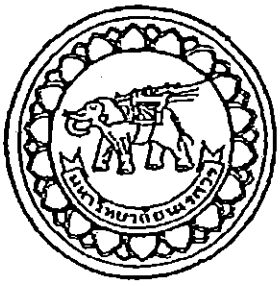


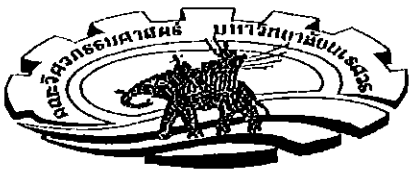
การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน

(Preliminary study of an operation of a waste material rotary screening machine)

นายนเรศ คำมี
นายสุทธิศักดิ์ เรืองเดช
นายศิลา ฤทธิ์เรืองเดช

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 14 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน I 507285 ซร.
เลขเรียกหนังสือ ชน266 ป 2552
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

หัวข้อโครงงาน : การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน
(Preliminary study of an operation of waste material rotary screening machine)

ผู้ดำเนินโครงการ : นายนเรศ คำมี
นายสุทธิศักดิ์ เรืองเดช
นายศิลา ฤทธิ์เรืองเดช

ที่ปรึกษาโครงงาน : อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ศลิษา วีรพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

.....ประธานกรรมการ
(ดร. ศลิษา วีรพันธุ์)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี)

..... กรรมการ
(ดร. ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิษฐ์ภัณฑ์ แดนลา)

หัวข้อโครงงาน : การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายนเรศ คำมี
นายสุทธิศักดิ์ เรืองเดช
นายศิลา ฤทธิ์เรืองเดช

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ศลิษา วีรพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2552

.....

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงงานนี้เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุนที่บ่อบำบัดขยะของเทศบาลนครพิษณุโลก ซึ่งเกิดปัญหาติดขัดระหว่างทำงานเป็นประจำทำให้ไม่สามารถคัดแยกขยะได้ตามปริมาณที่ตั้งเป้าหมายไว้ ในการกำจัดขยะของเทศบาลนครพิษณุโลกจะใช้การกำจัดขยะแบบเชิงกลชีวภาพโดยจะหมักขยะไว้ 9 เดือน แล้วนำมาคัดแยกเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เมื่อเครื่องร่อนขยะทำงานไม่ได้ ทำให้เกิดการสะสมของขยะที่บ่อบำบัด ทำให้เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมาอีกหลายประการ เช่น การขาดแคลนพื้นที่ในการใช้บำบัดขยะ และเสียโอกาสที่จะนำขยะที่ร่อนได้ไปใช้ประโยชน์ เป็นต้น

เครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุนประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1. ส่วนของกระบะรับขยะ 2. ส่วนของตะแกรงหมุน 3. ส่วนของสายพานลำเลียง ปัญหาที่เกิดขึ้นใน 3 ส่วนหลักนี้ถูกนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด พบว่าสาเหตุของปัญหาในส่วนของตัวเครื่องร่อนขยะ ได้แก่ คุณภาพของวัสดุและโครงสร้างไม่เหมาะสมกับภาระงาน ทั้งนี้ได้นำเสนอแนวทางในการแก้ไขหรือป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาไว้ด้วย

Project Title : Preliminary study of an operation of waste material screening machine

Name : Mr. Nares Kammee

Mr. Sutthisak Ruangdech

Mr. Sila Ritruangdech

Project Advisor : Dr. Salisa Veerapun

: Assoc.Prof. Mathanee Sanguansermsri

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2009

.....

Abstract

This project was initiated by a visit to Phitsanulok municipal waste treatment field at Bueng kok in Phitsanulok province where Mechanical-Biological Waste Treatment (MBT) process has been implemented. In the MBT process, some visually detectable non-biodegradable waste materials are removed while those biologically degradable are left to compost for 9 months. After that, a screening machine is used to separate material which has high potency for energy production such as plastic from the compost. The problem arises as the screening machine more often has been out of service.

Accordingly, the objective of the project is analysing the causes lead to the machine malfunction and suggesting possible improvement. Information is collected by questionnaire and inspection. A number of problem analysis techniques are reviewed. A fault tree analysis technique is then selected. The FTA branches down the top event 'machine out-of-service' to a number of basic events contributed to its occurrence Improvement can be made by elimimting these basic events.

กิตติกรรมประกาศ

(Acknowledgement)

จากรายวิชาโครงงานทางวิศวกรรมเครื่องกล ซึ่งทางกลุ่มของข้าพเจ้าได้มีความสนใจในเรื่องของการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุนและกรรมวิธีการบำบัดขยะ ของทางเทศบาลนครพิษณุโลก จึงได้รับมอบหมายให้จัดทำโครงงานเรื่อง "การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน" ในระหว่างการปฏิบัติงานนั้น ทำให้กลุ่มของข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ในด้านต่างๆ มากมายและทำให้การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ดังนี้

- อาจารย์ศลิษา วีรพันธุ์ และ อาจารย์มัทนี สงวนเสริมศรี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับข้อมูลการทำโครงงาน และคำแนะนำตลอดการทำโครงงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

- อาจารย์รัตนา การุญบุญญานันท์ ที่ให้ยืมอุปกรณ์ในระหว่างการปฏิบัติงาน และสอนวิธีในการใช้เตาอบเพื่อหาความชื้น

- ครูช่างภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความรู้และเอื้อเฟื้อเครื่องมือในการทำโครงงาน

- ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความรู้และเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ในการทำโครงงาน

- ร้านศักดิ์การช่างที่ให้ความรู้และแนะนำเกี่ยวกับการเชื่อมโลหะในการสร้างอุปกรณ์ในการทดลองร่อนขยะ

และบุคคลท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คณะผู้จัดทำ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ ได้ในระดับหนึ่งตลอดจนเป็นแนวทางในการแก้ไขและพัฒนาต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 วิธีดำเนินโครงงาน	2
1.6 งบประมาณ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	3
2.1 การจัดการขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลจังหวัดพิษณุโลก	3
2.2 การกำจัดขยะตามกรรมวิธีของ ฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA®	5
2.2.1 ขั้นตอนการแยกขยะด้วยตาเปล่า	5
2.2.2 ขั้นตอนการโม่ผสม	5
2.2.3 ขั้นตอนการตั้งกองหมัก	6
2.2.4 ขั้นตอนการร่อนขยะ	7
2.2.5 สิ่งที่ได้จากกรรรมวิธีบำบัดขยะ ด้วยวิธีฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA®	8
2.2.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากกรรรมวิธีบำบัดขยะด้วยวิธี ฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA®	9
2.3 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของขยะ	10
2.3.1 ความหนาแน่น (Density)	10
2.3.2 ความชื้น (Moisture content)	10

สารบัญ (ต่อ)

2.4 วิธีวิเคราะห์ปัญหา 11

2.4.1 วิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (Fault Tree Analysis: FTA) 11

2.4.2 วิธีวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis 14

2.4.3 แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) 17

2.4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

(Failure Modes and Effects Analysis: FMEA) 20

2.5 สรุปวิธีวิเคราะห์ปัญหา 22

บทที่ 3 ข้อมูลจากบ่อบำบัดขยะเทศบาลนครพิษณุโลก 24

3.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน 24

3.1.1 กระบะรับขยะ 26

3.1.2 ชุดตะแกรงหมุน 27

3.1.3 ระบบสายพานลำเลียงขยะ 29

3.1.4 กระบวนการทำงาน 33

3.2 ข้อมูลขยะจากบ่อบำบัดขยะ 34

3.2.1 ลักษณะของขยะแต่ละประเภท 35

3.2.2 องค์ประกอบของขยะ 36

3.2.3 การนำไปใช้ประโยชน์ 36

3.3 ข้อมูลจากแบบสอบถาม 36

3.3.1 จุดประสงค์ของแบบสอบถาม 36

3.3.2 ผู้ตอบแบบสอบถาม 36

3.3.3 ผลจากแบบสอบถาม 37

บทที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด

(Fault Tree Analysis : FTA) 38

4.1 การวิเคราะห์ปัญหาในเครื่องร่อนขยะด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้

แห่งความผิดพลาด (Fault Tree Analysis: FTA) 38

4.1.1 กระบะรับขยะ 38

4.1.2 ชุดตะแกรงหมุน 39

4.1.3 ระบบสายพานลำเลียงขยะ 39

4.2 สรุปปัญหาที่เกิดกับเครื่องร่อนด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาดและ

แนวทางการแก้ไข 40

สารบัญ (ต่อ)

4.3 ลักษณะของปัญหาและแนวทางแก้ไข 42

4.3.1 ปัญหาที่เกิดในส่วนของกระบะรับขยะ (A) 42

4.3.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนของชุดตะแกรงหมุน (B) 45

4.3.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนของสายพานลำเลียง (C) 58

บทที่ 5 บทสรุป 62

5.1 ผลการวิเคราะห์ 62

5.2 ปัญหาและอุปสรรค 64

5.3 ข้อเสนอแนะ 64

บรรณานุกรม 65

ภาคผนวก 66

ภาคผนวก ก แบบสอบถาม 67

ภาคผนวก ข แบบโครงสร้างของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน 77

ภาคผนวก ค แบบโครงสร้างของอุปกรณ์ที่ติดเข้ากับเครื่องร่อน 85

ภาคผนวก ง สมการที่ใช้ในการหากำลังม้าของสายพานลำเลียง 88

การหากำลังม้าที่ชุดตะแกรงหมุน 99

การวิเคราะห์ความเสียหาย 103

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน 106

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการใช้ FMEA วิเคราะห์ปัญหาการชำรุดของอุปกรณ์ แปรงถ่าน, ลูกปืน 21
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีวิเคราะห์ปัญหา 4 แบบ 23
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของขยะหลังการร่อน 34
ตารางที่ 4.1 สรุปปัญหาที่เกิดกับเครื่องร่อน 40

มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนผังการจัดการขยะมูลฝอย	4
รูปที่ 2.2 กระบวนการคัดแยกขยะด้วยตาเปล่า	5
รูปที่ 2.3 กระบวนการคลุกเคล้าขยะด้วยรถโม่ผสม	6
รูปที่ 2.4 กองหมักปกคลุมด้วยวัสดุธรรมชาติ	7
รูปที่ 2.5 กระบวนการร่อนขยะ	7
รูปที่ 2.6 ถุงพลาสติกที่ได้จากการร่อน	8
รูปที่ 2.7 เศษดินและเศษอาหาร	8
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างแผนภาพ Fault Tree Analysis	14
รูปที่ 2.9 วิธีการคิดของ Why-Why Analysis	15
รูปที่ 2.10 แผนภูมิก้างปลา	18
รูปที่ 2.11 แสดงแผนภูมิก้างปลาที่ดี	19
รูปที่ 2.12 แสดงแผนภูมิก้างปลาที่ไม่ดี	19
รูปที่ 3.1 เครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน	24
รูปที่ 3.2 รูปเครื่องร่อนขยะจากแบบจำลอง	25
รูปที่ 3.3 กระบะรับขยะ	26
รูปที่ 3.4 ภายในกระรับขยะ	26
รูปที่ 3.5 ภาพจำลองกระบะรับขยะ	26
รูปที่ 3.6 ตะแกรงหมุนและแปรงปัดขยะ	27
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างตะแกรงร่อนขยะ	27
รูปที่ 3.8 ตะแกรงหมุน	28
รูปที่ 3.9 ตำแหน่งติดตั้งมอเตอร์และชุดส่งกำลังของชุดตะแกรงร่อน	28
รูปที่ 3.10 สายพานลำเลียงด้านข้างและด้านท้ายเครื่องร่อน	29
รูปที่ 3.11 แบบจำลองระบบสายพานลำเลียงขยะ	30
รูปที่ 3.12 สานพานลำเลียงด้านใต้ตะแกรงหมุน	31
รูปที่ 3.13 ตำแหน่งมอเตอร์ของสายพานลำเลียงด้านข้างและด้านท้ายเครื่อง	31
รูปที่ 3.14 กระบวนการร่อนขยะของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน	32
รูปที่ 3.15 ขยะที่ถูกลำเลียงออกมาโดยสายพานลำเลียง	33
รูปที่ 3.16 ภาพจำลองของการลำเลียงขยะขนาดใหญ่	33
รูปที่ 3.17 ภาพจำลองการลำเลียงขยะขนาดเล็ก (จากสายพานเส้นที่ 1-2-3)	34

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.18 ขยะขนาดเล็ก (< 10 มม.) 35
รูปที่ 3.19 ขยะขนาดกลาง (10-40 มม.) 35
รูปที่ 3.20 ขยะขนาดใหญ่ (> 40 มม.) 35
รูปที่ 3.21 องค์ประกอบของขยะ 36
รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้เกิดการหยุดทำงานของเครื่องร่อนขยะ 41
รูปที่ 4.2 กระบะรับขยะ 42
รูปที่ 4.3 การตักขยะใส่กระบะรับขยะ 42
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งของมอเตอร์ที่กระบะรับขยะ 43
รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้กระบะรับขยะลำเลียงใส่ตะแกรงหมุนไม่ต่อเนื่อง 44
รูปที่ 4.6 ส่วนของตะแกรงร่อนขยะ 45
รูปที่ 4.7 ขยะที่ได้จากการร่อน(< 10 มม.) 45
รูปที่ 4.8 แปรงปัดขยะที่มีขยะติดอยู่ 46
รูปที่ 4.9 ลักษณะการพันของขยะที่แปรงปัดขยะ 46
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างแปรงปัดขยะ 47
รูปที่ 4.11 การติดตั้งแปรงปัดขยะเพิ่ม 47
รูปที่ 4.12 การย้ายตำแหน่งแปรงปัดขยะ 48
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์กำจัดขยะที่ติดอยู่กับแปรง 48
รูปที่ 4.14 ลักษณะของใบมีด 49
รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการติดตั้งใบมีด 49
รูปที่ 4.16 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้ความสามารถในการคัดแยกต่ำ 50
รูปที่ 4.17 มีขยะจำนวนมากอยู่ท้ายตะแกรงร่อนขยะ 51
รูปที่ 4.18 ลักษณะภายในของตะแกรงร่อนขยะ 51
รูปที่ 4.19 กลไกปรับมุมเอียงของเครื่องร่อนขยะ 52
รูปที่ 4.20 ตะแกรงร่อนขยะที่มีเกลียวช่วยในการเคลื่อนที่ของขยะ 52
รูปที่ 4.21 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้เกิดการสะสมของขยะด้านท้ายเครื่องร่อน 53
รูปที่ 4.22 ตำแหน่งการวางมอเตอร์ที่ตะแกรงร่อนขยะ 54
รูปที่ 4.23 กลไกที่ทำให้ตะแกรงทำงาน 55
รูปที่ 4.24 ตำแหน่งของมอเตอร์ 55
รูปที่ 4.25 ตำแหน่งการวางและการเปลี่ยนมอเตอร์ 56

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.26 ตำแหน่งเดิมของมอเตอร์ 56
รูปที่ 4.27 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้ตะแกรงหมุนมีความเร็วรอบไม่สม่ำเสมอ 57
รูปที่ 4.28 จุดที่เกิดการฉีกขาดของสายพานลำเลียงขยะทางด้านท้ายและด้านข้าง 58
รูปที่ 4.29 จุดซ่อมแซมที่บริเวณข้อต่อสายพานเส้นที่ 3 58
รูปที่ 4.30 จุดซ่อมแซมที่บริเวณข้อต่อสายพานเส้นที่ 4 59
รูปที่ 4.31 ลักษณะของมอเตอร์ที่สายพานลำเลียงด้านท้ายและด้านข้าง 59
รูปที่ 4.32 ลักษณะที่หย่อนของสายพาน 60
รูปที่ 4.33 ระบบป้องกันการสะบัดของสายพาน 60
รูปที่ 4.34 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้เกิดการฉีกขาดบริเวณข้อต่อ 61
รูปที่ 5.1 สรุปสาเหตุของปัญหา 63

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันนี้การที่จังหวัดพิษณุโลกประสบปัญหาขยะที่ทิ้งในแต่ละวันมีจำนวนมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบจัดการทั้งเรื่องของกลิ่นและการสิ้นเปลืองพื้นที่ในการฝังกลบขยะ ทางเทศบาลนครพิษณุโลกจึงหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการนำเทคโนโลยีการกำจัดขยะจากประเทศเยอรมันเข้ามาใช้เรียกว่า กรรมวิธีฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA® คือการบำบัดเชิงกล-ชีวภาพหรือ Mechanical Biological Waste Treatment (MBT) และในการบำบัดด้วยวิธีเชิงกล-ชีวภาพนี้เมื่อทำการบำบัดเสร็จแล้วจะมีกระบวนการในการร่อนขยะเพื่อแยกเอาส่วนที่เป็นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกพลาสติกที่ให้ค่าความร้อนสูงกับส่วนที่มีขนาดเล็กกว่าจะเป็นพวกเศษดินและเศษอาหารออกจากกัน

กระบวนการในการร่อนขยะจะใช้เครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน เครื่องร่อนขยะจะคัดแยกขยะโดยการร่อนตามขนาดของตะแกรงลวดซึ่งขยะส่วนที่มีขนาดเล็กกว่าช่องของตะแกรงจะหล่นลงด้านล่างและถูกลำเลียงออกไปโดยสายพานออกทางด้านข้างของเครื่องและส่วนที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงก็จะถูกลำเลียงออกทางส่วนท้ายของเครื่องร่อน

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นจากบ่อบำบัดเชิงกล-ชีวภาพ ณ ตำบลบึงกอก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก พบว่ามีปัญหาเกิดกับเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุนที่ที่ใช้งานอยู่หลายประการ ตัวอย่างเช่น

1) สายพานลำเลียงหมุนไม่ต่อเนื่องหรือหยุดหมุน
2) การติดขัดของขยะบริเวณสายพานลำเลียง
3) การฉีกขาดเสียรูปของชิ้นส่วนบางชิ้นส่วน
4) การหยุดทำงานของเครื่อง ฯลฯ

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น กลุ่มผู้ดำเนินโครงงานจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาถึงลักษณะปัญหาที่เกิดกับเครื่องร่อนขยะและวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาและเสนอแนวทางในการแก้ไขและป้องกันปัญหาโดยวิเคราะห์ระบบการทำงานและการเก็บข้อมูลในส่วนต่าง ๆ ของเครื่อง เพื่อที่หาวิธีแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อทำให้เครื่องร่อนขยะทำงานได้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) ศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน
2) ศึกษาปัญหาที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน
3) ศึกษากระบวนการการจัดการขยะแบบเชิงกล-ชีวภาพ
4) เสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1) หาสาเหตุที่ทำให้เครื่องร่อนขยะทำงานได้ไม่ต่อเนื่อง
2) เสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้แนวทางในการแก้ปัญหาการทำงานของเครื่องร่อนขยะ
2) ได้เรียนรู้หลักการและกลไกของการทำงานของเครื่องร่อนขยะ
3) ได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการกำจัดขยะโดยวิธีเชิงกล-ชีวภาพ
4) ได้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานร่วมกับผู้อื่น

1.5 วิธีดำเนินโครงงาน

1) ศึกษากระบวนการบำบัดแบบเชิงกลชีวภาพ
2) ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน
3) ออกแบบแบบสอบถามเพื่อหาสาเหตุของปัญหา
4) นำข้อมูลที่เก็บได้มาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาด้วย FTA
5) หาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น
6) จัดทำรายงาน

1.6 งบประมาณ

ลำดับ	รายการ	จำนวน (บาท)
1	ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง	1000
2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน เช่น ตลับเมตร ถุงดำ เป็นต้น	500
3	ค่าใช้จ่ายในส่วนอื่นๆ ที่จำเป็น	1500
รวม		3000

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

บ่อบำบัดของเทศบาลนครพิษณุโลก ใช้วิธีบำบัดขยะแบบเชิงกล-ชีวภาพ ซึ่งวิธีการบำบัดขยะแบบเชิงกล-ชีวภาพ เมื่อขยะผ่านการบำบัดแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือกระบวนการร่อนขยะ เทศบาลพิษณุโลก ใช้เครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน เพื่อคัดแยกขยะที่ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นในขณะร่อนทำให้เครื่องร่อนต้องหยุดทำงานเป็นประจำ ผลที่ตามมาคือเกิดการสะสมของขยะในบ่อบำบัด

เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้จัดทำโครงการทำการศึกษากระบวนการบำบัดขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลจังหวัดพิษณุโลก ศึกษาลักษณะของขยะ และองค์ประกอบของขยะในบ่อบำบัด รวมทั้งศึกษาวิธีวิเคราะห์ปัญหาสี่แบบคือ วิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (Fault Tree Analysis : FTA) Why-Why Analysis แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Modes and Effects Analysis : FMEA) เพื่อหาวิธีวิเคราะห์ปัญหาที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องร่อนขยะ รายละเอียดของทั้งหมดนี้สามารถทำการศึกษาในข้อต่าง ๆ ได้ดังที่แสดงนี้

2.1 การจัดการขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลจังหวัดพิษณุโลก

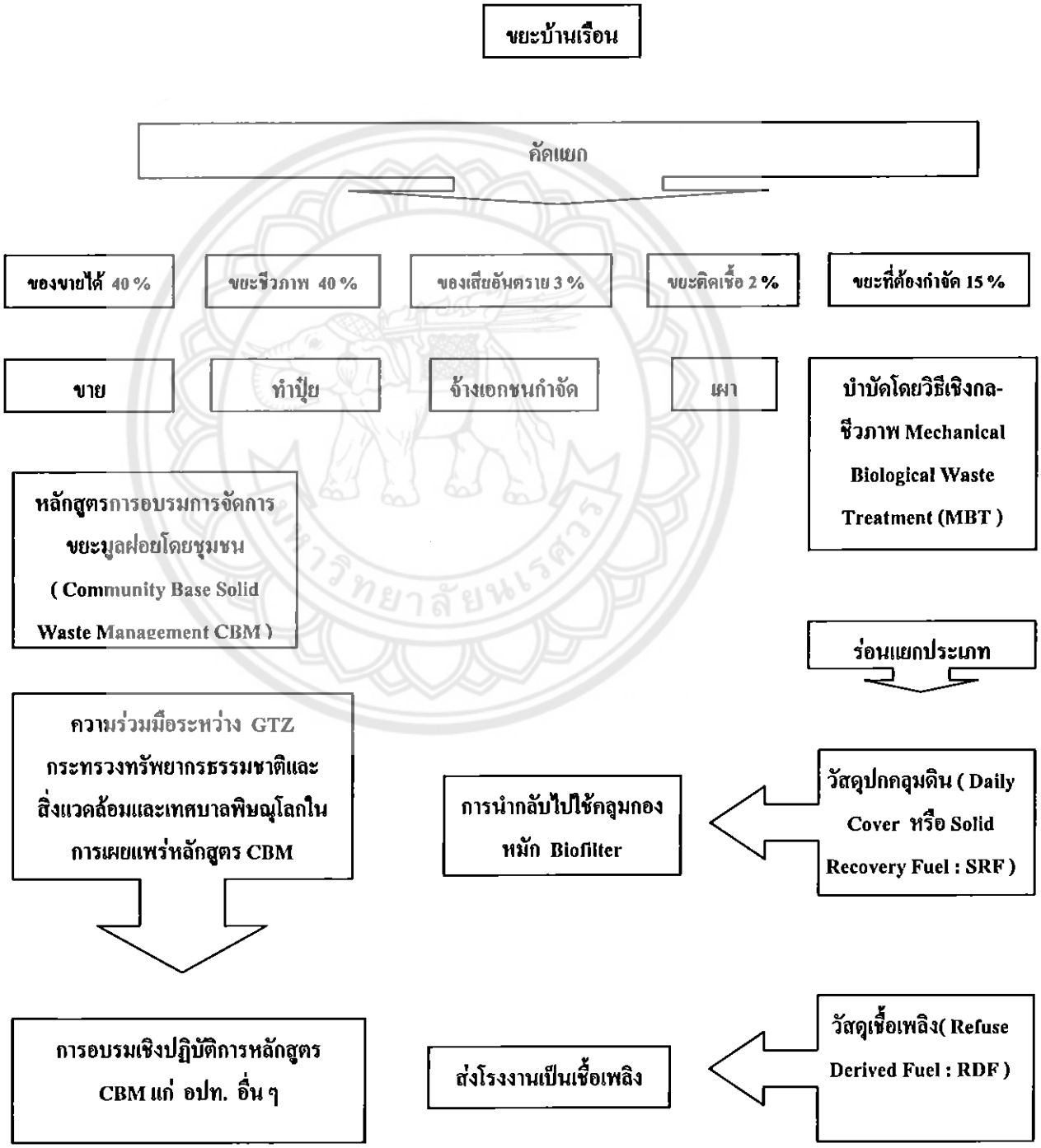
ขยะที่รวบรวมได้ในเขตเทศบาลนครพิษณุโลก จะถูกดำเนินการตามกรรมวิธีฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA® ซึ่งมีรายละเอียดดังแผนผังการจัดการขยะมูลฝอย รูปที่ 2.1

จากแผนผังการกำจัดขยะมูลฝอย

ขยะที่รวบรวมได้ในเขตเทศบาลนครพิษณุโลกจะทำการคัดแยกออก โดยแยกขยะดังกล่าวออกเป็น 5 ชนิด คือ 1. ของขายได้ 2. ขยะชีวภาพ 3. ของเสียอันตราย 4. ขยะติดเชื้อ 5. ขยะที่ต้องกำจัด เมื่อทำการแยกขยะแล้ว ขยะแต่ละชนิดจะผ่านกรรมวิธีดังนี้

- ของขายได้ จะถูกนำไปขาย
- ขยะชีวภาพ จะถูกนำไปทำปุ๋ย
- ของเสียอันตราย จะให้ทางบริษัทเอกชนที่รับผิดชอบกำจัดขยะชนิดนี้
- ขยะติดเชื้อ จะทำการเผาเพื่อทำลายเชื้อ
- ขยะที่ต้องกำจัด จะถูกนำมาผ่านกระบวนการกรรมวิธีกรรมวิธี ฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA® โดยการบำบัดโดยวิธีเชิงกล-ชีวภาพ (Mechanical Biological Waste Treatment (MBT)

ทางเทศบาลพิษณุโลกมีการอบรมเพื่อเผยแพร่หลักสูตร การจัดการขยะมูลฝอยโดยชุมชน (CBM) เพื่อการบำบัดขยะอย่างถูกวิธีนำขยะที่ทิ้งไปนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ขยะได้จากการคัดแยก โดยการบำบัดโดยวิธีเชิงกล-ชีวภาพ เมื่อผ่านกระบวนการร่อน แล้ว ขยะที่ได้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1. วัสดุปกคลุมดิน ส่วนใหญ่จะเป็นดินและเศษอาหาร จะนำไปใช้ทำปุ๋ยหรือใช้เป็นวัสดุปกคลุมกองหมัก 2. วัสดุเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่จะเป็นถุงพลาสติกหรือเศษพลาสติก จะนำไปใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิง เช่น โรงงานไฟฟ้า โรงงานปูนซีเมนต์ เป็นต้น [1]



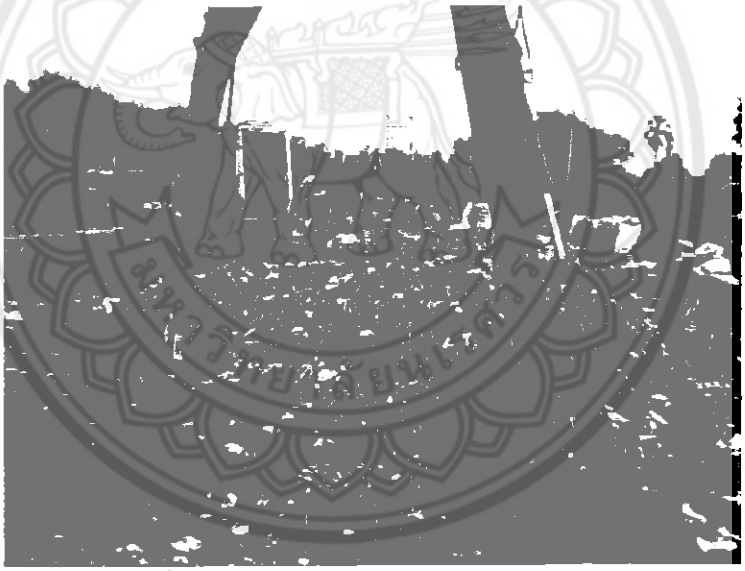
รูปที่ 2.1 แผนผังการจัดการขยะมูลฝอย

2.2 การกำจัดขยะตามกรรมวิธีของ ฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA®

เมื่อขยะมาถึงสถานที่บำบัด จะทำการคัดแยกขยะออกเป็นแต่ละชนิด คือ ของขายได้ ขยะชีวภาพ ของเสียอันตราย ขยะติดเชื้อ ขยะที่ต้องกำจัด โดยกรรมวิธีฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA® จะเลือกขยะที่ต้องกำจัด เมื่อทำการคัดแยกเสร็จจะทำการโม่ผสมเพื่อให้ขยะเข้ากัน ขั้นตอนต่อไปจะทำขยะที่ผ่านการโม่ผสมไปตั้งกองหมัก หลังจากที่ผ่านการหมักเรียบร้อยแล้ว จะทำการร่อนเพื่อคัดแยกขยะเอาขยะที่ต้องการ ซึ่งจากละเอียดของกรรมวิธีดังกล่าวสามารถทำการศึกษาในข้อต่าง ๆ ได้ดังที่แสดงนี้ [1][3]

2.2.1 ขั้นตอนการแยกขยะด้วยตาเปล่า

เมื่อขยะมาถึงสถานที่คัดแยกขยะ จะทำการคัดแยกด้วยตาเพื่อคัดแยกขยะที่มีขนาดใหญ่ ขยะที่เป็นอันตรายและขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ออกจากขยะมูลฝอย เช่น ยางรถยนต์ แบตเตอรี่รถ ขวดพลาสติก ขวดแก้ว เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการคัดแยกขยะด้วยตาเปล่า

2.2.2 ขั้นตอนการโม่ผสม

หลังจากแยกขยะที่มีขนาดใหญ่ออกจากกองขยะมูลฝอยแล้ว ขยะจะถูกส่งไปบำบัดด้วยกรรมวิธีการ ปรับสภาพเชิงกล ในขั้นตอนนี้จะทำการโม่ เพื่อฉีกถุงขยะเพื่อเป็นการเปิดขยะออกจากถุงที่ปิดอยู่และคลุกเคล้าขยะด้วยรถโม่ผสม ดังแสดงในภาพที่ 2.3 เพื่อไม่ให้ขยะที่ผ่านการโม่แห้งเกินไปจะมีการเติมน้ำชะล้างขยะมูลฝอยจากบ่อบำบัดเดิม

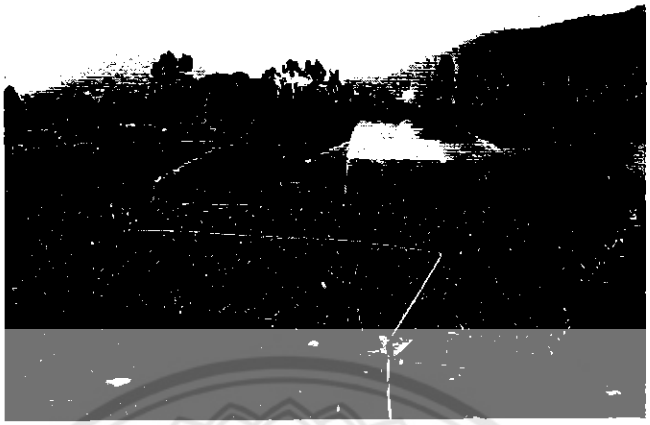
รูปที่ 2.3 กระบวนการคลุกเคล้าขยะด้วยรถโม่ผสม

2.2.3 ขั้นตอนการตั้งกองหมัก

หลังจากบำบัดด้วยการปรับสภาพเชิงกลเสร็จแล้ว ขยะมูลฝอยจะถูกส่งไปบำบัดต่อ โดยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งการบำบัดทางชีวภาพนี้มีความสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายที่ทางราชการได้กำหนดเอาไว้ กล่าวคือ อินทรียวัตถุที่ปะปนอยู่กับขยะมูลฝอยจะถูกทำลายและย่อยสลายไป ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา โดยอาศัยหลักการในการใช้จุลชีพต่าง ๆ มาช่วยในการย่อยสลายเปลี่ยนสภาพของอินทรียวัตถุต่าง ๆ ภายใต้สภาวะ ที่เหมาะสมของการให้อากาศและน้ำ ตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 9-12 เดือน ในการย่อยสลาย ซึ่งการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์นับเป็นหัวใจของการบำบัดขยะมูลฝอยโดยวิธีนี้ โดยทั่วไปควรทำการตรวจสอบให้แน่ชัดถึงปริมาณอินทรียวัตถุ เนื่องจากอินทรียวัตถุหากยังหลงเหลืออยู่ในกองขยะมูลฝอย จะทำให้เกิดการเน่าเหม็น ด้วยกรรมวิธี ฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA® จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิผลตามข้อกำหนดมาตรฐาน ขยะมูลฝอยภายหลังการบำบัดทางชีววิทยาจะถูกนำไปฝังกลบให้แน่นเป็นชั้นบางๆ ในหลุมฝังกลบที่เตรียมเอาไว้ จากการทดลองและตรวจสอบของสถาบัน Leichtweiss มหาวิทยาลัย Braunschweig, ประเทศเยอรมัน พบว่ากรรมวิธี ฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA® มีข้อดีดังนี้

- การป้องกันการเกิดก๊าซในหลุมขยะ
- ปราศจากกลิ่นรบกวน
- ปริมาณของอินทรียวัตถุ ที่ปะปนกับน้ำชะล้างขยะมูลฝอยลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด
- ค่ามาตรฐานของน้ำชะล้างขยะมูลฝอยจากบ่อฝังกลบอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ที่ทางราชการกำหนด
- สามารถทำการบดอัดขยะมูลฝอยที่นำไปฝังกลบได้แน่นยิ่งขึ้น ทำให้ยืดอายุการใช้งานของหลุมขยะให้ยาวนานขึ้น เช่น จาก 10 ปีเป็น 20 ปี

- หลีกเลี่ยงปัญหาการทรุดตัวของกองขยะในบ่อฝังกลบ ฯ อันเป็นผลจากการลดปริมาณอินทรียวัตถุที่ปะปนอยู่กับขยะมูลฝอย



รูปที่ 2.4 กองหมักปกคลุมด้วยวัสดุธรรมชาติ

2.2.4 ขั้นตอนการร่อนขยะ

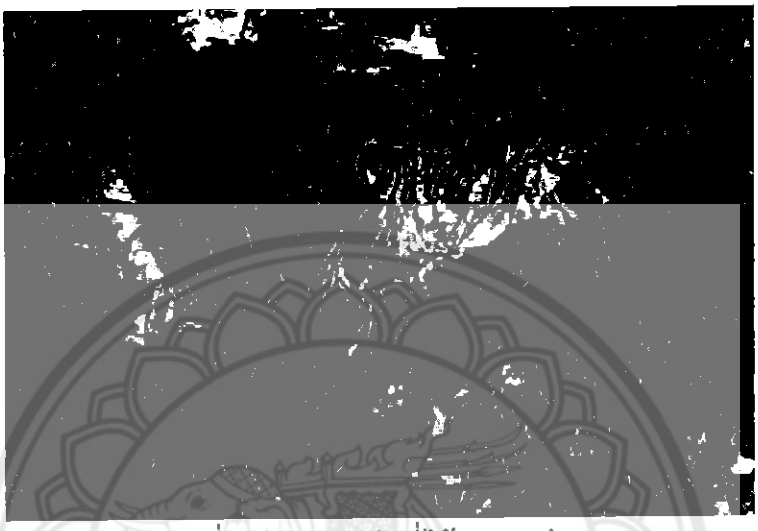
เมื่อหมักขยะครบ 9 เดือนแล้ว ขยะจะถูกนำมาผ่านกระบวนการร่อนด้วยเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน เพื่อคัดแยกขยะขนาดที่แตกต่างกัน โดยเริ่มต้นจะร่อนด้วยตะแกรงลวดขนาด 40 มม. เพื่อคัดแยกขยะที่มีชิ้นส่วนขนาดใหญ่ เช่น ถุงพลาสติก ขวด กระป๋อง เป็นต้น หลังจากนั้นนำมาคัดแยกอีกทีด้วยตะแกรงลวดขนาด 10 มม. เพื่อเอาเศษชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กและดินออก ให้เหลือพวกเศษพลาสติกเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการอื่นหรือฝังกลบต่อไป

รูปที่ 2.5 กระบวนการร่อนขยะ[4]

2.2.5 สิ่งที่ได้จากกรรรมวิธีบำบัดขยะ ด้วยวิธีฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA®

2.2.5.1 ถุงพลาสติก

ถุงพลาสติกที่ผ่านการคัดแยกแล้วสามารถนำไปใช้ในการเผาเพื่อให้พลังงานความร้อนในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานซีเมนต์ โรงงานไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 2.6 ถุงพลาสติกที่ได้จากการร่อน

2.2.5.2 ดิน

ดินหรือเศษอาหารที่ถูกย่อยสลายและผ่านการร่อนด้วยตะแกรงลวดขนาดเล็ก นำไปเป็นปุ๋ยหรือวัสดุปกคลุมกองหมักในสถานที่คัดแยกขยะได้

รูปที่ 2.7 เศษดินและเศษอาหาร

2.2.5.3 ขยะที่สามารถรีไซเคิลได้

ขยะที่สามารถรีไซเคิลได้ เช่น กระป๋อง ขวด จะถูกคัดแยกก่อนแล้วจึงสามารถนำไปขาย ซึ่งสร้างรายได้ให้กับพนักงานที่ทำงานอยู่สถานที่คัดแยก

2.2.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากกรรรมวิธีบำบัดขยะด้วยวิธี ฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA®

2.2.6.1 การนำกลับไปใช้เป็นพลังงานความร้อน

หลังจากขยะมูลฝอยผ่านการบำบัดด้วยกรรมวิธี เชิงกล-ชีวภาพ แล้ว (ประมาณ 9-12 เดือน) ขยะมูลฝอยก็จะถูกนำมาร่อนด้วยเครื่องร่อน วัสดุที่มีน้ำหนักเบาหรือใหญ่ อย่างเช่น พลาสติก ก็จะถูกนำกลับไปเผาใช้เป็นพลังงานความร้อน ซึ่งจะให้ค่าความร้อนสูงกว่า 20,000 KJ/Kg ซึ่งเป็นความร้อนที่สามารถนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในบริเวณใกล้เคียง หรือใช้ภายในโรงงาน ตามเกณฑ์ที่ทางราชการกำหนดไว้

2.2.6.2 การนำกลับมาใช้ประโยชน์ของ วัสดุขนาดเล็ก

ปริมาณของวัสดุส่วนที่มีน้ำหนักมากกว่าที่ยังคงเหลืออยู่เป็นปริมาณมาก และสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีก วัสดุขนาดเล็กดังกล่าวจะถูกแยกออกมาโดยการร่อน หรือเป็นการบำบัดขยะมูลฝอยโดยกรรมวิธีเชิงกลอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นจึงจะสามารถนำวัสดุส่วนนี้ไปใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐในโรงงานผลิตวัสดุก่อสร้างได้

2.2.6.3 ผลดีต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.6.3.1 กรรมวิธีฟาเบอร์-อัมบรา สามารถปรับเปลี่ยนให้เข้ากับสถานการณ์และสภาวะที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น เมื่อมีปริมาณขยะมูลฝอยลดลง

2.2.6.3.2 การระบายอากาศ สำหรับการบำบัดขยะมูลฝอยด้วยกระบวนการทางชีววิทยา จะเกิดขึ้นเองโดยอัตโนมัติ โดยไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกจึงไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.2.6.3.3 ลดการแพร่กระจายของก๊าซมีเทนและการปนเปื้อนของน้ำชะล้างขยะมูลฝอยที่ซึมลงไปใต้ดินได้ 95 %

2.2.6.3.4 ปราศจากสิ่งรวบกวนอื่น เช่น กลิ่นเหม็นจากขยะมูลฝอย นกที่คุ้ยเขี่ยหาเศษอาหารและเศษกระดาษที่ปลิวกระจาย

2.2.6.3.5 ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของเศษวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ อีกอย่างน้อยประมาณ 55% ของขยะมูลฝอยทั้งหมดที่นำมาเข้ากระบวนการ

2.2.6.3.6 ใช้พื้นที่บ่อฝังกลบ ฯ น้อยลง ทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานของบ่อ ฯ ให้ยาวนานขึ้น เนื่องจากขยะมูลฝอยภายหลังการบำบัดด้วยกรรมวิธี ฟาเบอร์-อัมบรา FABER-AMBRA® จะมีปริมาตรลดน้อยลง

2.3 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของขยะ

2.3.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของขยะมูลฝอย คือ สัดส่วนน้ำหนักของขยะมูลฝอยต่อปริมาตรที่ขยะมูลฝอยนั้นบรรจุอยู่ภายในภาชนะต่างๆ กัน ความหนาแน่นปกติ (Bulk Density) ได้แก่ ขยะมูลฝอยที่อยู่ในภาวะปกติ เช่น ขยะมูลฝอยที่บรรจุอยู่ในภาชนะทั่วไป ภาชนะรองรับขยะมูลฝอย ซึ่งอาจจะมีการอัดให้แน่นเพียงเล็กน้อย

อุปกรณ์

1) ภาชนะตวงขยะมูลฝอย ขนาดความจุ 50-100 ลิตร

2) อุปกรณ์ตักขยะมูลฝอย เช่น พลั่ว

3) เครื่องชั่งน้ำหนัก ขนาดไม่น้อยกว่า 60 กิโลกรัม

วิธีการหาความหนาแน่น

1) ชั่งน้ำหนักถังตวงเปล่าแล้วจดบันทึกไว้

2) สุ่มขยะมูลฝอยมาจากกองที่หมักแล้วพร้อมที่จะร่อนมาประมาณ 1 ลบ.ม. คลุกเคล้าขยะมูลฝอยให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

3) ตักขยะมูลฝอยใส่ในภาชนะ ตวงขยะมูลฝอยให้เต็ม

4) ยกภาชนะตวงขยะมูลฝอยให้สูงจากพื้นดินประมาณ 30 ซม. แล้วให้ปล่อยถังตวงลงกระแทกพื้น หากขยะมูลฝอยยุบลงก็ให้ตักขยะมูลฝอยเติมให้เต็มถังตวง

5) เมื่อปล่อยกระแทกพื้นครบ 3 ครั้งแล้ว นำไปชั่งน้ำหนักก็จะทราบน้ำหนักของขยะมูลฝอยรวมกับน้ำหนักถังตวง

6) ทำการตวงตามขั้นตอนข้างต้นหลายๆ ครั้งเพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ย แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าความหนาแน่นต่อไป

การคำนวณ

$$\text{Density} = A / B$$

กำหนดให้

A = น้ำหนักขยะมูลฝอยสุทธิ = น้ำหนักรวมของขยะมูลฝอยและถังตวง – น้ำหนักถังตวงเปล่า

B = ปริมาตรของถังตวง

หน่วยของค่าความหนาแน่น = กิโลกรัมต่อลิตร หรือ ตันต่อลูกบาศก์เมตร

2.3.2 ความชื้น (Moisture content)

ค่าปริมาณความชื้น คือ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในขยะมูลฝอย

ค่าปริมาณของแข็งรวม คือ ประมาณขยะมูลฝอยที่แห้งสนิท

อุปกรณ์

1) เตาอบ (Hot air oven)

2) ถาดโลหะ

3) เครื่องชั่งน้ำหนัก

วิธีการหาค่าความชื้น

1) ชั่งตัวอย่างขยะที่ผ่านกระบวนการหมักมาแล้วก่อนที่จะทำการร่อน

2) ใส่ถาดอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก

3) อบในตู้อบ 75-100 °C เป็นเวลา 3-4 วัน

4) ตัวอย่างขยะหมักที่อบแล้วแห้งสนิท คือ ขยะที่ทำการอบแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก โดยอบจนน้ำหนักของขยะเมื่อชั่งแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ปริมาณความชื้นของขยะมูลฝอย = น้ำหนักของความชื้น ต่อ 1 หน่วยน้ำหนักแห้งหรือน้ำหนักเปียกของขยะในการหาปริมาณความชื้น โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักเปียกของขยะนั้นความชื้นที่ได้จะอยู่ในรูป % ของน้ำหนักขยะเปียกของขยะ และถ้าเทียบกับน้ำหนักแห้งความชื้นที่ได้จะอยู่ในรูป % ของน้ำหนักขยะแห้งเขียนเป็นสมการแสดงได้ดังนี้

(%) = (a - b) / a ×100 % Moisture Content ของน้ำหนักขยะเปียก

(%) = (a - b) / b ×100 % Moisture Content ของน้ำหนักขยะแห้ง

กำหนดให้

a = น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างก่อนอบ

b = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

2.4 วิธีวิเคราะห์ปัญหา

วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาเป็นเครื่องมือที่จะนำไปใช้เพื่อหาสาเหตุของปัญหานั้นๆ เพื่อที่จะได้แก้ปัญหานั้นได้ตรงจุดและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีซึ่งควรจะศึกษาถึงวิธีการและกระบวนการวิเคราะห์ว่าควรจะนำมาวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นของเราหรือไม่ ซึ่งควรศึกษาหลายๆวิธีแล้วเลือกวิธีที่คิดว่าเหมาะสมที่สุดกับการที่จะนำมาวิเคราะห์ปัญหาเพื่อที่เราจะแก้ไขปัญหานั้นๆ

2.4.1 วิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (Fault Tree Analysis : FTA)

วิธีการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (FTA) เป็นวิธีวิเคราะห์ปัญหาจากบนลงล่าง(top - down appartion) ซึ่งเป็นวิธีการที่ซับซ้อนหากเทียบกับวิธีวิเคราะห์สาเหตุอื่น แต่นับว่าเป็นวิธีวิเคราะห์สาเหตุที่มีพลังมากที่สุด เนื่องจากให้ผลการวิเคราะห์ที่ทำให้เห็นความผิดพลาดหรือความล้มเหลวซึ่งถือว่าเป็นการประเมินความเสี่ยงรูปแบบหนึ่ง จุดมุ่งหมายปลายทางของการวิเคราะห์ FTA อยู่ที่การรู้และ

หาทางหลีกเลี่ยงปัญหาต่าง ๆ ที่อาจนำไปสู่ความล้มเหลว การวิเคราะห์ FTA ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในกิจการด้านความปลอดภัย เช่น วิศวกรรมอวกาศ นิวเคลียร์ เป็นต้น ต่อมา Witkin และ Stephen เป็นคนแรกที่นำมาประยุกต์ใช้ทางการศึกษา เช่น การวางแผน การจัดการ และการประเมิน [5]

2.4.1.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภาพ ต้นไม้แห่งความผิดพลาด

2.4.1.1.1 สัญลักษณ์ของเหตุการณ์ (Event Symbols)

จำแนกเป็นสัญลักษณ์เหตุการณ์เบื้องต้น (Primary Event Symbols) และสัญลักษณ์ของเหตุการณ์คั่นกลาง (Intermediate Event Symbols) ดังนี้

2.4.1.1.1.1 สัญลักษณ์ของเหตุการณ์เบื้องต้น ประกอบด้วย 3 สัญลักษณ์ ได้แก่

- เหตุการณ์พื้นฐาน (Basic Event) แสดงด้วยสัญลักษณ์รูปวงกลม (Circle : O) บ่งบอกถึงการเป็นสาเหตุที่ทุกคนสามารถรับรู้และเข้าใจได้โดยไม่ต้องการการพัฒนาหรือการวิเคราะห์ต่อไป อาจจะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่สาเหตุนั้น ๆ มีความชัดเจนเพียงพอ จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยทัศน์วิสัยในการพัฒนาหรือการวิเคราะห์ต่อหรือเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติมักจะปรากฏเป็นสาเหตุล่างสุดของแผนภาพ Fault Tree Analysis

- เหตุการณ์ที่ยังไม่พัฒนา (Undeveloped Event) แสดงด้วยสัญลักษณ์รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (Rhombus : ◇) บ่งบอกถึงการเป็นสาเหตุที่ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ต่อไปได้เนื่องจากสารสนเทศที่ใช้ในการวิเคราะห์มีจำกัด หรือเป็นสาเหตุที่มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยหรืออาจจะเนื่องมาจากการมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ด้านอื่น ๆ ซึ่งไม่ใช่เป็นผลมาจากการวิเคราะห์ที่เพียงพอแล้ว มักจะเป็นสาเหตุที่ปรากฏอยู่ส่วนล่างสุดในแผนภาพ Fault Tree Analysis

- เหตุการณ์ภายนอก (External Event) แสดงด้วยสัญลักษณ์รูปบ้าน (House : ⌂) บ่งบอกถึงการเป็นสาเหตุที่คาดว่าอาจจะเกิดขึ้นในระบบ แต่เป็นเหตุการณ์ที่ไม่ใช่ความล้มเหลว (Failure Event) หรือปัญหา และไม่มีความสำคัญมากนัก แสดงสัญลักษณ์รูปบ้าน

2.4.1.1.1.2 สัญลักษณ์ของเหตุการณ์คั่นกลาง คือ เหตุการณ์ที่อยู่ระหว่างปัญหาหลักกับสาเหตุ แสดงด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangle ▭) ซึ่งบ่งบอกถึงสาเหตุที่ต้องการการพัฒนาหรือการวิเคราะห์ต่อไป เป็นสัญลักษณ์ที่พบมากที่สุดในแผนภาพ Fault Tree Analysis

2.4.1.1.2 สัญลักษณ์ของประตูเชิงตรรกะ (Logic Gate Symbols)

มีสัญลักษณ์ที่ใช้มากอยู่ 2 สัญลักษณ์ ได้แก่

- ประตูเชิงตรรกะ "และ" (And Gate : ⌓) เป็นประตูซึ่งแสดงให้เห็นว่าสาเหตุผลลัพธ์จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อสาเหตุนำเข้าทุก ๆ สาเหตุเกิดขึ้นร่วมกัน

- ประตูเชิงตรรกะ "หรือ" (Or Gate หรือ Inclusive or Gate : ⌓) เป็นประตูเชิงตรรกะซึ่งแสดงให้เห็นว่า สาเหตุผลลัพธ์อาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุนำเข้าอย่างน้อยที่สุด 1 สาเหตุ

2.4.1.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์แบบ ต้นไม้แห่งความผิดพลาด

2.4.1.2.1 เลือกเหตุการณ์จำลองที่อาจเกิดขึ้นได้ เป็นเหตุการณ์เริ่มต้น (Top Event)

2.4.1.2.2 พิจารณาโอกาสเกิดปัญหาดังกล่าว ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ย่อยเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งเท่านั้น จะใช้สัญลักษณ์ " หรือ (Or) "

2.4.1.2.3 กรณีเกิดจากเหตุการณ์ย่อยหลายเหตุการณ์พร้อมกันถึงจะเกิดเหตุจำลองจะใช้สัญลักษณ์ " และ (And) "

2.4.1.2.4 ในระดับเหตุการณ์ย่อยดังกล่าว ก็อาจเกิดเหตุการณ์ลงไปอีก ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นได้จากแต่ละเหตุการณ์พร้อมกันก็จะใช้สัญลักษณ์ " " แล้วแต่กรณี

2.4.1.2.5 สุดท้ายเมื่อแตกเหตุการณ์ย่อยนี้ลงไปอีกก็จะพบว่าสุดท้ายของเหตุการณ์ย่อยระดับล่างสุดจะเป็น เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นปกติทั่วไป เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไม่ได้ อาจเนื่องจากไม่ทราบ , ไม่มีข้อมูล เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจากภายนอก เช่น จากธรรมชาติ ฟ้าร้อง ฟ้าผ่า เป็นต้น

2.4.1.2.6 กำหนดความสำคัญของสาเหตุแต่ละสาเหตุ โดยการกำหนดเป็นค่าความน่าจะเป็น (Probability) ในการเกิดสาเหตุ เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดความสำคัญและใช้ในการประเมินแผนภาพ Fault Tree Analysis ต่อไป

2.4.1.2.7 การประเมินแผนภาพ Fault Tree Analysis โดยการกำหนดเส้นทางวิกฤติที่เรียกว่า Strategic Path หรือ Critical Path เส้นทางวิกฤติ หมายถึง ลำดับขั้นของการเกิดสาเหตุที่มีค่าความน่าจะเป็นสูงสุด ในการทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ การประเมินแผนภาพ Fault Tree Analysis จึงเริ่มจากการกำหนดเส้นทางวิกฤติ เมื่อกำหนดเส้นทางวิกฤติได้แล้ว จึงให้ข้อเสนอแนะและสารสนเทศที่เป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจพิจารณาหาแนวทางในการแก้ไขพัฒนา โดยพิจารณาสาเหตุจากเส้นทางวิกฤติร่วมกับค่าความสำคัญ อื่น ๆ ที่กำหนดไว้

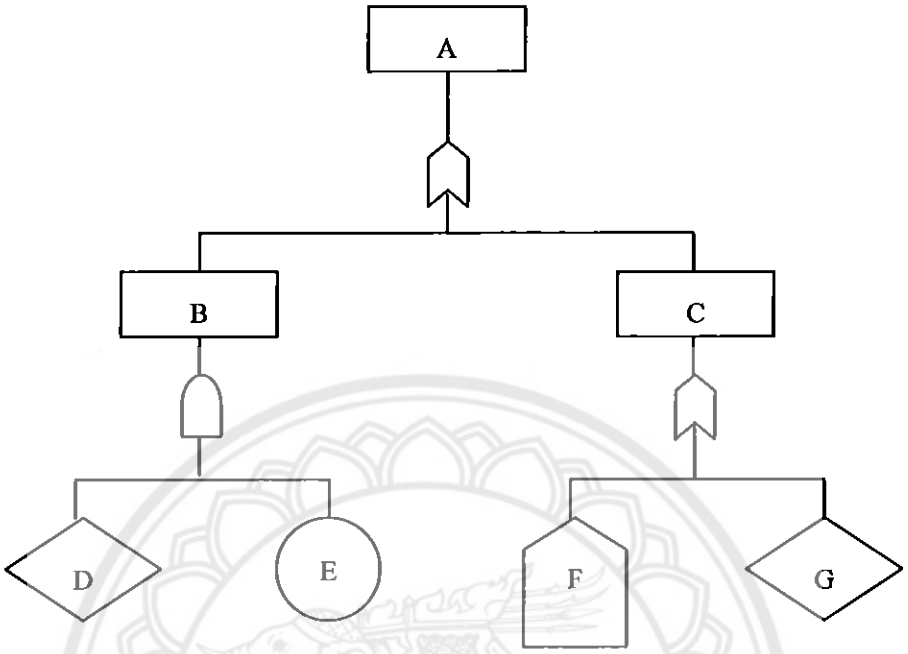
2.4.1.3 ตัวอย่างแผนภาพ ต้นไม้แห่งความผิดพลาด

จากตัวอย่างแผนภาพ รูปที่ 2.8 แสดงถึง แผนภาพ Fault Tree Analysis ซึ่งมี 2 กิ่ง และ 2 ระดับ สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ เหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ A มีสาเหตุมาจากสาเหตุ B หรือสาเหตุ C หรือทั้ง 2 สาเหตุรวมกัน ซึ่งสาเหตุ B มีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ D และ E เกิดขึ้นพร้อมกัน จะนำไปสู่การเกิดเหตุการณ์ B ส่วนสาเหตุ C มีการกระจายผ่านประตูตรรกะหรือหมายความว่า เมื่อเหตุการณ์ F หรือ G หรือทั้งสองสาเหตุ เกิดขึ้นพร้อมกันจะทำให้เกิดเหตุการณ์ C

2.4.1.4 ข้อดีของ ต้นไม้แห่งความผิดพลาด

เป็นเทคนิคที่มีพลังในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความต้องการที่จำเป็นทั้งของปัจจุบันและความต้องการที่จำเป็นที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งสาเหตุที่เคยเกิดมาแล้ว และที่คาดว่าจะเกิดซึ่งจะนำไปสู่เหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เทคนิคนี้ช่วยทำให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถใช้เป็นเครื่องมือการหลีกเลี่ยงปัญหาที่คาดว่าจะเกิด หรือเป็นเครื่องมือที่ทำให้การดำเนินงานประสบ

ความสำเร็จด้วย ด้วยการหาวิธีการที่จะช่วยขจัดปัญหาที่คาดว่าจะเกิดออกไป ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ด้านบนหรือเหตุการณ์เริ่มต้นสามารถคำนวณได้ ถ้ารู้ค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ด้านล่าง



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างแผนภาพ Fault Tree Analysis

2.4.1.5 ข้อเสียต้นไม้แห่งความผิดพลาด

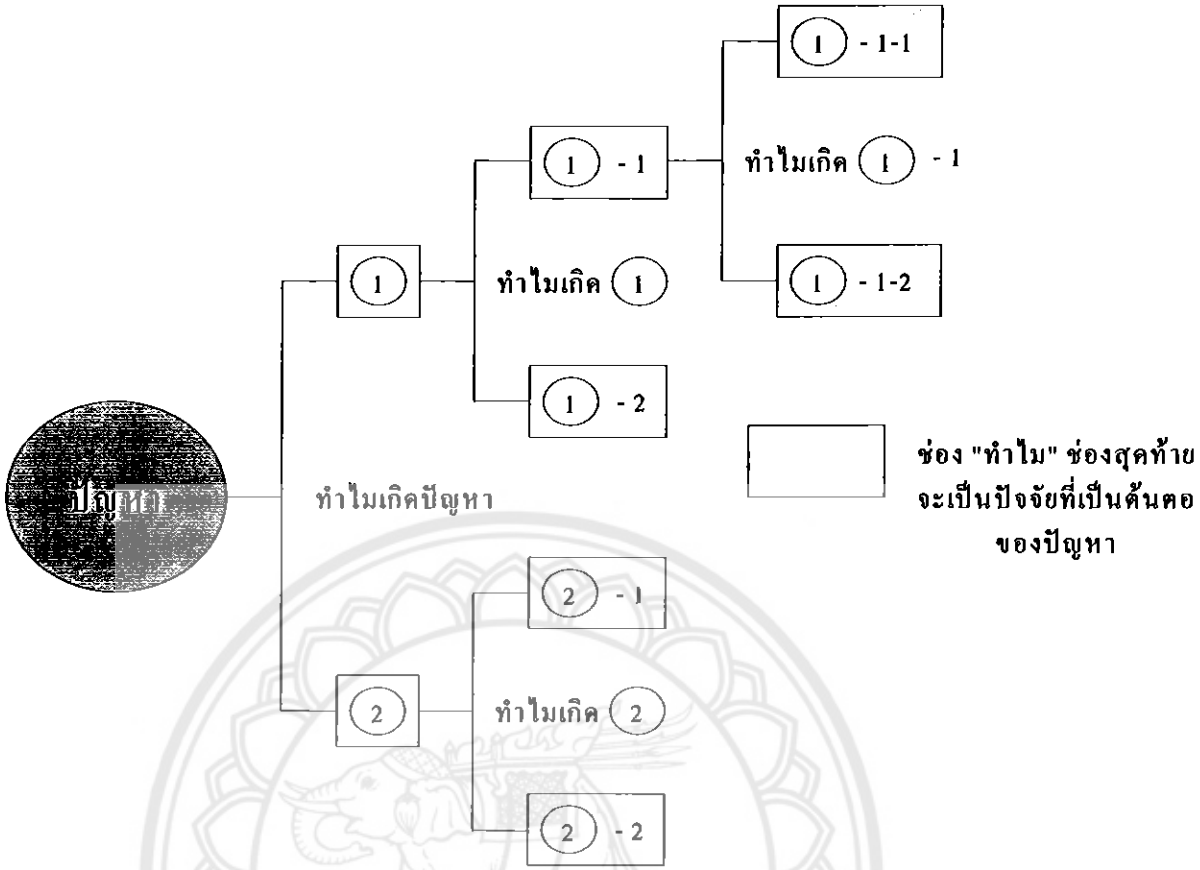
ในระบบใหญ่ ๆ จำนวนเหตุการณ์ที่นำไปสู่เหตุการณ์เริ่มต้น อาจมีเป็นจำนวนมากการสร้างต้นไม้แห่งความผิดพลาดที่สมบูรณ์ ต้องใช้ทักษะและเวลาในการวิเคราะห์มาก จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล แต่โปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์ยังไม่ค่อยแพร่หลาย นอกจากนั้น การกำหนดค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ในบริบททางการศึกษาจะหาข้อมูลเชิงประจักษ์ได้ยาก ไม่สามารถระบุได้ชัดว่าโอกาสของการเกิดเหตุการณ์หรือสาเหตุที่นำไปสู่ความล้มเหลวมีค่าเท่าใด มักใช้ความรู้สึกของคนที่เกี่ยวข้องตัดสินค่าที่ได้ จึงมีความไม่แน่นอนอยู่มาก

2.4.2 วิธีวิเคราะห์แบบ Why-Why Analysis

Why-Why Analysis เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ มีขั้นมีตอน ไม่เกิดการตกหล่น [6]

2.4.2.1 วิธีการคิดของ Why-Why Analysis

จากรูปที่ 2.9 เมื่อเรามีปัญหาอย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้น เราจะมาคิดกันดูว่าอะไรเป็นปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้มันเกิดโดยการตั้งคำถามว่า "ทำไม" โดยตั้งคำถามไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ปัจจัยที่เป็นต้นตอของปัญหาในช่องสุดท้าย



รูปที่ 2.9 วิธีการคิดของ Why-Why Analysis

ปัจจัยที่อยู่หลังสุด จะต้องเป็นปัจจัยที่สามารถพลิกกลับกลายเป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพ เป็นมาตรการป้องกันไม่ให้ปัญหาเกิดขึ้นซ้ำอีก

ก่อนการวิเคราะห์ด้วย Why-Why Analysis

2.4.2.1.1 ตรวจสอบปัญหาให้ชัดเจน โดยคำนึงถึงข้อเท็จจริง ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วย Why-Why Analysis จะต้องไปตรวจสอบสถานที่จริง และดูสภาพของจริง อันเป็นที่มาของปัญหา เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับรายละเอียดของปัญหาให้ถูกต้องชัดเจน ถ้าไม่ตรวจสอบให้ดี จะทำให้การวิเคราะห์กินวงกว้างเกินไป และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากเกินไป ถึงแม้ได้ผลการวิเคราะห์ออกมาก็ตาม มาตรการที่ตามมาจะมีมากเกินกว่าที่จะนำมาปฏิบัติได้

2.3.2.1.2 ทำความเข้าใจในโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนที่เป็นปัญหา จะต้องทำการแจกแจงส่วนงานที่เป็นปัญหา ให้ออกมาเป็นไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ของชิ้นส่วน, แสดงความสัมพันธ์ของหน้าที่, แสดงค่าที่ควรจะเป็นของชิ้นส่วนนั้นๆ กับสภาพที่ใช้งานจริง หรือกล่าวได้ว่าเป็นการเปรียบเทียบ basic condition กับ working condition ฯลฯ

ในกรณีของงานทั่ว ๆ ไป ให้เขียนภาพขั้นตอนหรือการไหลของงาน และทำความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ของงานนั้น ๆ

2.4.2.2 วิธีการมองปัญหาของ Why-Why Analysis

2.4.2.2.1 การมองจากสภาพที่ควรจะเป็น

แนวทางแรกนั้นเป็นการค้นหาสาเหตุโดยการนึกภาพขึ้นมาในหัวว่าการจะทำให้ดีนั้น จะต้องมีรูปแบบ ลักษณะ และเงื่อนไขอย่างไร การมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็นคือ การเปรียบเทียบวิธีการของตนเองกับสิ่งที่เป็นมาตรฐานหรือเป็นที่ยอมรับของคนทั่วไป

การมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็น เป็นการกำหนดแนวทางในการค้นหาสาเหตุของปัญหาโดยการเปรียบเทียบปัญหาที่เกิดกับสภาพที่ควรจะเป็น หลังจากกำหนดแนวทางได้แล้วก็จะตั้งคำถามว่า "ทำไม" ไปเรื่อยๆ เพื่อค้นหาปัจจัยหรือสาเหตุออกมา

2.4.2.2.2 การมองจากหลักเกณฑ์หรือทฤษฎี

เป็นการมองปัญหาจากการทำความเข้าใจกับหลักเกณฑ์หรือจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเครื่องจักรนั้น ๆ

การมองปัญหาทั้งสองแบบมีข้อแตกต่างหรือข้อควรระมัดระวังดังนี้

1. ในกรณีที่ปัญหาหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเข้าใจได้ไม่ยากนัก หรือมีต้นเหตุของปัญหาเพียงหนึ่งสาเหตุ ควรใช้วิธีการมองปัญหาจากสภาพที่ควรจะเป็น

2. ในกรณีที่ปัญหาหรือปรากฏการณ์ที่สนใจ เกี่ยวข้องกับกลไกที่ค่อนข้างเข้าใจยาก หรือมีต้นเหตุของปัญหาหลายสาเหตุ ควรเลือกใช้วิธีการมองปัญหาจากหลักเกณฑ์หรือทฤษฎี

หากมีความเข้าใจมากพอแล้วอาจจะใช้ทั้งสองวิธีพร้อมๆ กันก็ได้

2.4.2.3 ข้อควรระวังในการทำ Why-Why Analysis

2.4.2.3.1 ข้อความที่ใช้เขียนตรงช่อง "ปัญหา" และช่อง "ทำไม" ต้องให้สั้นและกระชับ

2.4.2.3.2 หลังจากที่ทำ Why-Why Analysis แล้วจะต้องยืนยันความถูกต้องตามหลักตรรกวิทยาโดยอ่านย้อนจาก "ทำไม" ช่องสุดท้ายกลับมายังช่อง "ปัญหา"

2.4.2.3.3 ให้ถามว่า "ทำไม" ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบปัจจัยหรือสาเหตุที่สามารถเชื่อมโยงไปสู่การวางมาตรการป้องกันไม่ให้ปัญหาเกิดขึ้นซ้ำอีก

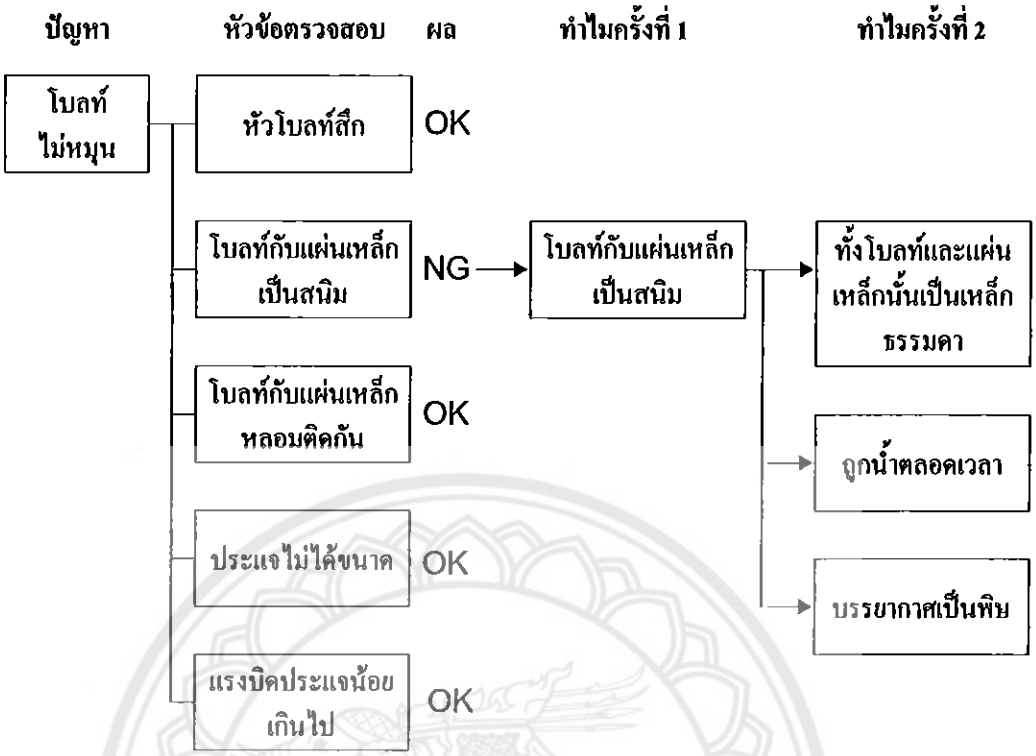
2.4.2.3.4 ให้เขียนเฉพาะส่วนที่คิดว่าคลาดเคลื่อนไปจากสภาพปกติ (ผิดปกติ) เท่านั้น

2.4.2.3.5 ให้หลีกเลี่ยงการค้นหาสาเหตุที่มาจากสภาพจิตใจของคน พยายามวิเคราะห์ไปทางด้านเครื่องจักรอุปกรณ์หรือวิธีการจัดการมากกว่า

2.4.2.3.6 อย่าใช้คำว่า "ไม่ดี" ในประโยคสำหรับช่อง "ทำไม"

2.4.2.4 ตัวอย่างการใช้ Why-Why Analysis วิเคราะห์ปัญหา

2.4.2.4.1 ปัญหาโบลท์ไม่หมุน



2.4.2.5 ข้อดี Why-Why Analysis

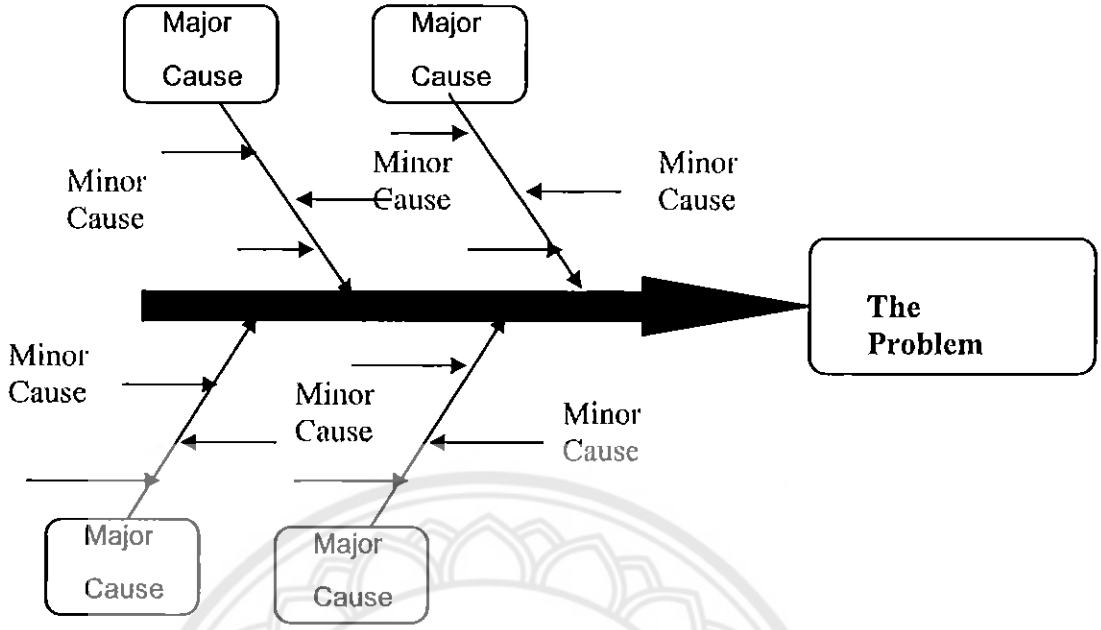
เป็นการวิเคราะห์ ที่หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ มีขั้นตอน ปัจจัยหลังสุดในการวิเคราะห์ จะเป็นมาตรการป้องกันเพื่อไม่ให้ปัญหานั้นเกิดขึ้นซ้ำอีก

2.4.2.6 ข้อเสีย Why-Why Analysis

ต้องเข้าใจรายละเอียดของปัญหาให้ถูกต้องและชัดเจน ถ้าตรวจสอบไม่ดีจะทำให้เกิดการวิเคราะห์ในวงที่กว้าง มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากเกินไป ถึงแม้ผลการวิเคราะห์จะออกมาก็ตาม มาตรการจะมีมากเกินกว่าจะนำไปปฏิบัติได้

2.4.3 แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram)

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือ แผนภาพของอิชิกาว่า (Ishikawa Diagram) เป็น แผนภาพที่แสดงสาเหตุ (Cause) และผล (Effect) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของคุณภาพกับสาเหตุโดยการดึงเอาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาเรียบเรียงสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพ มีประโยชน์ในการใช้เป็นเครื่องมือในการระดมสมองจากสมาชิกภายในกลุ่ม ทำให้เห็นปัญหาอย่างเป็นระบบและทราบสาเหตุของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ได้นั้นจะละเอียดลึกซึ้งและมีขั้นตอนตามเหตุตามผล สะดวกที่จะนำสาเหตุนั้นๆไปพิจารณาแก้ไข อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆได้มากมาย ช่วยชี้นำหรือช่วยในการอภิปราย รวบรวมประเด็นในการอภิปรายให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.10 แผนภูมิก้างปลา

การใช้แผนภูมิก้างปลาต้องอาศัยการระดมความคิดจากบุคคลหลาย ๆฝ่าย ถือเป็นเทคนิคหนึ่งของการระดมความคิด (Brainstorming)

การระดมความคิดแบบใช้แผนภูมิก้างปลาถึงแม้จะให้ผลดี แต่ก็ทำได้ยากเพราะการเขียนก้างปลาให้ถูกต้องและครอบคลุมสาเหตุของปัญหาให้กว้างขวางนั้น จำเป็นต้องอาศัยผู้นำกลุ่มหรือประธานในการระดมความคิดที่ดีมีความสามารถและมีประสบการณ์มาก

2.4.3.1 ข้อดีของวิธีคิดแบบแผนภูมิก้างปลา

2.4.3.1.1 ไม่ต้องเสียเวลามาแยกความคิดต่างๆ ที่กระจัดกระจายเหมือนการระดมความคิดแบบธรรมดา เพราะก้างปลาจะเป็นตัวกำหนดช่วยแยกความคิดพวกเดียวกันไว้ด้วยกันให้เสร็จเลย

2.4.3.1.2 ได้ข้อเสนอแนะหรือความคิดเห็นที่ละเอียดลึกซึ้งกว่าการระดมความคิดแบบธรรมดา เพราะนอกจากทราบสาเหตุใหญ่แล้วยังทราบสาเหตุย่อย และสาเหตุย่อยๆอีก ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ในการแก้ปัญหามาก เพราะทำให้ทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา จึงทำให้ทราบวิธีการแก้ปัญหาได้ง่ายขึ้น

2.4.3.2 ข้อเสียของวิธีคิดแบบแผนภูมิก้างปลา

2.4.3.2.1 ความคิดไม่ค่อยเป็นอิสระมากนัก เพราะมีก้างใหญ่เป็นตัวกำหนดให้ค่อยๆ คิดไป ทีละก้าง ซึ่งผิดกับการระดมความคิดแบบธรรมดาที่คิดอย่างอิสระจริงๆ

2.4.3.2.2 ต้องอาศัยความสามารถสูง จึงจะใช้ก้างปลาระดมความคิดให้ได้ผลอย่างดี เช่น ต้องสามารถเขียนก้างใหญ่หรือสาเหตุใหญ่ของปัญหาได้ก่อนจึงจะสามารถคิดก้างย่อยได้

หลักเกณฑ์ทั่วๆไป เกี่ยวกับการระดมความคิดก็เหมือนกับการระดมความคิดแบบธรรมดา เช่น ห้ามการวิจารณ์ผู้อื่น สมาชิกทุกคนต้องช่วยกันแสดงออกความคิดเห็นให้มากที่สุด ฯลฯ

2.4.3.3 ข้อควรระวังในการเขียนก้างปลา

2.4.3.3.1 แสดงลูกศรทุกอันให้ชัดเจน

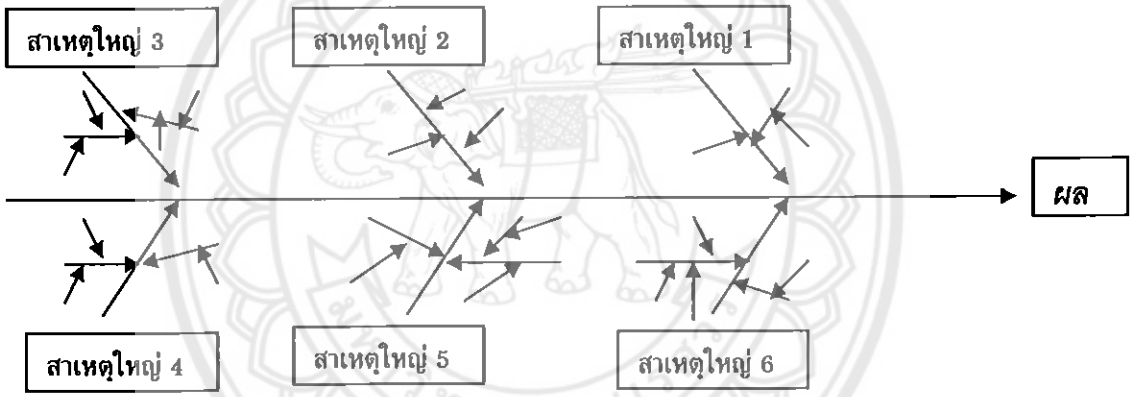
2.4.3.3.2 ผล (หัวปลา) ต้องมีความหมายชัดเจน

2.4.3.3.3 สาเหตุและผลต้องสัมพันธ์กัน

2.4.3.3.4 สาเหตุใหญ่ (ก้างใหญ่) แต่ละอันนั้นจะต้องเป็นอิสระไม่ขึ้นแก่กัน

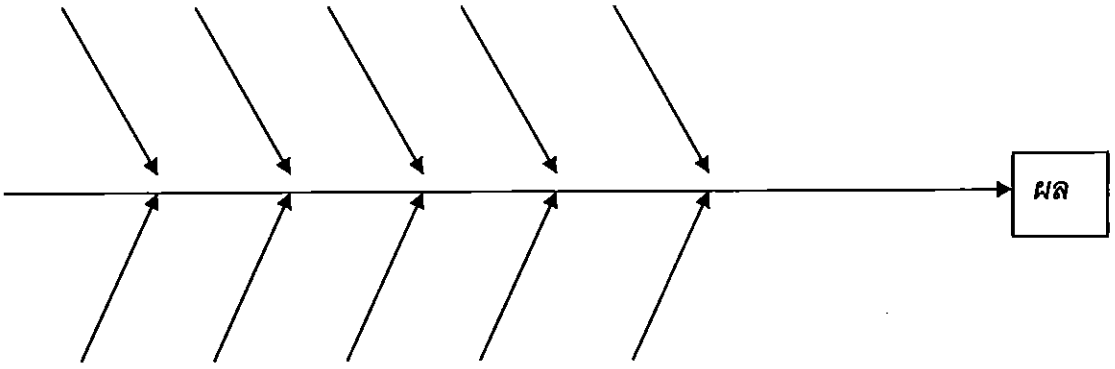
2.4.3.3.5 จะต้องระดมความคิดจากก้างใหญ่ → ก้างย่อย → ก้างย่อยๆ → เรื่อยๆ ไปให้ละเอียดที่สุด เพื่อจะได้ทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

ลักษณะก้างปลาที่ดี คือ มีก้างใหญ่และก้างย่อยๆ มากมาย



รูปที่ 2.11 แสดงแผนภูมิก้างปลาที่ดี

ลักษณะก้างปลาที่ไม่ดี คือมีแต่สาเหตุใหญ่ ไม่มีสาเหตุย่อย



รูปที่ 2.12 แสดงแผนภูมิก้างปลาที่ไม่ดี

2.4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Modes and Effects Analysis : FMEA)

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เป็นกระบวนการวิเคราะห์ปัญหาที่มีมุมมองจากล่างขึ้นบน (bottom up) โดยพิจารณาจากการขัดข้องของชิ้นส่วนย่อยที่อาจมีผลกระทบต่อระบบใหญ่ในลักษณะที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างกันแบบต่อเนื่อง ซึ่งนำมาใช้ในการบริหารความเสี่ยง การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยตรวจหาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นและป้องกันข้อบกพร่องดังกล่าวมิให้เกิดขึ้น ทำให้สามารถคาดการณ์ปัญหาและมีระบบในการจัดอันดับ หรือจัดความสำคัญก่อนหลัง ดังนั้นจึงสามารถดำเนินการกับข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุดได้ โดยมักจะนำข้อมูลในอดีตมาเป็นตัวช่วยวิเคราะห์ เป้าหมายหลักของ FMEA คือการสร้างระบบในการป้องกันหรือลดโอกาสการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง กำจัดสาเหตุของข้อบกพร่อง รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับข้อบกพร่องให้พบก่อนถูกส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป

2.4.4.1 หลักการ

2.4.4.1.1 ประเมินสภาพการขัดข้องที่เป็นไปได้ (Potential failure modes) ของชิ้นส่วน หรือกระบวนการ

2.4.4.1.2 ผลกระทบ (Effect on outcomes) and/or product performance

2.4.4.1.3 สภาพขัดข้องที่ได้รับการระบุต้องสามารถแยกแยะ ลดและควบคุมได้ (Risk reduction)

2.4.4.1.4 ต้องเรียนรู้ครอบคลุมทั้งกระบวนการ (Process understanding)

2.4.4.1.5 สรุปสภาพขัดข้องที่สำคัญ ปัจจัยที่มีผลกระทบหรือเป็นสาเหตุทำให้เกิดสภาพขัดข้อง

2.4.4.2 การพิจารณาแยกแยะคุณลักษณะต่างๆ ของกระบวนการ/ชิ้นส่วนอุปกรณ์

2.4.4.2.1 ประเมินค่าความรุนแรงของข้อขัดข้อง (Severity of Failures: S)

เป็นผลกระทบที่เกิดจากการขัดข้อง ซึ่งอาจทำให้สูญเสียลูกค้า ส่งผลให้เกิดความรู้สึกทางลบต่อลูกค้า ผู้ปฏิบัติงานได้รับบาดเจ็บ จนถึงเสียชีวิต

2.4.4.2.2 ประเมินความน่าจะเป็นของโอกาส (Probability of Occurrences) การเกิดข้อผิดพลาด ความถี่ของปัญหา (Occurrence: O)

เป็นการศึกษาความเชื่อมั่นตามหลักสถิติของการเกิดเหตุการณ์ที่ผิดพลาด โดยใช้ข้อมูลในอดีตแปลงเป็นสารสนเทศของแนวโน้มการเกิด

2.4.4.2.3 ประเมินโอกาสที่จะสามารถสืบค้นหรือตรวจสอบข้อผิดพลาดได้ก่อนที่จะเกิดความเสียหายแก่ระบบงานโอกาสการตรวจจับ (Detection: D)

2.4.4.3 การจัดลำดับความสำคัญ

ความสามารถในการตรวจจับปัญหาก่อนที่จะเกิดผลกระทบต่อระบบ โดยการป้องกันปัญหา โดย RPN = ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญก่อนและหลังของปัญหา (Risk Priority Number)

$$RPN = S \times O \times D$$

S = ความรุนแรงของปัญหา (Severity) S มีค่าตั้งแต่ 1-4

O = ความถี่ของปัญหา (Occurrence หรือ Frequency) O มีค่าตั้งแต่ 1-4

D = ความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหา (Detection) D มีค่าตั้งแต่ 1-4

เป้าหมายให้จัดลำดับความสำคัญของ RPN (Risk Priority Number) ที่มีค่าเรียงจากมากที่สุดไปหาค่าน้อยที่สุด

2.4.4.4 ตัวอย่างการใช้ FMEA วิเคราะห์ปัญหา

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการใช้ FMEA วิเคราะห์ปัญหาการชำรุดของ แปรงถ่าน, ลูกปืน

ชิ้นส่วน - อะไหล่ที่ชำรุด	สภาพการขัดข้องที่เป็นไปได้	ผลกระทบที่เป็นไปได้	S	สาเหตุขัดข้องที่เป็นไปได้	O	สถานะป้องกัน		D	RPN
						การป้องกัน	การตรวจสอบ		
แปรงถ่าน	มอเตอร์ไม่ทำงานหรือทำงานไม่สม่ำเสมอ	มอเตอร์ทำงานบ้างไม่ทำงานบ้าง	3	แปรงถ่านสึกหรอ	3	สำรองแปรงถ่าน	ตรวจสอบตามระยะเวลาทุก 6 เดือน	2	18
ลูกปืน	มอเตอร์มีเสียงดังมอเตอร์อืด	ความเร็วลดลงเครื่องสั่นขณะทำงาน	2	ลูกปืนสึกใส่หลอดไม่ balance	2	หล่อลื่น	ตรวจสอบตามระยะเวลาทุก 1 ปี	3	12

S คือ ความรุนแรงของข้อขัดข้อง (ค่า 1 – 4 น้อย - มาก)

คะแนน 1 ไม่มีผลกระทบต่อระบบ

คะแนน 2 หน่วยรองสูญเสียหน้าที่การทำงาน ซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญไม่มาก

คะแนน 3 ระบบหรือหน่วยหลักสูญเสียหน้าที่การทำงานหลัก

คะแนน 4 มีโอกาสถึงขั้นเสียชีวิต หรือได้รับบาดเจ็บ ขั้นวิกฤต มีผลกระทบต่อระบบผลกระทบต่อหน่วยงานอื่นๆ

O คือ ความเสี่ยงของปัญหา (ค่า 1-4 น้อย - มาก)

คะแนน 1 ไม่มีความเสี่ยงเลย

คะแนน 2 มีความเสี่ยงน้อย หน่วยรองอาจจะสูญเสียหน้าที่การทำงานซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญไม่มาก

คะแนน 3 มีความเสี่ยงปานกลาง อาจทำให้ระบบหรือหน่วยหลักสูญเสียหน้าที่การทำงานหลัก

คะแนน 4 มีความเสี่ยงมาก ถึงขั้นวิกฤต มีผลกระทบต่อระบบอื่นๆ หรือหน่วยงานอื่นๆ

D คือ ความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหา (ค่า 1-4 ง่าย - ยาก)

คะแนน 1 สามารถแก้ไขได้ง่าย ไม่ต้องใช้อะไหล่

คะแนน 2 สามารถแก้ไขได้เอง อาจต้องการใช้อะไหล่ที่สามารถจัดหาหรือรอได้

คะแนน 3 สามารถแก้ไขได้เอง แต่ต้องใช้อะไหล่เฉพาะทาง หรืออะไหล่ราคาแพง

คะแนน 4 ไม่สามารถแก้ไขได้เลย ไม่มีอะไหล่เปลี่ยน หรือต้องส่งซ่อมบริษัท

ค่า RPN = S × O ×D เรียงลำดับค่า RPN จากนั้นวิเคราะห์ เลือกทำตาม RPN จากมากไปน้อย

2.4.4.5 ข้อดี การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

เป็นการวิเคราะห์ปัญหา โดยการสร้างระบบในการป้องกันหรือลดโอกาสการเกิดลักษณะของข้อบกพร่อง กำจัดเหตุการณ์ของข้อบกพร่อง เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบจับข้อบกพร่อง ทำให้สามารถคาดการณ์ปัญหาที่จะเกิดขึ้น ที่เกิดจากชิ้นส่วนย่อยที่อาจมีผลกระทบต่อระบบใหญ่ในลักษณะที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันแบบต่อเนื่อง

2.4.4.6 ข้อเสีย การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

ต้องแก้ไขจากจุดเริ่มต้นที่เป็นชิ้นส่วนย่อยของปัญหา ในบางปัญหาที่เกิดขึ้นชิ้นส่วนย่อยแรกอาจไม่ใช้จุดเริ่มต้นของปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจทำให้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นไม่ถูกจุด จึงทำให้เกิดการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดได้

2.5 สรุปวิธีวิเคราะห์ปัญหา

จากการศึกษาพบว่าวิธีที่ 1 คือวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (Fault Tree Analysis : FTA) เหมาะสมที่นำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องร่อนขยะ เพราะเป็นวิธีที่ใช้แล้วมีประสิทธิภาพที่จะเข้าถึงสาเหตุของปัญหาได้ดีและสามารถศึกษาถึงกระบวนการและวิธีการใช้ได้เข้าใจง่ายกว่าวิธีอื่น ซึ่งในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องร่อนขยะนี้จะใช้ "วิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (Fault Tree Analysis : FTA)" เป็นเครื่องมือในการใช้วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องร่อนขยะ

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีวิเคราะห์ปัญหา 4 แบบ

วิธี	ข้อดี	ข้อเสีย
FTA	เทคนิคนี้ช่วยทำให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถใช้เป็นเครื่องมือการหลีกเลี่ยงปัญหาที่คาดว่าจะเกิดด้วยการหาวิธีการที่จะช่วยขจัดปัญหาที่คาดว่าจะเกิดออกไป	ต้องใช้ทักษะและเวลาในการวิเคราะห์มาก การกำหนดค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ในบริบททางการศึกษาจะหาข้อมูลเชิงประจักษ์ได้ยาก
วิธี	**ข้อดี**	**ข้อเสีย**
Why-Why Analysis	เป็นการวิเคราะห์ ที่หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ มีขั้นตอน ปัจจัยหลังสุดในการวิเคราะห์จะเป็นมาตรการป้องกันเพื่อไม่ให้ปัญหานั้นเกิดขึ้นซ้ำอีก	ต้องเข้าใจรายละเอียดของปัญหาให้ถูกต้องและชัดเจน ถ้าตรวจสอบไม่ดีจะทำให้เกิดการวิเคราะห์ในวงที่กว้าง มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากเกินไป
Fish Bone Diagram	ได้ข้อเสนอแนะหรือความคิดเห็นที่ละเอียดลึกซึ้งกว่าการระดมความคิดแบบธรรมดา	ความคิดไม่ค่อยเป็นอิสระมากนัก ต้องอาศัยความสามารถสูง จึงจะใช้ก้างปลาระดมความคิดให้ได้ผลอย่างดี
FMEA	การสร้างระบบในการป้องกันหรือลดโอกาสการเกิดลักษณะของข้อบกพร่อง กำจัดเหตุการณ์ของข้อบกพร่อง เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบจับข้อบกพร่อง	ในบางปัญหาที่เกิดขึ้นชิ้นส่วนย่อยแรกอาจไม่ใช้จุดเริ่มต้นของปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจทำให้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นไม่ถูกจุด จึงทำให้เกิดการวิเคราะห์ที่ผิดพลาดได้

จากข้อจำกัดในการดำเนินงาน จึงใช้ FTA เพื่อวิเคราะห์หาปัญหาที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบหลักของเครื่องร่อนขยะเท่านั้น ความน่าจะเป็นหรือลำดับความสำคัญของปัญหา อยู่นอกเหนือขอบเขตการศึกษาในโครงงานนี้

บทที่ 3
ข้อมูลจากบ่อบำบัดขยะเทศบาลนครพิษณุโลก

ผู้ดำเนินโครงงานได้เข้าไปเก็บข้อมูลเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุนที่มีการใช้งานอยู่ที่โครงการบ่อบำบัดขยะของเทศบาลนครพิษณุโลก ณ ตำบลบึงกอก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก โดยเข้าไปประมาณ 1- 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2551 ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2551 ในเดือนสิงหาคมเข้าไปเก็บข้อมูลทางกายภาพของเครื่องร่อนในขณะที่เครื่องไม่ได้ทำงาน และสอบถามปัญหาจากผู้ที่ดูแลรับผิดชอบเครื่องร่อนขยะ ในเดือนพฤศจิกายนได้ทำการเก็บข้อมูลขณะที่เครื่องทำงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีต้นไม้แห่งความผิดพลาดเพื่อหาสาเหตุและแนวทางแก้ไขต่อไป

3.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน

เครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุนนั้นสามารถแบ่งส่วนประกอบออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ ที่สำคัญดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 คือ

3.1.1 กระบะรับขยะ

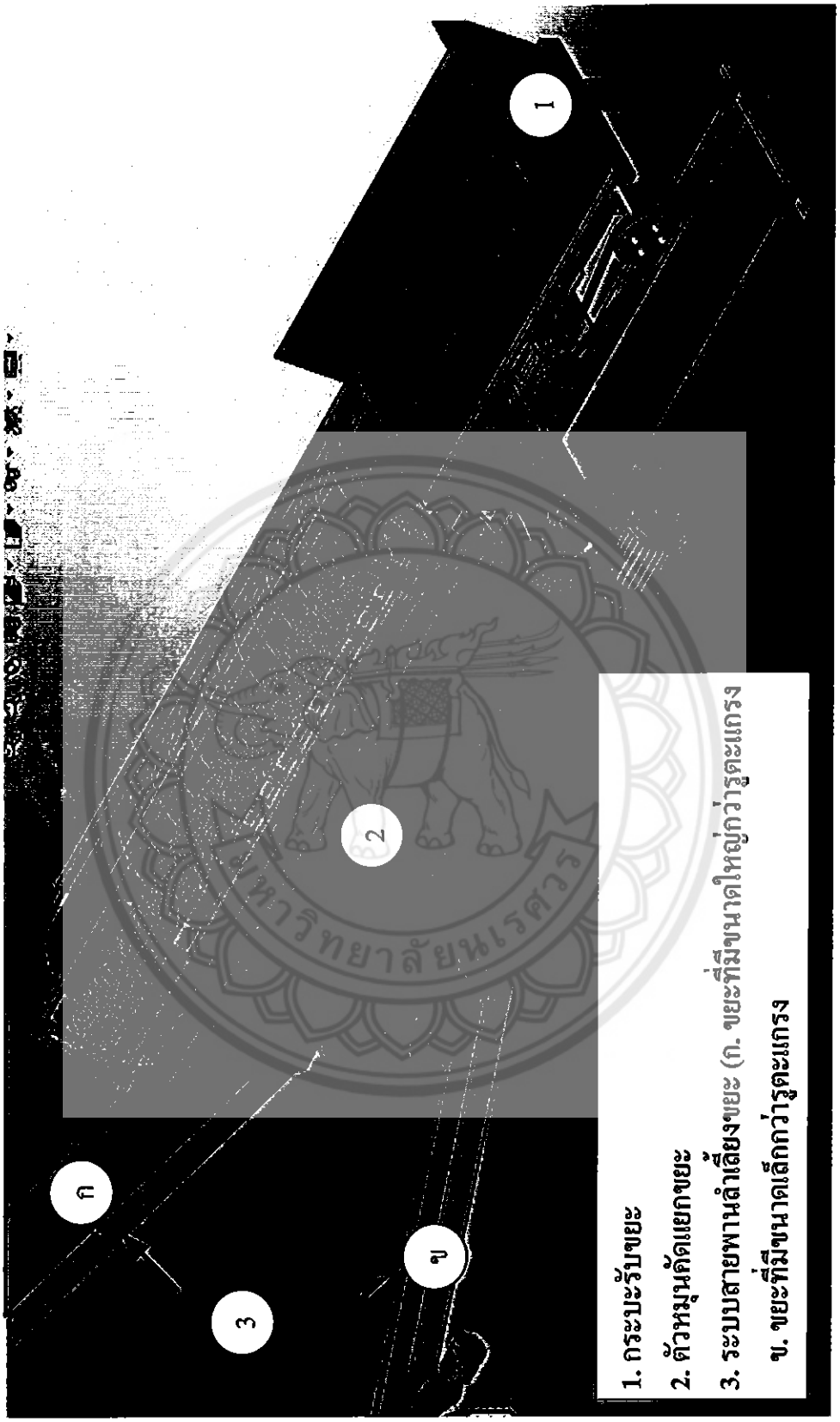
3.1.2 ชุดตะแกรงหมุน

3.1.3 ระบบสายพานลำเลียงขยะ (ก. ลำเลียงขยะที่มีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรง
ข. ลำเลียงขยะที่มีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรง)

รูปที่ 3.1 เครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

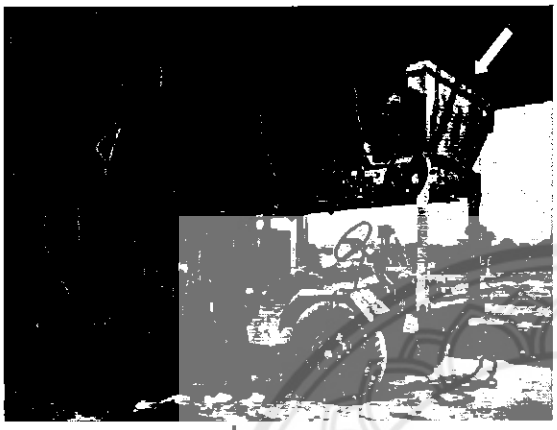
i 5072785
ฟร.
ท266ก
2552
ค.2



รูปที่ 3.2 รูปเครื่องร่อนขยะจากแบบจำลอง

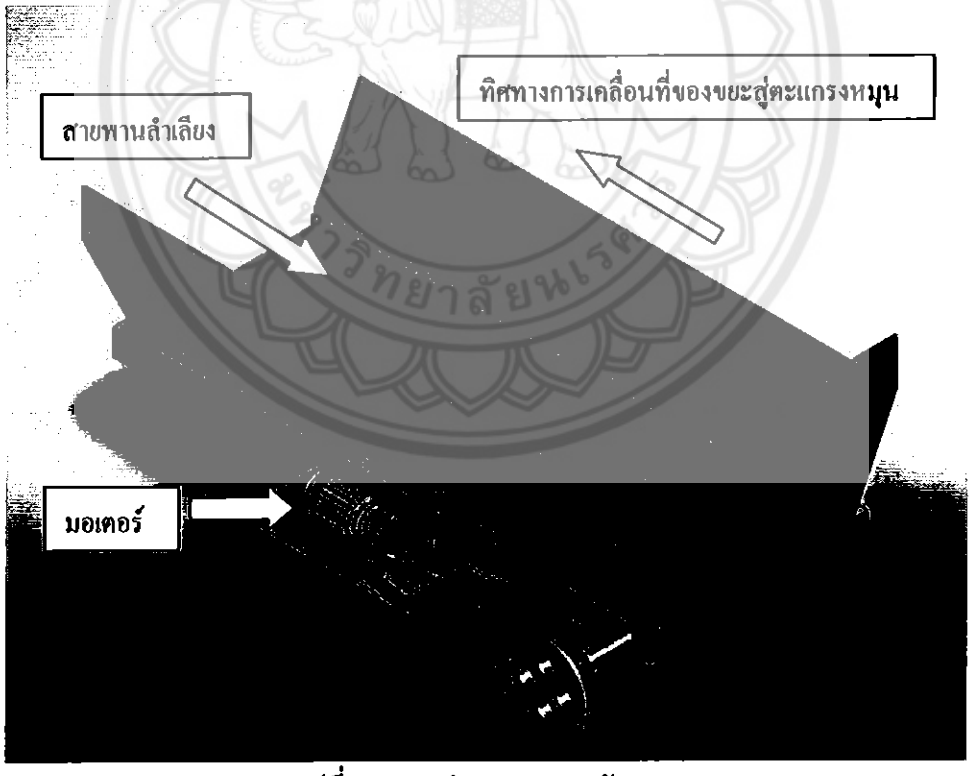
3.1.1 กระบะรับขยะ

กระบะรับขยะมีหน้าที่รับขยะที่ตักจากรถแบ็คโฮลรวบรวมส่งต่อให้กับส่วนที่ทำการร่อนขยะในส่วนของกระบะรับขยะนั้นจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า (2.2 kW) เป็นตัวต้นกำลังในการหมุนสายพานลำเลียงที่อยู่ส่วนใต้ของกระบะรับขยะ แสดงดังรูปที่ 3.3,3.4,3.5



รูปที่ 3.3 กระบะรับขยะ

รูปที่ 3.4 ภาพในกระบะรับขยะ

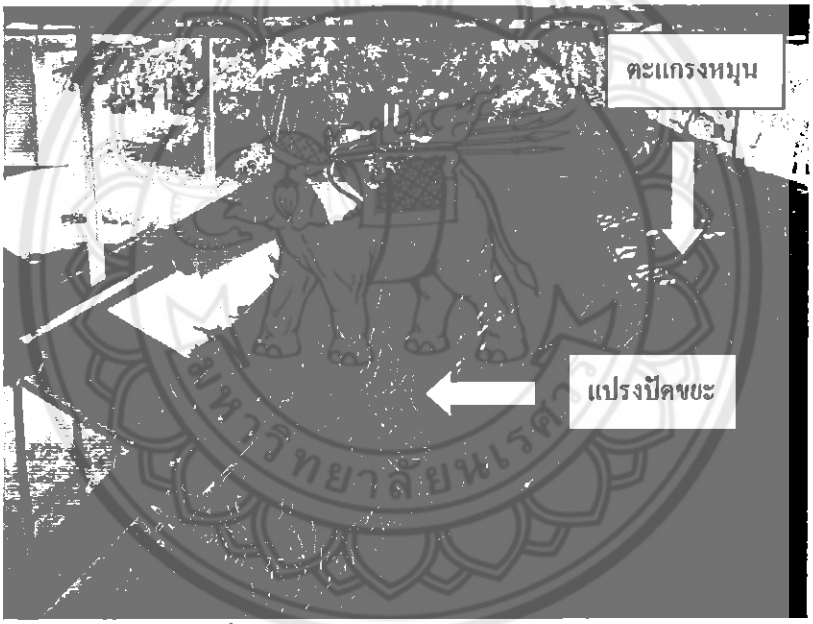


รูปที่ 3.5 ภาพจำลองกระบะรับขยะ

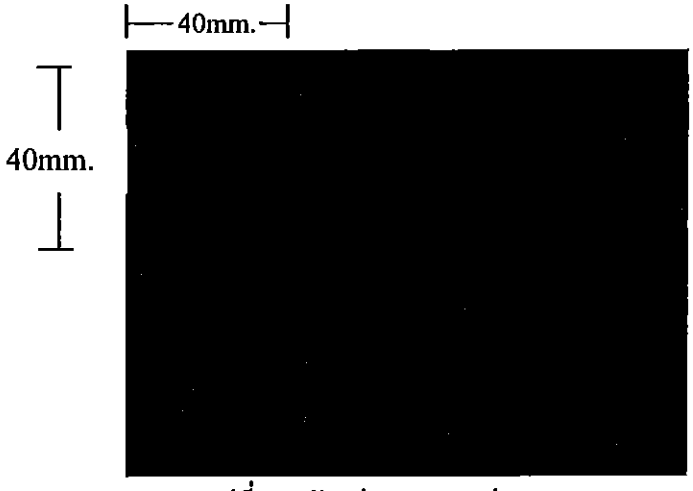
3.1.2 ชุดตะแกรงหมุน

ขยะจากกระบะรับขยะจะถูกลำเลียงสู่ตะแกรงร่อนขยะทรงกระบอกขยะขนาดเล็กจะถูกแยกออกจากขยะใหญ่โดยการหมุนของตะแกรง ขยะขนาดเล็กจะลอดช่องของตะแกรงลงสู่สายผ่านลำเลียงขยะขนาดเล็กด้านใต้ของตะแกรง ส่วนขยะขนาดใหญ่จะค้างอยู่ในตะแกรงแล้วจะถูกตะแกรงหมุนบังคับให้ไหลออกด้านท้ายซึ่งจะมีสายพานลำเลียงมาลำเลียงออกไป

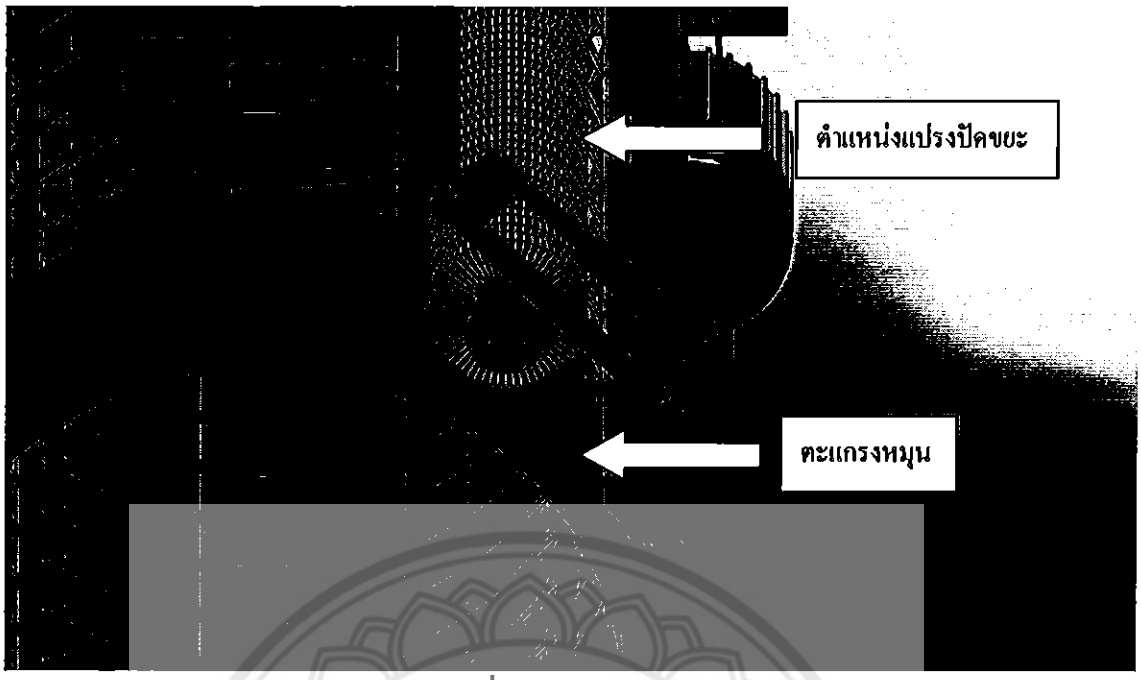
ในระหว่างที่ตะแกรงหมุนทำการหมุนจะมีแปรงปัดขยะที่ทำหน้าที่หมุนปัดขยะที่อุดอยู่ตามช่องของตะแกรงให้หลุดออก โดยอยู่ด้านบนของตะแกรงหมุนเพื่อป้องกันการอุดตันของช่องตะแกรง ภาพแปรงปัดขยะและตะแกรงหมุน ดังแสดงในรูปที่ 3.6,3.8 ตะแกรงหมุนจะหมุนโดยการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 20 แรงม้า (15 kW) เป็นต้นกำลัง ตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์ดังแสดงในภาพที่ 3.9 ,3.10,3.11 ในการร่อนขยะจะใช้ตะแกรง 2 ขนาดคือ ขนาด 40 มม. และ ขนาด 10 มม. โดยทำการร่อนสองครั้ง ครั้งแรกใช้ตะแกรงขนาด 40 มม. อีกครั้งใช้ตะแกรงขนาด 10 มม. ภาพตัวอย่างตะแกรงร่อนดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ตะแกรงหมุนและแปรงปัดขยะ



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างตะแกรงร่อนขยะ



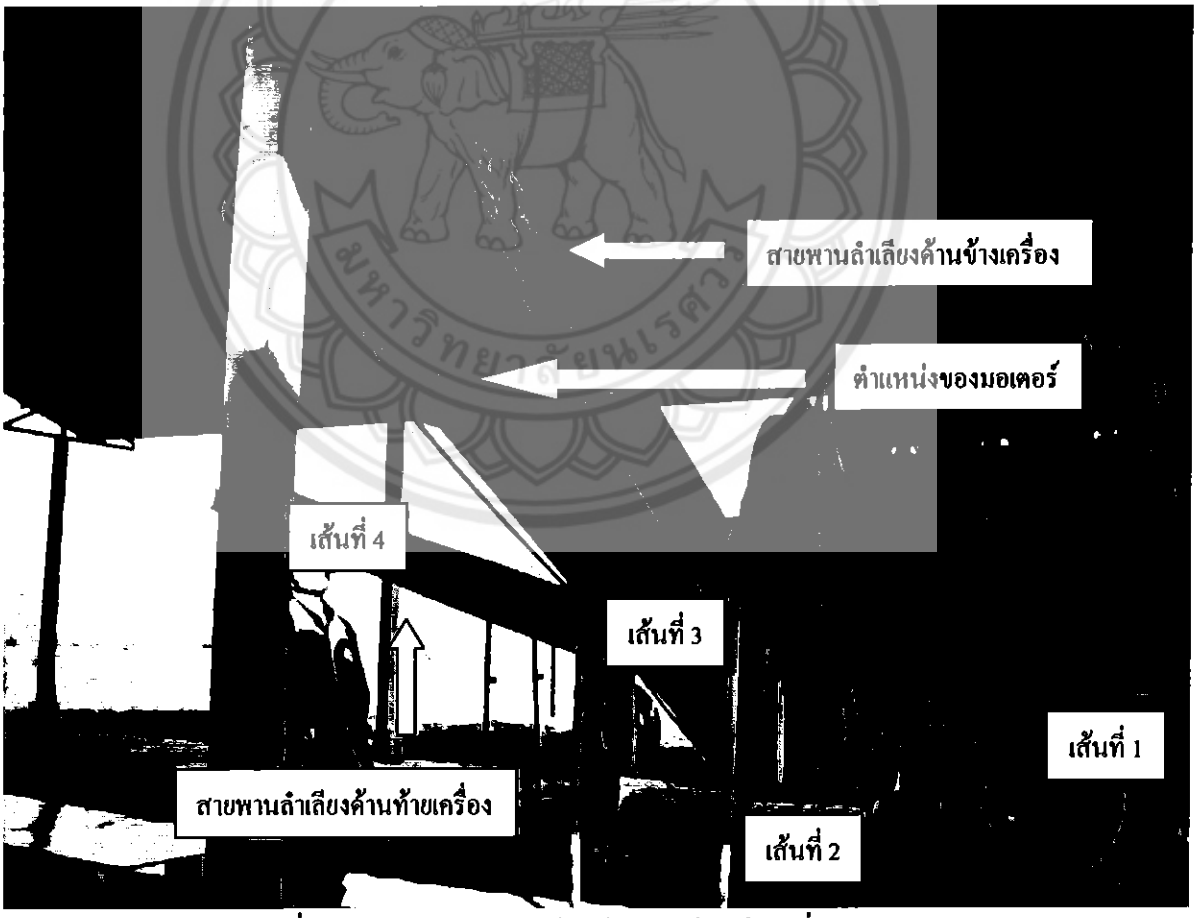
รูปที่ 3.8 ตะแกรงหมุน

รูปที่ 3.9 ตำแหน่งติดตั้งมอเตอร์และชุดส่งกำลังของชุดตะแกรงร่อน

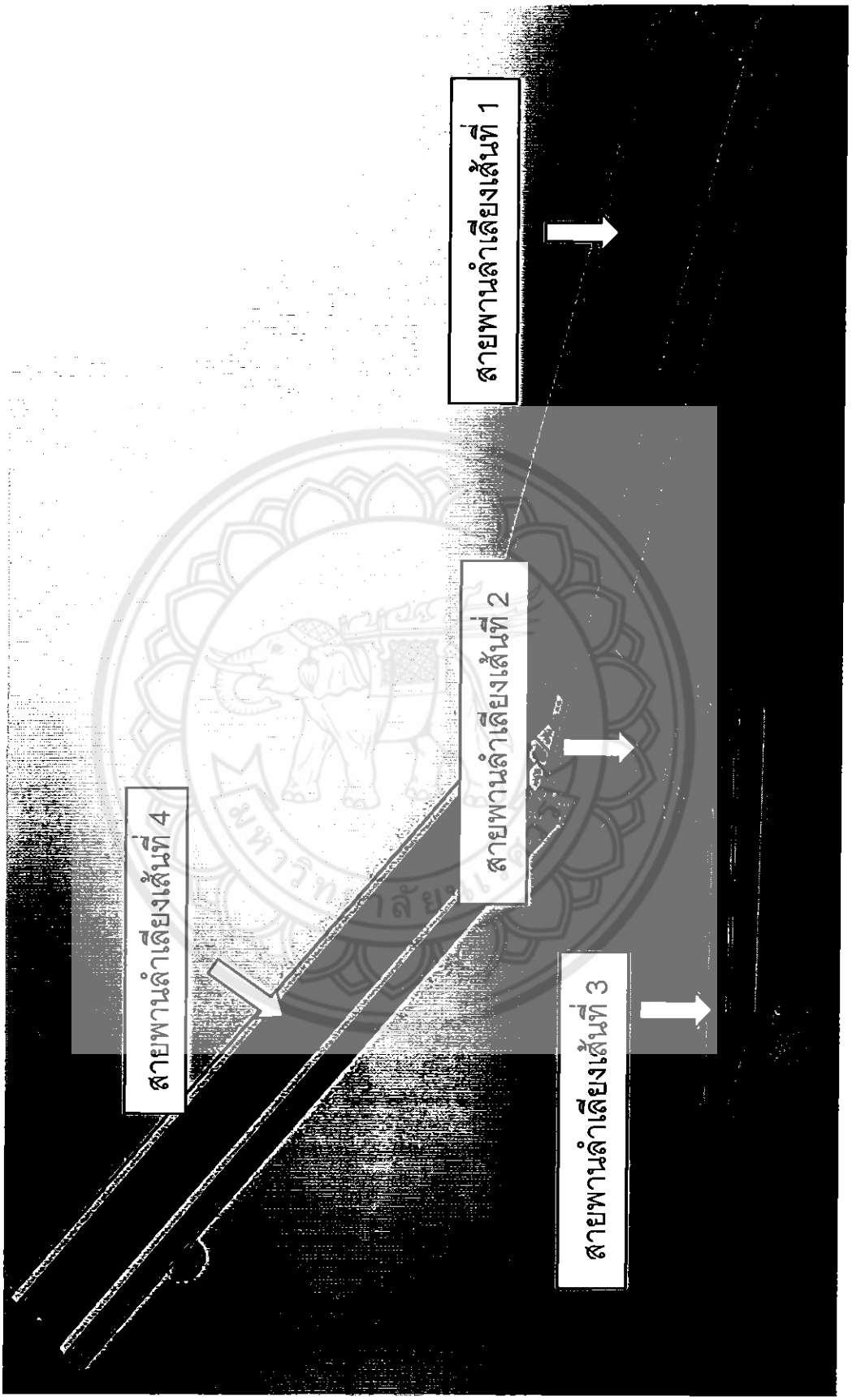
3.1.3 ระบบสายพานลำเลียงขยะ

สายพานลำเลียงจะมีหน้าที่ลำเลียงขยะที่ผ่านการร่อนโดยตะแกรงหมุนแล้วออกสู่ภายนอกของเครื่องร่อน รูปที่ 3.10 และ 3.11 แสดงสายพานลำเลียงเส้นที่ 1,2,3,4 ด้านใต้ของตะแกรงจะมีสายพานลำเลียงขยะขนาดเล็กอยู่ 2 เส้น โดยเส้นที่ 1 จะอยู่ด้านใต้ของตะแกรงร่อนขยะมีความยาวประมาณ 4.5 เมตร กว้าง 1 เมตรใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า (2.2 kW) เป็นต้นกำลัง ลำเลียงขยะขนาดเล็กที่ผ่านการร่อนจากตะแกรงมาแล้วส่งต่อให้กับสายพานใต้ตะแกรงสายพานเส้นที่ 2 อยู่ด้านท้ายเครื่องซึ่งมีความกว้างประมาณ 0.8 เมตร ยาว 1.2 เมตร เพื่อนำขยะที่มีขนาดเล็กออกนอกตัวรถไปสู่สายพานเส้นที่ 3 โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า (2.2 kW) 2 ตัว เป็นต้นกำลัง

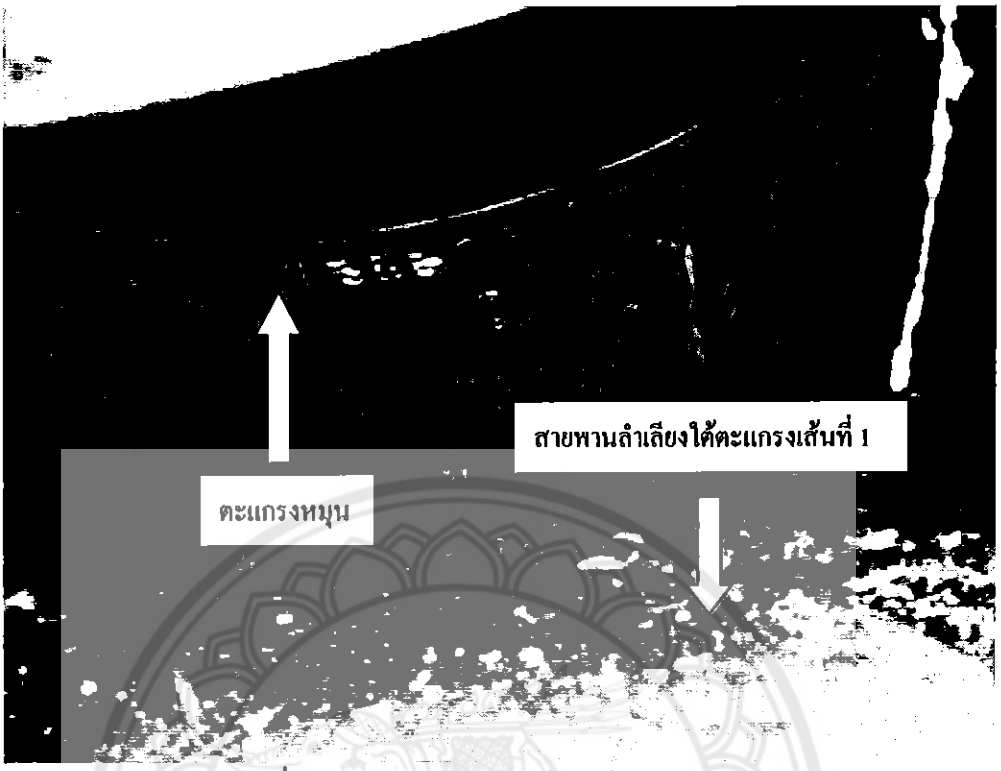
สายพานเส้นที่ 3 และ 4 อยู่นอกตัวรถทำหน้าที่ลำเลียงขยะให้ออกจากตัวรถ โดยสายพานเส้นที่ 4 อยู่ด้านท้ายเครื่องใช้ลำเลียงขยะขนาดใหญ่ออกจากตะแกรงหมุน ส่วนสายพานเส้นที่ 3 อยู่ด้านข้างเครื่อง ใช้ลำเลียงขยะขนาดเล็กออกมาจากสายพานลำเลียงขยะเส้นที่ 2 โดยมีความยาวประมาณ 3.7 เมตร กว้าง 0.8 เมตร มีมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า (3.7 kW) เป็นต้นกำลังในการหมุนสายพาน



รูปที่ 3.10 สายพานลำเลียงด้านข้างและด้านท้ายเครื่องร่อน

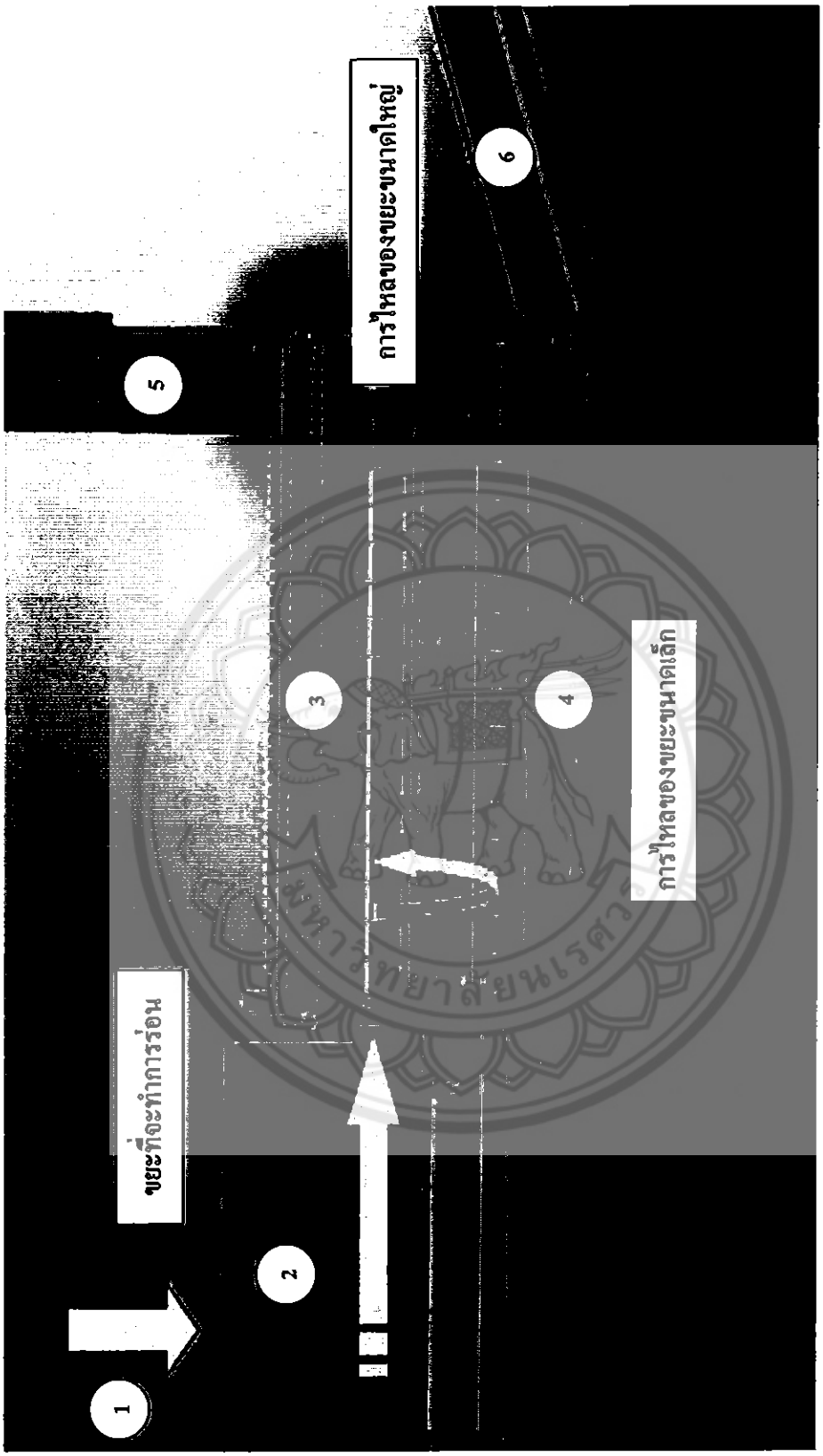


รูปที่ 3.11 แบบจำลองระบบสายพานลำเลียงขยะ



รูปที่ 3.12 สานพานลำเลียงด้านใต้ตะแกรงหมุน

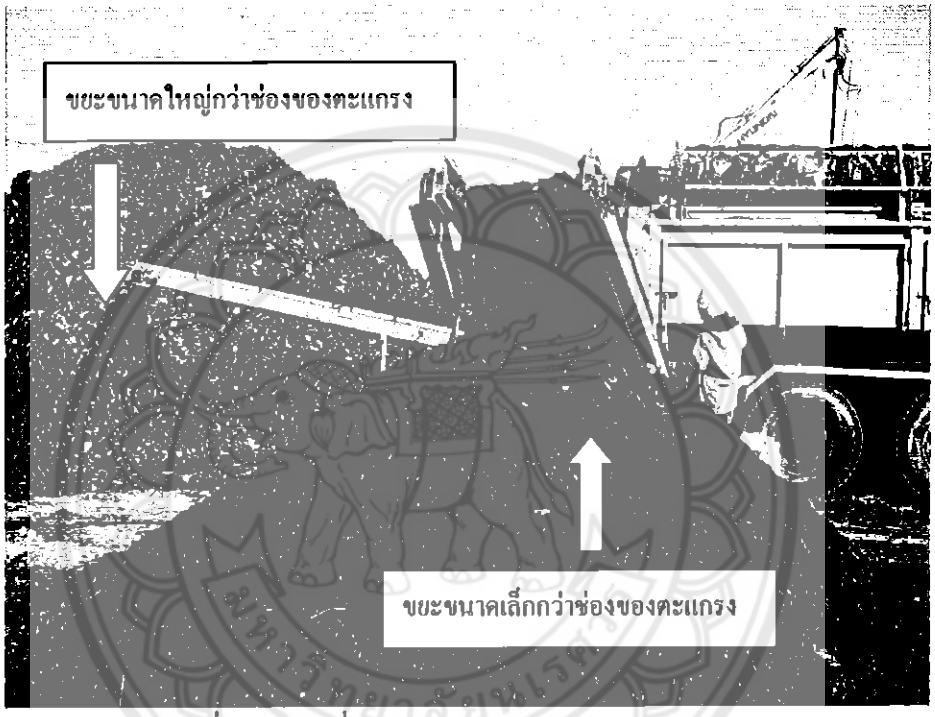
รูปที่ 3.13 ตำแหน่งมอเตอร์ของสายพานลำเลียงด้านข้างและด้านท้ายเครื่อง



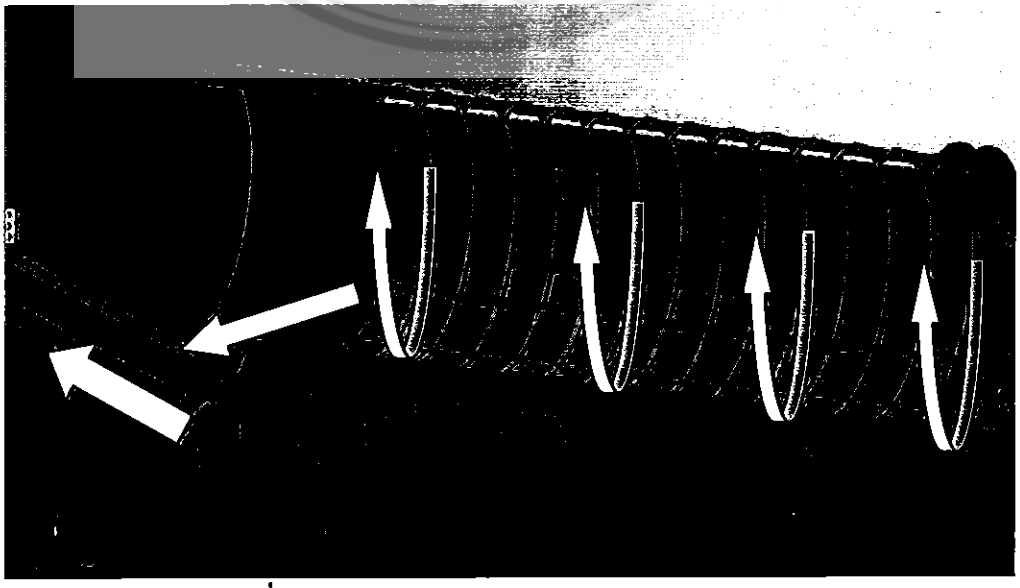
รูปที่ 3.14 กระบวนการร่อนขยะของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน

3.1.4 กระบวนการทำงาน

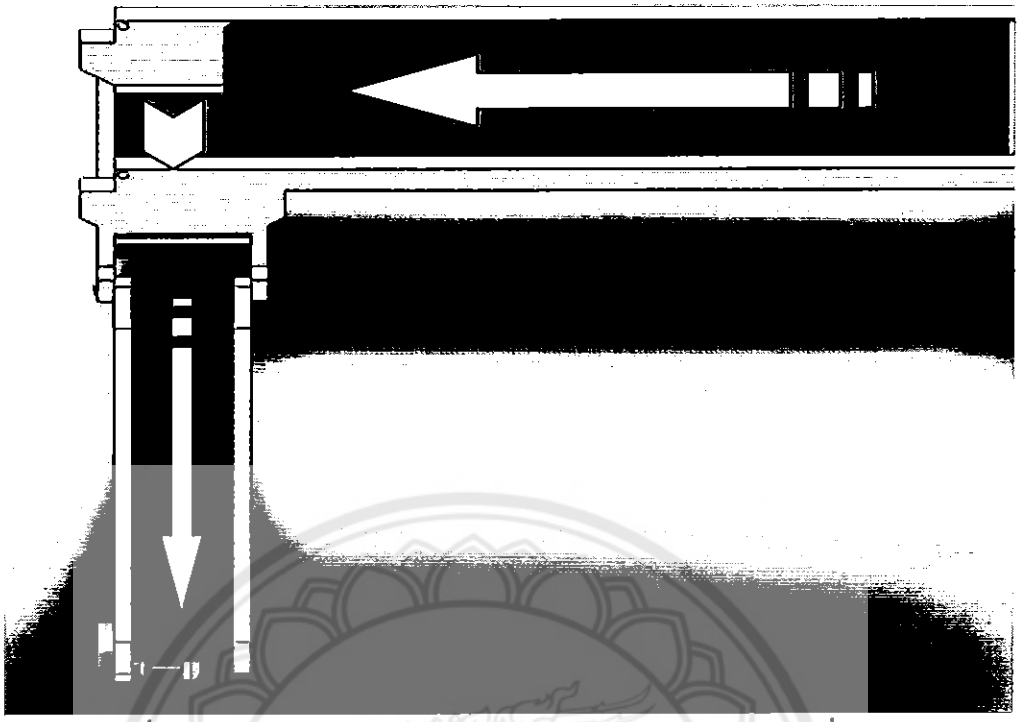
จากรูปที่ 3.14 เมื่อขยะผ่านการหมักเป็นระยะเวลา 9 เดือน ขั้นตอนต่อไปทำการร่อนโดยการร่อนขยะ เริ่มจากรถตักขยะใส่กระบะใน หมายเลขที่ 1 ขยะเคลื่อนตัวสู่หมายเลขที่ 2 ใส่ตะแกรงหมุนในหมายเลขที่ 3 ตัวหมุนคัดแยกทำการหมุน ขยะที่ผ่านตะแกรงร่อนจะหล่นลงในหมายเลขที่ 4 และไหลออกทางหมายเลขที่ 5 ส่วนขยะที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนจะไหลออกทางหมายเลขที่ 6 ดังแสดงในรูปที่ 3.14 [1]



รูปที่ 3.15 ขยะที่ถูกลำเลียงออกมาโดยสายพานลำเลียง



รูปที่ 3.16 ภาพจำลองของการลำเลียงขยะขนาดใหญ่



รูปที่ 3.17 ภาพจำลองการลำเลียงขยะขนาดเล็ก (จากสายพานเส้นที่ 1-2-3)

3.2 ข้อมูลขยะจากบ่อบำบัดขยะ

จากการศึกษาของศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ในเรื่อง โครงการวิเคราะห์คุณสมบัติขยะหลังการบำบัดโดยวิธีเชิงกล-ชีวภาพ ของเทศบาลนครพิษณุโลก ปี 2549 [2] พบว่าขยะที่ผ่านกระบวน การแบบการบำบัดโดยวิธีเชิงกล-ชีวภาพแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ ขยะขนาดเล็ก ขยะขนาดกลาง ขยะขนาดใหญ่ มีองค์ประกอบดังนี้

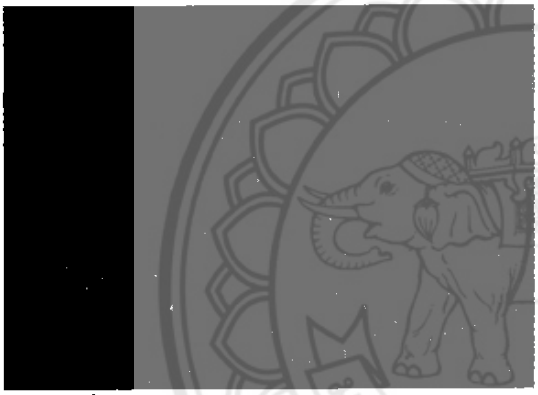
ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของขยะหลังการร่อน

ขนาดขยะ	เล็ก	กลาง	ใหญ่
ความชื้น (Moisture content) (%)	27	25	13
ความหนาแน่น (Density) (kg/ m^3)	816	673	143
องค์ประกอบ (%)			
- Compost*	100	60.1	7.2
- พลาสติก	-	15.2	80.0
- ไม้	-	5.7	9.8
- แก้ว	-	3.1	-
- โลหะ	-	2.9	-
- อื่น ๆ	-	13.0	3.0

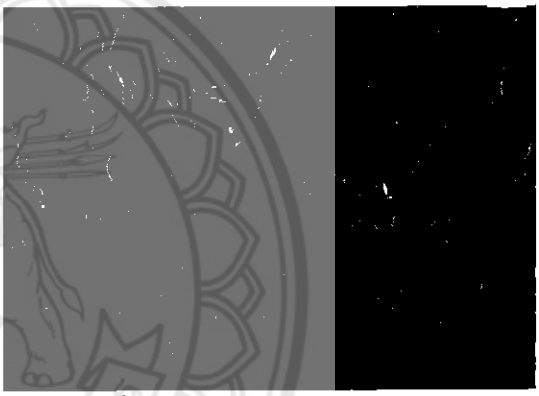
Compost* หมายถึง ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุมาตามลำดับ โดยแปรสภาพจากรูปเดิมจนคงสภาพ ผลผลิตที่ได้มีลักษณะเป็นอินทรียวัตถุ มีสีน้ำตาลปนดำ มีลักษณะเหมือนฮิวมัส (Humus) (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

3.2.1 ลักษณะของขยะแต่ละประเภท

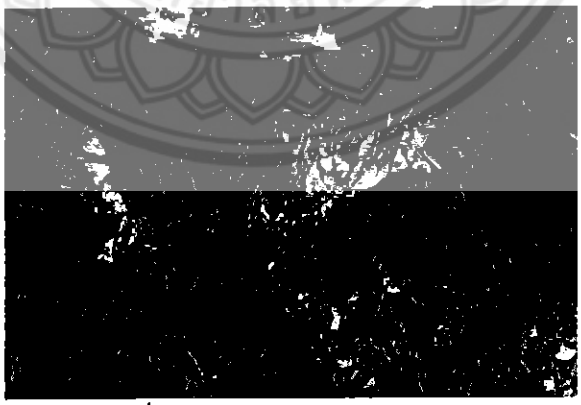
- ขยะขนาดเล็ก คือ ขยะที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 10 มม. โดยมีขนาดเล็กกว่าช่องตะแกรงขนาด 10 มม. องค์ประกอบเป็น compost* 100% ดังภาพที่ 3.19
- ขยะขนาดกลาง คือ ขยะที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 40 มม.โดยมีขนาดเล็กกว่าช่องตะแกรงขนาด 40 มม. องค์ประกอบโดยส่วนใหญ่เป็น compost และอื่นๆ เช่น พลาสติก, แก้ว, โลหะ, ยาง, ไม้, ผ้า, โฟม และ กระเบื้อง ดังภาพที่ 3.20
- ขยะขนาดใหญ่ คือ ขยะได้จากการร่อนด้วยตะแกรงขนาด 40 มม. โดยขยะที่ได้มีขนาดใหญ่กว่าช่องตะแกรงขนาด 40 มม. มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นพลาสติก ไม้ Compost * และสิ่งอื่นๆ ปะปนอยู่เล็กน้อย ดังภาพที่ 3.21



รูปที่ 3.18 ขยะขนาดเล็ก (< 10 มม.)



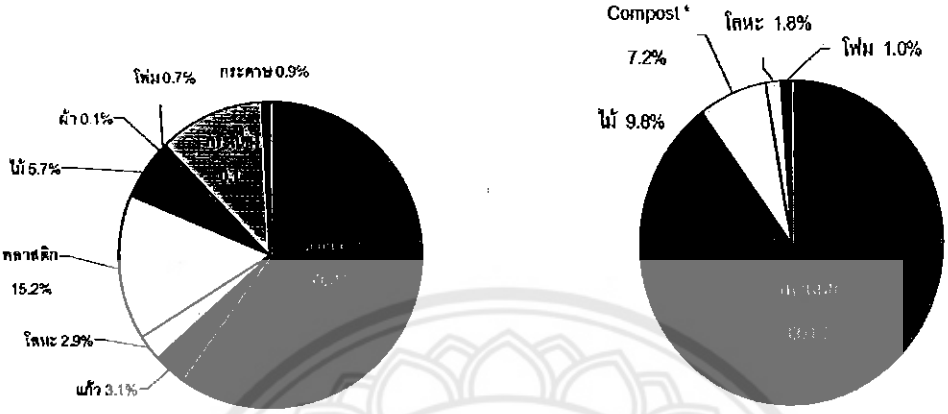
รูปที่ 3.19 ขยะขนาดกลาง (10-40 มม.)



รูปที่ 3.20 ขยะขนาดใหญ่ (> 40 มม.)

3.2.2 องค์ประกอบของขยะ

ขยะที่ผ่านกระบวนการหมักและนำมาคัดแยกด้วยเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน มีองค์ประกอบตามที่แสดงใน ตารางที่ 3.1



ขยะขนาดกลาง ขยะขนาดใหญ่

รูปที่ 3.21 องค์ประกอบของขยะ

3.2.3 การนำไปใช้ประโยชน์

- Compost สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยให้กับต้นไม้ได้
- พลาสติกสามารถนำไปทำเชื้อเพลิง ซึ่งจะได้ค่าความร้อนที่สูง

3.3 ข้อมูลจากแบบสอบถาม

ผู้ดำเนินโครงงานจัดทำแบบสอบถามผู้ใช้งานเครื่องร่อนขยะ เพื่อรับทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องร่อนขยะและนำมาประกอบการวิเคราะห์หาสาเหตุที่นำไปสู่การหยุดเดินเครื่อง (แบบสอบถามแสดงในภาคผนวก ก.)

3.3.1 จุดประสงค์ของแบบสอบถาม

เพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องและทราบถึงความต้องการของผู้ใช้งานเครื่องร่อนขยะ

3.3.2 ผู้ตอบแบบสอบถาม

หัวหน้าช่าง	จำนวน	1	คน
พนักงานควบคุมเครื่องร่อนขยะ	จำนวน	1	คน
พนังงานขับรถตักขยะ	จำนวน	1	คน

3.3.3 ผลจากแบบสอบถาม

3.3.3.1 ระบบการทำงานของเครื่องร่อน

การทำงานของเครื่องร่อนขยะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ โดยส่วนที่ 1 คือ กระบะรับขยะ ทำหน้าที่เคลื่อนขยะผ่านเข้าสู่ตัวหมุนคัดแยกขยะ ส่วนที่ 2 คือ ตัวหมุนคัดแยกขยะ ทำหน้าที่หมุนคัดแยกขยะ ส่วนที่ 3 ระบบลำเลียงขยะ ทำหน้าที่ลำเลียงขยะที่ผ่านจากการหมุนคัดแยก โดยการทำงานของเครื่องร่อนขยะจะเริ่มการทำงานตั้งแต่ส่วนที่ 1 นำขยะใส่กระบะรับขยะจากนั้นตัวสายพานในกระบะรับจะทำหน้าที่เคลื่อนขยะเข้าสู่ตัวหมุนคัดแยกขยะ จากนั้นตัวหมุนจะทำการคัดแยกขยะผ่านตะแกรงแยกเข้าสู่สายพานด้านบนคือ ขยะที่ไม่ผ่านตะแกรงและสายพานด้านล่างคือ ขยะที่ผ่านตะแกรง จากนั้นขยะทั้งหมดจะออกตามสายพานลงสู่พื้นที่ที่กำหนดไว้

3.3.3.2 ปัญหาที่เกิดจากการทำงานของเครื่องร่อนขยะ

โดยการสรุปปัญหาที่เกิดขึ้น จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. กระบะรับขยะ 2. ตัวหมุนคัดแยก 3. ระบบสายพานลำเลียง ตามลำดับ ในส่วนที่ 1 การทำงานในส่วนนี้กระบะรับขยะ ถ้าใส่ขยะจำนวนมากเกินไปจะทำให้การเคลื่อนตัวของขยะไปได้ช้า จึงทำให้การทำงานในส่วนนี้ช้ากว่าที่กำหนด ส่วนที่ 2 ตัวหมุนคัดแยกขยะ ส่วนใหญ่แล้วจะพบปัญหาที่จุดนี้มาก เนื่องด้วย การหมุนคัดแยกขยะนั้นตะแกรงเกิดการอุดตันของขยะ แปรงที่ทำหน้าที่ปัดขยะนั้นทำงานไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้ตัวหมุนคัดแยกขยะออกไปได้ช้าจึงทำให้มีปริมาณขยะสะสมอยู่ในตัวหมุนมาก และทำให้น้ำหนักที่มากเกินไปทำให้มอเตอร์ของเครื่องเกิดการเสียหายขึ้น ส่วนที่ 3 ระบบลำเลียงสายพาน ในส่วนนี้การทำงานของสายพานลำเลียงไม่สัมพันธ์กับตัวหมุนคัดแยกขยะทำให้ขยะในบางช่วงลงมามากเกินไปและมีขยะบางส่วนหล่นออกด้านข้างของสายพานลำเลียงจึงเกิดการติดขัดขึ้น ทำให้ต้องหยุดการทำงาน การนำขยะที่อุดตันออกจากตำแหน่งนั้นทำได้ยาก เนื่องจากตะแกรงหมุนร่อนขยะกับสายพานอยู่ใกล้กันมาก จึงต้องใช้เวลานานเพื่อเข้าถึงที่จุดติดขัด จึงทำให้การแก้ไขเป็นไปได้ช้า

3.3.3.3 การดูแลรักษาเครื่องร่อนขยะ

ในการบำรุงและรักษาเครื่องร่อนขยะนั้น เมื่อเสร็จจากการทำงานแล้วจะความสะอาดเครื่องร่อนขยะและเก็บเข้าสู่ที่เก็บเป็นบางครั้ง แต่ในบางครั้งจะทิ้งรถไว้ที่หน้างานโดยขาดการทำความสะอาดและบำรุงรักษา

ขั้นตอนต่อไปจะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาเพื่อหาแนวทางแก้ไข ด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (Fault Tree Analysis : FTA) โดยผลการวิเคราะห์แสดงอยู่ในบทต่อไป

บทที่ 4
การวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด
(Fault Tree Analysis : FTA)

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลของเครื่องร่อนขยะและขยะที่บ่อบำบัดเชิงกล-ชีวภาพ พบว่าเครื่องร่อนขยะมีปัญหาในส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนหลักคือ กระบะรับขยะ ตัวหมุนคัดแยกขยะและระบบสายพานลำเลียง ซึ่งส่งผลให้ต้องหยุดทำงานเป็นระยะ จึงได้นำข้อมูลที่รวบรวมได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (Fault Tree Analysis: FTA) เมื่อพิจารณาเหตุการณ์ที่นำไปสู่การหยุดทำงานของเครื่องร่อนขยะ โดยกระจายสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วน ลงไปสู่ปัญหาพื้นฐานและนำเสนอแนวทางแก้ปัญหาพื้นฐานเหล่านั้น ซึ่งมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดการหยุดทำงานของเครื่องร่อนขยะ

4.1 การวิเคราะห์ปัญหาในเครื่องร่อนขยะด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (Fault Tree Analysis : FTA)

การวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (FTA) เริ่มจากเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ คือ การหยุดทำงานของเครื่องร่อนขยะซึ่งพบว่าผลสืบเนื่องมาจากปัญหาที่เกิดกับส่วนประกอบหลัก คือ 1. กระบะรับขยะ 2. ตะแกรงหมุนคัดแยกขยะ 3. ระบบสายพานลำเลียง

ใน FTA การเกิดเหตุการณ์ "การหยุดทำงานของเครื่องร่อน" จึงถูกกระจายผ่านประตูตรรกะ "หรือ" ลงไปสู่ปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนประกอบหลักทั้ง 3 ส่วน ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งหมายความว่า ปัญหาในส่วนที่ 1 หรือ 2 หรือ 3 หรือหลายส่วนประกอบกัน สามารถนำไปสู่การหยุดทำงานของเครื่องร่อนขยะ

หรือจากนั้นปัญหาในส่วนประกอบหลักถูกกระจายลงไปสู่สาเหตุของปัญหาเหล่านั้น

4.1.1 กระบะรับขยะ

จากการการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (FTA) ซึ่งนำไปสู่ลำดับเหตุการณ์ในขั้นที่ 3 ในส่วนของกระบะรับขยะ พบว่า ขยะลำเลียงใส่ตะแกรงหมุนไม่ต่อเนื่อง (A.1) ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าว นำไปสู่การหยุดทำงานหรือการทำงานที่ไม่เต็มที่ของเครื่องร่อนขยะ

A.1 กระบะรับขยะลำเลียงใส่ตะแกรงหมุนไม่ต่อเนื่อง

- อาจเกิดจากเจ้าหน้าที่ไม่ทราบปริมาณที่แน่นอนของกระบะรับขยะที่สามารถรับขยะได้ เนื่องจาก การตักขยะของพนักงานไม่ทราบถึงจำนวนที่เหมาะสมกับการจะใส่ขยะ เพื่อให้สัมพันธ์กับขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ที่ทำให้สายพานเครื่องที่ จึงทำให้สายพานเครื่องที่ช้ากว่าปกติ
- มอเตอร์กำลังน้อย ปริมาณขยะในตัวกระบะมีจำนวนมากกว่ากำลังมอเตอร์ที่จะส่งกำลังทำให้ได้ จึงทำให้การเครื่องที่ของขยะนั้นช้า

4.1.2 ชุดตะแกรงหมุน

จากการการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (FTA) ซึ่งนำไปสู่ลำดับเหตุการณ์ในขั้นที่ 3 ในส่วนของชุดตะแกรงหมุน พบว่า ความสามารถในการคัดแยกต่ำ (B.1) เกิดการสะสมของขยะด้านท้ายเครื่องร่อน (B.2) และตะแกรงหมุนมีความเร็วรอบไม่สม่ำเสมอ (B.3) นำไปสู่การหยุดทำงานหรือการทำงานที่ไม่เต็มที่ของเครื่องร่อนขยะ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าว นำไปสู่การหยุดทำงานหรือการทำงานที่ไม่เต็มที่ของเครื่องร่อนขยะ

B.1 ความสามารถในการคัดแยกต่ำ

- ขนาดของแปรงปัดขยะมีขนาดไม่เหมาะสม เนื่องจากขนาดของแปรงปัดอาจมีขนาดเล็กเกินไป จึงทำให้ขยะติดที่แปรงปัด ทำให้ปัดขยะไม่ออก

- วัสดุที่ใช้ทำแปรงปัดขยะเสียรูปง่ายเกินไป เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำแปรงปัดขยะมีการเสียรูปง่าย เมื่อใช้ไปเป็นเวลานาน ๆ แปรงปัดขยะเกินการงอตัวทำให้ขยะที่ปัดติดบริเวณแปรงปัด

- ขยะที่มีลักษณะยาว และมีความอ่อนตัว เนื่องจากการคัดแยกอาจคัดแยกขยะที่เป็นวัสดุยาวและมีความอ่อนตัว จึงเกิดการพันที่แปรงปัดขยะ จึงทำให้แปรงปัดทำงานไม่ดี

B.2 เกิดการสะสมของขยะด้านท้ายเครื่องร่อน

- ตะแกรงหมุนปรับมุมเอียงได้น้อยเกินไป เนื่องจากเวลาทำงานเครื่องต้องหมุนขยะออกเพื่อให้ง่ายต่อการไหลของขยะ ต้องมีการปรับให้เอียงทำมุมกับแนวระดับ แต่ตัวปรับมุมเสีย จึงทำให้ไม่สามารถปรับมุมได้ ขยะจึงไหลออกไม่ดี

- ตะแกรงหมุนไม่มีโครงสร้างทำให้ขยะหมุนออก เนื่องจากการหมุนของตะแกรงไม่มีโครงสร้างที่ทำให้มีการไหลนำขยะออกที่ดี จึงทำให้ขยะเกิดการสะสมมากก่อนจะไหลออก ซึ่งอาจทำให้การหมุนร่อนไม่ดี

B.3 ตะแกรงหมุนมีความเร็วรอบไม่สม่ำเสมอ

- ตำแหน่งการวางมอเตอร์ เนื่องจากตำแหน่งในการว่างมอเตอร์กับฐานรองรับไม่มีความแข็งแรงมากพอ จึงทำให้เกิดการบิดตัวของฐานรองรับ จึงทำให้มอเตอร์ส่งกำลังได้ไม่เต็มที่

- ขนาดของมอเตอร์ เนื่องจากขนาดของมอเตอร์อาจไม่สัมพันธ์กับปริมาณของขยะที่อยู่ในตัวหมุน เมื่อใช้งานการหมุนคัดแยก จึงไม่ดีเท่าที่ควร

- การบิดตัวของเฟือง เนื่องจากการบิดตัวของฐานรองรับมอเตอร์เกิดการบิดตัว จึงทำให้เฟืองที่ขบกับโซ่เกิดการขบกันไม่สมบูรณ์ ทำให้มอเตอร์ส่งกำลังได้ไม่เต็มที่

4.1.3 ระบบสายพานลำเลียง

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (FTA) ซึ่งนำไปสู่ลำดับเหตุการณ์ในขั้นที่ 3 ในส่วนของระบบสายพานลำเลียง พบว่า การฉีกขาดบริเวณข้อต่อของสายพานลำเลียงด้านข้างและท้าย (C.1) นำไปสู่การหยุดทำงานหรือการทำงานที่ไม่เต็มที่ของเครื่องร่อนขยะ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าว นำไปสู่การหยุดทำงานหรือการทำงานที่ไม่เต็มที่ของเครื่องร่อนขยะ

C.1 การฉีกขาดบริเวณข้อต่อของสายพานลำเลียงด้านข้างและท้าย

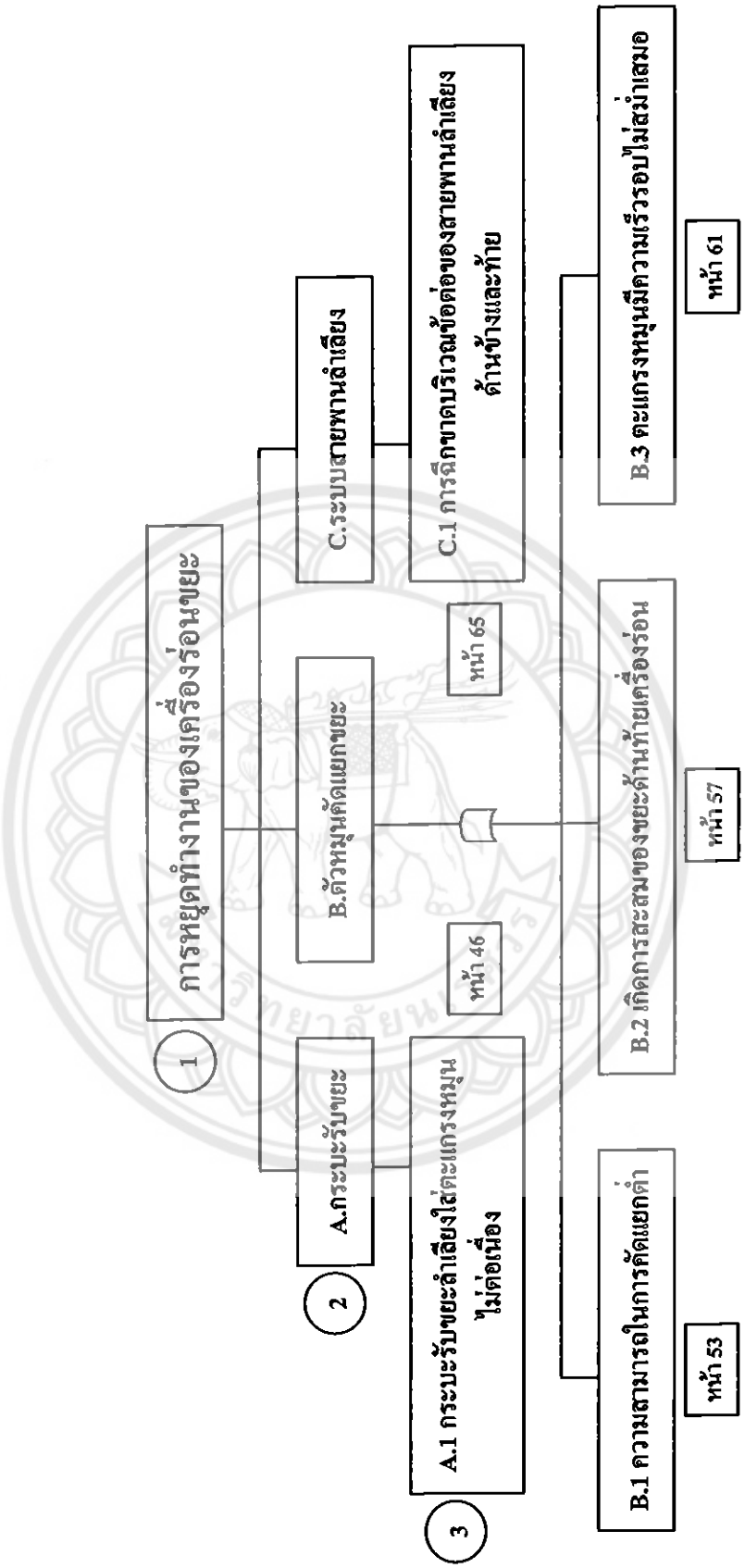
- น้ำหนักที่ได้รับมากเกินไป เนื่องจากน้ำหนักรวมของ ขยะและโครงสร้าง มีน้ำหนักเกินกว่าข้อต่อจะรับไว้ได้ จึงทำให้ข้อต่อเกิดการฉีกขาดขึ้น
- รับแรงสั่นสะเทือนมากเกินไป เนื่องจากการทำงานของมอเตอร์มีการสั่นและรวมกับน้ำหนักของโครงสร้างด้วย จึงทำให้บริเวณข้อต่อรับแรงมากเกินกว่าโครงสร้างของข้อต่อจะรับไหว จึงทำให้เกิดการเสียหายขึ้น

4.2 สรุปปัญหาที่เกิดกับเครื่องร่อนด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด พบว่าปัญหาที่เกิดกับเครื่องร่อนขยะมีสาเหตุจากเหตุการณ์พื้นฐานที่แสดงในรูปสัญลักษณ์รูปวงกลม ในรูป 4.5,4.17,4.21,4.27,4.34 เป็นเหตุการณ์พื้นฐานที่ถูกนำมาสรุป ในตารางที่ 4.1 ซึ่งอาจนำไปสู่การหยุดทำงานของเครื่องร่อนขยะ

ตารางที่ 4.1 สรุปปัญหาที่เกิดกับเครื่องร่อน

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องร่อน
1. กระบะรับขยะ A.1 กระบะรับขยะลำเลียงใส่ตะแกรงหมุนไม่ต่อเนื่อง - เจ้าหน้าที่ไม่ทราบปริมาณที่แน่นอนของกระบะรับขยะที่สามารถรับขยะได้ มอเตอร์กำลังน้อย
2. ชุดตะแกรงหมุน B.1 ความสามารถในการคัดแยกต่ำ - ขนาดของแปรงปัดขยะมีขนาดไม่เหมาะสม - วัสดุที่ใช้ทำแปรงปัดขยะเสียรูปง่ายเกินไป - ขยะที่มีลักษณะยาว และมีความอ่อนตัว เช่น เชือก ม้วนเทป ม้วนวีดีโอ เป็นต้น B.2 เกิดการสะสมของขยะด้านท้ายเครื่องร่อน - ตะแกรงปรับมุมเอียงได้น้อย - ตะแกรงไม่มีโครงสร้างทำให้ขยะหมุนออก B.3 ตะแกรงหมุนมีความเร็วรอบไม่สม่ำเสมอ - ตำแหน่งการวางมอเตอร์ - ขนาดของมอเตอร์ การบิดตัวของเฟือ
1. ระบบสายพานลำเลียง C.1 การฉีกขาดบริเวณข้อต่อของสายพานลำเลียงด้านข้างและท้าย - ข้อต่อรับภาระเกินขีดจำกัดความแข็งแรง - รับแรงสั่นสะเทือนมากเกินไป เช่น การสั่นจากมอเตอร์ การสั่นจากตัวสายพาน เป็นต้น



รูปที่ 4.1 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้เกิดการหยุดทำงานของเครื่องร่อนขยะ

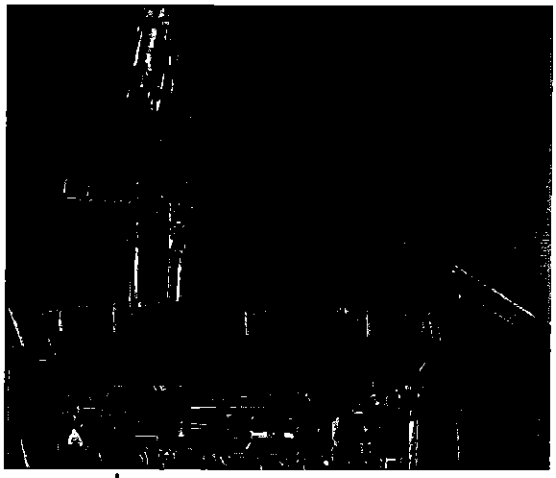
4.3 ลักษณะของปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการวิเคราะห์ด้วยต้นไม้แห่งความผิดพลาด พบว่าปัญหาพื้นฐานที่เกิดขึ้นกับส่วนประกอบหลักทั้ง 3 ส่วนของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน จะนำไปสู่เหตุการณ์ที่เครื่องร่อนหยุดทำงานได้ ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหาคือ หาแนวทางป้องกันหรือบรรเทาผลกระทบจากการเกิดเหตุการณ์พื้นฐานเหล่านี้ โดยแยกเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นใน 3 ส่วนประกอบดังนี้

4.3.1 ปัญหาที่เกิดในส่วนของกระบะรับขยะ (A)

รูปที่ 4.2 กระบะรับขยะ

ลักษณะของปัญหา คือ เมื่อตักขยะใส่กระบะรับขยะแล้ว กระบะรับขยะจะลำเลียงขยะใส่ไปในตะแกรงหมุนช้าลงหรือหยุดลำเลียงเมื่อเจอกับขยะที่มีน้ำหนักมากหรือคนขับรถตักตักขยะใส่ไวเกินไป ทำให้การร่อนขยะทำได้ช้าลงและขาดความต่อเนื่อง



รูปที่ 4.3 การตักขยะใส่กระบะรับขยะ

สมมุติฐานของสาเหตุที่เกิดปัญหา

จากการตั้งสมมุติฐานที่ได้ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วย FTA ในรูปที่ 4.5 หน้าที่ 45 ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) มอเตอร์กำลังน้อย

สาเหตุอาจเป็นเพราะมอเตอร์ที่ใช้มีขนาดเล็กเกินไป ทำให้มีกำลังไม่พอที่จะมาใช้ขับเฟืองที่หมุนสายพานลำเลียงที่อยู่ด้านล่างของกระบะรับขยะ ทำให้การลำเลียงขยะใส่ตะแกรงหมุนทำได้ช้าลง

2) เจ้าหน้าที่ตักขยะใส่มากเกินไป

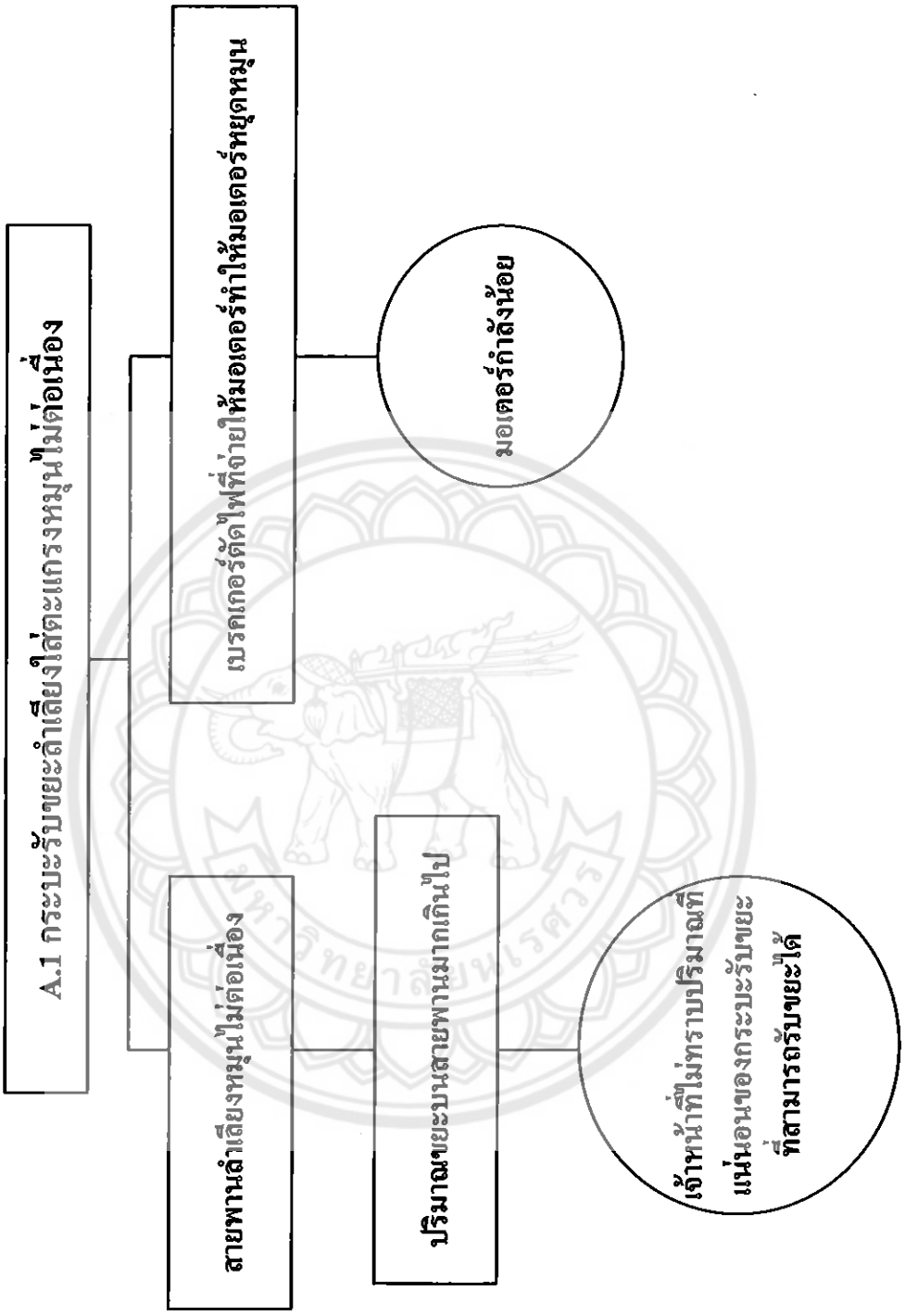
สาเหตุเนื่องจากเจ้าหน้าที่ไม่ทราบปริมาณที่แน่นอนของขยะที่กระบะรับขยะจะรับได้ ทำให้ตักขยะใส่มากเกินไปจึงเป็นเหตุให้มอเตอร์หมุนช้าลง หรือหยุดหมุนเนื่องจากรับน้ำหนักขยะไม่ไหว

แนวทางการแก้ไข

1) เปลี่ยนมอเตอร์ให้มีกำลังมากขึ้นเพื่อที่จะสามารถรับน้ำหนักของขยะในปริมาณมากได้ เนื่องจากขยะในแต่ละจุดอาจมีน้ำหนักมากน้อยไม่เท่ากัน ถ้าไปเจอจุดที่ขยะมีน้ำหนักมากมอเตอร์ก็ยังสามารถหมุนได้อย่างต่อเนื่อง

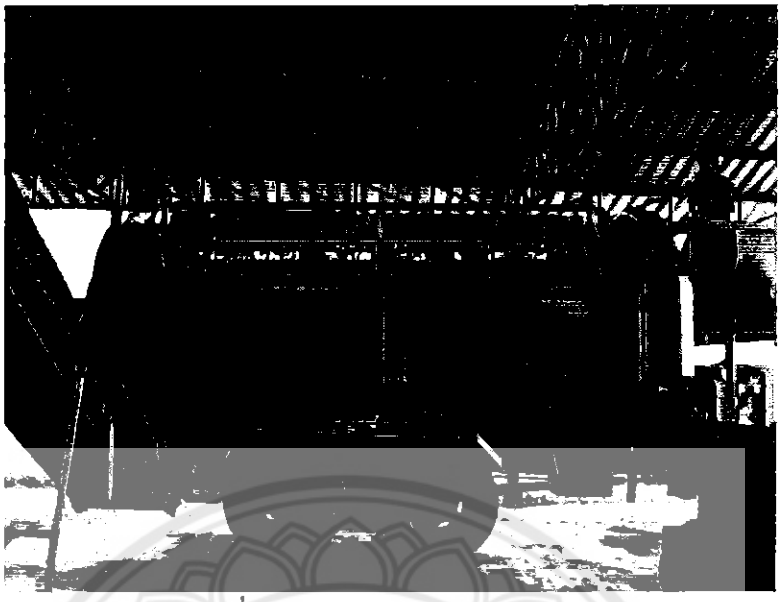
2) ปรับความถี่ของการตักขยะใส่กระบะให้พอดีกับปริมาณที่กระบะจะรับได้

รูปที่ 4.4 ตำแหน่งของมอเตอร์ที่กระบะรับขยะ



รูปที่ 4.5 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้กระบะรับขยะลำเลียงใส่ตะแกรงหมุนไม่ต่อเนื่อง

4.3.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนของชุดตะแกรงหมุน (B)

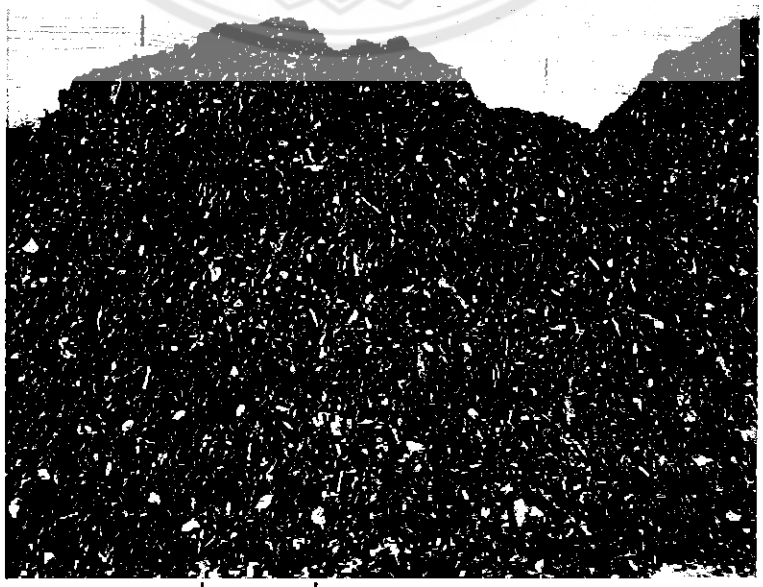


รูปที่ 4.6 ส่วนของตะแกรงร่อนขยะ

4.3.2.1 ความสามารถในการคัดแยกต่ำ (B.1)

ลักษณะของปัญหา

ลักษณะของปัญหา คือ เมื่อตะแกรงหมุนทำการร่อนขยะที่ลำเลียงมาจากกระบะรับขยะแล้วขยะที่ร่อนได้ทางด้านท้ายซึ่งเป็นขยะขนาดใหญ่ที่ควรจะมีแต่ขยะที่เป็นพวกถุงพลาสติกหรือเศษพลาสติกที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น แต่กลับมีเศษขยะขนาดเล็กจำพวกเศษดินและเศษอาหารปนออกมาเป็นจำนวนที่มากทำให้การนำเอาขยะที่ร่อนได้ไปใช้ประโยชน์ไม่ดีเท่าที่ควร เพราะขยะที่จะนำไปใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่จะเป็นขยะขนาดใหญ่ ซึ่งจะเป็นขยะจำพวกถุงพลาสติกหรือเศษพลาสติก



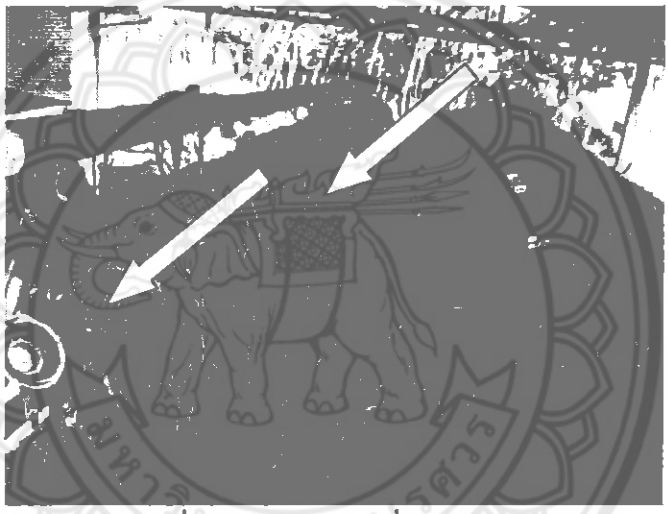
รูปที่ 4.7 ขยะที่ได้จากการร่อน(< 10 มม.)

สมมุติฐานของสาเหตุที่เกิดปัญหา

จากการตั้งสมมุติฐานที่ได้ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วย FTA ในส่วนของ ในรูปที่ 4.17 หน้าที่ 52 ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) ตัวแปรงปัดขยะ

สาเหตุที่เกิดขึ้น เป็นเพราะแปรงปัดขยะที่ใช้อยู่มีขนแปรงอ่อน เมื่อใช้ไปเป็นเวลานาน จะเกิดการงอตัว และอีกทั้ง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแปรงปัดขยะมีขนาดค่อนข้างเล็ก จึงมีโอกาสที่ขยะจะมาพันติดกับแปรงปัดขยะมีเพิ่มมากขึ้น แล้วขยะที่มาติดกับแปรงปัดขยะก็จะทำให้เกิดการสะสมของขยะที่แปรงปัด เมื่อมีขยะมาติดกันมากขึ้นแปรงก็จะปัดขยะที่ติดกับตะแกรงหมุนออกไม่ได้ จึงทำให้ตะแกรงหมุนอุดตัน การร่อนขยะก็จะไม่สามารถแยกขยะขนาดเล็กกับขยะขนาดใหญ่ออกจากกันได้หมด ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แปรงปัดขยะที่มีขยะติดอยู่

2) มีขยะที่มีลักษณะยาวและอ่อนตัวปนอยู่มาก

เนื่องจากมีขยะที่มีลักษณะยาวและอ่อนตัวปะปนกับขยะที่ทำการร่อนอยู่มาก เมื่อขยะจำพวกนี้เมื่อพันกับแปรงแล้ว จะหลุดออกยากทำให้เกิดการสะสมของขยะที่แปรงได้ง่ายและมากขึ้น

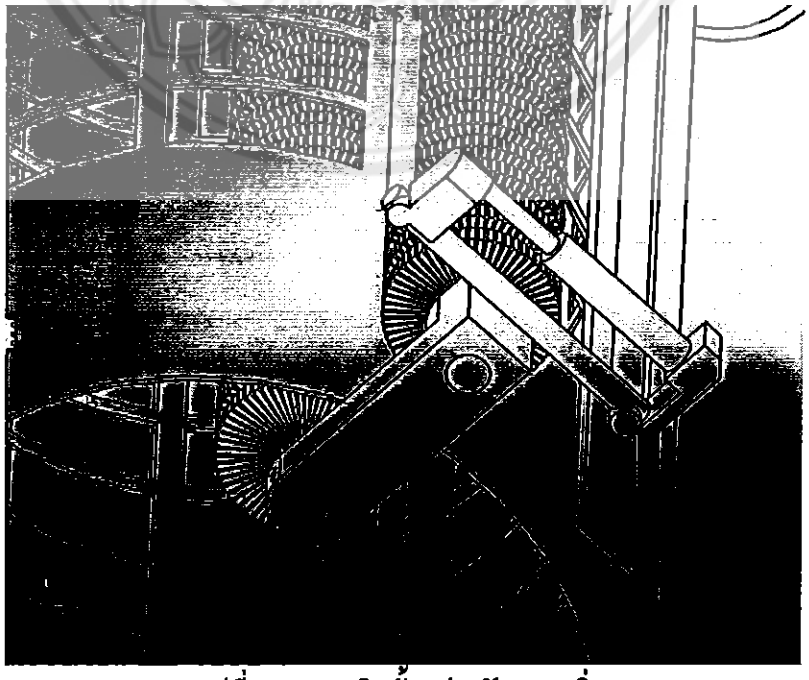
รูปที่ 4.9 ลักษณะการพันของขยะที่แปรงปัดขยะ

แนวทางการแก้ไข

1) เปลี่ยนขนาดของแปรงปัดขยะให้ใหญ่ขึ้นเพื่อลดโอกาสและปริมาณที่ขยะที่จะสามารถมาพันกับแปรงปัดขยะ ได้และตัวแปรงควรทำมาจากวัสดุค่อนข้างมีความแข็งไม่คดงอง่ายและมีความลื่นเช่นลวด เพื่อป้องกันไม่ให้ขยะมาติดกับตัวแปรงได้ง่าย ๆ จากของเดิมที่ทำมาจากพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 4.10

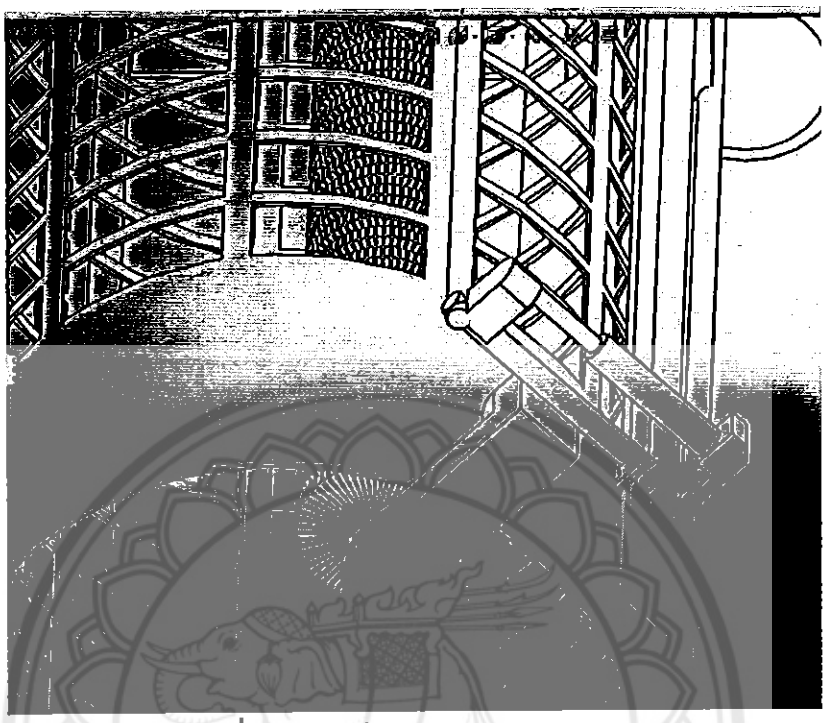
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างแปรงปัดขยะ

2) เพิ่มจำนวนแปรงปัดขยะด้านในของตะแกรงอีกหนึ่งอันเพื่อช่วยให้การปัดขยะทำได้ดีมากขึ้นเพราะลักษณะของขยะที่ติดกับรูตะแกรงจะติดอยู่ด้านในมากกว่าหากเพิ่มแปรงปัดขยะอีกหนึ่งอันเป็น 2 อันจะปัดขยะที่ติดอยู่กับตะแกรงออกได้ดียิ่งขึ้น ดังแสดงในรูป 4.11



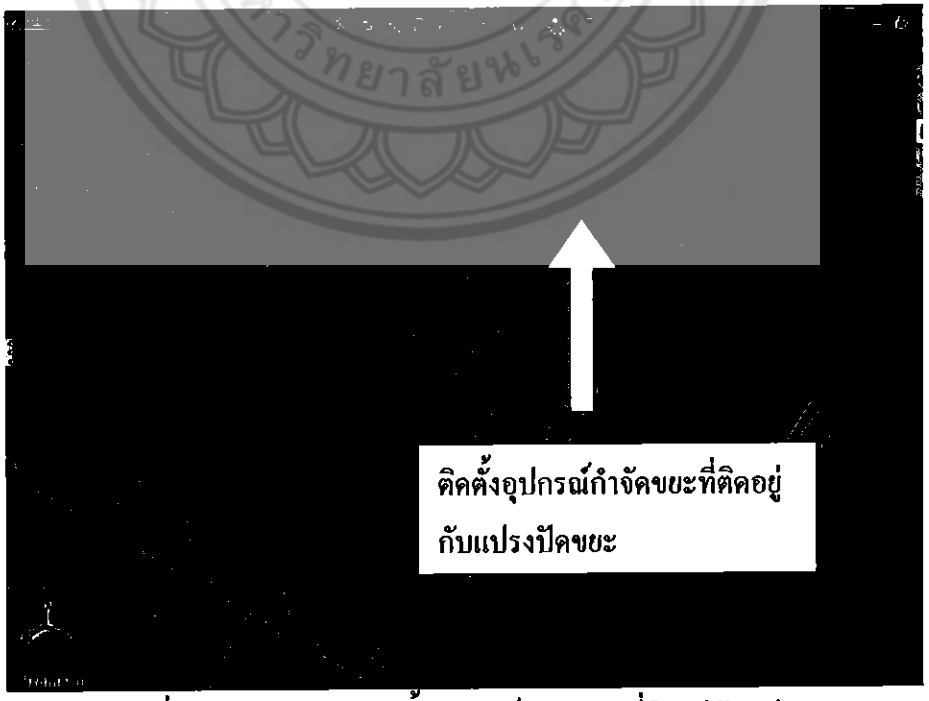
รูปที่ 4.11 การติดตั้งแปรงปัดขยะเพิ่ม

3) อีกแนวทางคือย้ายจากตำแหน่งเดิมที่อยู่ด้านนอกเข้ามาด้านในตะแกรงก็จะทำให้แปรงปัดขยะปัดขยะออกจากตะแกรงได้ดีขึ้น ดังแสดงในรูป 4.12



รูปที่ 4.12 การย้ายตำแหน่งแปรงปัดขยะ

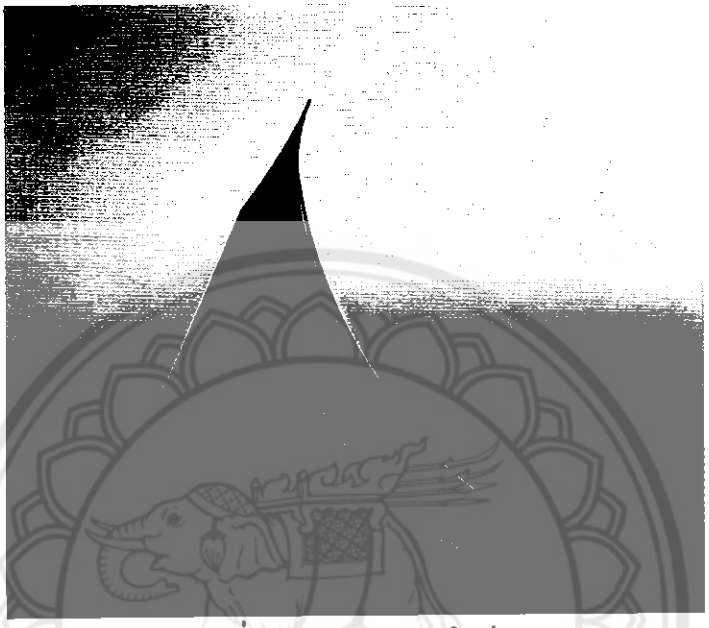
4) เพิ่มส่วนประกอบที่ทำหน้าที่กำจัดขยะที่มาติดกับแปรงออก ดังแสดงในรูปที่ 4.13



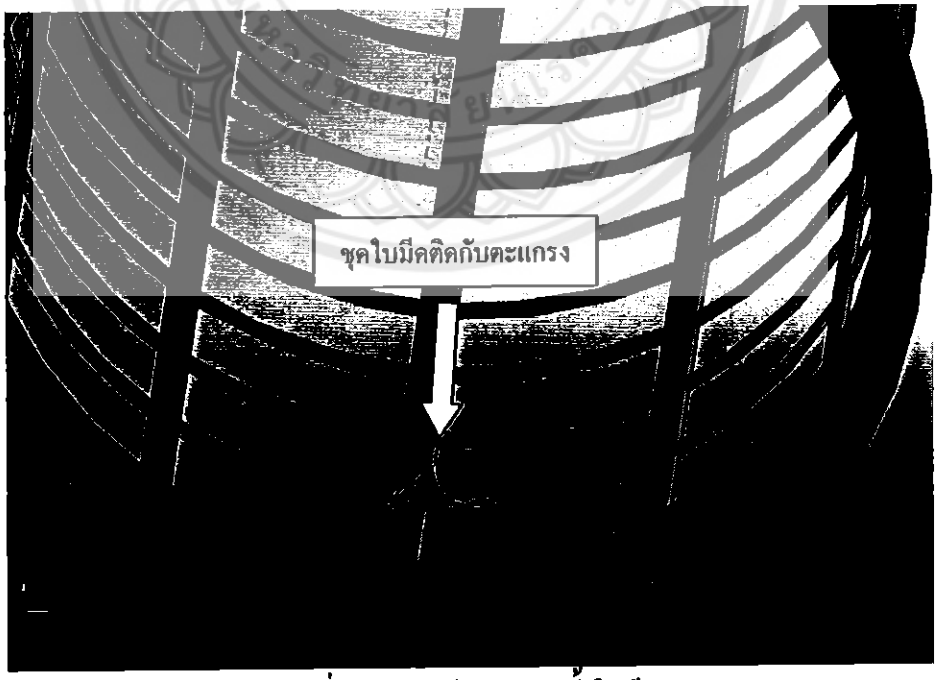
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์กำจัดขยะที่ติดอยู่กับแปรง

5) ในขั้นตอนของการคัดแยกขยะด้วยตา ควรที่จะคัดแยกขยะจำพวกม้วนเทป เชือก ออกให้มากที่สุดเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้ไปพันกับแปรงและส่วนประกอบอื่นๆ

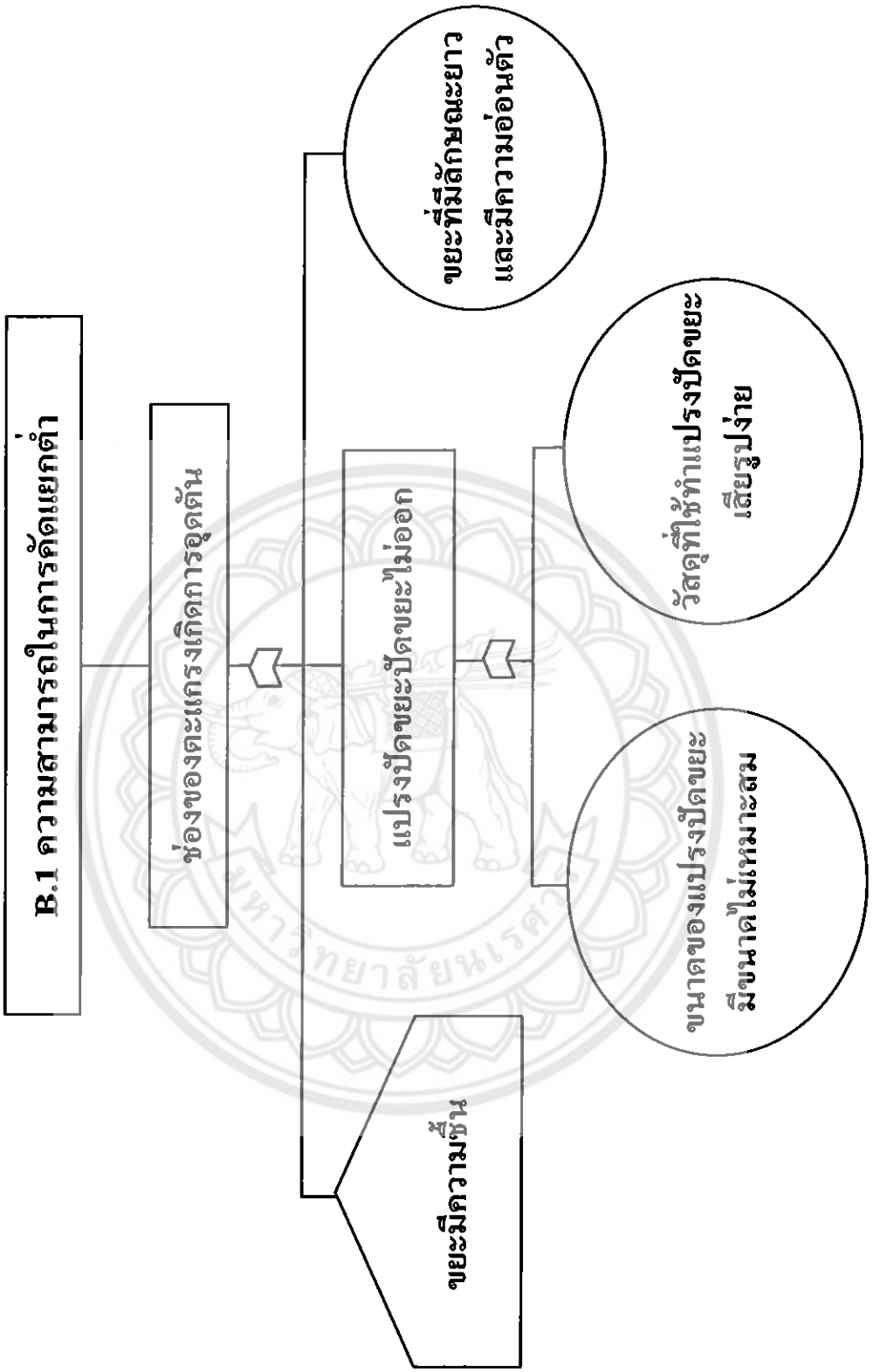
6) ติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดวัสดุที่มีลักษณะยาวให้ขาดออก เพื่อทำให้สั้นลง เช่น ใบมีดให้อยู่ภายในตัวตะแกรงหมุน ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15



รูปที่ 4.14 ลักษณะของใบมีด



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการติดตั้งใบมีด

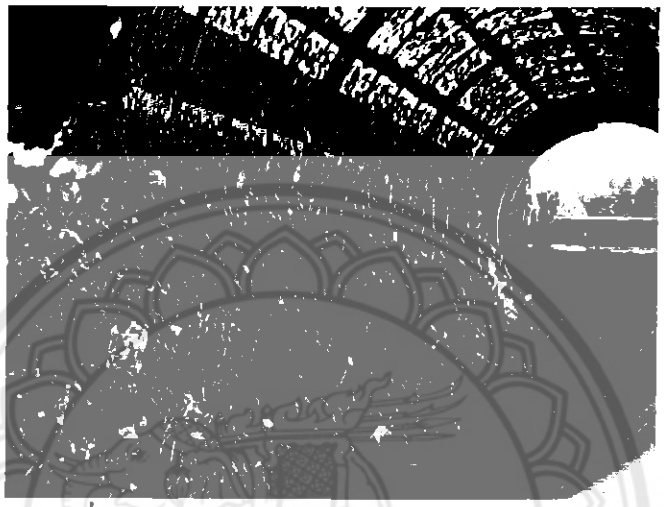


รูปที่ 4.16 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้ความสามารถในการคัดแยกต่ำ

4.3.2.2 เกิดการสะสมของขยะด้านท้ายเครื่องร่อน (B.2)

ลักษณะของปัญหา

ลักษณะของปัญหา คือ เมื่อขยะขนาดใหญ่ผ่านกระบวนการร่อนแล้วแทนที่ขยะจะไหลออกทางด้านท้ายแต่กลับไม่ไหลออก ทำให้เกิดสะสมของขยะในตะแกรงหมุน ส่งผลให้มีน้ำหนักมากขึ้นในตะแกรงทำให้มอเตอร์ต้องรับภาระหนักขึ้นในการที่จะหมุนตัวตะแกรงทำให้หมุนช้าลง



รูปที่ 4.17 มีขยะจำนวนมากอยู่ท้ายตะแกรงร่อนขยะ

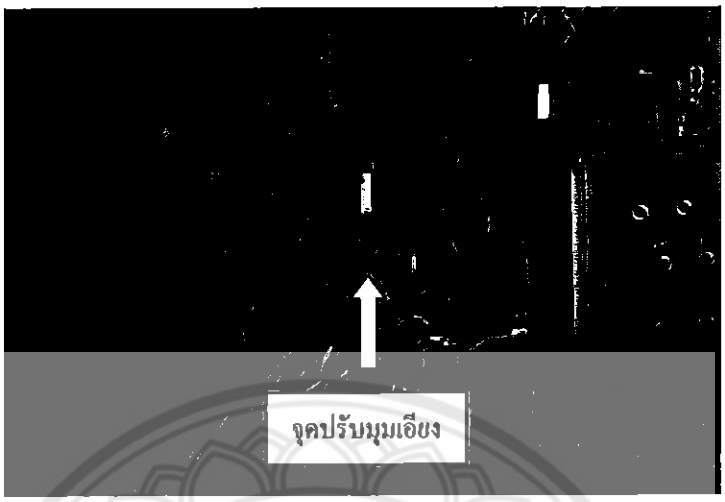
สมมุติฐานของสาเหตุที่เกิดปัญหา

จากการตั้งสมมุติฐานที่ได้ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วย FTA ในรูปที่ 4.21 หน้าที่ 53 ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) ตะแกรงหมุนไม่มีโครงสร้างทำให้ขยะหมุนออกโครงสร้างของตะแกรงไม่มีส่วนประกอบของตะแกรงที่จะผลักดันขยะที่ร่อนได้แล้วให้ไหลออกมาด้านท้าย

รูปที่ 4.18 ลักษณะภายในของตะแกรงร่อนขยะ

2) ระบบกลไกในการปรับมุมเอียงเสีย เนื่องจากระบบไฮดรอลิคที่ใช้ในการปรับมุมเอียงของตะแกรงนั้นเสียทำให้ปรับมุมเอียงไม่ได้และมีขนาดที่ค่อนข้างสั้นสั้นทำให้ปรับมุมเอียงได้น้อย



รูปที่ 4.19 กลไกปรับมุมเอียงของเครื่องร่อนขยะ

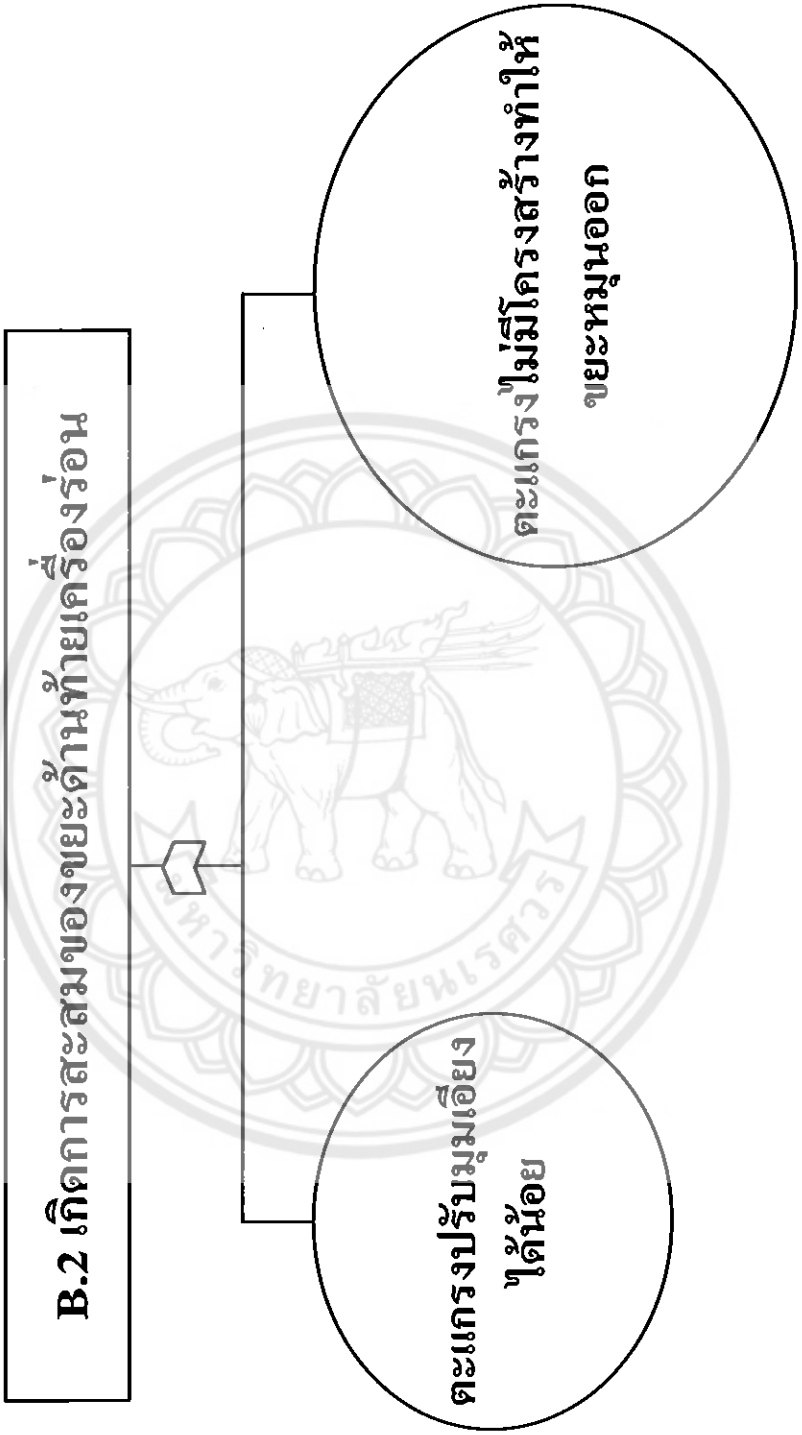
แนวทางการแก้ไข

1) ทำโครงสร้างของตะแกรงให้มีเกลียวภายในเพื่อผลักดันให้ขยะไหลออกด้านท้าย ดังแสดงในรูปที่ 4.23

รูปที่ 4.20 ตะแกรงร่อนขยะที่มีเกลียวช่วยในการเคลื่อนที่ของขยะ

2) ซ่อมระบบไฮดรอลิคปรับมุมเอียงให้ใช้ได้ และเปลี่ยนไฮดรอลิคอันเก่าให้มีความยาวเพิ่มมากขึ้นเพื่อเพิ่มระยะของการปรับมุมให้มีมากขึ้น

3) เลือกสถานที่ที่จะทำการตั้งเครื่องร่อนขยะให้มีความลาดเอียง หรือให้รถเบ็คโฮลตักขยะมากองบริเวณล้อหน้าของเครื่องร่อนแล้วนำเครื่องร่อนไปตั้งบริเวณนั้นเพื่อเพิ่มความลาดเอียงให้กับเครื่องร่อนขยะ



รูปที่ 4.21 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้เกิดการสะสมของขยะด้านท้ายเครื่องร่อน

4.3.2.3 ตะแกรงหมุนมีความเร็วรอบไม่สม่ำเสมอ (B.3)

ลักษณะของปัญหา

ลักษณะของปัญหา คือ ขณะเมื่อเครื่องร่อนขยะทำงาน ระบบในการส่งกำลังไปหมุนตะแกรงเกิดการขัดข้องทำให้ตะแกรงหมุนได้ไม่ต่อเนื่องหรือความเร็วรอบในการหมุนช้าลงส่งผลให้กระบวนการร่อนขยะทำได้ไม่ต่อเนื่อง

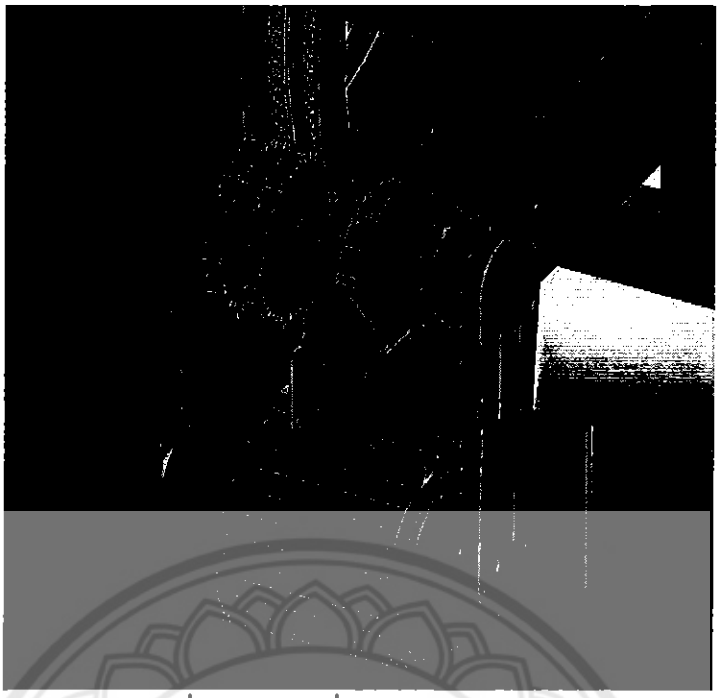
รูปที่ 4.22 ตำแหน่งการวางมอเตอร์ที่ตะแกรงร่อนขยะ

สมมุติฐานของสาเหตุที่เกิดปัญหา

จากการตั้งสมมุติฐานที่ได้ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วย FTA ในรูปที่ 4.27 หน้าที่ 57 ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) ฐานยึดมอเตอร์ไม่แข็งแรง

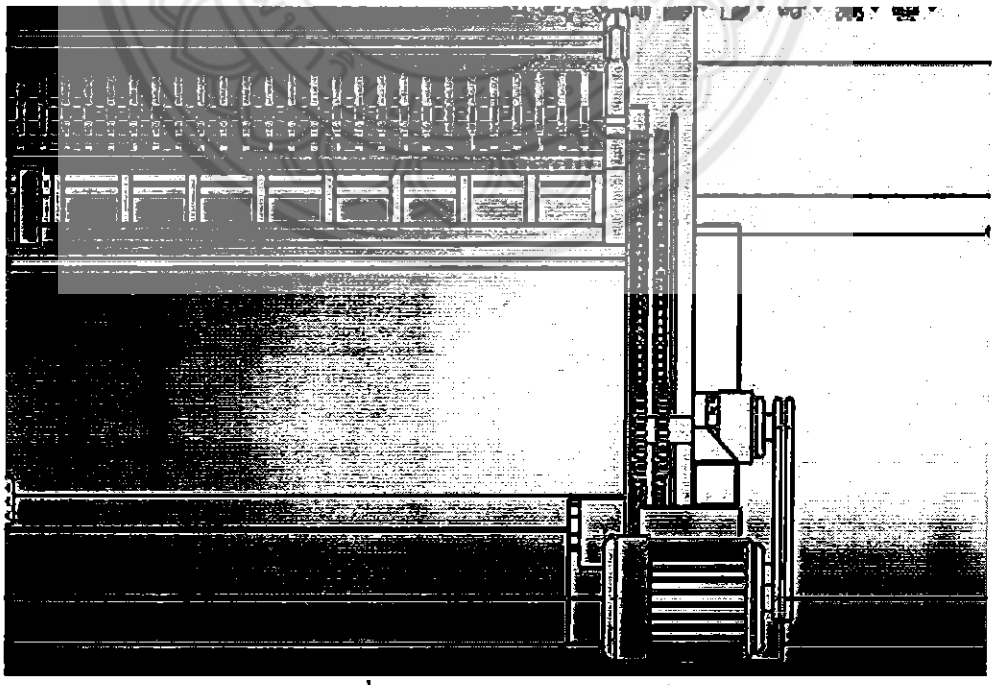
เนื่องจากความแข็งแรงของฐานยึดมอเตอร์ไม่แข็งแรงพอทำให้ขณะทำงานเกิดการเคลื่อนตัวของมอเตอร์และฐานทำให้เฟืองที่เป็นตัวขับตัวตะแกรงเกิดการบิดตัวและขบกับโซ่ที่ติดกับตะแกรงไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.23 กลไกที่ทำให้ตะแกรงทำงาน

2) ตำแหน่งในการติดตั้งมอเตอร์ไม่เหมาะสม

ในการติดตั้งมอเตอร์มีการส่งกำลังหลายขั้นตอน และจุดที่ส่งกำลังเองก็ไม่มั่นคงพอ จึงทำให้การส่งกำลังจากมอเตอร์ไปที่เฟืองเพื่อขับตัวตะแกรงเป็นไปได้ดีไม่เท่าที่ควร



รูปที่ 4.24 ตำแหน่งของมอเตอร์

3) มอเตอร์กำลังน้อย มอเตอร์ที่ใช้อาจมีกำลังไม่มากพอที่จะหมุนตะแกรงเมื่อขยะในตะแกรงหมุนมีน้ำหนักมาก ๆ

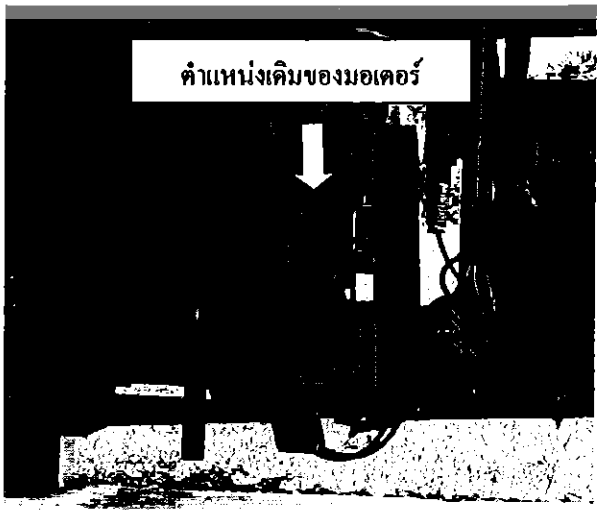
แนวทางการแก้ไข

1) เพิ่มความแข็งแรงให้กับฐานยึดของมอเตอร์โดยการเสริมเหล็กเข้าไปและเพิ่มจุดยึดให้มากขึ้น

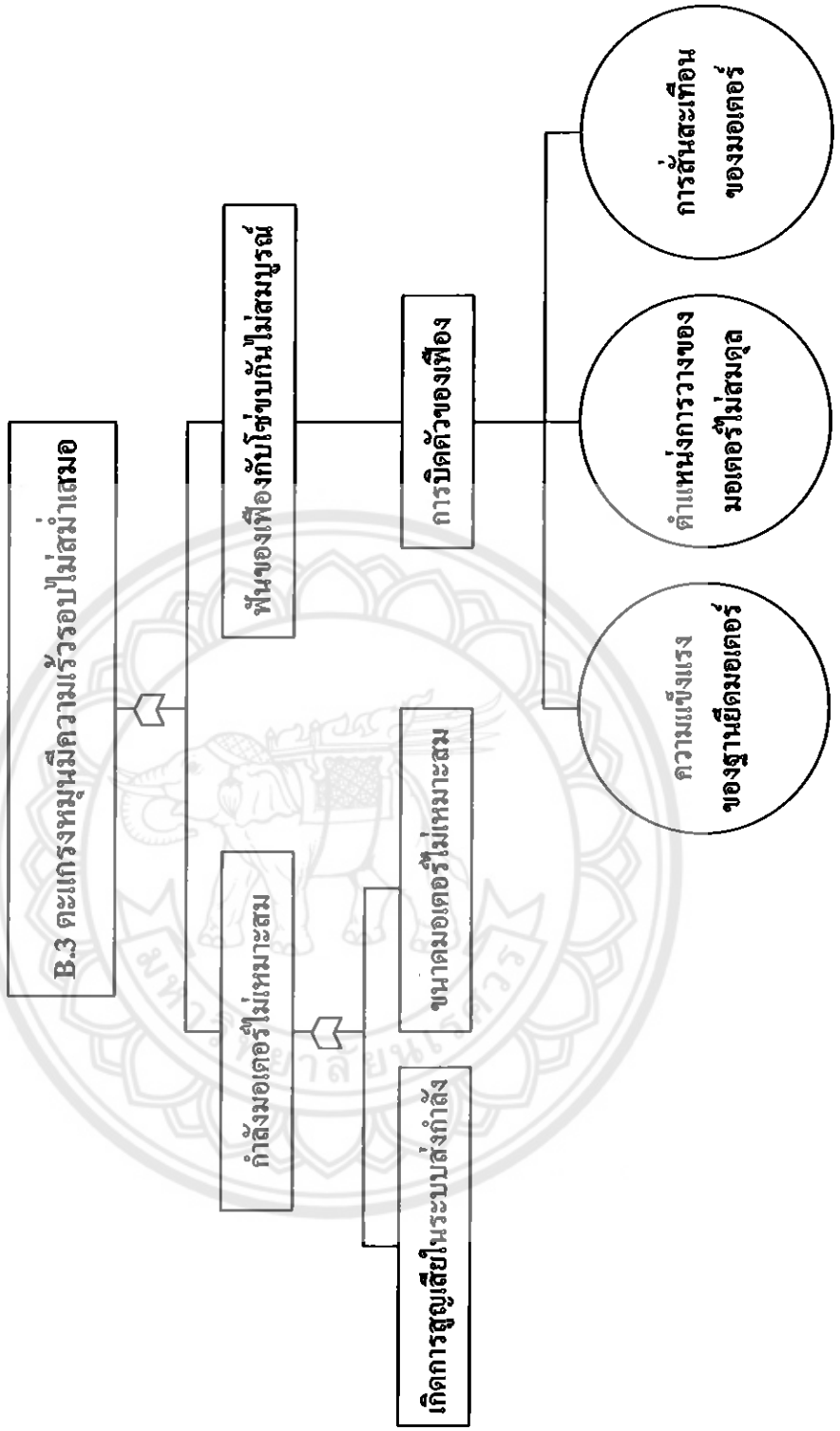
2) เปลี่ยนมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3) ปรับตำแหน่งในการวางมอเตอร์ใหม่

รูปที่ 4.25 ตำแหน่งการวางและการเปลี่ยนมอเตอร์



รูปที่ 4.26 ตำแหน่งเดิมของมอเตอร์



รูปที่ 4.27 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้ตะแกรงหมุนมีความเร็วรอบไม่สม่ำเสมอ

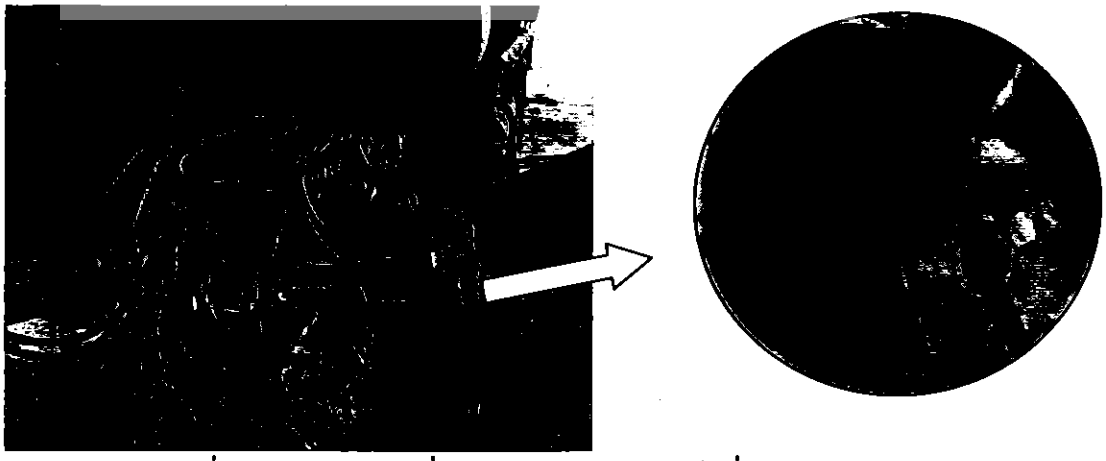
4.3.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนของระบบสายพานลำเลียง (C)

4.3.3.1 การฉีกขาดบริเวณข้อต่อของสายพานลำเลียงด้านข้างและท้าย (C.1)

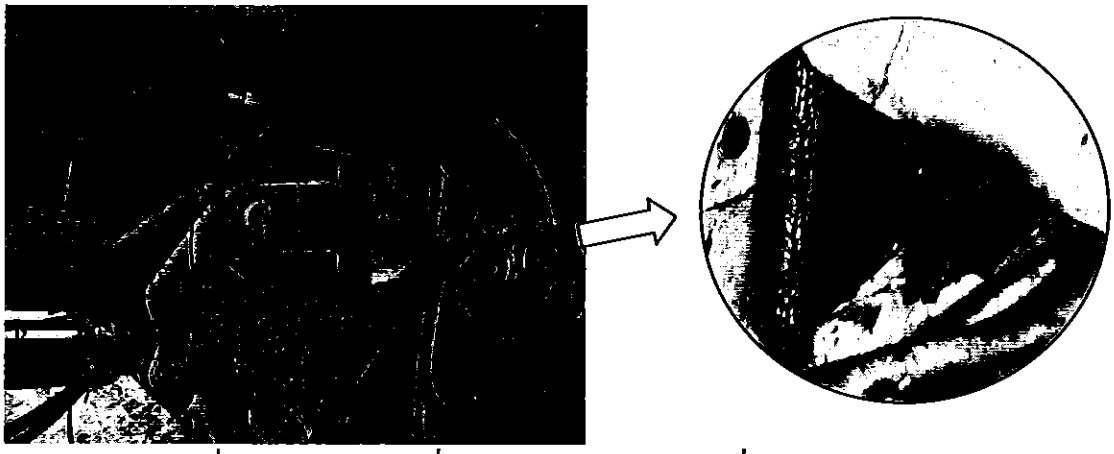
ลักษณะของปัญหา

ลักษณะของปัญหา คือ ข้อต่อของสายพานลำเลียงกับตัวเครื่องร่อนไม่แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของสายพานลำเลียงที่มีค่อนข้างมากจึงเกิดการฉีกขาดบริเวณที่รับภาระเกินขีดจำกัด ของวัสดุที่จะรับไว้ได้ จุดที่เกิดการฉีกขาดและการซ่อมแซมที่บริเวณข้อต่อ ดังแสดงในรูปที่ 4.28 ,4.29 และ 4.30 ตามลำดับ

รูปที่ 4.28 จุดที่เกิดการฉีกขาดของสายพานลำเลียงขยะทางด้านท้ายและด้านข้าง



รูปที่ 4.29 จุดซ่อมแซมที่บริเวณข้อต่อสายพานเส้นที่ 3



รูปที่ 4.30 จุดซ่อมแซมที่บริเวณข้อต่อสายพานเส้นที่ 4

สมมุติฐานของสาเหตุที่เกิดปัญหา

จากการตั้งสมมุติฐานที่ได้ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วย FTA ในรูปที่ 4.34 **หน้าที่ 61 ซึ่งได้ผล**การวิเคราะห์ดังนี้

1) น้ำหนักของโครงสร้างสายพาน

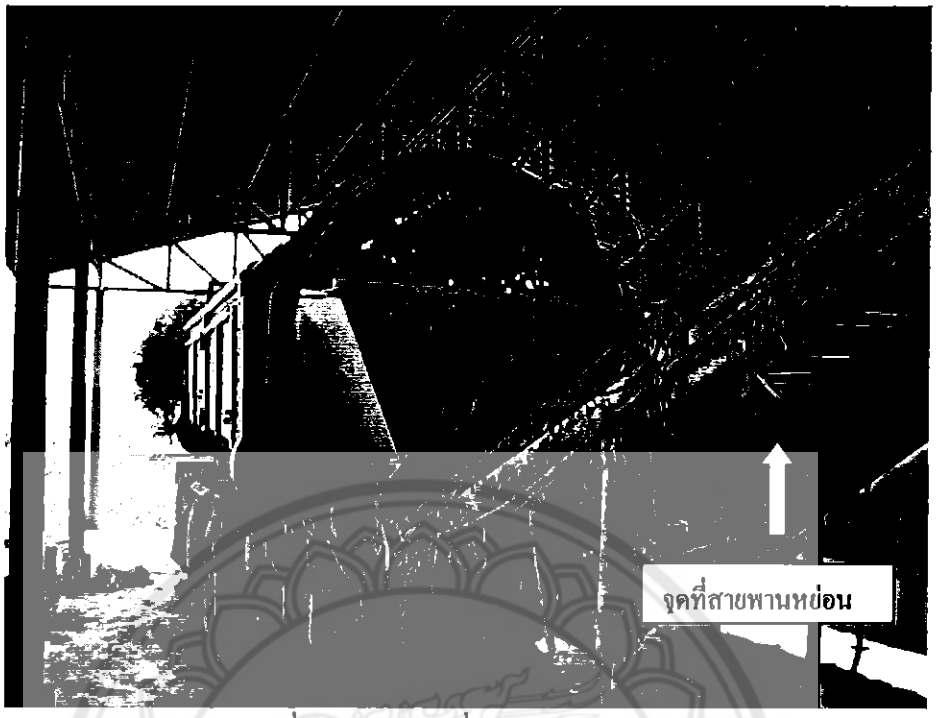
จากการสังเกตลักษณะโครงสร้างของสายพานลำเลียงนั้นมีขนาดที่ใหญ่และ**ยาวอาจเป็นสาเหตุ**หนึ่งที่ทำให้เกิดการฉีกขาดบริเวณข้อต่อได้

2) รับแรงสั่นสะเทือนจากมอเตอร์

ตำแหน่งที่ติดตั้งมอเตอร์อยู่ตรงส่วนปลายของโครงสร้างสายพานและด้วยความยาวของสายพานทำให้ขณะทำงานแรงสั่นสะเทือนจากมอเตอร์อาจทำให้เกิดแรงกระทำบริเวณข้อต่ออย่างมาก ทำให้เกิดการฉีกขาดของข้อต่อได้

รูปที่ 4.31 ลักษณะของมอเตอร์ที่สายพานลำเลียงด้านท้ายและด้านข้าง

3) แรงสะบัดของสายพานเนื่องจากสายพานหย่อน



รูปที่ 4.32 ลักษณะที่หย่อนของสายพาน

แนวทางการแก้ไข

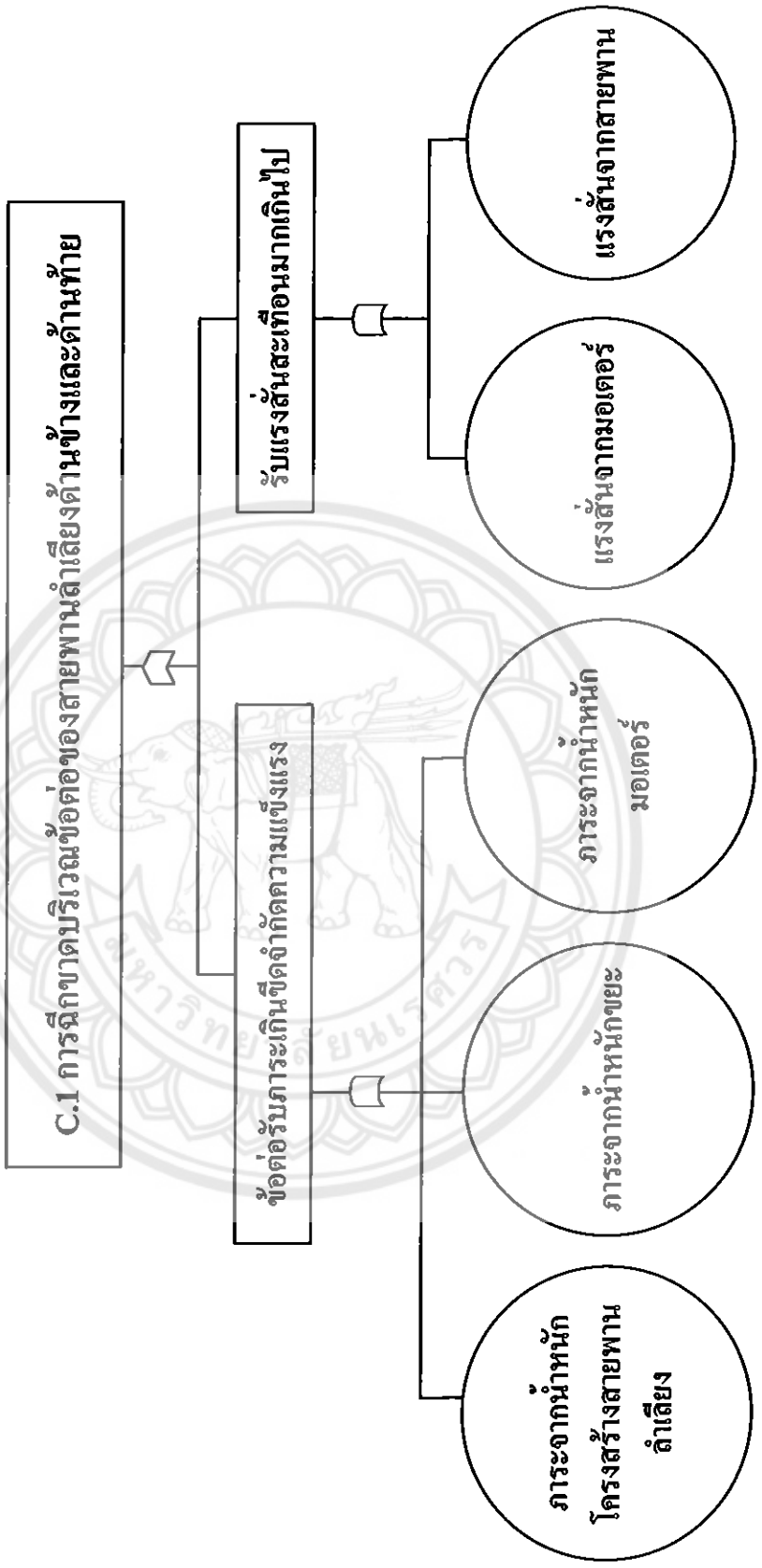
1) ลดขนาดของโครงสร้างลง โดยทำให้มีขนาดและความยาวน้อยลง โดยเลือกวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง

2) เพิ่มส่วนประกอบที่ทำหน้าที่รีดสายพาน ไม่ให้สายพานหย่อนดังแสดงในรูปที่ 4.34

รูปที่ 4.33 ระบบป้องกันการสะบัดของสายพาน

3) เสริมความแข็งแรงบริเวณข้อต่อของสายพานกับตัวรถ

4) ทดเฟืองเพื่อลดความเร็วในการหมุนของสายพานให้น้อยลง ลดการสั่นสะเทือนที่ส่งผ่านไปยังข้อต่อ



รูปที่ 4.34 การวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้เกิดการฉีกขาดบริเวณข้อต่อ

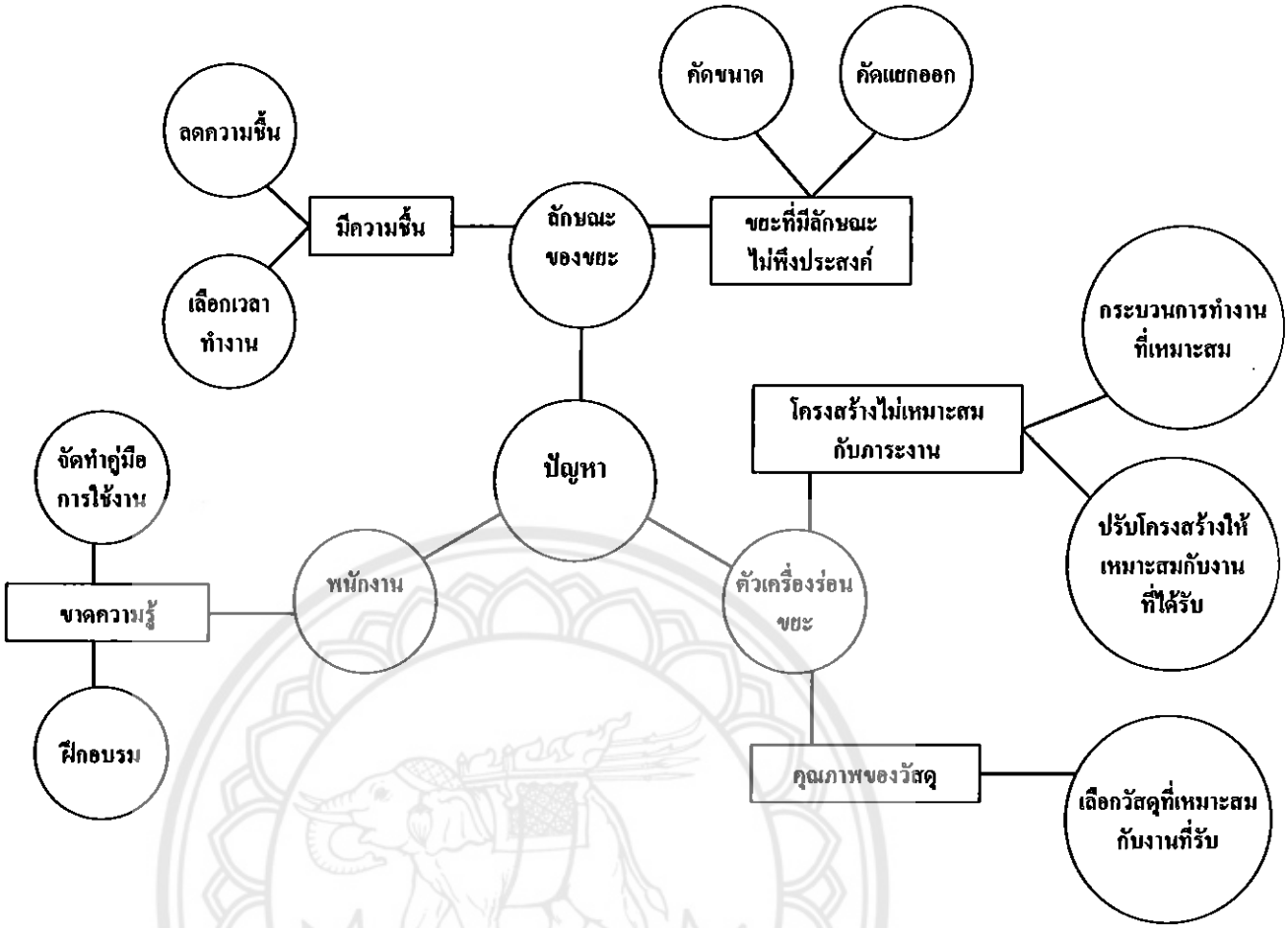
บทที่ 5
บทสรุป

5.1 ผลการวิเคราะห์

จากการที่ได้ศึกษาวิธีการบำบัดขยะแบบเชิงกล-ชีวภาพหรือ Mechanical Biological Waste Treatment (MBT) ที่ทางเทศบาลนครพิษณุโลกนำมาใช้ในการกำจัดขยะ ซึ่งพบว่าเป็นวิธีกำจัดขยะที่มีข้อดีและประโยชน์หลายด้าน ทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและทางด้านเพิ่มมูลค่าให้กับขยะ แทนที่จะฝังกลบทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ และในการจะนำขยะที่ผ่านกรรมวิธีบำบัดแบบเชิงกล-ชีวภาพไปใช้ประโยชน์ได้นั้นจะต้องผ่านขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งคือ การร่อนขยะขั้นตอนสำคัญ จะทำการร่อนโดยผ่านเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน โดยตอนแรกทางเทศบาลนครพิษณุโลกได้เช่าเครื่องร่อนขยะที่มาจากต่างประเทศ พบว่าเครื่องร่อนที่เช่ามา มีต้นทุนที่ค่อนข้างสูง ทางเทศบาลนครพิษณุโลก จึงได้มีการสั่งทำเครื่องร่อนขยะขึ้น โดยอาศัยหลักการทำงานของเครื่องที่ได้เช่ามานั้นเป็นต้นแบบ แต่ไม่ได้ทำเลียนแบบเหมือนเครื่องต้นแบบโดยตรง โดยอาศัยการประยุกต์ของที่มีอยู่และหาได้ง่ายมาเป็นส่วนประกอบของเครื่องร่อนขยะแทน ซึ่งชิ้นส่วนบางชิ้นไม่เหมาะที่จะนำมาประกอบเป็นเครื่องร่อนขยะ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เครื่องร่อนขยะที่ได้มานั้นเกิดปัญหาขณะปฏิบัติงานจึงทำให้ต้องหยุดเดินเครื่องเป็นประจำ จากความสำคัญของขั้นตอนและประโยชน์ที่ได้รับการกรรมวิธีดังกล่าว จึงทำให้ทางผู้กลุ่มดำเนินงานสนใจที่จะทดลองหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องร่อนขยะ

จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องร่อนขยะทั้งหมด ทั้งกรรมวิธีการบำบัดขยะแต่ละขั้นตอน หลักการทำงานโดยรวมของเครื่อง ลักษณะขยะที่จะทำการร่อน และความต้องการของผู้ใช้เครื่อง นำมาวิเคราะห์ด้วย "วิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด" หรือ (Fault Tree Analysis : FTA) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งสาเหตุที่เคยเกิดมาแล้ว และที่คาดว่าจะเกิดซึ่งจะนำไปสู่เหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ เทคนิคนี้ช่วยทำให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถใช้เป็นเครื่องมือการหลีกเลี่ยงปัญหาที่คาดว่าจะเกิด หรือเป็นเครื่องมือที่ทำให้การดำเนินงานประสบความสำเร็จ ด้วยการหาวิธีการที่จะช่วยขจัดปัญหาที่คาดว่าจะเกิดออกไป

จากวิธีวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด สามารถแยกปัญหาที่เกิดขึ้นออกเป็นส่วนๆ ตามส่วนประกอบหลักของเครื่อง ซึ่งในเครื่องร่อนขยะสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ 1. กระบะรับขยะ 2. ตะแกรงหมุน 3.สายพานลำเลียง และได้เหตุการณ์พื้นฐาน ซึ่งนำไปสู่การหยุดทำงานของเครื่องร่อนขยะ



รูปที่ 5.1 สรุปสาเหตุของการเกิดปัญหา และการแก้ไข

ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องร่อนขยะ ซึ่งสาเหตุของปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากเหตุการณ์ที่ต่อเนื่องกัน มีสาเหตุที่สัมพันธ์เกิดจากเหตุการณ์เดียว หรือหลายเหตุการณ์ร่วมกันเป็น จึงเป็นผลทำให้เกิดการเสียหายของอุปกรณ์หรือวัสดุที่ใช้ในการทำเครื่องร่อนขยะ เช่น ความเข้าใจในการทำงานร่วมกับเครื่อง วัสดุที่ใช้ในการทำไม่มีความแข็งมากพอ การขาดการบำรุงรักษา การใช้งานหนักเกิน เป็นต้น ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้อาจเป็นสาเหตุทำให้เครื่องร่อนเกิดการเสียหายขึ้น

ส่วนกระบะรับขยะ ก่อนการปรับปรุง ระบบการทำงานโดยให้งานแก่มอเตอร์ 2.2 kW ผ่านตัวทดเฟืองเพื่อหมุนให้สายพานลำเลียงภายในกระบะรับขยะทำงาน หลังการปรับปรุง เพิ่มขนาดมอเตอร์เป็น 3.7 kW เข้าสู่ตัวหมุนโดยตรง เพื่อเพิ่มกำลังในการเคลื่อนที่ของขยะ

ชุดตะแกรงหมุนก่อนการปรับปรุง ใช้มอเตอร์ขนาด 20 kW ขับผ่านตัวทดเฟืองเพื่อหมุนให้เครื่องร่อนทำงาน หลังการปรับปรุง ใช้มอเตอร์ขนาด 20 kW เปลี่ยนตำแหน่งว่างใหม่มอเตอร์ ต่อเข้ากับตัวหมุนโดยตรง เชื่อมฐานรองใหม่เพื่อให้ฐานมีความแข็งแรงมากขึ้น

ระบบสายพานลำเลียง จุดที่ 1 สายพานลำเลียงเส้นที่ 3 และ 4ก่อนการปรับปรุงใช้มอเตอร์ขนาด 3.7 kW ในการขับเคลื่อนของระบบลำเลียง การทำงานของระบบมีการลำเลียงขยะที่ดี แต่ข้อเสีย

คือ มีความเร็วในการเคลื่อนที่มากเกินไป ทำขยะที่ลำเลียงนั้นกระเด็นไปไกล และสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ หลังการปรับปรุง ลดขนาดมอเตอร์ลงเหลือ 2.2 kW ระบบการลำเลียงดี การวางตัวของขยะเหมาะสมกับตำแหน่งที่กำหนด และลดการใช้พลังงานในส่วนนี้ลง จุดที่ 2 ข้อต่อสายพานลำเลียงเส้นที่ 3 และ 4 ก่อนการปรับปรุง มอเตอร์ที่มีการสั่นมากทำให้ฐานที่เชื่อมต่อเกิดการเสียหายมาก ในระหว่างทำงาน เมื่อใช้งานไปเป็นเวลานานๆ อาจทำให้ฐานที่ยึดเกิดการเสียหายมากขึ้นกว่าเดิม หลังการปรับปรุง ลดขนาดมอเตอร์ลงจาก 3.7 kW เป็น 2.2 kW ทำให้การสั่นลดน้อยลงและเชื่อมตรงจุดที่เกิดการเสียหาย จึงทำให้ฐานที่จุดเชื่อมต่อมีความแข็งแรงมากขึ้น

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ฤดูกาล เนื่องจากเครื่องใช้ระบบไฟฟ้าในช่วงฤดูฝน จึงไม่สามารถเก็บข้อมูลในระหว่างทำงานได้

5.2.2 สถานที่ทำงาน มีระยะทางไกลในการเข้าไปทำงาน จึงใช้เวลานานในการเดินทาง

5.2.3 ปัญหาเรื่องกลิ่น ขยะที่เริ่มต้นกระบวนการแรกในการบำบัดมีกลิ่นแรง จึงมีผลต่อการการหายใจระยะเวลาในการทำงานที่บ่อบำบัดขยะ

5.2.4 การหยุดการทำงานของเครื่องร่อน มีผลต่อการเก็บข้อมูลในระหว่างทำงาน จึงทำให้การเก็บข้อมูลในบางส่วนไม่มากพอ

5.3 ข้อเสนอแนะ

การหาสิ่งที่จะนำไปสู่การหยุดทำงานหรือการทำงานที่ไม่เต็มที่ของเครื่องร่อนขยะ ควรจะมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขยะและประสิทธิภาพในการคัดแยกขยะของเครื่องร่อน ทำการทดลองเพิ่มเติม เพื่อหาปริมาณขยะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องร่อน การวิเคราะห์ความเสียหายของข้อต่อ ระหว่างสายพานกับโครงสร้างหลัก ศึกษาผลกระทบของการสั่นสะเทือนที่บริเวณข้อต่อ หาความสัมพันธ์ ระหว่างมุมเอียงของตะแกรงหมุนกับการสะสมของขยะด้านท้ายเครื่องร่อนขยะ ศึกษาความเป็นไปได้ในการลดความชื้นของขยะ ก่อนเข้าสู่กระบวนการร่อนขยะ จากสิ่งที่ยกตัวอย่างในข้างต้น ถ้ามีการดำเนินการทำจะทำให้ได้ข้อมูลที่จะทำให้สามารถที่จะรู้ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างแม่นยำมากขึ้น

บรรณานุกรม

1. โครงการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนเมืองพิษณุโลก. การบำบัดขยะมูลฝอยแบบเชิงกล-ชีวภาพ.2548.
2. ศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร Environmental Research Centre (ERC) Naresuan University .โครงการวิเคราะห์คุณสมบัติขยะหลังการบำบัดโดยวิธีเชิงกล-ชีวภาพ (Mechanical Biological Waste Treatment) ของเทศบาลนครพิษณุโลก : 2529.
3. http://www.faber-ambra.com/th/ambra-system-overview.htm
   สืบค้นเมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2551
4. http://www.aggregatepros.com/DoppstadtSM518TrommelScreen.html
   สืบค้นเมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2551
5. www.wijai48.com/file_sapa/%C7%D4%B7%C2%D2%B9%D4%BE%B9%B8%EC/%CD.%CA%C1%C8%D1%A1%B4%D4%EC/fta.ppt
   สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2551
6. mengineer.files.wordpress.com/2008/08/why-why-analysis.ppt
   สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2551
7. http://www.gprecision.net/MATERIAL-HANDLING.html
   สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มีนาคม 2553

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบสอบถาม

แบบสอบถามพนักงาน

1. ตำแหน่งที่รับผิดชอบ...คัดแยกขยะ...

2. ระยะเวลาที่ทำงานในสถานที่คัดแยกขยะ...4...ปี

3. อายุ...45 – 50...ปี เพศ ( ) ชาย ( ) หญิง

คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย (/) ในช่องคำถามที่กำหนด

1. ก่อนการทำงานกับเครื่องร่อนขยะมีการอบรมการใช้งานหรือไม่

   (/) มี ( ) ไม่มี ( ) ศึกษาเอง

   จาก...ผู้ประกอบการ...

2. ท่านทำงานกับเครื่องร่อนขยะเป็นเวลานานเท่าใด

   ( ) 1 – 3 เดือน ( ) 4 – 6 ( ) 7 – 12 เดือน (/) มากกว่า 1 ปี ( ) ไม่เคยทำ

3. ท่านสามารถอธิบายการทำงานของเครื่องร่อนขยะได้หรือไม่ อย่างไร (/) ได้ ( ) ไม่ได้

   เมื่อมีการเทขยะเข้าเครื่องร่อน ก็จะแยกขยะ ตัวใหญ่ออกจากขยะ และสายพานก็จะขยะ
   เคลื่อนขยะเข้าหาตัวมัน ในช่วงแรกจะใช้ระยะแกนร่อน 40 มม. ก่อน และเปลี่ยนเป็น 10 มม.
   ทำให้ขยะหมด ขยะที่เล็กก็จะแยกจะหล่นลงสายพานตัวล่าง ซึ่งไปสายพาน ตัวกลางใน
   เครื่องร่อน จากนั้น ก็จะออกทางด้านข้าง ส่วนขยะที่ผ่านตะแกรง จะออกตามสาย
   พาน ตัวกลางเครื่องร่อน

4. ท่านสามารถอธิบายส่วนประกอบของเครื่องร่อนขยะได้หรือไม่ อย่างไร (/) ได้ ( ) ไม่ได้

   ตัวเครื่อง มีสายพานตัวใน 1 เส้น ใช้มอเตอร์ 2.7 kw ปั่นเครื่อง
   ตัวแยก ใช้ตะแกรงร่อน ชุด คือ 40 มม. และ 10 มม. มีสายพาน 1 เส้น ใช้ตัวแยก
   และ 1 เส้นตัวกลางเครื่องร่อน ใช้มอเตอร์ 1.5 kw ในการปั่นเครื่อง
   ตัวแยก
   สายพานลำเลียง มี 2 เส้น คือ ตัวเข้าเครื่องร่อน และตัวออกเครื่องร่อน

5. ท่านสามารถอธิบายวิธีในการคัดแยกขยะได้หรือไม่ อย่างไร ( ) ได้ ( ) ไม่ได้

เรื่องนี้ยากสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ความเข้าใจ ต้องมีการแยกขยะ ก่อนที่จะนำไปทิ้ง เพราะขยะบางอย่างสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ขยะบางอย่างไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ก็ต้องทิ้งไป

6. ปัญหาที่พบในการทำงานกับเครื่องร่อนขยะ

1. เกิดการฉีกขาดของถุงขยะ ทำให้ขยะหกเลอะเทอะ
2. การตากฝนของขยะ
3. การคัดแยกขยะประเภทต่างๆ ให้ถูกต้องตามหลักเกณฑ์
4. ขยะมีความชื้นสูงมาก
5. ถนนที่ขรุขระ ทำให้เวลาขนขยะไปทิ้งลำบาก

7. เวลาที่ใช้ในการร่อนขยะในแต่ละวัน

( ) 1 – 2 ชั่วโมง/วัน (✓) 3 – 4 ชั่วโมง/วัน ( ) 5 – 6 ชั่วโมง/วัน ( ) 7 – 8 ชั่วโมง/วัน

( ) มากกว่า 8 ชั่วโมง

8. ปริมาณขยะที่ร่อนได้ในแต่ละวัน ไม่ทราบจำนวนที่แน่นอน

9. ระยะเวลาในการร่อนขยะในแต่ละกองใช้เวลานานเท่าใด 1 (วัน/สัปดาห์/เดือน)

10. ก่อนการใช้งานมีการตรวจเช็คเครื่องร่อนก่อนการใช้บางหรือไม่

(✓) มี ตรวจเช็คระบบไฟ

( ) ไม่มี เพราะ

11. หลังจากการใช้งานเครื่องร่อนมีการทำความสะอาดดูแลรักษาอุปกรณ์บ้างหรือไม่

(/) มี ทำความสะอาดหลังจากเสร็จงานทุกครั้ง

( ) ไม่มี เพราะ.....

12. มีการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องร่อนขยะบางหรือไม่

(/) มี ตรวจสภาพทั่วไปของตัวเครื่อง การหล่อลื่นอย่างสม่ำเสมอ

( ) ไม่เคย เพราะ.....

13. ท่านอยากให้มีการแก้ไขในส่วนใดบางเกี่ยวกับการทำงานกับเครื่องร่อนขยะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

14. ท่านพึงพอใจต่อการทำงานของเครื่องร่อนขยะนี้หรือไม่

( ) พึงพอใจต่อการทำงาน ( ) ไม่พึงพอใจต่อการทำงานควรมีการแก้ไข

แบบสอบถามพนักงาน

1. ตำแหน่งที่รับผิดชอบ..... พนักงานควบคุมเครื่อง .....

2. ระยะเวลาที่ทำงานในสถานที่คัดแยกขยะ..... 4 .....ปี

3. อายุ..... 33 .....ปี เพศ (✓) ชาย ( ) หญิง

คำชี้แจง ให้ทำเครื่องหมาย (/) ในช่องคำถามที่กำหนด

1. ก่อนการทำงานกับเครื่องร่อนขยะมีการอบรมการใช้งานหรือไม่

   (✓) มี ( ) ไม่มี ( ) ศึกษาเอง

   จาก..... ผู้ประกอบเครื่อง .....

2. ท่านทำงานกับเครื่องร่อนขยะเป็นเวลานานเท่าใด

   ( ) 1 – 3 เดือน ( ) 4 – 6 ( ) 7 – 12 เดือน (✓) มากกว่า 1 ปี ( ) ไม่เคยทำ

3. ท่านสามารถอธิบายการทำงานของเครื่องร่อนขยะได้หรือไม่ อย่างไร (✓) ได้ ( ) ไม่ได้

   หลักๆ ใส่ขยะ แล้วขยะจะไหลลงตามเกรงหมุน เพื่อร่อนขยะให้แยกออกจากกัน
   ขยะที่มีขนาดเล็กจะตกลงข้างล่าง และไหลออกทางสายพานด้านข้างตัวรถ ส่วนขยะที่มีขนาดใหญ่
   จะไหลออกทางท้ายเครื่อง

4. ท่านสามารถอธิบายส่วนประกอบของเครื่องร่อนขยะได้หรือไม่ อย่างไร (✓) ได้ ( ) ไม่ได้

   เครื่องร่อนเป็นเครื่องที่ใช้ไฟฟ้าก็มี ใช้ดีเซลก็มี แต่ส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการร่อนก็มี
   กระบะรับขยะ ตะแกรงร่อนขยะ สายพาน และมีมอเตอร์ในการขับเคลื่อนตะแกรงร่อน
   และสายพาน ต่อตะแกรงก็จะมีแปรงปัดขยะออกไป

5. ท่านสามารถอธิบายวิธีในการคัดแยกขยะได้หรือไม่ อย่างไร (✓) ได้ ( ) ไม่ได้

เมื่อเกขยะมูลฝอยมาก็จะทำการแยกขยะด้วยตาเปล่าโดยแยกขยะที่สามารถนำมาขายได้ออกจากขยะสด หลังจากนั้นก็จะไม่ผสม และไปทิ้งถังขยะหมัก เมื่อหมักเสร็จก็จะนำมาร่อน เพื่อแยกถุงพลาสติกและสิ่งแปลกปลอมออกจากกัน

6. ปัญหาที่พบในการทำงานกับเครื่องร่อนขยะ

สายพานไม่หมุน เพราะขยะมากเกินไป
ขยะติดตะแกรงร่อน ทำให้ร่อนได้ไม่ดี
สายพานใต้ตะแกรงหัก

7. เวลาที่ใช้ในการร่อนขยะในแต่ละวัน

( ) 1 – 2 ชั่วโมง/วัน ( ) 3 – 4 ชั่วโมง/วัน ( ) 5 – 6 ชั่วโมง/วัน (✓) 7 – 8 ชั่วโมง/วัน

( ) มากกว่า 8 ชั่วโมง

8. ปริมาณขยะที่ร่อนได้ในแต่ละวัน ไม่มีปริมาณที่แน่นอน

9. ระยะเวลาในการร่อนขยะในแต่ละกองใช้เวลานานเท่าใด ประมาณ 1 สัปดาห์ (วัน/สัปดาห์/เดือน)

10. ก่อนการใช้งานมีการตรวจเช็คเครื่องร่อนก่อนการใช้บ้างหรือไม่

(✓) มี เช็คระบบไฟฟ้าของเครื่อง ก่อนว่ากระแสไฟฟ้ารั่วหรือไม่ เพราะอาจเป็นอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้

( ) ไม่มี เพราะ.....

11. หลังจากการใช้งานเครื่องร่อนมีการทำความสะอาดดูแลรักษาอุปกรณ์บ้างหรือไม่

(/) มี มีการล้างเครื่องเมื่อได้ทำการร่อนเสร็จในแต่ละครั้ง เพื่อการใช้งานในครั้งต่อไป

( ) ไม่มี เพราะ.....

12. มีการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องร่อนขยะบ้างหรือไม่

(/) มี ตรวจเช็คสภาพเครื่อง หลังจากเครื่องหยุดทำงานในแต่ละวัน

( ) ไม่เคย เพราะ.....

13. ท่านอยากให้มีการแก้ไขในส่วนใดบ้างเกี่ยวกับการทำงานกับเครื่องร่อนขยะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

14. ท่านพึงพอใจต่อการทำงานของเครื่องร่อนขยะนี้หรือไม่

( ) พึงพอใจต่อการทำงาน ( ) ไม่พึงพอใจต่อการทำงานควรมีการแก้ไข

แบบสอบถามพนักงาน

1. ตำแหน่งที่รับผิดชอบ พนักงานเก็บขน

2. ระยะเวลาที่ทำงานในสถานที่คัดแยกขยะ 2 ปี

3. อายุ 30 – 40 ปี เพศ (✓) ชาย ( ) หญิง

<u>คำชี้แจง</u> ให้ทำเครื่องหมาย (/) ในช่องคำถามที่กำหนด

1. ก่อนการทำงานกับเครื่องร่อนขยะมีการอบรมการใช้งานหรือไม่

   (✓) มี ( ) ไม่มี ( ) ศึกษาเอง

   จาก พนักงานเก่าๆ

2. ท่านทำงานกับเครื่องร่อนขยะเป็นเวลานานเท่าใน

   ( ) 1 – 3 เดือน ( ) 4 – 6 ( ) 7 – 12 เดือน (✓) มากกว่า 1 ปี ( ) ไม่เคยทำ

3. ท่านสามารถอธิบายการทำงานของเครื่องร่อนขยะได้หรือไม่ อย่างไร (✓) ได้ ( ) ไม่ได้

   ทำงานโดยใช้ กระบะขยะ สายพานลำเลียงขยะ ลงเครื่องร่อน การหมุนตีแยก ขยะที่เล็กกว่ารู
   ที่ร่อนจะหล่น ลงด้านล่าง ออกสู่สายพานตัวที่สอง ขยะที่ใหญ่กว่าที่ร่อนจะออกทางด้านหัว
   ของเครื่องร่อน

4. ท่านสามารถอธิบายส่วนประกอบของเครื่องร่อนขยะได้หรือไม่ อย่างไร (✓) ได้ ( ) ไม่ได้

   กระบะรับขยะ สายพานลำเลียงขยะ การหมุนตีแยก

5. ท่านสามารถอธิบายวิธีในการคัดแยกขยะได้หรือไม่ อย่างไร (✓) ได้ ( ) ไม่ได้

ขยะเศษอาหาร ออกมาตากแดดให้แห้ง ขยะ ออก จากนั้นไปขาย เพื่อ นำมาผลิต เครื่องใช้ไฟฟ้าต่อ ประมาณ 9 เดือน ถึงเต็มถังขยะ

6. ปัญหาที่พบในการทำงานกับเครื่องร่อนขยะ

ปัญหาเรื่องเวลาสายพานตัดเรื่อง ขยะเหลือใช้ตกหล่น

7. เวลาที่ใช้ในการร่อนขยะในแต่ละวัน

( ) 1 – 2 ชั่วโมง/วัน (✓) 3 – 4 ชั่วโมง/วัน ( ) 5 – 6 ชั่วโมง/วัน ( ) 7 – 8 ชั่วโมง/วัน

( ) มากกว่า 8 ชั่วโมง

8. ปริมาณขยะที่ร่อนได้ในแต่ละวัน ไม่ทราบจำนวนที่แน่นอน

9. ระยะเวลาในการร่อนขยะในแต่ละกองใช้เวลานานเท่าใด 1 (วัน/สัปดาห์/เดือน)

10. ก่อนการใช้งานมีการตรวจเช็คเครื่องร่อนก่อนการใช้บางหรือไม่

(✓) มี ระบบไฟฟ้า

( ) ไม่มี เพราะ.....

11. หลังจากการใช้งานเครื่องร่อนมีการทำความสะอาดดูแลรักษาอุปกรณ์บางหรือไม่

(/) มี เครื่องกวาดเสร็จ เก็บอุปกรณ์

( ) ไม่มี เพราะ.....

12. มีการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องร่อนขยะบางหรือไม่

(/) มี ทางเจ้าหน้าที่ดูแลรักษาเครื่อง

( ) ไม่เคย เพราะ.....

13. ท่านอยากให้มีการแก้ไขในส่วนใดบางเกี่ยวกับการทำงานกับเครื่องร่อนขยะ

.....

.....

.....

.....

.....

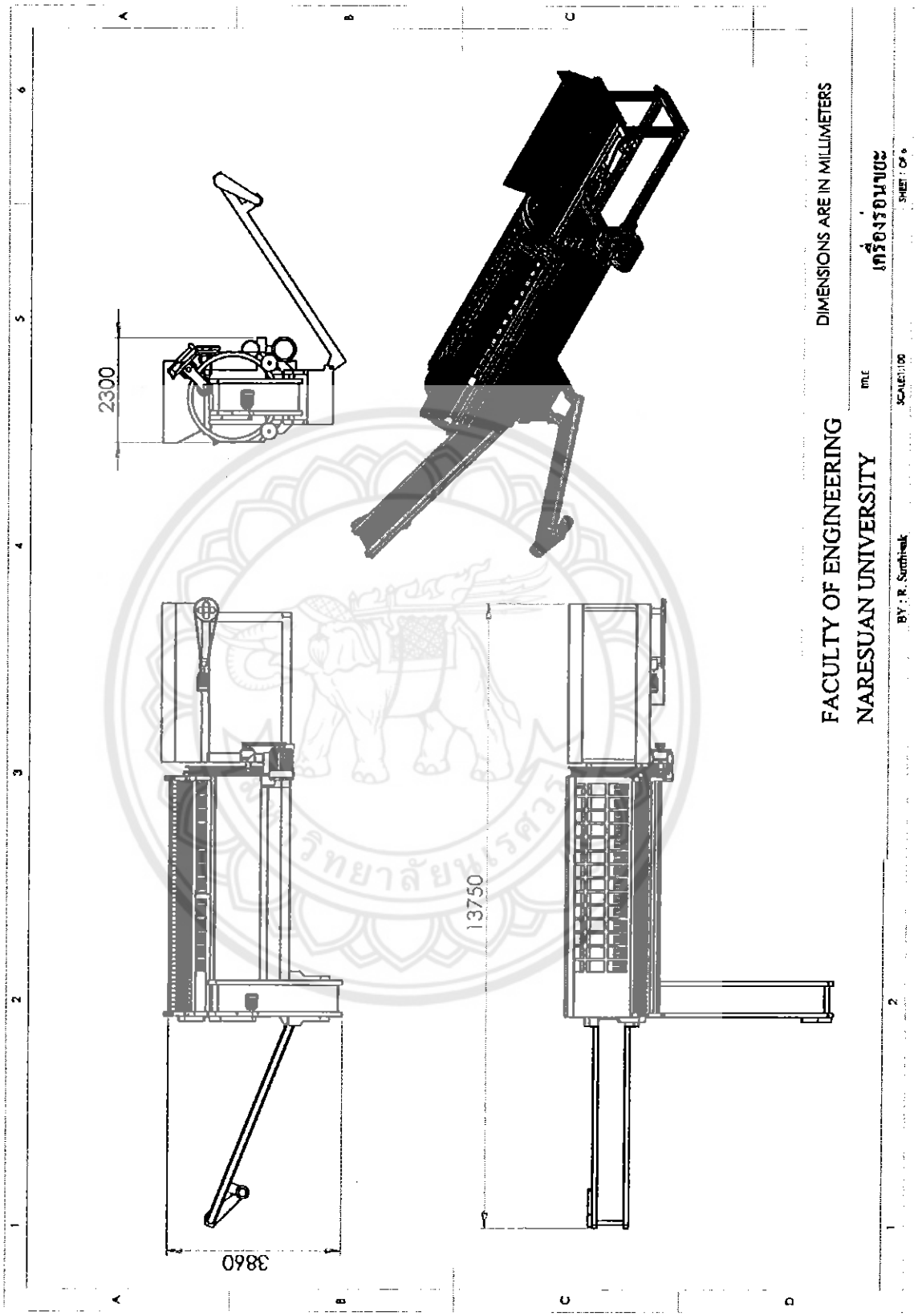
.....

14. ท่านพึงพอใจต่อการทำงานของเครื่องร่อนขยะนี้หรือไม่

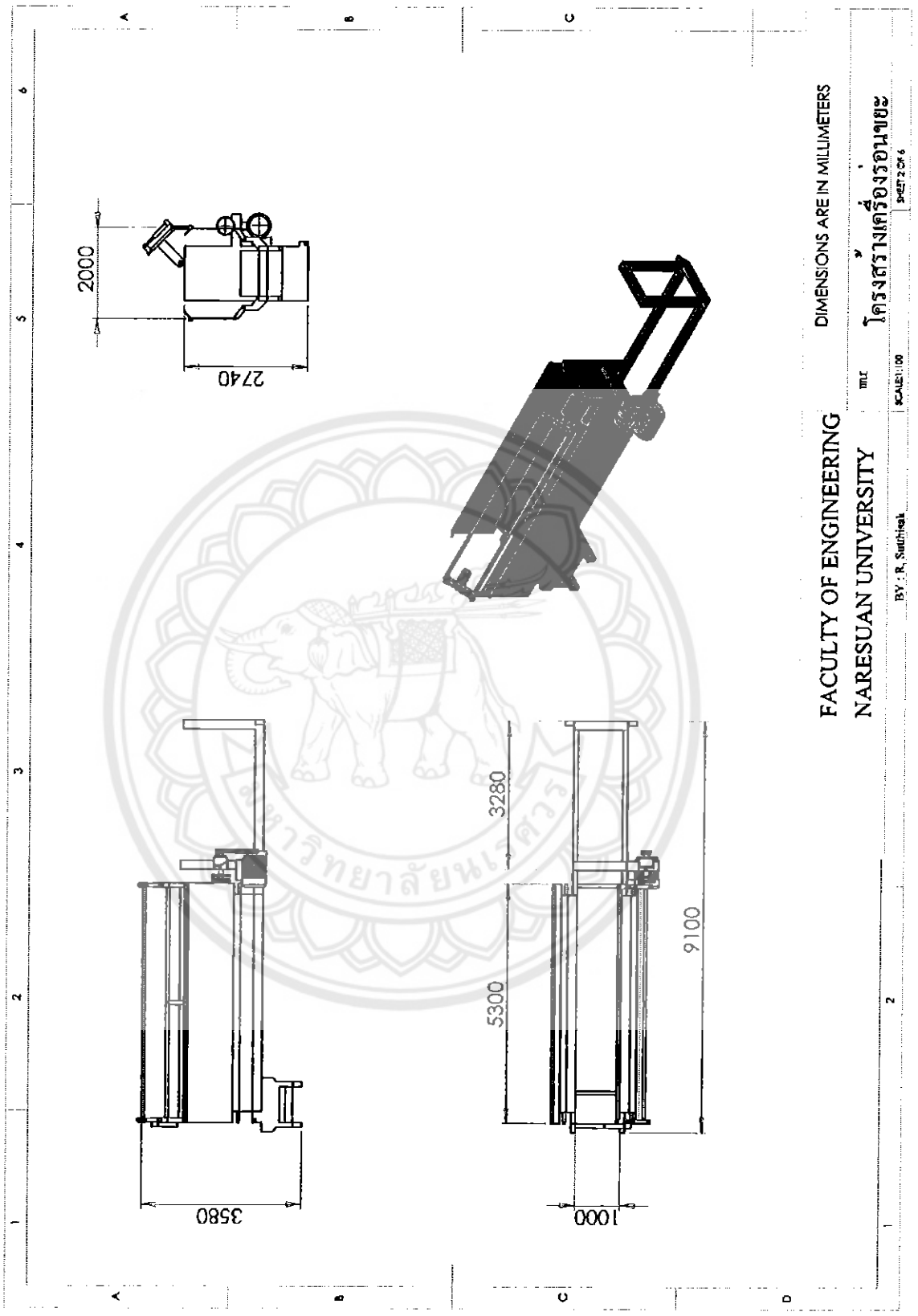
( ) พึงพอใจต่อการทำงาน ( ) ไม่พึงพอใจต่อการทำงานควรมีการแก้ไข

ภาคผนวก ข

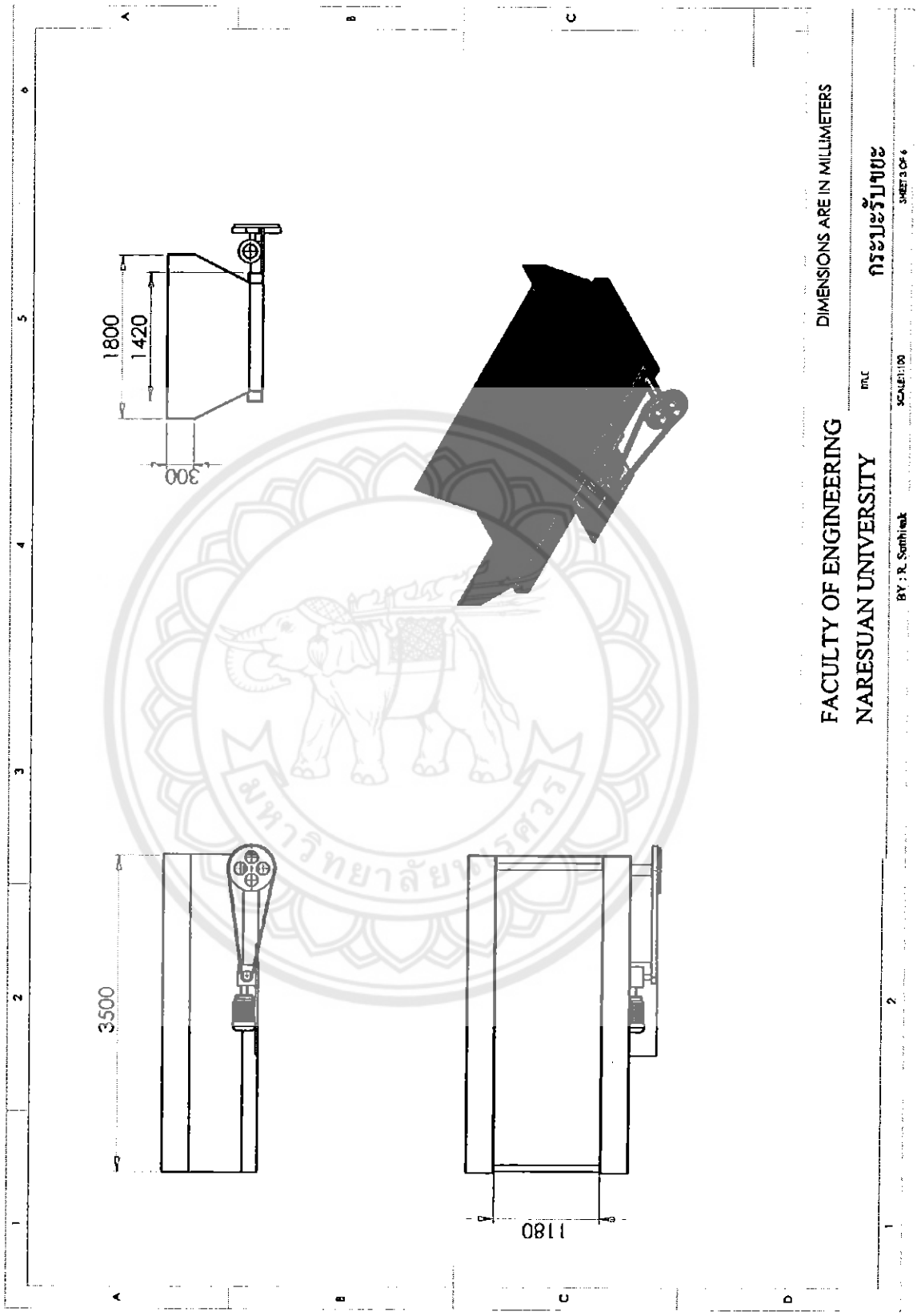
แบบโครงสร้างของเครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน



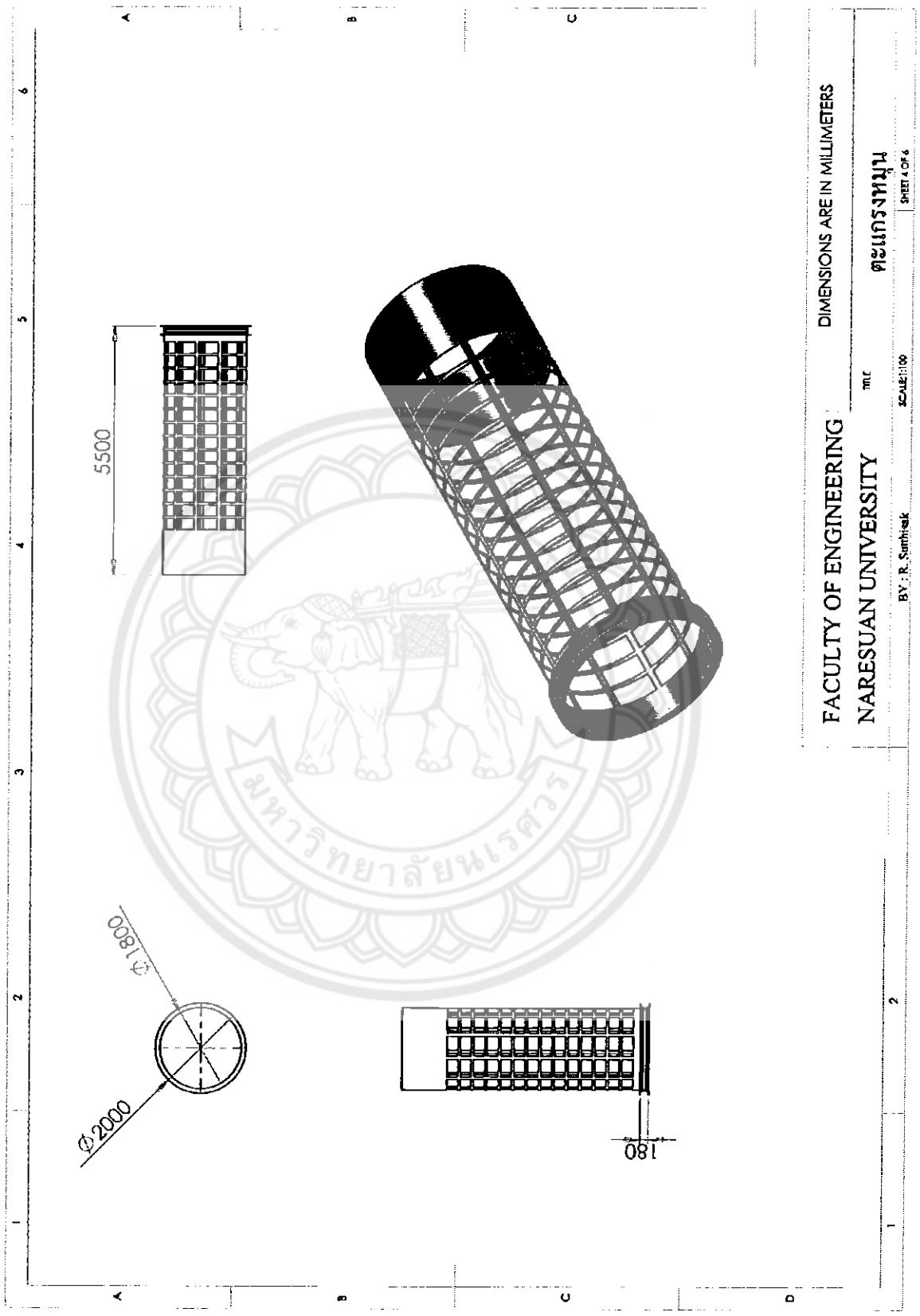
รูปที่ 1 เครื่องร่อนขยะแบบตะแกรงหมุน



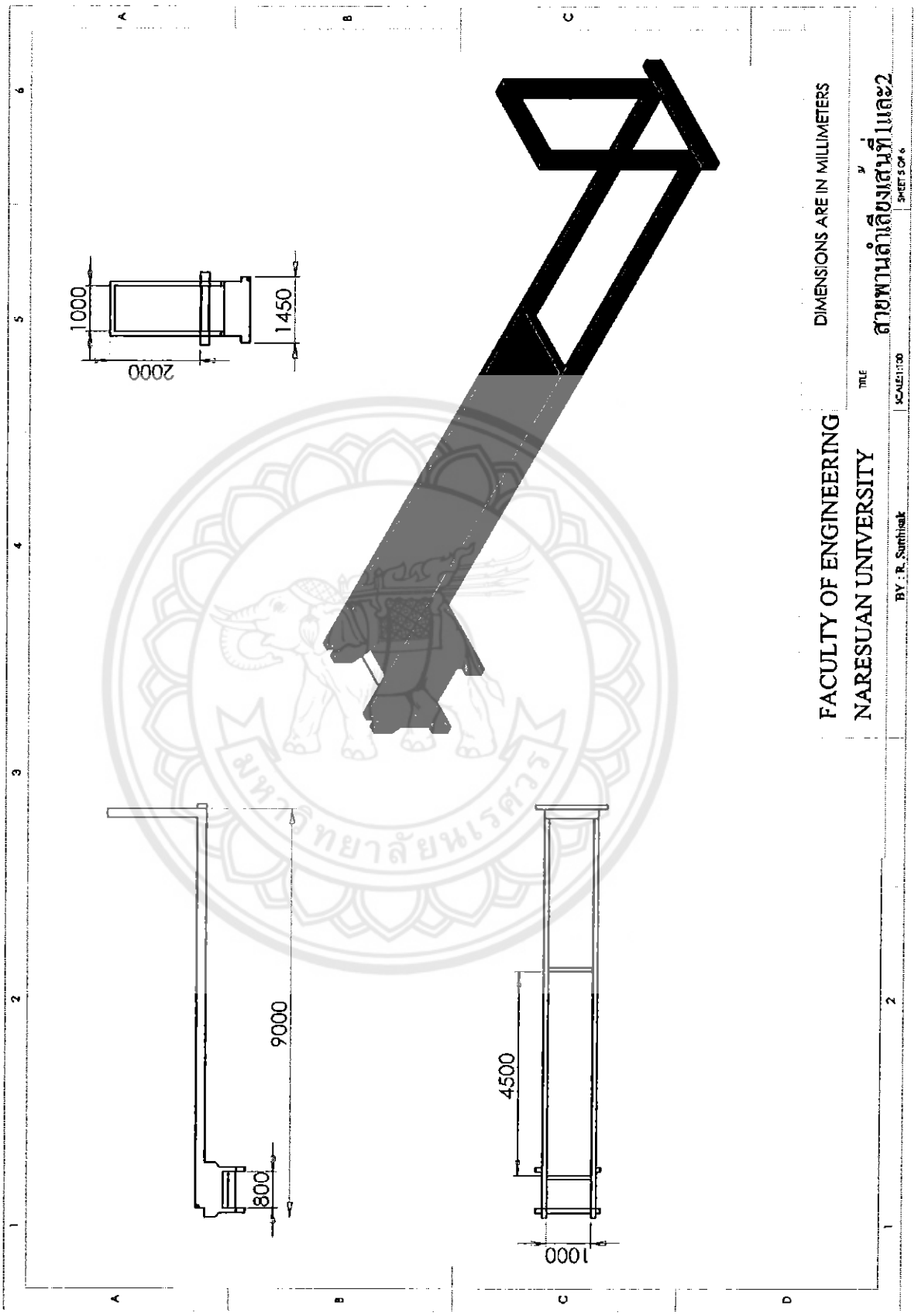
รูปที่ 2 โครงสร้างเครื่องร่อนขยะ



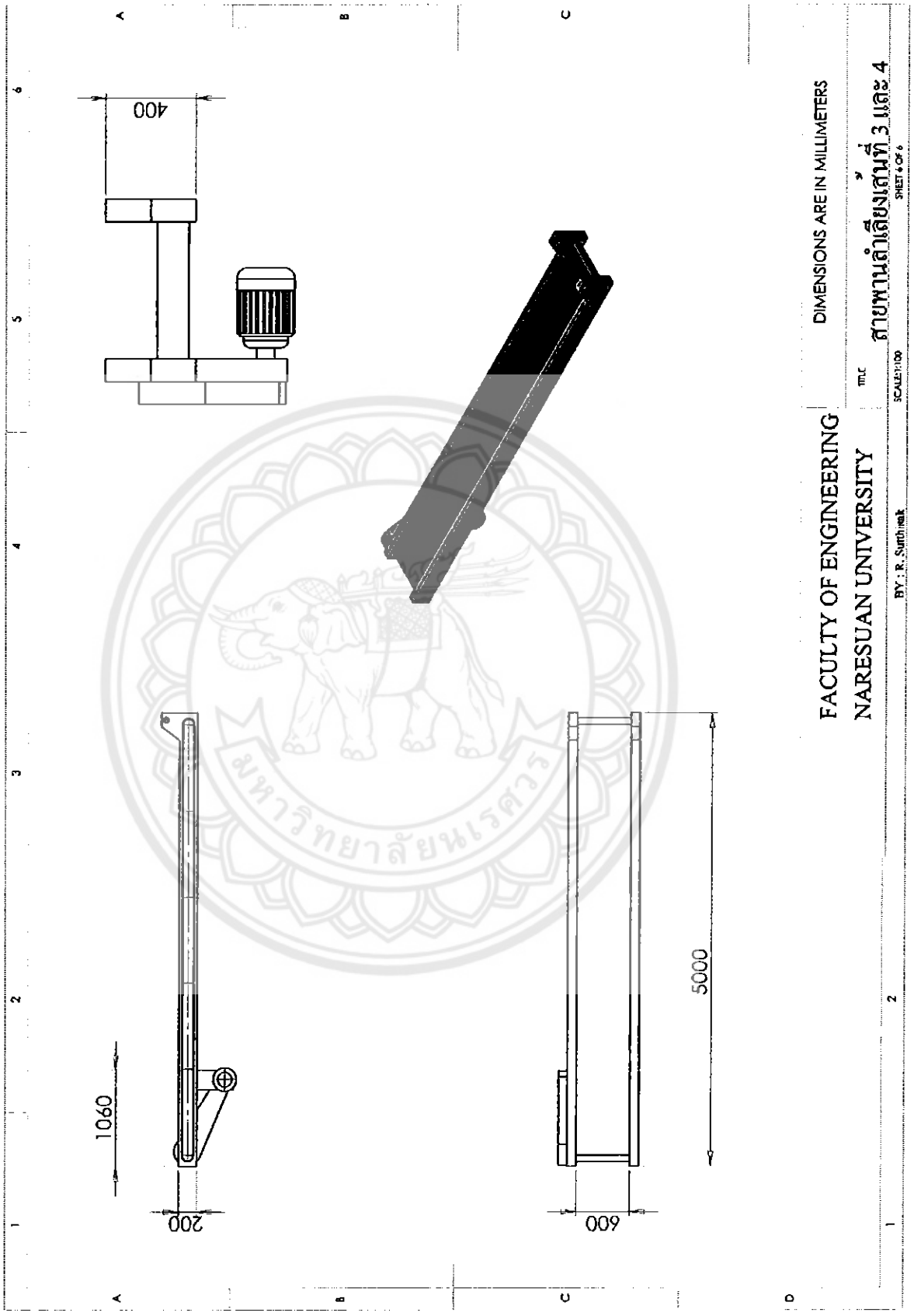
รูปที่ 3 กระบะรับขยะ



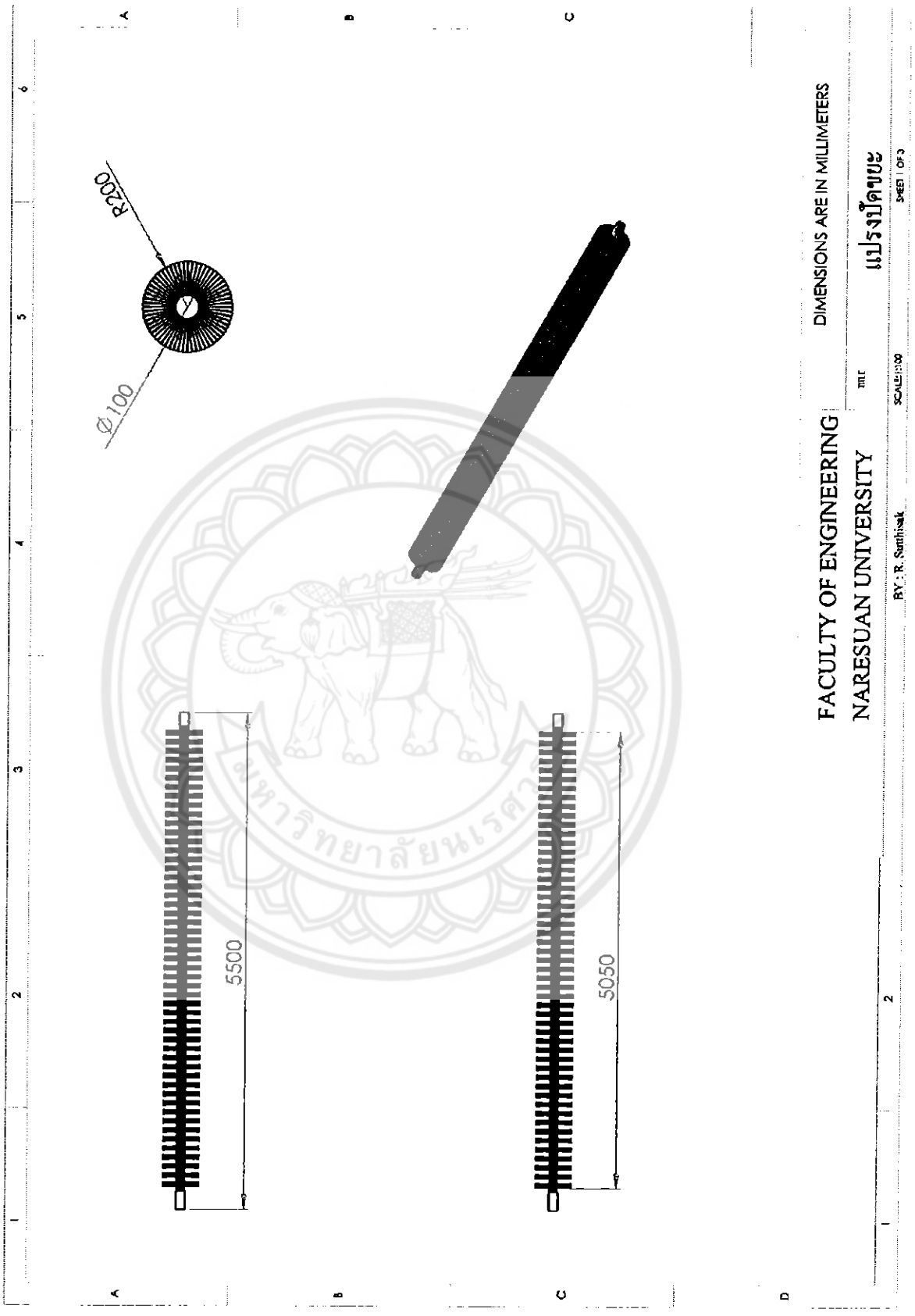
รูปที่ 4 ตะแกรงร่อนขยะ



รูปที่ 5 สายพานลำเลียงเส้นที่ 1 และ 2



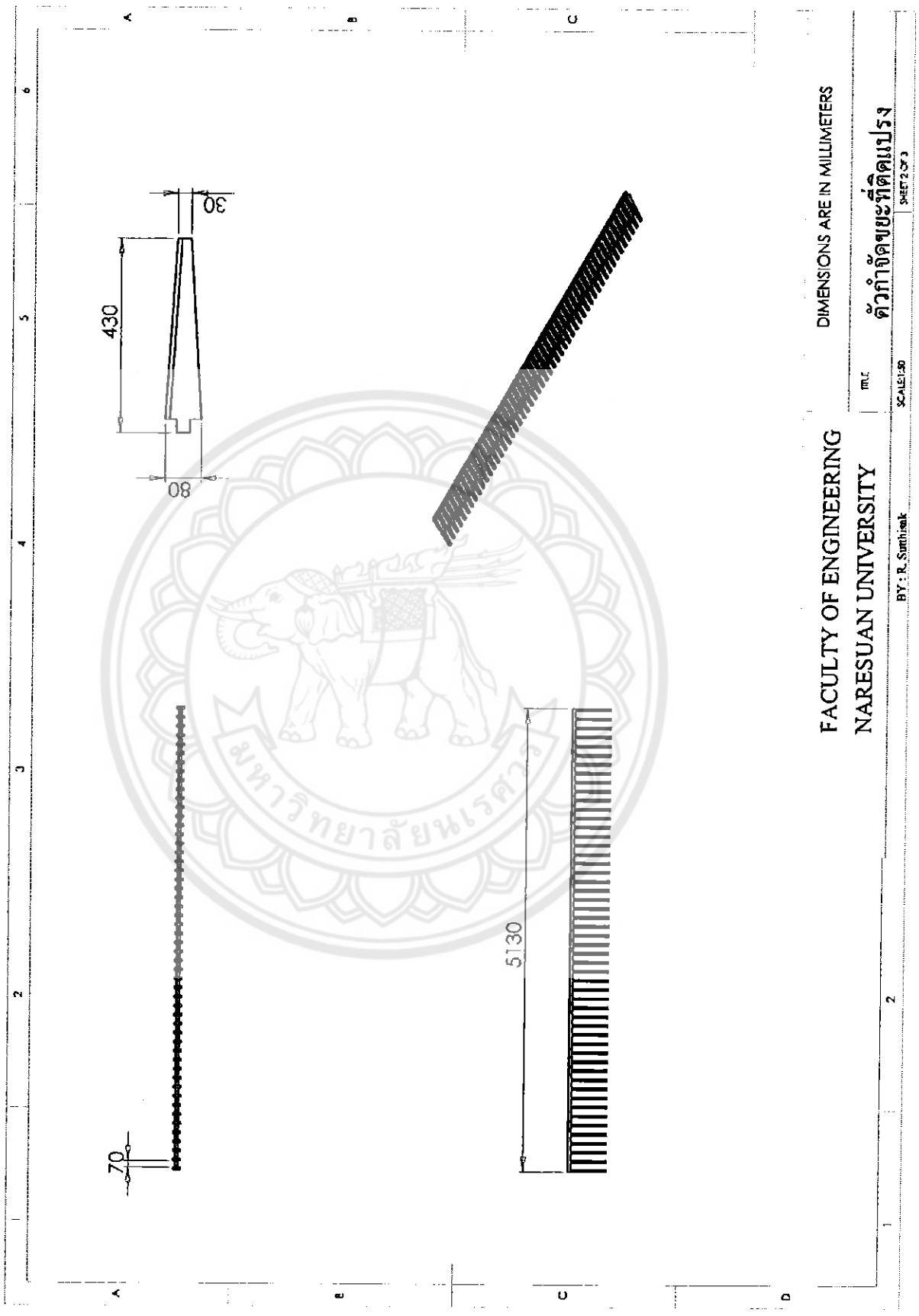
รูปที่ 6 สายพานลำเลี้ยงเส้นที่ 3 และ 4



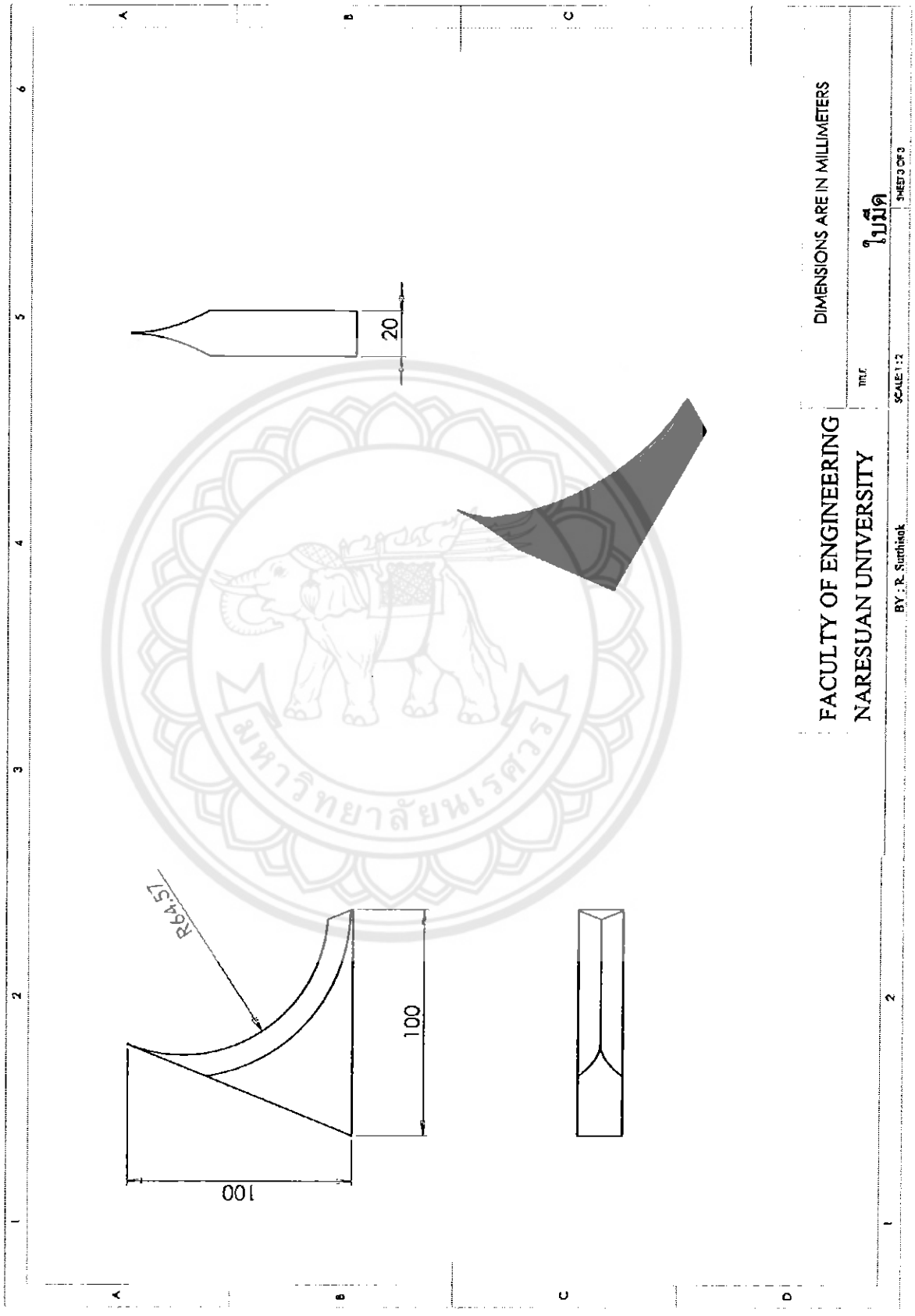
รูปที่ 7 แปรงปัดขยะ

ภาคผนวก ค

แบบโครงสร้างของอุปกรณ์ที่ติดเข้ากับเครื่องร่อน



รูปที่ 8 อุปกรณ์กำจัดขยะที่ติดกับแปรง



รูปที่ 9 ใบมีดที่ติดภายในตะแกรงร่อน

ภาคผนวก ง

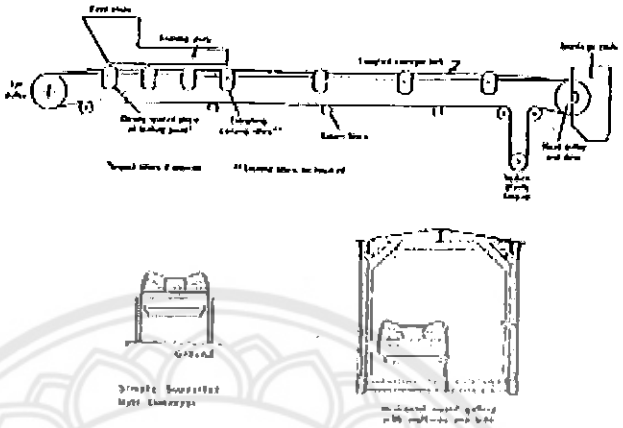
สมการที่ใช้ในการหากำลังม้าของสายพานลำเลียง

การหากำลังม้าที่ชุดตะแกรงหมุน

การวิเคราะห์การเสียหายที่จุดเชื่อมต่อ

สายพานลำเลียง

สายพานลำเลียง เป็นสายพานที่เคลื่อนที่ต่อเนื่องตลอดเวลาใช้งาน โดยปลายทั้งสองข้างของสายพานจะต่อชนเข้าด้วยกัน ใช้สำหรับขนถ่ายวัสดุทั้งในแนวราบและแนวลาดเอียง(ขึ้น, ลง) รูป 1 เป็นตัวอย่างการจัดวางสายพานลำเลียง ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน ได้แก่



รูป 1 เป็นตัวอย่างการจัดวางสายพานลำเลียง

1. สายพาน (Belt) เป็นส่วนรองรับวัสดุขนถ่ายและทำให้วัสดุขนถ่ายที่อยู่บนสายพานนั้นเคลื่อนที่ตามสาย พานไปด้วย

2. ลูกกลิ้ง (Idlers) เป็นตัวรองรับสายพานอีกทีหนึ่ง ลูกกลิ้งนี้จะมี 2 ชนิด คือ

2.1 ลูกกลิ้งด้านลำเลียงวัสดุ (Carrying Idlers)

2.2 ลูกกลิ้งด้านสายพานกลับ (Return Idlers)

3. ล้อสายพาน (Pulleys) เป็นตัวรองรับ และขับสายพาน และควบคุมแรงดึงในสายพาน

4. ชุดขับ (Drive) เป็นตัวส่งกำลังขับให้กับล้อสายพาน เพื่อขับสายพานและวัสดุขนถ่ายให้เคลื่อนที่

5.โครงสร้าง(Structure) เป็นส่วนรองรับและรักษาแนวของลูกกลิ้ง(Idlers)และล้อสายพาน(Pulleys) , และรองรับเครื่องขับสายพาน

นอกจากส่วนประกอบหลัก ๆ ของระบบสายพานลำเลียงดังกล่าวข้างต้นแล้ว ยังต้องมีอุปกรณ์ช่วย (Accillary Equipment) อีกได้แก่

- อุปกรณ์ปรับความตึงสายพาน (Belt take - ups) ทั้งแบบอัตโนมัติ และแบบใช้คนปรับ
- อุปกรณ์ทำความสะอาด
- ชุดป้องกันสายพานเสียหายใต้รางป้อนวัสดุ (Tramp - Iron Protection)
- ตัวส่งวัสดุออก (Trippers) และเครื่องกวาด (Plows)
- ระบบป้องกันสภาพอากาศ (Weather Protection)

การใช้งานและข้อจำกัด

สายพานลำเลียงจะมีประโยชน์ในการขนถ่ายวัสดุประเภทผง (Pulverized), เมล็ด (Granular), และวัสดุก้อน (Lumpy) ก็ต่อเมื่อปริมาณวัสดุขนถ่ายมีมากพอถึงจุดคุ้มทุน และเส้นทางในการขนถ่ายอยู่ในแนวระนาบ หรือลาดเอียง (ขึ้น, ลง) ข้อจำกัดของสายพานลำเลียง ได้แก่

- อุณหภูมิ ต้องไม่สูงนักจนทำให้สายพานไหม้
- ความลาดเอียง ต้องไม่ชันเกินไป จนทำให้วัสดุเลื่อนไหลลง
- ระยะทางของจุดศูนย์กลาง (Center's Distance) จะต้องอยู่ภายในช่วงยืดตัวของสายพานที่ใช้

การกำหนดแรงดึงสายพาน และกำลังม้า

สมการสำหรับการคำนวณแรงดึงสายพาน จะกำหนด เป็นฟังก์ชั่นของ น้ำหนักบรรทุก ความเร็ว ความยาว เป็นต้น

สมการได้ใช้เป็นมาตรฐานแล้วได้แก่ DIN # 22101 ของเยอรมัน และ CEMA ของอเมริกาซึ่งต่าง ก็มีข้อดีข้อเสียอยู่ในตัวและการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับความต้องการของท้องถิ่นนั้น หรือการระบุมาตรฐาน

อย่างไรก็ตาม สมการดังกล่าวทั้งหมด ประกอบด้วยกำลัง 4 อย่าง รวมกันคือ

- กำลังที่ใช้ขับสายพานเปล่าให้เคลื่อนที่ โดยเอาชนะความเสียดทานขณะไม่มีภาระ
- กำลังที่ใช้ขับสายพานขณะบรรทุกให้เคลื่อนที่โดยเอาชนะความเสียดทานขณะบรรทุก
- กำลังขณะเพิ่ม หรือลดน้ำหนักบรรทุก
- ความเสียดทานจากอุปกรณ์สนับสนุน เช่น แผ่นกั้น (Skirts) คราด (Scrapers) Trippers เป็นต้น

สมการทั้งหมดยังรวมแฟคเตอร์ความเสียดทาน สำหรับหมุนลูกกลิ้ง และการแอ่นตัวของสายพานต่อน้ำ หนักบรรทุก ซึ่งค่าดังกล่าวยังมีความเห็นแตกต่างกันว่าควรจะเป็นค่าคงที่หรือฟังก์ชั่นของความเร็วสายพาน และ / หรือ การรับน้ำหนักบรรทุก และ / หรือ ความยาวสายพาน และ / หรือ การตกท้องช้างของสายพาน

สมการกำลังม้าของสายพาน (Belt Horsepower) ของ Goodyear ที่ใช้อยู่มีดังนี้

$$\text{กำลังม้า} = \frac{T_E \times S}{33000} + \text{Accessories}$$

$$T_E = C(L + L_0)\left(Q + \frac{100T}{3S}\right) + \left(-\frac{100TH}{3S}\right)$$

เมื่อ

T_E = แรงดึงใช้งาน หรือแรงดึงสายพานที่ล้อสายพานขับ (ปอนด์)

C = แฟคเตอร์ความเสียดทาน (ตารางMaterial 1)

L = ความยาวสายพานลำเลียง (ฟุต) (คิดความยาวระหว่าง จุดศูนย์กลางของล้อสายพาน)

L_0 = ความยาวเทียบเท่า (ฟุต) (ตารางMaterial 1)

Q = แฟคเตอร์น้ำหนัก (ปอนด์ต่อระยะขนถ่าย 1 ฟุต) แสดงถึงน้ำหนักของส่วนที่เคลื่อนที่ของสายพานลำเลียง (ตารางMaterial 2)

T = อัตราขนถ่าย (Short Tons ต่อชั่วโมง หรือ 2000 lb / hr)

S = ความเร็วสายพาน (ฟุตต่อนาที)

H = ระยะยกขึ้นของการลำเลียง (ฟุต)

$\frac{100T}{3S}$ = น้ำหนักของวัสดุที่บรรทุกอยู่บนสายพาน (ปอนด์ต่อฟุต)

สำหรับหน่วยเมตริก

T = ตันต่อชั่วโมง

Q = กิโลกรัมต่อเมตร

H, L = เมตร

S = เมตรต่อวินาที

T_E = กิโลกรัม

ดังนั้นสมการของ Goodyear จึงกลายเป็น

$$T_E = C(L + L_0)\left(Q + \frac{T}{3.6S}\right) + \left(-\frac{T}{3.6S}\right)$$

$$N(HP) = \frac{T_E \times S}{75} + \text{Accessories}$$

Material 1 ตารางแฟคเตอร์ความเสียดทาน (C) และแฟคเตอร์ความยาว (L_0) สำหรับสูตรหาแรงดึง

ประเภทของการขนถ่าย	แฟคเตอร์ความเสียดทาน (C)*	แฟคเตอร์ความยาว (L_0),ฟุต*
สำหรับการขนถ่ายที่มีโครงสร้างถาวรหรือจัดแนวโครงสร้างดีและการบำรุง รักษาตามปกติ	0.022	200
สำหรับโครงสร้างแบบชั่วคราว เคลื่อนย้ายได้ หรือจัดแนวโครงสร้างไม่ดีรวมถึงการลำเลียงในสภาพอากาศเย็นจัดไม่ว่าจะหยุด และ Start บ่อย ๆ หรือใช้งานเป็นเวลานาน ๆ ที่อุณหภูมิ - 40^0 F หรือต่ำกว่า	0.03	150
สำหรับการขนถ่ายที่ต้องการรั้งสายพานในขณะที่รับภาระอยู่	0.012	475

* ค่าแฟคเตอร์ C และ L_0 มีการทดลองจนได้ค่าเป็นที่น่าพอใจสำหรับการคำนวณหาแรงดึงในสายพานและกำ ลังม้า อย่างไรก็ตาม ถ้าการขนถ่ายระยะทางไกล ๆ และอยู่ในระดับที่ได้ส่วนกัน รับน้ำหนักบรรทุกเต็มที่ได้ก็ต่อ เมื่อ กำลังที่ต้องการใช้มาก และได้ชดเชยค่าความเสียดทานขณะเริ่มต้นได้แล้ว ซึ่งแนะนำให้ผู้ผลิตสายพานให้ คำปรึกษาสำหรับผู้ช่วยวิศวกรในการเลือก ค่าแฟคเตอร์เหล่านี้ให้ค่าต่าง ๆ สำหรับแฟคเตอร์น้ำหนักและน้ำหนักสายพาน

ตาราง Material 2 แสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสายพาน (B_w) และแฟคเตอร์น้ำหนัก (Q) สำหรับความกว้างสาย พานแบบชั้น(Ply – type) ขนาดต่าง ๆ ดังนั้นค่าเหล่านี้จึงไม่ควรนำไปใช้กับสายพานแบบลวดเหล็ก (Steel Cable) เนื่องจากทั้งค่า (B_w) และ Q โดยทั่วไปจะสูงกว่ามาก การคำนวณหาค่า Q ที่ถูกต้องจะต้องได้รับการ พิจารณาก่อนเสมอในทุก ๆ กรณี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีต่อไปนี้

1. ระดับของอุปกรณ์ขนถ่าย ที่ซึ่งทำให้แรงดึงสายพานและกำลังม้าที่เกิดขึ้นในช่วงแรกเนื่องจากความเสียดทาน
2. ความกว้างสายพาน ที่ทำให้ค่าประมาณของ Q และ B_w เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่แท้จริงมาก
3. ในกรณีที่น้ำหนักจริงของสายพานที่เลือกใช้แตกต่างจากน้ำหนักเฉลี่ยข้างต้นเกินกว่า20% ให้เปลี่ยนค่า Q และคำนวณค่าแรงดึงสายพานใหม่
4. อุปกรณ์ขนถ่ายที่ใช้สายพานลวดเหล็ก (Steel Cable)

ค่า Q สามารถคำนวณค่าสำหรับใช้กับสายพานและลูกกลิ้ง ได้ดังนี้

$$Q = 2(B_w) + (W_1 / I_1) + (W_2 / I_2)$$

เมื่อ

Q = แฟคเตอร์น้ำหนัก (ปอนด์ต่อฟุต)

B_w = น้ำหนักสายพาน (ปอนด์ต่อฟุต)

W_1W_2 = น้ำหนักของชิ้นส่วนที่หมุนของลูกกลิ้งลำเลียง และลูกกลิ้งด้านกลับแต่ละชุด (ปอนด์)

I_1I_2 = ระยะห่างของลูกกลิ้งลำเลียงและลูกกลิ้งด้านกลับแต่ละชุด (ฟุต)

Material 2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของค่า B_w และ Q
สำหรับสายพานแบบชั้น (Ply - type) หน่วยเป็นปอนด์ต่อฟุ

ความกว้าง (นิ้ว)	ขนถ่ายวัสดุน้ำหนักเบา 50 lb/cu.ft.		ขนถ่ายวัสดุน้ำหนัก ปาน กลาง 50 ถึง100 lb/cu.ft.		ขนถ่ายวัสดุน้ำหนัก มากกว่า 100 lb/cu.ft.	
	B_w	Q	B_w	Q	B_w	Q
14	1	7	2	13	3	19
16	2	8	3	14	4	21
18	3	9	4	16	5	23
20	4	10	5	18	6	25
24	5	14	6	21	7	29
30	6	19	7	28	8	38
36	7	26	9	38	11	52
42	9	33	11	50	14	66
48	12	40	15	60	18	82
54	14	50	18	71	22	97
60	17	62	21	85	27	115
66	20	75	24	103	32	135

B_w = น้ำหนักสายพาน

Q = แฟคเตอร์น้ำหนักของชิ้นส่วนเคลื่อนที

หน่วยวัด (UNITS)

โดยทั่วไปหน่วยวัดพื้นฐานได้แก่ ความยาว แรง และเวลา จะเป็นหน่วย อังกฤษ หรือเมตริก ซึ่งยังแยกหน่วย วัดตามการ ใช้งานจริงได้เป็น หน่วยวัดมวล เช่น ปอนด์มวล (lbm) และหน่วยวัดแรง เช่น ปอนด์แรง (lb f) อีกด้วยระบบเมตริกจะใช้ระบบสัมบูรณ์ (Absolute) หรือระบบ C.G.S. (Centimeter-gram-second) ซึ่งมีหน่วยวัดมวลเป็น กรัม และหน่วยวัดแรงเป็น ไดน์ (dyne) ในระบบ SI (International System of Units) มีหน่วยวัดมวลเป็น กิโลกรัม ความยาวเป็น เมตรและเวลาเป็นวินาที หน่วยวัดแรงคือ นิวตัน (N, Newton) 1 N = 1 kgm/sec = 10^5 dynes หน่วยวัดความดันจะบอกเป็น N/m2 หรือ ปาสคาล (Pascal, Pa) แต่เนื่องจาก Pa เป็นหน่วยวัดที่มี ขนาดเล็กมากดังนั้น โดย ทั่วไปจึงนิยมใช้ กิโลปาสคาล (kPa) แทน หน่วยวัดพลังงาน (Energy) หรือ งาน (Work) คือ จูล (Joule, N-m) และ หน่วยวัดกำลัง (Power) คือ วัตต์ (Watts) หน่วย วัดความถี่ คือ เฮิรตซ์ (Hertz, Hz) ซึ่งมีค่าเป็น รอบต่อวินาที (Cycle/second)

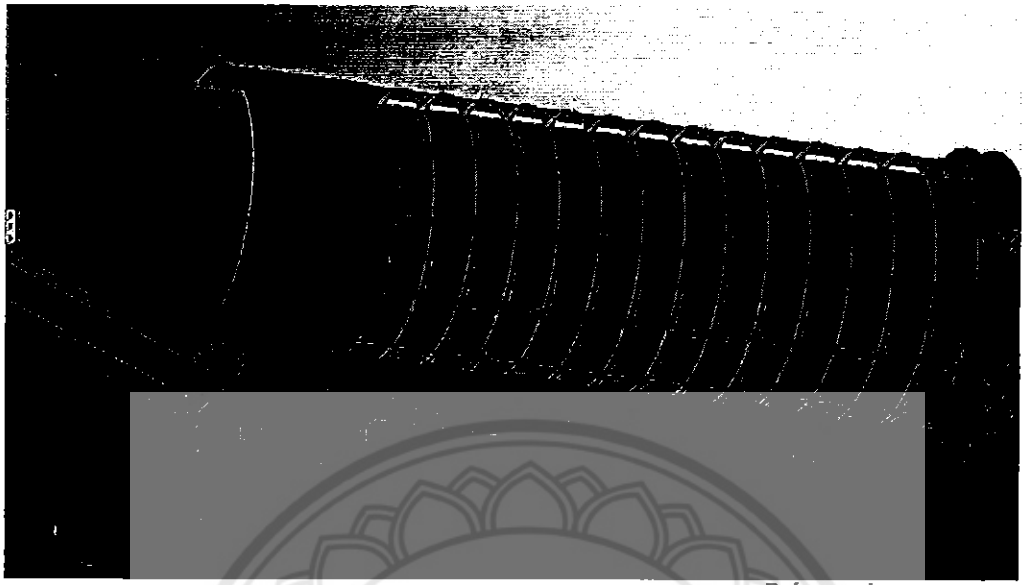
Material 3 ตารางแปลงหน่วย

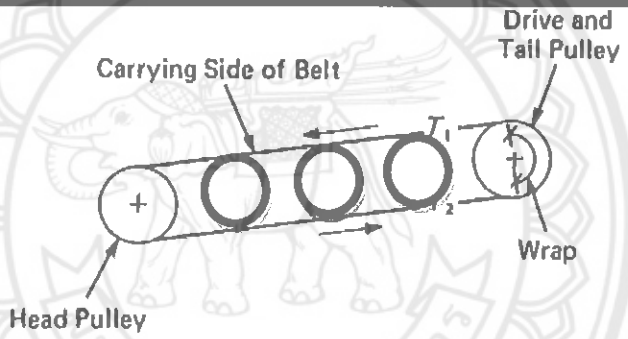
แปลงจากหน่วย	เป็น	ให้คูณด้วย
ความยาว		
feet	m	0.305
inch	mm	25.4
yard	m	0.9144
mile (US)	km	1.61
มวล		
lb_m	kg_m	0.455
$kg_f sec^2/m$	kg_m	9.806
Slug	kg_m	14.59
แรง		
lb_f	N	4.448
kg_f (Kp)	N	9.806
lb_f	kg_f	0.455
dyne	N	$1x10^{-5}$

แปลงจากหน่วย	เป็น	ให้คูณด้วย
ความดัน		
psi	kg_f/cm^2	14.5
atm	kg_f/cm^2	1.0
atm	kPa	101.325
atm	kg_f/cm^2	0.0703
psi	N/m^2	6894.0
psi	kPa	6.89
psi	N/m^2	47.87
ps	kN/m^2	98.0
atm	N/m^2	1.0
Pascal		
ความเร่ง		
ค่าคงที่แรงโน้มถ่วง	ft/sec^2	32.2
ค่าคงที่แรงโน้มถ่วง	m/sec^2	9.806
ปริมาตร		
ft^3	liter (dm^3)	28.32
yd^3	m^3	0.7645
gallon (US)	liter	3.785
gallon (UK)	liter	4.546
barrel (petroleum,42 US gal)	m^3	0.159
bushel (US)	liter	35.24
bushel (US)	ft^3	1.2445
m^3	liter	1000.0
ความหนาแน่นปริมาณมวล (Bulk Density)		
lb_f/ft^3	kg_f/m^3	16.02
lb_m/ft^3	kg_m/m^3	16.02
lb_f/ft^3	N/m^3	157.0

แปลงจากหน่วย	เป็น	ให้คูณด้วย
พลังงาน (Energy)		
watt/sec	Joule	1.0
Btu	kJ	1.055
Btu	W.hr	0.293
1 Mj	Btu	948.0
$ft.lb_f$	Joule	1.356
$ft.lb_f$	kg_f .m	0.1383
กำลัง (Power)		
watt	J/sec	1.0
HP (US & UK)	metric HP	1.0139
HP (US & UK)	$ft.lb_f$ /sec	550.0
HP (US & UK)	watt	745.0
HP (metric)	watt	735.0
Btu/sec	kw	1.0543
Btu/hr	watt	0.2929
$ft.lb_f$ /sec	watt	1.356
$ft.lb_f$ /sec kg_f	m/sec	0.1383

การคำนวณหากำลังมอเตอร์ที่ใช้ในการขับสายพานลำเลียง





จากสมการ การหากำลังม้าของ Goodyear คือ

$$N(HP) = \frac{T_E \times S}{75} + Accessories$$

เมื่อ

T_E = **แรงดึงใช้งาน หรือแรงดึงสายพานที่ล้อสายพานขับ (ตัน/ชั่วโมง)**

S = **ความเร็วสายพาน (เมตร/วินาที)**

Accessories = **อุปกรณ์เสริม (ในที่นี้ไม่มีจึงไม่คิด)**

หาความเร็วสายพาน (S) ได้จาก $r \times \omega$

เมื่อ

r **คือรัศมีของพูลเลย์ตัวขับสายพาน (เมตร)**

ω **คือความเร็วเชิงมุมของพูลเลย์ตัวขับสายพาน (เรเดียน/วินาที)**

หา T_E ได้จากสมการ

$$T_E = C(L + L_0)\left(Q + \frac{T}{3.6S}\right) + \left(-\frac{T}{3.6S}\right)$$

เมื่อ

C = แฟคเตอร์ความเสียดทาน (ตารางMaterial 1 หน้า 92)

L = ความยาวสายพานลำเลียง (เมตร) (คิดความยาวระหว่าง จุดศูนย์กลางของล้อสายพาน)

L_0 = ความยาวเทียบเท่า (เมตร) (ตารางMaterial 1 หน้า 92)

Q = แฟคเตอร์น้ำหนัก (กิโลกรัมต่อเมตร)

T = อัตราขนถ่าย (ตันต่อชั่วโมง)

S = ความเร็วสายพาน (เมตร/วินาที)

หา Q ได้จากสมการ

$$Q = 2(B_w) + (W_1 / I_1) + (W_2 / I_2)$$

เมื่อ

Q = แฟคเตอร์น้ำหนัก (ตาราง Material 2) (กิโลกรัม/เมตร)

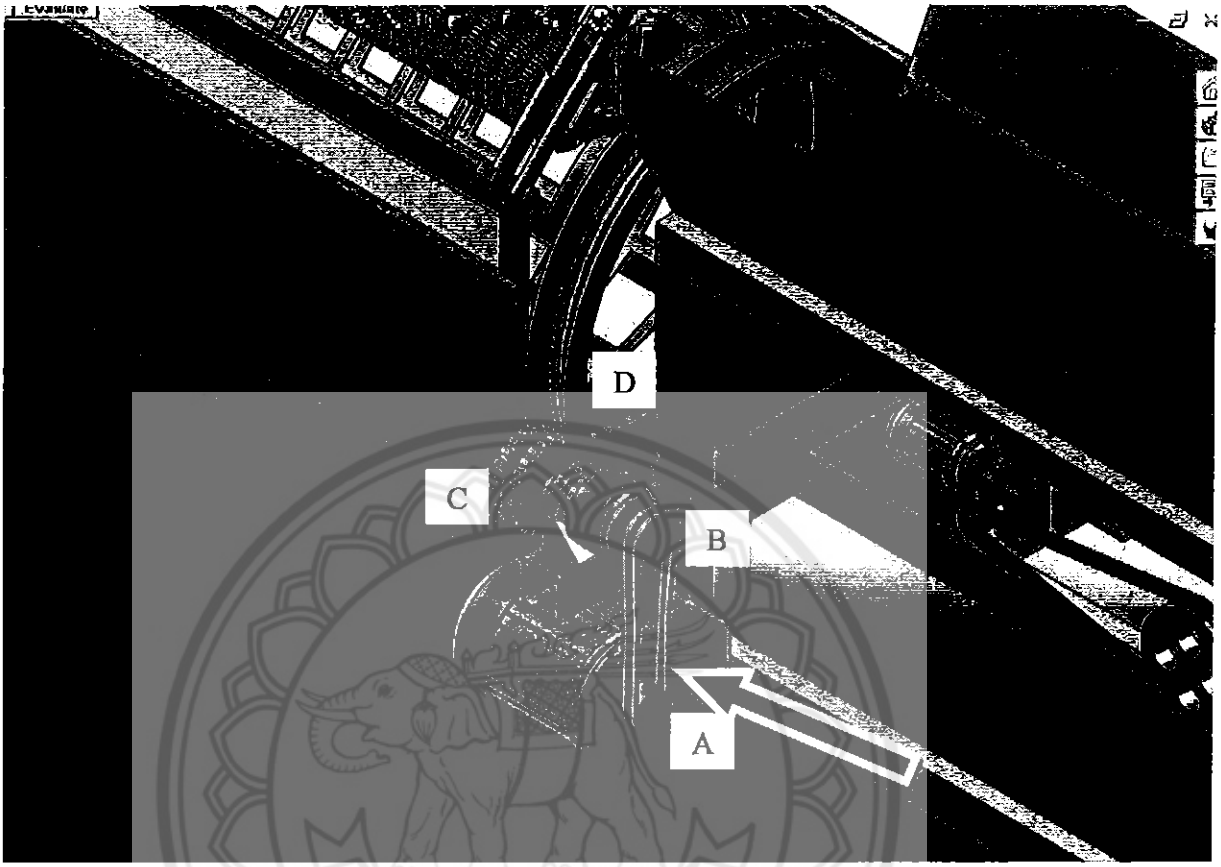
B_w = น้ำหนักสายพาน (ตาราง Material 2) (กิโลกรัม/เมตร)

$W_1 W_2$ = น้ำหนักของชิ้นส่วนที่หมุนของลูกกลิ้งลำเลียง และลูกกลิ้งด้านกลับแต่ละชุด (กิโลกรัม)

I_1, I_2 = ระยะห่างของลูกกลิ้งลำเลียงและลูกกลิ้งด้านกลับแต่ละชุด (เมตร)

* เมื่อหาค่าต่างๆมาได้ก็นำกลับไปแทนค่าในสมการก็จะได้ขนาดของมอเตอร์ที่ควรจะใช้กับสายพายแต่ละอัน

การคำนวณหามวลขยะที่มอเตอร์ 20 แรงม้าของชุดแกรงหมุนจะรับได้



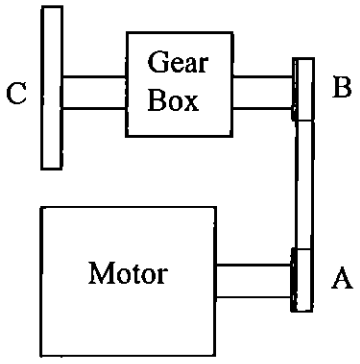
กำลังของมอเตอร์ $P = 20\ HP = 14920\ W$

ความเร็วรอบของพูลเลย์ $n_A = 720$ rpm. , **รัศมีของพูลเลย์** $r_A = 0.05$ m. *โดยประมาณ

ความเร็วรอบของพูลเลย์ $n_B = 360$ rpm. , **รัศมีของพูลเลย์** $r_B = 0.10$ m. *โดยประมาณ

รัศมีของพูลเลย์ $r_C = 0.15$ m. *โดยประมาณ

หาแรงบิดที่พูลเลย์ A จากสมการ $P = T \times \omega$



$$T_A = \frac{P}{\omega}$$

เมื่อ

T_A = แรงบิดที่พูลเลย์ A (N.M)

ω = ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

P = กำลังมอเตอร์ (W)

หาความเร็วเชิงมุมจาก $\omega_A = \frac{2\pi n_A}{60} = \frac{2\pi 720}{60} = 75.40 \text{ rad/s}$

$$\therefore T_A = \frac{14920}{75.40} = 197.88 \text{ N.m}$$

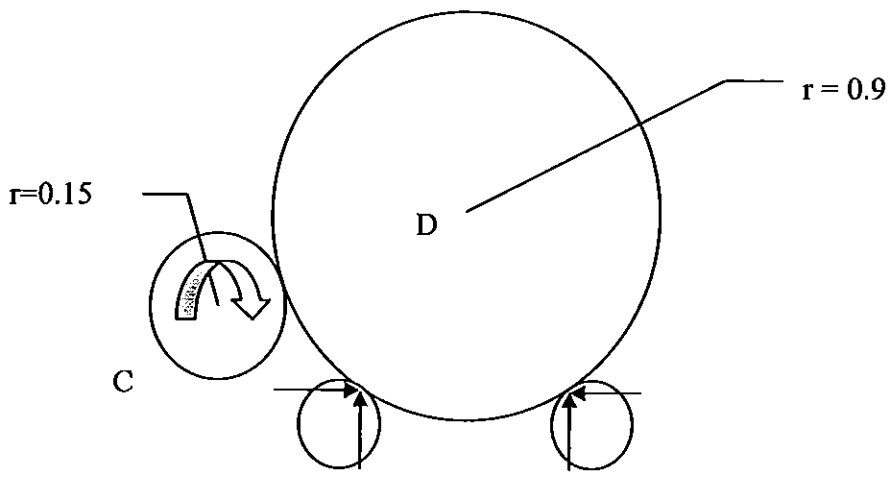
จากหลักการทดกำลัง $\frac{T_A}{r_A} = \frac{T_B}{r_B}$ เพื่อหาแรงบิดที่พูลเลย์ B

$$\therefore T_B = \frac{197.88}{0.05} \times 0.1 = 395.76 \text{ N.m}$$

หาแรงบิดที่เฟืองตัวขับ C จาก $T_B \times$ อัตราทดของเกียร์บ็อก

$$\therefore T_C = 395.76 \times GB$$

ในที่นี้ไม่ทราบอัตราทดของเกียร์บ็อกจึงติดค่าตัวแปร T_C ไว้ เมื่อได้ข้อมูลอัตราทดของเกียร์บ็อกมาแล้วจึงเอามาแทนในสมการ



จากสมการ พลังงานจลน์ใส่ให้ชุดตะแกรงหมุน = พลังงานจลน์ที่เพิ่มขึ้นของชุดตะแกรงหมุน

$$T_C\left(\frac{r_D}{r_C}\,n\right)=\frac{1}{2}I\omega^2$$

เมื่อ

T_c = แรงบิดที่เฟืองตัวขับ C (N.M)

r_D = รัศมีของตะแกรงหมุน (M.)

r_c = รัศมีของเฟืองตัวขับ (M.)

n = ความเร็วรอบของตะแกรง (rpm)

ω = ความเร็วเชิงมุม (red/s)

I = โมเมนต์ความเฉื่อย (kg/m^2)

$T_c = 395.76\,GB$

$r_D = 0.9$ m

$r_c = 0.15$ m *โดยประมาณ

$n = 10$ rpm $= 0.17$ rps *โดยประมาณ

$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 1.05$ rad/s *โดยประมาณ

$$T_C\left(\frac{0.9}{0.15}0.17\right)=\frac{1}{2}\,I\,1.05^2$$

$$I=\frac{395.76GB\times\frac{0.9}{0.15}0.17\times 2}{1.05^2}\ kg/m^2$$

จากสมการโมเมนต์ความเฉื่อยรูปทรงกระบอกกลวง

$$I = mr^3$$

หาค่ามวลจากสมการได้

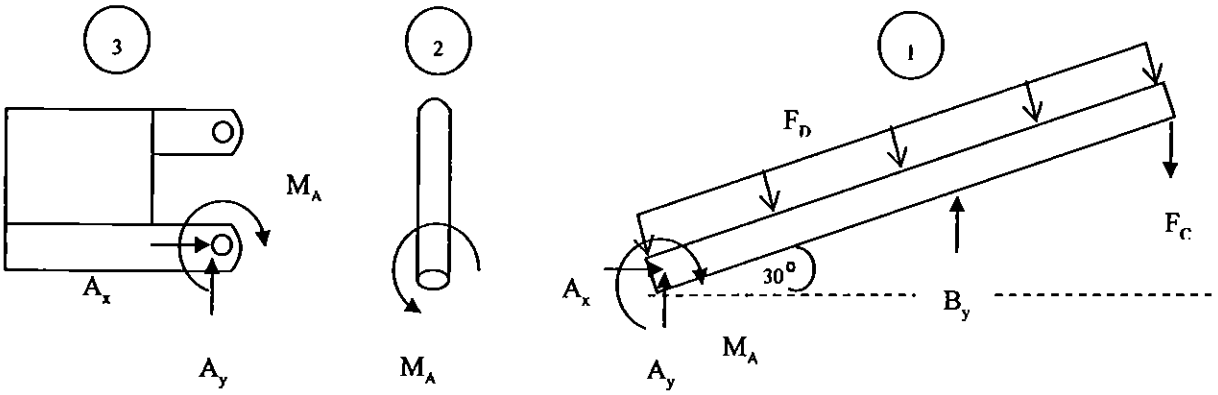
$$m = \frac{I}{r^3} = \frac{I}{0.9^3} \quad kg$$

$$m = m_{\text{คะแกรง}} + m_{\text{ขยะ}}$$

$$m_{\text{ขยะ}} = m - m_{\text{คะแกรง}}$$

* ค่าที่ได้ส่วนใหญ่ได้จากการประมาณ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะมีความผิดพลาดอยู่มาก ควรที่จะทำการหาค่าตัวแปรต่างๆในสมการที่ใช้มาให้ถูกต้อง แล้วคำนวณใหม่เพื่อที่จะได้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง

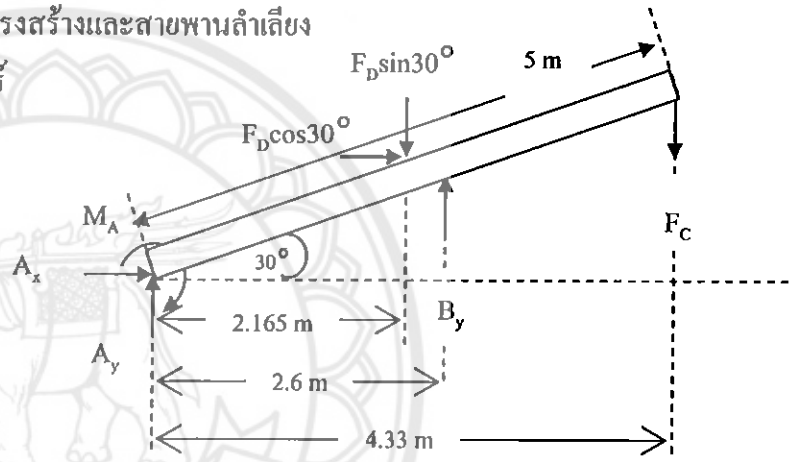
การวิเคราะห์การเสียหายบริเวณข้อต่อของสายพานลำเลียง



F_D คือ แรงที่กดลงที่มาจากน้ำหนักของโครงสร้างและสายพานลำเลียง

F_C คือ แรงที่กดลงที่มาจากน้ำหนักมอเตอร์

B_y คือ แรงที่จุดถูกค้ำยัน



Assume เนื่องจากว่ามีจุดรับแรง 2 จุด ซึ่งจุดที่รับแรงทั้งสองจุดมีค่าเท่ากัน จึงคิดจุดรับแรง 1 จุด ในโครงสร้างชิ้นที่ 1 และ 3 สิ่งที่ได้จากการคิดจุดรับ 1 จุด คือ สามารถได้ค่าแรงที่กระทำต่อวัสดุที่จุดนั้น เพื่อเลือกใช้วัสดุที่สามารถทนต่อแรงที่มากระทำได้

$\sum M_B = 0$; $-M_A + 2.6A_y - 1.73F_c - 0.44F_D\sin30^\circ = 0$

$M_A = 2.6A_y - 1.73F_c - 0.44F_D\sin30^\circ$ 1

$\sum F_y = 0$; $B_y + A_y - F_c - F_D\sin30^\circ = 0$

$A_y = F_c + F_D\sin30^\circ - B_y$ 2

$\sum F_x = 0$; $A_x + F_D\cos30^\circ = 0$

แทนค่าสมการที่ 2 ในสมการที่ 1

$M_A = 2.6(F_c + F_D\sin30^\circ - B_y) - 1.73F_c - 0.44F_D\sin30^\circ$

$= 2.6F_c + 2.6F_D\sin30^\circ - 2.60B_y - 1.73F_c - 0.44F_D\sin30^\circ$

$= 0.87F_c - 2.17F_D\sin30^\circ - 2.6B_y$ 3

เนื่องจากคิดจุดรับ 1 จุด

$A_y = (F_C + F_D \sin 30 - B_y) / 2$

$M_A = (0.87F_c - 2.17F_D \sin 30 - 2.6B_y) / 2$

สรุป จากสมการที่ 2 ได้ค่าแรงที่กระต่อวัสดุในแนวแกน Y ที่กระทำต่อจุดที่ 1 และ 2 ในโครงสร้างชิ้นที่ 1 และ 3 คือ A_y ซึ่งค่า A_y ที่ได้นั้นสามารถนำไปหาค่าความเค้นเฉือนของคานได้จากสมการที่ 5 และจากสมการที่ 3 ได้ค่าโมเมนต์ที่กระทำต่อจุดที่ 1 และ 2 ในโครงสร้างชิ้นที่ 1 และ 3 จากค่าโมเมนต์ที่กระทำต่อจุดทั้งสอง สามารถนำไปหาค่าความเค้นในคานได้จากสมการที่ 4

หาความเค้นในคานสูงสุด

จากสมการ $\sigma_{max} = \dfrac{Mc}{IE}$ **4**

เมื่อ σ_{max} = ความเค้นดัดสูงสุด ($N.m^2$)

M = โมเมนต์ดัด (N.m)

C = ระยะจากแนวแกนสะเทินถึงผิวนอกสุดของคาน (m) หาได้จากตารางที่ 1

I = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนสะเทิน (m^4) หาได้จากตารางที่ 1

E = โมดูลัสความยืดหยุ่น ($N.m^2$)

แทนค่าในสมการ $M = M_A = (0.87F_c - 2.17F_D \sin 30 - 2.6B_y)/2$

การคำนวณค่าที่ต้องทราบค่า คือ ค่า C , I , E ซึ่งค่าดังกล่าวต้องเก็บของมูลจากจุดที่ต้องการคำนวณหาในระบบสายพานลำเลียง

$$\sigma_{max} = \frac{(0.87F_C - 2.165F_D \sin 30^{\circ} - 2.6B_y)c}{2IE}$$

หาความเค้นเฉือนของคาน

จากสมการ $\tau = \dfrac{VQ}{Ib}$

เมื่อ τ = ความเค้นเฉือนในคาน ($N.m^2$)

V = แรงในแนวดิ่งที่ทำให้เกิดความเค้นเฉือน (N)

Q = ผลรวมของโมเมนต์ของพื้นที่พิจารณารอบแนวแกนสะเทิน (m^3) ได้จาก $\int_{y_1}^{c} ydA = A'y$

I = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนสะเทิน (m^4)

b = ความกว้างของคาน (m)

A' = พื้นที่พิจารณา (m^2)

y = ระยะจากจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่พิจารณากับแนวแกนสะเทิน (m)

สมมุติฐาน จากสมการ $\tau = \frac{VQ}{Ib}$ จะได้ค่าความเค้นเฉือนที่ทำให้วัสดุที่ใช้งานเกิดการฉีกขาด เพื่อเลือกใช้วัสดุที่สามารถทนต่อแรงเฉือนที่ได้รับ

แทนค่าในสมการ เมื่อ $V = A_y = (F_c + F_D\sin30^\circ - B_y)/2$

ในการคำนวณค่าที่ต้องทราบค่าคือ Q , I , b ซึ่งค่าดังกล่าวต้องเก็บของมูลจากจุดที่ต้องการคำนวณหาในระบบสายพานลำเลียง

$$\tau = \frac{(F_c + F_D\sin30^\circ - B_y)Q}{2Ib}$$