การปรับปรุงเครื่องใส่สายอินเนอร์เพื่อลดการสูญเสียจาระบี

Improvement of inner insert machine for reduce grease lost

กิจโสภณ พันธุภัทร์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต)
ภาควิชาเทคโนโลยีระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงเครื่องใส่สายอินเนอร์เพื่อลดการสูญเสียจาระบี

Improvement of inner insert machine for reduce grease lost

กิจโสภณ พันธุภัทร์

600268243
b
i
สขทม.....
เลขทะเบียน 147145
วัน.เดือน.ปี 13 ก.ค. 2560

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต)
ภาควิชาเทคโนโลยีระบบการผลิต วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Improvement of inner insert machine for reduce grease lost

Kitsopon Puntupat

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING
(MANUFACTURING SYSTEM ENGINEERING)
DEPARTMENT OF MANUFACTURING SYSTEM TECHNOLOGY
COLLEGE OF ADVANCED MANUFACTURING INNOVATION
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การปรับปรุงเครื่องใส่สายอินเนอร์เพื่อลดการสูญเสียจาระบี Improvement of inner insert machine for reduce grease lost
ชื่อนักศึกษา	นายกิจโสภณ พันธุภัทร์ รหัสนักศึกษา 55120005
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต)
ภาควิชา	เทคโนโลยีระบบการผลิต
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. วรวุฒิ มรรคเจริญ

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. อนรรฆพล แสนทน ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร. จตุพร ทองศรี กรรมการ	
ดร. วิไลลักษณ์ ศิริวงศ์รังสรรค์ กรรมการ	
ดร. วรวุฒิ มรรคเจริญ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของวิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การปรับปรุงเครื่องใส่สายอินเนอร์เพื่อลดการสูญเสียจาระบี Improvement of inner insert machine for reduce grease lost
ชื่อนักศึกษา	นายกิจโสภณ พันธุภัทร์ รหัสนักศึกษา 55120005
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมระบบการผลิต)
ภาควิชา	เทคโนโลยีระบบการผลิต
คณะ	วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วรวุฒิ มรรคเจริญ

บทคัดย่อ

โครงการการปรับปรุงเครื่องใส่สายอินเนอร์เพื่อลดการสูญเสียจาระบีมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมการไหลของปริมาณจาระบีให้ไหลออกมาตามปริมาณที่กำหนด และไม่เปรอะเปื้อนเครื่องจักร โดยทำการออกแบบสเกลวัดให้กับวาล์วหัวฉีดจาระบี ทำให้สามารถหาเงื่อนไขในการให้เครื่องใส่สายอินเนอร์ฉีดจาระบีไปที่สายเบรคได้อย่างเหมาะสม โดยหลังจากหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับวาล์วที่ใช้ฉีดจาระบีแล้ว ผลการทดลองปรับเงื่อนไขของวาล์วในสองสายการผลิตพบว่าสามารถลดปริมาณจาระบีที่สูญเสียได้ไปได้ 65.625 % และ 89.42 % ตามลำดับ

คำสำคัญ –ปรับปรุง, วาล์วหัวฉีดจาระบี, ค่าเงื่อนไข, จาระบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Improvement of inner insert machine for reduce grease lost
Students	Mr.Kitsopon Puntupat Student ID 55120005
Degree	Bachelor of Engineering (Manufacturing System Engineering)
Department	Manufacturing System Technology
Faculty	College of Advanced Manufacturing Innovation
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Dr.Worawut Makcharoen

Abstract

The purpose of the Improvement of inner insert machine for reduce grease lost project is to control the amount of grease flow to obtain the specified quantity and prevent the machine from strains. Design scale of grease injector valve is performed to be able to find the conditions of inner insert machine to appropriately inject grease to break cables .after the proper condition of valve is found, the results of valve condition adjustment of two production line finally found that amount of grease lost decrease 65.625 % and 89.42 % respectively.

Keyword: Improvement, grease injector valve, condition, grease

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ ดร. วรวุฒิ มรรคเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ รวมถึงดร. อรรถสิทธิ์ อารยางกูร นายพายัพ ดวงอาจ และพนักงานในบริษัทไทยสตีลเคเบิลจำกัด(มหาชน) ซึ่งบุคคลเหล่านี้ ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน และขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ที่คอยให้ข้อมูลแล้วให้กำลังใจอีกด้วย

สุดท้ายนี้ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

กิจโสภณ พันธุภัทร์

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูปภาพ VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญ และที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 1

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย 2

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ทฤษฎีกลศาสตร์การไหล 3

2.2 คุณสมบัติของจาระบี 10

2.3 ข้อมูลสายการผลิตที่นำมาปรับปรุงเครื่องใส่สายอินเนอร์ 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ 19

3.1 สร้างสเกลวัดมุมให้กับวาล์ว 19

3.2 กำหนดเงื่อนไขมุมวาล์วให้เหมาะสมในการฉีดจาระบี 21

3.3 การตรวจดูความสัมพันธ์ระหว่างหัวฉีดกับปริมาณจาระบี 25

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 27

4.1 ผลจากการสร้างสเกลวัดมุมให้กับวาล์ว 27

4.2 ผลการทดลองหาเงื่อนไขมุมวาล์วให้เหมาะสมในการฉีดจาระบี 28

4.3 ผลจากตรวจดูความสัมพันธ์ระหว่างหัวฉีดกับปริมาณจาระบี 31

4.3 ผลการทดลองปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งหลังจากการปรับเงื่อนไขของมุมวาล์ว 32

บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ 36

เอกสารอ้างอิง 37

ภาคผนวก 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินงานในภาคเรียนที่ 1 2

ตารางที่ 1.2 ตารางการดำเนินงานในภาคเรียนที่ 2 2

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงหมายเลข NLGI ของจาระบี 12

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของจาระบีที่ใช้ในสายการผลิต 16

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบี 24

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการหาผลการทดลองการปรับเงื่อนไขของมุมวาล์ว 26

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการหาเงื่อนไขมุมวาล์วที่มุมต่างๆ เพื่อหามุมวาล์วที่เหมาะสม
ในการฉีดจาระบี 29

ตารางที่ 4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้ง
หลังจากการปรับมุม 90 องศา 32

ตารางที่ 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้ง
หลังจากการปรับมุม 60 องศา 32

ตารางที่ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้ง
หลังจากการปรับมุม 135 องศา 33

ตารางที่ 4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้ง
หลังจากการปรับมุม 90 องศา 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 การไหลในสภาวะปกติ 4

รูปที่ 2.2 แสดงชั้นขอบเขตของความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นมาเมื่อมีการไหลที่ผิวของวัตถุ 6

รูปที่ 2.3 แสดงการไหลภายในท่อกลม 8

รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบของเครื่องใส่สายอินเนอร์ 17

รูปที่ 2.5 แสดงการใส่สายอินเนอร์เข้ากับสายเบรค 18

รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของเครื่องใส่สายอินเนอร์ 18

รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบสเกลของวาล์ว ทั้งตัววัดที่ติดกับหัววาล์ว และสเกลที่ติดกับฐานวาล์ว 20

รูปที่ 3.2 แสดงวาล์วก่อนทำการใส่ตัวสเกล 20

รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์ในการหาเงื่อนไข 22

รูปที่ 3.4 แสดงการฉีดจาระบีเพื่อหาเงื่อนไข 23

รูปที่ 3.5 แสดงการชั่งปริมาณจาระบีในการหาเงื่อนไข 23

รูปที่ 3.6 แสดงภาพหัวฉีดจาระบีด้านบน และด้านหน้า 25

รูปที่ 3.7 แสดงขนาดของหัวฉีดจาระบี 25

รูปที่ 4.1 เป็นส่วนที่ 1 ที่ติดตรงหัววาล์ว 27

รูปที่ 4.2 เป็นส่วนที่ 2 ที่ติดตรงฐานวาล์ว 27

รูปที่ 4.3 แสดงวาล์วก่อนทำการใส่ตัวสเกลวัด 28

รูปที่ 4.4 แสดงวาล์วหลังทำการติดตั้งสเกลวัด 28

รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลของจาระบีกับมุมวาล์ว 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงขนาดของหัวฉีดจาระบี 31

รูปที่ 4.7 แสดงการทำงานของเครื่องฉีดจาระบีมุมมองด้านบน 34

รูปที่ 4.8 แสดงการทำงานของเครื่องฉีดจาระบีมุมมองด้านปกติ 34

รูปที่ 4.9 แสดงเครื่องฉีดจาระบีก่อนปรับ 35

รูปที่ 4.10 แสดงเครื่องฉีดจาระบีหลังปรับ 35

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มา

ในช่วงเวลาที่ผู้จัดทำไปฝึกประสบการณ์ที่บริษัทไทยสตีลเคเบิล จำกัดมหาชน จังหวัดชลบุรี ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตสายควบคุมรถยนต์ รถจักรยานยนต์ และกระจกหน้าต่างรถยนต์ ผู้จัดทำได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตสายควบคุมรถยนต์ พบว่าจำเป็นต้องใช้จาระบีเพื่อเพิ่มความฝืด ลดแรงเสียดสี แรงเสียดทาน การหล่อลื่น กันน้ำ และการเกิดสนิมในสายควบคุมรถยนต์แต่เกิดปัญหาเกี่ยวกับการควบคุมปริมาณจาระบีที่ใช้ในการผลิตยังควบคุมไม่ได้ทำให้จาระบีส่วนเกินออกมาเลอะเปื้อนอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งเครื่องอัดฉีด ทำให้ผู้จัดทำคิดที่จะปรับปรุงแก้ไขปัญหาโดยการสร้างสเกลการวัด และการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับปริมาณการไหลของจาระบี เพื่อควบคุมการจ่ายจาระบีให้ออกมาในปริมาณที่พอดีกับความต้องการของแต่ละโมเดล และไม่ให้ไหลออกมาเลอะเปื้อนเครื่องใส่สายอินเนอร์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อลดปริมาณการใช้จาระบีให้น้อยลงจากเดิมให้มีปริมาณพอดีกับโมเดลที่จะใช้ ช่วยลดต้นทุนในการผลิตสายควบคุมรถยนต์ และไม่เปรอะเปื้อนเครื่องใส่สายอินเนอร์

1.2.2 สร้างสเกลวาล์วเพื่อใช้ในการวัดปริมาณการไหลของจาระบี และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับปริมาณการไหลของจาระบี โดยจะควบคุมวาล์วเพื่อให้จาระบีไหลออกมาในปริมาณที่เหมาะสมตามเกณฑ์ที่กำหนดของโมเดล

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ปริมาณการไหลของจาระบีมีความสัมพันธ์กับความเร็วมอเตอร์ในการใส่สายอินเนอร์เข้า ถ้าปริมาณการไหลของจาระบีมีมากเกินไปจะทำให้จาระบีไหลออกมาเยอะเปรอะเปื้อนเครื่องจักร ดังนั้นการลดปริมาณจาระบีจึงจำเป็นที่ต้องควบคุมวาล์ว และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อให้จาระบีให้ไหลออกมาในปริมาณที่เหมาะสมที่โมเดลกำหนด

1.3.2 ศึกษาเฉพาะการจ่ายจาระบีในการการผลิตในการผลิตสายควบคุมรถยนต์ ตามเกณฑ์ที่กำหนดในโมเดลเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ข้อจำกัดของการวิจัย

1.4.1 ในการทดลองครั้งนี้จำเป็นต้องไปเก็บข้อมูล และทดลองที่บริษัทไทยสตีลเคเบิล จำกัดมหาชน จังหวัดชลบุรี ทำให้มีข้อข้อจำกัดเรื่องเวลา และการประสานงานกับผู้เกี่ยวข้อง

1.4.2 ในการจ่ายจาระบีจำเป็นต้องมีความสอดคล้องกับมอเตอร์ของเครื่องใส่สายอินเนอร์ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดเวลาที่ตายตัว

1.4.3 ในการจ่ายปริมาณจาระบีในสายเบรคนั้น จะมีโมเดลกำหนดตายตัวว่าต้องจ่ายปริมาณเท่าไหร่ต่อเส้น หรือจ่ายกี่กรัมต่อเมตร สามารถลดในโมเดลที่กำหนดเท่านั้น

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ภาคเรียนที่1

ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินงานในภาคเรียนที่ 1

รายการ	ส.ค.		ก.ย.		ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1.เลือกหัวข้อปัญหา										
2.นำเสนอหัวข้อปัญหา										
3.ศึกษางานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง										
4.ศึกษารวบรวมข้อมูล,วิเคราะห์ปัญหา										
5.ออกแบบสเกลวาล์วที่ใช้ในการวัด										
6.สร้างสเกล และนำไปใช้หาเงื่อนไข										

ภาคเรียนที่2

ตารางที่ 1.2 ตารางการดำเนินงานในภาคเรียนที่ 2

รายการ	ม.ค.		ก.พ.		มี.ค.		เม.ย.		พ.ค.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1.ทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสม										
2. เก็บผลการทดลองในการใช้งานจริงที่เงื่อนไขปานกลาง										
3.เก็บผลการทดลองในการใช้งานจริงที่เงื่อนไขต่ำสุดที่รับได้										
4.สรุปผล และจัดทำรายงาน										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานวิจัยนั้น จะมีขั้นตอนการศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปริมาณการไหลของจาระบี เพื่อนำไปใช้ในการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมต่อไป และคุณสมบัติของจาระบีว่าเหตุใดจึงใช้จาระบีในการใส่สายเบรครวมถึงข้อมูลสายการผลิตของสายเบรคอีกด้วย

2.1 ทฤษฎีกลศาสตร์การไหล [1]

2.1.1 หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล

ของไหล (Fluid) คือของเหลว และก๊าซ ในการวิเคราะห์จะต่างกันตรงที่ก๊าซจะเป็นของไหลที่สามารถอัดตัวได้ ส่วนของเหลวนั้นไม่สามารถอัดตัวได้ ถึงแม้จะอัดตัวได้บ้าง แต่ต้องใช้ความดันสูงมาก จึงพิจารณาว่าของเหลวเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้

ของไหลอัดตัวได้ คือของไหลที่ความหนาแน่นไม่คงที่ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว เช่น ก๊าซอยู่ในภาชนะปิดสนิทเมื่อได้รับความร้อน ความหนาแน่นของก๊าซก็จะเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามถ้าสูญเสียความร้อนความหนาแน่นก็จะลดลง ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะของไหลที่อัดตัวไม่ได้เท่านั้น

แรงดัน (Pressure, P) คือค่าที่บอกถึงจำนวนแรง (Force, F) หรือน้ำหนัก (Weight, W) ที่กดลงในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่มีหน่วยเป็น แรงต่อพื้นที่

ความหนาแน่น (Density, ρ) คือ มวล (m) ของสารนั้นหารด้วยปริมาตร (V)

$$\rho = m[kg] / V\ [m^3] \tag{2.1}$$

ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume, v) คือ ปริมาตรของสารนั้นหารด้วยมวล ซึ่งจะมีค่าเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น

ความหนืด (Viscosity, μ) คือ คุณสมบัติการต้านการเคลื่อนที่ของของไหล

น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, γ) คือ ความหนาแน่น คูณกับค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g) หรือน้ำหนัก (mg) หารด้วยปริมาตร

แรง (Force, F) คือปริมาณที่กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงจากสภาพเดิม แรงนี้อาจจะสัมผัสกับวัตถุหรือไม่สัมผัสกับวัตถุก็ได้ แรงในระบบ SI คือ นิวตัน (Newton, N) ถ้าจะพูดกันตามทฤษฎีที่ศึกษามาจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton's Second Law) แรง 1 นิวตัน (N) ก็คือจำนวนแรงที่ทำให้มวล 1 กิโลกรัม (kg) เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 1 เมตร /วินาทียกกำลังสอง (m/s^2)

พื้นที่ (Area, A) คือพื้นที่ที่รับแรงดัน [m^2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 แรงสถิตของของไหล [2]

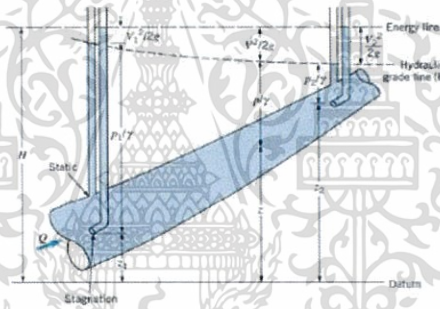
ความดันของของไหล ณ จุดๆ หนึ่งจะมีค่าเท่ากันในทุกๆทิศทาง และจะกระทำในทิศทางที่ตั้งฉากกับพื้นที่นั้นๆ ซึ่งก็เป็นทฤษฎีของปาสคาล เมื่อใช้ทฤษฎีนี้ และให้ความดันของของเหลวเป็น P [Pa] จะได้ว่า

$$P = F[N]/A[m^2] \qquad (2.2)$$

เครื่องวัดความดันนั้นโดยปกติแล้วจะแสดงผลออกมา เป็นค่าความดันที่มาก หรือน้อยกว่าค่าความดันบรรยากาศ ค่าความดันที่แตกต่างจากบรรยากาศนี้จะเรียกว่า “ความดันเกจ (Gauge Pressure)”

2.1.3 สมการพื้นฐานของการไหล

ในรูปที่ 2.1 แสดงการไหลของของไหล เมื่อกำหนดพื้นที่ตัดขวาง (Cross Section Area) ให้เป็น A [m^2] ความเร็วเฉลี่ยในการไหลผ่านพื้นที่ตัดขวางเป็น V [m/s] และคิดให้เป็นการไหลแบบคงตัว (Steady Flow)ตัวเลข 1 และ 2 ที่เป็นตัวห้อยจะหมายถึงพื้นที่ตัดขวางที่ตำแหน่งที่ 1 และ ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 2.1 การไหลในสภาวะปกติ

จะได้สมการ $Q = VA \qquad (2.3)$

2.1.3.1 สมการของการอนุรักษ์มวล

มวลสารที่เกิดการไหลในระบบหนึ่งจะเท่ากันตลอดทุกๆ หน้าตัด เมื่อให้ปริมาณการไหลของมวลสารเป็น $\dot{M}$ [kg/s] จะเขียนสมการได้ว่า

$$\dot{M} = \rho VA = \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \text{ค่าคงที่}$$
$$\dot{M} = \rho Q = \rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2 = \text{ค่าคงที่} \qquad (2.4)$$

ในสมการนี้ค่า ρ คือค่าความหนาแน่นของของไหล [kg/m^3], Q เป็นอัตราการไหลของปริมาตร (Volume flow rate) หรือเรียกสั้นๆ ว่าอัตราการไหล (Flow rate) ของของไหล [m^3/s], ถ้าให้ค่า Q เท่ากับ $\dot{M}/\rho$ แล้ว และ ρ เป็นค่าคงที่ (เป็นของเหลวที่อัดตัวไม่ได้) ในกรณีนี้จะทำให้ Q ก็เป็นค่าคงที่เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.2 สมการของการอนุรักษ์พลังงาน

พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลต่อหน่วยมวลคือ ค่าเอนทัลปีจำเพาะ [J/kg] พลังงานจลน์ $V^2/2$ [J/kg] และพลังงานศักย์ gz [J/kg] ในระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่ 1 และ 2 เมื่อมีพลังงานจากภายนอกเข้ามาโดยจะให้พลังงานนี้เป็น E_{in} [J/kg] (ยกตัวอย่างเช่นพลังงานจากปั๊ม, Blower, หรือการเพิ่มความร้อน) และถ้าให้พลังงานจากของไหลที่ออกไปสู่สิ่งแวดล้อมเป็น E_{out} (เช่นงานจากกังหัน, การทำความเย็น) จากกฎของการอนุรักษ์พลังงานกรณีการไหลคงตัวจะเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$(h_1 + V_1^2/2 + gz_1) + (E_{in} - E_{out}) = (h_2+V_2^2/2 + gz_2) \quad (2.5)$$

โดยค่า g เป็นค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก g_n = 9.80665 [m/s2]
สมการนี้จะเป็นสมการทั่วไปของการไหล สำหรับการไหลที่คิดค่าความหนืด เป็นการไหลในบริเวณที่ใกล้กับผนังแข็ง เช่นผิวท่อ งานที่เกิดจากความเสียดทานในการไหลอันเนื่องมาจากความหนืด ฯลฯ จำเป็นที่จะต้องคิดพลังงานในส่วนนี้แยกออกมาอีก ซึ่งงานจำนวนนี้ก็จะกลายเป็นความร้อน และกลายเป็นพลังงานไม่มีประสิทธิภาพ (ไม่สามารถนำมาใช้งานได้) การสูญเสียพลังงานที่มีประสิทธิภาพจำนวนนี้จะสูญเสียในรูปแบบของความดัน โดยพลังงานที่สูญเสียไปนี้เป็น E_{loss} ในวิชาอุณหภูมิพลศาสตร์นั้น การเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปี Δh กับการเปลี่ยนแปลงความดัน Δp สามารถเขียนเป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์กันได้ดังนี้ ($\Delta h = \Delta q + v\Delta p = \Delta q + \Delta p/\rho$)
ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า $\Delta h = E_{loss} + \Delta p/\rho$ จากสมการที่ 2.4 เมื่อใช้ค่า $h_1 - h_2 = E_{loss} + (p_2 - p_1)/\rho$ แทนลงไปและไม่คิดถึงเรื่องการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของของไหลจะเขียนสมการได้เป็น

$$(p_1/\rho + V_1^2/2 + gz_1) + (E_{in} - E_{out} - E_{loss}) = (p2/\rho + V_2^2/2 + gz_2) \quad (2.6)$$

สมการนี้เป็นสมการของการอนุรักษ์พลังงานในกรณีที่ของไหลไม่สามารถอัดตัวได้ สมการนี้ไม่เพียงแต่จะใช้กับของเหลวได้เท่านั้น ในกรณีของแก๊สมีการเปลี่ยนแปลงความดัน และอุณหภูมิน้อยมากจนถือได้ว่า ρ มีค่าคงที่ สมการนี้ก็สามารถนำไปใช้ได้อีกด้วย สมการนี้ไม่มีพลังงานเข้า หรือออกจากภายนอก และไม่มี E_{loss} จะเขียนได้ใหม่เป็น

$$p + \rho V^2/2 + \rho gz = \text{ค่าคงที่} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเบอรนูรี่ (Bernoulli's Equation) ข้างบนนี้ใช้ในกรณีที่การไหลไม่มีการสูญเสียพลังงาน ไม่มีงานเข้า-ออกจากระบบ และไม่สามารถอัดตัวได้ในการไหลเทอม p, $\rho V^2/2$, ρgz ในสมการนี้จะหมายถึงแรงดันสถิตย์ (Static Pressure) ความดันขับ และความดันรวม อนึ่งค่า ρ ของแก๊สจะมีค่าน้อยมาก และถ้าค่า z ของจุดที่พิจารณา 2 จุดมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ทำให้เทอม ρgz ในสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.7) สามารถตัดทิ้งไปได้

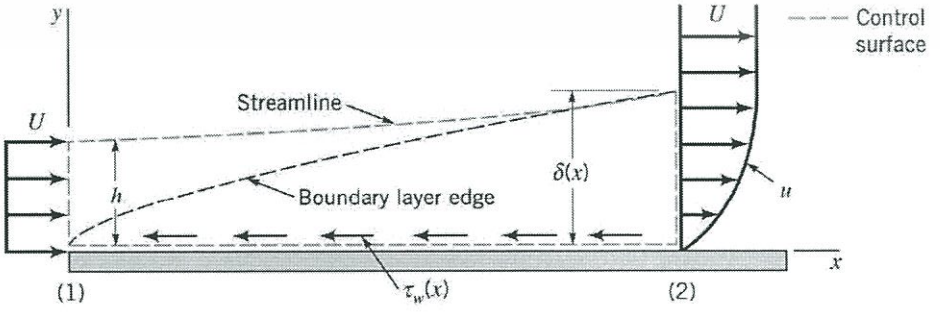
2.1.4 ประเภทของการไหล

การไหลแบบราบเรียบ หรือการไหลเป็นชั้นๆ (Laminar Flow) กับการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

2.1.4.1 การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) หรือการไหลแบบสม่ำเสมอ คือ รูปแบบการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ ไม่มีการผสมกันระหว่างชั้นของไหล ลักษณะการไหลแบบนี้ โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีความหนืด (viscosity) สูง และไหลด้วยความเร็วต่ำ หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดใหญ่มาก ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อ

2.1.4.2 การไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) หรือการไหลที่ไม่เป็นระเบียบ โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีค่าความหนืด (viscosity) ต่ำ และไหลด้วยความเร็วสูง หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อ รูปแบบการไหลของของไหลมีทิศทาง และความเร็วที่ไม่แน่นอน และมีการผสมกันระหว่างชั้นของไหลในขณะเคลื่อนที่

จากรูปที่ 2.2 เมื่อของไหลซึ่งมีความหนืดไหลไปตามผิวของวัตถุ ความหนืดของของไหลจะทำให้อนุภาคเล็กๆ ของของไหลยึดติดอยู่กับผิวของวัตถุ โดยมีความเร็ว U = 0 เป็นเหตุให้ของไหลเมื่อยิ่งเข้าใกล้ผิววัตถุมากยิ่งขึ้นจะทำให้เกิดชั้นบางๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลมากยิ่งขึ้น ในชั้นนี้เรียกว่า "ชั้นขอบเขตของความเร็ว (Velocity Boundary)" ส่วนการไหลที่อยู่นอกขอบเขตนี้ไปเรียกว่า "เส้นการไหลหลัก (Mainstream)" ซึ่งสามารถจะตัดทิ้งผลกระทบจากความหนืดได้



รูปที่ 2.2 แสดงชั้นขอบเขตของความเร็วที่ถูกสร้างขึ้นมาเมื่อมีการไหลที่ผิวของวัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแยกการไหลว่าจะเป็นการไหลแบบเป็นชั้น (ไหลแบบราบเรียบ) หรือเป็นการไหลแบบปั่นป่วน สามารถแยกได้โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ ที่ไม่มีมิติที่เรียกว่า “ค่าเรย์โน Re (Reynolds Number)” เป็นตัวกำหนดในการแยกการไหลโดย

Re = (ความเร็วในการไหล) x (ความยาว) / ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดเชิงจลนศาสตร์
= แรงขับเคลื่อนของการไหล / ความหนืดในการไหล

$$\mathrm{Re} = \frac{VL}{\nu} \tag{2.8}$$

การไหลในท่อกลมที่บริเวณทางเข้าท่อที่แสดงในรูปที่ 2.3 นั้นจะเห็นว่าตั้งแต่ที่บริเวณทางเข้า ชั้นขอบเขตของความเร็วจะค่อยๆพัฒนาเพิ่มขึ้นที่ละเล็กที่ละน้อย จนถึงระยะทางค่าหนึ่ง (Le) ชั้นของความเร็วจะซ้อนกันทั้งบน และล่าง หลังจากนั้นการกระจายความเร็วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เรียกว่าการไหลได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์ (Fully Developed) ค่าเรย์โน Re สำหรับการไหลภายในท่อนั้นถ้าให้ V เป็นค่าความเร็วเฉลี่ย Dเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของพื้นที่ตัดขวางท่อแล้วจะได้

$$\mathrm{Re} = \frac{VD}{\nu} = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{[M/(\pi D^2/4)]D}{\mu} \tag{2.9}$$

อนึ่งค่าρV [kg/(m^2*s)] จะเป็นค่าการไหลของมวลสารต่อพื้นที่หน้าตัดในการไหล สำหรับในกรณีของแก๊สนั้น การเพิ่มความร้อนภายในท่อจะทำให้แก๊สขยายตัวมีความเร็ว V เพิ่มขึ้น ค่า ρV จะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าพื้นที่หน้าตัดมีค่าคงที่ ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่สะดวกในการคำนวณ นอกจากนั้นโดยปกติจะถือว่าค่าสัมประสิทธิความหนืด μ จะไม่เปลี่ยนแปลงไปกับความดันอีกด้วย ส่วนค่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ V ซึ่งเท่ากับ μ /ρ ในกรณีของแก๊สจะเป็นค่าที่ผกผันกับความดันซึ่งจะต้องระมัดระวัง

ค่าเรย์โนที่อยู่ในระหว่างเปลี่ยนจากการไหลแบบเป็นชั้นไปสู่การไหลแบบปั่นป่วนนั้นเรียกว่า “ค่าเรย์โนวิกฤติ (Critical Reynolds)”

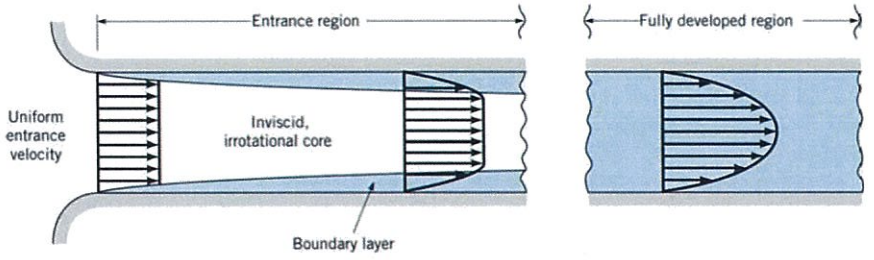
ลักษณะการไหลของของไหลมีความสำคัญต่อการเลือกใช้ชนิดของเครื่องมือวัด (instrument) ให้เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถพิจารณาได้จากค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) ซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของของไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ (temperature) และความดัน (pressure) ได้แก่ ความหนาแน่น (ρ) และความหนืด (μ) ความเร็วของของไหล (v) ที่ไหลภายในท่อ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (D)ของไหลที่ไหลภายในท่อที่มีการไหลแบบราบเรียบจะมีตัวเลขเรย์โนลด์ต่ำ โดยมีค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤตเป็นตัวบ่งบอกถึงการเปลี่ยนลักษณะการไหลของของไหลจากแบบราบเรียบ (laminar flow) ไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)

ถ้า Re มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2,000 (Re ≤ 2,000) ของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบ

ถ้า Re มีค่ามากกว่า 2,000 แต่น้อยกว่า 4,000 (2,000 < Re < 4,000) ของไหลจะมีลักษณะการไหลเป็นแบบ Transition Zone คือ มีการไหล 2 แบบ คือ ทั้งแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน

ถ้า Re มีค่ามากกว่า 4,000 (Re ≥ 4,000) ของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการไหลภายในท่อกลม

การไหลแบบเป็นชั้น/การไหลแบบราบเรียบภายในท่อกลม

รูปที่ 2.3 เป็นรูปที่แสดงให้เห็นว่า การกระจายความเร็วที่ได้พัฒนาอย่างสมบูรณ์แล้วจะเป็นรูปพาราโบล่า ถ้าให้ V เป็นความเร็วเฉลี่ยในการไหล และให้ U_c เป็นความเร็วที่จุดศูนย์กลางของท่อเราสามารถแสดงความสัมพันธ์กันได้ดังนี้

$$V = \frac{\dot{M}}{\rho(\pi D^2/4)} = \frac{U_c}{2} \tag{2.10}$$

ในท่อที่มีความยาวเป็น L จะมีการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากการสูญเสียความดันคือ $\Delta p/\rho$ [J/kg] ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \frac{64}{Re} \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2} \tag{2.11}$$

ในที่นี้ $\Delta p/\rho$ จะเรียกว่า "ความดันที่สูญเสียไป"

การไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อกลม (Re>4000)

รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นการกระจายความเร็วที่ได้พัฒนาได้อย่างสมบูรณ์การกระจายความเร็วจะมีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ ความเร็วเฉลี่ยหาได้จาก

$$V = 0.82\ U_c \tag{2.12}$$

อนึ่งสำหรับการไหลภายในท่อที่ไม่ใช่ท่อกลมนั้นจะใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล) De ซึ่งหาได้จาก

$$De = \frac{4A}{L_p} \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย A จะเป็นพื้นที่หน้าตัดในการไหล L_p จะเป็นความยาวเส้นรอบรูปของพื้นที่หน้าตัดของของไหลที่สัมผัสผนังของท่อ ในกรณีของท่อกลม De = D

2.1.5 การขนส่งของไหล

2.1.5.1 ความดันที่สูญเสียไปในท่อตรง

การไหลในท่อตรงนั้น การสูญเสียทั้งหมดจะเกิดขึ้นมาจากแรงเสียดทานระหว่างชั้นของของไหลที่อยู่ชิดกับผนังของท่อ หรือความหนืดโดยความดันที่สูญเสียไปเนื่องจากแรงเสียดทาน Δp สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{\Delta p}{\rho} = f\frac{L}{D}\cdot\frac{V^2}{2} \tag{2.14}$$

โดยในที่นี้ค่า f จะเรียกว่า "ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของท่อ (Friction Factor)" และค่า L เป็นค่าความยาว,ค่า D เป็นค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ, ส่วนค่า V เป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของการไหล จากความสัมพันธ์ของค่า V และ Q ในสมการที่ (2.3) ซึ่ง V = Q/(πD2/4) เมื่อแทนค่านี้ลงไปในสมการข้างบนจะได้ว่า

$$\frac{\Delta p}{\rho} = 8fL\cdot\frac{Q^2}{\pi^2 D^5} \tag{2.15}$$

จากสมการข้างบนจะเห็นได้ชัดเจนว่า ค่าความดันที่สูญเสียไป Δp ของท่อที่ยาว L และมีอัตราการไหล Q จะเป็นปฏิภาคที่ผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อยกกำลัง5

กรณีการไหลแบบราบเรียบ จากสมการที่ (2.11)

$$f = \frac{64}{Re} \tag{2.16}$$

ในกรณีการไหลแบบปั่นป่วน

โดยทั่วไปจะเป็นสมการที่ได้จากการทดลอง

$$f = \frac{0.316}{Re^{1/4}} \tag{2.17}$$

จากสมการข้างบนจะเห็นว่าค่า f ในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วนนั้นจะเป็นฟังก์ชันที่ไม่ได้ขึ้นกับค่า Re มากนัก ในทางปฏิบัติจริงๆ สามารถใช้เป็นค่าคงที่ได้ แต่ในกรณีของการไหลแบบราบเรียบนั้นค่า f จะแปรผกผันกับค่า Re (หรือกล่าวได้ว่าแปรผกผันกับค่า V, D) ในสมการที่ (2.15) ค่า f เป็นค่าของท่อที่ผิวเรียบ สำหรับค่าf ของท่อที่มีผิวขรุขระ และค่า Re มีค่ามากๆ ค่า f สามารถหาได้จากแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างค่า f และค่า Re ซึ่งมีชื่อว่าแผนภาพ มูดดี้ (Moody Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติของของจาระบี

2.2.1 ความหมายของจาระบี [3]

จาระบีเป็นสารกึ่งของเหลว/กึ่งของแข็ง โดยเป็นสารผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่น (Fluid Lubricant), สารทำให้เข้มข้น (Thicker) และสารเติม (Additives) น้ำมันหล่อลื่น ที่นำมาผสมเป็นจาระบี อาจเป็นได้ทั้งน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum), น้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic Oil) หรือน้ำมันพืช (Vegetable) ส่วนสารทำให้เข้มข้นนั้นจะช่วยให้จาระบีมีคุณลักษณะที่เหนียว และมีโครงสร้างวัสดุที่ดูเป็นเส้นใย 3 มิติ หรือเป็นเหมือนก้อนฟองน้ำที่ดูดซับ และชุ่มไปด้วยน้ำมัน สารทำให้เข้มข้นได้แก่ สบู่, สารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ที่ไม่ใช่สบู่ ทั้งนี้จาระบีส่วนใหญ่ในท้องตลาดเป็นสารประกอบที่ผลิตจากน้ำมันจากแร่ ผสมกับสารทำให้เข้มข้นที่เป็นสบู่ ในขณะที่สารเติมที่กล่าวถึงในตอนต้นนั้นจะใส่เข้าไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพิเศษให้จาระบี และป้องกันเนื้อจาระบี

2.2.2 การใช้งานจาระบี

จาระบี จะทำหน้าที่เกาะติด และรักษาพื้นผิวที่มีการเคลื่อนที่ ไม่ให้น้ำหนัก, แรงจากการหมุน หรือแรงจากการเสียดสีทำให้หน้าสัมผัสเกิดความเสียหาย และข้อกำหนดหลักของจาระบีในทางปฏิบัติคือจะต้องรักษาคุณสมบัติของเฉพาะตัวเอาไว้ให้ได้แม้ว่าอุณหภูมิแวดล้อมจะสูงขึ้น ข้อควรจำอย่างแรกคือ จาระบี และมันหล่อลื่นไม่สามารถใช้แทนกันได้ น้ำมันหล่อลื่นจะถูกใช้ในงานหล่อลื่นเครื่องจักรกลซึ่งมีการระบุใช้กับน้ำมันหล่อลื่นตามคุณสมบัติที่กำหนดเอาไว้เท่านั้น เราจะใช้จาระบีก็ต่อเมื่อในทางปฏิบัตินั้นไม่สะดวกที่จะใช้น้ำมันหล่อลื่น และ ควรใช้จาระบีในลักษณะงานต่อไปนี้

2.2.2.1 เครื่องจักรที่ทำงานไม่ต่อเนื่อง หรือเครื่องจักรที่ต้องถูกเก็บไว้เป็นเวลานาน ๆ เพราะชั้นฟิล์มหล่อลื่นของจาระบีจะช่วยรักษาชิ้นส่วนเคลื่อนที่ของเครื่องจักรเอาไว้

2.2.2.2 เครื่องจักรที่ผู้ใช้ไม่สะดวกที่จะใส่น้ำมันหล่อลื่นได้บ่อย ๆ หรือใส่น้ำมันหล่อลื่นได้ยาก เช่น ในตำแหน่งที่คับแคบ และเข้าถึงได้ยาก

2.2.2.3 เครื่องจักรที่ทำงานในสภาวะหนัก เช่นอุณหภูมิสูง, ความดันสูง, แรงสั่นสะเทือนมาก หรือเครื่องจักรความเร็วรอบต่ำแต่โหลดหนัก ๆ เป็นต้น เพราะภายใต้สภาวะดังกล่าวจาระบีจะเป็นเหมือนเบาะรองที่มีความหนาให้กับหน้าสัมผัส ช่วยให้เกิดการหล่อลื่นได้ดี ในขณะที่ถ้าเป็นน้ำมันหล่อลื่นนั้นชั้นรองจะบางเกินไป และเกิดแยกตัวออกได้

2.2.2.4 ชิ้นส่วน หรือเครื่องจักรเก่า เพราะจาระบีจะช่วยลดช่องว่างของชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรให้น้อยลง ช่วยยืดอายุของเครื่องจักรเก่าซึ่งเคยใช้น้ำมันเป็นสารหล่อลื่นมาก่อน และจาระบียังช่วยลดเสียงดังรบกวนที่เกิดจากการเสียดสีของเครื่องจักรเก่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 คุณสมบัติในการทำงานของจาระบี

2.2.3.1 จาระบีจะต้องเป็นเหมือนสารผนึกที่ช่วยลดรอยรั่ว หรือช่องว่าง และป้องกันชิ้นส่วนจากวัตถุเจือปน และฝุ่นละออง

2.2.3.2 จาระบีต้องมีความง่ายในการใช้กว่าน้ำมันหล่อลื่น เพราะการหล่อลื่นด้วยน้ำมันต้องอาศัยระบบ และอุปกรณ์ที่มีราคาแพง

2.2.3.3 จาระบีจะต้องยึดจับของแข็งที่เป็นสารแขวนลอย ในขณะที่ถ้าเป็นน้ำมันหล่อลื่นสารแขวนลอยจะกระจายตัวในน้ำมัน

2.2.3.4 ระดับของเหลวไม่ต้องควบคุม หรือต้องคอยตรวจสอบ

2.2.4 ข้อด้อยของจาระบี

2.2.4.1 มีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนต่ำ เนื่องจากความเหนียวของจาระบีทำให้การนำพาความร้อนไม่สามารถทำได้เหมือนน้ำมัน

2.2.4.2 ความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ ในช่วงการเริ่มเดินเครื่องจักร (Start-up) จาระบีจะสร้างแรงต้านการเคลื่อนที่ ดังนั้นจาระบีอาจไม่เหมาะกับงานที่มีแรงบิดต่ำแต่ความเร็วรอบสูง

2.2.4.3 ชำระล้างหรือถ่ายเทออกยากกว่าน้ำมัน และระดับที่แท้จริงของการใส่จาระบีก็ยากที่จะวัดค่าออกมา

2.2.5 คุณลักษณะเฉพาะของจาระบี

2.2.5.1 ความหนืด เมื่อเริ่มเดินเครื่องจักรจาระบีจะมีความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร แต่พอความเร็วสูงขึ้นการต้านทานของจาระบีจะน้อยลง (ซึ่งคุณลักษณะนี้เรียกว่าความหนืด) เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของน้ำมันนั้นจะต่างกัน เพราะน้ำมันที่อุณหภูมิคงที่จะมีระดับความหนืดเท่าเดิมทั้งในช่วงการเริ่มเดิน และช่วงการทำงานของเครื่องจักร สำหรับจาระบีความหนืดที่เกิดเป็นความหนืดปรากฏ (Apparent Viscosity)

2.2.5.2 การแตกซึม (Bleeding) เป็นสภาวะที่ของเหลวแยกตัวออกจากสารทำให้ข้นขึ้น (Thicker) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูง และอาจเกิดขึ้นเมื่อมีการจัดเก็บจาระบีเอาไว้เป็นเวลานาน ๆ โดยไม่ได้ใช้ เมื่อจาระบีถูกสูบผ่านท่อในระบบหล่อลื่นจะเกิดแรงต้านการไหลขึ้น ซึ่งต่างจากกรณีของน้ำมันที่จะไหลได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.3 ความเหนียวแน่น (Consistency) และหมายเลข NLGI คุณลักษณะที่สำคัญที่สุดของจาระบีก็คือความเหนียวแน่น เพราะจาระบีที่แข็งเกินไปจะไม่สามารถถูกป้อนเข้าไปยังบริเวณที่ต้องการหล่อลื่นได้โดยง่าย ในขณะที่ถ้าจาระบีเหลวมากเกินไปก็จะเกิดการรั่วซึมได้ ความเหนียวแน่นของจาระบีขึ้นอยู่กับชนิด, ขึ้นอยู่สารทำให้เข้มข้นที่ใช้ และยังขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำมันที่ใช้ผลิตจาระบีนั้น ๆ อีกด้วย โดยสรุปแล้วความเหนียวแน่นของจาระบีก็คือค่าความต้านทานของจาระบีต่อการเปลี่ยนรูปเมื่อมีแรงมาทำต่อจาระบีนั่นเอง ซึ่งค่าความเหนียวแน่นของจาระบีได้มีการกำหนดเป็นหมายเลขแสดงระดับความเหนียวแน่น โดยสถาบันจาระบีหล่อลื่นแห่งชาติสหรัฐ ฯ (National Lubricating Grease Institute) กำหนดเป็นหมายเลข NLGI ตั้งแต่หมายเลข 000 ถึง 6 ดังแสดงในตารางที่ 1 แสดงระดับความเหนียวแน่นของจาระบีซึ่งได้ หมายเลขนี้ได้จากการทดสอบด้วยการวางกรวยน้ำหนักที่ทราบค่าบนจาระบีแล้ววัดระดับการจมลึกลงในเนื้อจาระบีในเวลา 5 วินาที ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงหมายเลข NLGI ของจาระบี [4]

เบอร์ความแข็งจารบี NGLI Grade Penetration	ระยะจม (1/10 มม.)ที่ 25 องศาเซลเซียส	ระดับความเหนียวแน่น
000	445-475	กึ่งของเหลว
00	400-430	กึ่งของเหลว
0	355-385	อ่อนมาก
1	310-340	อ่อน
2	265-295	ระดับของจาระบีทั่วไป
3	220-250	กึ่งแข็ง
4	175-205	แข็ง
5	130-160	แข็งมาก
6	85-115	ของแข็ง

2.2.5.4 คุณลักษณะการดักจับฝุ่นผง จาระบีจะเป็นตัวยึดเกาะฝุ่นผงเอาไว้ที่ผิวเนื้อด้านนอกของจาระบี ซึ่งคุณลักษณะนี้จะช่วยป้องกันฝุ่นผง ซึ่งอาจเป็นเศษโลหะไปทำให้บริเวณใช้งานเกิดการสึกหรอได้ อย่างไรก็ตามถ้าฝุ่นผงมากเกินไป มันก็จะจมลงในเนื้อจาระบี และเข้าไปถึงพื้นผิวหล่อลื่นจนกลายเป็นการเร่งให้เกิดการสึกหรอเร็วขึ้นกว่าที่ควร

2.2.5.5 การกัดกร่อน และความต้านทานสนิม คุณลักษณะนี้หมายถึงความสามารถของจาระบีในการปกป้องพื้นผิวโลหะจากการกัดกร่อนของสารเคมี ทั้งนี้ความต้านทานสารเคมีโดยธรรมชาติของจาระบีจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารทำให้เข้มข้นที่นำมาผลิตจาระบี ความต้านทานต่อการกัดกร่อนอาจเพิ่มขึ้นได้โดยการเติมสารยับยั้งการกัดกร่อน และยับยั้งสนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.6 จุดหยดตัว (Dropping Point) จุดหยดตัวเป็นตัวชี้ระดับความต้านทานความร้อนของจาระบี ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นเกินระดับที่กำหนดแล้วจาระบีก็จะหลอมละลายเป็นของเหลว และสูญเสียค่าความเหนียวแน่นไป จุดหยดตัวจึงเป็นระดับอุณหภูมิที่ทำให้จาระบีเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวเพียงพอที่จะทำให้เกิดเป็นหยดได้ แม้ว่าจุดหยดตัวเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิใช้งานของจาระบี แต่เราไม่ควรอย่างยิ่งที่จะใช้งานจาระบีในย่านอุณหภูมิหยดตัว จาระบีหลายชนิดที่เมื่อหลอมละลายในระดับอุณหภูมิหยดตัวแล้ว จะกลับสู่สภาพปกติได้เมื่ออุณหภูมิเย็นลง

2.2.5.7 การระเหย (Evaporation) ระดับอุณหภูมิของน้ำมันที่ผสมอยู่ในจาระบีจะระเหยที่ระดับ 177องศาเซลเซียส ดังนั้นถ้าอัตราการระเหยมากขึ้นจาระบีก็จะแข็งตัวมากขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของสารทำให้เข้มข้นมีมากขึ้น เหตุการณ์นี้ทำให้เราก็ต้องคอยใส่จาระบีบ่อยขึ้น

2.2.5.8 เสถียรภาพออกซิเดชั่น เป็นความสามารถของจาระบีในการต้านทานผลที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีกับออกซิเจน เพราะการเกิดออกซิเดชั่นจะทำให้เกิดคราบสกปรกหรือเกิดเป็นตะกอนแข็ง เป็นสาเหตุให้หน้าสัมผัสหล่อลื่นเกิดการสึกหรอได้

2.2.5.9 ความสามารถในการสูบ (Pump ability) และความสามารถในการป้อน(Feed ability) ความสามารถในการสูบ เป็นคุณลักษณะของจาระบีที่จะถูกสูบ หรือถูกอัดเข้าสู่ระบบการหล่อลื่น ทั้งนี้ในทางปฏิบัติอาจหมายถึงความง่ายที่จะทำให้จาระบีที่มีความดันสูงผ่านเข้าไปยังส่วนของท่อ, น็อตเซิล, หรือข้อต่อต่าง ๆ ของระบบป้อนกระจายจาระบี (Grease-Dispensing System) ในขณะที่ความสามารถในการป้อน หมายถึงความสามารถที่จาระบีจะถูกดูดเข้าไปในปั๊มอัด ทั้งนี้จาระบีที่มีเนื้อสารแบบเส้นใยเหนียวนั้นมีความสามารถในการป้อนสูง แต่มีความสามารถในการสูบต่ำ หรือถ้าเป็นจาระบีที่มีเนื้อสารเหมือนเนย ก็จะมีความสามารถในการสูบดี แต่มีความสามารถในการป้อนต่ำ

2.2.5.10 ความมีเสถียรภาพจากการถูกตัดเฉือน ความเหนียวแน่นของจาระบีอาจเปลี่ยนแปลงเมื่อนำไปใช้งานซึ่งต้องมีการตัดเฉือนระหว่างหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ ความมีเสถียรภาพจากการถูกตัดเฉือนจึงเป็นความสามารถของจาระบีที่จะรักษาระดับของความเหนียวแน่นได้เมื่อถูกตัดเฉือน

2.2.5.11 ผลกระทบจากอุณหภูมิสูง อุณหภูมิสูงจะสร้างความเสียหายให้กับจาระบีมากกว่าน้ำมันหล่อลื่น ทั้งนี้เนื่องจากจาระบีจะไม่สามารถกระจายความร้อนด้วยการพาความร้อนเหมือนกับน้ำมัน นอกจากนี้จาระบียังไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้อีกด้วย ผลก็คือทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นถูกเร่ง เมื่ออุณหภูมิสูงจาระบีจะละลาย และไหลออกจากบริเวณที่ต้องให้การหล่อลื่น นอกจากนี้จาระบีที่ละลายอาจเกิดการวาบไฟ หรือเผาไหม้ขึ้นมาได้หากอุณหภูมิสูงกว่า 177 องศาเซลเซียส

2.2.5.12 ผลกระทบจากอุณหภูมิต่ำ ถ้าอุณหภูมิต่ำมากเกินไปจาระบีจะมีมีความหนืดมากขึ้น ทำให้เปลี่ยนรูปเป็นจาระบีที่แข็งมากขึ้นจนส่งผลต่อประสิทธิภาพการหล่อลื่น ทำให้แรงบิด และกำลังขับของเครื่องจักรเปลี่ยนไป และอุณหภูมิต่ำมากจนทำให้เกิดสภาวะเช่นนี้สามารถตรวจสอบได้จากคู่มือหรือฉลากของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.13 ความต้านทานน้ำ เป็นความสามารถของจาระบีที่จะคงทนต่อผลกระทบจากน้ำได้โดยไม่มีการเปลี่ยนความสามารถในการเป็นสารหล่อลื่น จาระบีที่ต้านทานน้ำได้จะช่วยให้พื้นผิวลดโอกาสที่จะเกิดสนิมได้อีกด้วย

2.2.6 การทดสอบคุณลักษณะของจาระบี [5]

จากคุณลักษณะเฉพาะของจาระบีที่ได้กล่าวมานี้ "ASTM" ได้มีการทดสอบจาระบีเพื่อระบุระดับคุณลักษณะของจาระบี โดยอาศัยกรรมวิธีต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น

2.2.6.1 การทดสอบจุดหยดตัว (ASTM D566-Dropping Point of Lubricating Grease) วิธีการก็คือ นำเอาจาระบี และเทอร์โมมิเตอร์วางด้วยดันในถ้วย ซึ่งบรรจุอยู่ในท่อทดสอบ จากนั้นให้ความร้อนกับท่อจนจาระบีละลายหยดตัวลงในถ้วย และอุณหภูมิตรงนั้นจะเป็นอุณหภูมิหยดตัว (Dropping Point)

2.2.6.2 การทดสอบการความเหนียวแน่นที่อุณหภูมิสูง มีวิธีการโดยใส่จาระบีเอาไว้ในทรงกระบอกเปิด ซึ่งวางอยู่ในผนังอลูมิเนียมที่ถูกป้อนความร้อนด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียส ต่อนาที ในขณะเดียวกันจะใช้โพรบแบบ 3 ง่ามสอดในเนื้อจาระบี และหมุนโพรบด้วยความเร็ว 20 รอบต่อนาที ตัวโพรบจะต่ออยู่กับ Brookfield Viscometer เพื่อทำการวัดแรงบิดเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ด้วยกรรมวิธีนี้เองจะทำให้ทราบค่าของความเหนียวแน่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันได้

2.2.6.3 การทดสอบระดับการป้องกันฝุ่นผง มีวิธีการโดยบรรจุจาระบีในตลับลูกปืน แล้วหมุนตลับลูกปืนด้วยความเร็ว 1750 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที จาระบีส่วนเกินที่ล้นออกมาจะเคลือบเป็นชั้นฟิล์มบางที่ผิวตลับลูกปืน จากนั้นจะนำเอาตลับลูกปืนไปแช่น้ำที่ระดับอุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส ความชื้น 100% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เสร็จแล้วจะถูกนำไปทำความสะอาด และระบุระดับของการป้องกันฝุ่นผง

2.2.6.4 การทดสอบการระเหยตัว จะใช้อากาศร้อนปริมาณ 2 ลิตรผ่านเข้าไปในจาระบีที่บรรจุอยู่ในช่องแคบเล็ก ๆ เป็นเวลา 22 ชั่วโมง โดยกำหนดให้อุณหภูมิของอากาศอยู่ในช่วง 100-150 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นระดับการระเหยตัวของจาระบีจะถูกคำนวณออกมาจากน้ำหนักที่หายไป เป็นหน่วยเปอร์เซ็นต์

2.2.6.5 การทดสอบการต้านทานน้ำ การทดสอบนี้แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ การทดสอบการชำระล้างจาระบีด้วยน้ำ และการทดสอบการต้านทานต่อละอองน้ำ โดยการทดสอบแรกจะวัดระดับการชำระล้างจาระบีออกจากตลับลูกปืนที่หมุนอยู่ด้วยความเร็ว 600 รอบต่อนาทีในสายน้ำที่ไหลผ่านด้วยอัตราไหล 5 มิลลิลิตรต่อวินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้น้ำอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส และ 79 องศาเซลเซียส ในขณะที่การทดสอบที่สองนั้นจะวัดการถูกชำระล้างออกของจาระบีบนแผ่นโลหะหนา 0.8 มิลลิเมตร โดยใช่หัวฉีดน้ำอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ด้วยความดัน 275 KPa เป็นเวลา 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ข้อมูลสายการผลิตที่นำมาปรับปรุงเครื่องใส่สายอินเนอร์

2.3.1 ใช้สายการผลิต 2 สาย คือสายการผลิต 5A และสายการผลิต 5D รวมถึงสายการผลิต 5E เพราะเครื่องเครื่องใส่สายอินเนอร์ที่สายการผลิต 5D ถูกย้ายไปที่สายการผลิต 5E ส่วนระยะเวลาที่ใช้ในการฉีดจาระบีอยู่ที่ 1.89 วินาที

Line : 5A
Customer : ISUZU
P/No. : 4CBT30404
Cable Length : 1689 ± 4 mm (ระยะที่เครื่องใส่สายอินเนอร์ฉีดจาระบีอยู่ที่ 1.5 เมตร)
Weight Grease : 1 – 2 g
ผลิต 5,000 เส้นต่อเดือน

Line : 5D
Customer : MISUBISHI
type : Cable Parking Brakes (RH)
P/No. : 4VBE00806
Cable Length : 1789 ± 4 mm (ระยะที่เครื่องใส่สายอินเนอร์ฉีดจาระบีอยู่ที่ 1.5 เมตร)
Weight Grease : 1 – 2 g/m
ผลิต 1,000 เส้นต่อเดือน

Line : 5E
Cable Length : 1789 ± 4 mm (ระยะที่เครื่องใส่สายอินเนอร์ฉีดจาระบีอยู่ที่ 1.5 เมตร)
Weight Grease : 1 – 2 g/m
ผลิต 30,000 เส้นต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 จาระบีที่ใช้ในสายการผลิต

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของจาระบีที่ใช้ในสายการผลิต

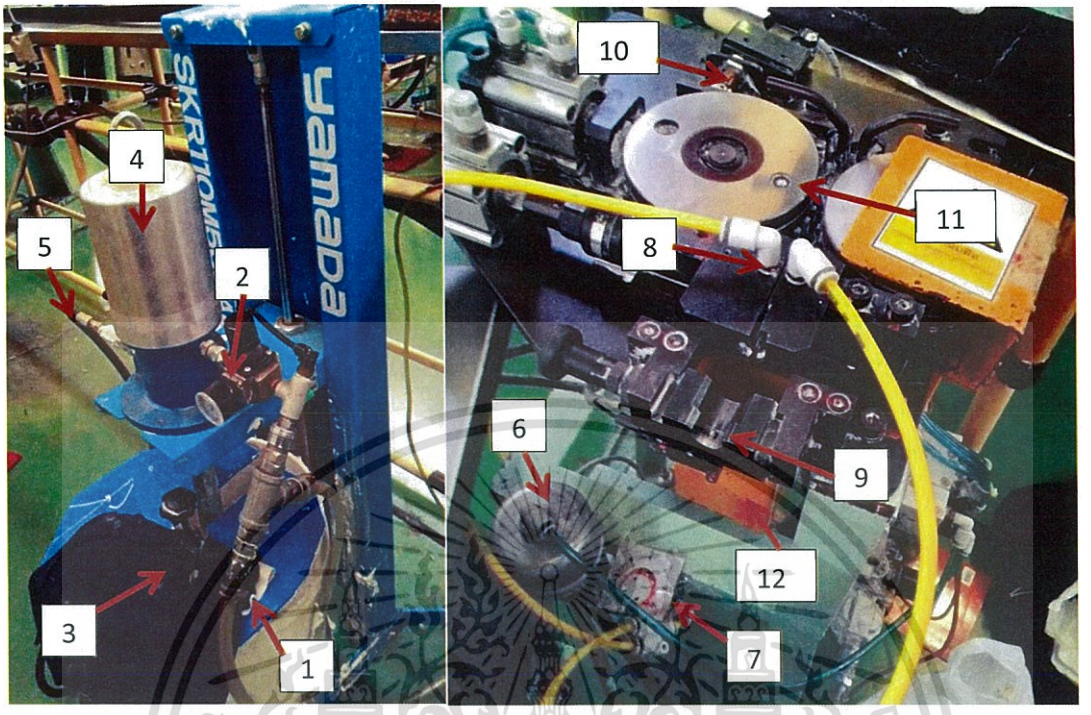
Test item	Unit	measurement
Appearance	-	White butter
Worked penetration(25°)	-	369
Dropping Corrosion (100°,24h)	°C	180
Evaporation loss (99°,22h)	Mass%	0.007
Oil separation (100°C,24h)	Mass%	1.6
Oxidation characteristics	KPa	15
Water washout characteristics	Mass%	3.8
Salt spray	Class	A
Kind of stearate	-	Barium
Base Oil kind	-	Silicone
Base Oil content	Mass%	65
Extract oil kinematics viscosity	mm^2/s	383

จาระบีที่ใช้นี้ใช้ทั้งในสายการผลิต 5A , 5D และ 5E และจาระบีที่ใช้งานจะถูกกำหนดจากโมเดลที่ผลิตสายเบรค ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนจาระบีที่ใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.3 องค์ประกอบของเครื่องใส่สายอินเนอร์ และหลักการทำงานของเครื่อง



รูปที่ 2.4 แสดงองค์ประกอบของเครื่องใส่สายอินเนอร์

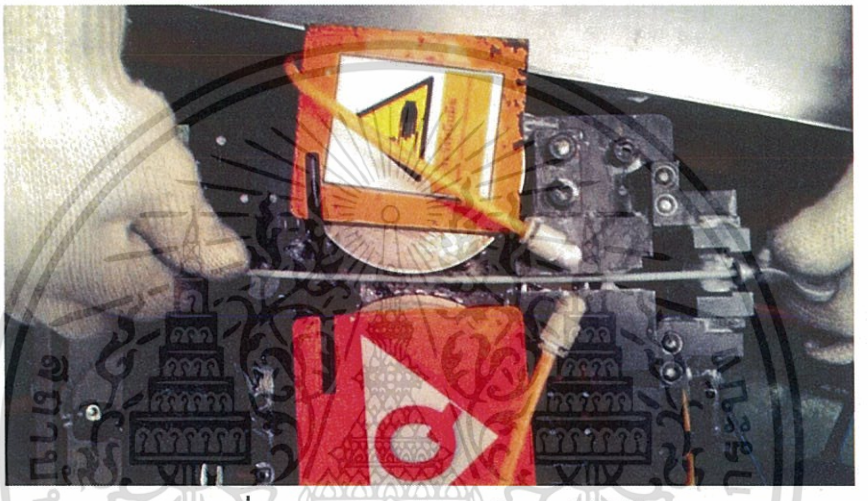
เครื่องใส่สายอินเนอร์ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 12 อย่างคือ

1. สายท่อลมที่สำหรับจ่ายลมเข้าเครื่องฉีดจาระบี
2. เกจมิเตอร์แสดงความดันลมที่ให้เข้าไปในเครื่องฉีดจาระบี
3. ถังใส่จาระบี
4. ถังความดันที่ใช้ในการฉีดจาระบี
5. สายจาระบีที่ออกจากตัวเครื่องฉีดจาระบี
6. วาล์วเปิด-ปิดจาระบี เป็นวาล์วแบบตัดตอน
7. วาล์วปรับปริมาณจาระบี ซึ่งเป็น Glove valve ชนิด single port เหมาะกับใช้ในการควบคุมการไหล และทนการการกัดกร่อนของสารเคมี
8. หัวฉีดจาระบี
9. ปุ่มทริกสวิตซ์ทำให้เครื่องใส่สายอินเนอร์ทำงาน
10. ปุ่มทริกสวิตซ์ทำให้เครื่องใส่สายอินเนอร์หยุดทำงาน
11. มอเตอร์ลำเลียงสายอินเนอร์เข้าสายเบรค
12. กล่องใส่จาระบีเหลือทิ้ง

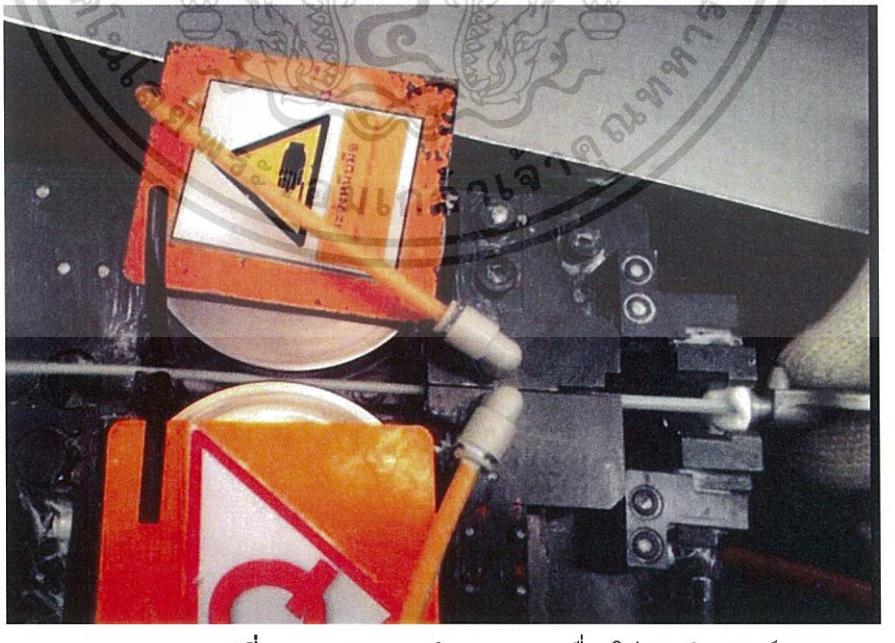
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
147145

2.3.4 หลักการทำงานของเครื่องใส่สายอินเนอร์

นำสายอินเนอร์ใส่เข้าไปในสายเบรคประมาณ 3 ถึง 5 เซนติเมตร จากนั้นใส่ลงมาที่เครื่องใส่สายอินเนอร์เพื่อให้เครื่องใส่สายอินเนอร์ลำเลียงสายที่เหลือเข้าสายเบรค และฉีดจาระบีเข้าไปที่สายพร้อมๆกับที่ลำเลียงสายเบรค เมื่อนำปลายหัวสายเบรคที่ใส่สายอินเนอร์ไปทริกที่ปุ่มสวิตซ์เปิด (ปุ่มหมายเลข9) จะทำให้สายอินเนอร์ถูกลำเลียงผ่านมอเตอร์เข้าสายเบรค และจะฉีดจาระบีจากหัวฉีดออกมาพร้อมๆกับที่ลำเลียงสายเบรค เมื่อสายอินเนอร์ถูกลำเลียงจนสุดปลายสายอินเนอร์จะไปทริกกับสวิตซ์ปิดให้มิเตอร์ลำเลียงหยุดลำเลียงสายอินเนอร์ และจะหยุดฉีดจาระบีไปพร้อมๆกัน



รูปที่ 2.5 แสดงการใส่สายอินเนอร์เข้ากับสายเบรค



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของเครื่องใส่สายอินเนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในการปรับปรุงเครื่องฉีดจาระบีจะทำการปรับปรุง 3 อย่าง อย่างแรกคือสร้างสเกลวัดให้กับวาล์ว เพื่อทำให้สามามารถวัดค่าเงื่อนไขออกมาได้เนื่องจากในตอนแรกวาล์วของตัวฉีดจาระบีนั้นไม่มีอุปกรณ์ในการบอกปริมาณการไหลของจาระบีได้ ต่อมาคือการกำหนดเงื่อนไขให้เหมาะสมในการฉีดจาระบีเพื่อให้จาระบีสามารถฉีดออกมาตามปริมาณที่กำหนดไว้ไม่เลอะเปรอะเปื้อนเครื่องจักร และสุดท้ายตรวจดูความสัมพันธ์ระหว่างหัวฉีดกับปริมาณจาระบี คือดูว่าช่องว่างในหัวฉีดในขณะที่ฉีดจาระบีไปที่สายเบรคว่ามีพื้นที่เพียงพอกับปริมาณจาระบีที่ฉีด เพราะถ้าหากมีพื้นที่ไม่เพียงพอก็อาจจะทำให้จาระบีไหลออกมานอกหัวฉีดได้ ซึ่งเครื่องจาระบีที่เราต้องการหาเงื่อนไขนั้น มีสองสายการผลิต คือต้องการให้จาระบีไหลติดกับสายเบรคอยู่ที่ปริมาณ 1-2 กรัมต่อเมตร และต้องการให้จาระบีไหลติดกับสายเบรคอยู่ที่ปริมาณ 1-2 กรัมต่อเส้น ส่วนความยาวของสายเบรคที่ผ่านเครื่องฉีดจาระบีมีความยาว 1.5 เมตร และเวลาในการฉีดจาระบีเฉลี่ย 1.89 วินาที

3.1 สร้างสเกลวัดมุมให้กับวาล์ว

สาเหตุที่ทำการสร้างสเกลในการวัดนั้น เป็นเพราะเครื่องฉีดจาระบีไม่มีอุปกรณ์ในการบอกปริมาณการไหลของจาระบีได้ ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าปริมาณจาระบีไหลออกมาอยู่มากน้อยเพียงใด ผู้จัดทำจึงทำการสร้างสเกลเพื่อใช้ในการวัดหาเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยในการสร้างสเกลให้กับวาล์วนั้นจัดทำขึ้นเพื่อทำให้สามารถรู้ได้ว่าวาล์วเปิดอยู่ในระดับเท่าใด และสเกลนี้จะนำไปใช้ในการหาเงื่อนไขต่อไป โดยในการสร้างสเกลของวาล์วจะจัดทำเป็นแบบวงกลม และมีมุมตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา โดยมุม 0 องศาจะอยู่ตรงจุดที่วาล์วปิดอยู่ และจะหมุนเปิดวาล์วแบบทวนเข็มนาฬิกา ขั้นตอนการวาดสเกลวัดเงื่อนไขให้กับวาล์ว เริ่มต้นทำการวัดขนาดของหัววาล์ว ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 2.3 เซนติเมตร จึงทำการวาดเข็มวัดที่ตัววาล์วขนาด 2.3 เซนติเมตร ส่วนตัวสเกลที่ติดกับฐานวาล์วจะวาดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.3 เซนติเมตร และจะเขียนสเกลตัวเลขมุมห่างกัน 45 องศา ตั้งแต่ 0° ถึง 360° จนกระทั่งครบรอบ เมื่อทำการออกแบบสเกลวาล์วเรียบร้อยแล้ว นำไปปริ้นกับกระดาษสติ๊กเกอร์ และนำไปติดกับแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่ตัดเป็นวงกลมพอดีกับขนาดของสเกลวาล์วดังรูปที่ 3.1

และจากสมการ $\dot{M}$[kg/s]= ρVA

เมื่อกำหนด $\dot{M}$ คือปริมาณการไหล [kg/s]

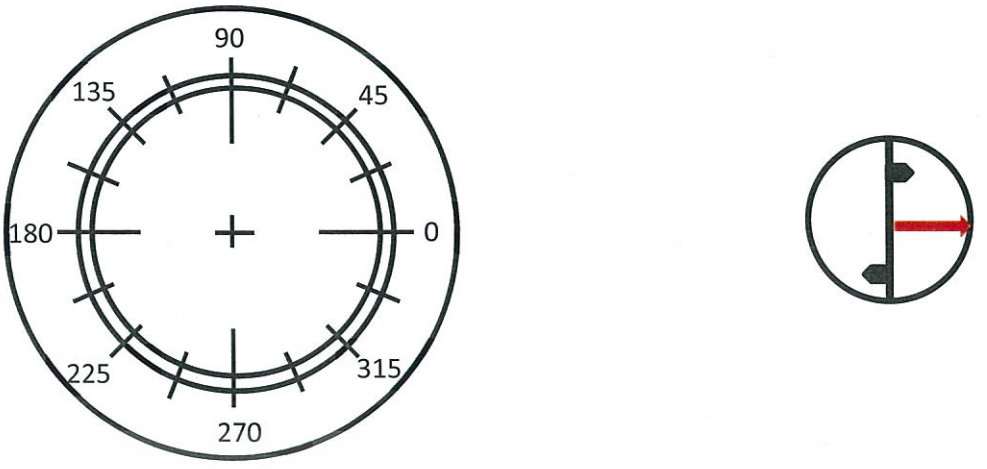
A คือพื้นที่ตัดขวาง (Cross Section Area) [m^2]

V คือความเร็วเฉลี่ยในการไหลผ่านพื้นที่ตัดขวาง [m/s]

ρ คือค่าความหนาแน่นของของไหล [kg/m^3]

ทำให้ทราบว่าปริมาณการไหล ($\dot{M}$) [kg/s] α พื้นที่ตัดขวาง (m^2) ซึ่งทำให้สามารถใช้การปรับวาล์วในการหาปริมาณการไหลที่เหมาะสมกับสายเบรคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการออกแบบสเกลของวาล์วทั้งตัววัดที่ติดกับหัววาล์ว และสเกลที่ติดกับฐานวาล์ว

รูปที่ 3.2 แสดงวาล์วก่อนทำการใส่ตัวสเกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กำหนดเงื่อนไขมุมวาล์วให้เหมาะสมในการฉีดจาระบี

เมื่อทำการสร้างสเกลวาล์วเรียบร้อยแล้วถัดมาจะเป็นการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบีที่กำหนดไว้ โดยข้อกำหนดที่ต้องทำการหามีดังนี้

3.2.1 ในสายการผลิต 5A ปริมาณจาระบีที่กำหนดไว้ว่าต้องไหลอยู่ที่ 1 - 2 กรัมต่อเส้น ซึ่งเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 กรัมต่อเส้น และเวลาในการฉีดจาระบีเฉลี่ย 1.89 วินาที ฉะนั้นปริมาณจาระบีเฉลี่ยอยู่ที่ที่ $\frac{1.5}{1.89}$ = 0.79 กรัมต่อวินาที

3.2.2 ในสายการผลิต 5D ปริมาณจาระบีที่กำหนดไว้ว่าต้องไหลอยู่ที่ 1 – 2 กรัมต่อเมตร ซึ่งจะเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 กรัมต่อเมตร ซึ่งสายเบรคยาว 1.5 เมตร จะต้องใช้จาระบี 1.5 x 1.5 = 2.25 กรัมต่อเส้น และเวลาในการฉีดจาระบีเฉลี่ย 1.89 วินาที ฉะนั้นปริมาณจาระบีเฉลี่ยอยู่ที่ $\frac{2.25}{1.89}$ = 1.2 กรัมต่อวินาที

3.2.3 อุปกรณ์ในการทดลองหา เงื่อนไข ประกอบด้วย

3.2.3.1 บิกเกอร์ใบที่ 1 น้ำหนัก 67.6 กรัม

3.2.3.2 บิกเกอร์ใบที่ 2 น้ำหนัก 66 กรัม

3.2.3.3 บิกเกอร์ใบที่ 3 น้ำหนัก 65.7 กรัม

3.2.3.4 บิกเกอร์ใบที่ 4 น้ำหนัก 65.3 กรัม

3.2.3.5 บิกเกอร์ใบที่ 5 น้ำหนัก 65.3 กรัม

3.2.3.6 เข็มฉีดยาสริง น้ำหนัก 7.2 กรัม

3.2.3.7 ถุงมือผ้ากันเปื้อนจาระบี 2 คู่

3.2.3.8 สมุดจดตาราง เงื่อนไข ที่ได้ 1 เล่ม

3.2.3.9 ชุดอุปกรณ์เครื่องเขียน 1 ชุด

และจาระบีที่ไหลในสายเบรคนั้นมีความเร็วไม่สูงมากเมื่อคำนวณหา Re ในท่อระหว่างที่ฉีดสายเบรค จะได้ว่า $A = \pi r^2 = 3.11669\ m^2$, D = 6.35 mm

V = 0.139 – 0.207 m/s

$\nu = 1.5 \times 10^{-6}$ m

$Re = \frac{VD}{\nu}$ = 588 ถึง 876 ซึ่งค่า Re อยู่ในช่วงน้อยกว่า 2,000 ฉะนั้นจึงเป็นการไหลแบบราบเรียบ

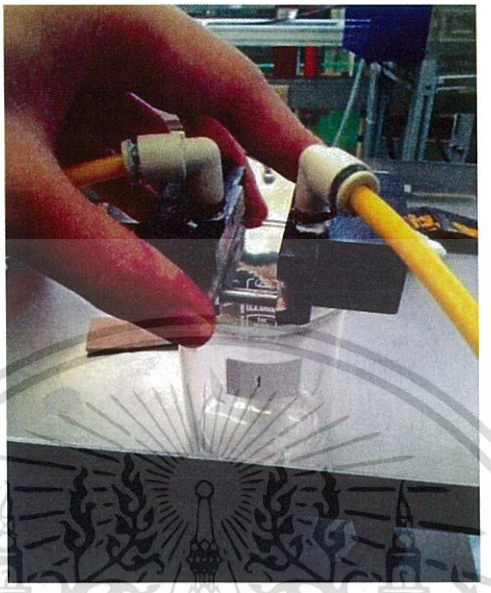
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์ในการหาเงื่อนไข

3.2.4 ขั้นตอนการหาเงื่อนไข จะทำการปรับวาล์วที่มุมต่างๆ โดยกำหนดความดันลม 0.4 MPa และความดันลมเครื่องจาระบีที่ 0.45 MPa ตามข้อกำหนดของเครื่อง ที่ไม่ให้ค่าต่ำกว่านี้เพราะว่าหากให้ความดันต่ำเกินไปเมื่อทำการฉีดจาระบีไปสักระยะหนึ่งความดันจะลดลง และจะไม่กลับมาคงที่เหมือนเดิม หลังจากปรับมุมวาล์วที่ต้องการแล้ว จะทำการฉีดจาระบี โดยจับเวลาเป็นวินาที โดยทำการจับเวลา 10 ครั้ง และทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าเฉลี่ยปริมาณการไหลของจาระบี โดยจะปรับที่มุม 45 องศา, 90 องศา, 135 องศา และ 180 องศา รวมถึงทดลองหาปริมาณจาระบีในช่วงเช้าและช่วงบ่ายเพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจาระบีที่เกิดขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อปริมาณการไหลของจาระบีที่เกิดขึ้น

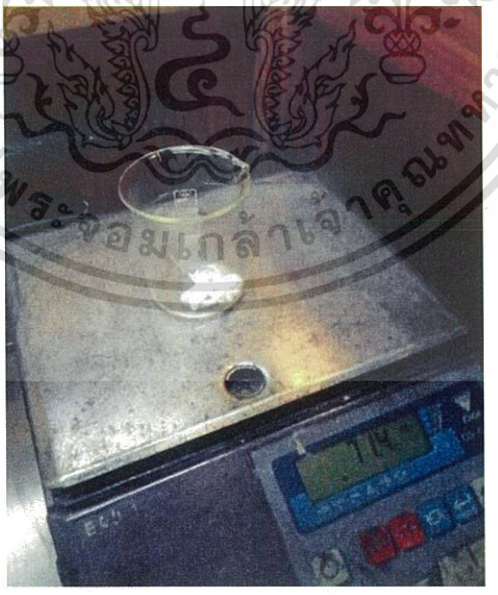
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 1 ปรับความดัน และปรับมุมวาล์วตามที่กำหนดไว้ จากนั้นนำบิกเกอร์มารองใต้หัวฉีดจาระบีแล้วกดสวิตซ์เพื่อให้เครื่องทำงาน แล้วทำการจับเวลาประมาณ 3 – 5 วินาที แล้วกดสวิตซ์ปิดเครื่อง จากนั้นเปลี่ยนบิกเกอร์แล้วทำซ้ำ ๆ กันอีก 10 ครั้ง เพื่อความแม่นยำในการวัด



รูปที่ 3.4 แสดงการฉีดจาระบีเพื่อหาเงื่อนไข

ขั้นตอนที่ 2 นำบิกเกอร์ที่มีจาระบีอยู่มาชั่งน้ำหนักดูปริมาณจาระบีที่เกิดขึ้นโดยนำน้ำหนักที่ได้ไปลบกับน้ำหนักของบิกเกอร์ จะได้น้ำหนักจาระบีที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.5 แสดงการชั่งปริมาณจาระบีในการหาเงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 นำน้ำหนักจาระบีที่ได้มาหารกับเวลาที่ใช้ในการฉีดจาระบี เพื่อหาปริมาณการไหลจาระบีที่เกิดขึ้นในการปรับวาล์วเพื่อหาเงื่อนไข จากนั้นทำการเปลี่ยนมุมวาล์วแล้วทำตามข้อขั้นตอน 1-3 อีกครั้ง ไปเรื่อยๆโดยเปลี่ยนมุมวาล์วตามที่กำหนดไว้จนครบ เมื่อได้ปริมาณการไหลที่มุมต่างๆแล้ว นำมาพล็อตเป็นกราฟแล้วหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมวาล์วที่เปลี่ยนไปกับปริมาณการไหลของจาระบีที่เกิดขึ้น

ตารางการทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบี

ความดันลม _____ MPa อุณหภูมิ _____ องศา

มุมของวาล์วที่เปลี่ยนไปจากมุมเริ่มต้น (0°)_____ องศา ความดันจาระบี _____ MPa

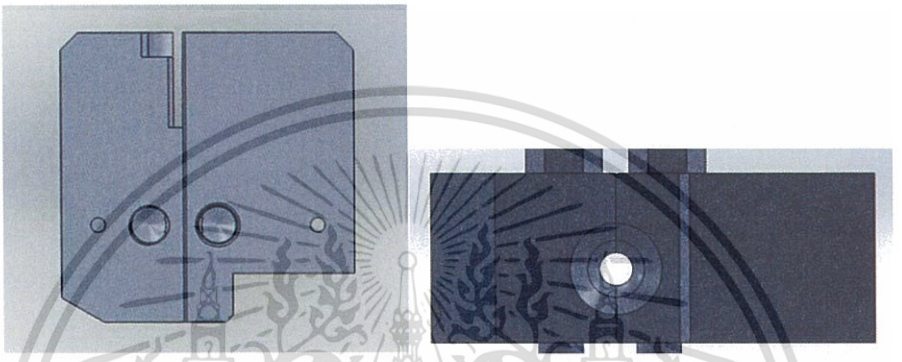
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบี

ครั้งที่	บิกเกอร์ใบที่	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักจาระบี (กรัม)	เวลา (วินาที)	ปริมาณการไหลของจาระบี (กรัม/วินาที)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

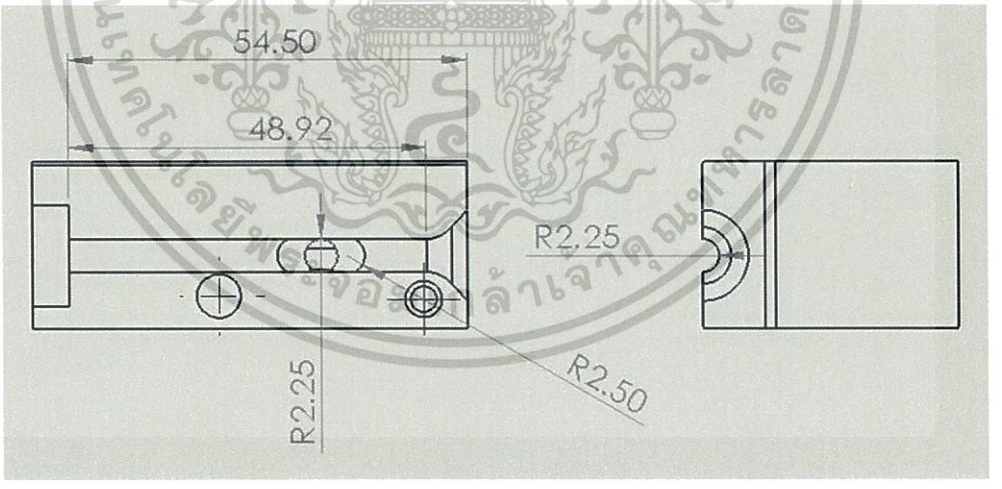
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การตรวจดูความสัมพันธ์ระหว่างหัวฉีดกับปริมาณจาระบีที่ฉีด

โดยจะทำการตรวจสอบว่าปริมาณจาระบีที่ไหลผ่านตัวหัวฉีดจาระบี มากกว่ารูภายในช่องว่างของตัวหัวฉีดจาระบีหรือไม่ จาก CAD ของตัวหัวฉีดจาระบีจะเห็นได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่สายเบรคไหลผ่านเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร และความยาวของหัวฉีดเท่ากับ 54.5 มิลลิเมตรสายเบรคที่ทำการฉีดจาระบีมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตร ทำการหาปริมาณที่จาระบีจะอยู่ข้างในหัวฉีดว่ามากกว่าหรือน้อยกว่าปริมาณจาระบีที่ไหลออกมา



รูปที่ 3.6 แสดงภาพหัวฉีดจาระบีด้านบน และด้านหน้า



รูปที่ 3.7 แสดงขนาดของหัวฉีดจาระบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้เงื่อนไขในการปรับวาล์วแล้วจึงนำไปทดลองใช้ในสายการผลิตจริง โดยจะปรับให้อยู่ในช่วงเฉลี่ยของปริมาณที่ต้องการผลิตสายเบรค และปรับเงื่อนไขลดลงในระดับต่ำสุดที่จะผลิตสายเบรคได้ โดยจะทำการตรวจดูว่าในขณะทำงานมีจาระบีไหลออกมานอกหัวฉีดมากน้อยเพียงใด และแต่ละสัปดาห์มีปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งออกมาเท่าไร ซึ่งจะทำการตรวจดูปริมาณจาระบีเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นใน 4 สัปดาห์ โดย จาระบีก่อนที่จะทำการปรับ เงื่อนไข มีปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยสัปดาห์ละ 73.3 กรัม และ

น้ำหนักของกล่องที่ใส่จาระบีเหลือทิ้งในสายการผลิต 5A หนัก 499.6 กรัม

น้ำหนักของกล่องที่ใส่จาระบีเหลือทิ้งในสายการผลิต 5D หนัก 489.3 กรัม

ปริมาณการผลิตสายเบรค

สายที่ 1 สายการผลิต 5A ผลิต 5,000 เส้นต่อเดือน

สายที่ 2 สายการผลิต 5D ผลิต 1,000 เส้นต่อเดือน

สายการผลิต 5E ผลิต 30,000 เส้นต่อเดือน

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงการหาผลการทดลองการปรับเงื่อนไขของมุมวาล์ว

สัปดาห์ที่	ปริมาณจาระบีก่อนปรับ	ปริมาณจาระบีหลังปรับ	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
1			
2			
3			
4			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

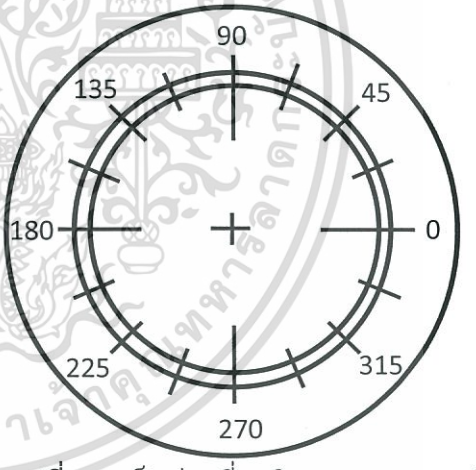
ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในการปรับปรุงเครื่องฉีดจาระบีจะทำการปรับปรุงทั้ง 4 อย่างคือ ผลจากสร้างสเกลวัดให้กับวาล์ว ตามด้วยผลการทดลองการหา เงื่อนไข ให้เหมาะสมในการฉีดจาระบี และผลที่จากการตรวจดูความสัมพันธ์ระหว่างหัวฉีดกับปริมาณจาระบีที่ฉีดว่าสัมพันธ์กันหรือไม่ และสุดท้ายผลของปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งหลังจากการปรับเงื่อนไข เรียบร้อยแล้ว

4.1 ผลจากการสร้างสเกลวัดให้กับวาล์ว

ผลจากการสร้างสเกลให้กับวาล์วส่งผลทำให้สามารถวัด เงื่อนไข ในการฉีดจาระบีขึ้นมาได้อย่างเป็นรูปธรรม เพราะมีตัวเลขในการบ่งบอกว่าวาล์วปรับอยู่ที่เท่าไร โดยทำการติดสเกลไว้สองส่วน ส่วนแรกอยู่ที่หัววาล์วเป็นหัวเข็มชี้ตำแหน่งของขนาดมุมวาล์ว และส่วนที่สองอยู่ที่ฐานของวาล์วเป็นตัวบอกขนาดของมุมวาล์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

รูปที่ 4.1 เป็นส่วนที่ 1 ที่ติดตรงหัววาล์ว



รูปที่ 4.2 เป็นส่วนที่ 2 ติดตรงฐานของวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงวาล์วก่อนทำการใส่ตัวสเกลวัด

รูปที่ 4.4 แสดงวาล์วหลังทำการติดตั้งสเกลวัด

4.2 ผลการทำลองหาเงื่อนไขมุมวาล์ว ที่เหมาะสมในการฉีดจาระบี

เมื่อทำการสร้างสเกลวาล์วเรียบร้อยแล้ว ถัดมาจะเป็นการทดลองหาเงื่อนไขที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบีที่กำหนดไว้ โดยข้อกำหนดที่ต้องทำการหามีดังนี้

4.2.1 ในสายที่หนึ่ง ปริมาณจาระบีที่กำหนดไว้ว่าต้องไหลอยู่ที่ 1 - 2 กรัมต่อเส้น ซึ่งเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 กรัมต่อเส้น และเวลาในการฉีดจาระบีเฉลี่ย 1.89 วินาที ฉะนั้นปริมาณจาระบีเฉลี่ยอยู่ที่ที่ 0.79 กรัมต่อวินาที

4.2.2 ในสายที่สอง ปริมาณจาระบีที่กำหนดไว้ว่าต้องไหลอยู่ที่ 1 – 2 กรัมต่อเมตร ซึ่งจะเฉลี่ยอยู่ที่ 1.5 กรัมต่อเมตร ซึ่งสายเบรคยาว 1.5 เมตร จะต้องใช้จาระบี 2.25 กรัมต่อเส้น และเวลาในการฉีดจาระบีเฉลี่ย 1.89 วินาที ฉะนั้นปริมาณจาระบีเฉลี่ยอยู่ที่ 1.2 กรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

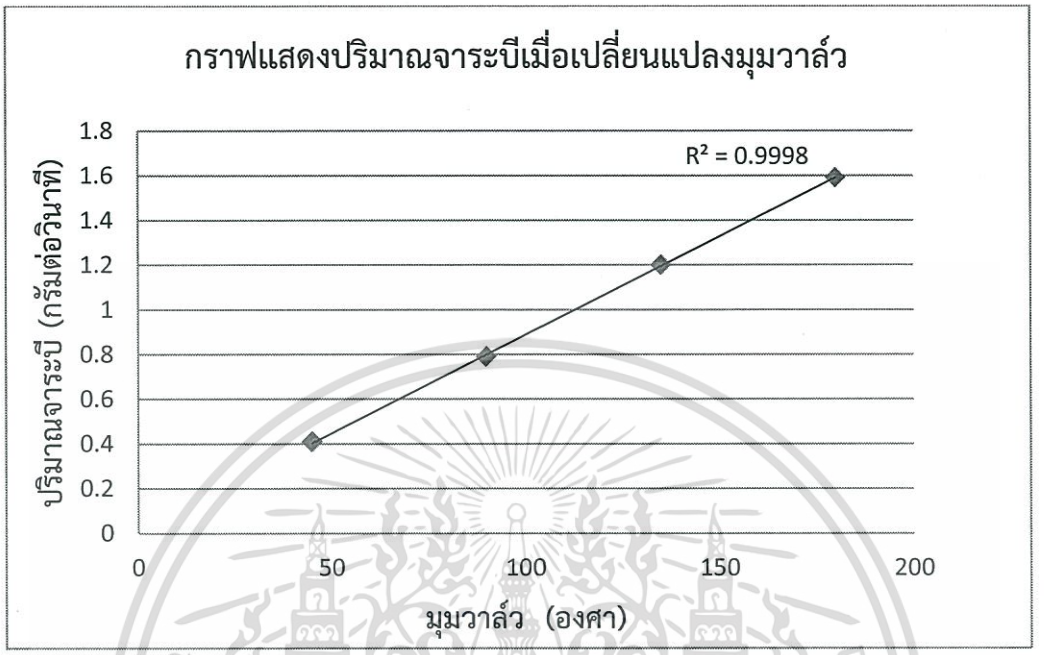
โดยขั้นตอนการหาเงื่อนไข จะทำการปรับวาล์วที่มุมต่างๆ กำหนดความดันลม 0.4 MPa และความดันลมเครื่องจาระบีที่ 0.45 MPa ตามข้อกำหนดของเครื่อง ที่ไม่ให้ค่าต่ำกว่านี้เพราะว่าหากให้ความดันต่ำเกินไปเมื่อทำการฉีดจาระบีไปสักระยะหนึ่งความดันจะลดลง และจะไม่กลับมาคงที่เหมือนเดิม หลังจากปรับมุมวาล์ว และจะทำการฉีดจาระบี โดยจับเวลาเป็นวินาที โดยทำการจับ 10 ครั้ง และทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าเฉลี่ยปริมาณการไหลของจาระบี โดยมุมที่ทำการหมุนอยู่ที่ 45 องศา 90 องศา 135 องศา และ 180 องศา โดยผลการทำลองหาเงื่อนไขมุมวาล์วที่เหมาะสมในการฉีดจาระบีแสดงในตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการหาเงื่อนไขมุมวาล์วที่มุมต่างๆ เพื่อหามุมวาล์วที่เหมาะสมในการฉีดจาระบี

มุมวาล์ว (องศา)	ปริมาณจาระบี (กรัมต่อวินาที)
45	0.4095
90	0.7895
135	1.2005
180	1.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากการปรับเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณจาระบีที่ให้ออกมากับมุมวาล์วที่เปิดได้กราฟดังนี้



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลของจาระบีกับมุมวาล์ว

จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง จึงได้สามารถหาปริมาณการไหลของจาระบีได้จากสมการเส้นตรงซึ่งเท่ากับ $Y = 0.00889x$ และ $R^2 = 0.9998$

เมื่อ x คือ มุมของวาล์วจาระบี (องศา)

Y คือ ปริมาณการไหลจาระบี (กรัมต่อวินาที)

R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

โดยมุมวาล์วจะแปรผันตรงกับปริมาณการไหลของจาระบี ซึ่งเมื่อเปลี่ยนมุมวาล์วไป 1 องศา ปริมาณจาระบีจะเพิ่มขึ้น 0.00889 กรัม

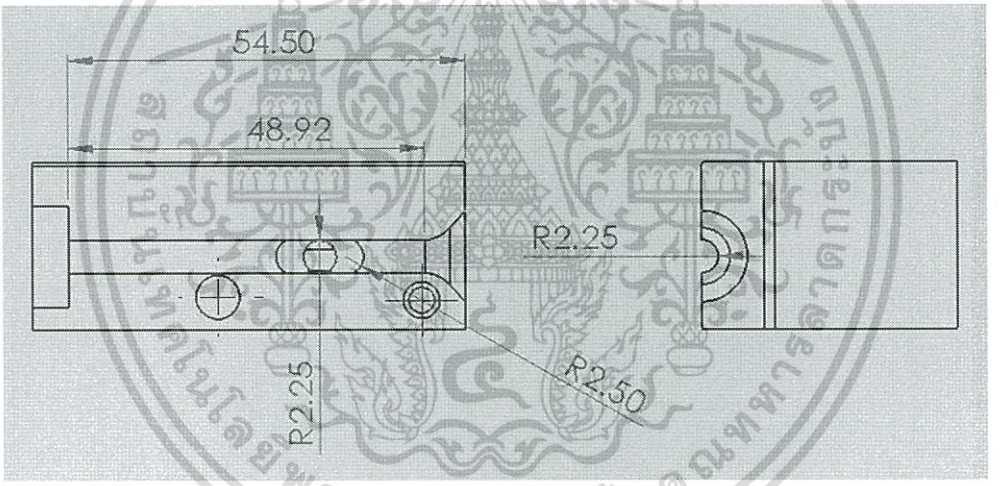
ซึ่งในสายการผลิต 5A ต้องการให้จาระบีไหลออกมาที่ 0.79 กรัมต่อวินาที ซึ่งเท่ากับมุม 90°แต่ถ้าลดการฉีดจาระบีให้ต่ำที่สุดอยู่ที่ 1 กรัมต่อเส้นจะได้จาระบีไหลออกมาที่ 0.53 กรัมต่อวินาที ซึ่งได้เท่ากับมุม 60° และสายการผลิต 5D ต้องการให้จาระบีไหลออกมาที่ 1.2 กรัมต่อวินาที ซึ่งเท่ากับมุม 135° แต่ถ้าลดการฉีดจาระบีให้ต่ำที่สุดอยู่ที่ 1 กรัมต่อเมตรจะได้จาระบีไหลออกมาที่ 0.79 กรัมต่อวินาที ซึ่งได้เท่ากับมุม 90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลจากการตรวจดูความสัมพันธ์ระหว่างหัวฉีดกับปริมาณจาระบีที่ฉีด

โดยจะทำการตรวจสอบว่าปริมาณจาระบีที่ไหลผ่านตัวหัวฉีดจาระบี มากกว่ารูภายในช่องว่างของตัวหัวฉีดจาระบีหรือไม่ จาก CAD ของตัวหัวฉีดจาระบีจะเห็นได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของรูที่สายเบรคไหลผ่านเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร และความยาวของหัวฉีดเท่ากับ 54.5 มิลลิเมตรสายเบรคที่ทำการฉีดจาระบีมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 มิลลิเมตร แสดงว่าจะมีช่องว่างภายในขณะที่ทำการฉีดสายเบรคซึ่งจะเท่ากับ $\pi(0.45)^2 - \pi(0.35)^2$ = 0.2523 ตางรางเซนติเมตร ปริมาตรภายในที่ว่างทั้งหมดเท่ากับ 5.45 x 0.2523 = 1.369 ลูกบาศก์เซนติเมตร แปลงเป็นกรัม โดยความหนาแน่นของจาระบีเท่ากับ 1.1 จะได้ปริมาณที่จาระบีจะอยู่ข้างในหัวฉีดเท่ากับ 1.1 x 1.369 = 1.5 กรัม

ปริมาณจาระบีที่ฉีดเข้าสายเบรคอยู่ที่ 0.79 กรัมต่อวินาที และ 1.2 กรัมต่อวินาที แสดงว่าในการฉีดจาระบีจะไม่ล้นออกมานอกหัวฉีด เพราะอัตราการไหลเข้ามาน้อยกว่าช่องว่างภายในหัวฉีดจาระบี



รูปที่ 4.6 แสดงขนาดของหัวฉีดจาระบี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดลองปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งหลังจากการปรับเงื่อนไขของมุมวาล์ว

ผลการปรับเงื่อนไข สายการผลิต 5A ต้องฉีดจาระบีที่ 1-2 กรัมต่อเส้น จึงปรับเป็นค่าเฉลี่ยที่ 1.5 กรัมต่อเส้น ได้มุมวาล์วที่มุม 90 องศา พบว่าปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งน้อยลงจากเดิม

ตารางที่ 4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งหลังจากการปรับมุม90องศา

สัปดาห์	ปริมาณจาระบีก่อนปรับ	ปริมาณจาระบีเหลือทิ้งที่มุม 90°	การเปลี่ยนแปลง
1	120	73.54	46.46
2	120	72.61	47.39
3	120	70.2	49.8
4	120	70.2	49.8

ปริมาณจาระบีหลังปรับเงื่อนไขแล้วอยู่ที่ 71.64 กรัมต่อสัปดาห์ และปริมาณจาระบีที่ลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 48.41 กรัมต่อสัปดาห์ คิดปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยต่อเส้น จะได้ 0.05 กรัมต่อเส้น (ผลิต1,250เส้นต่อสัปดาห์)

จากนั้นจึงทำการปรับมุมวาล์วให้น้อยลงกว่าเดิมโดยปรับที่มุมต่ำที่สุดที่จะสามารถผลิตสายเบรคได้ ซึ่งปรับให้ฉีดจาระบีอยู่ที่ 1 กรัมต่อเส้น ได้มุมวาล์วอยู่ที่ 60 องศา

ตารางที่ 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งหลังจากการปรับมุม60องศา

สัปดาห์	ปริมาณจาระบีเหลือทิ้งที่มุม 60°
1	75.9
2	42.53
3	40.96
4	40.96

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าปริมาณจาระบีที่ปรับเหลือ 60° ในสัปดาห์ที่ 1 มีปริมาณจาระบีเหลือทิ้งมากกว่าปกติ ซึ่งคาดอาจจะเกิดจากการซ่อมเครื่องฉีดจาระบีแล้วเปิดเครื่องทิ้งเพื่อดูว่าจาระบีไหลเป็นปกติหรือไม่ทำให้มีปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเยอะกว่าปกติ โดยถ้าคิดปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งแค่ใน 3 สัปดาห์หลังจะเฉลี่ยอยู่ที่ 41.48 กรัมต่อสัปดาห์ เมื่อคิดปริมาณจาระบีเหลือทิ้งที่เฉลี่ยต่อเส้น จะได้ 0.033 กรัมต่อเส้น (ผลิต1,250เส้นต่อสัปดาห์) ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยต่อเส้นที่ก่อนปรับที่ 0.096 กรัมต่อเส้น ซึ่งลดลง 0.063 กรัมต่อเส้น หรือคิดเป็น 315 กรัมต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการปรับเงื่อนไข สายการผลิต 5D ต้องฉีดจาระบีที่ 1-2 กรัมต่อเมตร จึงปรับเป็นค่าเฉลี่ยที่1.5 กรัมต่อเมตร ได้มุมวาล์วที่มุม 135 องศา พบว่าปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งน้อยลงจากเดิม

ตารางที่ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งหลังจากการปรับมุม135องศา

สัปดาห์	ปริมาณจาระบีก่อนปรับ	ปริมาณจาระบีเหลือทิ้งที่มุม 135°	การเปลี่ยนแปลง
1	73.3	10.2	63.1
2	73.3	10.48	62.82
3	73.3	15.86	57.44
4	73.3	13.82	59.48

ปริมาณจาระบีหลังปรับเงื่อนไขแล้วอยู่ที่ 12.59 กรัมต่อสัปดาห์ และปริมาณจาระบีที่ลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 60.71 กรัมต่อสัปดาห์คิดปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยต่อเส้น จะได้ 0.050 กรัมต่อเส้น (ผลิต250เส้นต่อสัปดาห์)

จากนั้นจึงทำการปรับมุมวาล์วให้น้อยลงกว่าเดิมโดยปรับที่มุมต่ำที่สุดที่จะสามารถผลิตสายเบรคได้ ซึ่งปรับให้ฉีดจาระบีอยู่ที่ 1 กรัมต่อเมตร ได้มุมอยู่ที่ 90 องศา ซึ่งเครื่องได้ถูกย้ายมาที่สายการผลิต 5E

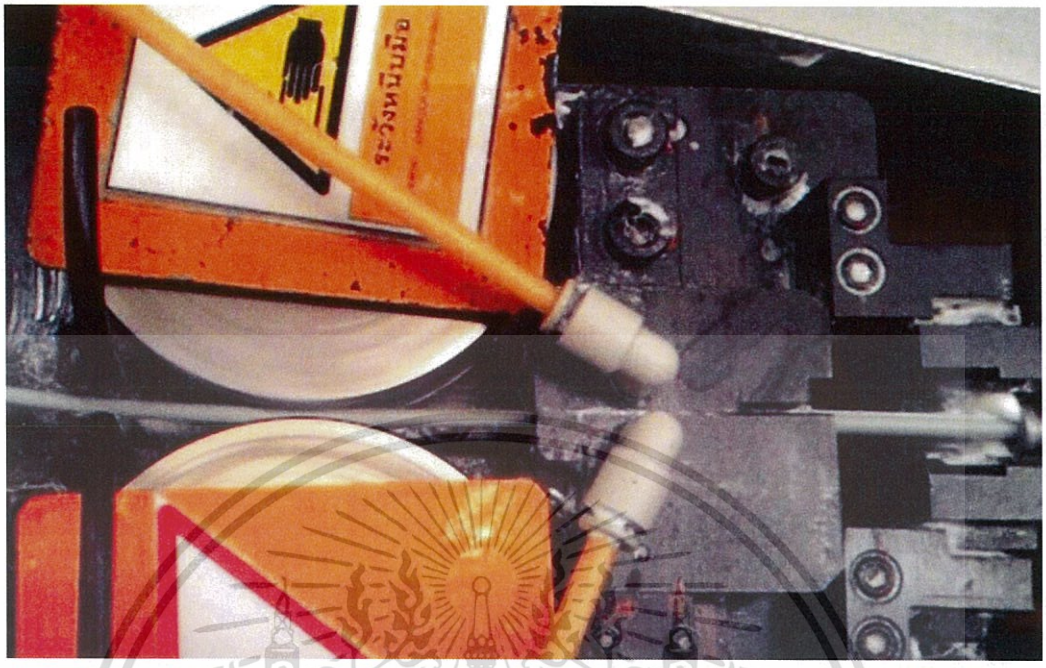
ตารางที่ 4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งหลังจากการปรับมุม90องศา

สัปดาห์	ปริมาณจาระบีเหลือทิ้งที่มุม 90°
1	240
2	219
3	241
4	241

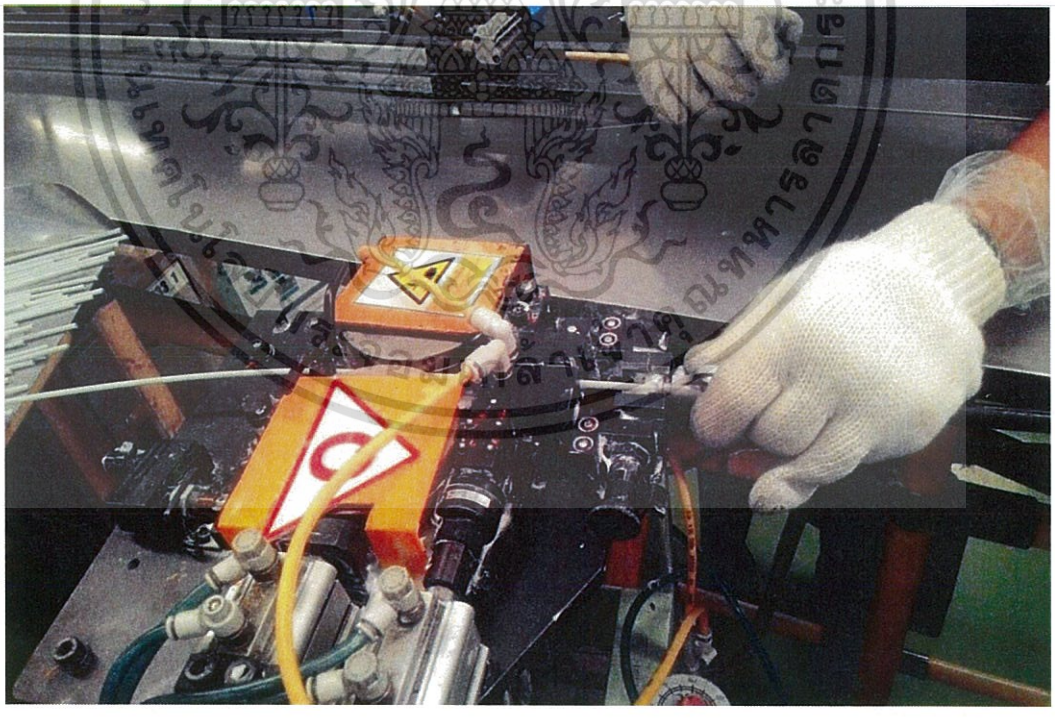
จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าปริมาณจาระบีที่ปรับเหลือ 90° แต่กลับมีปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงมาก ในแต่ละสัปดาห์มีปริมาณจาระบีเหลือทิ้งมากกว่าปกติ ซึ่งเป็นเพราะสายการผลิตนี้มีอัตราการผลิตที่สูงกว่าสายการผลิต 5D โดยการผลิตของสายการผลิต 5E ผลิตที่เดือนละ 30,000 เส้น ซึ่งปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยอยู่ที่ 235.5 กรัมต่อสัปดาห์ และเมื่อคิดปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยต่อเส้นจะได้ 0.031 กรัมต่อเส้น (ผลิต 7,500เส้นต่อสัปดาห์) ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยต่อเส้นที่ก่อนปรับอยู่ที่ 0.293 กรัมต่อเส้น ซึ่งลดลง 0.262 กรัมต่อเส้น ถ้าคิดในสายการผลิต 5D สามารถลดปริมาณจาระบีเหลือทิ้งได้ 262 กรัมต่อเดือน ส่วนสายการผลิต5E สามารถลดปริมาณจาระบีเหลือทิ้งได้ 7,860 กรัมต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบการฉีดจาระบีระหว่างทำงาน พบว่าไม่มีจาระบีไหลออกมาเปรอะเปื้อนเครื่องจักร



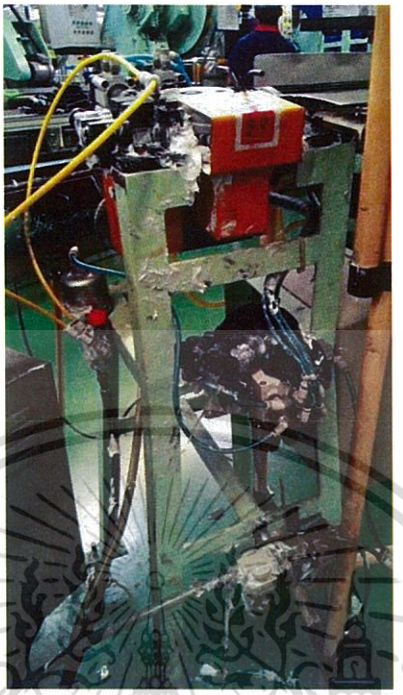
รูปที่ 4.7 แสดงการทำงานของเครื่องฉีดจาระบีมุมมองด้านบน



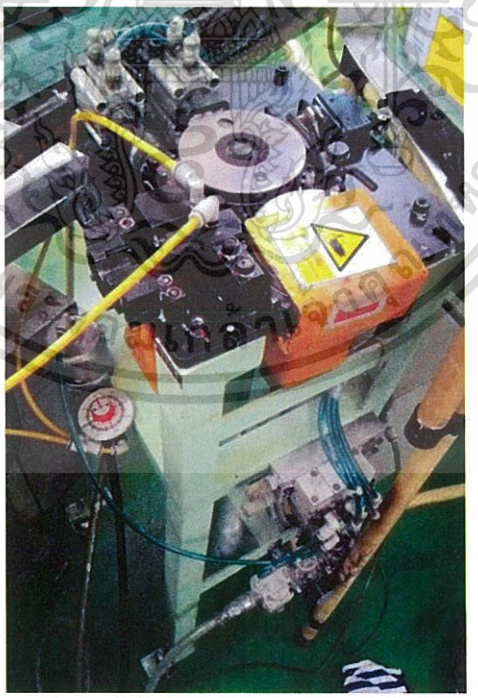
รูปที่ 4.8 แสดงการทำงานของเครื่องฉีดจาระบีมุมมองปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบเครื่องฉีดจาระบีก่อนปรับ และหลังปรับเงื่อนไข



รูปที่ 4.9 แสดงเครื่องฉีดจาระบีก่อนปรับ



รูปที่ 4.10 แสดงเครื่องฉีดจาระบีหลังปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองพบว่าหลังจากผลการปรับเงื่อนไขของมุมวาล์ว โดยมุมวาล์วจะแปรผันตรงกับปริมาณการไหลของจาระบี ซึ่งเมื่อเปลี่ยนมุมวาล์วไป 1 องศา ปริมาณจาระบีจะเพิ่มขึ้น 0.00889 กรัม ในสายการผลิต 5A ที่ต้องฉีดจาระบีอยู่ที่ 1-2 กรัมต่อเส้น จึงปรับเป็นค่าเฉลี่ยที 1.5 กรัมต่อเส้นได้มุมวาล์วที่มุม 90 องศา สามารถลดปริมาณจาระบีเหลือทิ้งหลังจากปรับเงื่อนไขวาล์ว แล้วอยู่ที่ 71.64 กรัมต่อสัปดาห์ จากเดิม 120 กรัมต่อสัปดาห์ และปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 48.41 กรัมต่อสัปดาห์ หลังจากนั้นได้ปรับเงื่อนไขของมุมวาล์วให้น้อยลงกว่าเดิมโดยปรับที่มุมต่ำที่สุดที่จะสามารถผลิตสายเบรคได้ ซึ่งปรับให้ฉีดจาระบีอยู่ที่ 1 กรัมต่อเส้น ได้มุมวาล์วอยู่ที่ 60 องศาสามารถลดปริมาณจาระบีเหลือทิ้งลงเฉลี่ยอยู่ที่ 41.48 กรัมต่อสัปดาห์ หรือคิดเป็นปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยต่อเส้น จะได้ 0.033 กรัมต่อเส้น (ผลิต1,250เส้นต่อสัปดาห์) ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยต่อเส้นที่ก่อนปรับที่ 0.096 กรัมต่อเส้น ซึ่งลดลง 0.063 กรัมต่อเส้น หรือคิดเป็น 65.625% ส่วนในสายการผลิต 5D ที่ต้องฉีดจาระบีที่ 1-2 กรัมต่อเมตร จึงปรับปรับเป็นค่าเฉลี่ยที่ 1.5 กรัมต่อเมตรได้มุมวาล์วที่ 135 องศา สามารถลดปริมาณจาระบีเหลือทิ้งหลังจากปรับเงื่อนไขวาล์ว แล้วอยู่ที่ 12.59 กรัมต่อสัปดาห์ จากเดิม 73.3 กรัมต่อสัปดาห์ และปริมาณจาระบีที่เหลือทิ้งลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 60.71 กรัมต่อสัปดาห์ หลังจากนั้นได้ปรับเงื่อนไขของมุมวาล์วให้น้อยลงกว่าเดิมโดยปรับที่มุมต่ำที่สุดที่จะสามารถผลิตสายเบรคได้ ซึ่งปรับให้ฉีดจาระบีอยู่ที่ 1 กรัมต่อเมตร ได้มุมวาล์วอยู่ที่ 90 องศา ซึ่งเครื่องใส่สายอินเนอร์ได้ถูกย้ายสายการผลิตไปที่สายการผลิต 5E ซึ่งมีอัตราการผลิตที่สูงกว่าสายการผลิต 5D โดยการผลิตของสายการผลิต 5E ผลิตที่เดือนละ 30,000 เส้น ซึ่งปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยอยู่ที่ 235.5 กรัมต่อสัปดาห์ แต่เมื่อคิดปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยต่อเส้น จะได้ 0.031 กรัมต่อเส้น (ผลิต 7,500เส้นต่อสัปดาห์) ซึ่งเมื่อเทียบปริมาณจาระบีเหลือทิ้งเฉลี่ยต่อเส้นที่ก่อนปรับอยู่ที่ 0.293 กรัมต่อเส้น ซึ่งลดลง 0.262 กรัมต่อเส้น หรือคิดเป็น 89.42 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] นิรนาม. 2558. กลศาสตร์การไหลเบื้องต้น. [Online] Available: http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Heat/pre_heat_2.pdf.

[2] อาจหาญ ณ นรงค์. 2558. แรงดัน ความเร็ว และอัตราการไหลกับอุปกรณ์ที่ใช้ของไหลเป็นสารทำงาน. [Online] Available : http://thailandindustry.com/guru/view.php?id=16174&section=9.

[3] สุภัทรชัย สิงห์บาง. 2555. รอบรู้เรื่องอุตสาหกรรม ตอน จาระบี (Grease). [Online] Available: http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=19137&section=9&rcount=Y.

[4] มาริสา คุณธนวงศ์. 2558. Oleogel จาระบีรักษ์สิ่งแวดล้อม. [Online] Available: https://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-09-06-21/2013-05-29-09-38-47/940-.

[5] กันต์ฤทัย อนันต์รัตนสกุล, พอแก้ว รักษ์เธียรมงคล, วาสนา บุญจริง และ ศานิตา อัศวศรีวรกุล. 2549. จาระบี. [Online] Available: http://www.thaigoodview.com/library/studentshow/2549/m6-6/no11-14-16-49/grease1.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบี

ความดันลม 0.4 MPa อุณหภูมิ 29 องศา (เช้า)

มุมของวาล์วที่เปลี่ยนไปจากมุมเริ่มต้น (0°) 45 องศา ความดันจาระบี 0.45 MPa

ครั้งที่	บิกเกอร์ใบที่	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักจาระบี (กรัม)	เวลา (วินาที)	ปริมาณจาระบีเฉลี่ย (กรัม/วินาที)
1	1	68.5	0.9	2.13	0.42
2	2	67.9	1.9	4.76	0.399
3	3	68.4	2.7	5.66	0.47
4	4	67.6	2.3	5.7	0.40
5	5	67.2	1.9	3.79	0.50
6	1	69.6	2	5.46	0.36
7	2	67.3	1.3	3.85	0.34
8	4	68.9	3.6	7.64	0.47
9	5	66.7	1.4	2.96	0.47
10	3	67.5	1.8	5.68	0.32

ตารางการทดลองหาเงื่อนไข โดยปรับมุมวาล์วที่ 45 องศา และอุณหภูมิ 29 องศา

ปริมาณการไหลของจาระบีเฉลี่ย 0.414 กรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางการทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบี

ความดันลม 0.4 MPa อุณหภูมิ 32 องศา (บ่าย)

มุมของวาล์วที่เปลี่ยนไปจากมุมเริ่มต้น (0°) 45 องศา ความดันจาระบี 0.45 MPa

ครั้งที่	บิกเกอร์ใบที่	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักจาระบี (กรัม)	เวลา (วินาที)	ปริมาณจาระบีเฉลี่ย (กรัม/วินาที)
1	1	69.0	1.4	3.42	0.40
2	2	67.7	1.7	3.76	0.45
3	3	67.4	1.7	4.45	0.38
4	4	66.5	1.2	2.90	0.41
5	5	66.6	1.3	3.28	0.39
6	1	69.3	1.7	4.46	0.38
7	2	68.0	2.0	5.54	0.36
8	4	67.2	1.9	4.52	0.42
9	5	67.9	2.6	5.83	0.44
10	3	67.7	2.0	4.85	0.42

ตารางการทดลองหาเงื่อนไข โดยปรับมุมวาล์วที่ 45 องศา และอุณหภูมิ 32 องศา

ปริมาณการไหลของจาระบีเฉลี่ย 0.405 กรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบีที่

ความดันลม 0.4 MPa อุณหภูมิ 29 องศา (เช้า)

มุมของวาล์วที่เปลี่ยนไปจากมุมเริ่มต้น (0°) 90 องศา ความดันจาระบี 0.45 MPa

ครั้งที่	บิกเกอร์ใบที่	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักจาระบี (กรัม)	เวลา (วินาที)	ปริมาณจาระบีเฉลี่ย (กรัม/วินาที)
1	1	71.5	3.9	4.70	0.83
2	2	69.1	3.1	3.92	0.79
3	3	68	2.3	3.05	0.75
4	4	67.8	2.5	2.95	0.84
5	5	67.9	2.6	3.61	0.72
6	1	70.5	2.9	3.78	0.76
7	2	68.6	2.6	4.16	0.63
8	3	68.3	2.6	3.10	0.83
9	4	69.3	4	4.59	0.87
10	5	68.5	3.2	3.41	0.94

ตารางการทดลองหาเงื่อนไข โดยปรับมุมวาล์วที่ 90 องศา และอุณหภูมิ 29 องศา

ปริมาณการไหลของจาระบีเฉลี่ย 0.796 กรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบีที่

ความดันลม 0.4 MPa อุณหภูมิ 32 องศา (บ่าย)

มุมของวาล์วที่เปลี่ยนไปจากมุมเริ่มต้น (0°) 90 องศา ความดันจาระบี 0.45 MPa

ครั้งที่	บิกเกอร์ใบที่	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักจาระบี (กรัม)	เวลา (วินาที)	ปริมาณจาระบีเฉลี่ย (กรัม/วินาที)
1	1	71.1	3.5	4.51	0.77
2	2	71.3	5.3	5.55	0.95
3	3	70.6	4.9	5.81	0.84
4	4	68.9	3.6	4.53	0.79
5	5	69.2	3.9	4.91	0.79
6	1	71.1	3.5	5.06	0.69
7	2	69.9	3.9	5.46	0.71
8	3	68.5	2.8	4.39	0.63
9	4	68.7	3.4	4.0	0.83
10	5	69.3	4	4.81	0.83

ตารางการทดลองหาเงื่อนไข โดยปรับมุมวาล์วที่ 90 องศา และอุณหภูมิ 32 องศา

ปริมาณการไหลของจาระบีเฉลี่ย 0.783 กรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบีที่

ความดันลม 0.4 MPa อุณหภูมิ 29 องศา (เช้า)

มุมของวาล์วที่เปลี่ยนไปจากมุมเริ่มต้น (0°) 135 องศา ความดันจาระบี 0.45 MPa

ครั้งที่	บิกเกอร์ใบที่	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักจาระบี (กรัม)	เวลา(วินาที)	ปริมาณจาระบีเฉลี่ย (กรัม/วินาที)
1	1	71.9	4.3	3.82	1.12
2	2	73.6	7.6	3.92	1.93
3	4	69.1	3.8	3.88	0.98
4	3	69.8	4.1	4.50	0.91
5	5	69	3.7	4.30	0.86
6	1	71.4	3.8	4.13	0.92
7	2	74.3	8.3	4.15	2
8	3	71.5	5.8	4.8	1.21
9	4	69.7	4.4	4.10	1.07
10	5	69.4	4.1	3.87	1.06

ตารางการทดลองหา เงื่อนไข โดยปรับมุมวาล์วที่ 135 องศา และอุณหภูมิ 29 องศา

ปริมาณการไหลของจาระบีเฉลี่ย 1.206 กรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบีที่

ความดันลม 0.4 MPa อุณหภูมิ 32 องศา (บ่าย)

มุมของวาล์วที่เปลี่ยนไปจากมุมเริ่มต้น (0°) 135 องศา ความดันจาระบี 0.45 MPa

ครั้งที่	บิกเกอร์ใบที่	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักจาระบี (กรัม)	เวลา(วินาที)	ปริมาณจาระบีเฉลี่ย (กรัม/วินาที)
1	1	73.2	5.6	4.53	1.24
2	2	71	5.0	4.28	1.17
3	4	70.9	5.6	4.69	1.19
4	3	71.5	5.8	4.41	1.32
5	5	70.1	4.8	4.20	1.15
6	1	73.6	6.0	4.78	1.27
7	2	71.5	5.5	4.73	1.16
8	3	71.2	5.5	4.53	1.21
9	4	69.5	4.2	4.29	0.98
10	5	70.9	5.6	4.44	1.26

ตารางการทดลองหาเงื่อนไข โดยปรับมุมวาล์วที่ 135 องศา และอุณหภูมิ 32 องศา

ปริมาณการไหลของจาระบีเฉลี่ย 1.195 กรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบีที่

ความดันลม 0.4 MPa อุณหภูมิ 29 องศา (เช้า)

มุมของวาล์วที่เปลี่ยนไปจากมุมเริ่มต้น (0°) 180 องศา ความดันจาระบี 0.45 MPa

ครั้งที่	บิกเกอร์ใบที่	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักจาระบี (กรัม)	เวลา (วินาที)	ปริมาณจาระบีเฉลี่ย (กรัม/วินาที)
1	1	74.7	7.2	4.43	1.62
2	2	73.1	7.1	4.56	1.56
3	4	72	6.7	3.92	1.71
4	3	72.5	6.8	4.50	1.51
5	5	71.9	6.6	4.11	1.60
6	1	75.1	7.5	4.67	1.60
7	2	73.2	7.2	4.55	1.58
8	3	72.1	6.4	3.88	1.65
9	4	72.2	6.9	4.57	1.51
10	5	72.6	7.3	4.68	1.56

ตารางการทดลองหาเงื่อนไข โดยปรับมุมวาล์วที่ 180 องศา และอุณหภูมิ 29 องศา

ปริมาณการไหลของจาระบีเฉลี่ย 1.59 กรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองหาเงื่อนไข ที่เหมาะสมกับปริมาณจาระบีที่

ความดันลม 0.4 MPa อุณหภูมิ 32 องศา (บ่าย)

มุมของวาล์วที่เปลี่ยนไปจากมุมเริ่มต้น (0°) 180 องศา ความดันจาระบี 0.45 MPa

ครั้งที่	บิกเกอร์ใบที่	น้ำหนักรวม(กรัม)	น้ำหนักจาระบี (กรัม)	เวลา (วินาที)	ปริมาณจาระบีเฉลี่ย (กรัม/วินาที)
1	1	74.5	6.9	4.53	1.52
2	2	73.3	7.3	4.75	1.54
3	4	72.3	7.0	4.44	1.59
4	3	72.6	6.9	4.21	1.64
5	5	71.1	5.8	3.68	1.58
6	1	75.3	7.7	4.78	1.61
7	2	74.7	8.7	5.21	1.67
8	3	73.4	7.7	4.87	1.58
9	4	72.6	7.3	4.53	1.61
10	5	72.7	7.4	4.56	1.62

ตารางการทดลองหาเงื่อนไข โดยปรับมุมวาล์วที่ 180 องศา และอุณหภูมิ 32 องศา

ปริมาณการไหลของจาระบีเฉลี่ย 1.59 กรัมต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความหนาแน่นของจาระบี โดยทำการชั่งน้ำหนักของจาระบีในสริงฉีดยาปริมาณ 2 ml โดยสริงหนัก 7.2 กรัม โดยความหนาแน่นของจาระบี = $\frac{M}{V}$

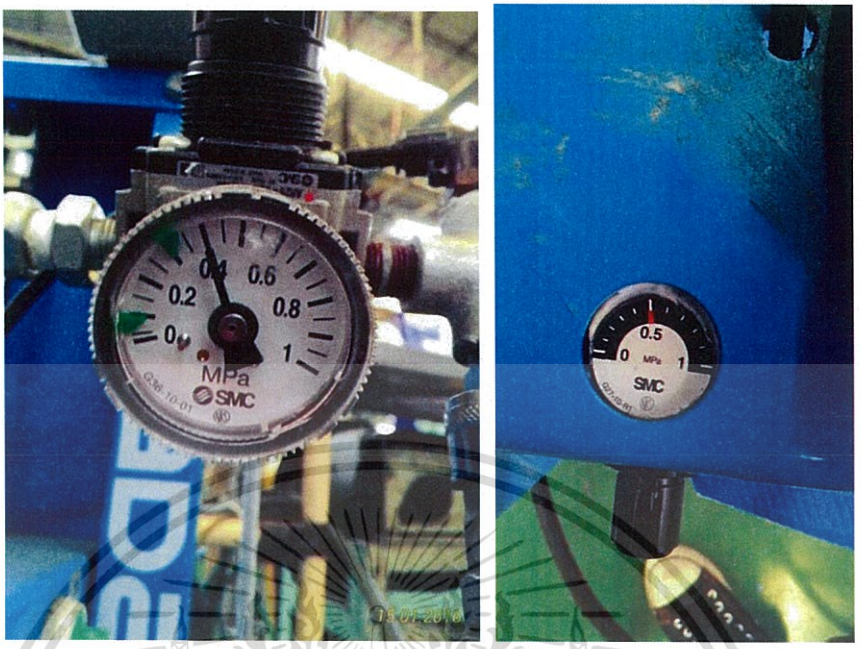
ครั้งที่	น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักเฉพาะจาระบี (กรัม)	ค่าความหนาแน่นของจาระบี
1	9.4	2.2	1.1
2	9.4	2.2	1.1
3	9.39	2.2	1.1
4	9.4	2.19	1.095
5	9.4	2.2	1.1
6	9.4	2.2	1.1
7	9.4	2.2	1.1
8	9.39	2.2	1.1
9	9.4	2.2	1.1
10	9.4	2.2	1.1

ตารางการทดลองหาความหนาแน่นของจาระบี

ความหนาแน่นเฉลี่ยอยู่ที่ 1.1 g/ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

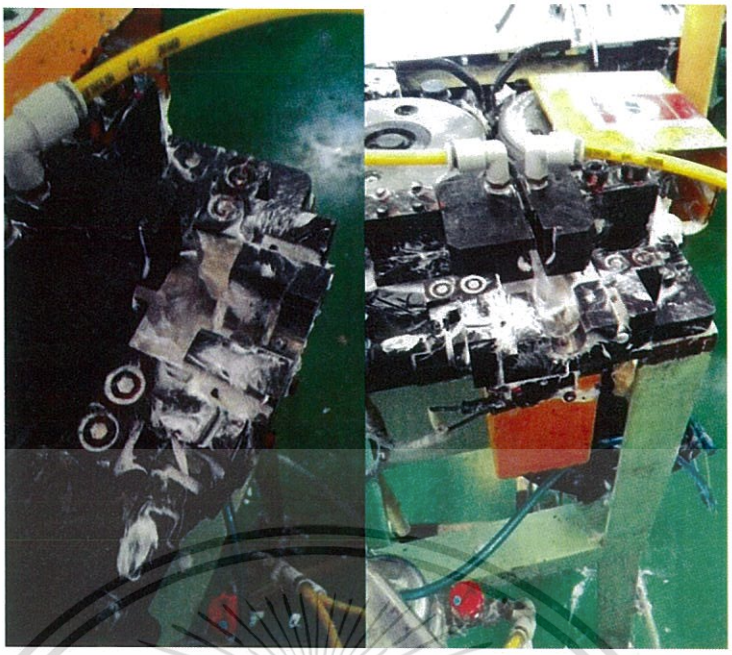
รูปภาพของเครื่องฉีดจาระบี และภาพการทำงานที่เกิดขึ้นในการทดลอง



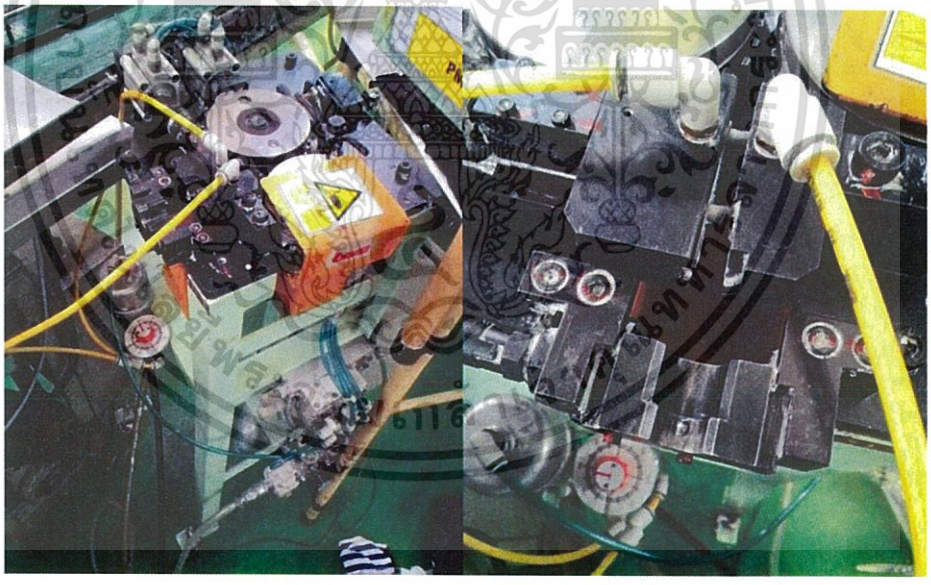
ภาพแสดงความดันที่ใช้ในการทำงานของเครื่องฉีดจาระบี

ภาพของเครื่องฉีดจาระบีสวนตัวถังจาระบี และตัวปรับความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพของเครื่องฉีดจาระบีก่อนมีการปรับปรุงเงื่อนไข



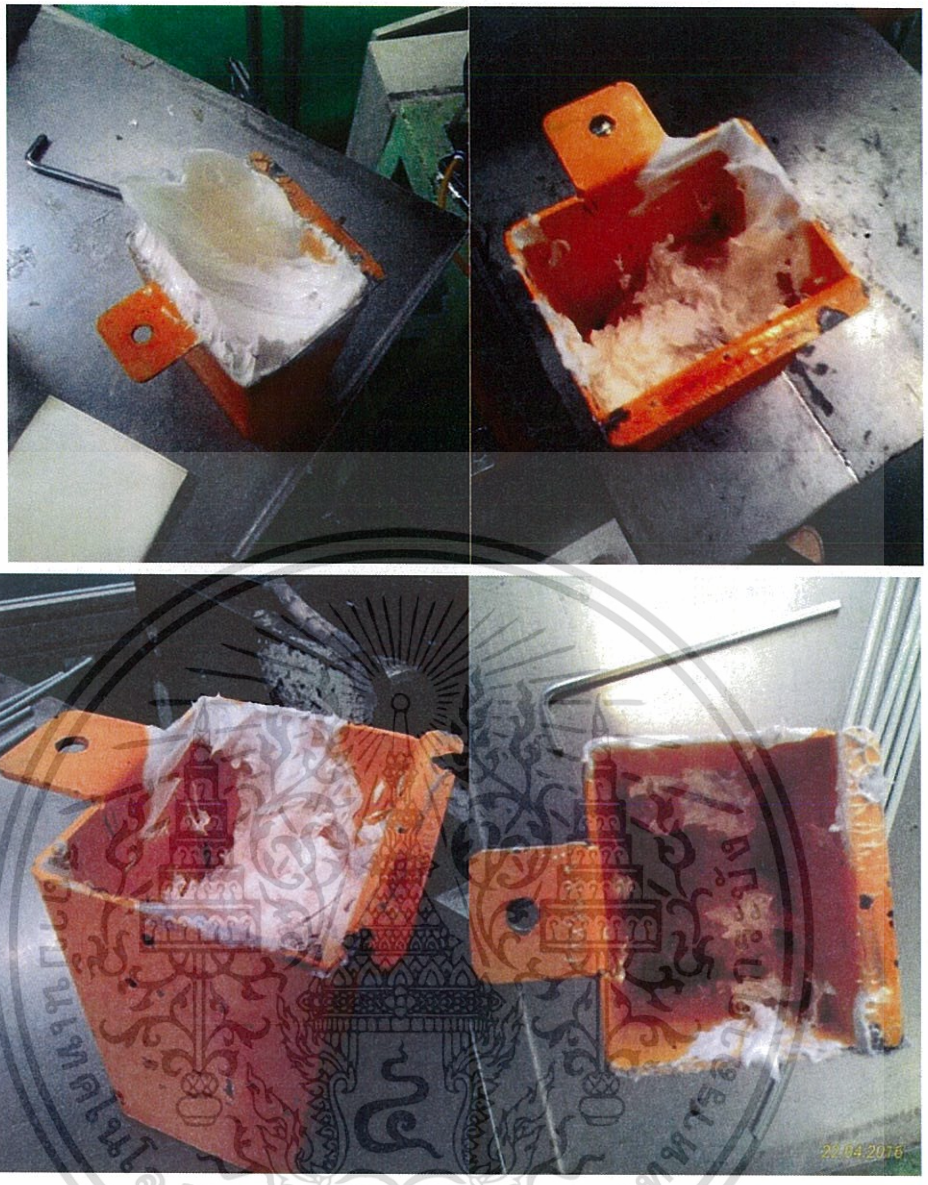
ภาพของเครื่องฉีดจาระบีหลังมีเช็ดทำความสะอาดเพื่อเตรียมทดลองเงื่อนไขของวาล์วที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพการฉีดจาระบีเพื่อหาเงื่อนไขมุมวาล์วแต่ละองศาที่กำหนด

ภาพการทำงานในการชั่งน้ำหนักจาระบีเพื่อเงื่อนไขมุมวาล์วแต่ละองศาที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพแสดงปริมาณจาระบีเหลือทิ้งที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ – นามสกุล นายกิจโสภณ พันธุภัทร์

วัน เดือน ปีเกิด 22 ตุลาคม 2536

ที่อยู่ 162 ซอยสุคนธสวัสดิ์ 3 ถนนสุคนธสวัสดิ์ เขตลาดพร้าว แขวงลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร รหัสไปรสณีย์ 10230 เบอร์โทรศัพท์ 081-132-9497
E-mail : P.kitsopon@gmail.com

ประวัติการศึกษา 2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต
วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2554 มัธยมศึกษาตอนปลาย สาขาวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์
โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ บดินทรเดชา

DRAFT
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้