



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและปรับปรุงการจ่ายน้ำยางบนหน้ายาง KM ของเครื่อง DHT

Design and improvement KM cement post of DHT machine

นางสาวโยธิตา สลามตะ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	การออกแบบและปรับปรุงการจ่ายน้ำยางบนหน้ายาง KM ของเครื่อง DHT
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นางสาว โยชิตา สลามเต๊ะ
คณะ วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวณิช
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	นายสุรัตน์ ตันติยาทร
สถานประกอบการ	บริษัท สยามมิชลิน จำกัด (พระประแดง)

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจเล่มนี้นำเสนอการออกแบบและปรับปรุงการจ่ายน้ำยางบนหน้ายาง KM ของเครื่อง DHT โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อลดปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำยางของเครื่องจักร DHT 10 เปอร์เซนต์และเครื่องจักรสามารถจ่ายน้ำยางบนหน้ายางได้อย่างสม่ำเสมอทั่วชิ้นงาน โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการทำงานของชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง ประกอบด้วยการเติมน้ำยางจากถังปั่นเข้าสู่อัดจนเพื่อใช้ในระบบ โดยการเทผ่านถังหัว จากนั้นน้ำยางจะถูกปั๊มออกจากถังปั่นเพื่อไปจ่ายลงบนหน้ายาง โดยมีวาล์วที่ทำหน้าที่เปิด-ปิดการไหล และเกลี่ยน้ำยางให้ทั่วหน้ายาง โดยการไขแปรง จากนั้นจึงทำการทดลองและเก็บบันทึกข้อมูลที่จำเป็นเพื่อกำหนดปริมาณน้ำยางที่เหมาะสมกับหน้ายาง ต่อมาจึงทำการศึกษาหาสาเหตุของการใช้น้ำยางอย่างสิ้นเปลือง พบว่า สาเหตุหลักเกิดจากการที่น้ำยางสัมผัสกับอากาศ ทำให้เกิดการระเหยและแข็งตัว จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีการทำงานบางส่วน ได้แก่ การเติมน้ำยางเข้าสู่อัดจน โดยการปั๊มซึ่งเป็นระบบปิด และใช้อุปกรณ์ที่สามารถกำหนดอัตราการไหลที่เหมาะสมกับหน้ายางแต่ละขนาดได้ นอกจากนี้ยังพบว่า มีน้ำยางบางส่วนที่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้หลงเหลืออยู่ในถังปั่นอันเนื่องมาจากลักษณะของตัวถัง จึงได้ทำการออกแบบถังใหม่ที่สามารถนำน้ำยางไปใช้ได้ทั้งหมด และจากการปรับปรุงระบบจ่าย พบว่าปริมาณน้ำยางที่ติดไปบนหน้ายางลดลงโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของหน้ายาง นอกจากนี้การออกแบบชุดอุปกรณ์ยังลดพื้นที่ที่น้ำยางสัมผัสกับอากาศ ทำให้การระเหยของน้ำยางลดลง ซึ่งสามารถลดปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำยางได้อย่างต่ำ 16.41 เปอร์เซนต์

คำสำคัญ : หน้ายาง KM, น้ำยาง, เครื่องจักร DHT

Cooperative Title: Design and improvement KM cement post at DHT machine

Student intern name: Ms.Yotita Salamteh

Faculty: Engineering **Department:** Mechanical Engineering

Adviser name: Asst.Prof.Dr. Akapot Tantrapiwat

Mentor name: Mr.Surat Tantiyatorn

Company: Michelin Siam Co., Ltd. (PPD)

ABSTRACT

This project presents design and improvement KM cement post of DHT machine. The objectives of this project are reducing cement consumption of DHT machine 10 percent and machine can supply cement cover all surface. Begin with study processes and operation of cement post consist of filling cement from spinning tank to circulated tank through a bucket for using between process, cement are pumped from circulated tank up to inject on KM surface by using hand valve for turning on-off cement flow and use brush for sweeping cement to cover all KM surface. Then, collect necessary datas by experiments for specification the proper volume of cement with KM surface. After that, study indicator that increase cement consumption in this system, found that air affect cement to evaporation and dry. Therefore the solutions to improve the process are filling cement to circulated tank by pump which is close system and using devices that can specify the proper cement flow rate with each KM surface. Furthermore, the structure of spinning tank causes some volume of cement remains inside which are not used during the process. So that the new design of tank is to eliminate cement remain inside. From modification of supply system found that cement on KM surface decrease without effect to the quality of tire. Finally, design and improvement of this process can decrease cement evaporation and reduce cement consumption at least 16.41 percent.

Keywords: KM surface, cement, DHT machine

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากบริษัท สยามมิชลิน จำกัด ที่ให้โอกาสในโครงการสหกิจศึกษา อีกทั้งคุณผู้นิเทศงานคุณ รุ่งธิวาภรณ์ ชุมสังข์ ผู้ดูแล คุณสุรัตน์ ตันติยาทร และพนักงานบริษัททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเอาใจใส่ตลอดระยะเวลา หกเดือน

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.เอกพจน์ ตันตราภิวัดน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ ผู้จัดทำมาตลอด ขอขอบคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้ อันเป็นประโยชน์ในการฝึกสหกิจในครั้งนี้และการทำงานในอนาคต

ขอขอบคุณบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งของข้าพเจ้า ที่ให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ และประโยชน์อันพึงมีจากรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

โยธิตา สลามเต๊ะ

สารบัญ

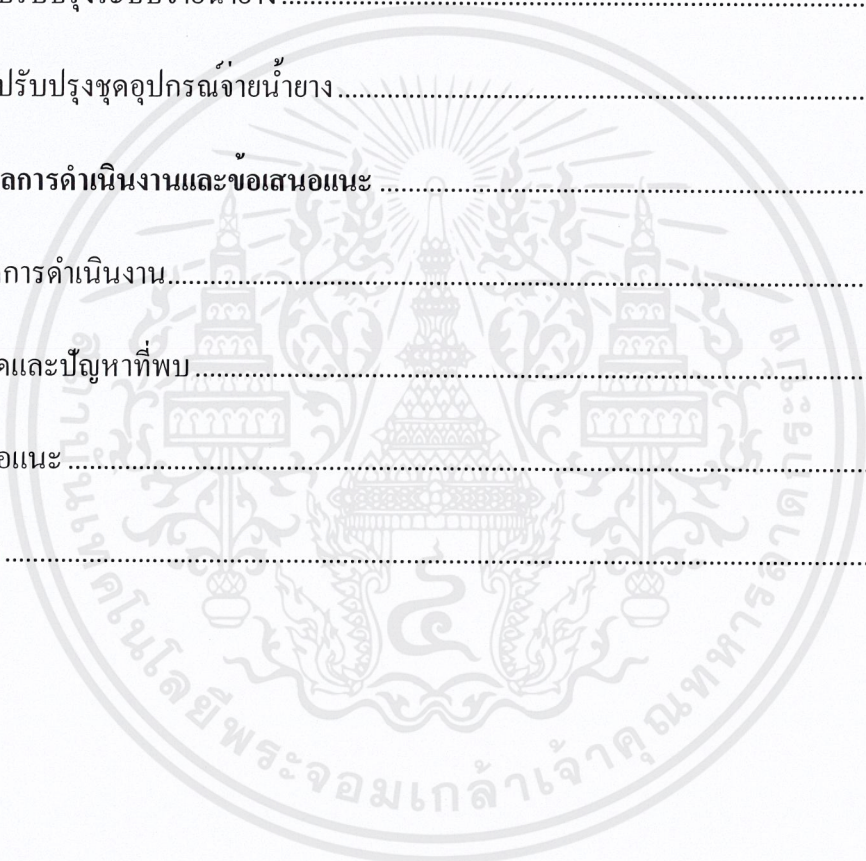
หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	2
บทที่ 2 ข้อมูลโครงการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ข้อมูลโครงการ	3
2.1.1 พื้นฐานการผลิตยาง	3
2.1.2 โครงสร้างของยาง.....	13
2.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	22
2.3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของปั๊ม	22
2.3.2 การไหลของของไหล.....	27
2.3.3 การพับโลหะ.....	29
2.3.4 การวิเคราะห์แรงเฉือนและโมเมนต์คัตในคาน.....	31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	39
3.1 ศึกษาการทำงานของชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง	39
3.1.1 ส่วนประกอบของเครื่องจักรส่วนชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง	39
3.1.2 พื้นที่บริเวณชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง.....	41
3.1.3 การเติมน้ำยาง.....	42
3.1.4 การจ่ายน้ำยาง.....	42
3.1.5 การเกลี่ยน้ำยาง.....	43
3.2 การปรับปรุงชุดอุปกรณ์ชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง	44
3.2.1 การปรับปรุงระบบการเติมน้ำยาง	44
3.2.2 การปรับปรุงระบบจ่ายน้ำยาง.....	45
3.2.3 การปรับปรุงอุปกรณ์เกลี่ยน้ำยาง.....	45
3.3 การออกแบบชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง	46
3.3.1 การออกแบบถังบรรจุน้ำยาง	49
3.3.2 การออกแบบปั๊มและท่อส่งน้ำยาง.....	46
3.3.3 การออกแบบชุดอุปกรณ์เติมน้ำยาง.....	46

3.3.4 การออกแบบชุดอุปกรณ์เก็طن้ำยาง	50
3.3.5 การออกแบบชุดลูกกลิ้งลำเลียง	59
บทที่ 4 สรุปผลการดำเนินงาน.....	56
4.1 ผลการปรับปรุงระบบการเติมน้ำยาง.....	56
4.2 ผลการปรับปรุงชุดอุปกรณ์เก็طن้ำยาง	57
4.3 ผลการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำยาง	57
4.4 ผลการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง	59
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและขอเสนอแนะ	60
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	60
5.2 ข้อจำกัดและปัญหาที่พบ	61
5.3 ขอเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง.....	63



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตลอยาง	3
ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการฉาบยางกับเส้นลวด	4
ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการสร้างลวดบีท.....	5
ภาพที่ 2.4 เครื่องผสมยาง Banbury.....	5
ภาพที่ 2.5 เครื่องบดชนิด 2 ลูกกลิ้ง	6
ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนการผสมยาง	8
ภาพที่ 2.7 ขั้นตอนการอัดรีดยาง	9
ภาพที่ 2.8 เครื่องสร้างยาง.....	10
ภาพที่ 2.9 ภาพก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันในระดับโมเลกุล.....	11
ภาพที่ 2.10 แบบหลอยางและเครื่องอบยาง	12
ภาพที่ 2.11 แผนภาพขั้นตอนการตรวจสอบยาง.....	12
ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของยาง.....	13
ภาพที่ 2.13 ปุ่มแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	15
ภาพที่ 2.14 ปุ่มแบบโรตารี	16
ภาพที่ 2.15 ปุ่มแบบลูกสูบ	16
ภาพที่ 2.16 เกทวาล์ว.....	17
ภาพที่ 2.17 โกลบวาล์ว.....	17
ภาพที่ 2.18 ขอลวาล์ว.....	18
ภาพที่ 2.19 วาล์วปีกผีเสื้อ.....	18

สารบัญภาพ(ต่อ)

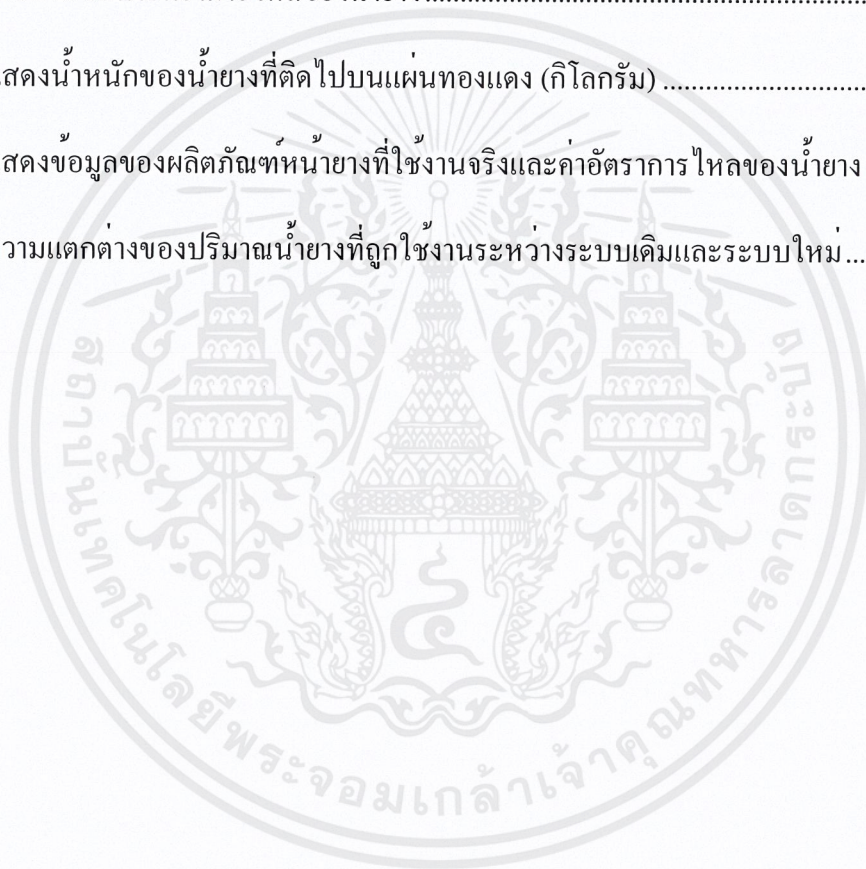
ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.20 เช็ควาล์ว	19
ภาพที่ 2.21 Magnetic flow meter	19
ภาพที่ 2.22 Turbine flow meter	20
ภาพที่ 2.23 Vortex flow meter	20
ภาพที่ 2.24 Ultrasonic flow meter	20
ภาพที่ 2.25 Differential pressure meter	21
ภาพที่ 2.26 Coriolis flow meter	21
ภาพที่ 2.27 ความดันบรรยากาศ	22
ภาพที่ 2.28 กราฟแสดงอัตราการไหลของปั๊มที่จุดตัดของ Pump curve และ System curve.....	26
ภาพที่ 2.29 แสดงลักษณะการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน	27
ภาพที่ 2.30 แสดงความเค้นที่เกิดจากการพับโลหะ	29
ภาพที่ 2.31 แสดงขนาดของการพับเหล็ก.....	29
ภาพที่ 2.32 คานดีเทอร์มิเนตเชิงสถิต	31
ภาพที่ 2.33 คานอินดีเทอร์มิเนตเชิงสถิต	32
ภาพที่ 2.34 สภาพสมดุลของส่วนตัดทางด้านซ้ายและขวาของคาน	32
ภาพที่ 2.35 สมดุลของ FBD ส่วนตัดของคานภายใต้ภาระตัด	34
ภาพที่ 2.36 พื้นที่หน้าตัดคานส่วนเหนือชั้นระนาบแนวระดับในคานที่ระยะ y_1	36
ภาพที่ 2.37 กราฟความเค้นและความเครียด.....	36
ภาพที่ 2.38 นิยามของอัตราส่วนของปัวซอง.....	38

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 3.1 ถังปั่น (Spinning tank).....	40
ภาพที่ 3.2 ถังวน (Circulated tank)	40
ภาพที่ 3.3 แสดงกระบวนการทำงานของชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง	42
ภาพที่ 3.4 แสดงปริมาตรของน้ำยางที่เหลืออยู่ในถังปั่น	44
ภาพที่ 3.5 ระบบท่อส่งน้ำยาง	46
ภาพที่ 3.6 ถังบรรจุน้ำยาง.....	49
ภาพที่ 3.7 Ultrasonic sensor.....	50
ภาพที่ 3.8 ชุดอุปกรณ์เกลี่ยน้ำยาง.....	51
ภาพที่ 3.9 แผนภาพแรง แผนภาพแรงเฉือน และแผนภาพโมเมนต์	52
ภาพที่ 3.10 แสดงการพับโลหะของถาดรองชุดลูกกลิ้ง	53
ภาพที่ 3.11 ชุดลูกกลิ้งลำเดียว.....	54
ภาพที่ 3.12 ถาดรองรับน้ำยางและตำแหน่งที่ติดตั้ง.....	55
ภาพที่ 3.13 ฝาถังวนและตำแหน่งที่ติดตั้ง	55
ภาพที่ 4.1 แสดงชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง	59
ภาพที่ 5.1 แสดงการทำงานของชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง.....	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการหารัศมีพิบที่เล็กที่สุดของวัสดุต่างๆ	30
ตารางที่ 2.2 แสดงเงื่อนไขการหาค่าระยะจากผิวด้านในถึงเส้นกลาง (C).....	31
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดต่างๆ	35
ตารางที่ 3.1 การคำนวณค่าอัตราการไหลของน้ำยาง	43
ตารางที่ 4.1 แสดงน้ำหนักของน้ำยางที่ติดไปบนแผ่นทองแดง (กิโลกรัม)	57
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์น้ำยางที่ใช้งานจริงและค่าอัตราการไหลของน้ำยาง	58
ตารางที่ 5.1 ความแตกต่างของปริมาณน้ำยางที่ถูกใช้งานระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่	61



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

จากแผนการดำเนินงานด้านการควบคุมและดูแลสิ่งแวดล้อมประจำปี 2562 ของโรงงานพระประแดง มีความต้องการให้ลดปริมาณการใช้งานของสารเคมี solvent ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของน้ำยาที่ใช้กับหน้ายาง KM ของเครื่อง DHT เพื่อปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้ดียิ่งขึ้น จึงมีโครงการนี้ขึ้นมาเพื่อปรับปรุงระบบการจ่ายน้ำยางลงบนหน้ายางจากระบบเดิมเป็นระบบใหม่ที่จะสามารถลดปริมาณการใช้น้ำยางได้ตามที่ต้องการ แต่ยังคงอยู่ในเงื่อนไขที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานดังนี้

- ลดปริมาณการใช้งานของน้ำยาง 10 เปอร์เซ็นต์
- เครื่องจักรสามารถจ่ายน้ำยางลงบนหน้ายาง KM ได้อย่างสม่ำเสมอทั่วชิ้นงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ปรับปรุงเครื่องจักรเพื่อใช้ในการจ่ายน้ำยางลงบนหน้ายาง
- 1.2.2 เครื่องจักรสามารถจ่ายน้ำยางลงบนหน้ายางได้อย่างสม่ำเสมอทั่วชิ้นงาน
- 1.2.3 ออกแบบและปรับปรุงเครื่องจักรตามหลักของความปลอดภัยและสะดวกต่อการใช้งานของพนักงานปฏิบัติงาน
- 1.2.4 ทำการสั่งประกอบและติดตั้งเครื่องจักรให้เป็นไปตามแบบ
- 1.2.5 สามารถลดปริมาณการใช้งานของน้ำยางได้ 10 เปอร์เซ็นต์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องผลิตหน้ายางและระบบจ่ายน้ำยาง

1.3.2 ออกแบบและปรับปรุงระบบจ่ายน้ำยางและชุดอุปกรณ์เกลี่ยน้ำยาง

1.3.3 สร้างชุดอุปกรณ์ใหม่เพื่อติดตั้งแทนที่ชุดอุปกรณ์เดิม

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาขอบเขตและรายละเอียดของโครงการที่ได้รับมอบหมายจากทางโรงงาน

1.4.2 ศึกษากระบวนการผลิตยางขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบกระบวนการ ศึกษาการทำงานของพนักงานปฏิบัติการ รวมทั้งปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตยาง

1.4.3 ศึกษาข้อมูลของอุปกรณ์และเครื่องจักรต่างๆภายในโรงงานที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ

1.4.4 เก็บค่าตัวแปรต่างๆที่จำเป็นจากเครื่องจักรและพนักงานปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณและออกแบบ

1.4.5 ออกแบบและปรับปรุงระบบจ่ายน้ำยางและชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเกลี่ยน้ำยาง

1.4.6 วิเคราะห์ผลการออกแบบและการปรับปรุงชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง

1.4.7 สรุปผลการดำเนินงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 ได้รู้ถึงกระบวนการทำงานของเครื่องจักรชนิดต่างๆภายในโรงงาน

1.5.2 ได้เรียนรู้วิธีการออกแบบงานเครื่องกล และวิธีการสร้างเครื่องจักรที่ถูกต้องและเหมาะสม

1.5.3 ได้รู้ถึงระบบการทำงานและขั้นตอนต่างๆในการทำงานในโรงงานภาคอุตสาหกรรม

1.5.4 รู้จักการติดต่อสื่อสารและการทำงานร่วมกับผู้อื่น

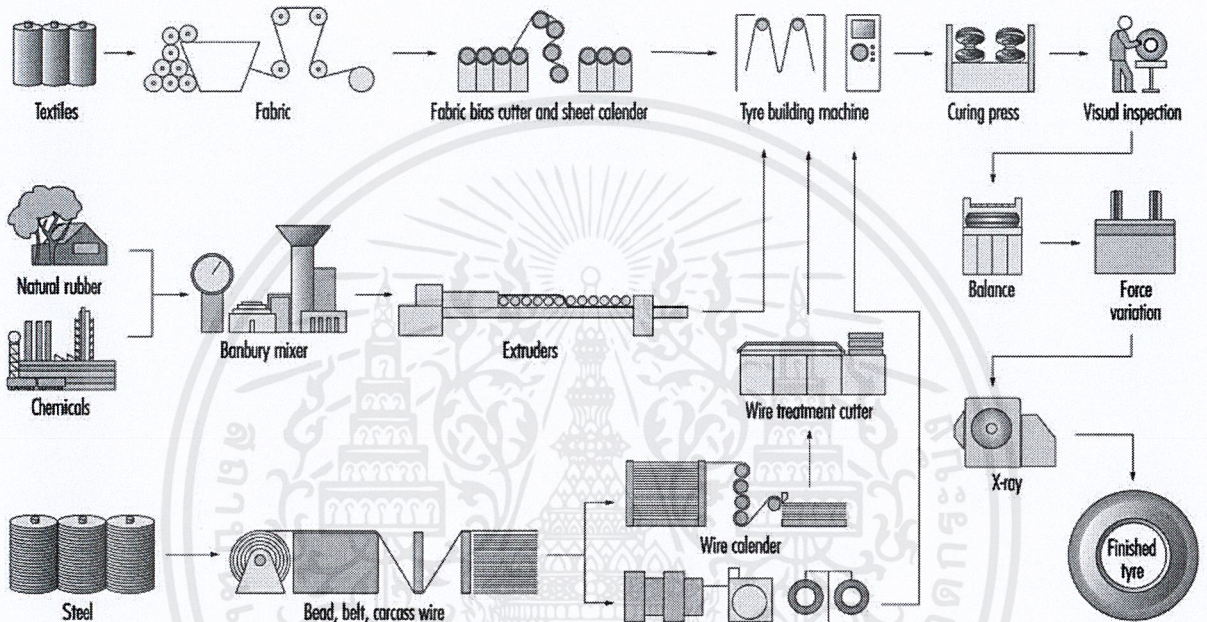
1.5.5 ฝึกกระบวนการคิดและแก้ปัญหาในการทำงาน

บทที่ 2

ข้อมูลโรงงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลโรงงาน

2.1.1 พื้นฐานการผลิตยาง



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตล้อยาง

กระบวนการผลิตล้อยางดังแสดงในภาพที่ 2.1 ประกอบไปด้วยขั้นตอนหลักๆ 6 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมวัตถุดิบ ขั้นตอนการผสมยาง ขั้นตอนการอัดรีดยาง ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนและขึ้นโครงยาง ขั้นตอนการอบยาง และสุดท้ายขั้นตอนการตรวจสอบยาง

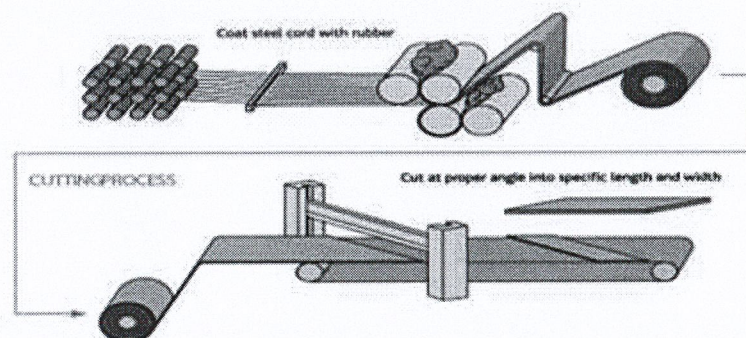
ขั้นตอนการเตรียมส่วนผสมวัตถุดิบ

ยางเส้นหนึ่งมีส่วนผสมมากกว่า 200 ชนิด ส่วนผสมต่างๆทำให้คุณสมบัติของยางที่ได้เปลี่ยนแปลงไปตามที่ออกแบบและสมรรถนะการใช้งานเช่นความปลอดภัย การประหยัดน้ำมัน การลดความต้านทานการหมุน และความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยส่วนประกอบเหล่านี้แบ่งได้ 5 กลุ่มหลักๆ ดังนี้

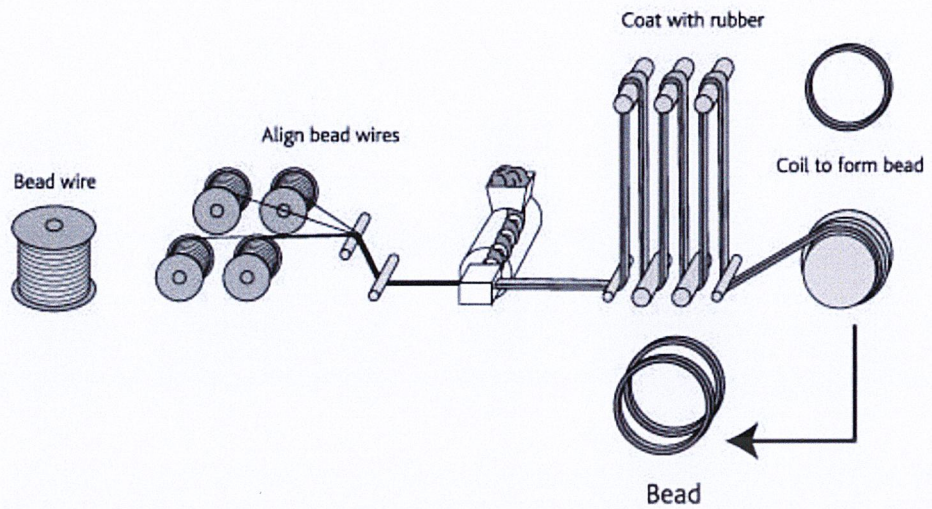
- ยางธรรมชาติ (ยางพารา) เป็นส่วนประกอบหลักของชั้นหน้ายาง
- ยางสังเคราะห์ เป็นส่วนประกอบของดอกยาง
- คาร์บอนสีดำและซิลิกา เป็นตัวเสริมเพื่อเพิ่มความทนทานของยาง
- เมทัลลิกและเคเบิลเสริมเส้นใย เป็น โครงสร้างของยางที่ขึ้นรูปเป็นทรงเรขาคณิตและให้ความแข็งแรงกับยาง
- สารเคมีอื่นๆ เพื่อคุณสมบัติที่โดดเด่นต่างๆ เช่น แรงต้านทานการหมุนตัว หรือการยึดเกาะที่สูงเป็นพิเศษ

ขั้นตอนนี้ยังรวมถึงการทำเส้นลวดที่จะใช้เสริมความแข็งแรงของยาง โดยเริ่มจากการนำลวดเหล็กมาขัดทำความสะอาดและเคลือบสารบอแรกซ์เพื่อช่วยในการยึดเกาะกับผงสบู่ในขั้นตอนการดึงแบบแห้ง จากนั้นจึงดึงลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบแห้งจากขนาด 5.5 มิลลิเมตร ให้เหลือ 1.75 มิลลิเมตร จากนั้นจะทำการปรับโครงสร้างของลวดให้ได้โครงสร้างแบบ Pearlite เพื่อลดความเค้นของลวดที่ผ่านการดึงแบบแห้ง จากนั้นนำลวดไปชุบทองเหลือง ซึ่งทองเหลืองเป็นตัวยึดเกาะระหว่างเนื้อยางกับเส้นลวด และส่งไปรีดแบบเปียกในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อลดขนาดของลวดจาก 1.75 ไปเป็น 0.35 มิลลิเมตร สาเหตุที่ต้องทำการชุบทองเหลืองก่อนรีดเพราะจะได้กำหนดขนาดของลวดในขั้นตอนสุดท้ายได้แม่นยำ เมื่อเสร็จขั้นตอนแล้วทำการม้วนลวดเก็บไว้เพื่อรอการส่งไปในขั้นตอนการผลิตต่อไป โดยจะแบ่งลวดออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ลวดส่วนที่นำไป Calendering คือการนำยางที่ผสมแล้วมาฉาบกับลวดที่ได้ ดังภาพที่ 2.2
2. ลวดส่วนที่นำไปทำวงขอบยางใน คือการนำลวดมาพันตีเป็นเกลียวและเคลือบด้วยยางเพื่อที่จะเพิ่มค่าความเค้นสูงสุดให้มากขึ้นกว่าเดิมสามารถรองรับแรงกระแทกได้มากขึ้น ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการฉาบยางกับเส้นลวด



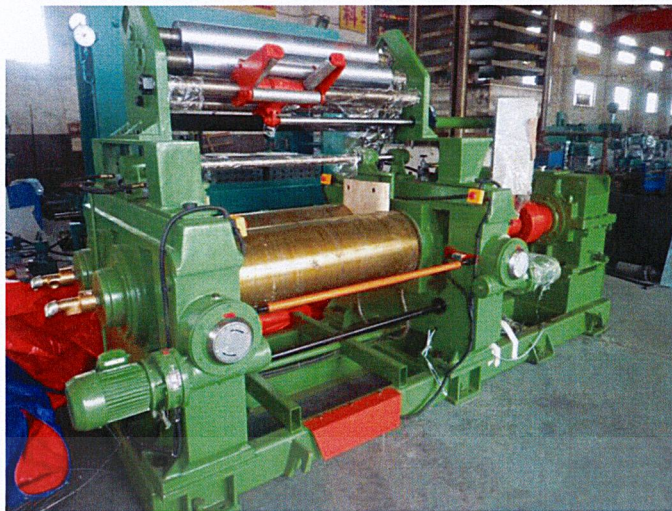
ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการสร้างลวด Bead

ขั้นตอนการผสมยาง (Mixing)

สำหรับขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการผสมยางกับสารเคมีเพื่อให้ยางมีคุณสมบัติที่ได้ตามที่ต้องการและออกแบบไว้ในวงอุตสาหกรรมยางเรียกว่า “การตียาง” โดยขั้นตอนนี้จะใช้เครื่องบดยางเข้ามาช่วย แบ่งเป็น 2 ระบบ คือ เครื่องบดระบบปิด (Internal Mixer) ซึ่งมักจะเรียกตามชื่อยี่ห้อเครื่อง เช่น Banbury ดังภาพที่ 2.4, Shew Intermix และ Kneader ระบบที่ 2 ที่ใช้บดยาง คือ เครื่องบดระบบเปิด (Open Mill) หรือที่เรียกตามลักษณะของเครื่องว่า Two Roll Mill หรือเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.4 เครื่องผสมยาง Banbury



ภาพที่ 2.5 เครื่องบดชนิด 2 ลูกกลิ้ง

ขั้นตอนแรกของการผสมยางจะเป็นการบดยางให้นิ่ม โดยเป็นการบดยางธรรมชาติและไม่ผสมกับสารเคมีใดๆ เพื่อลดความเหนียวของยางหรือลดความยืดหยุ่นของยาง ทำให้ยางสามารถรับเข้ากับสารเคมีต่างๆ ได้ง่ายและเกิดการกระจายเป็นเนื้อเดียว นอกจากนี้ยังทำให้ได้ยางที่มีสถานะความเป็นพลาสติก (Plastic) มากขึ้น ทำให้สะดวกในการขึ้นรูปโดยกรรมวิธีต่างๆ เช่น การรีดเรียบ (Calendering) การอัดรีดยาง (Extrusion) เป็นต้น ช่วงการบดต้องการให้ยางมีความเหนียว น้อย เพื่อให้เกิดการตัดเฉือนขาดได้ง่ายและป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน

เมื่อทำการบดยางจนได้ขนาดแล้วขั้นตอนต่อไปคือการบดผสม โดยการเติมสารเคมีลงไปผสมกับยางที่บดแล้วภายในเครื่องผสมยาง ซึ่งมีตัวแปรที่ต้องควบคุมคือ

- น้ำหนักของการบดแต่ละครั้ง (Batch Size)
- ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อน (Heat Built-up)
- แรงกดให้ส่วนผสมแนบกับลูกบด
- การกระจายตัวของส่วนผสม (Ingredient Dispersion)

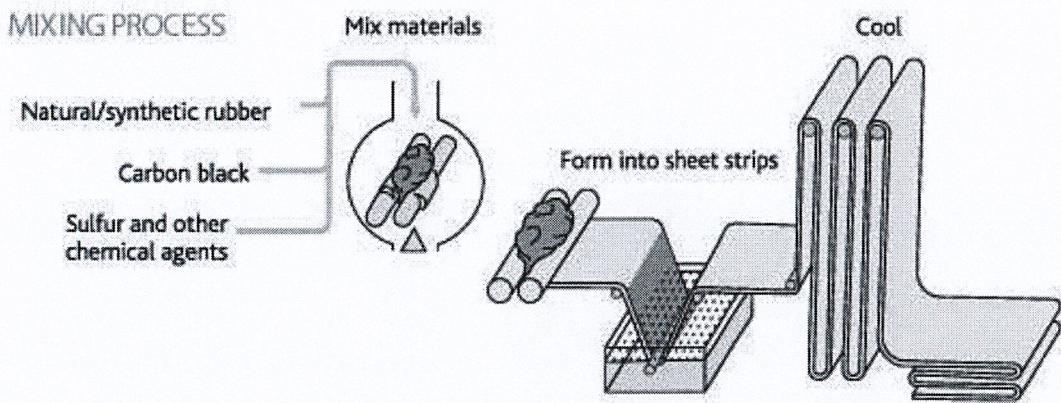
เมื่อแยกประเภทของสารเคมีที่ใช้ผสมในยาง จะได้ 8 ประเภทดังนี้

1. สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agents, Curatives) – เป็นสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง เรียกว่า กระบวนการวัลคาไนซ์เซชัน
2. สารตัวเร่ง (Accelerators) – สารที่ช่วยลดระยะเวลาการวัลคาไนซ์ โดยการเพิ่มความเร็วของการวัลคาไนซ์

3. สารกระตุ้น (Activators) และสารหน่วง (Retarders) – สารกระตุ้น คือ สารที่ช่วยกระตุ้นสารตัวเร่งและเสริมให้สารตัวเร่งสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น สารหน่วงเป็นสารที่ช่วยลดหรือชะลอความว่องไวของการวัลคาไนซ์ก่อนกำหนด (Scorch Time) ยาวขึ้น แต่เวลาการอบยางเท่าเดิมและไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของยาง
4. สารป้องกันความเสื่อม (Antidegradants) – เป็นสารที่ช่วยลดหรือหน่วงการเสื่อมของยางที่อาจจะเป็นผลมาจากออกซิเจน โอโซน ความร้อน แสง โลหะ และการหักงอ
5. สารช่วยในการแปรรูป (Processing Aids) – สารที่ใส่เข้าไปในยางเพื่อช่วยให้กระบวนการแปรรูปยางดำเนินการด้วยความสะดวก ง่าย ปลอดภัยมากขึ้น ต้นทุนลดลง รวมทั้งคุณสมบัติของยางจะดีขึ้น
6. สารตัวเติม (Fillers) – เช่น เขม่าดำ (Carbon Black) ช่วยในการเสริมแรงให้มีสมบัติทางกลดีขึ้นหรือซิลิกา (Silica) เพื่อลดการปล่อยความร้อนน้อยช่วยลดความต้านทานการหมุนของยาง
7. พลาสติกไซเซเซอร์ สารทำให้นิ่ม สารเพิ่มความเหนียวติด (Plasticizers, Softeners, Tackifiers)
8. สี (Color pigments) และ สารอื่นๆ (Special Purpose Materials)

การเติมสารเคมีเข้าไปผสมกับยางต้องทำตามหลักการดังนี้

- สารที่มีปริมาณน้อย ควรใส่ตั้งแต่เริ่มต้นของการผสมหรือใช้ในรูปของ Masterbatch ซึ่งเป็นการป้องกันการขังผิดพลาด การผลิตหาย ติดข้างเครื่อง เป็นต้น
- สารเคมีใดที่กระจายตัวยากจะต้องผสมก่อน เพราะในช่วงต้น ยางยังคงมีความหนืดสูง จะเกิดแรงเฉือนสูง ให้สารเคมีกระจายตัวได้ดี เช่น ZnO หรือสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็ก เช่น เขม่าดำ และซิลิกาชนิดคตะกอน
- สารเคมี ที่เป็นกรด และด่าง ควรจะใส่แยกจากกัน ไม่ควรใส่ตามกัน เพราะกรดกับด่าง จะทำปฏิกิริยากัน ทำให้เป็นก้อน Cake ซึ่งจะกระจายตัวในยางได้ยากขึ้น
- สารวัลคาไนซ์ ซึ่งหมายถึง กำมะถันและสารตัวเร่งให้แยกกันใส่ ปกติจะใส่สารตัวเร่งก่อน (เพราะสารตัวเร่งใช้น้อย) แล้วใส่กำมะถันในขั้นสุดท้าย แต่ในกรณีที่กำมะถันกระจายในยางได้ยาก เช่นกับ ยางไนไตรล์ จะใส่กำมะถันก่อน แล้วจึงใส่สารตัวเร่งในขั้นตอนสุดท้าย



ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนการผสมยาง

ขั้นตอนการอัดรีดยาง (Extrusion)

การอัดรีดยางเป็นหัวใจหลักในการขึ้นรูปทั้งหน้ายาง (KM) แกมยาง (FE) และยางชั้นใน (GI) ซึ่งทำหน้าที่ปกป้องโครงชั้นผ้าใบและลวดเหล็กด้านใน สาเหตุที่ต้องใช้การอัดรีดยาง มีดังนี้

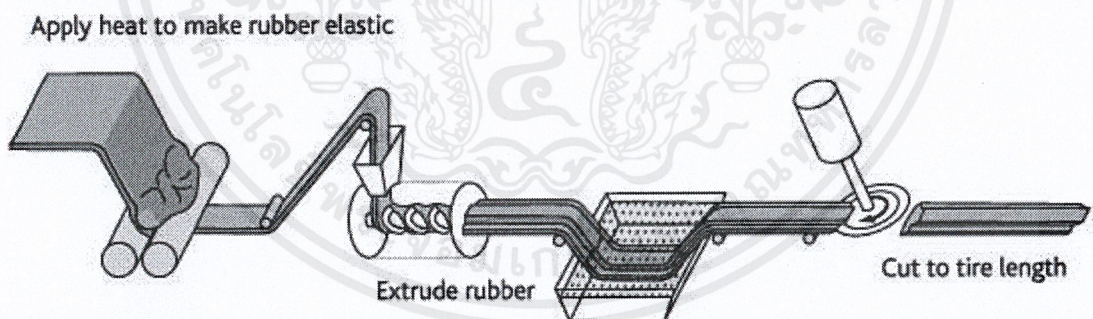
- ยางชั้นใน (GI) บางมากเกินไปจึงต้องใช้การอัดรีด (Extrusion)
- สามารถขึ้นรูปหน้ายาง (KM) ได้
- Masterbatch หรือ Finalmixed มาจากหลายที่ซึ่งอาจมีส่วนผสมมีคลาดเคลื่อนจากกัน จึงต้องนำมาอัดผสมกัน เพื่อให้ยางมีส่วนผสมที่ตรงกัน

เครื่องอัดรีดยางแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. เครื่องอัดรีดที่ป้อนด้วยยางร้อน (Hot Feed Extruder) ซึ่งจะมีขนาดความยาวต่อขนาดสกรูอัดรีดที่ต่ำลงและต้องมีการเตรียมยางด้วยเครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ให้มีอุณหภูมิสูง (ประมาณ 70-90°C) ก่อนเข้าฮอปเปอร์ (Hopper) ของเครื่องอัดรีด ข้อดีคือสามารถเดินสายการผลิต (Line Speed) ได้สูงขึ้นและยางเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ข้อเสียคือเปลืองพื้นที่ พลังงาน และค่าใช้จ่าย
2. เครื่องอัดรีดที่ป้อนด้วยยางเย็น (Cold Feed Extruder) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการผลิตยางรถยนต์ในปัจจุบันเนื่องจากไม่ต้องเตรียมยางก่อนเข้าเครื่อง ข้อดีคือประหยัดพื้นที่และขั้นตอนไม่ซับซ้อน ส่วนข้อเสียคือความเร็วสายการผลิต (Line speed) ไม่สูงเท่า Hot Feed และเวลาของการสุกตัวของยางต่ำลง

การอัดรีดยางแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 2.7 ดังนี้

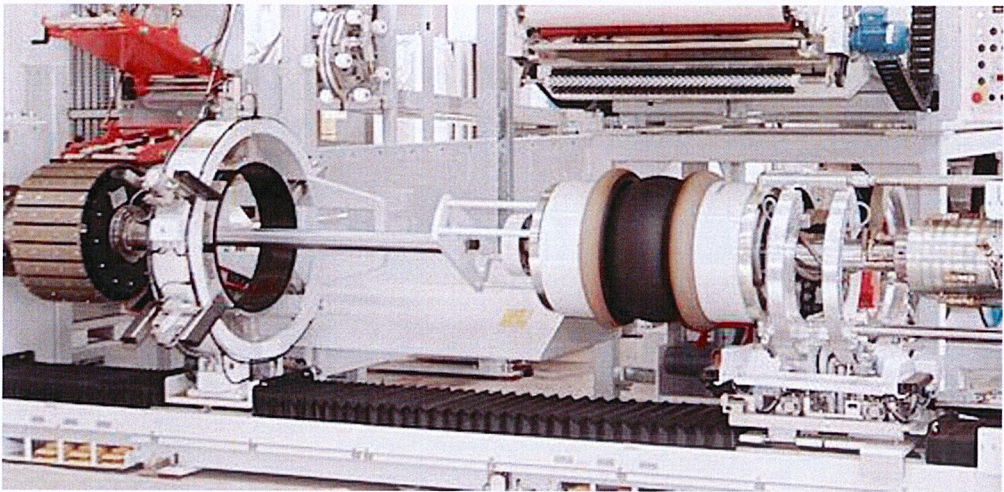
1. การใส่ยาง (Feeding) ขั้นตอนการลำเลียงยางจากฮอปเปอร์ (Hopper)
2. การหลอม (Melt) ยางคอมปาวด์ (Compound) ทั้งหมดจะถูกหลอมเหลวในกระบอกหลอมเหลว (Barrel) ที่ควบคุมอุณหภูมิผ่านการหมุนของสกรู (Screw) เกิดการผสมให้ยางเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น
3. การอัด (Compress) ขั้นตอนของการบดอัดผสมยางที่เกิดจากสกรู (Screw) ที่หมุนอัดภายในกระบอก (Barrel) เพื่อส่งยางไปยังหัวอัดรีด (Die)
4. การปล่อยออก (Feed) การปล่อยยางที่ผ่านการอัดออกไปจากเครื่อง Extrusion มี 4 ส่วนในขั้นตอนนี้ คือ
 - 1) ช่องทางการไหล (Insert) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลก่อนเข้าหัวอัดรีด
 - 2) พรีฟอร์มเมอร์ (Preformer) เป็นชิ้นส่วนที่เป็นช่องผ่านยางคอมปาวด์ (Compound) เพื่อกำหนดตำแหน่งการไหลของการอัดรีดร่วม (Co-Extrusion) เพื่อให้ได้รูปทรงของชิ้นงานสำเร็จตามที่ต้องการ
 - 3) คาสเซต (Cassette) มีหน้าที่เป็นตัวประกอบช่องทางการไหล
 - 4) หัวอัดรีด (Die) เป็นส่วนที่ยึดติดกับส่วนปลายสุดของการอัดรีด มีหน้าที่ในการสร้างรูปร่างภายนอกของหน้ายางตามลักษณะของหัวอัดรีด



ภาพที่ 2.7 ขั้นตอนการอัดรีดยาง

ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนและขึ้นโครงยาง (TBM)

หลังจากเตรียมส่วนของวัตถุดิบต่างๆแล้ว จึงนำยางวัตถุดิบส่วนต่างๆมาประกอบกันที่เครื่องสร้างยาง (Type Building Machine : TBM) ดังภาพที่ 2.8 เพื่อขึ้นรูปเป็นล้อยางที่เป็น Green tire จากนั้นส่งต่อไปยังกระบวนการอบยาง (Curing Process) ต่อไป



ภาพที่ 2.8 เครื่องสร้างยาง

ขั้นตอนการประกอบยางสามารถแบ่งออกได้ 2 ขั้นตอนคือ

1. ขั้นตอนประกอบยางระดับที่หนึ่ง เป็นขั้นตอนสร้างยางในลักษณะแผ่นเรียบ
2. ขั้นตอนประกอบยางระดับที่สอง เป็นขั้นตอนสร้างยางในลักษณะจูนรูปยาง

ขั้นตอนที่หนึ่ง ขั้นตอนประกอบยางระดับที่หนึ่ง (First Stage Tire Building) สร้างยางแผ่นเรียบ

ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนวางแผ่นยางใน (Inner liner)
2. ขั้นตอนวางแผ่นผ้าใบ โครงยาง (Carcasses)
3. ขั้นตอนวาง Apex และขดลวดบีท (Bead) บริเวณขอบทั้ง 2 ข้างลึกเข้ามาเล็กน้อยของยางแผ่นเรียบ จากนั้นม้วน โครงยางมาทับขดลวดบีท (Bead)
4. ขั้นตอนวางส่วนเสริมบน โครงยางตรงไหล่ยางและ Chafer (วางทับตรงขดลวดที่พับ)
5. ขั้นตอนวางแกมยาง

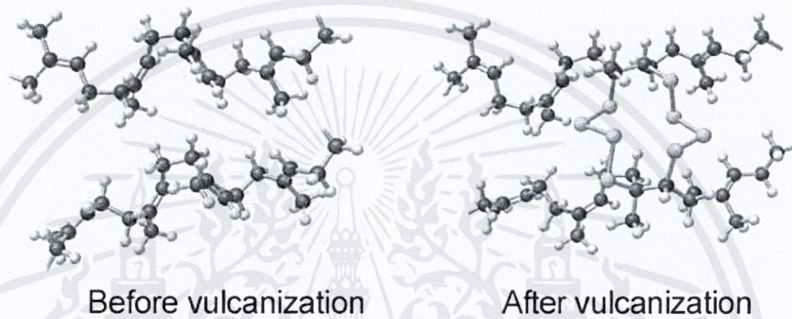
ขั้นตอนที่สอง ขั้นตอนประกอบยางระดับที่สอง (Second Stage Tire Building) เป็นขั้นตอนสร้างยางใน

ลักษณะจูนรูปเป็นโดนัท เพราะต้องการให้บริเวณที่วางเข็มจักรัดหน้ายางเรียบที่สุดและกำหนดรูปร่างได้ง่าย เนื่องจากเข็มจักรัดหน้ายางจะแข็งมากถ้าวางก่อนทำเป็นรูปโดนัทจะควบคุมรูปทรงได้ยาก มี 2 ขั้นตอนต่อจากขั้นตอนประกอบยางระดับที่หนึ่ง (First Stage Tire Building) ดังนี้

6. ขั้นตอนวางเข็มจักรัดหน้ายาง (NST) วางซ้อนทับกับ 2 รอบ ให้ขัดกันเป็นรูปตารางเฉียง
7. ขั้นตอนวางหน้ายาง จะได้ลักษณะออกมาเป็นยางที่เรียกว่า “Green Tire”

ขั้นตอนกระบวนการอบยาง (Curing Process)

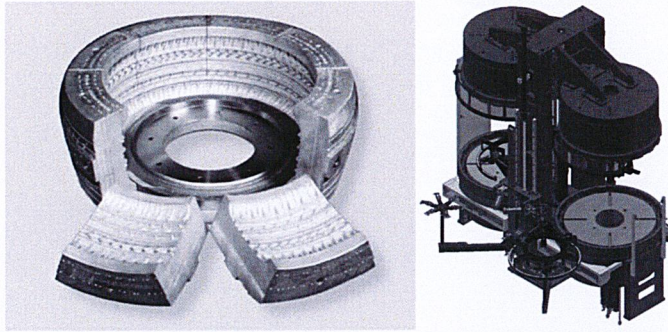
กระบวนการอบยางหรือ Curing Process เป็นกระบวนการที่ส่งความร้อนและความดันเข้าไปสู่ Green Tire ภายในแบบหล่อ(Mold) เพื่อให้ยางสุกและได้รูปร่างเป็นยางล้อที่แข็งแรง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน(Vulcanization)ระหว่างยางและซัลเฟอร์(Sulfur) ดังภาพที่ 2.9 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบก็จะขึ้นอยู่กับขนาดของยางที่ผลิต เช่น ยางรถบรรทุกจะใช้เวลาในการอบประมาณ 57 นาทีต่อยาง 1 เส้น ลวดลายและตัวอักษรทั้งหมดที่อยู่บนยางจะเกิดขึ้นจากแบบหล่อยางในขั้นตอนนี้



ภาพที่ 2.9 ภาพก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันในระดับโมเลกุล

องค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องอบ (Curing Machine) คือ

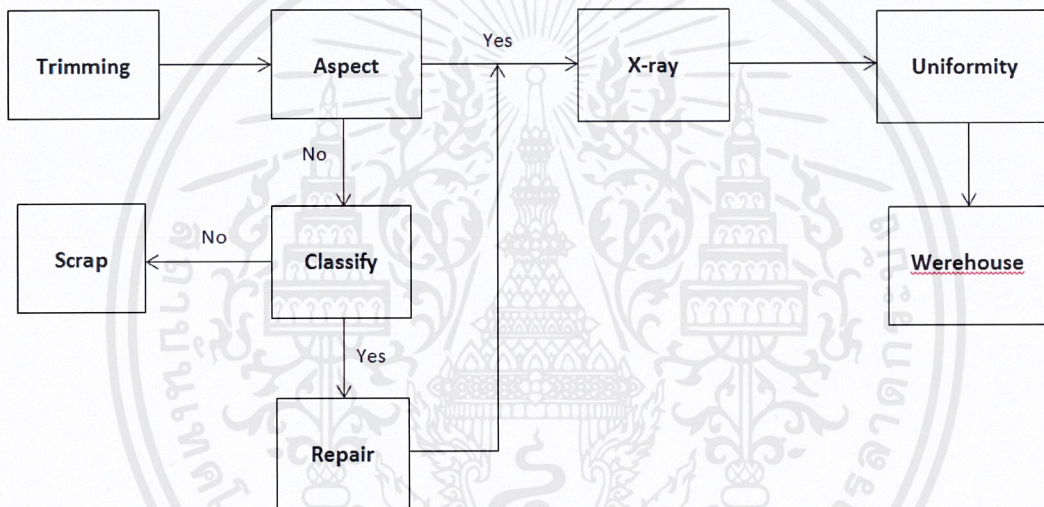
- แบบหล่อ (Mold) เป็นเสมือนกำแพง ที่คอยต้านแรงดันจากภายใน ทำการถ่ายเทความร้อนไปยัง Green Tire (Bandage) และทำให้เกิดการขึ้นรูปของยาง โดยวัสดุที่นำมาใช้ทำแบบหล่อจะเป็นอลูมิเนียม (Al) ดังภาพที่ 2.10 (ซ้าย) เนื่องจากนำความร้อนได้ดี และสามารถขึ้นรูปที่มีลวดลายมากได้ด้วยวิธีการหล่อซึ่งอลูมิเนียมสามารถหล่อได้ง่ายกว่าเหล็ก
- ถังน้ำร้อน (Bladder) เป็นตัวกลางระหว่างของเหลวภายในกับตัวยาง ทำการถ่ายเทความร้อนและสร้างแรงดันจากภายในของยาง Green Tire (Internal Heating) ทำให้เกิดการขึ้นรูปของยางตามแบบหล่อ(Mold)
- เครื่องกด (Press) หรือ Paten ทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ภายใน (Bladder, Mold) กดให้แบบหล่อ(Mold) ปิดอยู่ตลอดเวลาในระหว่างที่มีแรงดันกระทำอยู่ ถ่ายเทความร้อนบริเวณด้านนอกให้กับ Mold (External Heating) รองรับของเหลวภายใน ดังภาพที่ 2.10 (ขวา)



ภาพที่ 2.10 ภาพแบบหล่อยาง (ซ้าย) และเครื่องอบยาง (ขวา)

ขั้นตอนการตรวจสอบยาง (Final Inspection Product)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตยาง โดยมีผังการดำเนินงาน ดังภาพที่ 2.11



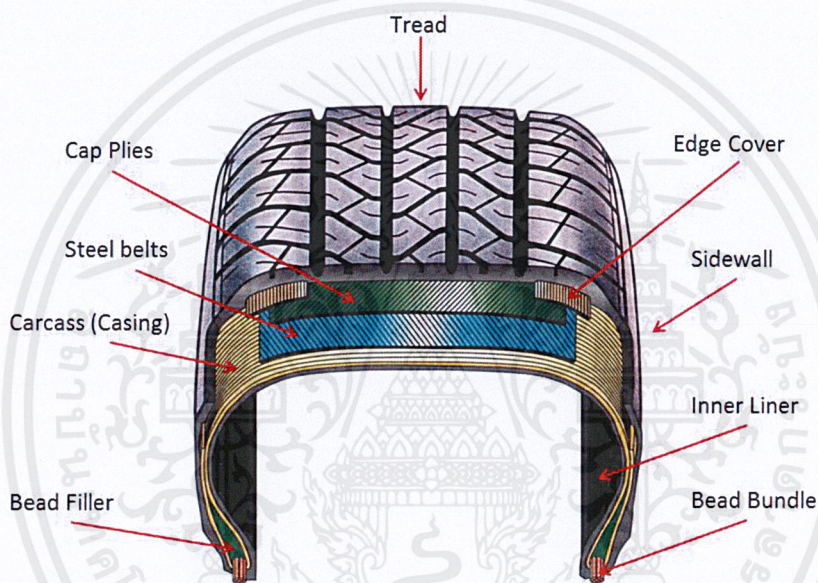
ภาพที่ 2.11 แผนภาพขั้นตอนการตรวจสอบยางล้อ

ยางที่ผ่านกระบวนการอบยาง (Curing Process) และเคลื่อนที่ผ่านแนวสายพานลำเลียง (Conveyor) จนเย็นตัวแล้ว จะเคลื่อนที่มายังขั้นตอนการตรวจสอบยางขั้นสุดท้ายที่แผนก QGTV เริ่มจากการตัดขนาดยางหรือ “Trimming” เพื่อตัดขนาดและยางส่วนที่เกินออกมา จากนั้นจึงส่งไปตรวจสอบลักษณะ (Aspect) ของยางเพื่อแยกยางที่ผ่านคุณภาพและไม่ผ่านคุณภาพ ยางที่ไม่ผ่านคุณภาพจะถูกส่งไปจำแนกประเภท (Classify) หากยางที่ได้มาไม่ได้คุณภาพเกินตามข้อกำหนดจะจำเป็นจะต้องทิ้ง (Scrap) เพื่อทำลายยางเส้นนั้นแต่หากยังอยู่ในคุณภาพระดับที่ยังซ่อมแซมได้จะนำไปซ่อมเฉพาะจุด (Repair) ยังแผนกซ่อมยาง เช่น การอบยางเฉพาะจุด จากนั้นยางที่ผ่านการซ่อมบำรุงแล้วและยางที่ผ่านตั้งแต่ขั้นตอน Aspect จะถูกส่งไปยังขั้นตอนการ

เอกซเรย์(X-ray) เพื่อตรวจสอบการวางเส้นลวดภายในยางแต่ละเส้นว่ามีระยะห่างที่เท่ากันพอดีทุกเส้นหรือไม่ เมื่อผ่านแล้วจึงส่งต่อไปยังเครื่อง Uniformity เพื่อทดสอบจุดศูนย์กลาง, รูปร่าง, น้ำหนักและความสมดุลของยาง ยางที่ผ่านการตรวจสอบทั้งหมดแล้วจะส่งไปเก็บไว้ยังคลังสินค้า (Warehouse) เพื่อรอส่งให้ลูกค้าต่อไป [1]

2.1.2 โครงสร้างของยาง

ยางเป็นสิ่งเดียวที่รถใช้ยึดเกาะกับถนน ปัจจุบันยางที่ใช้โดยมากเป็นยางประเภทยางเรเดียล (Radial) ประกอบไปด้วยโครงสร้างต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของยาง

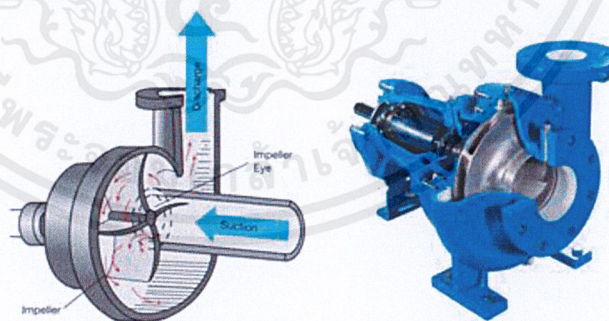
- ชั้นในของยาง (Inner Liner)
ชั้นยางในของยางสังเคราะห์ผลิตไม่ให้อากาศเข้า ชั้นยางดังกล่าวมักประกอบไปด้วยบิวทิล ยางสังเคราะห์ หน้าที่หลักของยางชั้นนี้ คือ การรักษาลมที่มีความดันสูงเอาไว้ภายใน
- แผ่นใยเสริมโครงยาง (Carcass Ply)
เป็นชั้นที่อยู่เหนือชั้นในของยางประกอบด้วยเส้นใยบางๆ (หรือเคเบิล) ที่นำมาตีเกลียวและเชื่อมติดเข้าไปในวัสดุยาง เคเบิลเหล่านี้คือตัวบ่งชี้ความแข็งแรงของยาง และช่วยต้านทานแรงกด ยางมาตรฐานมีเส้นใยประมาณ 1400 เส้นซึ่งแต่ละเส้นสามารถต้านแรงได้ 15 กิโลกรัม

- ส่วนขอบยางด้านล่าง (Lower bead area)
 ยางส่วนที่จับกับขอบโลหะของชั้นแผ่นใยเสริมโลหะ กำลังจากเครื่องยนต์และการเบรก จะถูกส่งมาจากกระทะยางส่งไปยังบริเวณที่สัมผัสกับพื้นถนน
- วงขอบยางใน (Bead)
 ส่วนนี้จะยึดกับกระทะล้ออย่างแน่นหนา เพื่อให้มั่นใจว่าลมจะไม่สามารถออกมาได้ และปิดขอบยางได้อย่างสนิท แต่ละเส้นสามารถรับน้ำหนักได้มากถึง 1800 กิโลกรัม โดยไม่มีความเสี่ยงที่จะแตก ซึ่งมีทั้งหมด 8 จุด บนรถ (2 จุดต่อยาง 1 เส้น) นั่นเป็นความแข็งแรงอย่างมากในการต้านทานต่อน้ำหนัก 14400 กิโลกรัม
- แกมยาง (Sidewall)
 มีหน้าที่ปกป้องด้านข้างของยางจากการกระแทกขอบยางกับพื้นถนน นอกจากนี้ รายละเอียดที่สำคัญเกี่ยวกับยางถูกเขียนไว้บนแกมยาง เช่น ความกว้างของยาง และ อัตราความเร็วสูงสุดที่ยางรองรับได้
- ผ้าใยเสริมหน้ายาง (Crown piles)
 เป็นตัวชี้วัดสำคัญของความแข็งแรงของยาง เพราะทำขึ้นจากเส้นใยเหล็กละเอียด คงทน ที่ตีเข้าไปในเนื้อยาง ซึ่งหมายถึงยางสามารถทนต่อแรงกดจากการเลี้ยว และไม่ขยายตัวเนื่องจากการสลับยาง แกมยังมีความยืดหยุ่นมากพอที่จะรับการบิดรูปที่เกิดจาก เนิน หลุมและสิ่งกีดขวางอื่นๆบนถนน
- ชั้นรองหน้ายาง หรือสายพาน “ศูนย์องศา” (Cap ply)
 เป็นชั้นที่มีความสำคัญต่อความปลอดภัย เพราะลดความร้อนจากการเสียดสี และช่วย รักษารูปร่างของยางเมื่อขับขี่ด้วยความเร็ว ป้องกันการยืดตัวออกจากศูนย์กลางของยาง เส้นใยไนลอน (Nylon) ถูกนำมาแทรกเข้าไปในชั้นของวัสดุยางและทั่วทั้งบริเวณ รอบๆขอบยาง
- เส้นลวดฉาบยาง (หรือสายพาน)
 มีหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับดอกยาง
- หน้ายาง (Tread)
 หน้ายางมีหน้าที่สร้างแรงยึดเกาะและการยึดเกาะในขณะที่เลี้ยวให้แก่ง่าย และได้รับการ ออกแบบมาเพื่อให้ทนต่อการสึกหรอ การถลอกและความร้อน

2.1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ (Devices and Handing)

- **ปั๊ม (Pump)** – ปั๊มทำหน้าที่ในการสูบของเหลว จากจุดที่มีเสถียรความดันต่ำ (Low pressure head) โดยส่งของเหลวดังกล่าวออกไปตามระบบท่อ ด้วยเสถียรความดันที่สูงกว่าเดิม (High pressure head) การที่จะให้ของไหลไหลจากจุดที่มีเสถียรความดันต่ำกว่าไปยังจุดที่มีเสถียรความดันสูงนั้น จะต้องใช้ใบพัดปั๊มทำหน้าที่ในการถ่ายทอดพลังงานกลให้แก่ของไหลนั้นๆ เพื่อที่จะทำให้ของไหลมีพลังงานที่จะใช้ขับเคลื่อนตัวเอง โดยสามารถเอาชนะความต้านทานต่อการไหลภายในระบบนั้น ปั๊มจะสูบของไหลจากทางด้านดูด (suction) และออกทางด้านส่ง (discharge) โดยรับพลังงานจากเครื่องต้นกำลัง อาทิ เครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ปั๊มนิยมนำใช้แบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ดังนี้

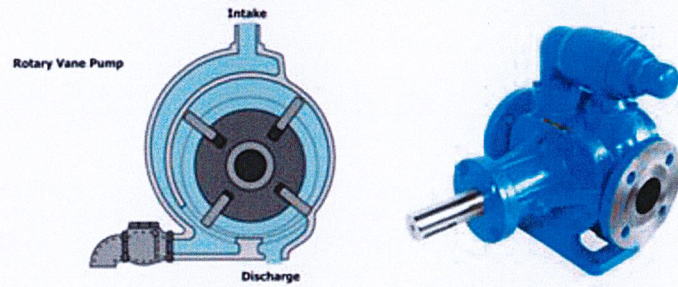
1. แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump) ปั๊มประเภทนี้นิยมใช้อย่างแพร่หลายในการสูบน้ำ สารหล่อลื่น สารละลายเคมี เป็นต้น มีประสิทธิภาพในการสูบสูงถึง 90 % และยังให้ทำงานที่ระดับความดันสูงได้ ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ภายในเรือนปั๊มเรียกว่าโรเตอร์ (rotor) หรือใบพัด (Impeller) จะเป็นตัวทำให้เกิดการขับเคลื่อนของไหล ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเสถียรความเร็ว (Velocity head) เป็นความดันสถิตย์ (Static pressure) ของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับแกนเพลแล้วถูกเหวี่ยงออกไปตามแนวรัศมีของใบพัดหรือโรเตอร์ ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 ปั๊มแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

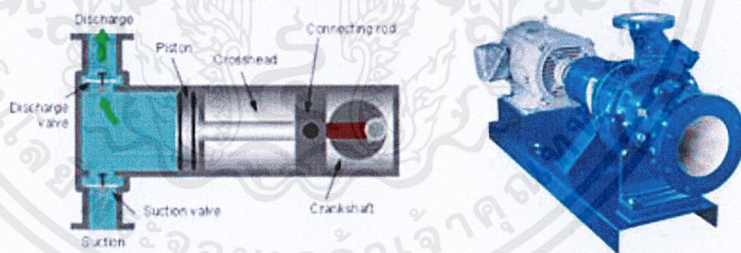
2. แบบโรตารี (Rotary pump) ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว ภายในห้องของตัวปั๊มด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน ซึ่งหมุนเพื่อให้เกิดความแตกต่างของความดันภายในระบบ ของเหลวจะถูกดูดเข้าและอัดทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นแล้วปล่อยออกมาทางด้านปล่อย ชิ้นส่วนที่หมุนดังกล่าวเรียกว่า โรเตอร์ การหมุนของ

โรเตอร์ จะก่อให้เกิดการแทนที่ของของเหลวขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของไหลที่ไหลผ่านปั๊มมีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ปั๊มแบบโรตารี

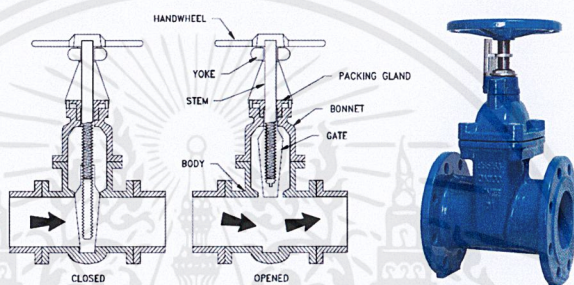
3. แบบเลื่อนชัก หรือแบบลูกสูบ (Reciprocating pump) ปั๊มแบบเลื่อนชักจะมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น ด้วยการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาเหมาะสมสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ต้องการเสดในระบบที่สูงของเหลวที่ใช้ปั๊มประเภทนี้จะต้องมีความสะอาดเพียงพอที่ไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอที่เร็วขึ้น การอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของสูบไม่มีการต่อเนื่องกันจึงทำให้ การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วงๆ (pulsation) ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ปั๊มแบบลูกสูบ

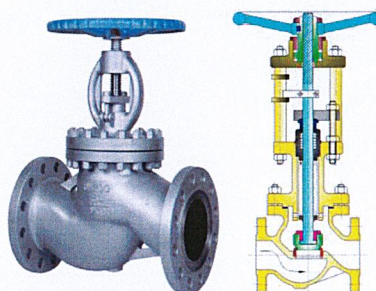
- วาล์ว (Valve) – เป็นอุปกรณ์สำคัญที่มีหน้าที่ควบคุมการไหลของของเหลว เช่น น้ำ สารเคมี แก๊ส อากาศ โดยวาล์วจะทำหน้าที่คือเปิดหรือปิดทางเดินของเหลว ควบคุมอัตราการไหลได้ สามารถปรับให้ของเหลวไหลในระดับที่ต้องการเปลี่ยนทิศทางการไหลได้โดยง่าย ป้องกันการไหลย้อนกลับ ป้องกันไม่ให้ของเหลวไหลมาผสมกัน ส่วนการควบคุมการทำงานของวาล์วนั้นมีทั้งวาล์วที่ควบคุมได้เองโดยอัตโนมัติ และวาล์วที่ควบคุมได้โดยใช้มือปรับ แบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

1. เกทวาล์ว (Gate valve) หรือ วาล์วประตูน้ำ เป็นวาล์วที่ใช้กันแพร่หลายอย่างมาก ทั้งตามโรงงานอุตสาหกรรม และตามบ้านเรือน โดยปกติแล้วท่อน้ำที่ต่อแยกออกมาจากท่อหลัก ก่อนเข้ามิเตอร์จะต้องมีวาล์วปิด-เปิดอยู่ตัวหนึ่ง ซึ่งวาล์วตัวนี้คือ Gate Valve โครงสร้างของ Gate valve นั้นจะมีส่วนที่เป็นแผ่นจาน (Disk) ที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อเล็กน้อย เลื่อนขึ้น-ลงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล ดังภาพที่ 2.16 ข้อดีของ Gate valve คือมีความกว้างไม่มาก ทำให้ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย เหมาะสำหรับงานประเภทปิด-เปิด ไม่เหมาะสำหรับใช้ในการควบคุมการไหล



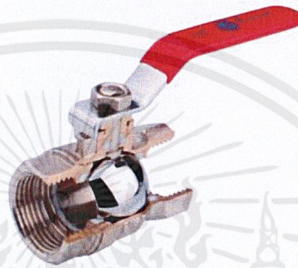
ภาพที่ 2.16 เกทวาล์ว

2. โกลบวาล์ว (Globe Valve) เป็นวาล์วที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมอัตราการไหลของของไหล การปิด-เปิดวาล์วจะอาศัยการปิด-เปิดแผ่น Disk ที่วางตัวอยู่ในแนวเดียวกันกับทิศทางการไหล ดังภาพที่ 2.17 ตัวอย่างการใช้งานวาล์วประเภทนี้ได้แก่ท่อน้ำที่ใช้กันอยู่ในบ้านหรือในห้องน้ำทั่วไปที่เป็นแบบหัวหมุนได้หลายรอบ เป็นวาล์วที่มีการระบุทิศทางการไหล โดยด้านข้างของตัววาล์วจะมีลูกศรระบุว่าต้องให้ของไหลไหลเข้าทางด้านไหนและออกทางด้านไหน ข้อเสียของ Globe valve คือมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก



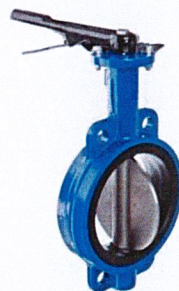
ภาพที่ 2.17 โกลบวาล์ว

3. บอลวาล์ว (Ball Valve) เป็นวาล์วที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน ทั้งตาม โรงงาน อุตสาหกรรมและตามอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ ที่ใช้กักน้ำแบบที่เป็นก้านหมุน เพียง 90 องศาสามารถเปิดวาล์วได้เต็มที่หรือปิดวาล์วได้สนิท ซึ่งส่วนที่ทำหน้าที่ปิด-เปิดของบอลวาล์วคือตัวลูกบอลที่มีรูเจาะทะลุอยู่ตรงกลาง ดังภาพที่ 2.18 โดยการหมุนให้รูเจาะทะลุอยู่ในแนวท่อก็จะเป็นการเปิดวาล์วเต็มที่ และการหมุนให้รูเจาะทะลุอยู่ในแนวตั้งฉากกับท่อก็จะเป็นการปิดวาล์ว สามารถรับความดันได้สูง ใช้งานได้ดีกับของไหลที่มีของแข็งปะปนอยู่



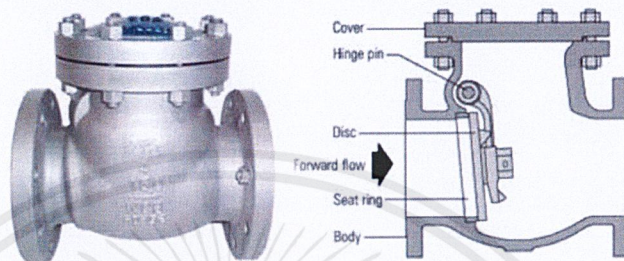
ภาพที่ 2.18 บอลวาล์ว

4. วาล์วปีกผีเสื้อ (Butterfly Valve) ทำหน้าที่ได้เช่นเดียวกันกับบอลวาล์ว โดยโครงสร้างของวาล์วปีกผีเสื้อนั้นจะใช้แผ่นจาน (Disc) ดังภาพที่ 2.19 หมุนไปมา โดยจะเป็นการเปิดเต็มที่ถ้าทำมุม 90 องศาทิศทางการไหล และถ้าหมุนแผ่นจานตั้งฉากกับทิศทางการไหลก็จะเป็นการปิดวาล์ว การที่ใช้แผ่นจานแทนการใช้ลูกบอลในการปิดกั้นการไหล จึงทำให้วาล์วปีกผีเสื้อมีขนาดเล็กกว่า แคลบกว่า และเบากว่าบอลวาล์ว แต่โครงสร้างที่เป็นแผ่นจานดังกล่าวทำให้ไม่สามารถรับแรงดันและอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นเราจึงมักเห็นการใช้วาล์วปีกผีเสื้อในท่อขนาดใหญ่กับสารที่ไม่มีอันตราย เช่น ท่อน้ำหล่อเย็น ท่ออากาศของระบบทำความเย็น



ภาพที่ 2.19 วาล์วปีกผีเสื้อ

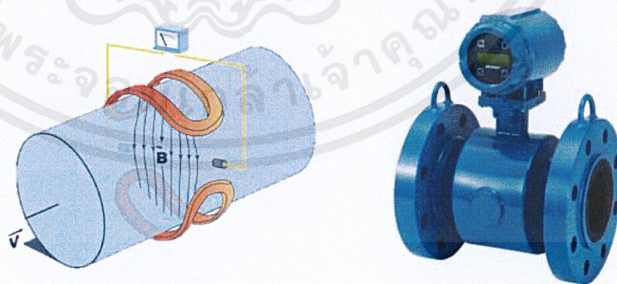
5. เช็ควาล์ว (Check Valve) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า วาล์วกันกลับ (Non-Return Valve) คือ อุปกรณ์ในระบบน้ำ ทำหน้าที่ควบคุมให้น้ำไหลไปในทิศทางเดียวดังภาพที่ 2.20 ป้องกันไม่ให้น้ำไหลย้อนกลับเมื่อปั้มน้ำหยุดทำงาน ใช้ติดตั้งคู่กับปั้มน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลย้อนกลับเข้าตัวปั้มเมื่อไม่มีการเปิดใช้น้ำ หากน้ำไหลย้อนกลับเข้าปั้มจะทำให้ระบบรวน นำไปสู่อายุการใช้งานที่ไม่เหมาะสม



ภาพที่ 2.20 Check valve

- **Flow meter** – เป็นอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของของไหลทั้งของเหลวและก๊าซ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

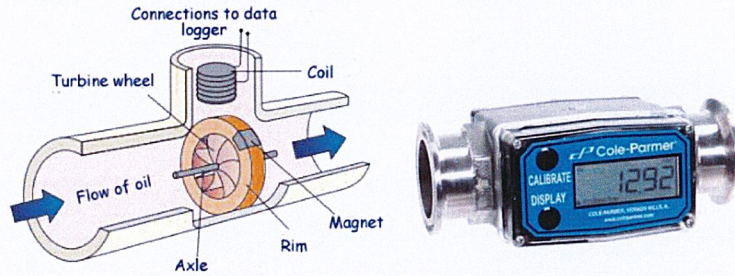
1. **Magnetic flow meter** อาศัยหลักการทำงานตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) โดยของไหลที่ต้องการวัดจะต้องนำไฟฟ้า และเมื่อของไหลไหลผ่านสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมดังภาพที่ 2.21 ซึ่งแปรผันตามความเร็วของของไหล แล้วนำมาคำนวณเป็นอัตราการไหล ข้อดีคือไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อน ไหวและไม่สัมผัสของไหลที่ต้องการวัด



ภาพที่ 2.21 Magnetic flow meter

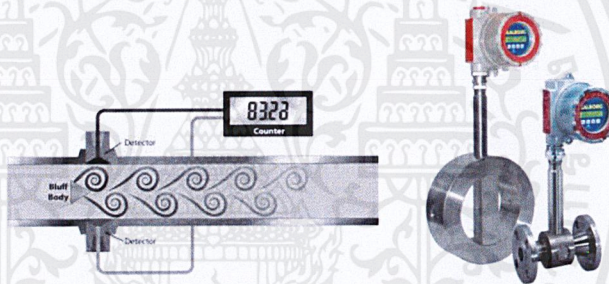
2. **Turbine flow meter** อาศัยหลักการที่การไหลในท่อทำให้ใบพัดหมุน และความเร็วในการหมุนของใบพัดจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความเร็วของไหลที่ไหลผ่าน ซึ่งวัดความเร็วของการหมุนของใบพัด โดยอาศัยตัวเซ็นเซอร์ดังภาพที่

2.22 แลวนำมาคำนวณเป็นอัตราการไหล เหมาะสำหรับการวัดของไหลที่มีความสะอาดและในช่วงความเร็วในการไหลที่มีย่านกว้างมากได้



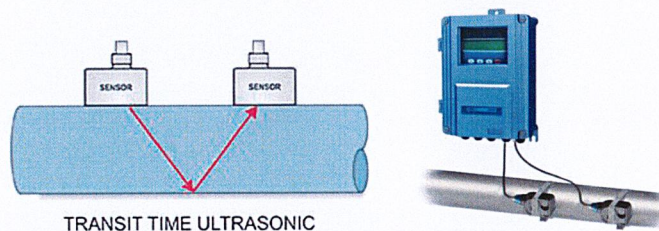
ภาพที่ 2.22 Turbine flow meter

3. Vortex flow meter อาศัยการตรวจจับกระแสน้ำวน โดยจะมีแถบเซนเซอร์กั้นทางเดินของไหล และแกว่งตัวตามกระแสไหลวนที่ผ่าน ดังภาพที่ 2.23 การแกว่งจะก่อให้เกิดความถี่ที่เป็นสัดส่วนกับปริมาตรการไหล เหมาะกับของเหลวที่มีความหนืดต่ำและของเหลวที่มีอนุภาคขนาดเล็ก



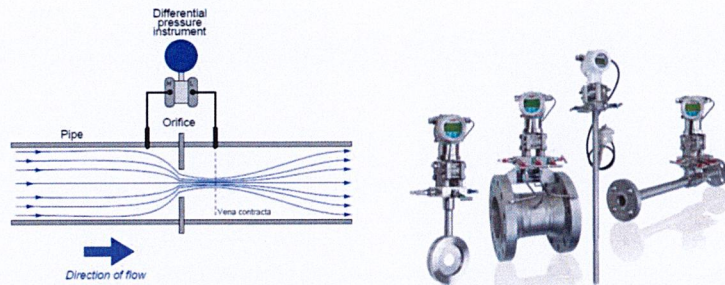
ภาพที่ 2.23 Vortex flow meter

4. Ultrasonic flow meter อาศัยหลักการวัดความเร็วในการเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกผ่านการไหลของของไหลดังภาพที่ 2.24 เวลาที่ใช้ในการเดินทางของคลื่นจะถูกนำมาคำนวณเป็นความเร็วของของไหล โดยมีหลักการพื้นฐานอยู่ 3 ส่วนที่เกี่ยวข้องกับเซ็นเซอร์ชนิดนี้ ได้แก่ Doppler method, Time of flight method และ Frequency difference method



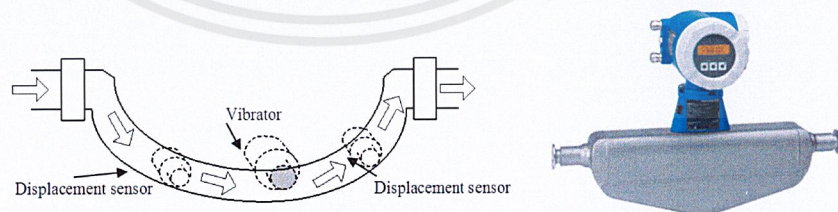
ภาพที่ 2.24 Ultrasonic flow meter

5. Differential pressure meter อาศัยหลักการของการวัดค่าแรงดันตกคร่อมดังภาพที่ 2.25 โดยใช้ Equation of continuity และใช้สมการ Bernoulli's equation เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตราการไหล



ภาพที่ 2.25 Differential pressure meter

6. Coriolis flow meter เป็นเครื่องมือวัดการไหลเชิงมวล โดยเมื่อมีมวลไหลผ่านท่อโค้ง จะเกิดการบิดตัว แรงบิดตัว (coriolis force) หรือแรงโคริโอลิสที่เกิดขึ้นนี้ แปรผันตรงกับปริมาณการไหลของของไหลที่ไหลผ่านท่อ หลักการทำงานคือ เมื่อของไหลไหลผ่านท่ออ้อนรูปตัวยูดังภาพที่ 2.26 ของไหลที่อยู่ภายในท่อจะพยายามรักษาทิศทางการเคลื่อนที่ให้อยู่ในแนวตรง เมื่อท่อได้รับการกระตุ้นด้วยตัวกำเนิดการสั่นทำให้ท่อแกว่งในแนวระนาบ จากการที่ท่อพยายามรักษานิวแรงจึงส่งผลให้ท่อเกิดการแกว่งตัวแบบคลื่นไซน์ ความเร็วในการแกว่งตัวของท่อหาได้จากการวัดระยะเวลาแกว่งตัวในหนึ่งช่วงเวลา ซึ่งค่าความเร็วนี้สัมพันธ์กับการไหลเชิงมวลของของไหล



ภาพที่ 2.26 Coriolis flow meter

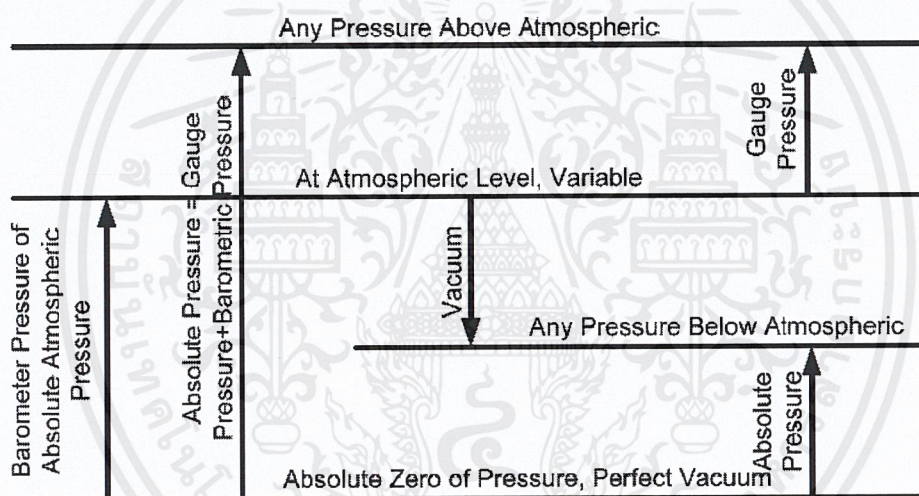
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ทฤษฎีเบื้องต้นของปั๊ม

ความดันและเฮด

ในการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของปั๊ม จำเป็นต้องทราบทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับของเหลว ความดัน และหัวน้ำหรือเฮดของปั๊ม ดังนี้

1. ความดันของบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของบรรยากาศต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่บนผิวโลก ซึ่งลักษณะการวัดความดันมี 2 แบบ คือ ความดันจากบาโรมิเตอร์ (Barometer Pressure) และความดันจากเกจ (Gauge Pressure)



ภาพที่ 2.27 ความดันบรรยากาศ

จากภาพที่ 2.27 ความดันของบรรยากาศมีค่าศูนย์อย่างแท้จริงหรือไม่มีค่าเลยซึ่งเกิดขึ้นได้โดยการดูดอากาศออกหมดจนเป็นสุญญากาศที่แท้จริงเรียกว่า ความดันศูนย์สมบูรณ์ (Absolute Zero Pressure) ค่าความดันใด ๆ ที่วัดจากค่าความดันพื้นฐานนี้เรียกว่า ความดันสมบูรณ์ (Absolute Pressure, P_{abs}) รวมทั้งความดันของบรรยากาศซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับ 101.325 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร ก็เป็นความดันสมบูรณ์ด้วย แต่เนื่องจากว่าอุปกรณ์ที่ใช้วัดเรียกว่า บาโรมิเตอร์ ค่าความกดดันของบรรยากาศที่วัดได้จึงเรียกว่า ความดันจากบาโรมิเตอร์ (Barometer pressure, P_b)

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันโดยทั่วๆ ไปเป็นเครื่องมือสำหรับวัดค่าที่แตกต่างไปจากความกดดันของบรรยากาศ ค่าที่วัดได้เรียกความดันจากเกจ (Gauge Pressure, P_g) ซึ่งอาจมีค่าได้ทั้งบวกและลบ จากภาพจะเห็นได้ว่าสามารถเปลี่ยนความดันจากเกจให้เป็นความดันสมบูรณ์ได้โดย

ความดันสมบูรณ์ = ความดันจากบาโรมิเตอร์ + ความดันจากเกจ

$$P_{abs} = P_b + P_g$$

ค่าความกดดันของบรรยากาศหรือความกดดันจากบาโรมิเตอร์

$$P_b = 1013 - 0.1055 EL$$

ในเมื่อ P_b เป็นความดันของบรรยากาศมีหน่วยเป็นมิลลิบาร์ หนึ่งมิลลิบาร์เท่ากับ 0.0145 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือคิดเป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 องศาเซลเซียสได้เท่ากับ 0.010197 เมตร และ EL เป็นระดับความสูงของพื้นผิวที่ต้องการทราบความกดดันเหนือระดับน้ำทะเลปานกลางมีหน่วยเป็นเมตร

ในการคำนวณเกี่ยวกับการติดตั้งปั๊ม ค่าความกดดันของบรรยากาศที่ใช้มีหน่วยเป็นความสูงของแท่งน้ำหรือเฮดเป็นเมตรค่าดังกล่าวจะคำนวณได้จากสมการ

$$H_p = 10.33 - 0.00108EL$$

โดย H_p เป็นความกดดันบรรยากาศเทียบให้เป็นความสูงของแท่งน้ำที่ 4 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็นเมตร

2. เฮดความดัน (Pressure Head, H_p)

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลว นั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure Head)

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน p และเฮดความดัน H_p คือ

$$H_p = \frac{p}{\gamma} = \frac{p}{\rho g}$$

เมื่อ

γ = น้ำหนักจำเพาะ (นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร)

ρ = ความหนาแน่นของของเหลว (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)

3. เฮดความเร็ว (Velocity Head, H_v)

ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใด ๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่ พลังงานในส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮดคือ

$$H_v = \frac{v^2}{2g}$$

เมื่อ

v = ความเร็วของการไหล (เมตรต่อวินาที)

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)

เฮดความเร็วอาจให้คำจำกัดความได้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็นความสูงที่ของเหลวตกลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลกจนได้ความเร็วเท่ากับความเร็วในการไหลของของเหลวนั้น

4. เฮดสถิตย (Static Head, H_s)

ในการทำงานของปั๊มโดยทั่ว ๆ ไป ของเหลวจะถูกเพิ่มพลังงานเพื่อให้นมันไหลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่า ความดันซึ่งคิดเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำต่อศูนย์กลางของปั๊มทั้งทางด้านดูดและด้านจ่ายในขณะที่ความเร็วของการไหลผ่านระบบเป็นศูนย์ เรียกว่า เฮดสถิตย (Static Head)

ระยะทางในแนวตั้งที่บอกเป็นแท่งความสูงของของเหลว หรือเฮดจากศูนย์กลางของปั๊มถึงปลายของท่อจ่ายเรียกว่า เฮดสถิตยด้านจ่าย (Static Discharge Head)

ระยะจากจุดศูนย์กลางของปั๊มถึงระดับผิวของของเหลวที่ปลายของท่อดูด เรียกว่า เฮดสถิตยด้านดูด (Static Suction Head)

เฮดสถิตยรวม (Total Static Head) ก็คือผลต่างทางพีชคณิตของเฮดสถิตยด้านจ่าย (Static Discharge Head) กับเฮดสถิตยด้านดูด (Static Suction Head) ค่าดังกล่าวนี้เป็นเฮดต่ำสุดที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวก่อนที่จะมีการไหลเกิดขึ้น

5. เสถียรภาพ (Friction Head, H_f)

ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบท่อทั้งด้านดูดและจ่ายพลังงานหรือเสถียรภาพในการไหล ส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากความเสถียรภาพระหว่างของเหลวกับผนังของท่อและส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งเราเรียกว่า เสถียรภาพ (Friction Head)

6. เสถียรภาพรวม (Total Head, H_T)

เสถียรภาพรวมของน้ำ ณ จุดใดจุดหนึ่ง ก็คือพลังงานทั้งหมดของน้ำที่บอกในรูปของเสถียรภาพของน้ำ ณ จุดนั้นๆ

∴ เสถียรภาพรวม = เสถียรภาพความดัน + เสถียรภาพความเร็ว + เสถียรภาพสถิตย

$$H_T = H_p + H_v + H_s$$

$$H_T = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z$$

เสถียรภาพที่เพิ่มขึ้นระหว่างทางเข้าของปั๊มและทางออกของปั๊มก็คือเสถียรภาพที่ปั๊มให้แก่น้ำ เรียกว่า เสถียรภาพของปั๊ม (Total Dynamic Head, H_{TDH})

$$H_{TDH} = H_p + H_v + H_s + H_f$$

อัตราการใช้พลังงาน ณ จุดทำงานของปั๊ม

จุดทำงานของปั๊มคือจุดตัดระหว่าง Pump curve และ System curve ดังภาพที่ 2.28 ซึ่งจะแสดงให้เห็นอัตราการใช้พลังงานของน้ำที่ออกจากปั๊มในแต่ละระบบนั้นๆ

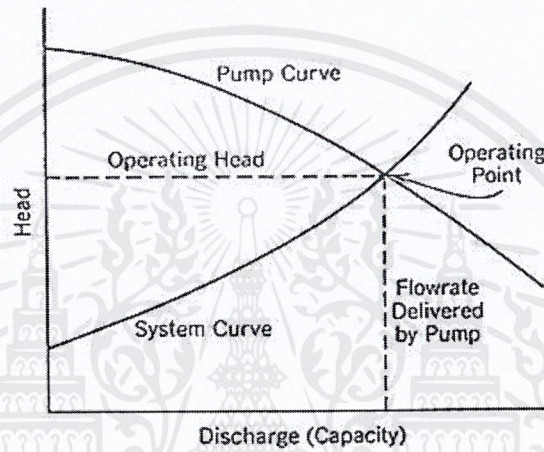
1. Pump curve

โดยปกติเมื่อทำการสั่งซื้อปั๊ม บริษัทผู้ผลิตจะมีข้อมูลสำหรับปั๊มแต่ละรุ่น เรียกว่า Pump characteristics curve หรือ Pump curve เป็นกราฟที่แสดง H-Q ของปั๊ม ซึ่งกราฟ H-Q head capacity curve ของปั๊ม คือกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้พลังงานกับเสถียรภาพที่ปั๊มสามารถทำงานได้ ตั้งแต่อัตราการใช้พลังงานเป็นศูนย์ จนถึงอัตราการใช้พลังงานสูงสุดของปั๊มนั้น

2. System curve

เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านระบบกับเฮดรวม (THD) หรือพลังงานที่ปั๊มจะต้องเพิ่มแก่ของเหลวเพื่อก่อให้เกิดการไหลนั้น พลังงานที่ปั๊มจะต้องให้ซึ่งบอกเป็นความสูงของแท่งของเหลวหรือเฮด มีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานสองอย่าง ได้แก่

- ความต่างระดับของของเหลวที่ปลายของท่อดูดและท่อจ่ายหรือเฮดสถิต
- พลังงานที่สูญเสียไปในการไหลผ่านระบบเนื่องมาจากความฝืดในเส้นท่อและการสูญเสียในอุปกรณ์ของระบบท่อ [2-3]



ภาพที่ 2.28 กราฟแสดงอัตราการไหลของปั๊มที่จุดตัดของ Pump curve และ System curve

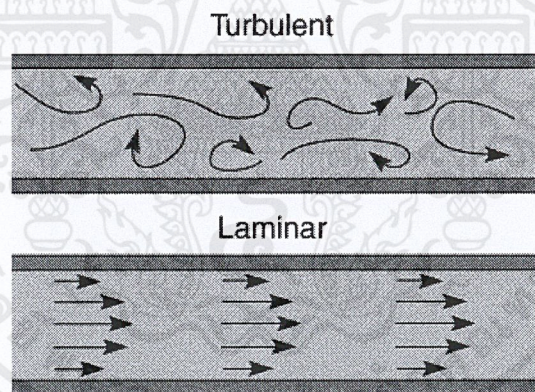
ปรากฏการณ์ควิเตชัน (Cavitation)

ปรากฏการณ์ควิเตชัน หรือปรากฏการณ์การเกิดโพรงไอ เป็นปรากฏการณ์ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวกลายเป็นไอขณะที่น้ำไหลเข้าสู่ปั๊ม ณ จุดทำงานจุดใดจุดหนึ่งของปั๊ม เมื่อความดันที่ทางเข้าของปั๊มลดลงต่ำกว่าความดันของไออิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมินั้นๆ น้ำจะกลายเป็นไอขึ้นมา ในลักษณะของการเกิดฟองอากาศขึ้นอย่างรวดเร็ว และฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะถูกบีบอัดให้เล็กลงและแตกก่อให้เกิดเสียงดัง และทำให้เกิดความเสียหายแก่ชิ้นส่วนภายในของเครื่องได้ ความดันที่เกิดขึ้นจากการบีบอัดฟองอากาศให้แตกอาจจะสูงกว่าค่าความดันบรรยากาศเป็นร้อยๆเท่า สร้างความเสียหายให้แก่ชิ้นส่วนที่สัมผัสกับน้ำโดยตรงได้อย่างมาก ในการตรวจสอบว่าในระบบการไหลจะมีปรากฏการณ์ควิเตชันเกิดขึ้นหรือไม่ หากไม่มีเครื่องมือเฉพาะก็สามารถสังเกตได้ด้วยการฟังเสียง ซึ่งจะมีเสียงดังเหมือนก้อนกรวดไหลกระทบแกวผิวโลหะ หรือสังเกตจากการสั่นสะเทือนและตรวจวัดจากสัญญาณการสั่นสะเทือน [4]

2.3.2 การไหลของของไหล

ลักษณะการไหลของของไหล

1. การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) หรือการไหลแบบสม่ำเสมอ คือรูปแบบการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบดังภาพที่ 2.29 ไม่มีการผสมกันระหว่างชั้นของไหล ลักษณะการไหลแบบนี้ โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีความหนืด (Viscosity) สูง และไหลด้วยความเร็วต่ำ หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดเล็กมาก ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อ
2. การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) หรือการไหลที่ไม่เป็นระเบียบ โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีค่าความหนืด (viscosity) ต่ำและไหลด้วยความเร็วสูง หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ของไหลไหลผ่านมีขนาดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของไหลที่ไหลภายในท่อ รูปแบบการไหลของของไหลมีทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน และมีการผสมกันระหว่างชั้นของไหลในขณะเคลื่อนที่ [5]



ภาพที่ 2.29 แสดงลักษณะการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน

Reynolds Number

ลักษณะการไหลของของไหลมีความสำคัญต่อการเลือกใช้ชนิดของเครื่องมือวัด (Instrument) ให้เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถพิจารณาได้จากค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re) ซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของของไหลที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ (temperature) และความดัน (pressure) ได้แก่ ความหนาแน่น (ρ) ความหนืด (μ) ความเร็วของของไหล (v) ที่ไหลภายในท่อ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (D) โดยค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

วิกฤตเป็นตัวบ่งบอกถึงการเปลี่ยนลักษณะการไหลของของไหลจากแบบราบเรียบ (laminar flow) ไปเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2.1)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

V คือ ความเร็วในการไหล (เมตรต่อวินาที)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อกลม (เมตร)

μ คือ ความหนืดของของไหล (กิโลกรัมต่อเมตรวินาที)

สำหรับของไหลที่ไหลในท่อมี่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์วิกฤตเท่ากับ 2,300

ถ้า $Re \leq 2,000$ ของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow)

ถ้า $Re \geq 4,000$ ของไหลจะมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)

อัตราการไหลและความเร็วเฉลี่ย

อัตราการไหล (Flow rate) คือ ปริมาณของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดต่อหนึ่งหน่วยเวลา

ความเร็วเฉลี่ย (Mean velocity) เนื่องจากของไหลมีความหนืด ขณะไหลจึงมีความเสียดทานและความเค้นเฉือนเกิดขึ้นได้เสมอ จึงทำให้ความเร็วของของไหลตลอดพื้นที่หน้าตัดมีค่าไม่เท่ากัน เช่น ของไหลที่ผ่านท่อกลมที่บริเวณกึ่งกลางท่อจะมีความเร็วสูงสุด และบริเวณผนังท่อมีความเร็ว น้อยมาก ซึ่งอาจมีค่าเป็นศูนย์ได้ ดังนั้นการนำความเร็วของของไหลไปคำนวณย่อมมีความยุ่งยากและซับซ้อนมาก จึงได้มีการกำหนดความเร็วเฉลี่ยขึ้นเพื่อนำไปใช้กับสมการต่างๆ ได้ ความเร็วเฉลี่ยหาได้จากสมการ

$$V = \frac{1}{A} \int V \, dA \quad (2.2)$$

อัตราการไหล มีความสัมพันธ์กับความเร็วเฉลี่ย ดังนี้

$$Q = \int V \, dA = AV \quad (2.3)$$

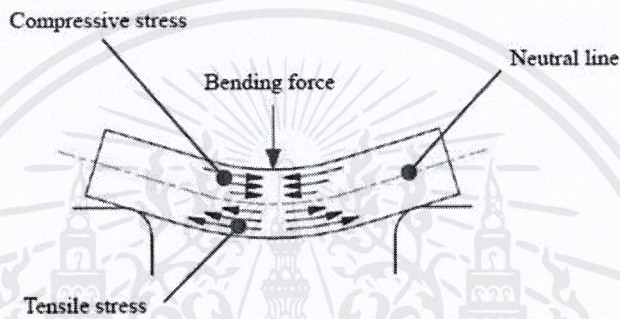
โดย V คือ ความเร็วเฉลี่ยที่จุดใดจุดหนึ่ง (เมตรต่อวินาที)

Q คือ อัตราการไหลของของไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (ตารางเมตร)

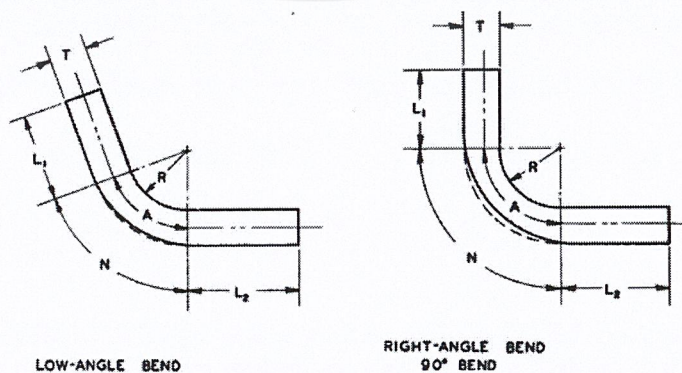
2.3.3 การพับโลหะ(Bending Process)

การพับโลหะจะเกิดความเค้นแบบดึง(Tensile Stress) บริเวณมุมพับด้านนอกและเกิดความเค้นแบบกด(Compressive Stress) บริเวณมุมพับด้านใน ดังภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.30 แสดงความเค้นที่เกิดจากการพับโลหะ

สิ่งที่ต้องคำนึงคือรัศมีของการพับ เพราะโลหะแต่ละชนิดมีค่าจำกัดของรัศมีของการพับที่น้อยที่สุดต่างกัน หากไม่คำนึงถึงค่าเหล่านี้แล้วอาจทำให้เกิดปัญหาในการพับโลหะได้ ค่ารัศมีของการพับนี้จะบอกเป็นค่ารัศมีทางด้านในของส่วนโค้ง โดยทั่วไป รัศมีของการพับ (r/t) ไม่ควรต่ำกว่า 1 เท่าของความหนาของโลหะที่จะพับ ปัจจัยของรัศมีพับที่เล็กที่สุดของโลหะขึ้นอยู่กับ 4 ปัจจัยคือ มุมที่พับ(Bending Angle), ความหนาของโลหะแผ่น(Thickness), วัสดุ(Materials) และทิศทางของการพับ(Direction of Bend)



ภาพที่ 2.31 แสดงขนาดของการพับเหล็ก

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าการหารัศมีพับที่เล็กที่สุดของวัสดุต่างๆ

วัสดุ	สภาวะการใช้งาน	
	อบอ่อน	แข็ง
Aluminum alloys	0	6T
Beryllium copper	0	4T
Brass, low-leaded	0	2T
Magnesium	5T	13T
Steels		
Austenitic stainless	0.5T	6T
Low-carbon, low-alloy and HSLA	0.5T	4T
Titanium	0.7T	3T
Titanium alloys	2.6T	4T

การหาความยาวของเหล็กก่อนจะทำการพับ(Bending process) จะต้องทำการเพื่อระยะความยาวของเหล็กที่จะทำการพับตามภาพหน้าตัดที่แสดงในภาพที่ 2.31 เพื่อใช้ในการพับ(Bending Process) โดยใช้สมการในจำนวนดังนี้

$$L = L_1 + A + L_2$$

โดย L คือ ความกว้างของแผ่นเหล็ก

L_1 คือ ความกว้างของเหล็กด้านที่ 1

L_2 คือ ความกว้างของเหล็กด้านที่ 2

A คือ ความกว้างเผื่อระยะ (Bend Allowance)

การหาความกว้างเผื่อระยะ (Bend Allowance) สามารถหาได้จากสมการ

$$A = \frac{2\pi\alpha}{360} \times (R + C)$$

โดย A คือ ความกว้างเผื่อระยะ (Bend Allowance)

α คือ มุมที่พับ (Bend Angle)

R คือ รัศมีการพับ (Bend Radius)

C คือ ระยะจากผิวด้านในถึงเส้นกลาง (Neutral)

ค่าระยะจากผิวคานในถึงเส้นกลาง ($C = KT$) สามารถหาค่าได้จากเงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 2.2 เมื่อ K คือ K-factor และ T คือความหนาของโลหะ [5]

ตารางที่ 2.2 แสดงเงื่อนไขการหาค่าระยะจากผิวคานในถึงเส้นกลาง (C)

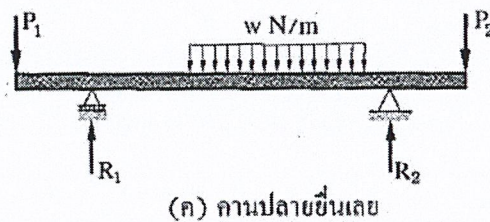
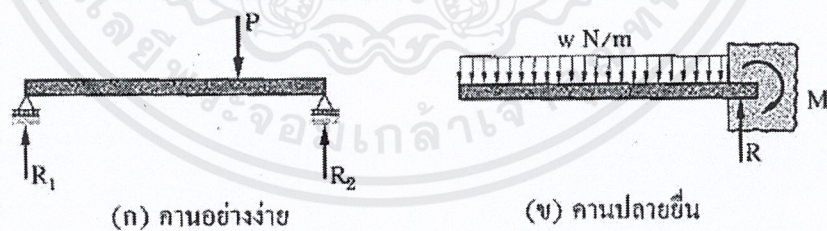
รัศมีการพับ	C
$r < 2T$	$0.33T$
$r = 2T - 3T$	$0.4T$
$r > 4T$	$0.5T$

2.3.4 การวิเคราะห์แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดในคาน (Shear and bending moment in beams)

ลักษณะคาน

1. คานดีเทอร์มิเนตเชิงสถิต (Statically Determinate Beam) หมายถึง คานที่สามารถวิเคราะห์หาแรงปฏิกิริยาต่างๆ ได้โดยใช้สมการสมดุลหรือสมการ $\sum F_x = 0, \sum F_y = 0$ และสมการ $\sum M = 0$ ดังภาพที่ 2.32 ประกอบด้วย

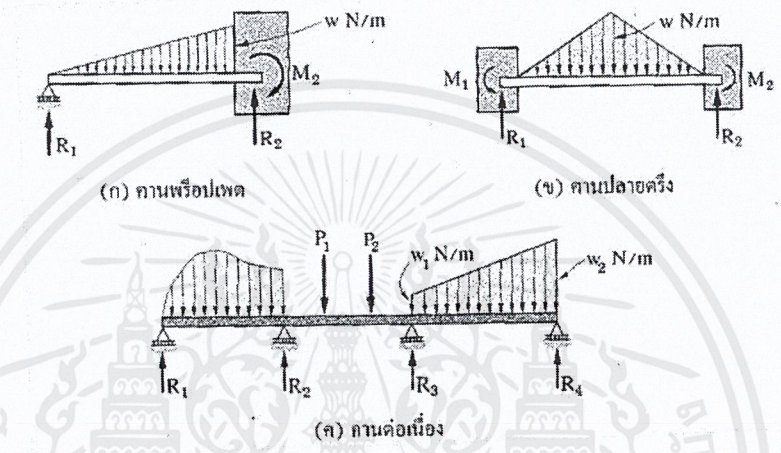
- (ก) คานอย่างง่าย (Simple Beam)
- (ข) คานปลายยื่น (Cantilever Beam)
- (ค) คานปลายยื่นเลย (Overhanging Beam)



ภาพที่ 2.32 คานดีเทอร์มิเนตเชิงสถิต

2. คานอินดีเทอร์มีเนตเชิงสถิต (Statically Indeterminate Beam) หมายถึงคานที่ไม่สามารถวิเคราะห์เพื่อหาแรงปฏิกิริยาได้โดยใช้สมการสมดุลแต่เพียงลำพัง ต้องอาศัยวิธีอื่นเข้ามาช่วย ดังภาพที่ 2.33 ประกอบด้วย

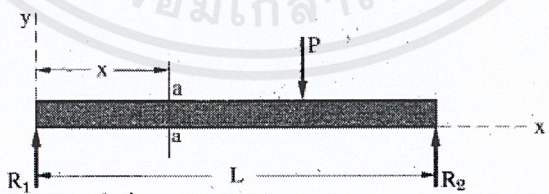
- (ก) คานแบบมีค้ำยัน (Propped Beam)
- (ข) คานปลายตรึง (Fixed or Restrained Beam)
- (ค) คานต่อเนื่อง (Continuous Beam)



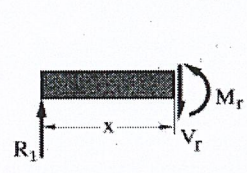
ภาพที่ 2.33 คานอินดีเทอร์มีเนตเชิงสถิต

แรงเฉือนและโมเมนต์ตัดในคาน

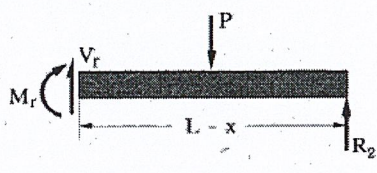
จากรูปข้างต้น FBD ของคานภาพที่ 2.34 (ก) มีแรงกระทำเป็นจุด P ซึ่งสมดุลกับแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ R_1 และ R_2 (ไม่คิดน้ำหนักของคาน) ที่ส่วนตัด $a-a$ แบ่งคานออกเป็น 2 ส่วน ในสภาพสมดุลของส่วนตัดแต่ละด้านจำเป็นต้องมีแรงเฉือนต้าน (Resisting Shear, V_r) และ โมเมนต์ต้าน (Resisting Moment, M_r) กระทำดังแสดงในภาพที่ 2.34 (ข) และ (ค)



(ก) แผนภาพแรงกระทำ



(ข) FBD ส่วนตัดด้านซ้าย



(ค) FBD ส่วนตัดด้านขวา

ภาพที่ 2.34 สภาพสมดุลของส่วนตัดทางด้านซ้ายและขวาของคาน

เมื่อพิจารณาจาก FBD ส่วนตัดของคานด้านซ้าย แรงเฉือนบนหน้าตัดของ FBD ส่วนตัดของคานด้านซ้ายคำนวณจาก

$$V = (\sum F_y)_L$$

ความหมายของสมการคือ แรงเฉือนในคานเท่ากับผลรวมของแรงภายนอกที่กระทำต่อ FBD ส่วนตัดของคานด้านซ้าย และกำหนดให้แรงภายนอกที่มีทิศขึ้นนั้นเป็นบวกเสมอ และเมื่อพิจารณาโมเมนต์ตัดบนหน้าตัดของ FBD ส่วนตัดของคานด้านซ้ายพบว่า

$$M = (\sum M)_L$$

ความหมายของสมการคือ โมเมนต์ตัดในคานเท่ากับผลรวมของโมเมนต์ เนื่องจากแรงภายนอกรอบหน้าตัดของ FBD ส่วนตัดของคานด้านซ้าย และกำหนดให้โมเมนต์ในทิศตามเข็มนาฬิกาเป็นบวกเสมอ

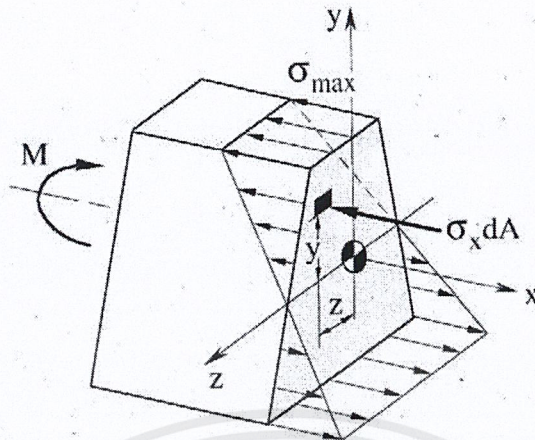
แผนภาพแรงเฉือน (Shearing Force Diagram, SFD) และแผนภาพโมเมนต์ตัด (Bending Moment Diagram, BMD) ในคานขึ้นอยู่กับชนิดของแรงกระทำ ขั้นตอนในการสร้างแผนภาพแรงเฉือน มีดังนี้

1. จาก FBD ของคานทั้งหมด ใช้สมการของสภาพสมดุลหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ
2. เลือกส่วนตัดของคานแต่ละช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ โดยในแต่ละช่วงนั้นจะเลือก FBD ของส่วนตัดของคานด้านซ้ายพิจารณาแรงเฉือนในคาน และใช้สมการ $V = (\sum F_y)_L$ แต่อย่าลืมว่าการพิจารณาในแต่ละช่วงคานนั้น พิจารณาตำแหน่งของส่วนตัดด้วย
3. ระบุทาง x วัดจากปลายคานด้านซ้ายเสมอ
4. นำผลการคำนวณของแรงเฉือนในขั้นตอน 2 มาเขียน SFD พร้อมคำนวณตำแหน่งที่แรงเฉือนเป็นศูนย์

ขั้นตอนในการสร้างแผนภาพแรงเฉือน มีดังนี้

1. จาก FBD ของคานทั้งหมด ใช้สมการของสภาพสมดุลหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับ
2. เลือก FBD ของส่วนตัดของคานด้านซ้าย และหาโมเมนต์ตัดบนหน้าตัดของคานจากสมการ $M = (\sum M)_L$
3. นำผลการคำนวณของโมเมนต์ตัดในขั้นตอน 2 มาเขียน BMD พร้อมหาโมเมนต์สูงสุดหรือต่ำสุดที่ตำแหน่งที่แรงเฉือนเป็นศูนย์

ความเค้น (Flexural Stress)



ภาพที่ 2.35 สมดุลของ FBD ส่วนตัดของคานภายใต้การระัดัด

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น (Flexural stress)

M คือ โมเมนต์คัตที่กระทำบนพื้นที่หน้าตัด

y คือ ระยะจากแกนสะเทินไปยังตำแหน่งที่ต้องการหาความเค้น

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนสะเทิน

สมการข้างต้น เป็นสูตรความเค้น จะเห็นว่าความเค้นขึ้นอยู่กับ y ถ้าหาก y มีค่ามากที่สุดจะได้ความเค้นสูงสุด (Maximum flexural stress) ค่ามากที่สุดของ y คือ ระยะจากแกนสะเทินไปยังเส้นใยนอกสุดของคาน ใช้สัญลักษณ์ c ดังนั้น

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I}$$

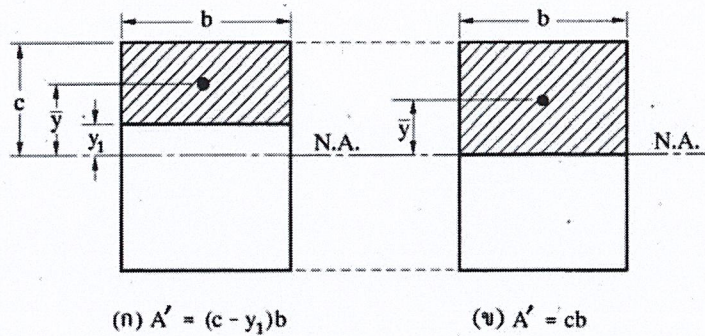
ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia, I) เป็นคุณสมบัติของวัตถุที่จะกำหนดค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงมุมรอบแกนของการหมุน หน้าตัดแต่ละประเภทจะมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.3

Table: Area inertia properties for some common cross sections

	$A = bh$ $I_{xx} = \frac{bh^3}{12}$ $I_{yy} = \frac{b^3h}{12}$ $I_C = \frac{bh}{12}(b^2 + h^2)$
	$A = \frac{bh}{2}$ $I_{xx} = \frac{bh^3}{36}$ $I_{yy} = \frac{b^3h}{36}$ $I_C = \frac{bh}{36}(b^2 + h^2)$
	$A = \frac{\pi d^2}{4}$ $I_{xx} = I_{yy} = \frac{\pi d^4}{64}$ $I_C = \frac{\pi d^4}{32}$
	$A = \frac{\pi}{4}(d^2 - d_i^2)$ $I_{xx} = I_{yy} = \frac{\pi}{64}(d^4 - d_i^4)$ $I_C = \frac{\pi}{32}(d^4 - d_i^4)$
	$A = \frac{\pi r^2}{2}$ $I_{xx} = I_{yy} = \frac{\pi r^4}{8}$ $y_C = \frac{4r}{3\pi}$

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดต่างๆ

ความเค้นเฉือน (Shearing Stress)



ภาพที่ 2.36 พื้นที่หน้าตัดคานส่วนเหนือชั้นระนาบแนวระดับในคานที่ระยะ y_1

$$\tau = \frac{VQ}{Ib}$$

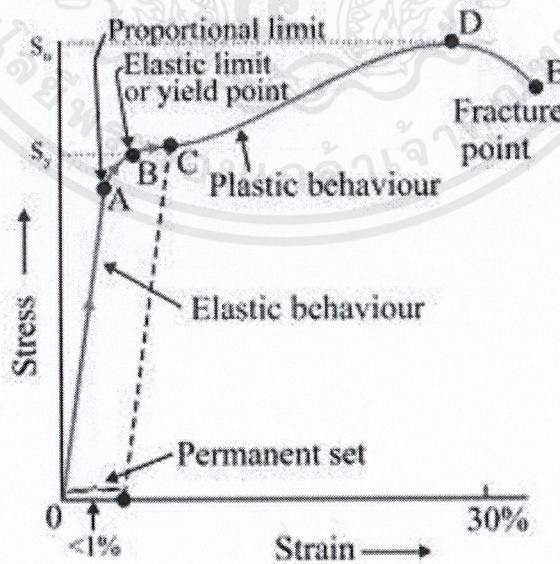
เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือนในแนวราบ

V คือ ความเค้นในแนวตั้งของหน้าตัดคาน

I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียรของหน้าตัดคาน

Q คือ โมเมนต์ของพื้นที่หน้าตัดคานส่วนที่อยู่เหนือจุดที่กำลังพิจารณาค่าความเค้นรอบแกนสะเทิน ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sum A_i \bar{y}_i$

กราฟความเค้นและความเครียด (Stress-Strain curve)



ภาพที่ 2.37 กราฟความเค้นและความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุด A เป็นจุดสุดท้ายที่หน่วยแรงยังคงเป็นสัดส่วน โดยตรงกับหน่วยการยืด-หดตัวเรียกจุดนี้ว่า **ขีดจำกัดสัดส่วน (Proportional Limit)**
- จุด B เรียกว่า **ขีดจำกัดยืดหยุ่น (Elastic Limit)** หมายความว่า เมื่อวัสดุมีน้ำหนักกระทำแล้วเกิดหน่วยแรงขึ้นถ้าหากหน่วยแรงที่เกิดขึ้นนี้มีค่าไม่เกิน จุด B เมื่อนำน้ำหนักบรรทุกออก วัสดุจะกลับคืนมายังรูปร่างเดิมถ้าเพิ่มน้ำหนักกระทำต่อไปจนจบหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเกิน จุด B ถึงแม้จะนำน้ำหนักบรรทุกออกไป วัสดุก็จะไม่กลับคืนสู่สภาพเดิม เรียกว่า เกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent Set)
- จุด C เรียกว่า **จุดคราก (Yield Point)** ถึงแม้ว่าจะไม่มีการเพิ่ม Load เข้าไปอีกก็ตาม แต่วัสดุนั้นก็ยังคงเปลี่ยนรูปร่างหรือครากต่อไป
- จุด D เรียกว่า **หน่วยแรงประลัย (Ultimate Stress) หรือกำลังประลัย (Ultimate Strength)** ซึ่งถือว่าเป็นกำลังสูงสุดที่วัสดุจะรับได้ต่อจากจุด D เส้นกราฟจะโค้งต่ำลงจบถึงจุด E
- จุด E เรียกว่า **กำลังแตกร้าว (Rupture Strength)** ซึ่งเป็นจุดที่วัสดุเกิดการวิบัติ (Failure) ขึ้น ตามความเป็นจริงแล้วกำลังแตกร้าวจะสูงกว่ากำลังประลัย แต่เนื่องจากเมื่อเหล็กเส้นถึงกำลังประลัยพื้นที่หน้าตัดจะเปลี่ยนแปลงหมดเล็กอย่างรวดเร็ว เรียกว่า เกิดคอคอด (Necking) แต่หน่วยแรงยังคงคิดจากพื้นที่หน้าตัดเดิมของเหล็กเส้น จึงทำให้ได้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ถ้านำเอาพื้นที่หน้าตัดเมื่อเหล็กเส้นขาด มาหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้น จะได้กำลังวิบัติสูงขึ้น [6]

กฎของฮุก (Hooke's law)

$$\frac{\sigma}{\epsilon} = E = \frac{PL}{A\delta}$$

เมื่อ σ คือหน่วยแรงตามแนวแกนหรือความเค้นตามแนวแกน

ϵ คือ ความเครียดหรือหน่วยการยืด-หดตัว (Simple Strain)

δ คือ ขนาดวัตถุในส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำ

L คือ ความยาวเดิมของวัตถุ

E คือ โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

A คือพื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่มีระนาบตั้งฉากกับแนวแรง

สำหรับวัตถุที่อยู่ภายใต้สภาวะรับแรงเฉือน

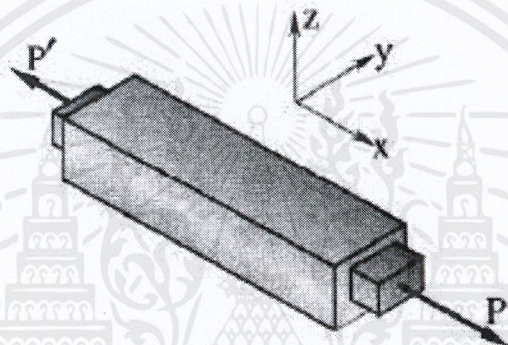
$$\tau = \gamma G = \frac{\delta_s A_s G}{L}$$

เมื่อ τ คือ หน่วยแรงเฉือน

γ คือ ความเครียดที่เกิดจากแรงเฉือน (Shear Strain)

G คือ โมดูลัสแข็งเกร็ง (Modulus of Rigidity)

อัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's Ratio)



ภาพที่ 2.38 นิยามของอัตราส่วนของปัวซอง

เมื่อมีแรงดึงกระทำต่อวัตถุในแนวแกน x ตามภาพที่ 2.38 จะได้

$$V = \frac{\text{หน่วยการยืดหดตัวตามขวาง}}{\text{หน่วยการยืดหดตัวตามแนวแกน}}$$

$$V = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = -\frac{\epsilon_z}{\epsilon_x}$$

เมื่อ V คือ อัตราส่วนของปัวซอง (Poisson's Ratio)

ϵ_y, ϵ_z คือ หน่วยการยืดหดตัวตามขวาง (Lateral strain)

ϵ_x คือ หน่วยการยืดหดตัวตามแนวแกน (Linear strain)

บทที่ 3

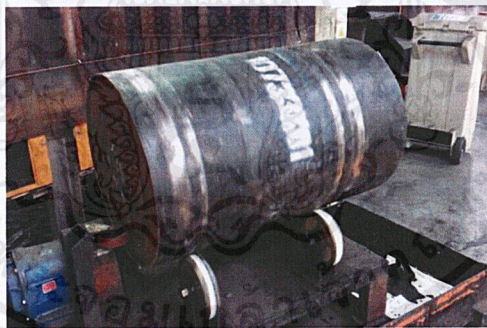
วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาการทำงานของชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง

3.1.1 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง

- 1) Conveyor Roller – ชุดอุปกรณ์ลำเลียงที่ประกอบด้วย Driven roller 1 ตัวและ Free roller 8 ตัว เรียงกันทำหน้าที่ลำเลียงหน้ายาง KM ที่ออกมาจากเครื่องอัดรีดยาง ผ่านส่วนจ่ายน้ำยางเพื่อไปยังส่วนระบายความร้อน (Cooling) ที่อยู่ถัดไป
- 2) Conveyor tray – ถาดรองชุดอุปกรณ์ลำเลียง ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของน้ำยางที่ล้นออกมาจากหน้ายางและที่มาจากเทเดิมลงถังวนไตชุดอุปกรณ์ลำเลียง
- 3) หน้ายาง KM – เป็นส่วนประกอบหนึ่งของยางเส้น ถูกผลิตโดยเครื่องจักร DHT เคลื่อนที่ผ่านชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง มีความกว้างตั้งแต่ 122-432 มิลลิเมตร น้ำหนักตั้งแต่ 0.85-4.29 กิโลกรัม ต่อเมตร
- 4) Internal gear Pump – ทำหน้าที่ปั้มน้ำยางจากถังวนขึ้นไปสู่ท่อลำเลียง ซึ่งปั้มที่ใช้มีค่าอัตราการไหลสูงสุด 8 แกลลอนต่อนาที ความเร็วรอบสูงสุด 1750 รอบต่อนาที ความดันสูงสุด 14 บาร์
- 5) AC Motor – เชื่อมต่อกับปั้มเพื่อทำหน้าที่ขับเคลื่อนปั้ม มอเตอร์ที่ใช้มีกำลัง 1 แรงม้า ค่าความเร็วรอบ 1425 รอบต่อนาที
- 6) ถังบรรจุน้ำยาง – มี 2 ชนิดคือ Spinning tank และ Circulated tank
 - Spinning tank หรือถังปั่นแวนนอน สามารถเคลื่อนย้ายได้ ใช้สำหรับเก็บบรรจุน้ำยางก่อนที่จะนำมาใช้ในระบบ และมีการหมุนปั่นของถังเพื่อป้องกันการตกตะกอนและการแข็งตัวของน้ำยาง ดังภาพที่ 3.1
 - Circulated tank หรือถังวน ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ใช้สำหรับบรรจุน้ำยางที่เติมมาจากถังปั่นก่อนที่จะปั้มไปใช้งาน และทำหน้าที่รองรับน้ำยางที่ล้นมาจากระบบ ดังภาพที่ 3.2
- 7) บอลวาล์ว – ขนาดข้อต่อ 1 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลางภายในลูกบอล 25 มม. ทำจากวัสดุสแตนเลส ติดตั้งอยู่ 2 ตำแหน่ง คือ บริเวณปลายท่อจ่ายน้ำยาง และบริเวณท่อ by-pass ทำหน้าที่เปิด-ปิดและควบคุมการไหลของน้ำยางที่อยู่ในท่อ

- 8) ท่อลำเลียง – ขนาด 1 นิ้ว ทำจากวัสดุเหล็กชุบกัลวาไนซ์ ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำยางจากถังวนไปยังส่วนจ่ายน้ำยาง และลำเลียงกลับสู่ถังวนในส่วน by-pass
- 9) หัวจ่าย (Nozzle) – ทำจากวัสดุสแตนเลส ติดตั้งอยู่ที่ปลายท่อจ่ายน้ำยาง ทำหน้าที่กระจายน้ำยางก่อนจ่ายลงไปบนหน้ายาง
- 10) แปรง (Brush) – ทำจากวัสดุไนลอนชนิด 6.6 ติดตั้งอยู่หลังหัวจ่ายน้ำยาง ทำหน้าที่เกลี่ยน้ำยางให้ทั่วหน้ายาง
- 11) ชุดอุปกรณ์ทำความสะอาดแปรง – เป็นอ่างที่ภายในบรรจุสารเคมี Solvent ซึ่งใช้ทำความสะอาดแปรงหลังจากการใช้งาน
- 12) น้ำยาง (Cement) – ของเหลวสีดำชนิดหนึ่งที่จ่ายลงบนหน้ายาง ประกอบด้วยสารทำละลาย (Solvent) 95 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับยาง (Rubber) 5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความหนืดของสาร 1.08×10^{-3} พาสคาลวินาที ค่าความหนาแน่น 0.732 กิโลกรัมต่อลิตร ระเหยง่ายและแข็งตัวเร็ว
- 13) Solvent – สารทำละลาย N-hexane สูตรโมเลกุล C_6H_{14} เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.660 จัดเป็นวัตถุอันตรายที่เป็นของเหลวไวไฟสูง ระเหยง่าย มีกลิ่นฉุน มีความเป็นพิษ สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ผ่านทางเดินหายใจ ผิวหนัง ฯลฯ ในที่นี้ใช้เป็นส่วนผสมของน้ำยางและใช้ทำความสะอาดแปรง



ภาพที่ 3.1 ถังปั่น (Spinning tank)



ภาพที่ 3.2 ถังวน (Circulated tank)

3.1.2 พื้นที่บริเวณชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง

พื้นที่อันตราย (Hazardous Area) หมายถึง บริเวณที่มีโอกาสจะเกิดอุบัติเหตุของการระเบิดหรือไฟไหม้ขึ้นได้ง่าย โดยสภาวะที่จะเกิดเหตุดังกล่าวจะต้องครบองค์ประกอบพร้อม 3 อย่างในระดับที่เหมาะสม ได้แก่

- 1) มีสารไวไฟในปริมาณมากพอที่จะจุดติดไฟได้ (Flammable Material in Ignitable Quantities) ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือละอองฝุ่นขนาด 0.1 -0.001 มิลลิเมตร
- 2) มีออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอให้เกิดการเผาไหม้ (ในอากาศปกติมีออกซิเจนประมาณ 21 เปอร์เซ็นต์)
- 3) มีแหล่งจุดติดไฟ (Ignition Source) ทำให้เกิดพลังงานความร้อนที่มากพอกับส่วนผสมของเชื้อเพลิงและอากาศซึ่งการจุดติดไฟนี้ สามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น เปลวไฟ, การสปาร์กของอุปกรณ์ไฟฟ้า, มีความร้อนสูงสะสม และ การถ่ายเทประจุจากไฟฟ้าสถิต เป็นต้น

การจำแนกพื้นที่อันตรายมีวิธีการจำแนก 2 วิธีที่แตกต่างกัน คือ

- การจำแนกเป็นประเภท (Class) และแบบ (Division) เป็นไปตามมาตรฐานของ NEC
- การจำแนกเป็นโซน (Zone) เป็นไปตามมาตรฐานของ IEC (IEC 60079)

พื้นที่บริเวณชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยางถูกกำหนดให้เป็น Class 1, Division 1 และ Zone 1

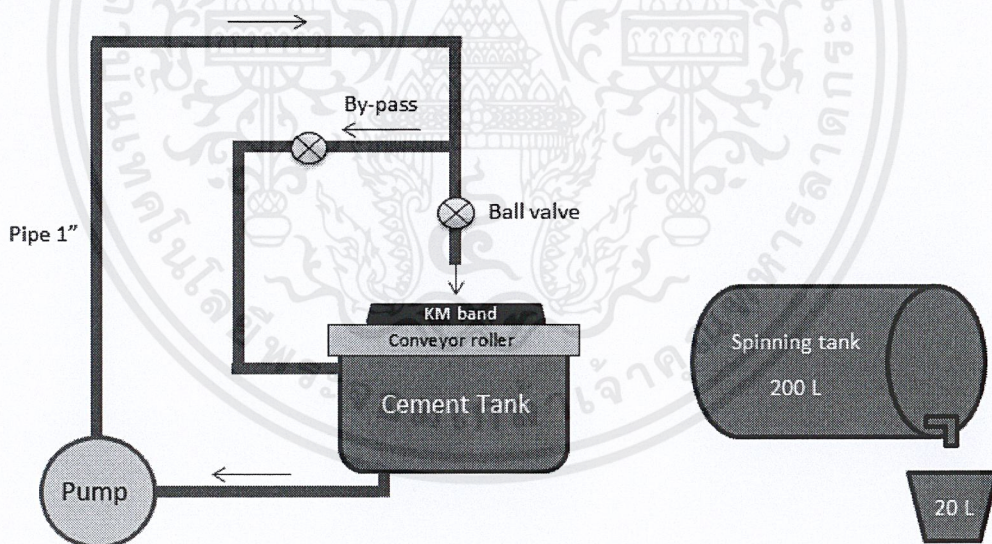
- บริเวณอันตรายประเภทที่ 1 แบบที่ 1 (Class 1, Division 1) คือ บริเวณที่มีการใช้ก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ ซึ่งสามารถรั่วไหลจากกระบวนการทำงานตามปกติ การซ่อมบำรุง รวมทั้งการรั่วไหลจากเหตุหรืออุปกรณ์ หรือเครื่องจักรทำงานผิดปกติ และยังสามารถทำให้เกิดประกายไฟหรือความร้อนที่ทำให้สารไวไฟรั่วไหลจุดติดไฟได้
- โซน 1 (Zone 1) คือ พื้นที่อันตรายเนื่องจากการรั่วไหลก๊าซหรือไอระเหยของสารไวไฟ ออกมาผสมอยู่ในบรรยากาศที่จุดติดไฟได้อยู่บ่อยครั้งในกระบวนการทำงานตามปกติ หรือเมื่อทำการซ่อมแซมเครื่องมืออุปกรณ์ในบริเวณดังกล่าว เช่น บริเวณที่มีการใช้สาร Solvent

3.1.3 การเติมน้ำยาง

น้ำยางจากถังปั่นแวนอนปริมาตร 200 ลิตร (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง 600 มิลลิเมตร ถึงสูง 1 เมตร) ถูกเติมเข้าสู่ถังวนปริมาตร 100 ลิตร (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถัง 600 มิลลิเมตร ถึงสูง 500 มิลลิเมตร) ที่อยู่ใต้ชุดลูกกลิ้งลำเลียงเพื่อนำไปใช้ระหว่างการทำงานของเครื่องจักร โดยทำการเติมน้ำยางจากถังปั่นลงในถังหิ้วขนาด 20 ลิตร จากนั้นนำไปเทลงบนถาดของชุดลูกกลิ้งลำเลียงที่อยู่เหนือถังวนเพื่อให้น้ำยางไหลลงไปในถังวน

3.1.4 การจ่ายน้ำยาง

น้ำยางถูกปั๊มขึ้นมาจากถังวนที่อยู่ใต้ชุดลูกกลิ้งลำเลียงโดยใช้ปั๊มโรตารีชนิดเกียร์ (Internal gear pump) ลำเลียงผ่านท่อแก้วไนซ์ขนาด 1 นิ้ว และถูกจ่ายลงบนหน้ายางโดยหัวจ่าย nozzle ที่อยู่ปลายท่อ การไหลของน้ำยางที่ออกจากปลายท่อถูกควบคุมและเปิด-ปิดโดยใช้บอลวาล์ว นอกจากนี้ยังมีท่อ by-pass ให้น้ำยางที่ล้นมาจากการปรับการไหลโดยวาล์วไหลลงถังวนเพื่อนำกลับไปใช้ในระบบ ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 แสดงกระบวนการทำงานของชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง

จากการทดลองวัดค่าอัตราการไหลของน้ำยางภายในท่อที่ถูกรับโดยบอลวาล์ว พบว่าในการใช้งานปกติ มีค่าอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 5-10 ลิตรต่อนาที จึงทำการปรับลดอัตราการไหลให้น้อยที่สุดแต่ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ นั่นคือ น้ำยางที่คิดไปบนหน้ายางต้องมีมากพอที่จะใช้ในการสร้างยางในชั้นตอนถัดไป ซึ่งทดสอบโดยการส่งตัวอย่างชิ้นงานหน้ายางไปสร้างยางจริง

จำนวน 100 ตัวอย่าง หากชิ้นงานที่ส่งไปสามารถสร้างอย่างที่ผ่านการทดสอบคุณภาพและไม่ตรวจพบข้อบกพร่องใดๆ หมายความว่าสามารถปรับอัตราการใช้ของน้ำยางให้เป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้ได้

ชิ้นงานที่ทำการทดลองเป็นหน้ายางขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ความเร็วการเคลื่อนที่ของหน้ายางมีค่า 16 เมตรต่อนาที สามารถจ่ายน้ำยางด้วยอัตราการใช้ 1 ลิตรต่อนาที ทำการคำนวณค่าอัตราการใช้ดังกล่าวกวเทียบกับหน้ายางที่มีขนาดความกว้างสูงสุดและต่ำสุด ดังนี้

ตารางที่ 3.1 การคำนวณค่าอัตราการใช้ของน้ำยาง

	ความเร็วหน้ายาง (เมตร/นาที)	ความกว้างหน้ายาง (มิลลิเมตร)	พื้นที่หน้ายาง (ตร.เมตร/นาที)	อัตราการใช้ (ลิตร/นาที)	ปริมาตรน้ำยาง (ลิตร/ตร.เมตร)
1	16	122	1.952	0.610	0.313
2	16	200	3.2	1.000	0.313
3	12	432	5.184	1.620	0.313

ค่าในตารางที่ 3.1 แถวที่ 1 เป็นค่าอัตราการใช้ต่ำสุดที่ต้องการใช้งาน แถวที่ 2 เป็นค่าอัตราการใช้ที่ใช้ในการทดลอง และแถวที่ 3 เป็นค่าอัตราการใช้สูงสุดที่ต้องการใช้งาน จากการทดลองสรุปได้ว่า ปริมาตรของน้ำยางเทียบกับขนาดของหน้ายางที่เหมาะสมในการใช้งานมีค่า 0.313 ลิตรต่อตารางเมตร และช่วงอัตราการใช้ของน้ำยางที่ใช้งานมีค่าอยู่ระหว่าง 0.610-1.620 ลิตรต่อนาที

3.1.5 การเปลี่ยนน้ำยาง

หลังจากจ่ายน้ำยางลงบนหน้ายาง น้ำยางจะถูกเปลี่ยนให้กระจายติดทั่วหน้ายางโดยใช้แปรงไอน์ลอนที่ติดตั้งอยู่หลังหัวจ่ายน้ำยาง ซึ่งแปรงนี้จะถูกถอดออกมาทำความสะอาดหลังจากการใช้งานโดยสารเคมี solvent บริเวณชุดทำความสะอาดแปรง หลังการเปลี่ยนน้ำยางจะมีน้ำยางที่ล้นออกจากหน้ายางไหลผ่านถาดของชุดลูกกลิ้งดำเสียงลงไปเข้าถังวนที่อยู่ใต้ถาด ซึ่งน้ำยางบางส่วนจะระเหยและแห้งติดอยู่ที่ถาด

3.2 การปรับปรุงชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง

จากวิธีการทำงานของชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยางดังที่กล่าวข้างต้น พบว่าการทำงานในแต่ละขั้นตอนส่งผลให้น้ำยางเกิดการระเหยและมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำยางสูง จึงทำการปรับปรุงวิธีการทำงานดังกล่าวเพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองของน้ำยาง ดังนี้

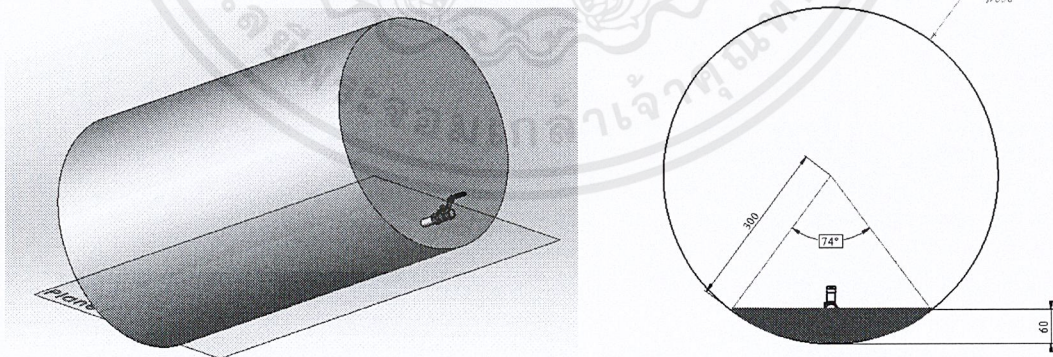
3.2.1 การปรับปรุงระบบการเติมน้ำยาง

จากวิธีการเติมน้ำยางแบบเดิมพบสาเหตุของการสูญเสียน้ำยาง ดังนี้

1. น้ำยางบางส่วนระเหยไปในระหว่างการเติมผ่านถังหิ้วในปริมาณที่ไม่สามารถวัดค่าได้
2. น้ำยางบางส่วนแห้งติดอยู่บนถาดของชุดลูกกลิ้งลำเลียงในปริมาณที่ไม่สามารถวัดค่าได้
3. ถังป่นแวนอนทำจากวัสดุเหล็กกล้า ทำให้น้ำยางบางส่วนแห้งติดอยู่ภายในถัง
4. เนื่องจากถังป่นแวนอนมีวาล์วขาออกอยู่ในตำแหน่งเหนือกันถังขึ้นมา 60 มิลลิเมตร ดังนั้นจะมีน้ำยางบางส่วนที่ค้างอยู่ในถังป่นที่ไม่สามารถนำมาใช้งานได้ ซึ่งหาปริมาณได้ดังนี้

$$\text{พื้นที่ส่วนหนึ่งของวงกลม} = \frac{1}{2} (0.3)^2 \left(\frac{\pi}{180} (74^\circ) - \sin 74^\circ \right) = 0.0149 \text{ ตารางเมตร}$$

∴ ปริมาตรของน้ำยางที่เหลืออยู่ในถังป่นเท่ากับ 0.0149 ลูกบาศก์เมตร หรือ 14.9 ลิตร



ภาพที่ 3.4 แสดงปริมาตรของน้ำยางที่เหลืออยู่ในถังป่น

จากปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำยางข้างต้น จึงทำการออกแบบถังบรรจุน้ำยางเป็นถังแบบแนวตั้งที่มีปริมาตรเท่ากับคือ 200 ลิตร และมีวาล์วขาออกอยู่ที่ตำแหน่งกันถัง ทำให้ไม่มีน้ำยาง

หลงเหลืออยู่ในถังหลังจากการใช้งาน และเลือกใช้วัสดุสแตนเลส (Stainless steel, SUS304) เพื่อป้องกันน้ำยางแข็งติดอยู่ในถัง

เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำยางจากการเติมผ่านถังหัวลงบนถาดของชุดลูกกลิ้งลำเลียง จึงปรับเปลี่ยนวิธีการเติมน้ำยางโดยการปั๊มช่วย ซึ่งจะปัมน้ำยางจากถัง 200 ลิตรเข้าสู่ถังวนโดยตรง วิธีนี้ไม่ใช้ถังหัวและน้ำยางไม่ต้องผ่านถาดของชุดลูกกลิ้งลำเลียง ซึ่งจะช่วยป้องกันน้ำยางไม่ให้ระเหยไปสู่บรรยากาศเนื่องจากเป็นระบบปิด

3.2.2 การปรับปรุงระบบจ่ายน้ำยาง

จากระบบการจ่ายน้ำยางแบบเดิม พบว่ามีการสูญเสียน้ำยางไปในปริมาณที่มากเกินไปจนเป็นเหตุจากการใช้บอลลวาล์วไม่สามารถกำหนดค่าอัตราการไหลของน้ำยางภายในท่อ ซึ่งน้ำยางในปริมาณมากนี้จะล้นออกจากหน้ายางและไหลลงไปที่ถาดของชุดลูกกลิ้งลำเลียงก่อนจะไหลกลับไปสู่ถังวนใต้ถังเพื่อนำมาใช้ใหม่ ทำให้มีน้ำยางบางส่วนระเหยและแข็งติดอยู่กับถาดของชุดลูกกลิ้งลำเลียง ซึ่งน้ำยางส่วนนี้ไม่สามารถนำกลับไปใช้ได้ จึงทำการติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำงานควบคู่กับวาล์วและสามารถระบุค่าอัตราการไหลของน้ำยางที่จ่ายลงบนหน้ายางได้

อุปกรณ์ที่เลือกใช้ ได้แก่ Coriolis flow meter มีช่วงการวัดอัตราการไหลตั้งแต่ 0.18-180 ลิตรต่ออนาที เป็นอุปกรณ์ชนิดกันระเบิด สามารถใช้กับของเหลวดังเช่นน้ำยางได้ flow meter จะวัดอัตราการไหลภายในท่อและแสดงผลบนหน้าจอ และใช้โคลบวาล์วแทนบอลลวาล์วในการปรับค่าอัตราการไหล เนื่องจากโคลบวาล์วสามารถหมุนปรับได้ละเอียดกว่าบอลลวาล์ว วิธีนี้สามารถปรับอัตราการไหลของน้ำยางให้เหมาะสมกับขนาดความกว้างของหน้ายางตามค่าที่ระบุไว้ข้างต้น ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการสูญเสียน้ำยางได้

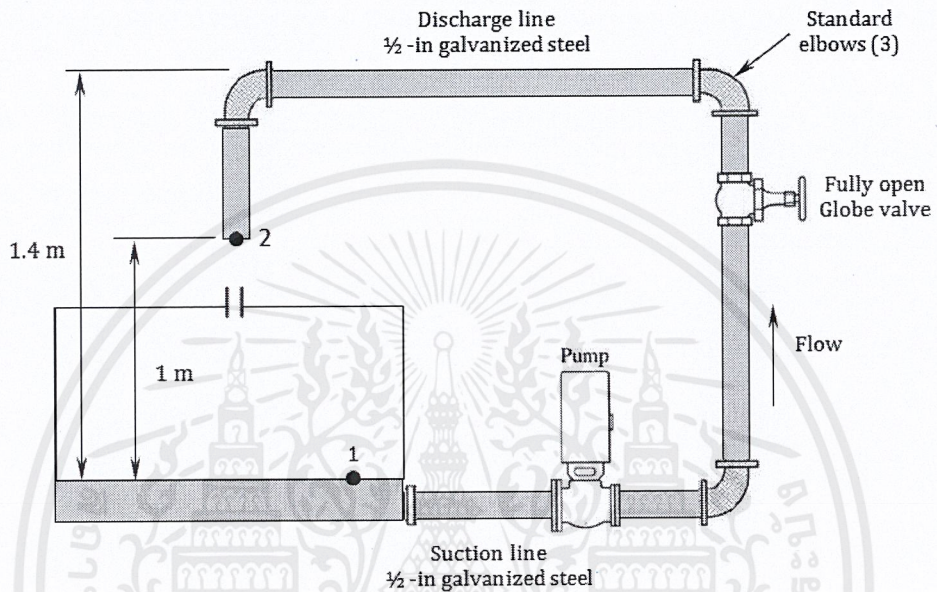
3.2.3 การปรับปรุงอุปกรณ์เกลี่ยน้ำยาง

จากวิธีการเกลี่ยน้ำยางแบบเดิม พบว่าการใช้แปรงสามารถเกลี่ยน้ำยางได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากขนของแปรงทำจากวัสดุไนลอน ซึ่งค่อนข้างมีความหยาบ น้ำยางที่ติดไปกับหน้ายางจึงมีลักษณะเป็นเส้นและไม่เรียบสม่ำเสมอ จึงหาอุปกรณ์เพื่อช่วยในการเกลี่ยน้ำยางโดยการใส่ลูกกลิ้งกดลงบนหน้ายาง ซึ่งจะช่วยให้หน้ายางกระจายไปทั่วหน้ายาง แต่เนื่องจากลักษณะของ

หน้ายางไม่เรียบสม่ำเสมอ การใช้เฉพาะลูกกลิ้งจะช่วยเกลี่ยน้ำยางได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น จึงต้องใช้แปรงในการช่วยเกลี่ยอีกชั้นตอนหนึ่งเพื่อให้หน้ายางกระจายไปทั่วหน้ายางได้ดีขึ้น

3.3 การออกแบบชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง

3.3.1 การออกแบบปั๊มและท่อส่งน้ำยาง



ภาพที่ 3.5 ระบบท่อส่งน้ำยาง

ระบบท่อส่งน้ำยาง ทำหน้าที่ลำเลียงน้ำยางจากถังวนที่อยู่ใต้ชุดลูกกลิ้งลำเลียงขึ้นมาด้านบนของชุดอุปกรณ์นี้ เพื่อจ่ายน้ำยางลงบนหน้ายางโดยใช้การขับเคลื่อนของปั๊ม ทำการคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนปั๊มของระบบท่อส่งน้ำยางที่ถูกออกแบบดังภาพที่ 3.5 โดยอัตราการไหลในระบบมีค่าสูงสุด 5 ลิตรต่อวินาที กำหนดให้ปั๊มมีประสิทธิภาพเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ที่จุดหมายเลข 1 เป็นตำแหน่งของระดับน้ำยางในถังวน มีค่าความดันเท่ากับความดันบรรยากาศและความเร็วของน้ำยางมีค่าน้อยมากหรือประมาณเท่ากับศูนย์ ที่จุดหมายเลข 2 เป็นตำแหน่งที่น้ำยางไหลออกจากท่อเพื่อจ่ายลงบนหน้ายาง มีค่าความดันเท่ากับความดันบรรยากาศและความเร็วสูงสุดของน้ำยางมีค่าประมาณ 2 เมตรต่อวินาที ความยาวท่อโดยรวมเท่ากับ 1 เมตร ขนาด 1/2 นิ้ว หรือ 15.8 มิลลิเมตร (Galvanized steel pipe) ส่วนความยาวท่อส่งรวมเท่ากับ 3 เมตร ขนาด 1/2 นิ้ว (Galvanized steel pipe) กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ K ที่ช่องการไหลจากถังวนเข้าสู่ท่อคูมีค่าเท่ากับ 0.5 (Sharp-edged inlet) คุณสมบัติของน้ำยางมีดังนี้

ค่าความหนาแน่น, $\rho = 732$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ความหนืดไดนามิก (Dynamic viscosity), $\mu = 0.108$ พาสคาลวินาที

ค่าความโน้มถ่วง, $g = 9.81$ เมตรต่อวินาทีกำลังสอง

วิเคราะห์โดยใช้กฎอนุรักษ์พลังงาน (Conservation of energy) โดยใช้สมการของเบอร์นูลลี (Bernoulli's equation) จากจุด 1 ไปยังจุด 2 ได้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + TDH - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

เมื่อ TDH คือ พลังงานต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของไหลที่ปั๊มต้องให้กับของไหล (เมตร)

h_L คือ เสดสูญเสียจากความฝืดรวมต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของไหล (เมตร)

โดย $h_L = h_{L,1} + h_{L,2} + h_{L,3} + h_{L,4} + h_{L,5}$

$h_{L,1}$ = เสดสูญเสียจากการไหลจากถังวนเข้าท่อดูด

$h_{L,2}$ = เสดความฝืดจากการไหลในท่อดูด

$h_{L,3}$ = เสดสูญเสียจากการไหลผ่านโกลบวาล์ว

$h_{L,4}$ = เสดสูญเสียจากการไหลผ่านข้องอ 90° สามตัวในระบบท่อ

$h_{L,5}$ = เสดความฝืดจากการไหลในท่อส่ง

จากอัตราการสูบที่กำหนดให้ $Q = 5 \frac{\text{L}}{\text{min}} = \frac{5 \text{ L}}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 8.3 \times 10^{-5}$ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ความเร็วน้ำในท่อดูด V_s : $V_s = \frac{Q}{A_s} = \frac{8.3 \times 10^{-5}}{\pi \left(\frac{0.0158}{2}\right)^2} = 0.42$ เมตรต่อวินาที

และ $\frac{V_s^2}{2g} = \frac{0.42^2}{2 \times 9.81} = 0.009$ เมตร

ความเร็วน้ำในท่อส่ง V_d : เท่ากับท่อดูดเนื่องจากมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อเท่ากัน

และ $\frac{V_d^2}{2g} = \frac{0.42^2}{2 \times 9.81} = 0.009$ เมตร

สำหรับท่อคู่: มีค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number), $Re_s = \frac{V_s D \rho}{\mu} = \frac{0.42(0.0158)(732)}{0.108} = 44.97$ เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

สำหรับท่อส่ง: มีค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number), $Re_s = 44.97$ เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) เช่นเดียวกับท่อคู่เนื่องจากมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อและความเร็วในท่อเท่ากัน

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียด (Friction factor), f

สำหรับการไหลแบบราบเรียบ, $f = \frac{Re}{64} = \frac{44.97}{64} = 0.7$

จากนั้นทำการคำนวณเสดความเสียดในแต่ละค่า จากสมการ

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = K \frac{V^2}{2g}$$

- เสดสูญเสียจากการไหลจากถังเข้าท่อคู่

$$h_{L,1} = K \frac{V_s^2}{2g} = 0.5(0.009) = 0.005 \text{ เมตร}$$

- เสดความเสียดจากการไหลในท่อคู่ความยาว 1 เมตร

$$h_{L,2} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V_s^2}{2g} = 0.7 \left(\frac{1}{0.0158} \right) (0.009) = 0.4 \text{ เมตร}$$

- เสดสูญเสียจากการไหลผ่านโกลบวาล์ว

ค่าความยาวท่อเทียบเท่า (Equivalent length) ของโกลบวาล์วขนาด 1/2 นิ้ว จำนวน 1 ตัว

$$L_e = 5.18 \text{ เมตร,}$$

$$h_{L,3} = f \times \frac{L_e}{D} \times \frac{V_d^2}{2g} = 0.7 \left(\frac{5.18}{0.0158} \right) (0.009) = 2.07 \text{ เมตร}$$

- เสดสูญเสียจากการไหลผ่านข้องอ 90° สามตัวในระบบท่อ

ค่าความยาวท่อเทียบเท่า (Equivalent length) ของข้องอ 90° ขนาด 1/2 นิ้ว จำนวน 3 ตัว

$$L_e = 0.49 \times 3 = 1.47 \text{ เมตร,}$$

$$h_{L,4} = f \times \frac{L_e}{D} \times \frac{V_d^2}{2g} = 0.7 \left(\frac{1.47}{0.0158} \right) (0.009) = 0.59 \text{ เมตร}$$

- เสดความเสียดจากการไหลในท่อส่งความยาว 3 เมตร

$$h_{L,5} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V_d^2}{2g} = 0.7 \left(\frac{3}{0.0158} \right) (0.009) = 1.2 \text{ เมตร}$$

จะได้เสดความฝืดรวมเป็น $h_L = 0.005 + 0.4 + 2.07 + 0.59 + 1.2 = 4.27$ เมตร

แทนค่าในสมการของเบอร์นูลี เมื่อ $P_1 = P_2 = 0$, $V_1 = 0$, $V_2 = 2$ เมตรต่อวินาที, $Z_1 = 0$ และ $Z_2 = 1$ เมตร จะได้

$$0 + 0 + 0 + TDH - 4.27 = 0 + \frac{2^2}{2(9.81)} + 1$$

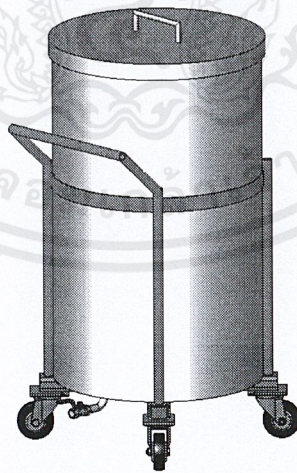
Total dynamics head, $TDH = 0.2 + 1 + 4.27 = 5.47$ เมตร

ดังนั้น กำลังที่ใช้ในการปั๊ม, P_A

$$P_A = \frac{TDH \cdot \gamma Q}{\text{Eff}_{\text{pump}} \times 1000} = \frac{5.87(7.18 \times 10^3)(8.3 \times 10^{-5})}{0.75(1000)} = 0.0047 \text{ กิโลวัตต์}$$

3.3.2 การออกแบบถังบรรจุน้ำยาง

ถังบรรจุน้ำยางแบบแนวตั้ง ทำจากวัสดุสแตนเลส (Stainless steel, SUS304) เพื่อป้องกันการแข็งตัวของน้ำยางภายในถัง สามารถบรรจุน้ำยางปริมาตร 200 ลิตร ถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 570 มิลลิเมตร ความสูงของถัง 1 เมตร มีฝาปิด ออกแบบให้มีวาล์วขาออกอยู่ที่ก้นถัง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของข้อต่อ 1/2 นิ้ว ติดตั้งบอลวาล์วที่ข้อต่อเพื่อเปิด-ปิดการไหลของน้ำยาง และมีโครงสร้างที่มีล้อ 4 ล้อสำหรับใช้วางถังและใช้เคลื่อนย้ายถัง



ภาพที่ 3.6 ถังบรรจุน้ำยาง

3.3.3 การออกแบบชุดอุปกรณ์เติมน้ำยาง

การเติมน้ำยางจากถัง 200 ลิตรเข้าสู่ถังวนโดยใช้ปั๊มโรตารีชนิดเกียร์ ซึ่งเป็นปั๊มชนิดเดียวกันและขนาดเท่ากับปั๊มที่ใช้ในระบบท่อส่งน้ำยาง ปั๊มนี้ออกแบบให้ทำงานควบคู่กับอุปกรณ์ตรวจจับระดับน้ำยางในถังวน ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมให้ปั๊มทำงานเมื่อน้ำยางในถังถึงระดับต่ำสุด (15 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำยางในถังวน) และให้ปั๊มหยุดทำงานเมื่อน้ำยางในถังถึงระดับสูงสุด (85 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำยางในถังวน) อุปกรณ์ที่ใช้ ได้แก่ Ultrasonic sensor มีช่วงการวัดตั้งแต่ 0-5 เมตร สามารถตรวจจับระดับน้ำยางในถังและแสดงค่าผ่านหน้าจอ นอกจากนี้ยังตั้งค่าให้สามารถส่งสัญญาณไฟฟ้าเพื่อไปควบคุมการเปิด-ปิดของปั๊มได้อีกด้วย



ภาพที่ 3.7 Ultrasonic sensor

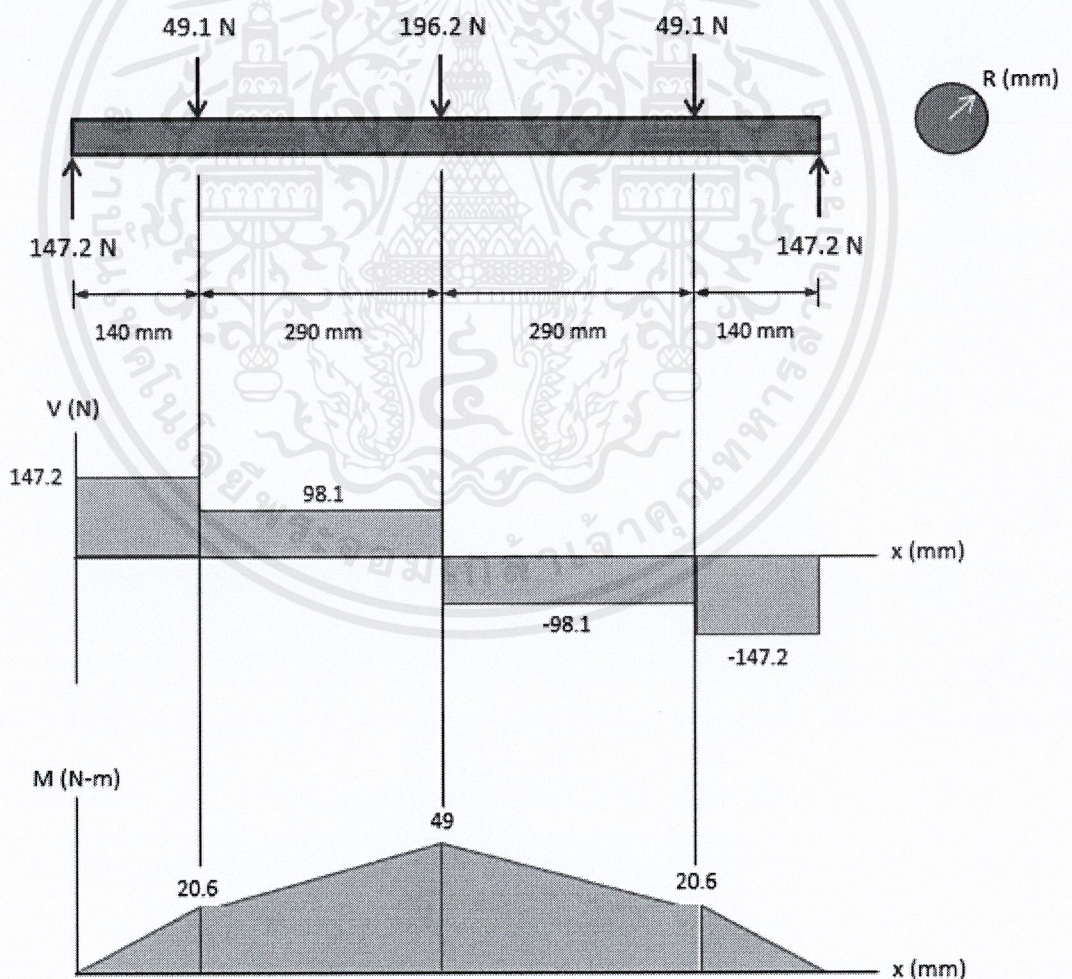
สำหรับการติดตั้ง Ultrasonic sensor เพื่อทำการวัดระดับน้ำยางในถังวนนั้น จะต้องทำการติดอุปกรณ์ไว้บนฝาถัง เพื่อให้ตัวเซนเซอร์ปล่อยสัญญาณอัลตราโซนิคมาตรวจจับ แต่เนื่องจากฝาของถังวนกับถาดของชุดลูกกลิ้งลำเลียงมีระยะห่างเพียง 3 เซนติเมตรเท่านั้น ซึ่งไม่สามารถติดตั้งอุปกรณ์ไว้บนฝาถังได้ จึงต้องทำการดัดแปลงตัวถังให้มีท่อยื่นออกมานอกตัวถังสำหรับติดตั้งเซนเซอร์นี้

3.3.4 การออกแบบชุดอุปกรณ์เกลี่ยน้ำยาง

ชุดอุปกรณ์เกลี่ยน้ำยางดังภาพที่ 3.8 ประกอบด้วยลูกกลิ้ง (Free roller) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ทำหน้าที่กระจายน้ำยาง และแปร่งในลอนทำหน้าที่เกลี่ยน้ำยางให้ทั่วหน้ายาง ชุดอุปกรณ์นี้จะถูกติดตั้งแทนที่ชุดอุปกรณ์เดิมที่ตำแหน่งเดียวกัน และใช้โครงสร้างแบบถ่วงน้ำหนัก ซึ่งมีลูกถ่วงน้ำหนักขนาด 4 กิโลกรัม จำนวน 5 ลูก น้ำหนักรวม 20 กิโลกรัม สามารถเลื่อนตำแหน่งเข้า-ออกตามแนวแท่งเหล็กเพื่อปรับสมดุลกับโครงสร้างด้านลูกกลิ้งและ

แปรง ซึ่งมีน้ำหนักรวมประมาณ 10 กิโลกรัม โดยมีเหล็กเพลลา (Steel AISI 1018) เป็นแกนหมุน โครงสร้างถ่วงน้ำหนักนี้มีไว้เพื่อไม่ให้ตัวลูกกลิ้งและแปรงกดลงบนหน้าอย่างมากเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้ยางเสียรูป

ออกแบบหาขนาดหน้าตัดของเพลลาเหล็ก Steel AISI 1018 ซึ่งมีค่า ultimate tensile strength 440 เมกะพาสคาล และกำหนดให้ Safety factor เท่ากับ 2.0 โดยเริ่มจากวาดแผนภาพแรงที่กระทำกับเพลลาเหล็ก ประกอบไปด้วยแรงจากมวลโครงสร้างด้านลูกกลิ้งและแปรง 10 กิโลกรัมเชื่อมอยู่กับเพลลาเหล็ก และแรงจากมวลลูกตุ้ม 20 กิโลกรัมอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเพลลา ดังภาพที่ 3.7 เพลลาเหล็กที่ไซยาว 870 มิลลิเมตร ต่อเข้ากับ โครงสร้างเดิมที่ตำแหน่งปลายทั้งสองของเพลลา จากนั้นหาแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์สูงสุดที่กระทำกับเพลลาเหล็ก โดยวาดแผนภาพแรงเฉือน (Shear diagram) และแผนภาพโมเมนต์ (Moment diagram) ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แผนภาพแรง แผนภาพแรงเฉือน และแผนภาพโมเมนต์

ความเค้นแรงที่ยอมรับได้ มีค่าดังนี้

$$\sigma_{\text{allow}} = \frac{\sigma_{\text{ult}}}{\text{F.S.}} = \frac{440}{2.0} = 220 \text{ เมกะพาสคาล}$$

จากแผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพโมเมนต์จะได้แรงเฉือนสูงสุด (V_{max}) และโมเมนต์สูงสุด (M_{max}) ดังนี้

$$V_{\text{max}} = 147.2 \text{ นิวตัน}$$

$$M_{\text{max}} = 49 \text{ นิวตันเมตร}$$

หาขนาดรัศมีของเพลากลึง, r โดยใช้ค่าโมเมนต์ $M_{\text{max}} = 49$ นิวตันเมตร

$$\sigma_{\text{allow}} = \frac{M_{\text{max}} C}{I}$$

และ โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia, I) ของเพลากลึงหน้าตัดกลม มีค่าดังนี้

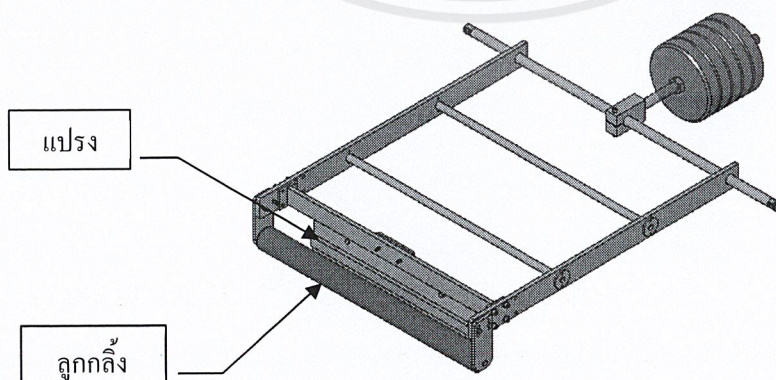
$$I = \frac{1}{4} \pi r^4$$

ดังนั้น

$$220 \times 10^6 = \frac{49(2r)}{\frac{1}{4} \pi r^4}$$

$$r = 8.3 \text{ มิลลิเมตร}$$

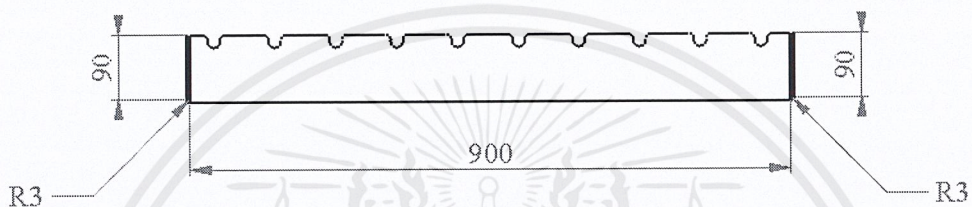
∴ จะต้องใช้เพลากลึงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 16.6 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3.8 ชุดอุปกรณ์เกลี่ยน้ำยาง

3.3.5 การออกแบบชุดลูกกลิ้งลำเลียง

ชุดลูกกลิ้งลำเลียงประกอบด้วยส่วนที่เป็นถาดรองรับชุดลูกกลิ้ง ถูกออกแบบให้มีขาตั้งแยกและตั้งอยู่บนพื้น โดยตรง (ชุดอุปกรณ์เดิมตั้งอยู่บนตัวถังวนและไม่มีขาตั้งแยก) ตัวถาดเป็นแบบเรียบ ทำจากเหล็กแผ่น (Carbon steel, AISI 1018) ความหนา 3 มิลลิเมตร นำมาพับขึ้นรูป (Bending Process) กำหนดให้รัศมีของการพับเป็น 3 มิลลิเมตร ดังนั้นอัตราส่วนรัศมีของการพับและความหนาของโลหะ (r/t) เท่ากับ 1 เท่า และออกแบบถาดรองรับชุดลูกกลิ้งได้ลักษณะดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 แสดงการพับโลหะของถาดรองรับชุดลูกกลิ้ง

ออกแบบถาดรองรับชุดลูกกลิ้งเป็นลักษณะกล่องที่เกิดจากการพับโลหะ ซึ่งมีด้านกว้างและด้านยาวเท่ากัน จากนั้นคำนวณหาความกว้างของแผ่นเหล็กที่ต้องใช้ จากสมการ

$$L = L_1 + A + L_2$$

จากภาพที่ 3.10 จะได้ความกว้างของเหล็กด้านที่ 1, $L_1 = 90$ มิลลิเมตร ความกว้างของเหล็กด้านที่ 2, $L_2 = 900$ มิลลิเมตร ความกว้างของเหล็กด้านที่ 3, $L_3 = 90$ มิลลิเมตร และหาความกว้างเพื่อระยะ, A จากสมการ

$$A = \frac{2\pi\alpha}{360} \times (R + C)$$

เมื่อ α คือ มุมที่พับ (Bend Angle)

R คือ รัศมีการพับ (Bend Radius)

C คือ ระยะจากผิวด้านในถึงเส้นกลาง (Neutral) = $0.33T$

T คือ ความหนาของโลหะ

จะได้ ความกว้างเพื่อระยะด้านที่ 1, $A_1 = \frac{2\pi(90)}{360} (3 + 0.33(3)) = 6.27$ มิลลิเมตร

ความกว้างเพื่อระยะด้านที่ 2, $A_2 = \frac{2\pi(90)}{360} (3 + 0.33(3)) = 6.27$ มิลลิเมตร

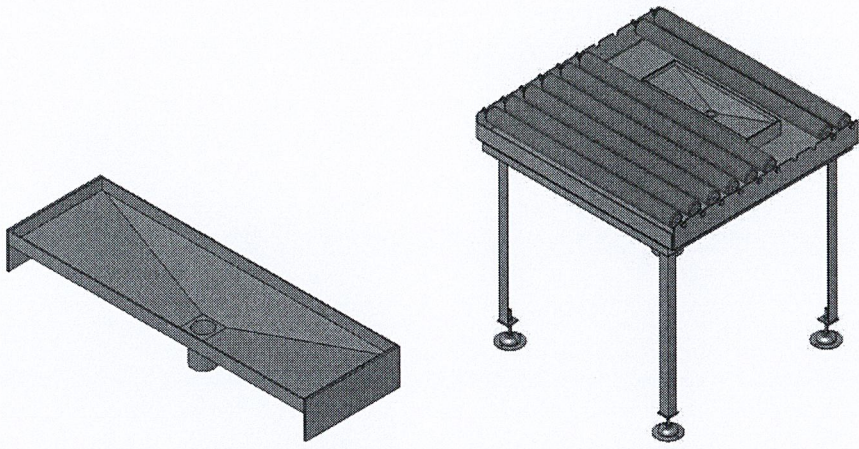
∴ จะต้องใช้แผ่นเหล็กความกว้างเท่ากับ $90+6.27+90+6.27+90 = 1092.54$ มิลลิเมตร

ออกแบบโครงสร้างของชุดลูกกลิ้งลำเลียงโดยมีขาตั้ง 4 ขา ทำจากเหล็กฉาก (L angle bar) ขนาด 40x40x5 มิลลิเมตร ที่ขาตั้งทั้ง 4 ต่อเข้ากับขาตั้งชนิดปรับความสูงได้ (adjustment pads) เนื่องจากพื้นที่โรงงานบริเวณชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยางไม่เรียบเสมอ และติดตั้งลูกกลิ้งชนิด Free roller เข้าไปในร่องถาดที่ทำการเจาะเอาไว้ โดยเว้นช่องไม้ใส่ลูกกลิ้ง 2 ช่อง เพื่อให้ให้น้ำยางที่ล้นออกมาจากหน้ายางไหลกลับลงถังวนโดยไม่เลอะลูกกลิ้ง



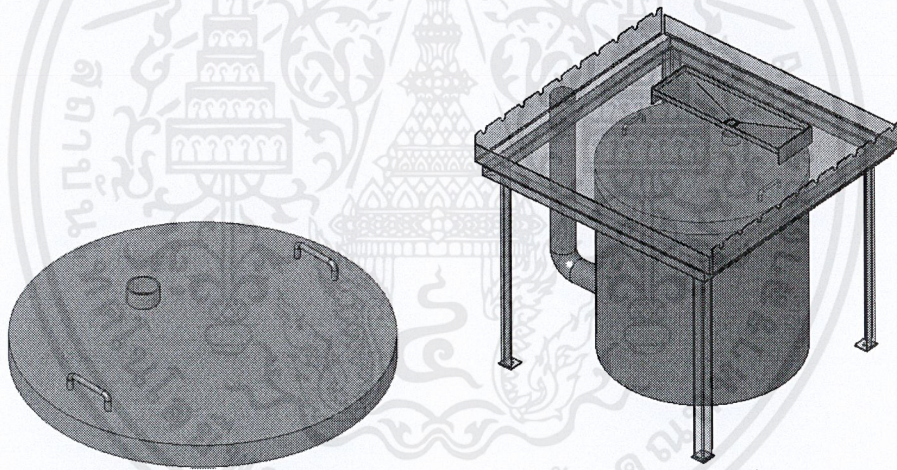
ภาพที่ 3.11 ชุดลูกกลิ้งลำเลียง

นอกจากนี้ ยังมีถาดรองรับน้ำยางที่ไหลล้นออกมาจากหน้ายางเนื่องมาจากการใช้แปรงเกลี่ยติดตั้งไว้บนถาดรองชุดลูกกลิ้งตรงตำแหน่งที่น้ำยางจะล้นออกมาจากหน้ายางพอดี นั่นคือตำแหน่งเดียวกับแปรง ถาดรองน้ำยางนี้ทำจากวัสดุสแตนเลส (Stainless steel, SUS304) เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและป้องกันน้ำยางแห้งติด มีความหนา 2 มิลลิเมตร ใช้วิธีการพับเหล็กแผ่นและเชื่อมประกอบ ตัวถาดจะมีลักษณะชันลงไปหาที่กึ่งกลางของถาด ซึ่งใต้ถาดมีท่อระบายน้ำยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ซึ่งท่อนี้จะสวมเข้ากับช่องบนฝาถังวนเพื่อเป็นทางผ่านให้น้ำยางที่ล้นออกมาจากหน้ายาง ไหลลงกลับถังวนเพื่อนำไปใช้ใหม่ ตัวถาดรองน้ำยางนี้มีลักษณะดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ถาดรองรับน้ำยางและตำแหน่งที่ติดตั้ง

กำหนดให้ถาดรองรับน้ำยางสวมเข้ากับฝาของถังวนพอดีเพื่อให้ น้ำยางไหลลงถังวน จึงต้องทำการออกแบบฝาของถังวนใหม่ให้มีรูสำหรับสวมถาดรองรับน้ำยางจากเดิมฝาถังวนมีเพียงรูตรงกึ่งกลางเท่านั้น และมีหูจับสองข้างสำหรับยกฝา ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ฝาถังวนและตำแหน่งที่ติดตั้ง

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการปรับปรุงระบบการเติมน้ำยาง

จากการตัดแปลงระบบเติมน้ำยางโดยยกเลิกการเติมผ่านถังหัวและถาดของชุดลูกกลิ้งลำเลียงมาเป็นการใช้ปั๊มที่สามารถเติมน้ำยางจากถังบรรจุน้ำขนาด 200 ลิตรเข้าสู่ถังวนโดยตรง และมีอัตราโชนิกเซนเซอร์ที่ตรวจจับระดับน้ำยางในถังวนเพื่อไปควบคุมการทำงานของปั๊ม ผลที่ได้มีดังนี้

- 1) ไม่มีน้ำยางระเหยไปในระหว่างการเติมผ่านถังหัว
- 2) ไม่มีน้ำยางระเหยและแห้งติดอยู่บนถาดของชุดลูกกลิ้งลำเลียง
- 3) จากเดิมใช้ถังบรรจุน้ำยางชนิดถังปั่นแนวอนที่วาล์วขาออกไม่ได้อยู่ตำแหน่งก้นถัง ทำให้มีปริมาตรของน้ำยางที่เหลืออยู่ในถังปั่นที่ไม่ถูกนำไปใช้งานเท่ากับ 14.9 ลิตร เปลี่ยนเป็นถังแนวตั้งขนาด 200 ลิตรเท่ากัน โดยออกแบบให้มีวาล์วขาออกอยู่ที่ก้นถัง ทำให้ไม่มีน้ำยางหลงเหลืออยู่ในถัง
 - ปริมาตรน้ำยางที่ถูกใช้งานจริงของถังเดิม = $200 - 14.9 = 185.1$ ลิตร
 - ปริมาตรน้ำยางที่ถูกใช้งานจริงของถังใหม่ = 200 ลิตร

ดังนั้น ปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำยางจะลดลง = $\frac{200 - 185.1}{185.1} = 8.05\%$

และกำหนดให้มีการควบคุมปั๊มเป็น 2 แบบ ดังนี้

การควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic mode)

- ถาระดับน้ำยางในถังเท่ากับ 90 มิลลิเมตร จะสั่งให้ปั๊มเริ่มทำงานโดยอัตโนมัติ
- ถาระดับน้ำยางในถังเท่ากับ 510 มิลลิเมตร จะสั่งให้ปั๊มหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ

การควบคุมโดยพนักงานปฏิบัติการ (Manual mode)

- ถาระดับน้ำยางในถังเท่ากับ 510 มิลลิเมตร จะสั่งให้ปั๊มหยุดทำงานโดยอัตโนมัติ

4.2 ผลการปรับปรุงชุดอุปกรณ์เก็lynน้ำยาง

จากการดัดแปลงชุดอุปกรณ์เก็lynน้ำยาง โดยการใช้ลูกกลิ้งติดเข้าไปเพื่อช่วยกระจายน้ำยางให้ทั่วหน้ายางและตามด้วยการใช้แปรงไนลอนในการเก็lynน้ำยาง จากนั้นทำการทดสอบหาปริมาณของน้ำยางที่ติดไปบนหน้ายางหลังจากการเก็lynโดยอุปกรณ์ที่กล่าวข้างต้น

เนื่องจากน้ำยางที่ติดไปบนหน้ายางแห้งและรวมเป็นเนื้อเดียวกับหน้ายาง จึงไม่สามารถทำการวัดปริมาณน้ำยางจากหน้ายางได้โดยตรง จึงทำการทดลองกับแผ่นทองแดง (Copper metal sheet) ความกว้าง 15 x 15 มิลลิเมตร ความหนา 0.41 มิลลิเมตร โดยการวางแผ่นทองแดงลงบนหน้ายางในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง โดยให้ส่วนจ่ายน้ำยางทำงานปกติ จากนั้นนำแผ่นทองแดงที่ผ่านชุดอุปกรณ์เก็lynน้ำยางมาชั่งน้ำหนักหาผลต่างระหว่างการใช้ลูกกลิ้งและไม่ใช้ลูกกลิ้งผลที่ได้มีดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงน้ำหนักของน้ำยางที่ติดไปบนแผ่นทองแดง (กรัม)

วิธีการเก็lyn	ใช้แปรง	ใช้ลูกกลิ้ง + แปรง	ความแตกต่าง
การทดลองครั้งที่ 1	0.0399	0.0365	8.52%
การทดลองครั้งที่ 2	0.0425	0.0398	6.35%
การทดลองครั้งที่ 3	0.0451	0.0405	10.20%
ค่าเฉลี่ย	0.0425	0.0389	8.36%

จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 สรุปได้ว่า การติดตั้งลูกกลิ้งเพื่อช่วยในการเก็lynสามารถลดปริมาณการสิ้นเปลืองน้ำยางได้ถึง 8.36 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการใช้เฉพาะแปรง

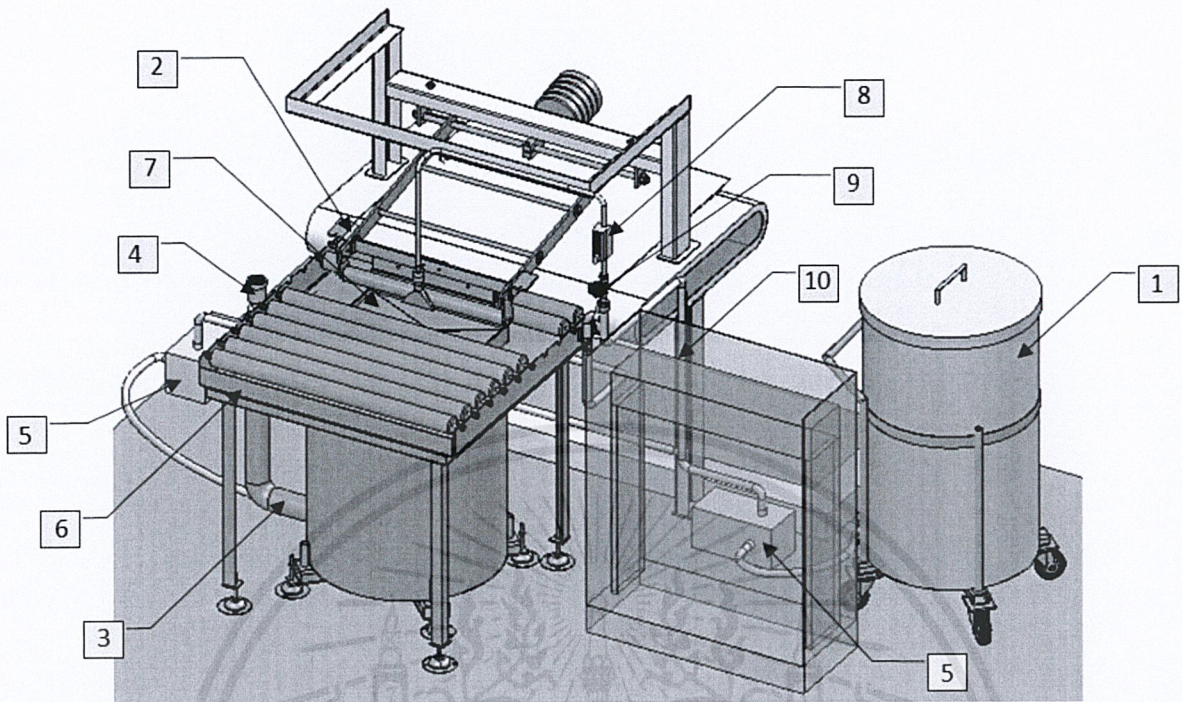
4.3 ผลการปรับปรุงระบบจ่ายน้ำยาง

จากการทดลองในหัวข้อที่ 3.1.3 เพื่อหาปริมาณของน้ำยางที่เหมาะสมในการใช้งานตามความกว้างของหน้ายาง พบว่า ปริมาณของน้ำยางมีค่า 0.313 ลิตรต่อพื้นที่หน้ายางในหน่วยตารางเมตร อัตราการไหลของน้ำยางมีค่าอยู่ระหว่าง 0.611-1.6226 ลิตรต่อนาที ขนาดของหน้ายางตั้งแต่ 122-432 มิลลิเมตร และความเร็วการเคลื่อนที่ของหน้ายาง 12-16 เมตรต่อนาที จึงกำหนดอัตราการไหลของน้ำยางตามขนาดของหน้ายางที่ใช้งานกับเครื่อง DHT ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลของผลิตภัณฑ์หน่วยงานที่ใช้งานจริงและค่าอัตราการไหลของน้ำยาง

Product code	KM width (mm)	Line speed (m/min)	cement flow rate (L/min)
805xx	122	16	0.6110
796xx	126	16	0.6310
981xx	134	16	0.6711
788xx	160	16	0.8013
735xx	162	16	0.8113
839xx	162	16	0.8113
615xx	172	16	0.8614
159xx	176	16	0.8814
765xx	184	16	0.9215
769xx	190	16	0.9515
787xx	192	16	0.9615
282xx	198	16	0.9916
594xx	198	16	0.9916
280xx	200	16	1.0016
696xx	206	14	0.9027
874xx	214	16	1.0717
309xx	226	16	1.1318
213xx	234	14	1.0254
745xx	246	16	1.2320
580xx	260	16	1.3021
714xx	268	16	1.3421
427xx	282	16	1.4123
741xx	284	14	1.2445
958xx	296	14	1.2971
211xx	308	16	1.5425
459xx	324	14	1.4198
706xx	328	14	1.4373
532xx	336	16	1.6827
245xx	340	14	1.4899
591xx	344	14	1.5074
452xx	432	12	1.6226

4.4 ผลการออกแบบชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง



ภาพที่ 4.1 แสดงชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง

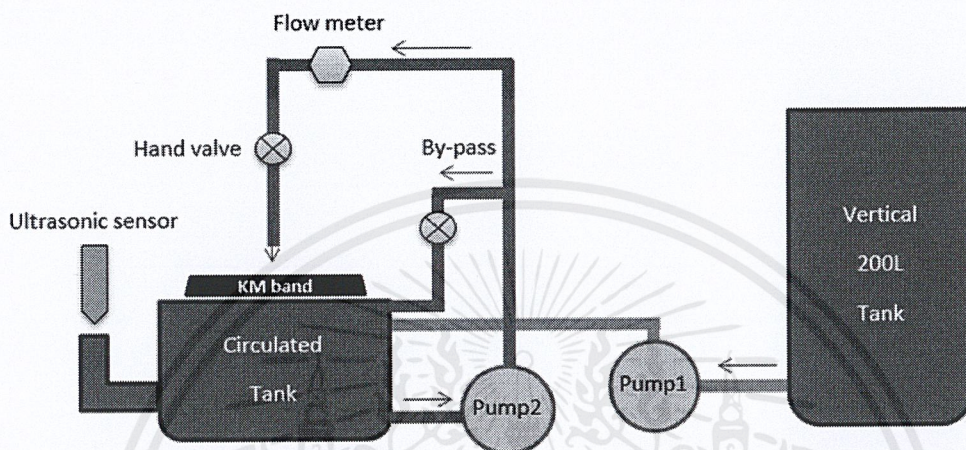
ชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยางดังแสดงในภาพที่ 4.1 ถูกออกแบบและปรับปรุงให้เหมาะสมตามความต้องการใช้งาน ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ดังนี้

- หมายเลข 1: ถังบรรจุน้ำยางขนาด 200 ลิตร
- หมายเลข 2: ชุดอุปกรณ์เกลี่ยน้ำยางประกอบไปด้วยลูกกลิ้งและแปรง
- หมายเลข 3: ถังขนาด 100 ลิตรและท่อสำหรับติดตั้งเซนเซอร์
- หมายเลข 4: เซนเซอร์วัดระดับน้ำยาง (Ultrasonic sensor) ยี่ห้อ Vega รุ่น Vegason61
- หมายเลข 5: ปั๊มโรตารีชนิดเกียร์ (Internal gear pump) ยี่ห้อ Viking รุ่น G4124A
- หมายเลข 6: ชุดลูกกลิ้งลำเลียง ประกอบไปด้วยลูกกลิ้ง (Free roller) และขาตั้งชุดลูกกลิ้ง
- หมายเลข 7: ถาดรองรับน้ำยาง
- หมายเลข 8: เครื่องมือวัดการไหล (Coriolis flow meter) ยี่ห้อ ABB รุ่น FCB430
- หมายเลข 9: โกลบวาล์ว (Globe valve) ขนาด ½ นิ้ว
- หมายเลข 10: ชุดท่อลำเลียงน้ำยางชนิดท่อกล้าไนซ์ ขนาด ½ นิ้ว

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน



ภาพที่ 5.1 แสดงการทำงานของชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาง

ชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยางที่ถูกออกแบบและปรับปรุงใหม่ดังแสดงในภาพที่ 5.1 มีวิธีการทำงานดังนี้ เริ่มจากการเติมน้ำยางจากถังบรรจุน้ำขนาด 200 ลิตรเข้าสู่ถังวนเพื่อใช้งานในระบบ โดยการปั๊มผ่านปั๊มชนิดโรตารีแบบเกียร์ตัวที่หนึ่ง ซึ่งปั๊มนี้จะทำงานสัมพันธ์กับเซนเซอร์วัดระดับน้ำยาง(Ultrasonic sensor) ในถังวนขนาด 100 ลิตร เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับว่ามีน้ำยางในถังอยู่ 15 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด เซนเซอร์จะส่งสัญญาณสั่งให้ปั๊มทำงานเพื่อเติมน้ำยางในถัง และหากระดับน้ำยางในถังเพิ่มขึ้นถึง 85 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด เซนเซอร์จะส่งสัญญาณสั่งให้ปั๊มหยุดทำงานทันทีเพื่อหยุดการเติมน้ำยางในถังวนจะถูกนำไปใช้งานในระบบโดยการปั๊มผ่านปั๊มชนิดโรตารีแบบเกียร์ตัวที่สอง น้ำยางจะถูกสูบขึ้นไปเหนือชุดลูกกลิ้งลำเลียงผ่านท่อกล้าไนซ์ขนาด 1/2 นิ้ว และจ่ายลงบนหน้ายางที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านชุดลูกกลิ้งลำเลียง โดยน้ำยางที่ถูกจ่ายลงบนหน้ายางนี้ถูกควบคุมให้เปิด-ปิดการไหลและควบคุมอัตราการไหล โดยการปรับ โกลบวาล์ว ซึ่งค่าอัตราการไหลของน้ำยางจะถูกตรวจวัดโดยอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Coriolis flow meter) และแสดงผลบนหน้าจอของอุปกรณ์ โดยอัตราการไหลของน้ำยางที่ใช้งานมีค่าแตกต่างกันขึ้นกับความกว้างของหน้ายาง โดยพนักงาน (operator) จะเลือกอัตราการไหลโดยอ่านค่าจากแค็ตตาล็อกที่ระบุรายละเอียดของยางแต่ละผลิตภัณฑ์ ปั๊มตัวนี้ทำงานสูงสุดที่ความเร็ว

รอบ 1750 รอบต่อนาที มีอัตราการไหลสูงสุด 8 แกลลอนต่อนาที หรือ 30.28 ลิตรต่อนาที แต่ช่วงการใช้งานจริงกับหน้ายาง อัตราการไหลของน้ำยางมีค่าอยู่ระหว่าง 0.611-1.6226 ลิตรต่อนาทีเท่านั้น จึงมีท่อ by-pass ให้น้ำยางที่ล้นจากการปรับ โกลบวาล์วไหลกลับไปลงถังวน และหลังจากน้ำยางถูกจ่ายลงบนหน้ายาง น้ำยางจะถูกลูกกลิ้งและแปรงเกลี่ยให้กระจายทั่วหน้ายาง ในส่วนนี้จะมีน้ำยางบางส่วนที่ล้นออกจากหน้ายางและไหลลงผ่านถาดรองน้ำยางที่วางอยู่ตำแหน่งใต้ลูกกลิ้งและแปรง น้ำยางบางส่วนที่สัมผัสกับอากาศจะระเหยและแห้งติดบนถาดรองนี้ บางส่วนจะไหลกลับไปสู่ถังวนที่อยู่ใต้ชุดลูกกลิ้งลำเลียงเพื่อนำกลับไปใช้ในระบบอีกครั้ง

ตารางที่ 5.1 ความแตกต่างของปริมาณน้ำยางที่ถูกใช้งานระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่

	ระบบเดิม	ระบบใหม่	Cement consumption
เปลี่ยนจากถังปั่นแวนอนเป็นถังแนวตั้ง	185.1 ลิตร	200 ลิตร	8.05%
ติดตั้งลูกกลิ้งเพื่อช่วยเกลี่ยน้ำยาง	0.0425 กก.	0.0389 กก.	8.36%
		รวม	16.41%

จากข้อมูลในตารางที่ 5.1 พบว่าปริมาณการใช้น้ำยาง(Cement consumption) ในระบบใหม่ลดลงจากเดิม 16.41 เปอร์เซ็นต์จากสองปัจจัย ได้แก่ การเปลี่ยนจากถังปั่นแวนอนเป็นถังแนวตั้ง ให้น้ำยางในถังถูกใช้งานทั้งหมด 200 ลิตร โดยไม่มีการสูญเสียน้ำยางไปโดยเปล่า และจากการติดตั้งลูกกลิ้งเพื่อช่วยในการเกลี่ยน้ำยางซึ่งค่าที่ลดลงนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของโครงการที่ต้องการลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำยางอย่างน้อย 10 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อยกเว้นและปัญหาที่พบ

ปริมาณการใช้น้ำยางที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและจากการทดลอง กับปริมาณการใช้งานจริงของน้ำยางมีความแตกต่างกัน เนื่องจากน้ำยางที่ใช้ในระบบนี้มีคุณสมบัติที่ระเหยง่ายและแห้งตัวเร็ว จึงมีปริมาณน้ำยางบางส่วนที่สัมผัสกับอากาศและระเหยไป ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่สามารถวัดค่าได้ โดยค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและจากการทดลองนั้น จะเป็นจริงในกรณีที่น้ำยางถูกจ่ายลงบนหน้ายาง 100 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือไม่มีส่วนใดระเหยไปสู่อากาศ และการวัดปริมาณน้ำยางที่ติดไปบนหน้ายางไม่สามารถวัดได้โดยตรง เนื่องจากน้ำยางที่ติดไปจะแห้งทันทีและรวมเป็นเนื้อเดียวกับหน้ายาง จึงทำการวัดค่าได้โดยการทดลองบนแผ่นทองแดงเท่านั้น แต่จะมีข้อยกเว้นคือพื้นผิวของแผ่นทองแดงมีความเรียบสม่ำเสมอ แต่พื้นผิวของหน้ายางจริงไม่เรียบสม่ำเสมอ

นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดระหว่างการออกแบบและปรับปรุงชุดอุปกรณ์ ตามข้อกำหนดของโรงงานที่ต้องการลดจำนวนของอุปกรณ์และชิ้นส่วนสำรอง (Spare part) ที่เก็บอยู่ในคลังพัสดุ โดยการเลือกซื้ออุปกรณ์ชนิดเดียวกับที่มีอยู่ในคลังพัสดุ และข้อกำหนดด้านความปลอดภัยของเครื่องจักรที่กำหนดให้พื้นที่บริเวณชุดอุปกรณ์จ่ายน้ำยาเป็นพื้นที่ Class 1, Division 1 และ Zone 1 ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องเลือกใช้อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่รองรับการใช้งานในพื้นที่อันตรายตามโซนที่กำหนด ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ต้องทำการสั่งซื้อในราคาสูงและใช้เวลาการจัดส่งค่อนข้างนานกว่าอุปกรณ์ทั่วไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

การออกแบบเครื่องจักรหรือการปรับปรุงเครื่องจักร จำเป็นต้องเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ และต้องมีพื้นฐานของการออกแบบทั้งในส่วนของการเลือกชนิดของวัสดุและอุปกรณ์ที่เหมาะสมตามการใช้งาน นอกจากนี้ควรจะมีพื้นฐานความรู้พื้นฐานของการวัด เช่น เซอร์ต่างๆ ระบบไฟฟ้า และระบบการควบคุม พื้นฐานเพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานของระบบควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติ เครื่องจักรในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทจะมีการทำงานที่แตกต่างกันไปตามผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษากระบวนการผลิตและการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน โดยเรียงลำดับขั้นตอน เพื่อเลียนแบบการทำงานหรืออำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงาน นอกจากนี้การออกแบบหรือปรับปรุงเครื่องจักรจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัย (Safety) และหลักการยศาสตร์ (Ergonomic) ของผู้ใช้งานเป็นสิ่งสำคัญอีกสิ่งที่สำคัญคือ การสังเกตและการวิเคราะห์ปัญหาควรเป็นสิ่งพื้นฐานที่ต้องมี เนื่องจากเมื่อเครื่องจักรเกิดปัญหาไม่สามารถทำงานได้ จำเป็นต้องอาศัยการสังเกตเพื่อหาสิ่งที่ผิดปกติและนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาที่ถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ นิ่มดำ, “กระบวนการผลิตล้อยาง (Tire manufacturing)” เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2] นิมิตร เติตฉันทพัฒนา, “ปฏิบัติการกลศาสตร์ของของไหล” เอกสารประกอบการสอน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] “เอกสารเผยแพร่ชุด ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน – เครื่องปั้มน้ำ Pump” กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [4] FRANC, J.-P. and J.-M. MICHEL, Fundamental of Cavitation. 2005: Springer Science + Business Media Inc.
- [5] Munson, B.R., et al., Fundamental of Fluid mechanics. 6 ed. 2010: John Wiley & Son.
- [6] ทฤษฎีการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยการดัดงอ, <http://www.eu.lib.kmutt.ac.th>
- [7] ความเค้นและความเครียด, <https://www.kyowa-ei.co.th>
- [8] แรงเฉือนและโมเมนต์ดัด, <http://www.building.cmtc.ac.th>