สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบรถขนย้ายอุปกรณ์ในโรงงาน

Electric Transporting Scooter

โดย

นายกานต์ ทองเพ็งจันทร์

นายณัชชา ชัยจำ

นายทนุพงศ์ ชัยทิพย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว

ดร.ปัญญา ขันธ์สุวรรณ

วพ
ก4329
2550
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 82192
วัน,เดือน,ปี 9 ก.ค. 2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

b 11944194
i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบรถขนย้ายอุปกรณ์ในโรงงาน

Electric Transporting Scooter

นายกานต์ ทองเพ็งจันทร์

นายณัชชา ชัยจำ

นายทนุพงศ์ ชัยทิพย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

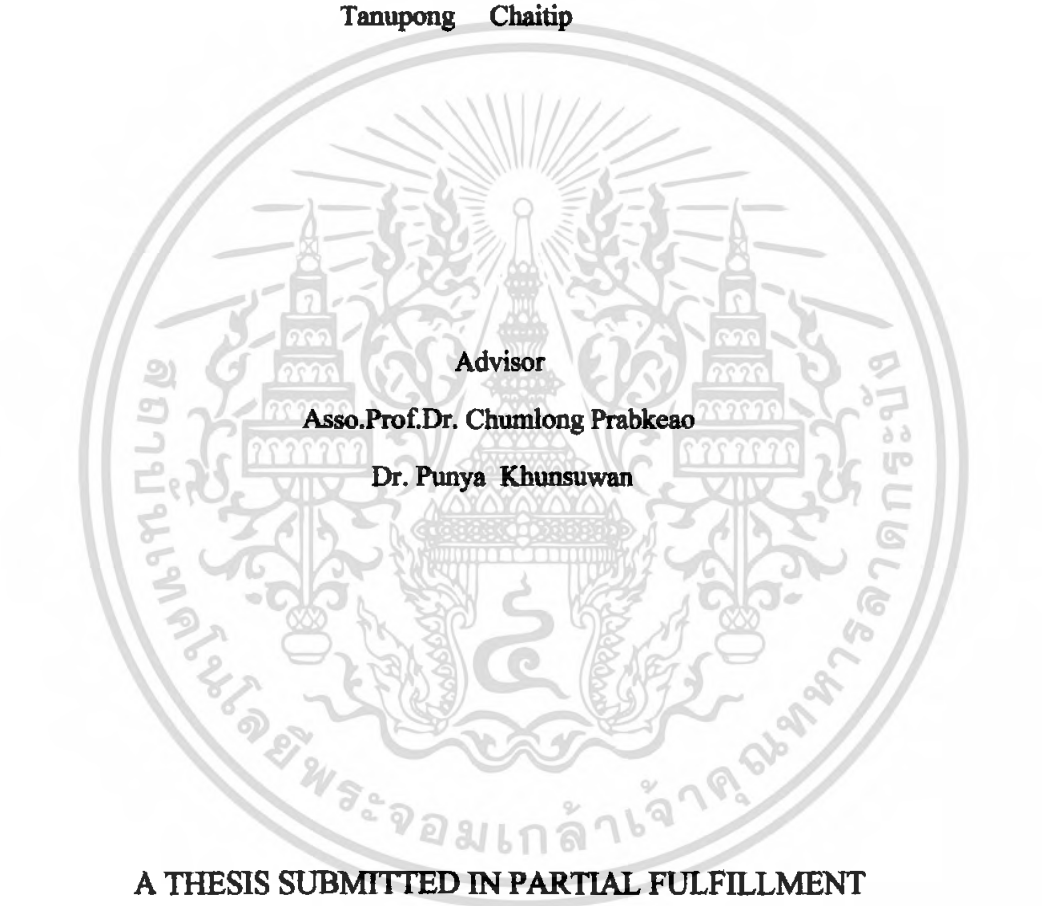
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electric Transporting Scooter

Khan Thongphengchan

Nutcha Chaijam

Tanupong Chaitip



Advisor

Asso.Prof.Dr. Chumlong Prabkeao

Dr. Punya Khunsuwan

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบรถขนย้ายอุปกรณ์ในโรงงาน

Electric Transporting Scooter

ผู้จัดทำ

1. นายกานต์ ทองเพ็งจันทร์ รหัสประจำตัว 47010038
2. นายณัชชา ชัยจำ รหัสประจำตัว 47010211
3. นายทนุพงศ์ ชัยทิพย์ รหัสประจำตัว 47010265

( ) อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว)

( ) อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ปัญญา ขันธ์สุวรรณ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบรอชนย้ายอุปกรณ์ในโรงงาน

นายกานต์ ทองเพ็งจันทร์ 47010038
นายณัชชา ชัยจำ 47010211
นายทนุพงศ์ ชัยทิพย์ 47010265

รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.ปัญญา ขันธ์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

การขนย้ายวัตถุสิ่งของในโรงงานหรือในโกดังเก็บสินค้ามีหลายวิธี เครื่องมือและอุปกรณ์ในการขนย้ายมีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดมีข้อดีและข้อจำกัด ในการใช้งานที่แตกต่างกันไป โครงงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบรถขนย้ายวัสดุที่สามารถ ใช้ขนสิ่งของที่มีน้ำหนัก 25 กิโลกรัม ขนาดความกว้างของ ตัวรถ 750 มิลลิเมตรความยาว 2,000 มิลลิเมตรที่ใช้งานได้คล่องตัวและรวดเร็ว สามารถใช้งานบนความกว้างของทางวิ่ง 90 เซนติเมตรและขึ้นทางชัน 10 องศา ใช้พลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขนาด 36 โวลต์ให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้า ในการขับเคลื่อนตัวรถ และได้มีการออกแบบตัวรถการ วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรถ ในการรับน้ำหนักสิ่งของและผู้ใช้งานโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ COSMOSWORKSมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเพื่อหาขนาด และวัสดุที่นำมาสร้างโครงรถที่เหมาะสม จากนั้นก็ทำการสร้างรถต้นแบบและทดสอบการใช้ งานจริงเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและการปรับปรุงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electric Transporting Scooter

Khan Thongphengchan
Nutcha Chaijam
Tanupong Chaitip

Asso.Prof.Dr. Chumlong Prabkeao
Dr. Punya Khunsuwan Advisor

Abstract

There are many ways to transport objects in factory, each way has its restriction. This project is presented design and building of the transporter which can load a 25 kilograms object. This transporter has 750 millimeters width 2,000 millimeters length. It can run in minimum 90 centimeters width pathway and maximum 10 degrees slope, use 500 watts DC motor, 36 voltage batteries. Cosmosworks program is used to design and analysis the suitable body. Then build up the transporter and testing in real situation for improvement and development.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จลงได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่าย บุคคลแรกที่จะกล่าวถึงซึ่งมีส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ คือ รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว และ ดร.ปัญญา ขันธ์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาที่ดี และให้ความช่วยเหลือเสมอมา รวมทั้งคณาจารย์ บุคลากรภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ประสาทวิชาและให้คำแนะนำให้แก่ข้าพเจ้า ต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

และต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้อบรมเลี้ยงดูข้าพเจ้า มาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งยังให้โอกาสในการศึกษาตามสมควร จึงทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ข้าพเจ้าขอระลึก ในพระคุณอันสุดประมาณค่า และกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายกานต์ ทองเพ็งจันทร์
นายณัชชา ชัยจำ
นายทนุพงศ์ ชัยทิพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
1. บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
2. ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับการออกแบบ	2
2.1 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงโครงรถ	2
2.2 พื้นฐานไฟไนต์เอลิเมนต์	4
2.3 การออกแบบขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน	6
2.4 การวิเคราะห์การทรงตัวของตัวรถ	9
2.5 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับมอเตอร์	11
2.6 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับตัวควบคุมมอเตอร์	15
2.7 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า	15
3. การออกแบบและสร้างรถขนย้ายอุปกรณ์ในโรงงาน	20
3.1 การสร้างต้นแบบของรถขนย้ายวัสดุอุปกรณ์	20
3.2 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงโครงรถ	20
3.3 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงโครงรองรับสิ่งของ	22
3.3 ระบบการทำงานของรถ	22
3.4 กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน	24
3.5 การวิเคราะห์การทรงตัวของตัวรถ	25
3.6 การวิเคราะห์การทรงตัวของตัวรถ	26
3.7 การออกแบบเพลา	28
4. รูปร่างและส่วนประกอบ	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.1 โครงรถ	29
4.2 โครงรับสิ่งของ	29
4.3 ฝาครอบแบตเตอรี่และฝาครอบมอเตอร์	29
4.4 มอเตอร์ไฟฟ้า	30
4.5 แบตเตอรี่ตะกั่วแบบปิดผนึก	30
4.6 กล่องควบคุมความเร็ว	31
4.7 แผงหน้า ปิด-เปิด	31
4.8 มาตรวัดความเร็ว	32
5. ขั้นตอนการดำเนินงาน	33
6. การทดสอบ	36
7. สรุปโครงงานและแนวทางการปรับปรุง	39
7.1 สรุปผลโครงงาน	39
7.2 แนวทางการปรับปรุงและพัฒนา	39
ภาคผนวก ก	41
ภาคผนวก ข	46
บรรณานุกรม	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

2-1 แบบ One Dimension Elements 2

2-2 แสดงแบบ Two Dimension Elements 3

2-3 แสดงแบบ Three Dimension Elements 3

2-4 แสดง โปรแกรม 2 โปรแกรมนี้จะเชื่อมโยงข้อมูลด้วยกัน 4

2-5 แบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ 4

2-6 ขั้นตอนการคำนวณ 5

2-7 แสดงขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) 5

2-8 ภาพแสดงเคลื่อนที่บนพื้นราบ 7

2-9 ภาพแสดงเคลื่อนที่บนพื้นราบ 8

2-10 ภาพแสดงเคลื่อนที่บนพื้นทางชัน 8

2-11 ภาพแสดงรายละเอียดด้านข้างตัวรถ 9

2-12 ภาพแสดงรถขับเคลื่อนล้อหลังจอดนิ่งอยู่บนทางชัน 10

2-13 ภาพแสดงรถขับเคลื่อนล้อหลังจอดนิ่งอยู่บนทางชัน 11

2-14 แสดงการหมุนของอาร์มาเจอร์ 12

2-15 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน 13

2-16 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม 13

2-17 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม 14

2-18 โครงสร้างโดยรวมของวงจรที่ใช้งาน 15

3-1 ภาพแสดงการใช้โปรแกรม Solidworks 2006 สร้างรูปรถขึ้นมา 20

3-2 ภาพแสดงการใช้โปรแกรม CosmosWorks 2006 วิเคราะห์ความแข็งแรงโครงรถ 20

3-3 ภาพแสดง Von Mises stress 21

3-4 ภาพแสดง displacement 21

3-5 ภาพแสดง Factor of safety 22

3-6 ภาพแสดงการใช้โปรแกรม Solidworks 2006 สร้างรูปโครงที่รับสิ่งของ 22

3-7 ภาพแสดง Von Mises stress 23

3-8 ภาพแสดง displacement 23

3-9 ภาพแสดง Factor of safety 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3-10 ภาพแสดงแผนภาพการทำงานของรถ 24

3-11 ภาพแสดงข้อมูลตัวรถ 26

3-12 ภาพแสดงรถขับเคลื่อนล้อหลังสามารถ 27

3-13 ภาพแสดงรถขับเคลื่อนล้อหลังสามารถทรงตัวได้อยู่ได้พอดี บนทางชัน 28

4-1 ภาพโครงรถ 29

4-2 ภาพโครงรับสิ่งของ 29

4-3 ภาพฝาครอบแบตเตอรี่และฝาครอบมอเตอร์ 30

4-4 ภาพมอเตอร์ 30

4-5 ภาพแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก 31

4-6 ภาพกล่องควบคุมความเร็ว 31

4-7 ภาพแผงหน้า ปิด-เปิด 31

4-8 ภาพแผงหน้า ปิด-เปิด 32

5-1 ภาพกำลังประกอบตัวรถ 33

5-2 ภาพประกอบมอเตอร์เข้ากับเพลาล้อหลัง 34

5-3 ภาพนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมและติดตั้งเข้ากับตัวรถ 34

5-4 ภาพติดตั้งสายไฟและตัวควบคุมความเร็ว 34

5-5 ภาพติดตั้งที่ชาร์จแบตเตอรี่ 35

5-6 ภาพติดตั้งไฟหน้า 35

5-7 ภาพตรวจสอบและตกแต่งให้เรียบร้อย 35

6-1 ภาพถนนบริเวณในสถาบันเป็นที่ทดสอบ 36

6-2 ภาพตุ้มน้ำหนักที่นำมาทดสอบ 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญและที่มา

ณ ปัจจุบันนี้ จะเห็นได้ว่าในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการใช้รถขนย้ายวัสดุอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และราคาสูง ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายของโรงงาน แต่ถ้าสิ่งของที่เราจะทำการขนย้ายมีน้ำหนักและขนาดที่ไม่มาก จึงสร้างรถขนย้ายขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนที่ในบริเวณทางแคบและทางชันได้ ต้นทุนการผลิตที่ไม่สูง ด้วยเหตุนี้จึงได้ศึกษาและวิจัยโครงงานนี้ขึ้นมาเพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาให้มีศักยภาพที่สูงขึ้น ในการนำไปใช้งานและเป็นที่ยอมรับในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและการสร้างรถขนย้ายอุปกรณ์
2. เพื่อนำความรู้ทางด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบรถ
3. เพื่อนำมาใช้ขนย้ายสิ่งของในพื้นที่บริเวณโรงงาน จึงออกแบบให้มีขนาดเล็กและสะดวกต่อการนำมาใช้งาน
4. นำพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานทดแทนเพื่อลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมทางด้านเสียงและมลพิษทางอากาศ
5. สามารถสร้างรถต้นแบบเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในการสร้างและออกแบบรถมากขึ้น
2. ได้รถที่สามารถใช้งานจริง
3. สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นทางเลือกแทนการใช้น้ำมัน และสามารถลดมลภาวะทางเสียงและมลพิษทางอากาศได้
4. เป็นต้นแบบและแนวทางในกาสร้างรถสู่ระบบอุตสาหกรรมได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการออกแบบ

2.1 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงโครงรถ

เป็นการเลือกใช้ Finite Element Method (FEM) ก็เพราะว่าเราสามารถเขียนโปรแกรมและใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณได้ มีความแม่นยำในระดับที่น่าพอใจ และยังแสดงผลด้วยกราฟฟิคที่สวยงาม สามารถเข้าใจได้ดีกว่า ง่ายกว่าแสดงตัวเลขเพียงอย่างเดียว

วิธีการ Finite Element Method (FEM) เป็นวิธีการที่อาศัยวิธีการแก้ไขสมการด้วยวิธี Matrix ที่มีการสร้างสมการตัวแปรขึ้นมา แล้วใช้วิธีการเขียน โปรแกรมเพื่อแก้สมการที่เกิดขึ้น สุดท้ายเราจะได้ค่าตัวแปรตามต้องการ วิธีการ FEM จะใช้หลักการแบ่งโครงสร้างออกมาเป็นชิ้นเล็กที่เรียกว่า Element แต่ละ Element จะเชื่อมต่อกันด้วยจุดของ Node แล้วกลุ่มของ Element และ Node จะอยู่ติดกันเป็นกลุ่มที่เรียก ว่า "Finite Element Model "

Finite Element Model จะเป็นตัวแทนของชิ้นงานเพื่อนำไปจำลองเป็นสมการ Matrix เพื่อนำไป คำนวณที่ซับซ้อนต่อไปซึ่งหมายความว่ายิ่ง Element เล็กลงเท่าไรความถูกต้องก็จะยิ่งสูงเท่านั้น แต่จะสูญเสียเวลาที่ใช้ในการคำนวณอย่างมากเลยทีเดียว

สำหรับวิธีการแบ่งเป็น Element ของ FEM จะมีหลักการแบ่งอยู่ 3 วิธี โดยแต่ละวิธีจะขึ้นอยู่กับรูปกับรูปทรงของโครงสร้างในการเลือกใช้เป็นหลัก ดังนี้

แบ่งแบบ One Dimension Elements

จะเหมาะสำหรับการจำลองโครงสร้างที่มีรูปทรงยาว อัตราส่วนระหว่างความสูงกับความกว้างมีค่ามาก (Slender) อย่างตัวอย่างเช่น Tower เป็นต้น การจำลองโครงสร้างรูปทรงนี้มักจะใช้แบบ 1D ดังรูป

รูปที่ 2-1 แบบ One Dimension Elements

แบ่งแบบ Two Dimension Elements

จะเหมาะสำหรับการจำลองโครงสร้างที่ความบาง (Thin Structural) โดยจะมีอัตราส่วนพื้นที่ของผิวเทียบกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาจะมีค่าน้อย ยกตัวอย่างเช่น ผิวของเครื่องบิน ผิวของรถยนต์ หรือผนังบรรทุกก๊าซที่บาง เป็นต้น

รูปที่ 2-2 แสดงแบบ Two Dimension Elements

แบ่งแบบ Three Dimension Elements

จะเหมาะสำหรับการจำลองโครงสร้างที่ความหนา (Thick) เมื่อเทียบกับพื้นที่ผิว การจำลองแบบ Three จะเหมาะสมกับชิ้นงานที่ต้องการค่าของความถูกต้องสูง แต่จะใช้เวลาคำนวณเป็นอย่างมาก

รูปที่ 2-3 แสดงแบบ Three Dimension Elements

จากหลักการของ Finite Element Method ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าหนึ่ง โดยใช้วิธีบางชิ้นงาน Element เล็กๆ โดยแต่ละ Element ที่ติดกันจะใช้ Node ร่วมกัน และแต่ละ Element ยังสามารถส่งถ่ายแรง (stress) หรือ Displacements อย่างต่อกันไปเรื่อยๆเป็นลูกโซ่ไปจนถึง Element ตัวสุดท้าย

ดังนั้นยิ่งแบ่ง Element ยิ่งน้อยหรือสั้นเท่าไรก็ยิ่งดี จะมีความถูกต้องมากขึ้นเท่านั้น เพราะจะมีพฤติกรรมเข้าใกล้ความเป็นจริงมากขึ้น

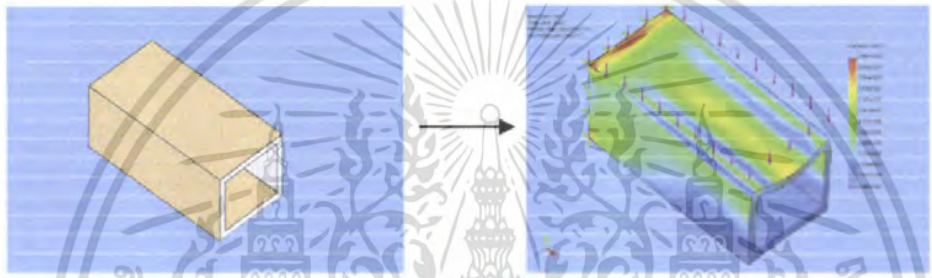
แต่อย่างไรก็ตามถ้าจำนวน Element มีค่ามากเท่าไร การคำนวณจะต้องใช้ประสิทธิภาพทรัพยากรคอมพิวเตอร์และเวลามากขึ้นเท่านั้น ยกตัวอย่างเช่น ชิ้นงานเราแบ่ง Element จำนวน 10,000 Element จะใช้เวลาวิเคราะห์ FEA อยู่ 120 วินาที แต่ถ้าเพิ่มค่า Element จำนวน 20,000 Element จะใช้เวลาวิเคราะห์ FEA นาน ถึง 6-10 เท่าเลยทีเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พื้นฐานไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

การใช้ CosmosWorks เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรง, ความแข็งแกร็งของชิ้นงาน (ระยะเคลื่อนตัว เมื่อเทียบกับขนาดแรงกระทำ)

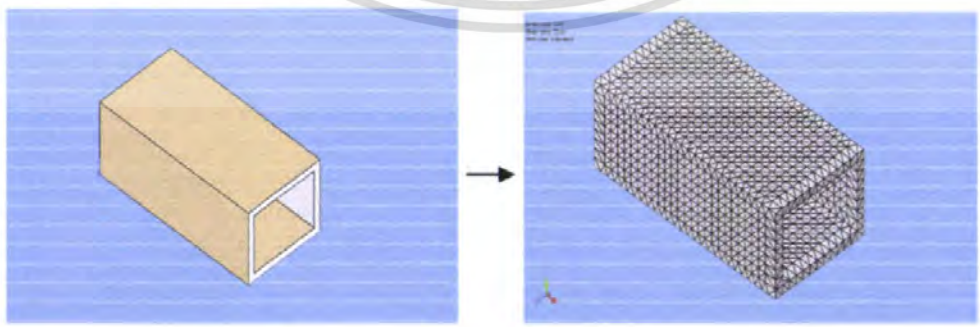
โปรแกรม CosmosWorks เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรม ที่อาศัยการคำนวณเชิงตัวเลข เทคนิค การคำนวณนี้เรียกว่า "Finite Element Method" หรือเรียกย่อๆว่า "FEM" โดยจะใช้โปรแกรม SolidWorks สร้างโมเดล หรือชิ้นส่วนที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ความแข็งแรง และระยะเคลื่อนตัว แล้วให้โปรแกรมCosmosWorksทำหน้าที่วิเคราะห์และประมวลผลโดยทั้ง 2โปรแกรมนี้จะเชื่อมโยงข้อมูลด้วยกัน



sketch model (Solidwork) Analysis (CosmosWorks)

รูป 2-4 แสดง โปรแกรม 2 โปรแกรมนี้จะเชื่อมโยงข้อมูลด้วยกัน

การวิเคราะห์วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในนามของเทคนิคการคำนวณเชิงตัวเลข (numerical technique) การแก้สมการจะใช้สมการเชิงอนุพันธ์ ในการออกแบบเครื่องจักร และกลศาสตร์ของแข็ง จากนั้นกระบวนการในการวิเคราะห์เริ่มจากการสร้างชิ้นงาน แล้วแบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ(meshing) โดยมีรูปทรง สามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยม เรียกว่า เอลิเมนต์ (Element) และชิ้นส่วนเล็กจะเชื่อมโยงกันทั้งชิ้น



รูป 2-5 แบ่งชิ้นงานออกเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

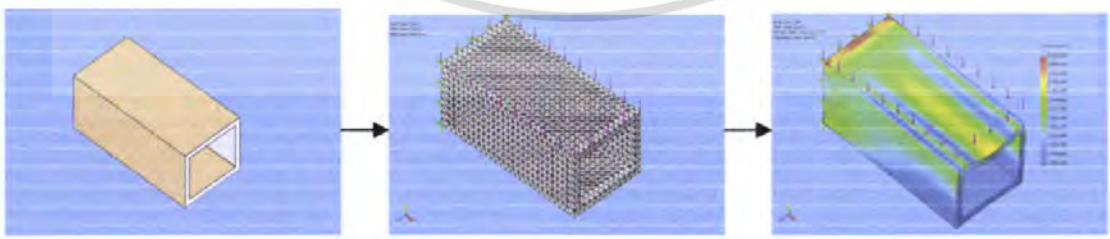
การทำงานด้วยการแบ่งเอลิเมนต์ (FEM) จะแก้สมการด้วยการประมาณค่าในแต่ละเอลิเมนต์ จนกว่าจะครบทุกชิ้นส่วน ขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามส่วนของโปรแกรม ซึ่งจะมี 3 ขั้นตอนดังนี้

- Preprocessing เป็นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลเพื่อการคำนวณโดยข้อมูลมาตรฐานจะมีทั้งคุณสมบัติวัสดุ (material properties), แรงกระทำ(load) และการจับยึด(restraints)
- Solution การคำนวณหาผลเฉลย หรือหาคำตอบ
- Postprocessing การแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณในรูปแบบชิ้นงานหรือกราฟ

รูปที่ 2-6 ขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ได้ดังนี้

- Building the Mathematical Modal (สร้างรูปแบบคณิตศาสตร์)
- Building the Finite Element Model (สร้างรูปแบบชิ้นส่วนย่อย)
- Solving the Finite Element Model (สร้างรูปแบบการแก้ปัญหา)
- Analyzing the Results (การวิเคราะห์ผลเฉลย)



รูป 2-7 แสดงขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การออกแบบขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน

การเคลื่อนที่ของรถยนต์จะต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนของมอเตอร์ที่ถ่ายทอดกำลังมาจากไซ่จานเฟืองจนถึงล้อรถ แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนนซึ่งทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้ เมื่อนำแรงขับเคลื่อนมาพิจารณาพร้อมกับอัตราเร็วของรถแล้ว จะได้เป็นกำลังในการขับเคลื่อนของรถออกมา

การหาขนาดของมอเตอร์ในการส่งกำลังที่ต้องใช้ คือ แรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดคูณด้วยความเร็วของรถที่ต้องการ ดังนั้นจะได้

$$P = Fv \qquad (2.1)$$

เมื่อ P = กำลังขับเคลื่อนที่ล้อ มีหน่วยเป็น W

F = แรงขับเคลื่อน มีหน่วยเป็น N

v = อัตราเร็วของรถยนต์ มีหน่วยเป็น m/s

จากกำลังขับเคลื่อนที่ล้อ สามารถหากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนได้ เนื่องจากการถ่ายทอดกำลังจะมีการสูญเสียกำลังไปบางส่วน ดังนั้นเมื่อหาย้อนกลับไปที่มอเตอร์ กำลังของเครื่องยนต์จะต้องมีค่ามากกว่ากำลังขับเคลื่อนที่ล้อ ดังนั้นจะได้

$$P_e = \frac{100P}{\eta_t}$$

เมื่อ P_e = กำลังขับของมอเตอร์ มีหน่วยเป็น W

ηt = ประสิทธิภาพการถ่ายทอดกำลัง มีหน่วยเป็น %

จากกฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน สามารถสรุปได้ว่าในขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่นั้น แรงขับเคลื่อนจะมีค่าเท่ากับแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น

ดังนั้น แรงขับเคลื่อน F = แรงต้านทั้งหมด R_t

เมื่อ R_t = แรงต้านทั้งหมด มีหน่วยเป็น N

ในขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่อยู่นั้นจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่และมีทิศทางสวนกับแรงขับเคลื่อน ดังนั้นแรงที่จะใช้ในการเคลื่อนที่จะต้องมีค่าเท่ากับแรงต้านการเคลื่อนที่ แรงต้านการเคลื่อนที่หาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

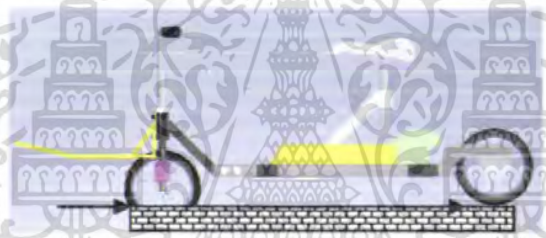
$$R_t = R_f + R_a + R_g \qquad (2.2)$$

เมื่อ R_t = แรงต้านทั้งหมด มีหน่วยเป็น N
R_f = แรงต้านการเคลื่อนที่จากแรงเสียดทาน มีหน่วยเป็น N
R_a = แรงต้านการเคลื่อนที่จากแรงต้านอากาศ มีหน่วยเป็น N
R_g = แรงต้านการเคลื่อนที่จากความชัน มีหน่วยเป็น N

2.3.1 แรงต้านการเคลื่อนที่จากแรงเสียดทาน (R_f)

พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นราบพบว่าแรงเสียดทานของวัตถุกับพื้นราบมีแรงเสียดทานของวัตถุกับพื้นผิวเป็นดังสมการ

$$R_f = f_r mg \qquad (2.3)$$



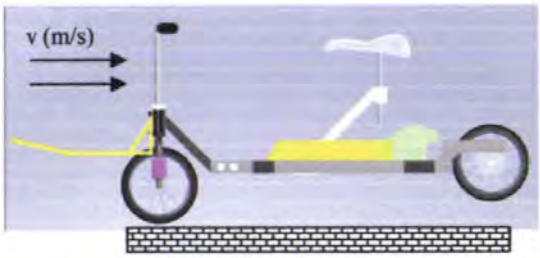
รูปที่ 2-8 ภาพแสดงเคลื่อนที่บนพื้นราบ

เมื่อ f_r = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นผิว มีหน่วยเป็น N
g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)
m = มวลของรถทั้งหมด มีหน่วยเป็น kg

2.3.2 แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงต้านทานอากาศ (R_a)

ความต้านทานของอากาศมีอิทธิพลต่อสมรรถนะ ทั้งการขับขี่และการทรงตัวของรถ ความต้านทานของอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของตัวถังรถ ความเร็วของรถและความเร็วของลม โดยทั่วไปเราจะไม่คำนึงถึงความเร็วของลมด้วยเหตุนี้ความแรงต้านทานของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-9 ภาพแสดงเคลื่อนที่บนพื้นราบ

$$R_a = 0.5\rho v^2 A C_d \qquad (2.4)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (1.2 kg/m³)

C_d = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของอากาศ

A = พื้นที่ปะทะลมด้านหน้าตัวรถ มีหน่วยเป็น m²

V = ความเร็วรถ มีหน่วยเป็น m/s

พื้นที่หน้าตัดของรถไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยม กล่าวคือ มีส่วนเว้านูนตามการออกแบบ จึงต้องใช้วิธีประมาณค่าพื้นที่หน้าตัดของรถดังนี้

$$A = 0.8WH \qquad (2.5)$$

เมื่อ W = ความกว้างด้านหน้ารถ มีหน่วยเป็น m

H = ความสูงด้านหน้ารถ มีหน่วยเป็น m

2.2.3 แรงต้านทานของทางชัน (R_g)

ความต้านทานของทางชันเกิดจากแรงย่อยที่ตกอยู่ในแนวขนานกับพื้นของถนน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ความชันของทางลาดชันและน้ำหนักของรถซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

รูปที่ 2-10 ภาพแสดงเคลื่อนที่บนพื้นทางชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_g = mg\sin\theta \qquad (2.6)$$

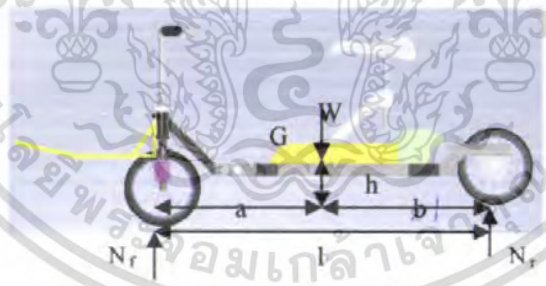
เมื่อ g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s^2)
m = มวลของรถทั้งหมด มีหน่วยเป็น kg
θ = มุมทางชันทำกับแนวระดับ มีหน่วยเป็น degree

2.4 การวิเคราะห์การทรงตัวของตัวรถ

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของตัวรถคือเรื่องการทรงตัว เพราะการทรงตัวของตัวรถเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ ตัวรถจะต้องทรงตัวได้ดีในทุกๆสถานการณ์ เนื่องจากการทรงตัวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการพลิกคว่ำของรถ ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์เกี่ยวกับการทรงตัวของตัวรถในกรณีต่างๆ เพื่อให้สามารถออกแบบขนาดของตัวรถและทราบขีดจำกัดในการใช้งานของรถเพื่อความปลอดภัยสูงสุด

2.4.1 การจอดนิ่งบนพื้นระดับ

รถยนต์มีน้ำหนัก W จอดนิ่งอยู่บนพื้นระดับ G เป็นจุดศูนย์กลางมวล เมื่อรถยนต์อยู่ในสมดุล



รูปที่ 2-11 ภาพแสดงรายละเอียดด้านข้างตัวรถ

แรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้า ขณะรถจอดนิ่งอยู่บนพื้นระดับ

$$\sum F_y = 0 \qquad R_F + R_R - W = 0 \qquad \ldots (1)$$
$$\sum M_B = 0 \qquad R_F b - Wl = 0 \qquad \ldots (2)$$

$$R_F = \frac{Wl}{b} \qquad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า R_F ในสมการ (1) จะได้

$$R_R = W(1-\frac{l}{b}) \qquad (2.8)$$

เมื่อ R_F = แรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้า มีหน่วยเป็น N

R_R = แรงปฏิกิริยาที่ล้อหลัง มีหน่วยเป็น N

W = น้ำหนักของรถยนต์ มีหน่วยเป็น N

b = ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง มีหน่วยเป็น m

l = ระยะห่างระหว่างแนวน้ำหนักกับล้อหลัง มีหน่วยเป็น m

2.4.2 การจอดนิ่งบนทางชัน

รถจอดนิ่งอยู่บนทางชันด้วยการเหยียบเบรกไว้ ถ้าด้านหน้าของรถหันลงทางชัน และรถยนต์อยู่ในสมดุล โดยผู้ขับขี่เหยียบเบรก ไว้เพื่อให้รถจอดนิ่ง สามารถหาแรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้าและล้อหลังได้ดังนี้

รูปที่ 2-12 ภาพแสดงรถขับเคลื่อนล้อหลังจอดนิ่งอยู่บนทางชัน

$$R_R = \frac{W}{b}[\,(b-l)\cos\theta - h\sin\theta\,] \qquad (2.9)$$

$$R_F = \frac{W}{b}[\,l\cos\theta + h\sin\theta\,] \qquad (2.10)$$

ถ้ากรณีรถเริ่มพลิกคว่ำรอบจุด A แสดงว่าแรงปฏิกิริยาที่ล้อหลังจะเริ่มเป็นศูนย์พอดี คือไม่มีแรงกดที่ล้อหลัง

$$R_R = \frac{W}{b}[\,(b-l)\cos\theta - h\sin\theta\,] = 0$$

$$(b-l)\cos\theta - h\sin\theta = 0$$

$$\frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \frac{b-l}{h}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tan\theta = \frac{b-l}{h} \qquad (2.11)$$

ถ้าเป็นรถหันหน้าขึ้นทางชัน เมื่อรถเริ่มจะพลิกคว่ำรอบจุด B ดังนั้นแรงปฏิกิริยา $R_F = 0$

รูปที่ 2-13 ภาพแสดงรถขับเคลื่อนล้อหลังจอดนิ่งอยู่บนทางชัน

$$R_F = \frac{W}{b}[\, l\cos\theta + h\sin\theta \,]$$
$$h\sin\theta = l\cos\theta$$
$$\tan\Theta = \frac{l}{h} \qquad (2.12)$$

2.5 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่นิยม ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานต่าง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรกลต่างๆ ในงานอุตสาหกรรมมอเตอร์มีหลายแบบหลายชนิดที่ใช้ให้เหมาะสมกับงานดังนั้นเราจึงต้องทราบถึงความหมายและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าตลอดคุณสมบัติการใช้งานของมอเตอร์แต่ละชนิดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งานของมอเตอร์นั้นๆ

ความหมายของมอเตอร์และการจำแนกชนิดของมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้า (**MOTOR**) หมายถึงเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกลมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแปลี่ยนเป็นพลังงานกลมีทั้งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง

ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

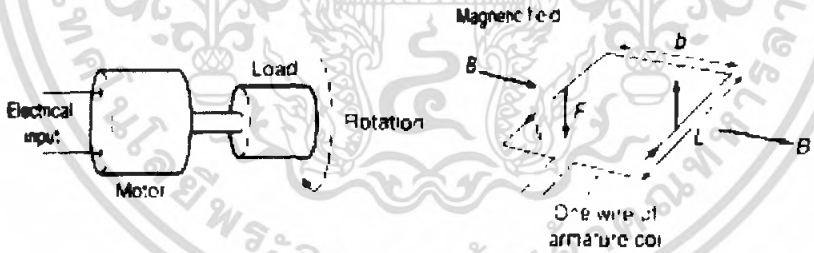
มอเตอร์ไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor)
3. มอเตอร์สเตปปิ้ง (Stepping Motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่ สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็ว ได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้ เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จึงควรรู้จักอุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่(Stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) ซึ่งส่วนที่เคลื่อนที่นี้เรียกว่า อาร์มาเจอร์ (Armature) โดยจะมีขดลวดที่บรรจุลงในสล็อตของแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ซึ่งด้านปลายของขดลวดจะถูกนำไปต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งเป็นส่วนที่รับกระแสไฟฟ้า จากภายนอกโดยผ่านแปรงถ่าน (Brushes) เข้ามาเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ภายในมอเตอร์ แล้วสนามแม่เหล็กนี้จะกระทำร่วมกันกับกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างแรงบิดเพื่อไปหมุนอาร์มาเจอร์ เพื่อที่จะรักษาแรงบิดนี้ไว้การกระจายของกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์จะต้องรักษาให้คงที่ และสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของอาร์มาเจอร์ โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นตัวกลาง เพื่อที่จะกลับทิศทางของกระแสในตัวนำอามาเจอร์ ที่ผ่านจากขั้วแม่เหล็กหนึ่งไปสู่อีกขั้วแม่เหล็กหนึ่ง ขณะที่ตัวนำอาร์มาเจอร์เคลื่อนที่จะสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็ก แล้วจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่อาร์มาเจอร์



รูปที่ 2-14 แสดงการหมุนของอาร์มาเจอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีตรงที่สามารถจ่ายแรงบิด ที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้มากกว่าแรงบิดขณะใช้งานปกติถึง 3 เท่า หรือมากกว่า และในสถานการณ์ฉุกเฉินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะจ่ายแรงบิดได้มากกว่าถึง 5 เท่าของแรงบิดใช้งานปกติโดยปราศจากการหยุดกลางคัน(Stalling)(ต้นกำลังสามารถจ่ายกำลังให้ได้)

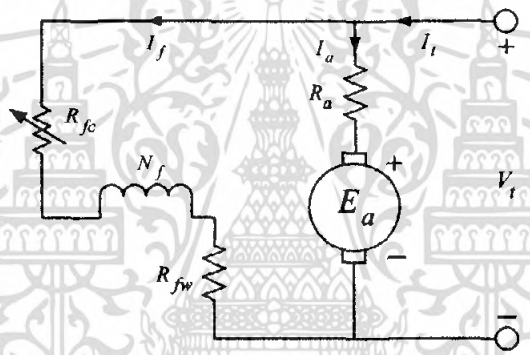
การเบรคแบบ Dynamic (พลังงานที่เกิดจากมอเตอร์จะถูกป้อนเข้าไปยังขดลวดความต้านทาน)หรือการเบรคแบบ Regenerative (พลังงานที่เกิดจากมอเตอร์จะถูกป้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง) สามารถทำได้อย่างง่ายดายกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการให้มอเตอร์หยุดอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีเบรคทางกลหรืออาจจะลดขนาดของเบรคทางกลลงได้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะควบคุมความเร็วจนถึงศูนย์รอบต่อนาทีได้อย่างไม่มีอุปสรรคโดยการเร่งในทิศทางตรงกันข้ามอย่างทันทีทันใดโดยไม่ต้องสับเปลี่ยนวงจรกำลัง และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุมได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากมันมีอัตราแรงบิดต่อความเฉื่อยสูง

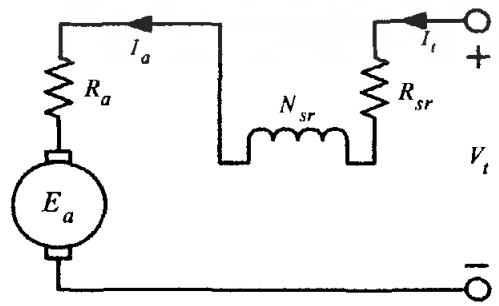
ขดลวดสนามแม่เหล็กมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดโดยแยกประเภทของสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ออกเป็น

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Motor) มอเตอร์แบบนี้ขอลวดอาร์มาเจอร์จะต่อขนานกับลวดที่สเตเตอร์โดยให้ความเร็วที่ค่อนข้างคงที่ และแรงบิดขณะเริ่มเดินไม่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์แบบอนุกรม



รูปที่ 2-15 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

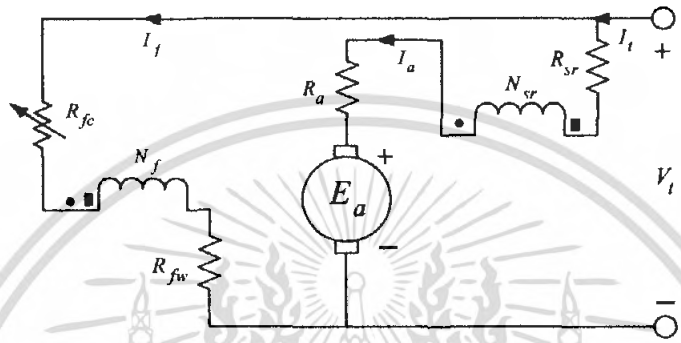
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor) มอเตอร์แบบนี้ขดลวดของอาร์มาเจอร์จะต่ออนุกรมกับขดลวดที่สเตเตอร์ ข้อดีของมอเตอร์แบบนี้ คือ ให้แรงบิดขณะเริ่มต้นสูง และมีความเร็วรอบต่ำเมื่อโหลดมากๆ และความเร็วสูงเมื่อโหลดน้อยๆ ซึ่งอาจจะทำให้มอเตอร์ได้รับอันตรายได้จึงควรต่อ (Coupling) โดยตรงกับโหลด



รูปที่ 2-16 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound DC Motor) มอเตอร์แบบนี้จะมีขดลวดที่สเตเตอร์ 2 ชุดและต่อเป็นแบบผสมร่วมกับขดลวดที่อาร์มาเจอร์ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือการนำมอเตอร์แบบอนุกรม และขนานมารวมไว้ในตัวเดียวกัน จึงทำให้คุณสมบัติของมอเตอร์ชนิดนี้อยู่ระหว่างมอเตอร์ทั้ง 2 แบบ



รูปที่ 2-17 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม

วิธีปรับความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขดลวดสนามแม่เหล็ก (Wound-field DC Motor) ตามพื้นฐานจะมี 2 วิธี ได้แก่

1.ควบคุมสนามแม่เหล็กแบบขนาน (Shunt – field Control)

การควบคุมทำได้โดยให้กระแสในขดลวดขนานของมอเตอร์มีค่าน้อย ๆ เพื่อเพิ่มความเร็วและเพื่อที่จะลดแรงบิดขาออก สำหรับกระแสในขดลวดอาร์มาเจอร์ที่กำหนดให้ เนื่องจากอัตรากระแสของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกกำหนดโดยความร้อน กระแสในขดลวดอาร์มาเจอร์สูงสุดที่ยอมได้จะค่อนข้างคงที่ตลอดทุกช่วงความเร็ว หมายความถึงที่กระแสไฟฟ้า ที่ระบุไว้แรงบิดขาออกจะแปรผกผันกับความเร็ว และมอเตอร์มีกำลังม้าคงที่ตลอดช่วงความเร็ว ระบบนี้จะดีสำหรับความเร็วที่มากกว่าความเร็วพื้นฐานเท่านั้น การลดความเร็วให้ต่ำกว่าความเร็วพื้นฐานทุกขณะทำได้โดยการเพิ่มการกระตุ้นสนามแม่เหล็กให้มากขึ้น แต่การกระตุ้นมากๆ เป็นเวลามากขึ้นจะทำให้มอเตอร์ร้อนเกินไป เช่นเดียวกับการทำให้สนามแม่เหล็กอิ่มตัวในมอเตอร์จะยอมให้ความเร็วลดลงเพียงเล็กน้อย สำหรับการเพิ่มแรงเคลื่อนเข้าไปในขดลวดมาก ๆ ช่วงความเร็วมาตรฐานสูงสุดโดยการควบคุมสนามแม่เหล็กคือ 3ต่อ1 และจะเกิดขึ้นเฉพาะกับความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วพื้นฐานเท่านั้น มอเตอร์พิเศษจะมีช่วงความเร็วมากกว่านี้แต่ถ้าช่วงความเร็วมากกว่า3 ต่อ 1 จะใช้วิธีควบคุมแบบอื่นสำหรับที่บางส่วนของช่วงความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ควบคุมแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature-voltage Control)

วิธีนี้ กระแสในขดลวดขนาด (Shunt-field) จากแหล่งจ่ายที่มีแยกไว้ต่างหากจะถูกรักษาให้คงที่ ในขณะที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ในขดลวดอาร์มาเจอร์ จะเปลี่ยนแปลงความเร็วจะเป็นสัดส่วนกับแรงเคลื่อนไฟ ฟ้าย้อนกลับ (Counter-emf) ซึ่งเท่ากับแรงเคลื่อนที่ใช้ ลบด้วยความต้านทานIR ตกคร่อมในวงจรอาร์มาเจอร์ ที่กระแสที่ระบุไว้ แรงบิดจะคงค้างอยู่อย่างคงที่โดยที่ต้องไม่คำนึงถึงความเร็ว (เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กคงที่) และดังนั้นมอเตอร์จึงมีปริมาณแรงบิดคงที่ตลอดทุกช่วยความเร็วได้ กำลังม้าจะแปรงผันตรงกับความเร็ว ตามความเป็นจริงแล้วเมื่อมอเตอร์ที่มีการระบายอากาศในตัวเองมีความเร็วลดลง การระบายอากาศจะสูญเสียไป และไม่สามารถที่จะรับภาระด้วยกระแสในขดลวดอาร์มาเจอร์มากๆ ได้โดยปราศจากการเพิ่มของอุณหภูมิเกินกว่าที่ระบุไว้

2.6 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับตัวควบคุมมอเตอร์

เป็นลักษณะของโครงสร้างวงจรที่ได้ทำการออกแบบ ในส่วนของวงจรควบคุมนั้นมีการใช้ไอซีไทม์เมอร์ 555 เป็นตัวสร้างสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่สามารถปรับความกว้างของพัลส์ได้โดยสามารถที่จะปรับค่ากว้างของพัลส์ ได้ตั้งแต่ 1%-99% เพื่อที่จะป้อนให้กับมอสเฟส ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวสวิตช์ซิ่งให้กับวงจรที่ใช้ในการควบคุมการไหลของกระแสเข้าสู่ ดีซีมอเตอร์ ขนาด 24 โวลต์

รูปที่ 2-18 โครงสร้างโดยรวมของวงจรที่ใช้งาน

2.7 แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้า (Electric vehicle energy sources)

แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับรถไฟฟ้าที่ใช้กันมีสองชนิดคือ แบตเตอรี่ (Battery) และเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) รถไฟฟ้าที่อยู่ในขั้นทดลองส่วนใหญ่จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ประเภท หรือหม้อน้ำกำเนิดชนิดไอน้ำสามารถอัดประจุเข้าไปและเก็บไว้ใช้ได้อีกเมื่อกระแสไฟฟ้าหมด ซึ่งแตกต่างจาก primary cell เพราะแผ่นธษตุ (Element) สามารถทำให้มีกระแสคืนกลับในสภาพเดิมได้โดยวิธีใช้กระแสตรง ประจุผ่านเข้าไปในเซลล์และ ในทางกลับกันเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าออกไปใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดต่างๆที่นิยมนำไปใช้กับรถไฟฟ้ามีดังนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (LEAD-ACID BATTERIES)

แบตเตอรี่นิเกิลสังกะสี (NIKEL-ZINC BATTERIES)

แบตเตอรี่นิเกิลไอออน (NIKEL-IRON BATTERIES)

แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม (NIKEL-CADMIUM BATTERIES)

แบตเตอรี่อุณหภูมิสูง (HIGH-TEMPERATURE BATTERIES)

แบตเตอรี่สังกะสีคลอรีน (ZINC-CLORINE BATTERY)

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell)

แบตเตอรี่ที่มีการนำมาใช้งานในรถไฟฟ้าในปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (LEAD-ACID BATTERIES)

แบตเตอรี่ตะกั่วกรด (LEAD-ACID BATTERIES)

เป็นแบตเตอรี่ที่มีการพัฒนาอย่างเต็มที่ในการนำมาใช้งานสำหรับลากจูง traction แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ถูกนำมาใช้ในรถไฟฟ้ามากที่สุด แบตเตอรี่ตะกั่วกรดเกิดจากการเชื่อมโยงทางอิเล็กโทรนเคมีโดยออกไซด์ของตะกั่ว ด้วยกรดฟิวริก

แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ถูกพัฒนามาอย่างดีทั้งด้าน ความเชื่อมั่นความคงทนราคาพอประมาณ มีประสิทธิภาพพอใช้ได้ ในปัจจุบันมีสามรูปแบบ แบตเตอรี่ ในรถยนต์ แบตเตอรี่ในรถกอล์ฟ และแบตเตอรี่สำหรับรถลากจูง แบตเตอรี่รูปแบบที่สอง มีความสำคัญมากในการใช้ในระบบไฮบริด hybrid system และรถไฟฟ้ากำลังสูง แบตเตอรี่สำหรับระบบลากจูงได้ถูกพัฒนาอย่างดงที่ตามลักษณะที่ต้องการสำหรับใช้ในรถไฟฟ้า และระบบไฮบริด hybrid system

การทำให้แบตเตอรี่เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ ก็ด้วยเนื่องจากกรดกำมะถันอย่างเจือจางและตะกั่วเปอออกไซด์แผ่นธาตุบวก และตะกั่วฟองน้ำแผ่นลบทำปฏิกิริยาทางเคมีในขณะทำงานและทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเมื่อวงจรระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของหม้อติดต่อถึงกัน กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วบวก ไปตามวงจรภายนอก และกลับเข้าสู่แบตเตอรี่ทางขั้วลบ กรรมวิธีจ่ายออกและประจุสัมพันธ์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกเครื่องหนึ่งคือเจนเนอเรเตอร์ หรือที่เรียกว่า ไดนาโมชาร์จ

แบตเตอรี่นิกเกิลสังกะสี (NIKEL-ZINC BATTERIES)

ได้ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในรถไฟฟ้านานแล้ว แบตเตอรี่แบบรูปชนิดนี้ ให้ความหนาแน่นพลังงาน และกำลังสูง สร้างจากวัสดุที่มีราคาถูก และมีอยู่มากในซีกโลกตะวันตก สิ่งที่จะขัดขวางในการนำแบตเตอรี่นิเกิล – สังกะสีมาใช้ในรถไฟฟ้า คืออายุการใช้งานต่ำ และอิเล็กโทรดที่ทำจากนิเกิลราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าฉลองกรุงธน

แบตเตอรี่นิเกิลไอออน(NIKEL-IRON BATTERIES)

ระบบนิเกิล-ไอออน หรือ Edison cell ได้ถูกนำมาใช้เป็นเวลาหลายปีแล้ว ในงานที่ต้องการความเชื่อมั่น ใช้งานได้ยาวนาน ได้มีการเสนอให้นำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้ในรถไฟฟ้าเนื่องจากมีความหนาแน่น กำลังและพลังงานสูง มีรอบอายุการใช้งานนานกว่า เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่นิเกิล-ไอออน มีค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำ แต่มีข้อจำกัดทางอุณหภูมิ และมีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสูง จึงไม่นิยมนำมาใช้ในรถไฟฟ้าเชิงพาณิชย์

แบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม (NIKEL-CADMIUM BATTERIES)

แบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้งานที่ต้องการกำลังต่ำๆ ในการสตาร์ทเครื่องยนต์เทอร์โบและเครื่องบิน เป็นแบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานนานที่สุด มีความหนาแน่นกำลังและพลังงานสูง เมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด สามารถใช้งานได้ในทุกสภาพอุณหภูมิ ให้คุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับอุตมคติ

สิ่งที่จะมาขัดขวางการนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้ในรถไฟฟ้า และระบบไฮบริด คือ ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นสูงเนื่องจากต้นทุนของวัสดุแพง และปริมาณของแคดเมียม ซึ่งมีอยู่จำกัดในซีกโลกตะวันตก

แบตเตอรี่อุณหภูมิสูง (HIGH-TEMPERATURE BATTERIES)

จะให้ความหนาแน่นพลังงานสูงที่สุด และมีความเป็นไปได้ ที่รถไฟฟ้าซึ่งใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถวิ่งได้ไกลขึ้นต่อการประจุแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง โดยได้ระยะทางใกล้เคียงกับรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 1 ถัง จากปัญหาติดขัดด้านการวิจัย และพัฒนาในสหรัฐอเมริกา ยุโรปและญี่ปุ่น จึงยังไม่มีการนำมาใช้

แบตเตอรี่สังกะสีคลอรีน (ZINC-CLORINE BATTERY)

แบตเตอรี่สังกะสี-คลอรีน ประกอบด้วย สังกะสี อิเล็คโทรดคลอรีน และอิเล็คโทรไลท์จากสังกะสีคลอไรด์เหลว ในขณะทำการประจุสารละลายสังกะสีคลอไรด์ในน้ำ จะถูกปั๊มอยู่ภายในแบตเตอรี่ โลหะสังกะสีจะถูกพัดพาไปอยู่บนแผ่นโลหะ ก๊าซคลอรีนจะเกิดขึ้น และถูกนำพาไปด้วยอิเล็คโทรไลต์ ในขณะที่คลายประจุ สารละลายอิเล็คโทรไลต์ จะต้องไหลวนและสังกะสีจะเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วลบ เป็นอิออนสังกะสี ส่วนอิออนคลอรีน จะเกิดขึ้นที่ขั้วบวกผลทั้งหมดจะทำให้เกิด ซิงค์คลอไรด์ ซึ่งละลายอยู่ในอิเล็คโทรไลต์ที่ไหลวน

82192

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell)

ระบบเซลล์เชื้อเพลิงได้มีการนำไปใช้ในยานอวกาศ เนื่องจากให้ความเชื่อมั่นสูงและอายุการใช้งานยาวนาน เซลล์เชื้อเพลิงได้ถูกนำไปใช้ในระบบขับเคลื่อนขนาดใหญ่ กำลังสูง เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ในรถไฟฟ้าทั่วปมี 3 ชนิดคือเซลล์เชื้อเพลิง Gas-air phosphoricเซลล์เชื้อเพลิงSolid polymer electrode และเซลล์เชื้อเพลิง Alkine เซลล์เชื้อเพลิงหรือตัวแปรผันพลังงาน ในแต่ละระบบคือ ไฮโดรเจน-ออกซิเจน เซลล์เชื้อเพลิงจะใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง และออกซิเจนเป็นตัวทำออกซิไดซ์ ไฮโดรเจนจะได้จากเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนหลายๆชนิด เชื้อเพลิงที่ถูกนำมาพิจารณามากที่สุดโดยผู้วิจัยคือ เมทานอล ซึ่งได้จากถ่านหิน

ส่วนประกอบต่างๆของแบตเตอรี่

บนปากหม้อแบตเตอรี่จะมีฝาปิดกล่องช่องน้ำกลั่นและน้ำกรดร่วมกัน โดยเฉพาะน้ำกรดนี้ มีข้อห้าม ห้ามมิให้เติมน้ำกรดล้วนๆลงในแบตเตอรี่ เมื่อปรากฏว่าน้ำกรดในแบตเตอรี่แห้งจะเติม ได้ในครั้งแรกที่เริ่มใช้เท่านั้น และน้ำรดผสมกับน้ำกลั่นในหม้อ จะต้องสูงกว่าระดับแผ่นธาตุประมาณ 3/8 นิ้ว-1/2นิ้ว

บนปากหม้อของแบตเตอรี่ นอกจากจะมีฝาปิด-เปิดเติมน้ำกลั่นแล้ว จะมีขั้วต่อสายไฟสำหรับต่อวงจรจากภายนอกอยู่ 2 ขั้วคือขั้วบวกและขั้วลบ สังเกตได้ง่ายว่าขั้วไหนเป็นขั้วบวกขั้วไหนเป็นขั้วลบดังนี้

- ขั้วบวกจะมีเครื่องหมาย (+) หรือตัวอักษร P (positive) หรือจะมีสีแดงคาดไว้
- ขั้วลบจะมีเครื่องหมาย (-) หรือตัวอักษร N (negative) หรือจะมีสีเทาคาดเอาไว้

ทั้งนี้สุดแต่ผู้ผลิตจะทำเครื่องหมายขึ้น แต่บางกรณีก็สามารถ ใช้หลักการณ์พิสูจน์ได้ว่าขั้ว ใดเป็นบวก หรือ เป็นลบ โดยใช้เส้นลวด หรือทองแดงผูกปลายขั้วทั้งสองข้างและเส้นจุ่มลงในน้ำ ปลายขั้วลบจะปรากฏเป็นฟองแก๊สผุดขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีจะเสื่อมหรือสิ้นสุดลง ขึ้นอยู่กับการใช้งานด้วยคือ ถ้าใช้งานมากก็จะหมดพลังงานเร็ว ถ้าใช้น้อยก็จะใช้ได้นาน การเปิดไฟทิ้งไว้นานๆ ก็อาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมลงเร็ว แต่แบตเตอรี่เมื่อหมดกระแสไฟสามารถประจุไฟใหม่ได้

การประจุไฟเข้าหม้อแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ต้องการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าไปใหม่ ในระหว่างที่ประจุจะได้รับกระแสใน ทิศทางตรงข้ามกับการไหลของกระแสขณะใช้งาน ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น ทำให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปใหม่ หรือทำให้แบตเตอรี่กลับสภาพในทางเคมีดังกล่าว และพร้อมที่จะใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประจุหม้อแบตเตอรี่ควรใช้เวลาประมาณ 1 วัน แต่ก็มีเรื่องประจุบางชนิดที่สามารถประจุได้เร็วมาก โดยใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมงเท่านั้นการประจุชนิดนี้เหมาะสำหรับผู้รู้จักใช้ คือใช้ให้ถูกตามวิธี

การประจุแบบช้า slow charging ใช้กระแสไฟฟ้า5 -7Aผ่านเข้าแบตเตอรี่ประมาณ14-16 ชั่วโมง วิธีนี้เหมาะสมกว่าประจุแบบเร็ว เพราะจะทำให้แบตเตอรี่คงทนกว่า

การประจุแบบเร็ว fast charging ใช้กระแสมาก 50 – 60Aผ่านเข้าแบตเตอรี่ในระยะเวลาอันสั้น ประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง

การประจุแบบใช้กระแสน้อย Trickle charging ใช้กระแสน้อยประมาณ 1 A ประจุในเวลานานๆ โดยปกติระหว่างการใช้แบตเตอรี่นั้น น้ำกรดกำมะถันในแบตเตอรี่จะรวมเข้ากับแผ่นตะกั่วธาตุ เกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นตะกั่วซัลเฟต แต่ในระหว่างการประจุกรดกำมะถันในแบตเตอรี่จะกลายสภาพเป็นกรดใหม่และเป็น electrolyte ต่อไปตามเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้างรถขนย้ายวัสดุอุปกรณ์

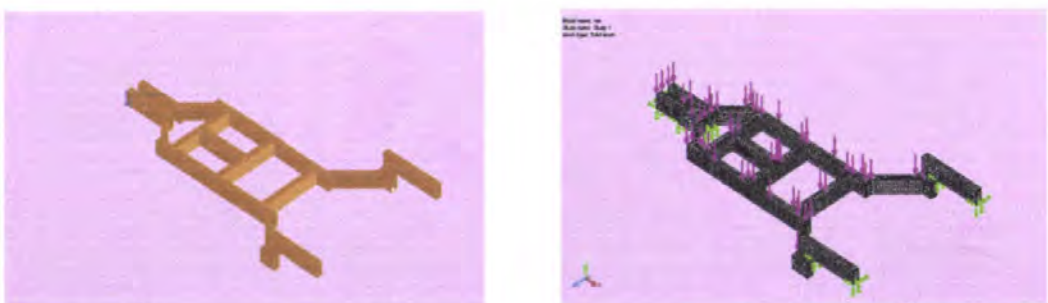
3.1 การสร้างต้นแบบของรถขนย้ายวัสดุอุปกรณ์

ในการการสร้างต้นแบบของโครงรถและตัวรถโดยการใช้โปรแกรม Solidworks 2006 เขียน model ของรูปตัวรถขึ้นมา

รูปที่ 3-1 ภาพแสดงการใช้โปรแกรม Solidworks 2006 สร้างรูปรถขึ้นมา

3.2 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงโครงรถ

เป็นการวิเคราะห์และแก้ปัญหาในการออกแบบ วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรถ เพื่อสามารถรับน้ำหนักของผู้ใช้งานและสิ่งของที่บรรทุกได้ โดยการใช้โปรแกรม Solidworks 2006 สร้างรูปโครงรถขึ้นมา โดยกำหนดขนาดเท่ากับของจริง แล้วใช้โปรแกรม CosmosWorks2006 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรถ โดยการป้อนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ให้กับโปรแกรมคือวัสดุที่ทำโครงรถเป็นเหล็กกล่องขนาด 25x50 มิลลิเมตร ความหนาของเหล็ก 2 มิลลิเมตร แล้วจำลองสถานการณ์จริงให้มีน้ำหนักของรถ น้ำหนักผู้ใช้งานและน้ำหนักสิ่งของกดทับที่โครงรถ ขนาด 2,000 นิวตัน แบ่ง Element ของโครงรถ แล้วให้โปรแกรมคำนวณและประมวลผล



รูปที่ 3-2 ภาพแสดงการใช้โปรแกรม Solidworks 2006 สร้างรูปโครงรถขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

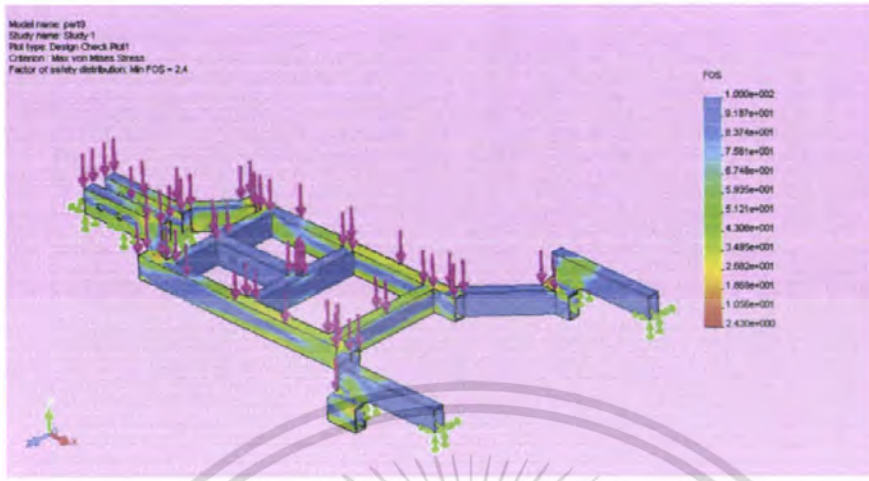
โปรแกรม CosmosWorks 2006 จะวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรถ บริเวณที่มีความเค้นสูงสุดของโครงรถได้ค่าความปลอดภัยของโครงรถคันนี้ และการยุบตัวเมื่อมีน้ำหนักกระทำกับโครงรถ

Von Mises stress		
Max Mises stress	1.44044e+008	N/m²
Min Mises stress	9885.24	N/m²
Resultant displacement		
max	0.000157838	m
min	0	m
Factor of safety	2.4	

รูปที่ 3-3 ภาพแสดง Von Mises stress

รูปที่ 3-4 ภาพแสดง displacement

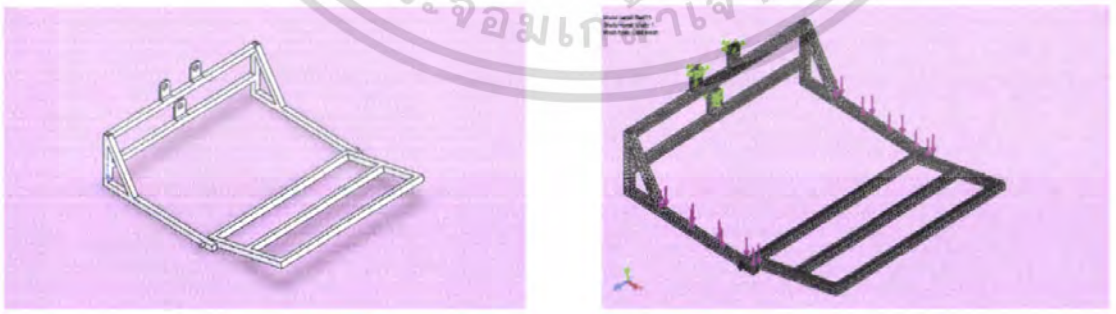
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-5 ภาพแสดง Factor of safety

3.3 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงโครงรองรับสิ่งของ

เป็นการวิเคราะห์และแก้ปัญหาในการออกแบบ วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงเพื่อสามารถรับน้ำหนักของสิ่งของที่บรรทุกได้ โดยการใช้โปรแกรม Solidworks 2006 สร้างรูปโครงขึ้นมาโดยกำหนดขนาดเท่ากับของจริง แล้วใช้โปรแกรมCosmosWorks 2006 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรถ โดยการป้อนข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ให้กับโปรแกรม คือวัสดุที่ทำโครงรถเป็นเหล็กกล่องขนาด 15x15 มิลลิเมตร ความหนาของเหล็ก 2 มิลลิเมตร แล้วจำลองสถานการณ์จริงให้มีน้ำหนักสิ่งของน้ำหนักสิ่งของกดทับที่โครงรถขนาด 250 นิวตันแบ่ง Element ของโครงรถแล้วให้โปรแกรมคำนวณและประมวลผล

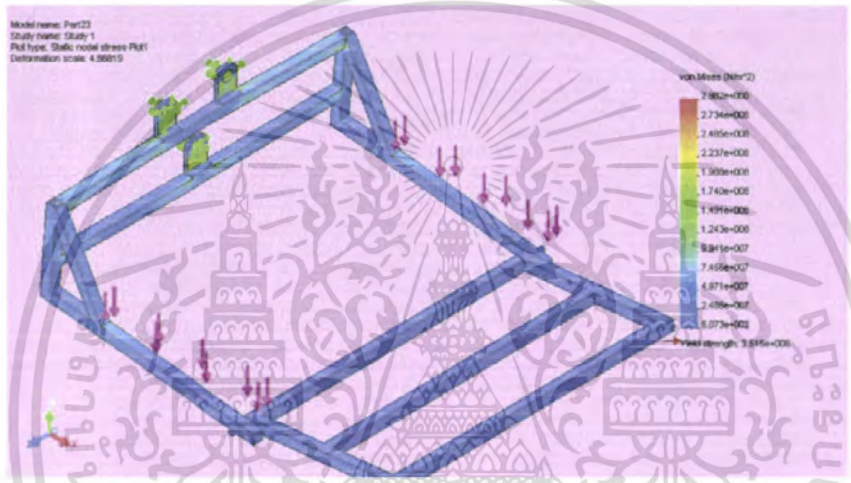


รูปที่ 3-6 ภาพแสดงการใช้โปรแกรม Solidworks 2006 สร้างรูปโครงที่รับสิ่งของขึ้นมา

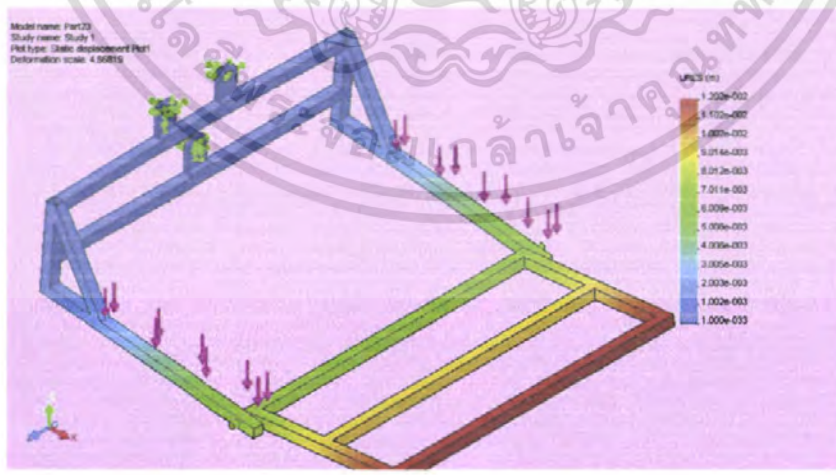
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม CosmosWork 2006 จะวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรับสิ่งของ บริเวณที่มีความเค้นสูงสุดของโครงรถได้ค่าความปลอดภัย และการยุบตัวเมื่อมีน้ำหนักกระทำกับโครงรับสิ่งของ

Von Mises stress	
Max Mises stress	2.98233e+008 N/m²
Min Mises stress	5072.74 N/m²
Resultant displacement	
max	0.000721492 m
min	0 m
Factor of safety	1.2

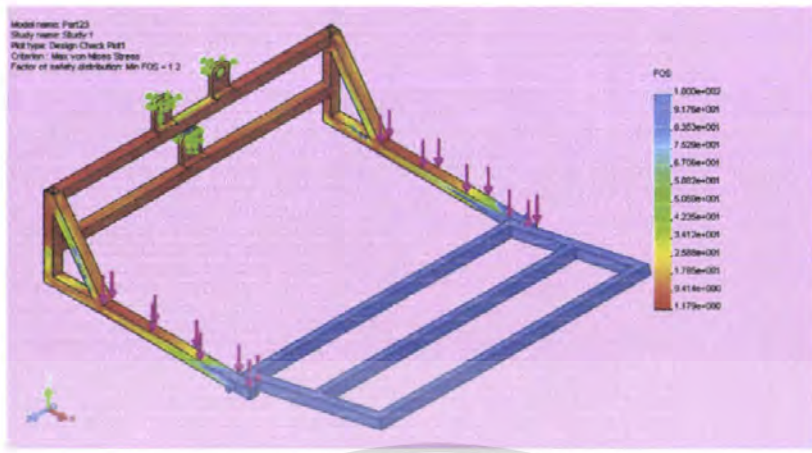


รูปที่ 3-7 ภาพแสดง Von Mises stress



รูปที่ 3-8 ภาพแสดง displacement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

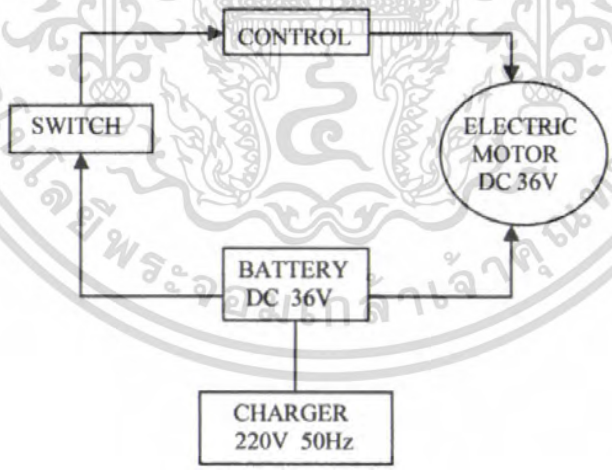


รูปที่ 3-9 ภาพแสดง Factor of safety

3.4 ระบบการทำงานของรถ

ในการออกแบบระบบการทำงานของรถ เพื่อต้องการให้รถคันนี้สามารถวิ่งได้ตามต้องการจึงทำการออกแบบระบบการทำงานของรถคันนี้ขึ้นมา

แผนภาพแสดงระบบการทำงานของรถขนย้ายวัสดุ



รูปที่ 3-10 ภาพแสดงแผนภาพการทำงานของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพการทำงานจะมีแบตเตอรี่เป็น ขนาด 12 โวลต์ 3 ตัวจ่ายกระแสไฟให้แก่มอเตอร์โดยผ่านสวิตช์ปิด - เปิดการทำงานของระบบจากนั้นจะผ่านตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์เพื่อให้สามารถปรับความเร็วของรถตามที่ต้องการแล้วส่งต่อไปยังมอเตอร์ เพื่อเป็นกำลังในการขับเคลื่อนตัวรถผ่านโซ่ เพลา และล้อรถต่อไปแต่เมื่อพลังงานแบตเตอรี่หมดก็สามารถที่จะประจุไฟฟ้ากลับให้แบตเตอรี่เต็มได้ด้วยเครื่องประจุไฟฟ้าที่ใช้ได้กับไฟตามบ้าน 220 V ทั่วไป

3.5 กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน

การเคลื่อนที่ของรถยนต์จะต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนของมอเตอร์ที่ถ่ายทอดกำลังมาจากโซ่ จานเฟืองจนถึงล้อรถ แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัส ระหว่างยางกับถนน ซึ่งทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้ เมื่อนำแรงขับเคลื่อนมาพิจารณาพร้อมกับอัตราเร็วของรถแล้ว จะได้เป็นกำลังในการขับเคลื่อนของรถออกมา

คำนวณหากำลังที่ใช้ขับเคลื่อนในทางชัน

คนขับและสิ่งของที่บรรทุก (m_2)	100 kg
ความเร็วบนทางราบ (V_a)	25 km/hr (7 m/s)
ความเร็วบนทางชัน (V_b)	5 km/hr (1.38 m/s)
มุมทางชันที่รถสามารถวิ่งขึ้นได้ (Θ)	10 องศา
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างถนนกับยาง (f_r)	0.03
สัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศ (C_d)	0.2
ความหนาแน่นของอากาศ (ρ)	1.2 kg/m³
ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g)	9.81 m/s
พื้นที่รับแรงต้านอากาศ (A)	0.5 m²

จากสูตร

$$R_t = R_f + R_a + R_g$$

$$R_a = 0.5\rho v^2 A C_d$$

$$R_f = f_r mg$$

$$R_g = mg\sin\Theta$$

ดังนั้น

$$R_t = (f_r mg) + (0.5\rho v^2 A C_d) + (mg\sin\Theta)$$

$$= 241.5N$$

กำลังที่ต้องการคือ

$$P = R_t v_b$$

$$= 241.5 \times 1.38$$

$$= 330.30 \text{ W}$$

ประสิทธิภาพการถ่ายทอดกำลัง เท่ากับ 75%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

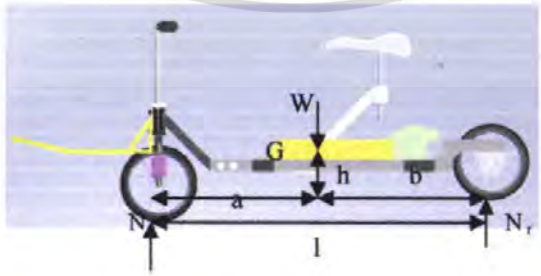
ดังนั้น กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ไปขับล้อ ต้องเท่ากับ 330.30 W จากการคำนวณแรงต้านการเคลื่อนที่เราสามารถหากำลังที่รถใช้ขับเคลื่อนได้ เพราะฉะนั้นเราจึงทำการเลือกใช้ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า 500 W มาใช้กับรถคันนี้

3.6 การวิเคราะห์การทรงตัวของตัวรถ

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของตัวรถคือเรื่องการทรงตัว เพราะการทรงตัวของตัวรถเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ ตัวรถจะต้องทรงตัวได้ดีในทุกๆสถานการณ์ เนื่องจากการทรงตัวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการพลิกคว่ำของรถดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์เกี่ยวกับการทรงตัวของตัวรถในกรณีต่างๆเพื่อให้สามารถออกแบบขนาดของตัวรถ และทราบขีดจำกัดในการใช้งานของรถเพื่อความปลอดภัยสูงสุด

ข้อมูลเกี่ยวกับตัวรถ

G = จุดศูนย์ถ่วงของตัวรถ
h = ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงของรถจากพื้นถนน (m)
l = ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง (m)
N_f = แรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้า (N)
N_r = แรงปฏิกิริยาที่ล้อหลัง (N)
a = ระยะห่างของแนวน้ำหนักรถจากล้อหน้า (m)
b = ระยะห่างของแนวน้ำหนักรถจากล้อหลัง (m)
c = ระยะห่างจากแกนกลางถึงจุดกึ่งกลางของล้อ (m)
w = น้ำหนักตัวรถ (520 N)
h = 0.150 (m)
l = 1.400 (m)
a = 0.800 (m)
b = 0.600 (m)



รูปที่ 3-11 ภาพแสดงข้อมูลตัวรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้า ขณะรถจอดนิ่งอยู่บนพื้นระดับ

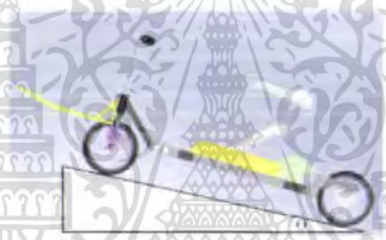
$$N_f = (Wb)/l \qquad (3.1)$$
$$N_f = 218.62\ N$$

แรงปฏิกิริยาที่ล้อหลัง ขณะรถจอดนิ่งอยู่บนพื้นระดับ

(ล้อหลังซ้าย - ขวา) $N_r = W/2(a/l)$ (3.2)
$$N_r = 145.75\ N$$

มุมความชันสูงสุดที่รถขับเคลื่อนล้อหลังสามารถทรงตัวได้อยู่ได้พอดีบนทางชัน

$$\Theta_{max} = \tan^{-1}[\mu(l-b)/(b-\mu h)] \qquad (3.3)$$
μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับถนน
$$\Theta_{max} = 15.67°$$



รูปที่ 3-12 ภาพแสดงรถขับเคลื่อนล้อหลังสามารถทรงตัวได้อยู่ได้พอดี บนทางชัน

การจอดนิ่งบนทางชันโดยหันด้านหน้ารถขึ้น

เป็นการคำนวณเพื่อหามุมทางชันสูงสุดของตัวรถที่ทำให้รถพลิกคว่ำที่จุดสัมผัสของยางล้อหลังกับทางชัน

$$\Theta_{max} = \tan^{-1}(b/h) \qquad (3.4)$$
$$\Theta_{max} = 75.96°$$

การจอดนิ่งบนทางชันโดยหันด้านหน้ารถลง

เป็นการคำนวณเพื่อหามุมทางลาดชันสูงสุดของตัวรถที่ทำให้รถพลิกคว่ำที่จุดสัมผัสของยางล้อหน้ากับทางชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-13 ภาพแสดงรถขับเคลื่อนล้อหลังสามารถทรงตัวได้อยู่ได้พอดี บนทางชัน

$$\Theta_{max} = \tan^{-1} [(l - b) / h] \qquad (3.5)$$
$$\Theta_{max} = 79.38°$$

3.7 การออกแบบเพลา

วิธีการนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (static design method) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลาให้พิจารณาเพลาให้เป็นแบบกลมดังนั้นการหาขนาดของเพลามีดังนี้

$$d^3 = 16/\pi\tau [(C_t T)^2]^{1/2} \qquad (3.6)$$

เมื่อ d = เส้นผ่านศูนย์กลางเพลา มีหน่วยเป็น mm

T = แรงบิด มีหน่วยเป็น N.mm

τ = ความเค้นเฉือนใช้งานของเพลา มีหน่วยเป็น N/mm^2

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด (แรงหมุนสม่ำเสมอ ประมาณ 1.5)

หาขนาดของเพลา

T = 14 kN.mm
τ = 55 N/mm^2
C_t = 1.5

$$d^3 = 16/\pi\tau [(C_t T)^2]^{1/2}$$
$$= 16/\pi 55 [(1.5.14000)^2]^{1/2}$$
$$d = 12.48 \text{ mm}$$

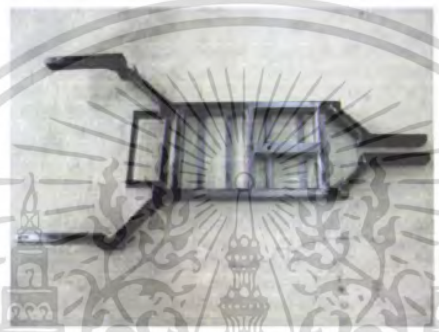
ต้องใช้ขนาดเพลาขนาด 12.48 มิลลิเมตร ขึ้นไป ดังนั้นถ้าคิดน้ำหนักตัวรถและคนขับต้องใช้ขนาดเพลาถึง 23 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
รูปร่างและส่วนประกอบ

4.1 โครงรถ

โครงรถได้ทำการออกแบบโดยโปรแกรม Solidworks 2006และวิเคราะห์ความแข็งของโครงรถเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่ โดยการใช้เหล็กสี่เหลี่ยม ขนาด 25x50 cm หนา 2 mm ทำการเชื่อมให้เหมือน กับโครงที่ออกแบบไว้



รูปที่ 4-1 ภาพโครงรถ

4.2 โครงรับสิ่งของ

โครงรับสิ่งของได้ทำการออกแบบโดยโปรแกรม Solidworks 2006 และวิเคราะห์ความแข็งของโครงเพื่อความปลอดภัยในการบรรทุกสิ่งของ โดยการใช้เหล็กสี่เหลี่ยม ขนาด 15x15 cm หนา 2 mm ทำการเชื่อมให้เหมือนกับโครงที่ออกแบบไว้

รูปที่ 4-2 ภาพโครงรับสิ่งของ

4.3 ฝาครอบแบตเตอรี่และฝาครอบมอเตอร์

ทำจากแผ่นอะลูมิเนียมนำมาดัด เพื่อทำเป็นฝาครอบแบตเตอรี่และเป็นที่วางเท้า และครอบมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4-3 ภาพฝาครอบแบตเตอรี่และฝาครอบมอเตอร์

4.4 มอเตอร์ไฟฟ้า

เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง (DC) ขนาด 36V 800 RPM โดยใช้โซ่เป็นตัวส่งถ่ายกำลังจากมอเตอร์ถึงเพลาล้อหลัง

รูปที่ 4-4 ภาพมอเตอร์

4.5 แบตเตอรี่ตะกั่วแบบปิดผนึก (Sealed lead acid battery – SLA battery)

โดยในส่วนของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก ถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันภาวการณ์เกิดแก๊สในขณะบรรจุไฟ และป้องกันการหายไปของน้ำกลั่นด้วยระบบที่ปิดผนึก แต่แบตเตอรี่ประเภทนี้จะไม่สามาถบรรจุไฟได้เต็ม และเมื่อเวลาผ่านไปจะมีประสิทธิภาพการใช้งานที่ลดลง SLA battery ต้องใช้เวลาในการบรรจุไฟใหม่ประมาณ 20 ชั่วโมง แต่ไฟที่บรรจุได้ก็ไม่ถึง 100 % ส่วนมาแล้วเครื่องบรรจุไฟที่มีขายทั่วไปจะใช้เวลาบรรจุไฟประมาณ 4-6 ชั่วโมงและบรรจุไฟได้ประมาณ 80 – 90 %

ในโครงงานนี้ใช้แบตเตอรี่ตะกั่วแบบปิดผนึก ขนาด 12 โวลต์ 7.5 แอมแปร์ 3 ก้อน นำมาต่อแบบอนุกรมเพื่อให้แรงดันไฟเท่ากับ 36 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเครื่องชาร์จ เป็นเครื่องชาร์จแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จไฟแบตเตอรี่ทั้งแบบน้ำและแบบแห้ง ชาร์จ ไฟแบตเตอรี่ขนาด 36 โวลต์

รูปที่ 4-5 ภาพแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก

4.6 กล่องควบคุมความเร็ว

กล่องควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟไปยังอุปกรณ์ส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะถูกใช้ควบคู่มอเตอร์

รูปที่ 4-6 ภาพกล่องควบคุมความเร็ว

4.7 แผงหน้า ปิด-เปิด

ควบคุมการปิด-เปิดการทำงานของรถ และยังมีมาตรวัดระดับพลังงานของแบตเตอรี่ และสวิตซ์ไฟหน้ารถ

รูปที่ 4-7 ภาพแผงหน้า ปิด-เปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 มาตรวัดความเร็ว

เพื่อรู้ความเร็วของรถ ในขณะที่กำลังขับขี่

รูปที่ 4-8 ภาพมาตรวัดความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติม

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบโครงรถ

- วิเคราะห์โครงรถให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง โดยซอฟท์แวร์ในการออกแบบ

ขั้นตอนที่ 3 จัดหาอุปกรณ์และติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆลงบนตัวรถ

- ทำการเชื่อมโครงรถ ของโครงรับสิ่งของ
- ทำเพลาล้อหลัง แล้วนำมาประกอบตัวรถ
- ติดตั้งขาตะเกียบหน้า และล้อหน้า
- ติดตั้งเบรก
- ติดตั้งมอเตอร์เข้ากับตัวรถ
- นำแบตเตอรี่แห้งมาต่ออนุกรม
- ประกอบชุดควบคุมความเร็วลงบนตัวรถ และติดตั้งสายไฟทั้งหมด พร้อมติดตั้งไฟหน้ารถ
- ติดตั้งมาตรวัดความเร็ว
- ทดสอบประสิทธิภาพของตัวรถ

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดสอบและบันทึกผลเก็บข้อมูล

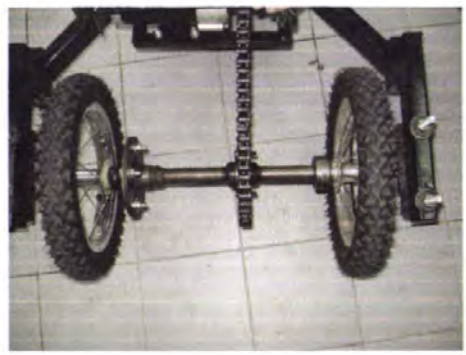
ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงแก้ไข

- ทำการปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่ยังมีข้อผิดพลาด ให้ดียิ่งขึ้น
- ทำการทดสอบและบันทึกผลเก็บข้อมูลครั้งสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 6 จัดทำปริญญานิพนธ์

รูปที่ 5-1 ภาพกำลังประกอบตัวรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

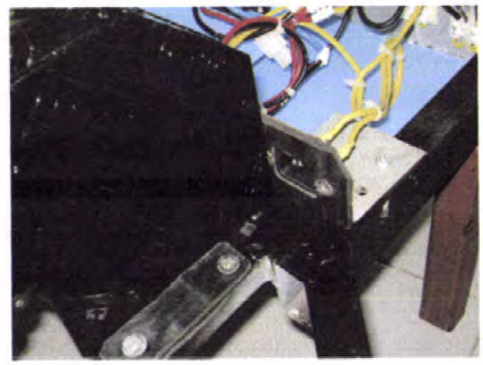


รูปที่ 5-2 ภาพประกอบมอเตอร์เข้ากับเพลาล้อหลัง

รูปที่ 5-3 ภาพนำแบตเตอรี่มาต่ออนุกรมและติดตั้งเข้ากับตัวรถ

รูปที่ 5-4 ภาพติดตั้งสายไฟและตัวควบคุมความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-5 ภาพติดตั้งที่ชาร์จแบตเตอรี่

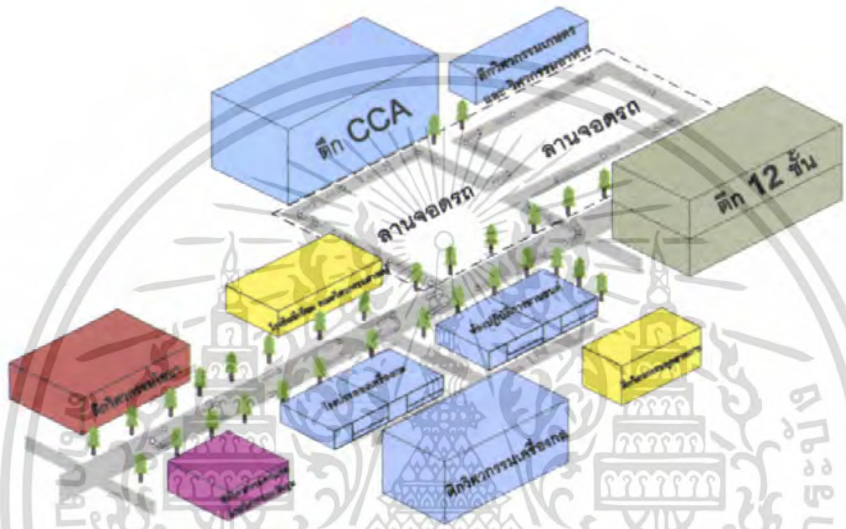
รูปที่ 5-6 ภาพติดตั้งไฟหน้า

รูปที่ 5-7 ภาพตรวจสอบและตกแต่งให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การทดสอบ

ในการทดสอบเพื่อหาเวลาการใช้งานสูงสุดของรถและระยะทางวิ่งที่ได้ โดยในการทดสอบครั้งนี้จะใช้ถนนบริเวณในสถาบันเป็นที่ทดสอบ และกำหนดข้อมูลในการทดสอบ



รูปที่ 6-1 ภาพถนนบริเวณในสถาบันเป็นที่ทดสอบ

การทดสอบครั้งที่ 1

ทดสอบเพื่อหาเวลาการใช้งานสูงสุดของรถและระยะทางวิ่งที่ได้ เมื่อมีน้ำหนักของคนขับ 60 กิโลกรัม ใช้เวลาในการชาร์จไฟแบตเตอรี่ ครั้งละ 10 ชั่วโมง

ผลการทดสอบ

ครั้งที่	ความเร็วสูงสุด (km/hr)	ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)	เวลาที่วิ่งได้ (min)	ระยะทางที่วิ่งได้ (km)
1	19.6	16.9	84	23.8
2	20.5	17.2	80	22.2
3	20.2	16.8	75	21.0
4	19.8	17.1	72	20.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการชาร์ตไฟแบตเตอรี่แต่ละครั้ง (ครั้งละ 10 ชั่วโมง) เครื่องชาร์ตไฟแบตเตอรี่ ขนาด 36 โวลต์ 80 วัตต์

จำนวนยูนิต = กำลังไฟฟ้า x เวลาที่ใช้ในการชาร์ต
= 80 x 0.001 x 10
= 0.8 ยูนิต

ค่าไฟฟ้า = จำนวนยูนิต x ค่าไฟต่อหนึ่งยูนิต
= 0.8 x 3
= 2.4 บาท

ค่าไฟฟ้าต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร = ค่าไฟฟ้า / ระยะทาง
= 2.4 / 21.875
= 0.1097 บาทต่อหนึ่งกิโลเมตร

การทดสอบครั้งที่ 2

ทดสอบเพื่อหาเวลาการใช้งานสูงสุดของรถและระยะทางวิ่งที่ได้ เมื่อมีน้ำหนักของคนขับ 60 กิโลกรัม และน้ำหนักสิ่งของที่บรรทุก 25 กิโลกรัม ใช้เวลาในการชาร์จไฟแบตเตอรี่ ครั้งละ 10 ชั่วโมง

รูปที่ 6-2 ภาพตุ้มน้ำหนักที่นำมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

ครั้งที่	ความเร็วสูงสุด (km/hr)	ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)	เวลาที่วิ่งได้ (min)	ระยะทางที่วิ่งได้ (km)
1	19.6	16.5	60	16.3
2	19.4	16.3	56	16.1
3	19.5	16.4	52	15.7
4	19.2	16.1	50	15.4

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการชาร์ตไฟแบตเตอรี่แต่ละครั้ง (ครั้งละ 10 ชั่วโมง) เครื่องชาร์ตไฟแบตเตอรี่ ขนาด 36 โวลต์ 80 วัตต์

จำนวนยูนิต = กำลังไฟฟ้า x เวลาที่ใช้ในการชาร์ต
= 80 x 0.001 x 10
= 0.8 ยูนิต

ค่าไฟฟ้า = จำนวนยูนิต x ค่าไฟต่อหนึ่งยูนิต
= 0.8 x 3
= 2.4 บาท

ค่าไฟฟ้าต่อระยะทางหนึ่งกิโลเมตร = ค่าไฟฟ้า / ระยะทาง
= 2.4 / 15.875
= 0.1512 บาทต่อหนึ่งกิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปโครงงานและแนวทางการปรับปรุง

7.1 สรุปผลโครงงาน

จากการออกแบบ สร้างและทำการทดสอบรถขนย้ายอุปกรณ์สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ได้รถขนย้ายอุปกรณ์ที่สามารถขนน้ำหนักได้ 25 กิโลกรัม
2. รถขนย้ายอุปกรณ์สามารถวิ่งบนทางราบด้วยความเร็วเฉลี่ย 16.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามรถ วิ่งบนทางชัน 10° ได้
3. ค่าใช้จ่ายในการประจุไฟฟ้าประมาณ 2.4 บาทต่อครั้งและสามารถได้ระยะทาง 16.5 กิโลเมตร

จากการศึกษาปัญหาในการออกแบบการสร้าง สถานการณ์ในการใช้งานรถ พบว่าปัญหาส่วนหนึ่งที่สำคัญคือ การเก็บพลังงานไฟฟ้า คือแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบปิดผนึก (Sealed Lead Acid Battery) ซึ่งถือว่าเป็นแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพในการเก็บไฟฟ้า และประจุไฟฟ้าต่ำ แต่สำหรับแบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นก็ยังมีราคาค่อนข้างสูง เช่นแบตเตอรี่แบบลิเธียมไอออน ซึ่งในอนาคตคาดว่าจะมีการค้นคว้า และพัฒนาแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น และราคาแบตเตอรี่ก็จะถูกลงตามไปด้วย

7.2 แนวทางการปรับปรุงและพัฒนา

- รถไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมา สามารถทำความเร็วให้มากกว่านี้ ได้เนื่องจากขนาดมอเตอร์ที่เลือกใช้มีความดันเพียง 36 โวลต์ หากต้องการความเร็วที่เพิ่มขึ้นก็สามารถเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีขนาดกำลังและแรงดันสูงกว่านี้ ซึ่งก็จะทำให้ราคาเพิ่มขึ้นสูงตามด้วย เพราะต้องใช้แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นและราคามอเตอร์ก็สูงขึ้นตามไปด้วย

- ขนาดน้ำหนักของแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ยังค่อนข้างมีน้ำหนักมาก ซึ่งส่งผลให้น้ำหนักรวมของรถไฟฟ้าหนักมากตามไปด้วย ซึ่งถ้าสามารถเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีน้ำหนักเบากว่านี้ก็จะทำให้น้ำหนักของรถไฟฟ้าลดลง ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของรถไฟฟ้าดีขึ้น แต่ราคาของแบตเตอรี่ยังมีราคาที่สูงอยู่

- โครงสร้างของรถนั้นมีน้ำหนักค่อนข้างมากเพราะทำขึ้นจากเหล็กทั้งหมด ถ้าสามารถลดน้ำหนักของตัวโครงรถ โดยเลือกใช้โครงรถที่ทำมาจากอลูมิเนียมได้ ก็จะสามารถทำให้รถไฟฟ้ามีความเร็วเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีความดันแค่ 36โวลต์ทำให้สามารถวิ่งในระยะทางไกลมากๆไม่ได้ ในอนาคตควรเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีความดันเพิ่มขึ้น

รถไฟฟ้าที่ได้ทำการออกแบบดัดแปลงสร้างขึ้นมานี้ ในมีความสามารถในการนำไปใช้ งานได้ดีระดับหนึ่ง ในการขนถ่ายวัสดุเป็นระยะทางไกลไม่เกิน 25 กิโลเมตร เป็นทางเลือกใน การขนถ่ายที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยมาก อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงาน แต่หากจะมีการผลิตสร้างใน เชิงพาณิชย์นั้นต้องมีการปรับปรุงในด้านการรับน้ำหนัก และระยะทางที่วิ่งได้ต่อการประจุไฟ 1 ครั้ง ให้มากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Artamonov, M.D. Motor Vehicles, Fundamental and Design. Mir Publisher, Moscow, 1976

[2] Zammit, S.J. Motor Vehicles Engineering Science for Technicians. ELBS with Longman, 1992

[3] รองศาสตราจารย์ธีระยุทธ สุวรรณประที, วิศวกรรมยานยนต์ กรุงเทพฯ, วิทยพัฒน์, 2547

[4] วริทธิ์ อึงภากรณ์, ชาญ ถนัดงาน "การออกแบบเครื่องจักรกล" , เล่มที่ 1 ,ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน), ปี พ.ศ. 2541

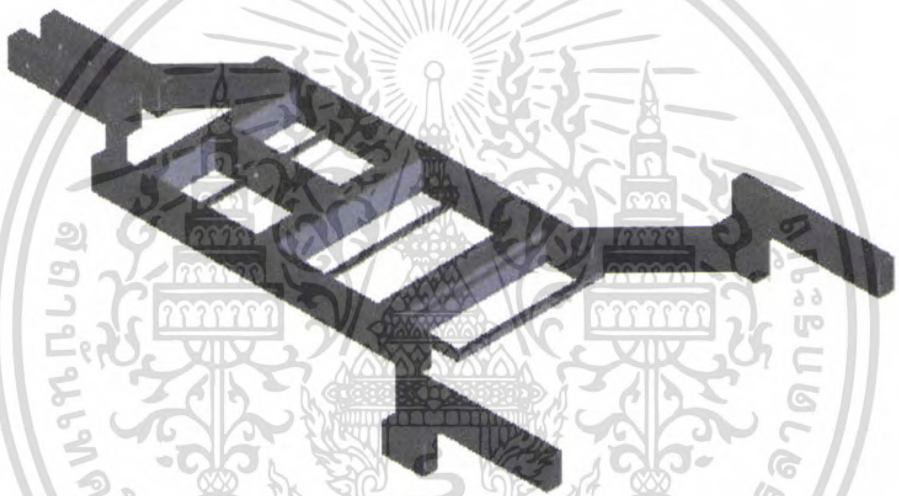
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
แสดงรายละเอียดของตัวรถขนย้ายวัสดุอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG

PART NAME : โครงเก้า	DATE : MARCH 2 ,2008
	SCALE : 1:6



KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG

DATE : MARCH 2 ,2008

PART NAME : โครงกล

SCALE : 1:6

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG

PART NAME : แยกส่วนประกอบรถ	DATE : MARCH 2 ,2008
	SCALE : 1:10

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG

PART NAME : ส่วนประกอบรถ

DATE : MARCH 2 ,2008

SCALE : 1:10

ภาคผนวก ช

บทความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สืบค้นข้อมูลออนไลน์ของบทความและปริญญานิพนธ์ได้ที่
www.kmitl.info PS.....2550

บทความประกอบวิชา 01054025 Project 2 ภาคเรียนที่ 2/2550 วันจันทร์ที่ 17 มีนาคม 2551

การออกแบบรถขนย้ายอุปกรณ์ในโรงงาน[1]

กานต์ ทองเพ็งจันทร์[2], ณัชชา ชัยจำ[2], ทนุพงศ์ ชัยทิพย์[2], รศ.ดร.จำลอง ปราบแก้ว[3], ดร.ปัญญา ชันธ์สุวรรณ[3]

บทคัดย่อ

การขนย้ายวัตถุสิ่งของในโรงงานหรือในโกดังเก็บสินค้ามีหลายวิธี เครื่องมือและอุปกรณ์ในการขนย้ายมีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดมีข้อดีและข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกันไป โครงงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบรถขนย้ายวัสดุที่สามารถใช้ขนสิ่งของที่มีน้ำหนัก 25 กิโลกรัม ขนาดความกว้างของตัวรถ 750 มิลลิเมตร ความยาว 2,000 มิลลิเมตร ที่ใช้งานได้คล่องตัวและรวดเร็ว สามารถใช้งานบนความกว้างของทางวิ่ง 90 เซนติเมตรและขึ้นทางชันได้ 10 องศา ใช้พลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ขนาด 36 โวลต์ให้แก่มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนตัวรถและได้มีการออกแบบตัวรถและการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรถในการรับน้ำหนักสิ่งของและผู้ใช้งาน ที่ทำด้วยเหล็กโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ COSMOSWorks 2006 มาวิเคราะห์ในการออกแบบเพื่อหาขนาดโครงสร้างหลักที่เหมาะสมจากนั้นก็จะทำการสร้างรถต้นแบบและทดสอบการใช้งานจริงเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและการปรับปรุงต่อไป

Abstract

There are many ways to transport objects in factory, each way has its restriction. This project is presented design and building of the transporter which can load a 25 kilograms object. This transporter has 750 millimeters width 2,000 millimeters length. It can runs at minimum 90 centimeters width pathway and maximum 10 degrees slope,uses 500 watts DC motor, 36 voltage batteries.COSMOSWorks 2006 program is used to design and analysis the suitable body.Then build up the transporter and testing in real situation for improvement and development.
© 2007 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All rights reserved

1. บทนำ

ณ ปัจจุบันนี้ จะเห็นได้ว่าในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการใช้รถขนย้ายวัสดุอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และราคาสูง ซึ่งเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายของโรงงาน แต่ถ้าสิ่งของที่เราจะทำการขนย้ายมีน้ำหนักและขนาดที่ไม่มาก เคลื่อนที่ในบริเวณทางแคบและทางชันได้ จึงสร้างรถขนย้ายขนาดเล็กที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน เพื่อลดปัญหามลภาวะทางเสียงและอากาศ ต้นทุนการผลิตที่ไม่สูง ด้วยเหตุนี้จึงได้ศึกษาและวิจัยโครงงานนี้ขึ้นมาเพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาให้มีศักยภาพที่สูงขึ้นในการนำไปใช้งานและเป็นที่ยอมรับในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและสร้างรถขนย้ายต้นแบบที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า
2. ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ COSMOSWorks 2006 ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรถ
3. หากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน

[1] ชื่ออังกฤษ "Electric Transporting Scooter"

[2] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 4G รหัส 47010038, 47010211 และ 47010265 ตามลำดับ

[3] รองศาสตราจารย์และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. โทร. 0-2326-4197

© 2007 Department of Mechanical Engineering, KMITL.

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ

3.1 การออกแบบรถ

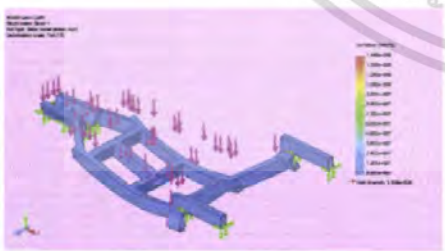
การสร้างต้นแบบของรถโดยการใช้โปรแกรมSolidWorks2006 เขียน model ของรูปตัวรถขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 แสดงรูปแบบของตัวรถ

เป็นรถที่ใช้สำหรับการนั่งบังคับทิศทางการเคลื่อนที่และควบคุมความเร็ว โดยวางสิ่งของที่จะทำการขนย้ายไว้ตรงด้านหน้าตัวรถ

3.2 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงโครงรถ

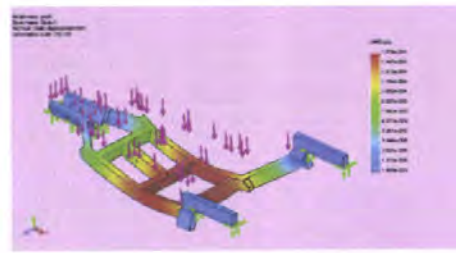
เป็นการวิเคราะห์และแก้ปัญหาในการออกแบบ วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรถเพื่อสามารถรับน้ำหนักของผู้ใช้งาน และสิ่งของที่บรรทุกได้โดยการใช้โปรแกรมCOSMOSWorks 2006สร้างรูปโครงรถขึ้นมา โดยกำหนดขนาดเท่ากับของจริง ใช้เหล็กเป็นวัสดุของโครงรถขนาด 25x50 มิลลิเมตร ความหนาของเหล็ก 2 มิลลิเมตรแล้วจำลองสถานการณ์จริง ให้มีน้ำหนักของผู้ใช้งานและน้ำหนักสิ่งของกดทับที่โครงรถขนาด 2,000 นิวตัน แล้วให้โปรแกรมคำนวณและประมวลผล ได้ค่าความปลอดภัยของโครงรถคันนี้ แสดงรูปการยุบตัว และบริเวณที่มีความเค้นสูงของโครงรถ



รูปที่ 2 ภาพแสดงการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรถ

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรม COSMOSWorks 2006

Safety Factor = 2.4
Stresses:
Maximum = 1.44044e+008 N/m²
Minimum = 9885.24 N/m²
Yield = 3.5e+008 N/m²



รูปที่ 3 ภาพแสดงการวิเคราะห์การโก่งตัวของโครงรถ

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรม COSMOSWorks 2006

Displacements:
Maximum = 0.000157838 m
Minimum = 0.0 m

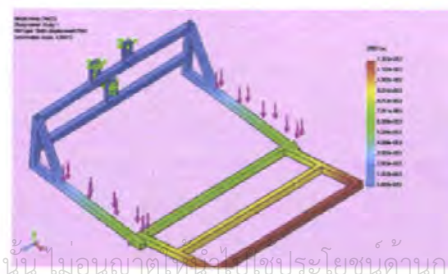
3.3 การวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงโครงรองรับสิ่งของ

เป็นการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรองรับสิ่งของที่บรรทุกโดยการใช้โปรแกรม COSMOSWorks 2006 สร้างรูปโครงรองรับขึ้นมา โดยกำหนดขนาดเท่ากับของจริงใช้เหล็กเป็นวัสดุของโครงรถขนาด15x15 มิลลิเมตรความหนาของเหล็ก 2 มิลลิเมตรแล้วจำลองสถานการณ์จริงให้มีน้ำหนักสิ่งของกดทับที่โครงรถขนาด250นิวตัน แล้วให้โปรแกรมคำนวณและประมวลผล ได้ค่าความปลอดภัยของโครงรองรับสิ่งของของรถคันนี้ แสดงรูปการยุบตัว และบริเวณที่มีความเค้นสูงของโครง

รูปที่ 4 ภาพแสดงการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงรองรับสิ่งของ

3.3.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรม COSMOSWorks 2006

Safety Factor = 1.2
Stresses:
Maximum = 2.98233e+008 N/m²
Minimum = 5072.74 N/m²
Yield = 3.5e+008 N/m²



รูปที่ 5 ภาพแสดงการวิเคราะห์การโก่งตัวของโครงรองรับสิ่งของ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

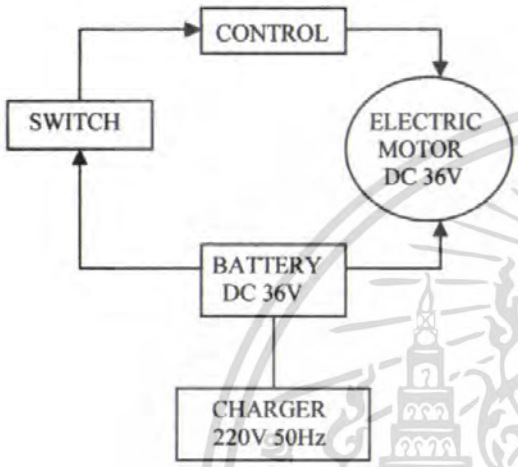
3.3.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรม COSMOSWorks 2006

Displacements:
Maximum = 0.000721492 m
Minimum = 0.0 m

3.4 ระบบการทำงานของรถ

ในการออกแบบระบบการทำงานของรถ เพื่อต้องการให้รถคันนี้สามารถวิ่งได้ตามต้องการจึงทำการออกแบบระบบการทำงานของรถคันนี้ขึ้นมา

แผนภาพแสดงระบบการทำงานของรถขนย้ายวัสดุ



รูปที่ 6 ภาพแสดงระบบการทำงานของรถ

จากแผนภาพการทำงานจะมีแบตเตอรี่เป็นขนาด 12 โวลต์ 3 ตัว จ่ายกระแสไฟให้แก่มอเตอร์โดยผ่านสวิตช์ ปิด – เปิดการทำงานของระบบจากนั้นจะผ่านตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์เพื่อให้สามารถปรับความเร็วของรถตามที่ต้องการ แล้วส่งต่อไปยังมอเตอร์เพื่อเป็นกำลังในการขับเคลื่อนตัวรถผ่านโซ่ เพลา และล้อรถต่อไป แต่เมื่อพลังงานแบตเตอรี่หมดก็สามารถที่จะประจุไฟฟ้ากลับให้แบตเตอรี่เต็มได้ด้วยเครื่องประจุไฟฟ้าที่ใช้ได้กับไฟตามบ้านทั่วไป

3.5 กำลังของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน

การเคลื่อนที่ของรถยนต์จะต้องอาศัยแรงขับเคลื่อนของมอเตอร์ที่ถ่ายทอดกำลังมาจากโซ่ จานเฟืองจนถึงล้อรถ แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนนซึ่งทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้ เมื่อนำแรงขับเคลื่อนมาพิจารณาพร้อมกับอัตราเร็วของรถแล้วจะได้เป็นกำลังในการขับเคลื่อนของรถออกมา

การหาขนาดของมอเตอร์ในการส่งกำลังที่ต้องใช้ คือ แรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมดคูณด้วยความเร็วของรถที่ต้องการดังสมการ

$$P = R_t v \quad (W) \qquad (1)$$

3.5.1 แรงต้านการเคลื่อนที่ (R_t)

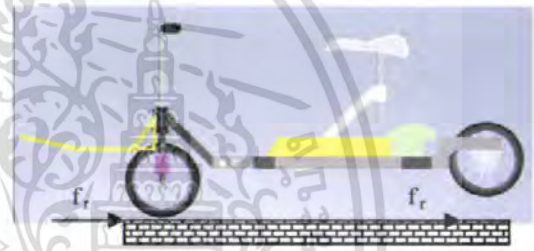
ในขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่อยู่นั้นจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่และมีทิศทางสวนกับแรงขับเคลื่อน ดังนั้นแรงที่จะใช้ในการเคลื่อนที่จะต้องมีค่าเท่ากับแรงต้านการเคลื่อนที่ แรงต้านการเคลื่อนที่หาได้จากสมการ

$$R_t = R_f + R_a + R_g \qquad (2)$$

R_t คือ แรงต้านการเคลื่อนที่ทั้งหมด (N)
R_f คือ แรงต้านการเคลื่อนที่จากแรงเสียดทาน (N)
R_a คือ แรงต้านการเคลื่อนที่จากแรงต้านอากาศ (N)
R_g คือ แรงต้านการเคลื่อนที่จากความชัน (N)

3.5.2 แรงต้านการเคลื่อนที่จากแรงเสียดทาน (R_f)

พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นราบพบว่าแรงเสียดทานของวัตถุกับพื้นราบมีแรงเสียดทานของวัตถุกับพื้นผิวเป็นดังสมการ



รูปที่ 7 ภาพแสดงเคลื่อนที่บนพื้นราบ

$$R_f = f_r mg \qquad (3)$$

f_r คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างพื้นผิว
g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s²)
m คือ มวลของรถทั้งหมด (kg)

3.5.3 แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงต้านทานอากาศ (R_a)

รูปที่ 8 ภาพแสดงเคลื่อนที่บนพื้นราบ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานของอากาศมีอิทธิพลต่อสมรรถนะ ทั้งการขับขี่และการทรงตัวของรถ ความต้านทานของอากาศจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของตัวถังรถ ความเร็วของรถและความเร็วของลม โดยทั่วไปเราจะไม่คำนึงถึงความเร็วของลมด้วยเหตุนี้ความต้านทานของอากาศจะมีค่าเป็นตามสมการ

$$R_a = 0.5\rho v^2 A C_d \qquad (4)$$

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (1.2 kg/m³)

C_d คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของอากาศ

A คือ พื้นที่ปะทะลมด้านหน้าตัวรถ (m²)

V คือ ความเร็วรถ (m/s)

พื้นที่หน้าตัดของรถไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยม กล่าวคือ มีส่วนเว้านูนตามการออกแบบ จึงต้องใช้วิธีประมาณค่าพื้นที่หน้าตัดของรถดังนี้

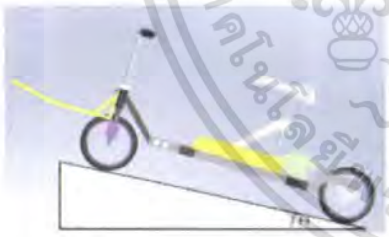
$$A = 0.8WH \qquad (5)$$

W คือ ความกว้างด้านหน้ารถ (m)

H คือ ความสูงด้านหน้ารถ (m)

3.5.4 แรงต้านทานของทางชัน (R_g)

ความต้านทานของทางชันเกิดจากแรงย่อยที่ตกอยู่ในแนวขนานกับพื้นของถนน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ความชันของทางลาดชันและน้ำหนักของรถซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ



รูปที่ 9 ภาพแสดงเคลื่อนที่บนพื้นทางชัน

$$R_g = mg\sin\theta \qquad (6)$$

g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (9.81 m/s²)

m คือ มวลของรถทั้งหมด (kg)

θ คือ มุมทางชันทำกับแนวระดับ (degree)

ก. ข้อมูลของตัวรถที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของมอเตอร์

มวลของตัวรถ (m_1)	52 kg
มวลที่สามารถบรรทุกได้สูงสุดรวมทั้งน้ำหนักของตัวคนขับและสิ่งของที่บรรทุก (m_2)	100 kg
ความเร็วบนทางราบ (v_a)	20 km/hr (5.56 m/s)
ความเร็วบนทางชัน (v_b)	5 km/hr (1.38 m/s)
มุมทางชันที่รถสามารถวิ่งขึ้นได้ (θ)	10 องศา
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างถนนกับยาง (f_r)	0.02
สัมประสิทธิ์แรงต้านของอากาศ (C_d)	0.2
ความหนาแน่นของอากาศ (ρ)	1.2 kg/m³
ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g)	9.81 m/s
พื้นที่รับแรงต้านอากาศ (A)	0.5 m²

คำนวณหากำลังที่ใช้ขับเคลื่อนในทางชัน

จากสูตร $R_t = R_f + R_a + R_g$

$R_a = 0.5\rho v^2 A C_d$

$R_f = f_r mg$

$R_g = m*g*\sin\theta$

ดังนั้น $R_t = (f_r mg) + (0.5\rho v^2 A C_d) + (mg\sin\theta)$

$= (0.02x(100+52)x9.81) + (0.5x1.2x49x0.5x0.2) + ((100+52)x9.81x0.14)$

$= 29.82 + 2.94 + 208.76$

$= 241.52$ N

กำลังที่ต้องการคือ $P = R_t v_b$

$= 241.52*1.38$

$= 333.30$W

ประสิทธิภาพการถ่ายทอดกำลัง เท่ากับ 75%

ดังนั้น กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับล้อ ต้องเท่ากับ 440.4 W จากการคำนวณแรงต้านการเคลื่อนที่เราสามารถหากำลังที่รถใช้ขับเคลื่อนได้ เพราะฉะนั้นเราจึงทำการเลือกใช้ขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า 500 W มาใช้กับรถคันนี้

3.6 การวิเคราะห์การทรงตัวของตัวรถ

ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของตัวรถคือเรื่องการทรงตัว เพราะการทรงตัวของตัวรถเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความปลอดภัยของผู้ขับขี่ ตัวรถจะต้องทรงตัวได้ดีในทุกๆสถานการณ์ เนื่องจากการทรงตัวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการพลิกคว่ำของรถ ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์เกี่ยวกับการทรงตัวของตัวรถในกรณีต่างๆ เพื่อให้สามารถออกแบบขนาดของตัวรถและทราบขีดจำกัดในการใช้งานของรถเพื่อความปลอดภัยสูงสุด

3.6.1 ข้อมูลเกี่ยวกับตัวรถ

G = จุดศูนย์ถ่วงของตัวรถ

h = ความสูงของจุดศูนย์ถ่วงของรถจากพื้นถนน (m)

l = ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง (m)

N_f = แรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้า (N)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N_r = แรงปฏิกิริยาที่ล้อหลัง (N)

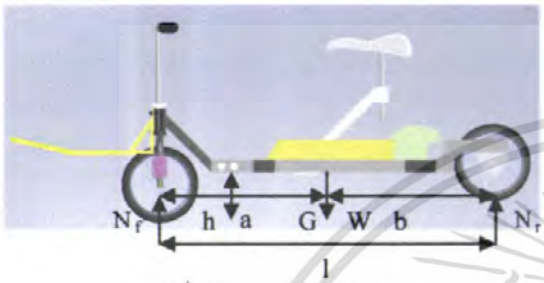
a = ระยะห่างของแนวน้ำหนักรถจากล้อหน้า (m)

b = ระยะห่างของแนวน้ำหนักรถจากล้อหลัง (m)

c = ระยะห่างจากแกนกลางถึงจุดกึ่งกลางของล้อ (m)

w = น้ำหนักตัวรถ (N)

h = 0.150 (m)
l = 1.400 (m)
a = 0.800 (m)
b = 0.600 (m)
c = 0.400 (m)



รูปที่ 10 ภาพแสดงข้อมูลตัวรถ

3.6.2 แรงปฏิกิริยาที่ล้อหน้า ขณะรถจอดนิ่งอยู่บนพื้นระดับ

$$N_f = (Wb)/l \quad (7)$$

$$N_f = 218.62\ N$$

3.6.3 แรงปฏิกิริยาที่ล้อหลัง ขณะรถจอดนิ่งอยู่บนพื้นระดับ

(ล้อหลังซ้าย - ขวา) $N_r = W/2(a/l)$ (8)

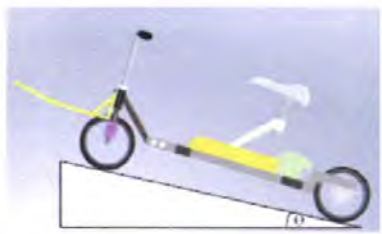
$$N_r = 145.75\ N$$

3.6.4 มุมความชันสูงสุดที่รถขับเคลื่อนล้อหลังสามารถทรงตัวได้อยู่ได้พอดีบนทางชัน

$$\Theta_{max} = \tan^{-1}[\mu(l-b)/(b-\mu h)] \quad (9)$$

μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับถนน

$\Theta_{max} = 15.67°$



รูปที่ 11 ภาพแสดงรถขับเคลื่อนล้อหลังสามารถทรงตัวได้อยู่ได้พอดีบนทางชัน

3.6.5 การจอดนิ่งบนทางชันโดยหันด้านหน้ารถขึ้น

เป็นการคำนวณเพื่อหามุมทางชันสูงสุดของตัวรถที่ทำให้รถพลิกคว่ำที่จุดสัมผัสของยางล้อหลังกับทางชัน

$$\Theta_{max} = \tan^{-1}(b/h) \quad (10)$$

$$\Theta_{max} = 75.96°$$

3.6.6 การจอดนิ่งบนทางชันโดยหันด้านหน้ารถลง

เป็นการคำนวณเพื่อหามุมทางลาดชันสูงสุดของตัวรถที่ทำให้รถพลิกคว่ำที่จุดสัมผัสของยางล้อหน้ากับทางชัน

รูปที่ 12 ภาพแสดงรถขับเคลื่อนล้อหลังสามารถทรงตัวได้อยู่ได้พอดี บนทางชัน

$$\Theta_{max} = \tan^{-1}[(l-b)/h] \quad (11)$$

$$\Theta_{max} = 79.38°$$

4. ต้นแบบของรถและการใช้งาน

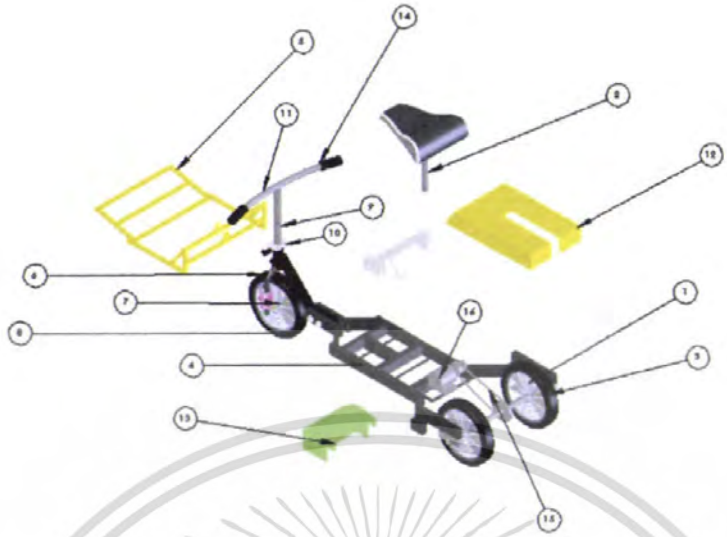
เมื่อทำการวิเคราะห์ออกแบบทุกส่วนของตัวรถและได้ข้อมูลจากการคำนวณเสร็จก็นำมาทำการสร้างต้นแบบของตัวรถ

รูปที่ 13 แสดงรูปแบบของตัวรถและการใช้งาน

รูปแบบการใช้งาน เป็นรถที่ใช้สำหรับการยืนบังคับทิศทางการเคลื่อนที่และควบคุมความเร็ว โดยวางสิ่งของที่จะทำการขนย้ายไว้ตรงด้านหน้าตัวรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ข้อมูลรายละเอียดของส่วนประกอบตัวรถ

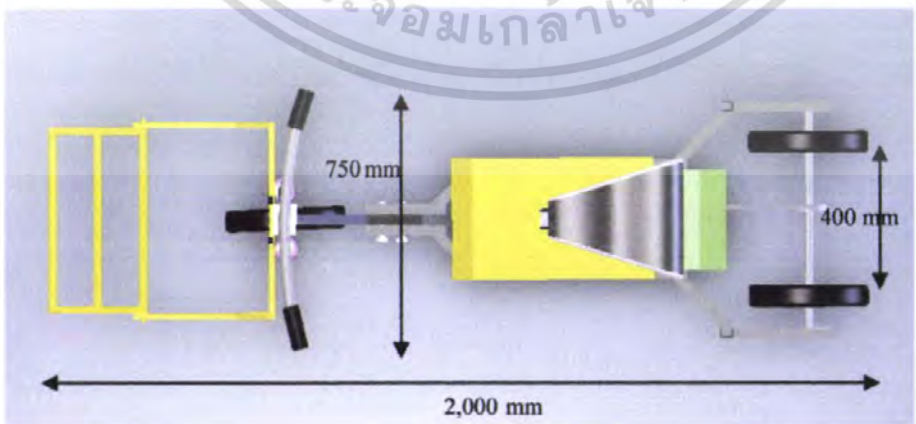


รูปที่ 14 แสดงส่วนประกอบของรถ

ตาราง 1

แสดงรายการส่วนประกอบของรถ

หมายเลข	รายการ	หมายเลข	รายการ
1	ล้อหลัง	8	ยางล้อหน้า
2	ที่นั่ง	9,10,11	ชุดบังคับเลี้ยว
3	ยางล้อหลัง	12	ฝาครอบแบตเตอรี่
4	โครงรถ	13	ที่ครอบมอเตอร์
5	โครงรับวัตถุ	14	เบรกและคันเร่ง
6	ขาตะเกียบโช้คล้อหน้า	15	โซ่
7	ล้อหน้า	16	มอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 15 ภาพแสดงขนาดในมุมมองด้านบนรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ผลการทดลอง

6.1 การทดสอบโดยมีเฉพาะผู้ขับขี่

ทดสอบเพื่อหาเวลาการใช้งานสูงสุดของรถและระยะทางวิ่งที่ได้ เมื่อมีน้ำหนักของคนขับ 60 กิโลกรัม ใช้เวลาในการชาร์จไฟแบตเตอรี่ ครั้งละ 10 ชั่วโมง

รูปที่ 16 ภาพรถพร้อมทำการทดสอบโดยมีเฉพาะผู้ขับขี่

ตาราง 2

แสดงผลการทดสอบโดยมีเฉพาะผู้ขับขี่

ครั้งที่	ความเร็วสูงสุด (km/hr)	ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)	เวลาที่วิ่งได้ (min)	ระยะทางที่วิ่งได้ (km)
1	19.6	16.9	84	23.8
2	20.5	17.2	81	24.1
3	20.2	16.8	83	23.2
4	19.8	17.1	80	21.5

จากการคำนวณค่าไฟฟ้าต่อระยะทางการขับขี่เท่ากับ 0.1097 บาทต่อกิโลเมตร

6.2 การทดสอบโดยมีเฉพาะผู้ขับขี่และบรรทุกน้ำหนัก

ทดสอบเพื่อหาเวลาการใช้งานสูงสุดของรถและระยะทางวิ่งที่ได้ เมื่อมีน้ำหนักของคนขับ 60 กิโลกรัม และน้ำหนักสิ่งของที่บรรทุก 25 กิโลกรัม ใช้เวลาในการชาร์จไฟแบตเตอรี่ ครั้งละ 10 ชั่วโมง

รูปที่ 17 ภาพตุ้มน้ำหนักที่นำมาทดสอบ

รูปที่18 ภาพรถพร้อมทำการทดสอบโดยมีผู้ขับขี่และบรรทุกน้ำหนัก

ตาราง 3

แสดงผลการทดสอบโดยมีผู้ขับขี่และบรรทุกน้ำหนัก

ครั้งที่	ความเร็วสูงสุด (km/hr)	ความเร็วเฉลี่ย (km/hr)	เวลาที่วิ่งได้ (min)	ระยะทางที่วิ่งได้ (km)
1	19.6	16.5	61	16.3
2	19.5	16.3	65	16.5
3	19.7	16.4	63	16.5
4	19.5	16.5	60	16.4

จากการคำนวณค่าไฟฟ้าต่อระยะทางการขับขี่เท่ากับ 0.1512 บาทต่อกิโลเมตร

7. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการออกแบบ สร้างและทำการทดสอบรถขนย้ายอุปกรณ์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ได้รถขนย้ายอุปกรณ์ที่สามารถขนน้ำหนักได้ 25 กิโลกรัม
2. รถขนย้ายอุปกรณ์สามารถวิ่งบนทางราบด้วยความเร็วเฉลี่ย 16.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และสามารถวิ่งบนทางชัน 10° ได้
3. ค่าใช้จ่ายในการประจุไฟฟ้าประมาณ 2.4 บาทต่อครั้งและสามารถได้ระยะทาง 16.5 กิโลเมตร

8.เอกสารอ้างอิง

[1] Artamonov, M.D. Motor Vehicles, Fundamental and Design. Mir Publisher, Moscow, 1976

[2] Zammit, S.J. Motor Vehicles Engineering Science for Technicians. ELBS with Longman, 1992

[3] รศ.ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี, การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างด้วย SolidWorks/COSMOSWorks กรุงเทพ,สสท,2549

[4] รองศาสตราจารย์ธีระยุทธ สุวรรณประทีป, วิศวกรรมยานยนต์ กรุงเทพฯ, วิทยพัฒน์, 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้