การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ
โดยใช้ทฤษฎี USIT
IMPROVEMENT OF EFFICIENCY FOR SWEEPER WITH USIT

นายวีรวิชญ์ เสวตหิรัญกิตติ์

MR. WEERAVIT SAVETHIRUNKIT

นายปฏิการ โรจนาคม

MR. PATIKARN ROTECHANAKOM

นายพงศ์ธร พงศาวรี

MR. PONGTRON PONGSAWAREE

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ โดยใช้ทฤษฎี USIT

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY FOR SWEEPER WITH USIT

นาย วีรวิชญ์ เศวตหิรัญกิตติ์

MR. WEERAVIT SAVETHIRUNKIT

นาย ปฏิการ โรจนาคม

MR.PATIKARN ROTECHANAKOM

นาย พงศ์ธร พงศาวรี

MR.PONGTRON PONGSAWAREE

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY FOR SWEEPER WITH USIT

MR. WEERAVIT SAVETHIRUNKIT

MR.PATIKARN ROTECHANAKOM

MR.PONGTRON PONGSAWAREE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

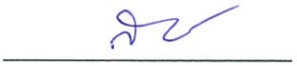
หัวข้อปริญญานิพนธ์ การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติโดยใช้ทฤษฎี USIT

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY FOR SWEEPER WITH USIT

นักศึกษา	นาย วีรวิชญ์	เศวตหิรัญกิตติ์	รหัสประจำตัว	53010828
	นาย ปฏิการ	โรจนาคม	รหัสประจำตัว	53010896
	นาย พงศ์ธร	พงศาวรี	รหัสประจำตัว	53011028

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์



(รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกวาดพื้นโดยใช้ทฤษฎี USIT
นักศึกษา	นาย วีรวิชญ์ เศวตหิรัญกิตติ์
	นาย ปฏิการ โรจนาคม
	นาย พงศ์ธร พงศาวรี
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต

บทคัดย่อ

โครงงานปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎียูซิส (USIT) ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ ในการศึกษาครั้งนี้จะมุ่งปรับปรุงกลไกการทำงานการเก็บขยะให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลง และปรับเปลี่ยนโครงสร้างช่องทางการเก็บขยะ ผลจากการใช้ทฤษฎียูซิสได้วิธีแก้ปัญหาสองแนวทาง คือ 1)ปรับย้ายล้อหน้าให้อยู่ในตำแหน่งหลังแปรงจานกลม และ 2)ปรับปรุงกลไกการเก็บขยะให้แปรงจานกลมและแปรงทรงกระบอกให้เกิดการหมุนอิสระโดยการติดตั้งตลับลูกปืนเข็มทางเดียว หลังการทดสอบที่ความเร็วการเข็นที่ 1.5-2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติสามารถเก็บถั่วแดงได้ประมาณ 151.67 กรัมจาก 200 กรัม ลูกปัดได้ประมาณ 98.33 กรัมจาก 200 กรัม และของผสมระหว่างถั่วแดงและลูกปัดได้ประมาณ 133.33 กรัมจาก 200 กรัม หลังการทดสอบที่ความเร็วการเข็นที่ 3.5-4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถเก็บถั่วแดงได้ประมาณ 150 กรัมจาก 200 กรัมลูกปัดได้ประมาณ 108.33 กรัมจาก 200 กรัมและของผสมระหว่างถั่วแดงและลูกปัดได้ประมาณ 130 กรัม จาก 200 กรัม อย่างไรก็ตามกลไกที่ชุดหมุนแปรงทรงกระบอกไม่สามารถหมุนแบบอิสระได้เนื่องจากแรงเสียดทานที่มากเกินไป ซึ่งอาจจะทำการแก้ไขโดยใช้ตลับลูกปืนที่รับแรงในแนวรัศมีมากขึ้นและสามารถรับแรงในแนวแกนได้ด้วย แทนการใช้ลูกปืนแบบธรรมดา

Thesis Title	IMPROVEMENT OF EFFICIENCY FOR SWEEPER WITH USIT
Student	MR. WEERAVIT SAVETHIRUNKIT
	MR.PATIKARN ROTECHANAKOM
	MR.PONGTRON PONGSAWAREE
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2013
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Sakon Klongboonjit

ABSTRACT

This thesis is to study the application of Unified Structured Inventive Thinking (USIT) to improvement of efficiency for sweeper. This study aims to improve mechanism of sweeper to reduce energy loss and change the structure of entrance channel. With USIT, it shows two solutions: 1) Move the position of front wheel to the rear of disc brush and 2) Adjust mechanism of disc brush and cylindrical brush to freely spin with one-way needle bearings. With testing speed of 1.5-2.0 km/hr, sweeper can sweep red beans about 151.67 grams from 200 grams, beads about 98.33 grams from 200 grams and mixture of red bean and beads about 133.33 grams from 200 grams. With testing speed of 3.5-4 km/hr, sweeper can sweep red bean about 150 grams from 200 grams, beads about 108.33 grams from 200 grams and mixture of red bean and beads about 130 grams from 200 grams. However, sweeping mechanism at cylindrical brush cannot let cylindrical brush freely spin since it has a lot of friction. To reduce this friction, taper roller bearings should be installed instead of ball bearing.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกวาดพื้นโดยใช้ทฤษฎี USIT สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

รศ.ดร. สกนธ์ คล่องบุญจิต อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

ดร. พลชัย โชติปรายนกุล กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือทุกๆ ด้านในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ดร. วิภู ศรีสืบสาย หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คำแนะนำ ความเอาใจใส่และทุกสิ่งทุกอย่างตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำปริญญานิพนธ์ รวมทั้งอาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน

บิดา มารดา รวมทั้งเพื่อนทุกคน กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นาย วีรวิชญ์ เศวตหิรัญกิตติ์

นาย ปฏิการ โรจนาคม

นาย พงศ์ธร พงศาวรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายและความเป็นมาของทริส (TRIZ) 3

2.2 แนวคิดพื้นฐานและโครงสร้างของทริส 4

2.2.1 โครงสร้างของทริส 7

2.2.2 องค์ความรู้ของทริส 9

2.3 เครื่องมือต่างๆ ของทริสและวิธีการใช้งาน 10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.1 ความขัดแย้งเชิงเทคนิคกับหลักการ 40 ข้อ ในเชิงประดิษฐ์คิดค้น 11

2.3.2 ขั้นตอนการแก้ไขความขัดแย้ง 11

2.4 แนวโน้มและทิศทางการพัฒนาของทริส 12

2.4.1 พัฒนาการของทริสในประเทศไทย 13

2.5 การแก้ปัญหาของยูซิส (USIT) 13

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างยูซิสกับทริส 15

2.7 การออกแบบผลิตภัณฑ์ 16

2.8 การออกแบบกลไก 20

2.8.1 สายพาน 20

2.8.2 ชุดขับสายพานกลม 21

2.8.3 รูปแบบการติดตั้งชุดขับสายพาน 21

2.8.4 อัตราทด 23

2.8.5 เพลา 23

2.8.6 แบริ่ง 25

2.9 หลักการทำงานและมาตรฐานการทดสอบของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 32

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 43

3.2 แก้ปัญหาโดยใช้ USIT (Unified Structured Inventive Thinking) 44

3.2.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา 44

3.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา 44

3.2.3 ขั้นตอนการสร้างความคิดและหามาตรการแก้ปัญหา 46

3.2.4 ขั้นตอนการทำให้เป็นจริง 48

3.3 ออกแบบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 48

3.4 การสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 50

3.5 ทดสอบและเก็บผลการทำงานของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 52

3.5.1 การกวาดขยะเพื่อเก็บขยะบนพื้นที่มีความราบเรียบ 52

3.5.2 จัดเก็บผลการทดสอบลงในตาราง 52

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 54

4.2 ออกแบบโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 54

4.3 การสร้างเครื่องกวาดพื้นแบบไม่อัตโนมัติ 56

4.4 การทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 61

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการปรับปรุงประสิทธิภาพและการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 64

5.2 วิจารณ์ผลการทดสอบ 65

5.3 ข้อเสนอแนะการแก้ไข 65

หนังสืออ้างอิง 66

ภาคผนวก แบบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการ 2

ตารางที่ 2.1 แนวคิดและเครื่องมือของทริส และการวิเคราะห์ปัญหาของยูซิส 15

ตารางที่ 2.2 ตารางเครื่องมือของทริสและยูซิส และการวิเคราะห์ปัญหาของยูซิส 15

ตารางที่ 3.1 ตารางแมทริกซ์ความขัดแย้ง 44

ตารางที่ 3.2 หลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้น 46

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทำงานของเครื่องกวาดพื้นแบบไม่อัตโนมัติ 52

ตารางที่ 4.1 แนวทางในการแก้ปัญหาตามหลักการ 40 ข้อของทริส 53

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลที่ได้จากการทดลองกับวัสดุทั้งแบบแยกชนิดและแบบผสมกันทั้งสามครั้ง 61

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ปัญหาของความเฉื่อยเชิงจิตวิทยา 4

รูปที่ 2.2 การมองปัญหาอย่างมีระบบ 5

รูปที่ 2.3 การแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นตามแนวทางของทริส 8

รูปที่ 2.4 เทคนิคการระดมสมองแบบมีทิศทางของทริส 9

รูปที่ 2.5 องค์ความรู้ของทริส 9

รูปที่ 2.6 ลักษณะผลิตภัณฑ์โดยนักออกแบบ 16

รูปที่ 2.7 ลักษณะผลิตภัณฑ์โดยวิศวกร 17

รูปที่ 2.8 แสดงการบิดสายพานแบบ Quarter Twist Drive 21

รูปที่ 2.9 แรงระหว่างสายพานกับพูลเล่ย์ 21

รูปที่ 2.10 อัตราทดของพูลเล่ย์ 22

รูปที่ 2.11 เพลาที่มีแบริ่งรองรับอย่างง่าย รับแรงกระทำ F_i และโมเมนต์คู่ควบ M_i 24

รูปที่ 2.12 ตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึก 25

รูปที่ 2.13 ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม 25

รูปที่ 2.14 ตลับลูกปืนสัมผัสเชิงมุมแถวเดี่ยวสำหรับประกบคู่ 26

รูปที่ 2.15 ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมสองแถว 26

รูปที่ 2.16 ตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึก 26

รูปที่ 2.17 ตลับลูกปืนเม็ดกลมปรับแนวได้เอง 27

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.18 ตลับลูกปืนเม็ดกลมทรงกระบอก 27

รูปที่ 2.19 ตลับลูกปืนเม็ดเข็ม 28

รูปที่ 2.20 ตลับลูกปืนเม็ดเรียว 28

รูปที่ 2.21 ตลับลูกปืนเม็ดโค้ง 29

รูปที่ 2.22 ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลมรับแรงทิศทางเดียว 29

รูปที่ 2.23 ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลมรับแรงสองทิศทาง 30

รูปที่ 2.24 ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดโค้ง 30

รูปที่ 2.25 กลไกการทำงานอย่างง่ายของเครื่องกวาดขยะ 31

รูปที่ 2.26 รูปแสดงการทดสอบการทำงานของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 32

รูปที่ 2.27 กระป๋องเครื่องดื่มที่ผ่านการใช้ทฤษฎีทริสในการคิดค้น 33

รูปที่ 2.28 ลักษณะการแบ่งปัญหาโดยภาพรวมเป็นปัญหาย่อย 33

รูปที่ 2.30 หัวรถจักร Pennsylvania Railroad's ออกแบบโดย Raymond Loewy, 1946 36

รูปที่ 2.31 Maruni Collection 2011/Autumn 37

รูปที่ 2.32 ตัวอย่างฟีทเจอร์ชิ้นส่วนเตียงนอนและชิ้นส่วนโมดุล 37

รูปที่ 2.33 ตัวอย่างแบบจำลองผลิตภัณฑ์เชิงแนวคิดจากระบบพาราเมตริกฟีทเจอร์เบส 38

รูปที่ 2.34 แผนภาพของระบบวิศวกรรมคันไช 38

รูปที่ 2.35 ชิ้นส่วนของกลไกและการจัดวางของกลไกก่อนการประกอบ 39

รูปที่ 2.36 กลไกต้นแบบหลังการประกอบ 39

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.37 ระบบทางกลของรีแอคชัน วีล เพนดูลัม 40

รูปที่ 2.38 กลไกแบบขากรรไกรที่ใช้ในการปรับจุดศูนย์ถ่วง 40

รูปที่ 2.39 การจำลองการขึ้น-ลงบันไดที่ตำแหน่งเก้าอี้สูงสุดและต่ำสุดและจอแสดงผลโปรแกรมวัดอัตราการเต้นของหัวใจ 41

รูปที่ 2.40 เครื่องกรองสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ได้จากการออกแบบ 41

รูปที่ 4.1 แบบคลี่ของโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 54

รูปที่ 4.2 แสดงรูปโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติหลังผ่านกระบวนการพับ 54

รูปที่ 4.3 รูปโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติหลังจากติดอุปกรณ์ส่วนกลไกต่างๆแล้ว 55

รูปที่ 4.4 การตัดเหล็กแผ่นโดยเครื่องตัดพลาสมา 55

รูปที่ 4.5 การพับเหล็กแผ่นเป็นโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติตามแบบ 56

รูปที่ 4.6 รูปร่างโครงเครื่องหลังผ่านกระบวนการพับตามที่ออกแบบ 56

รูปที่ 4.7 อุปกรณ์ที่จะใช้ประกอบในส่วนกลไกต่างๆก่อนการประกอบลงไปตามตามจุดต่างๆที่ได้กำหนดไว้ในโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 57

รูปที่ 4.8 การต่อสายพานโดยการใช้บัดกรีให้ความร้อนแก่สายพาน 57

รูปที่ 4.9 รูปการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในส่วนกลไก และส่วนภายนอกทั้งหมดลงบนโครงสร้างของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติแล้ว 58

รูปที่ 4.10 รูปตำแหน่งและลำดับของอุปกรณ์ส่วนกลไกต่างๆของแปรงจานกลม 58

รูปที่ 4.11 รูปตำแหน่งและลำดับของอุปกรณ์ส่วนกลไกต่างๆของแปรงทรงกระบอก 59

รูปที่ 4.12 การกระจายของวัสดุทดสอบ (ลูกปัด) ก่อนการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 60

รูปที่ 4.13 การกระจายของวัสดุทดสอบ (ถั่วแดง) ก่อนการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 60

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 การกระจายของวัสดุทดสอบ (ผสม) ก่อนการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ..... 61

บทที่ 1

บทนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎี ยูซิส (USIT) มาปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกวาดขยะ โดยมีการออกแบบ สร้างเครื่องกวาดขยะ และทำการทดลองวัดผลการทำงานของเครื่องกวาดขยะ

1.1 ที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันได้มีการใช้เครื่องกวาดขยะเพื่อทำความสะอาดพื้นในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก โดยที่กลไกในการทำงานของเครื่องกวาดคือการส่งกำลังจากล้อหลังไปให้แปรงหน้า แปรงหน้าจะทำการปัดขยะไปส่วนกลางของเครื่อง ต่อจากนั้นแปรงกลางของเครื่องจะทำหน้าที่ตักขยะเข้าไปในถังเก็บ โดยปกติแล้วเครื่องกวาดขยะที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปในส่วนของแปรงหน้าจะไม่สามารถหมุนอย่างอิสระหลังจากระบบส่งกำลังของเครื่องหยุดทำงานได้ ส่งผลทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและทำให้เครื่องหยุดทำงานทันทีที่เครื่องหยุดเคลื่อนที่ ซึ่งอาจส่งผลให้ขยะไม่ถูกตักเข้าไปในเครื่องและติดอยู่ที่ส่วนของแปรงได้ ดังนั้นในการปรับปรุงเครื่องกวาดขยะก็เป็นอีกตัวเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ การใช้ยูซิสเข้ามาช่วยในการพัฒนาและปรับปรุงตัวเครื่องเพื่อให้เครื่องมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ยูซิสนั้นถือได้ว่าเป็นทริสยุคใหม่ (Contemporary TRIZ) ที่ปรับปรุงมาจากทริส (TRIZ) และมีความสัมพันธ์กับทริสอย่างใกล้ชิด ซึ่งทริสคือการพัฒนาความคิดอย่างสร้างสรรค์ การปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการใช้ยูซิสมาพัฒนาคือ เมื่อมีการส่งกำลังไปที่ส่วนแปรงจะทำให้แปรงสามารถหมุนแบบอิสระได้แม้ว่าเครื่องจะหยุดเคลื่อนที่ก็ตาม แล้วยังสามารถถอยหลังได้โดยไม่เกิดปัญหาแปรงหมุนกลับทิศจนปัดเศษขยะออกไปจากตัวเครื่อง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎียูซิสในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของหัวแปรงทำความสะอาดของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ
2. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติด้วยทฤษฎียูซิส

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. เครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติจะถูกปรับปรุงกลไกในส่วนของการเก็บขยะและล้อหน้าเท่านั้น
2. สามารถเก็บขยะชนิดของแข็งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 6 ถึง 20 มิลลิเมตร
3. เครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติที่ทำการปรับปรุงจะใช้แรงงานคนในการขับเคลื่อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำทฤษฎีของยูซิส (USIT) มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น
2. เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเพื่อนำไปใช้เก็บขยะชนิดของแข็งในโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการ

	ระยะเวลา							
รายการ	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.ศึกษาหาหัวข้อปัญหาในการปรับปรุง								
2.ศึกษาทฤษฎี และหลักการทำงานที่เกี่ยวข้อง								
2.1)ทฤษฎี ยูซิส (USIT)								
2.2)การออกแบบเครื่องจักรกล (Machine Design)								
2.3)การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design)								
3.รวบรวมข้อมูลเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง								
3.1)หัวแปรง								
3.2)ระดับที่รับ								
4.ทำการวิเคราะห์และออกแบบ								
4.1)โดยการนำการออกแบบเครื่องจักรกลและการออกแบบผลิตภัณฑ์มาทำ								
การวิเคราะห์เครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ								
4.2)นำทฤษฎียูซิสมาวิเคราะห์ในการสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ								
5.ดำเนินการสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ								
6.ทำการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ								
6.1)กลไกการทำงานของระบบเก็บขยะ								
6.2)ทดสอบการทำงานของหัวแปรง								
6.3)ทดสอบประสิทธิภาพในการเก็บขยะ								
7.)จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายและความเป็นมาของทริส(TRIZ) [1]

ในภาวะปัจจุบันที่การแข่งขันทางธุรกิจได้ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น การยืนหยัดบนเวทีการค้าโลกจำเป็นต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์เป็นอย่างสูง ประเทศผู้นำทางด้านเทคโนโลยีของโลก ทั้งอเมริกา ญี่ปุ่น และประเทศในแถบยุโรปต่างให้ความสำคัญกับเรื่องของการประดิษฐ์คิดค้นสิ่งต่างๆ จนนำไปสู่การสร้างสรรค์นวัตกรรม

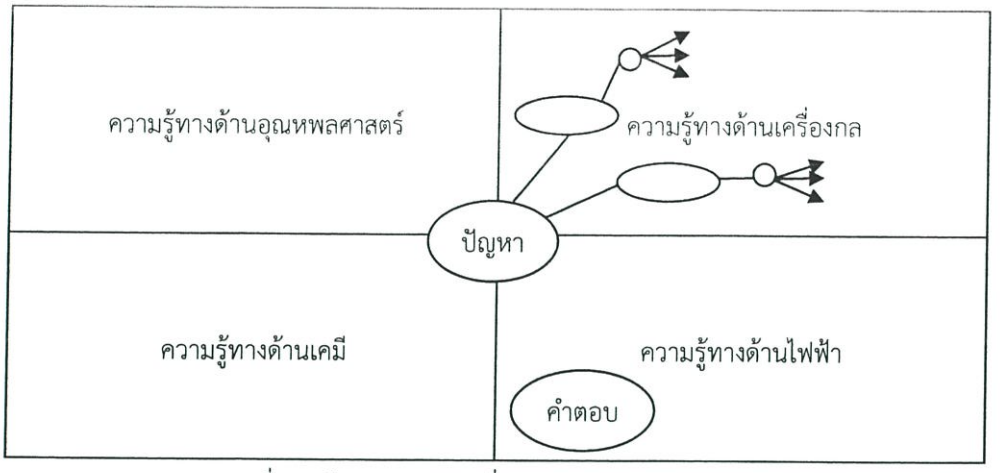
มีคำถามหนึ่งที่น่าสนใจ คือ "ความคิดสร้างสรรค์เป็นสิ่งที่สามารถเรียนรู้กันได้หรือไม่?"

เพื่อที่จะตอบคำถามนี้ วิศวกรชาวรัสเซีย ชื่อ เกนริคอัลต์ชูลเลอร์ได้ทำการศึกษาค้นคว้าและวิเคราะห์สิทธิบัตรต่างๆ กว่า 2 ล้านฉบับ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1946 และได้พัฒนาขึ้นมาเป็นเครื่องมือและฐานความรู้ต่างๆ ในการแก้ปัญหาทางเทคนิค เรียกเป็นชื่อย่อภาษารัสเซียว่า TRIZ ซึ่งแปลว่าทฤษฎีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น (Theory of Inventive Problem Solving)

ทริสเกิดขึ้นในสงครามโลกครั้งที่ 2 แต่เพิ่งจะเป็นที่รู้จักในยุโรปและอเมริกาเมื่อไม่ถึง 10 ปีมานี้เอง ทริสเป็นเสมือนกุญแจดอกสำคัญอันหนึ่ง ซึ่งนำไปสู่ความรุ่งเรืองทางด้านวิศวกรรมของสหภาพโซเวียตในยุคสงครามเย็นที่ไม่เคยถูกเปิดเผยมาก่อนเป็นเวลากว่า 50 ปี และยังคงสามารถนำมาใช้ได้เป็นอย่างดีในการประดิษฐ์คิดค้นนวัตกรรมของโลกทุกวันนี้

อาจกล่าวได้ว่าทริสเป็นแนวคิดและวิธีการในการแก้ปัญหาอย่างมีตรรกะหรือมีเหตุมีผลที่ได้รับการพิสูจน์แล้ว

การมองเห็นปัญหาและการหาทางแก้ปัญหา เป็นจุดเริ่มต้นของทฤษฎีการแก้ปัญหาอัลต์ชูลเลอร์ มีความเชื่อว่า "ความคิดสร้างสรรค์ เป็นสิ่งที่สามารถเรียนรู้กันได้" เขาได้นำแนวทางการแก้ปัญหาต่างๆในอดีต มาทำให้เป็นกระบวนการและองค์ความรู้ที่จะช่วยทำให้สามารถเห็นถึงหนทางในการแก้ปัญหา โดยธรรมชาติแล้ว คนเรามักจะคิดแก้ปัญหาต่างๆ โดยอ้างอิงจากความถนัดของตนเองเป็นหลัก ซึ่งมักทำให้เกิดสภาพ "ความเฉื่อยเชิงจิตวิทยา (Psychological Inertia)" คือ การยึดติดกับประสบการณ์และการรับรู้ที่ผ่านมาของตนเองเป็นหลัก ทำให้ไม่สามารถออกไปจากรูปแบบที่เคยมีมาได้ แต่การแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้น หรือ Inventive Problem Solving จะเป็นการคิดค้นสิ่งใหม่ๆ โดยการแก้ปัญหาที่มีอย่างตรงจุด ซึ่งนอกจากประสบการณ์หรือความถนัดของตนเองแล้วยังนำความรู้ด้านอื่นๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบันที่เคยประสบความสำเร็จมาประกอบการมองปัญหาและแก้ปัญหาด้วย



รูปที่ 2.1 ปัญหาของความเฉื่อยเชิงจิตวิทยา [1]

2.2แนวคิดพื้นฐานและโครงสร้างของทริส [1]

อัลต์ชูลเลอร์ ได้พัฒนาทริสอย่างต่อเนื่องตลอดชั่วระยะเวลา 40 ปีที่เขาได้ทำการค้นคว้าวิจัย อาจารย์คุโรซาวา ผู้เชี่ยวชาญทริสจากมหาวิทยาลัยซันโน ได้สรุปแนวคิดพื้นฐาน 6 ประการของทริสดังต่อไปนี้

1. การมองปัญหาอย่างเป็นระบบ (System Approach)
2. วิวัฒนาการของระบบสู่ความเป็นอุดมคติ (Evolution to The Ideality)
3. รูปแบบของวิวัฒนาการของระบบ (Patterns of Systems Evolution)
4. การดำเนินการเพื่อให้วิวัฒนาการของระบบเป็นจริง (Operations for Realization of The Evolution)
5. ทรัพยากรที่ใช้สำหรับวิวัฒนาการของระบบ (Evolutional Resources)
6. ความขัดแย้งที่เกิดขึ้นในวิวัฒนาการของระบบ (Conflicts in Systems Evolution)

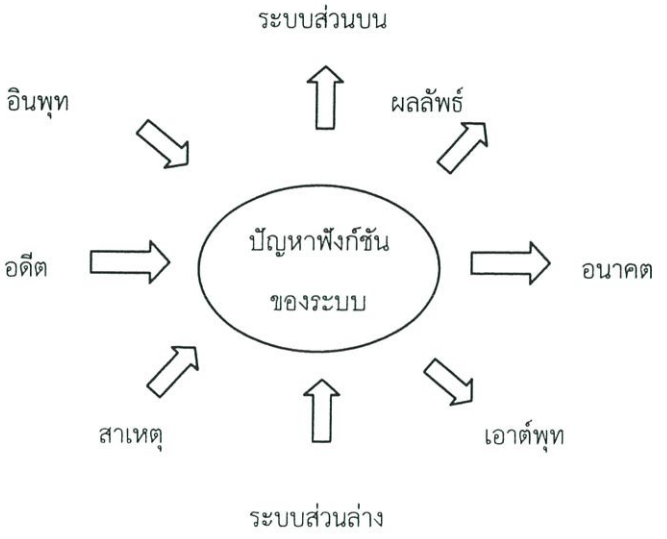
ต่อไปจะได้อธิบายถึงแนวคิดพื้นฐานแต่ละข้อโดยละเอียด

1) การมองปัญหาอย่างเป็นระบบ

อาจกล่าวได้ว่า ปัญหาใดก็ตาม "เกิดขึ้นในระบบอย่างใดอย่างหนึ่งที่มีอยู่ในสังคม โดยมีฟังก์ชันที่ก่อให้เกิดประโยชน์" ดังนั้นทริสจึงมองปัญหาอย่างเป็นระบบโดยไม่ยึดติดอยู่เพียงเฉพาะเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเฉพาะส่วนและเนื่องจากเป็นระบบที่มีอยู่จริงในสังคม การแก้ปัญหาจึงไม่ใช่เป็นเพียงเกมส์การคิดค้น แต่เป็นการปฏิบัติของการคิดค้นที่เป็นจริง จากสิ่งนี้คำตอบสำหรับการแก้ปัญหาจะสามารถถูกค้นพบได้อย่างเป็นรูปธรรมและมีขอบเขตที่กว้างขวางมากยิ่งขึ้น ที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่าระบบจะประกอบขึ้นเป็นระบบส่วนบน (Super System) และประกอบขึ้นจากระบบส่วนล่าง (Sub System) หลายระบบรวมกัน ดังนั้น จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องมองให้ออกว่าแก่นของสภาพปัญหาอยู่ที่ระดับไหนของระบบ จึงจะสามารถแก้ปัญหาได้ถูกจุด

กล่าวโดยสรุปคือ ถ้าหากใช้มุมมองของระบบและฟังก์ชั่นมาพิจารณาปัญหา จะสามารถหามาตรการการแก้ปัญหาอย่างถึงแก่นได้ โดยมองจากความเป็นจริง

ทริสจะมีการมองปัญหาอย่างเป็นระบบ นอกจากจะมองว่า ระบบจะประกอบขึ้นเป็นระบบส่วนบน (Super System) และประกอบขึ้นจากระบบส่วนล่าง (Sub System) แล้ว ยังมองในเชิงของสาเหตุและผลลัพธ์ อินพุทและเอาต์พุท รวมถึงอดีตและอนาคตดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะมีประโยชน์ในวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและสามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ความเปลี่ยนแปลงของระบบเทคโนโลยีเพื่อใช้ในการวางแผนและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่



รูปที่ 2.2 การมองปัญหาอย่างมีระบบ [1]

2) วิวัฒนาการของระบบสู่ความเป็นอุดมคติ

การแก้ปัญหานั้นจะเป็นเหมือนวิวัฒนาการของระบบที่มีปัญหานั้นดำรงอยู่ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าระบบที่ผ่านการแก้ปัญหาแล้วย่อมมีวิวัฒนาการมากกว่า จึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงเป้าหมายสุดท้ายอันเป็นอุดมคติที่ระบบจะวิวัฒนาการไป หากเป้าหมายของการใช้ระบบอยู่ที่การทำให้เกิดฟังก์ชันที่ต้องการขึ้นมา สิ่งที่จำเป็นจึงไม่ใช่ตัวระบบแต่เป็นฟังก์ชันเท่านั้นเอง เมื่อคิดอย่างสุดโต่งอาจกล่าวได้ว่า สภาพในอุดมคติของระบบคือถึงแม้ไม่มีระบบ ฟังก์ชันก็ยังสามารถถูกสร้างขึ้นมาให้ทำงานได้ สิ่งนี้คือสิ่งที่ทริสเรียกว่าความเป็นอุดมคติ

เมื่อวาดภาพของความเป็นอุดมคติไว้ล่วงหน้าแล้วแยกองค์ประกอบพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายของฟังก์ชันโดยตรง และองค์ประกอบอื่นที่จำเป็นเพื่อนรองรับฟังก์ชันนั้นขึ้นมา จะทำให้มองเห็นหนทางที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาได้ชัดขึ้น

นอกจากนี้ เมื่อมองจากอีกมุมมองหนึ่ง อาจกล่าวได้ว่า การแก้ปัญหาจะเป็นเช่นเดียวกับการทำให้ระบบที่มีปัญหาอยู่นั้นวิวัฒนาการไป ดังนั้น จึงสามารถมาตรการการแก้ปัญหาได้จากวิธีการต่างๆ ที่จะทำให้ระบบวิวัฒนาการไป จุดนี้เป็นลักษณะเด่นของทริสที่แตกต่างไปจากวิธีอื่นๆ กล่าวคือ นอกจากจะหาแนวทางแก้ปัญหาโดยตรงแล้ว ยังสามารถค้นหามาตรการการแก้ปัญหาได้โดยพิจารณาว่าจะทำให้ระบบวิวัฒนาการไปได้อย่างไร ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลและความรู้จาก

การศึกษาประวัติศาสตร์วิวัฒนาการของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แนวคิดเช่นนี้เป็นพื้นฐานสำคัญของวิธีการแก้ปัญหาโดยทริส

3) กฎแห่งวิวัฒนาการของระบบ

ผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีที่ใช้ในสังคมจะวิวัฒนาการไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อลองวิเคราะห์ประวัติศาสตร์การวิวัฒนาการของระบบต่างๆ จะพบว่าระบบหลายๆ อย่างมีประวัติศาสตร์การวิวัฒนาการของระบบที่คล้ายคลึงกัน แม้ว่าจะอยู่ในสาขาที่แตกต่างกันจนดูเหมือนจะไม่เกี่ยวข้องกันเลย สิ่งนี้ทริสเรียกว่ารูปแบบ (Patterns) ของวิวัฒนาการของระบบเทคโนโลยีหรือแนวโน้ม (Trend)

กฎแห่งวิวัฒนาการของระบบจะประกอบด้วยรูปแบบของการวิวัฒนาการ และลำดับของวิวัฒนาการ วิวัฒนาการของผลิตภัณฑ์และระบบเทคโนโลยีหลายๆ ระบบจะมีรูปแบบของการวิวัฒนาการ และลำดับของวิวัฒนาการที่คล้ายคลึงกันในโดยทั่วไปแล้วอาจกล่าวได้ว่า วิวัฒนาการของระบบจะเกิดจากการผสมผสานกันระหว่างรูปแบบและลำดับของวิวัฒนาการหลายๆ อัน

จึงสามารถเห็นตัวอย่างของการผสมผสานเช่นนี้ได้ในหลายๆ สาขา เช่น การเปลี่ยนจากใช้ฝีมือคนในการปรับขึ้นรูปโลหะมาเป็นเครื่องกลึง ตลอดจนกลายเป็นศูนย์เครื่องจักร

จึงสามารถนำรูปแบบและลำดับของวิวัฒนาการไปใช้ในงานหลายๆ อย่างเช่น การทำนายทิศทางของเทคโนโลยี การวางแผนพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ การหามาตรการแก้ปัญหาล่วงหน้าโดยมองจากอนาคต เป็นต้น

4) ตัวดำเนินการ (Operator) เพื่อสร้างวิวัฒนาการของระบบ

สาระสำคัญของแนวคิดนี้เป็นดังนี้ เมื่อลองวิเคราะห์ความคิดต่างๆ ที่คนเราใช้ในการวิวัฒนาการระบบ จะพบว่าความคิดหลายๆ อย่างถูกนำมาใช้ซ้ำแล้วซ้ำอีก แม้ว่าจะแตกต่างกันในสาขาอุตสาหกรรมหรือสาขาวิชาที่นำไปใช้ หรือแม้แต่ยุคสมัยหรือสังคมที่เปลี่ยนแปลงไป ความคิดเหล่านั้นยังใช้ได้อยู่ เมื่อลองวิเคราะห์สิทธิบัตรเป็นจำนวนมากดูจะพบว่ามีความคิดต่างๆ ที่นำมาใช้ซ้ำแล้วซ้ำอีกนี้ เมื่อนับจำนวนประเภทของความคิดแล้วจะมีความคิดที่ใช้กับบ่อยๆ อยู่ไม่มากนัก

ทริสมองเห็นว่า ถ้าเอาความคิดต่างๆ นี้มารวบรวมทำรายการไว้ จะสามารถช่วยให้คนค้นหาคำตอบได้เร็วขึ้น จึงเรียกความคิดแต่ละอันที่ทำให้ระบบวิวัฒนาการไปนี้ว่าตัวดำเนินการทริสได้เสนอรายการของตัวดำเนินการมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับปรับปรุงสภาพปัญหาอย่างได้ผล เช่น หลักการ 40 ข้อ และ 76 คำตอบมาตรฐาน เป็นต้น

ตัวดำเนินการมาตรฐานเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในบรรดาเครื่องมือต่างๆ ของทริสแต่ผู้เชี่ยวชาญทริสมีความเห็นที่แตกต่างกันไปในประเด็นที่ว่าจะใช้ตัวดำเนินการที่อยู่อย่างมากมายนี้ให้มีประสิทธิผลและสะดวกกับการใช้งานได้อย่างไร จึงมีการคิดเสนอวิธีการใช้ตัวดำเนินการอยู่มากมายหลายวิธี ซึ่งแตกต่างกันไปตามบริษัทที่ปรึกษาแต่ละแห่งที่พัฒนาวิธีการใช้ตัวดำเนินการขึ้นมา

5) ทรัพยากรที่ใช้เพื่อให้ระบบวิวัฒนาการไป

เมื่อมองจากทางด้านปัจจัยวัตถุดิบ อาจกล่าวได้ว่า ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์หรือเทคโนโลยีใดก็ตาม วิวัฒนาการของระบบจะถูกสร้างขึ้นมาจากการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรที่แต่เดิมนั้นไม่ถูกนำมาใช้อย่างพอเพียง

ในกรณีที่มีตัวดำเนินการให้เลือกหลายตัว โดยที่การวิวัฒนาการของระบบได้ผลใกล้เคียงกัน ย่อมต้องเลือกดำเนินการที่ต้องไม่ลงทุนหรือลงทุนน้อยเป็นหลัก จึงใช้หลักเกณฑ์นี้ในการพิจารณาความล้ำเลิศของมาตรการการแก้ปัญหาจากมุมมองของทรัพยากรด้วยเช่นกัน

แต่ทรัพยากรใช่ว่าจะคงอยู่ให้ใช้ได้ภายในระบบตลอดไป บางครั้งจำเป็นต้องนำทรัพยากรเข้ามาจากภายนอกหรือทำการเปลี่ยนแปลงอย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อให้เกิดทรัพยากรที่จำเป็นขึ้นมา

ในกรณีที่ไม่สามารถสร้างทรัพยากรที่จำเป็นขึ้นมาได้ด้วยวิธีการปกติ จึงจำเป็นต้องค้นหาวิธีการสร้างทรัพยากรโดยการใช้ผลหรือหรือปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ เคมีหรือทางเรขาคณิตเข้ามาช่วย ถ้าหากค้นหาผลหรือปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ เคมีหรือทางเรขาคณิตได้โดยง่าย จึงสามารถค้นทรัพยากรที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหาได้โดยง่ายเช่นกัน ทริสจึงได้รวบรวมผลหรือปรากฏการณ์ดังกล่าวขึ้นมาเป็นเครื่องมือเฉพาะเรียกว่า “Effects” แต่เนื่องจากมีการค้นพบผลหรือปรากฏการณ์ต่างๆ อยู่ทุกวัน จึงจำเป็นต้องการติดตามผลหรือปรากฏการณ์เหล่านี้อย่างใกล้ชิด

การค้นพบทรัพยากร จะทำให้เห็นกลไกการเกิดปัญหาหรือสาเหตุของข้อบกพร่อง (Failure) ที่เกิดขึ้นในระบบอย่างความชัดเจนมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้การตรวจสอบความเสี่ยงที่แฝงเร้นอยู่ในระบบได้ ในกรณีเช่นนี้ สามารถพิจารณาจากทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการเกิดข้อบกพร่องได้

6) ความขัดแย้งที่เกิดขึ้นในวิวัฒนาการของระบบ

ทรัพยากรในระบบมีอยู่อย่างจำกัด แต่ความคาดหวังของสังคมที่มีต่อฟังก์ชันของระบบนั้นมีไม่จำกัด ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นระบบใดก็ตาม เมื่อวิวัฒนาการมาถึงขั้นหนึ่งแล้วจะเกิดปัญหาการยื้อแย่งทรัพยากรกันเองในระหว่างฟังก์ชันการทำงานหลายๆ อย่าง ทริสเรียกสภาพเช่นนี้ว่า ความขัดแย้ง

จากประสบการณ์ที่ผ่านมา ปัญหาหลายๆ อย่างสามารถแก้ได้โดยการหาวิธีการเอาชนะสภาพความขัดแย้ง ดังนั้นหากสามารถค้นหาความขัดแย้งได้อย่างถูกต้อง ก็จะพบแก่นของปัญหาหรือโจทย์ที่แฝงเร้นอยู่ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ ความขัดแย้งนั้นเป็นสภาพปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้โดยใช้วิธีขยายผลแบบเดิมๆ โดยทั่วไปแล้วจะเป็นหัวข้อปัญหาที่มีความลำบากในการแก้ไข ดังนั้นหากสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ก่อนคู่แข่ง ก็จะได้เปรียบกว่าในการแข่งขัน

2.2.1 โครงสร้างของทริส

จากการศึกษาวิเคราะห์สิทธิบัตรต่างๆ กว่า 2 แสนชิ้นในเบื้องต้น อัลต์ชูลเลอร์ได้ค้นพบว่าปัญหาทางเทคนิคสามารถแบ่งออกเป็น 5 ระดับตามประเภทของประสบการณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหา โดยที่ตัวเลขยิ่งมากแสดงว่าเป็นปัญหาที่ยาก ดังนี้

ปัญหาระดับที่ 1) 68.3% ของปัญหาทั้งหมด

เป็นปัญหาที่สามารถแก้ไขได้ด้วยทฤษฎีและความรู้ทั่วไป หรือใช้ประสบการณ์เฉพาะในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับปัญหานั้น โดยทั่วไปไม่นับว่าเป็นปัญหาระดับที่ต้องใช้การประดิษฐ์คิดค้น (Inventive)

ปัญหาระดับที่ 2) 27.1% ของปัญหาทั้งหมด

เป็นปัญหาที่สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ประสบการณ์จากสาขาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง มีการปรับปรุงพัฒนาในระดับหนึ่ง นับว่าเป็นปัญหาระดับที่ต้องใช้การประดิษฐ์คิดค้นในระดับหนึ่ง

ปัญหาระดับที่ 3) 4.3% ของปัญหาทั้งหมด

เป็นปัญหาที่ต้องใช้ความรู้จากสาขาอุตสาหกรรมอื่นที่อยู่นอกจากไปจากสาขาอุตสาหกรรมของตนเอง มีการปรับปรุงพัฒนาในระดับพื้นฐาน นับว่าเป็นปัญหาระดับที่ต้องใช้การประดิษฐ์คิดค้นระดับสูง

ปัญหาระดับที่ 4) 0.24% ของปัญหาทั้งหมด

เป็นปัญหาในการสร้างระบบแบบใหม่ที่ต้องใช้หลักการใหม่ๆ เพื่อทำให้ระบบมีฟังก์ชันในการทำงานที่ต้องการ วิธีการแก้ปัญหาโดยมากจะเป็นการค้นพบโดยการนำความรู้พื้นฐานด้านวิทยาศาสตร์มาใช้ มากกว่าจะใช้วิชาการในอุตสาหกรรมสาขานั้น

ปัญหาระดับที่ 5) 0.06% ของปัญหาทั้งหมด

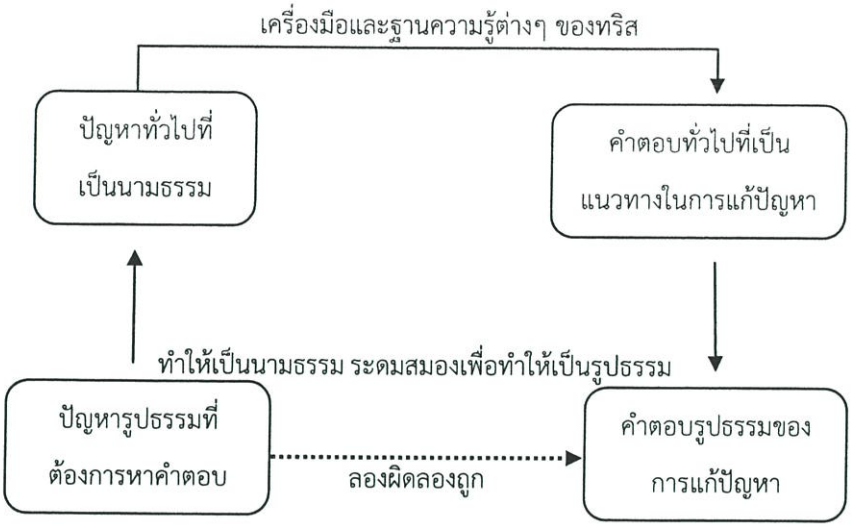
เป็นการค้นพบใหม่ที่ไม่เคยมีมาก่อน

ทริสจะมีประสิทธิภาพดีในการแก้ปัญหาระดับ 2 ถึงระดับ 4 ในการแก้ปัญหาระดับที่ 3 หรือระดับที่ 4 ซึ่งเป็นปัญหาที่ค่อนข้างยากจะสามารถลดขั้นตอนและเวลาในการแก้ปัญหาได้ ตรงกันข้ามสำหรับการค้นพบและการประดิษฐ์ใหม่ๆ ซึ่งเป็นปัญหาระดับ 5 นั้น การใช้แนวคิดของทริสจะมีประโยชน์ในระดับหนึ่ง แต่สิ่งที่จะทำให้แก้ปัญหาได้จริงคือการทดลองหรือการสังเกตเพื่อหาความรู้ใหม่ในส่วนที่ยังไม่รู้

หลักการของทริสจะเน้นไปในการแก้ปัญหาในลำดับที่ 2 3 และ 4 เป็นหลักซึ่งอัลต์ชูลเลอร์กล่าวไว้ว่า 90% ของปัญหาในทางเทคนิคทั้งหลายที่พบ ที่จริงแล้วก็คือปัญหาเดิมๆ ที่เคยมีผู้แก้ไขสำเร็จแล้ว ณ ที่ใดที่หนึ่งมาก่อนแล้ว ถ้าหากสามารถที่จะดำเนินตามลำดับขั้นของการแก้ปัญหา จากการใช้ประสบการณ์ ความถนัดเฉพาะทางของตน ไปจนถึงการใช้ความรู้จากแหล่งภายนอก ก็จะพบว่าการแก้ปัญหาส่วนใหญ่สามารถนำความรู้ที่มีอยู่ภายในองค์กร ภายในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน และแม้แต่จากกลุ่มอุตสาหกรรมต่างสาขามาปรับใช้ได้เช่นกัน

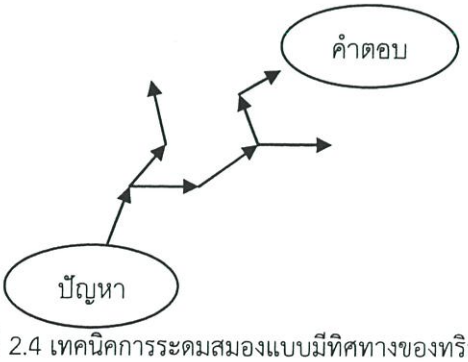
ปัญหาส่วนใหญ่ในชีวิตประจำวัน ถ้ารู้ตัวโจทย์ ก็สามารถหาวิธีการแก้ปัญหาได้โดยใช้ความรู้และประสบการณ์ในอดีต วิธีการแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นของทริสนั้นจะมีความคล้ายกับการแก้โจทย์ทางคณิตศาสตร์

ในทำนองเดียวกัน การแก้ปัญหาตามแนวทางของทริสนั้น ทริสมองว่าการหาคำตอบโดยวิธีลองผิดลองถูกโดยใช้ความถนัดส่วนตัวก็อาจจะหาคำตอบได้เช่นกันแต่อาจจะเสียเวลามากกว่า หรือ ได้คำตอบที่ไม่ถูกต้องเหมาะสมที่สุด ดังนั้น ในการแก้ปัญหาตามแนวทางของทริสนั้น จะแปลงปัญหารูปธรรมให้เป็นปัญหาทั่วไปที่เป็นนามธรรมจากนั้น ใช้เครื่องมือและฐานความรู้ต่างๆ ของทริสมาหาคำตอบทั่วไปที่เป็นความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหา หลังจากนั้น ต้องทำการระดมสมองเพื่อหาคำตอบเฉพาะที่เป็นรูปธรรมจากคำตอบทั่วไปที่เป็นความคิดสร้างสรรค์ เมื่อได้แนวทางในการแก้ปัญหาแล้ว จึงจะนำแนวทางต่างๆ ที่ได้ไปประเมินความเป็นไปได้ ความเหมาะสมตลอดจนความคุ้มทุนอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.3 การแก้ปัญหาเชิงประดิษฐ์คิดค้นตามแนวทางของทริส [1]

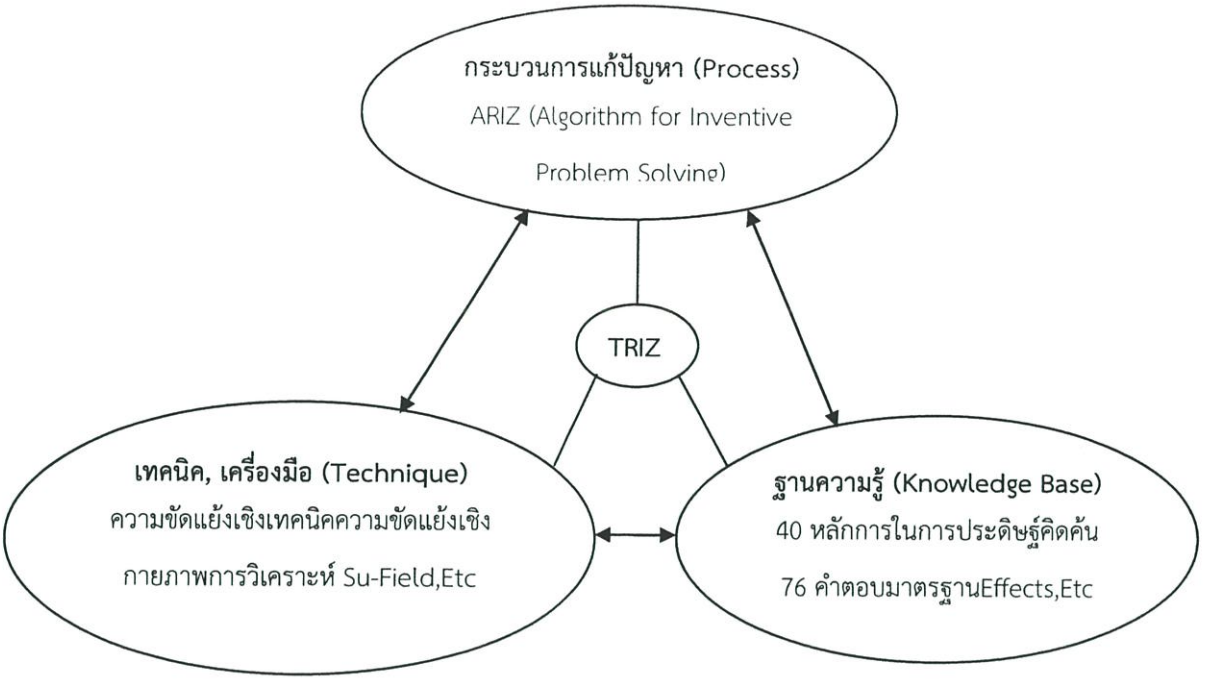
เทคนิคการระดมสมอง (Brain Storming) เป็นวิธีการที่จะให้ได้ความคิดโดยอิสระปราศจากเงื่อนไขหรือข้อจำกัดทั้งปวง กล่าวได้ว่าเป็นวิธีการสร้างความคิดได้อย่างง่ายๆ แต่บ่อยครั้งความคิดที่ได้ไม่มีสาระเมื่อเทียบกับเวลาที่สูญเสียไป โดยทั่วไปแล้วความคิด 80% ที่ได้จะเกิดขึ้นในตอน 20 นาทีแรก และเมื่อเวลาผ่านไปเนื้อหาของความคิดที่ได้ก็จะกระจัดกระจายทำให้ความกระตือรือร้นของผู้ร่วมแก้ปัญหาค่อยๆ ลดน้อยลง ความคิดที่ได้แต่ไม่ได้มีการตรวจสอบเชิงวิจารณ์อาจมีข้อบกพร่องอยู่ และบางครั้งความคิดดีๆ กลับถูกทิ้งไปด้วยเหตุผลที่ว่ามีข้อบกพร่อง ทั้งๆ ที่ถ้าสามารถเอาชนะข้อบกพร่องนั้นได้ อาจเป็นความคิดที่ดีเยี่ยม ดังนั้น การระดมสมองในฉบับของทริส (Guided Brain Storming) จะเป็นวิธีการเสริมจุดอ่อนของวิธีการระดมสมองโดยทั่วไป โดยจะใช้เครื่องมือและฐานความรู้ต่างๆ ของทริสมาช่วยหาคำตอบทั่วไปที่เป็นความคิดสร้างสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหา ซึ่งจะทำให้การระดมสมองเพื่อหาคำตอบเฉพาะที่เป็นรูปธรรมนั้นมีทิศทางที่แน่นอน ไม่กระจัดกระจายทำให้สามารถหาคำตอบที่ถูกต้องและเหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.4 เทคนิคการระดมสมองแบบมีทิศทางของทริส [1]

2.2.2 องค์ความรู้ของทริส

องค์ความรู้ของทริสสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ที่ทำงานประสานกันคือ กระบวนการแก้ปัญหา (Process) เทคนิค, เครื่องมือ (Technique) และ ฐานความรู้ (Knowledge Base)



รูปที่ 2.5 องค์ความรู้ของทริส [1]

อาจารย์คุโรซาวา ผู้เชี่ยวชาญทริสจากมหาวิทยาลัยซันโน ได้ให้แง่คิดว่า วิธีการแก้ปัญหาที่ผ่านมา ส่วนใหญ่จะถูกคิดค้นเสนอมาจากอเมริกาหรือประเทศทุนนิยมอื่นๆ ในสังคมทุนนิยม ผู้ที่ค้นพบวิธีการใหม่จะรีบนำออกมาเผยแพร่เพื่อแสดงตัวเป็นผู้ค้นพบและมักจะต้องการให้มีผลกำไรจากวิธีการใหม่นั้น จึงถูกนำไปใช้เป็นเครื่องมือทางธุรกิจของบริษัทให้คำปรึกษา ดังนั้นวิธีการเหล่านี้จึงมักขาดการตรวจทาน การแก้ไขข้อบกพร่องและการขัดเกลาที่เพียงพอ นอกจากวิธีการต่างๆ ที่เป็นสินค้าของบริษัทให้คำปรึกษาจะต้องแสดงลักษณะเฉพาะให้เห็นข้อแตกต่างกับวิธีการอื่น จึงมักไม่มีการผสมผสานกับวิธีการอื่น แต่ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้เดี่ยวๆ

ตรงกันข้ามทริสพัฒนามาจากประเทศสังคมนิยม กระบวนการที่ทริสถูกพัฒนามานั้น มีการสะสมข้อมูลที่เป็นพื้นฐานของวิธีการนี้อย่างเพียงพอ ยิ่งกว่านั้นทริสเกิดขึ้นและพัฒนามาในประเทศที่ผลประโยชน์ของประเทศสำคัญกว่าผลประโยชน์ของตัวบุคคลจึงมีเวลาที่นานพอที่จะปรับปรุงมาโดยได้รับความร่วมมือจากหลายๆ คนจนมีความสมบูรณ์อยู่ในระดับสูง ดังนั้นจนถึงปัจจุบัน มีการวิเคราะห์สิทธิบัตรเป็นจำนวนถึง 3 ล้านชิ้น มีการวิเคราะห์ประวัติศาสตร์ของวิวัฒนาการณ์ของระบบเทคโนโลยี และมีการนำประสบการณ์จากการใช้ทริสในการแก้ปัญหาจริงจำนวนหลายพันชิ้นมาใช้เป็นพื้นฐานของทริส ยิ่งกว่านั้นผู้ที่ร่วมพัฒนาทริสยังได้นำเอาข้อดีของวิธีการอื่นที่ใช้ในประเทศอเมริกา ยุโรป หรือเอเชียเข้ามารวมไว้ด้วย ทริสจึงมีขอบเขตการใช้งานที่กว้างขวาง และเป็นเครื่องช่วยในการแก้ปัญหาที่มีความสามารถสูงที่จะไม่สามารถพบในวิธีการอื่นๆ

2.3 เครื่องมือต่างๆของทริสและวิธีการใช้งาน [1]

อัลต์ชูลเลอร์ได้พัฒนาเครื่องมือและฐานความรู้ต่างๆ ขึ้นมาใช้แก้ปัญหาตามลักษณะปัญหาที่แตกต่างกัน ดังนี้

2.3.1 ความขัดแย้งเชิงเทคนิคกับหลักการ 40 ข้อ ในเชิงประดิษฐ์คิดค้น

ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ระบบมักจะมีความขัดแย้งเชิงเทคนิค กล่าวคือ เมื่อต้องการให้คุณสมบัติอย่างหนึ่งดีขึ้น คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งจะเลวลง ในขั้นตอนการตรวจสอบสิทธิบัตรจำนวนมาก อัลต์ชูลเลอร์ ได้พบว่า วิธีการแก้ปัญหาที่ดีจนเรียกได้ว่าถึงขั้นประดิษฐ์คิดค้น (Inventive) นั้น ส่วนใหญ่จะต้องแก้ไขความขัดแย้งให้ได้ความขัดแย้งในที่นี้คือ ในการที่จะทำให้ได้คุณสมบัติหรือความสามารถที่ต้องการโดยการเพิ่มคุณสมบัติอย่างหนึ่งให้สูงขึ้น จะมีผลกระทบที่เป็นอันตรายเกิดขึ้นทำให้ไม่สามารถทำได้ คือเมื่อเสริมด้านหนึ่งแล้วอีกด้านหนึ่งจะลดลง ตัวอย่างเช่น การเพิ่มความเร็วของเครื่องบินจะต้องใช้เครื่องยนต์ที่มีกำลังสูง แต่เมื่อใช้เครื่องยนต์ที่มีกำลังสูงแล้วน้ำหนักของเครื่องยนต์เองจะเพิ่มขึ้น และการใช้เครื่องยนต์นั้นจะต้องบรรทุกเชื้อเพลิงปริมาณมากขึ้น เป็นผลให้ตัวเครื่องบินหนักขึ้น จึงมีผลทำให้ความเร็วไม่เพิ่มขึ้น

ความขัดแย้งในความหมายของทริสจะเกิดขึ้นทั่วไปในงานทางเทคนิค ทั้งการพัฒนา การออกแบบ และการผลิต สิ่งสำคัญคือถ้าสามารถหาความขัดแย้งที่เกี่ยวข้องกับปัญหาออกมาได้ จะเพิ่มความเป็นไปได้ในการแก้ปัญหาได้ด้วยการแก้ไขความขัดแย้งนั้นการพิจารณาจากมุมมองของความขัดแย้ง จึงเป็นการกำหนดลักษณะของโจทย์ที่เป็นแก่นของปัญหา

ความขัดแย้งระหว่างลักษณะเฉพาะทางเทคนิค จะทำให้ยุ่งยากในการตัดสินใจเมื่อวิศวกรต้องเผชิญกับความขัดแย้งส่วนใหญ่จะค่อยๆ เปลี่ยนลักษณะเฉพาะทางเทคนิคไปทีละน้อยเพื่อหาจุดที่เหมาะสมหรือยอมเสียลักษณะเฉพาะบางอย่างไปเพื่อเลือกจุดที่ยอมรับได้ ซึ่งเป็นวิธีการที่คนส่วนใหญ่ใช้อยู่ เรียกว่า ได้อย่างเสียอย่าง (Trade-Off) แต่วิธีการนี้ในไม่ช้าก็จะไปถึงขีดสุด และบางครั้งก็อาจจะเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่เลี่ยงไปจากโจทย์ที่เป็นแก่นของปัญหา แนวความคิดของทริสจะไม่ใช่การแก้ความขัดแย้งเชิงเทคนิคแบบได้อย่างเสียอย่าง แต่จะพยายามแก้ปัญหาโดยการแก้ไขความขัดแย้งเชิงเทคนิคที่เป็นแก่นของปัญหาอย่างถ่องแท้ (Break-Through)

2.3.2 ขั้นตอนการแก้ไขความขัดแย้งเชิงเทคนิค

วิธีการแก้ปัญหาโดยการค้นหาความขัดแย้งเชิงเทคนิคและแก้ไขความขัดแย้งนั้นเป็นแนวคิดที่ง่ายและมีประสิทธิภาพสูงในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและใช้ได้สะดวกดังนั้นจึงนิยมในหมู่ผู้ที่ศึกษาด้านทริสแต่มีขีดจำกัดเมื่อนำไปใช้เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน

การแก้ไขความขัดแย้งเชิงเทคนิค จะใช้เครื่องเฉพาะทางสองอย่าง ดังนี้

1. **หลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้น (Inventive Principles)**
   เป็นการรวบรวมแนวคิดที่เป็นหลักการของทริสอันเป็นผลจากการที่อัลต์ชูลเลอร์และลูกศิษย์ได้ศึกษาสิทธิบัตรเป็นจำนวนกว่า 2 ล้านชิ้น และรวบรวมแนวความคิดในการแก้ปัญหาที่เป็นแก่นกลางของสิทธิบัตรเหล่านั้น จนสามารถสรุปแบ่งแนวความคิดทั้งหมดออกมาได้เป็นหลักการ 40 ข้อ หลักการ 40 ข้อนี้สามารถใช้เป็นจุดเริ่มต้นพาไปสู่แนวคิดใหม่ๆ ในการแก้ปัญหาได้ จึงได้ถูกรวบรวมเป็นเครื่องมืออันหนึ่งของทริสคือ หลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้น

2. **ตารางแมทริกซ์ความขัดแย้ง**
   ตารางแมทริกซ์ความขัดแย้งถูกสร้างขึ้นมาเพื่อช่วยในการพิจารณาว่าสภาพปัญหาแบบไหนควรจะใช้หลักการใด ในการแก้ปัญหา แมทริกซ์ความขัดแย้งจะแสดงสภาพปัญหาตามลักษณะของความขัดแย้งเชิงเทคนิค กล่าวคือ แสดงคุณสมบัติที่ต้องการปรับปรุงกับคุณสมบัติที่จะด้อยลง และเสนอหลักการในเชิงการประดิษฐ์

คิดค้นที่เหมาะสมสำหรับคู่ความขัดแย้งไว้แต่ละคู่ คุณสมบัติที่ต้องการปรับปรุงจะแสดงอยู่ในคอลัมน์ทางขวามือ คุณสมบัติที่จะด้อยลงจะแสดงอยู่ในแถวด้านบนสุด เป็นรูปแบบตารางเรียกว่าแมทริกซ์ จุดตัดของคุณสมบัติที่ต้องการปรับปรุงกับคุณสมบัติที่จะด้อยลงจะมีหมายเลขของหลักการในเชิงการประดิษฐ์คิดค้นแนะนำไว้ การใช้แมทริกซ์ความขัดแย้งในทางปฏิบัติจะต้องพิจารณาว่าคุณสมบัติที่ต้องปรับปรุงและคุณสมบัติที่จะด้อยลงนั้น ตรงกับคุณสมบัติมาตรฐานในแมทริกซ์อันไหน

2.4 แนวโน้มและทิศทางการพัฒนาของทริส [1]

ทริสคือ ระบบเทคโนโลยีที่ใช้ในการแก้ปัญหาซึ่งมีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องโดยสามารถแบ่งยุคสมัยของทริสได้เป็น 2 ยุคใหญ่ๆ คือ

1. **ทริสยุคดั้งเดิม (Classical TRIZ)** (ช่วงปี ค.ศ. 1940-1986) เป็นยุคที่อัลต์ชูลเลอร์และลูกศิษย์ได้ร่วมศึกษาค้นคว้าและวิเคราะห์สิทธิบัตรต่างๆมากกว่า 2 ล้านชิ้น เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาและพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ จนสามารถพัฒนาขึ้นมาเป็นฐานความรู้และเครื่องมือต่างๆ มากมาย
2. **ทริสยุคใหม่ (Contemporary TRIZ)** (ช่วงแรกปี ค.ศ. 1986-1991)เริ่มเป็นที่รู้จักและยอมรับมากขึ้น และเผยแพร่ไปในประเทศรัสเซียอย่างกว้างขวาง มีการตั้งสถาบันศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับทริสขึ้นตามที่ต่างๆ ในรัสเซีย กว่า 100 แห่งสถาบันต่างๆ เหล่านี้ เป็นจุดกำเนิดของผู้เชี่ยวชาญทริสหลายๆ ท่านที่มีชื่อเสียงในปัจจุบัน ต่อมาภายหลังจากที่ระบบสังคมนิยมในสหภาพโซเวียตได้ล่มสลายลงผู้เชี่ยวชาญทริสหลายๆ ท่านได้เดินทางออกนอกประเทศช่วงนี้ถือเป็นช่วงหลังของทริสยุคใหม่ (ช่วงหลังปี ค.ศ. 1991-ปัจจุบัน) ทริสเริ่มแพร่หลายออกจากรัสเซียสู่ยุโรปและอเมริกา มีบริษัทใหญ่ๆ นำทริสไปใช้เป็นจำนวนมาก เช่น GM, Ford, Boeing, HP, Motorola, Philips ในช่วงนี้เองที่ทริสมีการพัฒนาต่อยอดและปรับปรุงเครื่องมือให้ใช้งานง่ายขึ้น และมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้ยังมีความพยายามที่จะนำทริสไปประยุกต์ใช้งานในด้านการจัดการและการบริหาร

   ญี่ปุ่นเริ่มนำทริสเข้ามาเผยแพร่ในปี ค.ศ. 1997 แต่เพิ่งมีการจัด TRIZ Symposium เป็นครั้งแรกในญี่ปุ่น เมื่อ 1-3 กันยายน 2005 และจัดต่อเนื่องเป็นประจำทุกปี

   ประเทศเกาหลีก็ให้ความสนใจในเรื่องทริสเป็นอย่างมาก เช่น บริษัทซัมซุงได้ว่าจ้างผู้เชี่ยวชาญทริสชาวรัสเซียเข้ามาร่วมทีมพัฒนาผลิตภัณฑ์ เมื่อปี ค.ศ. 2000 และจากผลการใช้ทริสทำให้บริษัทสามารถทำกำไรได้กว่า 90 ล้านเหรียญสหรัฐภายในเวลาเพียง 3 ปี

   ภายหลังจากที่ระบบสังคมนิยมในสหภาพโซเวียตได้ล่มสลายลง และทริสได้รับการเผยแพร่สู่ยุโรปและอเมริกา ทริสได้รับการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงไปในหลายๆ ลักษณะ ผู้เชี่ยวชาญทริสคนหนึ่งที่เดินทางออกจากรัสเซียมาอยู่ในอิสราเอลได้ปรับแต่งทริสให้ง่ายขึ้นโดยการลดความซับซ้อนของเครื่องมือของทริสลงมา และได้ใช้ชื่อว่า SIT (Systematic Inventive Thinking) ต่อมา Dr. Sickafus ได้นำ SIT ไปปรับใช้ในบริษัท Ford Motors จนประสบความสำเร็จด้วยดีและได้ใช้ชื่อใหม่ว่า USIT (Unified Structured Inventive Thinking) ประเทศญี่ปุ่นได้นำยูซิส (USIT) เข้ามาใช้ควบคู่ไปกับการใช้ทริสเป็นพื้นฐานจนเป็นที่รู้จักกันแพร่หลาย

2.4.1 พัฒนาการของทริสในประเทศไทย

ทริสเริ่มเข้ามาเผยแพร่ในประเทศไทยครั้งแรก เมื่อปี 2545 โดยสำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) หรือ ส.ส.ท. ได้จัดแปลและพิมพ์ตำราเรื่อง TRIZ 40 หลักการสร้างสรรค์นวัตกรรมขึ้นมา ตามด้วยตำราเรื่อง TRIZ การแก้ปัญหาในการประดิษฐ์ ในอีก 2 ปีถัดมา หลังจากนั้น ส.ส.ท. ได้เชิญผู้เชี่ยวชาญด้านทริสจากต่างประเทศญี่ปุ่นมาจัดการอบรมให้กับสมาชิกและผู้สนใจเป็นประจำทุกปี มีผู้ให้ความสนใจเป็นอย่างมาก ล่าสุด สมาคมส่งเริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ได้จัดทัศนศึกษาพาสมาชิกไปดูงานด้านทริส ณ ประเทศญี่ปุ่นเมื่อปลายปี พ.ศ. 2549 มีบริษัทต่างๆ ให้ความสนใจส่งพนักงานไปร่วมดูงาน เพื่อศึกษาและเรียนรู้แนวทางการแก้ปัญหาในอุตสาหกรรมด้วยทริสและนำประสบการณ์ที่ได้มาคิดค้นและสร้างสรรค์ผลงานในการแก้ปัญหาการประดิษฐ์หรือแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมโดยใช้หลักการแก้ปัญหาของทริส

2.5 การแก้ปัญหาของยูซิส (USIT) [1]

ยูซิสนั้นถือได้ว่าเป็น ทริสยุคใหม่ (Contemporary TRIZ) ที่ปรับปรุงมาจากทริสและมีความสัมพันธ์กับทริสอย่างใกล้ชิด

ความหมายและรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ เป็นดังนี้คือ

1. ขั้นตอนการนิยามปัญหา

เป็นกระบวนการการเปลี่ยนปัญหาที่ต้องการแก้ให้เป็นปัญหารูปธรรมที่ชัดเจนสามารถนิยามได้อย่างเหมาะสม กระบวนการนี้โดยทั่วไปแล้วจะใช้วิธีอภิปรายกันเป็นกลุ่มใน USIT Project Team เพื่อระบุความต้องการให้ชัดเจน

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา

หลังจากได้ปัญหารูปธรรมที่นิยามได้อย่างเหมาะสมแล้ว เพื่อให้เข้าใจระบบปัจจุบันและระบบในอุดมคติ ให้ทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีการ 3 วิธีดังต่อไปนี้

2.1 การวิเคราะห์ฟังก์ชันและแอ็ตทริบิวต์ของระบบปัจจุบัน (โดยวิธี Closed World Method) ดังนี้

- วิเคราะห์ฟังก์ชัน (โดยใช้วิธี Closed World Diagram Method) โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันของระบบในปัจจุบัน อ็อปเจ็คท์ที่มีความสำคัญสูงสุดจะเขียนไว้บนสุดตามด้วยอ็อปเจ็คท์รองลงมาซึ่งสนับสนุนอ็อปเจ็คท์ที่อยู่เหนือกว่าด้วยฟังก์ชันที่ก่อให้เกิดประโยชน์
- วิเคราะห์แอ็ตทริบิวต์(โดยวิธีการเขียนกราฟความเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพ Qualitative Change Graph Method) โดยการเลือกพารามิเตอร์ที่ส่งผลไม่พึงประสงค์ (หรือตรงกันข้าม อาจเลือกพารามิเตอร์ที่แสดงสมรรถนะก็ได้) แล้วแยกแยะแอ็ตทริบิวต์ต่างๆ ของอ็อปเจ็คท์ทุกตัวในระบบแบ่งเป็นแอ็ตทริบิวต์ที่มีผลเชิงบวกและผลเชิงลบต่อพารามิเตอร์ที่ส่งผลที่ไม่พึงประสงค์นั้น

2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะเชิงเวลาและพื้นที่โดยการเขียนภาพเพื่อแสดงคุณลักษณะของระบบหรือปัญหาที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหรือพื้นที่ โดยทั่วไปจะเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมพล็อตเป็นกราฟในเชิงเวลาหรือเชิงพื้นที่

2.3 วิเคราะห์ภาพในอุดมคติโดยวิธี Particles Method เป็นกระบวนการระบุมาตรการแก้ปัญหาในอุดมคติโดยการสร้างภาพพฤติกรรมและคุณสมบัติที่พึงประสงค์ ซึ่งมีขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

- สเก็ตช์ภาพระบบปัจจุบันเพื่อแสดงกลไกการเกิดของปัญหา
- สเก็ตช์ภาพระบบในอุดมคติ โดยจินตนาการผลลัพธ์เป็นอุดมคติโดยยังไม่คำนึงวิธีการที่จะให้ได้มาซึ่งผลลัพธ์นั้น
- เขียนเครื่องหมาย X ลงในจุดที่ภาพระบบในอุดมคติแตกต่างไปจากภาพระบบในปัจจุบัน จุด X เหล่านี้จะถือว่าเป็นอนุภาคหรือ Particles ที่จินตนาการว่าเป็นสารวิเศษหรือสนามพลัง (ในความหมายของทริส) ที่มีความสามารถในการแสดงพฤติกรรมหรือคุณสมบัติที่ต้องการ
- จินตนาการผลลัพธ์ที่ต้องการโดยถาม Particle ว่าจะดำเนินการอะไรให้ได้บ้างเพื่อที่จะให้ได้ผลลัพธ์ในอุดมคติโดยเขียน Break Down แยกย่อยลงมาในรูปแบบของ AND/OR Tree Diagram
- รวบรวมรายการคุณสมบัติอันพึงประสงค์ที่จะนำมาสนับสนุนพฤติกรรมที่ต้องการ

3. ขั้นตอนการหามาตรการการแก้ปัญหา

เป็นขั้นตอนการสร้างความคิดเพื่อที่จะนำไปสู่แนวคิดหรือมาตรการในการแก้ปัญหา วิธีการสร้างความคิดสามารถใช้ตัวดำเนินการของ USIT Operators ซึ่งมี 5 กลุ่มด้วยกัน สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม

- Pluralization of Objects หมายถึง การเพิ่มจำนวน การแบ่งย่อยเป็นส่วนๆ การตัดออก การปรับเปลี่ยนหรือการนำอ็อปเจ็คท์ใหม่ๆ เข้ามาในระบบ
- Dimensional Change in Attribute หมายถึง การเลือกใช้หรือกำจัดแอ็ตทริบิวส์ การนำแอ็ตทริบิวต์ที่แปรเปลี่ยนตามเวลาหรือสถานที่เข้ามาใช้
- Distribution of Functions หมายถึง การกระจายฟังก์ชันไปยังอ็อปเจ็คท์ต่างๆ ใหม่ หรือกระจายใหม่ไปตามเวลาหรือสถานที่เพื่อให้เกิดการปรับปรุงฟังก์ชันที่ก่อให้เกิดประโยชน์หรือป้องกันฟังก์ชันที่ก่อให้เกิดผลเสีย
- Combination of Solution Pairs หลังจากที่ได้ความคิดด้วยวิธีดังกล่าวข้างต้น เราอาจนำเอาความคิดเหล่านั้นมาผสมผสานกันในหลายๆ รูปแบบให้เป็นแนวคิดหรือมาตรการการแก้ปัญหา เช่น ในเชิงเวลาหรือสถานที่ ในเชิงความสัมพันธ์ทางฟังก์ชันหรือโครงสร้างเป็นต้น เพื่อเสริมจุดแข็ง ลบจุดอ่อนของความคิดทั้ง 2
- Generalization of Solution หมายถึงการนำความคิดที่ได้มาทำให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปซึ่งจะช่วยทำให้สามารถมองเห็นปัญหาในลักษณะทั่วไปได้กว้างขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้คิดค้นความคิดที่เป็นรูปธรรมอื่นๆ ได้อย่างต่อเนื่อง

4. ขั้นตอนการทำให้เป็นจริง

หลังจากที่ได้แนวคิดหรือมาตรการการแก้ปัญหาจากขั้นตอนของยูซิสแล้วขั้นตอนต่อไปจะเป็นการประเมิน ทดสอบ ออกแบบ ผลิต ฯลฯ เพื่อให้เกิดเป็นจริงขึ้นมาซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาของทริส

2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างยูซิสกับทริส [1]

ยูซิสได้นำเครื่องมือพื้นฐานของทริสเข้าไปใช้ในขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. **ขั้นตอนการนิยามปัญหา**

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนง่ายๆ ของยูซิสโดยเน้นที่การทำความชัดเจนกับปัญหา (ระบุเป้าหมายของการแก้ปัญหา) และการคาดคะเนทำความเข้าใจกับสาเหตุหลักของปัญหา เครื่องมือของทริสที่เกี่ยวข้องคือแนวคิดของ psychological, 9-windows method เป็นต้น

2. **ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา**

ยูซิสได้นำเครื่องมือของทริสมาใช้อย่างกว้างขวางดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 2.1 แนวคิดและเครื่องมือของทริส และการวิเคราะห์ปัญหาของยูซิส

แนวคิดและเครื่องมือของทริส		การวิเคราะห์ปัญหาของยูซิส
1.การวิเคราะห์ฟังก์ชัน (Su-Field Analysis)	→	a. Closed World Diagram
2.ความขัดแย้งเชิงเทคนิค	→	b.กราฟความเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพ
(ตารางแมตทริกซ์ความขัดแย้ง)		
3.ความขัดแย้งเชิงกายภาพ	→	c.การวิเคราะห์คุณลักษณะเชิงพื้นที่และเวลา
4.วิวัฒนาการของระบบเทคโนโลยี		
5.Ideal Final Result	→	d. Particles Method
6.Smart Little People		

จากตารางที่ 2.1 จะพบว่า การวิเคราะห์ปัญหาของยูซิสในแต่ละขั้นตอนนั้น ยูซิสจะนำแนวคิดและเครื่องมือของทริสมาใช้ คือ Closed World Diagram ของยูซิสจะใช้การวิเคราะห์ฟังก์ชัน (Su-Field Analysis) ของทริส กราฟความเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพของยูซิส จะใช้ความขัดแย้งเชิงเทคนิคและความขัดแย้งเชิงกายภาพของทริส การวิเคราะห์คุณลักษณะเชิงพื้นที่และเวลาของยูซิส จะใช้ความขัดแย้งเชิงกายภาพของทริส Particle Method ของยูซิส จะใช้วิวัฒนาการของระบบเทคโนโลยี Ideal Final Result และSmart Little People ของทริส

3. **ขั้นตอนการสร้างความคิดและหามาตรการแก้ปัญหา**

ยูซิสได้นำเครื่องมือและฐานความรู้ของทริสมาใช้ดังตารางนี้

ตารางที่ 2.2 ตารางเครื่องมือของทริสและยูซิส และการวิเคราะห์ปัญหาของยูซิส

เครื่องมือและฐานความรู้ของทริส		เครื่องมือของยูซิส
1.40 หลักการเชิงประดิษฐ์คิดค้น		a. Object Pluralization
2.76คำตอบมาตรฐาน		b. Attribute Dimensionality
3.วิวัฒนาการของระบบเทคโนโลยี		c. Function Distribution
4.หลักการของการแบ่งแยก		d.การผสมผสานมาตรการในการแก้ปัญหา
		e.การทำให้มาตรการการแก้ปัญหาเป็น
		ลักษณะทั่วไป

จากตารางที่ 2.2 จะพบว่า เครื่องมือของยูซิสได้นำเครื่องมือและฐานความรู้ของทริสมาใช้ คือ Object Pluralization ของยูซิสจะใช้ 40 หลักการเชิงประดิษฐ์คิดค้น และ76 คำตอบมาตราฐานของทริส Attribute Dimensionality ของยูซิสจะใช้ 40 หลักการเชิงประดิษฐ์คิดค้น 76 คำตอบมาตราฐาน และวิวัฒนาการของระบบเทคโนโลยีของทริส Function Distribution ของยูซิสจะใช้ 40 หลักการเชิงประดิษฐ์คิดค้น 76 คำตอบมาตราฐาน และวิวัฒนาการของระบบเทคโนโลยีของทริส การผสมผสานมาตรการในการแก้ปัญหาของยูซิส จะใช้ 76 คำตอบมาตราฐาน วิวัฒนาการของระบบเทคโนโลยี และหลักการของการแบ่งแยกของทริส การทำให้มาตรการการแก้ปัญหาเป็นลักษณะทั่วไปของยูซิส จะใช้ 40 หลักการเชิงประดิษฐ์คิดค้น และวิวัฒนาการของระบบเทคโนโลยีของทริส

เนื่องจากยูซิสมีพื้นฐานมาจากทริสการทำความเข้าใจเกี่ยวกับยูซิสนั้นจำเป็นต้องศึกษาทริสมาเป็นอย่างดี ในประเทศญี่ปุ่น บางบริษัทจะใช้ยูซิสควบคู่ไปกับการใช้ทริสเป็นพื้นฐาน

2.7 การออกแบบผลิตภัณฑ์ [3]

การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design)คือการออกแบบสิ่งของเครื่องใช้เพื่อนำมาใช้สอยในชีวิตประจำวันโดยเน้นการผลิตจำนวนมากในรูปสินค้าเพื่อให้ผ่านไปยังผู้บริโภค(Consumer)ในวงกว้างโดยที่รูปแบบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะเป็นปัจจัยสำคัญชักจูงผู้บริโภคให้เกิดความกระหายที่จะจ่ายเงินซื้อผลิตภัณฑ์นั้น

1) นิยามการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

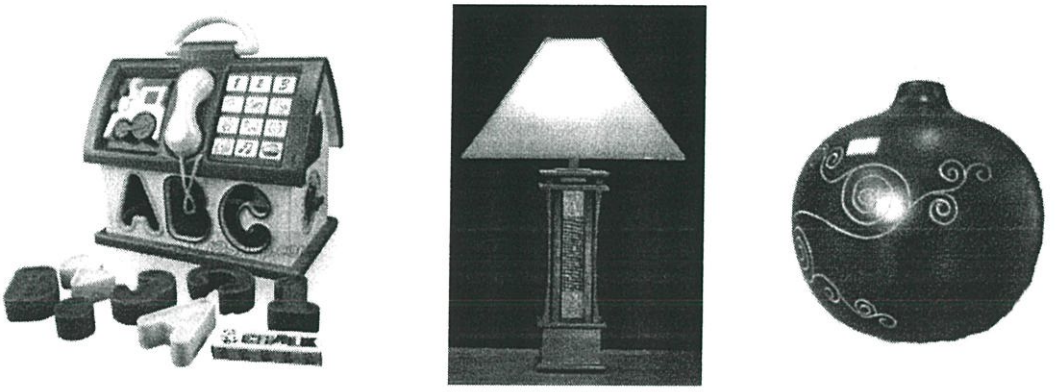
การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(Industrial Product Design)คือการวิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับหน้าที่ใช้สอยความสวยงามผู้บริโภค-ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ข้อมูลการตลาดและนำมาเป็นแนวทางการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์ในระบบอุตสาหกรรมที่มีการผลิตเป็นจำนวนมาก (Mass Production) มีกระบวนการผลิตวิธีการขั้นตอนการผลิตจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบลักษณะและคุณภาพเหมือนกันทุกชิ้นและมีการควบคุมคุณภาพ QC (Quality Control) โดยเป็นงานอุตสาหกรรมที่ต้องทำร่วมกับผู้เชี่ยวชาญสาขาอื่นๆอีกเช่นนักวิจัยวิศวกรนักการตลาดฯซึ่งไม่ใช่งานที่สำเร็จได้ด้วยตัวเองเพียงคนเดียว

2) ลักษณะผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ลักษณะของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของความยุ่งยากซับซ้อนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากศาสตร์ของสาขาวิชาต่างๆ เช่น ศิลปะ เครื่องจักรกล เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะได้เป็น 2 ลักษณะได้ดังนี้

2.1) ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโดยนักออกแบบ

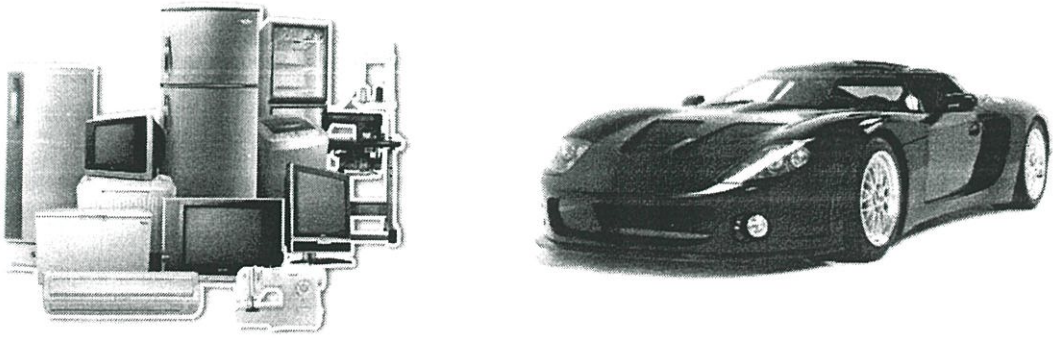
ผลิตภัณฑ์ที่เป็นลักษณะธรรมดาไม่มีกลไกหรือมีระบบกลไกไม่ซับซ้อนยุ่งยากผลิตภัณฑ์สามารถที่จะทำหน้าที่ใช้สอยได้โดยตรงจากรูปทรงที่ออกแบบหรือกลไกธรรมดา เช่น เฟอร์นิเจอร์ ไม้แขวนเสื้อ โคมไฟฟ้า กระเป๋าต่างๆ ของเล่นสำหรับเด็กประเภทเสริมทักษะ นักออกแบบสามารถออกแบบได้เอง โดยไม่ต้องพึ่งพาวิศวกร



รูปที่ 2.6 ลักษณะผลิตภัณฑ์โดยนักออกแบบ [3]

2.2) ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิศวกร

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นลักษณะขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่และมีกลไกมากมาย ซับซ้อน ไม่ว่าจะเป็นในด้านของจักรกล ไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ หรือคอมพิวเตอร์โดยผลิตภัณฑ์สามารถที่จะทำหน้าที่หลักได้ด้วยกลไกดังกล่าว เช่น รถยนต์ คอมพิวเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องจักรกลขนาดใหญ่ต่างๆ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่กล่าวมานี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการออกแบบ เป็นระบบใช้เทคโนโลยีด้านวิศวกรรม แขนงต่างๆ กับเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้น วิศวกรจึงเป็นผู้ที่มีความรู้ ความสามารถที่จะทำการคิดค้นและออกแบบผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้เสร็จสมบูรณ์ได้



รูปที่ 2.7 ลักษณะผลิตภัณฑ์โดยวิศวกร [3]

3) ความสำคัญของการออกแบบผลิตภัณฑ์

เป้าหมายสำคัญของการออกแบบผลิตภัณฑ์คือการได้งานออกแบบที่ดีงานออกแบบที่ดี เมื่อนำเข้าสู่กระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพการออกแบบผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญดังนี้

3.1) ความสำคัญในด้านคุณค่าทางศิลปะ

งานออกแบบที่ดีทำให้ผลิตภัณฑ์มีความงามดึงดูดใจสามารถตอบสนองรสนิยมของผู้บริโภคได้

3.2) มีประสิทธิภาพทางอุตสาหกรรม

มีการเลือกวัสดุที่ดีเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพลงทุนน้อยแต่มีปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

3.3) มีคุณภาพทางการบริโภค

ผลิตภัณฑ์ที่มีการออกแบบที่ดีมีการใช้วัสดุที่ดีมีกระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนและมีความปลอดภัยในการใช้สอย

3.4) มีศักยภาพในการแข่งขันทางพาณิชย์

ผลิตภัณฑ์ที่มีความงามความคงทนและความปลอดภัยจะเป็นที่ต้องการของตลาดทำให้มียอดขายสูงสามารถแข่งขันทางการค้ากับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันของบริษัทอื่น

3.5) มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่

เมื่อบริษัทมีกำไรจากการขายผลิตภัณฑ์ที่มีการออกแบบที่ดีบริษัทจะนำผลกำไรมาลงทุนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่โดยการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิมหรือสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่คล้ายคลึงกับผลิตภัณฑ์เดิม

3.6) มีศักยภาพในการรักษาลูกค้าเดิม

การปรับปรุงผลิตภัณฑ์เดิมหรือการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เกี่ยวพันกันขึ้นด้วยการออกแบบที่ดีจะช่วยให้บริษัทสามารถรักษาลูกค้าเดิมไว้ได้ในขณะเดียวกันบริษัทยังสามารถดึงดูดลูกค้าใหม่ที่มีรสนิยมอย่างเดียวกันได้ด้วย

4) หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ดีย่อมเกิดมาจากการออกแบบที่ดีในการออกแบบผลิตภัณฑ์ นักออกแบบต้องคำนึงถึงหลักการทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ที่ดี โดยหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่นักออกแบบควรคำนึงนั้นมีอยู่ 9 ประการ คือ

4.1) หน้าที่ใช้สอย

หน้าที่ใช้สอยถือเป็นหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สำคัญที่สุดเป็นอันดับแรกที่ต้องคำนึงผลิตภัณฑ์ทุกชนิดต้องมีหน้าที่ใช้สอยถูกต้องตามเป้าหมายที่ตั้งไว้คือสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกสบายผลิตภัณฑ์นั้นถือว่ามีประโยชน์ใช้สอยดี

4.2) ความปลอดภัย

สิ่งที่อำนวยประโยชน์ได้มากเพียงใดย่อมจะมีโทษเพียงนั้นผลิตภัณฑ์ที่ให้ความสะดวกต่างๆมักจะเกิดจากเครื่องจักรกลและเครื่องใช้ไฟฟ้าการออกแบบควรคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ต้องแสดงเครื่องหมายไว้ให้ชัดเจนหรือมีคำอธิบายไว้

4.3) ความแข็งแรง

ผลิตภัณฑ์จะต้องมีความแข็งแรงในตัวของผลิตภัณฑ์หรือโครงสร้างเป็นความเหมาะสมในการที่นักออกแบบรู้จักใช้คุณสมบัติของวัสดุและจำนวนหรือปริมาณของโครงสร้างในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่จะต้องมีการรับน้ำหนักส่วนความแข็งแรงของตัวผลิตภัณฑ์เองนั้นก็ขึ้นอยู่ที่การออกแบบรูปร่างและการเลือกใช้วัสดุ

4.4) ความสะดวกสบายในการใช้

นักออกแบบต้องศึกษาวิชากายวิภาคเชิงกลเกี่ยวกับสัดส่วนขนาดและขีดจำกัดที่เหมาะสมสำหรับอวัยวะส่วนต่างๆในร่างกายของมนุษย์ทุกเพศทุกวัยซึ่งจะประกอบด้วยความรู้ทางด้านขนาดสัดส่วนมนุษย์ด้านสรีรศาสตร์

4.5) ความสวยงาม

ความสวยงามจะเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการตัดสินใจซื้อเพราะประทับใจเช่นผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกของโชว์ตกแต่งต่างๆซึ่งผู้ซื้อเกิดความประทับใจในความสวยงามของผลิตภัณฑ์ความสวยงามจะเกิดมาจากสิ่งสองสิ่งด้วยกันคือรูปร่าง (Form) และสี (Color) การกำหนดรูปร่าง

4.6) ราคาพอสมควร

ผลิตภัณฑ์ย่อมจะต้องมีการกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้ว่าเป็นคนกลุ่มใดอาชีพฐานะเป็นอย่างไรมีความต้องการใช้สินค้าหรือผลิตภัณฑ์นี้เพียงใดนักออกแบบก็จะเป็นผู้กำหนดแบบผลิตภัณฑ์ประมาณราคาขายให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายที่จะซื้อได้การจะได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีราคาเหมาะสมกับผู้ซื้อนั้นก็อยู่ที่การเลือกใช้ชนิดหรือเกรดของวัสดุและเลือกวิธีการผลิตที่ง่ายรวดเร็วเหมาะสม

4.7) การซ่อมแซมง่าย

หลักการนี้คงจะใช้กับผลิตภัณฑ์ เครื่องจักรกล เครื่องยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ที่มีกลไกภายในซับซ้อนอะไหล่บางชิ้นย่อมต้องมีการเสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งานหรือการใช้งานในทางที่ผิด นักออกแบบย่อมที่จะต้องศึกษาถึงตำแหน่งในการจัดวางกลไกแต่ละชิ้นตลอดจนนอตสกรู เพื่อที่จะได้ออกแบบส่วนของฝาครอบบริเวณต่างๆ ให้สะดวก ในการถอดซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอะไหล่ง่าย

4.8) วัสดุและวิธีการผลิต

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ผลิตด้วยวัสดุสังเคราะห์อาจมีกรรมวิธีการเลือกใช้วัสดุและวิธีผลิตได้หลายแบบแต่แบบหรือวิธีใดถึงจะเหมาะสมที่สุดที่จะไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่าที่ประมาณฉะนั้นนักออกแบบคงจะต้องศึกษาเรื่องวัสดุและวิธีผลิตให้ลึกซึ้งโดยเฉพาะวัสดุจำพวกพลาสติกในแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกันออกไป

4.9) การขนส่ง

นักออกแบบต้องคำนึงถึงการประหยัดค่าขนส่งการขนส่งสะดวกหรือไม่ระยะใกล้หรือระยะไกลกินเนื้อที่ในการขนส่งมากน้อยเพียงใดคือออกแบบให้มีชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้ง่ายสะดวกเพื่อทำให้หีบห่อมีขนาดเล็กสุดสามารถบรรจุได้ในลังที่เป็นขนาดมาตรฐานเพื่อการประหยัดค่าขนส่งเมื่อผู้ซื้อซื้อไปก็สามารถที่จะขนส่งได้ด้วยตนเองนำกลับไปบ้านก็สามารถประกอบชิ้นส่วนให้เข้ารูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้โดยสะดวกด้วย

5) คุณสมบัติผลิตภัณฑ์ที่ดี

สิ่งที่จะเป็นตัวนำทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมานั้น เป็นผลิตภัณฑ์ที่ดี มีคุณสมบัติครบถ้วน ตามจุดประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ ก็คงต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ผลิตภัณฑ์ควรมีดัง 7 ประการ ดังนี้

5.1) ความแปลกใหม่ (Innovative)

ผลิตภัณฑ์ควรมีความแปลกใหม่ในตัวผลิตภัณฑ์ควรเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ซ้ำซากมีการนำเสนอความแปลกใหม่ด้านต่างๆเช่นประโยชน์ใช้สอยรูปแบบวัสดุ เป็นต้น

5.2) มีที่มา (Story)

ผลิตภัณฑ์มีประวัติหรือมีที่มาเล่าเรื่องได้ไม่ว่าจะเป็นต้นกำเนิดความคิดรวบยอด (Concept) ของการออกแบบให้ผู้บริโภคทราบถึงเรื่องราวเหล่านี้เช่นนาฬิกาของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ยี่ห้อหนึ่งที่กล่าวถึงต้นกำเนิดมาจากงานช่างฝีมือในหมู่บ้านที่เก่าแก่และมีการทำสืบทอดกันต่อๆมาจนถึงปัจจุบันเป็นต้น

5.3) ระยะเวลาเหมาะสม (Timing)

มีระยะเวลาที่นำผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดที่เหมาะสมตามฤดูกาลหรือตามความจำเป็นหรือเหมาะสมกับความต้องการของผู้บริโภคในช่วงเวลานั้นๆเช่นผลิตภัณฑ์เสื้อกันฝนหรือร่มก็ควรจะออกสู่ตลาดฤดูฝนหรือผลิตภัณฑ์เสื้อผ้าชุดนักเรียนก็ออกสู่ตลาดช่วงฤดูกาลก่อนเปิดภาคเรียนเป็นต้น

5.4) ราคาพอสมควร (Price)

ราคาพอสมควรหมายถึงราคาขายเหมาะสมกับกำลังการซื้อของผู้บริโภคในตลาดที่ผลิตภัณฑ์ส่งไปขายซึ่งจะต้องอาศัยการศึกษาวิจัยกลุ่มผู้บริโภคเพื่อให้ได้ข้อมูลก่อนที่จะเริ่มทำการออกแบบและผลิต

5.5) มีข้อมูลข่าวสาร (Information)

ตัวผลิตภัณฑ์ควรมีข้อมูลของผลิตภัณฑ์สื่อสารให้ผู้บริโภคทราบและเข้าใจอย่างถูกต้องในด้านการใช้งานและประโยชน์ใช้สอยและผู้เกี่ยวข้องในส่วนของการเสนอขายผลิตภัณฑ์ทุกระดับต้องมีความรู้ความเข้าใจในผลิตภัณฑ์นั้นอย่างละเอียดเพื่อการถ่ายทอดข้อมูลของผลิตภัณฑ์ไปยังผู้ซื้อให้มีความเข้าใจในผลิตภัณฑ์เป็นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่ผลิตภัณฑ์

5.6) เป็นที่ยอมรับ (Regional Acceptance)

ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของสังคมหรือหมู่ชนทุกชั้นทุกระดับที่เป็นกลุ่มสังคมเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นสิ่งที่ทำให้เสื่อมเสียหรือขัดต่อขนบธรรมเนียมวัฒนธรรมหรือศาสนา

5.7) อายุการใช้งานเหมาะสม (Life Cycle)

ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงคงทนต่อสภาพของการใช้งานเหมาะสมกับระยะเวลาหรือมีอายุการใช้งานที่เหมาะสมกับลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือราคาที่จำหน่าย

2.8 การออกแบบกลไก

2.8.1 สายพาน [6]

สายพานเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังจากพูลเลย์ของเพลาตัวขับส่งไปยังพูลเลย์ของเพลาตัวตาม (เป็นอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่ต้องการให้เกิดการทำงานเช่นปั๊มน้ำหรือพัดลมเป็นต้น) โดยกำลังที่ส่งถ่ายจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆดังต่อไปนี้

1) ความเร็วของสายพาน

2) ความตึงของสายพานที่พาดผ่านชุดพูลเลย์

3) มุมที่สายพานสัมผัสกับพูลเลย์ (Arc of Contact) โดยเฉพาะพูลเลย์ตัวที่เล็กกว่า

ข้อดีข้อเสียของการใช้สายพานเป็นตัวส่งกำลัง

ข้อดี : - ส่งถ่ายแรงได้อย่างยืดหยุ่น

- ดูดซับเสียงดังและการสั่นสะเทือน

- ไม่ต้องมีการหล่อลื่น

ข้อเสีย : - เกิดการลื่นไถล (Slip) ในขณะส่งกำลังได้

- เพลารับภาระสูง

- เปลืองเนื้อที่มาก

2.8.2 ชุดขับสายพานกลม

ชุดขับโดยใช้สายพานประกอบด้วยที่มีความยืดหยุ่นแข็งแรงล้อมรอบด้วยวัสดุที่ยืดหยุ่น ชุดขับแบบนี้มีข้อดีมากกว่าชุดเฟืองขับอย่างชัดเจน เมื่อติดตั้งสายพานแบบเปิด สามารถหามุมของการสัมผัสได้จากสมการ

$$\theta_d = \pi - 2\sin^{-1}\frac{D-d}{2C} \quad (2.1)$$

$$\theta_D = \pi + 2\sin^{-1}\frac{D-d}{2C} \quad (2.2)$$

เมื่อ D= เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวใหญ่

d= เส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเลย์ตัวเล็ก

C= ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของพูลเลย์

θ= มุมของการสัมผัสหรือเรียกว่า "มุมโอบของสายพาน"

ความยาวของสายพานคือ ระยะตามแนวโค้งของพูลเลย์รวมกับ 2 เท่าของระยะห่างระหว่างจุดเริ่มสัมผัสและจุดสิ้นสุด

$$L = [\,4C^2 - (D-d)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) \quad (2.3)$$

สำหรับสายพานที่ติดตั้งแบบปิด มุมการห่อหุ้มพูลเลย์ทั้ง 2 ตัวจะมีค่าเท่ากันนั่นคือ

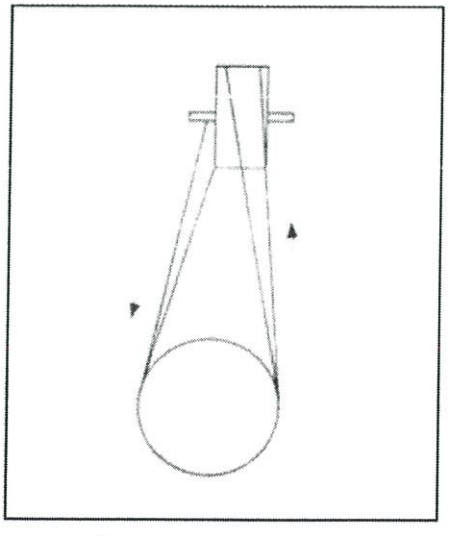
$$\theta = \pi + 2\sin^{-1}\frac{D-d}{2C} \quad (2.4)$$

และความยาวของสายพานหาได้จาก

$$L = [\,4C^2 - (D+d)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(D+d)\theta \quad (2.5)$$

2.8.3 รูปแบบการติดตั้งชุดขับสายพาน [6]

สายพานแบบกึ่งไขว (Quarter Twist Drive) ใชสงกำลังแบบแกนเพลาทำมุมตั้งฉากกันมีขอดีคือสามารถสงกำลังโดยไมต้องมีลอกดสายพานแตมีขอเสียคือถาพูลเลยทั้งสองมีระยะเยื้องกันมากสายพานอาจจะหลุดจากลอสายพานและที่ใช้การติดตั้งแบบนี้เพราะต้องการที่จะเปลี่ยนแรงจากมุมตั้งฉากกับพื้นให้กลายเป็นแรงในแนวราบขนานกับพื้นโดยมีการติดตั้งดังรูปที่ 2.8

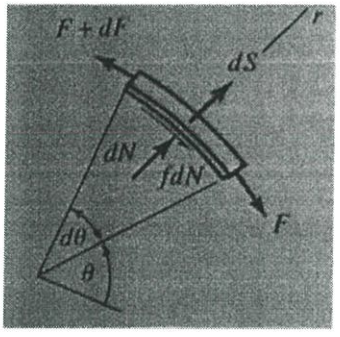


รูปที่ 2.8 แสดงการบิดสายพานแบบ Quarter Twist Drive [14]

การเปลี่ยนแปลงของแรงดึงในสายพานที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างสายพานกับพูลเลย์จะส่งผลให้สายพานยืดตัวออก โดยมีความสัมพันธ์กับพื้นผิวสัมผัสของพูลเลย์ การเคลื่อนที่นี้เกิดจากการคืบตัวและมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของการลื่นไถลซึ่งมีค่าตรงกันข้ามกับแรงเสียดทานแบบสถิต

ตามทฤษฎีนี้พบว่าการส่งกำลังส่วนใหญ่จะเกิดจากแรงเสียดทานแบบสถิตสำหรับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของสายพานที่มีไนล่อนเป็นแกนกลางแล้วหุ้มผิวหน้าด้วยหนังจะมีค่าเท่ากับ 0.7 แต่ถ้ามีการปรับปรุงพื้นผิวสัมผัสอาจจะทำให้มีค่ามากขึ้นถึง 0.9

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของจึงสมมติว่า แรงเสียดทานบนสายพานมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันในแนวตั้งฉากกับแนวเส้นโค้งประสิทธิผล ความสัมพันธ์แรกที่จะหาคือความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงในสายพานด้านตึงกับแรงดึงในสายพานด้านหย่อน ในการพิจารณาจะคล้ายคลึงกับเบรกชนิดสายพานเพียงแต่จะมีแรงดึงเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย



รูปที่ 2.9 แรงระหว่างสายพานกับพูลเล่ย์ [6]

อนุพันธ์ของแรง dS คือแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง dN คือแรงตั้งฉากระหว่างสายพานกับพูลเล่ย์ และ fdN คือแรงฉุดดึงที่เกิดจากแรงเสียดทาน ณ จุดที่เกิดการลื่นไถล ถ้าสายพานกว้าง b และหนา t และมีมวลต่อหน่วยความยาว m จึงสามารถหาแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางได้จาก

$$dS = (mrd\theta)r\omega^2 = mr^2\omega^2 d\theta = mV^2 d\theta = F_c d\theta \qquad (2.6)$$

ผลรวมของแรงในแนวรัศมีคือ

$$\sum F_r = -(F + dF)\frac{d\theta}{2} - F\frac{d\theta}{2} + dN + dS = 0 \qquad (2.7)$$

ตัดค่าในอนุพันธ์อันดับสูงออกเนื่องจากมีค่าน้อยมากจะได้

$$dN = Fd\theta - dS \qquad (2.8)$$

ผลรวมของแรงในแนวสัมผัสคือ

$$\sum F_t = -fdN - F + (F + dF) = 0$$

จากสมการ *(a)* กับ *(b)* จะได้

$$dF = fdN = fFd\theta - fdS = fFd\theta - fmr^2\omega^2 d\theta$$

หรือ $$\frac{df}{d\theta} - fF = -fmr^2\omega^2$$

ผลลัพธ์ของสมการอนุพันธ์เชิงเส้นนี้คือ

$$F = Aexp(f\theta) + mr^2\omega^2 \quad (2.9)$$

เมื่อ A คือค่าคงที่สมมติว่าθ เริ่มวัดจากปลายด้านหย่อนเงื่อนไขขอบเขตที่ทำให้แรง F ที่ $\theta = 0$เท่ากับ F_2 จะได้ $A = F_2 - mr^2\omega^2$จะทำให้ผลลัพธ์คือ

$$F = (F_2 - mr^2\omega^2)\exp(f\theta) + mr^2\omega^2 \quad (2.10)$$

และที่ปลายด้านตึงที่มีมุมโอบ $\emptyset$จะได้

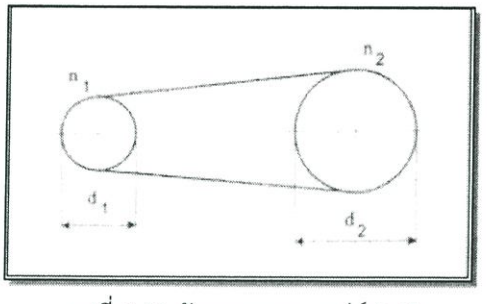
$$F_{|\theta=\emptyset} = F_1 = (F_2 - mr^2\omega^2)\exp(f\emptyset) + mr^2\omega^2$$

จะสามารถเขียนสมการได้ว่า

$$\frac{F_1 - mr^2\omega^2}{F_2 - mr^2\omega^2} = \frac{F_1 - F_c}{F_2 - F_c} = \exp(f\emptyset) \quad (2.11)$$

2.8.4 อัตราทด [14]

การส่งกำลังด้วยสายพานที่นิยมกันไม่ว่าจะเป็นสายพานแบน สายพานกลม สายพานลิ่มมีวิธีการหาอัตราทดดังนี้



รูปที่ 2.10 อัตราทดของพูลเล่ย์ [14]

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.12)$$

$$i = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.13)$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (2.14)$$

เมื่อกำหนด i = อัตราทด

n_1= ความเร็วรอบของล้อขับ (รอบ/นาที)

n_2= ความเร็วรอบของล้อตาม (รอบ/นาที)

d_1= ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเล่ย์ตัวขับ (มม.)

d_2= ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเล่ย์ตัวตาม (มม.)

2.8.5 เพลา [6]

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีการหมุน ซึ่งมักจะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลมและใช้ในการส่งถ่ายกำลังหรือถ่ายเทการหมุนระหว่างชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักร เช่นส่งกำลังจากเครื่องต้นกำลังขับไปยังเครื่องจักรกลที่ต้องการใช้งาน

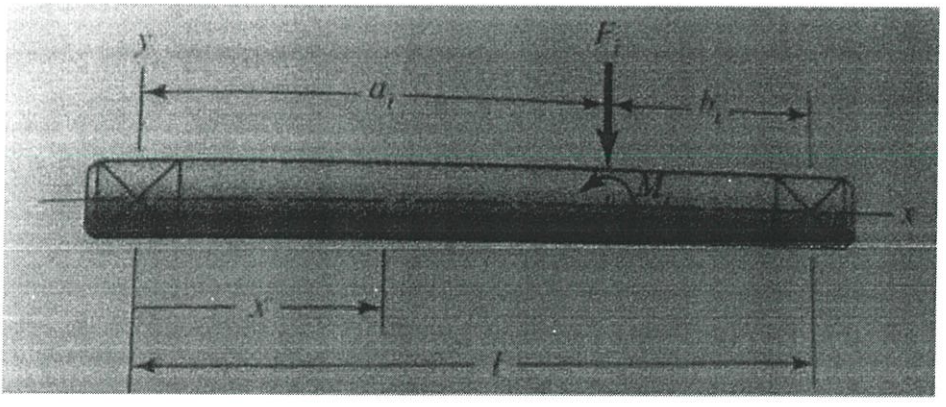
ซึ่งส่งกำลังผ่านลิ่ม เฟือง รอก ข้อเหวี่ยง เป็นต้น เพลาเป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ขณะใช้งานเพลาจะอยู่ภายใต้แรงชนิดต่างๆ เช่นแรงกด แรงดึง โมเมนต์ดัด และโมเมนต์บิด ส่วนเพลาแกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนที่ไม่มีการหมุน จึงไม่ต้องรับโมเมนต์บิด ถูกใช้ในการรองรับเฟือง ล้อหมุน (Wheel) จานโซ่ (Sprocket) หรือพูลเล่ย์ (Pulley) เป็นต้น

-ขีดจำกัดรูปทรงเลขาคณิตของเพลา (Geometric Constraint)

ขีดจำกัดด้านรูปทรงเรขาคณิตสำหรับงานในการออกแบบเพลาส่งกำลัง ขั้นตอนแรกคือ การระบุขนาดของเฟืองหรือพูลเล่ย์สำหรับความเร็วในการหมุนที่กำหนดและกำลังที่ต้องการ เส้นผ่านศูนย์กลางรากฟันของเฟืองหรือร่องสายพานในพูลเล่ย์ บวกกับระยะห่างตามแนวรัศมีสำหรับร่องลิ่มจะเป็นขีดจำกัดอย่างหนึ่งของขนาดเพลา ขั้นตอนที่สองให้เลือกขนาดของแบริ่งที่จะใช้เพื่อให้เพลามีอายุการใช้งานภายใต้แรงกระทำเหล่านี้ได้ ขั้นตอนที่สามในการพิจารณาก็คือการวิเคราะห์ความเค้นและการทรุดตัวของเพลา

ภายใต้โหลดที่กระทำต่อเพลา การเปลี่ยนแปรงรูปร่างในเนื้อวัสดุเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ จึงต้องหาวิธีการที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพื่อให้เพลายังคงมีการใช้งานตามที่ต้องการ ความลาดเอียงหรือความชันของเส้นกึ่งกลางเพลาเมื่อเทียบกับแนวกึ่งกลางวงแหวนนอกของแบริ่งสัมผัสแบบกลิ้งควรจะมีค่าไม่เกิน 0.001 เรเดียนสำหรับแบริ่งแบบเม็ดทรงกระบอก และมีค่าไม่เกิน 0.0005 เรเดียนสำหรับแบริ่งเม็ดทรงกระบอกเรียว และในทำนองเดียวกันควรจะมีค่าไม่เกิน 0.004 เรเดียน สำหรับแบริ่งแบบร่องลึก และโดยทั่วไปจะมีค่าไม่เกิน 0.0087 เรเดียนสำหรับแบริ่งแบบเม็ดทรงกลม

ในการออกแบบในลักษณะนี้คือ การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาที่แก้ปัญหาขีดจำกัดในเรื่องของระยะการทรุดตัวของเพลาได้ จากนั้นเนื่องจากมุมเอียงของเพลาที่ทำกับแบริ่งมักจะมีขีดจำกัดเช่นกัน จึงต้องเริ่มพิจารณาจากการใช้แบริ่งรองรับอย่างง่าย ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เพลาที่มีแบริ่งรองรับอย่างง่าย รับแรงกระทำ F_i และโมเมนต์คู่ควบ M_i [6]

สำหรับแบริ่งด้านซ้าย จะได้สมการของระยะการทรุดตัวคือ

$$Y_{AB} = \frac{F_i b_i x}{6EIl}\left(x^2 + b_i^2 - l^2\right) + \frac{M_i x}{6EIl}\left(x^2 + 3a_i^2 - 6a_i l + 2l^2\right) \qquad (2.15)$$

หาอนุพันธ์ของสมการข้างต้น แล้วกำหนดให้ x=0 จะได้

$$\theta_A = \frac{1}{6EIl}[F_i b_i(b_i^2 - l^2) + M_i(3a_i^2 - 6a_i l + 2l^2)] \quad (2.16)$$

เมื่อทราบจำนวนของแรงและโมเมนต์ที่กระทำบนเพลาในระนาบ xy เมื่อใช้วิธี superposition รวมผลลัพธ์ จะได้

$$\theta_A = \frac{1}{6EIl}\sum[F_i b_i(b_i^2 - l^2) + M_i(3a_i^2 - 6a_i l + 2l^2)]$$

เมื่อกำหนดระนาบ xy เป็นระนาบในแนวตั้ง V (Vertical) และกำหนดให้ระนาบ xz เป็นระนาบในแนวนอน H (Horizontal) สำหรับการรับโหลดในระนาบทั้งสอง ผลลัพธ์ที่ได้จะสามารถรวมกันโดยวิธีการทางเวกเตอร์ได้ คือ

$$\theta_A = \frac{1}{6EIl}\{[\sum F_i b_i(b_i^2 - l^2) + M_i(3a_i^2 - 6a_i l + 2l^2)]_H^2 \quad (2.17)$$
$$+[\sum F_i b_i(b_i^2 - l^2) + M_i(3a_i^2 - 6a_i l + 2l^2)]_V^2\}^{\frac{1}{2}}$$

สำหรับเพลาตันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d, โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัด $I = \frac{\pi d^4}{64}$ หาก $\theta = \theta_{all}$ เป็นมุมเอียงสูงสุดที่ยอมรับได้ของมุมที่เพลาทำกับแบริ่งสมบูรณ์ และแฟกเตอร์การออกแบบเท่ากับ n_d ดังนั้น ขีดจำกัดในการออกแบบเพลาที่แบริ่งทางด้านซ้ายคือ

$$d = \left|\frac{32n_d}{3\pi EI\theta_{all}}\{[\sum F_i b_i(b_i^2 - l^2) + \sum M_i(3a_i^2 - 6a_i l + 2l^2)]_H^2 \quad (2.18)\right.$$
$$\left.+[\sum F_i b_i(b_i^2 - l^2) + \sum M_i(3a_i^2 - 6a_i l + 2l^2)]_V^2\}^{\frac{1}{2}}\right|^{\frac{1}{4}}$$

ส่วนขีดจัดในการออกแบบเพลาที่แบริ่งด้านขวาคือ

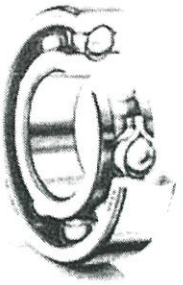
$$d = \left|\frac{32n_d}{3\pi EI\theta_{all}}\{[\sum F_i a_i(b_i^2 - l^2) + \sum M_i(3a_i^2 - l^2)]_H^2 \quad (2.19)\right.$$
$$\left.+[\sum F_i b_i(l^2 - a_i^2) + \sum M_i(3a_i^2 - l^2)]_V^2\}^{\frac{1}{2}}\right|^{\frac{1}{4}}$$

2.8.6 แบริ่ง [17]

แบริ่ง (Bearings) เป็นองค์ประกอบสำคัญของเครื่องจักรที่ต้องการ การหล่อลื่น และแทบจะกล่าวได้ว่าเครื่องจักรเกือบทุกเครื่องจะต้องมี แบริ่ง "แบริ่ง" คือสิ่งที่ช่วยรองรับหรือช่วยยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักรที่มีการหมุนให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ลดปริมาณพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่องจักรและเนื่องจากความเสียดทานที่ลดลง จึงจะช่วยเพิ่มสมรรถนะในการทำงานของเครื่องจักร ลดการสึก

2.8.6.1. <u>แบบและลักษณะเฉพาะของตลับลูกปืน</u>

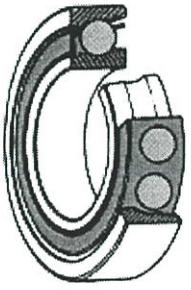
1) ตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึก (Deep Groove Ball Bearings)



รูปที่ 2.12 ตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึก [17]

ตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึกแถวเดียวเป็นตลับลูกปืนที่มีการนำไปใช้งาน อย่างกว้างขวาง ร่องวิ่งของทั้งวงแหวนในและนอกมีลักษณะเป็นวงโค้ง (Circular Arcs) ซึ่งมีรัศมีใหญ่กว่าของเม็ดบอล นอกเหนือจากแรงในแนวรัศมีที่รับได้แล้ว ยังสามารถรับแรงในแนวแกนได้ทั้งสองทิศทางด้วยในงานที่ต้องการความเร็วสูงและสูญเสียพลังงานต่ำ เนื่องจากแรงบิดต่ำ ตลับลูกปืนนี้มีทั้งแบบเปิด ฝาเหล็ก ฝายาง ซึ่งอาจติดตั้งอยู่ทั้งสองด้านของตลับลูกปืน โดยภายในบรรจุจารบีเอาไว้ ในบางครั้งอาจมีแหวนล๊อก (Snap Ring) อยู่ที่ผิวนอกวงแหวนนอก รังที่ใช้โดยมากเป็นรังเหล็ก

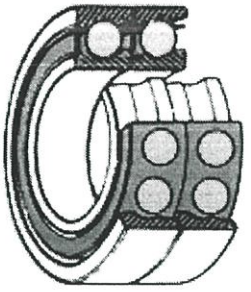
2) ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม (Angular Contact Ball Bearings)



รูปที่ 2.13 ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุม [17]

ตลับลูกปืนแบบนี้สามารถรับแรงในแนวรัศมี และแนวแกนได้ทิศทางเดียว มุมสัมผัสมีทั้ง 15 25 30 40 องศา มุมสัมผัสยิ่งมากก็ยิ่งสามารถรับแรงในแนวแกนได้มาก ค่ามุมสัมผัสน้อยเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความเร็วสูง โดยทั่วไปมักใช้ตลับลูกปืนชนิดนี้เป็นคู่ โดยจะมีการปรับช่องว่างภายในอย่างเหมาะสม สำหรับตลับลูกปืนที่มีความเที่ยงตรงสูงจะมีมุมสัมผัสน้อยกว่า 30 และใช้รังโพลียามาย (Polyamide Resin Cage)

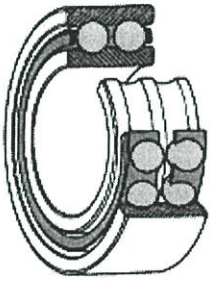
3) ตลับลูกปืนสัมผัสเชิงมุมแถวเดี่ยวสำหรับประกบคู่ (Angular Contact Ball Bearings Single Row, for Paired Nounting)



รูปที่ 2.14 ตลับลูกปืนสัมผัสเชิงมุมแถวเดี่ยวสำหรับประกบคู่ [17]

การนำตลับลูกปืนแนวรัศมี 2 ตลับมารวมกันในการใช้งาน เรียกว่าการประกบคู่ (Duplex pair) ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ตลับลูกปืนเม็ดกลมเชิงมุม หรือตลับลูกปืนเทเปอร์มาทำการประกอบ การประกบคู่ทำได้ทั้งแบบหน้าชนหน้า ซึ่งวงแหวนนอกหันหน้าชนกัน (แบบ DF) แบบหลังชนหลัง (แบบ DB) หรือหันหน้าเรียงตามกัน ในทิศทางเดียว (DT) การประกอบแบบหันหน้าชนกันและหันหลังชนกัน สามารถรับแรงแนวรัศมีและแนวแกนได้ทั้งสองทิศทาง แบบทิศทางเดียว จะใช้เมื่อมีแรงในแนวแกนแรงหนึ่งซึ่งมีค่าสูงมากในทิศทางเดียว จึงจำเป็นต้องกำหนดให้รับแรงเท่ากันในตลับลูกปืนแต่ละตัว

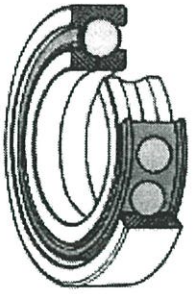
4) ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมสองแถว (Angular Contact Ball Bearings Double Row)



รูปที่ 2.15 ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมสองแถว [17]

ตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมสองแถวนั้น โดยพื้นฐานแล้วคือตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมแถวเดียวติดตั้งแบบหลังชนหลัง ต่างกันที่แบบสองแถวนั้นมีวงแหวนในหนึ่งวง วงแหวนนอกหนึ่งวง และแต่ละวงมีรางวิ่งของตนเอง ตลับลูกปืนแบบนี้สามารถรับแรงแนวแกนได้สองทิศทาง

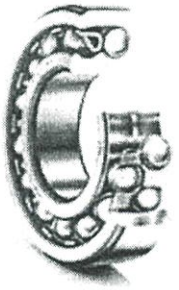
5) ตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึก (Deep Groove Ball Bearings)



รูปที่ 2.16 ตลับลูกปืนเม็ดกลมร่องลึก [17]

ตลับลูกปืนสัมผัสเชิงมุมสี่จุดนั้น วงแหวนในและวงแหวนนอกแยกออกจากกันได้ เนื่องจากวงแหวนในแยกออกจากกันในระนาบรัศมี สามารถรับแรงในแนวแกนได้ สองทิศทางลูกกลิ้งทำมุม 35 องศา กับวงแหวนแต่ละวง ตลับลูกปืนสัมผัสเชิงมุมสี่จุด เพียงหนึ่งตลับเท่านั้นที่สามารถทดแทนตลับลูกปืนเม็ดกลมสัมผัสเชิงมุมแถวเดียวที่ประกบแบบหน้าชนหน้า หรือหลังชนหลัง รังที่ใช้ทั่วไปมักเป็นทองเหลืองกลึงขึ้นรูป

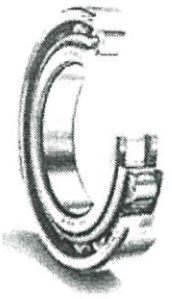
6) ตลับลูกปืนเม็ดกลมปรับแนวได้เอง (Self-aligning Ball Bearings)



รูปที่ 2.17 ตลับลูกปืนเม็ดกลมปรับแนวได้เอง [17]

วงแหวนในมีสองรางวิ่ง และวงแหวนนอกมีรางวิ่งลักษณะโค้ง (Spherical) อยู่หนึ่งรางวิ่ง ซึ่งจุดศูนย์กลางของความโค้ง เป็นจุดเดียวกับแนวแกนของตลับลูกปืน นั้นคือแนวแกนของวงแหวนใน เม็ดลูกกลิ้งและรังสามารถหักเหได้รอบศูนย์กลางของตลับลูกปืน ดังนั้นการเยื้องแนวมุมเล็กน้อยของเพลาและตัวเรือน ที่ซึ่งมีสาเหตุมาจากการกลึงไสหรือการติดตั้งที่ไม่ดีพอนั้นสามารถแก้ไขได้โดยอัตโนมัติ ตลับลูกปืนนี้มักมีรูเพลาเอียงไว้สำหรับใช้กับปลอกปรับขนาด (Adapter Sleeve)

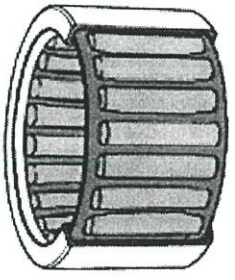
7) ตลับลูกปืนเม็ดกลมทรงกระบอก (Cylindrical Roller Thrust Bearings)



รูปที่ 2.18 ตลับลูกปืนเม็ดกลมทรงกระบอก [17]

ตลับลูกปืนนี้เม็ดลูกกลิ้ง ซึ่งมีลักษณะทรงกระบอกยาวจะสัมผัสเป็นเส้นตรงกับรางวิ่ง มีความสามารถในการรับแรงในแนวรัศมีได้สูง และเหมาะกับงานความเร็วสูง ลักษณะของตลับลูกปืนมีหลายแบบทั้ง NU NJ NUP N NF สำหรับตลับลูกปืนแถวเดียว และ NNU NN สำหรับตลับลูกปืนสองแถว วงแหวนนอก และวงแหวนในของทุกแบบสามารถถอดแยกได้ตลับลูกปืนเม็ดทรงกระบอกบางแบบไม่มีโครง หรือสันขอบ (Rib) ที่วงแหวนใน หรือวงแหวนนอกดังนั้นวงแหวนสามารถเคลื่อนที่ตามแนวแกนได้ เมื่อเทียบกับอีกวงหนึ่ง (เคลื่อนที่สัมพันธ์กัน) ซึ่งสามารถให้เป็นตลับลูกปืนที่ไม่กำหนดตำแหน่ง ตลับลูกปืนเม็ดทรงกระบอกไม่ว่าวงแหวนในหรือนอกมีโครง 2 ด้าน หรือวงแหวนหนึ่งมีหนึ่งด้าน ก็สามารถรับแรงในแนวแกนได้ทิศทางเดียว ตลับลูกปืนเม็ดทรงกระบอก 2 แถว มีความแข็งเกร็งแนวรัศมีแนวรัศมีสูงและใช้กับเครื่องมือกลที่มีความเที่ยงตรงสูง ปกติแล้วจะใช้รังเหล็ก หรือทองเหลืองกลึงขึ้นรูปแต่ในบางครั้งก็ใช้รังโพลียามายหล่อขึ้นรูป

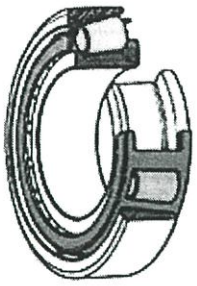
8) ตลับลูกปืนเม็ดเข็ม (Needle roller bearings)



รูปที่ 2.19 ตลับลูกปืนเม็ดเข็ม [17]

ตลับลูกปืนประกอบด้วยลูกกลิ้งเม็ดเรียวยาวมีขนาดความยาวประมาณ 3 ถึง 10 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางนอก (Bearing Outside Diameter) ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางวกลมใน (Inscribed Circle Diameter) มีค่าน้อยมีความสามารถในการแรงในแนวรัศมีค่อนข้างสูง ตลับลูกปืนชนิดนี้มีหลายแบบให้เลือก โดยมากไม่มีวงแหวนใน ตลับลูกปืนแบบ drawn-cup นั้นมีวงแหวนนอกเป็นเหล็กปั๊ม ส่วนแบบ solid type ผลิตจากเหล็กกลึงขึ้นรูป ยังมีตลับลูกปืนที่เรียกโดยทั่วไปว่า ตลับลูกปืนกรงนก (Cage and Roller Assemblies) ซึ่งจะไม่มีวงแหวนทั้งในและนอกมาด้วย มีเพียงรังและเม็ดลูกกลิ้งเท่านั้น รังเป็นเหล็กปั๊มขึ้นรูป แต่ในบางแบบจะไม่มีรัง

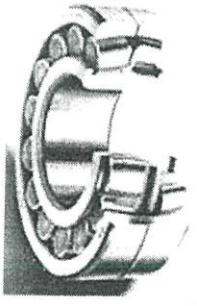
9) ตลับลูกปืนเม็ดเรียว (Taper Roller Bearings)



รูปที่ 2.20 ตลับลูกปืนเม็ดเรียว [17]

ตลับลูกปืนชนิดนี้ใช้เม็ดลูกกลิ้งเป็นรูปกรวย มีตัวนำร่องคือโครงของวงแหวนด้านในตลับลูกปืนเม็ดเรียวสามารถรับแรงแนวรัศมีได้สูง และรับแรงในแนวแกนได้ทิศทางเดียว การใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้เป็นคู่ คล้ายกับตลับลูกปืนสัมผัสเชิงมุมแถวเดียว ซึ่งจะมีการปรับช่องว่างภายในตลับลูกปืนให้เหมาะสมโดยการปรับระยะแนวแกนระหว่างวงแหวนใน (Cone) หรือวงแหวนนอก (Cup) ของตลับลูกปืนที่ประกบกันทั้ง 2 ตลับ วงแหวนในและวงแหวนนอกสามารถแยกประกอบได้อย่างอิสระ ตลับลูกปืนชนิดนี้แบ่งออกเป็น 3 แบบ ตามมุมสัมผัสได้ดังนี้ คือ มุมปกติ (Normal Angle) มุมปานกลาง (Medium Angle) และมุมชัน (Steep Angle) อีกทั้งยังมีแบบสองแถวและสี่แถวให้เลือกใช้อีกด้วย รังที่ใช้โดยมากจะเป็นรังเหล็กปั๊มขึ้นรูป

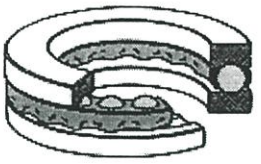
10) ตลับลูกปืนเม็ดโค้ง (Spherical Roller Bearings)



รูปที่ 2.21 ตลับลูกปืนเม็ดโค้ง [17]

ตลับลูกปืนชนิดนี้เม็ดตลับลูกปืนมีลักษณะคล้ายถังไม้โค้ง หรือเรียกว่า Barrel Shaped Roller อยู่ระหว่างวงแหวนใน ซึ่งมีสองรางวิ่ง และวงแหวนนอกซึ่งมีหนึ่งรางวิ่ง การที่ศูนย์กลางความโค้งของผิวหนังรางวิ่งของวงแหวนนอกเป็นจุดเดียวกับแกนของตลับลูกปืนทำให้ตลับลูกปืนปรับแนวได้เอง ดังนั้นหากเพลาหรือตลับลูกปืนเกิดโก่งตัว หรือเกิดการเยื้องแนวจากแนวแกนก็จะสามารถรับตัวเองได้โดยอัตโนมัติ ทำให้ไม่เกิดแรงที่สูงเกินไปมากระทำต่อตลับลูกปืน ตลับลูกปืนเม็ดโค้งนั้นไม่เพียงแต่สามารถรับแรงในแนวรัศมีได้สูง แต่ยังสามารถรับแรงในแนวแกนได้สองทิศทางอีกด้วย มีความสามารถในการรับแรงแนวรัศมีได้อย่างดีเยี่ยม และเหมาะสำหรับใช้งานที่มีแรงกระทำหรือกระแทกสูง ๆ บางแบบอาจมีรูในเอียง ซึ่งอาจใช้ติดตั้งโดยตรงบนเพลาเอียงหรือติดตั้งบนเพลาตรง โดยใช้ปลอกปรับขนาด (Adapter Sleeve) หรือปลอกสวม (Withdrawal Sleeve) ปกติใช้รังเหล็กปั๊มขึ้นรูป รังโพลียามายหล่อและรังทองเหลือกลังขึ้นรูป

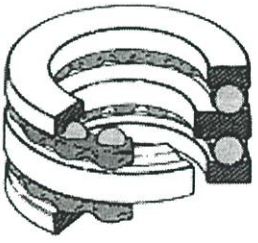
11) ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลมรับแรงทิศทางเดียว (Thrust Ball Bearings Single Direction)



รูปที่ 2.22 ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลมรับแรงทิศทางเดียว [17]

ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลมรับแรงทิศทางเดียว ประกอบด้วยวงแหวนที่มีลักษณะคล้ายแหวนรอง (Washer Like Bearing Ring) มีร่องรับแรงทิศทางเดียว รางวิ่งวงแหวนที่สวมติดกับเพลาเรียกว่า แหวนรองเพลา หรือวงแหวนใน (Shaft Washer or Inner Ring) ส่วนวงแหวนที่สวมติดกับตัวเรือน เรียกว่าวงแหวนรองตัวเรือน หรือวงแหวนนอก (Housing Washer or Outer Ring)

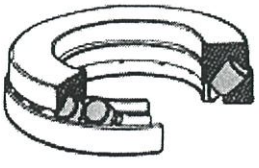
12) ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลมรับแรงสองทิศทาง (Thrust Ball Bearings Double Direction)



รูปที่ 2.23 ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลมรับแรงสองทิศทาง [17]

สำหรับตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลมรับแรงสองทิศทางนั้นจะมีวงแหวนสามวง วงแหวนกลาง (Center Ring) จะสวมติดกับเพลา ยังมีตลับลูกปืนกันรุนเม็ดกลมที่มีแหวนรองปรับแนวได้เอง (Aligning Seat Washer) อีกด้วย ซึ่งแหวนนี้จะอยู่ส่วนล่างของแหวนรองตัวเรือน เพื่อรับการเยื้องแนวของเพลา หรือการติดตั้งที่ไม่พอดีโดยปกติแล้วจะใช้รังเหล็กปั๊มขึ้นรูปในตลับลูกปืนขนาดเล็ก และรังกลึงขึ้นรูป ใช้กับตลับลูกปืนขนาดใหญ่

13) ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดโค้ง (Spherical Roller Thrust Bearings)



รูปที่ 2.24 ตลับลูกปืนกันรุนเม็ดโค้ง [17]

ตลับลูกปืนชนิดนี้มีรางวิ่งโค้งหนึ่งราง อยู่ที่แหวนตัวเรือน และมีเม็ดลูกกลิ้งรูปโค้งวางเรียงอยู่โดยรอบ รางวิ่งที่มีลักษณะโค้งของแหวนรองตัวเรือนนี้นั้นทำให้ตลับลูกปืนปรับแนวได้เอง และสามารถรับแรงในแนวแกนที่สูงมาก ๆ ได้ ทั้งยังสามารถรับแรงในแนวรัศมีได้ปานกลาง ในขณะที่รับแรงในแนวแกนอยู่ด้วย โดยทั่วไปใช้รังเหล็กปั๊มขึ้นรูป หรือรังทองเหลืองกลึงขึ้นรูป

2.8.6.2. <u>การประเมินค่าอายุการใช้งานของตลับลูกปืน</u>

ตลับลูกปืนมีอายุใช้งานที่จำกัด โดยขึ้นอยู่กับค่าความเค้นกระทำซ้ำ เนื่องจากคุณภาพของตลับลูกปืนที่ผลิตจากวิธีการและเครื่องมือชิ้นเดียวกัน ก็อาจจะแตกต่างกัน ดังนั้นทางสมาคม AFBMA จึงได้กำหนดนิยามและวิธีการเลือกตลับลูกปืน

1) อายุใช้งาน (L) หมายถึง จำนวนรอบที่ตลับลูกปืนหมุนได้ก่อนที่จะเริ่มเกิดความล้าขึ้นในวงแหวนหรือลูกกลิ้ง จากผลการทดลองของ Lundberg และ Palmgren พบว่า อายุใช้งาน L แปรผันผกผันกับแรงในแนวรัศมี P ดังนั้น $L\alpha \frac{1}{P^k}$

2) อายุประเมิน (L_{10}) หมายถึง จำนวนรอบที่ตลับลูกปืน 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้า

3) อายุใช้งานเฉลี่ย (L_{50}) หมายถึง จำนวนรอบที่ตลับลูกปืน 50% สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้า

4) แรงสถิตประเมิน (C_0) หมายถึง แรงในแนวรัศมีที่ทำให้เกิดระยะยุบตัวของลูกกลิ้งและวงแหวนรวมกันท่ากับ 0.0001 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง

5) แรงพลวัตประเมิน (C) หมายถึง แรงในแนวรัศมีที่ทำให้ตลับลูกปืนมีอายุประเมินเท่ากับหนึ่งล้านรอบ เมื่อวงแหวนอันในหมุนและวงแหวนอันนอกอยู่นิ่ง

อายุใช้งานจริงของตลับลูกปืนหาได้โดยกำหนดให้อายุประเมินเป็นอายุใช้งานจริงซึ่งมีหน่วยเป็นล้านรอบ

$$L_{10} = (\frac{C}{P})^k \qquad (2.20)$$

2.8.6.3. <u>แรงสมมูล</u>

ในการใช้งานจริง ตลับลูกปืนอาจจะรับทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนและวงแหวนในหรือนอกหมุนก็ได้ แต่อายุประเมินของตลับลูกปืนกำหนดในเทอมของแรงในแนวรัศมีเท่านั้น ดังนั้น ต้องเปลี่ยนแรงที่ตลับลูกปืนรับจริงให้เป็นแรงในแนวรัศมีโดยมีวงแหวนในเป็นตัวหมุน เรียกว่า แรงสมมูล

$$P = XVF_r + YF_a \text{ หรือ } P = VF_r \qquad (2.21)$$

โดยที่ F_r คือแรงในแนวรัศมี

F_a คือแรงรุน

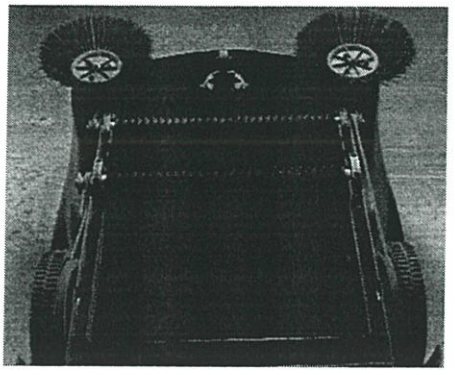
V คือตัวประกอบการหมุน

เลือกค่า P ที่มากกว่าจากสมการทั้งสอง

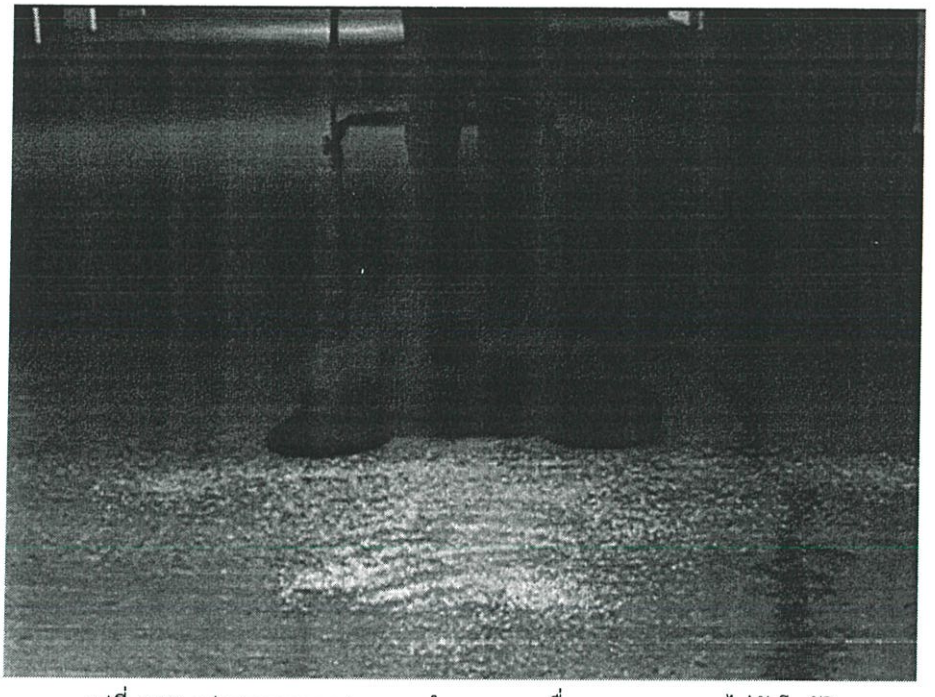
2.9 หลักการทำงานและมาตรฐานการทดสอบของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

เครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติจะใช้แรงส่งจากการเคลื่อนที่ของล้อหลังในการหมุนเพลา ใช้พูลเลย์ซึ่งติดกับเพลาในแกนเดียวกับล้อเป็นตัวส่งกำลังผ่านสายพาน เพื่อส่งให้พูลเลย์ตัวรับทั้งในส่วนของแปรงกลางและหลังจากแปรงกลางหมุนจะมีพูลเลย์ติดตั้งไว้อีกชุดเพื่อให้สายพานส่งกำลังต่อไปในส่วนของแปรงหน้า โดยในส่วนของแปรงหน้านั้นจะเป็นการติดตั้งพูลเลย์แบบแนวนอนทำให้มีการบิดสายพานเกิดขึ้นเพื่อเปลี่ยนแนวแรงจากแนวตั้งเป็นแนวนอนเพื่อให้แปรงหน้า ซึ่งในช่วงระหว่าง

พูลเลย์ในส่วนล้อ แปรงกลางและแปรงงหน้า โดยแปรงกลางทั้งสองตัวจะใช้สายพานเพียงข้างเดียวในการขับเคลื่อนโดยทำให้แปรงแต่ละตัวจะมีตัวส่งกำลังที่เป็นอิสระต่อกัน คือ ล้อข้างซ้ายและข้างขวาซึ่งแยกกันกันส่งกำลังไปที่แปรงแต่ละข้าง โดยที่ระบบกลไกการทำงานอย่างง่ายของเครื่องสามารถดูได้จากรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 กลไกการทำงานอย่างง่ายของเครื่องกวาดขยะ



รูปที่ 2.26 รูปแสดงการทดสอบการทำงานของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

โดยการทดสอบด้านประสิทธิภาพ จะทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติโดยการให้เครื่องกวาดขยะในพื้นเรียบ ที่จำกัดเป็นเส้นตรงในพื้นที่หน้ากว้างตามระยะของความกว้างของหน้าเครื่อง และเคลื่อนที่เป็นเส้นทางตรงเพื่อเก็บขยะบนพื้นปูนเรียบโดยจะไม่มีการเก็บขยะในขณะที่เครื่องถอยหลังหรือเลี้ยวโค้ง จะเป็นเพียงการเก็บสิ่งของบนทางตรงเพื่อตรวจสอบปริมาณขยะที่เหลืออยู่บนพื้น จึงเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องว่าสามารถเก็บขยะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเท่าไร จึงมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยการเก็บจะเป็นการนำขยะที่กำหนดปริมาณและน้ำหนักอย่างแน่นอนแล้วในพื้นที่ซึ่งหลังจากเก็บแล้วจะนำไปตรวจสอบน้ำหนักของขยะในกล่องเก็บเพื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักของขยะที่นำมาทดสอบในตอนแรก

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

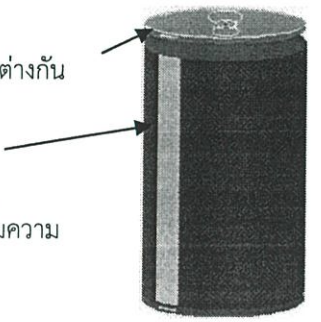
จากการศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีทริสและยูซิสพบว่ามีการประยุกต์ใช้ทฤษฎีทริสและยูซิสออกมาหลากหลายรูปแบบ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ซึ่งสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

Jim Kowalik [7] นักวิจัยแห่งสถาบัน Renaissance Leadership Institute ใช้ทฤษฎีทริสในการคิดค้น และนำเสนอรูปแบบของกระป๋องเครื่องดื่มที่แตกต่างกันสำหรับอุตสาหกรรมน้ำดื่มในสหรัฐอเมริกา ได้ถึงกว่า 20 แบบ และมีหลายรูปแบบที่ปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้งานจริงแล้ว โดยกระป๋องน้ำอัดลมต้องการใช้วัสดุให้น้อย เพื่อให้เบา และลดต้นทุน ในขณะเดียวกันก็ต้องการให้มีความแข็งแรง ไม่แตกง่าย ทางแก้ปัญหาตามหลักการ 40 ข้อของทริสก็คือ

#1 การแบ่งส่วน แยกส่วนของฝา กับผนัง ให้เป็นคนละส่วนกัน มีความแข็งแรงแตกต่างกัน

#14 ทรงกลมทำผนังกระป๋อง ให้มีความโค้ง รับแรงได้ดี

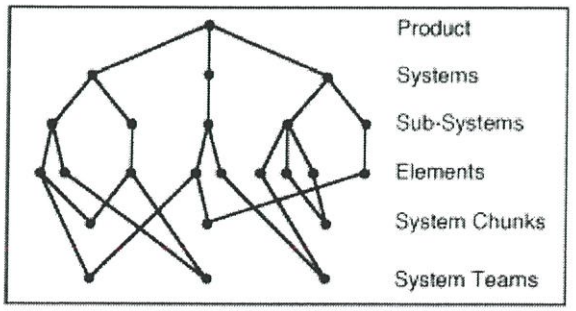
#35 การเปลี่ยนสภาพลักษณะสมบัติ ใช้วัสดุที่เป็นอัลลอยเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ในขณะที่มีความบางและเบา



รูปที่ 2.27 กระป๋องเครื่องดื่มที่ผ่านการใช้ทฤษฎีทริสในการคิดค้น [7]

ในงานด้านวิศวกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์วิศวกรและนักออกแบบต้องเผชิญกับความซับซ้อน(Complexity)ที่เกิดขึ้นจากสาเหตุต่างๆการทำความเข้าใจถึงแหล่งที่มารวมถึงการเรียนรู้แนวทางหรือวิธีการในการลดความซับซ้อนในการออกแบบจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพทั้งในด้านกระบวนการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์

ณัฐวุฒิ จันทร์ทอง ปร.ด. (Nattawut Janthong,Ph.D.) [8] ในการลดความซับซ้อนในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์สามารถทำได้โดยการแบ่งปัญหาโดยภาพรวมออกเป็นปัญหาย่อยหรือเป็นระบบย่อย (Design Decomposition) ดังแสดงในรูปที่ 2.15 หน้าที่การทำงานของผลิตภัณฑ์จะถูกแบ่งออกเป็นหลายหน้าที่การทำงานย่อย (Sub-Functions) ซึ่งทีมงานนักออกแบบสามารถแบ่งหน้าที่การทำงานเพื่อค้นหาแนวทางการออกแบบหรือเลือกอุปกรณ์ในแต่ละส่วนและสามารถทำงานคู่ขนานกันทำให้เกิดความรวดเร็วในกระบวนการออกแบบ (Pimmler and Eppinger, 1994)



รูปที่ 2.28 ลักษณะการแบ่งปัญหาโดยภาพรวมเป็นปัญหาย่อย [8]

ที่มา : Pimmler and Eppinger, 1994

ปัจจุบันนี้การดำเนินชีวิตในแต่ละวันนั้นมากกว่าครึ่งหนึ่งต้องอยู่กับการทำงาน ซึ่งในการทำงาน นั้นๆ ย่อมมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สามารถส่งผลกระทบ ต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้ทั้งด้านจิตวิทยา กายภาพ เคมี ชีวภาพ และการยศาสตร์ ซึ่งคนส่วนใหญ่มักไม่ค่อย ให้ความสนใจเท่าใดนักจนกระทั่งเกิดอุบัติเหตุหรือเกิดอันตรายขึ้นกับผู้ปฏิบัติงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยสิ่งแวดล้อมด้านการยศาสตร์ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานเป็นอย่างมาก

เนตรชนก เจริญสุข [9] การทำงานที่เหมาะสมและลดความเมื่อยล้าและ การบาดเจ็บอันเกิดจากท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม ซึ่งปัญหาด้านการยศาสตร์สามารถเกิดขึ้นกับทุกคนได้ตลอดเวลามิใช่เฉพาะคนที่ทำงานในสถานประกอบกา ร เท่านั้น แต่ยังเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นได้กับทุกคน ทุกเพศ ทุกวัย ทุกอาชีพ ทุกท่าทางการทำงาน และทุกขั้นตอนการทำงาน ดังนั้น จะเห็นได้ว่าเราทุกคนมีความเสี่ยงต่อการได้รับอันตรายจากปัญหาด้านการยศาสตร์ เป็นอย่างมาก ซึ่งปัญหาด้านการยศาสตร์มีสาเหตุหลัก 4 เรื่อง คือ (OSHA: 2000) [9] ที่มา : U.S. Department of Labor Occupational Safety and Health Administration. (2000). "Ergonomics: The Study of Work" OSHA 3125.

1. ระบบการทำงาน

การพิจารณาถึงขั้นตอนการทำงาน วิธีการปฏิบัติงานและระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้องในการทำงาน ต้องเอื้อต่อการทำงาน โดยต้องไม่มีระบบการทำงานที่มีความเสี่ยงในการเกิดปัญหาด้านการยศาสตร์ เช่น ขั้นตอนการทำงานที่ต้องก้ม เงยหรือบิดเอี้ยวตัวเป็นระยะเวลาติดต่อนานๆ การทำงานล่วงเวลามากเกินไปการเพิ่มอัตราการทำงานหรือความถี่ในการทำงาน การทำงานที่ต้องเปลี่ยนตำแหน่งหรือหน้าที่บ่อยๆ ลักษณะการทำงานที่ซ้ำซากจำเจ เป็นต้น

2. อุปกรณ์ เครื่องมือและเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง

ในการทำงานการพิจารณาถึงของขนาด ทิศทาง ตำแหน่ง และระดับความสูงของการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องมือและเครื่องจักรให้มีความเหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดปัญหาด้านการยศาสตร์ได้ เช่น โต๊ะทำงานที่สูงหรือเตี้ยเกินไป เครื่องจักรที่มีความสั่นสะเทือนขณะปฏิบัติงาน การดึงและดันอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ การยกของที่มีน้ำหนักมาก ภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์ไม่มีที่จับยึดทำให้เคลื่อนย้ายลำบาก อุปกรณ์ที่ต้องใช้แรงกดหรือบีบจากมือ เป็นต้น

3. ผู้ปฏิบัติงาน

ผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนย่อมมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป ได้แก่ ความแตกต่างของสัดส่วนรูปร่างของผู้ปฏิบัติงาน ระดับความทนทานและความอดทนของร่างกายที่มีต่องาน ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและร่างกายในการปฏิบัติงาน เช่น ผู้ชายมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมากกว่าผู้หญิงจึงระดับความทนทานและความอดทนของร่างกายมากกว่า ดังนั้นน้ำหนักที่ผู้ชายสามารถยกได้จึงมากกว่าผู้หญิง ผู้ชายมีความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมากกว่าเด็กชายจึงระดับความทนทาน และความอดทนของร่างกายมากกว่า ดังนั้นน้ำหนักที่ผู้ชายสามารถยกได้จึงมากกว่าเด็กชาย เป็นต้น แต่ข้อจำกัดที่กล่าวมาแล้วของผู้ปฏิบัติงานนั้นเป็นสิ่งที่ติดตัวของผู้ปฏิบัติงานมาที่ไม่สามารถแก้ไขได้แล้วจึงนิยมนำมาเป็นเงื่อนไขในการคัดเลือกผู้ปฏิบัติงานก่อนเข้ามาทำงานเพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาในส่วนนี้ เช่น การกำหนดเพศ ช่วงอายุ และสมรรถภาพของร่างกาย เป็นต้น นอกจากนี้สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ ท่าทางในการ

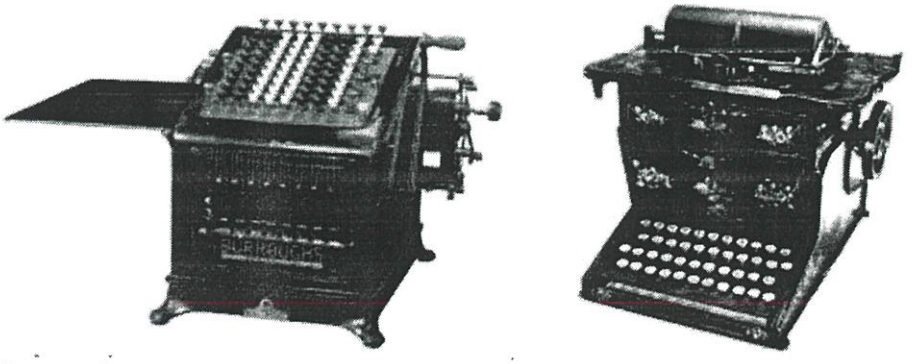
ทำงานของผู้ปฏิบัติงาน เพราะในงานเดียวกันที่มีขั้นตอนการทำงานที่เหมือนกันทุกประการนั้นจะเกิดความแตกต่างกันที่ท่าทางการทำงานของผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนนั้นเอง จึงถือว่าท่าทางการทำงานเป็นตัวแปรสำคัญในการเกิดปัญหาด้านการยศาสตร์ด้วย

4. สภาพแวดล้อมในการทำงาน

สำหรับสถานที่ทำงานใดๆ ก็ตามที่มีสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น เสียงดังเกินไปอากาศร้อนหรือเย็นเกินไป แสงสว่างจ้าหรือน้อยเกินไปการระบายอากาศไม่ดี พื้นที่แคบเกินไปหรือมีของวางเกะกะกีดขวางทางเดิน ทางเดินมีความต่างระดับมากเกินไปหรือเยอะเกินไป บันไดมีความชัน เป็นต้น ซึ่งจะทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานและนำไปสู่การเกิดปัญหาการยศาสตร์ได้ คือ การที่ผู้ปฏิบัติงานต้องบิดหรือตะแคงตัวในการเดินยกของผ่านพื้นที่ที่แคบ เช่นกัน

พัฒนาการของการออกแบบอุตสาหกรรม ได้แสดงให้เห็นถึงการก่อเกิดของอารยธรรมและความเจริญที่เกี่ยวกับการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือเครื่องจักร และกรรมวิธีซึ่งมีผลต่อการออกแบบเป็นอย่างยิ่ง แต่ถ้าพิจารณาถึงงานออกแบบที่จำเป็นสำหรับการดำรงอยู่ของมนุษย์ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน อันได้แก่ สิ่งของเครื่องใช้ อุปกรณ์เครื่องมือ เป็นต้น

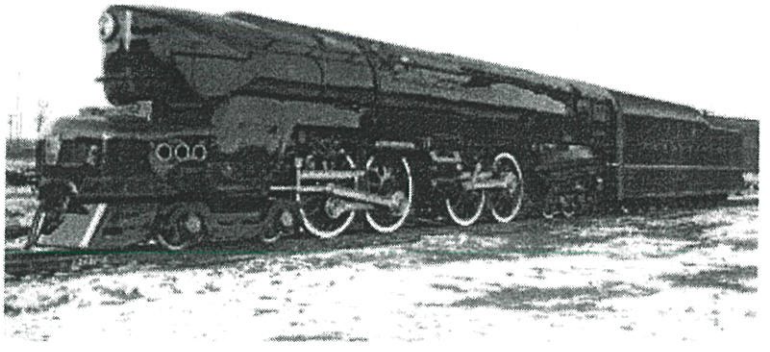
เรวัต สุขสิกาญจน์ [10] ยุคการประดิษฐ์คิดค้น (Invention Age) เป็นยุคแห่งการค้นหารูปทรงที่เรียบง่ายตรงไปตรงมา เป็นไปตามประโยชน์ใช้สอยค่อนข้างชัดเจน การเปลี่ยนแปลงในด้านเครื่องมือ เครื่องจักรกล ส่งผลให้มีการปรับเปลี่ยนวิธีการสร้างผลงานจากศิลปินและช่างฝีมือ เป็นการออกแบบและการผลิตที่มีการวางแผนงานเป็นระบบมากยิ่งขึ้น ตัวอย่าง การคิดค้นเครื่องบวกเลขในสำนักงานขึ้นแบบไม่ใช้ไฟฟ้าและไมโครชิพ (Microchip) แต่ใช้หลักการทางด้านกลไก ออกแบบเรียบง่าย เน้นการใช้งานเป็นหลัก โดยแป้นพิมพ์วางแบบลาดเอียงเพื่อสามารถมองเห็นได้ในระยะห่างที่เท่าๆ กันทุกแป้นพิมพ์ และสามารถถอดออกเพื่อทำการซ่อมแซมได้ เน้นการแสดงถึงกลไกภายใน โดยด้านข้างเป็นแผ่นกระจกมองทะลุได้ ถือเป็นต้นแบบของเครื่องคิดเลขในยุคต่อมา



รูปที่ 2.29 เครื่องบวกเลข Burroughs, 1910 และ เครื่องพิมพ์ดีด Sholes and Glidden, 1874 [10]

(ที่มา: John Wolff's Web Museum. 2010, Early Office Museum. 2011)

ยุคการออกแบบสมัยใหม่ (Modern Design Age) เป็นยุคของรูปทรงเรียบง่าย รูปทรงเรขาคณิต และการใช้วัสดุสมัยใหม่โดยแสดงตัวตนอย่างแท้จริงโดยไม่ปิดบัง เรียกว่าแนวความคิดด้านประโยชน์ใช้สอย (Functionalism) มีการก่อตั้งสถาบัน Bauhaus อันเป็นโรงเรียนของการออกแบบยุคใหม่ และได้สร้างนักออกแบบที่ช่วยสร้างมาตรฐานในงานออกแบบอุตสาหกรรม ที่มีชื่อเสียงตลอดมาจนถึงยุคปัจจุบัน มีการพัฒนาทางเทคโนโลยีด้านวัสดุสังเคราะห์พลาสติก ทำให้เกิดลักษณะเฉพาะของรูปทรงในแบบ Streamline ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง ด้วยรูปทรงและหน้าตาที่ดึงดูด สร้างความน่าสนใจและเป็นมิตรกับผู้ใช้ รูปแบบนี้จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ออกแบบทั้งเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในครัวเรือนและอุปกรณ์ภายในสำนักงานด้วย ยุคสมัยนี้เกิดผลิตภัณฑ์ที่สนองเกี่ยวกับด้านสิทธิเสรีภาพและวัฒนธรรมสมัยใหม่ มีอายุการใช้งานที่สั้นตามความหลากหลายของกลุ่มผู้บริโภค และด้วยระยะเวลาอันยาวนานของยุคสมัย ทำให้มีกลุ่มนักออกแบบเกิดขึ้นหลากหลายกลุ่ม แต่แนวทางของการออกแบบสมัยใหม่ ก็ยังคงมีจุดเด่นอยู่ที่การผสมผสานระหว่างประโยชน์ใช้สอยและจินตนาการความคิดสร้างสรรค์เป็นหลัก ตัวอย่าง มีการลงทุนค้นคว้าทางเทคโนโลยีทั้งทางด้านวัสดุและกรรมวิธีการผลิตเพื่อตอบสนองผู้บริโภค จึงเกิดวัสดุสังเคราะห์ชนิดใหม่เป็นพลาสติก และได้รับการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติจนสามารถนำใช้กันอย่างกว้างขวางตั้งแต่ของชิ้นเล็กจนถึงของชิ้นใหญ่ เนื่องจากคุณสมบัติที่เหมาะสม มีความแข็งแรง คงรูป สีสันสดใส สามารถผสมในเนื้อวัสดุจึงติดทนถาวร และสามารถหล่อขึ้นรูปได้อย่างอิสระ จึงทำรูปแบบ Streamline ซึ่งเป็นผลมาจากการศึกษาเรื่องอากาศพลศาสตร์ เพื่อใช้ในการออกแบบเรือและเครื่องบิน ถูกนำมาใช้กับยานพาหนะที่แล่นบนพื้นดิน เช่นรถไฟและรถยนต์ เป็นต้น

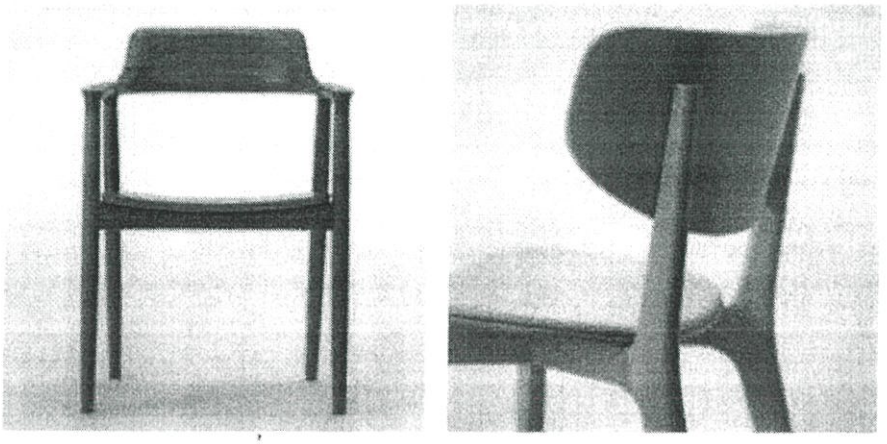


รูปที่ 2.30 หัวรถจักร Pennsylvania Railroad's ออกแบบโดย Raymond Loewy, 1946 [10]

(ที่มา: Richard Leonard. 2011)

ยุคการออกแบบอย่างยั่งยืน (Sustainable Design Age) เป็นยุคของการใส่ใจสิ่งแวดล้อม เพราะการเปลี่ยนแปลงของโลก ที่มนุษย์เราทำลายกันเอง มีแนวคิดเกี่ยวกับการเลือกใช้ทรัพยากร ลดปริมาณ การใช้ซ้ำและนำกลับมาใช้ใหม่ และยังมีกระบวนการจัดการอีกมากมายที่ทุกภาคส่วนต้องสนับสนุนและเอื้อต่อกันเป็นวงจรในการทำงาน สรุปก็คือ การออกแบบอย่างยั่งยืนเป็นการออกแบบที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือถ้าส่งผลกระทบ ก็ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ตัวอย่างของ

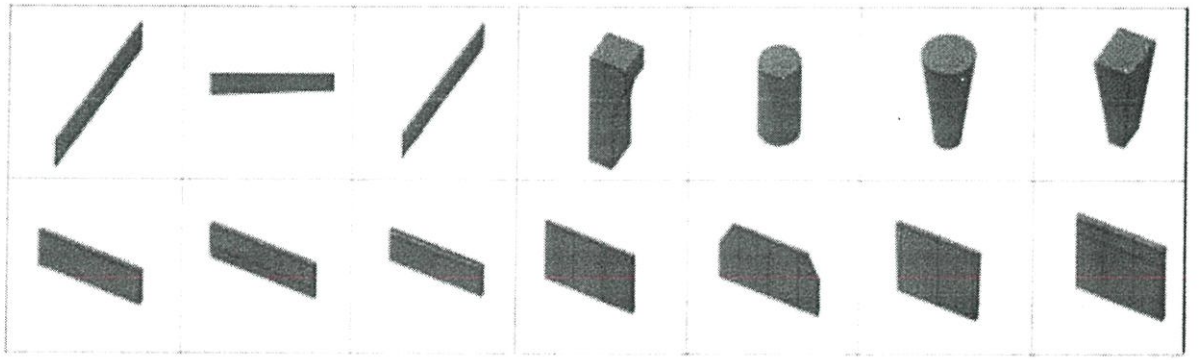
แนวความคิดที่ใกล้เคียงกันของความยั่งยืน ก็คือ Maruni Wood Industry ยี่ห้อของเครื่องเรือนไม้ในเมืองฮิโรชิมา ประเทศญี่ปุ่น ก่อตั้งมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1950 หลังจากที่ซบเซาจากสภาพเศรษฐกิจอยู่นาน ก็สามารถพลิกฟื้นกลับมามีชื่อเสียงและยอดขายจากทั่วโลกได้อีกครั้งหนึ่ง ด้วยการดึงนักออกแบบอย่าง Jasper Morrison มาออกแบบผสมผสานงานฝีมือเชิงช่างและแนวความคิดเรื่องการปลูกป่าทดแทน โดยต้นไม้ที่ตัดไปหนึ่งต้นเพื่อผลิตเครื่องเรือน บริษัทก็จะปลูกทดแทนอีกนับร้อยต้นในป่าของชุมชน ด้วยมือของพนักงานเอง



รูปที่ 2.31 Maruni Collection 2011/Autumn [10]

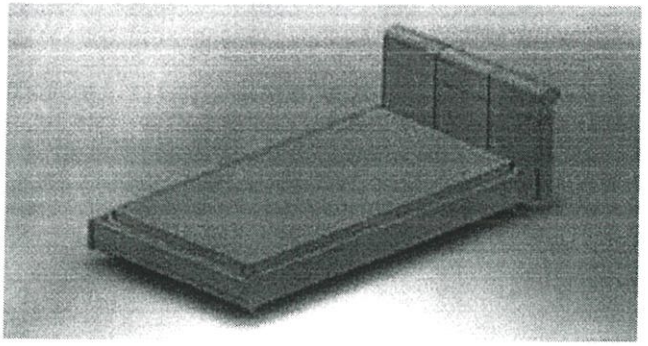
ที่มา: (Maruni. 2011)

กุศล พิมาพันธุ์ศร และ สิทธิภัทร์ มังคลสุต [11] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบพาราเมตริกฟีทเจอร์เบสเพื่อสนับสนุนการออกแบบชิ้นส่วนเตียงนอน ชิ้นส่วนโมดุล และแบบจำลองผลิตภัณฑ์เตียงนอนในขั้นตอน การออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงแนวคิด โดยได้ประยุกต์ใช้หลักการการออกแบบบนพื้นฐานตัวแปร (Parametric Design) และการออกแบบด้วยฟีทเจอร์แบบคอนสตรัคทีฟ โมเดลลิ่ง (Design by Feature–constructive Modeling) ช่วยให้ ผู้ใช้งานสามารถสร้างแบบจำลองผลิตภัณฑ์เตียงนอน ได้ในระยะเวลาอันสั้น และยังช่วยให้ผู้ใช้งานที่ไม่ชำนาญการใช้งานโปรแกรม CAD สามารถสร้างออกแบบผลิตภัณฑ์เชิงแนวคิดได้



รูปที่ 2.32 ตัวอย่างฟีทเจอร์ชิ้นส่วนเตียงนอนและชิ้นส่วนโมดุล [11]

ที่มา : http://www.tci-thaijo.org/index.php/kmutnb-journal/article/viewFile/3560/3164



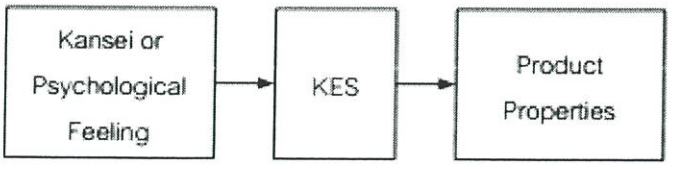
รูปที่ 2.33 ตัวอย่างแบบจำลองผลิตภัณฑ์เชิงแนวคิดจากระบบพาราเมตริกฟีทเจอร์เบส [11]

ที่มา : http://www.tci-thaijo.org/index.php/kmutnb-journal/article/viewFile/3560/3164

วิศวกรรมคันไช ถูกคิดค้นขึ้น ในปี ค.ศ.1970 โดย Mitsuo Nagamachi มหาวิทยาลัยฮิโรชิมา ประเทศญี่ปุ่น คำว่า คันไช (Kansei) เป็นคำภาษาญี่ปุ่นซึ่งหมายถึง การแสดงความรู้สึกในมุมมองต่าง ๆ เฉพาะบุคคลที่มีต่อสิ่งใดๆ สภาพแวดล้อม หรือเหตุการณ์ โดยใช้ประสาทสัมผัสทางสายตา การได้ยิน ความรู้สึก การได้กลิ่น หรือรสชาติ (Nagamachi, 2001) [12]

ที่มา : Schütte, S., Engineering Emotional Values in Product Design – Kansei Engineering in Development, Ph.D. Thesis, Linköpings Universitet, Linköping, Sweden, 2005.

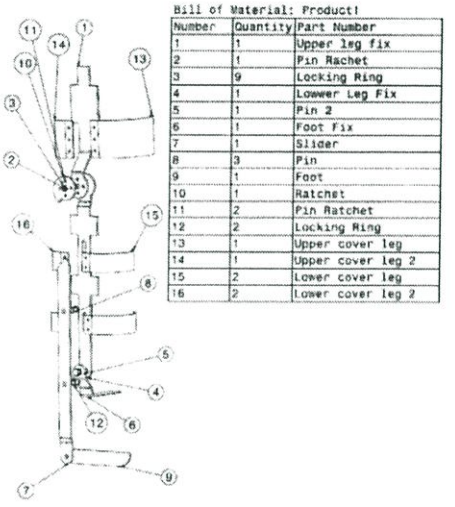
กุศล พิมาพันธุ์ศร [12] วิศวกรรมคันไช ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างทั้งในเชิงงานวิจัยและ ในเชิงปฏิบัติ ซึ่งมีการศึกษาและมีเอกสารตีพิมพ์อย่างแพร่หลายทั้งในประเทศญี่ปุ่นและประเทศแถบยุโรป ยกตัวอย่างเช่น รถยนต์ Mazda MX-5 ผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์กระเป๋า ผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ ผลิตภัณฑ์โทรศัพท์ เป็นต้น การประยุกต์ใช้วิศวกรรมคันไชนั้นเป็นวิธีการที่ดีสำหรับผู้ประกอบการที่ต้องการพัฒนาตนเองให้เป็นผู้รับจ้างออกแบบ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ประกอบการที่ต้องการสร้างตราสินค้าของตนเอง



รูปที่ 2.34 แผนภาพของระบบวิศวกรรมคันไช [12]

ที่มา : Schütte, S., Designing Feelings into Products: Integrating Kansei Engineering Methodology in Product Development, Dissertation, Linköpings Universitet, Linköping, Sweden, 2002

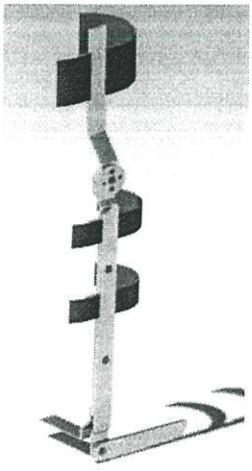
เกรียงไกร มีลาภและคณะ,2011 [15] ได้ออกแบบกลไกป้องกันการงอเข่าขณะเดินสำหรับผู้สูงอายุที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง จัดทำขึ้นเพื่อลดอันตรายที่เกิดจากการล้มเนื่องจากอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงในผู้สูงอายุโดยป้องกันการงอพับเข่าอย่างเฉียบพลันในช่วง Stance Phase บนระนาบแนวดิ่ง (Sagittal Plane) ขณะเดิน เพื่อให้ผู้สูงอายุเดินด้วยตนเองได้เป็นปกติและปลอดภัยมากยิ่งขึ้น จากการทดสอบกลไกที่สร้างขึ้นพบว่าเมื่อผู้ใช้กลไกเกิดอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงอย่างฉับพลันในจังหวะ Heel strike, Foot flat , Midstance, Heel off (ในช่วงก่อนการปลดล็อค) กลไกสามารถพยุงตัวผู้ใช้ไม่ให้ล้มได้โดยกลไกล็อคข้อเข่าไว้ที่มุม 15 องศาจากตำแหน่งเหยียดตรง และในจังหวะ Heel off ก่อนเข้าสู่ช่วง Swing phase กลไกปลดล็อคเมื่อเข่างอทำมุมในช่วง 13-15 องศาจากตำแหน่งเหยียดตรง และพบว่าวงจรการเดินของผู้ใช้มีความใกล้เคียงกับวงจรการเดินปกติ



Bill of Material: Product1

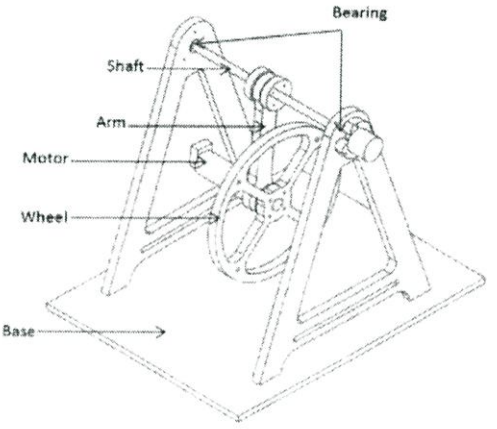
Number	Quantity	Part Number
1	1	Upper leg fix
2	1	Pin Rachet
3	9	Locking Ring
4	1	Lowwer Leg Fix
5	1	Pin 2
6	1	Foot Fix
7	1	Slider
8	3	Pin
9	1	Foot
10	1	Ratchet
11	2	Pin Ratchet
12	2	Locking Ring
13	1	Upper cover leg
14	1	Upper cover leg 2
15	2	Lower cover leg
16	2	Lower cover leg 2

รูปที่ 2.35 ชิ้นส่วนของกลไกและการจัดวางของกลไกก่อนการประกอบ [15]



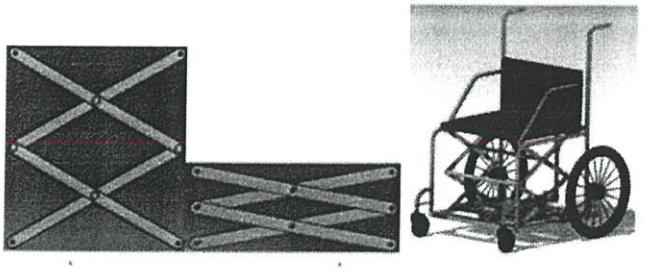
รูปที่ 2.36 กลไกต้นแบบหลังการประกอบ [15]

ควรขจร ควรเลี้ยงและคณะ,2011 [15] ได้ออกแบบระบบทางกลและระบบควบคุมของรีแอคชัน วีล เพนดูลัม เพื่อให้รีแอคชัน วีล เพนดูลัม สามารถทรงตัวในแนวตั้งได้ด้วยการควบคุมการหมุนของล้อขั้นตอนการออกแบบเริ่มจากการออกแบบระบบทางกลและสร้างรีแอคชัน วีล เพนดูลัม จากนั้นจึงศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยสมการลากรานจ์ หาค่าพารามิเตอร์ของสมการด้วยการทดลองและสุดท้ายจึงนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่หาได้มาออกแบบระบบควบคุมรีแอคชัน วีล เพนดูลัมให้สามารถทรงตัวในแนวตั้งได้โดยใช้ตัวควบคุมเชิงสัดส่วนบวกอนุพันธ์บวกอินทิกรัล (PID-Controller) เมื่อนำไปทดสอบความสามารถในการทรงตัวพบว่ารีแอคชัน วีล เพนดูลัมสามารถทรงตัวในแนวตั้งได้ดีและทนต่อการรบกวนจากภายนอกได้

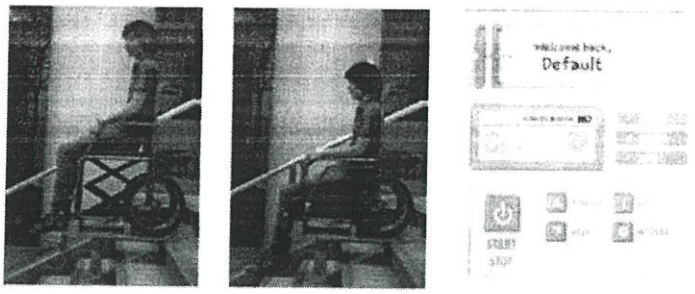


รูปที่ 2.37 ระบบทางกลของรีแอคชัน วีล เพนดูลัม [15]

สุทธิพงษ์ วงศ์ชวลิต,2011 [15] ได้ออกแบบและผลิตเก้าอี้รถเข็นให้มีกลไกในการปรับจุดศูนย์ถ่วงและสามารถใช้งานได้ทั้งในกรณีที่ใช้บนพื้นราบ และกรณีที่ใช้ขึ้นบันไดภายในเก้าอี้รถเข็นตัวเดียวกัน การพัฒนาเก้าอี้รถเข็นนั้น ใช้กลไกขากรรไกรจำนวน 2 ชุดเพื่อปรับลดจุดศูนย์ถ่วงให้ได้ตามเป้าประสงค์ของโครงการ โดยมีไฮดรอลิคเป็นอุปกรณ์ผ่อนแรง ทำให้ขณะใช้งานบนพื้นราบและกรณีที่ขึ้นบันได ผู้ใช้งานสามารถนั่งอยู่บนเก้าอี้รถเข็นได้ตลอดเวลา เมื่อนำเก้าอี้รถเข็นที่ได้ผลิตมาทดสอบพบว่าสามารถลดระดับเก้าอี้ได้ 28.8 เซนติเมตร ซึ่งคลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบไว้เล็กน้อย และเมื่อทดสอบเก้าอี้รถเข็นโดยเอียงทำมุม 30 องศากับแนวระดับพบว่าที่ระดับความสูงปกติรถเข็นเกิดการพลิกคว่ำ แต่เมื่อลดระดับเก้าอี้แล้วทำให้รถเข็นไม่พลิกคว่ำ อีกทั้งเมื่อวัดอัตราการเต้นของหัวใจของผู้ร่วมทดสอบขณะที่ขึ้น-ลงบันได พบว่าที่เก้าอี้ตำแหน่งต่ำสุด มีแนวโน้มอัตราการเต้นของหัวใจต่ำกว่าตำแหน่งสูงสุด

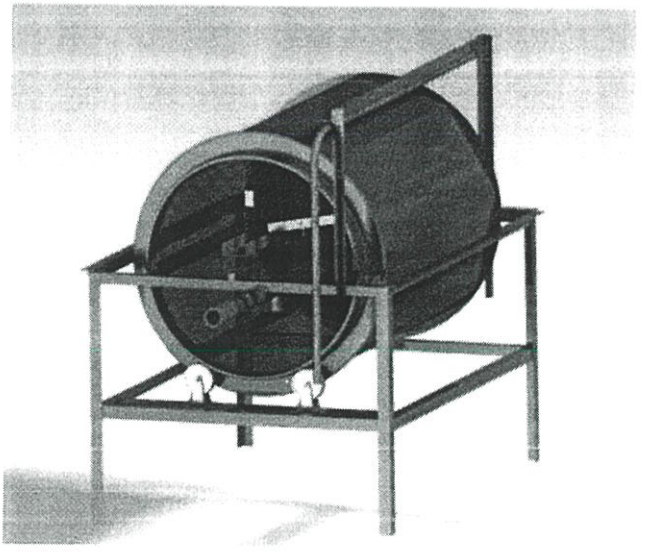


รูปที่ 2.38 กลไกแบบขากรรไกรที่ใช้ในการปรับจุดศูนย์ถ่วง [15]



รูปที่ 2.39 การจำลองการขึ้น-ลงบันไดที่ตำแหน่งเก้าอี้สูงสุดและต่ำสุด
และจอแสดงผลโปรแกรมวัดอัตราการเต้นของหัวใจ [15]

กฤติมา สันติวัฒนาและคณะ,2011 [15] ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องกรองสาหร่ายสไปรูลินาเพราะการเก็บเกี่ยวสาหร่ายได้รวดเร็วและมีปริมาณมากจะส่งผลดีต่อคุณภาพและอัตราการผลิตสาหร่ายสไปรูลินา โดยการออกแบบเครื่องกรองสาหร่ายสไปรูลินาให้ได้ผลผลิตที่ดีขึ้น และลดเวลาในการทำงาน โดยอาศัยข้อมูลในการออกแบบจากการทดลองหาคุณสมบัติของสาหร่าย ประกอบกับการออกแบบตามหลักวิศวกรรม ทั้งการคำนวณและการทดลองจนกระทั่งสร้างเครื่องต้นแบบ และนำมาทดสอบกรองสาหร่าย ซึ่งแสดงประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง ว่าสามารถผลิตได้และใช้งานได้จริง และยังเห็นปัญหาต่างๆที่จำเป็นต้องนำไปปรับปรุงในภายหลังเพื่อให้ได้เครื่องที่สมบูรณ์แบบที่สุด



รูปที่ 2.40 เครื่องกรองสาหร่ายสไปรูลิน่าที่ได้จากการออกแบบ [15]

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

ในขั้นตอนการทำโครงการนี้สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานได้เป็น 3 ส่วนหลักๆประกอบด้วย 1) การศึกษาทฤษฎีต่างๆในการพัฒนาเกี่ยวกับตัวเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ 2) การสร้างเครื่องตามแนวคิดที่ได้จากการศึกษาทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง และ 3) การเก็บผลทดลองที่ได้จากการสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติเพื่อพิสูจน์แนวคิด

3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เป็นการศึกษาทฤษฎีเพื่อหาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงและการสร้างเครื่องกวาดพื้น ซึ่งจากการศึกษาทฤษฎี USIT (Unified Structured Inventive Thinking) ได้มีการปรับปรุงการทำงานของสิ่งประดิษฐ์โดยอาศัยการแก้ไขความขัดแย้งที่เกิดขึ้นของสิ่งประดิษฐ์ โดยอาศัยเครื่องมือของทริส เช่น ตารางเมทริกซ์ความขัดแย้ง และหลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้น เป็นต้น ตัวอย่างเช่น Jim Kowalik [7] นักวิจัยแห่งสถาบัน Renaissance Leadership Institute ใช้ทฤษฎีทริสในการคิดค้น และนำเสนอรูปแบบของกระป๋องเครื่องดื่มที่แตกต่างกันสำหรับอุตสาหกรรมน้ำดื่มในสหรัฐอเมริกา ได้ถึงกว่า 20 แบบ และมีหลายรูปแบบที่ปัจจุบันได้ถูกนำมาใช้งานจริงแล้ว โดยกระป๋องน้ำอัดลมต้องการใช้วัสดุให้น้อย เพื่อให้เบาและลดต้นทุน ในขณะเดียวกันก็ต้องการให้มีความแข็งแรง ไม่แตกง่าย ด้านทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักรกลเป็นการใช้ทฤษฎีเพื่อใช้ในการออกแบบและการเลือกชิ้นส่วนที่นำมาประกอบเป็นกลไกของตัวเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติโดยที่ดูคุณสมบัติและขนาดของชิ้นส่วนเพื่อนำมาใช้ให้ตรงกับความต้องการ ทฤษฎีการออกแบบผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบเสมือนเป็นปัจจัยเสริมสร้างงานออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความสมบูรณ์เป็นที่พอใจของผู้ใช้ โดยได้นำทฤษฎีนี้มาใช้เพื่อในการออกแบบรูปทรงของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติให้มีรูปลักษณ์ที่สวยงาม

3.2 แก้ปัญหาโดยใช้ยูซิส (USIT: Unified Structured Inventive Thinking)

ยูซิสนั้นถือได้ว่าเป็นทริสยุคใหม่ (Contemporary TRIZ) ที่ปรับปรุงมาจากทริสและมีความสัมพันธ์กับทริสอย่างมาก ความหมายและรายละเอียดของขั้นตอนต่างๆคือ

3.2.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา

เป็นกระบวนการการเปลี่ยนปัญหาที่ต้องการแก้ให้เป็นปัญหารูปธรรมที่ชัดเจนสามารถนิยามได้อย่างเหมาะสม โดยได้ข้อสรุปว่า จะทำการปรับให้หัวแปรงให้สามารถหมุนแบบอิสระได้แม้ว่าเครื่องจะหยุดเคลื่อนที่ก็ตามในเบื้องต้น เพื่อให้สามารถถอยหลังได้โดยไม่เกิดปัญหาแปรงหมุนกลับทิศจนปัดเศษขยะออกไปจากตัวเครื่องเครื่องกวาดขยะที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไปในส่วนของแปรงหน้าจะไม่สามารถหมุนอย่างอิสระหลังจากระบบส่งกำลังของเครื่องหยุดทำงานได้ ส่งผลทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและทำให้เครื่องหยุดทำงานทันทีที่เครื่องหยุดเคลื่อนที่ ซึ่งอาจส่งผลให้ขยะไม่ถูกตักเข้าไปในเครื่องและติดอยู่ที่ส่วนของแปรงได้ ต่อมาจะทำการย้ายล้อหน้าที่ติดตั้งอยู่หน้าเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ จากเดิมที่ติดตั้งอยู่บริเวณตรงกลางหน้าเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ ซึ่งขวางทางเข้าของขยะที่ทำการเก็บ

3.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา

หลังจากได้ปัญหารูปธรรมที่นิยามได้อย่างเหมาะสมยูซิสได้นำเครื่องมือของทริสมาใช้งาน คือ ตารางเมทริกซ์ความขัดแย้ง โดยในตารางเมทริกซ์ความขัดแย้งของทริส จะไม่มีคุณสมบัติเรื่องการเพิ่มกลไกโดยตรง ซึ่งอาจเลือกจับคู่ความขัดแย้งที่ใกล้เคียงกับการเพิ่มกลไกในการทำให้หัวแปรงหมุนแบบอิสระได้ คือ พลังงานที่ใช้ไปโดยวัตถุซึ่งเคลื่อนที่ ความสะดวกในการใช้งาน และความซับซ้อนของอุปกรณ์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการปรับปรุงให้ดีขึ้น กล่าวคือ การเพิ่มกลไกในการทำให้หัวแปรงหมุนแบบอิสระแต่จะเกิดปัญหากับคุณสมบัติที่ว่าด้วยความสามารถที่จะซ่อมแซมได้ กล่าวคือ ความสามารถในการซ่อมแซมได้จะด้อยลง ต่อมาในตารางเมทริกซ์ความขัดแย้งของทริส จะไม่มีคุณสมบัติเรื่องการย้ายล้อหน้า ซึ่งอาจเลือกจับคู่ความขัดแย้งที่ใกล้เคียงกับการย้ายล้อหน้า คือ รูปร่าง ความสะดวกในการใช้งาน และความซับซ้อนของอุปกรณ์ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการปรับปรุงให้ดีขึ้น ซึ่งการย้ายล้อหน้าจะเกิดปัญหากับคุณสมบัติที่ว่าด้วยความสามารถที่จะซ่อมแซมได้ กล่าวคือ ความสามารถในการซ่อมแซมได้จะด้อยลง เมื่อจับคู่ความขัดแย้งเป็นคู่ๆแล้วหาจุดตัดในตารางเมทริกซ์ความขัดแย้ง ต่อจากนั้นจึงนำจุดตัดในตารางเมทริกซ์ความขัดแย้งดังตารางที่ 3.1 ไปหาหลักการในการแก้ปัญหาต่อไป

ตารางที่ 3.1 ตารางแมทริกซ์ความขัดแย้ง

ลำดับที่	หลักการ (principle)
1	น้ำหนักของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่
2	น้ำหนักของวัตถุซึ่งไม่เคลื่อนที่
3	ความยาวของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่
4	ความยาวของวัตถุซึ่งไม่เคลื่อนที่
5	พื้นที่ของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่
6	พื้นที่ของวัตถุซึ่งไม่เคลื่อนที่
7	ปริมาตรของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่
8	ปริมาตรของวัตถุซึ่งไม่เคลื่อนที่
9	ความเร็ว
10	แรง
11	แรงดึง แรงดัน
12	รูปร่าง
13	เสถียรภาพของวัตถุ
14	ความแข็งแรง
15	ความทนทานของวัตถุซึ่งเคลื่อนที่
16	ความทนทานของวัตถุซึ่งไม่เคลื่อนที่
17	อุณหภูมิ
18	ความสว่าง
19	พลังงานที่ใช้ไปโดยวัตถุซึ่งเคลื่อนที่
20	พลังงานที่ใช้ไปโดยวัตถุซึ่งไม่เคลื่อนที่
21	กำลัง
22	การสูญเสียไปของพลังงาน
23	การสูญเสียไปของสสาร
24	การสูญเสียไปของข้อมูล
25	การสูญเสียไปของเวลา
26	จำนวนของสสาร
27	ความน่าเชื่อถือ
28	ความแม่นยำของการวัด
29	ความแม่นยำของการผลิต
30	ปัจจัยอันตรายซึ่งกระทำต่อวัตถุ
31	ปัจจัยอันตรายที่ตามมา
32	ความสามารถในการผลิต
33	ความสะดวกในการใช้
34	ความสะดวกในการเก็บรักษา
35	ความสามารถในการปรับตัวได้
36	ความซับซ้อนของอุปกรณ์
37	ความซับซ้อนของการควบคุม
38	ระดับของความอัตโนมัติ
39	ผลิตภาพ

3.2.3 ขั้นตอนการสร้างความคิดและหามาตรการแก้ปัญหา

ยูซิสได้นำเครื่องมือและฐานความรู้ของทริสมาใช้ ทีมงานจึงนำเครื่องมือของทริส คือ หลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้นดังตารางที่ 3.2 โดยนำจุดตัดในตารางเมทริกซ์ความขัดแย้งไปหาหลักการในการแก้ปัญหาซึ่งหลักการที่ได้คือ หลักการข้อที่ หนึ่ง จะพบว่าเป็นหลักการเกี่ยวกับเรื่องการแบ่งส่วน กล่าวคือ เป็นการแยกระบบออกเป็นส่วนๆโดยออกแบบระบบให้ชิ้นส่วนต่างๆ สามารถประกอบเข้าเป็นหน่วยเดียวกันหรือแยกออกเป็นชิ้นๆได้ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบง่ายต่อการผลิต เกิดความราบรื่นของระบบ ง่ายต่อการถอดบำรุงรักษาและเคลื่อนย้ายระบบยังรวมถึงการแยกในระดับโมเลกุลและอะตอมด้วย จึงได้นำไปปรับปรุงการแบ่งส่วนกลไกของหัวแปรง และย้ายล้อหน้าของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ แต่ยังรักษาความสามารถที่จะซ่อมแซมได้โดยการออกแบบกลไกที่ง่ายต่อการซ่อมแซม

ตารางที่ 3.2 หลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้น

	หลักการ 40 ข้อในเชิงประดิษฐ์คิดค้น
ลำดับที่	หลักการ (principle)
1	แบ่งส่วน (segmentation)
2	สกัดออก (extraction)
3	ลักษณะเฉพาะ (local quality)
4	ไม่สมมาตร (asymmetry)
5	รวมกัน (consolidation)
6	อเนกประสงค์ (universality)
7	ซ้อนกัน (nesting)
8	คานน้ำหนัก (counterweight)
9	กระทำการต้านทานก่อน (prior counter-action)
10	กระทำก่อน (prior action)
11	ป้องกันไว้ก่อน (cushion in advance)
12	ศักย์เท่ากัน (equipotentiality)
13	ทำกลับทาง (do it in reverse)
14	ทรงกลม (spheroidality)
15	พลวัต (dynamicity)
16	กระทำบางส่วนหรือมากกว่า (partial or excessive action)
17	แปลงสู่มิติใหม่ (transition into a new dimension)
18	สั่นเชิงกล (mechanical vibration)
19	กระทำเป็นจังหวะ (periodic action)
20	กระทำต่อเนื่องที่เป็นประโยชน์ (continuity of useful action)
21	กระทำอย่างว่องไว (rushing through)
22	เปลี่ยนวิกฤติให้เป็นโอกาส (convert harm into benefit)
23	ป้อนกลับ (feedback)
24	ตัวกลาง (mediator)
25	บริการตัวเอง (self service)
26	เลียนแบบ (copying)
27	ใช้แล้วทิ้ง (dispose)
28	แทนระบบเชิงกล (replacement of mechanic system)
29	ใช้ระบบนิวเมติกหรือไฮดรอลิค (pneumatic or hydraulic construction)
30	เยื่อยืดหยุ่นหรือฟิล์มบาง (flexible membranes or thin films)
31	วัสดุรูพรุน (porous material)
32	เปลี่ยนสี (changing of color)
33	เนื้อเดียว (homogeneity)
34	ใช้ชิ้นส่วนที่สลายเกิดใหม่ (rejecting and regenerating part)
35	เปลี่ยนลักษณะสมบัติ (transformation of the properties)
36	แปลงสถานะ (phase transition)
37	ขยายตัวด้วยความร้อน (thermal expansion)
38	เติมอากาศอย่างรวดเร็ว (accelerated oxidation)
39	สภาพแวดล้อมเฉื่อย (inert environment)
40	วัสดุคอมโพสิท (composite materials)

3.2.4 ขั้นตอนการทำให้เป็นจริง

หลังจากที่ได้แนวคิดหรือมาตรการการแก้ปัญหาจากขั้นตอนของยูซิสแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการออกแบบ และสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติต้นแบบที่ได้ปรับปรุงแล้ว เพื่อให้เกิดเป็นจริงขึ้นมา ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาของทริส

3.3 ออกแบบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

เป็นการออกแบบลักษณะของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติหลังจากที่แก้ปัญหาโดยใช้ยูซิส และทราบขนาดของตัวเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติที่ต้องการสร้างเรียบร้อยแล้ว โดยต้องคำนึงถึงโครงสร้างที่เป็นไปได้ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้เป็นโครงสร้างของตัวเครื่อง โดยจะใช้เหล็กเป็นตัวโครงหลัก และใช้เหล็กแผ่นบางเป็นตัวครอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติเพื่อเป็นการเก็บงานให้เรียบร้อย ซึ่งส่วนที่สำคัญของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติที่ผ่านการปรับปรุงแล้วคือ กลไกการเคลื่อนที่ของหัวแปรง ในส่วนนี้จะใช้เหล็กเพลา พูลเลย์ ตลับลูกปืน ตลับลูกปืนทางเดียว สายพานในการสร้างกลไกขึ้นมา และใช้แผ่นเหล็กบางครอบด้านบนอีกครั้งหนึ่ง สำหรับขั้นตอนการออกแบบเครื่องกวาดพื้นนี้จะต้องทำด้วยความรอบคอบเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในระหว่างการสร้างต่อไป

โดยในการหาความยาวสายพานเราสามารถประมาณหาได้จากสูตร (2.5)

$$L = [\,4C^2 - (D+d)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(D+d)\theta$$

และทำให้สามารถคำนวณหาอัตราทดของพูลเลย์ได้จากสูตร (2.12), (2.13), (2.14) ตามลำดับ

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

$$i = \frac{d_2}{d_1}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

โดยในส่วนอุปกรณ์หลักที่จะใช้นี้จะแบ่งได้เป็นสองส่วนใหญ่ คือ

1) ตัวเครื่องภายนอก

1.1) แผ่นเหล็กสำหรับทำ กล่องเก็บ ฝาครอบและโครงเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

กล่องเก็บเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการกักเก็บเศษขยะ ฝาครอบเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ป้องกันเศษขยะหรือฝุ่นละอองในขณะที่ทำการกวาดขยะนั้นและยังเป็นอุปกรณ์ตกแต่งให้กับตัวเครื่อง โครงเครื่องกวาดขยะ เป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ติดตั้งกลไกต่าง และเป็นส่วนที่ต้องรองรับน้ำหนักจากส่วนต่างๆที่ทำการติดตั้งกลไก ดังนั้น กล่องเก็บ ฝาครอบจะใช้เหล็กที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร และโครงเครื่องกวาดขยะนั้น จะใช้เหล็กที่มีความหนา 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงพอที่จะรองรับน้ำหนักต่างๆได้

1.2) ที่จับสำหรับเข็นตัวเครื่อง

ที่จับสำหรับตัวเครื่อง เป็นส่วนที่ไว้ขับเคลื่อนตัวเครื่องกวาดขยะซึ่งด้ามจับจะเป็นเหล็กกลวงรูปตัวยู น้ำหนักเบาและยังสามารถปรับเอียงองศาตามระดับความสูงของผู้ใช้งานได้

1.3) ล้อหลักและ ล้อเสริมขนาดเล็ก

ล้อหลัก จะทำหน้าที่เป็นส่วนขับเคลื่อนตัวเครื่องกวาดขยะไปข้างหน้า และล้อเสริมขนาดเล็ก ทำหน้าที่ในการปรับระดับปลายขนแปรงของแปรงจานกลม และแปรงทรงกระบอกให้อยู่ในแนวระดับที่เหมาะกับพื้นผิวที่ทำการกวาดขยะ ดังนั้นล้อหลักที่ใช้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว แบบยาง ที่มีแรงเสียดทานกับพื้นผิว และ ล้อเสริมขนาดเล็ก จะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ที่มีลักษณะเป็นล้อเหล็กรางเลื่อนที่ใช้ในงานที่ทำรางเลื่อนของตู้เฟอร์นิเจอร์

1.4) แปรงจานกลม 2 ตัว และ แปรงทรงกระบอก 1 ตัว

แปรงจานกลม เป็นส่วนที่ปัดกวาดขยะเข้าสู่ระยะตรงกลางของตัวเครื่องกวาดขยะ และแปรงทรงกระบอก จะทำหน้าที่เป็นส่วนที่ส่งขยะเข้าสู่กล่องเก็บขยะ ในส่วนนี้หน้าแปลนของแปรงจานกลม และแปรงจานทรงกระบอก จะทำมาจากโพลีโพพีลีน ที่มีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงกัดกร่อน และขนแปรง จะใช้ขนไนล่อน 6.6 ที่สามารถใช้ได้ทั้งลักษณะงานที่เปียกหรือ แห้ง มีความยืดหยุ่นตัวสูง ป้องกันการกัดกร่อนได้ดี ทนความร้อนได้ดีกว่าไนล่อนเกรด 6

2) กลไก

2.1) เพลา

เป็นส่วนที่ติดตั้งกลไกต่างๆ และส่งกำลังให้ส่วนกลไกทั้งหมด ในส่วนนี้จะเกิดความเสียหายได้มากที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกชนิดของเหล็กเพลาที่นำมาใช้งาน เพื่อให้รับแรงกระทำต่างๆที่เกิดขึ้นได้ โดยในส่วนนี้จะใช้เหล็กเพลาขาว ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แม่นยำกว่า มีคุณสมบัติทางกลที่ดี และความเรียบของผิวที่ดี

2.2) พูลเลย์หลักและ พูลเลย์ฝังลูกปืนขนาด 2 นิ้ว

พูลเลย์หลัก ในส่วนนี้จะทำหน้าที่รับแรงในส่วนเพลาที่เกิดจากการที่ล้อหมุนเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แล้วส่งต่อไปให้พูลเลย์ ของแปรงทั้งสองส่วนนั้นทำงานและพูลเลย์ฝังลูกปืนนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการหมุนของแปรงจานกลม แปรงทรงกระบอก และยังปรับระดับสายพานให้อยู่ในแนวระนาบและตึงเพื่อไม่ให้เกิดการปลิ้นในขณะที่ทำการใช้งาน ดังนั้นการเลือกเหล็กมาทำพูลเลย์นั้น จึงใช้เหล็กเพลาขาว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่แม่นยำกว่า มีคุณสบัติทางกลที่ดี และความเรียบของผิวที่ดี

2.3) ตลับลูกปืน และ ตลับลูกปืนทางเดียว

ตลับลูกปืน มีหน้าที่เป็นส่วนช่วยให้เพลาสามารถหมุนได้คล่อง ไม่เสียดสีกับโครงของตัวเครื่องในขณะที่ใช้งาน ส่วนตลับลูกปืนทางเดียว มีหน้าที่บังคับทิศทางไปในทิศทางเดียวตามที่ต้องการ ซึ่งจะนำมาใช้กับพูลเลย์ที่ของแปรงทั้งสองเพื่อให้ตัวแปรงสามารถทำงานได้เฉพาะเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการเท่านั้น ดังนั้นการเลือกใช้ตลับลูกปืนจะต้องใช้ในส่วนกลไกต่างๆของตัวเครื่องทั้งหมด ส่วนตลับลูกปืนทางเดียวจะใช้ร่วมกับพูลเลย์ของแปรงทั้งสอง

2.4) สายพานกลม

สายพานกลม ทำหน้าที่เป็นตัวรับและส่งกำลังจากกลไกในส่วนของพูลเลย์ทั้งหมด ดังนั้นจะใช้สายพานกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ซึ่งมีคุณสบัติในการบิดตัว โค้งงอ ในการขับเคลื่อนกลไกต่างๆ และสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของพูลเลย์โดยการบิดสายพานกลมในทิศทางที่ต้องการได้

3.4 การสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

หลังจากออกแบบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติเรียบร้อยแล้ว จะมาถึงขั้นตอนการสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ใช้ความประณีต รวมถึงทักษะในการใช้เครื่องมือต่างๆ พร้อมทั้งจำเป็นต้องจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ให้เรียบร้อย ในเบื้องต้นจะใช้ พูลเลย์ เป็นส่วนรับและส่งกำลังต่อจากล้อโดยจะรับแรงที่เกิดจากการหมุนของล้อแล้วพูลเลย์ตัวนี้จะส่งกำลังต่อไปในส่วนสายพาน ซึ่งการที่เลือกใช้สายพานในการส่งกำลังเพราะเป็นชิ้นส่วนที่มีความยืดหยุ่นและโค้งงอได้ซึ่งสามารถส่งกำลังแทนพวกตัวส่งกำลังจำพวกเฟืองที่มีคุณสมบัติแข็งเกร็งจึงทำให้ออกแบบเครื่องจักรกลได้ง่ายและทำให้ลดต้นทุนได้อีกด้วย หลังจากนั้นสายพานจะส่งกำลังต่อไปให้พูลเลย์ตัวหน้าที่ทำการฝังตลับลูกปืนทางเดียวเพื่อให้ในส่วนของกลไกการหมุนของแปรงต่อไป โดยในส่วนอุปกรณ์หลักที่จะใช้นี้จะแบ่งได้เป็นสองส่วนใหญ่ คือ

1) ตัวเครื่องภายนอก

1.1) แผ่นเหล็กสำหรับทำ กล่องเก็บ ฝาครอบ โครงเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ โดยในกระบวนการทำเพื่อให้เป็นกล่องเก็บ ฝาครอบ และโครงเครื่องนั้น จะใช้เหล็กหนาขนาด 1.5 mm ใช้การตัดและพับเพื่อให้ได้รูปร่างตามที่ต้องการสำหรับเป็นโครงของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติก่อน แล้วจึงทำการใส่กลไกต่างๆ ลงในโครงของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติก่อน หลังจากนั้น จึงจะเริ่มทำส่วนกล่องเก็บ และฝาครอบของเครื่องต่อไปเพื่อให้ได้ขนาดและระยะที่แน่นอนสำหรับโครงเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติที่ได้วางส่วนกลไกทั้งหมดเสร็จแล้ว

1.2) ที่จับสำหรับเข็นเครื่อง ใช้นำมาประกอบเข้ากับตัวเครื่องหลังจากที่การประกอบในส่วนกลไกทั้งหมดเสร็จสิ้นแล้ว เพื่อรอนำไปทดสอบตัวเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

1.3) ล้อหลัก และ ล้อเสริมขนาดเล็ก นำมาประกอบระหว่างช่วงที่ประกอบกลไกเพื่อที่จะได้ทดสอบระบบกลไกส่วนใหญ่ว่าหลังจากที่ติดลงไปแล้วสามารถใช้ได้จริงหรือไม่ โดยล้อหลักจะทำหน้าที่ให้เครื่องเคลื่อนที่ไปด้านหน้าโดยต่อกับแกนเพลาส่วนท้ายของเครื่องเป็นตัวส่งกำลังทั้งหมดให้ระบบกลไกของเครื่อง ส่วนล้อเสริมขนาดเล็กจะทำหน้าที่ช่วยพยุงในส่วนหน้าของเครื่องไม่ให้ส่วนหน้าของเครื่องนั้นกระทบพื้นจนเกิดความฝืด ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง

1.4) แปรงจานกลม 2 ตัว และ แปรงทรงกระบอก 1 ตัว ในส่วนของแปรงจะนำมาติดหลังจากที่ติดส่วนกลไกทั้งหมดเสร็จแล้ว โดยแปรงจานกลมทั้ง 2 ตัวจะทำหน้าที่ปัดขยะที่อยู่ในระยะให้เข้ามาในส่วนตรงกลางของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ แล้วแปรงทรงกระบอกจะทำหน้าที่กวาดขยะส่งต่อเข้าไปในส่วนของกล่องเก็บของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

2) กลไก

2.1) เพลา ทำหน้าที่เป็นแกนที่วางในส่วนกลไกต่างๆและส่งกำลังให้ส่วนกลไกทั้งหมด

2.2) พูลเลย์หลัก และ พูลเลย์ฝังลูกปืนขนาด 2 นิ้ว ในส่วนของพูลเลย์หลักนั้นจะทำหน้าที่รับแรงในส่วนเพลาที่เกิดจากการที่ล้อหมุน แล้วส่งต่อไปให้พูลเลย์ส่วนของแปรงทรงกระบอก และและแปรงจานกลม เพื่อให้แปรงทั้งสองส่วนนั้นทำงาน ซึ่งในการรับและส่งแรงผ่านพูลเลย์นี้จะเป็นการส่งแรงผ่านสายพาน ในส่วนของพูลเลย์ฝังลูกปืนนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยปรับให้สายพานนั้นเกิดความตึงเพื่อให้การส่งแรงผ่านสายพานนั้นสามารถส่งแรงได้เต็มที่

2.3) ตลับลูกปืน และ ตลับลูกปืนทางเดียว เป็นตัวช่วยให้เพลาสามารถหมุนได้โดยลดความฝืดที่เกิดจากการเสียดสีกับโครงเครื่องลง จึงทำให้มีแรงเฉื่อยเกิดขึ้น และทำเกิดการหมุนอย่างอิสระขึ้นแม้ว่าเครื่องจะไม่มีต้นกำลังที่ส่งไปจากล้อแล้ว ในส่วนตลับลูกปืนทางเดียวนั้น จะนำมาใช้กับพูลเลย์ที่ให้กำลังกับแปรงทั้งสองส่วนเพื่อให้ตัวแปรงนั้นสามารถทำงานได้เฉพาะเวลาที่เครื่องเกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการเท่านั้น

2.4) สายพานกลม เป็นตัวกลางสำหรับรับและส่งกำลังสำหรับพูลเลย์ในส่วนกลไกทั้งหมดซึ่งจะต้องมีการคำนวณความยาวให้เหมาะสมก่อน เพื่อที่จะทำให้พูลเลย์นั้นสามารถสามารถรับและส่งกำลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยวิธีการใช้นั้นคือ นำมาตัดและทำการต่อด้วยการใช้ความร้อนซึ่งจะทำให้สายพานสามารถติดกันได้

3.5 ทดสอบและเก็บผลการทำงานของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

หลังจากทำการสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติสำเร็จจึงทำการทดสอบและเก็บผลเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องที่ความเร็วและขนาดของขยะที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆกัน บนพื้นราบเรียบโดยเก็บผลการทดลองโดยการกำหนดปริมาณขยะไว้บนพื้นที่มีด้านกว้างเท่ากับระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางแปรงหน้าทั้งสองข้างเป็นระยะทาง 5 เมตรแล้วจึงค่อยทำการทดลองเก็บขยะโดยนำผลที่เก็บได้เป็นมาหาเปอร์เซ็นต์ โดยเทียบกับน้ำหนักขยะในกล่องเก็บกับขยะที่เทเอาไว้ที่พื้นที่ทำการทดสอบ

3.5.1 การกวาดขยะเพื่อเก็บขยะบนพื้นที่มีความราบเรียบ

ในการทดสอบจะต้องควบคุมปริมาณของขยะบนพื้นเรียบ โดยควบคุมขนาดและปริมาณของขยะ โดยในขั้นตอนนี้ไม่ได้เก็บผลการทดสอบของเครื่องเป็นตัวเลข แต่เป็นการทดสอบว่าเครื่องนั้นจะสามารถเก็บขยะได้จริงหรือไม่ ซึ่งหากยังเก็บขยะไม่ได้ จะต้องตรวจดูว่ามีปัญหาเกิดขึ้นคืออะไร และหาวิธีแก้ไขปัญหาให้เครื่องนั้นสามารถทำงานได้โดยการแก้ปัญหานั้นอาจต้องมีการปรับแต่งเครื่องเพื่อให้ทำงานได้จริงตรงตามขอบเขตและเป้าหมายของงาน มิฉะนั้นจะไม่สามารถทำการเก็บผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องในขั้นตอนต่อไปได้

3.5.2 จัดเก็บผลทดสอบลงในตาราง

หลังจากการทดสอบว่าเครื่องสามารถเก็บขยะได้จริงแล้วจะมีการเก็บผลทดลองประสิทธิภาพของเครื่อง เพื่อให้เก็บข้อมูลได้สะดวกและเป็นระเบียบ โดยในตารางบันทึกผลการทดสอบจะต้องบันทึกค่าปริมาณขยะที่เก็บได้ในกล่องขยะ(%) แล้วนำมาเทียบกับปริมาณขยะที่เทในตอนแรกโดยเกณฑ์ในการหาปริมาณขยะนี้ใช้จากการเปรียบเทียบโดยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทดสอบเพื่อให้ง่ายต่อการหาปริมาณของวัสดุที่เหลืออยู่ในกล่องเนื่องจากการหาวัสดุโดยใช้ปริมาตรเป็นเกณฑ์นั้นไม่สามารถใช้วัดได้อย่างแน่นอนเนื่องจากมีช่องว่างของอากาศระหว่างวัสดุทำให้วัดปริมาณได้ไม่แน่นอน โดยการทดลองจะมีการเก็บผลสามครั้งเพื่อหาเฉลี่ยความเร็วที่ดีที่สุดในการใช้เครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ ดังนี้

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกผลการทดสอบการทำงานของเครื่องกวาดพื้นแบบไม่อัตโนมัติ

	ปริมาณที่เก็บได้							
	ถั่วแดง (กรัม)				ลูกปัด (กรัม)			
ความเร็ว	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
ปกติ								
เร็ว								

ปริมาณวัสดุแบบผสมที่เก็บได้ (กรัม)												
ครั้งที่	1			2			3			เฉลี่ย		
ความเร็ว	ถั่วแดง	ลูกปัด	ผสม	ถั่วแดง	ลูกปัด	ผสม	ถั่วแดง	ลูกปัด	ผสม	ถั่วแดง	ลูกปัด	ผสม
ปกติ												
เร็ว												

หมายเหตุ .....

เมื่อนำผลทดสอบการทำงานของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติทั้งบนพื้นราบเรียบ จะทำให้ทราบแนวโน้มการทำงาน และสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกวาดพื้นบนพื้นเรียบที่ความเร็วเครื่องและขนาดของขยะต่างๆได้ ว่าที่ความเร็วใด และขนาดขยะเท่าไร ทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีที่สุด และผลการทดลองสามารถบอกได้ว่าเครื่องนั้นมีปัญหาที่ส่วนใด เพื่อจะได้หาแนวทางในการปรับปรุงเครื่องนั้นต่อไปในอนาคต

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการปฏิบัติงานอย่างละเอียดในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อหาแนวคิดที่ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ ออกแบบและสร้างเครื่องกวาดพื้นแบบไม่อัตโนมัติ ตลอดจนวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ ดังนี้

4.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎียูซิสทำให้ทราบว่า มีการประยุกต์ใช้ทฤษฎียูซิสในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ในหลากหลายรูปแบบ ซึ่งหลักการที่ได้คือ หลักการข้อที่ หนึ่ง จะพบว่าเป็นหลักการเกี่ยวกับเรื่องการแบ่งส่วน กล่าวคือ เป็นการแยกระบบออกเป็นส่วนๆโดยออกแบบระบบให้ชิ้นส่วนต่างๆ สามารถประกอบเข้าเป็นหน่วยเดียวกันหรือแยกออกเป็นชิ้นๆได้ ทั้งนี้เพื่อให้ระบบง่ายต่อการผลิต เกิดความราบรื่นของระบบ ง่ายต่อการถอดบำรุงรักษาและเคลื่อนย้ายระบบยังรวมถึงการแยกในระดับโมเลกุลและอะตอมด้วย ทีมงานได้นำไปปรับปรุงการแบ่งส่วนกลไกของหัวแปรง และย้ายล้อหน้าของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ แต่ยังรักษาความสามารถที่จะซ่อมแซมได้โดยการออกแบบกลไกที่ง่ายต่อการซ่อมแซม จึงได้ออกแบบพัฒนาและสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติตามแนวทางการในการแก้ปัญหาตามหลักการ 40 ข้อของทริสดังตารางที่ 4.1 และทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติบนพื้นเรียบ

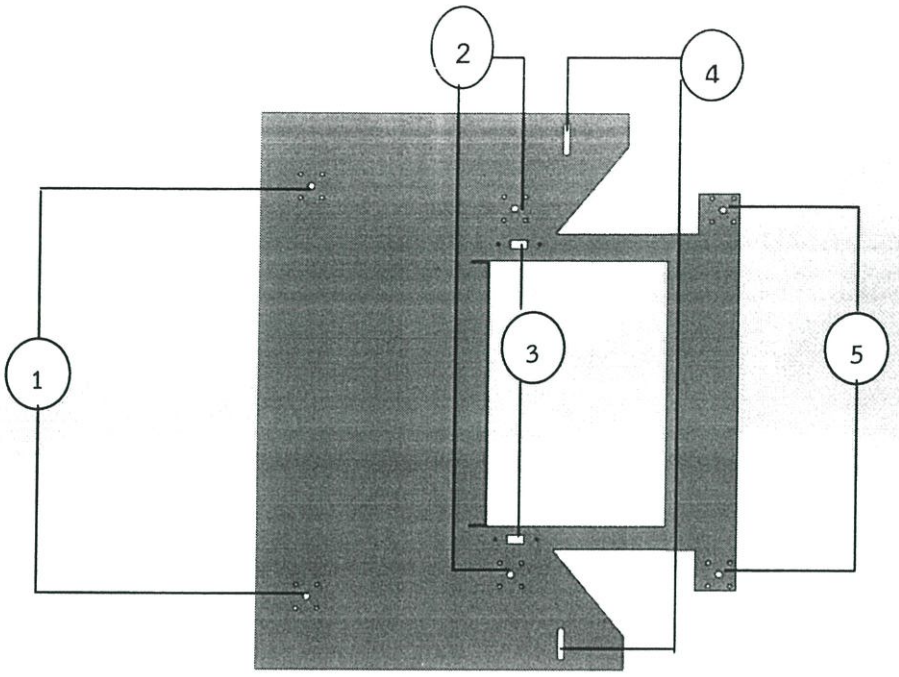
ตารางที่ 4.1 แนวทางในการแก้ปัญหาตามหลักการ 40 ข้อของทริส

1.หัวแปรงหมุนแบบอิสระ		ความสามารถที่จะซ่อมแซมได้ (34)		หลักการต่างๆจากเครื่องมือของ TRIZ ที่น่าจะนำมาใช้แก้ปัญหา			
พลังงานที่ใช้ไปโดยวัตถุซึ่งเคลื่อนที่(19)	จะเกิดความขัดแย้งเชิงเทคนิค	1	⇨	1	15	17	28
ความสะดวกในการใช้ (33)	⇨	1	⇨	1	12	26	32
ความซับซ้อนของอุปกรณ์ (36)		1	⇨	1	13		

2.ย้ายล้อหน้า		ความสามารถที่จะซ่อมแซมได้ (34)		หลักการต่างๆจากเครื่องมือของ TRIZ ที่น่าจะนำมาใช้แก้ปัญหา			
รูปร่าง (12)	จะเกิดความขัดแย้งเชิงเทคนิค	1	⇨	1	2	13	
ความสะดวกในการใช้ (33)	⇨	1	⇨	1	12	26	32
ความซับซ้อนของอุปกรณ์ (36)		1	⇨	1	13		

4.2 ออกแบบโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการออกแบบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติถูกออกแบบขึ้นมาในรูปแบบของตัวโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติจากเหล็กแผ่นหนา 1.5 มิลลิเมตร และแผ่นเหล็กมีการพับเพื่อให้ได้รูปทรงเป็นโครงสร้างตามที่ต้องการ โดยจะมีการเจาะรูบนแผ่นเหล็กนี้เพื่อนำอุปกรณ์ในด้านกลไกต่างๆมาประกอบเข้ากับตัวโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ โดยแต่ละรูจะมีอุปกรณ์หลักๆที่นำมาประกอบดังนี้



รูปที่ 4.1 แบบคลี่ของโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

จากรูปที่ 4.1 จะแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ส่วนต่างๆที่จะนำมาติดตั้งบนแผ่นคลี่ ดังนี้

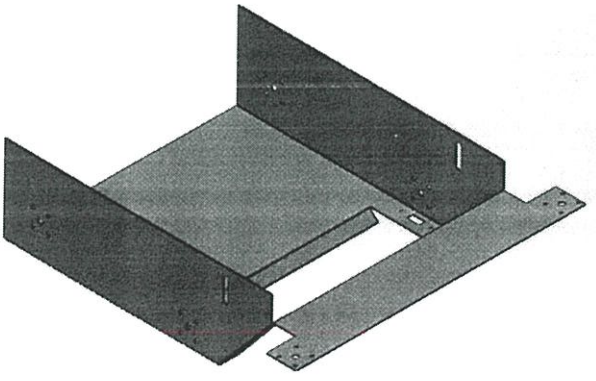
หมายเลข 1 เป็นส่วนที่ใส่เพลา ล้อหลักสำหรับขับเคลื่อน ตลับลูกปืน และพูลเลย์ขนาด 5 นิ้ว

หมายเลข 2 เป็นส่วนที่ใส่เพลา แปรงทรงกระบอก ตลับลูกปืน ตลับลูกปืนทางเดียว และพูลเลย์ขนาด 2 นิ้ว

หมายเลข 3 เป็นส่วนที่ใส่ล้อเสริมขนาดเล็ก เพื่อพยุงตัวหน้ารถไม่ให้โครงเครื่องกระบทบกับพื้น

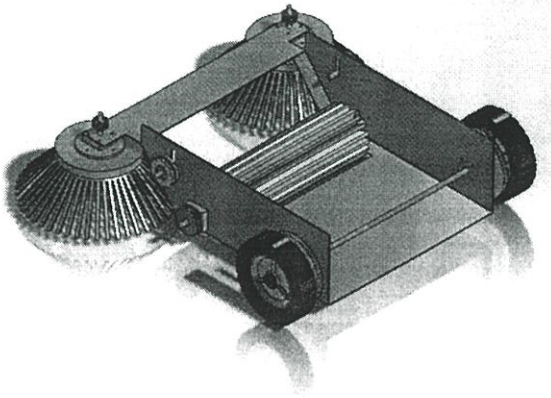
หมายเลข 4 เป็นส่วนที่ใส่พูลเลย์ฝังลูกปืนขนาด 2 นิ้วเพื่อปรับความตึงของสายพานในระบบกลไก

หมายเลข 5 เป็นส่วนที่ใส่เพลา แปรงจานกลม ตลับลูกปืน ตลับลูกปืนทางเดียว และพูลเลย์ขนาด 1 นิ้ว



รูปที่ 4.2 แสดงรูปโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติหลังผ่านกระบวนการพับ

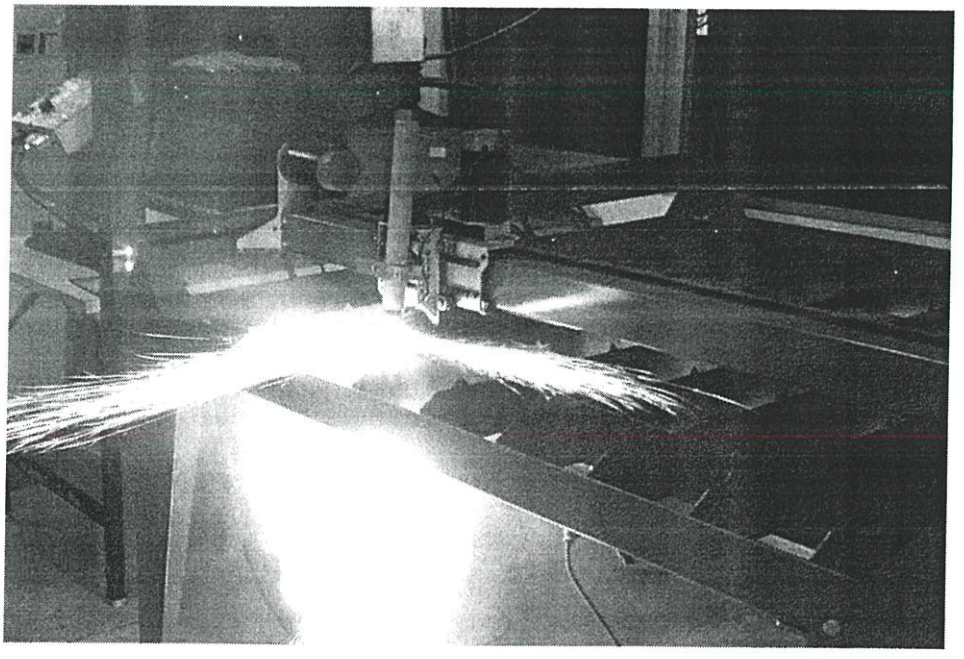
เมื่อทำการพับแผ่นเหล็กที่เป็นโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแล้วจะเริ่มทำการติดตั้งอุปกรณ์ส่วนกลไกต่างๆในตัวโครงสร้างที่ออกแบบไว้เบื้องต้นเพื่อตรวจดูระยะหลังจากที่ติดอุปกรณ์ไปแล้ว



รูปที่ 4.3 รูปโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติหลังจากติดอุปกรณ์ส่วนกลไกต่างๆแล้ว

4.3 การสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

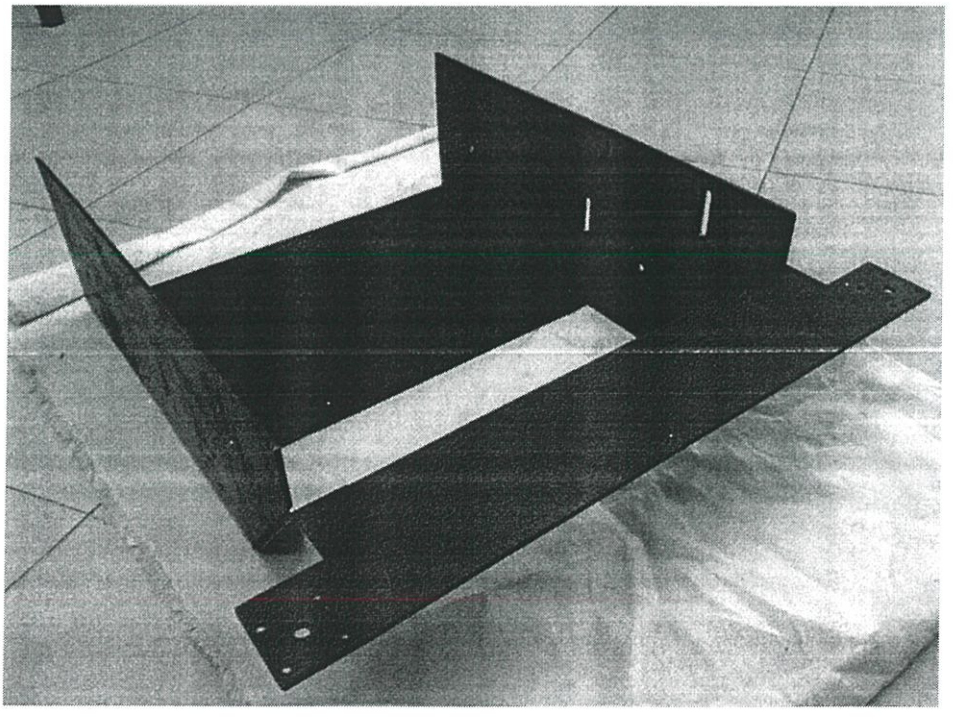
หลังจากการออกแบบโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติแล้วในโปรแกรมโซลิดเวิร์ค แล้วเราจะทำการตัดเหล็กแผ่นให้ได้ตามรูปร่างที่กำหนดไว้ในแบบ โดยการตัดและเจาะเหล็กแผ่นนี้จะใช้การตัดแบบพลาสมาโดยจะเป็นการนำแบบจากโซลิดเวิร์คไปสั่งโปรแกรมใช้ผ่านเครื่องตัดแบบพลาสมา ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การตัดเหล็กแผ่นโดยเครื่องตัดพลาสมา

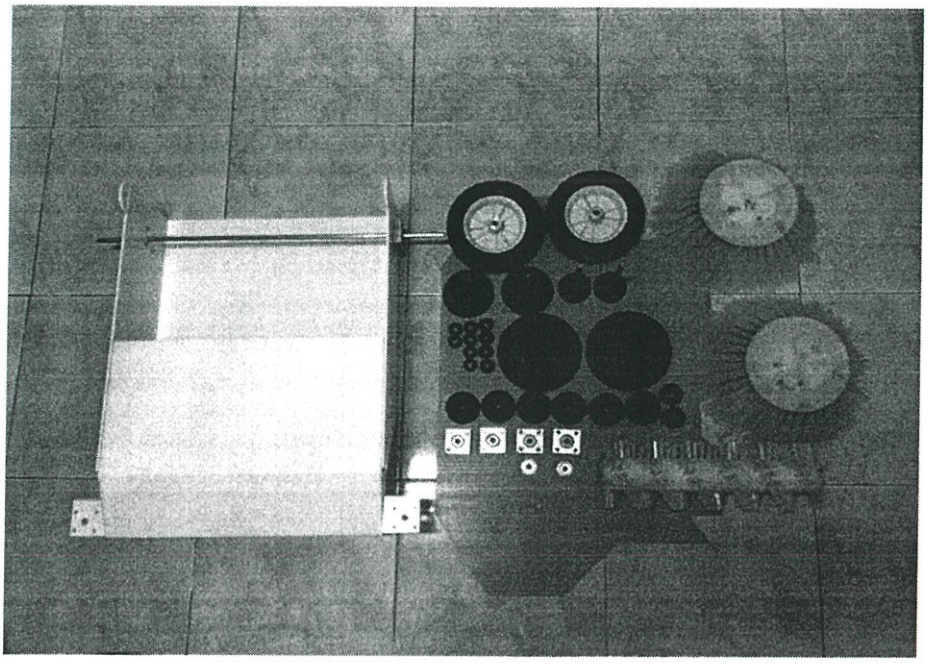
เมื่อได้เหล็กแผ่นจากการตัดโดยเครื่องตัดพลาสมาแล้ว จึงนำเหล็กแผ่นนี้ไปพับต่อในเครื่องพับตามแบบในโซลิดเวิร์ค

รูปที่ 4.5 การพับเหล็กแผ่นเป็นโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติตามแบบ



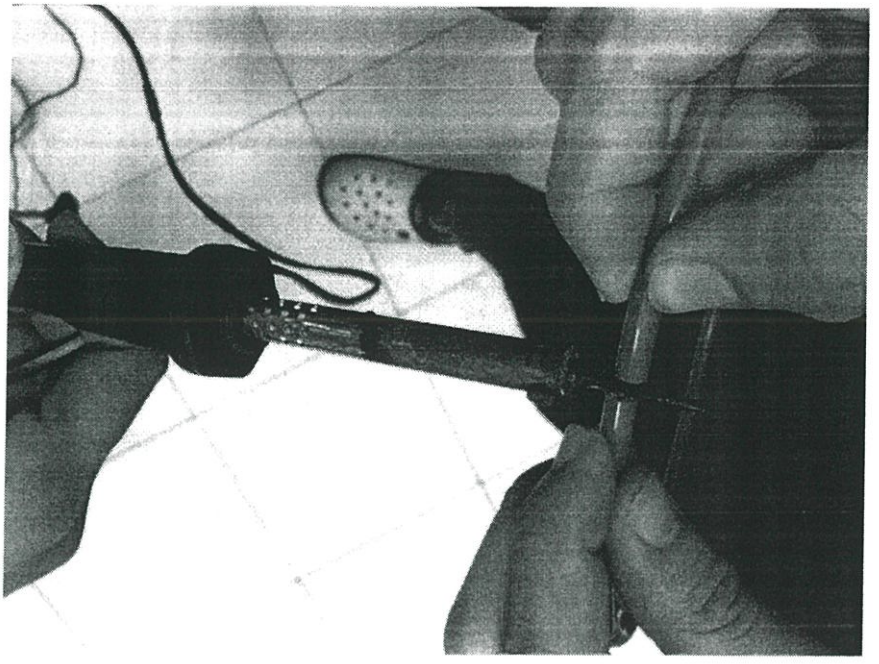
รูปที่ 4.6 รูปร่างโครงเครื่องหลังผ่านกระบวนการพับตามที่ออกแบบ

หลังจากนั้นเป็นการจัดหาอุปกรณ์ในส่วนกลไกต่างๆ กล่องเก็บและฝาครอบ แล้วจึงทำการพ่นสีของตัวโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติเพื่อรอประกอบ



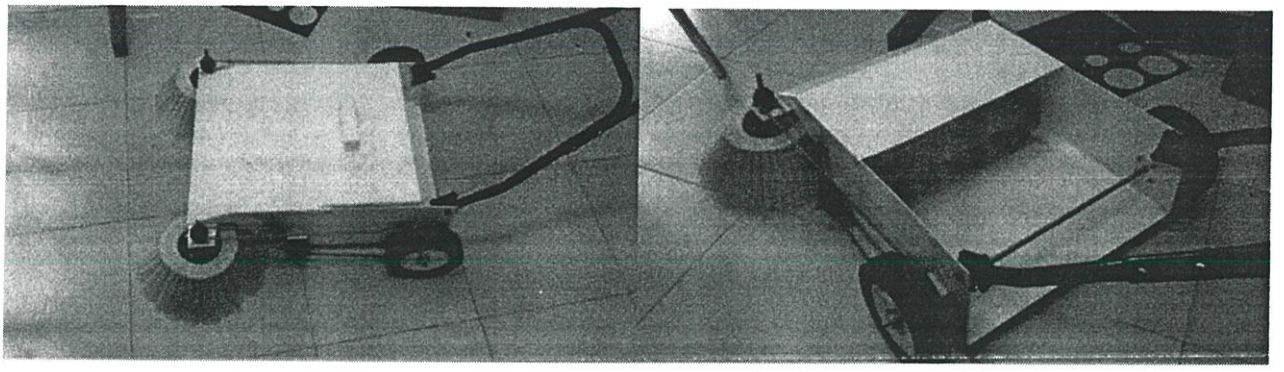
รูปที่ 4.7 อุปกรณ์ที่จะใช้ประกอบในส่วนกลไกต่างๆก่อนการประกอบลงไปตามตามจุดต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในโครงสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

โดยอุปกรณ์ต่างๆในส่วนกลไกต่างๆมีดังนี้คือ พูลเลย์ขนาด 5 นิ้ว 2 อันม พูลเลย์ขนาด 2 นิ้ว 2 อัน, พูลเลย์ขนาด 1 นิ้ว 2 อัน, พูลเลย์ฝังลูกปืน 2 ตัว, ตลับลูกปืนอลูมิเนียมขนาด 8 มิลลิเมตร 4 ตลับ, ตลับลูกปืนเข็มทางเดียว 4 ตลับ, เหล็กหน้าแปลนสำหรับแปรงจานกลม 2 แผ่น, เหล็กหน้าแปลนสำหรับแปรงทรงกระบอก 2 แผ่น, เพลาขนาด 2 หุนครึ่งความยาวรวมกัน 800 มิลลิเมตร 1 แท่ง



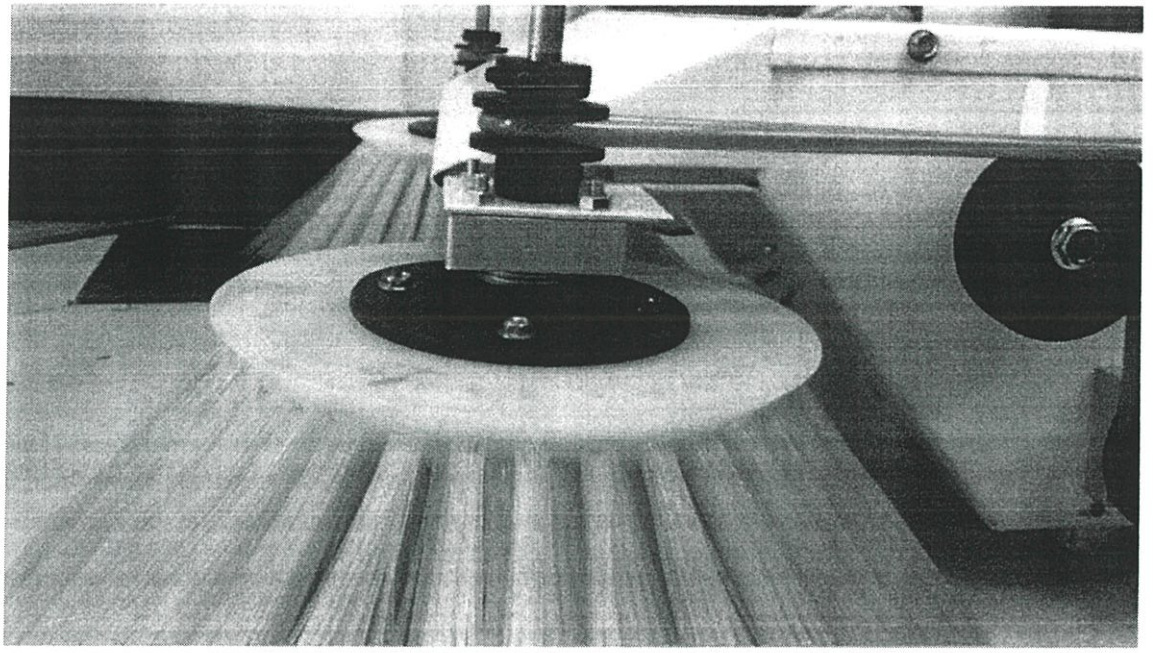
รูปที่ 4.8 การต่อสายพานโดยการใช้บัดกรีให้ความร้อนแก่สายพาน

หลังจากการต่อสายพานแล้วจะเป็นการประกอบเครื่องโดยติดตั้งอุปกรณ์ในส่วนกลไกทั้งหมดโดยอุปกรณ์ในส่วนกลไกจและส่วนที่จับและกล่องเก็บให้สมบูรณ์ตามจุดต่างๆที่ออกแบบไว้ในโซลิดเวิร์ค .



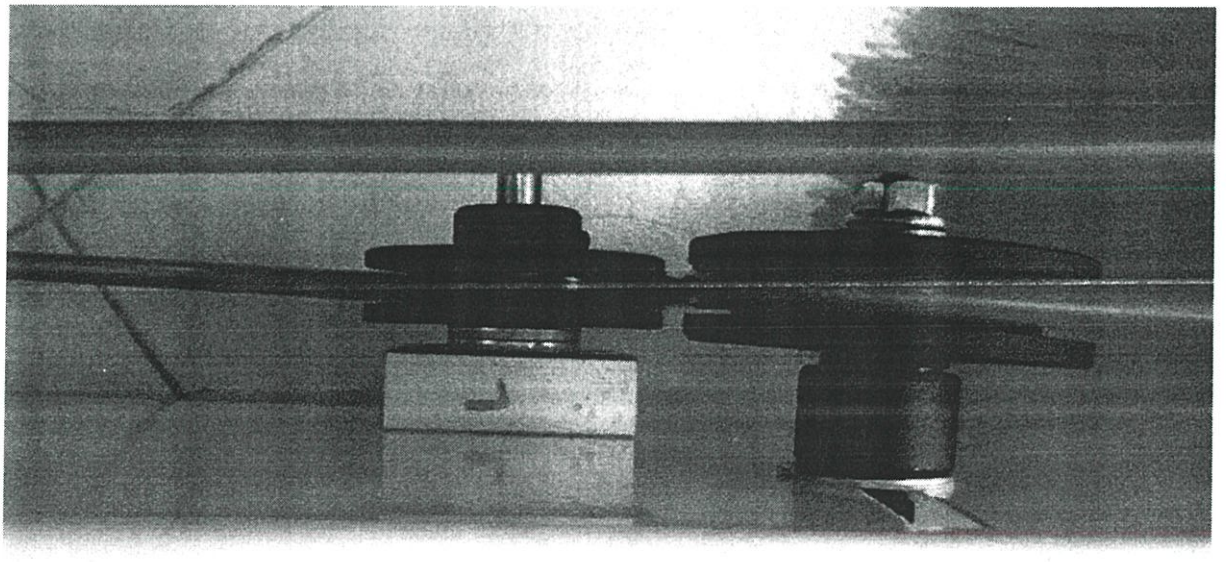
รูปที่ 4.9 รูปการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในส่วนกลไก และส่วนภายนอกทั้งหมด
ลงบนโครงสร้างของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติแล้ว

โดยในการประกอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติจะประกอบตามแบบที่ได้ออกแบบไว้แล้วในโซลิดเวิร์ค โดยจะมีลำดับการวางอุปกรณ์ในส่วนแปรงจานกลมและแปรงทรงกระบอกเป็นลำดับดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 รูปตำแหน่งและลำดับของอุปกรณ์ส่วนกลไกต่างๆของแปรงจานกลม

ในส่วนของแปรงจานกลมนั้นจะมีลำดับการวางอุปกรณ์จากล่างขึ้นบนดังนี้คือ แปรงจานกลม >เหล็กหน้าแปลน> แหวนรอง 2 วง> ตลับลูกปืนอลูมิเนียมขนาด 8 มิลลิเมตร>แหวนรอง>พูลเลย์ขนาด 1 นิ้วฝังลูกปืนเข็มทางเดียว>แท่นรอง โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะอยู่บนเพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 หุนครึ่งซึ่งเชื่อมติดกับเหล็กหน้าแปลนเพื่อทำหน้าที่หมุนแปรงจานกลมเมื่อกลไกเริ่มทำงาน

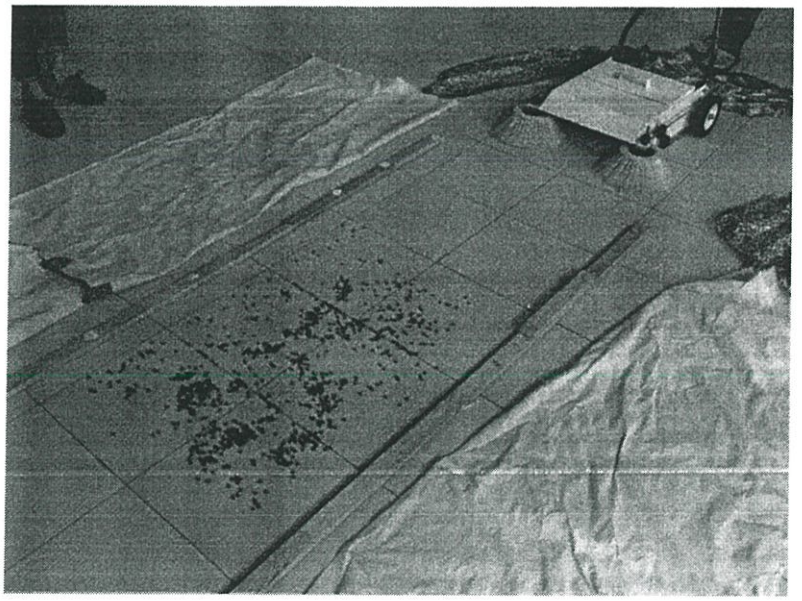


รูปที่ 4.11 รูปตำแหน่งและลำดับของอุปกรณ์ส่วนกลไกต่างๆของแปรงทรงกระบอก

ในส่วนของแปรงทรงกระบอกจะบอกลำดับจากข้างในกล่องมาส่วนด้านนอก(ด้านซ้ายของภาพ) ดังนี้คือ แปรงทรงกระบอก>เหล็กหน้าแปลน>ตลับลูกปืนอลูมิเนียมขนาด 8 มิลลิเมตร>แหวนรอง 2 วง>พูลเลย์ขนาด 2 นิ้วฝังลูกปืนเข็มทางเดียว>แท่นรอง โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะอยู่บนเพลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 หุนครึ่งซึ่งเชื่อมติดกับเหล็กหน้าแปลนเพื่อทำหน้าที่หมุนแปรงทรงกระบอกเมื่อกลไกเริ่มทำงาน ส่วนพูลเลย์ทางด้านขวาของภาพคือพูลเลย์ที่ฝังตลับลูกปืนอยู่ทำหน้าที่เป็นพูลเลย์ช่วยปรับความตึงของสายพานในระบบกลไก

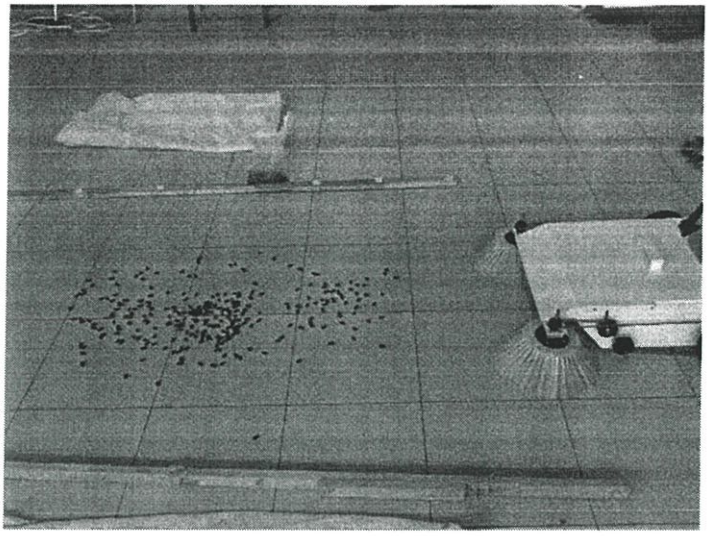
4.4 การทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

การทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติจะเป็นการทดสอบโดยการเก็บขยะที่ขนาดความกว้างประมาณ 50 เซนติเมตร และความยาวประมาณ 100 เซนติเมตรโดยการโรยวัสดุที่ใช้ในการทดลองในพื้นราบเรียบโดยกระจายกันอย่างทั่วถึง โดยวัสดุที่ใช้ในการทดสอบนี้มี 2 ชนิดคือ ลูกปัดและเมล็ดถั่วแดงที่น้ำหนักของวัสดุทดสอบ 200 กรัม โดยเป็นการเคลื่อนที่เครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติด้วยความเร็วในระดับธรรมดา และเร็วเมื่อเทียบกับความเร็วในการเดินของคนปกติ และในการทดสอบนี้จะมีการทดสอบ 3 ครั้งเพื่อหาผลเฉลี่ยของข้อมูลเพื่อเป็นค่าอ้างอิงในการหาประสิทธิภาพของเครื่องเมื่อเทียบวัดกับความเร็ว และขนาดของวัสดุที่ใช้ทดสอบ



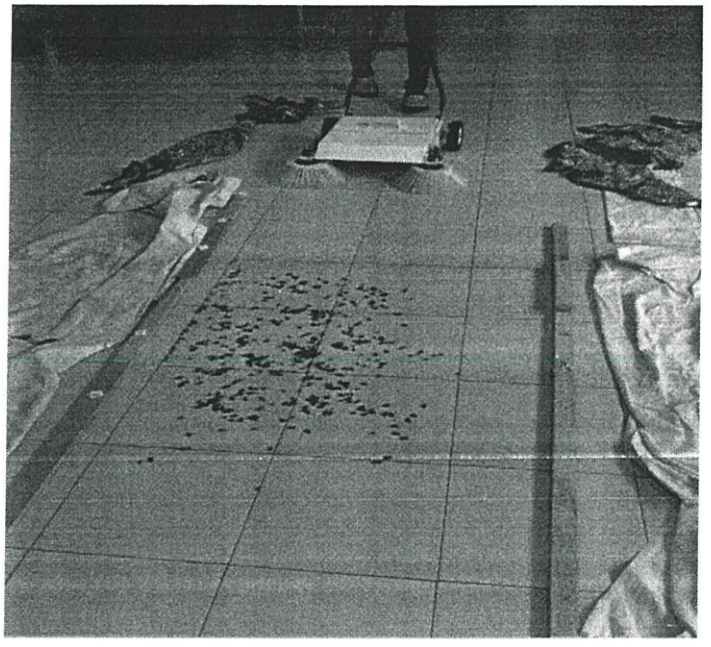
รูปที่ 4.12 การกระจายของวัสดุทดสอบ (ลูกปัด) ก่อนการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

เป็นการวางวัสดุทดสอบ (ลูกปัด) โดยตวงน้ำหนักที่ปริมาณ 200 กรัมมากระจายตัวบนพื้นเป็นระยะทาง 100 เซนติเมตร ที่ความกว้างประมาณ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.13 การกระจายของวัสดุทดสอบ (ถั่วแดง) ก่อนการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

เป็นการวางวัสดุทดสอบ (ถั่วแดง) โดยตวงน้ำหนักที่ปริมาณ 200 กรัมมากระจายตัวบนพื้นเป็นระยะทาง 100 เซนติเมตร ที่ความกว้างประมาณ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4.14 การกระจายของวัสดุทดสอบ (ผสม) ก่อนการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

เป็นการวางวัสดุทดสอบ (ผสม) โดยตวงน้ำหนักของถั่วแดงที่ 100 กรัมและลูกปัด 100 กรัม มากระจายตัวบนพื้น เป็นระยะทาง 100 เซนติเมตร ที่ความกว้างประมาณ 50 เซนติเมตรเพื่อมาทดสอบการเก็บแบบผสม

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลที่ได้จากการทดลองกับวัสดุทั้งแบบแยกชนิดและแบบผสมกันทั้งสามครั้ง

	ปริมาณที่เก็บได้							
	ถั่วแดง (กรัม)				ลูกปัด (กรัม)			
ความเร็ว	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
ปกติ	180	130	145	151.67	115	90	90	98.333
เร็ว	140	150	160	150	100	105	120	108.33

ปริมาณวัสดุแบบผสมที่เก็บได้ (กรัม)												
ครั้งที่	1			2			3			เฉลี่ย		
ความเร็ว	ถั่วแดง	ลูกปัด	ผสม	ถั่วแดง	ลูกปัด	ผสม	ถั่วแดง	ลูกปัด	ผสม	ถั่วแดง	ลูกปัด	ผสม
ปกติ	70	60	130	80	60	140	60	70	130	70	63.333	133.33
เร็ว	60	60	120	70	60	130	80	60	140	70	60	130

จากค่าเฉลี่ยซึ่งหาค่ามาจากผลการทดลองกับวัสดุทั้งสองชนิดซึ่งมีขนาดต่างกัน และเป็นการทดลองที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกันซึ่งจะได้ผลการทดลองที่จะใช้เกณฑ์วัดโดยน้ำหนักนี้มาเพื่อเป็นเกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติโดยผลลัพธ์ที่ออกมานั้นสามารถสรุปได้ว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องจะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติค่อนข้างน้อยมาก เนื่องจากผลจากค่าเฉลี่ยที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องในระดับปกติและระดับเร็วมีผลเฉลี่ยไม่ต่างกันมาก ส่วนขนาดของวัสดุค่อนข้างมีผลต่อประสิทธิภาพในการเก็บของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติหากเปรียบเทียบกันโดยค่าเฉลี่ยในการเก็บวัสดุแบบแยกชนิด โดยที่ขนาดของถั่วแดงนั้นใหญ่กว่าประมาณ 2 เท่าของลูกปัด และในการเก็บแบบผสมนั้นผลที่ได้โดยเฉลี่ยจะสามารถเก็บถั่วแดงได้มากกว่าลูกปัด

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินการ

เมื่อได้ทำการสร้างเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติตามโดยใช้หลักตามทฤษฎีของยูชิสแล้ว และทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติบนพื้นเรียบพร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบโดยใช้วัสดุของขยะทั้งสองชนิดที่แตกต่างกันและที่ความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกันจึงได้ผลสรุปในส่วนต่างๆดังนี้

5.1 สรุปผลการปรับปรุงประสิทธิภาพและการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ

จากการใช้หลักการข้อที่ 1 ของยูชิสมาปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ เป็นหลักการที่เกี่ยวกับเรื่องการแบ่งส่วน คือ การแยกระบบออกเป็นส่วนๆ โดยออกแบบระบบให้ชิ้นส่วนต่างๆ สามารถประกอบเข้าเป็นหน่วยเดียวกันหรือแยกออกเป็นชิ้นๆ ได้ ทั้งนี้เพื่อให้ง่ายต่อระบบการผลิต เกิดความราบรื่นของระบบ ง่ายต่อการถอดบำรุงรักษาและเคลื่อนย้ายระบบยังรวมถึงการแยกในระดับโมเลกุลและอะตอมด้วย จากหลักการข้อนี้ได้นำไปปรับปรุงในส่วนการหมุนแบบอิสระของแปรงจานกลม แปรงทรงกระบอก และการย้ายล้อหน้า แต่ยังรักษาความสามารถที่จะซ่อมแซมได้โดยการใส่ลูกปืนทางเดียวเข้าในพลูเลย์ เป็นการแยกส่วนกันของลูกปืนทางเดียวและพลูเลย์ ซึ่งลูกปืนทางเดียวจะทำให้หัวแปรงหมุนไปในทิศทางที่ต้องการและหมุนต่อได้แบบอิสระเมื่อมีแรงเฉื่อยมากระทำ หากลูกปืนทางเดียวเกิดความเสียหายจะสามารถถอดเปลี่ยนเพื่อง่ายต่อการซ่อมแซมได้ ส่วนการย้ายล้อหน้าทำเพื่อให้เกิดความความราบรื่นในการเก็บขยะ ลดการติดขัดของขยะบริเวณล้อหน้าที่อยู่ตรงกลางในเครื่องเดิม

จากการเก็บข้อมูลผลการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ พบว่า เครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติสามารถเก็บขยะที่มีขนาดแตกต่างกันสองชนิด โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องจะมีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติค่อนข้างน้อยมาก เนื่องจากผลจากค่าเฉลี่ยที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของเครื่องในระดับปกติและระดับเร็วมีผลเฉลี่ยไม่ต่างกันมาก ส่วนรูปร่างและน้ำหนักของวัสดุค่อนข้างมีผลต่อประสิทธิภาพในการเก็บของเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติหากเปรียบเทียบกันโดยค่าเฉลี่ยในการเก็บวัสดุแบบแยกชนิด โดยที่รูปร่างของถั่วแดงนั้นใหญ่กว่าประมาณ 2 เท่าของลูกปัด และในการเก็บแบบผสมนั้นผลที่ได้โดยเฉลี่ยจะสามารถเก็บถั่วแดงได้มากกว่าลูกปัด เนื่องจากรูปร่างและน้ำหนักของลูกปัดนั้นเป็นทรงกลม ขนาดเล็กและค่อนข้างเบาจึงทำให้เมื่อเครื่องกวาดขยะแบบอัตโนมัติทำงานทำให้เกิดการกระจายของตัวขยะไปรอบๆ และเมื่อเก็บเข้ากล่องเก็บจะทำให้มีการกระเด็นออกมาจากกล่องเก็บได้ ในขณะที่ถั่วแดงนั้นมีรูปร่างเป็นทรงรีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ทำให้การปัดกระจายน้อยกว่าและเมื่อเก็บเข้ากล่องเก็บการกระเด็นกลับออกมาจากกล่องเก็บจึงน้อยกว่าลูกปัด

5.2 วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ พบปัจจัยที่ทำให้เกิดความเคลื่อนทางการทดสอบ ได้แก่

1. การเพิ่มตลับลูกปืนเพื่อลดแรงเสียดทานและทำให้แปรงจานกลมและแปรงทรงกระบอกสามารถหมุนได้อย่างอิสระ หลังจากการทดลองแล้วทำให้ทราบผลว่าสามารถทำให้แปรงจานกลมหมุนได้โดยมีแรงเฉื่อยสะสมได้ แต่ไม่สามารถทำให้ส่วนแปรงทรงกระบอกหมุนโดยมีแรงเฉื่อยสะสมได้ จึงไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บโดยรวมได้เลยเนื่องจากการหมุนโดยอิสระหลังจากเครื่องหยุดแล้วแปรงที่หมุนได้คือแปรงจานกลมส่วนที่ปัดขยะเข้าในทิศทางของเครื่องอย่างเดียว แต่แปรงทรงกระบอกไม่สามารถปัดขยะเข้ากล่องเก็บได้เนื่องจากการที่ตัวแปรงทรงกระบอกนั้นมีน้ำหนักมากเกินกว่าที่จะทำให้เกิดการหมุนอย่างอิสระได้ จึงทำให้เมื่อหยุดเคลื่อนที่เครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติแล้วไม่สามารถเก็บขยะได้ตามที่ต้องการ แต่สามารถเพิ่มความเร็วของแปรงทั้งสองส่วนได้ในขณะที่เคลื่อนที่เพื่อเก็บขยะได้เท่านั้น

2. เนื่องจากรูปร่างของขยะที่มาทดลองเป็นรูปทรงกลมและน้ำหนักเบาซึ่งทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสและแรงเสียดทานน้อยมากซึ่งอาจทำให้เกิดการกลิ้งไถลไปไกลเมื่อโดนแปรงเก็บขยะและยังอาจทำให้กระเด็นกลับออกมาจากกล่องเก็บเมื่อกระทบกับถังเก็บได้ จึงทำให้ผลการทดลองที่ได้ออกมาคลาดเคลื่อนจากที่ควรจะเป็นได้

3. เนื่องจากพื้นที่ใช้ทดสอบมีแรงเสียดทานน้อยจึงทำให้ล้อเกิดการลื่นไถลจึงทำให้เพิ่มแรงในการกดเพื่อเพิ่มแรงเสียดทานที่ล้อทำกับพื้นเพื่อให้ล้อไม่เกิดการลื่นไถล

4. เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเก็บข้อมูลน้ำหนัก เนื่องจากจะต้องอ่านค่าของน้ำหนักที่ได้ด้วยสายตาของผู้เก็บการทดสอบโดยตรง ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้สูง

5.3 ข้อเสนอแนะการแก้ไข

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ พบปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางการทดสอบ ดังนั้นจึงได้เสนอวิธีการแก้ไขเพื่อปรับปรุงข้อผิดพลาดต่อไป ได้แก่

1. ใช้ตลับลูกปืนที่มีที่มีคุณสมบัติได้ตรงตามรูปแบบการใช้งานของเครื่องกวาดขยะแบบอัตโนมัติ

2. นำวัสดุที่มีรูปร่างและขนาดที่ค่อนข้างมีพื้นที่ผิวสัมผัสพอสมควรและแรงเสียดทานไม่น้อยจนเกินไปมาทดสอบ จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการลื่นไถลออกจากแปรงจานกลม และการกระเด็นออกมาจากกล่องเก็บน้อยลง

3. ทดสอบบนพื้นที่มีความเรียบแต่ค่อนข้างมีแรงเสียดทานที่สูงกว่าจะทำให้ล้อมีการลื่นไถลน้อยลง

4. ใช้เครื่องมือที่มีมาตรฐาน สามารถแสดงค่าออกเป็นตัวเลขเพื่ออ่านและบันทึกข้อมูลได้อย่างแม่นยำ

หนังสืออ้างอิง

[1] ไตรสิทธิ์ เบญจบุณยสิทธิ์, พงศ์ศักดิ์ วิวรรธนะเดช, พันธพงศ์ ตั้งธีระสุนันท์, 2550. การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์โดย TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving). พิมพ์ครั้งที่ 1 : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

[2] ธัญญา ผลอนันต์, วัชร ดิสสะมาน, วิเชียร เบญจวัฒนาผล ; เรียบเรียงโดย ธัญญา ผลอนันต์ , 2545. TRIZ 40 หลักการ สร้างสรรค์นวัตกรรม แปลจากหนังสือ 40 Principles TRIZ keys to Technical Innovation ของ Lev Shulyak

[3] ธีระชัย สุขสด, 2544. การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

[4] นายคุณภาพ, 2555. TRIZ : แนวคิดใหม่เพื่อการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์

[5] มณฑลี ศาสนนันทน์, 2546. การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อการสร้างสรรค์นวัตกรรมและวิศวกรรมย้อนรอย

[6] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Richard G. Budynas แปลและเรียบเรียงโดย น.อ.รศ. ภาณุฤทธิ์ ยุกตะทัต, 2554. การออกแบบเครื่องจักกล 2 (Mechanical Engineering Design 2)

[7] Yvon LE MEUR, Introduction à la méthodologie I-TRIZ, Novembre 2001

[8] http://journal.pnu.ac.th/ojs/index.php/pnujr/article/viewFile/109/106

[9] http://eauheritage.eau.ac.th/PDF/HeritageJournal/Heritage-7-01-56-Science.pdf

[10] http://archmis.arch.nu.ac.th/arch_ajnu/journal/article_file/article_2012_43.pdf

[11] http://www.tci-thaijo.org/index.php/kmutnb-journal/article/viewFile/3560/3164

[12] http://www.ie.kmutnb.ac.th/upload/article/695885.pdf

[13] http://atm.fibo.kmutt.ac.th/fiboweb/2013/images/upload/research/locomotion_manipulation_control/A4 /2003-Bunchai-.pdf

[14] http://atm.fibo.kmutt.ac.th/fiboweb/2013/images/upload/research/locomotion_manipulation_control/A4/2003-Manara-.pdf

[15] http://atm.fibo.kmutt.ac.th/fiboweb/2013/images/upload/research/locomotion_manipulation_control/2008_Amornpun_The_New_Heaving_Angle_Adjustable_Mechanism_for_Fish_Robot_Using_the_Two-contacted_discs.pdf

[16] http://thailand.digitaljournals.org/index.php/SMJ/article/viewFile/6131/5654

[17] http://www.aquip.co.th/bearings3.html

[18] http://www.bpcd.net/new_subject/industry/yungyut/mathematic%20subject/unit%206/knowledge%20sheet.pdf

[19] www.me.eng.chula.ac.th/SeniorProject/file/proceeding54.pdf

[20] http://www.youtube.com/watch?v=wAQj1u-GcRo

[21] http://baansanruk.blogspot.com/2011/07/blog-post_1759.html

[22] http://www.benjarong.net/index.php?main_page=index&cPath=3

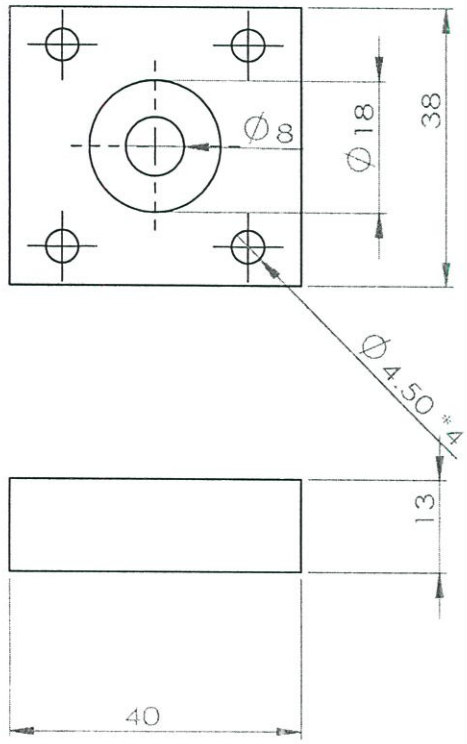
[23] http://dc384.4shared.com/doc/4V4T3cVD/preview.html

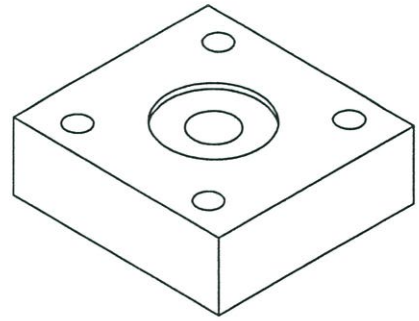
[24] http://fayamfine.blogspot.com/2012/07/10_08.html

[25] http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:I4J0RkVUxTwJ:3004201d2.webs.com/d2_6_3.pdf+&cd=1&hl=th&ct=clnk&gl=th

ภาคผนวก

แบบเครื่องกวาดขยะแบบไม่อัตโนมัติ





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

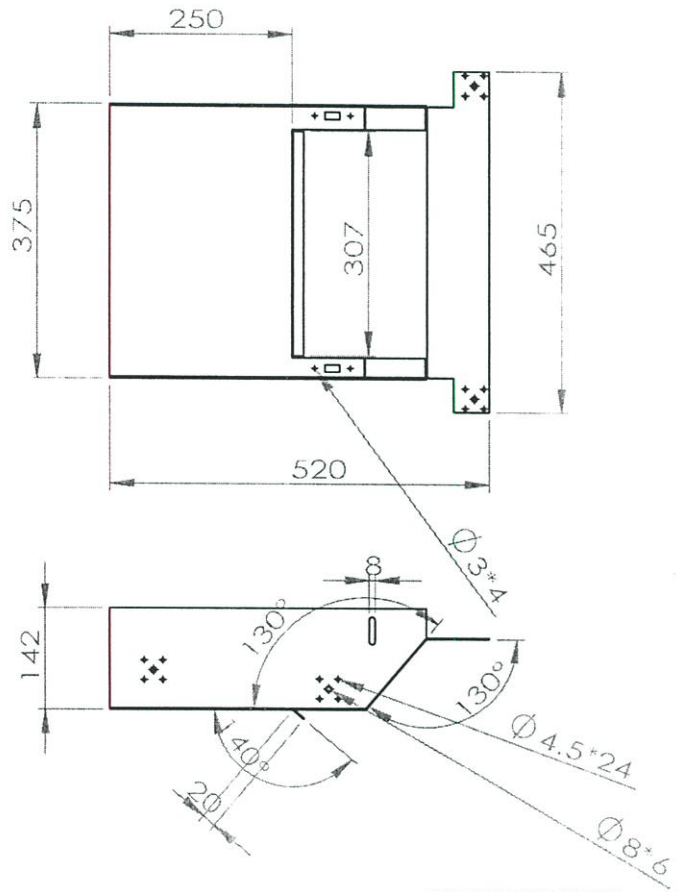
DWG NO.

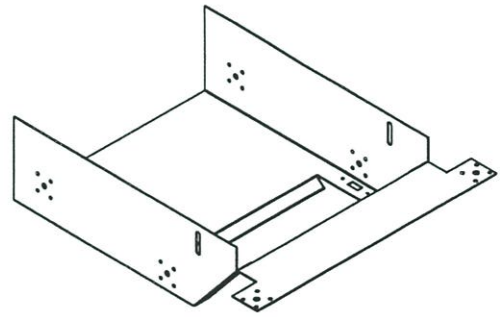
Bearing

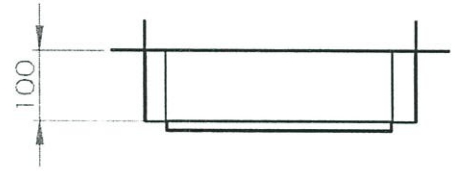
A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1







UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

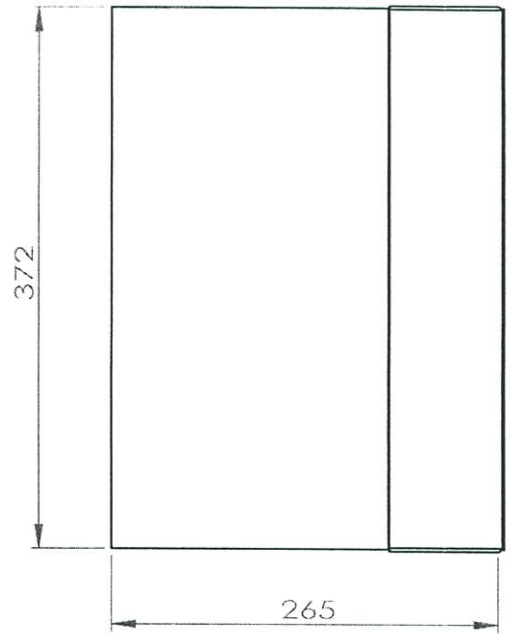
DWG NO.

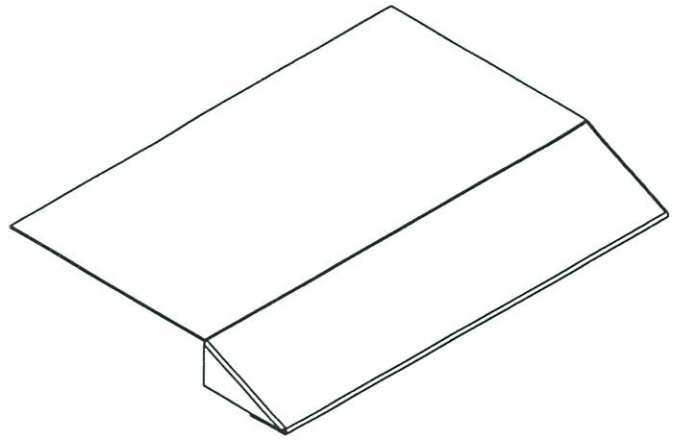
Body

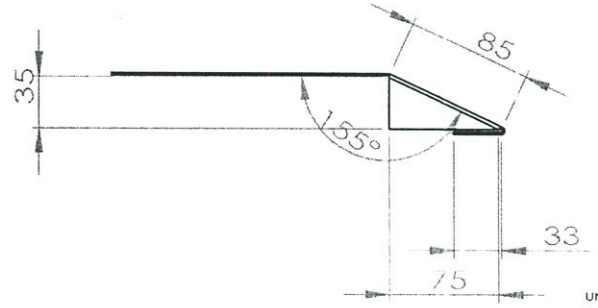
A4

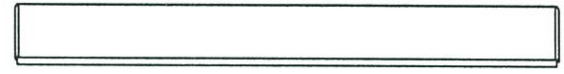
SCALE:1.10

SHEET 1 OF 1









UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO.

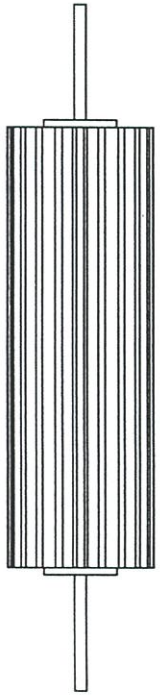
Case

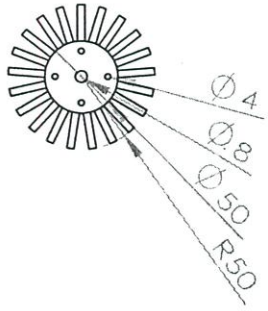
A4

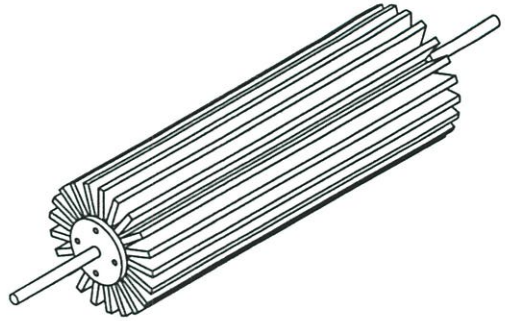
WEIGHT:

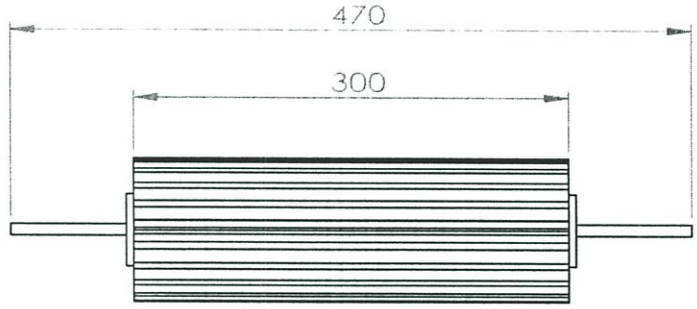
SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1









UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

WEIGHT:

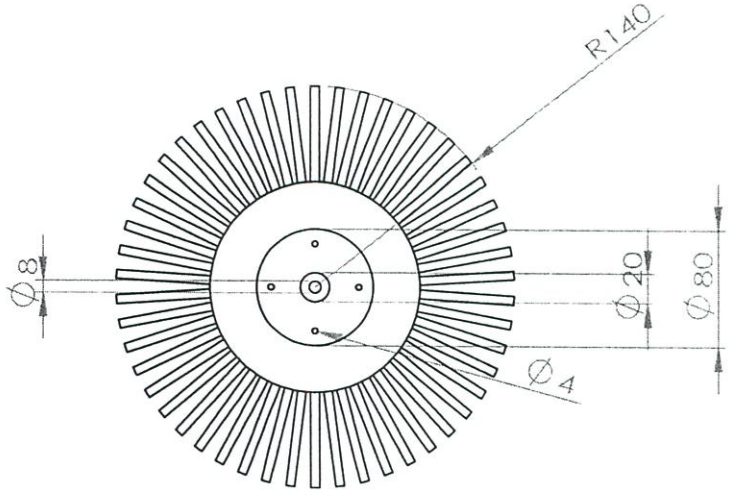
DWG NO.

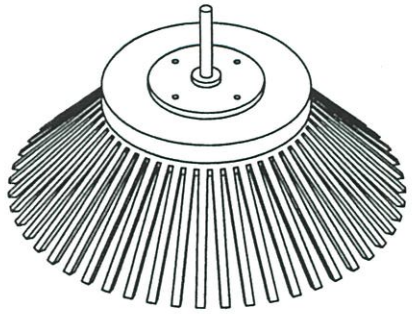
Cylindrical brush

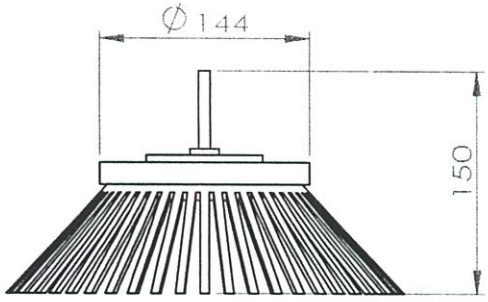
A4

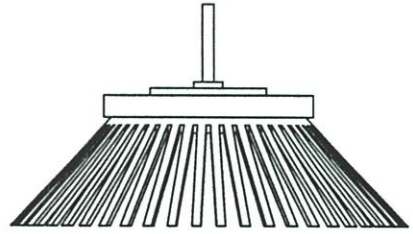
SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1









UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

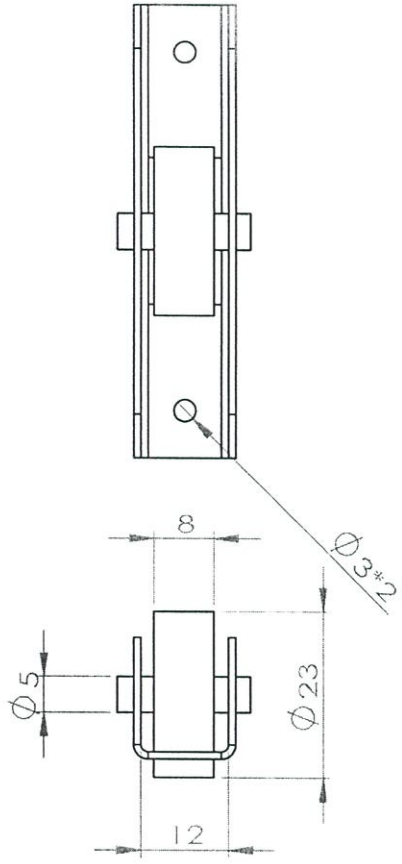
DWG NO.

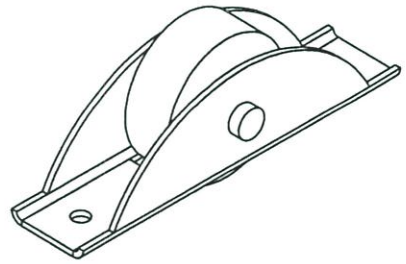
Disc brush

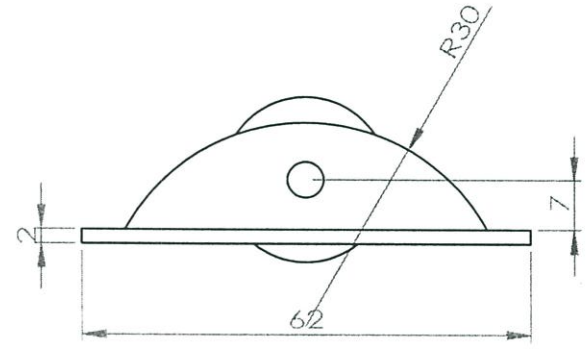
A4

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1







UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

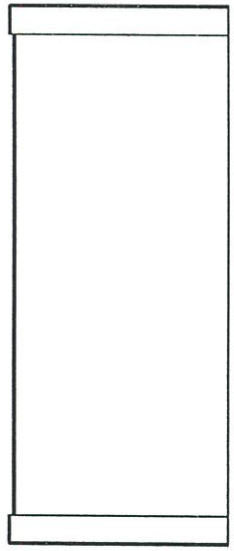
DWG NO.

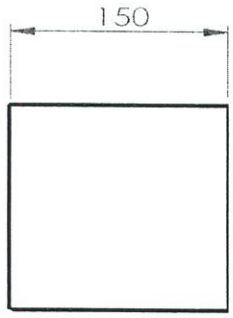
Front Wheel

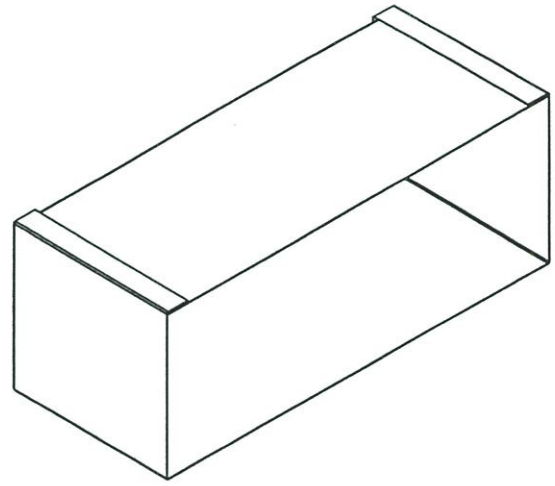
A4

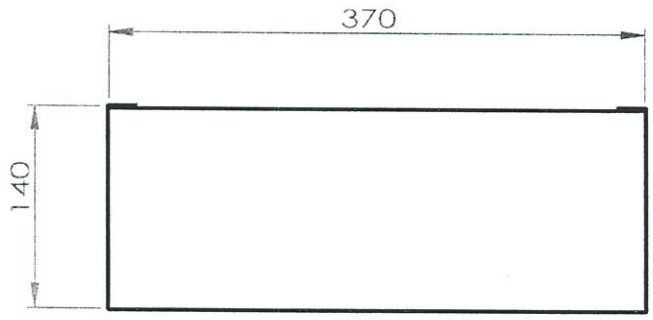
SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1









UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

WEIGHT:

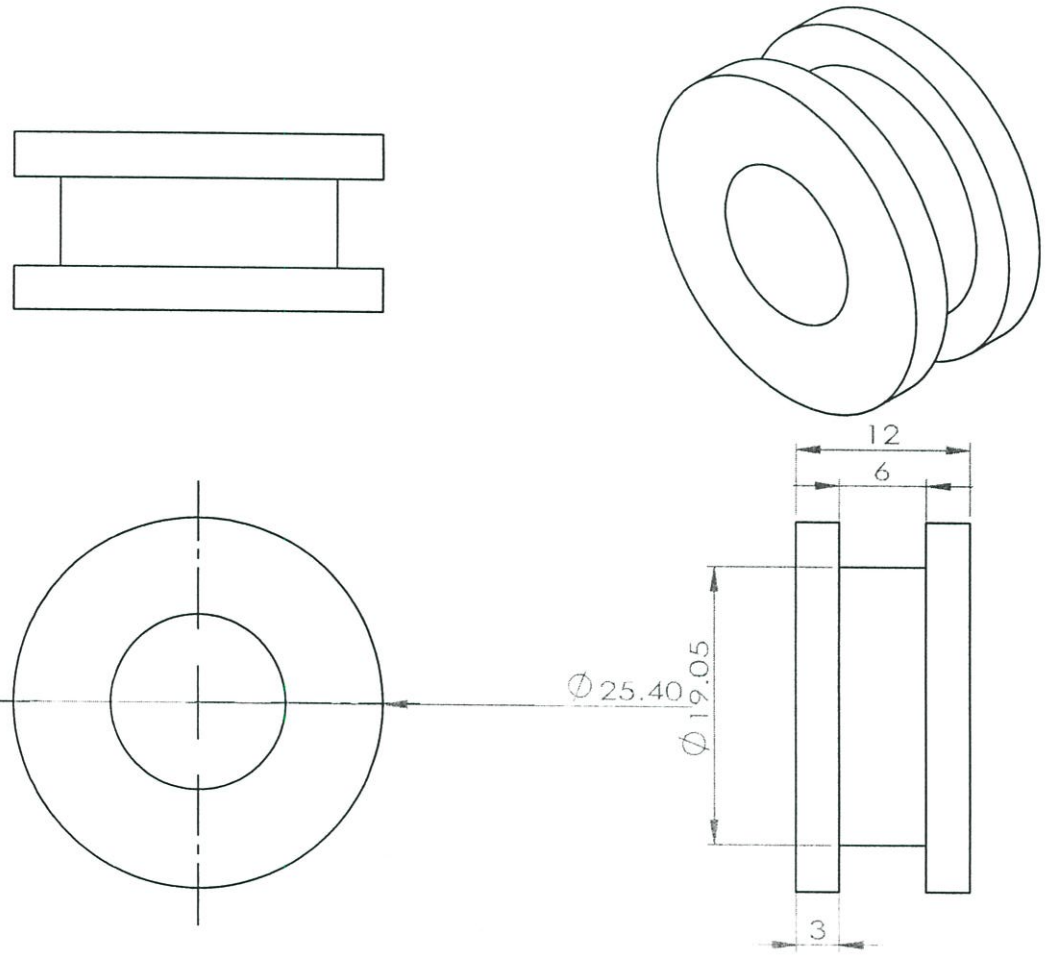
DWG NO.

Garbage box

A4

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

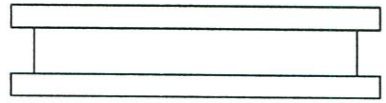
DWG NO.

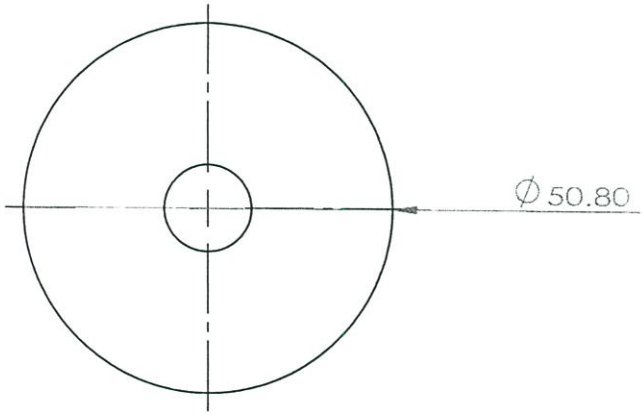
Pulley 1 inch

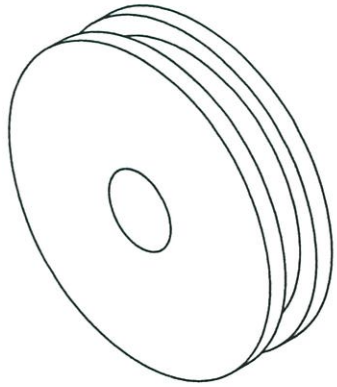
A4

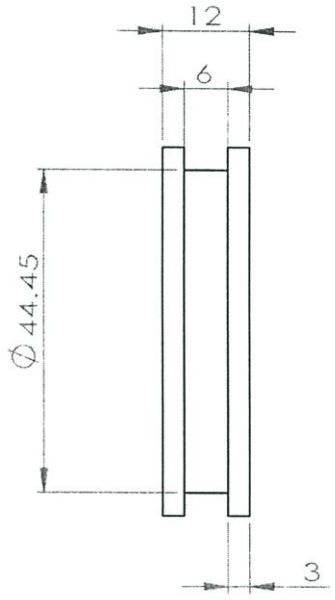
SCALE:2:1

SHEET 1 OF 1









UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: FINISH:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

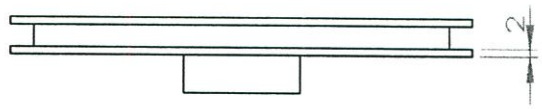
DWG NO.

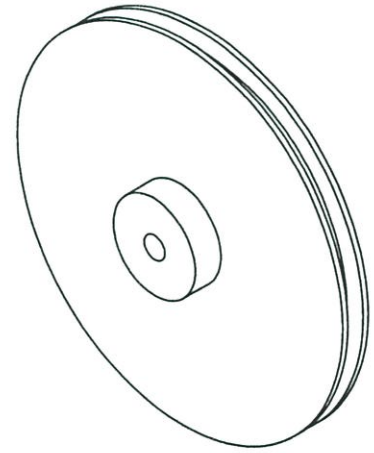
Pulley 2 inch

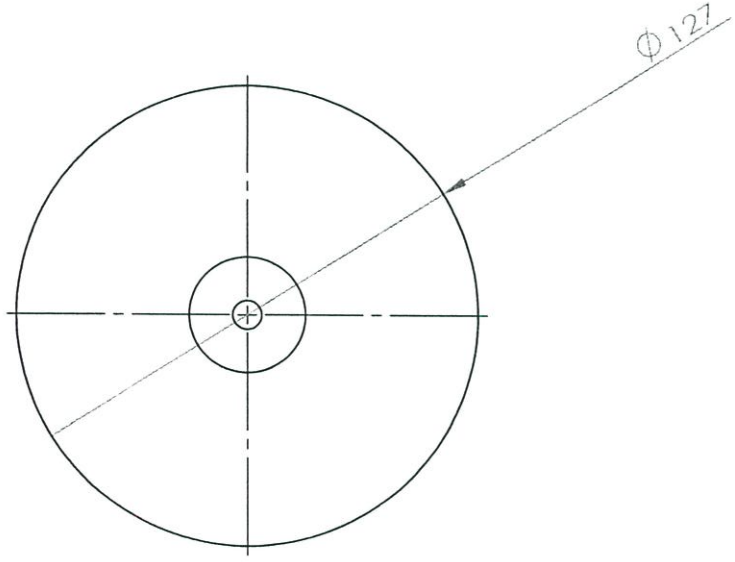
A4

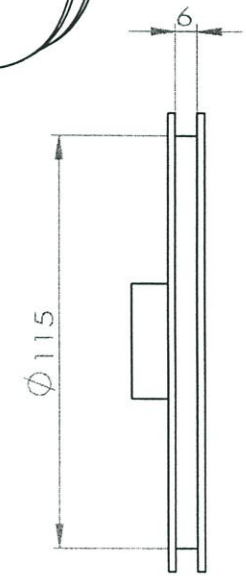
SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1









UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND BREAK SHARP EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

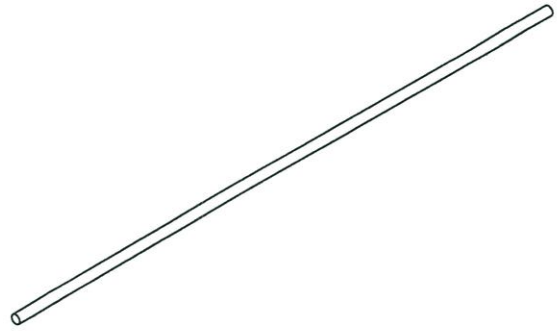
DWG NO.

Pulley 5 inch

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

TITLE:

MATERIAL:

DWG NO.

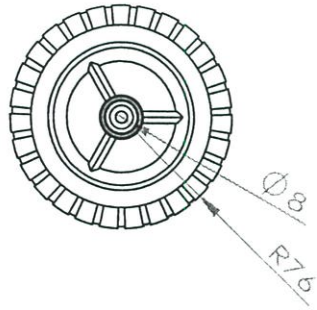
Shaft

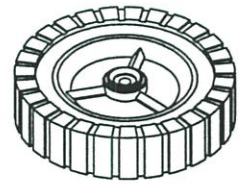
A4

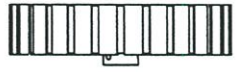
WEIGHT:

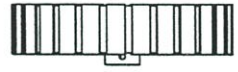
SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1









UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS
SURFACE FINISH:
TOLERANCES:
LINEAR:
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND
BREAK SHARP
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APPV'D			
MFG			
Q.A			

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

DWG NO.

Wheel

A4

SCALE:1:5

SHEET 1 OF 1