

การออกแบบชุดแขนรับไฟสำหรับรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟด้วยสายส่งจากด้านบน

Design for Electrical Current Collector Arms of Electric Vehicle

เทอดเกียรติ ลิ้มปิที่ปรากฏการ^{1*}, ประสาน ประจเจริญ²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

²บริษัท เอ็มเทค กรุ๊ป (ไทยแลนด์) จำกัด (ฝ่ายวิศวกรรม) เลขที่ 250 ถนนสาธุประดิษฐ์ 49

แขวงบางโพงพาง เขตยานนาวา จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10120 E-mail: prungcharurn@gmail.com

*ติดต่อ: E-mail: terdkiat.rmutt@gmail.com โทรศัพท์: 02 549 3430, โทรสาร: 02 549 3432

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบและพัฒนาชุดแขนรับไฟสำหรับรถไฟฟ้าที่รับกระแสไฟด้วยสายส่งจากด้านบน ตัวรถไฟฟ้าจะเป็นการดัดแปลงมาจากรถตู้โดยสารซึ่งเป็นการเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าเข้าแทนเครื่องยนต์ การออกแบบชุดแขนรับไฟจะเริ่มต้นจากวิเคราะห์หาค่าแรงที่ใช้ในการดึงชุดแขนรับไฟขึ้นโดยอาศัยหลักการสมดุลแรงและโมเมนต์ทางสถิตยศาสตร์ จากนั้นก็จะเป็นการหาค่าโมเมนต์บิดที่ใช้ในการหมุนสกรูส่งกำลังเพื่อนำไปเลือกใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนการขึ้นและลงของชุดแขนรับไฟ นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์หาความสามารถในการเคลื่อนที่ของกลไก Mobility โดยอาศัยหลักการของ Gruebler และ Kutzbach จากการทดลองพบว่าชุดแขนรับไฟสามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งทำมุมได้ไม่เกิน 70 องศาและหมุนไปทางซ้ายและทางขวาได้ไม่เกิน 45 องศา ความเร็วที่ใช้ในการยกชุดแขนรับไฟขึ้นมีค่าประมาณ 0.0165 เมตรต่อวินาที

คำหลัก: ชุดแขนรับไฟ รถไฟฟ้า รถโถ่ลิบัส สายส่งจากด้านบน ความสามารถในการเคลื่อนที่ของกลไก

Abstract

This article aims to present the design and development of electrical-current collector arms of an electric vehicle receiving electric power through overhead wires. The electric vehicle is converted from a passenger van, which turns the engine into the electric motor. The design of the collector arms starts from load analyses by using force and moment equilibrium principle. In addition the torque, used to rotate the transmission screw via the motor drive for rising and lowering the collector arms, is also determined. A mobility analysis is performed using Gruebler and Kutzbach's Criterion. It was found that the collector arms can be moved vertically not more than 70 degrees, and be rotate to the left and right not more than 45 degrees. The test results showed that the speeds for moving the collector arms up are about 0.0165 m/s.

Keyword: Electrical Current Collector Arm, Electric Vehicle, Trolley Bus, Overhead Wire, Linkage Mobility

1. บทนำ

ปัจจุบันรถโดยสารในระบบขนส่งมวลชนจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซ NGV เป็นหลักซึ่งจะต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นการหันมาพิจารณาการใช้รถโดยสารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจึงถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ในต่างประเทศได้มีการใช้รถโดยสารที่ใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบนในการขับเคลื่อนตัวรถด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งมีชื่อเรียกว่า โทลีสบัส (Trolleybus) ในระบบรถโทลีสบัสดังกล่าวจะประกอบไปด้วย สถานีจ่ายกระแสไฟฟ้า เสาและสายส่งกระแสไฟฟ้า ชุดแขนรับไฟ ชุดแปลงแรงดันไฟฟ้า และอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์และรวมไปถึงมอเตอร์ไฟฟ้าด้วย [1]

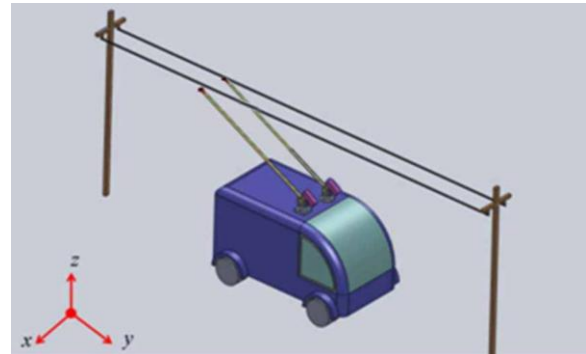
ถ้าหากต้องการนำรถโทลีสบัสมาใช้ในประเทศไทย เราจำเป็นต้องนำเอาเทคโนโลยีทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนารถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่งที่รับกระแสไฟด้วยสายส่งจากด้านบน ซึ่งมีลักษณะการใช้งานแบบเดียวกันกับรถโทลีสบัส โดยในบทความนี้จะมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบชุดแขนรับไฟ โดยคำนึงถึงข้อกำหนดและเงื่อนไขในการออกแบบและผลการทดสอบประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ขึ้นลงของชุดแขนรับไฟ

2. วรรณกรรม แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากบททวนวรรณกรรมพบว่า ในการออกแบบชุดแขนรับไฟจะต้องคำนึงถึงระยะความสูงของสายไฟจากพื้นดินและความสูงของตัวรถโดยค่าที่แนะนำไว้ต่ำสุดคือประมาณ 4.6 เมตร และ 2.6 เมตร ตามลำดับ [2] นอกจากนี้เพื่อให้การออกแบบทำได้ง่ายขึ้นควรใช้วิธีการวิเคราะห์ทวิภาคในระนาบ (Planar Mechanisms) เข้ามาช่วย [3]

ในการวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้รถตู้ TOYOTA HIACE โดยทำการถอดเอาเครื่องยนต์ออกและติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 7.5 แรงม้า 3 เฟส 380 โวลต์ เพื่อจำลองเป็นรถโดยสารไฟฟ้าแบบรับกระแสไฟด้วยสายส่งจากด้านบน การออกแบบชุดแขนรับไฟจะเป็นแบบใช้คนบังคับโดยสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงและเคลื่อนที่

หมุนซ้ายขวาได้ รูปที่ 1 และรูปที่ 2 แสดงภาพสเก็ตช์และต้นแบบที่สร้างจริงขณะวิ่งทดสอบรับกระแสไฟจากสายส่งไฟที่อยู่ด้านบนของตัวรถ



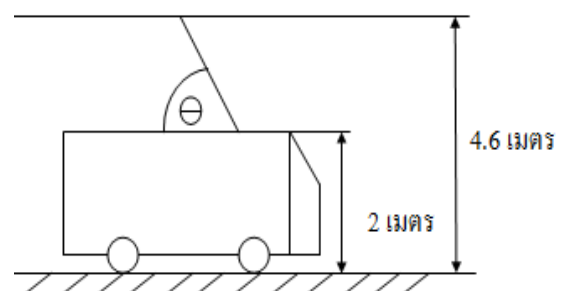
รูปที่ 1 ร่างแบบรถไฟฟ้ารับกระแสไฟจากด้านบน



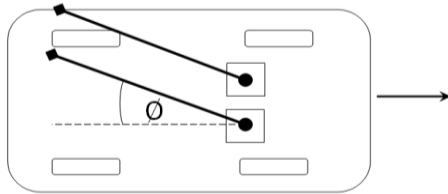
รูปที่ 2 ต้นแบบรถไฟฟ้าที่สร้างจริง

3. ข้อกำหนดและเงื่อนไขในการออกแบบ

1. น้ำหนักของชุดแขนรับไฟไม่เกิน 50 กิโลกรัม
2. ความสูงของสายส่งกระแสไฟฟ้า 4.6 เมตร
3. ความสูงของตัวรถไฟฟ้า 2 เมตรดังรูปที่ 3
4. มุมในการเคลื่อนที่ขึ้นและลงไม่เกิน 70 องศา (θ)
5. มุมในการเคลื่อนที่ไปด้านข้างไม่เกินข้างละ 45 องศา (ϕ) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 แสดงความสูงของสายส่งและของตัวรถไฟฟ้า



รูปที่ 4 แสดงข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ด้านข้างไม่เกิน
45 องศา (ϕ)

4. การคำนวณหาตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบชุด แขนรับไฟให้ขึ้นไปสัมผัสกับสายส่ง

เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบ จะพิจารณาแขนรับ
เพียงข้างใดข้างหนึ่งก่อนโดยใช้หลักการวิเคราะห์กลไก
ในระนาบ (Planar mechanisms) รูปที่ 5 และรูปที่ 6
แสดงภาพสเก็ตช์และภาพจริงของชุดแขนรับไฟ ในการ
ออกแบบจะทำการวิเคราะห์เบื้องต้น 3 ส่วนคือ

1. การหาแรงยกแขนรับไฟ
2. การหาขนาดมอเตอร์ใช้หมุนสกรูส่งกำลัง
3. การคำนวณหา Mobility ของกลไกชุดแขนรับ



รูปที่ 5 ภาพสเก็ตช์เฉพาะชุดแขนรับไฟ

4.1 การหาแรงยกแขนรับไฟ

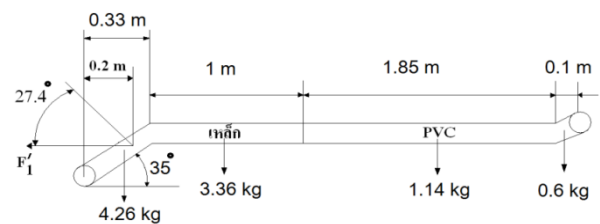
ในการวิเคราะห์หาค่าแรงยกจะอาศัยทฤษฎี
โมเมนต์ รูปที่ 7 แสดงรายละเอียดของแรงและตำแหน่ง
ที่แรงกระทำในผังวัตถุอิสระ (Free Body Diagram)

$$M_{total} = \sum M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \quad (1)$$

โดย M_{total} คือ โมเมนต์รวม (N.m)



รูปที่ 6 ภาพจริงของชุดแขนรับไฟ



รูปที่ 7 ผังวัตถุอิสระของแขนรับไฟ

จากการคำนวณโดยใช้สมการ (1) พบว่าโมเมนต์
รวมของแขนรับไฟ มีค่าเท่ากับ 78.5 นิวตันเมตร ดังนั้น
แรงที่ใช้ยกจึงมีค่าเท่ากับ 561 นิวตัน

4.2 การหาขนาดของมอเตอร์ใช้หมุนสกรูส่งกำลัง

ในการหาแรงที่ใช้ในการยกโหลดและแรงที่ใช้ทำ
ให้โหลดลงนั้นจะอาศัยทฤษฎีของสกรูส่งกำลังโดย
สมการที่ใช้คำนวณแรงยกโหลดขึ้นและลงได้จาก [4]

$$P_R = \frac{F((l/\pi d_m) + f)}{1 - (fl/\pi d_m)} \quad (2)$$

และ

$$P_L = \frac{F(f - (l/\pi d_m))}{1 + (fl/\pi d_m)} \quad (3)$$

โดย P_R คือ แรงที่ใช้ในการยกโหลดขึ้น (N)

P_L คือ แรงที่ใช้ในการนำโหลดลง (N)

F คือ แรงที่กระทำกับเกลียวแต่ละเกลียว (N)

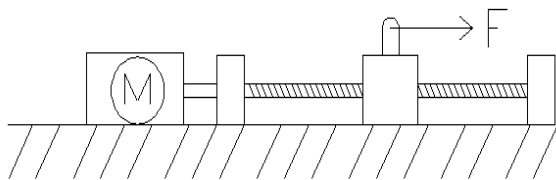
f คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกลียว

d_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (m)

l คือ ความสูงของระยะเกลียว (m)

จากจำนวนเกลียวที่ใช้ในการยก 5 เกลียว ดังนั้น
แรงที่ต้องการจริงจากสกรูส่งกำลังจะเท่ากับ 112.2 นิวตัน
โดยเลือกใช้สกรูเป็นแบบบอลสกรูซึ่งมีค่าตัวแปรคือ
 $f = 0.02$ $d_m = 0.016$ $l = 0.002$

ดังนั้นใช้แรงในการยกโหลดขึ้นเท่ากับ $P_R = 6.71$
นิวตัน และใช้แรงในการเอาโหลดลงเท่ากับ $P_L = 2.22$
นิวตัน รูปที่ 8 และรูปที่ 9 แสดงภาพสเก็ตและภาพจริง
ของชุดสกรูส่งกำลังที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 8 ภาพสเก็ตทิศทางแรงเอาโหลดลง (ทิศทางของ
แรงที่ใช้ผลักแขนรับไฟลง)



รูปที่ 9 ภาพจริงชุดสกรูส่งพร้อมมอเตอร์ไฟฟ้า

ในการหาโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้น และ
โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นนำโหลดลงจากสมการที่ (4, 5)

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{l + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right) \quad (4)$$

และ

$$T_L = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{\pi f d_m - l}{\pi d_m - fl} \right) \quad (5)$$

โดย

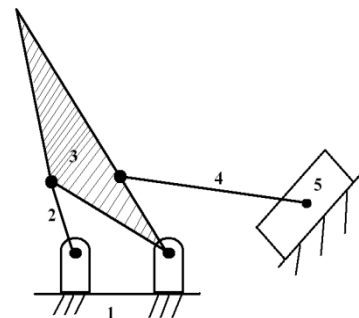
T_R คือ โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นยกโหลดขึ้น N.m

T_L คือ โมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นนำโหลดลง N.m

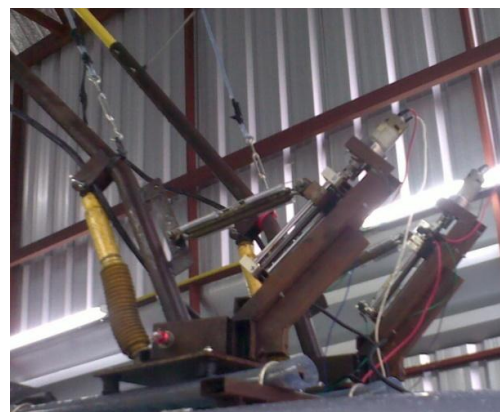
จากการคำนวณได้ค่าโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้นยก
โหลดขึ้น 0.053 นิวตันเมตร และโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้น
นำโหลดลง 0.018 นิวตันเมตร เนื่องจากการคำนวณ
นั้นจะพิจารณาเพียง 1 เกลียวของสกรูส่งกำลังเท่านั้น
แต่ในความเป็นจริงจะมีเกลียวที่ต้องรับโมเมนต์บิดอยู่ 5
เกลียวซึ่งทำให้โมเมนต์บิดที่ใช้ขณะยกโหลดเพิ่มขึ้นอีก
5 เท่าของค่าที่คำนวณได้ โมเมนต์บิดที่ใช้จริงจึงมีค่า
เท่ากับ 0.265 นิวตันเมตร ดังนั้นมอเตอร์ที่เราเลือกใช้
จะต้องสามารถเอาชนะโมเมนต์บิดดังกล่าวได้จึงเลือกใช้
มอเตอร์ขนาด 5 นิวตันเมตร ซึ่งเป็นขนาดต่ำสุดที่หาได้
ง่ายในท้องตลาด

4.3 การคำนวณหาค่า Mobility ของกลไก

ในการออกแบบชุดแขนรับไฟ จำเป็นต้อง
คำนวณหาค่า Mobility เพื่อดูว่ากลไกที่ออกแบบ
สามารถเคลื่อนที่ได้หรือไม่ รูปที่ 10 และรูปที่ 11 แสดง
ภาพสเก็ตและภาพจริงของกลไกชุดแขนรับไฟ



รูปที่ 10 ภาพสเก็ตกลไกการเคลื่อนที่



รูปที่ 11 ภาพจริงกลไกการเคลื่อนที่

ในการคำนวณหาค่า Mobility หรือ Degree of Freedom นั้นจะใช้สมการของ Gruebler & Kutzbach Formular [5] ซึ่งแสดงในสมการ (6)

$$M = 3(n-1) - 2j_1 - j_2 \quad (6)$$

โดย

M คือ องศาอิสระของกลไก

$M \geq 1$ คือ ระบบนั้นจะเป็นระบบที่มี Degree of Freedom (D.F.) เท่ากับค่าของ M

$M = 0$ คือ ระบบนั้นจะเป็น Statically determinate Structure

$M \leq -1$ คือ ระบบนั้นจะเป็น Statically

Indeterminate Structure

n คือ จำนวนแขนเชื่อมกลไก (Link)

j_1 คือ จำนวนจุดต่อที่มี Degree of Freedom เท่ากับ 1

j_2 คือ จำนวนจุดต่อที่มี Degree of Freedom เท่ากับ 2

จากการวิเคราะห์กลไกในรูปที่ 10 พบว่ากลไกดังกล่าวจะมีค่าต่างๆตามสมการ (6) ดังนี้

$$n = 5, j_1 = 4, j_2 = 2$$

การที่มีค่า $j_2 = 2$ นั้นก็เนื่องจาก Link 2 เป็นกระบอกใช้คัพ และ Link 4 เป็นแบบสปริง เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ $M = 2$ ซึ่งหมายความว่ากลไกดังกล่าวมีค่า Degree of Freedom เท่ากับ 2 ดังนั้นหากต้องการควบคุมกลไกดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพจะต้องออกแบบให้มี Input อย่างน้อย 2 ตัว

5. ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองนั้นจะเป็นการจับเวลาขึ้นลงของชุดแขนรับไฟ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ปรับชุดแขนรับไฟให้อยู่ตำแหน่งต่ำสุดดังรูปที่ 12
2. กดสวิทช์ควบคุมตำแหน่งขึ้นหรือลงพร้อมจับเวลาในขณะที่แขนเริ่มเคลื่อนที่

3. ในขณะที่ปลายแขนรับไฟเคลื่อนที่ไปใกล้ถึงสายส่งให้ใช้สายประคองช่วยบังคับให้ตำแหน่งปลายแขนตรงกับสายส่งดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 12 ชุดแขนรับไฟอยู่ตำแหน่งต่ำสุด



รูปที่ 13 ใช้สายประคองช่วยบังคับให้ตำแหน่งของปลายแขนรับไฟตรงกับสายส่งกระแสไฟฟ้า

6. ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 การทดลองจับเวลาที่ใช้ดึงแขนรับขึ้นและลง

ครั้งที่	เวลาที่ใช้	
	ยกแขนรับไฟขึ้น (sec)	นำแขนรับไฟลง (sec)
1	113	110
2	112	110
3	111	111
4	113	110
5	113	109
6	113	111
7	113	112
8	113	110
9	113	111

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองการยกแขนรับไฟขึ้นและลงจำนวน 9 ครั้ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ผลการทดลองพบว่าใช้เวลาประมาณ 113 วินาที ในการยกชุดแขนรับไฟขึ้นจนชุดแปลงถ่านไปติดกับสายส่งไฟฟ้า หรือคิดเป็นความเร็วเท่ากับ 0.0165 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ยังพบว่าใช้เวลาประมาณ 111 วินาทีในการเคลื่อนลงของชุดแขนรับไฟ ระบบควบคุมการขึ้นและลงจะอาศัยลิimitswitch เป็นตัวตัดต่อการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ส่งกำลังให้กับกลไกชุดแขนรับไฟ โดยชุดควบคุมเป็นแบบสวิตช์ 3 ทางคือ ตำแหน่งขึ้น ตำแหน่งลง และหยุดการทำงาน

7. สรุป

1. กลไกยกแขนรับไฟขึ้นไปสัมผัสกับสายส่งกระแสไฟฟ้าด้วยความเร็วสูงสุด 0.0165 เมตรต่อวินาที
2. ชุดแขนรับไฟมีความยาว 3.28 เมตร ประกอบด้วยแปลงถ่าน แขนรับไฟ โชคอัพ สปริง สายประคอง ชุดเกียร์ส่งกำลัง และมอเตอร์ไฟฟ้า
3. โชคอัพถูกออกแบบมารับการกระแทกขณะรถวิ่งในขณะที่สปริงถูกใช้เพื่อให้ชุดแขนรับไฟเกาะติดกับสายส่งกระแสไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา
4. ชุดแขนรับไฟสามารถรับไฟฟ้าขณะวิ่งออกนอกช่องจราจรได้ไม่เกิน 1 ช่องที่ความเร็วไม่เกิน 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยชุดแขนรับไฟหมุนรอบตัวรถทำมุมได้ไม่เกิน 45 องศา

8. ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงาน ทางคณะผู้วิจัยได้สร้างชุดแขนรับไฟจากสายส่งด้านบนขึ้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นชุดต้นแบบ แต่ก็ยังมีสิ่งที่จะต้องปรับปรุงอีกซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลไว้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปดังนี้

1. ปรับปรุงกลไกที่ใช้ในการยกชุดแขนรับไฟขึ้นลงให้เร็วกว่าเดิม
2. ปรับปรุงชุดแขนรับไฟให้มีน้ำหนักลดลงโดยหาวัสดุอื่นมาทดแทน เช่น อาจทำจากคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งมีน้ำหนักเบาแต่ความแข็งแรงสูง เป็นต้น

3. เพิ่มระบบการควบคุมการเคลื่อนที่ของปลายแขนรับไฟเข้าจับยึดกับสายไฟเป็นแบบอัตโนมัติแทนการใช้สายประคองเพื่อความปลอดภัยของคนขับ

9. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ “สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ” ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณแก่คณะผู้วิจัยในโครงการวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนาแบบจำลองและต้นแบบรถไฟฟ้าขนาด 4 ที่นั่ง: ต้นแบบตัวรถและระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าด้วยสายส่งจากด้านบน” นอกจากนี้ยังขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ติดตั้งอุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าและโรงเก็บรถไฟฟ้า

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] England, British Trolleybus, 1998. Trolleybus history - current collector design. [Online]. Available : <http://www.trolleybus.co.uk/history1.htm>(Access date : May 21 Sep, 2011).
- [2] Redaelli, G., 2005. Railway Application – Rolling Stock – Electric Equipment in Trolley Buses – Safety Requirements and Connection Systems.
- [3] Obaid, R. R., and Ahmad, R. H., Automatic Guidance System for Trolley-Powered Mining Haul Trucks, Industry Applications Society Annual Meeting, IEEE, 2009.
- [4] Shigley, J. E., and Mischke, C.R., 1994. Mechanical Engineering Design, 5th ed., McGraw-Hill.
- [5] Norton, R.L., 2004, Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines, 3rd ed., McGraw-Hill.