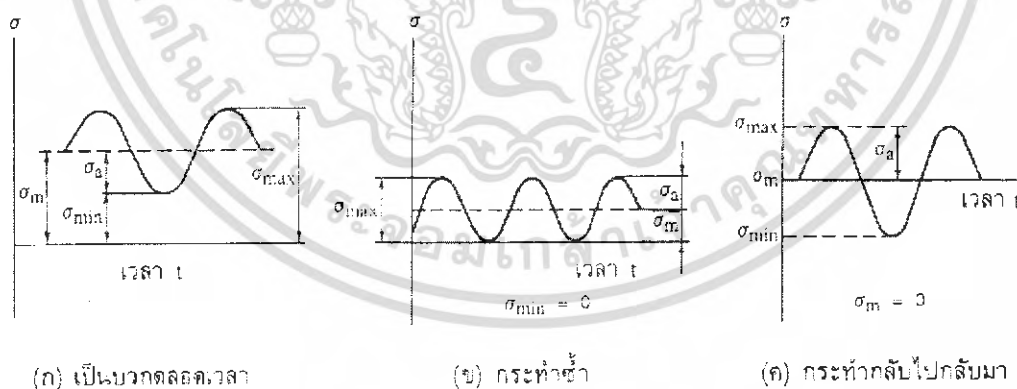
โดยที่  $K_f$  เป็นค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นจริง (actual stress concentration factor)

ถ้า  $q = 0$  จะได้  $k_f = 1$  แสดงว่าไม่มีผลของความหนาแน่น เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของชิ้นงานอยู่ด้วย แต่ถ้า  $q = 1$  จะได้  $K_f = K_t$  ซึ่งแสดงว่าวัสดุมีความไวต่อความเค้นหนาแน่นเต็มที่ ค่าความไวของรอยเจาะนี้ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4-2 และรูปที่ 4-3

ผู้ออกแบบบางคนนิยมให้  $K_f = K_t$  (ค่าสูงสุดของตัวประกอบความเค้นหนาแน่น) ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของชิ้นงาน ดังนั้นในกรณีข้อมูลไม่เพียงพอก็ควรใช้  $K_f = K_t$  แต่ทั้งนี้ข้อมขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ออกแบบที่จะกำหนดค่า  $k_f$  ขึ้นมาใช้

เกณฑ์ของโซเดอร์เบิร์ก

ในการออกแบบชิ้นงานโดยคิดถึงความล้า มักนิยมใช้วิธีการที่เรียกว่า เกณฑ์ของโซเดอร์เบิร์ก (Soderberg's criterion) เป็นส่วนมาก แต่ก่อนที่จะถึงวิธีการออกแบบดังกล่าว ให้มาพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงแรง (หรือความเค้น) และค่านิยามบางค่าต่อไปนี้ เป็นบวกตลอดเวลา กระทำซ้ำ กระทำกลับไปกลับมา



รูปที่ 4-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้นกับเวลา

การเปลี่ยนแปลงความเค้นแบบไซน์ซอยดัล

ในชิ้นงานทั่วไปแล้วแรงจะเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะที่ไม่อาจทราบได้อย่างแน่นอน แต่เพื่อให้สามารถคำนวณได้จึงสมมติให้แรงเปลี่ยนแปลงในลักษณะแบบไซน์ซอยดัล (sinusoidal) ดังรูป 4-3 ก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความเค้นซึ่งมีค่าเป็นบวก(ความเค้นดึง)ตลอดเวลา รูปที่4-3ข เป็นแบบกระทำซ้ำ คือการเปลี่ยนแปลงจากค่าศูนย์ไปค่าสูงสุดแล้วกลับมาค่าศูนย์อีก รูปที่4-3ค เป็นแบบกระทำกลับไปกลับมาคือการเปลี่ยนแปลงจากค่าบวกสูงสุดไปยังค่าลบสูงสุดที่มีขนาดเท่ากัน ถ้าให้อัตราส่วน

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (4.5)$$

โดยที่  $\sigma_{\min}$  เป็นความเค้นต่ำสุด และ  $\sigma_{\max}$  เป็นความเค้นสูงสุดจะได้ว่า

$$R = 0 \text{ ในกรณีรูปที่ 4-3 ข}$$

$$R = 1 \text{ ในกรณีรูปที่ 4-3 ค}$$

นอกจากนี้ยังมีนิยามที่จำเป็นจะต้องทราบอีกคือ

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \text{ความเค้นส่วนเปลี่ยน (stress amplitude)} \quad (4.5)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \text{ความเค้นเฉลี่ย (mean stress)} \quad (4.6)$$

โดยที่  $\sigma_a$  และ  $\sigma_m$  สามารถหาได้จากสมการ

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A} \text{ หรือ } \frac{M_a c}{I} \text{ หรือ } \frac{\alpha F_a}{A} \text{ หรือ } \frac{T_a r}{j} (\tau_a) \quad (4.7)$$

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} \text{ หรือ } \frac{M_m c}{I} \text{ หรือ } \frac{\alpha F_m}{A} \text{ หรือ } \frac{T_m r}{j} (\tau_m) \quad (4.8)$$

ส่วนค่า  $F_a$ ,  $M_a$ ,  $T_a$ ,  $F_m$ ,  $M_m$  และ  $T_m$  หาค่าได้จากสมการ

$$F_a = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} \quad (4.9)$$

$$M_a = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{2} \quad (4.10)$$

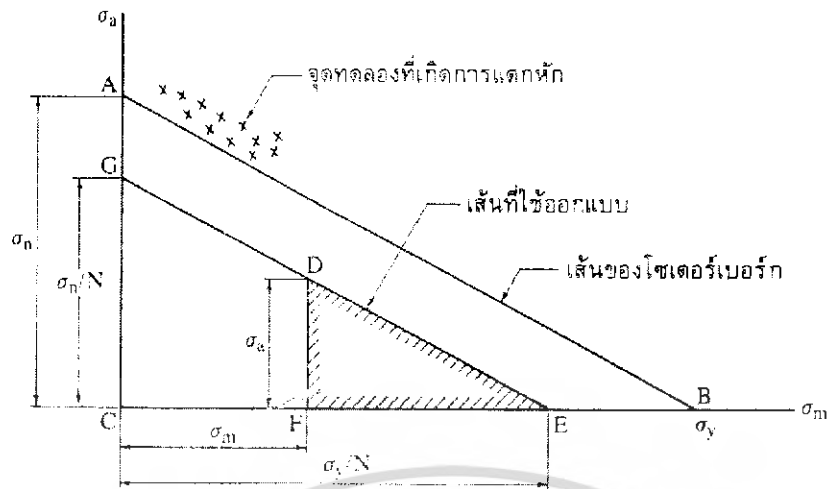
$$T_a = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \quad (4.11)$$

$$F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} \quad (4.12)$$

$$M_m = \frac{M_{\max} + M_{\min}}{2} \quad (4.13)$$

$$T_m = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \quad (4.15)$$

ไซเคอร์เบอร์กได้เขียนจุดที่ได้จากการทดลองขึ้นตัวอย่างจนแตกหักบนแกน  $\sigma_a - \sigma_m$  แล้วโยงเส้น AB จากค่า  $\sigma_m - \sigma_y$  และพบว่าจุดเหล่านี้อยู่นอกเส้น AB เป็นส่วนใหญ่ แสดงว่าถ้าหากขนาดของชิ้นงานทำให้สถานภาพของความเค้นอยู่บนเส้น AB แล้ว ชิ้นงานจะไม่แตกหักเนื่องจากความล้า ในการออกแบบจะเพิ่มค่าความปลอดภัย N เข้าไปอีก ดังนั้นเส้น GE จึงเป็นเส้นที่ใช้ในการออกแบบ ดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 5.5 เกณฑ์ของโซเดอร์เบิร์ก

## รูปที่ 4-4 แสดงเกณฑ์ของโซเดอร์เบิร์ก

ในการหาสมการเส้น GE ให้พิจารณาสามเหลี่ยมคล้าย DEF และ ABC ดังนี้

$$\frac{DF}{AC} = \frac{EP}{BC} \quad (4.16)$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_n} = \frac{(\sigma_y / N) - \sigma_m}{\sigma_y} \quad (4.17)$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_y} + \frac{\sigma_a}{\sigma_n} \quad (4.18)$$

สมการด้านบนเป็นสมการของโซเดอร์เบิร์กที่ต้องการและเหมาะกับการออกแบบชิ้นงานที่ทำจากวัสดุเหนียว สำหรับวัสดุเปราะไม่มีจุดคราก ความเค้นที่ใช้ก็อาจจะเป็นความต้านแรงดึง  $\sigma_u$  หรือความเค้นพิสูจน์ (proof stress) ก็ได้ กู๊ดแมน (Goodman) ได้วิเคราะห์ทำนองเดียวกับโซเดอร์เบิร์ก แต่แทนจุด B ในรูปที่ 4-4 ด้วยความต้านแรงดึงคราก  $\sigma_f$  จึงได้สมการในลักษณะเดียวกับสมการที่ 4.18 คือ

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_u} + \frac{\sigma_a}{\sigma_n} \quad (4.19)$$

ในกรณีที่ชิ้นงานมีความหนาแน่น ผู้ชำนาญการออกแบบได้แนะนำให้อัตราประกอบความเค้นหนาแน่น  $K_f$  กับ  $\sigma_u$  เท่านั้น ทั้งนี้เพราะถือว่าความเค้นเฉลี่ย  $\sigma_m$  เปรียบเสมือนแรงที่อยู่หนึ่งไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดความล้า ดังนั้น 2 สมการหลังจึงกลายมาเป็น

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_y} + \frac{K\sigma_a}{\sigma_n} \quad (4.20)$$

$$\text{และ} \quad \frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_u} + \frac{K_f\sigma_a}{\sigma_n} \quad (4.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เสานักหอสมุดกลาง [พระจอมเกล้าลาดกระบัง]

### 4.1.2 เสา

เสามีลักษณะเป็นท่อนตรงและรับแรงกดในแนวแกน ถ้าแรงมีค่าไม่มากนักเสาที่เรียวยาวก็ยังคงอยู่ในสภาพที่ตรงได้ แต่ถ้าแรงเพิ่มขึ้นถึงค่าหนึ่ง เสาดังกล่าวก็อาจเกิดการ โกงงอขึ้น(buckling)แรงที่ทำให้เกิดการ โกงงอนี้เรียกว่า แรงวิกฤต(critical load) ความเค้นที่เกิดในเสาขณะที่จะเริ่มเกิดการ โกงงอขึ้นแล้ว ชิ้นงานนั้นก็ไม่สามารถที่จะทำหน้าที่ได้ตามต้องการ ฉะนั้นการออกแบบจึงอาจจะจำกัดแรงที่ทำให้เกิดการ โกงงอแทนที่จะจำกัดความเค้น

ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลจำนวนมากก็ทำหน้าที่เช่นเดียวกับเสา เช่น ก้านสูบ สูตรที่ใช้กับเสาจําแนกออกตามอัตราส่วนความเพรียว (slenderness ratio)  $L_e/k$  โดยที่

$L_e$  คือความยาวสมมูล(equivalent length)

$$k = \left( \frac{I}{A} \right)^{1/2} \quad \text{รัศมีไจเรชั่น}$$

$I$  คือโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด

$A$  คือพื้นที่หน้าตัด

เนื่องจากการออกแบบเสาที่จะเกิดการ โกงงอจะจำกัดแรง แทนที่จะจำกัดความเค้น ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าความปลอดภัยกับแรงกด ถ้าให้  $F_c$  เป็นแรงวิกฤต แรงกดใช้งานคือ  $F = F_c/N$  สำหรับเสาที่มีขนาดยาวจะนิยมใช้สูตรของออยเลอร์ (Euler) คือ

$$F = \frac{\pi^2 EA}{N \left( \frac{L_e}{k} \right)^2} = \frac{\pi^2 EI}{NL_e^2} \quad (4.22)$$

ซึ่งถ้าเป็นโครงสร้างเหล็กแล้วจะใช้สูตรออยเลอร์เมื่ออัตราส่วนความเพรียวมากกว่า 115 จากสูตรจะเห็นว่าเสาเกิดการ โกงงอรอบแกน ซึ่งโมเมนต์ความเฉื่อยรอบหน้าตัดหรือรัศมีไจเรชั่นมีค่าน้อยที่สุด ส่วนค่าความปลอดภัยสำหรับเสานี้ ในทางออกแบบเครื่องกลแนะนำให้ใช้ประมาณ 3.5

สำหรับค่าความยาวสมมูลนี้ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะปลายชิ้นงานที่ยึดอยู่ดังรูป 3.8

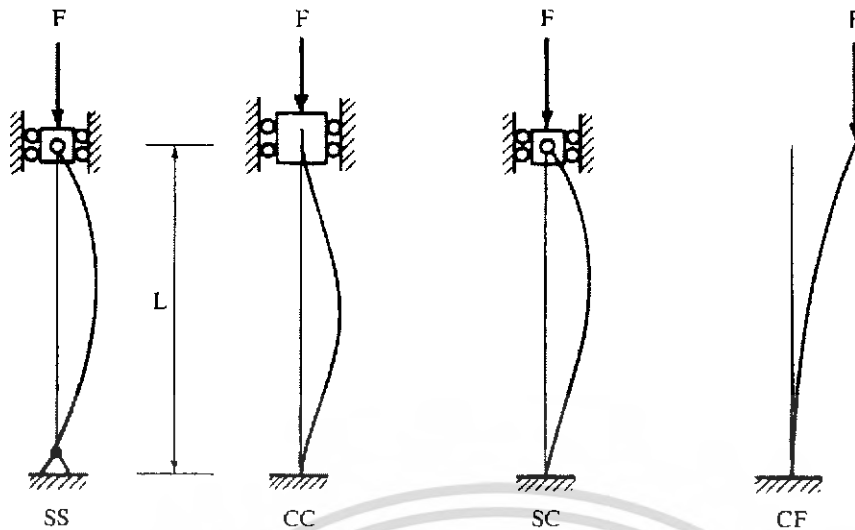
ปลายยึดแบบธรรมดา (SS ; simply supported)  $L_e = L$

ปลายยึดแน่นสองข้าง (CC ; clamped)  $L_e = \frac{L}{2}$

ปลายยึดแบบธรรมดา-ยึดแน่น (SC ; simply supported-clamped)

$$L_e = 0.707 L$$

ปลายยึดแน่น-อิสระ (CF ; clamped-free)  $L_e = 2 L$



รูป 4-5 แสดง เสาชนิดต่างๆ

จะเห็นว่าปลายแบบ CC มีความแข็งแรงสูงสุดและปลายแบบ CF รับแรงกดได้น้อยสุด ในการออกแบบเครื่องจักรกลที่มีลักษณะเดียวกับเสา ปลายมักเป็นแบบ SS, SC หรือ CF ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะชิ้นงาน

สำหรับเสาที่มีขนาดสั้นลงมาก สูตรของออยเลอร์จะใช้งานได้ไม่คืนก ทั้งนี้เพราะความเสียหายที่แท้จริงอาจจะเนื่องจากการโค้งงอ และการที่ความเค้นในเสาเกินขีดจำกัดยืดหยุ่นพร้อมกัน ในกรณีเช่นนี้ผู้ออกแบบมักใช้สูตรของจอห์นสัน (Johnson) หรือที่เรียกว่าสูตรพาราโบลา (parabolic formula) คือ

$$F = \frac{\sigma_y A}{N} \left( 1 - \frac{\sigma_y \left( \frac{L_e}{k} \right)^2}{4\pi^2 E} \right) \quad (4.23)$$

สำหรับเหล็กโครงสร้างแล้ว จะใช้สูตรของจอห์นสันเมื่ออัตราส่วนความเพริชมีค่าประมาณ

$$40 < \frac{L_e}{k} \leq 115$$

เนื่องจากเส้นกราฟจากสูตรออยเลอร์และจอห์นสันสัมผัสกันที่จุด A ดังรูปที่ 4-6 ซึ่งเรียกว่าจุด

เปลี่ยน (transition point) และค่า  $\frac{L_e}{k} = 115$  ดังกล่าวมาแล้วก็คือค่าประมาณที่จุด A นี้ เพราะฉะนั้น

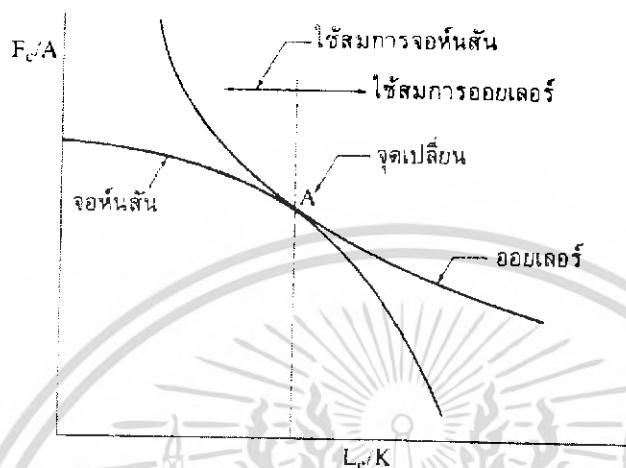
สำหรับวัสดุที่มีค่าที่ E แตกต่างกันไปอีกมาก ก็อาจหาจุดเปลี่ยนเพื่อเลือกใช้สูตรที่ถูกต้อง โดยการให้ความลาด (slope) ของกราฟที่ได้จากสมการ 4.22 และ 4.23 เท่ากันคือ

$$d \left( \frac{F}{\frac{A}{L_e}} \right)_{\text{ออยเลอร์}} = d \left( \frac{F}{\frac{A}{L_e}} \right)_{\text{จอห์นสัน}} \quad (4.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะได้จุดเปลี่ยนคือ

$$\frac{L_e}{k} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}} \quad (4.26)$$



รูปที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับอัตราส่วนความพริ้ว จากสูตรจ่อตรอยเลอร์และจ่อหันทัน

สมการข้างต้นอาจจัดรูปได้ใหม่เป็น

$$\sigma_e = \alpha \frac{F}{A} \quad (4.27)$$

โดยที่  $\alpha = \frac{\sigma_y \left(\frac{L_e}{k}\right)^2}{\pi^2 E}$  สำหรับสูตรของจ่อตรอยเลอร์ (4.28)

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{\sigma_y \left(\frac{L_e}{k}\right)^2}{4\pi^2 E}}$$

สำหรับสูตรของจ่อหันทัน (4.29)

ค่า  $\sigma_e$  นี้เรียกว่า ความเค้นสมมูล (equivalent stress)

ซึ่งได้มาจากการให้  $N = \frac{F_c}{F} = \frac{\sigma_y}{\sigma_e}$  และเป็นการบอกถึงความปลอดภัยอีกวิธีหนึ่งว่า ความ

เค้นที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าความต้านแรงดึงครากเท่าไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การคำนวณแรง

สูตรที่ใช้หาแรงปฏิกิริยาที่พื้นทำกับขาของหุ่นยนต์เมื่อยืนบนพื้นเอียง

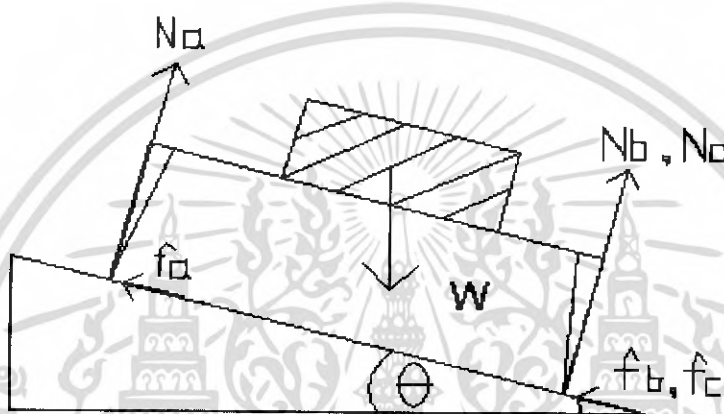
$w$  = น้ำหนักของหุ่นยนต์ คือ 3 ตัน เท่ากับ

$$= 2000 \cdot 9.81$$

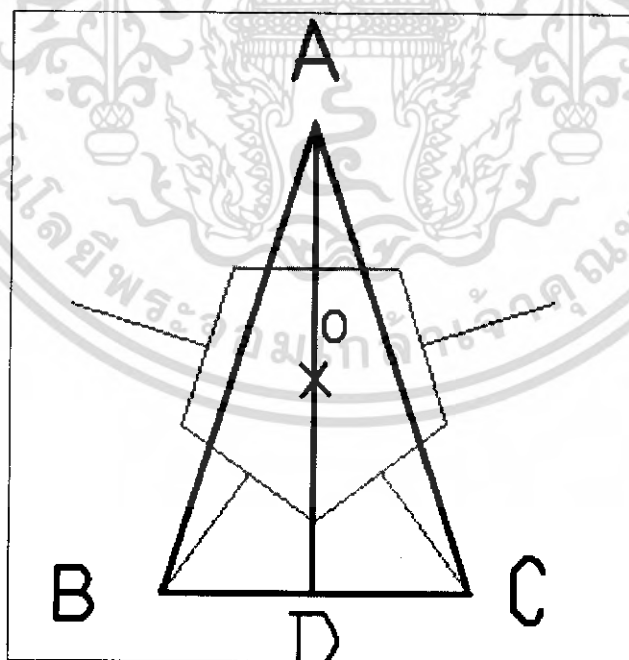
$$= 19620 \text{ N}$$

โดยสามารถหาค่าแรงต่างๆที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

ตั้งแกน x-y บนมุมที่พื้นเอียงทำกับพื้นราบ



รูปที่ 4-7 แสดงแรงต่างๆที่กระทำกับหุ่นยนต์



รูปที่ 4-8 แสดงการอิน 3 ขาของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดโมเมนต์รอบแกน X ที่จุด B

$$[w \sin(\theta) \bullet h] + [N_a \bullet AD] = [w \cos(\theta) \bullet OD]$$

คิดโมเมนต์รอบแกน Y ที่จุด B

$$[w \cos(\theta) \bullet BD] = [N_a \bullet BD] + [N_c \bullet BC]$$

คิดโมเมนต์รอบแกน Y ที่จุด A

$$(N_b \bullet AD) = (N_c \bullet DC)$$

$$\text{แต่ } N_b = N_c \text{ ดังนั้น } N_b = N_c$$

ดังนั้น จึงได้แรง  $N_a, N_b$  และ  $N_c$  ที่เกิดขึ้นในแต่ละขา

กำหนดให้  $\mu = 0.75$

เมื่อหุ่นยนต์ยืนตั้งตรงตามปกติ โดยที่หุ่นยนต์ยืนบนพื้นระนาบซึ่งลำตัวตั้งตรง และยื่น 3 ขา โดยที่อีก 2 ขา ยกขึ้น

**ตารางที่ 4-5 แสดงแรงปฏิกิริยาที่ขาหุ่นยนต์ที่มุมต่างเมื่อ  $h = 1.44, AD = 2.62, AO = 1.45, OD = 1.17, BD = DC = 0.84, BC = 1.68$**

$\theta$	$N_a$	$N_b$	$N_c$
0	8762	5429	5429
5	7788	5878	5878
10	6756	6283	6283
15	5672	6640	6640
20	4545	6946	6946
25	3383	7199	7199
30	2196	7398	7398
35	991.9	7628	7628
36	749.9	7562	7562
37	507.6	7581	7581
38	265.2	7598	7598
39	22.76	7612	7612
40	-219.7	7625	7625

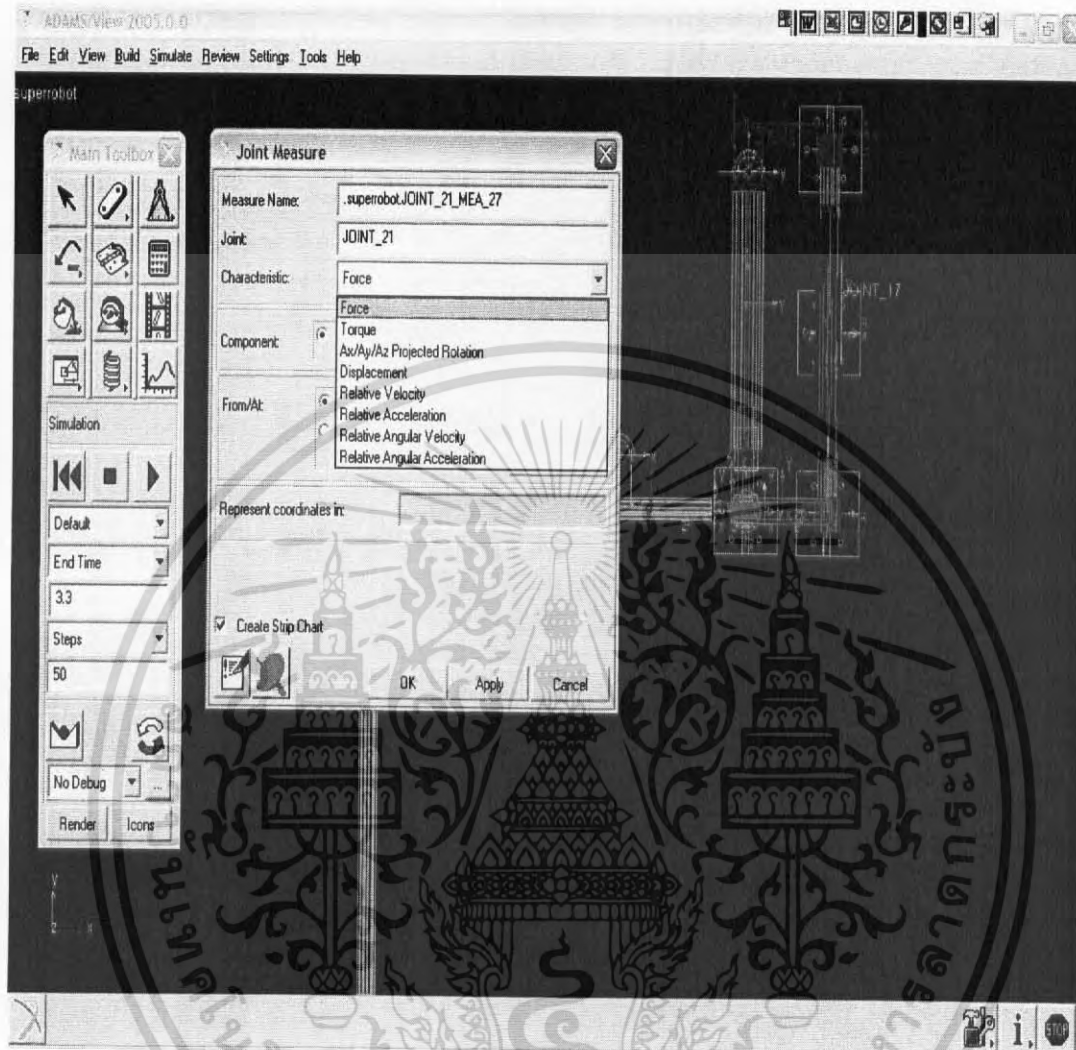
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h = 0.805, AD = 4.52, AO = 2.55, OD = 1.97, BD = DC = 1.14, BC = 2.88$$

$\theta$	<b>Na</b>	<b>Nb</b>	<b>Nc</b>
0	8774	5423	5423
5	8431	5557	5557
10	8024	5649	5649
15	7556	5698	5698
20	7031	5703	5703
25	6452	5665	5665
30	5824	5584	5584
35	5151	5460	5460
40	4440	5295	5295
45	3694	5090	5090
50	2921	4845	4845
55	2125	4564	4564
60	1313	4248	4248
65	491.3	3900	3900
66	326.3	3827	3827
67	161.6	3752	3752
68	-4.403	3677	3677

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

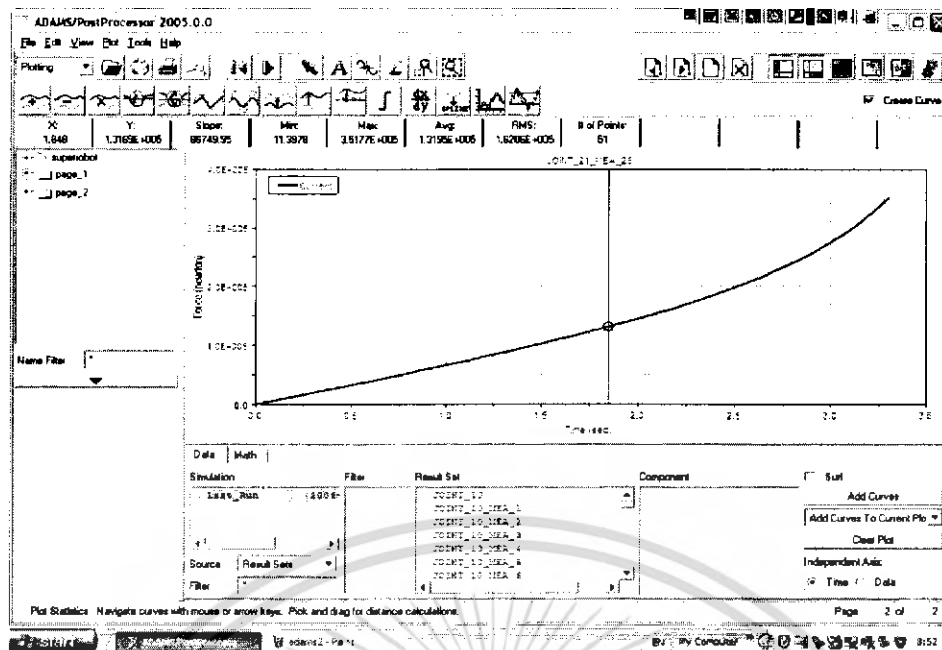
### 4.3 ในการวิเคราะห์แรงภายใน ที่ตำแหน่งต่างๆ ใช้โปรแกรม ADAMS VIEW



รูปที่ 4-9 แสดงตัวอย่างการใช้การวิเคราะห์โปรแกรม ADAMS VIEW

จากรูป 4-9 เป็นการใช้ โปรแกรม ADAMS VIEW ทำการวัดภาพจำลองของขาคู่นยนต์ โดยวัดให้มีลักษณะเดียวกับ แบบจริงที่ได้ออกแบบไว้ การใส่แรงจะใส่แรงในจังหวะที่กระบอกสูบทุกกระบอกเคลื่อนที่ไปได้สุดช่วงชัก โดยมีความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ 10 mm/s โปรแกรมจะใช้ในการวิเคราะห์หาค่าแรงที่จุดข้อต่อต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-10 แสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรม ADAMS VIEW ในการวิเคราะห์แรง

จากรูป 4-10 แสดงถึงการใช้โปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์หาค่าแรง ที่จุดต่างๆ โดยแสดงลักษณะของแรงในรูปแบบของ กราฟ

โดยค่าแรงที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรมเป็นดังนี้

แรงปฏิกิริยาที่พื้น = 8,774 นิวตัน

สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน = 0.75

น้ำหนักตัวรวมภาระ = 2000 กิโลกรัม

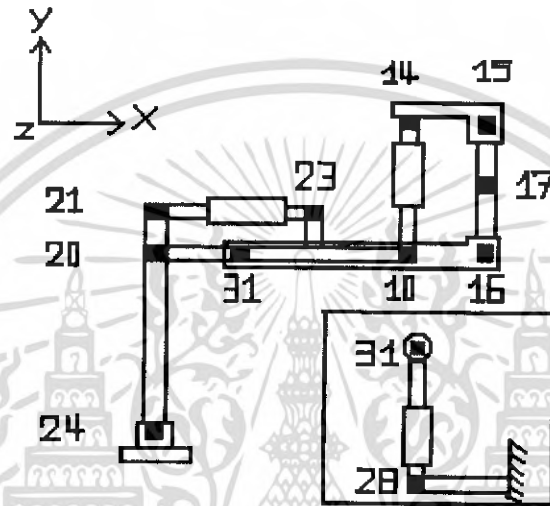
ตารางที่ 4-6 แสดงผลการคำนวณแรงจากโปรแกรม ADAMS VIEW

ตำแหน่งข้อต่อ	แรงในแนวแกนX (N)	แรงในแนวแกนY (N)	แรงในแนวแกนZ (N)	magnitude (N)
24	6579	-8766	0	10960
20	-328430	31130	-116870	349990
21	321850	-22405	116870	343150
31	-7671	48149	5371	49051
23	322410	-22468	117080	343750
10	11651	-39508	-5157	39878
14	-1642	40732	5161	41090
15	1642	-40739	-5162	41098

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17	6702	-26279	29070	39756
16	-8345	73573	-23909	77809
30	674	25443	29281	38796
28	646	-25466	28081	37914

ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ 1 ช่วงซีกของกระบอกสูบเท่ากับ 5 วินาที  
ความเร็วของการเคลื่อนที่ที่กระบอกสูบ 10 mm/s



รูปที่ 4-11 แสดงตำแหน่งข้อต่อของขา

#### 4.4 การวิเคราะห์แรงสำหรับชิ้นส่วนต่างๆโดยทฤษฎี

สำหรับกรณีนี้ ส่วนประกอบอื่น ที่เป็นส่วนที่รับแรงน้อยมากหรือมีความแข็งแรงอยู่แล้ว จะไม่นำวิเคราะห์ จะวิเคราะห์ที่ส่วนที่มีโอกาสเสียหายมาก และ ชิ้นส่วนที่สำคัญเท่านั้น โดยค่าความเค้นที่ได้ต้องมีค่าไม่เกิน 600/4 MPa (กำหนดค่า safety factor =4)

ส่วนเท้าของหุ่นยนต์

จากสมการ

$$\sigma_a = \frac{F_a}{A} \quad (4.30)$$

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A} \quad (4.31)$$

$$F_a = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} \quad (4.32)$$

$$F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} \quad (4.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่กระทำกับส่วนเท้าของหุ่นเป็นการกระทำซ้ำ ดังรูปที่ 4-3 ข

แรงที่กระทำที่เท้าคือ 8766 N

แต่ส่วนที่รับแรงนั้นเป็น U-JOINT ดังนั้นจึงแบ่งแรงออกเป็น 4 ส่วน

และมีพื้นที่รับแรง 4 ส่วนเช่นกัน

ดังนั้นแรงที่เท้ารองรับในบริเวณนั้น คือ  $8766/4 = 2191.5$

เลือกค่า safety factor = 4 และจากการเปิดตารางคำนวณค่า  $K_f = 2.2$

นำมาแทนค่าในสูตร

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{\sigma_u} + \frac{K_f \sigma_a}{\sigma_n}$$

ได้

$$\frac{1}{4} = \frac{\frac{2191.5}{\pi r t} + 0}{600 \times 10^6} + \frac{2.2 \times \frac{2191.5}{\pi r t} - 0}{204 \times 10^6}$$

$$\frac{1}{4} = \frac{4.431 \times 10^{-6}}{r t}$$

$$r t = 1.7364 \times 10^{-5}$$

ถ้า  $r = 0.008$  m ต้องใช้  $t$  อย่างน้อย 0.0022 m

ถ้า  $t = 0.0100$  m ต้องใช้  $r$  อย่างน้อย 0.0035 m

หมายความว่า ส่วนเท้าที่ได้ออกแบบไว้ในเบื้องต้นสามารถรองรับแรงได้เพียงพอ แต่อาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงในกรณีที่มีส่วนที่อยู่ติดกันต้องออกแบบใหม่

ส่วนปลายขาสมมติให้เป็นเสา

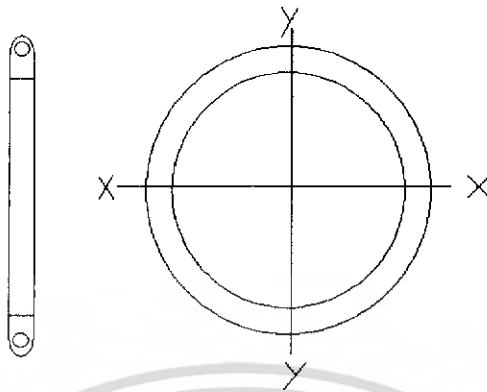
หาจุดเปลี่ยนจาก

$$\frac{L_e}{k} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}}$$

$$\frac{L_e}{k} = \sqrt{\frac{2\pi(200 \times 10^9)}{600 \times 10^6}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{L_e}{k} = 81.82$$



รูปที่ 4-21 ก แสดงภาพหน้าของเสาที่ใช้ประกอบการคำนวณ

เมื่อมอง x-x เป็นเสาแบบ cc ดังนั้น  $L_e = L/2$

เมื่อมอง y-y เป็นเสาแบบ ss ดังนั้น  $L_e = L$

สำหรับพื้นที่หน้าตัด เป็นวงกลมกลวง  $\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = 3.92 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$k = \sqrt{\frac{D^2 + d^2}{16}} = \sqrt{\frac{(0.03)^2 + (0.02)^2}{16}} = 9.01 \times 10^{-3}$$

เมื่อคิดให้  $L = 1.095 \text{ m}$

$$\text{แกน x-x} \quad \frac{L_e}{k} = (0.5)(1.095) / 9.01 \times 10^{-3} = 60.83$$

$$\text{แกน y-y} \quad \frac{L_e}{k} = (1.095) / (9.01 \times 10^{-3}) = 121.67$$

$$\text{ถ้าให้ } N = \frac{\sigma_y}{\sigma_e}$$

$$\text{ได้ } 4 = \frac{600 \times 10^6}{\sigma_e}$$

$$\sigma_e = 150 \times 10^6$$

$$\text{จาก } \sigma_e = \alpha \frac{F}{A}$$

$$\text{โดย } \alpha \text{ ขึ้นอยู่กับ } \frac{L_e}{k}$$

ในแกน x-x  $\frac{L_e}{k}$  น้อยกว่า 81.12 ดังนั้น  $\alpha$  จึงใช้สูตรของจอร์ห์นสัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\alpha = 1 - \frac{\sigma_y (L_e / k)^2}{4\pi E^2}$$

$$150 \times 10^6 = 1 - \frac{(600 \times 10^6)(60.83)^2}{4\pi(200 \times 10^9)^2} \cdot \frac{329902}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)}$$

ในแกน y-y  $\frac{L_e}{k}$  มากกว่า 81.12 ดังนั้น  $\alpha$  จึงใช้สูตรของออยเลอร์

$$\alpha = \frac{\sigma_y (L_e / k)^2}{\pi E^2}$$

$$150 \times 10^6 = \frac{(600 \times 10^6)(121.67)^2}{\pi(200 \times 10^9)^2} \cdot \frac{329902}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)}$$

แกน x-x  $D^2 - d^2 = 0.028$

แกน y-y  $D^2 - d^2 = 1.98 \times 10^{-13}$

ขนาดที่ใช้เป็นต้นแบบนั้น  $D^2 - d^2 = 0.03^2 - 0.02^2 = 0.0005$

เมื่อดูจากแกน x-x พบว่าส่วนปลายขาไม่สามารถทนแรงที่มากกระทำได้

ดังนั้นขนาดของขา คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง D และ d ต้องปรับปรุงใหม่

และจะต้องปรับปรุงส่วนอื่นเพื่อให้สอดคล้องกับชิ้นส่วนที่เปลี่ยนแปลงนี้ด้วย

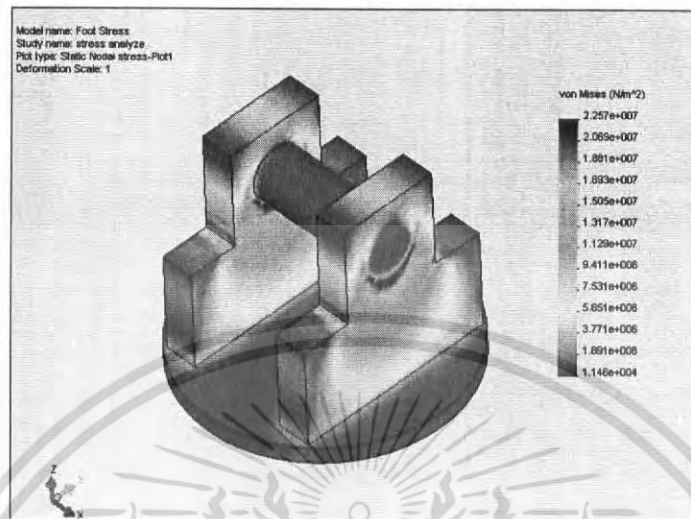
#### 4.5 การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ความแข็งแรง

การวิเคราะห์ความแข็งแรงนั้น เรา จะใช้ โปรแกรม COSMOS ในการวิเคราะห์ โดย อาศัย แรงที่ได้จากการใช้ โปรแกรม ADAMS VIEW มาเป็นตัวกำหนดค่าแรงที่ใช้

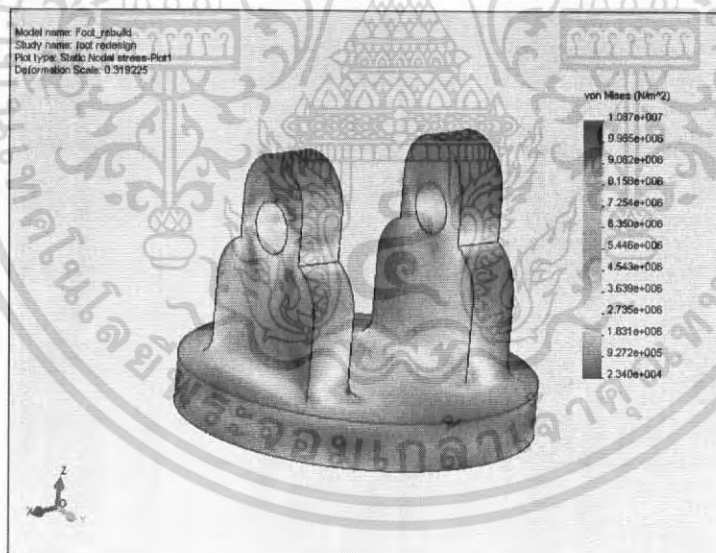
พิจารณาชิ้นส่วนที่มีโอกาสเสียหายเนื่องจากแรงกระทำที่ชิ้นส่วนต่างๆดังนี้

โดย มีสมมติฐานคือ ค่า ความเค้นสูงสุดไม่เกิน  $\sigma_y$  (600 MPa) เนื่องจากได้นำแรงที่เกิดขึ้นในขณะที่ขาของหุ่นยนต์กางออกไปไกลที่สุดเท่าที่จะทำได้ และเหลือยื่นอยู่กับพื้นเพียง 3 ขา เท่านั้นจาก 5 ขา ซึ่งเป็นกรณีที่เลวร้ายที่สุดที่หุ่นยนต์จะพบเจอ ได้มาทำการคิดคำนวณ จึงตรวจสอบเพียงว่าขาของหุ่นยนต์สามารถที่จะทนในภาวะที่เลวร้ายที่สุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้หรือไม่ โคนเริ่มต้นชิ้นส่วนที่ใช้ในการออกแบบใช้ตามขนาดที่วาดใน โปรแกรม ADAMS VIEW แล้วจึงปรับปรุงใหม่ให้ปลอดภัยมากขึ้น โดยดู จาก ความเค้นที่เกิดขึ้น จากการ ใช้โปรแกรม COSMOS วิเคราะห์

ชั้นส่วนที่ 1 ; ใช้แรงจากข้อต่อที่ 24



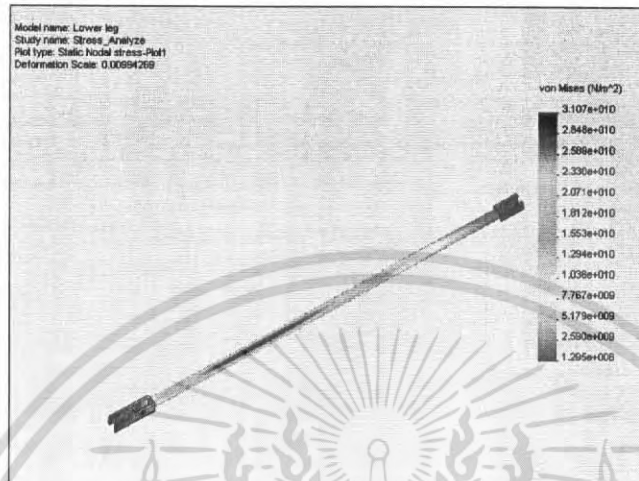
รูปที่ 4-13 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นที่ 1 ส่วนก่อนปรับปรุง



รูปที่ 4-14 แสดงการวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนที่ 1 เมื่อปรับปรุงรูปร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นส่วน 2; ใช้แรงจากข้อต่อที่ 24,20,21

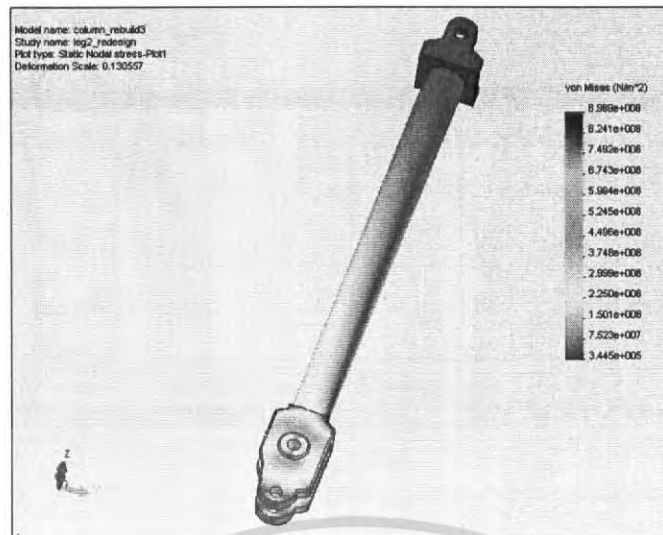


รูปที่ 4-15 แสดงแบบวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนที่ 2 ก่อนปรับปรุง

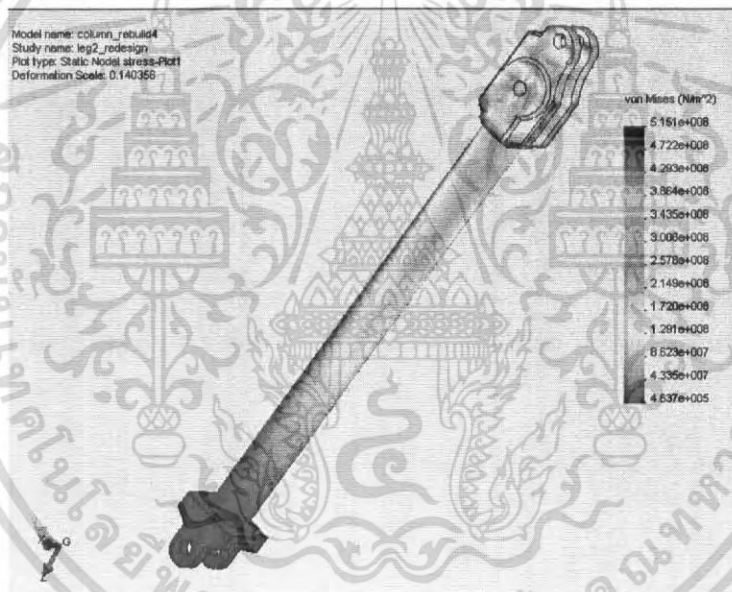


รูปที่ 4-16 แสดงแบบวิเคราะห์ความแข็งแรง ชิ้นส่วนที่ 2 การปรับปรุงครั้งแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



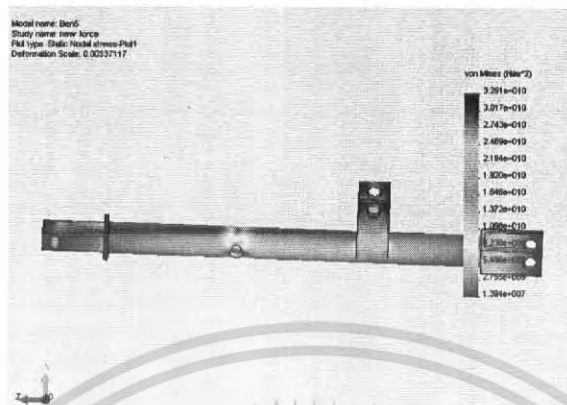
รูปที่ 4-17 แสดงการวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนที่ 2 เมื่อปรับปรุงรูปร่าง



รูปที่ 4-18 แสดงการวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนที่ 2 เมื่อปรับปรุงรูปร่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นส่วนที่ 3; ใช้แรงจากข้อต่อที่ 24, 20, 21

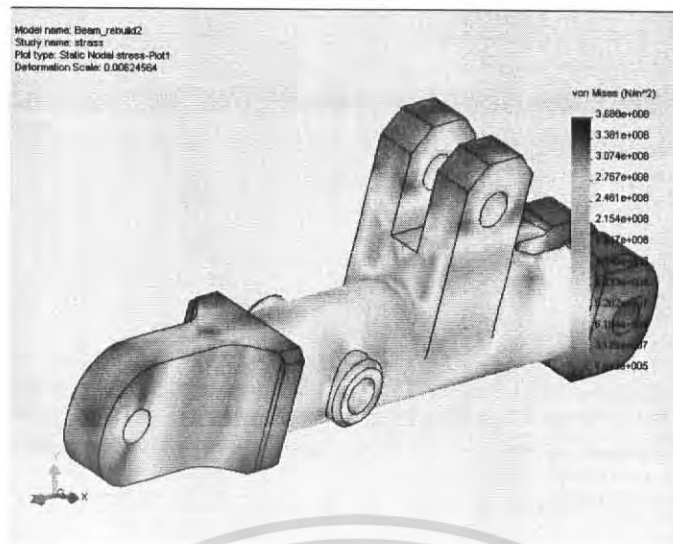


รูปที่ 4-19 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนที่ 3 ก่อนปรับปรุง



รูปที่ 4-20 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนที่ 3 ก่อนปรับปรุง

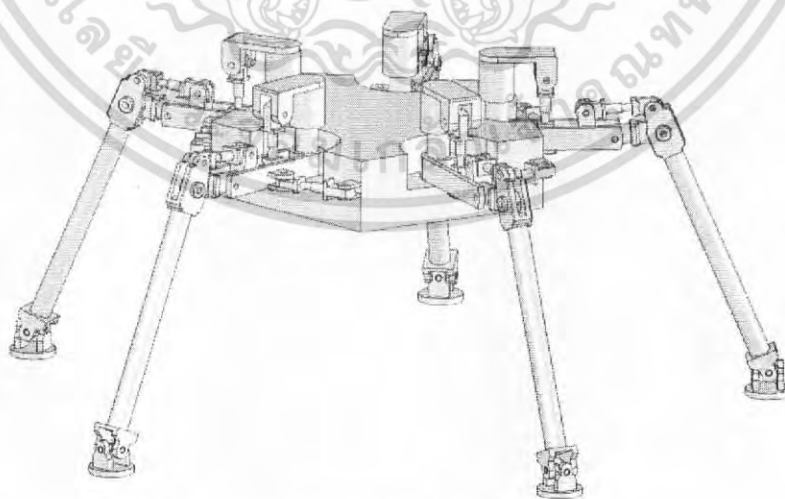
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4-21 แสดงการวิเคราะห์ความแข็งแรงชิ้นส่วนที่ 3 เมื่อปรับปรุงรูปร่าง**

จากรูปที่ 4-12 ถึง 4-20 เป็นการที่ใช้โปรแกรม COSMOS วิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนต่างๆ การวิเคราะห์นั้นจะเริ่มจากการออกแบบลักษณะชิ้นส่วนต่างๆของขา จากนั้นนำชิ้นส่วนที่ได้ออกแบบไว้ทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรม เมื่อพบว่าบริเวณใดเกิดความเสียหายมากจะทำการปรับปรุงรูปแบบโดยที่จะพยายามลดค่าความเค้นบริเวณที่เสียหายมากที่สุด จากรูปพบว่าได้มีการปรับปรุงลักษณะของชิ้นส่วนต่างๆเพื่อให้มีความแข็งแรงและรูปทรงที่ต้องการ

จากข้อมูลที่ได้้นำค่าต่างๆมาสรุป จะได้เป็นแบบหุ่นยนต์ดังภาพ



**รูปที่ 4-21 ข แสดงแบบของหุ่นยนต์ที่สมบูรณ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีรายละเอียดทางเทคนิคดังนี้

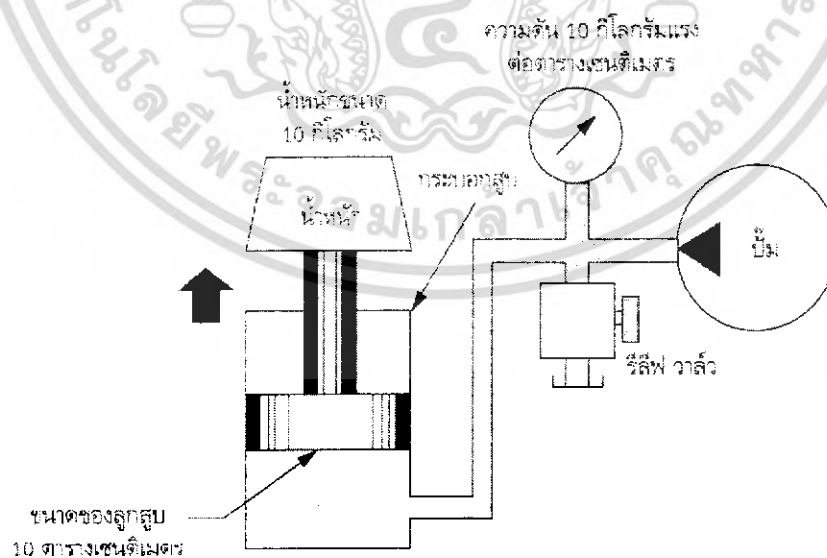
- จำนวนขา 5 ขา
- ต้นกำลัง ระบบของไหลกำลัง
- จำนวนกระบอกสูบ 3 กระบอกต่อ ขา
- น้ำหนักตัวรวมภาระ 2,000 กิโลกรัม
- ความสามารถในการยกขา 0.6 เมตร
- ระยะความสูงจากพื้น ไม่ต่ำกว่า 1 เมตร

#### 4.6 ระบบที่คิดทั้งเพื่อขับเคลื่อนหุ่นยนต์

ระบบไฮดรอลิก คือ ระบบที่ทำการส่งและควบคุมแรงการเคลื่อนที่โดยของไหล ของไหลในที่นี้คือน้ำมันไฮดรอลิก โดยมีหลักการว่า ความดันของไหลจะมีคุณสมบัติดังนี้คือ

1. ความดันของไหลจะกระทำตังฉากกับพื้นที่ที่กระทำ
2. ความดันที่เกิดขึ้นในภาชนะเท่ากันทุกจุด

#### โครงสร้างของวงจรไฮดรอลิกเบื้องต้น



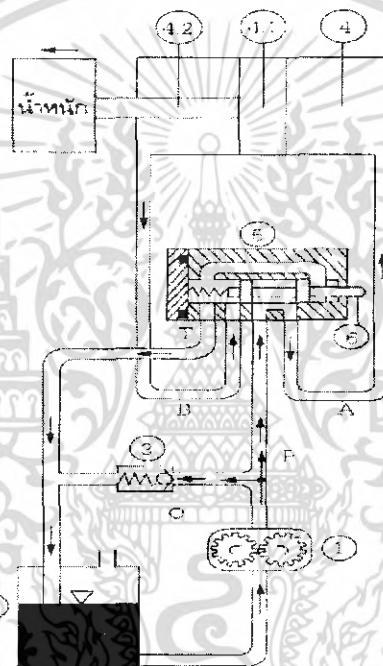
รูปที่ 4-22ก แสดงอุปกรณ์ในวงจรไฮดรอลิกเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



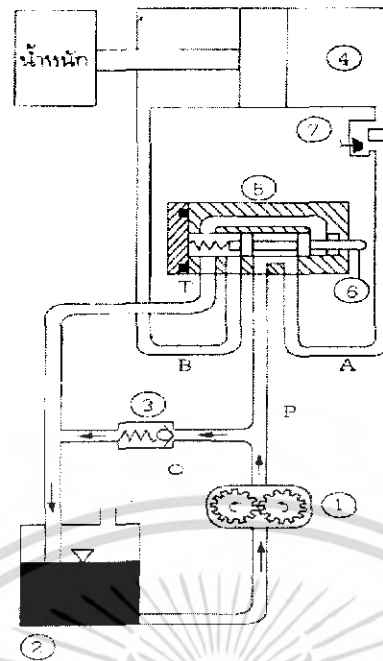
เมื่อน้ำมันถูกส่งมาที่วาล์วควบคุมทิศทาง ก็จะไหลจากช่อง P กลับไปยังถังน้ำมันทางช่อง T จึงทำให้ปั๊มส่งน้ำมันโดยไม่มีไหลลมากระทำกับน้ำมันไฮดรอลิก แต่เมื่อโยกวาล์วควบคุมทิศทาง ทำให้น้ำมันจากช่อง P ต่อกับช่อง A และ B ต่อกับ T จะทำให้กระบอกสูบไฮดรอลิกวิ่งออก เมื่อกระบอกสูบไฮดรอลิกวิ่งออกนั้นจะดันให้น้ำมันไฮดรอลิกด้านก้านสูบไหลออกทางช่อง B ผ่านช่อง T และกลับถังน้ำมันอย่างเดิม

หน้าที่ของวาล์วควบคุมความดัน จะทำหน้าที่เปิดให้ความดันน้ำมันที่ส่งมาจากปั๊มไหลออก กลับไปยังถังน้ำมันอย่างเดิม ถ้าความดันของน้ำมันนั้นสามารถเอาชนะแรงสปริงของวาล์วนี้ได้ เพราะฉะนั้นถ้าขั้นมือปรับของวาล์วควบคุมความดันนี้ให้สปริงมีความแข็งมากขึ้น ความดันของน้ำมันก็จะมากตามไปด้วย ต่อไปนี้จะอธิบายการทำงานของระบบไฮดรอลิกเบื้องต้นที่แสดงทิศทางของน้ำมันไฮดรอลิกว่าผ่านอุปกรณ์อะไรบ้าง ตามลำดับดังนี้



รูปที่ 4-24 แสดงกลไกการทำงานของระบบไฮดรอลิก

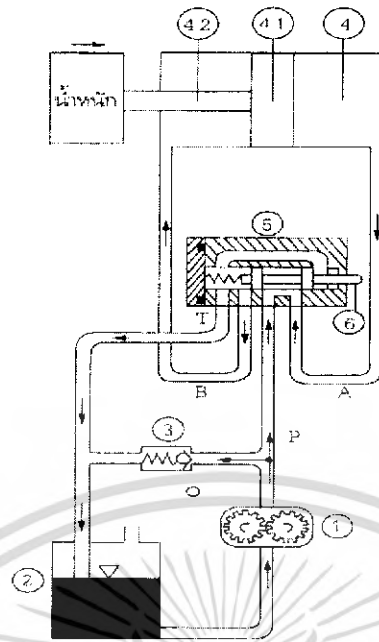
เมื่อปั๊มหมายเลข 1 ทำงาน ทำให้น้ำมันถูกปั๊มดูดเข้ามาในปั๊มและส่งออกไปเข้าวาล์ว 2 และเข้าวาล์วควบคุมทิศทาง 3 แต่เนื่องจากวาล์ว 2 นี้มีสปริงดันให้วาล์วปิดอยู่ ทำให้น้ำมันไปเข้าวาล์ว 3 อย่างเดียว จะเห็นว่าวาล์ว 3 อย่างเดียว จะเห็นว่าวาล์ว 3 เปิดให้น้ำมันออกในช่อง A แล้วเข้าไปดันกระบอกสูบ 4 ให้ก้านสูบ 4.2 วิ่งออกดันให้น้ำมันเคลื่อนที่ ถ้าพิจารณาน้ำมันในกระบอกสูบ 4 ทางด้านก้านสูบว่ามีทิศทางไหนบ้าง จะได้ว่าน้ำมันเมื่อถูกดันนั้นจะวิ่งออกไปเข้าวาล์ว 3 ทางช่อง B แล้วไหลออกทางช่อง T ลงถังน้ำมัน เพื่อนำกลับไปใช้งานใหม่ต่อไป



รูปที่ 4-25 แสดงกลไกการทำงานของระบบไฮดรอลิก

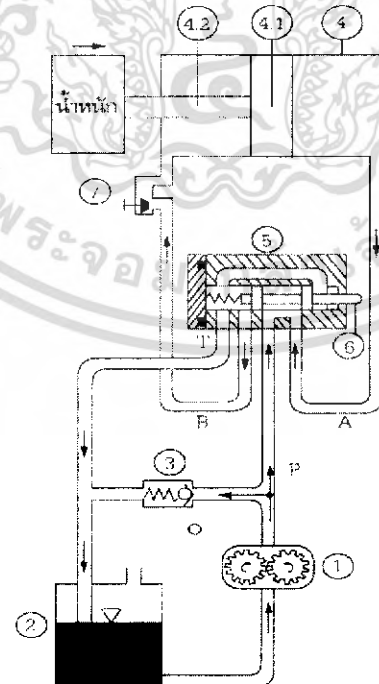
จากรูปในกรณีที่ปั๊มส่งน้ำมันออกไปเข้าระบบตามรูปนั้น ถ้าวาล์วนิรภัย 3 เปิด เนื่องจากความดันของน้ำมันจากระบบชนะแรงของสปริงวาล์ว 3 ได้ ก็ทำให้น้ำมันผ่านทางวาล์ว 3 แล้วไหลกลับลงถังอย่างเดิม

เมื่อวาล์ว 3 เปิดก็แสดงว่าความดันในระบบสูงเกินที่กำหนด ทำให้ความดันที่สูงเกินไปนี้ถูกระบายออกลงถังน้ำมัน ทำให้ระบบไม่เสียหายออกลงถังน้ำมัน ทำให้ระบบไม่เสียหาย จึงเรียกวาล์ว 3 นี้ว่า วาล์วนิรภัย หรือ รีลิววาล์ว (relief valve)



รูปที่ 4-26 แสดงกลไกการทำงานของระบบไฮดรอลิก

จากรูป เมื่อกระบอกสูบ 4 วิ่งออกสุดช่วงชักแล้ว จังหวะที่ให้ถอยกลับนั้นทำได้โดยโยกคันโยก 6 ให้อยู่ในตำแหน่งที่ให้น้ำมันจากปั๊ม 1 เข้าทางช่อง P และไหลออกทางช่อง B ไปเข้ากระบอกสูบด้านก้านสูบและดันให้ก้านสูบหดกลับโดยให้น้ำมันจากด้านลูกสูบผ่านวาล์ว 5 ทางช่อง A ไปออกทางช่อง T และไหลลงถึงน้ำมันต่อไป

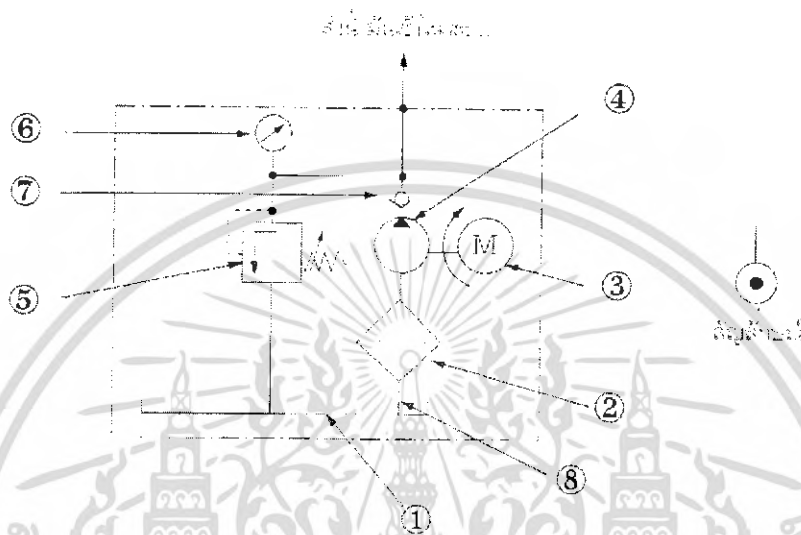


รูปที่ 4-27 แสดงกลไกการทำงานของระบบไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานนี้จะต่อเนื่องจากจังหวะก่อนคือ จังหวะดอยกลับของกระบอสูบ 4 ที่ต้องการควบคุมความเร็ว 7 เพื่อควบคุมอัตราของน้ำมันที่ผ่านวาล์วนี้ให้ผ่านได้น้อยลง ทำให้ก้านสูบ 4.2 เคลื่อนที่ช้าลง ถ้าเปิดวาล์ว 7 ให้กว้างขึ้นก็ทำให้น้ำมันผ่านได้มากขึ้น เป็นผลให้ก้านสูบ 4.2 มีความเร็วมากขึ้นตามไปด้วย

#### วงจรชุดต้นกำลัง (Power Unit)



รูปที่ 4-28 แสดงวงจรชุดต้นกำลัง

ระบบไฮดรอลิกหลายๆวงจรจะต้องมีชุดต้นกำลังซึ่งเป็นแหล่งกำลังของระบบไฮดรอลิกและเป็นที่ติดตั้งอุปกรณ์บริการน้ำมัน ตลอดจนระบบความปลอดภัยของวงจร ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

หมายเลข 1 ถังน้ำมันไฮดรอลิก

หมายเลข 2 กรองน้ำมันจังหวะดูด

หมายเลข 3 มอเตอร์ไฟฟ้า

หมายเลข 4 ปัมไฮดรอลิก

หมายเลข 5 รีลิววาล์ว

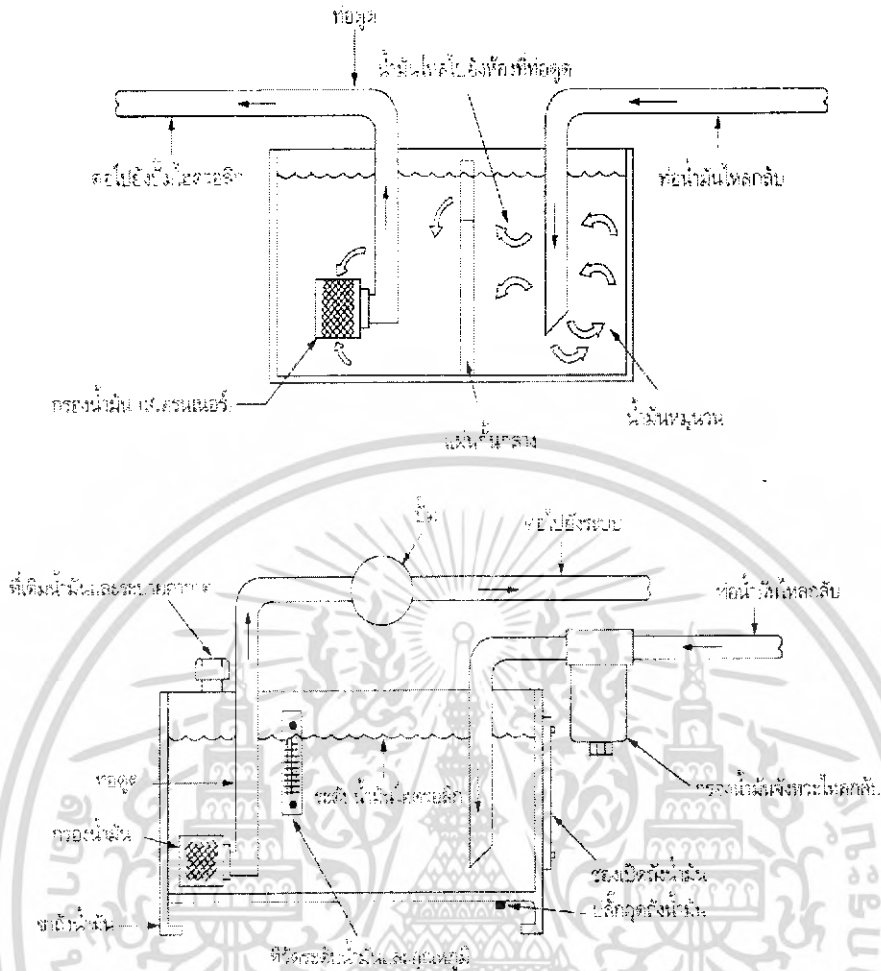
หมายเลข 6 เกจวัดความดัน

หมายเลข 7 เซ็ทวาล์ว

หมายเลข 8 ท่อคูดน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ถังน้ำมันไฮดรอลิก



รูปที่ 4-29 โครงสร้างของถังน้ำมันไฮดรอลิก



รูปที่ 4-30 แสดง ถังน้ำมันไฮดรอลิก

ถังน้ำมันไฮดรอลิก ทำหน้าที่เก็บน้ำมันที่ใช้ในวงจรและระบายความร้อนออกจากน้ำมันไฮดรอลิก นอกจากนั้นแล้วยังทำหน้าที่สะสมสิ่งสกปรกที่เกิดจากระบบเพื่อจะได้ทำการกำจัดทิ้งต่อไป

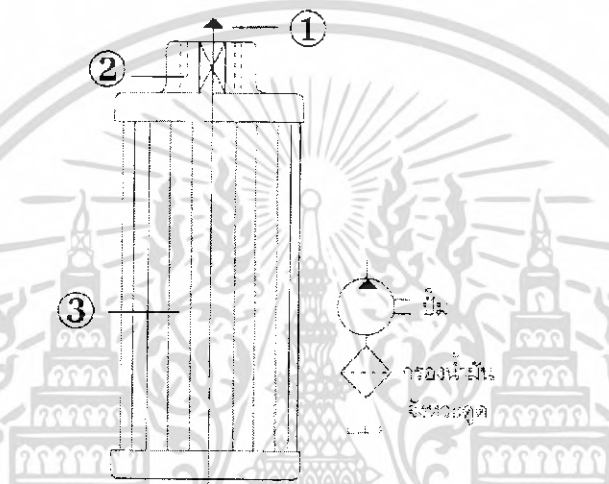
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถังน้ำมันไฮดรอลิกประกอบไปด้วย ท่อดูดน้ำมัน ท่อน้ำมันไหลกลับ แผ่นเหล็กกั้นระหว่างท่อดูดและท่อน้ำมันไหลกลับ กรองน้ำมัน ช่องเติมน้ำมันและช่องระบายอากาศ ที่วัดระดับน้ำมันและวัดอุณหภูมิ

กรองน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic Filters)

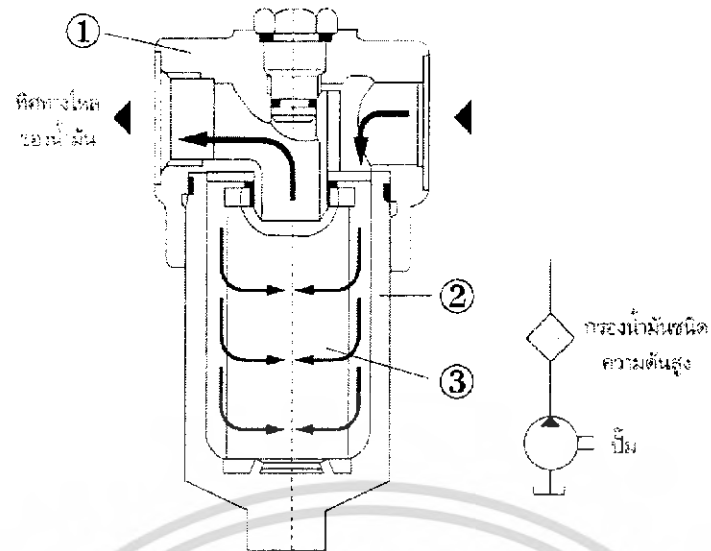
น้ำมันไฮดรอลิกที่ใช้ในระบบนั้น จะต้องผ่านการกรองเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อให้ น้ำมันไฮดรอลิกมีความสะอาด สามารถแบ่งกรองน้ำมันออกได้ 3 ชนิด คือ

กรองน้ำมันจังหวะดูด ตำแหน่งการติดตั้งของกรองน้ำมันตัวนี้จะอยู่ในถังน้ำมัน หมายเลข 1 คือ ทิศทางการไหลของน้ำมัน 2 คือ เกลียวต่อกับท่อดูด 3 คือ ไล่กรอง



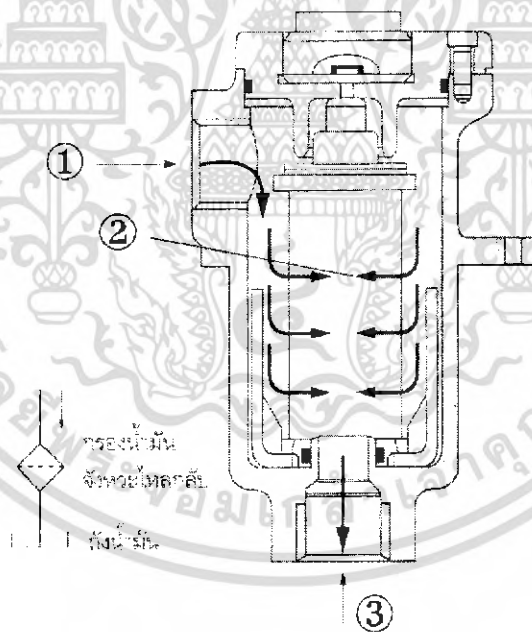
**รูปที่ 4-31 แสดงกรองน้ำมันจังหวะดูด หรือที่เรียกว่า สเตรนเนอร์**

กรองน้ำมันชนิดความดันสูง ตำแหน่งการติดตั้งจะอยู่ในทิศทางส่งน้ำมันออกจากปั๊มไฮดรอลิก หมายเลข 1 เป็นตัวเรือนของกรองน้ำมัน หมายเลข 2 เป็นปลอกหุ้มไล่กรอง หมายเลข 3 คือ ไล่กรอง



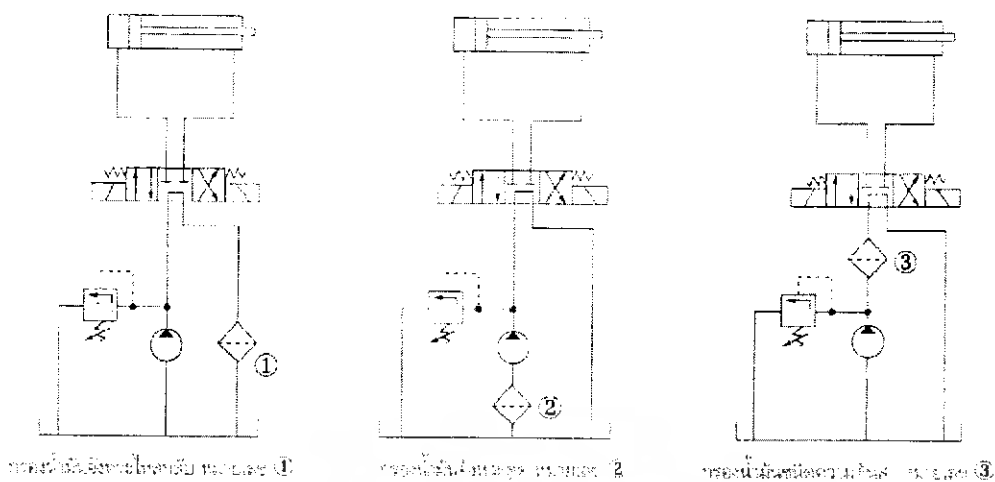
รูปที่ 4-32 แสดงกรองน้ำมันชนิดความดันสูง

กรองน้ำมันจังหวะกลับ ตำแหน่งการติดตั้งจะอยู่ในส่วนของห้องน้ำมันที่ไหลกลับถึงน้ำมัน โดยผ่านการกรองด้วยไส้กรอง 2



รูปที่ 4-33 แสดงกรองน้ำมันจังหวะไหลกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

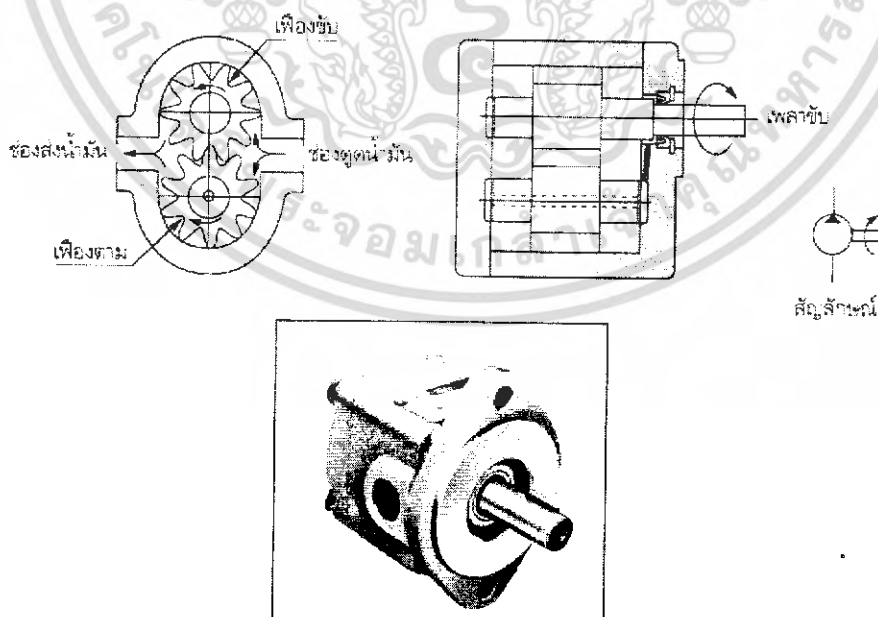


รูปที่ 4-34 แสดงวงจรตำแหน่งการติดตั้งกรองน้ำมันไฮดรอลิกทั้ง 3 ตำแหน่ง

ปั๊มไฮดรอลิก

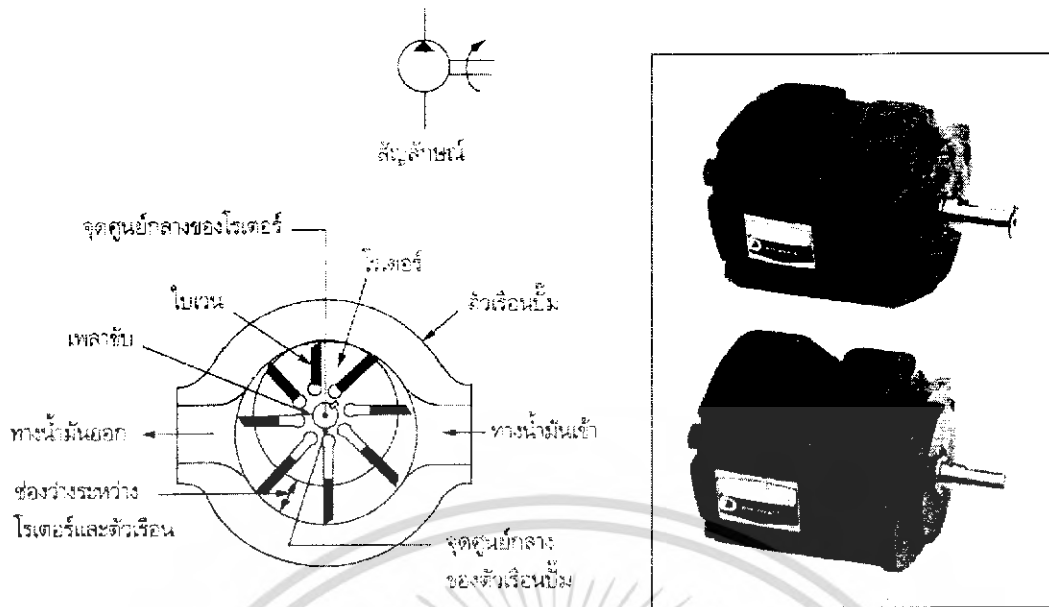
ปั๊มไฮดรอลิกใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานของไหลหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ปั๊มคืออุปกรณ์ที่สร้างการไหลของน้ำมัน เมื่อน้ำมันไหลแล้วมีสิ่งกีดขวางทำให้เกิดความดัน สามารถแบ่งออกใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

1. ปั๊มแบบเฟือง (gear pump)
2. ปั๊มแบบแวน (vane pump)
3. ปั๊มแบบลูกสูบ (piston pump)

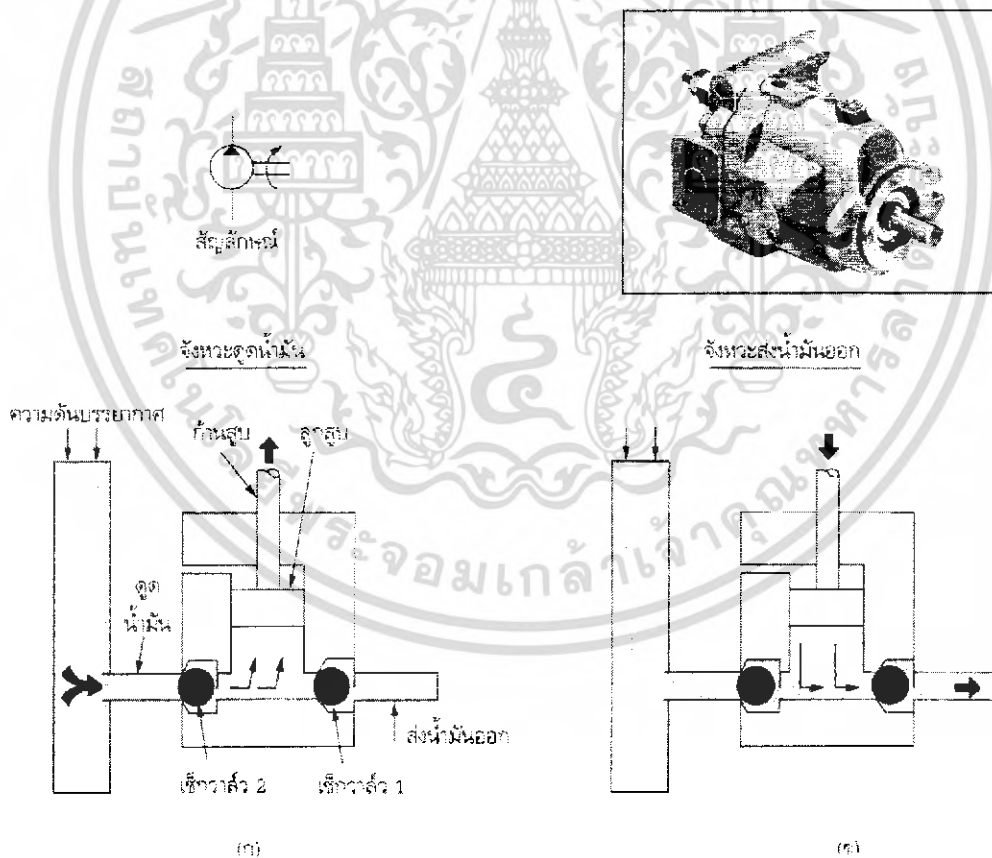


รูปที่ 4-35 ปั๊มแบบเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

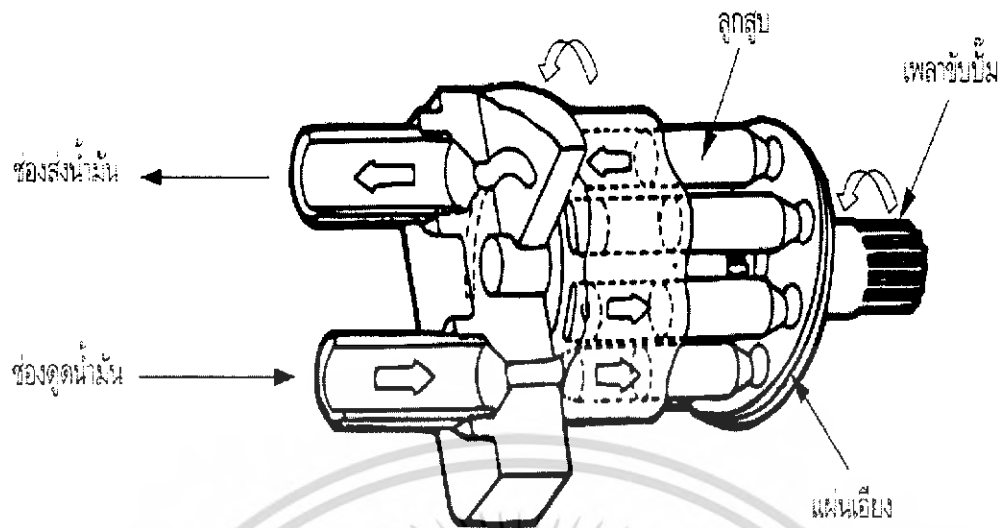


รูปที่ 4-36 ปั๊มแบบวน

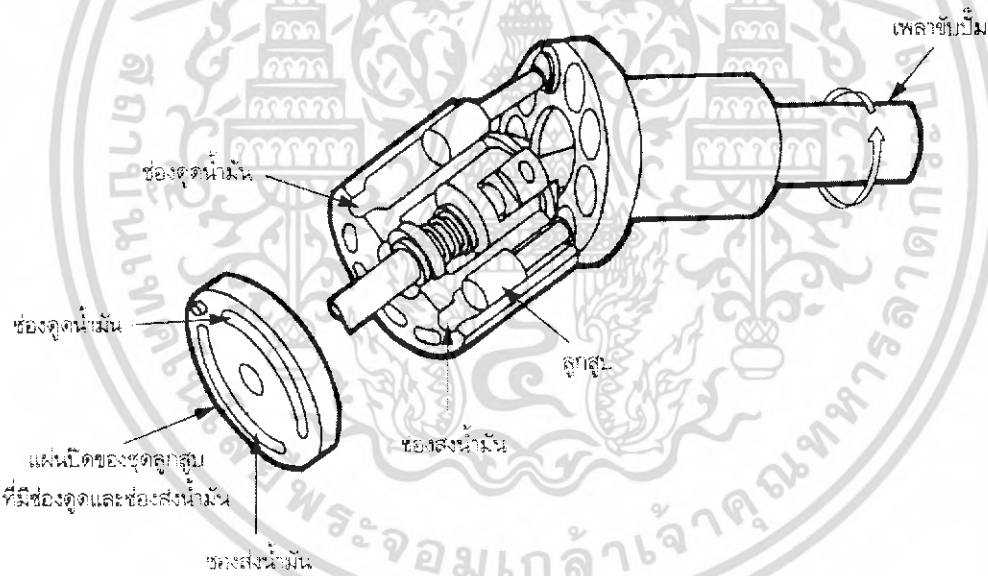


รูปที่ 4-37 ปั๊มแบบลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-38 แสดง ปั้มแบบลูกสูบชนิดมีลูกสูบอยู่แนวเดียวกับเพลาชั้บ



รูปที่ 4-39 แสดงปั้มแบบลูกสูบชนิดลูกสูบทำเป็นมุมเอียงกับเพลาชั้บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4-7 แดงค่าต่างๆของปั๊ม

ชนิด	ความดัน กิโลกรัมแรง/ตร.ซม. (kgf/cm <sup>2</sup> )	อัตราการจ่าย น้ำมัน ลิตร/นาที (l/min)	ความเร็วสูงสุด รอบ/นาที (RPM)	ประสิทธิภาพรวม (%)
ปั๊มแบบเฟือง	20-210	7-570	1800-7000	75-90
ปั๊มแบบเวน	20-210	2-950	2000-4000	75-90
ปั๊มแบบลูกสูบ	70-350	2-1700	600-6000	85-95

ความดัน หน่วยเป็นกิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร(kgf/cm<sup>2</sup>) หรือหน่วยอื่นๆก็ได้ หมายถึงปั๊มสามารถใช้ที่ความดันในระบบไฮดรอลิกที่ความดันขนาดนั้น ได้ตั้งแต่ 20-210 กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร ถ้าค่าความดันสูง-ต่ำกว่านี้จะทำให้การทำงานของปั๊มประสิทธิภาพลดลง หรือทำให้ชำรุดเสียหายถ้าความดันสูงเกินค่าที่กำหนด

อัตราการไหล มีหน่วยเป็นลิตร/นาที(l/min)หรือหน่วยอื่นๆก็ได้ หมายถึงปั๊มตัวนี้สามารถที่จะจ่ายน้ำมันหรือส่งน้ำมันออกไปได้ ตั้งแต่ 7 ลิตรถึง 570 ลิตร/นาที ขึ้นอยู่กับความเร็วที่ใช้ขับปั๊ม ถ้าขับปั๊มด้วยความเร็วสูงขึ้นก็จะส่งน้ำมันได้มากขึ้น

ความเร็วสูงสุด มีหน่วยเป็น รอบ/นาที (round per minute) หรือมีหน่วยอื่นๆก็ได้ หมายถึงความเร็วที่ใช้ขับปั๊มเพื่อให้ส่งน้ำมันดังกล่าวมาแล้ว จะอยู่ในช่วง 1800 รอบ- 7000รอบต่อเวลาหนึ่งนาที (ถ้าใช้มอเตอร์ไฟฟ้าโดยทั่วไปจะมีความเร็วรอบที่ 1450 รอบต่อนาที) เหตุที่มีช่วงของความเร็วก็เพราะว่าการขับปั๊มให้หมุนนั้นบางครั้งใช้มอเตอร์ไฟฟ้า แต่บางครั้งใช้เครื่องยนต์ ดังนั้นความเร็วที่ได้จึงแตกต่างกันออกไป

ประสิทธิภาพรวม คิดเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์(%) หมายถึง ประสิทธิภาพการทำงานในภาพรวมของปั๊มตัวนี้อยู่ระหว่าง 75-90 % ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มสามารถแบ่งได้ 3 ชนิด คือ

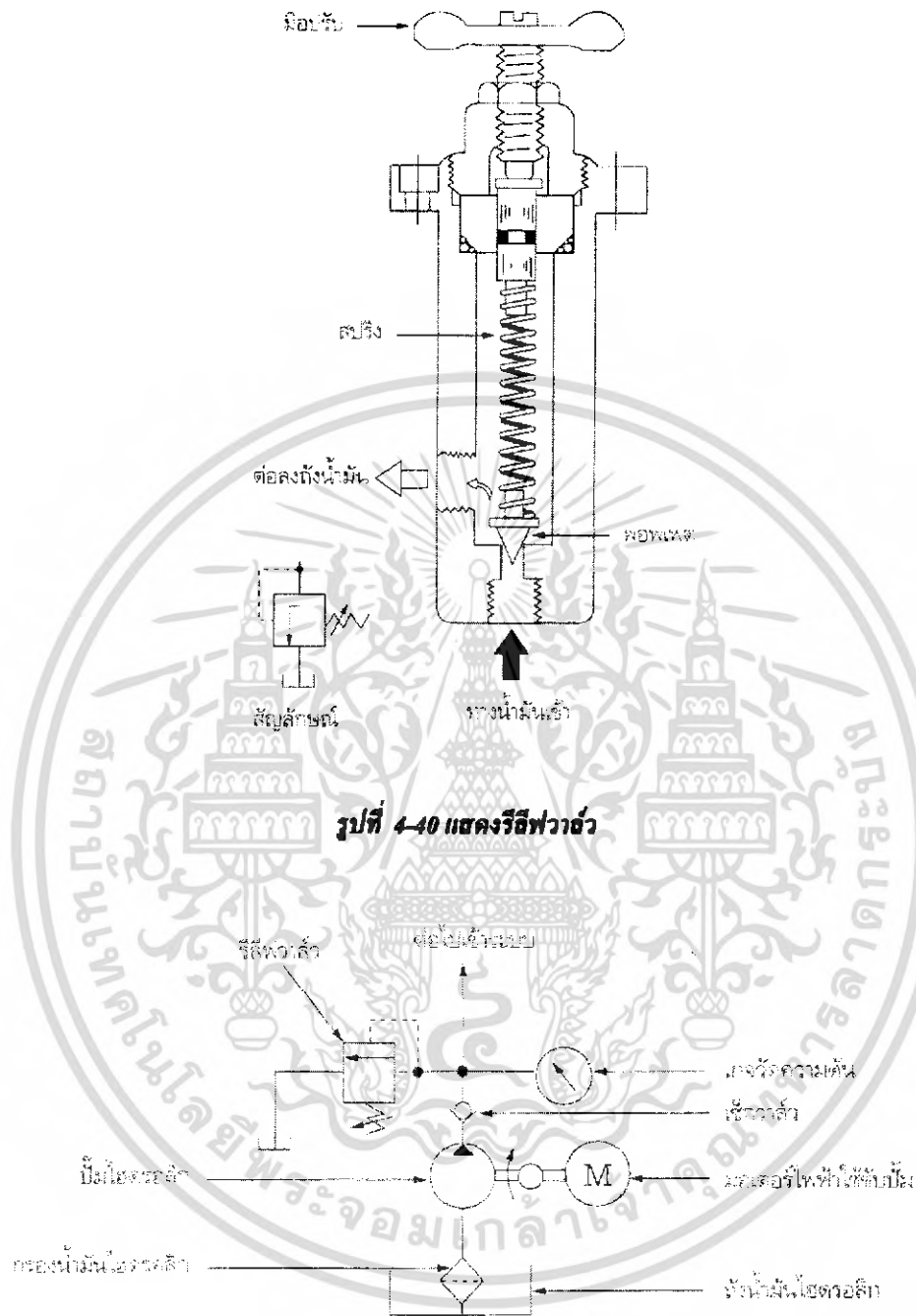
- 1.ประสิทธิภาพเชิงกล (mechanical efficiency) หมายถึงประสิทธิภาพของกลไกที่อยู่ภายในปั๊ม
- 2.ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (volumetric efficiency) หมายถึงประสิทธิภาพการดูดและส่งน้ำมันของปั๊ม
- 3.ประสิทธิภาพรวม (total efficiency) เป็นประสิทธิภาพที่คิดรวมประสิทธิภาพทั้งหมดของปั๊ม

วาล์วนิรภัยหรือรีลิววาล์ว (Relief Valve)

รีลิววาล์ว คือ วาล์วควบคุมความดันของน้ำมันในระบบไม่ให้มีค่าสูงเกินกว่าค่าที่กำหนด ประกอบด้วย มือปรับ สปริง พอพเพด รูน้ำมันเข้า รูน้ำมันออก หลักการทำงาน คือ ให้ปรับมือปรับเพื่อให้สปริงถูกกดและดันให้พอพเพดปิดทางเข้าของน้ำมันไฮดรอลิก ถ้าน้ำมันไฮดรอลิกสามารถดันให้พอพเพดเปิดออกได้ ก็แสดงว่าความดันของน้ำมันสูงกว่าค่าของสปริงที่ได้ปรับตั้งเอาไว้ ทำให้น้ำมันไหลออกทางช่องออกซึ่งต่อไปยังถังน้ำมัน เมื่อน้ำมันกลับไปยังถังน้ำมัน ทำให้ความดันของระบบต่ำลง เมื่อความดันของระบบลดต่ำกว่าค่าของสปริง ทำให้สปริงดันพอพเพดให้ปิดทางเข้าของน้ำมันอีกครั้งหนึ่ง เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันของน้ำมันเริ่มสูงขึ้นอีก และถ้าสูงเกินค่าที่กำหนดจะทำให้พอพเพดเปิดน้ำมันลงถึงน้ำมัน การทำงานจะเป็นเช่นนี้ตลอดไป



รูปที่ 4-40 แสดงวิธีฟาว์ว

รูปที่ 4-41 แสดงการต่อวิธีฟาว์วในระบบไฮดรอลิก

### เกจวัดความดัน (Pressure Gauge)

ส่วนประกอบของเกจวัดความดันมีดังต่อไปนี้ คือ

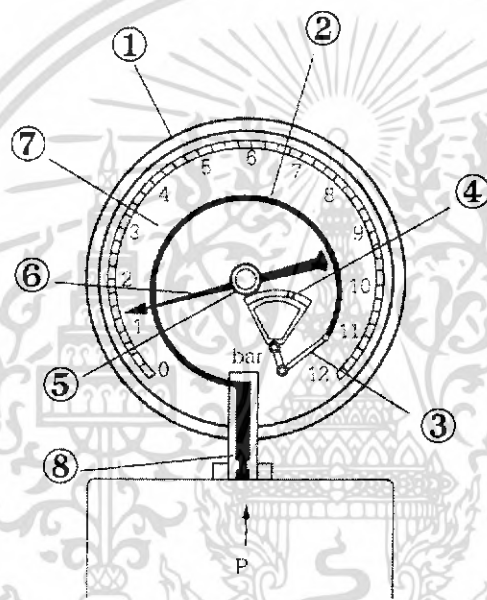
1. ตัวเรือน
2. ท่อสปริง
3. แขนต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.เฟือง
- 5.เฟืองหมุนเข็ม
- 6.เข็มชี้
- 7.สเกล
- 8.ช่องต่อน้ำมัน

หลักการทำงานมีดังต่อไปนี้ คือ เมื่อมีความดันของน้ำมันเข้ามาทางท่อ P จะเข้าไปยังท่อสปริง 2 ทำให้ท่อสปริงตัวนี้พยายามยืดออกตามหลักการความแตกต่างของพื้นที่ ยิ่งมีความดันเข้ามามากยิ่งทำให้สปริงยืดตัวออกมาก ผลของการยืดตัวของท่อสปริงนี้ทำให้เฟือง 4 และเฟืองหมุนเข็ม 5 เคลื่อนที่พาให้เข็มชี้ 6 ชี้ไปตามสเกล 7 เพื่ออ่านค่าความดันที่เกิดขึ้นตามความดันที่เข้าทางท่อ P

1.

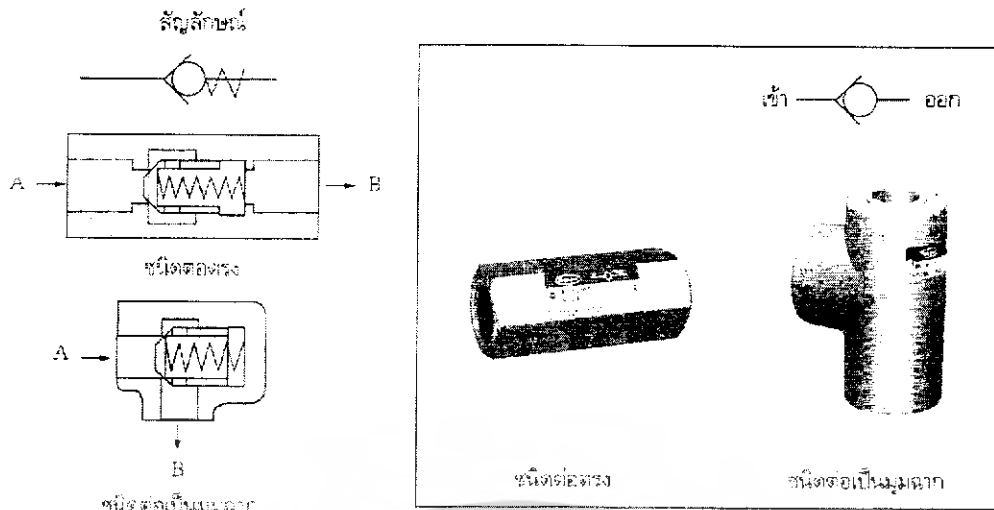


รูปที่ 4-12 แสดงเกจวัดความดัน

วาล์วกั้นกลับหรือเช็ควาล์ว (Check Valve)

เช็ควาล์วจะทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำมันให้ไหลได้เพียงทิศทางเดียวเท่านั้น จากรูปน้ำมันจะไหลในทิศทาง B ไป A ไม่ได้ เช็ควาล์วมี 2 แบบ คือ แบบต่อตรง(In-line) และชนิดต่อเป็นมุมฉาก (Angle)

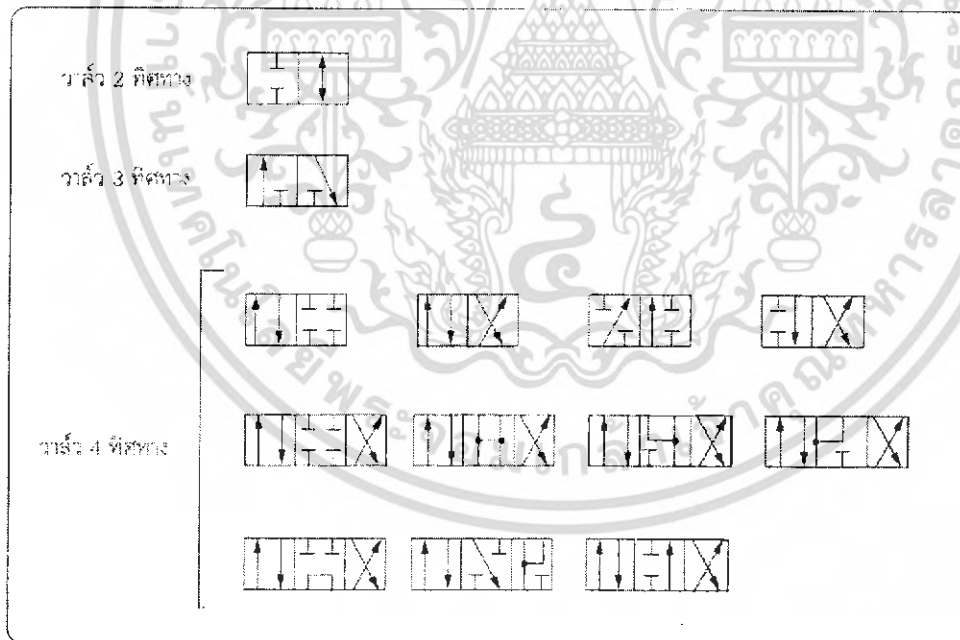
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-43 แสดง เซ็ทวาล์วทั้งชนิดต่อตรงและชนิดต่อเป็นมุมฉาก

วาล์วควบคุมทิศทาง

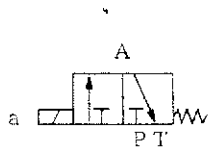
วาล์วควบคุมทิศทางในไฮดรอลิกมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญมีแสดงดังนี้



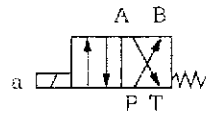
รูปที่ 4-44 แสดงสัญลักษณ์ของวาล์วควบคุมชนิดต่างๆ

ระบบไฮดรอลิกมักจะเปลี่ยนตำแหน่งของวาล์วโดยการทำงานของโซลินอยด์และการทำงานของมนุษย์ เช่น คันโยก มือกด เป็นต้น

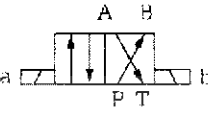
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



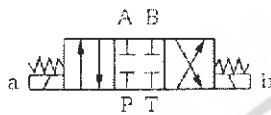
ทาลัว 3/2 ทำงานด้วยโซ่ลิ้นอยด์ กลับด้วยสปริง



ทาลัว 4/2 ทำงานด้วยโซ่ลิ้นอยด์ าลัวด้วยสปริง



ทาลัว 4/2 ทำงานด้วยโซ่ลิ้นอยด์ทั้งสองด้าน



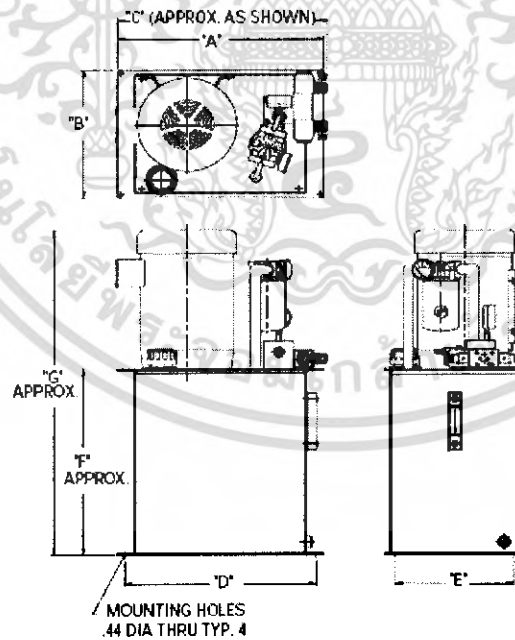
ทาลัว 4/3 ทำงานด้วยโซ่ลิ้นอยด์ทั้งสองด้าน สปริงดันกลับตำแหน่งกลาง ปกติปิด



ทาลัว 4/2 ทำงานด้วยโซ่ลิ้นอยด์ทั้งสองด้าน สปริงดันกลับตำแหน่งกลาง A, B C และ P ต่อกับ 1

**รูปที่ 4-45 แสดงการเปลี่ยนตำแหน่งโดยการทำงานของโซ่ลิ้นอยด์**

**POWER UNIT ที่เลือกใช้**

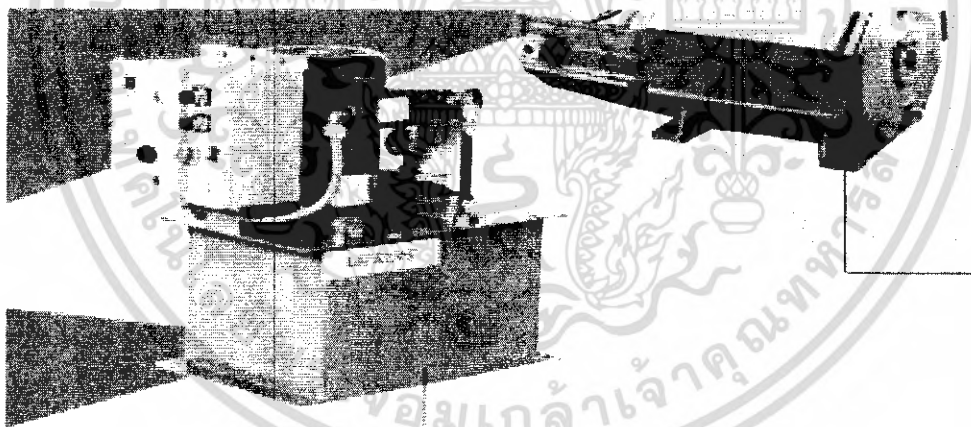


**รูปที่ 4-46 แสดงลักษณะของ POWER UNIT**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESERVOIR SIZE	ELECTRIC MOTOR	DIM. "A"	DIM. "B"	DIM. "C"	DIM. "D"	DIM. "E"	DIM. "F"	DIM. "G"
10 GALLON	"710" 1.5HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	14.0	25.3
10 GALLON	"720" 3HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	14.0	27.5
10 GALLON	"730" 5HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	14.0	29.1
10 GALLON	"740" 7.5HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	14.0	28.4
10 GALLON	"750" 10HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	14.0	29.5
15 GALLON	"710" 1.5HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	20.5	31.8
15 GALLON	"720" 3HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	20.5	34.0
15 GALLON	"730" 5HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	20.5	35.6
15 GALLON	"740" 7.5HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	20.5	34.9
15 GALLON	"750" 10HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	20.5	36.0
20 GALLON	"710" 1.5HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	27.5	38.8
20 GALLON	"720" 3HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	27.5	41.0
20 GALLON	"730" 5HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	27.5	42.6
20 GALLON	"740" 7.5HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	27.5	41.9
20 GALLON	"750" 10HP	21.00	14.00	21.4	19.50	12.00	27.5	43.0
30 GALLON	"720" 3HP	27.00	18.00	27.2	25.00	17.00	20.5	34.0
30 GALLON	"730" 5HP	27.00	18.00	27.2	25.00	17.00	20.5	35.6
30 GALLON	"740" 7.5HP	27.00	18.00	27.2	25.00	17.00	20.5	34.9
30 GALLON	"750" 10HP	27.00	18.00	27.2	25.00	17.00	20.5	36.0

รูปที่ 4-47 แสดงข้อมูลของ POWER UNIT



**System-Pak® Plus**  
 • Multiple pump options  
 • Spin-on return line filter  
 • Leak-free design  
 • Remote pressure control adjustment  
 • Manifold options for up to 13 or D05 valve stations  
 • Optional motor starter

**System-Pak® II**

- Multiple pump options
- Spin-on return line filter
- Leak-free design
- Remote pressure control adjustment
- Manifold options for up to 8 D03 valve stations
- Optional motor starter

**Reservoir capacities 3–30 gal**  
**Flows to 10 gpm**  
**Electric motors .75–10 hp**  
**Maximum pressure to 3,000 psi**

รูปที่ 4-48 แสดง POWER UNIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การเดิน

การเดินเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงในการออกแบบหุ่นยนต์แบบมีขา โดยการเดินของหุ่นยนต์นั้นต้องตั้งอยู่ในสมมติฐานดังนี้

1. เป็นการเดินที่สามารถวางแผนการเดินได้ง่าย
2. เป็นการเดินที่สมดุลโดยขณะเดินไม่พลิกคว่ำ

#### 5.1 การยังเคราะห์การเดิน

##### 5.1.1 กำหนดพิกัดที่ต้องการเคลื่อนที่

กำหนดพิกัดที่ต้องการจะทำการอ้างอิงพิกัดใหม่จากจุดศูนย์กลางมวลไปยังพิกัดใดๆที่ต้องการ

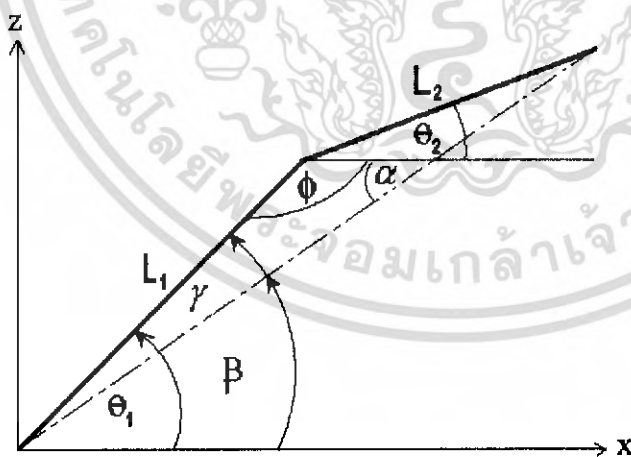
##### 5.1.2 การเคลื่อนที่ของตัวหุ่นยนต์

เมื่อหุ่นยนต์ได้ตำแหน่งใหม่แล้วจะทำการเคลื่อนลำตัวหรือจุดศูนย์กลางมวลไปยังจุดใหม่ที่ต้องการแล้วนั้นบริเวณจุดโคนขาจะเปลี่ยนไปโดยปลายขาจะยังคงอยู่ที่เดิม

##### 5.1.3 ตรวจสอบเงื่อนไขการทำงานของขา

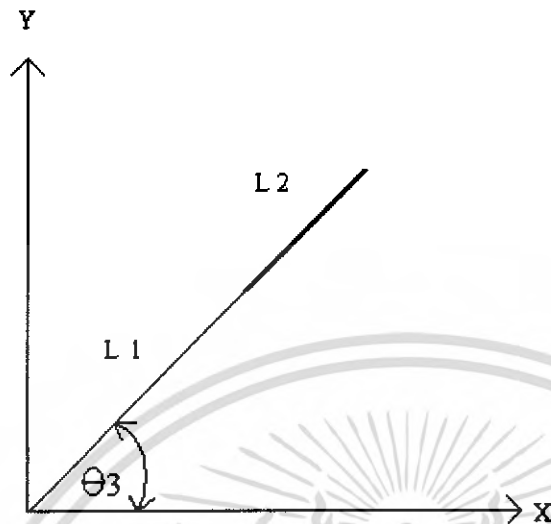
ตามที่ได้ออกแบบไว้พบว่ามีช่วงการทำงานในช่วงมุม ค่าหนึ่ง ซึ่งแสดงได้คังรูปโดยเมื่อจุดใดๆของขาเปลี่ยนไป มุมเหล่านี้ย่อมแปรเปลี่ยนตามโดยขณะเดินนั้นจำเป็นต้องกำหนดให้ขา ทำงานอยู่ในช่วงการทำงานของมุมที่กำหนดไว้ ดังนั้นจะทำการคำนวณหาค่ามุมของขาเมื่อตำแหน่งของขาเปลี่ยนไป

##### 5.1.3.1 การหาค่ามุมเมื่อตำแหน่งของปลายขาเปลี่ยนไป



รูปที่ 5-1 แสดงความสัมพันธ์ ของจุดพิกัดใดๆ กับมุมที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-2 แสดงมุมที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

จากรูปที่ 6.1 พิจารณาค่ามุมต่างๆ กับความสัมพันธ์สามารถหาค่ามุมต่างๆเมื่อกำหนดจุด(x,y,z) ดังนี้

$$\beta = \tan^{-1}(z/x) \quad (5.1)$$

$$z^2 + x^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2 \cos \phi \quad (5.2)$$

$$\cos^{-1} \frac{(z^2 + x^2) - L_1^2 - L_2^2}{(-2L_1L_2)} = \phi \quad (5.3)$$

$$\frac{\sin \gamma}{L_2} = \frac{\sin \phi}{\sqrt{x^2 + z^2}} \quad (5.4)$$

$$\gamma = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \phi}{\sqrt{x^2 + z^2}} \right) \quad (5.5)$$

$$\theta_1 = \gamma + \beta \quad (5.6)$$

$$\alpha = 180 - \gamma - \phi \quad (5.7)$$

$$\theta_2 = \beta - \alpha \quad (5.8)$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left( \frac{L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin \theta_2}{L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_2} \right) \quad (5.9)$$

เราจะพิจารณาค่ามุมที่เป็นไปได้ คือ มุม  $\theta_1$   $\theta_2$   $\theta_3$  โดยมุมต่างๆ ต้องอยู่ในค่าต่างๆดังนี้

$$33 < \theta_1 < 139$$

$$-11 < \theta_2 < 11$$

$$51.25 < \theta_3 < 51.25$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5.1.4 การยกขาแล้วก้าวเดิน

เมื่อหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแล้วจะทำการยกทีละหนึ่งขาตามลำดับดังนี้

ลำดับที่ 1 ขาหนึ่ง

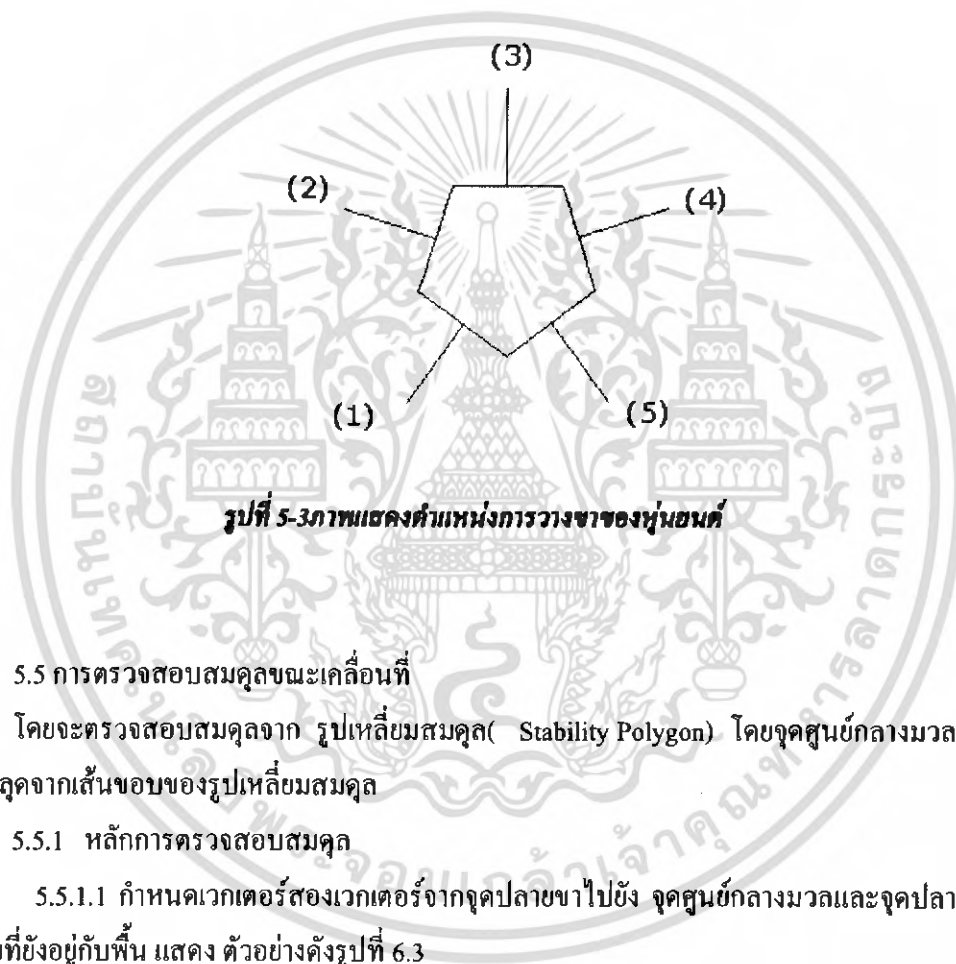
ลำดับที่ 2 ขาสอง

ลำดับที่ 3 ขาสาม

ลำดับที่ 4 ขาสี่

ลำดับที่ 5 ขาห้า

เพื่อกลับมายังตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้ง แสดงตำแหน่งของขา ได้ดังรูป



รูปที่ 5-3 ภาพแสดงตำแหน่งการวางขาของหุ่นยนต์

#### 5.5 การตรวจสอบสมดุลงขณะเคลื่อนที่

โดยจะตรวจสอบสมดุลงจาก รูปเหลี่ยมสมดุลง (Stability Polygon) โดยจุดศูนย์กลางมวลจะต้องไม่ หลุดจากเส้นขอบของรูปเหลี่ยมสมดุลง

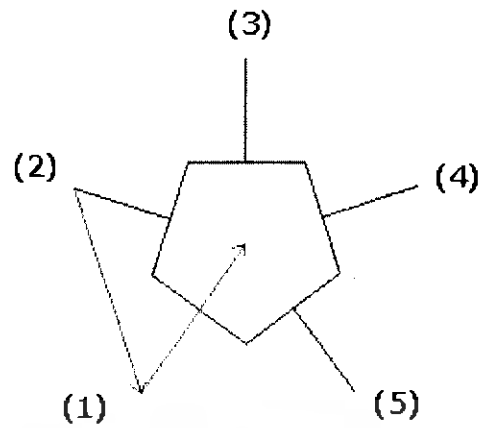
##### 5.5.1 หลักการตรวจสอบสมดุลง

5.5.1.1 กำหนดเวกเตอร์สองเวกเตอร์จากจุดปลายขาไปยัง จุดศูนย์กลางมวลและจุดปลายไปยังจุดปลายที่ยังอยู่กับพื้น แสดง ตัวอย่างดังรูปที่ 6.3

5.5.1.2 หาผลคูณเชิงเวกเตอร์ (Cross Product) ของเวกเตอร์ทั้งสอง

5.5.1.3 ถ้าจุดศูนย์กลางมวลอยู่ในรูปเหลี่ยมสมดุลง ผลคูณเชิงเวกเตอร์จะเป็นเครื่องหมายเดียวกันทั้งหมดทุกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



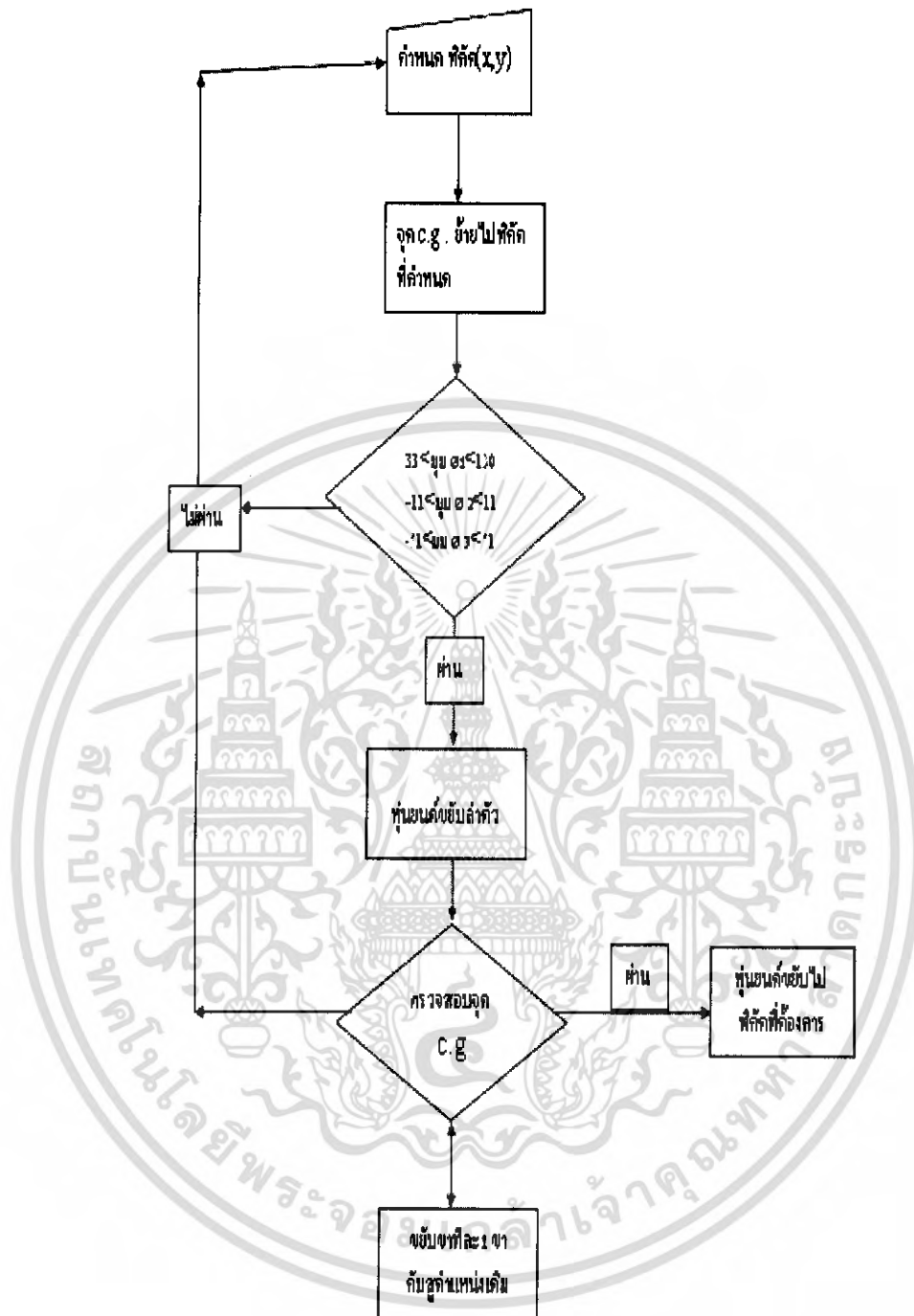
**รูปที่ 5-4 แสดงเวกเตอร์ที่ดูกันเพื่อพิจารณาคุณภาพของหุ่นยนต์**

หมายเหตุ เวกเตอร์ที่ทำการหาผลคูณ ต้องเป็นเวกเตอร์แบบนูน (convex vector)

### 5.2 ลักษณะการเดิน

ลักษณะการเดิน นั้น ไม่ว่าจะเคลื่อนที่ไปตำแหน่งใดๆจะเคลื่อนที่ให้ ลำตัวไปยังตำแหน่งที่ต้องการ จากนั้น ขา จะก้าวตามที่ละขา ไปสู่ตำแหน่งเหมือนกับตอนเริ่มต้น ซึ่งถือเป็นการเดินจนครบรอบการเดิน ดังนั้น การเดินตรง การเลี้ยว หรือ ถอยหลัง จะมีลักษณะรูปแบบการเดินแบบเดียวกัน

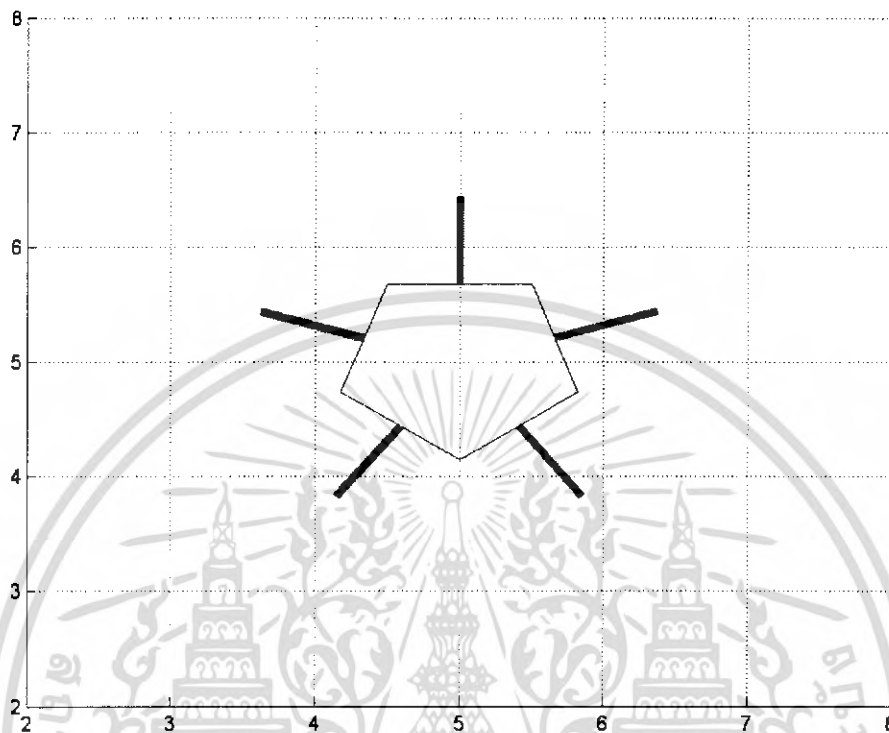
**หมายเหตุ** ในการเดินจะทำการจำลองการเดินและตรวจสอบเงื่อนไข โดยโปรแกรม MATLAB ซึ่งแสดงคั้งแผ่น ซิตี ที่แนบมาด้านล่าง



### รูปที่ 5-5 แสดงการเดินครบ 1 รอบการเดินตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

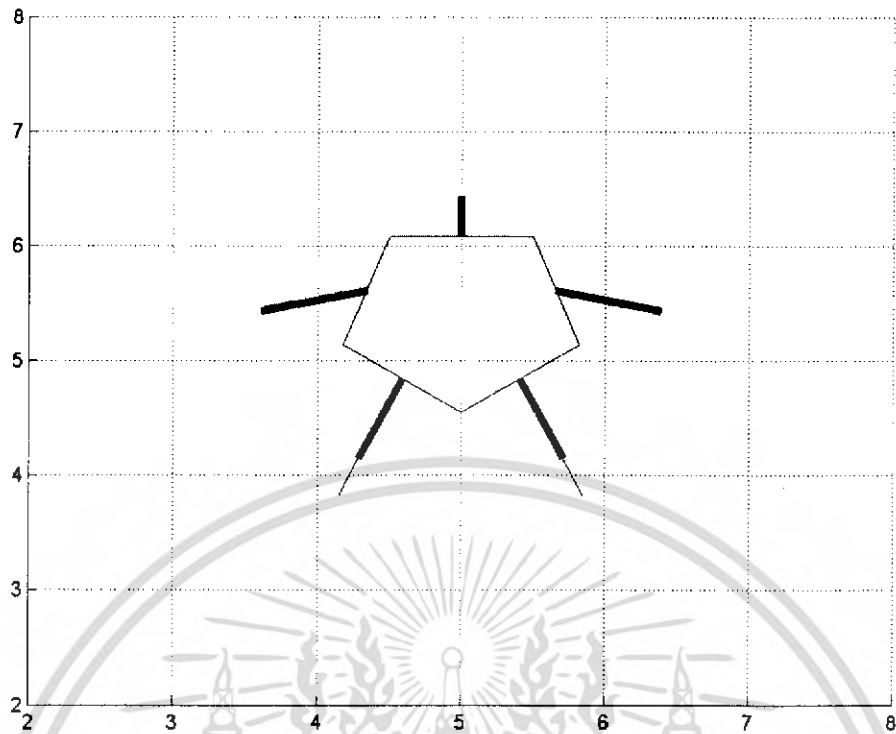
### 5.3 ตัวอย่างแสดงการเดินตรง



รูปที่ 5-6 แสดงการเดิน

จากรูปที่ 5-6 แสดงการเดินของหุ่นยนต์โดยเป็นภาพที่แสดงจากโปรแกรม MATLAB โดยจากรูปนั้น เป็นตอนเริ่มต้นขณะที่หุ่นยนต์ยังไม่เคลื่อนที่

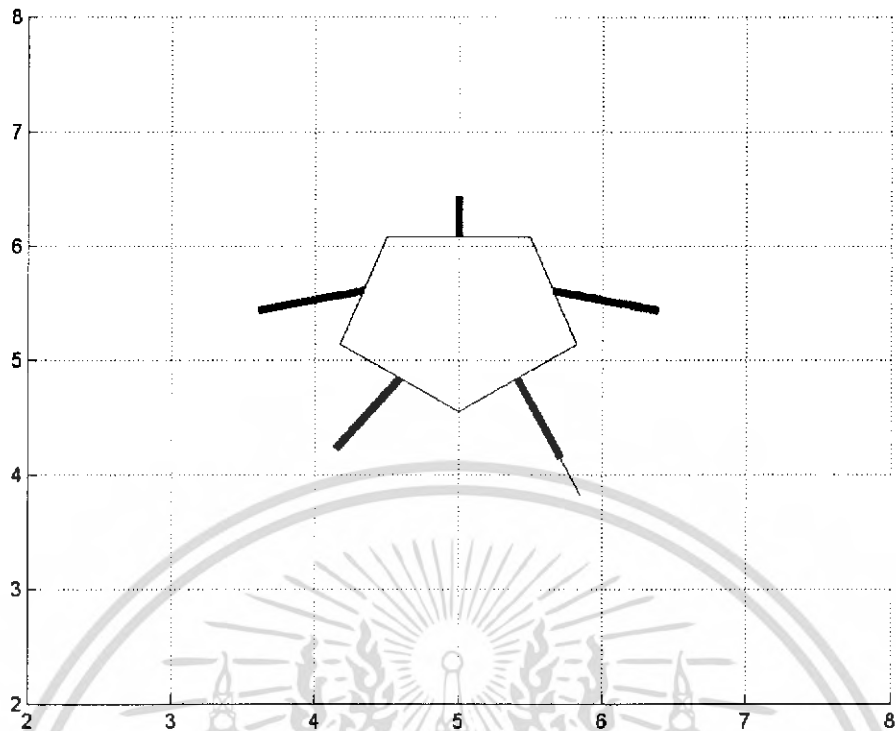
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 5-7 แสดงการเคลื่อนที่ของห้าตัว**

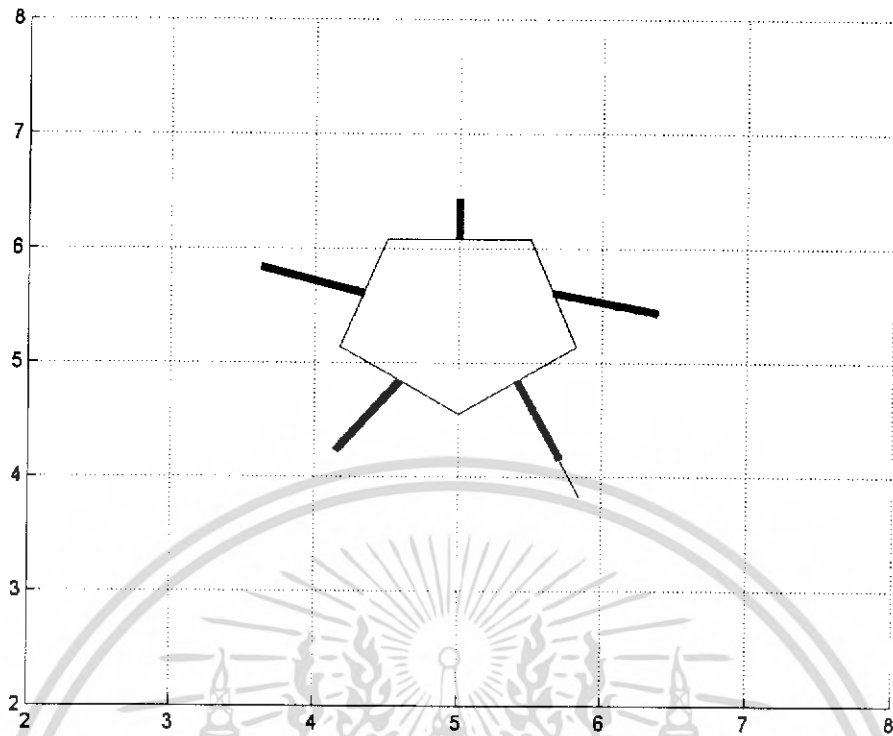
จากรูปที่ 5-7 แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยลักษณะการเคลื่อนที่นั้น หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่โดยใช้จุดศูนย์กลางมวล เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยที่ปลายขายังคงอยู่ตำแหน่งเดิมโดยอาศัยแรงผลักเพื่อให้ลำตัวเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



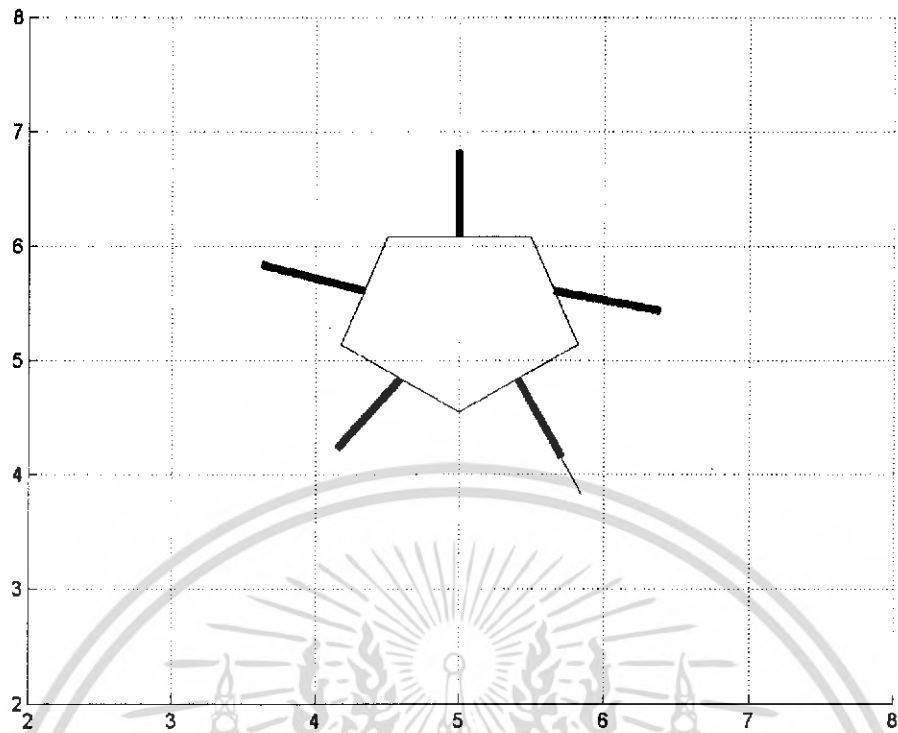
**รูปที่ 5-8 แสดงการก้าวขาที่ยังตำแหน่งเช่นเดียวกับตอนเริ่มต้น**

จากรูปที่ 5-8 เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนลำตัวไปยังจุดที่ต้องการแล้วจากนั้นหุ่นยนต์จะทำการยกขากลับมาเหมือนกรณีที่หุ่นยนต์ยืนอยู่ตอนเริ่มต้น โดยจะทำการขากลับมาทีละ 1 ขา ตามลำดับ



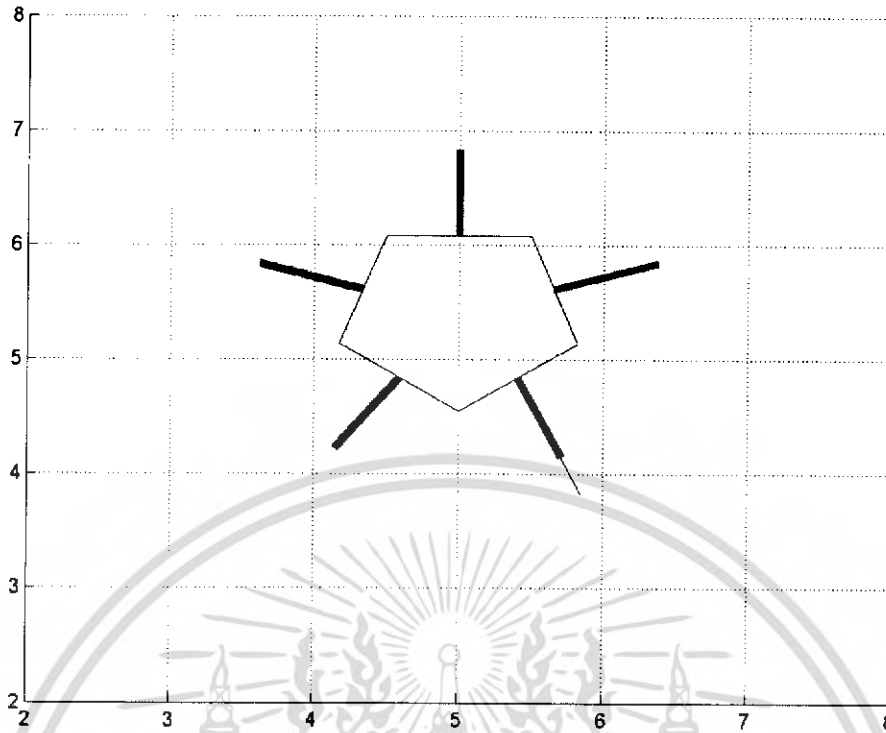
**รูปที่ 5-9 แสดงการก้าวขาที่ยังค้างตำแหน่งเช่นเดียวกับคอนเริ่มต้น**

จากรูปที่ 5-9 เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนลำตัวไปยังจุดที่ต้องการแล้วจากนั้นหุ่นยนต์จะทำการยกขา  
กลับมาเหมือนกรณีที่หุ่นยนต์ขึ้นอยู่คอนเริ่มต้น โดยจะทำการขากลับมาที่ ละ 1 ขา ตามลำดับ



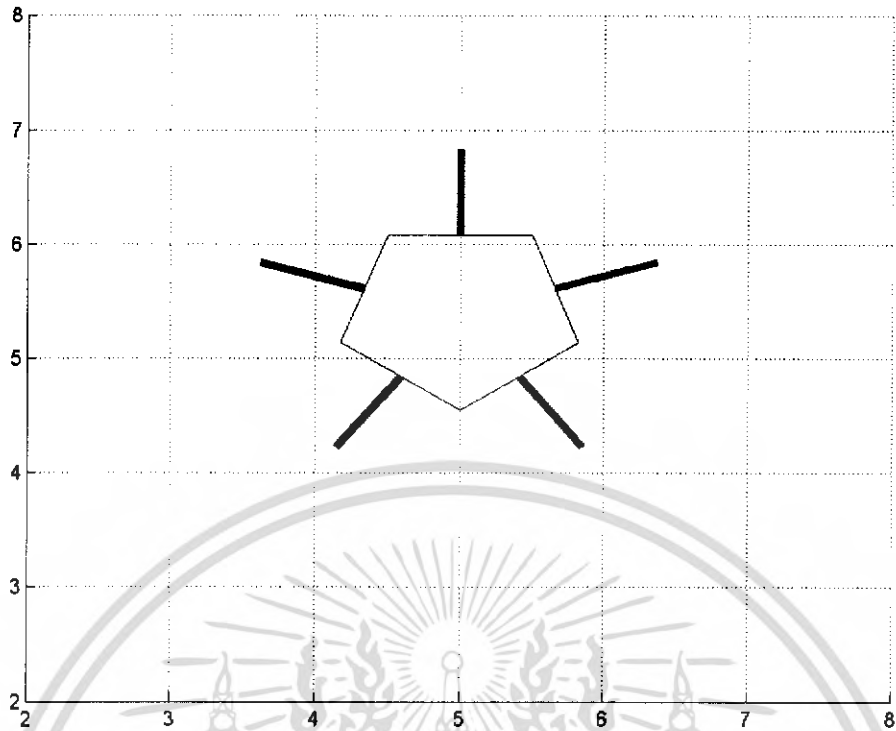
**รูปที่ 5-10 แสดงการก้าวขากลับมายังตำแหน่งเช่นเดียวกับตอนเริ่มต้น**

จากรูปที่ 5-10 เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนลำตัวไปยังจุดที่ต้องการแล้วจากนั้นหุ่นยนต์จะทำการยกขากลับมาเหมือนกรณีที่หุ่นยนต์ยืนอยู่ตอนเริ่มต้น โดยจะทำการขากลับมาทีละ 1 ขา ตามลำดับ



**รูปที่ 5-11 แสดงการก้าวขาที่ยาวมาซึ่งตำแหน่งเช่นเดียวกับคอนเริ่มหัน**

จากรูปที่ 5-11 เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนลำตัวไปยังจุดที่ต้องการแล้วจากนั้นหุ่นยนต์จะทำการยกขา  
กลับมาเหมือนกรณีที่หุ่นยนต์ยืนอยู่คอนเริ่มหัน โดยจะทำการขากลับมาที่ ละ 1 ขา ตามลำดับ



**รูปที่ 5-12 แสดงการก้าวขาที่ยาวมาซึ่งตำแหน่งเช่นเดียวกับคอนเวิรชัน**

จากรูปที่ 5-12 เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนลำตัวไปยังจุดที่ต้องการแล้วจากนั้นหุ่นยนต์จะทำการยกขากลับมาเหมือนกรณีที่หุ่นยนต์ยืนอยู่จุดเริ่มต้น โดยจะทำการขากลับมาทีละ 1 ขา ตามลำดับ

## บทที่ 6

### สรุปและข้อเสนอแนะ

เราสามารถสรุปสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษาและค้นคว้าในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้ดังนี้

#### 1. ศึกษาข้อดีข้อเสียของหุ่นยนต์แบบต่างๆ

โดยเราทำการศึกษาหุ่นยนต์ชนิดต่างๆที่ถูกสร้างขึ้นทั้งในอดีตและปัจจุบัน เพื่อวิเคราะห์ถึงข้อดีและข้อเสียหุ่นยนต์แบบต่างๆ และจากนั้นได้ทำการสรุป เลือกชนิดของหุ่นยนต์ที่จะทำการออกแบบ ซึ่งจากข้อมูลต่างๆจะเลือกหุ่นยนต์ที่ความเหมาะสมที่สุดซึ่ง ได้ทำการเลือกออกแบบ หุ่นยนต์ 5 ขา

#### 2. กำหนดองค์ประกอบของหุ่นยนต์

ได้ทำการกำหนด องค์ประกอบต่างๆของหุ่นยนต์ เริ่มตั้งแต่ เลือกชนิดของต้นกำลังที่ใช้ โดย หุ่นยนต์ ที่ทำการออกแบบใช้ต้นกำลังไฮโดรลิกและเลือกรูปแบบของระบบควบคุมออกแบบระบบขับเคลื่อนที่ใช้ขับเคลื่อนตัวหุ่นยนต์ เลือกวัสดุที่ใช้ โดยในที่นี้เลือกใช้เหล็ก AISI 1040 เพราะสามารถหาซื้อได้ง่าย และมีความทนทานสูง

#### 3. ออกแบบลักษณะของหุ่นยนต์

โดยเริ่มจากกำหนดน้ำหนักและภาระที่หุ่นยนต์สามารถรับได้ โดยกำหนดไว้ที่ 2000 กิโลกรัม จากนั้นนำไปคำนวณหาแรงต่างๆที่กรณีต่างๆที่หุ่นยนต์ต้องรับมากที่สุด และจากนั้นใช้โปรแกรม ADAMS เพื่อวิเคราะห์หาแรงภายในที่เกิดขึ้น จากนั้นนำแรงที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อหาความแข็งแรงของชิ้นส่วนต่างๆ โดยใช้ โปรแกรม COSMOS เพื่อทำการวิเคราะห์ และปรับปรุงรูปร่างชิ้นส่วนต่างๆให้มีความแข็งแรงและรูปร่างที่เหมาะสม สุดท้ายได้แบบหุ่นยนต์ที่สมบูรณ์

#### 4. สังเคราะห์การเดิน

ได้ทำการสังเคราะห์การเดินเพื่อหารูปแบบการเดินที่เหมาะสมโดยที่การเดินนั้นต้องเดินได้อย่างสมดุลและเคลื่อนที่ได้ง่าย โดยเราได้ทำการสังเคราะห์และจำลองในรูปแบบ ภาพ 2 มิติ โดยใช้ โปรแกรม MATLAB เพื่อแสดงการเดิน และตรวจสอบเงื่อนไขการเดิน ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ สุดท้ายจะได้ลักษณะการเดินดังที่ได้แสดงไว้ใน ปริญญาานิพนธ์ ฉบับนี้

ข้อเสนอแนะ

1.ในอนาคตผู้ที่ทำการศึกษาต่อสามารถปรับปรุงรูปร่างของหุ่นยนต์ ควบคุมองค์ประกอบต่างๆให้มีความเหมาะสมกับภารกิจและความต้องการของผู้ศึกษาหรือผู้ทำการสร้างเอง เช่น ปรับขนาดให้เล็กลง เปลี่ยนชนิดต้นกำลัง เป็นต้น

2.ผู้ที่ทำการศึกษาต่ออาจปรับปรุงรูปแบบการเดินให้มีความเหมาะสมหรือมีลักษณะการเดินที่ดีกว่าเดิม เช่น เดินได้เร็วขึ้น เป็นต้น

3. อาจมีการติดตั้ง อุปกรณ์ต่างๆเพิ่มเติมลงไป เพื่อให้ประกอบภารกิจ เช่น กล้องสำรวจ , อุปกรณ์ที่ใช้ในการกู้ภัย เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] คีอิตะ คัทสึฮิโตะ(2548) “เปิดโลกหุ่นยนต์...สำหรับนักประดิษฐ์รุ่นใหม่”สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย – ญี่ปุ่น), 2548
- [2] ศ.ดร วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ , รศ. ชาญฉัตรงาน : “การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1, เล่ม2 ”ซีเอ็ดยูเคชั่น ,2545
- [3] รศ. มนต์รี พิรุณเกษร : “กลศาสตร์ของวัสดุ ฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์” วิทยพัฒน์ ,2545
- [4] ณรงค์ ต้นชีวะวงศ์ (2542)“นิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์เบื้องต้น” สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ,2542
- [5] Computation Principle of Mobile Robotics.Georgely Dudek, Michcal Jenkin, University of Cambridge.
- [6] R.J. Full and M.S. Tu, Mechanics of a Rapid Runnig Insect : Two-Four-,Six-Legged Robot Locomotion , journal of Expreimental Biology, 156, 215-231, 1991
- [7] JAME F. SHACKELFORD “MATERIAL SCIENCE FOR ENGINEERING”
- [ 8] R.E. PETERSON, : “Stress Concentration Factor,” John Wiley and son ,1974
- [9] V.Daniel Hunt “UNDERSTANDING ROBOTICS”
- [10] JOHN J CRAIG “Introduction to robotics mechanics and control ,second edition
- [11] Carloz Queiroz,Nuno Goncaves and Paulo Menezws “A STUDY ON A STATIC GAITS FOR LEG ROBOT”
- [12]Koh Hosoda, Takahiro Miyashita,and Minoru Asada “Emerge of Quadruped Walk by a Combination of Reflexes”
- [13]Henrik I Christensen .Center for Autonomous System.“Robot Locomotion”2005
- [14]Christian Ridderstrom “Legged locomotion: Balance ,control and tools – from equation to action”2003
- [15]CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Instituto de Automatica Industrial. “The SILO Walking Robot A walking machine for educational and basic research purpose”2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

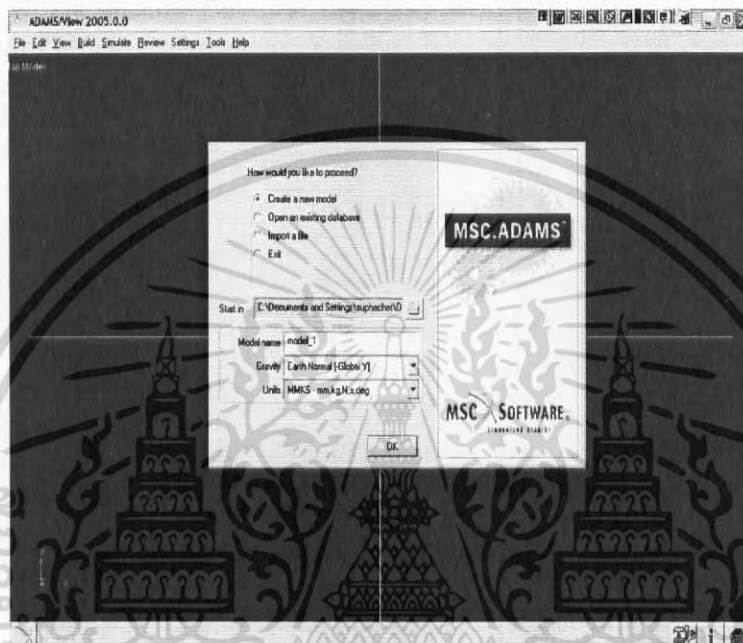
# การใช้โปรแกรม ADAMS

### การเริ่มโปรแกรม

1. เลือก start

2. เลือก Programs เลือกไปที่ ADAMS เลือกไปที่ Aview เลือกADAMS-view

สร้างฐานข้อมูลจาก Welcome Dialog Box

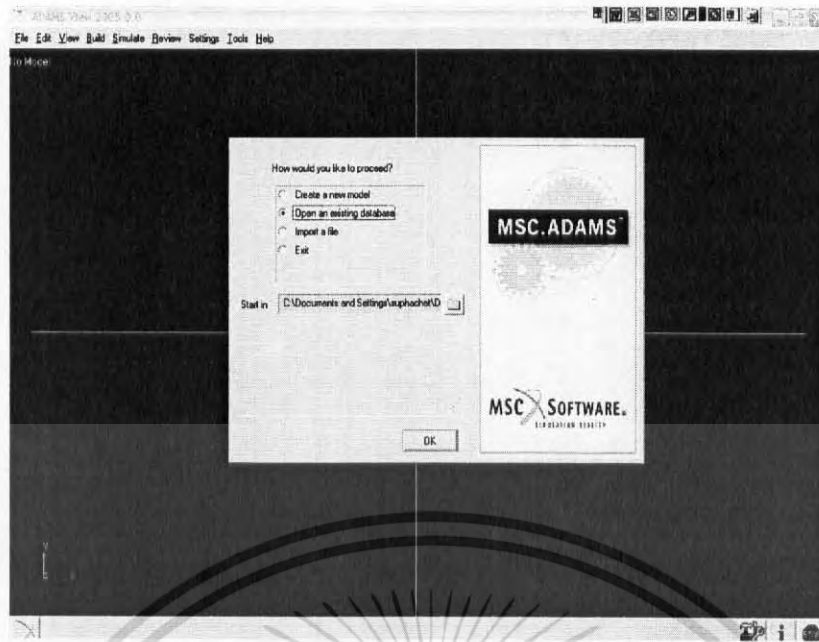


รูปที่ ก-1 เปิดโปรแกรม ADAMS VIEW

1. เลือก Create a new model
2. เปลี่ยนชื่อ Model ให้เป็นชื่อที่ต้องการ
3. เลือก OK

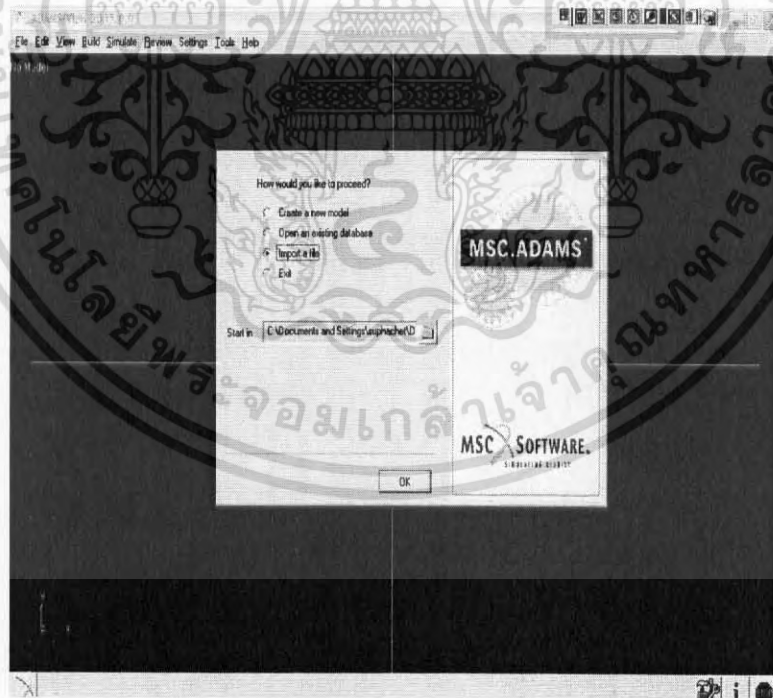
ในกรณีที่มีฐานข้อมูลเดิมอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-2 แสดงการเปิดข้อมูลโดยใช้ *Open an existing database*

- 1.เลือก Open an existing database
- 2.เลือกไฟล์จากฐานข้อมูลเดิมที่เก็บเอาไว้ จาก Start in
- 3.เลือก OK

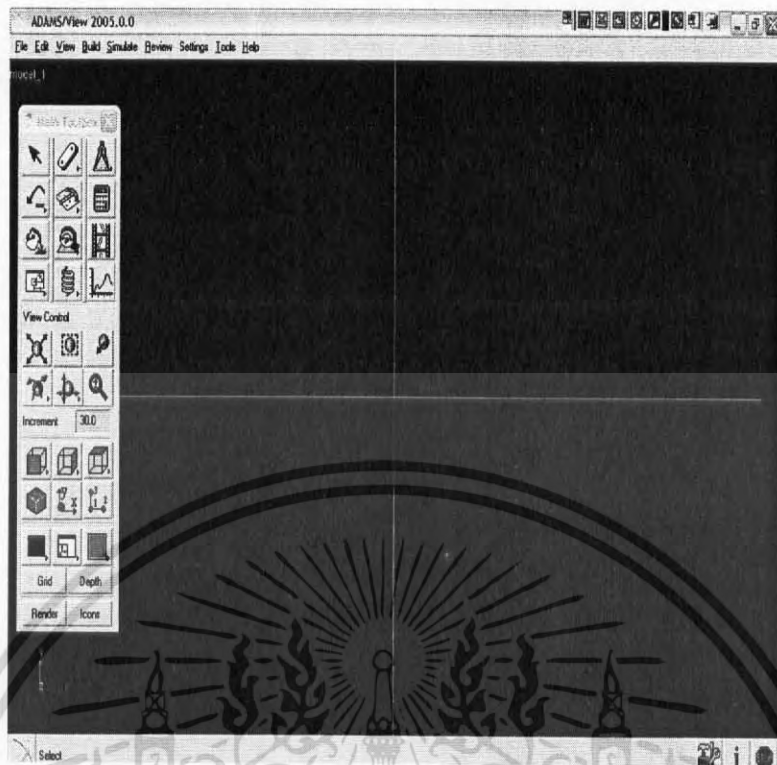


รูปที่ ก-3 แสดงการเปิดข้อมูลโดยใช้ *Import a file*

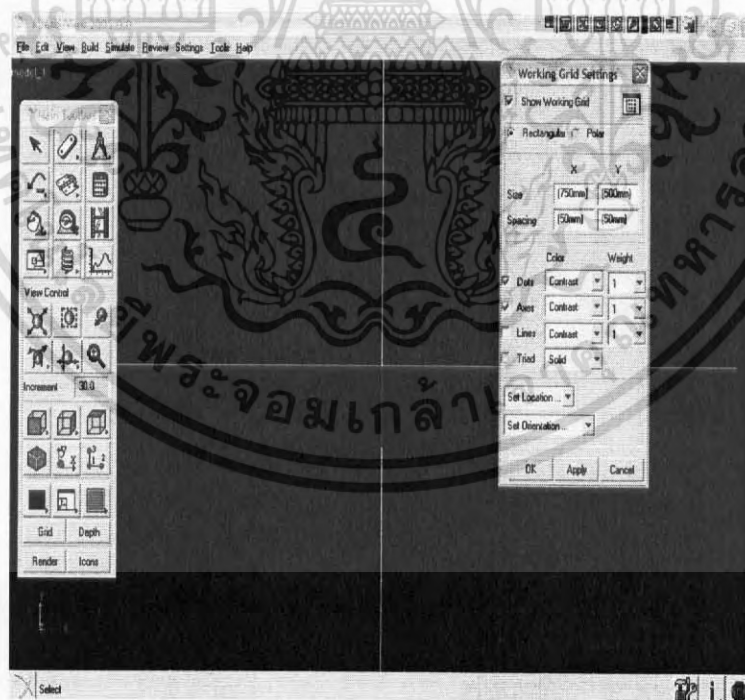
- 1.เลือก Import a file
- 2.เลือกไฟล์จากฐานข้อมูลเดิมที่เก็บเอาไว้ จาก Start in

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.เลือก OK



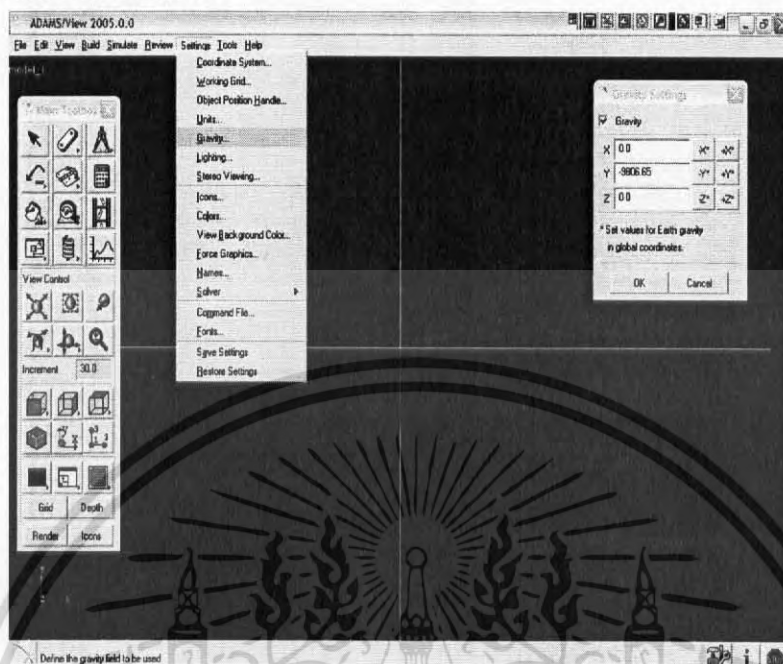
รูปที่ ก-4 แสดงหน้าจอของโปรแกรม ADAMS VIEW



รูปที่ ก-5 แสดงการตั้งค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADAMS-View จะเริ่มต้นการทำงานด้วย Main Toolbox กับ หน้าจอที่มี Working Grid ขนาดใน แกน X 750 mm และในแกน Y 500 mm มีระยะห่างระหว่างจุดในแกน X 50 mm และในแกน Y 50 mm การตั้งค่าเบื้องต้นเมื่อเริ่มโปรแกรม



รูปที่ ก-แสดง การตั้งค่าแรงโน้มถ่วง

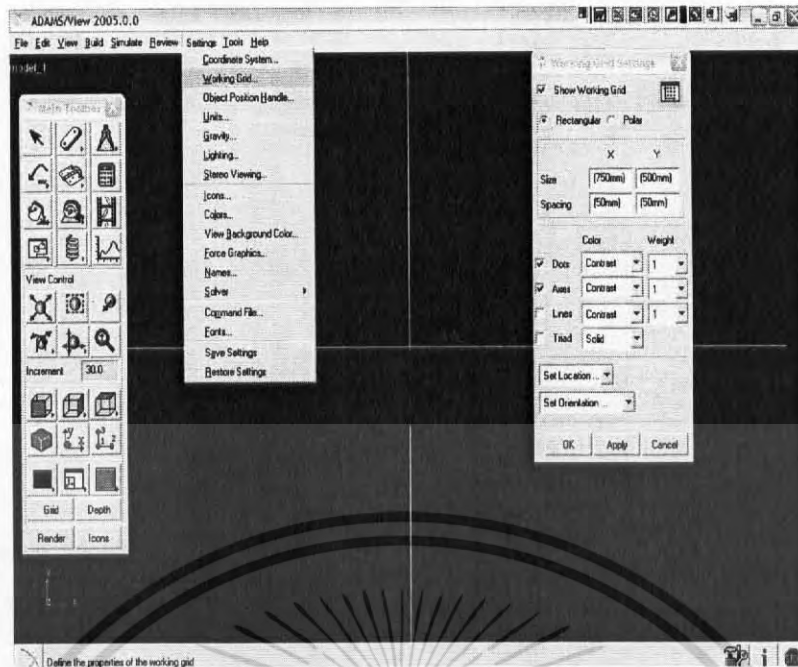
### 1. การตั้งค่าแรงโน้มถ่วง

วัตถุทั้งหมดที่สร้างใน ADAMS/View จะถูกกระทำภายใต้แรงโน้มถ่วงที่ได้ตั้งไว้ โดยปกติแล้วจะถูกตั้งค่าไว้ในแนวทิศทาง -Y ในระบบแกน X-Y-Z ซึ่งสามารถตั้งค่าใหม่ได้โดย

1. เลือก Settings จาก Menu bars
2. เลือก Gravity...
3. ตั้งค่าแรงโน้มถ่วงตามที่ต้องการ โดยใส่ขนาดและทิศทาง
4. เลือก OK เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลง

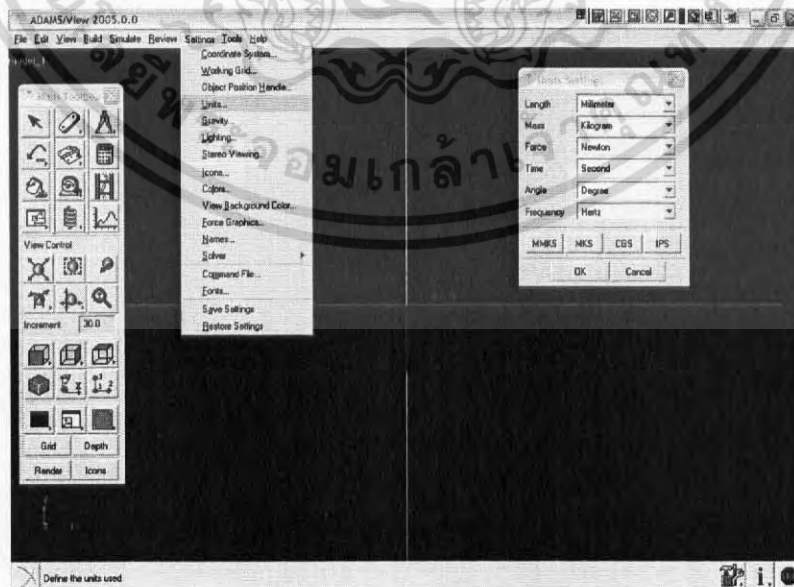
### 2. การตั้งค่า Working Grid

ใน ADAMS/View สามารถเปลี่ยนขนาดของ Working Grid จากค่าเริ่มต้นได้โดย



รูปที่ ก-7 แสดงการตั้งค่า Working Grid

- 1.เลือก Settings จาก Menu bars
  - 2.เลือก Working Grid...
  - 3.ตั้งค่าหน้าจอ โดย Size คือการกำหนดขนาดพื้นที่ที่แสดงจุด Spacing คือระยะห่างระหว่างจุดเหล่านั้น โดยในการกำหนดทั้งสองอย่างนี้ต้องกำหนดทั้งในแนวแกน X และ แกน Y จุดที่แสดงในพื้นที่ที่กำหนดนั้นจะมีได้ไม่เกิน 10,000 จุด
  - 4.เลือก OK เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลง
- การตั้งหน่วยที่ใช้**  
สามารถเปลี่ยนหน่วยได้ตลอดเวลา โดย



รูปที่ ก-8 แสดงการตั้งค่าหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.เลือก Settings จาก Menu bars
- 2.เลือก Units...
- 3.จะมีหน้าจอ Unit Settings ปรากฏขึ้น
- 4.เลือกหน่วยที่ต้องการเปลี่ยน
- 5.เลือก OK เพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลง

### ข้อควรรู้ในการสร้างวัตถุใน ADAMS/View

-ในการสร้างชิ้นส่วนต่างๆใน ADAMS/View นั้น ชิ้นส่วนจะอยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วงที่กำหนดไว้  
-ถ้าต้องการให้ชิ้นส่วนนั้นผูกติดเป็นอันเดียวกับกับ ground ให้เลือก Attach to Ground ให้กับชิ้นส่วนนั้น

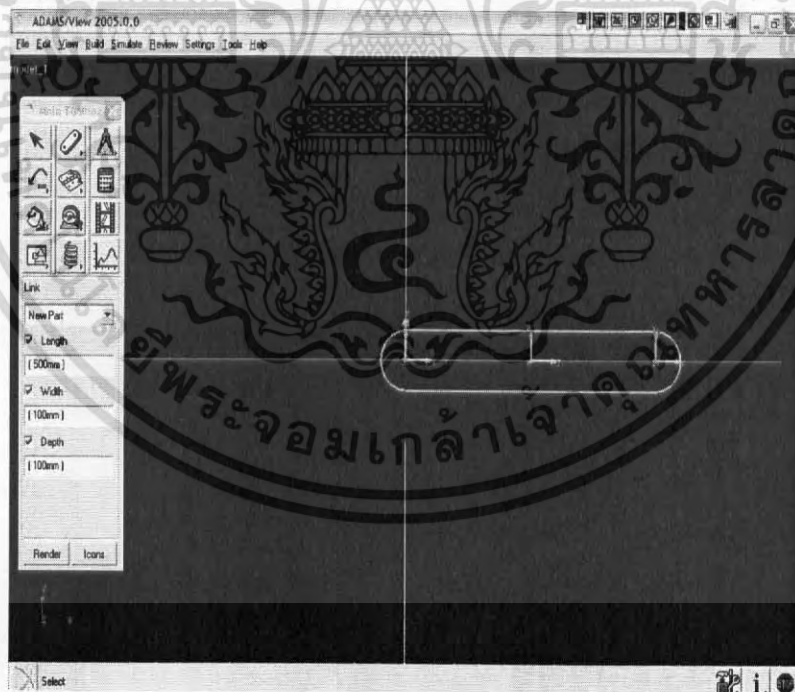
-ถ้าต้องการผูกติดชิ้นส่วนนั้นกับวัตถุอื่น จะมีความหมายว่าชิ้นส่วนนั้นจะมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับวัตถุที่ได้ทำการผูกติดด้วย ก่อนการสร้างให้เลือก Add to part

-ถ้าไม่ได้กำหนดให้ชิ้นส่วนผูกติดกับสิ่งใด ชิ้นส่วนนั้นจะมี 6 Degree of freedom

-สิ่งที่ช่วยในการเขียนแบบโดยใช้ ADAMS/View นั้น สามารถเข้าถึงตำแหน่งได้แม่นยำขึ้นใน Working Grid ได้ โดยเลือก View แล้วเลือก Coordinate Window หรือกดปุ่ม F4

### วิธีการสร้าง Links

#### 1.ที่ main toolbox เลือก Link



รูปที่ ก-9 แสดงการสร้าง Link

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.วิธีการสร้าง 2 วิธีคือ

2.1สร้างโดยใช้จุดใน Coordinate โดยกดคลิกเพียงหนึ่งครั้ง แล้วใช้เมาส์ลากไปที่จุดปลายแล้วกดปล่อย

2.2สร้างโดยกำหนดขนาดที่แน่นอน โดยเติมเครื่องหมายลงใน กล่องหน้าข้อความ Length ,Width ,Depth แล้วทำการกำหนดขนาดก่อนคลิก

## 3.ค่าตั้งต้นของLinks ที่ตั้งไว้คือ New Part ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้ เป็น Add to Part กับ On Ground วิธีการสร้าง Block

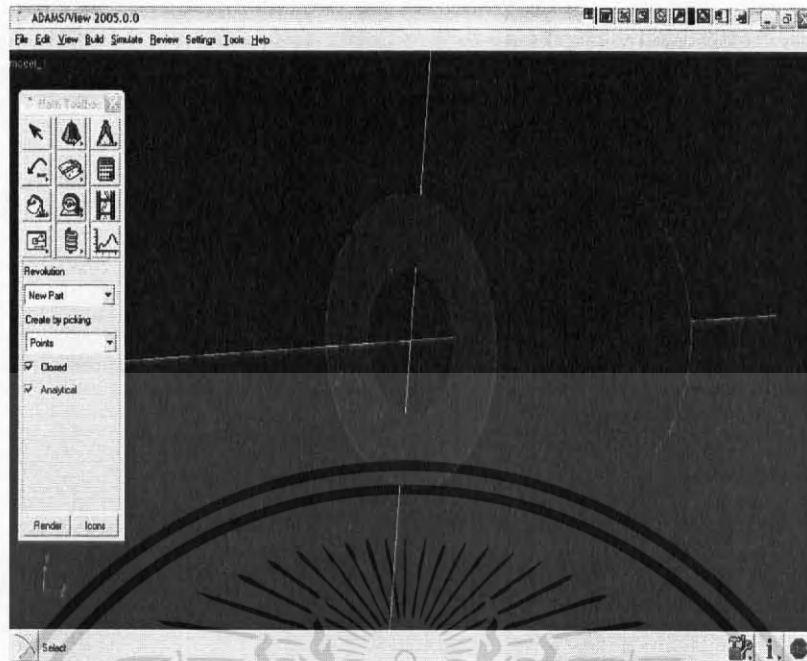


รูปที่ ก-10 แสดงการสร้าง Box

- 1.ที่ main toolbox คลิกขวาที่ Link
- 2.เลือก Box
- 3.คลิกลงบนตำแหน่งปลายที่มีมุมกล่อง แล้วคลิกอีกครั้งที่มีมุมปลายอีกด้าน
- 4.ค่าตั้งต้นของLinks ที่ตั้งไว้คือ New Part ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้ เป็น Add to Part กับ On Ground

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

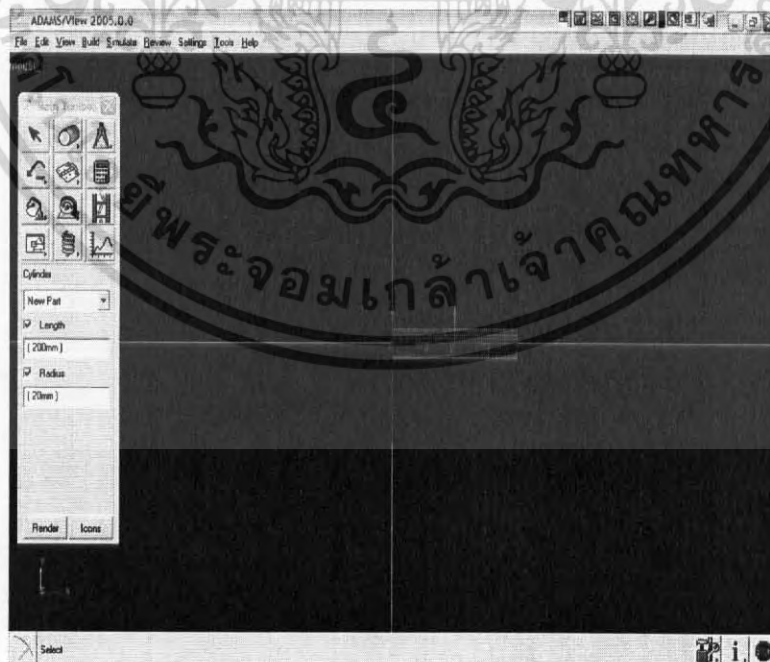
## วิธีการสร้าง Cylinder



รูปที่ ก-11 แสดงการสร้าง Cylinder

1. ที่ main toolbox คลิกขวาที่ Link
2. เลือก Revolution
3. เริ่มสร้างแกนของ Revolution โดยคลิกซ้ายที่จุดเริ่มต้นของแกนและคลิกอีกครั้งที่จุดปลายของแกน
4. คลิกที่ตำแหน่งมุมขอบของ Revolution ทั้งภายในภายนอกที่อยู่ฝั่งเดียวกันเพียงด้านเดียว
5. กดคลิกขวาเพื่อสร้างสร้าง Revolution

## วิธีการสร้าง Cylinder



รูปที่ ก-12 แสดงการสร้าง Cylinder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ที่ main toolbox คลิกขวาที่ Link

2. เลือก Cylinder

2.1 สร้างโดยใช้จุดใน Coordinate โดยกดคลิกเพียงหนึ่งครั้ง แล้วใช้เมาส์ลากไปที่จุดปลายแล้วกดปล่อย

2.2 สร้างโดยกำหนดขนาดที่แน่นอน โดยเติมเครื่องหมายลงใน กล่องหน้าข้อความ Length ,Width ,Depth แล้วทำการกำหนดขนาดก่อนคลิก

**3. กำหนดต้นของCylinder ที่ตั้งไว้คือ New Part ซึ่งสามารถเปลี่ยน**

ให้ เป็น Add to Part กับ On Ground

### การใช้ Marker

สามารถที่จะสร้าง marker เพื่อระบุตำแหน่งลงในแต่ละ part ในแบบหรือในground ADAMS/View สร้าง markers ให้อย่างอัตโนมัติที่จุดศูนย์กลางมวลของ solid geometry และ anchor point (แกนกลาง)บน geometry ซึ่งสามารถนิยามตำแหน่งของวัตถุในพื้นที่ว่าง

วิธีการเพิ่ม/ปรับแต่ง marker

1. ในกล่องเครื่องมือ (main toolbox) คลิกขวาที่ Link เพื่อที่จะแสดงแถบเครื่องมือ

2. เลือก Coordinate System Marker

3. ในการตั้งค่า ต้องเลือกว่า

- ต้องการที่จะเพิ่ม marker ให้กับ ground หรือ ชิ้นส่วนอื่นหรือไม่

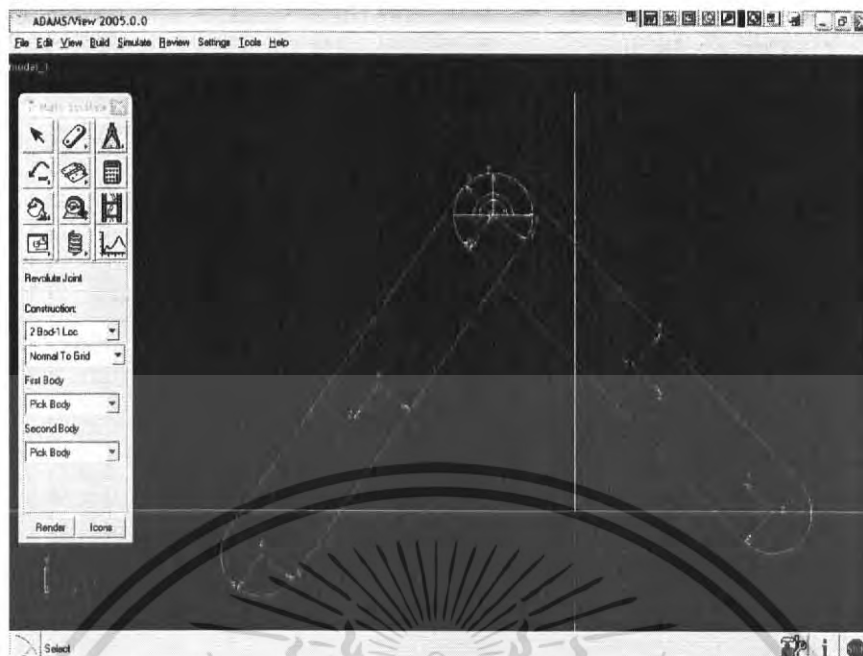
- กำหนดตำแหน่งของจาก Orient option inenu

4. ถ้าต้องการเพิ่ม marker ให้กับ part ให้เลือกที่ part นั้น

5. วาง cursor บนที่ต้องการเพิ่ม marker แล้วกดเมาส์คลิกขวา

6. ถ้าเลือกที่จะหมุน marker ไปสู่ตำแหน่งอื่นมากกว่า global หรือ view coordinate system เลือกลูกศรตามแกนซึ่งต้องการจะให้ เป็นไปตามแกนที่ต้องการ

## การสร้าง joint



รูปที่ ก-13 แสดงการสร้าง joint

joint ที่มีใน ADAMS/View นั้น เพื่อใช้อธิบายว่า part ทั้งสองชิ้นนั้นมีการกระทำต่อกันอย่างไร ชนิดของ joint

1. Revolute joint ใช้เพื่อแสดงการหมุนของ part ชิ้นหนึ่งรอบแกนที่กำหนดไว้ การเคลื่อนที่นั้น คล้ายกับบานพับทั่วไป ใน ADAMS/View นั้นมีวิธีการสร้างดังนี้

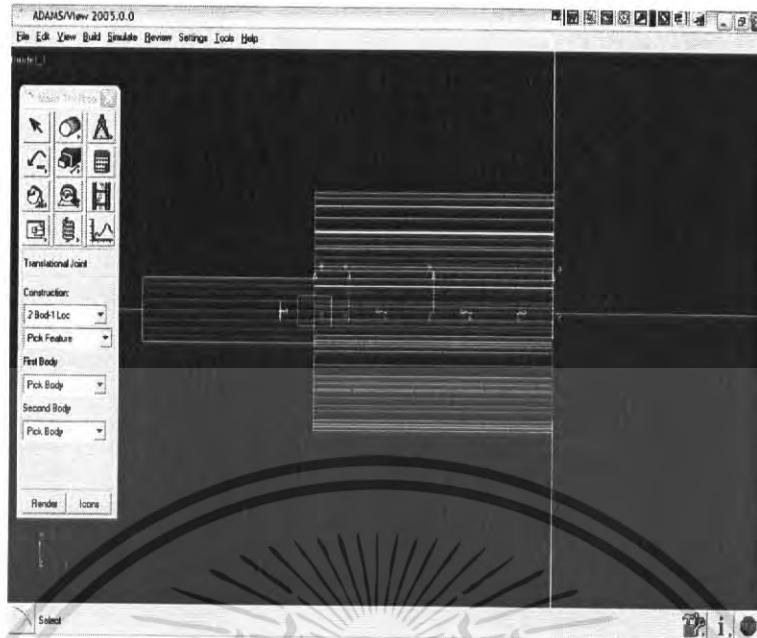
1.1 เลือก Revolute joint

1.2 การตั้งค่าเริ่มต้นของของ revolute joint คือ one location และ normal to grid (ตั้งฉากกับจุด) ซึ่งเป็นการอธิบายการหมุนของ joint ถ้าเลือก one location หมายความว่า part จะถูกผูกติดไว้กับ ground ถ้าเลือก 2 Bod-1Loc จะเป็นการให้ part ทั้งสองชิ้นหมุนรอบซึ่งกันและกัน

1.3 ถ้าเป็น joint สำหรับ part เพียงชิ้นเดียวเพื่อแสดงความสัมพันธ์ยึดติดกับ ground ให้เลือก 2 Bod-1Loc ทำการคลิกครั้งแรกที่ชิ้นส่วนแรก แล้วคลิกอีกครั้งบน ground จากนั้นเลือกจุดที่ต้องการจะสร้าง joint แล้วคลิกอีกครั้ง จะปรากฏว่ามี joint เกิดขึ้นบน part แล้ว

1.4 ถ้าต้องการเชื่อมต่อระหว่างชิ้นส่วน 2 part ให้เลือก 2 Bod-1 Loc หรือ 2 Bod-2 loc

## 1. Translation Joint



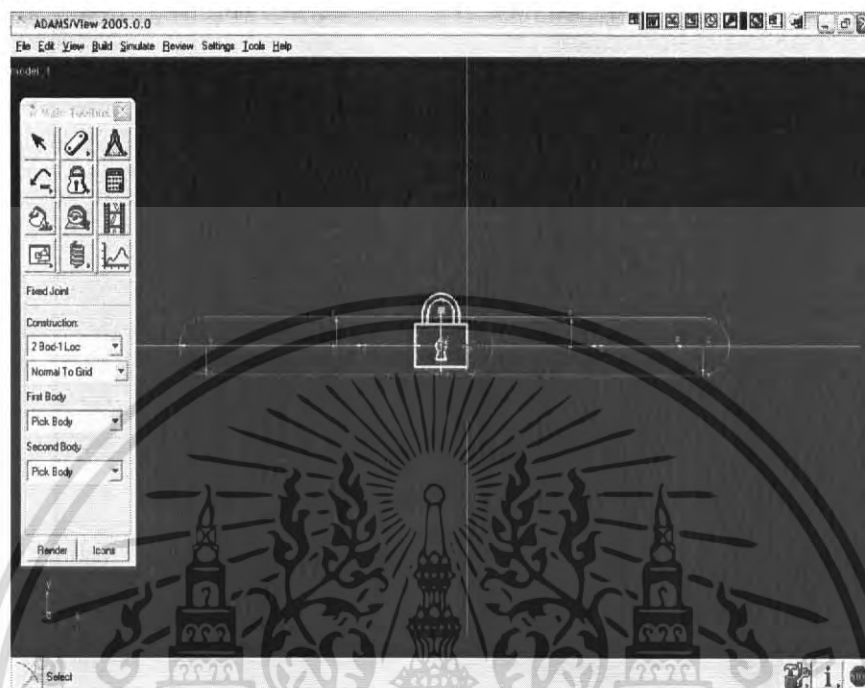
รูปที่ ก-14 แสดงการสร้าง Translation Joint

Translation joint เป็นการแสดงการเคลื่อนที่ไปทางตรงตามแกนที่กำหนดโดยเคลื่อนที่สัมผัสเมื่อเทียบกับชิ้นส่วนอื่น โดย part นั้นจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเท่านั้น ไม่มีการหมุนเกิดขึ้น ทิศทางการเคลื่อนที่ของ translation joint นั้นจะขนานไปในทิศทางเดียวกับแกนที่กำหนดไว้ในตอนสร้าง มีวิธีการสร้างดังนี้

- 1.1 เลือก Translation Joint
- 1.2 การตั้งค่าเริ่มต้นของ translation joint คือ One location และ Pick Feature
- 1.3 คลิกที่ part ที่ต้องการที่จะแสดงการเคลื่อนที่
- 1.4 จากนั้นจะมีลูกศรสีขาวปรากฏขึ้นเพื่อแสดงทิศทางเคลื่อนที่ ให้ทำการเลือกทิศทางตามที่ต้องการ จากนั้น translation joint จะปรากฏขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. Fixed Joint



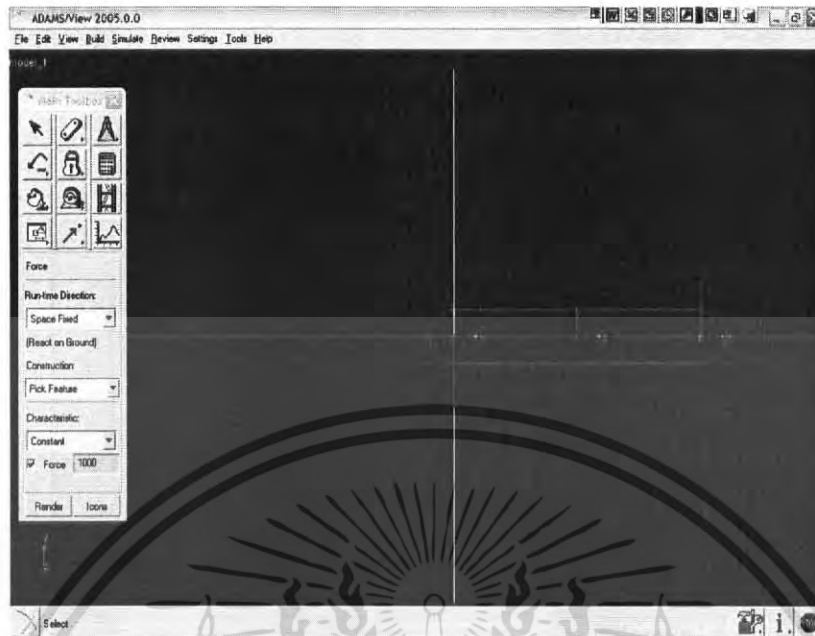
รูปที่ ก-15 แสดงการสร้าง Fixed Joint

fixed joint จะจับยึดชิ้นส่วน 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน ดังนั้นชิ้นส่วนทั้งสองจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อเทียบกับเอง ผลที่เกิดขึ้นคล้ายกับการรวม part ทั้งสองชิ้นเข้าด้วยกันเป็นชิ้นเดียว ในการใช้นั้นถ้าไม่ต้องการที่จะให้ชิ้นส่วนจับยึดกันนั้นก็เพียงลบ fixed joint ออก ซึ่งจะไม่เหมือนกับการรวชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน โดยใช้คำสั่ง add to part ที่ไม่สามารถแยก part ออกจากกันได้อีก มีวิธีการสร้างดังนี้

- 2.1 เลือก fixed joint
- 2.2 ค่าเริ่มต้นคือ One location และ Pick Feature ซึ่งจะเป็นการผูกติดชิ้นส่วนนั้นกับ ground ซึ่งสามารถเลือกเปลี่ยนเป็น Two bod-1Loc และ Two bod-2Loc ได้
- 2.3 คลิกเลือกบนชิ้นส่วนที่ต้องการจะ fixed จากนั้น joint จะปรากฏขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใส่แรงและการเคลื่อนที่



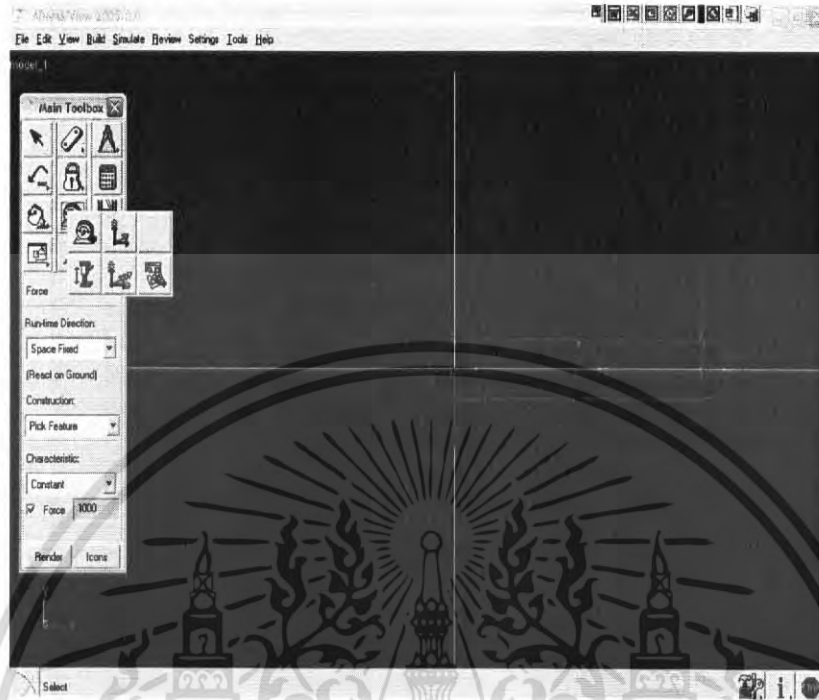
รูปที่ ก-16 แสดงการใส่แรงและการเคลื่อนที่

แรงที่กระทำคือแรงที่กำหนดให้เป็นภาระและกระทำกับชิ้นงาน แต่จะต้องรู้ลักษณะของแรงที่กระทำแน่นอนจึงจะให้ผลที่ถูกต้อง โดยเลือกแรงที่มีขนาดคงที่ ADAMS/View สามารถกำหนดให้ลักษณะเฉพาะของแรงที่กระทำกับ part เมื่อวัตถุสัมผัสกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ด้วย การใส่แรงทำได้ดังนี้

- 1.คลิกขวาที่ spring tools ใน main toolbox เพื่อกำหนดลักษณะของแรง
- 2.เลือกแรงที่ใช้กระทำ
- 3.เลือก Run-Time Direction
  - Space Fixed
  - Body Moving
  - Two Bodies แรงที่ถูกกระทำระหว่างวัตถุสองชิ้นที่แตกต่างกัน วัตถุชิ้นแรกจะเป็นวัตถุที่ออกแรงกระทำ วัตถุชิ้นที่สองเป็นวัตถุที่ถูกกระทำและรับแรงปฏิกิริยา
- 4.ถ้าแรงกระทำที่ชิ้นส่วนชิ้นเดียว เลือก construction ที่เป็นลักษณะเฉพาะดังนี้
  - Pick Feature ช่วยจัดทิศทางของแรง
  - Normal to grid ADAMS/View จะใส่แรงโดยตั้งฉากกับ grid ให้โดยอัตโนมัติ
- 5.เลือก Characteristic ตามนี้
  - Constant ADAMS/View สามารถใส่แรงเป็นค่าคงที่ตามที่ต้องการได้
  - Custom สามารถใส่แรงในรูปของสมการให้กับวัตถุได้
- 6.จากขั้นตอนที่ 3 และ 4 เลือกจำนวนของวัตถุที่ต้องการและทิศทาง แรงจะแสดงได้โดย marker

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใส่ทิศทางการเคลื่อนที่ของแรง



รูปที่ ก-17 แสดงการใส่ทิศทางการเคลื่อนที่ของแรง

การใส่คำสั่งให้กับ การเคลื่อนที่แบบเลื่อน(translation)หรือ การเคลื่อนที่แบบหมุน (rotation) การหมุนรอบแกน การเคลื่อนที่ของลูกสูบ แต่ละ joint ลด DOF ลง ไปชิ้นละหนึ่งจากต้นแบบ การเคลื่อนที่ของ joint นั้นสามารถกำหนดได้ แต่มีข้อจำกัดขึ้นอยู่กับชนิดของ joint ที่ใช้ และการเคลื่อนที่นั้นจะสามารถเคลื่อนที่ได้ในทิศทางเดียวเท่านั้น

### 1. สำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุน

การเคลื่อนที่แบบหมุน สามารถประยุกต์ใช้ได้กับ cylindrical และ revolute/rotational joint การเคลื่อนที่แบบหมุนจะใช้เมื่อวัตถุมีการหมุน ADAMS/View จะทำการหมุนชิ้นส่วนแรกรอบแกน z ของชิ้นส่วนที่สอง(ซึ่งอาจเป็น ground ก็ได้)

#### 1. เลือก rotational joint motion ด้วยการคลิกซ้ายที่ tool box

2. เลือกความเร็วที่ต้องการที่ Speed (ADAMS/View จะตั้งค่าความเร็วเอาไว้ที่ 30 degree/sec) เพื่อที่จะบอกลักษณะเฉพาะเจาะจงของความเร็วในหน่วย radians/sec ให้เติม r ลงไปตามหลังค่าของความเร็วที่ระบุ และในหน่วย degrees/sec ให้เติม d ตามหลังค่าของความเร็วที่ระบุ

#### 3. เลือกไปที่ joint ที่ต้องการจะใส่แรง กดคลิกซ้ายจะเป็นการใส่แรงให้กับ joint นั้น

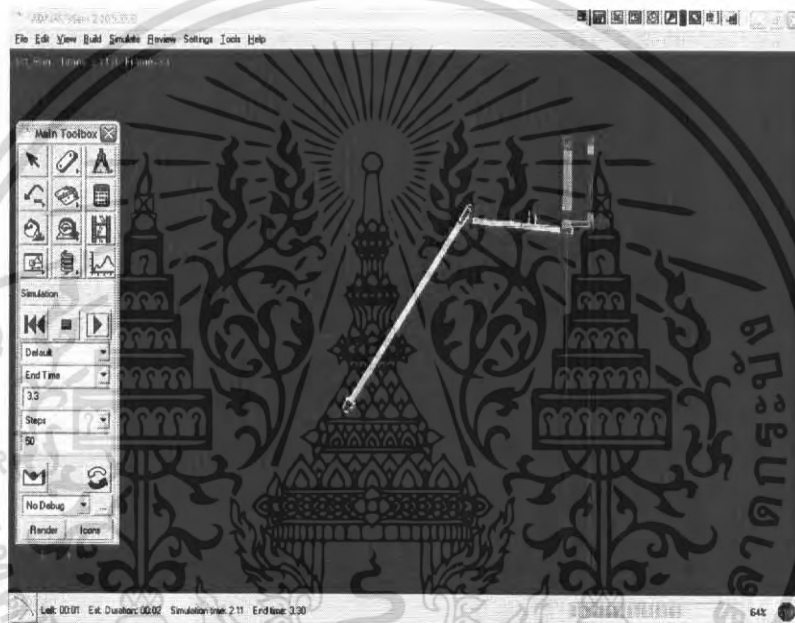
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การใส่แรงให้กับการเคลื่อนที่แบบเลื่อน

การเคลื่อนที่แบบเลื่อนนั้น สามารถจะประยุกต์ใช้ได้กับ cylindrical/translation joint การเคลื่อนที่แบบเลื่อนนั้นจะต้องไม่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนมารวมอยู่ด้วย

- 1.คลิกขวาที่ rotational joint motion
- 2.เลือก translation joint motion ด้วยการคลิกซ้าย
- 3.ใส่ค่าความเร็วที่ต้องการลงไป Speed
- 4.เลือกไปที่ joint ที่ต้องการจะใส่แรง กดคลิกซ้ายจะเป็นการใส่แรงให้กับ joint นั้น

### การ SIMULATION MODEL



รูปที่ ก-18 แสดงการ SIMULATION MODEL

สามารถใช้ Model verify เพื่อที่จะเช็คความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการ simulation เช่น การไม่อยู่ในแนวเดียวกันของ joint และการที่ชิ้นส่วนไม่ติดกัน สามารถรู้ได้โดยการกด Information button

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

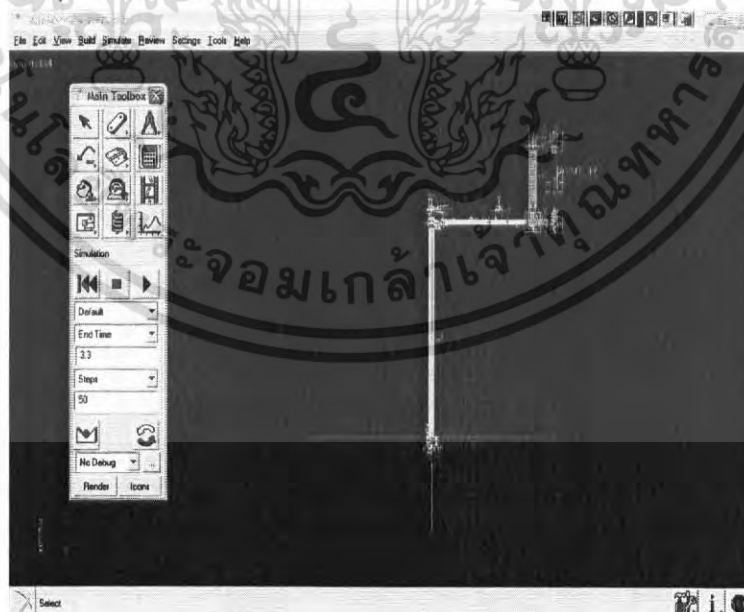


รูปที่ ก-19 แสดง Information window

Information window จะแสดงข้อมูลที่สำคัญๆ เช่น จำนวนของ part ที่เคลื่อนที่ได้ และ joint อื่นๆ ทั้งแสดงจำนวนของ degree of freedom ในแบบ

#### วิธีการ simulate model

สามารถ simulation model ได้โดยเลือกที่ simulation tool ซึ่งจะปรากฏ simulation panel ซึ่งสามารถใช้คำสั่งในนี้ควบคุมการ simulation ได้ทั้งหมด



รูปที่ ก-20 แสดงวิธีการ simulate model

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่มแรกของ simulation panel คือ Rewind Stop Play จากนั้นก็ทำการเลือกรูปแบบของการ simulation ซึ่งมี Default Dynamic Kinematic Static นอกจากนี้ปัญหาจะบอกให้เป็นอย่างอื่นให้เลือกใช้ Default

### การตั้งค่า end time

การเลือกถัดมาคือ endtime หรือ duration สำหรับการ simulation เลือกใช้ endtime เมื่อเริ่มต้น จากเวลาศูนย์ ขณะที่เลือกใช้ duration กับช่วงเวลาในขณะที่เริ่มการ simulation ไปแล้ว โดยที่ไม่ จำเป็นต้องเริ่มจากเวลาศูนย์(=0) การเลือกนั้นทำได้โดย

- 1.เลือก Endtime หรือ Duration จากที่กำหนดให้
- 2.ใส่เวลาที่ต้องการ simulation ลงไปในช่องเวลา

### การตั้งค่า time step

Time step ถูกใช้ใน ADAMS/View เพื่อแสดงว่าจะให้แสดงการ simulation อย่างไร Step Size ซึ่งเป็นจำนวนที่ผ่านไประหว่างแต่ละภาพ Steps คือจำนวนภาพที่เกิดขึ้นระหว่างการ simulation ทั้งหมด ทั้งสองอย่างนั้นมีความคล้ายกัน ซึ่งแล้วแต่ปัญหา การตั้งค่าทำได้ดังนี้

- 1.เลือก Steps หรือ Step Size ใน simulation panel
- 2.ใส่ค่าของ time step (หน่วยที่ใช้ไม่จำเป็นต้องเป็นวินาที)

## ภาคผนวก ข

### การเขียนการจำลองการเดินโดยโปรแกรม matlab

```
%% gait generation by matlab for one cycle %%
```

```
%% xgo and ygo must not over 0.6 %%%
```

```
%% initial condition input and target %%
```

```
xgo=0;
ygo=0.4;
ti=0;
c1=cos(ti*pi/180);
s1=sin(ti*pi/180);
```

```
%% trans from matric%%
```

```
a=[c1,-s1,xgo;s1,c1,ygo;0,0,1];
b=[5;5;1]; %% origin body %%
c=a*b;
xnew=c(1,1);
ynew=c(2,1);
```

```
%% creat line for body %%%
```

```
xbase1=xnew+0.66;
ybase1=ynew+0.21;
xbase2=xnew+0.82;
ybase2=ynew-0.26;
xbase3=xnew+0.41;
ybase3=ynew-0.56;
xbase4=xnew-0;
ybase4=ynew-0.85;
xbase5=xnew-0.41;
ybase5=ynew-0.56;
xbase6=xnew-0.82;
ybase6=ynew-0.26;
xbase7=xnew-0.66;
ybase7=ynew+0.21;
xbase8=xnew-0.5;
ybase8=ynew+0.68;
xbase9=xnew-0;
ybase9=ynew+0.68;
xbase10=xnew+0.5;
ybase10=ynew+0.68;
```

```
%% creat line for leg point%%
```

```
xleg1=xbase5-(0.75*cos(54*pi/180));
yleg1=ybase5-(0.75*sin(54*pi/180));
xleg2=xbase7-(0.75*cos(18*pi/180));
yleg2=ybase7+(0.75*sin(18*pi/180));
xleg3=xbase9;
yleg3=ybase9+0.75;
xleg4=xbase1+(0.75*cos(18*pi/180));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

yleg4=ybase1+(0.75*sin(18*pi/180));
xleg5=xbase3+(0.75*cos(54*pi/180));
yleg5=ybase3-(0.75*sin(54*pi/180));

%% leg point or final point %%

%%%% calculation angel for each leg %%%

%% leg 4%%

x42=xbase1-5.66;
y42=ybase1-5.21;
x41=(y42+(x42*cot(18*pi/180)))/(sin(18*pi/180)+(cos(18*pi/180)*cot(18*pi/180)));
y41=(x41*cos(18*pi/180)-x42)/(sin(18*pi/180));

L1=1.2; %%% length of link1 for leg %%%
L2=0.75; %%% length of link2 for leg %%%
z=1.2; %%% hight of body from ground %%%
x1=0.75+x41 ;
y1=0+y41 ;
b=atan(z/x1)*180/pi;
A=x1^2 + z^2-L1^2-L2^2;
B=(-2*L1*L2);
fi=acos(A/B)*180/pi;
r=asin(L2*(sin(fi*pi/180)/sqrt(x1^2 + z^2)))*180/pi;
t1leg4=b+r;
a=180-r-fi;
t2leg4=b-a;
t1leg4;
t2leg4;
t3leg4=atan(y1/x1)*180/pi;
t3leg4;

%% leg2 %%

x22=xbase7-4.34;
y22=ybase7-5.21;
x21=(y22+(x22*cot(18*pi/180)))/(sin(18*pi/180)+(cos(18*pi/180)*cot(18*pi/180)));
y21=(x21*cos(18*pi/180)-x22)/(sin(18*pi/180));

L1=1.2;
L2=0.75;
z=1.2;
x1=0.75+x21 ;
y1=0+y21 ;
b=atan(z/x1)*180/pi;
A=x1^2 + z^2-L1^2-L2^2;
B=(-2*L1*L2);
fi=acos(A/B)*180/pi;
r=asin(L2*(sin(fi*pi/180)/sqrt(x1^2 + z^2)))*180/pi;
t1leg2=b+r;
a=180-r-fi;
t2leg2=b-a;
t1leg2;
t2leg2;
t3leg2=atan(y1/x1)*180/pi;
t3leg2;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%% leg1 %%
```

```
x12=xbase5-4.59;
y12=ybase5-4.44;
x11=(y12+(x12*cot(54*pi/180)))/(sin(54*pi/180)+(cos(54*pi/180)*cot(54*pi/180)));
y11=(x11*cos(54*pi/180)-x12)/(sin(54*pi/180));
```

```
L1=1.2;
L2=0.75;
z=1.2;
x1=0.75+x11 ;
y1=0+y11 ;
b=atan(z/x1)*180/pi;
A=x1^2 + z^2-L1^2-L2^2;
B=(-2*L1*L2);
fi=acos(A/B)*180/pi;
r=asin(L2*(sin(fi*pi/180)/sqrt(x1^2 + z^2)))*180/pi;
t1leg1=b+r;
a=180-r-fi;
t2leg1=b-a;
t1leg1;
t2leg1;
t3leg1=atan(y1/x1)*180/pi;
t3leg1
```

```
%% leg5 %%
```

```
x52=xbase3-5.41;
y52=ybase3-4.44;
x51=(y52+(x52*cot(54*pi/180)))/(sin(54*pi/180)+(cos(54*pi/180)*cot(54*pi/180)));
y51=(x51*cos(54*pi/180)-x52)/(sin(54*pi/180));
```

```
L1=1.2;
L2=0.75;
z=1.2;
x1=0.75+x51 ;
y1=0+y51 ;
b=atan(z/x1)*180/pi;
A=x1^2 + z^2-L1^2-L2^2;
B=(-2*L1*L2);
fi=acos(A/B)*180/pi;
r=asin(L2*(sin(fi*pi/180)/sqrt(x1^2 + z^2)))*180/pi;
t1leg5=b+r;
a=180-r-fi;
t2leg5=b-a;
t1leg5;
t2leg5;
t3leg5=atan(y1/x1)*180/pi;
t3leg5
```

```
%% leg3 %%
```

```
x32=xbase9-5;
y32=ybase9-5.68;
x31=(y32+(x32*cot(90*pi/180)))/(sin(90*pi/180)+(cos(90*pi/180)*cot(90*pi/180)));
y31=(x31*cos(90*pi/180)-x32)/(sin(90*pi/180));
L1=1.2;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

L2=0.75;
z=1.2;
x1=0.75-x31 ;
y1=0-y31 ;

b=atan(z/x1)*180/pi;
A=x1^2 + z^2-L1^2-L2^2;
B=(-2*L1*L2);
fi=acos(A/B)*180/pi;
r=asin(L2*(sin(fi*pi/180)/sqrt(x1^2 + z^2)))*180/pi;
t1leg3=b+r;
a=180-r-fi;
t2leg3=b-a;
t1leg3;
t2leg3;
t3leg3=atan(y1/x1)*180/pi;
t3leg3;

```

```
%% check angel condition%%
```

```
%% if the robot pass angel condition , robot is move %%%%
```

```

ok=0;
if 33.25<=t1leg1<=129.25 & -11<=t2leg1<=11 & -51.25<=t3leg1<=51.25
if 33.25<=t1leg2<=129.25 & -11<=t2leg2<=11 & -51.25 <=t3leg2<=51.25
if 33.25<=t1leg3<=129.25 & -11<=t2leg3<=11 & -51.25<=t3leg3<=51.25
if 33.25<=t1leg4<=129.25 & -11<=t2leg4<=11 & -51.25<=t3leg4<=51.25
if 33.25<=t1leg5<=129.25 & -11<=t2leg5<=11 & -51.25<=t3leg5<=51.25
ok=1;
end
end
end
end
end
if ok==1&xgo==0&ygo==0&ti==0
%% line body %%
axis([2 8 2 8]);
grid
x1=[xbase8,xbase10];
y1=[ybase8,ybase10];
l1=line(x1,y1);
x2=[xbase6,xbase8];
y2=[ybase6,ybase8];
l2=line(x2,y2);
x3=[xbase6,xbase4];
y3=[ybase6,ybase4];
l3=line(x3,y3);
x4=[xbase4,xbase2];
y4=[ybase4,ybase2];
l4=line(x4,y4);
x5=[xbase2,xbase10];
y5=[ybase2,ybase10];
l5=line(x5,y5);
%% line leg %%
xl1=[xbase5,xleg1];
yl1=[ybase5,yleg1];
leg1=line(xl1,yl1,'LineWidth',4);
xl4=[xbase1,xleg4];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y14=[ybase1,yleg4];
leg4=line(x14,y14,'LineWidth',4);
x12=[xbase7,xleg2];
y12=[ybase7,yleg2];
leg2=line(x12,y12,'LineWidth',4);
x13=[xbase9,xleg3];
y13=[ybase9,yleg3];
leg3=line(x13,y13,'LineWidth',4);
x15=[xbase3,xleg5];
y15=[ybase3,yleg5];
leg5=line(x15,y15,'LineWidth',4);
else

```

```

%% line body %%
axis([2 8 2 8]);
%% step 0 %%

```

```

grid
x1=[4.5,5.50];
y1=[5.68,5.68];
l1=line(x1,y1);
x2=[ 4.1800,4.5];
y2=[4.7400,5.68];
l2=line(x2,y2);
x3=[ 4.1800,5];
y3=[4.7400,4.1500];
l3=line(x3,y3);
x4=[5,5.8200];
y4=[4.1500,4.7400];
l4=line(x4,y4);
x5=[5.8200,5.5];
y5=[4.7400,5.68];
l5=line(x5,y5);
%% line leg %%
x11=[4.5900, 4.1492];

```

```

y11=[4.4400, 3.8332];

```

```

leg1=line(x11,y11,'LineWidth',4);
x14=[ 5.6600,6.3733];
xf4=6.3733;
y14=[ 5.2100,5.4418];
yf4=5.4418;
leg4=line(x14,y14,'LineWidth',4);
x12=[4.3400,3.6267];

```

```

y12=[5.2100,5.4418];

```

```

leg2=line(x12,y12,'LineWidth',4);
x13=[5,5];

```

```

y13=[5.6800, 6.4300];

```

```

leg3=line(x13,y13,'LineWidth',4);
x15=[ 5.4100,5.8508];

```

```

y15=[4.4400,3.8332];

```

```

leg5=line(x15,y15,'LineWidth',4) ;
pause(0.7)

```

```

delete(l1,l2,l3,l4,l5,leg1,leg2,leg3,leg4,leg5)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pause(0.2)

%% creat graphic for robot move %%

%% creat line for body %%

```

```

axis([2 8 2 8]);
x1=[xbase8,xbase10];
y1=[ybase8,ybase10];
l1=line(x1,y1);
x2=[xbase6,xbase8];
y2=[ybase6,ybase8];
l2=line(x2,y2);
x3=[xbase6,xbase4];
y3=[ybase6,ybase4];
l3=line(x3,y3);
x4=[xbase4,xbase2];
y4=[ybase4,ybase2];
l4=line(x4,y4);
x5=[xbase2,xbase10];
y5=[ybase2,ybase10];
l5=line(x5,y5);

```

```
%% creat for line leg %%
```

```
%% leg 1 %%
```

```
link1leg1=(L2*cos(t2leg1*pi/180))
xpleg1=link1leg1*cos((54+t3leg1)*pi/180)
```

```
xp1=xbase5-xpleg1
ypleg1=link1leg1*sin((54+t3leg1)*pi/180)
yp1=ybase5-ypleg1
```

```
xl1p=[xbase5,xp1];
yl1p=[ybase5,yp1];
```

```
xl1=[xp1,4.1492];
yl1=[yp1,3.8332];
```

```
leg11=line(xl1p,yl1p,'LineWidth',4);
leg12=line(xl1,yl1);
```

```
%% leg 4 %%%
```

```
link1leg4=(L2*cos(t2leg4*pi/180));
xs4=xbase1-6.3733
ys4=ybase1-5.4418
t4=-1*atan(ys4/xs4)*180/pi
```

```
xpleg4=link1leg4*cos((t4)*pi/180);
xp4=xbase1+xpleg4;
```

```
ypleg4=link1leg4*sin((t4)*pi/180);
yp4=ybase1-ypleg4;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

xl4p=[xbase1,xp4];
yl4p=[ybase1,yp4];
xl4=[xbase1,6.3733];
yl4=[ybase1,5.4418];

```

```

leg41=line(xl4p,yl4p,'LineWidth',4);
leg42=line(xl4,yl4);

```

```

%% leg 2 %%

```

```

link1leg2=(L2*cos(t2leg2*pi/180));

```

```

xs2=xbase7-3.6267
ys2=ybase7-5.4418
t2=-1*atan(ys2/xs2)*180/pi

```

```

xpleg2=link1leg2*cos((t2)*pi/180);
xp2=xbase7-xpleg2;
ypleg2=link1leg2*sin((t2)*pi/180);
yp2=ybase7+ypleg2;
xl2p=[xbase7,xp2];
yl2p=[ybase7,yp2];

```

```

xl2=[xbase7,3.6267];
yl2=[ybase7,5.4418];

```

```

leg21=line(xl2p,yl2p,'LineWidth',4);
leg22=line(xl2,yl2);

```

```

%% leg 3 %%

```

```

link1leg3=(L2*cos(t2leg3*pi/180));
xs3=xbase9-5
ys3=ybase9-6.43
t3=-1*atan(ys3/xs3)*180/pi

```

```

xpleg3=link1leg3*cos((t3)*pi/180);
xp3=xbase9-xpleg3;
ypleg3=link1leg3*sin((t3)*pi/180);
if ygo<0

```

```

yp3=ybase9+ypleg3;
xl3p=[xbase9,xp3];
yl3p=[ybase9,yp3];

```

```

xl3=[xbase9,5];
yl3=[ybase9,6.4300];
leg31=line(xl3p,yl3p,'LineWidth',4);
leg32=line(xl3,yl3);

```

```

else

```

```

xl3=[xbase9,5];
yl3=[ybase9,6.4300];
leg311=line(xl3,yl3,'LineWidth',4);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

end

%%% leg 5 %%%

```
link1leg5=(L2*cos(t2leg5*pi/180))
xl5=[xbase3, 5.8508];
yl5=[ybase3, 3.8332];
xs5=xbase3-5.8508
ys5=ybase3-3.8332
t5=-1*atan(ys5/xs5)*180/pi
xpleg5=link1leg5*cos((t5)*pi/180)
```

```
xp5=xbase3+xpleg5
x5=[xbase3,xp5]
ypleg5= link1leg5*sin((t5)*pi/180);
yp5=ybase3-ypleg5
y5=[ybase3,yp5];
leg51=line(x5,y5,'LineWidth',4);
leg52=line(xl5,yl5);
```

```
pause(0.5)
delete(leg11,leg12)
pause(0.5)
```

%% line leg balck to step 0 %%

```
xl1=[xbase5,xleg1];
yl1=[ybase5,yleg1];
leg1=line(xl1,yl1,'color','r','LineWidth',4)
```

```
pause(0.5)
leg1=line(xl1,yl1,'LineWidth',4)
delete(leg21,leg22)
pause(0.5)
```

```
xl2=[xbase7,xleg2];
yl2=[ybase7,yleg2];
leg2=line(xl2,yl2,'color','r','LineWidth',4)
```

```
pause(0.5)
leg2=line(xl2,yl2,'LineWidth',4)
if ygo<0
    delete(leg31,leg32);
else
    delete(leg311);
end
```

```
pause(0.5)
xl3=[xbase9,xleg3];
yl3=[ybase9,yleg3];
leg3=line(xl3,yl3,'color','r','LineWidth',4)
pause(0.5)
leg3=line(xl3,yl3,'LineWidth',4)
delete(leg41,leg42)
pause(0.5)
xl4=[xbase1,xleg4];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

yl4=[ybase1,yleg4];
leg4=line(xl4,yl4,'color','r','LineWidth',4)
pause(0.5)
leg4=line(xl4,yl4,'LineWidth',4)
delete(leg51,leg52)
pause(0.5)

xl5=[xbase3,xleg5];
yl5=[ybase3,yleg5];
leg5=line(xl5,yl5,'color','r','LineWidth',4)
pause(0.5)
leg5=line(xl5,yl5,'LineWidth',4)

end

%% check stability polygon and cg %%

xf5=5.8508;yf5=3.8332;
xf1=4.1492;yf1=3.8332;
xf4=6.3733;yf4=5.4418;
xf3=5;yf3=6.43;
xf2=3.6267;yf2=5.4418;
%% check cg for transform body%%
%% cross1 product %%
x1=xf5-xf1;
y1=yf5-yf1;
x2=xnew-xf5;
y2=ynew-yf5;
cross1=(x1*y2)-(x2*y1);
%% cross2 product %%
x1=xf4-xf5;
y1=yf4-yf5;
x2=xnew-xf4;
y2=ynew-yf4;
cross2=(x1*y2)-(x2*y1);
%% cross3 product %%
x1=xf3-xf4;
y1=yf3-yf4;
x2=xnew-xf3;
y2=ynew-yf3;
cross3=(x1*y2)-(x2*y1);
%% cross4 product %%
x1=xf2-xf3;
y1=yf2-yf3;
x2=xnew-xf2;
y2=ynew-yf2;
cross4=(x1*y2)-(x2*y1);
%% cross5 product %%
x1=xf1-xf2;
y1=yf1-yf2;
x2=xnew-xf1;
y2=ynew-yf1;
cross5=(x1*y2)-(x2*y1);

%% check cg for up leg1 %%

```

```
%% cross2 product %%
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

x1=xf4-xf5;
y1=yf4-yf5;
x2=xnew-xf4;
y2=ynew-yf4;
cross21=(x1*y2)-(x2*y1);
%% cross3 product %%
x1=xf3-xf4;
y1=yf3-yf4;
x2=xnew-xf3;
y2=ynew-yf3;
cross31=(x1*y2)-(x2*y1);
%% cross4 product %%
x1=xf2-xf3;
y1=yf2-yf3;
x2=xnew-xf2;
y2=ynew-yf2;
cross41=(x1*y2)-(x2*y1);
%% cross5 product %%
x1=xf5-xf2;
y1=yf5-yf2;
x2=xnew-xf5;
y2=ynew-yf5;
cross51=(x1*y2)-(x2*y1);

%% check cg for up leg5%%

%% cross1 product %%
x1=xf4-xf1;
y1=yf4-yf1;
x2=xnew-xf4;
y2=ynew-yf4;
cross15=(x1*y2)-(x2*y1);

%% cross3 product %%
x1=xf3-xf4;
y1=yf3-yf4;
x2=xnew-xf3;
y2=ynew-yf3;
cross35=(x1*y2)-(x2*y1);
%% cross4 product %%
x1=xf2-xf3;
y1=yf2-yf3;
x2=xnew-xf2;
y2=ynew-yf2;
cross45=(x1*y2)-(x2*y1);
%% cross5 product %%
x1=xf1-xf2;
y1=yf1-yf2;
x2=xnew-xf1;
y2=ynew-yf1;
cross55=(x1*y2)-(x2*y1);

%% check cg for up leg4%%

%% cross1 product %%
x1=xf5-xf1;
y1=yf5-yf1;
x2=xnew-xf5;
y2=ynew-yf5;
cross14=(x1*y2)-(x2*y1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%% cross3 product %%
```

```
x1=xf3-xf4;
y1=yf3-yf4;
x2=xnew-xf3;
y2=ynew-yf3;
cross34=(x1*y2)-(x2*y1);
```

```
%% cross4 product %%
```

```
x1=xf3-xf5;
y1=yf3-yf5;
x2=xnew-xf3;
y2=ynew-yf3;
cross44=(x1*y2)-(x2*y1);
```

```
%% cross5 product %%
```

```
x1=xf1-xf2;
y1=yf1-yf2;
x2=xnew-xf1;
y2=ynew-yf1;
cross54=(x1*y2)-(x2*y1);
```

```
%% check cg for up leg3%%
```

```
%% cross1 product %%
```

```
x1=xf5-xf1;
y1=yf5-yf1;
x2=xnew-xf5;
y2=ynew-yf5;
cross13=(x1*y2)-(x2*y1);
```

```
%% cross2 product %%
```

```
x1=xf4-xf5;
y1=yf4-yf5;
x2=xnew-xf4;
y2=ynew-yf4;
cross23=(x1*y2)-(x2*y1);
```

```
%% cross4 product %%
```

```
x1=xf2-xf4;
y1=yf2-yf4;
x2=xnew-xf2;
y2=ynew-yf2;
cross43=(x1*y2)-(x2*y1);
```

```
%% cross5 product %%
```

```
x1=xf1-xf2;
y1=yf1-yf2;
x2=xnew-xf1;
y2=ynew-yf1;
cross53=(x1*y2)-(x2*y1);
```

```
%% %% check cg for up leg2%%
```

```
%% cross1 product %%
```

```
x1=xf5-xf1;
y1=yf5-yf1;
x2=xnew-xf5;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y2=ynew-yf5;
cross12=(x1*y2)-(x2*y1);

```

```

%% cross2 product %%
x1=xf4-xf5;
y1=yf4-yf5;
x2=xnew-xf4;
y2=ynew-yf4;
cross22=(x1*y2)-(x2*y1) ;

```

```

%% cross3 product %%
x1=xf3-xf4;
y1=yf3-yf4;
x2=xnew-xf3;
y2=ynew-yf3;
cross32=(x1*y2)-(x2*y1) ;

```

```

%% cross4 product %%
x1=xf1-xf3;
y1=yf1-yf3;
x2=xnew-xf1;
y2=ynew-yf1;
cross42=(x1*y2)-(x2*y1) ;

```

```

pass=1;

```

```

%% condition for stabel is cross product same mark %%%

```

```

if (cross1>0&cross2>0&cross3>0&cross4>0&cross5>0) |
(cross1<0&cross2<0&cross3<0&cross4<0&cross5<0)
if (cross15>0&cross35>0&cross45>0&cross55>0 )|
(cross15<0&cross35<0&cross45<0&cross55<0)
if (cross14>0&cross34>0&cross44>0&cross54>0) |
(cross14<0&cross34<0&cross44<0&cross54<0)
if (cross13>0&cross23>0&cross43>0&cross53>0) |
(cross13<0&cross23<0&cross43<0&cross53<0)
if (cross12>0&cross22>0&cross32>0&cross42>0) |
(cross12<0&cross22<0&cross32<0&cross42<0 )

```

```

    pass=2;
else

```

```

    pass=0;

```

```

end
end
end
end
end

```

```

pass

```

```

if pass==0
    delete(l1,l2,l3,l4,l5,leg1,leg2,leg3,leg4,leg5);
end

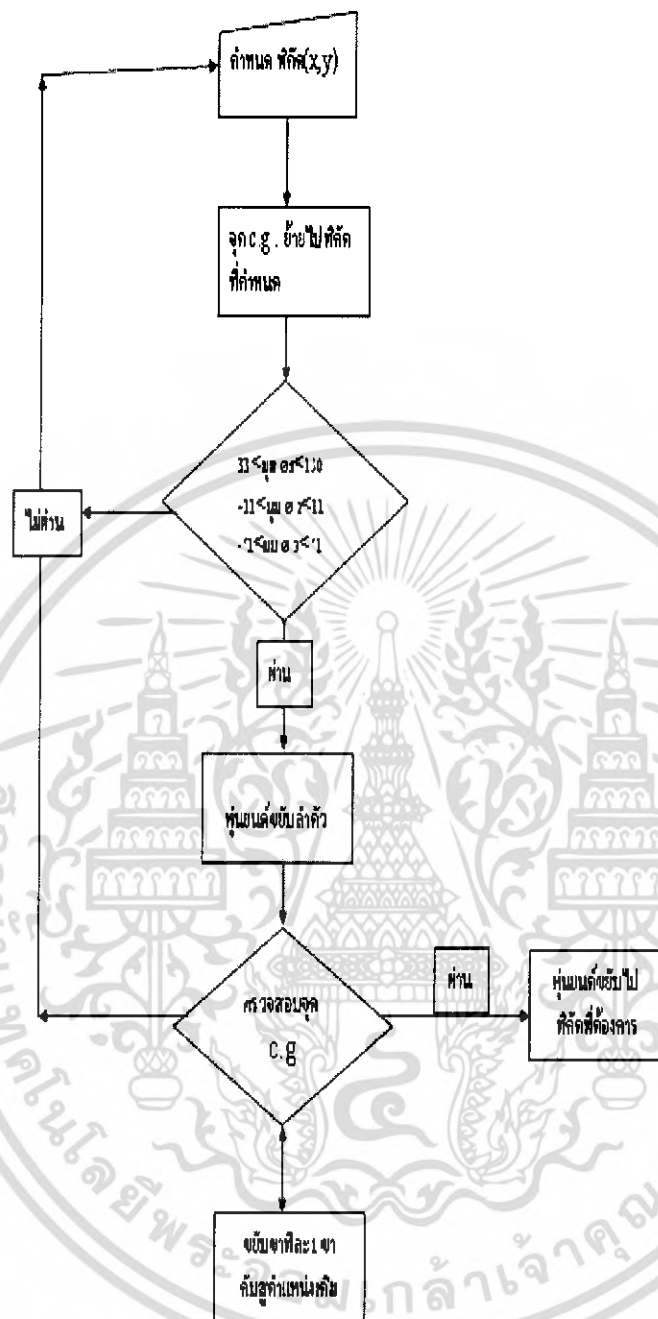
```

```

%% complete one cycl of gait %%%

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

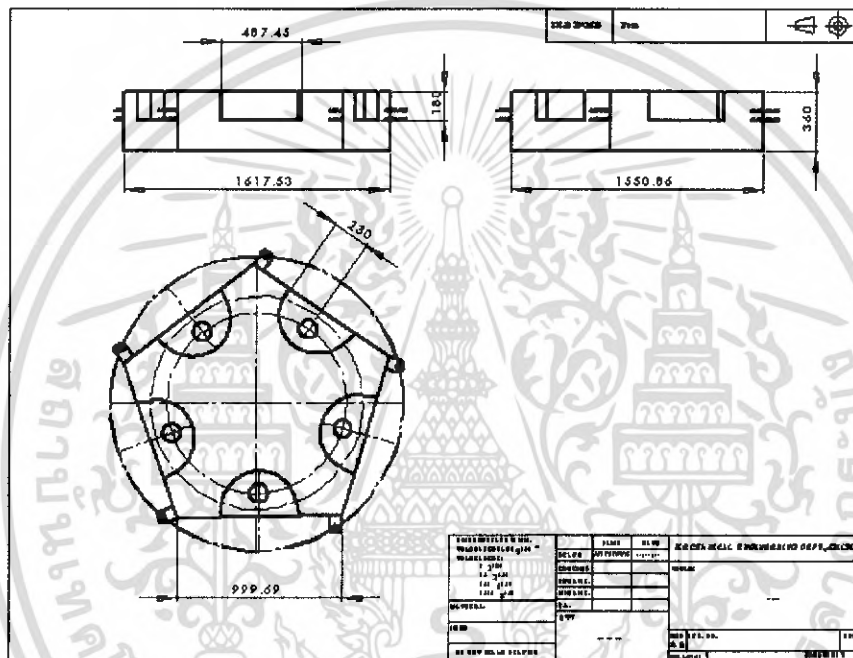


### รูปที่ ข-1 แสดงแผนภูมิ การทำงานของโปรแกรมในการเดิน 1 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

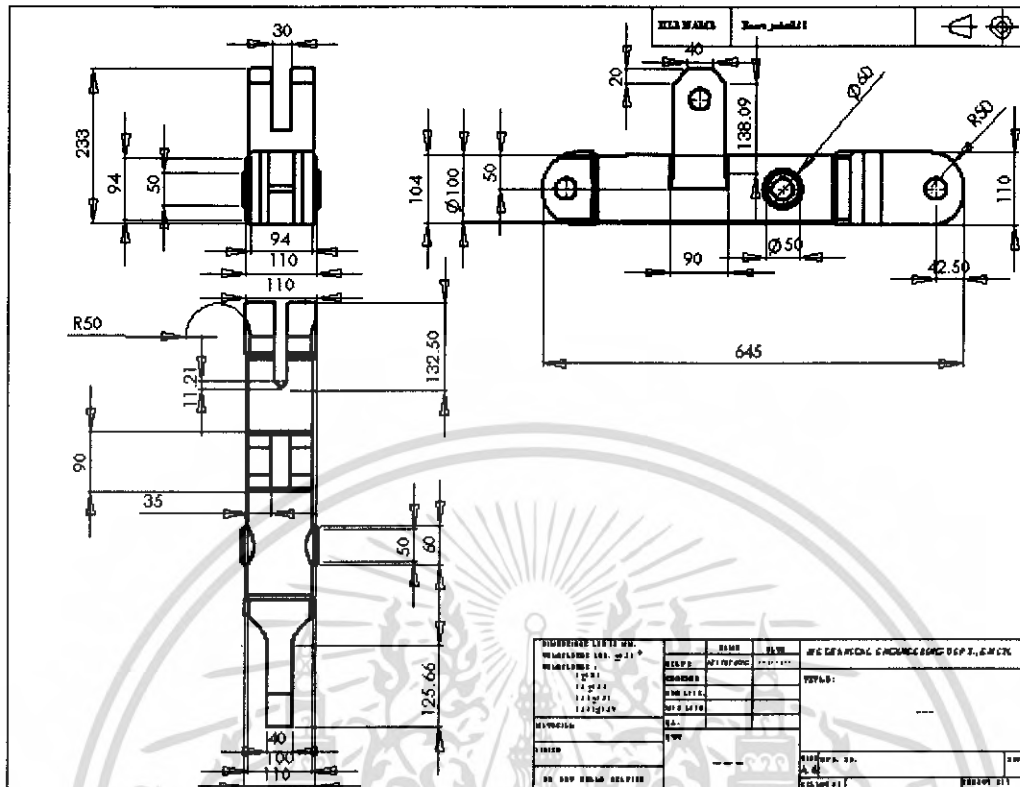
## ภาคผนวก ค

### แบบของหุ่นยนต์



รูปที่ ค-1 แสดงแบบชิ้นส่วนของตัว

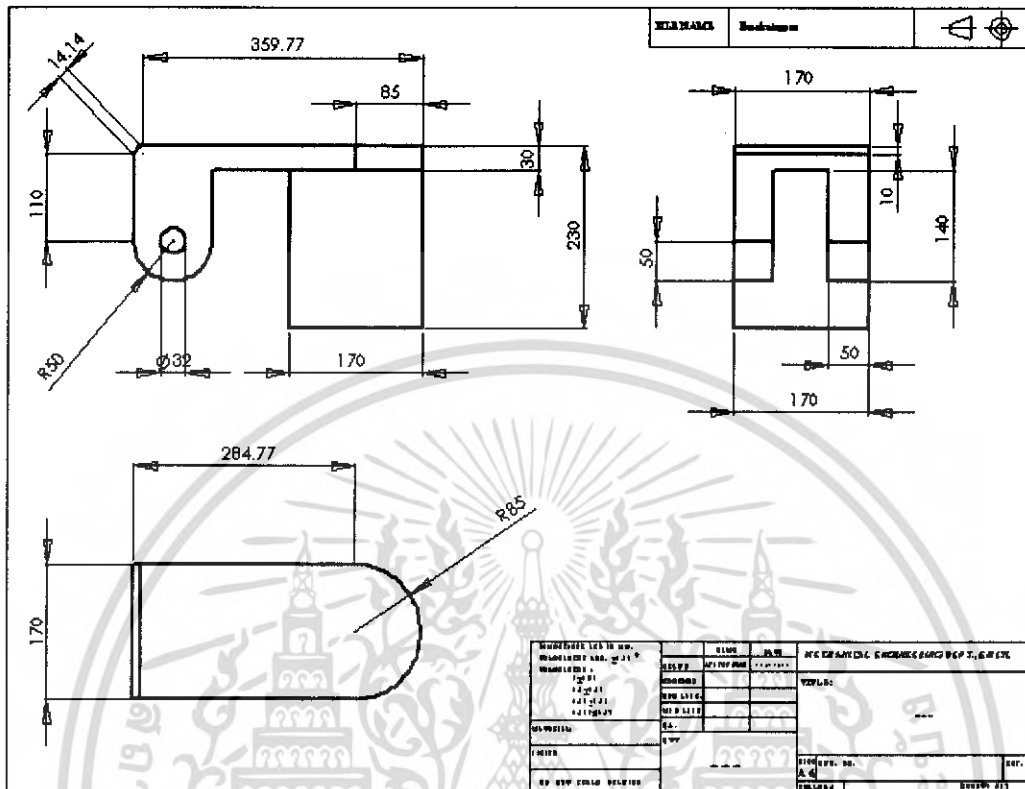
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-2 แสดงแบบจิ้นผ่านประกอบของขาส่วนบน

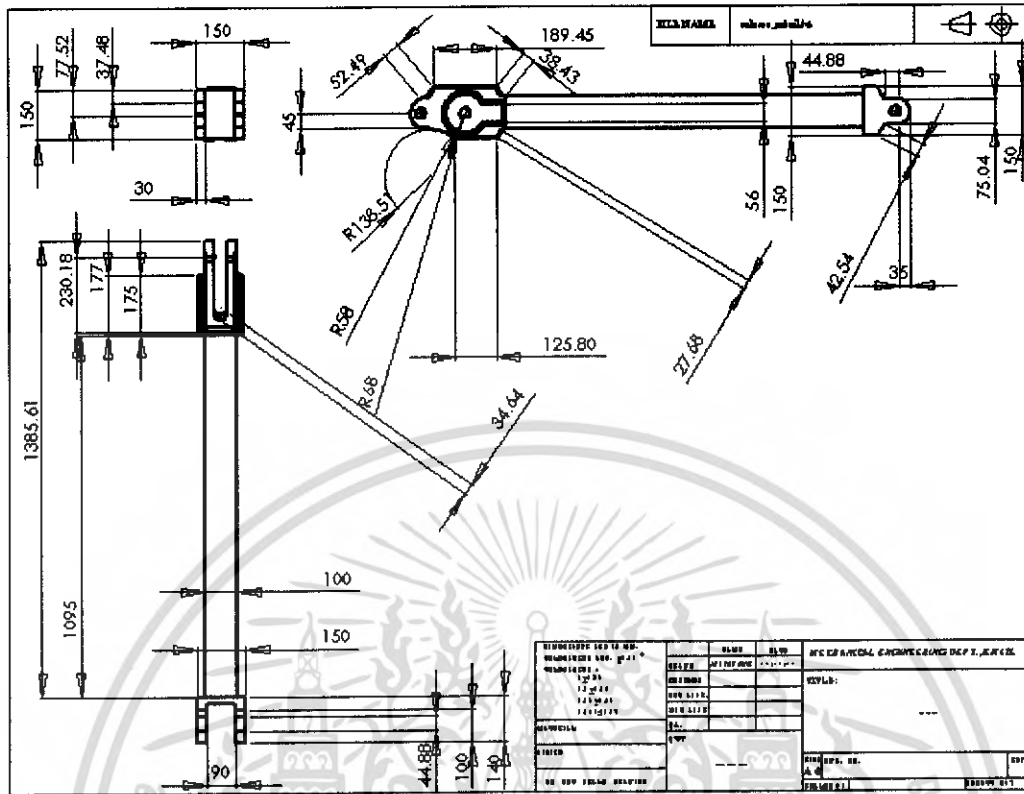
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





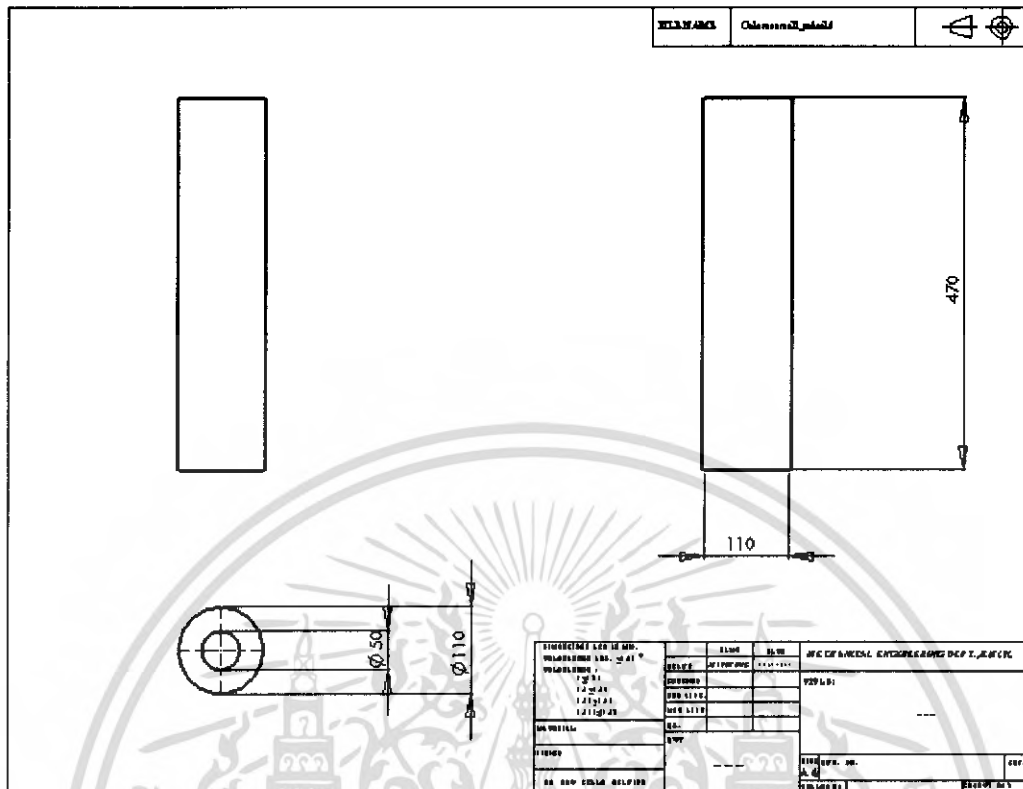
รูปที่ ค-4 แสดงแบบชิ้นส่วนที่แขวนกระบอกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



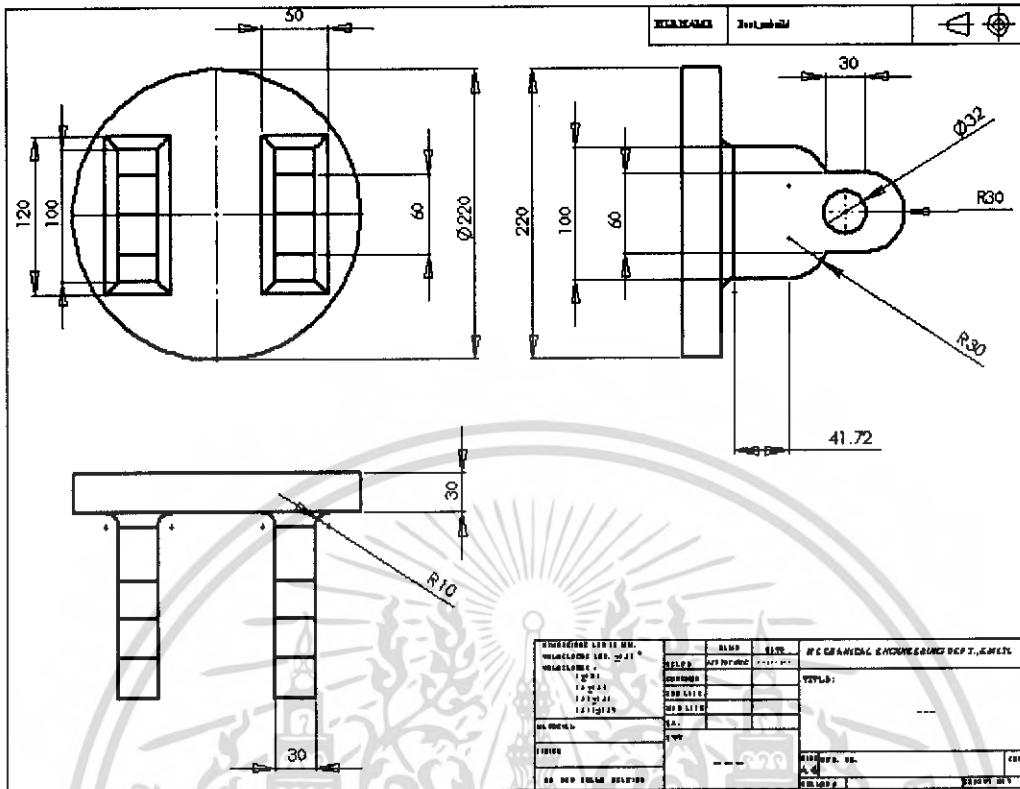
รูปที่ ก-5 แสดงแบบชิ้นส่วนขาส่วนล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-6 แสดงแบบชิ้นส่วนของเตาที่เชื่อมต่อกับตัวยึดกับฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-7 แสดงส่วนหัวของหุ่นยนต์

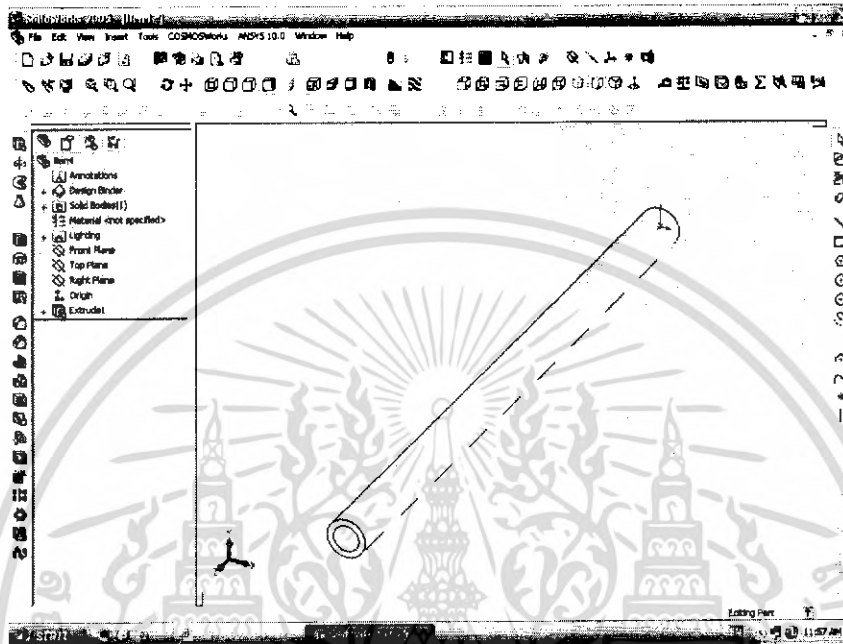
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก ง

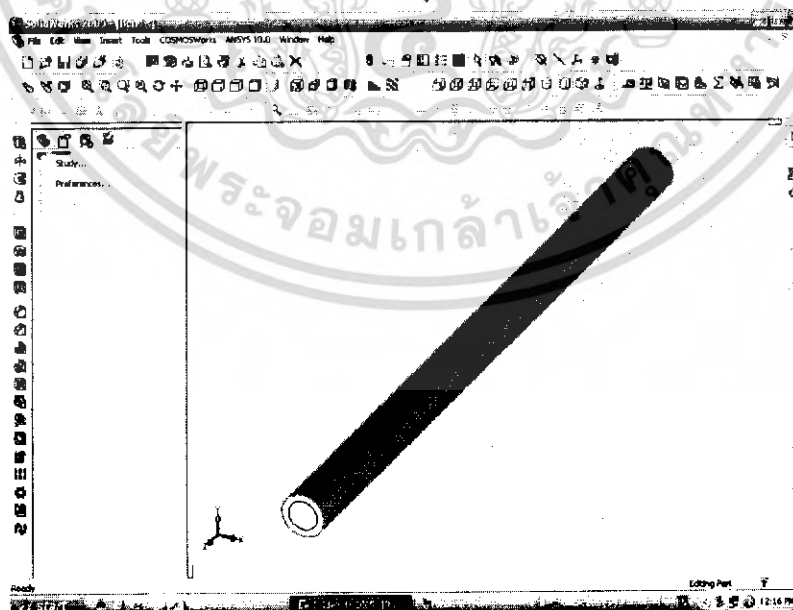
# การใช้โปรแกรม COSMOS

### 1. สร้างวัตถุ 3 มิติ ที่ต้องการ ขึ้นมา โดย โปรแกรม solid work



รูปที่ ง-1 การสร้างวัตถุจากโปรแกรม solid work

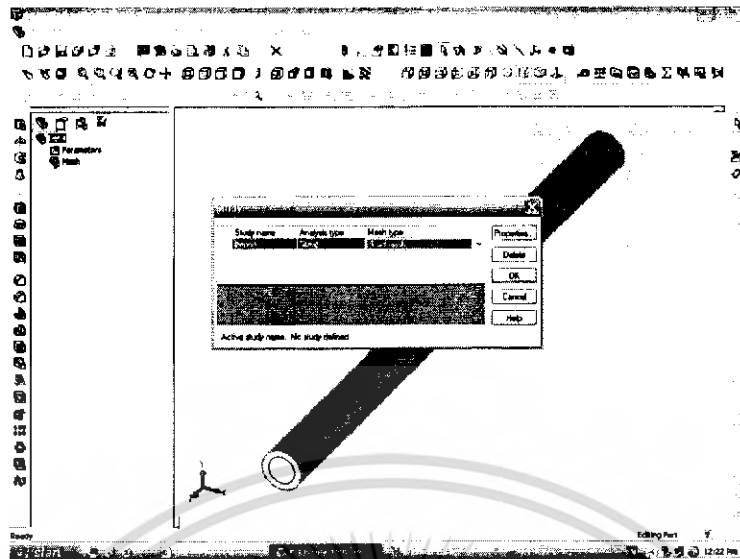
### 2. คลิกขวาที่วัตถุ เลือก study



รูปที่ ง-2 การเริ่มใช้โปรแกรม COSMOS ในการวิเคราะห์

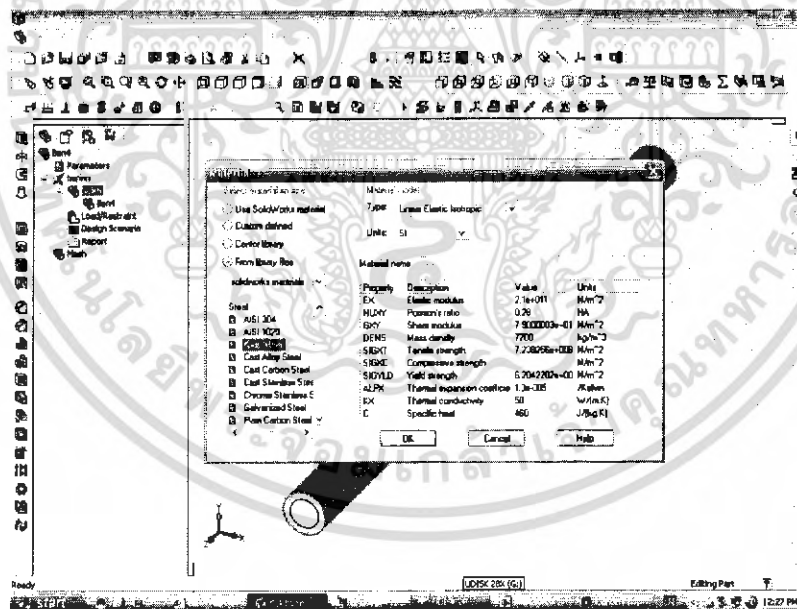
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. กำหนดค่าและ ตั้งชื่อ



รูปที่ 3 การกำหนดค่าและตั้งชื่อ ชิ้นงาน

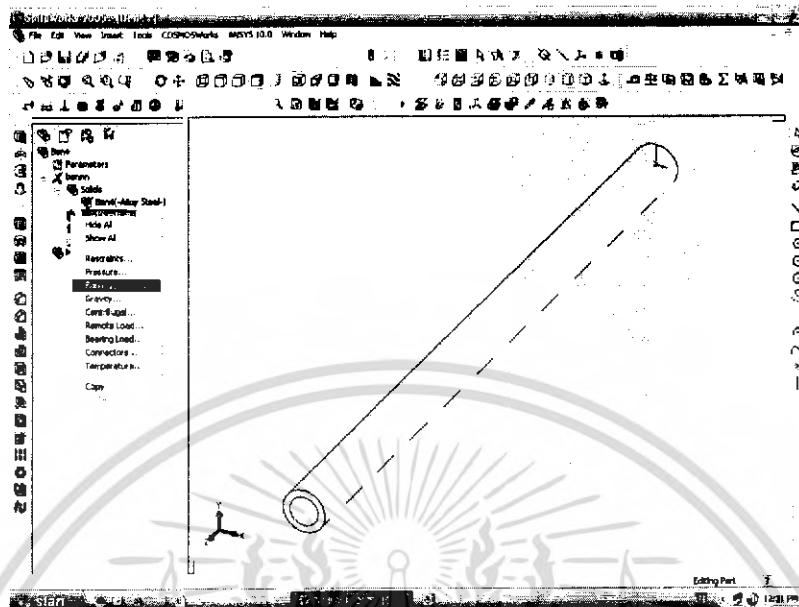
### 4. คลิก ที่คำสั่ง solid เลือก ชนิด วัสดุ



รูปที่ 4 กำหนดชนิดวัสดุที่ทำการวิเคราะห์

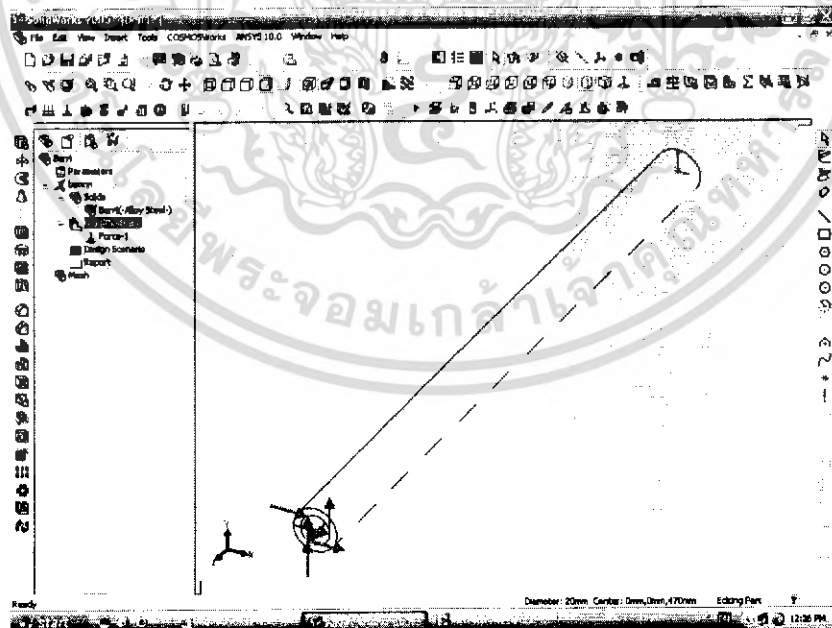
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.เลือก load และ restrain t



รูปที่ ๕-5 กำหนดขนาดภาระที่จะให้กับชิ้นงาน

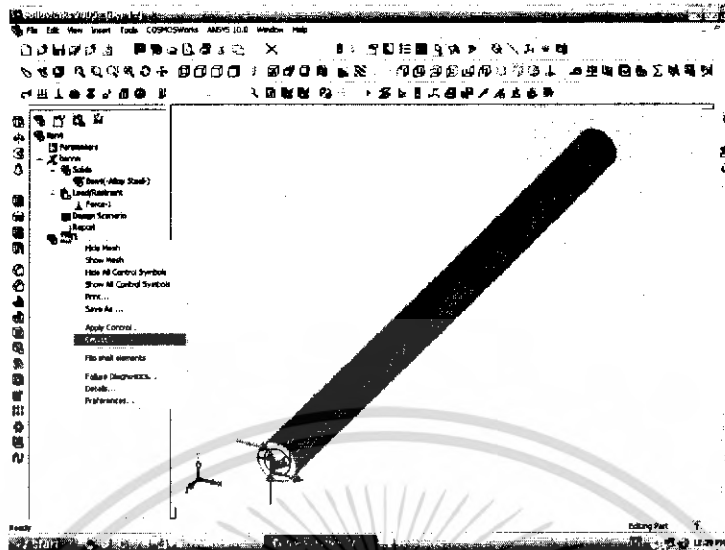
## 6.กำหนดค่าแรง ที่ระนาบใดๆที่ต้องการ



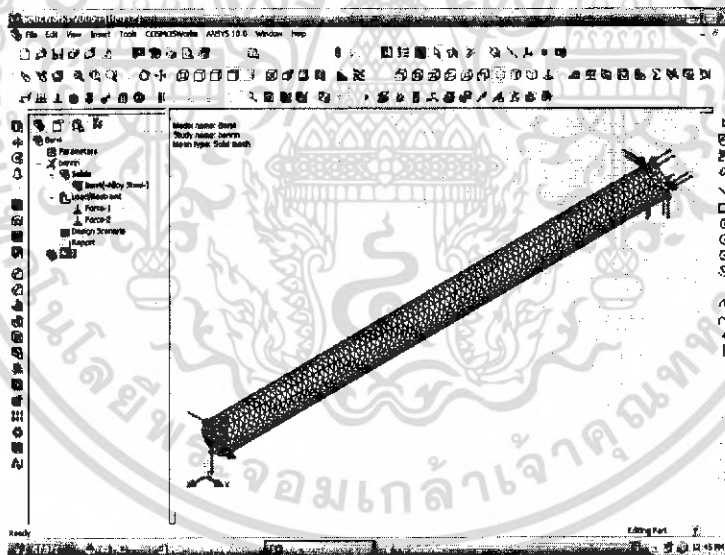
รูปที่ ๕-6 โฉนทรงที่กระทำต่อชิ้นงานในระนาบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. เลือก Mesh คลิกคำสั่ง crate กำหนดรูปแบบ Mesh



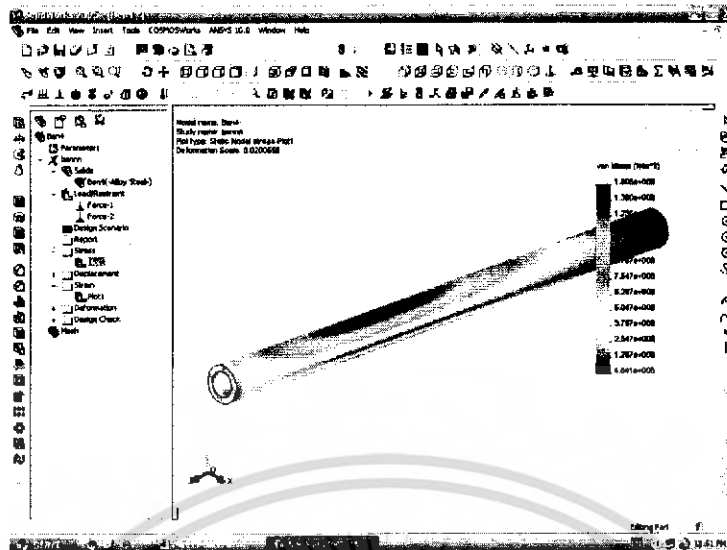
รูปที่ ๖-7 ก การ กำหนดพื้นผิวชิ้นงาน



รูปที่ ๖-7 ข การ Mesh ชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8. เลือก คำสั่ง run คู่มือที่ต้องการ



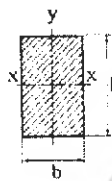
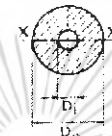
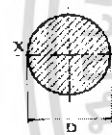

รูปที่ 8-8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

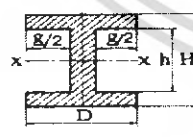
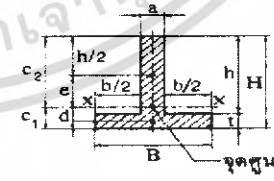
## ภาคผนวก จ

### สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

- $I_x$  คือโมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน x-x
- $J$  คือโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วรอบแกนศูนย์กลาง
- $Z = I/c$  คือโมดูลัสหน้าตัดของรูปเหลี่ยมรอบแกน x-x
- $Z' = J/c$  คือโมดูลัสหน้าตัดเชิงขั้ว
- $k = \sqrt{I/A}$  คือรัศมีจายเรชั่น

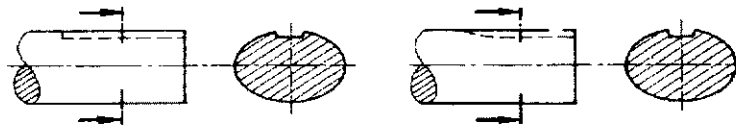
 $I_x = \frac{bh^3}{12}$ $Z_x = \frac{bh^2}{6}$ $k_x = \frac{h}{\sqrt{12}}$ $Z = \frac{2b^2h}{9} \text{ (สำหรับการบิด)}$	 $I_x = \frac{\pi}{64} (D_o^4 - D_i^4)$ $Z_x = \frac{\pi}{32} \left[ \frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right]$ $k_x = \sqrt{\frac{D_o^2 + D_i^2}{16}}$ $J = \frac{\pi}{32} (D_o^4 - D_i^4)$ $Z'_x = \frac{\pi}{16} \left[ \frac{D_o^4 - D_i^4}{D_o} \right]$
 $I_x = \frac{\pi D^4}{64}$ $Z_x = \frac{\pi D^3}{32}$ $k_x = \frac{D}{4}$ $J = \frac{\pi D^4}{32}$ $Z' = \frac{\pi D^3}{16}$	 $I_x = \frac{\pi bh^3}{64}$ $Z_x = \frac{\pi bh^2}{32}$ $k_x = \frac{h}{4}; k_y = \frac{b}{4}$ $J = \frac{\pi bh}{64} (h^2 + b^2)$ $Z' = \frac{\pi b^2 h}{16} \text{ (สำหรับการบิด)}$ $A = \pi bh/4$

ตารางที่ ค.1 (ต่อ) คุณสมบัติของหน้าตัด

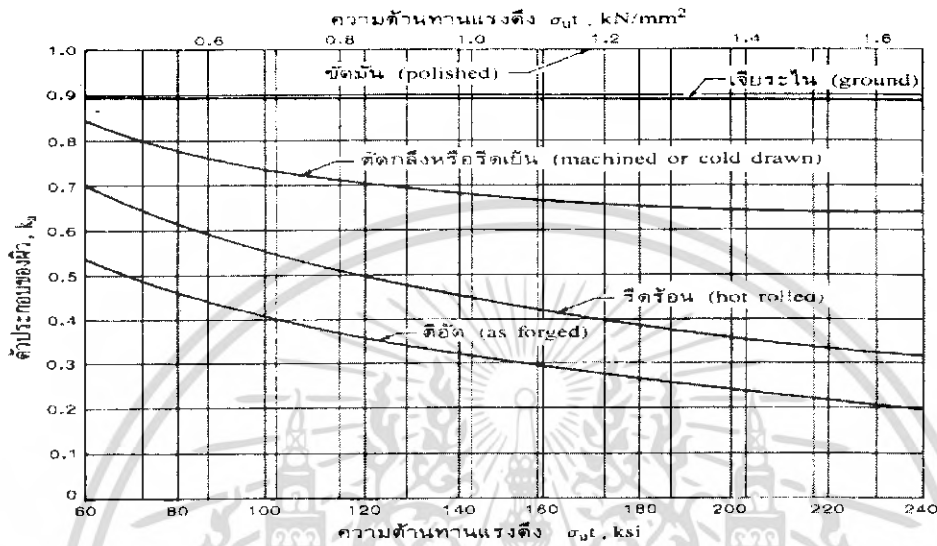
 $I_x = \frac{1}{12} (GH^3 - gh^3)$ $Z_x = \frac{GH^3 - gh^3}{6H}$ $k_x = \sqrt{\frac{1}{12} \left[ \frac{GH^3 - gh^3}{GH - gh} \right]}$	 $c_1 = \frac{aH^2 + bt^2}{2(aH + bt)} ; c_2 = H - c_1$ $I_x = \frac{Bt^3}{12} + (Bt)d^2 + \frac{ah^3}{12} + (ah)e^2$ $\text{พื้นที่} = Bt + a(H - t) ; k = \sqrt{I/A}$
--	---

**รูปที่ จ-1 แสดงสูตรค่าแรงของหน้าตัดชนิดต่างๆ**

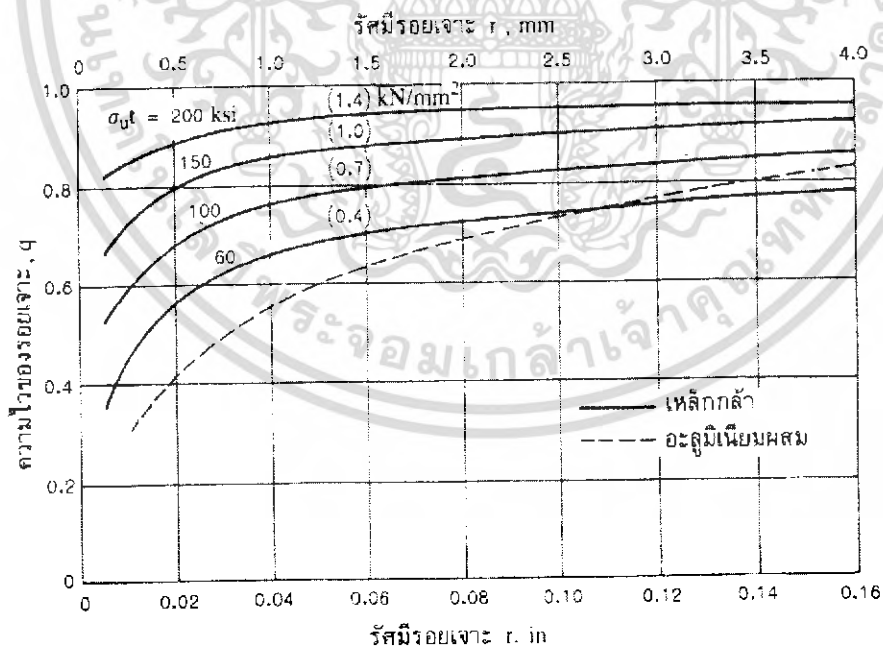
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



		PROFILE		SLED-RUNNER	
		ตัด	บิต	ตัด	บิต
K <sub>f</sub>	แอนนัล	1, 6	1, 3	1, 3	1, 3
	ขุบและรีด	2, 0	1, 6	1, 6	1, 6

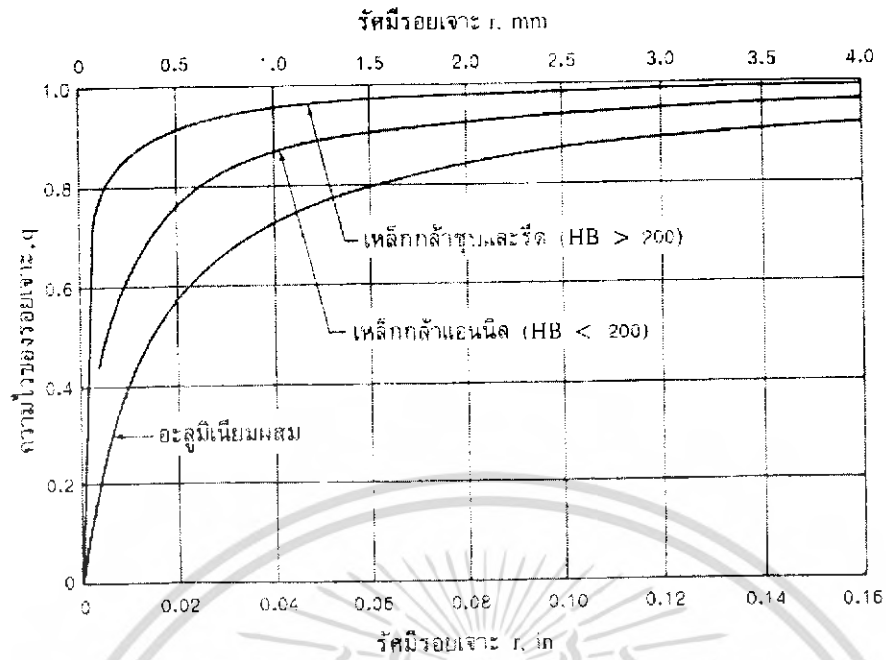


รูปที่ ๑-2 แสดงตัวประกอบผิวสำหรับเหล็กกล้า



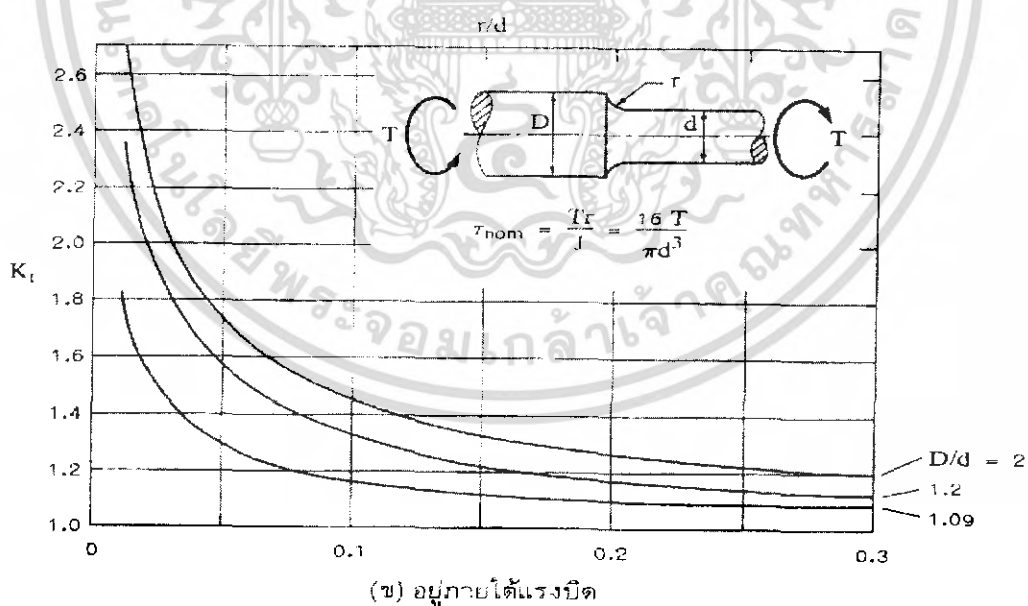
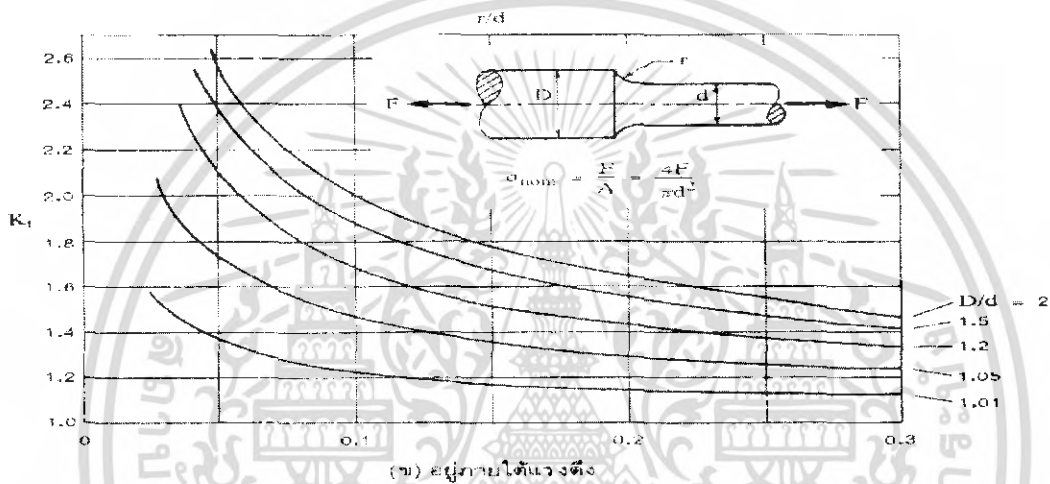
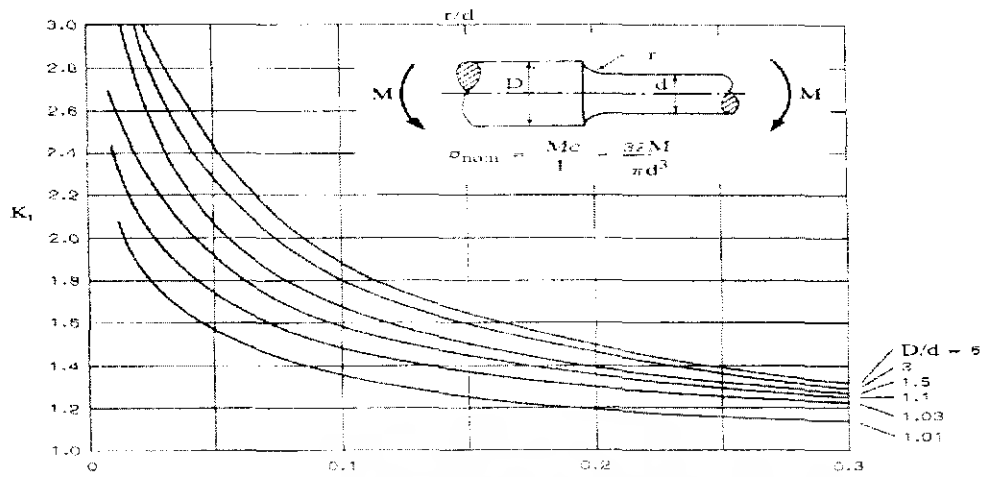
รูปที่ ๑-3 แสดงแผนภูมิความไวของรอยเจาะสำหรับเหล็กกล้าและอะลูมิเนียมผสมเหนียวที่อยู่ภายใต้การการค้ด  
ถัดไปกัถันมาหรือการค้ดอับกันในแนวอน ในกรณีรอยเจาะโคกว่าในรูป ให้หาค่า  $q$  ที่ค่ารัศมี  $r=4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



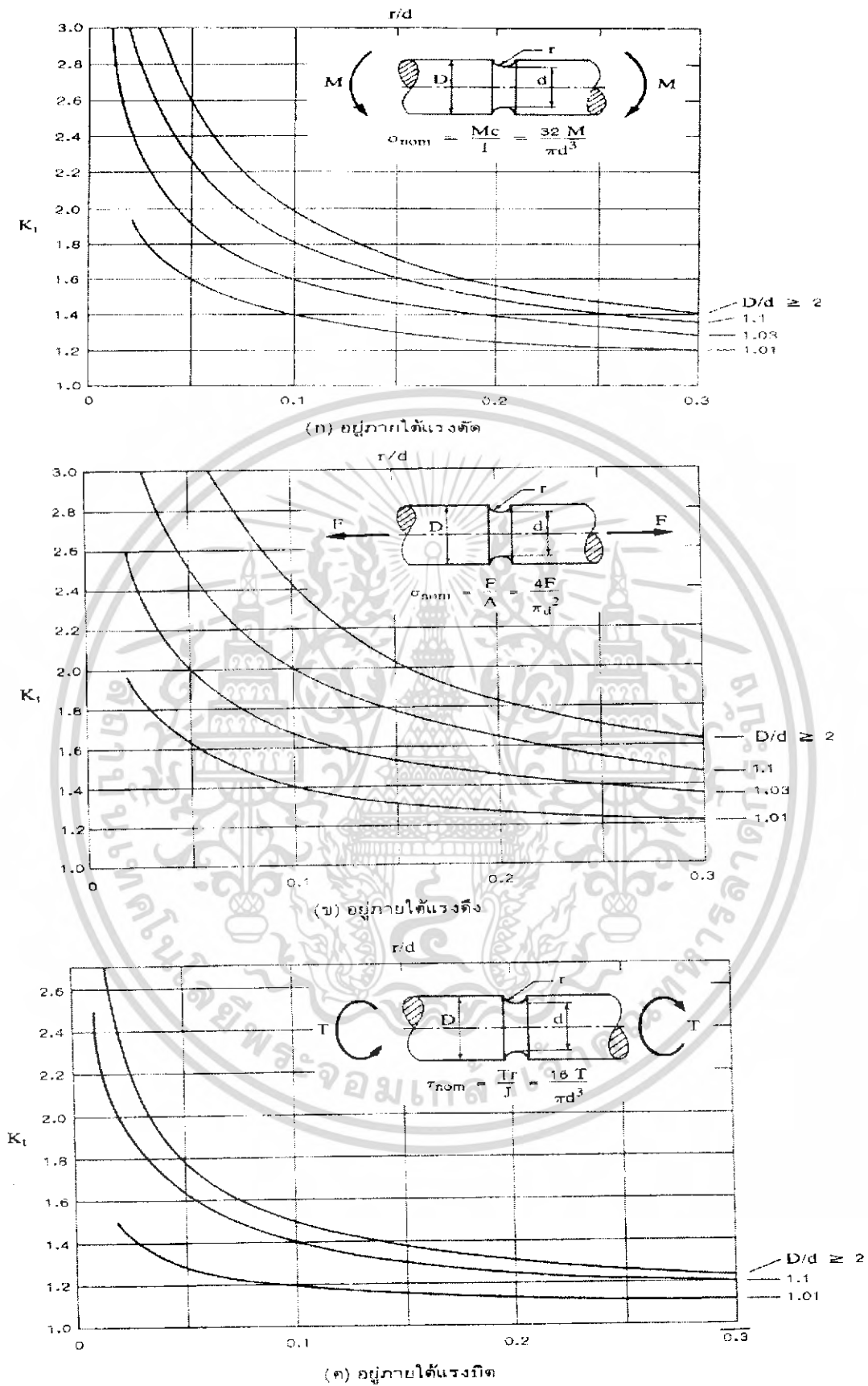
**รูปที่ ๑-4 แสดงแผนภูมิความไวของรอยเจาะชิ้นงานที่อยู่ภายใต้การบิดกลับ  
ในกรณีรอยเจาะโตกว่าในรูปให้ค่า  $q$  ที่ค่ารศมี  $r=1$**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



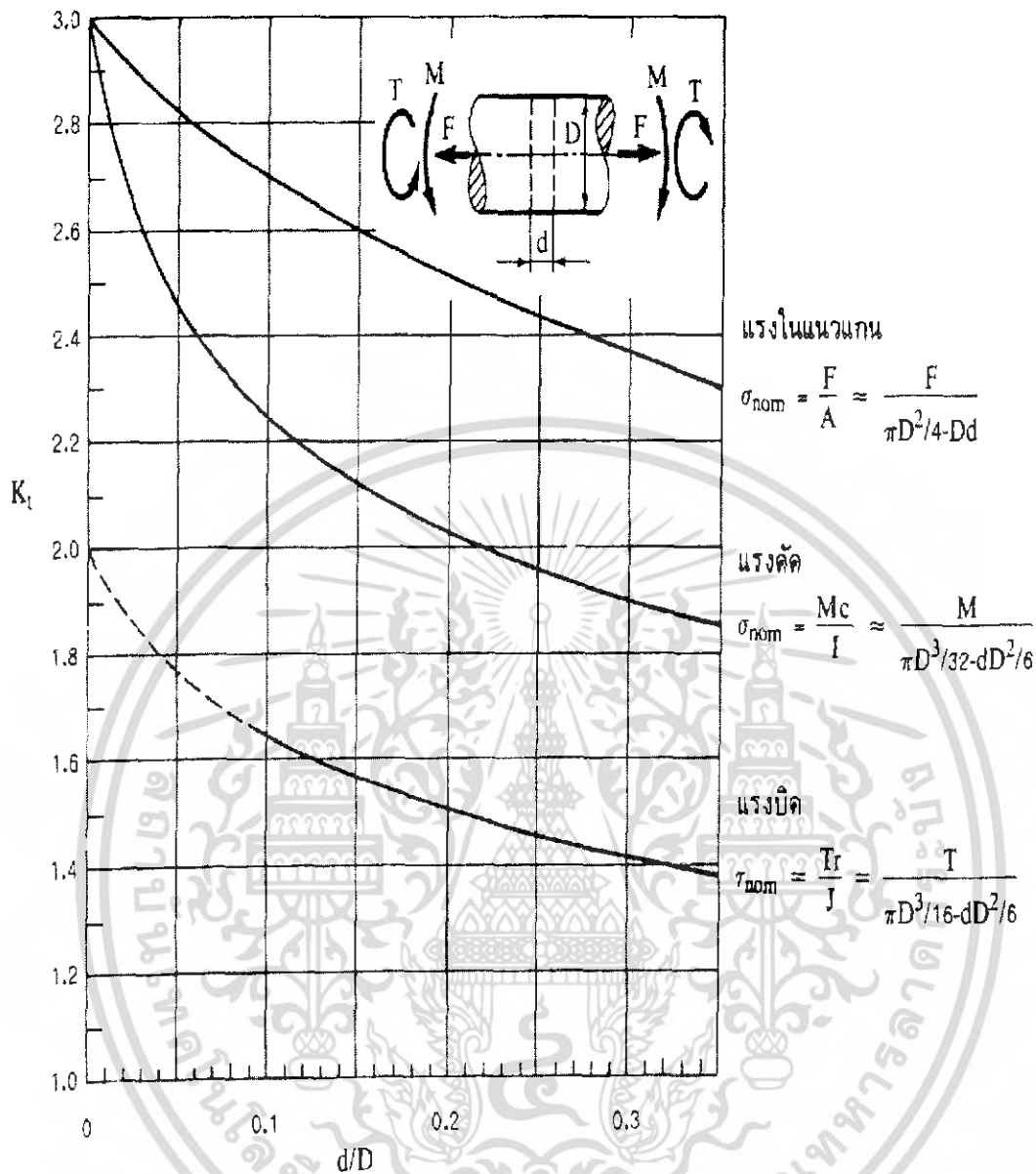
**รูปที่ ๑-5 แสดงพหาคที่มีพหอกภายใต้งแรงค่างๆ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



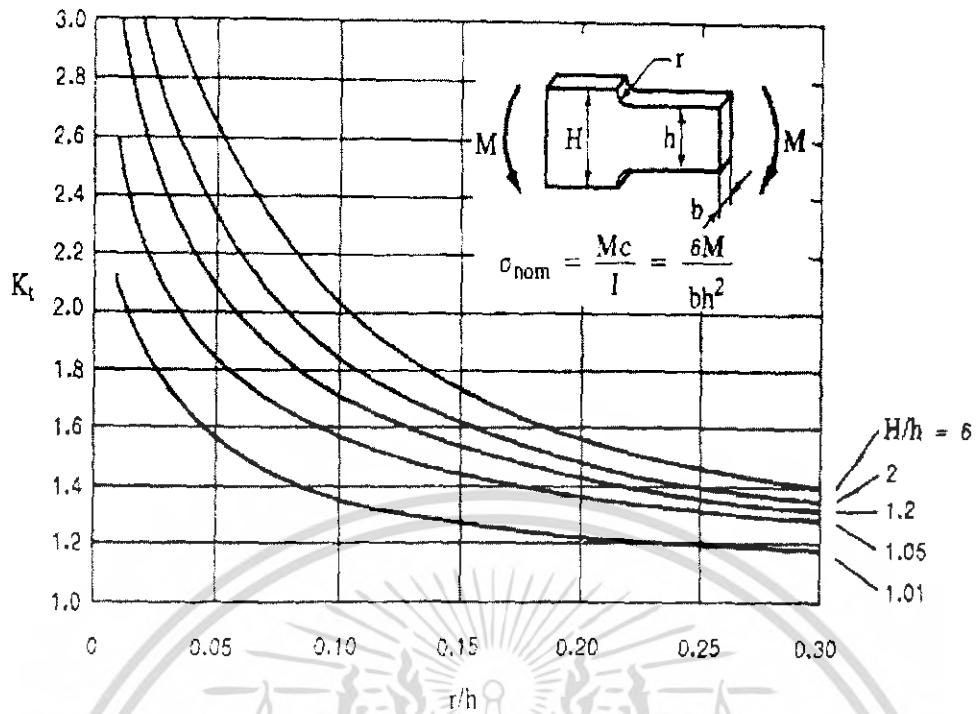
รูป ๑-6 แสดงพลาที่มีร่องโคจรอบภายใต้แรงต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

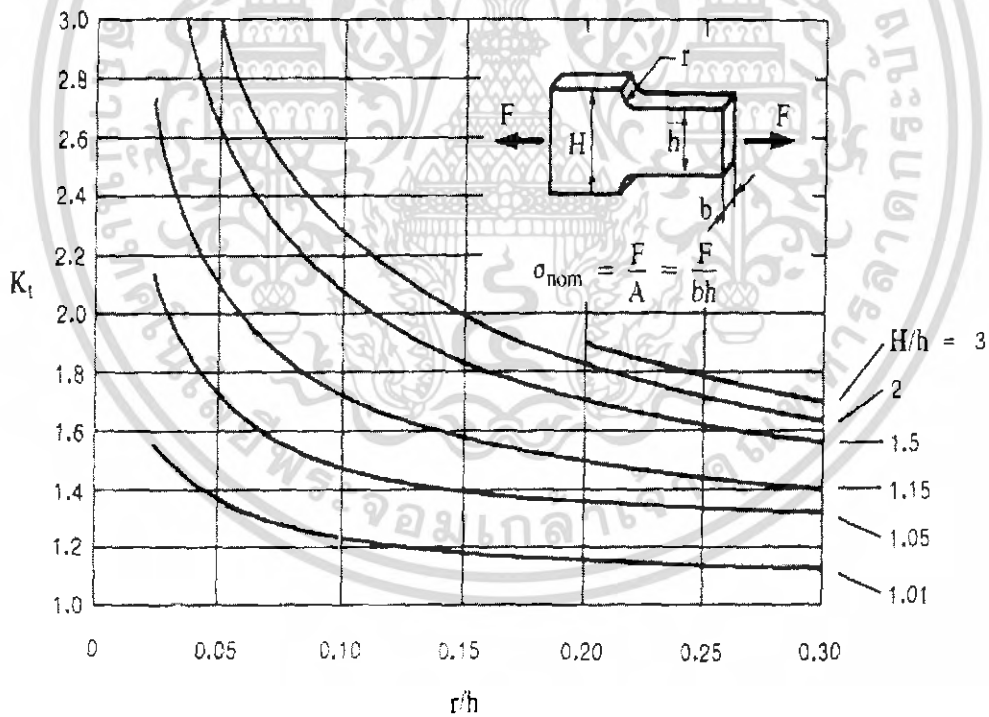


รูปที่ ๑-7 แสดงเทอที่ที่มีรูเจาะในแนวรัศมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



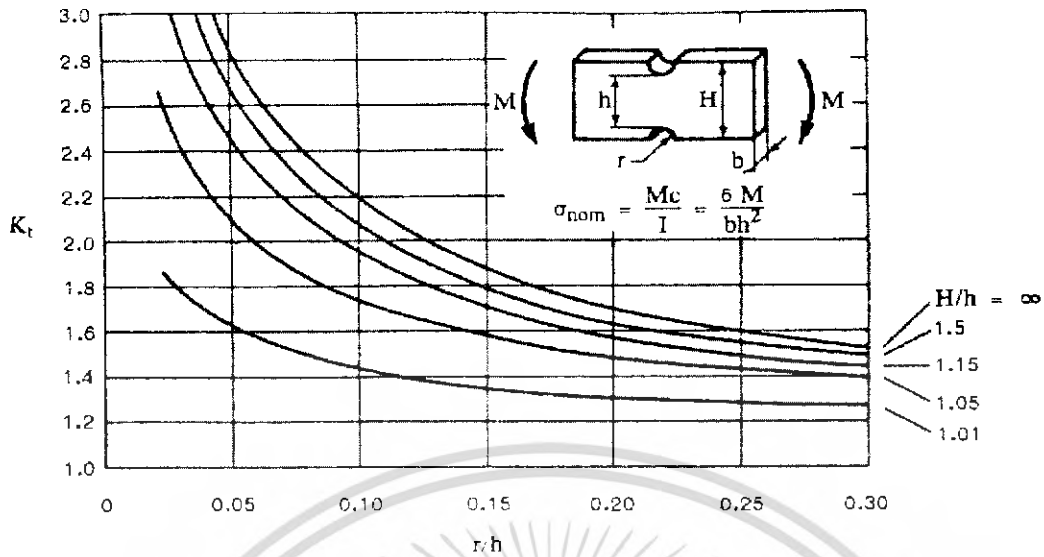
(ก) อยู่ภายใต้แรงดัด



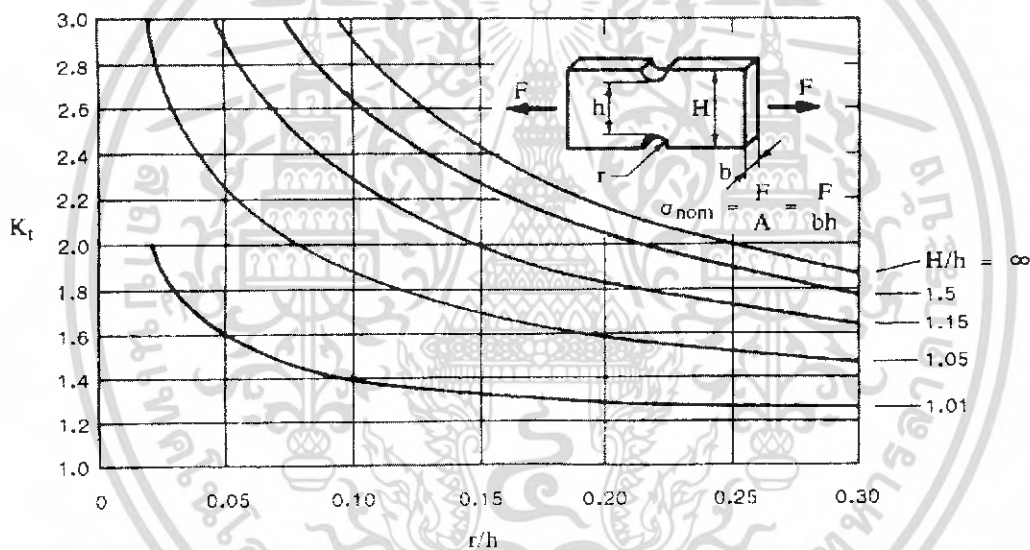
(ข) อยู่ภายใต้แรงในแนวแกน

**รูป ๑-๘ แฉกแห่งโหระที่มีบ่าเป็นพิดเดค**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



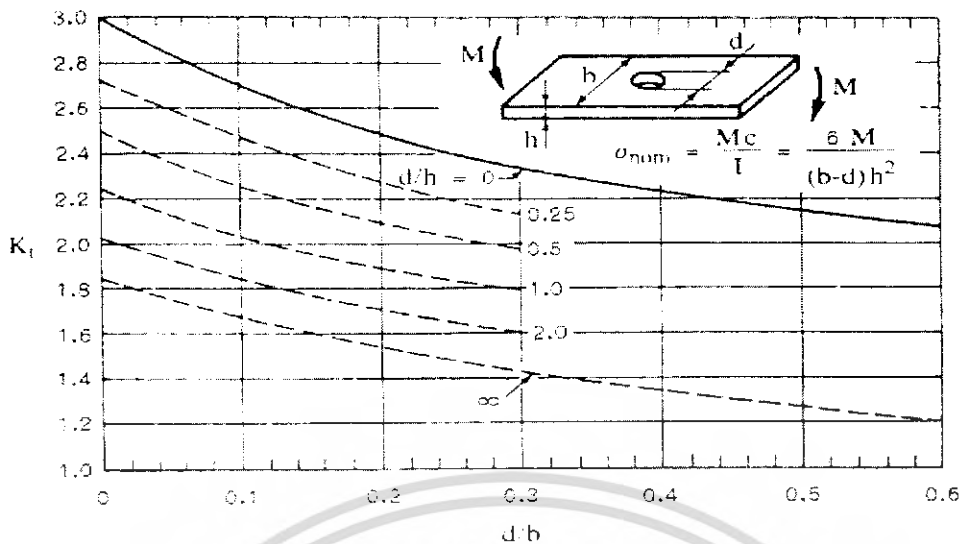
(ก) อยู่ภายใต้แรงดัด



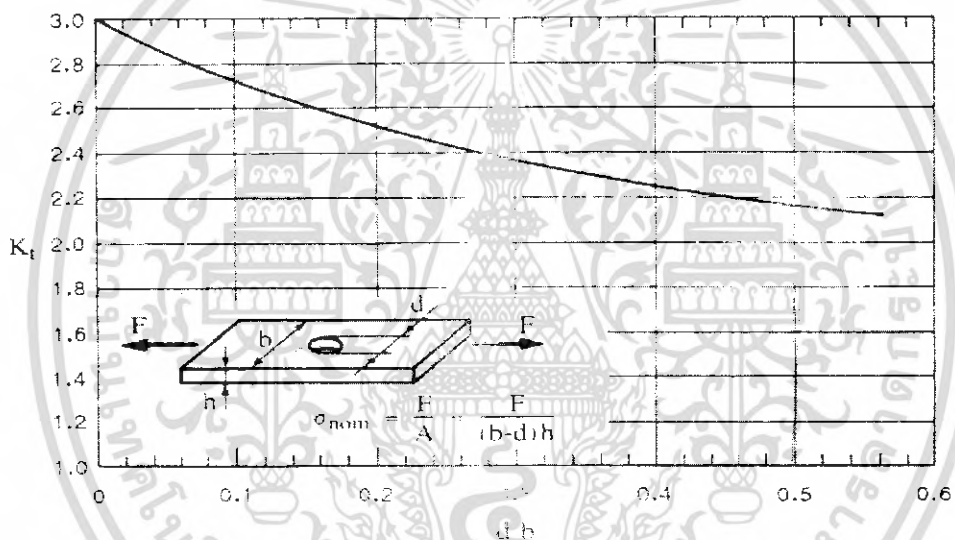
(ข) อยู่ภายใต้แรงดึง

รูปที่ ๑-๑ แสดงรอยเจาะของแท่งโลหะแบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



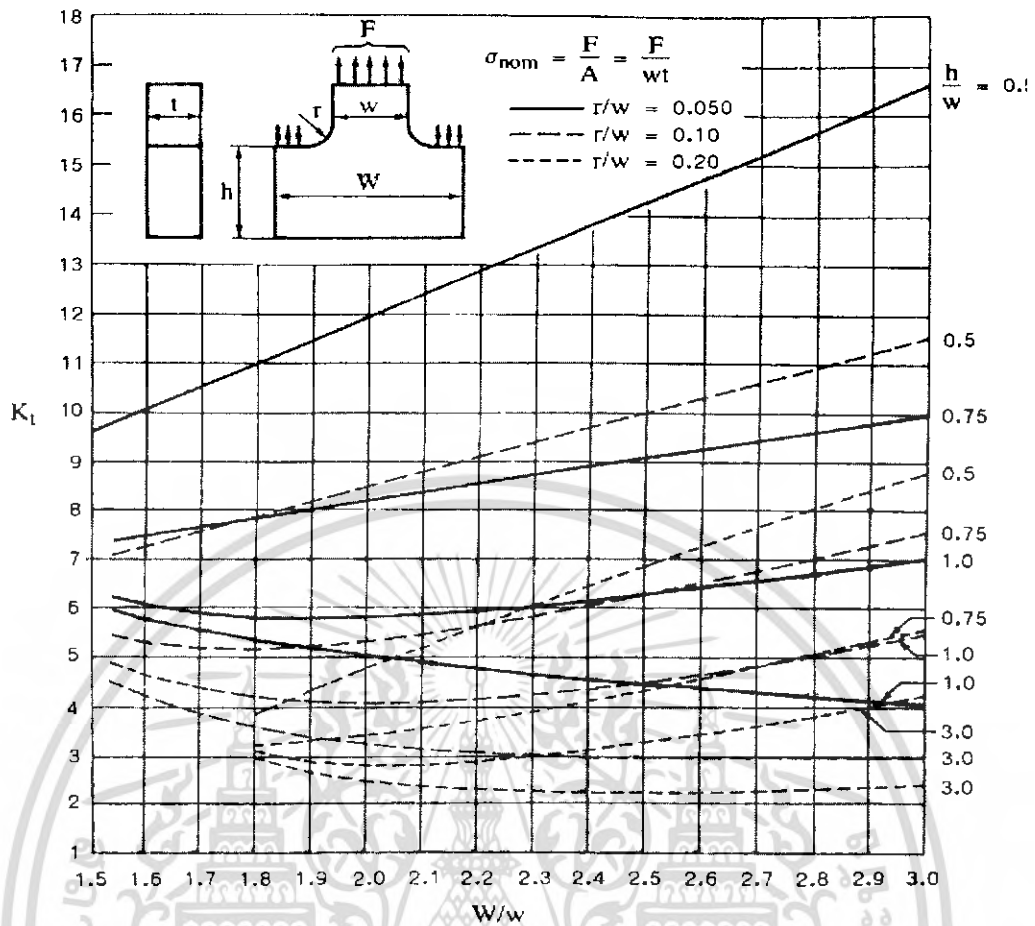
(ก) อยู่ภายใต้แรงดัด



(ข) อยู่ภายใต้แรงในแนวแกน

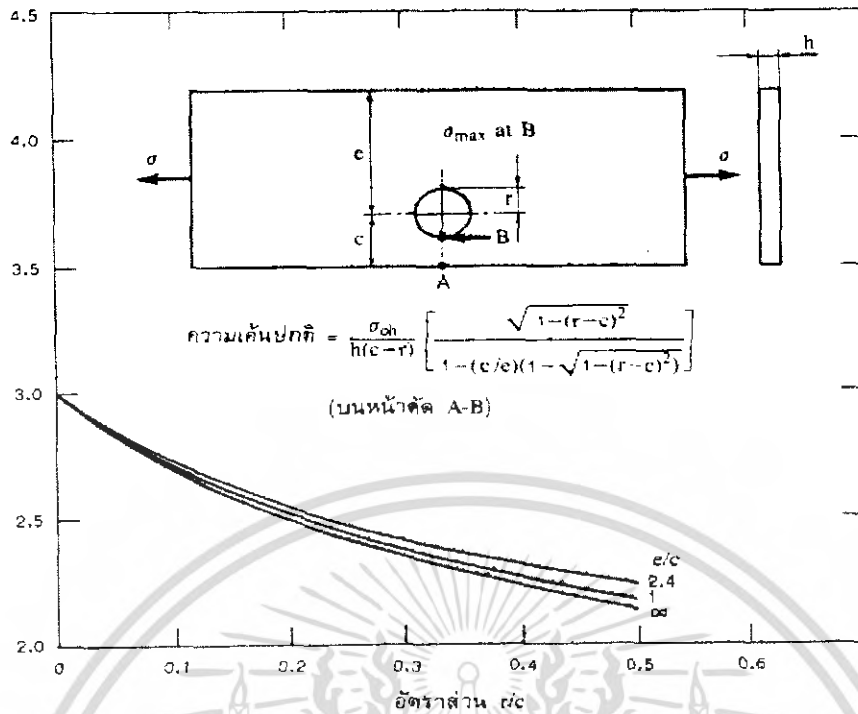
รูปที่ ๑-10 แสดงแผ่นโตะหะมีรูเจาะตรงกลางภายใต้แรงค้ำงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑-11 แสดงค่าของตัวคูณความเค้น  $K_t$  ภายใต้แรงในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๑-12 แสดงแผ่นโลหะมีรูเจาะเยื้องศูนย์กลางตรงกลาง อยู่ภายใต้แรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้