

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและการศึกษายานเบาะลมขนาดทดลอง
สำหรับการขนย้ายวัสดุ

The Design and Study of Lab – Scale Air Bearing



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหม.....
เลขทะเบียน 36730
วัน, เดือน, ปี 28 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัยหรือต้องการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

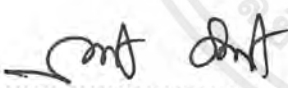
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและการศึกษายานเบาขนาดทดลองสำหรับการขนย้ายวัสดุ

The Design and Study of Lab – Scale Air Bearing for

ผู้จัดทำ

1. นายภัทรพล กนิษฐานนท์
2. นางสาวสุภาวดี แสงวงษ์
3. นางสาวอนงค์ อางทวิกุล


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์กัณฑ์กนิษฐ ธนศิริวัฒนา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและการศึกษายานเบาะลมขนาดทดลองสำหรับการชนย้ายวัสดุ

นายภัทรพล	กนิษฐานนท์
นางสาวสุภาวดี	แสนวงษ์
นางสาวอนงค์	อาจทวิกุล

อาจารย์กนต์กนิษฐ์ ธนศิริวัฒนา อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

โครงการการออกแบบและการศึกษายานเบาะลมขนาดทดลองสำหรับการชนย้ายวัสดุมีจุดประสงค์คือสร้างและศึกษายานเบาะลมเพื่อใช้ชนย้ายวัสดุบนพื้นผิวราบเรียบเพื่อลดแรงงานในการชนย้ายวัสดุ ซึ่งยานเบาะลมมีส่วนประกอบคือ แผ่นเพลต และเบาะลมยาง โดยมีหลักการคือการใช้อากาศลดแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส เพื่อประหยัดแรงที่ใช้ลากจูงวัสดุ

ในการทดลองชนย้ายวัสดุเราจะศึกษาความดันลม ที่มีผลต่อน้ำหนักและแรงที่ใช้ลากจูง ซึ่งในการทดลอง จะใช้ความดันลม 5.0, 5.5, 6.0 และ 6.5 บาร์ และน้ำหนักที่ใช้คือ 60, 70, 80, 90 และ 100 กก. เพื่อหาค่าแรงที่ใช้ลากจูงที่ความดันลมและน้ำหนักต่าง ๆ ผลการทดลองพบว่าความดันลมและน้ำหนักไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงต่อแรงลากจูงที่ใช้

THE DESIGN AND STUDY OF LAB – SCALE AIR BEARING

PATARAPOL KANISHTHANOND

SUKPAVADEE SANVONG

ANONG ARTTAWEEKUL

KANKANIT TANASIRIWATANA ADVISER

1999

Abstract

The purposes of this project are to design and study the lab – scale air bearing for conveying the object on the smooth surface in order to reduce the used energy. This air bearing is consisted of a plate and an air pad. Its nature of this conveyance is by using air to reduce some friction forces between surfaces, hence the pulling force of the object is decreased as well.

The variables that we study in this experiment are the loads, and pressures. The used load are 60,70,80,90 and 100 kg. and the pressures are 5.0,5.5,6.0 and 6.5 bar for finding the pulling forces.

The results indicate that the loads and pressures have no linear relation with the pulling forces


สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.4 ขอบเขตโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงาน	3
2.1 ชนิดของอุปกรณ์เคลื่อนย้าย	3
2.2 โครงสร้างของยานเบาะลม	5
2.3 หลักการทำงานพื้นฐาน	5
2.4 การจ่ายลม	6
2.5 ลักษณะของพื้นผิว	7
2.6 คุณสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์ของอากาศ	10
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างยานเบาะลม	18
3.1 การคำนวณโครงสร้าง	18
3.2 การหาขนาดของปริมาณลมที่ต้องป้อนเข้าห้องยางลม	21
3.3 การหาแรงในการลากจูง	22
3.4 การคำนวณน้ำหนักบรรทุกสูงสุด	23
3.5 การคำนวณความเค้นที่แผ่นรองขึ้นยาง	24
3.6 การคำนวณระยะโยกตัวสูงสุดของแผ่นเพลต	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 วิธีการทดลอง	30
4.1 การทดลองหาแรงลากจูงที่ใช้ลากวัตถุ	30
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	33
5.1 ผลการทดลอง	33
5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	33
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	36
6.1 สรุป	36
6.2 ขอเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก ก.	39
ภาคผนวก ข.	40
ภาคผนวก ค.	41
ประวัติผู้เขียน	43
กิตติกรรมประกาศ	44



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ตารางแสดงค่าแรงลากจูงเฉลี่ยของการทดลอง	33
ก.1 ตารางแสดงค่าคงที่ของอากาศ	39
ข.1 ตารางเทียบค่าความแข็งแรงของวัสดุ	40
ค.1 ตารางแสดงแรงลากจูงที่ได้จากการทดลองที่ความดัน 5.0 บาร์	41
ค.2 ตารางแสดงแรงลากจูงที่ได้จากการทดลองที่ความดัน 5.5 บาร์	41
ค.3 ตารางแสดงแรงลากจูงที่ได้จากการทดลองที่ความดัน 6.0 บาร์	42
ค.4 ตารางแสดงแรงลากจูงที่ได้จากการทดลองที่ความดัน 6.5 บาร์	42



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของยานเบาะลม	5
2.2 ขั้นตอนการทำงานของยานเบาะลม	6
2.3 ผิวล้มผัดระหว่างยานเบาะลมกับพื้นผิว	6
2.4 กราฟสำหรับเลือกเบาะลมในหน่วยอังกฤษ (A) และหน่วยเมตริก (B)	7
2.5 Flow Fetween Paralle Plates	8
2.6 แสดงการแบ่งช่องลม เจอนัล แบริง	12
2.7 ตัวอย่างหลักการใช้อากาศดันในการรองรับผ่านจุดศูนย์กลางรู	13
2.8 การใช้อากาศที่ไหลผ่านดินผ่านวงแหวนที่มีรูหรือช่องในการรองรับ	15
3.1 การเทียบระยะเส้นรอบวงต่อแรงดันอากาศสู่บรรยากาศ	19
3.2 แสดงช่องระยะทางจากความดันอากาศในท่อสู่บรรยากาศ	20
3.3 การหาค่าของแรงยก	21
3.4 แสดงลักษณะแรงที่ตั้งฉากกันระหว่างแรงกดกับแรงลาก	22
3.5 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห่วงยางลม	23
3.6 แสดงอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ	26
3.7 รายละเอียดของเบาะลมยาง	27
3.8 รายละเอียดของชิ้นส่วนโครงสร้าง	28
3.9 ด้านล่างของยานเบาะลม	29
4.1 อุปกรณ์การทดลอง	30
4.2 ขั้นตอนการทดลองของยานเบาะลม	31
4.3 ภาพชุดการทดลอง	32
4.4 กราฟแสดงค่าของแรงลากสูงที่ใช้ที่น้ำหนักและความดันลมต่าง ๆ	35

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

วิวัฒนาการด้านการผลิตของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ในยุคปัจจุบันได้เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งล้วนแต่เป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ แต่เทคโนโลยีที่ทันสมัยดังกล่าวอาจจะอยู่ในสภาพที่ด้อยสมรรถนะกว่าที่เป็นอยู่ หรือไม่อาจดำเนินการได้เต็มความสามารถหากขาดตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่ง ซึ่งตัวแปรดังกล่าวก็คือ การเคลื่อนที่ ดังที่เรียกกันว่า การขนถ่ายที่เข้ามาสนับสนุนกระบวนการผลิต ตั้งแต่การนำวัตถุดิบมายังโรงงาน ผ่านกระบวนการผลิต จนได้เป็นผลิตภัณฑ์ จะต้องมีการเคลื่อนที่ทั้งสิ้น ซึ่งการเคลื่อนที่นั้นขึ้นอยู่กับว่าจะใช้ปัจจัยการผลิตตัวใดเคลื่อนที่ โดยอาจจะเป็นคนวัสดุ เครื่องจักร ตัวใดตัวหนึ่งเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ทุกตัว

แต่ไม่ว่าปัจจัยการผลิตตัวใดเคลื่อนที่ก็ตาม หลักการสำคัญก็คือ ทำอย่างไรจึงจะทำให้การขนถ่ายนั้นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อันเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงตลอดเวลา เพราะปัญหาการขนถ่ายวัสดุมักจะเกิดขึ้นในโรงงานเสมอ เราไม่ได้มุ่งหวังที่จะกำจัดปัญหาการขนถ่ายให้หมดไป หากแต่พยายามลดปัญหาให้น้อยลง กล่าวคือทำอย่างไรจึงจะให้การขนถ่ายเป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว ปลอดภัยและประหยัด ดังนั้นโครงการวิศวกรรมเล่มนี้ จึงขอเสนอ " อุปกรณ์ขนย้ายวัสดุด้วยเบาะลม " ซึ่งเป็นอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุที่สามารถใช้ในสถานที่ที่จำกัดทางด้านพื้นที่ สถานที่ที่ไม่ต้องการควั่นไอลีจากเครื่องยนต์ หรือสถานที่ที่ต้องการความสะดวกเป็นพิเศษ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการเลือกใช้อุปกรณ์ขนย้ายวัสดุให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [1]

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างยานเบาะลมขนาดทดลอง
2. ศึกษาความดันลมที่มีผลต่อน้ำหนักวัตถุและแรงที่ใช้ลากจูง

1.3 ขอบเขตของการทำโครงการ

1. สร้างยานต้นแบบเพื่อหาแรงลากจูงจากความสัมพันธ์ของน้ำหนักโหลดและความดันที่ใช้
2. ความดัน คือ 5.0, 5.5, 6.0, และ 6.5 บาร์
3. ใช้ทดสอบกับพื้นผิวหินอ่อนมีรอยต่อ เพื่อใช้อ้างอิงกับทฤษฎี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ยานเบาะลมทำการเคลื่อนย้ายวัสดุได้
2. ใช้เป็นเครื่องต้นแบบเพื่อสร้างยานเบาะลมให้มีประสิทธิภาพมากกว่า
3. เป็นอีกแนวทางเลือกในการขนย้ายวัสดุ และเพิ่มขีดความสามารถในการทำงาน



บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การขนย้ายวัสดุ

2.1.1 ชนิดของอุปกรณ์การเคลื่อนย้าย [2]

อุปกรณ์ในการเคลื่อนย้ายวัสดุมีมากมายหลายร้อยชนิด โดยไม่มีการกำหนดเป็นมาตรฐานอันเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป ซึ่งในที่นี้เราจะแบ่งกลุ่มอุปกรณ์ออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. อุปกรณ์นำส่ง (Conveyors) นิยมเรียกกันว่า อุปกรณ์ระบบสายพาน หมายถึง อุปกรณ์ที่เคลื่อนย้ายวัสดุระหว่างจุด 2 จุดที่อยู่ประจำที่ โดยจะเคลื่อนย้ายในแนวนอนหรือในแนวตั้ง และจะเคลื่อนย้ายตลอดเวลาหรือเป็นครั้งคราวก็ตามสถานการณ์

ลักษณะเด่นคือมีเส้นทางเคลื่อนย้ายที่แน่นอนและกินพื้นที่ การติดตั้งต้องอยู่กับที่และต้องจัดไม่ให้มีเส้นทางตัดกับสายทางอื่น วัสดุที่เคลื่อนย้ายโดยอุปกรณ์นำส่งนี้ มักได้แก่ วัสดุร่วนเป็นผง เป็นเม็ดหรือเป็นก้อน เช่น ข้าว สินแร่

อุปกรณ์นำส่ง แบ่งเป็นย่อยๆ ได้ 3 ชนิด คือ

- 1.1 รางลื่น (Chute)
- 1.2 อุปกรณ์นำส่ง (Conveyors)
- 1.3 ลิฟต์ (Elevator)

2. บันจั้น และ ลูกรอก (Crand & Hoist) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้เคลื่อนย้ายวัสดุในแนวตั้งและแนวนอน ในบริเวณที่มีเนื้อที่จำกัด เนื่องจากอุปกรณ์จำพวกนี้ใช้เนื้อที่ในแนวตั้งได้มากจึงประหยัดเนื้อที่ในแนวนอน เหมาะสำหรับยกชิ้นส่วนหนัก ๆ แต่ข้อเสียคือ ทำงานได้ในรัศมีจำกัดเพราะต้องตั้งอยู่กับที่ แต่อุปกรณ์พวกนี้อาจจะนำเคลื่อนที่ไปได้ง่าย จึงนับว่ามีความยืดหยุ่นกว่าอุปกรณ์นำส่งชนิดอื่นอยู่มาก

3. รถ (Trucks) หมายถึง อุปกรณ์ที่มีล้อเคลื่อนที่อย่างอิสระทำให้รถเหมาะสมสำหรับโรงงานที่ผลิตระบบไม่ต่อเนื่อง นอกจากนี้รถยังใช้ในกรณีที่มีการเคลื่อนย้ายตัดเส้นทางกันได้ เพราะหลีกเลี่ยงกันได้ และไม่เกะกะอยู่ประจำที่

4. อุปกรณ์ขนย้ายรายหน่วย (Unit Load Equipment)

- 4.1 คอนเทนเนอร์ (Container) เป็นภาชนะขนาดมาตรฐาน ที่ปกปิดวัสดุเพียงบางส่วน
- 4.2 พาเลท (Pallet) เป็นที่รองรับภาชนะบรรจุวัสดุ มักมีเพียง 2 หน้าห่างกันเพียงเล็กน้อยเพื่อหักปลายล้อของรถยก (Truck) สอดเข้าไป เพื่อยก และเคลื่อนย้ายได้สะดวกวางซ้อนกันได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สกิด (Skid) เป็นที่รองรับภาชนะบรรจุวัสดุ ซึ่งมักจะมีน้ำหนักมาก มีช่องให้ปลายล้อของรถสอดเข้าไปเพื่อยก และเคลื่อนย้ายได้เหมือนพาเลต แต่ข้อเสีย คือ จะวางซ้อนกันอย่างพาเลตไม่ได้

5. การขนย้ายวัสดุโดยใช้แรงงานคน (Manual Handling) ในบางกรณีการใช้แรงงานคนเป็นวิธีการขนย้ายวัสดุที่ง่าย มีประสิทธิภาพและประหยัดมากที่สุด ดังนั้นก่อนจะคัดเลือกอุปกรณ์ขนย้ายวัสดุใด ๆ ควรพิจารณาข้อนี้เสียก่อน

2.1.2 ระบบการขนถ่ายวัสดุ ควรคำนึงถึงองค์ประกอบที่สำคัญ 4 ประการ คือ [3]

1. การเคลื่อนที่ (Motion) เป็นการเคลื่อนย้ายวัตถุจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หรือ การเคลื่อนย้ายวัตถุจากจุดต้นทาง (จุดที่เอาของขึ้น) ไปยังจุดปลายทาง (จุดที่เอาของลง) ซึ่งการเคลื่อนย้ายวัตถุแต่ละประเภทย่อมมีการเคลื่อนที่ ๆ แตกต่างกันไป ทำอย่างไรจึงจะให้การเคลื่อนที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า

2. เวลา (Time) นับเป็นปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่ง เป็นตัวที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของ การเคลื่อนที่ว่าสูงต่ำแค่ไหน ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตต่างก็อาศัยเวลาเป็นตัวกำหนดการทำงาน ทั้งการป้อนวัตถุดิบและเอาชิ้นงานออกที่มีความสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นเวลายังเป็นกำหนดการของการเคลื่อนที่ โดยอาจควบคุมที่จุดต้นทางหรือจุดปลายทางก็ได้ แล้วแต่กรณี

3. ปริมาณ (Quantity) วัสดุที่ต้องการเคลื่อนที่ ต้องสัมพันธ์กับปริมาณความต้องการของจุดต่างๆ ต้องสอดคล้องกับเวลาที่เหมาะสมของระบบ และประหยัดค่าใช้จ่าย

4. พื้นที่ (space) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการเคลื่อนที่ เพราะว่าการเคลื่อนที่หรือ การขนถ่ายวัสดุจำเป็นต้องติดตั้งกลไกของระบบขนถ่าย เนื้อที่สำหรับวางของ หรือวัสดุสินค้าที่รอการขนถ่าย

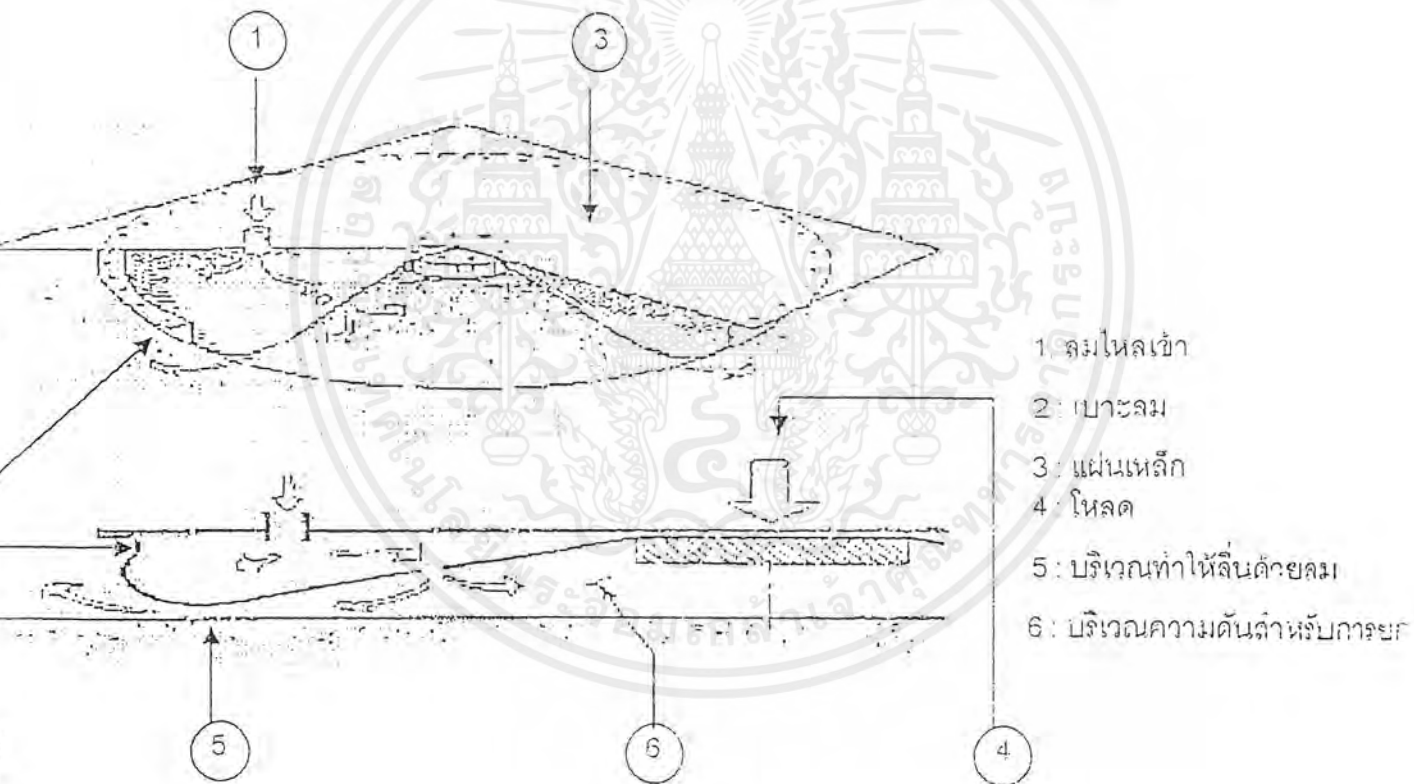
องค์ประกอบสำคัญทั้ง 4 ประการดังกล่าวต้องนำมาพิจารณาร่วมกัน เพราะเป็นพื้นฐานของการขนถ่ายวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายวัตถุในสถานที่ๆ มีการจำกัดทางด้านพื้นที่ ในสถานที่ที่ไม่ต้องการใช้เครื่องยนต์ หรือสารไวไฟ การเลือกเครื่องมือในการขนย้ายจึงต้องคำนึงถึงเงื่อนไขข้อกำหนดต่างๆ เครื่องมือชนิดหนึ่งที่มีจุดกำเนิดจากบริษัท GENERAL MOTOR และมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ รูปแบบที่ดีที่สุด เราเรียกว่า AIR BEARING หรือ ยานเบาละม ซึ่งได้ อาศัยหลักการของความดันลมในการยกตัว และมีวัตถุประสงค์หลัก คือ การลดสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน หรือ ลดแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวกับวัตถุที่จะเคลื่อนย้ายโดย ยานเบาละม มีรูปแบบดังนี้

2.2 โครงสร้าง ของยานเบาะลม

ยานเบาะลมมีส่วนประกอบ ดังนี้

1. แผ่นเหล็ก (Backplate Structure)
2. ช่องลมไหลเข้า (Air in)
3. ห่วงยางลม(Complaint Diaphragm)
4. บริเวณความดันที่ใช้ในการยกตัว (Pressure Zone)
5. บริเวณหล่อลื่น (Lubrication Zone)

ในการออกแบบ จะต้องทำให้ห่วงยางลมสามารถที่จะยืดหรือหดตัวได้โดยตามแนวขอบก็จะต้องมีการจับยึดที่ดี และอาจเจาะรูเพื่อให้อากาศถูกจ่ายออกรูที่อยู่รอบๆ จะเป็นรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ วัสดุที่ใช้ทำห่วงยางลมต้องสามารถรับความดันได้ถึง 50 psig (345 kpa)



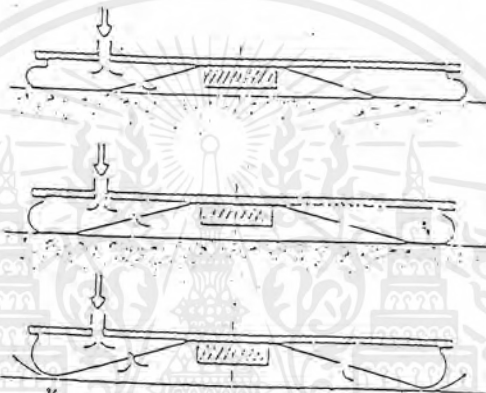
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของยานเบาะลม [3]

2.3 หลักการทำงานพื้นฐาน

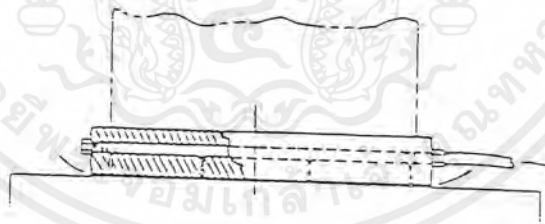
เบาะลมยังไม่มีการทำงานจะถ่ายน้ำหนักไว้ที่ตรงกลางลมจะไหลผ่านรูป้อนเข้าไปในห้องว่างและเมื่อเบาะลมมีปริมาณลมมากพอ ยางในจะขยายตัวขึ้นส่วนหนึ่งจะหนีออกมาห้องว่างตรงกลาง หรือบริเวณความดันทำให้เกิดการยกตัวเมื่อลมเต็มห้องแล้ว ลมก็จะพยายามหนีโดยผ่านไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนด้านล่างของเบาะลม ผ่านบริเวณหล่อลื่น ตำแหน่งนี้จะสำคัญมากเพราะลมจะยกตัว ขึ้นส่งผลให้การเคลื่อนย้ายวัตถุในแนวราบเป็นไปได้ง่าย อันเป็นผลมา จากการหล่อลื่นโดยอาศัยลมเป็นตัวกลางการหล่อลื่น เริ่มจากการป้อนความดันลมระหว่างผิวของยานกับผิวของพื้นโดย อาศัยหลักการพื้นฐานในการหาขนาดของแรงยก $F = P \times A$ โดยทั่วไปยานจะใช้ความดันที่ 1 psig น้อยกว่า 6.9 kpa อัตราการจ่ายลม 10^4 ft / min (10^4 ลิตร / วินาที) หรือยานยกที่ทำงานในความดันสูง 50 psig (345 kpa) ก็จะใช้ปริมาณลมเพียง 1 / 1000 เท่าของปริมาณลมขั้นต่ำ การทำงานของยานยกจะขึ้นอยู่กับ ตัวแปรของกำลังงานที่ต้องการในการยก ความเรียบของพื้นผิว ซึ่งการเคลื่อนมีเงื่อนไขหลักคือ หน้าสัมผัสทั้งสองของยานจะต้องแบนและราบเรียบมาก ๆ



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงานของยานเบาะลม [3]



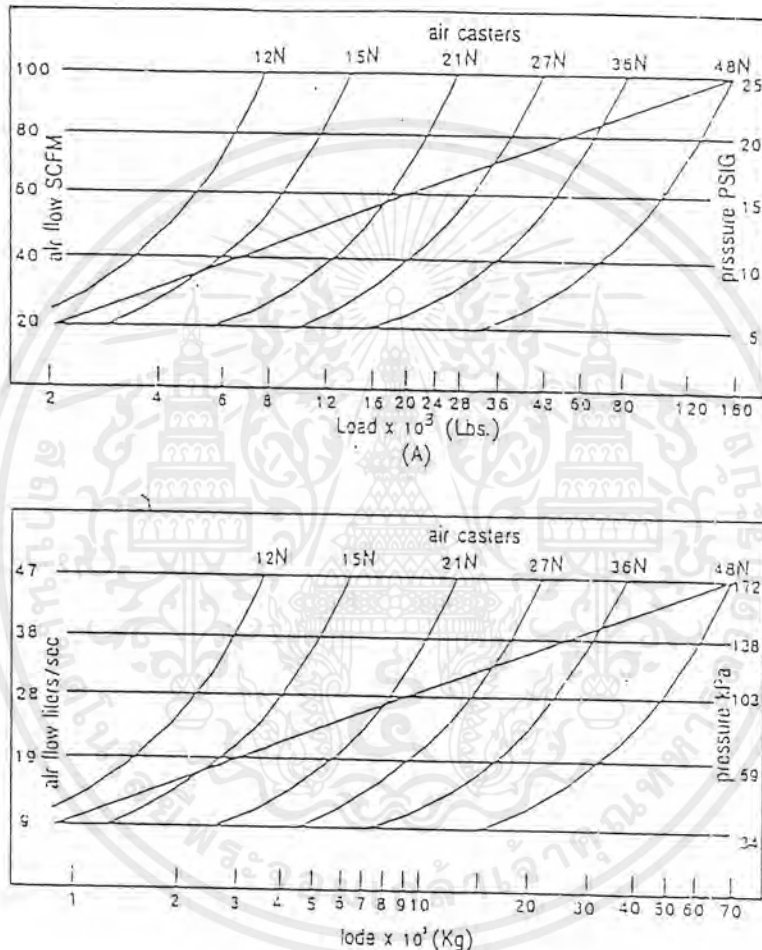
รูปที่ 2.3 ผิวสัมผัสระหว่างยานเบาะลมกับพื้นผิว [3]

2.4 การจ่ายลม

ปริมาณลมที่ต้องการ จะขึ้นอยู่กับขนาดและห้วงยางลม น้ำหนักของ วัตถุที่จะขนย้าย และชนิดของพื้นผิวสัมผัส ห้วงยางลมจะถูกออกแบบให้ทนความดันได้ถึง 50 psig ถ้าหากทราบขนาดของโหลดที่จะใช้งานจะทำให้สามารถเลือกขนาดของถังลม เพื่อให้พอดีกับการใช้งานตามช่วงเวลาที่กำหนด เมื่อหาขนาดของเครื่องอัดอากาศได้แล้ว ควรมีแผ่นแสดง ปริมาณลมติดไว้ที่เครื่องอัดอากาศ อาจเป็นหน่วย CFM หรือ I / S อุปกรณ์จ่ายลมควรจะเคลื่อนที่ได้ เพราะจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำไปใช้ในสถานที่ต่างๆ อุปกรณ์จ่ายลมแบบ Rotating - lobe หรือ Vane - type ก็ สามารถจ่ายปริมาณลมได้แต่มีข้อกำหนดในเรื่องของความดันซึ่งจะอยู่ในช่วง 10 -15 psig (69 - 103 kpa) บางกรณีหากวัตถุนย้ายมีน้ำหนักไม่มาก และระยะทางใกล้ๆ อาจใช้ถังเหล็กเป็นตัวจ่ายก็ได้ อัตราการกระจายจะแปรผันไปตามขนาดของโหลด ซึ่งจะแบ่ง ในแต่ละห่วงยางลม ควรมี การปรับความดัน และอัตราการไหลที่แยก ออกจากกัน (ในกรณีที่ใช้ห่วงยางลมหลายตัว) การ ควบคุมปริมาณลมส่งผลให้เกิดการเพิ่มหรือลดของความความดัน



รูปที่ 2.4 กราฟสำหรับเลือกเบาะลมในหน่วยอังกฤษ(A) และหน่วยเมตริก(B) [3]

2.5 ลักษณะของพื้นผิว

คุณภาพและเงื่อนไขของพื้นผิวจะเป็นปัจจัยสำคัญของความต้องการปริมาณลมที่ใช้กับ ความหนาของแผ่นฟิล์มอากาศ 0.003 - 0.005 นิ้ว (0.08 - 0.13 มิลลิเมตร) พื้นผิวของพื้นที่ๆจะ ใช้งานควรจะมีควมราบเรียบโดยพื้นผิวของกระจกที่ถูกปรับพื้นผิวจะใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิง และ ถูกกำหนดเป็นตัวชี้หมายเลขหนึ่ง (NO.1) ซึ่งเป็นพื้นผิวที่มีความต้องการปริมาณลมน้อยที่สุดที่ใช้

ในการยกตัวของวัตถุนย้าย ส่วนพื้นผิวต่างๆจะแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 1 จำนวนตัวเลข เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

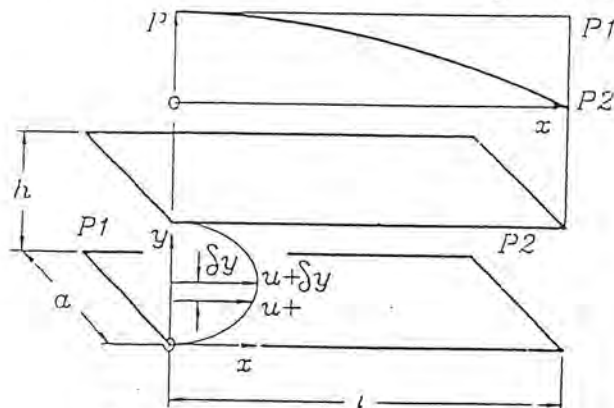
ของแต่ละพื้นผิวจะเป็นตัวกำหนดความต้องการปริมาณลมที่ใช้ในการยกวัตถุที่มีน้ำหนักเท่ากับกับกรณีทดสอบกับผิวกระจกซึ่งเป็นหมายเลข 1 เช่น พื้นคอนกรีตที่มีพื้นผิวราบเรียบจะมีตัวชี้คุณภาพเป็นหมายเลข 2 (No.2) เพราะต้องการปริมาณลมในการยกวัตถุเป็นสองเท่าเมื่อเทียบกับปริมาณลมที่ใช้กับพื้นผิวกระจก ในการไหลผ่านของลม คอนกรีตผิวพูนจะอนุญาตให้ลมสามารถไหลผ่านตัวของมันเองได้ ทำให้ฟิล์มอากาศสูญเสียลมไปบางส่วนจึงต้องมีการเพิ่มลมเพื่อชดเชยลมที่สูญเสียไป ดังนั้นพื้นผิวที่ใช้ในการขนย้ายควรทำด้วยคอนกรีตราบเรียบ เพื่อลดการสูญเสียลม

2.6 คุณสมบัติพื้นฐานทางฟิสิกส์ของอากาศ

1. การไหลระหว่างแผ่นเพลทที่ขนานกัน (Flow Between Parallel Plates)

1.1 ช่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในแบริ่ง ส่วนมากนั้นการไหลของสิ่งหล่อลื่นในช่องว่างของแบริ่งจะเป็นไปในแบบการไหลแบบราบเรียบ และการไหลนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียความดัน เนื่องจากแรงเฉือนของความหนืดซึ่งเกิดจากการเสียดสีกันของอากาศที่ไหลนั้น พิจารณาการไหลแบบราบเรียบของอากาศในระหว่าง Plate 2 แผ่น ที่วางขนานกัน ภายใต้สมมติฐาน

- ไม่คิดแรงเฉื่อยที่เกิดจากอัตราเร่งของการไหลนั้น เพราะเมื่อคิดแรงเฉื่อยนี้เทียบกับแรงต้านที่เกิดจากความฝืดอันเนื่องมาจากความหนืดแล้ว แรงเฉือนน้อยกว่ามาก
- การไหลทุก ๆ จุดในแรงเฉือนจุดที่เป็นเนื้อบาง ๆ จะเป็นการไหลแบบราบเรียบ
- ความดันที่ทุก ๆ จุดที่อยู่บนพื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลนั้นเท่ากันตลอด
- ไม่มีช่องว่างเกิดขึ้นตรงผิวสัมผัสระหว่างแผ่นฐานของแบริ่งและสิ่งหล่อลื่น



รูปที่ 2.5 Flow Between Parallel Plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์ขนาดและแกนของงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ได้จากสมการของนาเวียร์-สโตก คือ

$$\frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \quad \text{-----}(2.1)$$

สมการ (2.1) แสดงความดัน P ที่จุดต่าง ๆ ในทิศทาง X และทำให้เกิดอากาศไหลที่ความเร็วต่าง ๆ กันในทิศทาง Y โดย U เป็นความเร็วของอากาศที่จุดใดจุดหนึ่ง P เป็นความดันที่จุดนั้นและ μ เป็นความหนืดของอากาศ

อินทิเกรตสมการ (2.1)

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} &= \frac{1}{\mu} \frac{\partial P}{\partial X} \\ \therefore \frac{\partial(\frac{\partial U}{\partial Y})}{\partial Y} &= \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \cdot \partial Y \\ \int \frac{\partial(\frac{\partial U}{\partial Y})}{\partial Y} &= \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \int \partial Y \\ \frac{\partial U}{\partial Y} &= \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} Y + A \end{aligned} \quad \text{-----}(2.2)$$

อินทิเกรตสมการ (2.2)

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{\partial U}{\partial Y} &= \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} Y + A \\ \partial U &= \left(\frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} Y + A \right) \partial Y \\ \int \partial U &= \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \int Y \cdot \partial Y + \int A \partial Y \\ \partial U &= \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \cdot \frac{Y^2}{2} + AY + B \end{aligned} \quad \text{-----}(2.3)$$

แทนค่า $Y = 0$ และ $\mu = 0$ ใน (2.3)

ดังนั้น สมการ (2.3) สามารถจัดรูปใหม่ได้ดังนี้

$$U = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \cdot \frac{Y^2}{2} + AY \quad \text{-----}(2.4)$$

แทนค่า $Y = h$ และ $\mu = 0$ ใน (2.4)

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \cdot \frac{h^2}{2} + AY \\ A &= -\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \cdot \left(\frac{h^2}{h} \right) = -\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} h \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \therefore A &= -\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} h \\ \text{แทนค่า } A &= -\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} h \text{ ใน (2.4)} \\ U &= \frac{1}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \cdot \frac{Y^2}{2} + \left(-\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \cdot h \right) Y \\ U &= \frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \cdot Y(Y-h) \quad \text{-----(2.5)} \end{aligned}$$

สมการ (2.5) แสดงความเร็วของอากาศที่จุดใด ๆ ในแผ่นฟิล์มและการเปลี่ยนแปลงของความเร็วนี้เป็นแบบขนาน ซึ่งความเร็วสูงสุดของอากาศเกิดที่ตรงกลางของช่องว่างคือที่ $Y = \frac{h}{2}$ น้ำหนักของอากาศที่ไหลระหว่างแผ่น Plate ที่กว้างเท่ากับ \bar{a} หาได้จาก

$$\dot{m} = \bar{a} \rho \int_0^h U dY \quad \text{-----(2.6)}$$

เมื่อ \dot{m} = อัตราการไหลของอากาศ
 ρ = ความหนาแน่นของอากาศ

นำค่า $U = \frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \cdot Y(Y-h)$ ในสมการ(2.5) แทนลงในสมการ (2.6)

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \bar{a} \rho \int_0^h \left(\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} Y(Y-h) \right) dY \\ \dot{m} &= \bar{a} \rho \left(\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \right) \int_0^h (Y^2 - Yh) dY \\ \dot{m} &= \bar{a} \rho \left(\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \right) \left(\frac{Y^3}{3} - \frac{Y^2 h}{2} \right) \Bigg|_0^h \end{aligned}$$

$$\dot{m} = \bar{a} \rho \left(\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \right) \left[\left(\frac{h^3}{3} - \frac{h^2}{2} \right) - 0 \right]$$

$$\dot{m} = \bar{a} \rho \left(\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \right) \left(\frac{2h^3 - 3h^2}{6} \right)$$

$$\dot{m} = \bar{a} \rho \left(\frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial X} \right) \left(\frac{2h^3 - 3h^2}{6} \right)$$

$$\dot{m} = -\frac{1}{12\mu} \bar{a} \rho \frac{\partial P}{\partial X} \cdot h^3$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{\partial P}{\partial X} = -\frac{12\mu \dot{m}}{\bar{a} \rho h^3} \quad \text{-----(2.7)}$$

สมการ (2.7) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการไหลของมวลของอากาศกับการเปลี่ยนแปลงของความดันที่จุดต่าง ๆ ในระหว่างแผ่น Plate นั้นในทิศทางของการไหลของอากาศโดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมุติว่าค่า ρ มีค่าคงที่ตลอดในทิศทาง Y และสมการ(2.7)นี้ใช้ได้ทั้งสำหรับของเหลวและแก๊ส แต่อย่างไรก็ตามค่าความหนาแน่นของแก๊สขึ้นกับความดัน และยังพบอีกว่าความดัน(P) นั้นเปลี่ยนเมื่อระยะทาง (X) เปลี่ยน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ดังนั้นเราจะนำสมการ (2.7) มาทำการอินทิเกรตเพื่อหาค่า P เลยนั้นยังทำไม่ได้ จนกว่าจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของอากาศกับความดันให้ได้เสียก่อน โดยจะสมมุติว่าอากาศนั้นมีอุณหภูมิคงที่ เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นในฟิล์มอากาศนั้นน้อยมากและผิวของแผ่น Plate ส่วนมากจะเป็นโลหะซึ่งมีการนำความร้อนไม่สูง

$$\frac{P}{\rho} = RT \quad \text{-----}(2.8)$$

เมื่อ R = ค่าคงที่ของแก๊ส (Gas Constant)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature)

จากสมการ (2.8) จะได้ $\rho = \frac{P}{RT}$ นำไปแทนใน (2.7) จะได้

$$\frac{\partial P}{\partial X} = -\frac{12\mu m}{a\left(\frac{P}{RT}\right)h^3}$$

$$P\partial P = -\frac{12\mu m RT}{ah^3} \cdot \partial X \quad \text{-----}(2.9)$$

$$\int_{P_1}^{P_2} P\partial P = -\frac{12\mu m RT}{ah^3} \int_0^l \partial X$$

$$\frac{P^2}{2} \Big|_{P_1}^{P_2} = -\frac{12\mu m RT}{ah^3} (X) \Big|_0^l$$

$$\frac{1}{2}(P_2^2 - P_1^2) = -\frac{12\mu m RT}{ah^3} (l - 0)$$

$$P_1^2 - P_2^2 = \frac{24\mu m RTl}{ah^3} \quad \text{-----}(2.10)$$

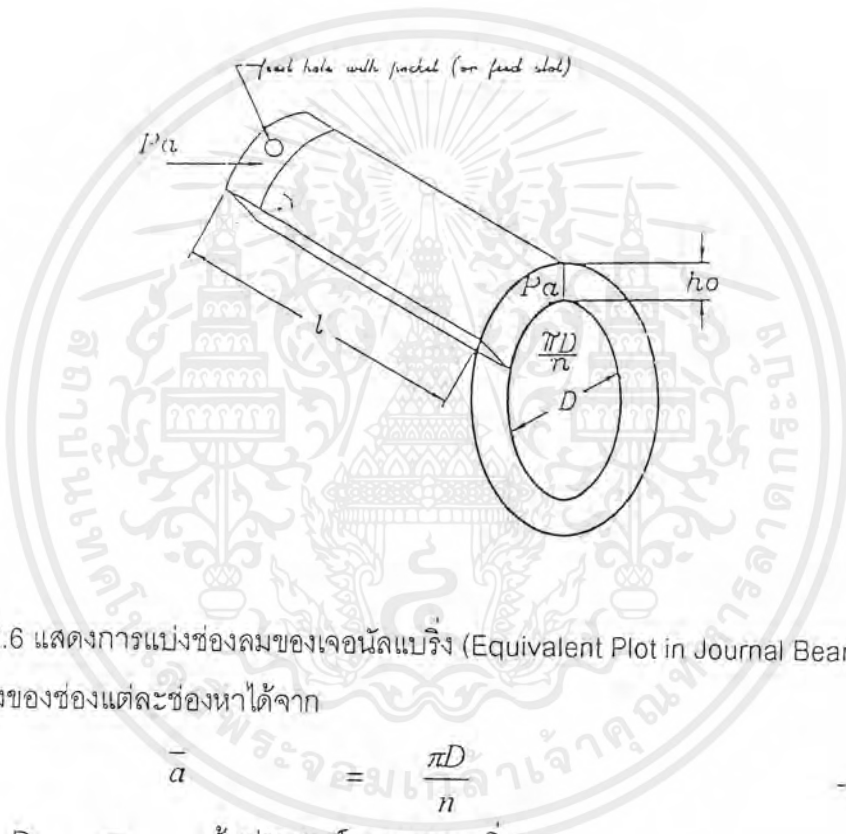
สมการ (2.10) เป็นสมการรากฐานที่สำคัญช่วยในการทำความเข้าใจการทำงานของ Aerostatic Bearing เพราะมันจะแสดงถึงความดันที่สูญเสียตามช่วงต่าง ๆ ในเทอมของการไหลปริมาณเชิงมวล คุณสมบัติของอากาศและขนาดของช่องว่างระหว่างแผ่น Plate นั้น ในบางบริเวณอันจะเป็นทั้งทอร์คและเจอนัล มีการใช้รูบ่อนสิ่งหล່สั่นเข้ามาในแบริ่ง นั่นคืออากาศจะถูกส่งเข้ามาโดยผ่านรูก่อนที่จะเข้ามายังช่องว่างในแบริ่ง สมการ (2.10) นี้จะใช้ได้เลยสำหรับรูเข้าที่ป้อนเป็นสี่เหลี่ยม คือ a มีค่าคงที่ ในกรณีของช่องป้อนนี้ P_1 ก็จะเป็น P_0 คือ ความดันของตัวป้อนอากาศและ P_2 เป็นความดันภายในแบริ่งตามช่องที่อากาศเข้ามา เราเรียกว่า P_e ดังนั้นสำหรับท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้อนแก๊สที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว Y และมีช่องว่าง Z เราสามารถเขียนสมการ (2.10) ใหม่ได้ดัง
 รูปที่ 2.6

$$P_0^2 - P_d^2 = \frac{24 \mu m RT}{a Z^3} \quad \text{-----}(2.11)$$

สำหรับเจอนัลแบริง (Journal Bearing) ส่วนมากจะแบ่งแบริงออกเป็นช่องเท่าๆ กัน (Equivalent Plot) หลาย ๆ ช่อง และแต่ละช่องนี้จะได้รับอากาศมาจากรูป้อนลมดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการแบ่งช่องลมของเจอนัลแบริง (Equivalent Plot in Journal Bearing) [3]
 ความกว้างของช่องแต่ละช่องหาได้จาก

$$\frac{\bar{a}}{a} = \frac{\pi D}{n} \quad \text{-----}(2.12)$$

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของแบริง

n = จำนวนของรูป้อนแก๊สใน 1 แกวรอบ ๆ แบริง

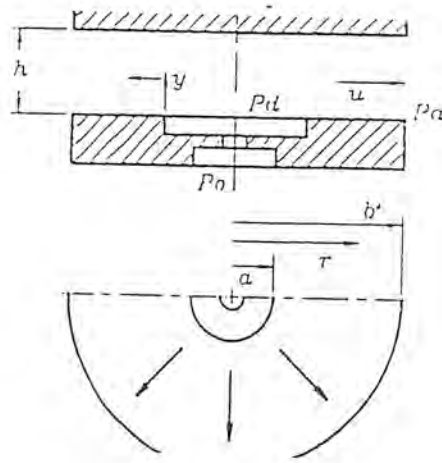
เมื่อเพลาเป็นรูปกลม ความหนาของฟิล์มอากาศในแบริงของแต่ละช่องที่แบ่งไว้จะเท่ากับ h_0

จากสมการ (2.11) แทนค่า $Z = h$ และ $\bar{a} = \frac{\pi D}{n}$ จะได้

$$P_d^2 - P_a^2 = \frac{24 \mu m RT \cdot l}{\frac{\pi D}{n} h_0^3} \quad \text{-----}(2.13)$$

เมื่อ P_a = ความดันของตัวป้อนอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างหลักการใช้อากาศดันในการรองรับผ่านจุดศูนย์กลางรู

ในกรณีนี้เราก็สมมติให้เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) แต่ต้องวิเคราะห์อีกวิธีหนึ่ง โดยเริ่มต้นจากที่เดียวกันอีก คือ

จากทฤษฎีของนาเวียร์-สโตก (Navier Stokes Equation)

$$\text{จะได้ } \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} = \frac{1}{\mu} \frac{\partial P}{\partial r} \quad \text{-----(2.15)}$$

P_a = ความดันของอากาศที่ถูกขับออกมาจากปลายอีกด้านหนึ่งของแบร็ง (Ambient Pressure)

เมื่อคิดแบร็งตลอด 360 องศาเลน จะได้น้ำหนักของแก๊สทั้งหมดที่ไหลผ่านปลายทั้งสองแบร็งเป็น

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{(P_d^2 - P_a^2) \pi \cdot D \cdot h_0^3}{24 \mu RT \left(\frac{1}{2}\right) l} \\ \dot{m} &= \frac{(P_d^2 - P_a^2) \pi \cdot D \cdot h_0^3}{12 \mu RT \cdot l} \quad \text{-----(2.14)} \end{aligned}$$

จากสมการ (2.14) จะเห็นว่า การไหลของลมเป็นอัตราส่วนกับ P, h_0 ซึ่งความจริงข้อนี้มีความสำคัญในทางเศรษฐศาสตร์มาก เพราะถ้าเราเพิ่มเป็นกำลังสาม (h_0^3) ผลก็คือ จะต้องเพิ่มขนาดของปั๊มให้ใหญ่ขึ้นอีก

1.2 แผ่นกลม การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) ในช่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่กล่าวมาแล้วเป็นการแสดงถึงทฤษฎีที่นำมาใช้กับรูปอ่อนลมและเซกเมนต์ ออฟ เจอรัล แบร็ง (Segment of Journal Bearing) ความสำคัญสำหรับกรณีอื่นๆ ก็มี เช่น ในแบร็งแบบหน้าสัมผัส เมื่อแก๊สถูกส่งเข้ามาตรงกลางแผ่นโลหะรูปวงกลมมนั้น จะไหลออกมาทางด้านข้างตามรัศมีของวงกลมดังรูปที่ 2.7

จะได้ μ คล้ายดังแสดงในสมการ (2.5) ดังนี้

$$U = \frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial r} \cdot Y(Y-h) \quad \text{-----}(2.16)$$

ดังนั้นมวลของลมที่ไหลผ่านช่องรูปวงแหวนที่มีส่วนกว้าง h และมีรัศมี r คือ

$$\dot{m} = 2\pi r \cdot \rho \int_0^h U dY \quad \text{-----}(2.17)$$

แทนค่า U จากสมการ (2.16) ใน (2.17)

$$\dot{m} = 2\pi r \cdot \rho \int_0^h \left[\frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial r} Y(Y-h) \right] dY$$

$$\dot{m} = 2\pi r \cdot \rho \left(\frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial r} \right) \int_0^h (Y^2 - Yh) dY$$

$$\dot{m} = \frac{\pi r \cdot \rho}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial r} \left(\frac{Y^3}{3} - \frac{Y^2}{2} h \right) \Big|_0^h$$

$$\dot{m} = \frac{\pi r \cdot \rho}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial r} \left(\frac{h^3}{3} - \frac{h^3}{2} - 0 \right)$$

$$\dot{m} = \frac{\pi r \cdot \rho}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial r} \cdot \frac{h^3}{6}$$

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \frac{6\mu\dot{m}}{\pi r \rho \cdot h^3} \quad \text{-----}(2.18)$$

แต่เราทราบว่า ρ ขึ้นกับ P และ P เปลี่ยนตามระยะทาง r โดยจากสมการ (2.8) จะ

ได้ $\frac{P}{\rho} = RT$ นำไปแทนใน (2.18) จะได้

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \frac{6\mu\dot{m}(RT)}{\pi r \rho \cdot h^3}$$

$$P \partial P = - \frac{6\mu\dot{m}RT}{\pi r \cdot h^3} \cdot \partial r$$

$$P \partial P = - \frac{6\mu\dot{m}RT}{\pi \cdot h^3} \cdot \frac{\partial r}{r} \quad \text{-----}(2.19)$$

$$\int_{P_a}^{P_r} P \partial P = - \frac{6\mu\dot{m}RT}{\pi \cdot h^3} \int_a^b \frac{\partial r}{r}$$

$$\left(\frac{P^2}{2} \right) \Big|_{P_a}^{P_r} = - \frac{6\mu\dot{m}RT}{\pi \cdot h^3} (\ln r) \Big|_a^b$$

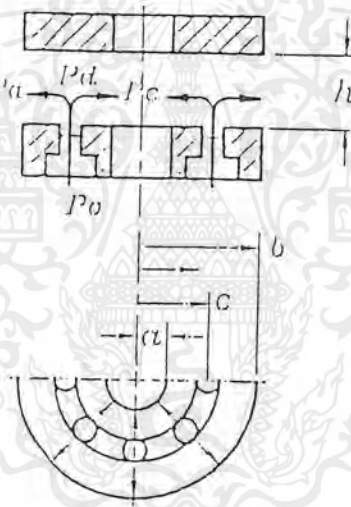
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_d^2 - P_r^2 = \frac{12 \mu m \dot{m} RT}{\pi \cdot h^3} \left(\ln \frac{b}{a} \right) \quad \text{-----}(2.20)$$

สมการ (2.20) อาจจะจัดใหม่เพื่อหาสมการของมวลของลมที่ไหลได้ดังนี้

$$\dot{m} = \frac{(P_d^2 - P_r^2) \pi h^3}{12 \mu RT \ln \left(\frac{b}{a} \right)} \quad \text{-----}(2.21)$$

จากสมการ (2.21) จะเห็นว่าการไหลนั้นเป็นส่วนหนึ่งกับกำลังส่วนของช่องว่างในทรัสต์-แบริง (h^3) เช่นเดียวกับในเจอนัลแบริง



รูปที่ 2.8 การใช้อากาศที่ไหลผ่านพื้นผิววงแหวนที่มีรูหรือช่องในการรองรับ [3]

ในรูปที่ 2.8 นั้นแสดงแบบที่มีใช้กันมากของแอโรสแตติก แบริง (Aerostatic Bearing) ซึ่งเป็นรูปวงแหวนที่รูตรงกลางรัศมีของรูเท่ากับ a มีไว้เพื่อให้ใส่เพลามีรูให้อากาศเข้าอยู่รอบ ๆ โดยจะกระจายอยู่บนเส้นรอบของวงกลมที่มีรัศมี

ความดันที่รัศมี a และลมจะไหลตามแนวรัศมีของวงกลมทั้งเข้าและออก(คือทั้งเข้าและออกจากศูนย์กลาง) ทำให้ความดันในช่องแบริงลดลงเป็น ระยะห่างรัศมี c ถึง จากสมการ (19) อินทิเกรตได้สมการความดันที่รัศมี c ต่าง ๆ สำหรับบริเวณที่แก๊สไหลออก ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \int_c^r P \partial P &= -\frac{6\mu m \dot{RT}}{\pi \cdot h^3} \int_c^r \frac{\partial r}{r} \\
 \left(\frac{P^2}{2}\right) \Big|_{P_d}^{P_r} &= -\frac{6\mu m \dot{RT}}{\pi \cdot h^3} (\ln r) \Big|_c^r \\
 \frac{1}{2}(P_r^2 - P_d^2) &= -\frac{6\mu m \dot{RT}}{\pi h^3} \ln \frac{r}{c} \\
 (P_d^2 - P_r^2) &= \frac{12\mu m \dot{RT}}{\pi h^3} \ln \frac{r}{c} \quad \text{-----}(2.22)
 \end{aligned}$$

และสำหรับบริเวณที่อากาศไหลเข้าสู่ศูนย์กลางเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 P \partial P &= -\frac{6\mu m \dot{RT}}{\pi \cdot h^3} \cdot \frac{\partial r}{r} \\
 -\int_{P_d}^{P_r} P \partial P &= -\frac{6\mu m \dot{RT}}{\pi \cdot h^3} \int_c^r \frac{\partial r}{r} \\
 \left(\frac{P^2}{2}\right) \Big|_{P_d}^{P_r} &= \frac{6\mu m \dot{RT}}{\pi \cdot h^3} (\ln r) \Big|_c^r \\
 \frac{1}{2}(P_r^2 - P_d^2) &= \frac{6\mu m \dot{RT}}{\pi \cdot h^3} (\ln r - \ln c) \\
 P_d^2 - P_r^2 &= -\frac{12\mu m \dot{RT}}{\pi \cdot h^3} \left(\ln \frac{r}{c}\right) \\
 P_d^2 - P_r^2 &= \frac{12\mu m \dot{RT}}{\pi \cdot h^3} \left(\ln \frac{c}{r}\right) \quad \text{-----}(2.23)
 \end{aligned}$$

แทนค่า $P = P_r$ และ $r = b$ ใน (2.22) จะได้ปริมาณเชิงมวลของลมที่ไหลออกจากศูนย์กลาง คือ

$$(P_d^2 - P_r^2) = \frac{12\mu m \dot{RT}}{\pi h^3} \ln \frac{b}{c}$$

ให้ \dot{m} ลมไหลออก = \dot{m}_1

$$\therefore \dot{m}_1 = \frac{(P_d^2 - P_r^2) \pi h^3}{12\mu T \ln \frac{b}{c}} \quad \text{-----}(2.24)$$

แทนค่า $P = P_r$ และ $r = a$ ใน (2.23) จะได้ปริมาณเชิงมวลของลมที่ไหลเข้าสู่ศูนย์กลาง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_d^2 - P_r^2 = \frac{12\mu \dot{m} RT}{\pi h^3} \ln \frac{c}{a}$$

ให้ \dot{m} ลมไหลเข้า = \dot{m}_2

$$\therefore \dot{m}_2 = \frac{(P_d^2 - P_r^2) \pi h^3}{12\mu RT \ln \frac{c}{a}} \quad \text{-----(2.25)}$$

จะเห็นว่าลมที่ไหลเข้าสู่จุดศูนย์กลางจะเท่ากับลมที่ไหลออกจากจุดศูนย์กลางเมื่อ

$$\frac{b}{c} = \frac{c}{a}$$

หรือ $c^2 = ab$

ซึ่งเป็นสภาพในการออกแบบทรัสต์แบร์ริง (Thrust Bearing) แบบวงแหวน



บทที่ 3

การออกแบบและสร้างยานเบาละม

3.1 การคำนวณโครงสร้าง [4]

จากสมการของนาเวียร์ สโตก (Navier Stokes Equation)

$$\frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} = \frac{1}{\mu} \frac{\partial P}{\partial X}$$

จากสมการของนาเวียร์ สโตกจะพบว่า การไหลของลมจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันเฉพาะในแนวแกน X โดยแรงดัน P_1 จะสูงกว่าแรงดัน P_2 และลักษณะความเร็วของการไหลผ่านฟิล์มในแนวแกน Y นั้นจะเป็นเส้นโค้งขนาน โดยมีจุดเริ่มต้นอยู่ที่อากาศสัมผัสกับแผ่น Plate ดังแสดงในรูปที่ 2.9

สมการนี้แสดงความดัน P ที่จุดต่าง ๆ ในทิศทาง X และทำให้เกิดอากาศไหลที่ความเร็วต่าง ๆ กันในทิศทาง Y โดย X เป็นความเร็วของอากาศที่จุดใดจุดหนึ่ง P เป็นความดันที่จุดนั้น และ μ เป็นความหนืดของแก๊ส

จากโครงสร้างของยานเบาละมที่ออกแบบไว้ สามารถหาอัตราการไหลของลม (Q) ได้ดังนี้

จากสมการที่ (2.17)

$$\dot{m} = 2\pi r \cdot \rho \int_0^h U \partial Y$$

$$\frac{\dot{m}}{t} = 2\pi r \cdot \frac{m}{V} \int_0^h U \partial Y$$

$$\frac{V}{t} = 2\pi r \int_0^h U \partial Y$$

$$\therefore Q = 2\pi r \int_0^h U \partial Y \quad \text{-----(3.1)}$$

เมื่อ V = ปริมาตรวงกลม (m^3)

t = เวลา (วินาที)

m = (kg)

และจาก $PV = mRT$

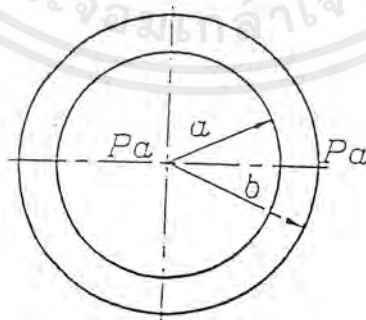
$$\begin{aligned} \therefore \frac{P V}{t} &= \frac{m}{t} RT \\ \frac{V}{t} &= \frac{\dot{m} RT}{P} \\ Q &= \frac{\dot{m} RT}{P} \end{aligned} \quad \text{-----}(3.2)$$

แทนค่า $U = \frac{1}{2\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial r} \cdot Y(Y-h)$ จากสมการ (2.16) ใน (3.1)

$$\begin{aligned} Q &= 2\pi r \int_0^h \left(\frac{1}{2\mu} \frac{\partial P}{\partial r} \cdot Y(Y-h) \right) dY \\ Q &= \frac{\pi r}{\mu} \frac{\partial P}{\partial r} \int_0^h (Y^2 - Yh) dY \\ Q &= \frac{\pi r}{\mu} \frac{\partial P}{\partial r} \left(\frac{Y^3}{3} - \frac{Y^2 h}{2} \right) \Big|_0^h \\ Q &= -\frac{\pi r}{6\mu} \frac{\partial P}{\partial r} h^3 \end{aligned} \quad \text{-----}(3.3)$$

แต่สมการ (3.2) เท่ากับสมการ (3.3)

$$\begin{aligned} \frac{\dot{m} RT}{P} &= -\frac{\pi r}{6\mu} \frac{\partial P}{\partial r} h^3 \\ P \partial P &= -\frac{6\mu m^3 RT}{\pi h^3} \frac{\partial r}{r} \end{aligned} \quad \text{-----}(3.4)$$



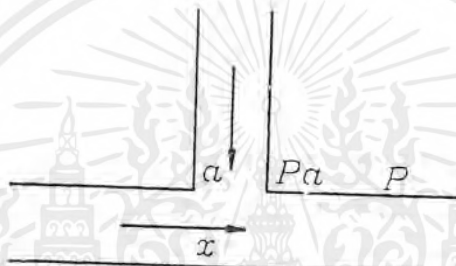
รูปที่ 3.1 การเทียบระยะเส้นรอบวงต่อแรงดันอากาศสู่บรรยากาศ [4]

อินทิเกรตสมการ (3.4)

$$\int_a^b P \partial P = -\frac{6\mu m^3 RT}{\pi h^3} \int \frac{\partial r}{r}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{P}{2}\right)_{P_a}^{P_b} &= -\frac{6\mu m^3 RT}{\pi h^3} \ln r \Big|_a^b \\
 \frac{1}{2}(P_b^2 - P_a^2) &= -\frac{6\mu m^3 RT}{\pi h^3} \ln \frac{b}{a} \\
 P_a^2 - P_b^2 &= -\frac{12\mu m^3 RT}{\pi h^3} \ln \frac{b}{a} \\
 P_b &= \sqrt{P_a^2 - \left[\frac{12\mu m^3 RT}{\pi h^3} \left(\ln \frac{b}{a}\right)\right]} \text{-----(3.5)}
 \end{aligned}$$



รูปที่ 3.2 แสดงท่อระยะทางจากความดันอากาศในท่อสุบบรรยากาศ [4]

$$\text{จาก } \frac{\partial A}{\partial F} = 2\pi \cdot X \cdot \partial X \text{-----(3.6)}$$

$$\frac{\partial F}{\partial A} = P \cdot \partial A \text{-----(3.7)}$$

แทนค่า $P = P_b$ ในสมการ (3.5) และ $\partial A = 2\pi \cdot X \cdot \partial X$ ในสมการ(3.6) ลงใน (3.7)

$$\partial F = \sqrt{P_a^2 - \left[\frac{12\mu m^3 RT}{\pi h^3} \left(\ln \frac{b}{a}\right)\right]} \cdot (2\pi X)$$

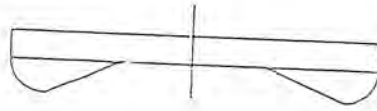
$$\partial F = \sqrt{P_a^2 - \left[\frac{12\mu m^3 RT}{\pi h^3} \left(\ln \frac{b}{a}\right)\right]} \cdot (2\pi X) \partial X$$

$$\int \partial F = \sqrt{P_a^2 - \left[\frac{12\mu m^3 RT}{\pi h^3} \left(\ln \frac{b}{a}\right)\right]} \cdot 2\pi \int X \partial X$$

$$F = \sqrt{P_a^2 - \left[\frac{12\mu m^3 RT}{\pi h^3} \left(\ln \frac{b}{a}\right)\right]} \cdot \left(\frac{X^2}{2}\right)_{x_1}^{x_2}$$

------(3.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การหาค่าของแรงยก

$$F_1 = P_a A_0 = P_a (\pi r_1^2) \tag{3.9}$$

และจากสมการ (3.8)

$$F_2 = \pi \sqrt{P_a^2 - \left[\frac{12 \mu m RT}{\pi h^3} \left(\ln \frac{b}{a} \right) \right]} \cdot (X^2) \Big|_{X_1=a}^{X_2=b}$$

จากสมการที่(3.5) และเมื่อ $X = b$ จะได้

$$F_2 = P_o (\pi (b^2 - a^2)) \tag{3.10}$$

ขนาดของน้ำหนักที่ยกได้

$$W = F_1 + F_2$$

3.2 การหาขนาดของ \dot{m} (ปริมาณลมที่ต้องป้อนเข้าห้องยางลม) [5]

เราสามารถหา \dot{m} จากสมการ (25) ดังนี้

$$\dot{m} = \frac{(P_d^2 - P_r^2) \pi h^3}{12 \mu RT \ln \frac{c}{a}}$$

พิจารณารูปที่ 4 เทียบกับรูปที่ 6 เราจะได้ว่า $c = X$

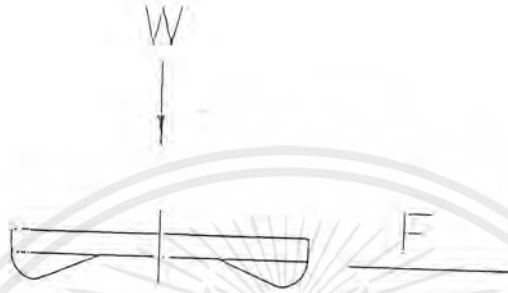
$$P_d = P_a \text{ และ } P_r = P_b$$

$$\text{ดังนั้น } \dot{m} = \frac{(P_a^2 - P_b^2) \pi h^3}{12 \mu RT \ln \frac{X}{a}} \tag{3.11}$$

3.3 หาแรงในการลากจูง

แรงลากจูงต่อ 1 ยูนิท หาจาก

$$F = -\mu \cdot A_1 \frac{\partial U}{\partial Y} \quad \text{-----}(3.12)$$



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะแรงที่ตั้งฉากกันระหว่างแรงกดกับแรงลากจูง
จากสมการ (2.1)

$$\frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} = \frac{1}{\mu} \frac{\partial P}{\partial X}$$

และจากรูปที่ 8 ค่า W เป็นแรงตั้งฉากกับแรงลากจูง F

$$\frac{\partial^3 U}{\partial Y^3} = 0 \quad \text{-----}(3.13)$$

จาก (3.13) จะได้

$$\frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial U}{\partial Y} \right) = 0$$

$$\int \frac{\partial}{\partial Y} \left(\frac{\partial U}{\partial Y} \right) = \int 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial Y} = B \quad \text{-----}(3.14)$$

$$\partial U = B \partial Y$$

$$\int \partial U = B \int \partial Y$$

$$U = B \cdot Y + C \quad \text{-----}(3.15)$$

ที่ระยะ $Y = 0$ จะได้ $U = 0$ นำไปแทนค่าใน (3.15) จะได้ $C = 0$

ที่ระยะ $Y = h$ จะได้ $U = V$ (ความเร็วในการลากจูง) นำไปแทนค่าใน (3.15) จะได้

$$V = Bh \quad \text{-----}(3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ $B = \frac{V}{h}$ นำไปแทนในสมการ (3.14)

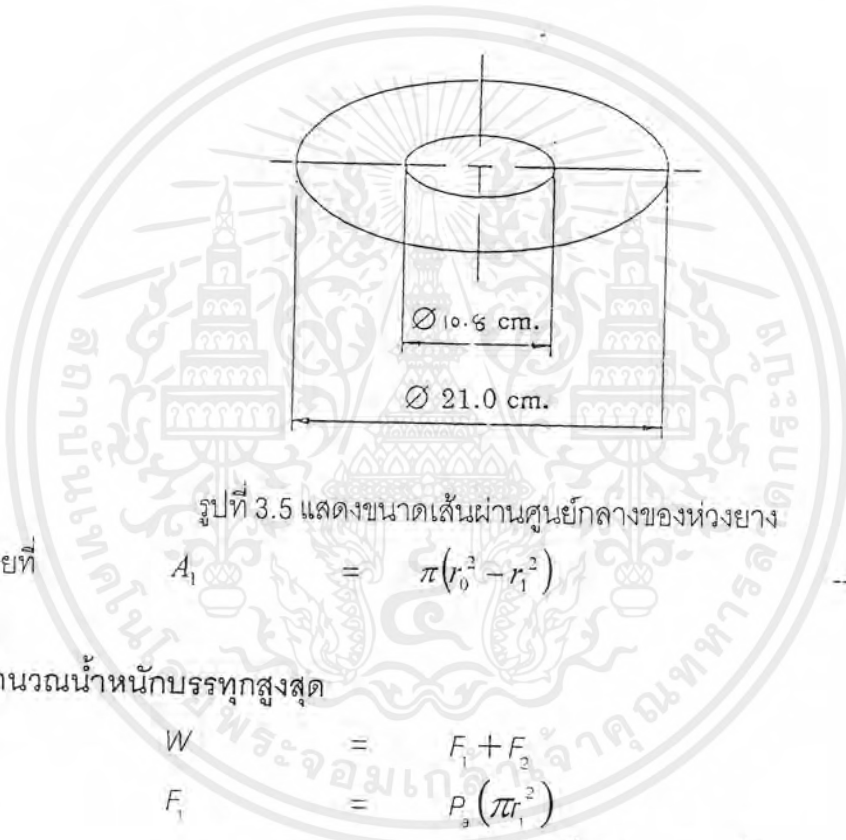
จะได้

$$\frac{\partial U}{\partial Y} = \frac{V}{h} \quad \text{-----}(3.17)$$

ดังนั้น

$$F = -\mu \cdot A_1 \frac{V}{h}$$

$$\frac{F}{V} = -\mu \cdot \frac{A_1}{h} \quad \text{-----}(3.18)$$



รูปที่ 3.5 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของห่วงยาง

$$A_1 = \pi(r_0^2 - r_1^2) \quad \text{-----}(3.19)$$

3.4 การคำนวณน้ำหนักบรรทุกสูงสุด

จาก	W	$=$	$F_1 + F_2$
โดย	F_1	$=$	$P_g (\pi r_1^2)$
แทนค่า		$=$	$6.5 \times 10^5 (\pi (0.0054)^2)$
		$=$	5954.57 N
และ	F_2	$=$	$P_o (\pi (b^2 - a^2))$
แทนค่า		$=$	$1 \times 10^5 (\pi (0.105^2 - 0.054^2))$
		$=$	2547.52 N
\therefore	W	$=$	5954.57 + 2547.52
		$=$	8502.09 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การคำนวณความเค้นที่แผ่นรองขึ้นยาง

$$\sigma_{\max} = \frac{3(3+\nu)P_0}{8} \left(\frac{a}{t}\right)^2 \quad \text{-----}(3.20)$$

โดย ν = Poisson's Ratio

$$= 0.333$$

P_0 = Uniformly Distributed Load (แรงกระจายแบบสม่ำเสมอ)

$$= P_a = 6.5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

a = Circular Plate of Radius (รัศมีของแผ่นเพลต)

$$= X = 0.105 \text{ m}$$

t = Thickness of plate (ความหนาแผ่นเพลต)

$$= 0.00475 \text{ m}$$

จากตารางภาคผนวกที่ 6 : ใช้โครงสร้าง Aluminum Alloy 7075-T6

จาก Yield Strength

$$- \text{Tension Strength} = 500 \text{ M Pa}$$

จาก Ultimate Strength

$$- \text{Tension Strength} = 570 \text{ M Pa}$$

จากสมการที่ (45)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \sigma &= \frac{3(3+0.333) \times 6.5 \times 10^5}{8} \left[\frac{0.105}{0.00475} \right]^2 \\ &= 3.97 \times 10^8 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

และจากภาคผนวกที่ 6 จะได้

$$\sigma_{\max} = 5.0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

จะเห็นว่า $\sigma < \sigma_{\max}$ นั่นคือ แผ่นเพลตรองขึ้นยางสามารถทนความเค้นได้

3.6 การคำนวณหาระยะการโก่งตัวสูงสุดของแผ่นเพลต

$$Y_{\max} = \frac{P_0 a^4 (5+\nu)}{64D(1+\nu)} \quad \text{-----}(3.21)$$

โดย

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \quad \text{-----}(3.22)$$

โดย D = Flexural Rigidity of Plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = \text{Modulus of Elasticity}$$

$$= 72 \text{ GPa (จากตารางภาคผนวกที่6)}$$

$$\nu = \text{Poisson's Ratio}$$

$$= 0.333$$

$$t = \text{Thickness of Plate}$$

$$= 0.00475 \text{ m}$$

แทนค่าในสมการที่(3.22) จะได้

$$D = \frac{72 \times 10^9 (0.00475)^3}{12(1 - (0.333)^2)}$$

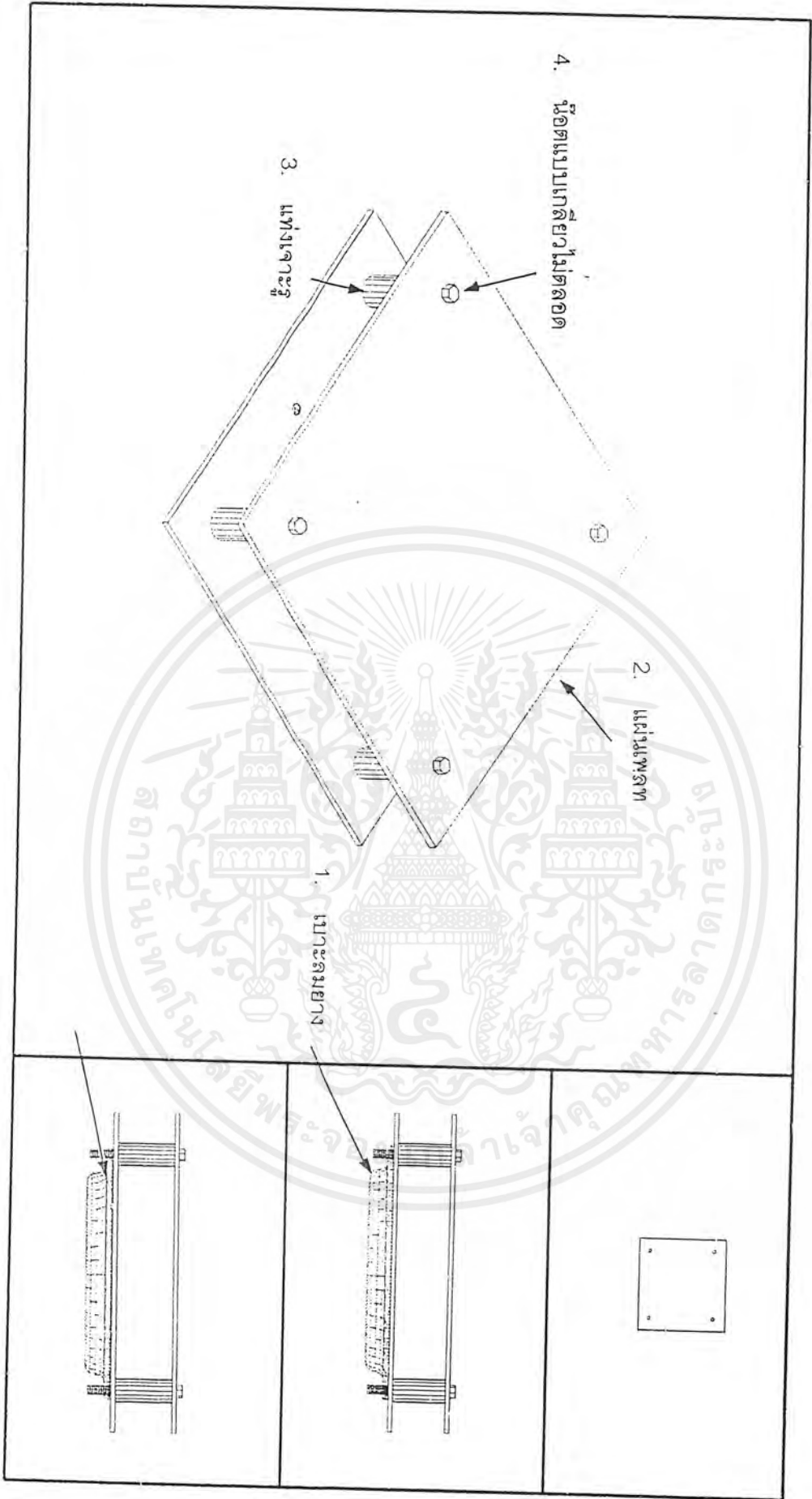
$$= 723.23 \text{ N-m}$$

แทนค่า $D = 1909 \text{ N-m}$ ในสมการที่(3.21) จะได้

$$Y_{\text{max}} = \frac{6.5 \times 10^5 \times 0.054^4 (5 + 0.333)}{64 (723.27) (1 + 0.333)}$$

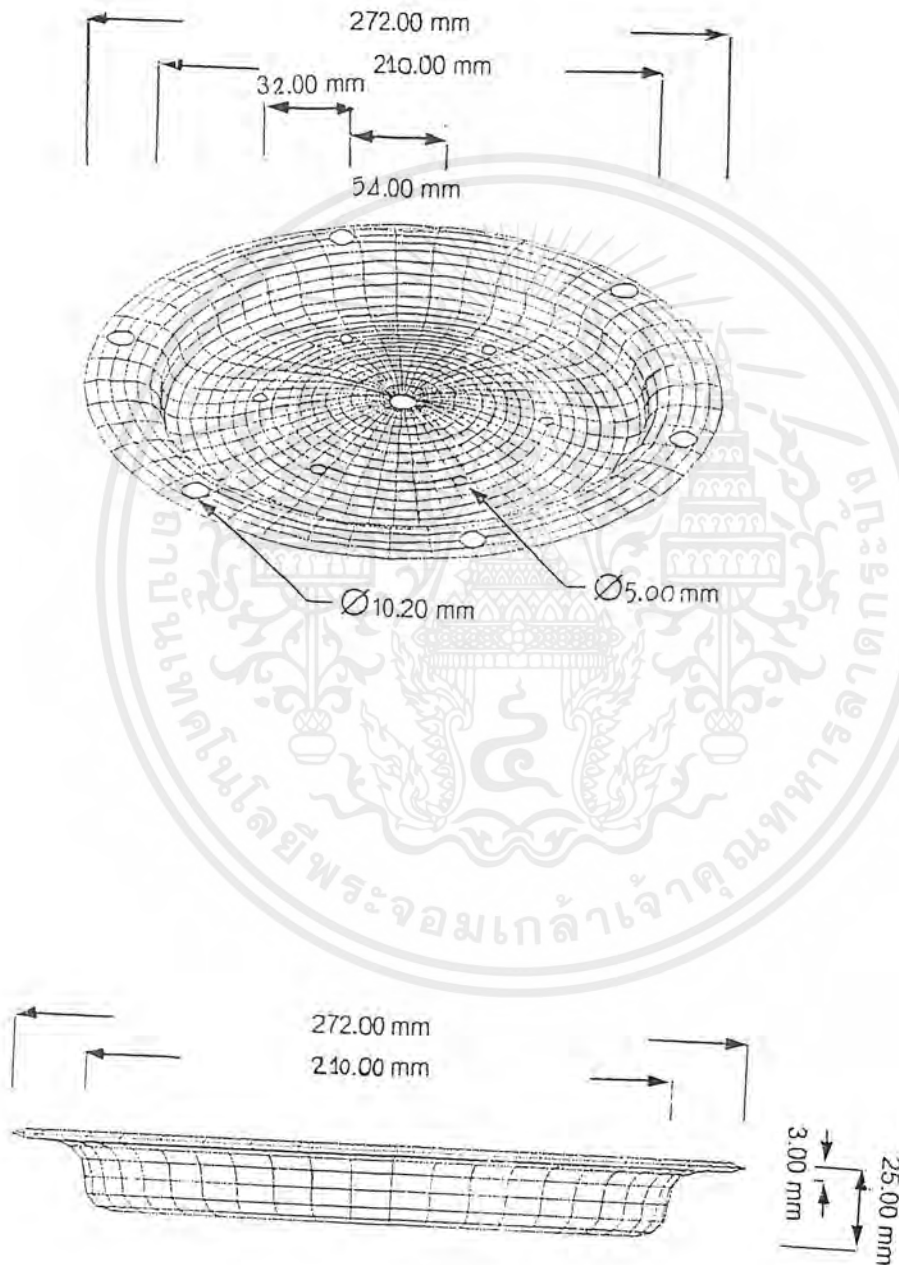
$$= 4.8 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$= 0.48 \text{ mm}$$



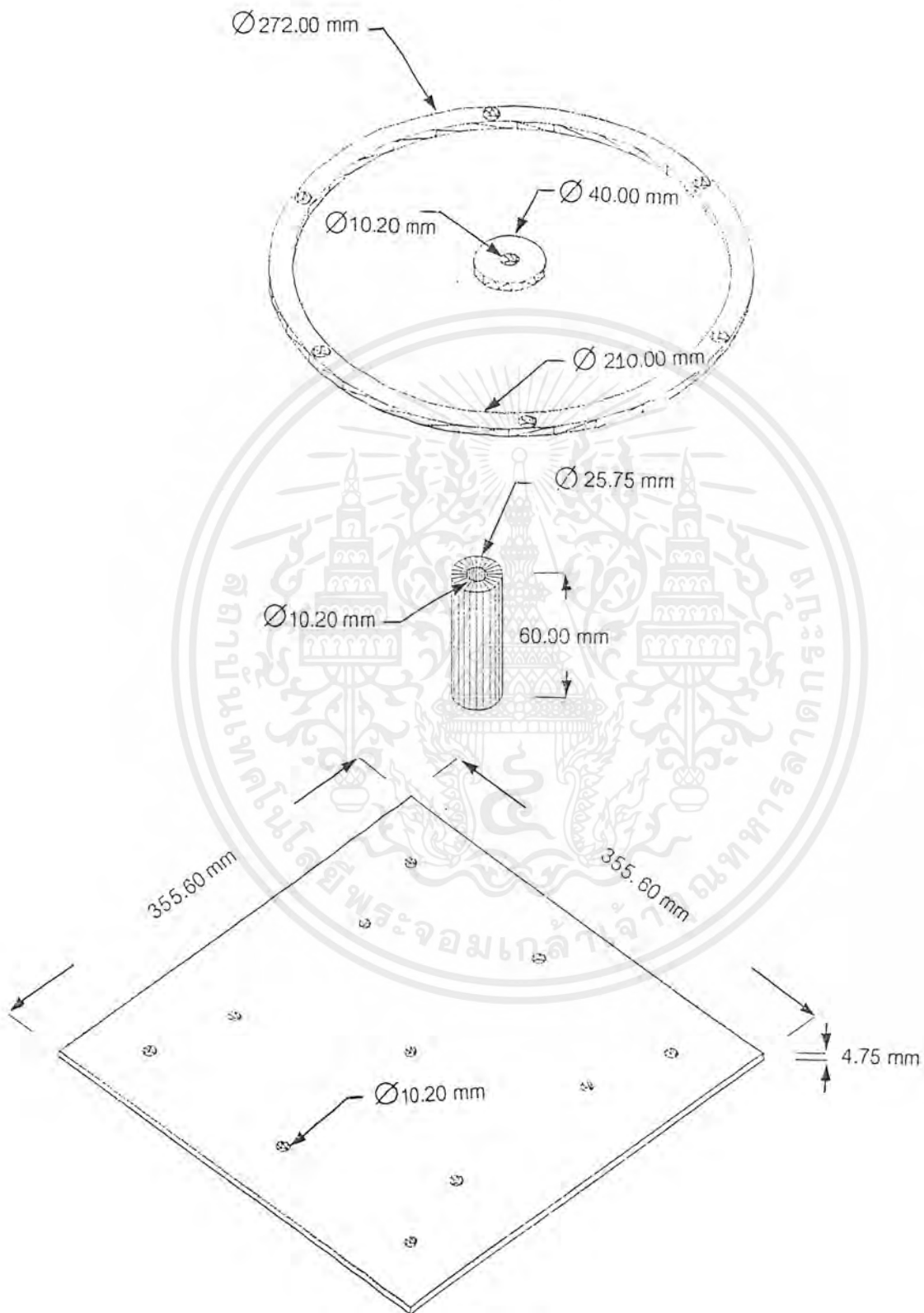
รูปที่ 3.6 รูปแสดงอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รายละเอียดของเบาะลมยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 รายละเอียดของชิ้นส่วนโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ด้านล่างของยานเบาะลม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

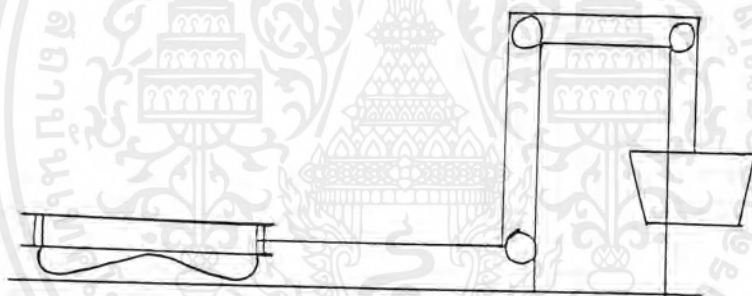
บทที่ 4 วิธีการทดลอง

ยานเบาที่ได้ออกแบบสร้างขึ้น เพื่อใช้ทดลองหาแรงลากจูงที่ทำให้ยานเบาเริ่มเคลื่อนที่ จึงทำการทดลองดังนี้

4.1 การทดลองหาแรงลากจูงที่ใช้ลากวัตถุ

อุปกรณ์

1. ชุดทดลองตามรูปที่ 4.1 พร้อมเครื่องอัดลม
2. น้ำหนักที่ใช้ทดลอง 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลกรัม
3. ตราชั่งน้ำหนักหนึ่งตัว

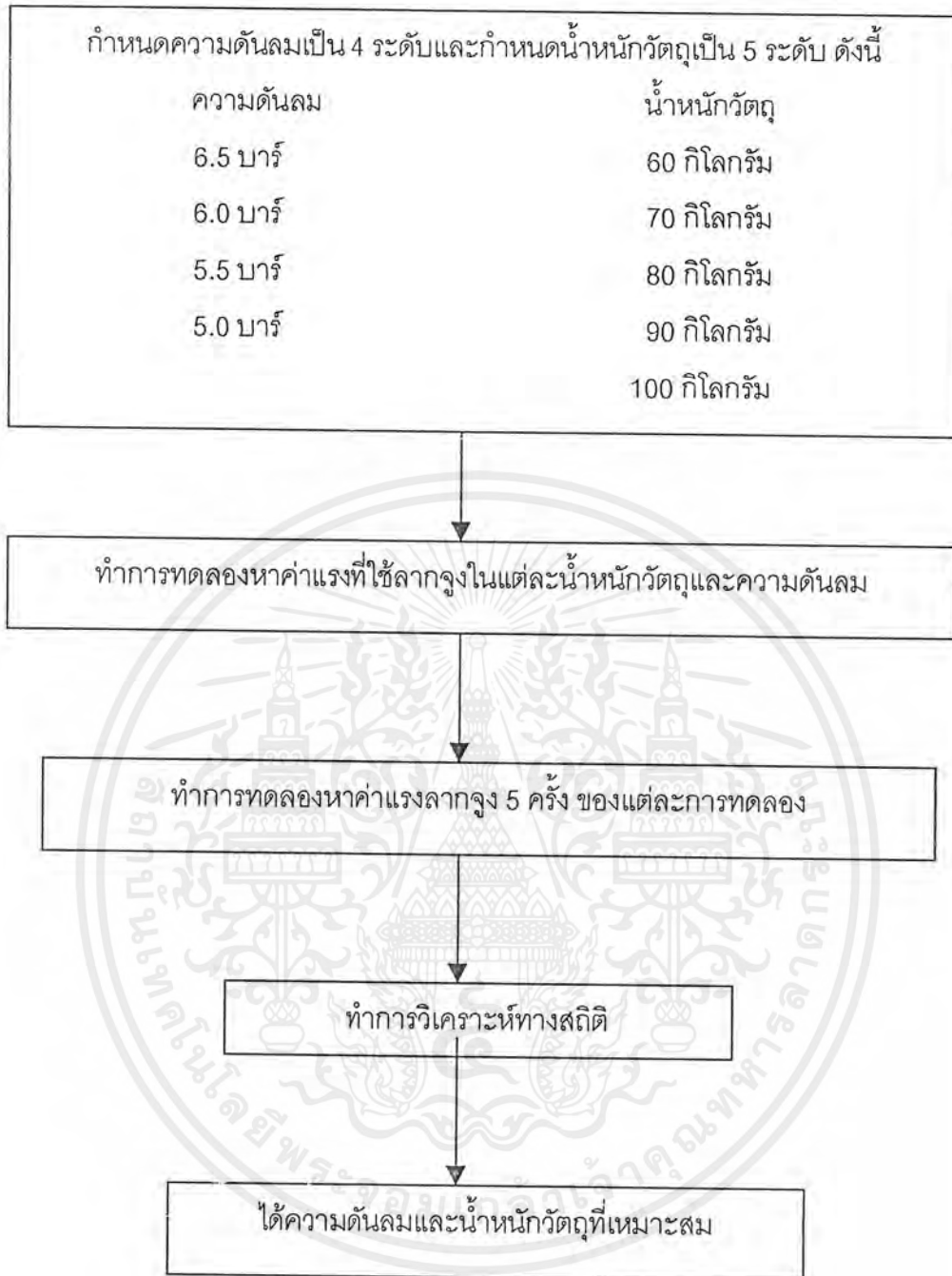


รูปที่ 4.1 ชุดการทดลอง

วิธีการทดลอง

กำหนดความดันลมในการทดลองไว้ 4 ระดับ คือ 5.0, 5.5, 6.0 และ 6.5 บาร์โดยปรับจากเครื่องอัดลม ใช้ลากจูงน้ำหนัก 60, 70, 80, 90 และ 100 กิโลกรัม วัดค่าแรงลากจูงที่ใช้โดยสังเกตจากดั่งที่ใส่น้ำเริ่มเคลื่อนที่ลง แล้วนำดั่งที่ใส่น้ำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าแรงลากจูง ทำการทดลองซ้ำในแต่ละการทดลองจำนวน 5 ครั้ง นำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (4×5) ซึ่งมีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ความดันลม 4 ระดับและน้ำหนักวัตถุ 5 ระดับเมื่อปัจจัยใดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 1% จะนำค่าเฉลี่ยของแรงที่ใช้ลากจูงน้ำหนักวัตถุที่ใช้ในการทดลองที่ระดับความดันลมต่าง ๆ มาเปรียบเทียบโดยใช้วิธี Tukey

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการทดลองของยานเบาละม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ภาพชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองโดยจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiments) และแบบสุ่มสมบูรณ์ (Compued Randomize design : CRD) แล้วทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันดังนี้

Source	SS	DF	MS	F
ความดันลม	2.54	3	0.85	85.00**
น้ำหนักวัตถุ	1.89	4	0.47	47.00**
ความดันลม × น้ำหนักวัตถุ	0.75	12	0.06	60.00**
ความคลาดเคลื่อน	0.91	70	0.01	
รวม	6.09	89		

จากวิเคราะห์พบว่ามีความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 1% ระหว่างน้ำหนักวัตถุและค่าความดันลม จึงทำการวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้ Tukey's Test

ตารางที่ 5.1 แสดงแรงลากจูงเฉลี่ยจากการทดลอง

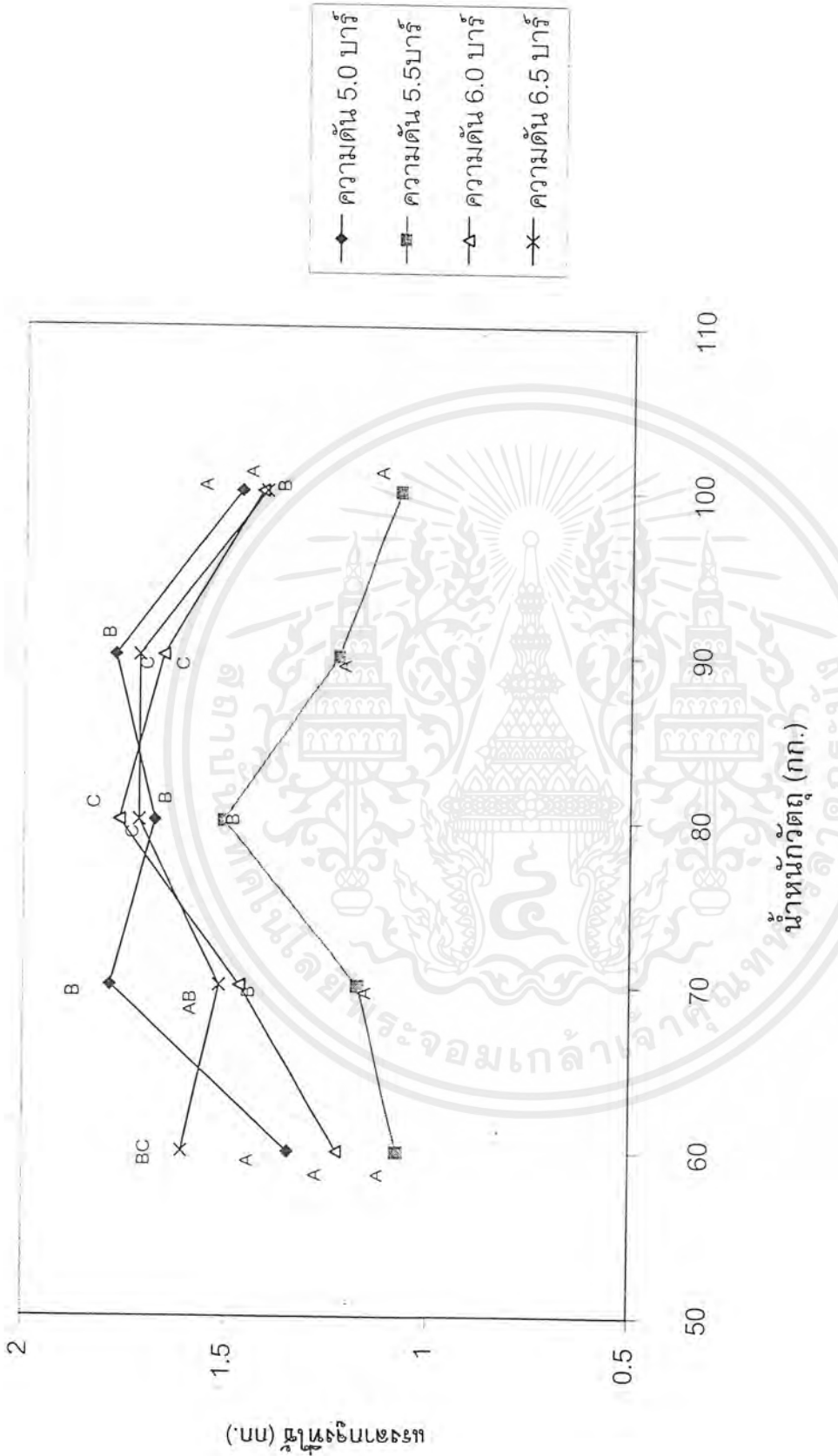
น้ำหนักวัตถุ (กก.)	ความดันลม (บาร์)			
	5.0	5.5	6.0	6.5
60	1.35 A	1.08 A	1.23 A	1.61 BC
70	1.79 B	1.18 A	1.47 B	1.52 AB
80	1.68 B	1.51 B	1.77 C	1.72 C
90	1.78 B	1.23 A	1.66 C	1.72 C
100	1.47 A	1.08 A	1.42 B	1.41 A

5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าที่แต่ละความดันลมและน้ำหนักวัตถุมีผลต่อแรงลากจูงที่ใช้ ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาที่ความดัน 5.0 บาร์ พบว่าที่น้ำหนัก 60 และ 100 กก. ใช้แรงลากจูงน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ 1% เมื่อเทียบกับน้ำหนัก 70,80 และ 90 กก. เป็นเพราะว่าที่น้ำหนัก 60 กก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าของแรงลากงูที่ใช้หนักและ ความดันลมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หากต้องการให้ยานเบาะลมสามารถรับน้ำหนักได้มากยิ่งขึ้น ควรออกแบบใหม่โดยเพิ่มจำนวนห่วงยางลมเข้าไปจะช่วยให้อากาศอัดตัวได้มากขึ้นและมีความสมดุลขณะใช้งานสูงด้วย
4. ควรทำความสะอาดพื้นที่ใช้งานก่อน จะทำให้ใช้แรงลากจูงในการขนย้ายวัตถุน้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.ปานมนัส ศิริสมบุญ, วิศวกรรมการขนถ่ายวัสดุ : โครงการตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540
2. Raymond A. Kulwice., Materials Handling Handbook; 2nd Edition, New York : Wiley Interscience Publication.
3. ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี และคณะ, เทคนิคยานยนต์ : บริษัท เอ็มแอนดีจี จำกัด, 2542
4. ผศ.ประเสริฐ ฤกษ์เกรียงไกร, กลศาสตร์ของไหล : โครงการตำราภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2541
5. Loomis, A.W. Ed, Compressed Air and Gas Data, 3rd Edition., Washington : Ingersoll Rand, 2530



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าคงที่ของอากาศ [5]

Approximate physical properties of some common gases at 1 atmosphere pressure and 20 °C (68 °F)										
Gas	Specific (or mol) weight, γ		Mass density, ρ		Dynamic viscosity (μ)		Gas constant (R)			
	(lb/ft ³)	(N/m ³)	(slugs/ft ³)	(kg/m ³)	lb-s/ft ²	kg-s/m ²	ft ² /R	m ² /K	lb-ft/slug ² -R	N-m/kg-K
Air	0.0752	11.8	0.00234	1.20	3.78×10^{-7}	1.81×10^{-8}	53.3	29.3	1716	287
Carbon dioxide	0.115	18.1	0.00357	1.84	3.10×10^{-7}	1.48×10^{-8}	35.1	19.3	1130	189
Helium	0.0101	1.63	0.000323	0.166	4.11×10^{-7}	1.97×10^{-8}	385.7	212.0	12420	2079
Hydrogen	0.00522	0.823	0.000162	0.0839	1.89×10^{-7}	9.05×10^{-9}	765.5	420.8	24649	4127
Methane	0.0116	6.53	0.00129	0.666	2.80×10^{-7}	1.34×10^{-8}	96.2	52.9	3098	519
Nitrogen	0.0176	11.4	0.00225	1.16	3.68×10^{-7}	1.76×10^{-8}	55.1	30.3	1774	297
Oxygen	0.0230	13.0	0.00258	1.33	4.18×10^{-7}	2.00×10^{-8}	48.2	26.5	1552	260

Gas	Specific heat ratio (k)	Specific heat (c_p)		Specific heat (c_v)		Molecular weight (M)
	Dimensionless ratio c_p/c_v	lb-ft/slug ² -R	N-m/kg-K	lb-ft/slug ² -R	N-m/kg-k	
Air	1.40	6.000	1003	4.285	716	29.00
Carbon dioxide	1.30	5.132	858	4.072	670	44.00
Helium	1.66	31.230	5220	18.810	3143	4.00
Hydrogen	1.41	86.390	14450	61.710	10330	2.02
Methane	1.32	13.480	2250	10.300	1730	16.00
Nitrogen	1.40	6.210	1040	4.437	743	28.00
Oxygen	1.40	5.437	909	3.883	649	32.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตารางที่ ข.1 ตารางเทียบค่าความแข็งแรงวัสดุ

Material	Density, kg/m ³	Ultimate Strength			Yield Strength ³		Modulus of Elasticity, GPa	Modulus of Rigidity, GPa	Coefficient of Thermal Expansion, 10 ⁻⁶ /°C	Ductility, Percent Elongation in 50 mm
		Tension, MPa	Compression, ² MPa	Shear, MPa	Tension, MPa	Shear, MPa				
STEEL:										
Structural (ASTM-A36)	7850	480			250	115	200	77	11.7	23
High strength, low alloy										
ASTM-A242	7850	490			345	205	200	77	11.7	22
ASTM-A414	7850	490			320	200	200	77	11.7	21
ASTM-A572	7850	415			290	170	200	77	11.7	21
Quenched & tempered										
ASTM A-514	7850	760			680	350	200	77	11.7	18
Stainless, AISI 302										
Cold-rolled	7930	490			520	190	190	75	17.3	12
Annealed	7930	425			290	150	180	75	17.3	50
Reinforcing Steel										
Medium strength	7850	490			275	150	200	77	11.7	
High strength	7850	620			415	250	200	77	11.7	
CAST IRON:										
Gray Cast Iron										
4.5% C, ASTM A-8	7200	170	455	210			60	24	12.1	0.5
Malleable Cast Iron										
2% C, 1% Si, ASTM A-17	7200	315	620	330	230		105	65	12.1	10
ALUMINUM:										
Alloy 1100-1114 (99% Al)	2700	110			70	100	55	70	23.6	9
Alloy 2014-T6	2700	455			275	100	230	75	23.0	13
Alloy 2024-T4	2700	470			290	125	73	73	23.2	19
Alloy 5056-1116	2630	320			105	230	150	72	23.0	16
Alloy 6061-T6	2700	260			165	210	140	70	23.6	17
Alloy 7075-T6	2700	570			340	500	72	28	23.6	11
COPPER:										
Oxygen free copper										
(99.9% Cu)										
Annealed	8930	220			150	70	120	44	16.9	45
Hard-drawn	8930	390			290	265	120	44	16.9	4
Yellow Brass										
(65% Cu, 35% Zn)										
Cold-rolled	8170	510			300	110	250	105	39	8
Annealed	8170	320			220	100	60	105	39	65
Red Brass										
(85% Cu, 15% Zn)										
Cold-rolled	8730	585			320	135	120	44	18.7	3
Annealed	8730	270			210	70	120	44	18.7	48
Tin bronze										
(88 Cu, 8Sn, 4Zn)	8800	310			115	115	95	45	18.0	30
Manganese bronze										
(61 Cu, 25 Zn, 6 Al, 3 Mn, 3 Fe)	8300	455			330		105		21.6	20
Aluminum bronze										
(81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11 Al)	8130	620	900		275		110	42	16.2	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตารางที่ ค.1 แรงลากจูงที่ได้จากการทดลองที่ความดัน 5.0 บาร์

น้ำหนัก กก.	ความดันลม 5.0 บาร์					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
60	1.40	1.40	1.45	1.20	1.30	1.35
70	1.95	1.70	1.75	1.85	1.70	1.79
80	1.60	1.65	1.60	1.85	1.70	1.68
90	1.80	1.80	1.75	1.80	1.75	1.78
100	1.50	1.45	1.45	1.50	1.45	1.47

ตารางที่ ค.2 แรงลากจูงที่ได้จากการทดลองที่ความดัน 5.5 บาร์

น้ำหนัก กก.	ความดันลม 5.5 บาร์					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
60	1.00	1.40	1.10	1.00	1.00	1.08
70	1.20	1.30	1.00	1.20	1.20	1.18
80	1.60	1.40	1.40	1.50	1.65	1.51
90	1.30	1.10	1.30	1.20	1.25	1.23
100	1.00	1.10	1.15	1.00	1.15	1.08

ตารางที่ ค.3 แรงลากจูงที่ได้จากการทดลองที่ความดัน 6.0 บาร์

น้ำหนัก กก.	ความดันลม 6.0 บาร์					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
60	1.20	1.30	1.30	1.15	1.20	1.23
70	1.35	1.50	1.65	1.45	1.40	1.47
80	1.85	1.80	1.75	1.70	1.75	1.77
90	1.60	1.80	1.70	1.55	1.65	1.66
100	1.55	1.30	1.50	1.45	1.30	1.42

ตารางที่ ค.1 แรงลากจูงที่ได้จากการทดลองที่ความดัน 6.5 บาร์

น้ำหนัก กก.	ความดันลม 6.5 บาร์					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
60	1.55	1.75	1.60	1.55	1.60	1.61
70	1.40	1.70	1.50	1.45	1.55	1.52
80	1.80	1.80	1.70	1.65	1.65	1.72
90	1.60	1.80	1.75	1.75	1.70	1.72
100	1.20	1.50	1.40	1.55	1.40	1.41

ประวัติผู้เขียน

1. นายภัทรพล กนิษฐานนท์

- เกิดวันที่ 11 เมษายน พ.ศ.2520
- ภูมิลำเนาเดิม กรุงเทพมหานคร
- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนเซนต์คาเบรียล เขตดุสิต กรุงเทพฯ
- เข้าศึกษาระดับอุดมศึกษาที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหารในปีการศึกษา 2539
- 1 เม.ย. - 30 พ.ค. 2542 เข้าฝึกงานที่บริษัท บุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด เขตดุสิต กรุงเทพฯ

2. นางสาวสุภาวดี แสนวนงษ์

- เกิดวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ.2519
- ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดขอนแก่น
- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนหนองเดื่อวิทยา อำเภอหนองเดื่อ จังหวัดขอนแก่น
- เข้าศึกษาระดับอุดมศึกษาที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหารในปีการศึกษา 2539
- 1 เม.ย. - 30 พ.ค. 2543 เข้าฝึกงานที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งชาติ เขตราชเทวี กรุงเทพฯ

3. นางสาวอนงค์ อาจทวีกุล

- เกิดวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2520
- ภูมิลำเนาเดิม จังหวัดบุรีรัมย์
- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนลำปลายมาศ อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์
- เข้าศึกษาระดับอุดมศึกษาที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหารในปีการศึกษา 2539
- 1 เม.ย. - 30 พ.ค. 2542 เข้าฝึกงานที่บริษัท จีเอฟพีที จำกัด(มหาชน) อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

