

การออกแบบระบบการเปลี่ยนแบตเตอรี่อย่างง่าย สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า (ตุ๊ก ตุ๊ก)

ปิยนันท์ จิตติธรรณันท์

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2557

A PRACTICAL BATTERY REPLACEMENT SYSTEM FOR
AN ELECTRIC THREE-WHEELED VEHICLE

Piyanan Jittitiranan

TNI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School
Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2014

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบระบบการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่อย่างง่าย
สำหรับรถสามล้อ(ตุ๊ก ตุ๊ก) ไฟฟ้า

โดย

ปิยนันท์ จิตติธรรณันท์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. จารุวัตร เจริญสุข)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนินน้อย)

.....กรรมการ

(ดร. กรกฎ เหมสถาปัตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส)

ปิยนันท์ จิตติธีรนันท์ : การออกแบบระบบการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่อย่างง่าย สำหรับ
รถสามล้อ(ตุ๊ก ตุ๊ก) ไฟฟ้า. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส,
67 หน้า.

รถสามล้อ หรือที่เรียกในอีกชื่อหนึ่ง ว่า รถตุ๊กตุ๊ก เป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญในสังคมไทย อีกทั้ง
ยังเป็นสัญลักษณ์ที่มีชื่อเสียงของประเทศ โดยเฉพาะในด้านการท่องเที่ยว แต่อย่างไรก็ตาม มลภาวะ
ทางด้านเสียงและอากาศ เป็นข้อจำกัดที่สำคัญที่ทำให้ รถ ตุ๊ก ตุ๊ก ที่ขับเคลื่อนโดยเครื่องยนต์สันดาป
ภายในไม่ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวาง

การนำระบบขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ไฟฟ้า มาประยุกต์ใช้กับรถสามล้อ ทำให้เกิดรถสามล้อ
ไฟฟ้า (E-Tuk Tuk) สามารถแก้ไขปัญหามลภาวะที่กล่าวมาข้างต้น ได้อย่างไรก็ตาม ด้วย
ข้อจำกัดของเทคโนโลยีแบตเตอรี่ในปัจจุบัน ต้องอาศัยเวลานานในการประจุไฟฟ้า (15 นาที – 8
ชั่วโมง) ทำให้ไม่สะดวกในการนำไปใช้งานจริง เพื่อทดแทนการปรับปรุงในการลดเวลาประจุ
แบตเตอรี่ การศึกษาครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย ที่จะออกแบบระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ โดยใช้ผู้ปฏิบัติการ
เพียงคนเดียวภายในเวลา 5 นาที ภายใต้ความเหมาะสมทางกายวิศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย
สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม
ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

PIYANAN JITTITIRANAN : A PRACTICAL BATTERY REPLACEMENT SYSTEM FOR AN
ELECTRIC THREE-WHEELED VEHICLE. ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR.
NUTTAPOL LIMJEERAJARUS, 67 PP.

A three-wheeled vehicle, which is so-called “Tuk Tuk”, has been with Thai society for several decades and become one of the country’s most famous cultural symbols, especially in tourism. However, air pollution and noise produced by conventional fossil fuel-based Tuk Tuks is a major drawback in promoting wide-scale uses. An electric Tuk Tuk (E-Tuk Tuk) powered by an electrical storage device such as a battery can be used to solve those problems. Unfortunately, even the state-of-the-art battery still takes time to be recharged (15 min to 8 hr.), and thus it is not feasible in real application. Instead of improving the reduction in battery recharging time, this study aims to design a practical battery replacement system by which a single person can operate within 5 mins under suitable working conditions based on the principle of ergonomics.

Graduate School
Field of Engineering of Technology
Academic Year 2014

Student’s Signature.....
Advisor’s Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้กระทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีอันเนื่องมาจากความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ลิ้มจิระจรัส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์กรุณาเสียเวลาอันมีค่าของท่านมาให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาแนวทางในการทำวิจัยตลอดจนสอนขั้นตอนการดำเนินงานการวิจัย ตลอดระยะเวลา ของการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จารุวัตร เจริญสุข ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นประธาน คณะกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนติน้อย ประธานหลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ และ ดร.กรกฎ เหมสถาปต์ ที่กรุณาให้แนวคิด ข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบข้อบกพร่อง อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ บริษัท โตโยต้า โบโซคุ เอเชีย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนในด้านเครื่องมือและ อุปกรณ์สำหรับการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยสามารถดำเนินการจนสำเร็จตามจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้

และท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่และครอบครัวที่ให้โอกาสในการศึกษาและ ขอบคุณอาจารย์ เพื่อน น้องๆ ร่วมห้องวิจัยและผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าววามและไม่ได้กล่าววามใน ณ ที่นี้ ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ปิยนันท์ จิตติธีรนนท์

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาแนวทางเหตุผลและปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.5 แผนการดำเนินงาน	5
2 หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 งานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
3 ระเบียบวิธีวิจัย.....	29
3.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและการรวบรวมข้อมูล.....	29
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	29
4 การวิเคราะห์ผลการวิจัย.....	36
4.1 ผลการทดลอง การคำนวณ และการออกแบบในส่วนของหน้าสัมผัสไฟฟ้า.....	36
4.2 ผลการทดลอง การคำนวณ และการออกแบบในส่วนของ ชุดถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่	40

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	4.3 การคำนวณระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ในเชิงการยศาสตร์.....	47
5	สรุปผลการวิจัย	50
	5.1 สรุปการดำเนินงานและผลวิเคราะห์การวิจัย.....	50
	5.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา และข้อเสนอแนะ	50
	บรรณานุกรม	51
	ภาคผนวก	54
	ภาคผนวก ก. ผลการคำนวณทางด้านการยศาสตร์.....	55
	ประวัติย่อผู้วิจัย.....	67

TNI

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนงานและระยะเวลาดำเนินงาน	5
2.1 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของรถตุ๊ก ตุ๊กไฟฟ้าที่พัฒนาโดยสถาบันเทคโนโลยีไทย ญี่ปุ่น	17
2.2 สัดส่วนร่างกายที่สำคัญของผู้ใช้แรงงานไทย	24
2.3 ระยะของจุดศูนย์กลางมวลของส่วนของร่างกาย.....	26
2.4 มวลของส่วนของร่างกายเป็นเปอร์เซ็นต์ของมวลของร่างกาย	26
3.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรศึกษาหาค่าความต้านทาน	33



สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1	อุปทานหลักของพลังงานในโลกตั้งแต่ ปี คศ 1971 – 2012 1
1.2	สัดส่วนอุปสงค์หลักของพลังงานในโลกของ ตั้งแต่ ปี คศ 1971 – 2012..... 2
1.3	สัดส่วนการใช้น้ำมันสำเร็จรูปของประเทศไทยจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ ปี พศ 2556..... 2
1.4	สรุปการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในรูปแบบของถังล้อ (Tank to Wheel) และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามชนิดของยานยนต์ที่ใช้พลังงานชนิดต่างๆ..... 3
2.1	รถตุ๊กตุ๊กหน้ากบ ให้บริการทั่วไป ในอำเภอพระนครศรีอยุธยา 6
2.2	Daihatsu Midget Model DKA, 1957..... 7
2.3	ส่วนประกอบหลักๆ ของรถไฟฟ้า..... 9
2.4	แผนภาพแสดงค่าพลังงานจำเพาะของพลังงานแต่ละชนิด 9
2.5	แผนภาพแสดงพื้นฐานโครงสร้างของเซลล์แบตเตอรี่..... 10
2.6	แผนภาพแสดงค่าพลังงานจำเพาะของแบตเตอรี่แต่ละชนิด..... 11
2.7	แผนภาพแสดงการปล่อยประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว 12
2.8	แผนภาพแสดงการประจุไฟฟ้าของ (Charge) แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว..... 13
2.9	โครงสร้างแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว..... 14
2.10	แผนภาพแสดงชนิดของขั้วแบตเตอรี่แบบต่างๆ 14
2.11	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหน้าสัมผัส 15
2.12	การคอดของกระแส และพื้นที่หน้าสัมผัสจริง 16
2.13	ค่าแรงที่กระทำต่อผิวสัมผัสตามชนิดของวัสดุ ที่มีผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสจริง..... 17
2.14	ตัวอย่างคานระบบที่ 1..... 18
2.15	ตัวอย่างคานระบบที่ 2..... 19
2.16	ตัวอย่างคานระบบที่ 3..... 20
2.17	(a) โครงสร้างของลำสันหลัง (b) ภาพตัดขวางมองจากด้านบนของกระดูกสันหลัง..... 22
2.18	ความสัมพันธ์ระหว่างกล้ามเนื้อหลัง (Erector spinae) และกระดูกส่วน L5/S1 24
2.19	รถลากไฟฟ้าที่มีระบบการเปลี่ยนแบตเตอรี่ด้วยมือ (Manual)..... 27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
2.20 อุปกรณ์ช่วยในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ด้วยมือ.....	28
3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการทำวิจัย	29
3.2 ลักษณะชิ้นงานทองแดงที่หาได้จากท้องตลาด	31
3.3 การวัดหาค่าความเรียบผิวของทองแดง	31
3.4 แสดงการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและ แรงดันไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความต้านทาน.....	32
3.5 วงจรไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาหาค่าความต้านทาน.....	32
3.6 ตำแหน่งของข้อมูลสัดส่วนที่นำมาใช้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงกายศาสตร์.....	35
4.1 ค่าความต้านทานไฟฟ้าจากหน้าสัมผัสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง	36
4.2 ชุดหน้าสัมผัสไฟฟ้า.....	38
4.3 การทำงานของชุดหน้าสัมผัสไฟฟ้า	39
4.4 แผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยระหว่างทองแดงกับทองแดง.....	40
4.5 แผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยระหว่างรางลูกกลิ้งกับถาดแบตเตอรี่.....	41
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันสปริง (f_3) แรงเสียดทานจากรางลูกกลิ้ง (f_1) และ แรงเสียดทานจากหน้าสัมผัสไฟฟ้า (f_2).....	42
4.7 ระบบลอคแบตเตอรี่ขณะที่ยังไม่ถูกล็อค	43
4.8 ระบบลอคแบตเตอรี่ขณะที่ถูกล็อค	44
4.9 รถเข็นสำหรับถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่.....	44
4.10 แผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของชุดแบตเตอรี่ และ แรงต่างๆ ที่เกิดขึ้น.....	45
4.11 ขั้นตอนการทำงานของการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่.....	47
4.12 Free body diagram ของแรงจากการศึกษาโมเดลด้านชีวกลศาสตร์.....	48
4.13 ผังของแรงที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกในส่วน L5/S1	49
ก.1 แสดงผังของแรงจากการศึกษาโมเดลด้านชีวกลศาสตร์.....	56
ก.2 Free Body Diagram แสดงผังของแรงที่กระทำต่อมือ.....	57
ก.3 Free Body Diagram แสดงผังของแรงที่กระทำต่อแขนส่วนล่าง	58
ก.4 Free Body Diagram แสดงผังของแรงที่กระทำต่อแขนส่วนบน	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
ก.5 Free Body Diagram แสดงผังของแรงที่กระทำต่อลำตัว.....	61
ก.6 การคำนวณหาศูนย์กลางมวลรวมศีรษะ คอ และลำตัว	62
ก.7 Free Body Diagram แสดงผังของแรงที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก	64
ก.8 ผังของแรงที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1 และ กล้ามเนื้อหลัง (erector spinae)....	65

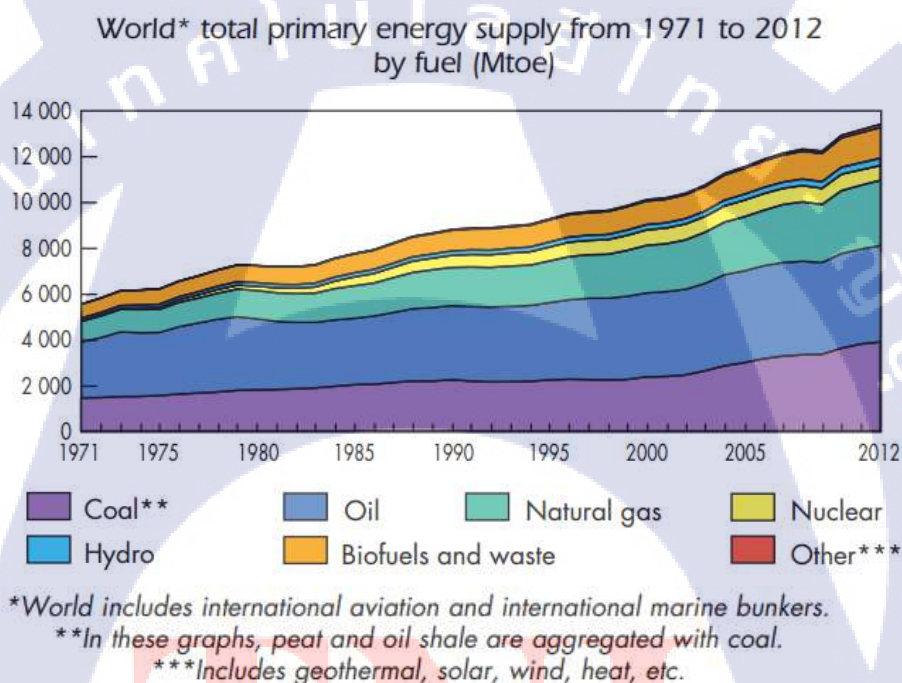


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาแนวทางเหตุผลและปัญหา

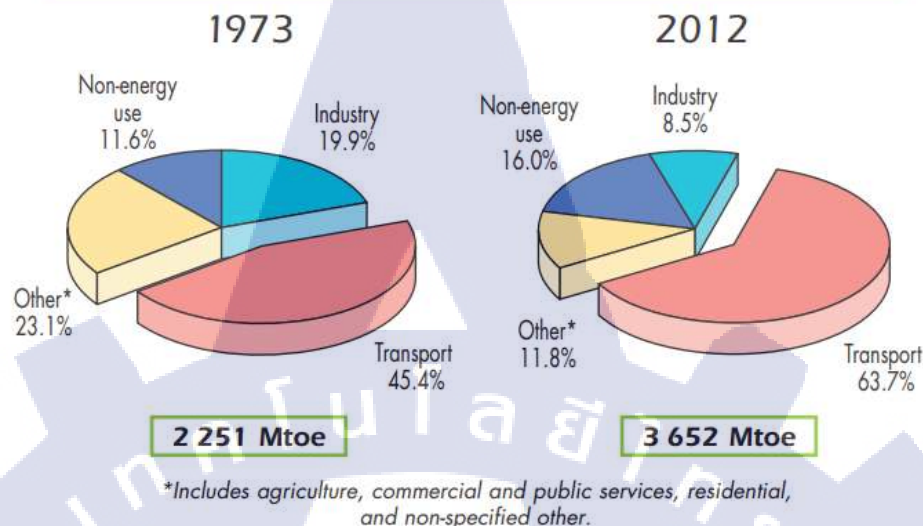
ในสภาวะทางการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคมที่เกิดขึ้นทั่วโลก รวมไปถึงประเทศไทย ทำให้ปัญหาพลังงานที่ได้มาจากแหล่งพลังงานจากน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ได้ถูกยกมาศึกษากันอย่างกว้างขวาง ตั้งแต่การศึกษาหาแหล่งพลังงานใหม่ๆ รวมไปถึงการสรรหาพลังงานทดแทน เช่น พลังงานจาก แสงอาทิตย์ ลม คลื่นในทะเล เป็นต้น เข้ามาใช้โดยอ้างอิงจากข้อมูลจากรูปที่ 1.1



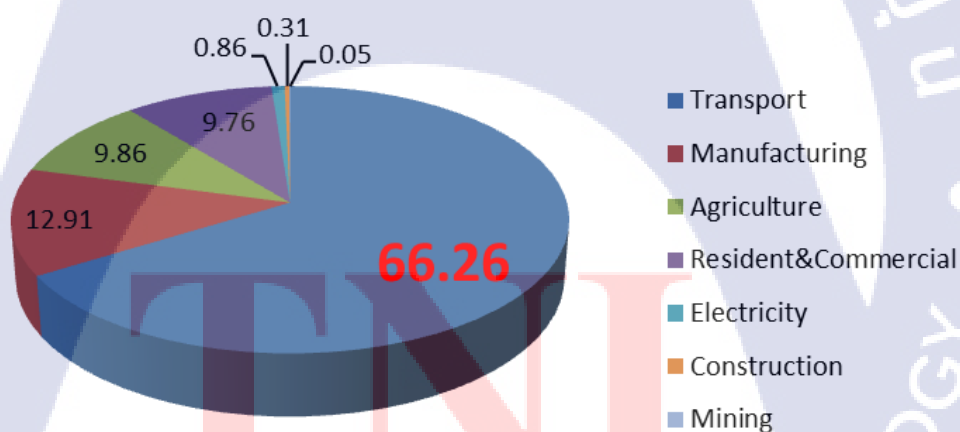
รูปที่ 1.1 แสดงอุปทานหลักของพลังงานในโลกตั้งแต่ ปี คศ 1971 – 2012 [1]

พลังงานที่ผลิตเพื่อใช้ในโลกร ตั้งแต่ ปี คศ 1971 – 2012 (พศ 2514 – 2555) ในช่วงระยะเวลา 40 ปี มีการผลิตพลังงานจากแหล่งต่างๆ รวมกันเพิ่มขึ้นเกือบ 200% เพื่อรองรับในส่วนการขยายตัวของภาคเศรษฐกิจ ซึ่งพลังงานที่นำไปใช้ในภาคขนส่งจากรูปที่ 1.2 ซึ่งอ้างอิงข้อมูลในการนำพลังงานไปใช้ในภาคส่วนต่างๆ ของโลก เปรียบเทียบตั้งแต่ ปี คศ 1971 – 2012 (พศ 2514 – 2555) ซึ่งมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นถึงมากกว่า 60% ในปัจจุบัน

1973 and 2012 shares of world oil consumption



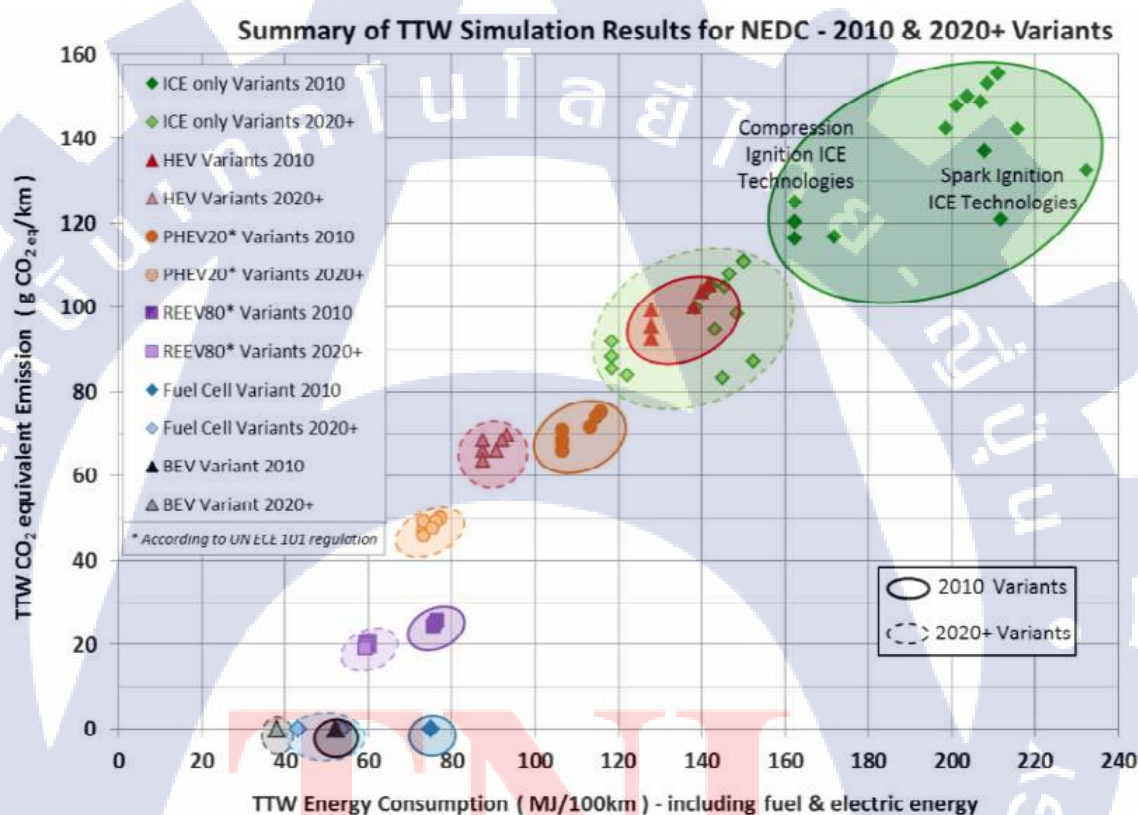
รูปที่ 1.2 แสดงสัดส่วนอุปสงค์หลักของพลังงานในโลกของ ตั้งแต่ ปี คศ 1971 – 2012 [1]



รูปที่ 1.3 สัดส่วนการใช้น้ำมันสำเร็จรูปของประเทศไทยจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ ปี พศ 2556 [2]

ในประเทศไทย ปริมาณการนำเข้า น้ำมันดิบ (Crude Oil) ซึ่งต้องนำเข้าเป็นปริมาณกว่า 50,374 ล้านลิตร (1,072,412 ล้านบาท) ซึ่งนำมาผลิตน้ำมันสำเร็จรูป (petroleum) เพื่อนำไปใช้ในภาคการขนส่งมากกว่า 66% (30,289 ล้านลิตร) [2] ซึ่งรูปที่ 1.3 แสดงสัดส่วนการใช้น้ำมันสำเร็จรูปในภาคเศรษฐกิจต่างๆ โดยพลังงานที่ถูกนำไปใช้ในภาคการขนส่ง ถูกแบ่งออกเป็นทั้งก๊าซ

ปิโตรเลียมเหลว (Liquid Petroleum Gas: LPG), ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas: CNG) รวมไปถึง น้ำมันเบนซิน และดีเซล ที่มักถูกนำไปใช้ในการขับเคลื่อนยานยนต์ โดยมีเครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engines; ICEs) เป็นหลัก ทั้งนี้การเปลี่ยนสภาพจากพลังงานเคมี ซึ่งได้จากก๊าซธรรมชาติและน้ำมัน ไปเป็นพลังงานกล โดยที่เครื่องยนต์สันดาปภายใน (200 MJ/100 km) นี้ยังมีข้อด้อยในส่วนของ การสูญเสียพลังงาน โดยเทียบกับยานยนต์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (50 MJ/100 km) และอีกทั้งยังมีมลพิษซึ่งเกิดจากการเผาไหม้พลังงานของเครื่องยนต์สันดาปภายใน (140 g CO_{2eq}/km) ตามรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 สรุปการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในรูปแบบของถังสูบล้อ (Tank to Wheel) และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามชนิดของยานยนต์ที่ใช้พลังงานชนิดต่างๆ [3]

รูปแบบพลังงานไม่ว่าจะได้มาจากแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป พลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ สามารถแปลงให้อยู่ในสภาพของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถเป็นคำตอบหนึ่งของการนำพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด มาใช้ในส่วนของการขนส่ง

สภาพผังเมืองในกรุงเทพมหานคร รวมไปถึงเมืองหลักๆ ในประเทศไทย พัฒนาจากตรอก ซอกซอย เล็กๆ ที่เชื่อมกับถนนสายหลัก โดยที่ รถสามล้อเครื่อง (ตุ๊ก ตุ๊ก) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานสำหรับระบบการขนส่งในเมือง ทั้งในส่วนของกรุงเทพมหานคร และตามหัวเมืองหลักๆ ในประเทศไทยในอดีต ถูกลดบทบาทลงในปัจจุบัน เนื่องจากรถตุ๊ก ตุ๊กที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางเสียงและอากาศ การปรับเปลี่ยนให้รถตุ๊ก ตุ๊กไปใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน สามารถแก้ปัญหาด้านมลพิษทางเสียงและอากาศ ดังที่กล่าวมาข้างต้น แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในส่วนของโครงสร้างระบบประจุไฟฟ้าพื้นฐาน เวลาที่ใช้ในการเติมพลังงานให้แก่ยานยนต์ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง (15 นาที – 8 ชั่วโมง) [4] และระยะทางที่สามารถเคลื่อนที่ไปได้ในการเติมพลังงานแต่ละครั้ง ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้มีผลอย่างมากในการตัดสินใจนำเทคโนโลยีการขับเคลื่อนยานยนต์ ด้วยพลังงานไฟฟ้า ไปใช้กับหน่วยการขนส่ง เมื่อเปรียบเทียบกับยานยนต์ที่ใช้พลังงานที่เกิดจากน้ำมันเชื้อเพลิง และก๊าซธรรมชาติ

การศึกษาวิจัยฉบับนี้ จะทำการศึกษาในส่วนการออกแบบและวิเคราะห์ ระบบการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ของรถตุ๊ก ตุ๊กที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ โดยจะสร้างต้นแบบระบบการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ ที่สามารถปฏิบัติงานโดยผู้ปฏิบัติงานเพียงคนเดียว ภายในเวลา 5 นาที โดยมีการศึกษาความเหมาะสมของสภาพการทำงานโดยใช้หลักการเบื้องต้นทางด้านการยศาสตร์จากโครงสร้างที่ออกแบบมาข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาและออกแบบระบบการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อ(ตุ๊ก ตุ๊ก) ไฟฟ้า ที่สามารถปฏิบัติงานโดย ผู้ปฏิบัติงานเพียงคนเดียว ภายในเวลาที่กำหนด โดยมีการศึกษาสภาพการทำงานโดยใช้หลักการเบื้องต้นทางด้านการยศาสตร์

1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย

1.3.1 ศึกษาและออกแบบระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับรถสามล้อไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยี ไทย ญี่ปุ่น โดยใช้ชุดแบตเตอรี่กรดตะกั่วเป็นชุดแบตเตอรี่สำหรับทำการศึกษา

1.3.2 ศึกษาและออกแบบระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ ที่สามารถปฏิบัติงาน โดยผู้ปฏิบัติงานคนเดียว ภายในเวลา 5 นาที

1.3.3 ใช้หลักการทางกายยศาสตร์ในการศึกษาความเหมาะสมของโครงสร้างและสภาพการปฏิบัติงาน ของระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ทั้งในส่วนของประวัติความเป็นมาของ รถตุ๊ก ตุ๊ก ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า แบตเตอรี่ไฟฟ้า หน้าสัมผัสไฟฟ้า อีกทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 รถตุ๊ก ตุ๊ก

รถตุ๊กตุ๊ก หรือชื่อเรียกทางราชการว่า "รถสามล้อเครื่อง" เริ่มแรกเป็นการนำรถสามล้อเครื่อง กระบะบรรทุก จากถีบ ซึ่งถูกห้ามวิ่ง ในเขตกรุงเทพมหานคร ยุคแรกๆ มีทั้งยี่ห้อไดฮัทสึ ฮีโน่ มาสด้า ประเทศญี่ปุ่น เข้ามาดัดแปลง เข้ามาในเมืองไทยครั้งแรกปี พ.ศ. 2503 เพื่อทดแทนรถสามล้อถีบ ปัจจุบันเหลือเพียง ไดฮัทสึ [5]

ทุกวันนี้ประเทศไทยได้ ผลิตและส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศด้วย ในนาม "TUK-TUK" สามล้อตุ๊กตุ๊กมีบริการทั่วไปทุกจังหวัด ซึ่งบางท้องถิ่นจะมีลักษณะเฉพาะพิเศษ อย่างเช่นรถตุ๊กตุ๊กในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีหน้ารถขนาดใหญ่กว่าทั่วไปจะเรียกกันว่า "รถตุ๊กตุ๊กหน้ากบ"



รูปที่ 2.1 รถตุ๊กตุ๊กหน้ากบ ให้บริการทั่วไป ในอำเภพระนครศรีอยุธยา [5]



รูปที่ 2.2 Daihatsu Midget Model DKA, 1957 [5]

ปี พ.ศ. 2500 ประเทศญี่ปุ่นเริ่มจำหน่ายรถบรรทุกสามล้อ ยี่ห้อไดฮัทสึ (Daihatsu) รุ่นมิดเจ็ต ดีเค (Midget DK) เป็นรถสองจังหวะ (2A 250cc) มีไฟหน้าหนึ่งดวง และมีที่จับบังคับเหมือนรถจักรยานยนต์ ซึ่งเป็นรถต้นแบบรถตุ๊กตุ๊กของไทย

ปี พ.ศ. 2503 ประเทศไทยเริ่มมีการนำเข้ารถบรรทุกสามล้อ ยี่ห้อไดฮัทสึ รุ่นมิดเจ็ต ดีเค จากญี่ปุ่นเป็นครั้งแรก เป็นจำนวน 30 คัน บรรทุกมาทางเรือขึ้นที่ท่าเรือคลองเตย และนำออกจำหน่ายกันอย่างแพร่หลายในย่านเยาวราช โดยคนไทยในยุคนั้นเรียกกันว่า "สามล้อเครื่อง" ต่อมาภายหลังเศรษฐกิจไทยดีขึ้น จึงเพิ่มการนำเข้รุ่นมิดเจ็ต เอ็มพี 4 (Midget MP4) ซึ่งเป็นรถรุ่นใหม่ที่เพิ่มส่วนประตูสองข้าง โดยได้ทำการขยายการจำหน่ายไปยังจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและจังหวัดตรังด้วย รุ่นนี้จึงเป็นรถต้นแบบของรถตุ๊กตุ๊กที่วิ่งกันอยู่ในปัจจุบันของทั้งสอง จังหวัด และเมื่อรถบรรทุกสามล้อได้รับความนิยมจากคนไทย จึงมีการนำเข้รถยี่ห้ออื่นๆตามมา

ในประเทศไทยยุคแรก รถตุ๊กตุ๊กที่มีใช้คือยี่ห้อไดฮัทสึ ฮีโน่ มาสด้า มิตซูบิชิ ซึ่งตกอยู่ราวคันละ เกือบ 2 หมื่นบาท (ปัจจุบันราคาถึงหลักแสน ปัจจุบันเหลือเพียง ไดฮัทสึ) สมัยก่อนรถตุ๊กตุ๊กมีทางให้ผู้โดยสารขึ้นลง 2 ด้าน แต่เปลี่ยนมาขึ้นลงทางเดียวเพื่อความปลอดภัย

วิวัฒนาการจากการนำรถสามล้อเครื่องกระบะบรรทุกจากญี่ปุ่น เข้ามารดัดแปลง โดยเอามาต่อหลังคาเพิ่มไว้สำหรับนั่งโดยสารและขนของได้ จนปี พ.ศ. 2508 ทางราชการเตรียมยกเลิกรถตุ๊กตุ๊ก เนื่องจากเห็นว่าเป็นรถที่มีกำลังแรงม้าต่ำ แล่นช้า เกะกะกีดขวางทางจราจร

ปี พ.ศ. 2515 ประเทศญี่ปุ่นเลิกผลิตรถบรรทุกสามล้อ ยี่ห้อไดฮัทสึ รุ่นมิดเจ็ต ดีเค ทำให้อะไหล่ของรถรุ่นนี้ขาดตลาด ซึ่งสร้างความเดือดร้อนแก่เจ้าของรถเป็นอย่างมาก ทำให้อู่รถต่างๆเริ่ม

ผลิตอะไหล่ทดแทนเอง และหลังจากนั้นคุณจำรัส วออ่อนศรีได้ตั้งโรงงานผลิตอะไหล่รถตุ๊ก ตุ๊ก แห่งแรกที่ริมทางรถไฟสายเก่า คลองเตย ผลิตชิ้นส่วนและอะไหล่รถออกจำหน่าย โดยใช้ชื่อว่า วัฒนการช่าง ต่อมาใช้ชื่อว่า บริษัท วัฒน อุตสาหกรรมจำกัด ทำการเปลี่ยนป้ายชื่อยี่ห้อรถรุ่นต่างๆทำยารถตุ๊กตุ๊กเป็นคำว่า "THAILAND" และยังคงอยู่จวบจนปัจจุบัน หลังจากนั้นอนันต์ สุภัทรวิชย์ซึ่งประกอบอาชีพขายน้ำมันเครื่องให้กับอู่ ตุ๊ก ตุ๊ก ต่างๆในกรุงเทพฯ เห็นโอกาสในตลาดจึงเปิดโรงงานขึ้นโดยใช้ชื่อพลสิทธิ์ตุ๊ก ตุ๊ก ปัจจุบันได้เปลี่ยนชื่อมาเป็น Tuk Tuk Forwarder

ปี พ.ศ. 2522 รัฐบาลออกกฎหมายบังคับให้รถบรรทุกสามล้อ หรือสามล้อเครื่อง หรือรถตุ๊กตุ๊กที่วิ่งให้บริการขนส่งโดยสารจะต้องทำการจดทะเบียนขอรับใบ อนุญาต "รถยนต์รับจ้างสามล้อบรรทุกคนโดยสาร" โดยต้องผ่านการเข้าร่วมเป็นสมาชิกภายใต้ต้นสังกัดในรูปของบริษัทเสียก่อน จึงจะสามารถยื่นคำร้องขอรับใบอนุญาตนี้ได้ และจะสามารถวิ่งให้บริการได้เฉพาะในพื้นที่ที่กำหนดให้เท่านั้น [ref]

ปี พ.ศ. 2530 รถตุ๊กตุ๊กถูกจำกัดจำนวน ทางราชการออกกฎหมายห้ามจดทะเบียนรถตุ๊กตุ๊กรับจ้างเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพฯ นนทบุรี และนครราชสีมา แต่อนุโลมให้กับรถตุ๊กตุ๊กส่วนบุคคลที่นำไปประยุกต์ใช้งานเฉพาะอย่างได้ ซึ่งในปัจจุบันมีรถตุ๊กตุ๊กวิ่งอยู่ในกรุงเทพมหานครประมาณ 7,405 คันเท่านั้น และถ้ารวมๆ กันทั้งประเทศ จะมีรถตุ๊กตุ๊กที่วิ่งอยู่ประมาณ 3 หมื่นกว่าคัน นอกจากประเทศไทยแล้วยังมีผลิตเพื่อส่งออกไปประเทศอื่นๆ ด้วย เช่น อินเดีย ศรีลังกา สิงคโปร์ และยังถือเป็นเอกลักษณ์ที่ช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวของไทยอีกด้วย

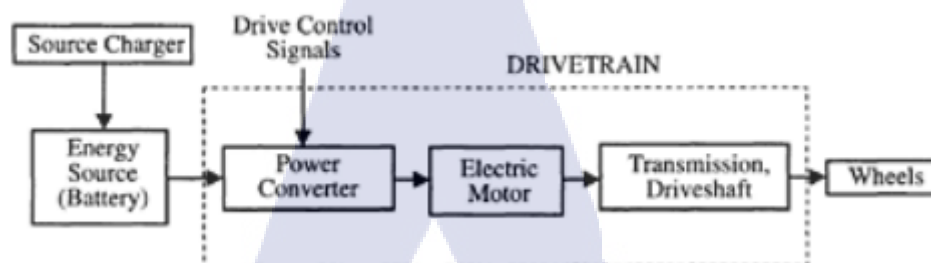
2.1.2 รถยนต์พลังงานไฟฟ้า

จากปัญหาสถานะสิ่งแวดล้อม และสภาพเศรษฐกิจ เป็นตัวผลักดันให้เกิด แนวคิดที่จะพัฒนายานยนต์ ที่ตอบสนองความต้องการ ในการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนที่สะอาด มีประสิทธิภาพ และสามารถใช้พลังงานที่ยั่งยืน เปลี่ยนรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ICEs) ที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปของพลังงานต่ำ ตั้งแต่การแปรสภาพจากน้ำมันดิบ ผ่านการกลั่น จนถึงพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนที่ถ่ายลงสู่ล้อ อีกทั้งไอเสียที่ปล่อยออกมามีผลต่อสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงสถานะเรือนกระจก ไปสู่ยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง ควบคุมและให้กำลังโดย แหล่งพลังงานอื่นๆ ที่มีความสะอาด มีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งยานยนต์พลังงานไฟฟ้ามีความเป็นไปได้ ที่จะมียานยนต์ที่ปล่อยออกมามีค่าใกล้เคียงศูนย์ [3], [6]

องค์ประกอบของรถยนต์ไฟฟ้า หรือรถไฟฟ้า มีองค์ประกอบอยู่ 2 อย่าง ประกอบด้วย

- แหล่งของพลังงานต้องอยู่ในรูปแบบที่พกพาได้ (Portable) โดยอยู่ในรูปแบบทางเคมี หรือ กลศาสตร์ไฟฟ้า

- แรงที่ใช้ขับเคลื่อนต้องเป็นแรงที่ได้จากมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบหลักๆ ของรถไฟฟ้า [6]

ระบบของรถไฟฟ้า ประกอบด้วย ส่วนประกอบหลักๆ ดังรูปที่ โดย ชุดขับเคลื่อน (DRIVETRAIN) ประกอบด้วย ชุดแปลงกำลัง (Power Converter) ที่รับพลังงานที่ได้จากชุดเก็บพลังงาน ที่จะมีชุดชาร์จพลังให้กับแบตเตอรี่ มาแปลงกำลังเพื่อไปขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า ที่จะไปขับเคลื่อนล้อโดยผ่านทางชุดเกียร์และเฟืองส่งกำลัง ให้รถไฟฟ้าเคลื่อนที่

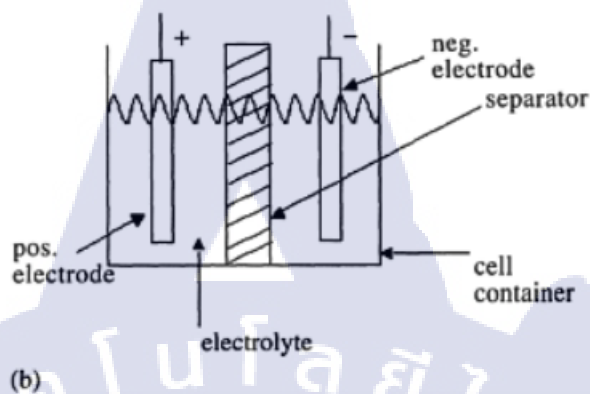
2.1.3 แบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า

สิ่งจำเป็นเบื้องต้นสำหรับรถไฟฟ้าก็คือแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่สามารถพกพาได้ ที่สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าไปสู่มอเตอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานทางกล โดยส่วนใหญ่จะเป็นการเก็บพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยการเปลี่ยนรูปทางเคมี โดยสิ่งที่มีผลกระทบต่อการพัฒนาให้รถไฟฟ้าให้ใช้กันอย่างแพร่หลาย ถูกจำกัดให้อยู่ในเชิง ความหนาแน่นของพลังงานต่อน้ำหนัก และ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ [6]

Energy Source	Nominal Specific Energy (Wh/kg)
Gasoline	12,500
Natural gas	9350
Methanol	6050
Hydrogen	33,000
Coal (bituminous)	8200
Lead-acid battery	35
Lithium-polymer battery	200
Flywheel (carbon-fiber)	200

รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงค่าพลังงานจำเพาะของพลังงานแต่ละชนิด [6]

แบตเตอรี่ประกอบด้วย เซลล์แต่ละเซลล์ที่เก็บกักพลังงานให้อยู่ในรูปแบบทางเคมี ที่สามารถแปลง กลับมาให้อยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงพื้นฐานโครงสร้างของเซลล์แบตเตอรี่ [6]

องค์ประกอบของแบตเตอรี่เซลล์ประกอบด้วย

1. ขั้วอิเล็กโทรดบวก (Positive electrode)
2. ขั้วอิเล็กโทรดลบ (Negative electrode)
3. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)
4. ฉนวนกั้น (Separator)

แบตเตอรี่แบ่งตามการทำงานเบื้องต้นได้ 2 ประเภท คือ แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ (Primary Battery) และ แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ (Secondary Battery) แบตเตอรี่ที่ไม่สามารถประจุไฟใหม่ได้ และถูกสร้างมาเพื่อให้สามารถปล่อยประจุได้เพียงครั้งเดียว เรียกว่า แบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ ตัวอย่างของแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิ คือแบตเตอรี่ที่ใช้ใน นาฬิกาข้อมือ เครื่องคิดเลข กล้องถ่ายรูป ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ ที่ทำมาจากลิเทียม (Lithium battery) และแบบ แมงกานีสไดออกไซด์ (Manganese Dioxide) ที่ใช้ในของเล่น วิทย์ และไฟฉาย ในส่วนของแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟใหม่ได้ (Rechargeable) โดยการให้กระแสไฟฟ้าไหลสวนทางกับตอนปล่อยประจุ เรียกว่า แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ โดยจะเกิดเมื่อมีการประจุไฟฟ้าโดยเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อกักเก็บประจุ และจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้า โดยแบตเตอรี่ที่ถูกใช้ใน รถยนต์ไฟฟ้า จะเป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ ทั้งสิ้น

ชนิดของแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟใหม่ได้ (Rechargeable battery) ที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในรถไฟฟ้า มีดังนี้

- แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว (Lead-Acid; Pb-Acid)
- แบตเตอรี่แบบนิเกิล แคดเมียม (Nickel-Cadmium; NiCd)
- แบตเตอรี่แบบนิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-Metal-Hydride; NiMH)
- แบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออน (Lithium-Ion; Li-Ion)
- แบตเตอรี่แบบลิเทียมพอลิเมอร์ (Lithium-Polymer; Li-Poly)
- แบตเตอรี่แบบโซเดียมซัลเฟอร์ (Sodium-Sulfur; NaS)
- แบตเตอรี่แบบ Zinc-Air (Zn-Air)

โดยแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วเป็นแบตเตอรี่ที่มีการพัฒนามายาวนานที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟใหม่ได้ประเภทอื่นๆ แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว (Lead Acid battery) เป็นแบตเตอรี่ที่ ถูกใช้อย่างแพร่หลายในรถไฟฟ้า เนื่องจาก สามารถออกแบบให้ มีกำลังสูงๆ ราคาถูก ปลอดภัย มีความน่าเชื่อถือ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recyclable) อย่างไรก็ตามค่าพลังงานจำเพาะที่ต่ำ ความสามารถลดลงเมื่อทำงานในอุณหภูมิต่ำ และอายุการใช้งานรวมไปถึงจำนวนครั้งในการชาร์จที่ไม่มากเป็นข้อจำกัดของแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว ในการนำมาใช้ในรถไฟฟ้า

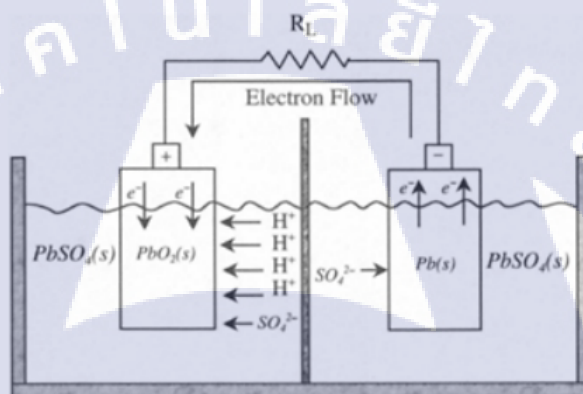
Battery	Specific Energy (Wh/kg)	
	Theoretical	Practical
Lead-acid	108	50
Nickel-cadmium		20-30
Nickel-zinc		90
Nickel-iron		60
Zinc-chlorine		90
Silver-zinc	500	100
Sodium-sulfur	770	150-300
Aluminum-air		300

รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงค่าพลังงานจำเพาะของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วถูกผลิตขึ้นมา ในปี ค.ศ. 1859 จนถึงปี 1980 มีแบตเตอรี่กรดตะกั่วมากกว่า 100,000,000 ชิ้นที่ถูกผลิตต่อปี โดยเหตุผลหลักๆ ที่ทำให้แบตเตอรี่ แบบกรดตะกั่วใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสาเหตุดังนี้

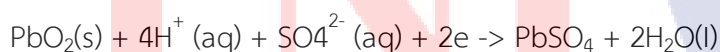
- ต้นทุนต่ำ
- วัสดุที่ใช้ผลิตหาได้ง่าย
- สามารถผลิตได้ง่าย
- คุณสมบัติทางกลศาสตร์ไฟฟ้าเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

การทำงานของเซลล์แบตเตอรี่ประกอบด้วยการปล่อยประจุ เมื่อมีการเอาพลังงานไฟฟ้าไปใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า และการประจุไฟฟ้าเมื่อมีการเติมพลังงานไฟฟ้าให้จากแหล่งภายนอก การปล่อยประจุของแบตเตอรี่ เป็นการปล่อยประจุจากขั้วลบ สู่ขั้วบวกของแบตเตอรี่ โดยวิ่งผ่านโหลดของมอเตอร์ ซึ่งแบตเตอรี่ทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงาน

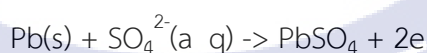


รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงการปล่อยประจุ (Discharge) ของแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว [6]

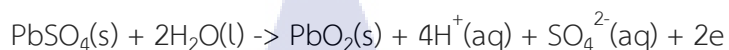
ในระหว่างการปล่อยประจุ (Discharge) รูปที่ 2.7 ได้เกิดปฏิกิริยาเคมี ที่ขั้วบวกของแบตเตอรี่ ดังนี้



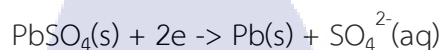
และในขั้วลบได้มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น ดังนี้



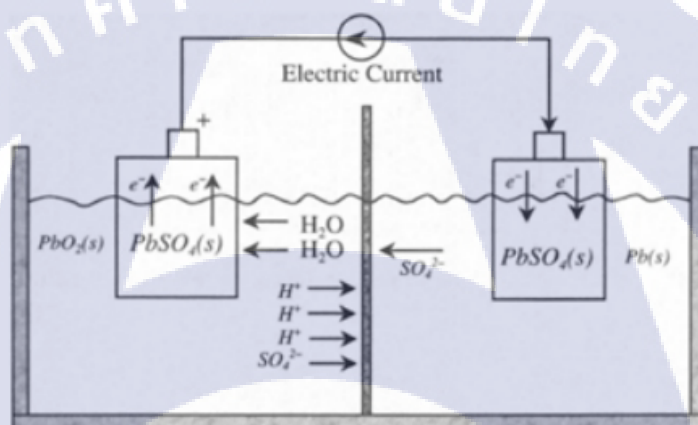
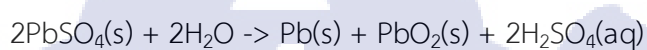
และในส่วนของการประจุไฟฟ้า ดังแสดงดังรูปที่ 2.8 มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ขั้วบวก ดังนี้



และมีปฏิกิริยาทางเคมี ที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ ในระหว่างการประจุไฟฟ้าดังนี้



ปฏิกิริยาเคมีโดยรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระหว่างประจุไฟฟ้าดังนี้



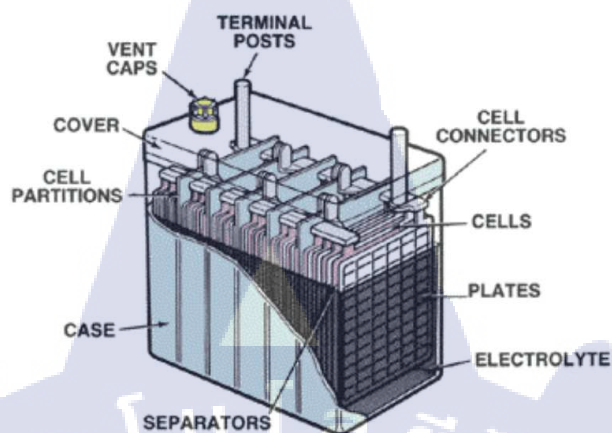
รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงการประจุไฟฟ้าของ (Charge) แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว [6]

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วที่ผลิตอยู่ในปัจจุบัน มีโครงสร้างดังแสดง

ดังรูปที่ 2.9 ประกอบด้วย

- แผ่นขั้วบวก ลบ (Plates)
- ตัวกั้นสารละลาย (Separator)
- ตัวเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ (Cell Connectors)
- ตัวกั้นระหว่างเซลล์ (Cell Separators)
- บรจุภัณฑ์ (Case)
- ฝาปิด (Cover)
- ฝาจุระบายอากาศ (Ventilation Caps)

- ขั้วแบตเตอรี่ (Terminal post)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว [7]

ชนิดของขั้วแบตเตอรี่ แบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยลักษณะของขั้วแบตเตอรี่ แบบเสา (Post or Top Terminal) เป็นขั้วแบตเตอรี่ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป



รูปที่ 2.10 แผนภาพแสดงชนิดของขั้วแบตเตอรี่แบบต่างๆ [7]

ข้อดีของแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว

- เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟ ใหม่ได้ที่มีราคาถูกและเป็นที่ยอมรับ สามารถผลิตได้กัน อย่างแพร่หลาย
- มีความหลากหลายของขนาดบรรจุ และดีไซน์
- มีอัตราการคายประจุที่สูง เหมาะกับการสตาร์ทอัปเครื่องยนต์
- มีความสามารถพอสมควร ในการทำงานที่อุณหภูมิสูง ต่ำ
- มีแบบที่ไม่ต้องการบำรุงรักษา

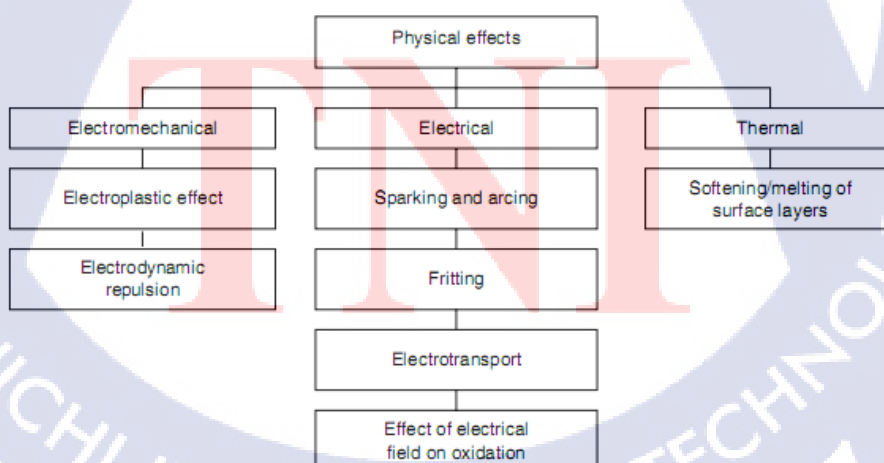
- ราคาถูกเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟได้ แบบอื่นๆ
- ส่วนประกอบในเซลล์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ข้อเสีย

- มีอายุในการนำกลับมาใช้ต่ำ (50 – 500 Cycles)
- มีความหนาแน่นของพลังงานที่จำกัด ประมาณ 30–40Wh/kg
- เมื่ออยู่ในสถานะปล่อยประจุเป็นเวลานาน ทำให้เกิดสภาวะซัลเฟชันทำให้ไม่สามารถนำไปประจุใหม่ได้อีก
- ไม่สามารถผลิตได้ในขนาดเล็กๆ ได้
- อาจเกิดการระเบิดของไฮโดรเจนในดีไซน์บางแบบได้
- อาจเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนกับแบตเตอรี่และที่ประจุไฟ

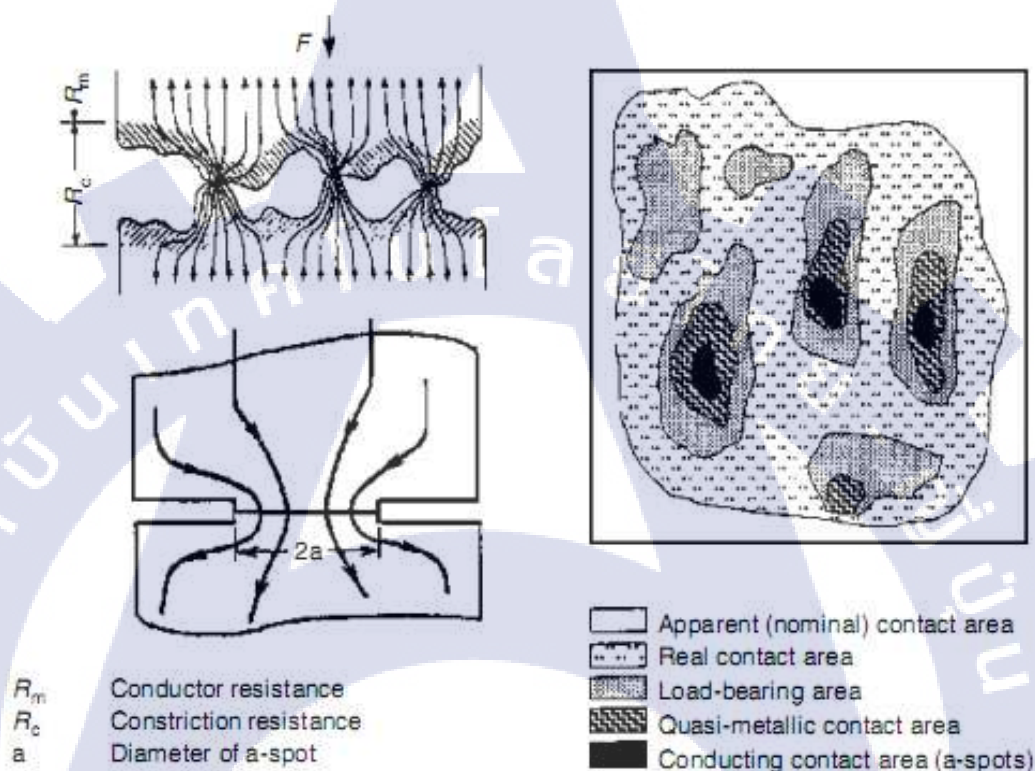
2.1.4 หน้าสัมผัสไฟฟ้า (Electrical Contact)

หน้าสัมผัสไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างสมาชิก หรือ อุปกรณ์ในวงจรไฟฟ้า โดยหน้าสัมผัสไฟฟ้า มักจะทำด้วยโลหะ โดยวัตถุประสงค์หลักของหน้าสัมผัสไฟฟ้า คือทำหน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้ โดยทั่วไปแล้ว การนำกระแสไฟฟ้ามักจะทำได้ดีในกรณีที่หน้าสัมผัสไฟฟ้าเป็นโลหะทั้งคู่ แต่ยังมีพบว่ามีปรากฏการณ์อื่น ที่มีผลกระทบต่อกรนำไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็น การเสื่อมสภาพของหน้าสัมผัส แรงที่กระทำ อุณหภูมิที่เกิดขึ้น และตัวแปรอื่นๆ ในกรณีหน้าสัมผัสแบบหลายจุดอธิบายได้ดังรูป 2.11 [8]



รูปที่ 2.11 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหน้าสัมผัส [8]

สรุปหลักการง่ายๆ ของทฤษฎีหน้าสัมผัสไฟฟ้า คือในระหว่างผิวสัมผัส 2 ผิว จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่กระแสไฟฟ้าผ่านได้จริง (a Spot) อยู่เป็นสัดส่วนของผิวทั้งหมด ซึ่งบางส่วนจะเป็นผิวที่เกิดการกัดกร่อน เกิดออกไซด์ชั้น ดังแสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การคอดของกระแส และพื้นที่หน้าสัมผัสจริง [8]

อีกทั้งในส่วนของผิวสัมผัสจริง (Real contact area) ก็มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นตามแรงที่กระทำต่อหน้าผิวสัมผัส แตกต่างไปตามชนิดของวัสดุ ดังแสดง ตามรูป ที่ 2.13

Alloy ^a /Applied Load	Real Contact Area/Apparent Contact Area (A_r/A_a) (%)		
	10 N	100 N	1000 N
Al (H-19)	0.01	0.1	1.0
Al (H-0)	0.05	0.5	5.0
Al+0.75% Mg+0.15% Fe (H-19)	0.01	0.1	1.0
Al+0.75% Mg+0.15% Fe (H-0)	0.02	0.2	2.0
Cu (H-0)	0.008	0.08	0.8

^a (H-0), fully annealed; (H-19), fully hardened.

รูปที่ 2.13 แสดงค่าแรงที่กระทำต่อผิวสัมผัสตามชนิดของวัสดุ ที่มีผลต่อพื้นที่ผิวสัมผัสจริง [8]

2.1.5 โครงสร้างพื้นฐานของรถตุ๊ก ตุ๊ก ไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้

การศึกษากการออกแบบระบบการเปลี่ยนแบตเตอรี่อย่างง่ายสำหรับรถตุ๊ก ตุ๊ก ไฟฟ้า นี้ ได้เลือกรถตุ๊ก ตุ๊ก ไฟฟ้าที่ได้พัฒนาและออกแบบเพื่อใช้ในสถาบันเทคโนโลยีไทย ญี่ปุ่น โดยข้อมูลจำเพาะของรถตุ๊ก ตุ๊ก ไฟฟ้า แสดงดัง ตารางที่ 2.1 [9]

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของรถตุ๊ก ตุ๊กไฟฟ้าที่พัฒนาโดยสถาบันเทคโนโลยีไทย ญี่ปุ่น

ภาระ	น้ำหนัก (kg)	ขนาด
โครงสร้างเปล่า และตัวถัง	400	-
ผู้โดยสาร (รวม 4 คน)	320	-
มอเตอร์ และคอนโทรลเลอร์	32	4.9 kw 48V AC
แบตเตอรี่ (รวม 4 ก้อน)	84	60Ah 12V DC ต่อก้อน

จากข้อมูลจำเพาะของตุ๊ก ตุ๊กไฟฟ้า ที่พัฒนาโดยสถาบันเทคโนโลยีไทย ญี่ปุ่นพบว่ามอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน มีขนาด 4.9 kw ในงานวิจัยนี้จะใช้ ขนาดของมอเตอร์ เป็นตัวแปรเพื่อนำมาคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว ที่จะนำมาใช้ในการออกแบบระบบการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่อย่างง่าย

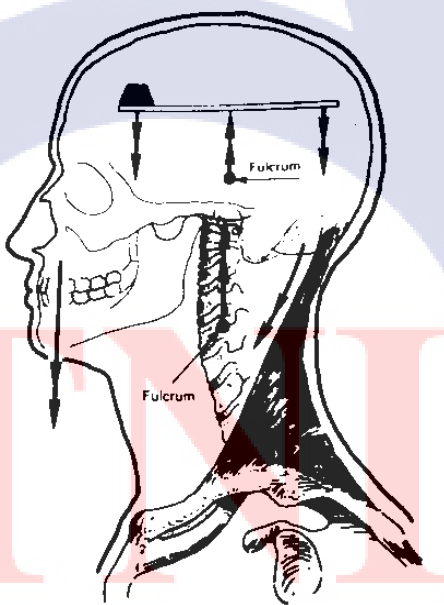
2.1.6 การยศาสตร์ (Ergonomics)

ชีวกลศาสตร์เป็นเรื่องที่นำเอาความรู้ด้านกลศาสตร์ สัตว์ส่วนร่างกาย กายวิภาคศาสตร์ และสรีรวิทยามาทำความเข้าใจกันในรูปแบบโมเดลทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กฎทางฟิสิกส์อธิบายความเป็นมาของพฤติกรรมของร่างกาย กล่าวคือ หลักการชีวกลศาสตร์จะเป็นการศึกษาการสนองตอบของร่างกายต่อภาระงาน (Loads) ซึ่งกระทำต่อร่างกายในการทำกิจกรรมหรือทำงานใดๆ โมเดลเชิง

ชีวกลศาสตร์จะใช้วิเคราะห์แรงและโมเมนต์บิด (Torque) ที่กระทำบนส่วนต่างๆ ของร่างกาย และเปรียบเทียบกับแรงต้านสูงสุดและกำลังกล้ามเนื้อสูงสุดที่เป็นขีดจำกัดของบุคคลผู้นั้นเพื่อทำนายท่าทางและสภาพการทำงานที่เป็นภาระ [10]

ชีวกลศาสตร์เป็นเครื่องมือที่ดีมากของนักการยศาสตร์ในการวิเคราะห์สภาพการทำงานซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการออกแรงมาก (ผลัก ดึง ยก ถือของ ฯลฯ) และท่าทางการทำงานที่บังคับให้ร่างกายต้องทำท่าทางนั้นเนื่องจากสถานการณ์บังคับ ซึ่งมีกล้ามเนื้อที่ทำงานคล้ายกับสปริงเป็นแหล่งพลัง การวิเคราะห์เชิงชีวกลศาสตร์จะอาศัยการอ้างอิงกับระบบคาน 3 ประเภท

คานระบบที่ 1 มีแรงจากกล้ามเนื้อเกี่ยวกับภาระอยู่ตรงกันข้ามกันโดยมีจุดหมุน (Fulcrum) อยู่ช่วงกลางระหว่าง ตามรูปที่ 2.14 รูปนี้ทำให้ดูง่ายขึ้น ซึ่งในภาพจริงๆ จะซับซ้อนมากกว่านี้ เป็นภาพแสดงการมองขึ้นลงหรือขยับศีรษะก้มลงและแหงนหน้าขึ้น มีจุดหมุนอยู่ที่ข้อต่อ Atlanto-Occipital ซึ่งเป็นข้อต่อเหนือลำสันหลังขึ้นไป และอยู่ใต้กะโหลกศีรษะลงมา กล้ามเนื้อตรงต้นคอทำหน้าที่หดตัวเพื่อดึงศีรษะไปทางด้านหลังเพื่อต่อสู้กับมวลของศีรษะที่กดลงมาโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ตรงจุดศูนย์กลางมวลของศีรษะเอง



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างคานระบบที่ 1 [10]

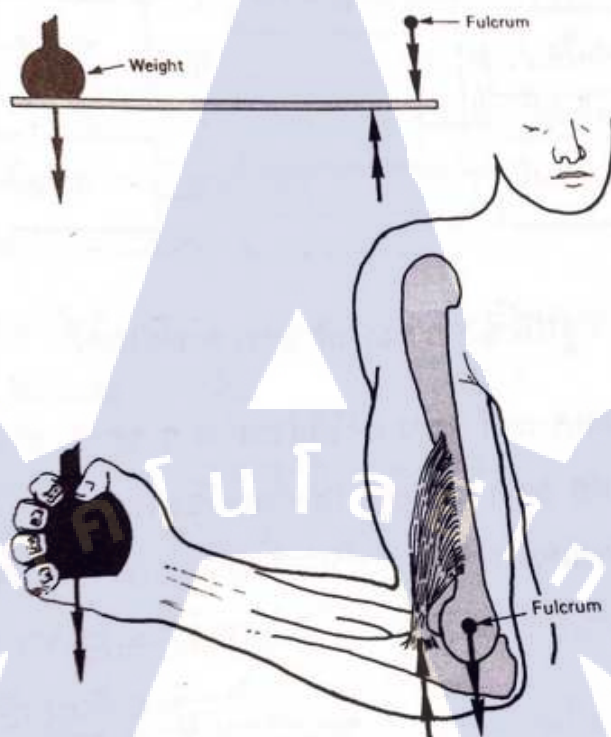
คานระบบที่ 2 มีจุดหมุน (Fulcrum) อยู่ด้านหนึ่ง และมีแรงจากกล้ามเนื้อเกี่ยวกับภาระ อยู่อีกด้านหนึ่ง โดยที่ภาระอยู่ระหว่างกลางในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับแรงของกล้ามเนื้อ ตามรูปที่ 2.15

กล้ามเนื้อออกแรงจากจุดที่เอ็นร้อยหวายยึดอยู่ ผ่านไปทางน่อง ภาระหรือน้ำหนักกดลงตรงข้อเท้า (Ankle) ส่วนจุดหมุนอยู่ตรงข้อของหัวแม่เท้า การเคลื่อนที่จากระบบคานนี้ไม่แม่นยำ ไม่มั่นคง ดังนั้น แป้นบังคับที่ต้องใช้เท้าควบคุมจึงต้องมีขนาดโตพอสมควร



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างคานระบบที่ 2 [10]

คานระบบที่ 3 มีจุดหมุน (Fulcrum) อยู่อีกด้านหนึ่ง และมีแรงจากกล้ามเนื้ออกับภาระอยู่อีกด้านหนึ่งโดยที่แรงจากกล้ามเนื้ออยู่ระหว่างกลางในทิศทางตรงกันข้ามกับภาระ ตามรูปที่ 2.16 งานที่ทำโดยใช้แรงส่วนใหญ่จะเป็นคานระบบนี้ เช่น การใช้มือถือของหนักและมีกล้ามเนื้อแขนบน Brachialis ออกแรงกระทำที่กระดูกแขน Ulna และจุดหมุน Trochlea ของกระดูกแขน Humerus เป็นตัวอย่างที่ดีตัวอย่างหนึ่ง



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างคานระบบที่ 3 [10]

ก่อนที่จะเริ่มต้นด้วยโมเดลของชีวกลศาสตร์ เป็นความจำเป็นที่เราจะต้องเข้าใจในเรื่ององค์ประกอบของคิเนแมติกส์และของคิเนติกส์ให้ชัดเจนมากขึ้น องค์ประกอบของคิเนแมติกส์ของแต่ละข้อต่อมีการเคลื่อนไหวได้หลายทาง (Degree of Freedom) เช่น

- 1) Humero-Ulnar Joint ที่บริเวณข้อศอก มี 1 ทิศทาง เป็นการงอเข้า (Flexion) และยืดออก (Extension)
- 2) ข้อศอกทั้งหมด (Whole Elbow Joint) มี 2 ทิศทางเป็นงอเข้า-งอออก และคว่ำมือกับหงายมือ (Supination and Pronation)
- 3) ข้อสะโพก (Hip joint) มี 3 ทิศทาง เป็นงอเข้า-งอออก กางออก-หุบเข้า (Abduction-Adduction) และการหมุน (Circumduction) เป็นต้น

การวิเคราะห์และคำนวณแรงที่เกิดขึ้นในองค์ประกอบคิเนติกส์ ในตัวอย่างการงอแขนในขณะที่ยกน้ำหนัก สามารถทำได้เป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดโครงสร้างทางกายภาพว่ามีส่วนใดเกี่ยวข้องในการทำงานบ้าง ในกรณีนี้ก็มีกระดูก Humerus กระดูก Ulna และกล้ามเนื้อ Brachialis

ขั้นที่ 2 แรงที่จะสามารถทำให้โครงสร้างที่ระบุไว้ตาม 1 ได้รับบาดเจ็บ ในกรณีนี้จะเป็นแรงดึงของกล้ามเนื้อ Brachialis และแรงดันบน Elbow Joint

ขั้นที่ 3 พังของแรง (Force diagram) แบบเดียวกันที่ใช้ในวิชากลศาสตร์จะต้องเขียนขึ้นมาแสดงขนาดและทิศทางของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างตาม 1

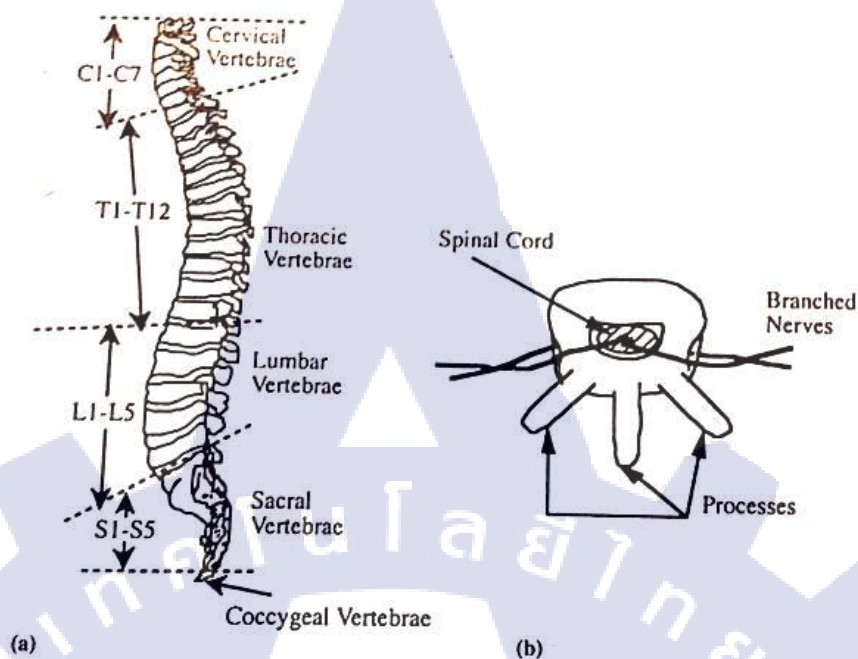
ขั้นที่ 4 จะต้องมีการตั้งสมมติฐานที่จำเป็นต่อการหาคำตอบ เนื่องจากเป็นกรณี Isometric คือ ไม่มีการเคลื่อนไหวใดๆ ผลรวมของโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกาต้องเท่ากับผลรวมของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา

ในหลายๆ กรณี นักการยศาสตร์สามารถตรวจสอบหาสภาพการเสี่ยงภัยต่อการบาดเจ็บของผู้ทำงานและวิเคราะห์หาแรงและความเค้นที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของร่างกายอันเนื่องมาจากการที่ร่างกายต้องรับภาระจากภายนอกและท่าทรงตัวในการทำงาน (Working Posture) ได้ โดยที่กิจกรรมการทำงานอาจมองจากภาพ 2 มิติ (เพราะว่าการยกแบบบิดเอวเป็นท่าทางการทำงานที่ไม่ถูกต้องอย่างยิ่ง เมื่อใดที่มีการวิเคราะห์ด้านชีวกลศาสตร์จากรูป 2 มิติ จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

1. แรงภายนอกที่กระทำต่อส่วนต่างๆ ของร่างกายและทิศทางของแรง
2. ท่าทรงตัวของร่างกาย
3. มวลและศูนย์กลางมวลของส่วนต่างๆ ของร่างกายของบุคคลนั้น

โดยปกติแรงภายนอกจะหมายถึงน้ำหนักของสิ่งที่กำลังจะยกขึ้นหรือลง หรือผลัก/ดัน ดังตามลักษณะของการทำงานนั้น เช่น การวิเคราะห์ท่าทรงตัวในการทำงาน เราอาจต้องการหาค่าแรงภายในที่เกิดจากการทรงตัวและมวลของส่วนต่างๆ ของร่างกาย เพราะค่าแรงภายนอกอาจเป็นศูนย์เมื่อเราหาจุดพิกัด (Coordinates) ของข้อต่อต่างๆ และแรงภายนอกได้ เราอาจใช้หลักตรีโกณมิติหาค่าแรงภายนอก แรงภายในตามแนวแกนนอน (แกน X) และแกนตั้ง (แกน Y) ได้

TNI



รูปที่ 2.17 (a) โครงสร้างของลำสันหลัง (b) ภาพตัดขวางมองจากด้านบนของกระดูกสันหลัง [10]

โครงสร้างส่วนหลัง (The Back Structure) ของร่างกาย ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนมาก ประกอบไปด้วย

- กล้ามเนื้อ (Muscle)
- กระดูก (Bones)
- หมอนรองกระดูก (Intervertebral Disks)
- เอ็นยึด (Ligaments)
- เอ็น (Tendons)
- ระบบการสร้างเลือดและการไหลเวียน (Blood Supply)
- ไขสันหลังและเส้นประสาทที่อยู่ใกล้เคียง (Spinal Cord and Branched Nerves)

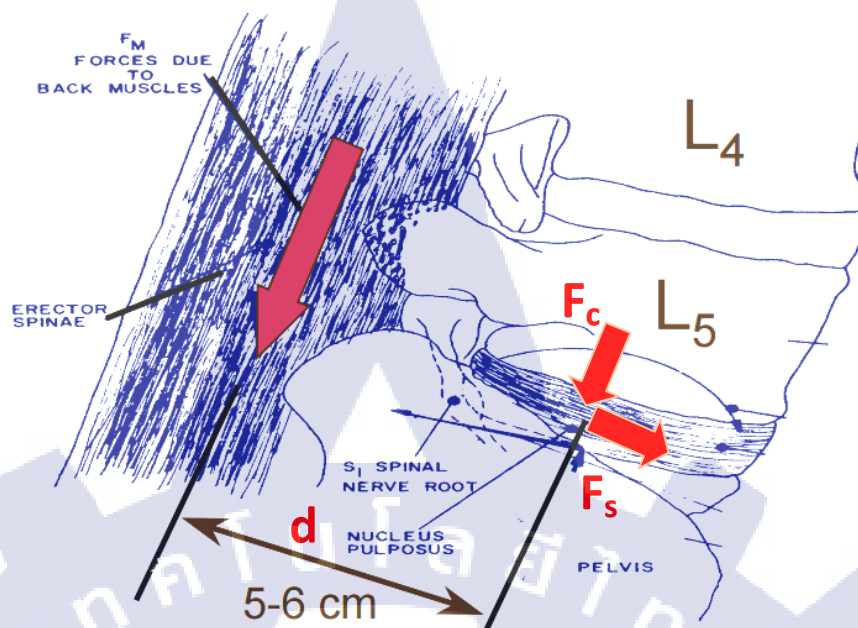
รูปที่ 2.17 แสดงถึงกระดูกสันหลังซึ่งซ้อนกัน 33 ชิ้น (หรือ 34 ชิ้น) 7 ชิ้นอยู่ส่วนคอ (Cervical) 12 ชิ้นอยู่ส่วนอก (Thoracic) 5 ชิ้นอยู่หลังส่วนล่าง (Lumbar) 5 ชิ้นอยู่ส่วนก้น (Sacral) และ 4-5 ชิ้นอยู่ส่วนก้นกบ (Coccygeal Vertebrae) ลำสันหลังทั้งหมดมีฟอร์มเป็นรูปตัวอักษร S อยู่ 2 ตัว (Double S) เมื่อลำสันหลังได้ดูฉายภาพ จะเห็นส่วนโค้งรูปตัว S ไม่โค้งมากไปหรือราบเรียบมากเกินไป ภาพมองจากด้านบนของกระดูกสันหลัง จะเห็นว่ามีการกระดูกยื่นออกมา 3 ชิ้น (Processes)

ไขสันหลัง (Spinal Cord)

กระดูกส่วนที่เป็นคอ 7 ชิ้น (Cervical Vertebrae) เป็นโครงสร้างหลักของคอ ถัดมาเป็น 12 ชิ้นของส่วนทรวงอก (Thoracic Vertebrae (T1-T12)) จะอยู่ด้านหลังของกระดูกซี่โครงอีก 5 ชิ้น เป็นหลังส่วนล่าง (Lumbar Vertebrae (L1-L5)) ถัดไปคือ Sacral Vertebrae (S1-S5) 5 ชิ้น ซึ่งต่อเชื่อมหลอมรวมกันเป็นกระดูกกัน (Sacrum) ส่วนสุดท้ายเป็นกระดูกก้นกบ (Coccyx) มีอยู่ 4-5 ชิ้น

กระดูกสันหลังแต่ละชิ้นถูกแยกออกจากกันโดยหมอนรองกระดูก (Intervertebral Discs) ซึ่งมีลักษณะเป็นวงเส้นใยเหนียวคล้ายกับถุง (Sac) ที่มีของเหลวเหนียวคล้ายกับเจล (Gel) มีหน้าที่ในการรองรับการกระแทก (Shock Absorber) ระหว่างกระดูกสันหลังและเพิ่มความยืดหยุ่นได้ให้กับลำสันหลัง แต่อย่างไรก็ดีหมอนรองกระดูกถือได้ว่าเป็นส่วนเปราะบางที่สุดของลำสันหลัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณส่วนล่าง โครงสร้างภายในของหมอนรองกระดูกจะไม่มีหลอดเลือดผ่าน ทำให้สารอาหารจะถูกส่งผ่านเข้าไปได้โดยการแพร่กระจาย ความดันภายในหมอนรองกระดูกจะทำให้มีค่าความดันที่ต่างกันระหว่างภายในกับภายนอกหมอนรองกระดูก ทำให้ของเหลวที่อยู่ด้านในมีแนวโน้มที่จะถูกผลักดันให้ออกมา เมื่อความดันภายในลดลง ปรากฏการณ์ก็จะกลับกันทำให้สารอาหารได้มีโอกาสซึมผ่านเข้าไปด้านในได้ ดังนั้น การที่จะทำให้หมอนรองกระดูกมีสุขภาพดี จึงมีคำแนะนำว่าให้เปลี่ยนท่าทางการทำงานบ่อยครั้งเพื่อทำให้มีความดันเปลี่ยนแปลงภายในหมอนรองกระดูกสันหลัง การทำงานของร่างกายในส่วนนี้มีลักษณะคล้ายกับการทำงานของเครื่องสูบ

โครงสร้างของหลังส่วนล่าง (Lower Back) แสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.18 เป็นส่วนที่สำคัญมาก เพราะเป็นส่วนที่อ่อนแอที่สุดของลำสันหลัง จะก่อให้เกิดอาการปวดหลังและอาการบาดเจ็บให้แก่คนงาน จุดที่ต้องเน้นมากคือ หมอนรองกระดูกระหว่างกระดูกสันหลังส่วนล่างชิ้นที่ 5 (Lumbar 5) กับกระดูกกันชิ้นที่ 1 (Sacral 1) และเป็นปัญหาทางชีวกลศาสตร์ที่สำคัญ จะต้องวิเคราะห์แรงอัด (F_c) และแรงเฉือน (F_s) ที่เกิดขึ้นให้ได้ และจากการศึกษาของ กิตติ อินทรานนท์ [10] ได้กำหนดให้แขนของโมเมนต์ (d) ของชุดกล้ามเนื้อ Erector spinae จากชุด L5/S1 มีค่าเท่ากับ 4 cm (0.04 m) ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้ค่านี้ในการคำนวณเพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของสภาพการทำงาน



รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกล้ามเนื้อหลัง (Erector spinae) และกระดูกส่วน L5/S1 [11]

Anthropometry เป็นการศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนร่างกาย และสมบัติทางกายภาพของมนุษย์ เช่น น้ำหนัก (หรือมวล) ปริมาตร จุดศูนย์กลางถ่วง สมบัติของแรงเฉื่อยของส่วนของร่างกาย และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ เป็นต้น การวัดสมบัติทางกายภาพ และสัดส่วนร่างกายถือได้ว่าเป็นความสำคัญมากต่อการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ตลอดจนการออกแบบสถานงาน ข้อมูลจากการวัดดังกล่าวจะช่วยให้นักการยศาสตร์ผู้ออกแบบสามารถทำงานเน้นไปยังผู้ใช้ได้อย่างเฉพาะเจาะจง ซึ่งการศึกษครั้งนี้อ้างอิงจากการศึกษาโดยข้อมูลที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้แล้วดังแสดงในตารางที่ 2.2, 2.3 และ 2.4 [10]

ตารางที่ 2.2 สัดส่วนร่างกายที่สำคัญของผู้ใช้แรงงานไทย [10]

รายการสัดส่วนสำคัญ	ชาย 250 คน
น้ำหนักตัว (body weight) กก.	53.7 (7.0)
ความสูงยืน (standing height) ซม.	160.7 (5.7)
ความยาวแขนล่างถึงปลายนิ้ว (lower-arm length) ซม.	44.8 (2.6)
ความยาวมือ (hand length) ซม.	17.6 (1.0)
ระยะไหล่-ศอก (shoulder-elbow height) ซม.	34.3 (1.7)
ความยาวลำตัวจากเอวถึงหัวไหล่ (torso length) ซม.	33.3 (5.5)

งานวิจัยฉบับนี้อ้างถึงขนาดและสัดส่วนร่างกายของผู้ใช้แรงงานชายไทยที่ประกอบอาชีพในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมจากกลุ่มประชากรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย อายุระหว่าง 18-55 ปี จากตารางที่ 5 ซึ่งเก็บข้อมูลโดย กิตติ อินทรานนท์ และคณะ ในปี 2531

ปรัชญาในการออกแบบเชิงการยศาสตร์มีอยู่ 3 ลักษณะที่นักการยศาสตร์จะได้นำข้อมูลสมบัติทางกายภาพและสัดส่วนร่างกายไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเพื่อกลุ่มประชากรเฉพาะแห่ง

- การออกแบบเพื่อกลุ่มโดยเฉลี่ย (design for the average) ปัญหาของการออกแบบข้อนี้ก็คือ อาจไม่เหมาะกับผู้ใช้ใดเลย เพราะไม่มีใครที่จะมีมิติเฉลี่ยในทุกส่วนสัด อย่างไรก็ตาม การออกแบบวิธีนี้อาจใช้กับอาคารสถานที่สาธารณะ เช่น เก้าอี้ในสวนสาธารณะ ที่นั่งรถบัส และที่อื่นที่ต้องใช้โดยกลุ่มประชากรหลากหลายจำนวนมาก เป็นต้น

- การออกแบบสำหรับบุคคลที่มีขนาดสุดๆ (design for the extremes) ปัญหาที่พบสำหรับวิธีนี้คือเรื่องต้นทุน สมมติว่าถ้าที่นั่งสำหรับคนขับถูกออกแบบมาเพื่อให้สำหรับคนที่มร่างกายเล็กที่สุด พอคนที่ตัวใหญ่ที่สุดมาใช้ ย่อมเกิดปัญหาขึ้นตามมาอย่างแน่นอน ดังนั้น การเข้าใจถึงกลุ่มประชากรที่จะใช้เป็นอย่างดี จะสามารถช่วยลดข้อขัดแย้งเหล่านี้ลงได้

- การออกแบบสำหรับกลุ่มคน (design for specific range) หมายถึง การออกแบบสำหรับประชากรเป็นกลุ่ม ซึ่งจะใช้ช่วงระหว่างเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 และที่ 95 มาเป็นฐานในการออกแบบ การออกแบบวิธีนี้จะให้ครอบคลุมกลุ่มประชากร 90% การปรับเปลี่ยนช่วง (range) นี้สามารถทำได้โดยอาจจะแคบลงหรือใหญ่ขึ้นแล้วแต่ผลิตภัณฑ์ ลักษณะงานหรือการใช้งาน และต้นทุน ความรู้เรื่องจุดศูนย์กลางมวล (center of mass) หรือจุดศูนย์ถ่วง (center of gravity) และการกระจายน้ำหนักของร่างกาย และส่วนของร่างกายนั้นเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อการประเมินภาระงานทางชีวกลศาสตร์ ข้อมูลเหล่านี้ประกอบความรู้ทางด้านกลศาสตร์จะมีประโยชน์ใน

- การออกแบบเครื่องมือ เครื่องอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการทำงานในท่าทรงตัวต่างๆ กัน
- การออกแบบสถานที่ทำงาน (เช่น เก้าอี้สำหรับคนงาน สำหรับคนขับรถ สำหรับนักบิน)
- การประยุกต์ทางชีวกลศาสตร์ด้านอื่นๆ

ตารางที่ 2.3 และ 2.4 ได้จากการศึกษาของ กิตติ อินทรานนท์ ปี พศ 2543 ซึ่งทำการศึกษากับบุคคลที่มีชีวิต เพศชายจำนวน 12 คน ซึ่งจะนำมาใช้คำนวณในส่วนของการศึกษาทางชีวกลศาสตร์ เพื่อหาความเหมาะสมในสภาพการทำงานของระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่

ตารางที่ 2.3 ระยะของจุดศูนย์กลางมวลของส่วนของร่างกาย [10]

สัดส่วนของร่างกาย	ผู้ทดสอบชาย	
	ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลเทียบกับความยาวของส่วนนั้นวัดจาก	
	ส่วนใน	ส่วนนอก
แขนขวาส่วนบน	45.83	54.17
แขนซ้ายส่วนบน	45.62	54.38
แขนขวาส่วนล่าง	42.22	57.78
แขนซ้ายส่วนล่าง	42.28	57.72
มือขวา	42.82	57.18
มือซ้าย	42.77	57.23
ลำตัว	47.83	52.17
ศีรษะและคอ	42.91	58.09

ตารางที่ 2.4 มวลของส่วนของร่างกายเป็นเปอร์เซ็นต์ของมวลของร่างกาย [10]

ส่วนของร่างกาย	เพศชาย	
	มวล (กก.)	% เมื่อเทียบกับมวลของร่างกาย
แขนขวาส่วนบน	1.87	3.37
แขนซ้ายส่วนบน	1.80	3.24
แขนขวาส่วนล่าง	0.92	1.67
แขนซ้ายส่วนล่าง	0.88	1.58
มือขวา	0.36	0.65
มือซ้าย	0.39	0.61
ขาขวาส่วนบน	5.75	10.23
ขาซ้ายส่วนบน	5.65	10.06
ขาขวาส่วนล่าง	2.83	5.06
ขาซ้ายส่วนล่าง	2.728	4.88
เท้าขวา	0.866	1.56
เท้าซ้าย	0.84	1.50
ลำตัว	27.18	48.72
ศีรษะและคอ	4.096	7.88
มวลของร่างกาย	55.75	100.00

2.2 งานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาหาข้อมูลในงานที่ได้มีการศึกษาก่อนหน้า พบว่ามีงานที่มีความเกี่ยวข้องและคล้ายคลึงกัน ดังนี้

ควิกดรอป (Quick Drop) เป็นระบบการเปลี่ยนแบตเตอรี่ แบบอัตโนมัติอย่างรวดเร็วที่พัฒนาโดย เรโนลต์ (Renault) และ เบ็ตเตอร์เพลส (Better Place) การทำงานของระบบคือ การขับรถเข้าไปยังสถานีเปลี่ยนถ่ายแบตเตอรี่ หลังจากนั้นชุดแบตเตอรี่ใหม่ และแบตเตอรี่เก่าจะถูกแลกเปลี่ยนกันโดยอัตโนมัติ จากทางด้านใต้ท้องรถ ใช้เวลาในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ประมาณ 3 นาที โดยแบตเตอรี่ที่ใช้ เป็นแบบลิเทียม ไอออน (Lithium-Ion) ปัจจุบันมีการสร้างสถานีเปลี่ยนถ่ายแบตเตอรี่แบบ ควิกดรอป ในประเทศ อิสราเอล เดนมาร์ก และออสเตรเลีย ที่พร้อมใช้ในปี ค.ศ 2011 และรถรุ่นแรกที่จะพร้อมใช้ระบบนี้ จะเป็นรถ ของเรโนลต์ รุ่น Renault Fluence Z.E [12]

ระบบการเปลี่ยนแบตเตอรี่ด้วยมือสำหรับรถลากไฟฟ้าแบบทั่วไป ที่พบในรถลากไฟฟ้า ที่ใช้อยู่ในอุตสาหกรรม ของบริษัท โตโยต้า ดังแสดงดังรูปที่ โดยแบตเตอรี่ที่ใช้ เป็นแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว และเวลาที่ใช้เปลี่ยนเฉลี่ยประมาณ 5 นาที



รูปที่ 2.19 รถลากไฟฟ้าที่มีระบบการเปลี่ยนแบตเตอรี่ด้วยมือ (Manual)



รูปที่ 2.20 อุปกรณ์ช่วยในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ด้วยมือ

P.Zhou, P.Lin, C.W.Wu, Z.Lia [13] ได้ทำการศึกษาหาการกระจายของแรงที่มีผลต่อความต้านทานของหน้าสัมผัสไฟฟ้าของเยื่อเมมเบรนที่ใช้แลกเปลี่ยนโปรตรอน (Proton Exchange Membrane) ในเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) โดยสรุปได้ว่าการกระจายของแรงไม่ได้มีผลในกรณีที่หน้าสัมผัสไม่ได้แยกจากกัน แต่การกระจายของแรงจะมีผลต่อตัวแปรอื่นเช่น การนำความร้อน และ ประสิทธิภาพในการซีล

Peyman Taheri, Scott Hsieh ,Majid Bahrami [14] ได้ทำการศึกษาหาความต้านทานของหน้าสัมผัสไฟฟ้าของหน่วยแบตเตอรี่ ที่ให้เกิดการสูญเสียพลังงานของรถไฟฟ้า ซึ่งพบว่า ค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลจาก ความหยาบและความเรียบพื้นผิวสัมผัส การกระจายของแรงกด แต่แรงกดที่เพิ่มขึ้นนั้นอาจไม่ทำให้ค่าความต้านทานลดลงได้

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

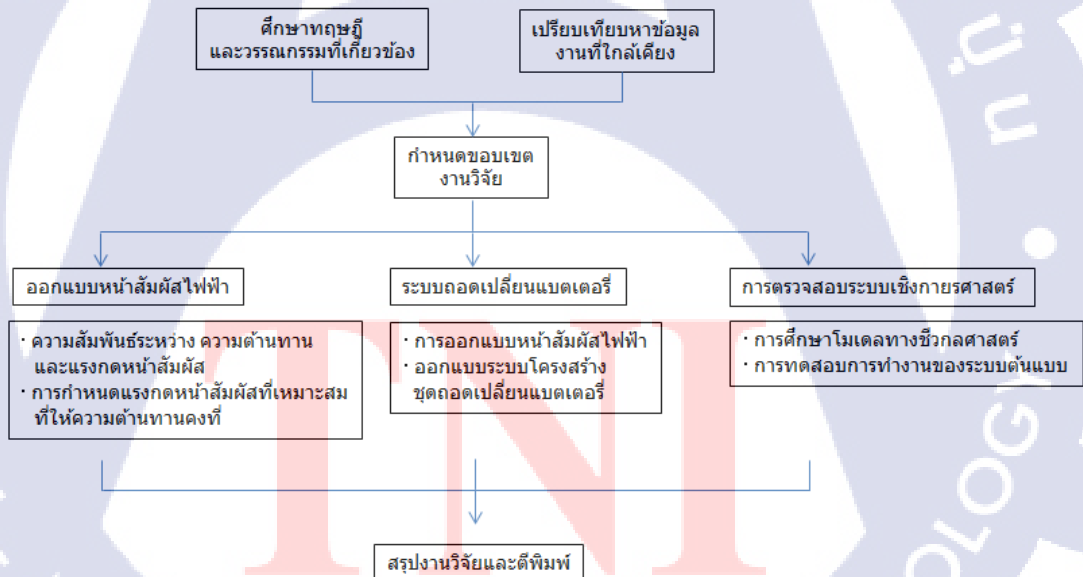
ระเบียบวิธีงานวิจัยนี้สามารถเขียนสรุปเป็นแผนผังได้ดังรูป 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและการรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวข้องกับหน้าสัมผัสไฟฟ้า และการศึกษาทางด้านชีวกลศาสตร์ดังที่กล่าวไว้ในเนื้อหาบทที่ 2

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การออกแบบระบบการเปลี่ยนแบตเตอรี่อย่างง่าย สำหรับรถสามล้อไฟฟ้า (ตุ๊ก ตุ๊ก) มีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ตามแผนภาพที่ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการทำวิจัย

การกำหนดขอบเขตในการวิจัยทำได้โดยการหาข้อมูลจากการศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงลักษณะงานที่มีโครงสร้างและการใช้งานใกล้เคียงกัน ซึ่งจากขอบเขตและข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ทำให้สามารถสรุปขั้นตอนในการดำเนินงานในส่วนต่างๆได้ดังนี้

ในการศึกษาส่วนของระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ จะทำการศึกษาแบ่งตาม โครงสร้างหลักๆ ของระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ และทำการตรวจสอบโครงสร้างที่ได้จากการออกแบบโดยการใช้อายริยศาสตร์ ซึ่งแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ดังนี้

- การออกแบบโครงสร้าง หน้าสัมผัสไฟฟ้า
- การออกแบบ โครงสร้าง ระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับรถตุ๊กตุ๊ก ไฟฟ้า
- การศึกษาระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ในเชิงกายรศาสตร์

3.2.1 การออกแบบหน้าสัมผัสไฟฟ้า

การออกแบบระบบไฟฟ้า มีหลักการคิดโดยการเริ่มจากการนำเอา ข้อมูลจำเพาะของรถสามล้อไฟฟ้าของสถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น ซึ่งมีค่าที่ได้ตั้งที่แสดงไว้ในบทที่ 2 ตารางที่ 2.1

พบว่า แรงดันไฟฟ้าที่ใช้กับระบบจะใช้ไฟฟ้า กระแสตรงขับเคลื่อนชุดความคุม ใช้แรงดันไฟ 48 volt หน้าสัมผัสไฟฟ้าที่ใช้จะถูกออกแบบให้มีค่าความสูญเสีย (loss) ที่เกิดขึ้นกับระบบให้น้อยที่สุด ซึ่งความสูญเสียในระบบสามารถคิดให้อยู่ในรูปของพลังงานความสูญเสีย ดังนี้

$$P(loss) \propto r$$

เมื่อ $P(loss)$ คือ ค่าพลังงานที่สูญเสียในระบบ
 r คือ ค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นระหว่างหน้าสัมผัส

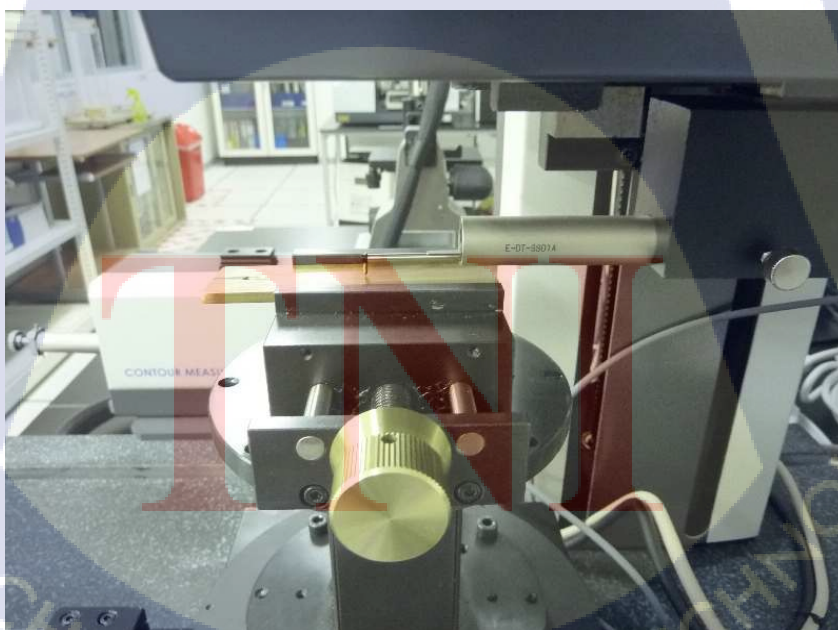
การหาค่าความต้านทานน้อยที่สุดที่เกิดขึ้นจากหน้าสัมผัสไฟฟ้า จึงได้ออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและแรงกดที่เกิดขึ้นบนหน้าสัมผัสไฟฟ้า

หน้าสัมผัสไฟฟ้า (Electrical Contract) ในการศึกษาตามวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ เลือกใช้วัสดุเป็นทองแดง ซึ่งมีราคาถูกและนำไฟฟ้าได้ดี อีกทั้งยังสามารถหาได้ทั่วไปในท้องตลาด โดยกำหนดลักษณะรูปร่างของหน้าสัมผัสตามชิ้นงานที่สามารถหาได้ในท้องตลาดทั่วไป ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะชิ้นงานทองแดงที่หาได้จากท้องตลาด

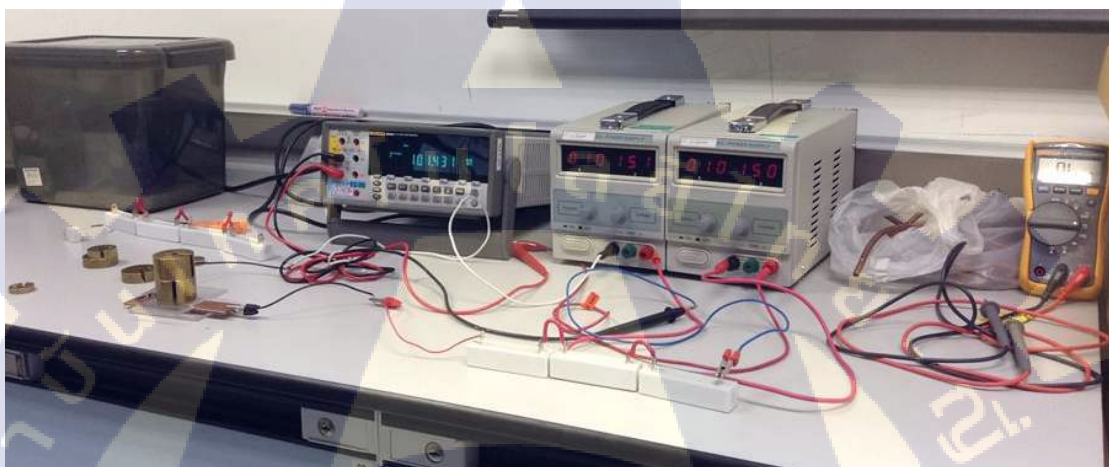
แผ่นทองแดงที่ได้เป็นแผ่นทองแดงเกรด JIS H3250 C1100 ที่ได้จากการรีดขึ้นรูปเป็นแผ่น มีความกว้าง 25.4 มิลลิเมตร (mm) และความหนา 3 มิลลิเมตร (mm) และชิ้นทองแดงที่ได้ จะมีความเรียบผิวซึ่งได้จากการวัดค่าจริงจากวัดความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) โดยใช้อุปกรณ์วัดความเรียบผิว Surfcom Accretech รุ่น 2900SD3



รูปที่ 3.3 การวัดหาค่าความเรียบผิวของชิ้นงานทองแดง

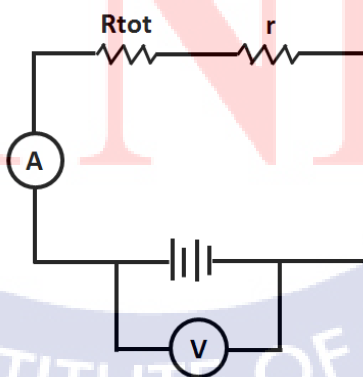
ค่าความเรียบผิวเฉลี่ย (Arithmetical Mean Roughness; R_a) ที่ได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0.12 – 0.35 ไมครอน (μm)

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกด แรงดันไฟฟ้า และ ความเรียบผิวชิ้นงานนำมาทดลอง จะถูกตัดแบ่งเป็นชิ้นๆ ขนาดความยาว 80 mm และนำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทาน ที่เกิดระหว่างหน้าสัมผัสไฟฟ้ากับแรงกดที่ต่างกัน ดังการทดลองที่แสดงตามรูป



รูปที่ 3.4 แสดงการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและแรงดันไฟฟ้าที่มีผลต่อค่าความต้านทาน

วงจรที่ใช้ในการศึกษาแรงกดหน้าสัมผัสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจะทำให้เกิดค่าความต้านทานระหว่างหน้าสัมผัสไฟฟ้าที่ต่างกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาหาค่าความต้านทาน

รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาหาค่าความต้านทานแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรศึกษาหาค่าความต้านทาน

อุปกรณ์ที่ใช้	รายละเอียด
เครื่องจ่ายไฟฟ้า (power supply)	จ่ายไฟฟ้า กระแสตรง (DC) 48 volt
ความต้านทาน (Rtot; resistance)	ความต้านทาน ขนาด 100 โอห์ม ต่ออนุกรม จำนวน 400 โอห์ม
มัลติมิเตอร์ (multi meter)	
น้ำหนักร	ก้อนน้ำหนักทองเหลือง

ค่าความต้านทานต่อค่าแรงกดจากสมการ

$$r = \left(\frac{V}{I}\right) - R_{tot}$$

เมื่อ r คือ ค่าความต้านทานระหว่างหน้าสัมผัสไฟฟ้า

V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดในระบบ (48V)

I คือ ค่ากระแสที่วัดได้ในระบบ (A)

R_{tot} คือ ค่าความต้านทานที่ต่อเข้าระบบ

โดยค่าความต้านทาน R_{tot} ที่ต่อเข้าระบบจะช่วยปรับค่ากระแสที่ไหลในระบบให้ไม่เกิน 200 mA ซึ่งจะทำให้แอมป์มิเตอร์ที่สามารถวัดค่าได้ขนาดไมโคร ($\times 10^6$)

ค่าแรงกดที่สร้างขึ้นระหว่างหน้าสัมผัสทองแดง กำหนดใช้เป็นน้ำหนักก้อนทองแดง โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดต่อน้ำหนักที่ใช้เป็นดังสมการ

$$P = \frac{F}{A}$$

เมื่อ	P	คือ ความกดดันที่เกิดขึ้นที่หน้าสัมผัส (MPa)
	F	คือ น้ำหนักของก้อนน้ำหนักที่ใช้ (N)
	A	คือ พื้นที่หน้าสัมผัสไฟฟ้า (mm^2)

ความสัมพันธ์ระหว่าง ความกดดันที่เกิดขึ้นระหว่างหน้าสัมผัส และความต้านทานระหว่างหน้าสัมผัสที่เปลี่ยนไปจะนำมาใช้ในการออกแบบหน้าสัมผัสไฟฟ้า

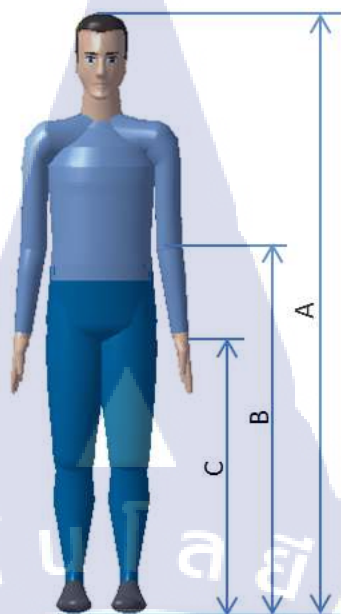
3.2.1 ระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับรถตุ๊กตุ๊กไฟฟ้า

ระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่สำหรับรถตุ๊กตุ๊กไฟฟ้าต้องทำการออกแบบให้สามารถทำงานโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานเพียงคนเดียว อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานต้องน้อยกว่า 5 นาทีเนื่องจากต้องการให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถทำงานได้ สะดวกรวดเร็ว ดังนั้นรายละเอียดโครงสร้างของระบบจะกล่าวไว้ในส่วนของการคำนวณและออกแบบในบทที่ 4 ต่อไป

ระบบที่ออกแบบได้จะมีแรงที่เกิดขึ้นในระหว่างการปฏิบัติงานเนื่องจากความเสียหายจากหน้าสัมผัสไฟฟ้า แรงเสียหายระหว่างผลึกชุดแบตเตอรี่เข้าไปในระบบ และแรงด้านอื่นๆ ที่เกิดในระบบ

3.2.3 การศึกษาระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ในเชิงกายยศาสตร์

จากข้อมูลโครงสร้างระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ ของรถตุ๊กตุ๊ก ที่ได้ จะนำมาศึกษาเพิ่มเติมในเชิงกายยศาสตร์ โดยอ้างอิงจากสัดส่วน ดังนี้



รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งของข้อมูลสัดส่วนที่นำมาใช้เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงกายศาสตร์

โดยข้อมูลสัดส่วนที่ใช้ในการตรวจสอบความเป็นไปได้ในเชิงการยศาสตร์อ้างอิงจาก ตารางที่ 1 ในบทที่ 2 ซึ่งข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลที่สามารถนำมาคิดคำนวณได้ในเชิงชีวกลศาสตร์

ลักษณะท่าทางของผู้ปฏิบัติงานซึ่งได้จากการออกแบบระบบถอดเปลี่ยน แรงที่ใช้ในการปฏิบัติงาน จะถูกนำมาคำนวณในเชิงชีวกลศาสตร์ ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณจะเป็นแรงกดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1 ซึ่งต้องมีค่าไม่เกินค่าเฉลี่ย 4.36 kN ที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บในการปฏิบัติงาน [15]

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

บทที่ 4

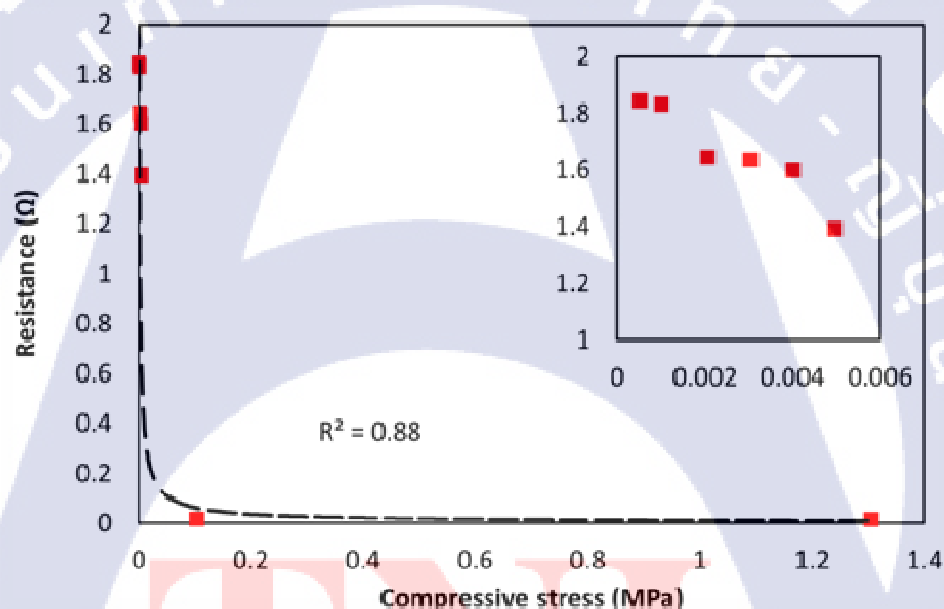
การวิเคราะห์ผลการวิจัย

ส่วนของผลการดำเนินงานนั้น แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

- 4.1 ผลการทดลอง การคำนวณ และการออกแบบในส่วนของหน้าสัมผัสไฟฟ้า
- 4.2 ผลการทดลอง การคำนวณ และการออกแบบในส่วนของชุดถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่
- 4.3 การคำนวณในส่วนระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ในเชิงการยศาสตร์

4.1 ผลการทดลอง การคำนวณ และการออกแบบในส่วนของหน้าสัมผัสไฟฟ้า

4.1.1 ผลการทดลองและการคำนวณความต้านทานต่อแรงดันหน้าสัมผัสไฟฟ้า



รูปที่ 4.1 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าจากหน้าสัมผัสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง

จากรูปที่ 4.1 พบว่าความต้านทานไฟฟ้าของหน้าสัมผัสแปรผกผันกับแรงกดที่กระทำต่อหน้าสัมผัสแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยค่าความต้านทานไฟฟาลดลงอย่างรวดเร็ว จากประมาณ 1.8Ω จนถึง 0.01Ω เมื่อแรงกดทับเพิ่มขึ้นจาก 0.001 MPa จนถึง 0.15 MPa หลังจากนั้นความสัมพันธ์จะเริ่มคงที่แม้ว่าจะได้รับแรงกดสูงขึ้น ซึ่งการทดลองนี้สอดคล้องกับผลงานทางวิชาการของ Taheri และคณะ [15]

4.1.2 ผลการคำนวณหาค่าแรงกดของสปริงที่หน้าสัมผัสไฟฟ้า

จากการทดลองหาค่าแรงกดที่เหมาะสมที่ทำให้ความต้านทานน้อยที่สุดในระบบ จาก 4.1 ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้นำค่าแรงกดขนาด 0.15 MPa มาใช้ในการคำนวณค่าแรงกดของสปริงที่หน้าสัมผัสไฟฟ้า

โดยออกแบบให้หน้าสัมผัสไฟฟ้ามีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.5 ซม.(พื้นที่หน้าตัดขนาด 4.9 ตร.ซม.) สามารถคำนวณแรงกดที่หน้าสัมผัสไฟฟ้าได้จากสมการ ดังนี้

$$P = \frac{F}{A}$$

เมื่อ	P	คือ ความดัน (N/m ²)
	F	คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่นั้นๆ (N)
	A	คือ พื้นที่หน้าตัดที่แรงกระทำตั้งฉาก (m ²)

เมื่อแทนค่าจากข้อมูลที่มีลงในสมการแล้วพบว่า

$$F = (0.15 \times 10^6 \times 4.9 \times 10^{-4}) = 73.5 \text{ N}$$

เมื่อทราบขนาดของแรงที่กดหน้าสัมผัสไฟฟ้าแล้วก็สามารถคำนวณหาค่าแรงกดของสปริงได้ตามสมการ

$$F = \frac{k}{x}$$

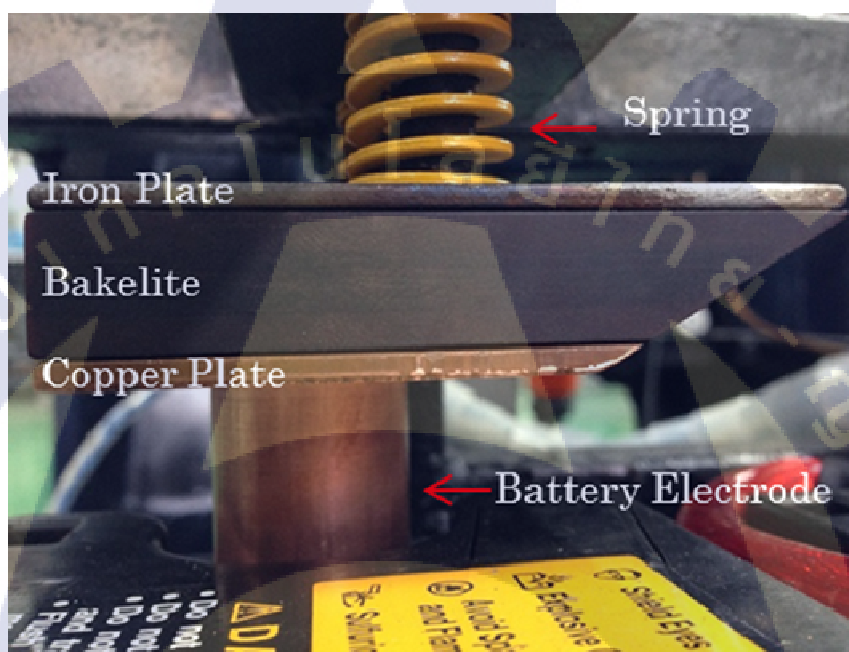
เมื่อ	F	คือ แรงที่ให้กับสปริง (N)
	k	คือ ค่าแรงสปริง (N/m)
	x	คือ ระยะยุบตัวของสปริง (m)

โดยกำหนดให้มีระยะยุบตัวของสปริงขนาด 3 มม. และใช้สปริง 2 ตัวต่อหน้าสัมผัสไฟฟ้า 1 ขั้ว เมื่อแทนค่าข้อมูลที่มีลงในสมการแล้วพบว่า

$$k = \frac{73.5}{2 \times 3 \times 10^{-3}} = 12,150 \text{ N/m}$$

ดังนั้นสปริงที่ใช้ควรมีค่านิจสปริงขนาด 12,250 N/m แต่ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่านิจสปริงขนาด 25,600 N/m เนื่องจากสปริงตามท้องตลาด มีขนาดของรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน และสามารถหามาใช้ได้อย่างสะดวก

ชุดหน้าสัมผัสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองและคำนวณแสดงไว้ดังรูปที่ 4.2 โดยที่ขั้นตอนในการทำงานของชุดหน้าสัมผัสไฟฟ้าถูกแสดงไว้ดังรูปที่ 4.3 โดยที่แรงดันที่กั้นระหว่างหน้าสัมผัสไฟฟ้าเกิดขึ้นจากสปริงที่ได้เลือกใช้



รูปที่ 4.2 ชุดหน้าสัมผัสไฟฟ้า

ส่วนประกอบของชุดหน้าสัมผัสไฟฟ้า รูปที่ 4.2 ประกอบด้วย

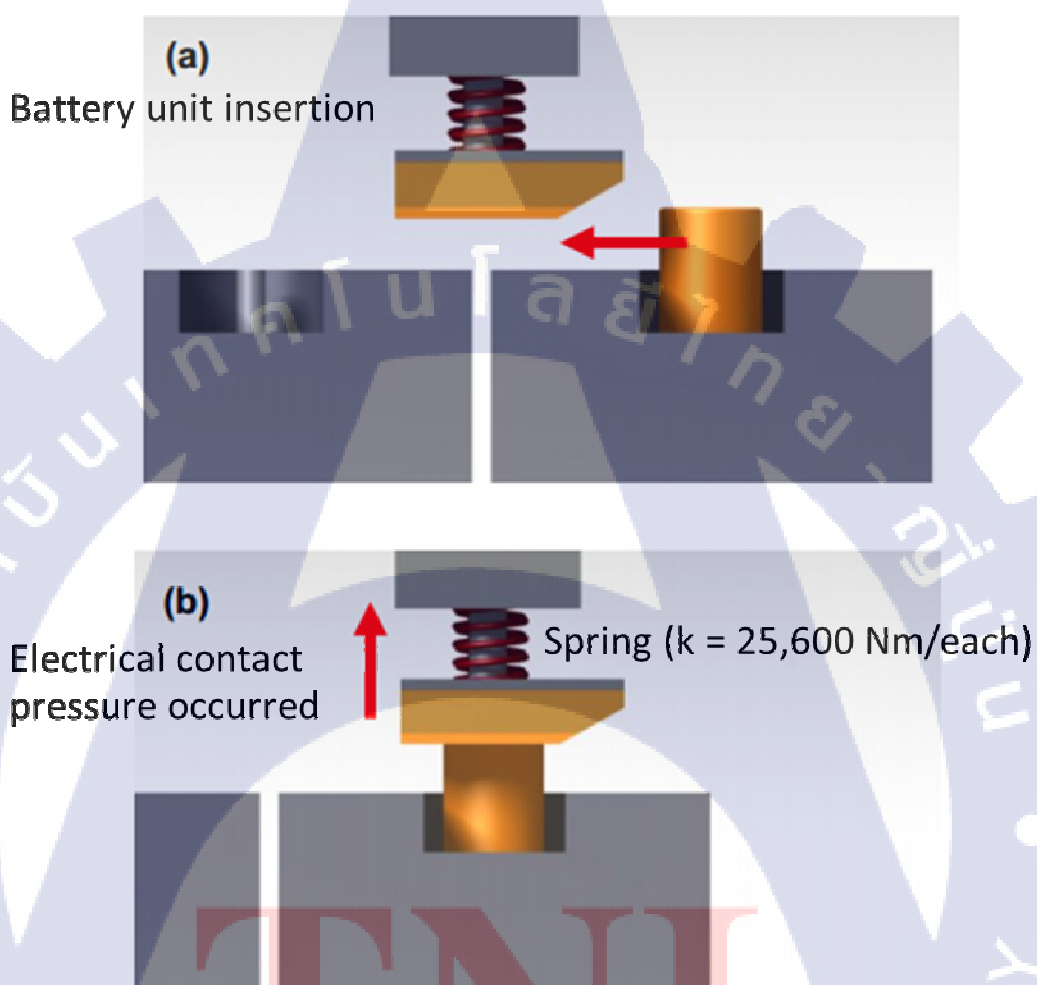
ขั้วของแบตเตอรี่ (Battery Electrode) สร้างจากทองแดงสวมต่อกับขั้วของชุดแบตเตอรี่ มีขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 cm

แผ่นทองแดง (Copper Plate) สร้างจากแผ่นทองแดงหนา 3mm เป็นชุดของหน้าสัมผัสไฟฟ้า ทำหน้าที่ส่งผ่านกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่สู่ระบบ มีการทำขอบเป็นมุมเพื่อลดแรงกระแทกขณะที่ทำการถอดเปลี่ยนชุดแบตเตอรี่

ฉนวนกันไฟฟ้า (Bakelite; Polyoxybenzyl-Methylenglycolanhydride) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าส่งผ่านไปยัง แผ่นเหล็กและชุดสปริงกดหน้าสัมผัสด้านบน

แผ่นเหล็ก (Iron Plate) ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง และยึดชุดสปริงกับชุดหน้าสัมผัสไฟฟ้า

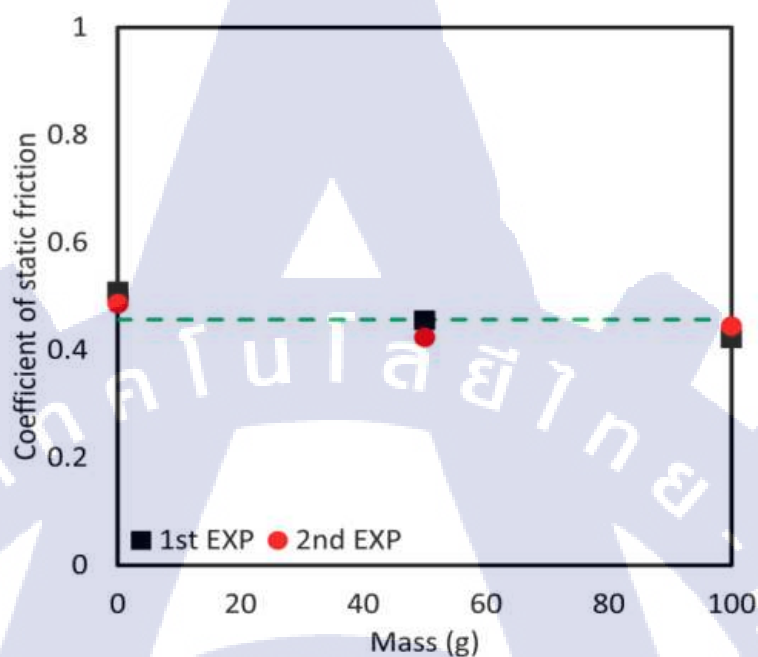
สปริง (Spring) ทำหน้าที่สร้างแรงกดให้กับชุดหน้าสัมผัสไฟฟ้า



รูปที่ 4.3 การทำงานของชุดหน้าสัมผัสไฟฟ้า

4.2 ผลการทดลอง การคำนวณ และการออกแบบในส่วนของชุดถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่

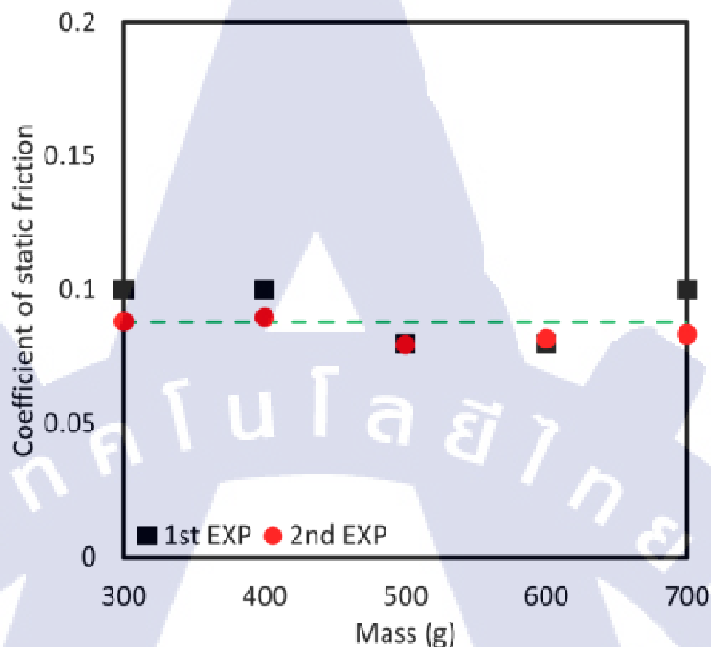
4.2.1 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างทองแดงกับทองแดง



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยระหว่างทองแดงกับทองแดง

จากการทดลองจำนวน 3 ครั้งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยระหว่างทองแดงกับทองแดงมีค่า 0.454 ($\mu = 0.454$)

4.2.2 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างรางลูกลิ่งกับถาดแบตเตอรี่

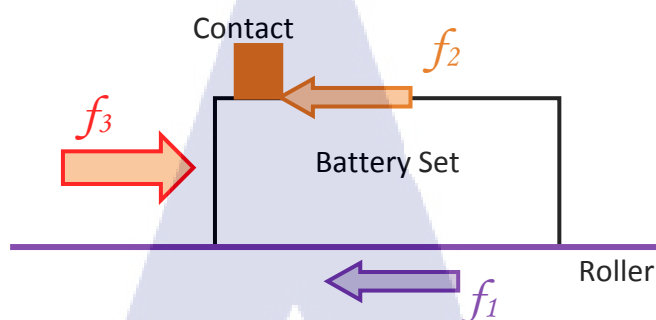


รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยระหว่างรางลูกลิ่งกับถาดแบตเตอรี่

จากการทดลองจำนวน 5 ครั้งพบว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉลี่ยระหว่างรางลูกลิ่งกับถาดแบตเตอรี่มีค่า 0.088 ($\mu = 0.088$)

4.2.3 ผลการคำนวณค่านิสปรังสำหรับต้นถาดแบตเตอรี่

การคำนวณหาค่านิสปรังสำหรับต้นถาดแบตเตอรี่นั้นพบว่าแรงที่สปริงใช้สำหรับต้นถาดแบตเตอรี่ออกมาต้องมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นโดยแรงเสียดทานเกิดขึ้นอยู่ 2 จุด ได้แก่แรงเสียดทานระหว่างทองแดงกับทองแดงที่หน้าสัมผัสไฟฟ้าและแรงเสียดทานระหว่างรางลูกลิ่งกับถาดแบตเตอรี่ โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดังกล่าวข้างต้น แสดงไว้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันสปริง (f_3) แรงเสียดทานจากรางลูกกลิ้ง (f_1) และ แรงเสียดทานจากหน้าสัมผัสไฟฟ้า (f_2)

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเฉื่อยระหว่างทองแดงกับทองแดงมีค่า 0.454 และแรงกดที่หน้าสัมผัสมีค่า 154 N ดังนั้นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างทองแดงกับทองแดงสามารถหาได้จากสมการ

$$f_2 = \mu N$$

เมื่อ f_2 คือ แรงเสียดทานที่หน้าสัมผัส (N)

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

N คือ แรงในแนวตั้งฉาก (N)

$$f_2 = 2 \times (0.454 \times 154) = 140 \text{ N}$$

แรงเสียดทาน (f_2) ที่เกิดขึ้นระหว่างทองแดงกับทองแดงมีค่า 140 N และแรงเสียดทานระหว่างรางลูกกลิ้งกับถาดแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้จาก

$$f_1 = (((2 \times 154) + (84 \times 9.81)) \times 0.088) = 100 \text{ N}$$

โดยแรงหลักของสปริงที่ใช้ดันชุดแบตเตอรี่ (f_3) หลังจากปลดล๊อคจะมีค่า

$$f_3 = f_1 + f_2 = 240 \text{ N}$$

แรงเสียดทานเกิดขึ้นในระบบทั้งหมดมีค่า 240 N เมื่อทราบขนาดของแรงเสียดทานทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบแล้วก็สามารถคำนวณหาค่านิจของสปริงได้ โดยใช้สปริงสองตัวสำหรับต้นถาดแบตเตอรี่และกำหนดให้มีระยะยุบ 5 ซม. เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้สอยที่จำกัดในโครงสร้างรถตุ๊ก ตุ๊กไฟฟ้า เมื่อแทนค่าข้อมูลที่มีลงในสมการแล้วพบว่า

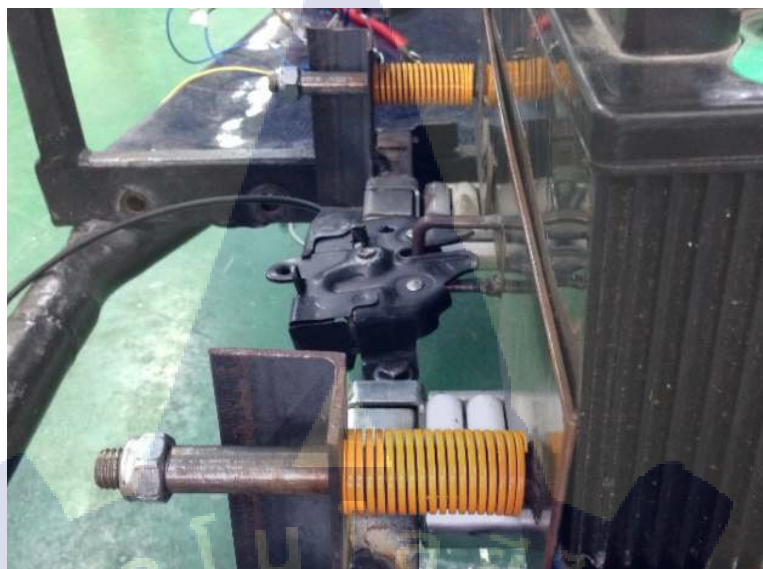
$$k = \frac{240}{2 \times 5 \times 10^{-2}} = 2,400 \text{ N/m}$$

ดังนั้นสปริงที่ใช้ควรมีค่านิจสปริงขนาด 2,400 N/m แต่ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้ค่านิจสปริงขนาด 10,000 N/m เนื่องจากสปริงมีขนาดของรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานและสามารถหามาใช้ได้อย่างสะดวก

ผลการออกแบบชุด สปริงที่ต้นถาดแบตเตอรี่แสดงไว้ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

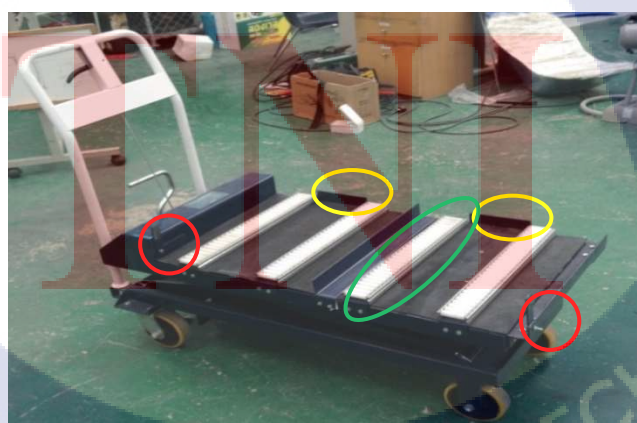


รูปที่ 4.7 ระบบล้อแบตเตอรี่ขณะที่ยังไม่ถูกล็อค



รูปที่ 4.8 ระบบล็อกแบตเตอรี่ขณะที่ถูกล็อค

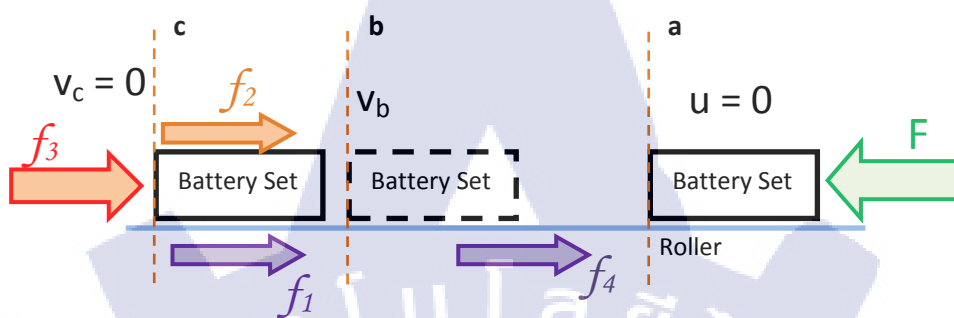
เพื่อให้การเปลี่ยนแบตเตอรี่มีความสะดวกทางคณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบรถเข็นสำหรับถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ดังรูปที่ 4.9 โดยรถเข็นสำหรับสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ประกอบไปด้วยรางลูกกลิ้ง (วงกลมสีเขียว) สำหรับลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเพื่อให้แบตเตอรี่สามารถเข็นเข้าและออกได้อย่างสะดวกแบตเตอรี่สตอปเปอร์ (วงกลมสีเหลือง) สำหรับป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ไถลออกจากรถเข็นและคาร์ทสตอปเปอร์ (วงกลมสีแดง) สำหรับกำหนดตำแหน่งระหว่างรถเข็นกับรถตุ๊ก ตุ๊กเพื่อให้แบตเตอรี่สามารถเข็นเข้าและออกได้อย่างสะดวก



รูปที่ 4.9 รถเข็นสำหรับถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่

4.2.4 ผลการคำนวณค่าแรงที่ใช้ในการดันชุดแบตเตอรี่

การคำนวณหาค่าแรงที่ใช้ดันชุดแบตเตอรี่ ใช้หลักการของโมเมนตัมในการนำมาคิดคำนวณ ซึ่งมีการแสดงการออกแรง แรงที่เกิดขึ้น และการเคลื่อนที่ของชุดแบตเตอรี่ ดังรูปที่ 4.10 ดังนี้



รูปที่ 4.10 แผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของชุดแบตเตอรี่ และ แรงต่างๆ ที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ ตำแหน่งการเคลื่อนที่จาก b -> c จะมีแรงต้าน (f_{bc}) ที่เกิดขึ้นคือ

$$f_{bc} = f_1 + f_2 + f_3$$

โดยที่

- f_1 คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่รางเลื่อนขณะเข้าสัมผัสหน้าสัมผัสไฟฟ้า
- f_2 คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสไฟฟ้า
- f_3 คือ แรงต้านเนื่องจากสปริงช่วยในการปลดล็อก
- f_{bc} คือ แรงรวมในช่วง b-c ที่ทำให้ชุดแบตเตอรี่เคลื่อนที่เข้าล็อก

$$f_{bc} = 100 + 140 + 1,000 = 1,240 \text{ N}$$

กำหนดโมเมนตัมต่ำสุดที่ทำให้ชุดแบตเตอรี่เลื่อนเข้าไปล็อก คือ

$$f_{bc} \times t_{bc} = m \times V_b$$

โดยที่

t_{bc} คือ ระยะเวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ของชุดแบตเตอรี่จาก b-c

กำหนดเป็น 0.3 s

m คือ น้ำหนักของชุดแบตเตอรี่

V_b คือ ความเร็วที่จุด b

ดังนั้น

$$V_b = (1,240 \times 0.3)/84 = 4.43 \text{ m/s}$$

การทำจะทำให้ชุดถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่เคลื่อนที่ จากจุด a ซึ่งมีความเร็วเริ่มต้น $u=0$ ต้องทำให้ชุดแบตเตอรี่ มีความเร่ง (a_{ab}) ในการเคลื่อนที่ ดังนี้

$$a_{ab} = V_b/t_{ab}$$

โดย

t_{ab} คือ ระยะเวลาเฉลี่ยของชุดแบตเตอรี่ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ จาก a-b

โดยมีค่าเท่ากับ 1.5 s.

$$a_{ab} = V_b/t_{ab} = 4.43/1.5 = 2.95 \text{ m/s}^2$$

การหา แรงปฏิบัติงานที่ผู้ปฏิบัติงานต้องใช้ในการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่หาได้ดังนี้

$$F - f_4 = m \times a_{ab}$$

$$F = (84 \times 2.95) + (0.088 \times 84 \times 9.81) = 320.32 \text{ N.}$$

F คือ แรงในปฏิบัติงานที่ใช้ถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่

f_4 คือ แรงเสียดทานที่รางเลื่อนขณะเคลื่อนจาก a-b

4.2.5 การทดสอบการใช้งานระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่

การทดสอบการใช้งานระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ ได้ทำการทดสอบการทำงานจริง โดยผู้ปฏิบัติงานผ่านการฝึกการใช้งานระบบก่อนมาทดสอบ และได้มีการเก็บข้อมูลเวลาในการทดสอบระบบ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.11

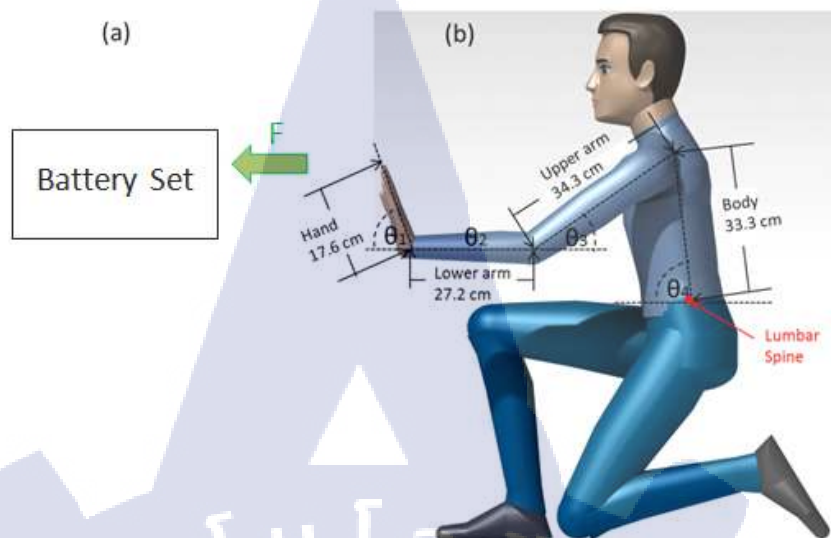


รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการทำงานของ การถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่

การเก็บข้อมูลเวลาในการปฏิบัติงาน ใช้ผู้ปฏิบัติงานชายและหญิง 3 คน หาค่าเฉลี่ยจากการปฏิบัติงาน 5 ครั้ง ต่อคน โดยผู้ชายใช้เวลาเฉลี่ยในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ 2.23 นาทีและผู้หญิงใช้เวลาเปลี่ยนแบตเตอรี่ 2.83 นาที

4.3 การคำนวณระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ในเชิงการยศาสตร์

ค่าและโครงสร้างที่ได้จาก 4.1 และ 4.2 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพเพื่อที่จะนำมาคำนวณเชิงชีวกลศาสตร์ได้ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 Free body diagram ของแรงจากการศึกษาโมเดลด้านชีวกลศาสตร์

โดยกำหนด

มุมระหว่างมือกับระนาบแนวนอน (θ_1) 70 องศา

มุมระหว่างแขนท่อนล่างกับระนาบแนวนอน (θ_2) 0 องศา

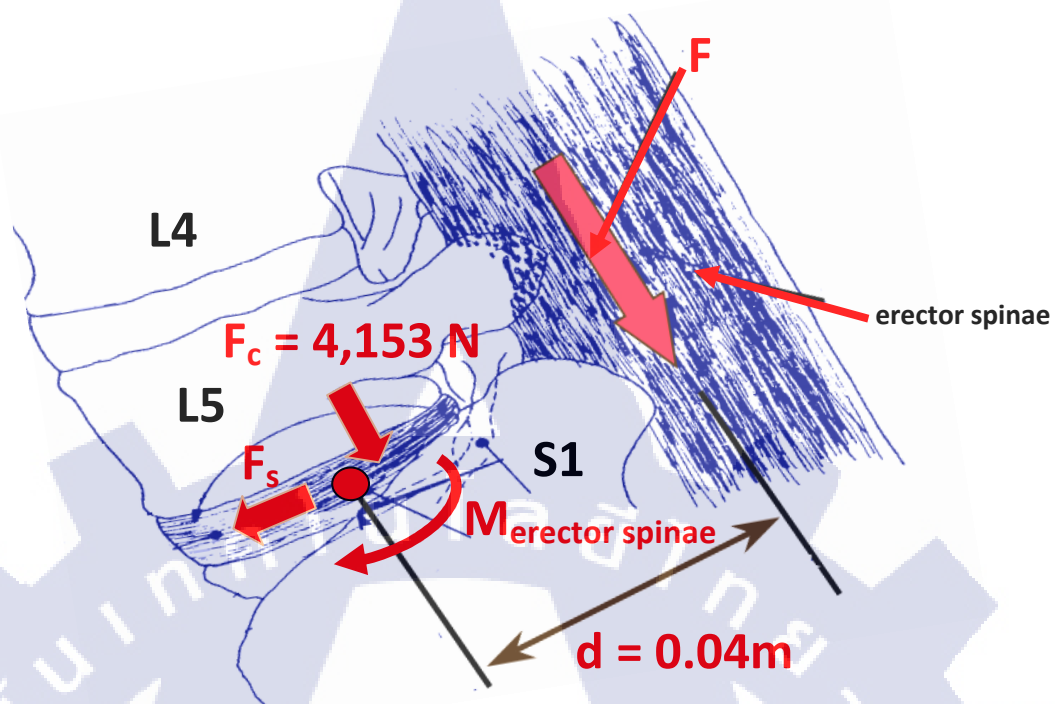
มุมระหว่างแขนท่อนบนกับระนาบแนวนอน (θ_3) 45 องศา

มุมระหว่างตัวท่อนบนกับระนาบแนวนอน (θ_4) 60 องศา

น้ำหนักของผู้ปฏิบัติงาน 53.7 กิโลกรัม

แรงที่ใช้ปฏิบัติงานระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ $F = 320.32$ นิวตัน

หลังจากได้คำนวณแรงกดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลัง (intervertebral disc) ในส่วน L5/S1 ซึ่งแสดงไว้ในรายละเอียดในส่วนของภาคผนวกและรูปที่ 4.13 แรงกดที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 4,153 N ซึ่งน้อยกว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดที่กระดูกในส่วน L5/S1 ที่สามารถรับได้ 4,360 N จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ที่ออกแบบขึ้น มีการดำเนินการที่ปลอดภัย ภายใต้หลักการยศาสตร์



รูปที่ 4.13 แสดงผังของแรงที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกในส่วน L5/S1

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปการดำเนินงานและผลวิเคราะห์การวิจัย

ระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ที่ถูกออกแบบและพัฒนาสำหรับรถตุ๊ก ตุ๊กไฟฟ้าสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีในเบื้องต้น โดยสามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้โดยคนเดียวภายใน 5 นาทีโดยผู้ขายใช้เวลาเฉลี่ยในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ 2.23 นาทีและผู้หญิงใช้เวลาเปลี่ยนแบตเตอรี่ 2.83 นาทีและค่าความต้านทานไฟฟ้าที่หน้าสัมผัสไฟฟ้ามีค่าต่ำสุดตามทฤษฎีและการคำนวณคือ 0.01Ω โดยที่การคำนวณแรงกดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังในตำแหน่ง L5/S1 อยู่ในระดับที่ปลอดภัยภายใต้หลักการยศาสตร์ คือ 4,153.36 N

5.2 แนวทางการแก้ไขปัญา และข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากต้องใช้ความชำนาญในการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ ดังนั้นผู้ที่ทำการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ควรได้รับการแนะนำจากทางผู้วิจัยก่อนการถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่เพื่อความชำนาญและความปลอดภัย แม้วาระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ จะสามารถดำเนินการได้ในภายใน 2-3 นาที แต่เนื่องจากการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่นั้นต้องใช้ความชำนาญในการถอดเปลี่ยน ดังนั้นหากเป็นบุคคลทั่วไปทำการสับเปลี่ยนแบตเตอรี่อาจส่งผลให้ใช้เวลามากกว่าที่ได้ทำการทดลอง

5.2.2 ควรมีการติดสัญลักษณ์บริเวณสวิทช์ที่ใช้สำหรับปลดล็อกแบตเตอรี่เพื่อให้ผู้ใช้งานเข้าใจหน้าที่การใช้งานและตำแหน่งของสวิทช์ปลดล็อกแบตเตอรี่

5.2.3 เนื่องจากสปริงไม่มีการระบุค่าแรงของสปริง ดังนั้นเพื่อป้องกันความผิดพลาดและให้เกิดความสะดวกในการใช้งานจึงควรระบุข้อมูลจำเพาะของสปริงเนื่องจากค่าแรงของสปริง มีผลทั้งในส่วนของความต้านทานของระบบ แรงที่ใช้ในการดำเนินงาน และความปลอดภัยในสภาพการปฏิบัติงาน

5.2.4 การศึกษาและพัฒนาชุดถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ในงานวิจัยฉบับนี้ ไม่ได้ทำการศึกษาถึงความแข็งแรง คงทนและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่เปลี่ยนไปหลังจากใช้งานไปในช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้นในอนาคตควรศึกษาในด้านนี้ด้วย

5.2.5 การศึกษาและพัฒนาในขั้นต่อไปของชุดถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ ควรศึกษาในด้านการพัฒนาและปรับปรุงอุปกรณ์โครงสร้าง ต่างๆให้อยู่ในรูปแบบที่ให้งานง่ายขึ้น (แรงในการปฏิบัติงานลดลง, เวลาในการปฏิบัติงานลดลง) และทำให้โครงสร้างอุปกรณ์มีราคาถูก

บรรณานุกรม

TNI

บรรณานุกรม

- [1] International Energy Agency, “*Key World Energy Statistics 2014*”. [Online]. Available: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf>. [Accessed: May 9, 2015].
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “รายงานการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย 2556”. [Online]. Available: http://www4.dede.go.th/dede/images/stories/stat_dede/report13/statistics2556r_p.pdf. [Accessed: May 9, 2015].
- [3] Joint Research Centre of the European Commission, “*Tank-to-Wheels (TTW) Report Version 4 July 2013*”. [Online]. Available: http://iet.jrc.ec.europa.eu/aboutjec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/aboutjec/files/documents/report_2013/ttw_report_v4_july_2013_final.pdf. [Accessed: May 9, 2015].
- [4] R. Garcia-Valle and J. A. P. Lopez, *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks*. New York: Springer, 2013.
- [5] “ไปขึ้นรถตุ๊กตุ๊กกัน!,” *นิตยสารดาวโกลด์*, vol. 73. PP. 6-9, November 2009.
- [6] I. Husain, *Electric and Hybrid Vehicles Design Fundamental*, New York: CRC Press, 2005.
- [7] Autosshop101, “*Battery*”. [Online]. Available: <http://www.autosshop101.com/> [Accessed: May 8, 2015].
- [8] M. Braunovic et al., *Electrical Contacts Fundamentals, Applications and Technology*. New York: CRC Press, 2006.
- [9] P. Phano-phat et al., “Design of a Handy Battery Switching System for an Electric Three – wheeler,” *Proceeding of the 5th TSME-International Conference on Mechanical Engineering, TSME-ICoME 2014*, Chiang Mai, Thailand, December 17-19, 2014.
- [10] กิตติ อินทรานนท์, *การยศาสตร์*, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] S.N. Robinovitch, “*Biomechanics of Lifting and Lower Back Pain*”. [Online]. Available: http://www.sfu.ca/~steve/kin380/lecture_outlines/Biomechanics_lifting_p1_1pp.pdf. [Accessed: May 9, 2015].
- [12] Renault, “*Quickdrop / Battery Switch*”. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=H-Azrt_wUkc. [Accessed: May 9, 2015].
- [13] P. Zhou et al., “Effect of nonuniformity of the contact pressure distribution on the electrical contact resistance in proton exchange membrane fuel cells,” *Journal of Hydrogen Energy*, vol. 36, PP. 6039 - 6044, March 2011.
- [14] P. Taheri et al., “Investigating electrical contact resistance losses in lithium-ion battery assemblies for hybrid and electric vehicles,” *Journal of Power Sources*, vol. no. 15, PP. 6525 – 6533, April 2011.
- [15] M. Jager and A. Luttmann, “Biomechanical analysis and assessment of lumbar stress during load lifting using a dynamic 19-segment human model,” *Ergonomics*, vol. 32, no. 1, PP. 93-112, January 1989.

ภาคผนวก

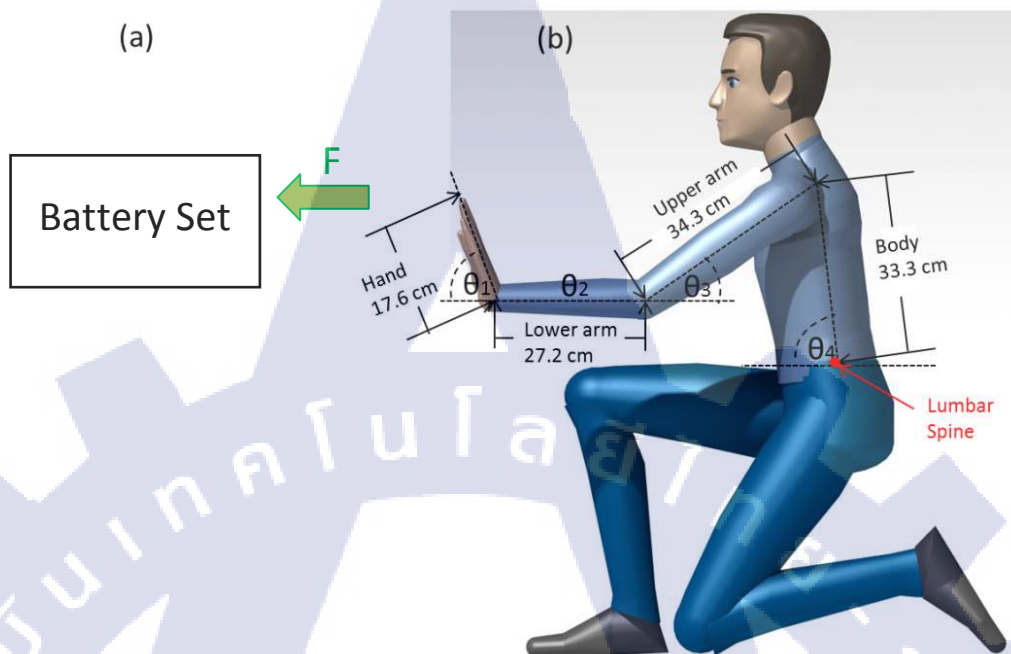
TNI

ภาคผนวก ก.

การคำนวณและการแปลงข้อมูล

TNI

ก. ผลการคำนวณทางด้านการยศาสตร์



รูปที่ ก.1 แสดงผังของแรงจากการศึกษาโมเดลด้านชีวกลศาสตร์

โดยกำหนด

มุมระหว่างมือกับระนาบแนวนอน (θ_1) 70 องศา

มุมระหว่างแขนท่อนล่างกับระนาบแนวนอน (θ_2) 0 องศา

มุมระหว่างแขนท่อนบนกับระนาบแนวนอน (θ_3) 45 องศา

มุมระหว่างตัวท่อนบนกับระนาบแนวนอน (θ_4) 60 องศา

น้ำหนักของผู้ปฏิบัติงาน 53.7 กิโลกรัม (ตารางที่ 2.2)

แรงดันที่เกิดขึ้นจากโครงสร้างระบบถอดเปลี่ยนแบตเตอรี่ $F = 320.32 \text{ N}$.

สมมติฐาน

1. น้ำหนักร่างกาย = น้ำหนักหัว และ คอ (7.88%) + ลำตัว (48.72%)

จากตารางที่ 2.2 และ 2.4

และ รูปที่ ก.1

2. ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลคงที่ และไม่เปลี่ยนแปลง จะถูกแสดงเป็นตำแหน่งของจุดเดียว

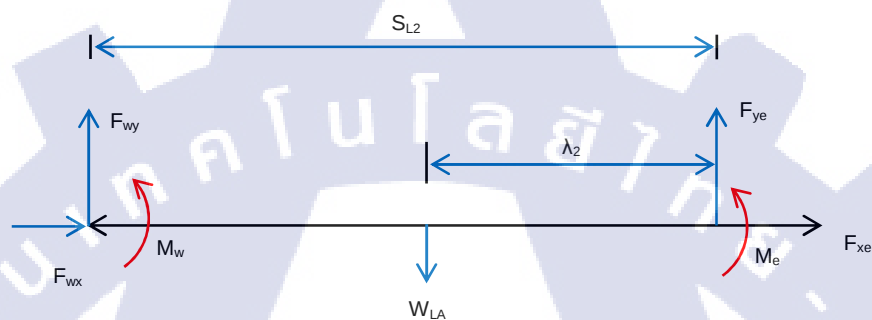
$$\Sigma F_{YW} = F_{YW} - W_H = 0$$

$$F_{YW} = W_H$$

$$3.32 \text{ N}$$

$$\Sigma M_W = W \times \cos \theta_1 \times S_{L1} - F \times \sin \theta_1 \times S_{L1}$$

$$M_W = -1.13 \text{ N.m}$$



รูปที่ ก.3 Free Body Diagram แสดงผังของแรงที่กระทำต่อแขนส่วนล่าง

b) การคำนวณในส่วนของแขนส่วนล่าง (รูปที่ ก.3)

จากการคำนวณในส่วนของแรงที่มือ เอาค่าแรงต่างๆ ที่ได้มาคิดต่อ ในส่วนของแขนส่วนล่าง เนื่องจากผลของแรงที่รวมกันทำให้เกิดภาวะสมดุลสถิตย์ที่ข้อมือ

$$W_{LA} = m_{LA} \times g \text{ (น้ำหนักของแขนข้างเดียวเฉลี่ย จากตารางที่ 2.4)}$$

$$(m_{LA} \text{ (RH)} + m_{LA} \text{ (LH)}) / 2 \times M \times g$$

$$8.56 \text{ N}$$

$$M_W = -1.13 \text{ N.m}$$

$$F_{XW} = 160.16 \text{ N}$$

$$F_{YW} = 3.32 \text{ N}$$

$$S_{L2} = \text{ระยะจากข้อมือถึงข้อศอก (จากตารางที่ 2.3)}$$

$$44.8 - 17.6$$

$$27.2 \text{ cm}$$

c) การคำนวณในส่วนของแขนส่วนบน (รูปที่ ก.4)

แรงลัพธ์และโมเมนต์ที่ข้อศอกที่ได้คำนวณจากช่วงแขนส่วนล่าง จะถูกนำมาคำนวณในช่วงแขนส่วนบนด้วยค่าที่เท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม

$$\begin{aligned} W_{UA} &= \text{น้ำหนักของแขนส่วนบน (จากตารางที่ 2.2)} \\ &= m_{UA} \times g \\ &= 17.41 \text{ N.} \end{aligned}$$

$$M_e = -98.60 \text{ N.m}$$

$$F_{xe} = -160.16 \text{ N.}$$

$$F_{ye} = 8.56 \text{ N.}$$

$$\theta_3 = 45 \text{ degree}$$

$$\begin{aligned} SL_3 &= \text{ระยะจากข้อศอกถึงไหล่} \\ &= 0.343 \text{ m. (จากตารางที่ 2.3)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_3 &= \text{ระยะจากไหล่ถึงจุดศูนย์กลางมวล ของแขนท่อนบน (จากตารางที่ 2.3)} \\ &= 45.70\% \\ &= 0.1568 \text{ m.} \end{aligned}$$

$$M_S = \text{โมเมนต์ลัพธ์ที่หัวไหล่เพื่อรักษาสสมดุลสถิตย์}$$

$$F_{XS} = \text{แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่หัวไหล่ตามแนวแกน X เพื่อรักษาสสมดุลสถิตย์}$$

$$F_{YS} = \text{แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่หัวไหล่ตามแนวแกน Y เพื่อรักษาสสมดุลสถิตย์}$$

แรงและโมเมนต์ลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่หัวไหล่แต่ละข้าง

$$\Sigma F_X = F_{XS} + F_{Xe}$$

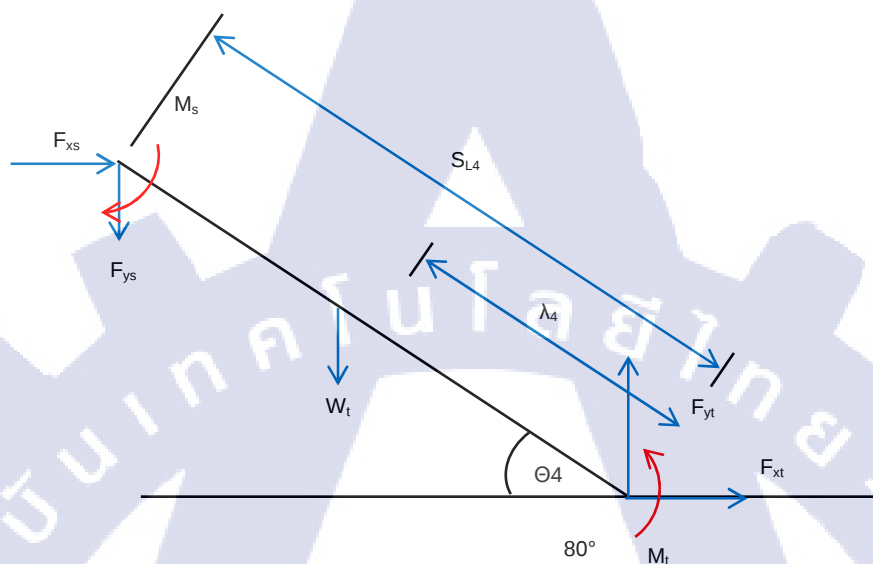
$$F_{XS} = 160.16 \text{ N.}$$

$$\Sigma F_Y = F_{Ye} - F_{YS} - W_{UA}$$

$$F_{YS} = -8.85 \text{ N}$$

$$\Sigma M_S = M_S + (W_{UA} \times \cos \Theta_3 \times \lambda_3) + M_e + (F_{Xe} \times \sin \Theta_3 \times SL_3) - (F_{Ye} \times \cos \Theta_3 \times SL_3)$$

$$M_S = -59.61 \text{ N}$$



รูปที่ ก.5 Free Body Diagram แสดงผังของแรงที่กระทำต่อลำตัว

d) การคำนวณในส่วนของลำตัว (รูปที่ ก.5)

โดยส่วนของลำตัว มีจุดสิ้นสุดที่ L5/S1 ซึ่งเป็นหมอนรองกระดูกระหว่างกระดูกหลังส่วนล่างท่อนสุดท้าย (Lumbar) กับกระดูกก้น (Sacrum)

$$M_S = -59.61 \text{ N} \quad (\text{หัวไหล่ข้างเดียว})$$

$$-119.22 \text{ N} \quad (\text{หัวไหล่สองข้าง})$$

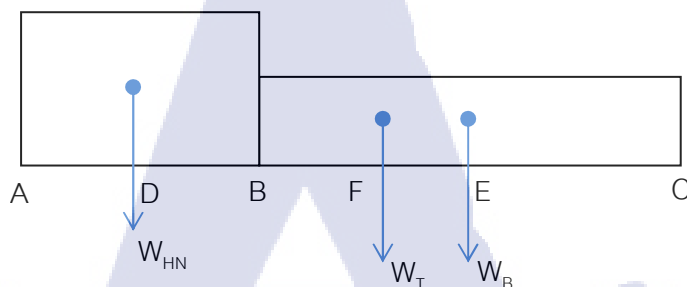
$$F_{XS} = 320.32 \text{ N} \quad (\text{หัวไหล่สองข้าง})$$

$$F_{YS} = -17.70 \text{ N} \quad (\text{หัวไหล่สองข้าง})$$

$$\Theta_4 = 60 \text{ degree} \quad (\text{มุมของลำตัววัดกับแนวนอน})$$

$$SL_4 = \text{ความยาวของลำตัวจาก L5/S1 ถึงหัวไหล่} \\ 0.333 \text{ m.} \quad \text{จากตารางที่ 2.2}$$

λ_4 = จุดศูนย์กลางมวลลำตัว วัดจาก L5/S1
0.2 m. จากตารางที่ 2.3



รูปที่ ก.6 การคำนวณหาศูนย์กลางมวลรวมศีรษะ คอ และลำตัว

จากรูป ที่ ก.6

BC = เป็นความยาวลำตัววัดจาก L5/S1 (Point C) ถึงหัวไหล่ (B)
0.333 m.
SL₄ = X₁
AB = เป็นความยาวของคอต่อเนื่องจากศีรษะวัดจากหัวไหล่ (B) ถึงศีรษะ (A)
X₂ (จากตารางที่ 2.3)
ความสูงยืน – ความสูงหัวไหล่
0.283 m.

จากตารางที่ 2.3

BD = ระยะทางจาก Proximal Point (B) ถึงจุดศูนย์กลางมวลของศีรษะและคอ
42.91 % of X₂
0.12 m.
EC = ระยะทางจาก Proximal Point (C) ถึงจุดศูนย์กลางมวลของลำตัว
47.83 % of X₁
0.16 m.

จากตารางที่ 2.4

$$W_{HN} = \begin{array}{l} \text{น้ำหนักของคีระและคอ} \\ 7.88\% \times m \\ 41.51 \text{ N} \end{array}$$

$$W_B = \begin{array}{l} \text{น้ำหนักของลำตัว} \\ 48.72\% \times m \\ 256.66 \text{ N} \end{array}$$

$$W_T = \begin{array}{l} \text{น้ำหนักของคีระ, คอ และลำตัว} \\ W_{HN} + W_B \\ 298.17 \text{ N} \end{array}$$

$$FC = \begin{array}{l} \text{เป็นระยะทางจาก L5/S1 ถึงศูนย์กลางมวลของลำตัว คีระ และคอ} \\ \text{รวมกัน} \\ X \end{array}$$

$$DC = \begin{array}{l} \text{เป็นระยะทางจาก L5/S1 ถึงศูนย์กลางมวลคีระและ คอ รวมกัน} \\ BD + BC \\ 0.45 \text{ m.} \end{array}$$

ให้ L5/S1 (C) เป็นจุดหมุน มีแรง 3 แรง คือ W_{HN} , W_B and W_T กระทำบนคาน AC อยู่ใน
สภาพสมดุลสถิตย์
ดังนั้น

$$\begin{array}{l} W_T \times X = W_{HN} \times DC + W_B \times EC \\ X = 0.20 \text{ m.} \end{array}$$

$$M_T = \text{โมเมนต์ลัพธ์ที่ L5/S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิตย์}$$

$$F_{XT} = \text{แรงลัพธ์ตามแนวนอนแกน X @ L5/S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิตย์}$$

$$F_{YT} = \text{แรงลัพธ์ตามแนวนอนแกน Y @ L5/S1 เพื่อรักษาสมดุลสถิตย์}$$

$$\Sigma F_x = F_{XS} + F_{XT} = 0$$

$$F_{XT} = -160.16 \text{ N}$$

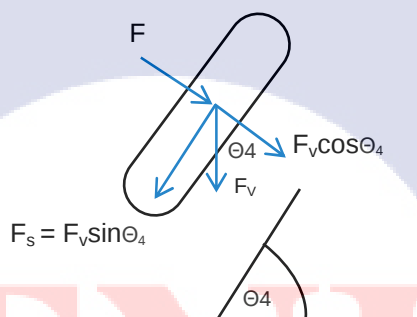
$$\sum F_y = (-F_{YS}) - W_T + F_{YT}$$

$$F_{YT} = F_{YS} + W_T \\ 289.32 \text{ N}$$

$$\sum M_T = (-M_T) + M_S + (W_T \times \cos \Theta_4 \times \lambda_4 \times SL_4) + (F_{YS} \times \cos \Theta_4 \times SL_4) + (F_{XS} \times \sin \Theta_4 \times SL_4)$$

$$M_T = -159.00 \text{ N.m}$$

จากการคำนวณจะพบว่า ถ้าลำตัวอยู่ในสภาวะสมดุลสถิตแล้ว โมเมนต์ลัพธ์ 159 N.m จะต้องมามีโมเมนต์ขนาดเท่ากัน ($M_{\text{erector spinae}}$) มายันไว้ในทิศทางตรงกันข้าม กำหนดให้ erector spinae เป็นกล้ามเนื้อชุดเดียวที่ทำหน้าที่ดึงลำตัวให้สมดุล ที่จุด L5/S1 จึงสามารถคำนวณขนาดของแรงกล้ามเนื้อชุดนี้ได้ (โดยสมมติฐานนี้กำหนดให้เพื่อคำนวณง่ายขึ้น แต่จะไม่เหมาะกับการวิเคราะห์อย่างละเอียด)



รูปที่ ก.7 Free Body Diagram แสดงฝั่งของแรงที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1

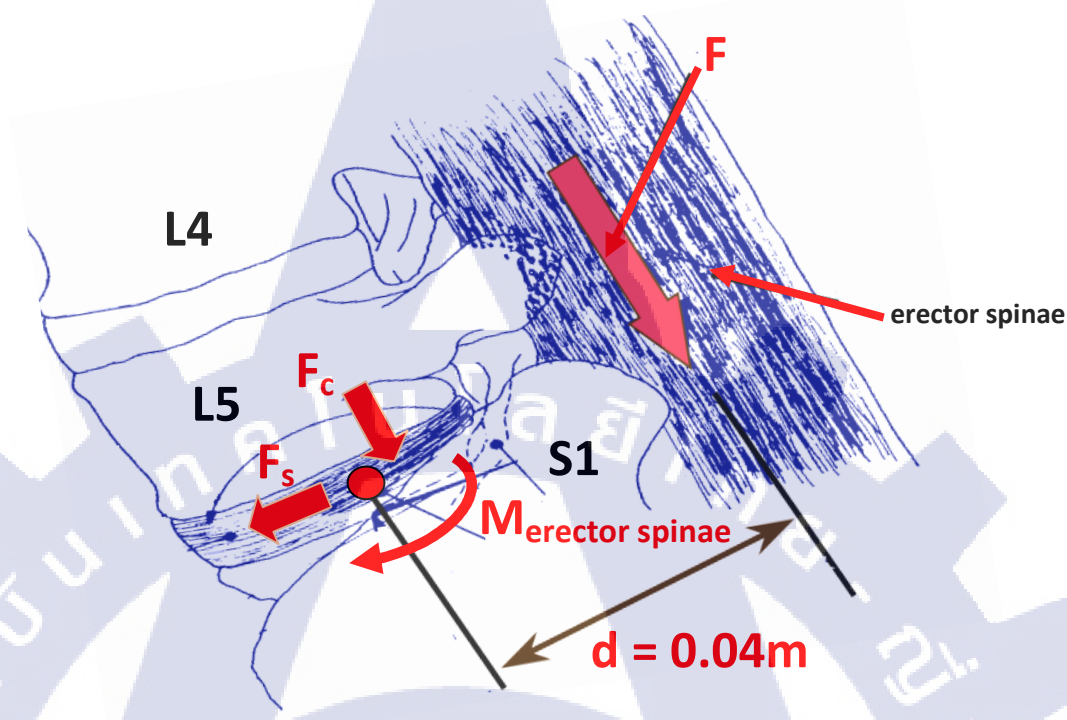
กำหนดให้แขนโมเมนต์ของชุดกล้ามเนื้อ Erector Spinae เป็น 0.04 m (d) จาก L5/S1

ดังนั้น

$$M_{\text{erector spinae}} = -M_e = F \times d$$

$$F = 3,974.99 \text{ N}$$

โดยที่ F คือแรงดึงของชุดกล้ามเนื้อ Erector Spinae ที่ทำให้เกิดสภาวะสมดุลสถิตย



รูปที่ ก.8 ผังของแรงที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1 และ กล้ามเนื้อหลัง (Erector Spinae)

สำหรับในส่วนการคำนวณแรงอัด (Compressive Force) และแรงเฉือน (Shear Force) ที่เกิดขึ้นที่หมอนรองกระดูกระหว่าง L5/S1 โดยที่แรงที่เกิดใน แนวตั้ง (F_v) นอกจากแรงในชุด กล้ามเนื้อ Erector Spinae จะเป็นผลรวมของน้ำหนักของมือ แขน และน้ำหนักลำตัว โดยดูรูป ก.7 ประกอบ ดังนี้

$$F_v = \text{ผลรวมของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อหมอนรองกระดูก L5/S1}$$

$$2 \times W_H + 2 \times W_{LA} + 2 \times W_{VA} + W_T$$

$$356.75 \text{ N}$$

ในส่วนของแรงกดที่กระทำต่อ L5/S1 มีค่าดังนี้

$$F_c = F_v \cos \theta_4 + F$$

$$4,153.36 \text{ N}$$

และแรงเฉือนที่กระทำต่อ L5/S1 มีค่าดังนี้

$$F_s = F_v \sin \theta_4$$

$$108.74 \text{ N}$$

$$F_c < F_{c \text{ ultimate (mean)}}$$

