

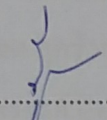
การศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์จากแบบจำลอง

วรรณะ พาลี

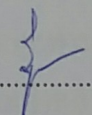
งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มิถุนายน 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

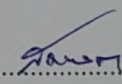
คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณา
งานนิพนธ์ของ วรณะ พาลี ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา
ได้

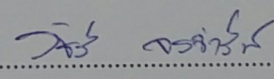
คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์


..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร. วิสสุดา ศุภรังสรรค์)

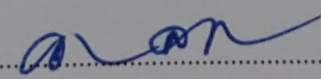
คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์


..... ประธาน
(ดร. วิสสุดา ศุภรังสรรค์)


..... กรรมการ
(ดร. สมเจต ศุภรังสรรค์)


..... กรรมการ
(ดร. วิษี จรจรัส)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ของ
มหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 26 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษางานนิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ดร. วิศรุดา ศุภรังสรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ให้แหล่งข้อมูลเพื่อค้นคว้าหาข้อมูลและให้ความรู้ ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ ด้วยดีเสมอมา ส่งผลให้งานนิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. สมเจต ศุภรังสรรค์ และ ดร. วัชรวิ จรจรัส คณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการคัดกรอง และแก้ไขงานนิพนธ์ ทำให้งานนิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนค่าใช้จ่าย คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจจนสำเร็จการศึกษา

คุณค่าและคุณประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูตเวทิตาแด่ บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

วรรณะ พาลี

56920955: สาขาวิชา: การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม; วศ.ม. (การจัดการพลังงานและ
สิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ: ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร/ ตู้มถ่วงน้ำหนัก

วรรณะ พาลี: การศึกษาการใช้พลังงานจากมอเตอร์ลิฟต์จากแบบจำลอง (ENERGY
USAGE STUDY OF ELEVATOR MOTOR FROM SIMULATION) คณะกรรมการควบคุม
งานนิพนธ์: วิสสุดา สุภรังสรรค์, ปร.ค., 66 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ เนื่องจากลิฟต์จะมีการทำงาน
โดยใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งมอเตอร์จะมีการใช้พลังงานสูง และมีการคายพลังงานเมื่อเบรก
จึงได้มีการศึกษาการใช้พลังงานโดยใช้โปรแกรม MATLAB/ Simulink เพื่อศึกษาการทำงานของ
มอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร และวิเคราะห์ผลการใช้พลังงาน ในงานวิจัยนี้มีการเปรียบเทียบ 2
รูปแบบ คือ ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นและลิฟต์เคลื่อนที่ลง มีการคำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละช่วง
ของการเคลื่อนที่ของลิฟต์ เช่น พลังงานในช่วงสตาร์ท (Energy start) พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่
(Steady state energy) พลังงานในช่วงมอเตอร์เบรก (Energy break) ตามลำดับ

ผลการวิจัย พบว่า เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น การใช้พลังงานจะแปรผันตรงตามน้ำหนักของ
โหลด ในทางตรงกันข้าม เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ลง การใช้พลังงานจะแปรผกผันตามน้ำหนักของโหลด
ในช่วงที่ลิฟต์สตาร์ทและช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ สำหรับงานวิจัยนี้มีการศึกษาถึง
ตู้มถ่วง ซึ่งมีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ลิฟต์ ในขณะที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น ถ้าโหลดมีค่าน้อยกว่า
ตู้มถ่วงพลังงานที่คืนออกมาในช่วงเบรกและช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ จะมีค่ามากกว่า
พลังงานที่ถูกใช้ไปในช่วงสตาร์ท และในช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลง ถ้าโหลดมีค่ามากกว่าตู้มถ่วง
พลังงานที่คืนออกมาในช่วงเบรก และช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ จะมีค่ามากกว่าพลังงาน
ที่ถูกใช้ไปในช่วงสตาร์ท งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงโอกาสที่ลิฟต์จะสามารถคืนพลังงานได้
และเอามาใช้ในช่วงที่ลิฟต์มีการใช้พลังงาน แสดงให้เห็นว่ามีการประหยัดพลังงานเกิดขึ้น
จากงานวิจัยข้างต้นนี้มีการแสดงตัวอย่างการเคลื่อนที่ของลิฟต์และคำนวณหาค่าพลังงานที่ประหยัด
ได้

56920955: MAJOR: ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT; M.Eng.
(ENERGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT)

KEYWORD: SYNCHRONOUS PERMANENT MAGNET ELEVATOR/
COUNTERBALANCE

WANNA PALEE: ENERGY USAGE STUDY OF ELEVATOR MOTOR FROM
SIMULATION. ADVISORSY COMMITTEE: WISARUDA SUPPHARANGSAN, Ph.D., 66 P.
2017.

This research studies on the energy consumption of elevator motors. The elevator motors consume high energy in starting period and produce the energy back in braking period. The study was done by MATLAB/ Simulink program to study and analyze the energy usage of the synchronous permanent magnet motor in the elevator applications. The research shows the power usage during the starting period, steady state moving and the braking period when the elevator car ascends and descends.

The research reveals that when the elevator is ascending, the power usage is proportional to the weight of the loads. In the other hand, when the elevator is descending, the power usage is inversely proportional to the weight of the loads during the starting period and the steady state moving. The study also indicates the importance of the counterbalance. During the elevator ascending, if the loads are lighter than the counterbalance, the regenerative energy during braking period and during steady state moving is more than the consumed energy during the starting period. Furthermore during the elevator descending, if the loads are heavier than the counterbalance, the regenerative energy during the braking period and during the steady state moving is more than the consumed energy during the starting period. This shows the opportunity to store the regenerative energy and to use it as the compensation energy during the energy consumption period. It is implied that the energy saving is introduced. The research also shows the several scenarios of elevator in motion and calculates the energy saving.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่	
1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
สมมติฐานของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
ประวัติความเป็นมาของระบบลิฟต์.....	3
การแบ่งประเภทของลิฟต์	4
ส่วนประกอบหลักของลิฟต์.....	9
การขับเคลื่อนเชิงโรตารีมอเตอร์	12
ระบบการทำงานของลิฟต์.....	21
กรณีศึกษาจากวรรณกรรม	22
3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	24
การจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร โดยใช้โปรแกรม MATLAB/ Simulink	26
การคำนวณค่า K_p และ K_i	35
สรุป	39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	40
การเคลื่อนที่ขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลง โหลด	40
การเคลื่อนที่ลงและมีการเปลี่ยนแปลง โหลด	44
การเคลื่อนที่ขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว.....	47
ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้.....	47
การหาค่าพลังงานที่ลิฟต์คืนพลังงานได้สูงสุดและใช้พลังงานสูงสุด.....	58
สรุป.....	61
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	62
สรุปผลการวิจัย	62
ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	64
ประวัติย่อของผู้วิจัย	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 การเปรียบเทียบการใช้งานเครื่องลิฟต์แบบทริกซ์ขับเคลื่อนด้วยเฟือง (Geared machine) และขับเคลื่อนโดยตรง (Gearless machine).....	10
3-1 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร โดยใช้โปรแกรม MATLAB/ Simulink.....	34
4-1 การใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ในทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงโหลด.....	42
4-2 การใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ในทิศทางการเคลื่อนที่ลง โดยมีการเปลี่ยนแปลงโหลด.....	45
4-3 เวลาที่ลิฟต์ตัวอย่าง (ตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา) ใช้ในการเคลื่อนที่.....	48
4-4 สรุปตัวอย่างการคำนวณหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้.....	57
4-5 สรุปการหาค่าพลังงานที่ลิฟต์กินพลังงานได้สูงสุดและใช้พลังงานสูงสุด.....	60

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ลิฟต์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน	4
2-2 ลักษณะลิฟต์โดยสาร.....	5
2-3 ลักษณะของลิฟต์บรรทุกของ	5
2-4 ลักษณะของลิฟต์บรรทุกรถยนต์.....	6
2-5 การขับเคลื่อนแบบไฮดรอลิกลิฟต์.....	7
2-6 การขับเคลื่อนแบบทริกซ์ลิฟต์.....	8
2-7 โครงสร้างของซิงโครนัสมอเตอร์	13
2-8 ซิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร	14
2-9 เฟสเซอร์โคอะแกรม	16
2-10 วงจรสมมูล.....	19
2-11 เฟสเซอร์โคอะแกรม เมื่อ $\delta = 90^\circ$	20
2-12 การทำงานของมอเตอร์ในโหมดต่าง ๆ.....	21
3-1 แผนผังของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	26
3-2 บล็อกโคอะแกรมการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร	27
3-3 แบบจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรโดยใช้โปรแกรม MATLAB/ Simulink	28
3-4 การทำงานของ Hysteresis controller.....	32
3-5 Transfer function block diagram ของ Speed loop.....	37
3-6 Standard form ของระบบ Second order	38
4-1 กราฟของการใช้พลังงานขณะลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นที่มีโหลดแตกต่างกัน	40
4-2 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างค่ากำลังงานและค่าพลังงาน	41
4-3 การใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ในทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลง โหลด	43
4-4 กราฟของการใช้พลังงานขณะลิฟต์เคลื่อนที่ลงที่มีโหลดแตกต่างกัน	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-5 การใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ในทิศทางการเคลื่อนที่ลง โดยมีการเปลี่ยนแปลง โหลด	46
4-6 กราฟของการใช้พลังงานขณะลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น ที่โหลดแตกต่างกัน	47
4-7 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น (ตัวอย่างที่ 1).....	49
4-8 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ลง (ตัวอย่างที่ 1).....	51
4-9 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น (ตัวอย่างที่ 2).....	52
4-10 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ลง (ตัวอย่างที่ 2).....	54
4-11 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น (ตัวอย่างที่ 3).....	55
4-12 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ลง (ตัวอย่างที่ 3).....	56

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในภาวะการณ้ความเจริญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยมีเพิ่มมากขึ้น อาคารสูงใหญ่ ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ และสิ่งที่ใช้ในการเดินทางหรือขนส่ง ก็คือ ลิฟต์โดยสาร ซึ่งใช้สำหรับขนย้ายคนหรือสิ่งของในแนวดิ่ง และเป็นหัวใจสำคัญที่ใช้โดยสาร ภายในอาคาร เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการสัญจรภายในอาคาร ลิฟต์เป็นสิ่งที่อำนวยความสะดวกตามตัวอาคารต่าง ๆ และการผลิตลิฟต์ยังมีจำนวนเพิ่มสูงมากขึ้น ตามความเจริญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย

ทุกวันนี้ลิฟต์กลายเป็นสิ่งที่ไม่ได้เพราะเราต้องใช้โดยสารขึ้น-ลงอาคารตลอดเวลา ส่งผลการใช้งานลิฟต์ในแต่ละครั้งจะมีการใช้พลังงานเข้ามาเกี่ยวข้องไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ขึ้นลงในช่วงระยะสั้น ๆ หรือแม้แต่ช่วงที่ลิฟต์อยู่ในสถานะไม่มีโหลดก็ตาม หากว่าสามารถคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานของลิฟต์ และปริมาณที่จะสามารถประหยัดพลังงานได้ ช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด ก็คือ ช่วงสตาร์ทของมอเตอร์ ซึ่งเป็นช่วงที่มอเตอร์กำลังเริ่มต้นการทำงาน

ปัญหาที่พบ คือ มอเตอร์ในช่วงสตาร์ทจะมีกระแสสูง ซึ่งเกินความจำเป็น และทำให้เกิดการกระชากได้ เป็นอีกหนึ่งเหตุผลสำคัญที่เลือกศึกษามอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร (Synchronous permanent magnet motor) แบบ Brushless permanent magnet motor เพราะว่ามอเตอร์ชนิดนี้มีความนุ่มนวลในการขนส่งคน เนื่องจากมี Torque ripple น้อย ถึงแม้ว่าจะมีต้นทุนที่สูง เนื่องจากในช่วงที่สตาร์ทมอเตอร์จะมีการใช้กระแสไฟฟ้าค่อนข้างสูง ถ้าสามารถควบคุมการดึงกระแสของมอเตอร์ได้ ก็จะสามารถลดการใช้ไฟฟ้าไปได้ในระดับหนึ่ง

จึงได้มีการนำ โปรแกรม MATLAB/ Simulink เพื่อนำมาศึกษาและจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในขณะที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นและลง ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและความเร็วรอบของมอเตอร์ลิฟต์ ตามลำดับ จากนั้นนำผลที่ได้มาพิจารณาในช่วงระบบพลังงาน ว่ามีช่วงใดที่จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ ซึ่งช่วงนี้เองที่จะนำไปชดเชยในส่วนของช่วงที่มอเตอร์เริ่มสตาร์ท ที่มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง และคาดการณ์ว่าหากนำพลังงานในช่วงคายพลังงานมาเก็บและนำมาใช้ เพื่อทดแทนในช่วงที่มอเตอร์สตาร์ทต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร โดยใช้โปรแกรม MATLAB/ Simulink
2. เพื่อศึกษาการประหยัดพลังงานโดยการเปรียบเทียบน้ำหนักและความเร็วรอบของมอเตอร์ลิฟต์
3. เพื่อนำผลการใช้พลังงานของมอเตอร์ ไปประมาณการใช้พลังงาน โดยใช้ข้อมูลบางส่วนและนำไปศึกษาเพื่อเป็นแนวทางการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้มอเตอร์ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

สมมติฐานของการวิจัย

ถ้าสามารถนำพลังงานในช่วงที่มอเตอร์เบรกซึ่งเป็นช่วงที่มอเตอร์คืนพลังงาน ไปทดแทนในช่วงที่มอเตอร์กำลังเริ่มสตาร์ทได้ ก็จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานของมอเตอร์ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาช่วงที่สามารถทำการประหยัดพลังงานได้
2. ทำให้รู้ว่าสามารถนำพลังงานที่มอเตอร์คืนออกมา ไปใช้ทดแทนในช่วงมอเตอร์เริ่มสตาร์ทหรือช่วงที่มีการใช้พลังงานได้
3. สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการประเมินปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ากับการใช้งานจริง และนำไปเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์โดยมีการเปรียบเทียบ 2 รูปแบบ คือ การเคลื่อนที่ขึ้นและการเคลื่อนที่ลง โดยใช้โปรแกรม MATLAB/ Simulink
2. ประเมินการใช้พลังงาน และวิเคราะห์ค่าโดยประมาณของพลังงานที่ลิฟต์สามารถประหยัดได้
3. ความเร็วลิฟต์เท่ากับ 100 เมตรต่อนาที (m/ min) หรือความเร็วมอเตอร์เท่ากับ 160 รอบต่อนาที (rpm) และมอเตอร์ที่รับน้ำหนักของตู้ลิฟต์และโหลดรวมกัน 1,000 กิโลกรัม (kg) เมื่อน้ำหนักของโหลดสูงสุดเท่ากับ 900 กิโลกรัม (kg)

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประวัติความเป็นมาของระบบลิฟต์

มนุษย์ได้รู้จักอุปกรณ์ขนส่งในแนวตั้งนำมาใช้ประโยชน์ในการเดินทางขึ้นลงอาคารที่มีมากกว่า 2 ชั้นขึ้นไป พัฒนาเริ่มแรกมาจาก บันได รอก และกระเช้าเป็นต้น ต่อมาในปี พ.ศ. 2396 ได้เริ่มมีการขนส่งในแนวตั้งให้บริการกับประชาชนเป็นครั้งแรกโดยนาย Foast และ Strutt ได้สร้างลิฟต์ขึ้นในประเทศอังกฤษ เพื่อประโยชน์ในการเคลื่อนย้ายคนหรือสิ่งของระหว่างชั้นภายในอาคาร โดยใช้หลักการเหล็กถ่วงเพื่อทำให้เกิดความสมดุลระหว่างน้ำหนักผู้โดยสารกับตุ้มน้ำหนัก ใช้ไอน้ำเป็นกำลังในการขับเคลื่อน โดยต่อมาในปี พ.ศ. 2400 บริษัท โอทิส (OTIS) โดยชาร์ลส์ อาร์ โอทิส (Charles R. Otis) ซึ่งเป็นผู้คิดค้นและประดิษฐ์ลิฟต์ตัวแรกของโลกโดยได้นำผลงานมาจัดแสดงให้ประชาชนทั่วไปได้สามารถรับชมที่ Crystal palace, New York, USA. ภายหลังจากมีการพัฒนาในการขับเคลื่อนในแนวตั้ง ประเทศสหรัฐอเมริกา เรียกพื้นเลื่อนในแนวตั้งนี้ว่า “เอลเลเวเตอร์” (Elevator) แต่ในประเทศที่ใช้ภาษาอังกฤษอื่น ๆ เรียกว่า “ลิฟต์” (Lift) (ชินิศน์ พันธุ์ประยูร, 2555)

ในประเทศไทย เริ่มมีการนำลิฟต์ตัวแรกโดยการนำเข้ามาจากประเทศอิตาลี ในสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 6) มาทำการติดตั้งและใช้งานภายในพระที่นั่งอนันตสมาคม ถนนราชดำเนิน กรุงเทพมหานคร และติดตั้งที่ขับเคลื่อนโดยแรงคนที่พระที่นั่งวโรภาสพิมาน พระราชวังบางปะอิน (สำรวจโลก, 2561) ในเวลาต่อมาประเทศไทยมีความเจริญรุ่งเรืองทางเศรษฐกิจมากขึ้น ได้เริ่มมีการใช้ไฟฟ้าเกิดขึ้นในประเทศ ส่งผลให้เทคโนโลยีและอุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่ทันสมัยมากยิ่งขึ้น ทำให้ลิฟต์เป็นอุปกรณ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น รวมถึงมีก่อสร้างอาคารบ้านเรือน และในการก่อสร้างอาคารจำนวนชั้นก็สูงเพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการนำเข้ลิฟต์มาติดตั้งและใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งอาคาร บ้านเรือน โรงแรม คอนโดมิเนียม หอพัก ที่ทำการหน่วยงานราชการ และอาคารสำนักงานเอกชน เป็นต้น



ภาพที่ 2-1 ลิฟต์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน (สำรวจโลก, 2561)

ลิฟต์มีความสำคัญในการนำมาใช้กับระบบขนส่งในแนวดิ่งและเป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับอาคารที่มีความสูงมากกว่า 2 ชั้นขึ้นไป โดยการก่อสร้างอาคารในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะมีการก่อสร้างอาคารที่มีความสูงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากราคาที่ดินสูงมากขึ้นและมีพื้นที่จำกัด จึงต้องการเพิ่มพื้นที่ในการใช้สอยของอาคาร โดยลิฟต์จะมีหน้าที่หลัก คือ การโดยสารคนหรือการบรรทุกสิ่งของขึ้นลงในระหว่างชั้น โดยสามารถแบ่งประเภทของลิฟต์ได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ (บริษัท สยามอิตาชิ เอลเลเวเตอร์ จำกัด, 2558)

1. แบ่งตามการใช้งาน
2. แบ่งตามความเร็วของลิฟต์
3. แบ่งตามชนิดการขับเคลื่อน
4. แบ่งตามลักษณะของการขับ
5. แบ่งตามโครงสร้าง

การแบ่งประเภทของลิฟต์

1. แบ่งตามการใช้งาน สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด ดังต่อไปนี้
 - 1.1 ลิฟต์โดยสาร (Passenger elevator) ใช้สำหรับให้คนเดินทางไปยังชั้นต่าง ๆ ของอาคารตามต้องการ ลักษณะของลิฟต์จะมีทั้งแบบห้องโดยสารแบบปกติ และลิฟต์แก้วใช้กับอาคารสำนักงาน โรงแรม ห้างสรรพสินค้า ฯลฯ ต่อมามีการพัฒนาให้เป็นลิฟต์ที่มีความเร็วสูงเพื่อใช้กับ

อาคารสูง ๆ หรือสามารถบรรจุทุกคนจำนวนมากในครั้งเดียวได้ เพื่อรองรับความต้องการใช้งานในเวลาเร่งด่วน



ภาพที่ 2-2 ลักษณะของลิฟต์โดยสาร (บริษัท สยามอีตาซี เอลเลเวเตอร์ จำกัด, 2558)

1.2 ลิฟต์บรรทุกของ (Freight elevator) นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม โรงแรม ห้างสรรพสินค้า และนิยมใช้เป็นลิฟต์บริการ (Service elevator) โดยลักษณะของตัวลิฟต์จะมีขนาดใหญ่กว่าลิฟต์โดยสาร แต่น้ำหนักบรรทุกเท่ากัน ด้านลึกระยะยาวกว่าประตูลิฟต์



ภาพที่ 2-3 ลักษณะของลิฟต์บรรทุกของ (บริษัท สยามอีตาซี เอลเลเวเตอร์ จำกัด, 2558)

1.3 ลิฟต์บรรทุกเตียงคนไข้ (Bed elevator) นิยมใช้ในโรงพยาบาล เพื่อขนส่งคนไข้ในรูปแบบรถเข็นหรือเตียงคนไข้และมีอักษรเบรลล์และเสียงเตือนเมื่อกดปุ่มเรียกใช้งานสำหรับผู้พิการทางสายตาและการได้ยิน ลักษณะสังเกต คือ ขนาดตัวลิฟต์จะมีด้านลึกยาวกว่าด้านกว้าง เช่นเดียวกับลิฟต์บรรทุกของ เพื่อบรรทุกเตียงเข้าไปได้

1.4 ลิฟต์บรรทุกรถยนต์ (Automobile elevator) ใช้ในอาคารจอดรถยนต์ มีตัวลิฟต์มีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะขับรถเข้าไปจอด และสามารถรับน้ำหนักของรถยนต์ได้ ผนังตัวลิฟต์มักจะทำเป็นเหล็กมีรูระบายอากาศ และควันท่อไอเสีย ประตูลิฟต์เป็นแบบเคลื่อนขึ้นด้านบน มีขนาดกว้างเท่ากับความกว้างตัวลิฟต์



ภาพที่ 2-4 ลักษณะของลิฟต์บรรทุกรถยนต์ (บริษัท สยามฮิตาชิ เอลเลเวเตอร์ จำกัด, 2558)

1.5 ลิฟต์ขนอาหาร (Drum waiter) นิยมใช้ในโรงแรม ร้านอาหารทั่วไป และมีการใช้ภายในสำนักงาน หรือเป็นลิฟต์ส่งเอกสาร เนื่องจากเป็นลิฟต์ขนาดเล็ก

2. แบ่งตามความเร็วของลิฟต์ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

2.1 ลิฟต์ความเร็วต่ำ (Low speed elevator) มีความเร็วต่ำกว่า 60 เมตรต่อนาที ใช้สำหรับอาคารที่มี 2-5 ชั้น ลิฟต์ประเภทนี้ ได้แก่ ลิฟต์ส่งอาหาร ลิฟต์ส่งเอกสาร ลิฟต์บรรทุกเตียงคนไข้ ลิฟต์โดยสาร ลิฟต์บรรทุกของ ลิฟต์บรรทุกรถยนต์ เป็นต้น

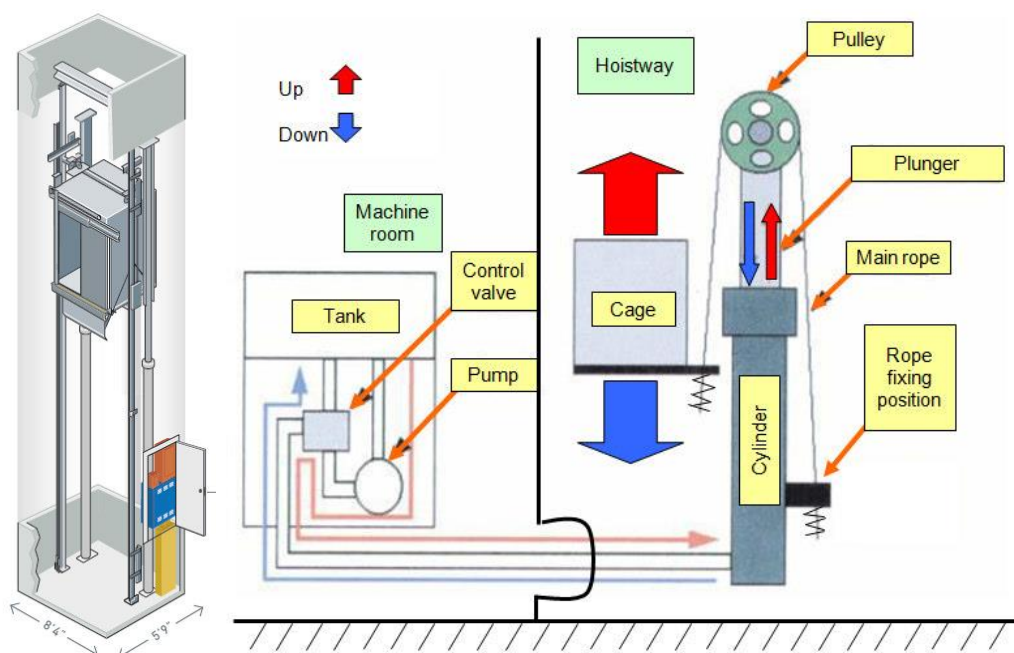
2.2 ลิฟต์ความเร็วปานกลาง (Medium speed elevator) มีความเร็วตั้งแต่ 90-105 เมตรต่อนาที ลิฟต์ประเภทนี้ ได้แก่ ลิฟต์โดยสารใช้กับอาคารสูง 4-12 ชั้น (โดยประมาณ)

2.3 ลิฟต์ความเร็วสูง (High speed elevator) มีความเร็วตั้งแต่ 120-240 เมตรต่อนาที ใช้สำหรับอาคารที่มี 13-35 ชั้น

2.4 ลิฟต์ความเร็วสูงมาก (Ultra high speed elevator) มีความเร็วมากกว่า 300 เมตรต่อนาที ใช้สำหรับอาคารที่มี 35 ชั้นขึ้นไป ใช้สำหรับลิฟต์โดยสารเท่านั้น

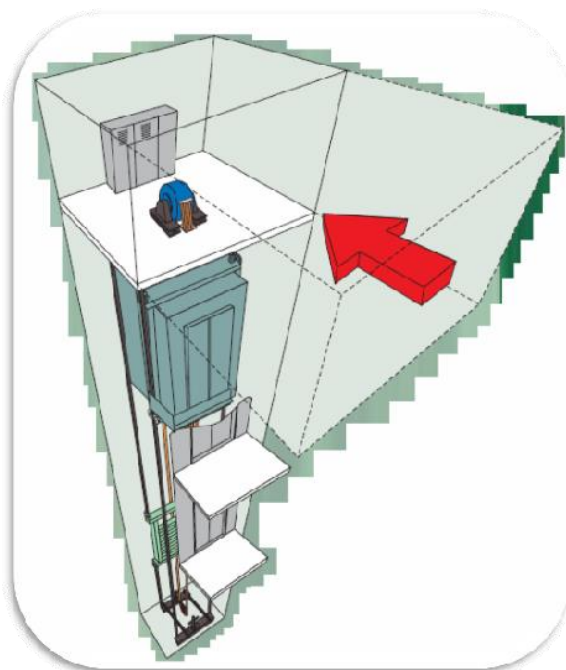
3. แบ่งตามชนิดการขับเคลื่อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

3.1 ไฮดรอลิกลิฟต์ (Hydraulic elevator) นิยมใช้กับอาคารไม่สูงมากนัก และมีช่วงความเร็วลิฟต์ไม่เกิน 60 เมตรต่อนาที มีหลักการทำงาน คือ ลิฟต์ประเภทนี้ใช้ระบบลูกสูบและกระบอกสูบ ขับเคลื่อนตัวตู้ลิฟต์โดยสาร โดยยึดตัวลิฟต์ติดกับลูกสูบ ลิฟต์ประเภทนี้เป็นแบบไม่มีห้องเครื่องอยู่ด้านบน ใช้ทำเป็นลิฟต์โดยสาร และลิฟต์บรรทุกของ หรือลิฟต์กระจกเพื่อแสดงบรรยากาศภายนอก เพราะมอเตอร์อยู่ด้านบน



ภาพที่ 2-5 การขับเคลื่อนแบบไฮดรอลิกลิฟต์ (บริษัท สยามฮิตาชิ เอลเลเวเตอร์ จำกัด, 2558)

3.2 ทรัคชั่นลิฟต์ (Traction motor elevator) ปัจจุบันนิยมใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อน โดยจะมีชุดมอเตอร์เกียร์ขับเคลื่อนลิฟต์ติดตั้งอยู่ด้านบนห้องเครื่อง มีลวดสลิงยึดตู้ลิฟต์ และใช้เกียร์ขับเคลื่อนจะเป็นตัวดึงลวดสลิง เพื่อให้ลิฟต์เคลื่อนที่ไป ให้สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์เกียร์ได้ดี



ภาพที่ 2-6 การขับเคลื่อนแบบถักรั้วชั้นลิฟต์ (บริษัท สยามอีตาซี เอลเลเวเตอร์ จำกัด, 2558)

ลิฟต์แบบถักรั้วชั้นยังแบ่งย่อยออกได้ตามชนิดของมอเตอร์ขับเคลื่อนดังนี้

ลิฟต์แบบ ดี.ซี. (DC. Elevator) ใช้มอเตอร์แบบดี.ซี. (DC. Motor) เป็นตัวขับเคลื่อนลิฟต์ ซึ่งจะต้องมีเกียร์เข้ามาทดความเร็วของมอเตอร์ หรือในกรณีที่ต้องการให้ลิฟต์มีความเร็วสูง ๆ ก็ไม่ ต้องใช้เกียร์เข้ามาทดความเร็ว

ลิฟต์แบบ เอ.ซี. (AC. Elevator) ใช้มอเตอร์แบบ เอ.ซี. (AC. Elevator) เป็นตัวขับเคลื่อน ลิฟต์และระบบเกียร์เข้ามาทดรอบความเร็วของมอเตอร์ ปัจจุบันมีการใช้งานอย่างกว้างขวางเมื่อ เปรียบเทียบกับแบบลิฟต์ ดี.ซี.

4. แบ่งตามลักษณะของการขับเคลื่อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

4.1 การขับเคลื่อนแบบ Traction drive จะใช้ลวดสลิง Rope 1 ชุด ยึดติดกับตัวลิฟต์ร้อยผ่าน รอก (Groove sheave) แล้วยึดกับลูกเหล็กถ่วง (Counter weight) ทำให้เกิดความเสียดทานระหว่าง ลวดสลิงกับรอกลิฟต์ จะทำให้เกิดแรงในการยกขึ้นหรือลงของตัวลิฟต์ขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของ ลิฟต์ โดยระบบ Traction drive ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก คือ

เครื่องขับเคลื่อนแบบไม่มีเกียร์ (Gearless traction machine) โดยชุดมอเตอร์เจนเนอเรเตอร์ หรืออินเวอร์เตอร์ใช้สำหรับความเร็วสูงกว่า 105 เมตรต่อนาทีขึ้นไป ตัวมอเตอร์จะมีกำลังตั้งแต่ 20-375 แรงม้า โดยทั่วไปจะใช้กับลิฟต์โดยสาร ซึ่งมีน้ำหนักสูงสุดไม่เกิน 2,500 kg ความเร็วต่ำสุด ประมาณ 120 เมตรต่อนาที แต่โดยทั่วไปมักจะทำความเร็วระหว่าง 150-240 เมตรต่อนาที

เครื่องขับเคลื่อนแบบมีเกียร์ (Gear traction machine) เครื่องขับเคลื่อนจะใช้ตัวเกียร์หรือเกียร์ประกอบภายในซึ่งอยู่ตรงส่วนหน้าระหว่างมอเตอร์และช่องสายเคเบิล ตัวมอเตอร์สามารถใช้เช่นเดียวกับแบบที่มีความเร็วสูง ขึ้นอยู่กับความเร็วของตัวลิฟต์ที่ต้องการ มอเตอร์มีกำลังระหว่าง 3-100 HP ความเร็วต่ำกว่า 10.5 เมตรต่อนาที โดยทั่วไปจะใช้ลิฟต์โดยสารบ้างแต่ส่วนใหญ่จะใช้กับลิฟต์บรรทุกส่งของ เครื่องยนต์แบบไม่มีเกียร์จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบมีเกียร์

4.2 การขับเคลื่อนแบบ Drum drive สำหรับระบบนี้จะยึดลวดสลิงด้านหนึ่งกับด้านในของกระบอกโลหะ (Steel drum) โดยแคลมป์ (Clamp) เพื่อความปลอดภัย ส่วนอีกด้านหนึ่งยึดกับตัวลิฟต์ และตัว Drum จะต่อกับมอเตอร์เพื่อทำหน้าที่ยกตัวลิฟต์ การลงโดยการหมุน Drum แต่เนื่องจากระบบ Traction drive มีข้อดีมากกว่า ปัจจุบันระบบ Drum drive ถูกเลิกใช้ไปแล้ว

5. แบ่งตามโครงสร้าง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

5.1 แบบมีห้องเครื่อง (Machine room) มีห้องอยู่ด้านบนสุดของตัวลิฟต์ ติดตั้งชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ (Traction machine) เพื่อทำหน้าที่ดึงตัวลิฟต์ขึ้นลงตามการใช้งาน และตู้คอนโทรลเพื่อควบคุมการทำงานของลิฟต์ทั้งหมด สามารถรองรับลิฟต์ที่มีความเร็วสูงได้

5.2 แบบไม่มีห้องเครื่อง (Machine roomless) เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากประหยัดพื้นที่ ไม่จำเป็นต้องมีห้องเครื่องและสร้างตึกเพิ่มอีก 1 ชั้น เพื่อติดตั้งทริคชั่น การทำงาน คือ มีมอเตอร์ขนาดเล็กอยู่ทางด้านบนใช้ดึงตัวลิฟต์ และตู้คอนโทรลจะมีลักษณะแบนราบแนบกับตัวลิฟต์

ส่วนประกอบหลักของลิฟต์

โดยทั่วไปลิฟต์จะมีส่วนประกอบและโครงสร้างที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ประกอบไปด้วยตัวลิฟต์และน้ำหนักถ่วง แขนยึดติดเข้าด้วยกันโดยลวดสลิงที่คล้องผ่านรอก ซึ่งรอกนี้ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ทำให้ตัวลิฟต์สามารถเคลื่อนขึ้นลงได้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ระบบลิฟต์และการอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

1. ห้องเครื่องลิฟต์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1.1 ลิฟต์ที่มีห้องเครื่อง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ลิฟต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าและลิฟต์ที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิก โดยลิฟต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิกจะใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงกว่ามาก ลิฟต์ที่มีห้องเครื่องและขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าเป็นลิฟต์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากสะดวกและง่ายต่อการบำรุงรักษา

1.2 ลิฟต์ที่ไม่มีห้องเครื่อง จะนิยมใช้กับอาคารที่มีความสูงไม่มากเนื่องจากพิสัยความเร็ว น้ำหนักบรรทุกและจำนวนชั้นจอดยังเป็นข้อจำกัด

2. เครื่องลิฟต์ (Driving machine) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

เครื่องลิฟต์ หมายถึง ตัวต้นกำลังที่ให้พลังงานในการขับเคลื่อนตัวลิฟต์ แบ่งออกเป็น

2.1 เครื่องลิฟต์แบบทริกชัน (Traction machine) หมายถึง ลิฟต์ขับเคลื่อนตัวลิฟต์ โดยอาศัยความฝืดระหว่างเชือกถวดแขวนกับรอกขับเคลื่อน ต้นกำลังการหมุนรอกเพื่อขับเคลื่อน มี 2 แบบด้วยกัน ประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องลิฟต์ขับเคลื่อนด้วยเฟือง (Geared drive machine, Geared machine) หมายถึง เครื่องลิฟต์ที่ใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าผ่านเฟืองไปหมุนรอกขับเคลื่อน นิยมใช้เฉพาะกับลิฟต์ที่มีความเร็วต่ำที่ไม่สามารถขับโดยตรงจากมอเตอร์ได้

2.1.2 เครื่องลิฟต์ขับเคลื่อนโดยตรง (Direct drive machine, Gearless machine) หมายถึง เครื่องลิฟต์ที่ใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าที่ต่อโดยตรงกับรอกขับเคลื่อน นิยมใช้ในลิฟต์ที่มีความเร็วสูง

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบการใช้งานเครื่องลิฟต์แบบขับเคลื่อนด้วยเฟือง (Geared machine) และขับเคลื่อนโดยตรง (Gearless machine)

ประเภท	ความสูง (เมตร)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ชุดควบคุม	อายุการใช้งาน	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	เงินลงทุน	ความนุ่มนวล
Geared	45	0.25-1.0	Rheostatic			ต่ำ	ไม่ดี
AC	90	0.75-2.5	Thyristor	30-40 ปี		ปานกลาง	ดีเยี่ยม
Geared	52.5	0.25-2.0	Variable voltage	for Gear and worm	ปานกลาง	ปานกลาง	พอใช้
DC	75	1.75	Variable frequency			ปานกลาง	ดีเยี่ยม
Gearless AC	ไม่จำกัด	2-10	Solid state Voltage Variable	ไม่มีข้อมูล	สูง	สูง	ดีเยี่ยม

2.2 เครื่องลิฟต์รอกก้วน (Winding drum machine) หมายถึง เครื่องลิฟต์ที่ใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าไหลผ่าน เพื่อหมุนรอกก้วนของตัวลวดสลิงสำหรับแขวน

2.3 เครื่องลิฟต์ไฮดรอลิก (Hydraulic power unit) หมายถึง มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำมันเข้าระบบไฮดรอลิก เพื่อขับเคลื่อนลิฟต์ให้เคลื่อนขึ้น และลิฟต์เคลื่อนลง โดยแรงโน้มถ่วง เมื่อปล่อยน้ำมันไหลกลับสู่ถังเก็บน้ำมัน

3. ระบบควบคุมการขับเคลื่อน (Drive control)

ระบบควบคุมการขับเคลื่อน หมายถึง ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ การหยุดทิศทาง การเคลื่อนที่ ความเร่ง อัตราเร็ว และความหน่วงของส่วนที่เคลื่อนที่ สามารถแบ่งได้ 6 ระบบดังต่อไปนี้

3.1 ระบบควบคุมการขับเคลื่อนโดยสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator field control) หมายถึง มีการควบคุมโดยการปรับแรงดันไฟฟ้า ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนลิฟต์โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มและทิศทางของสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบนี้จะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตัวเอง และเป็นระบบที่มีการสูญเสียพลังงานค่อนข้างสูง

3.2 ระบบควบคุมโดยรีโอสแตต (Rheostat control) หมายถึง ระบบควบคุมซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานและ/หรือคาร์บอนอาร์มาเจอร์ และในวงจรสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ ใช้กับลิฟต์ที่มีความเร็วต่ำและอาคารที่ไม่สูงมาก

3.3 ระบบควบคุมโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับอัตราความเร็วเดียว (Single speed alternating current control) หมายถึง ระบบควบคุมที่ใช้มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Induction motor) อัตราความเร็วใกล้เคียงกับการขับเคลื่อนตัวลิฟต์

3.4 ระบบควบคุมโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับสองอัตราความเร็ว (Two speed alternating current control) หมายถึง ระบบควบคุมที่ใช้มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำสองอัตราความเร็ว มีการหมุนด้วยอัตราความเร็วซิงโครนัส 2 ค่า โดยต่อขดลวดของมอเตอร์ให้มีจำนวนขั้วต่างกัน

3.5 ระบบควบคุมโดยการแปรเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Variable voltage control) หมายถึง ระบบควบคุมที่เปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ขับเคลื่อนตัวลิฟต์ โดยมากใช้อุปกรณ์ประเภท SCR หรือ Thyristor ใช้กับลิฟต์ที่มีความเร็วปานกลาง-สูง

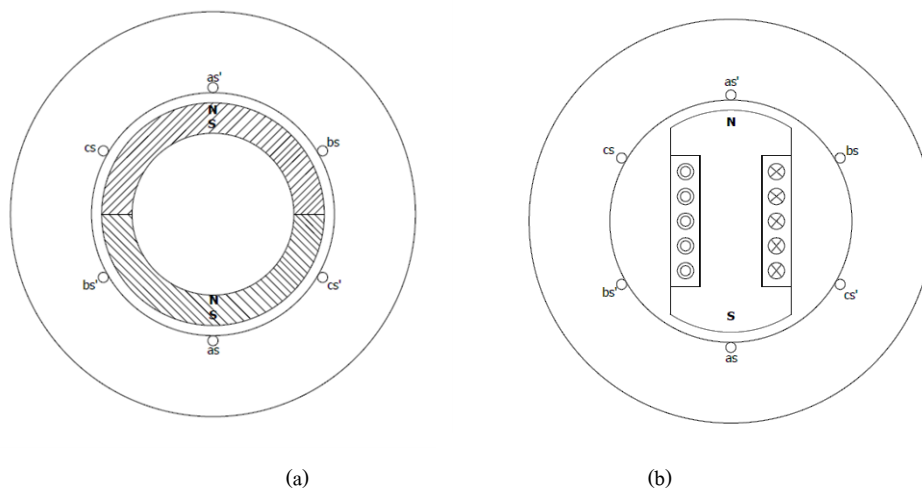
3.6 ระบบควบคุมโดยเปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความถี่ไฟฟ้า (Variable voltage, Variable frequency control: VVVF) หมายถึง ระบบควบคุมที่เปลี่ยนแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความถี่ไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ เป็นชุดควบคุมที่มีประสิทธิภาพของพลังงานสูง ใช้งานกับมอเตอร์ขับเคลื่อนลิฟต์ชนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

4. รางลิฟต์และปล่องลิฟต์ ทำหน้าที่เป็นรางเพื่อนำทางให้ตู้ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งได้ โดยรางลิฟต์จะยึดติดอยู่ในบ่อลิฟต์ รางลิฟต์นิยมทำมาจากเหล็กที่มีความแข็งแรงทนทาน เพราะส่วนของรางจะมีการเสียดสีกับล้อที่ติดอยู่กับตู้ลิฟต์ตลอดเวลาในขณะที่ลิฟต์เคลื่อนที่ โดยจะมีการติดตั้งตู้ลิฟต์และรางให้มีระยะห่างที่มีขนาดพอเหมาะ เพื่อป้องกันไม่ให้ลิฟต์เกิดการแกว่ง

5. อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของลิฟต์ (Systems of elevator operation and supervision) ลิฟต์จะถูกควบคุมการใช้งานผ่านเครื่องควบคุม สั่งการผ่านตู้คอนโทรลทำหน้าที่คล้ายสมองของมนุษย์ ประมวลผล และรับคำสั่งจากการใช้งาน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ลิฟต์ใช้จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักบรรทุกและความเร็ว และมอเตอร์ไฟฟ้าที่ขับลิฟต์จะรับสัญญาณเพื่อควบคุมให้ความเร็วลิฟต์เป็นไปตามน้ำหนักบรรทุกจริง นอกจากนี้ อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของลิฟต์มีการพัฒนาสำหรับการประหยัดพลังงาน โดยสั่งการผ่านระบบ Micro controller เพื่อให้การทำงานเกิดประสิทธิภาพสูงสุด หรือการสั่งการผ่าน PLC จะสามารถควบคุมได้เฉพาะในขณะหยุดการทำงาน โดยจะไม่สามารถควบคุมกระแสและความถี่ตามที่ต้องการได้

การขับเคลื่อนซิงโครนัสมอเตอร์

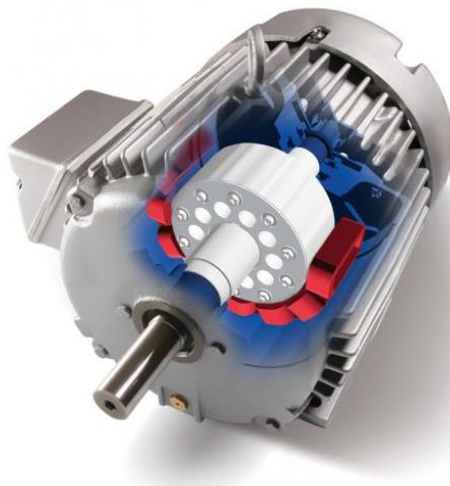
ซิงโครนัสมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรใช้แม่เหล็กถาวรให้ฟลักซ์แม่เหล็ก โดยไม่ต้องมีการกระตุ้นจากภายนอก ทำให้มอเตอร์ชนิดนี้ถูกนำไปใช้ในงานหลายรูปแบบ เช่น อุตสาหกรรม packing, logistic system, tool machine และ robot โดยที่ซิงโครนัสมอเตอร์ที่มีพิกัดประมาณ 2-3 กิโลวัตต์จะใช้ซิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet synchronous motor หรือ PMSM) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless dc motor หรือ Electronically commutated motor) โครงสร้างของมอเตอร์ PMSM กำลังต่ำ ดังภาพที่ 2-7 (a) และโครงสร้างของมอเตอร์ PMSM กำลังสูง ดังภาพที่ 2-7 (b) ตามลำดับ (วีระเชษฐ ชันเงิน และวุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, 2557)



ภาพที่ 2-7 โครงสร้างของซิงโครนัสมอเตอร์ (a) ตัวโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวรแบบสองขั้ว
(b) โรเตอร์แบบขั้วยื่นแบบสองขั้ว (วีระเชษฐ ชันเงินและวุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์, 2557)

1. ซิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet motors) โดยมอเตอร์ชนิดนี้ ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟจะมีความสำคัญมากส่งผลทั้งต่อความเร็วของการหมุนและความแม่นยำในการทำงาน เพราะซิงโครนัสมอเตอร์ไม่มีตัวคอมมิวเตเตอร์ ทำให้ไม่ถูกจำกัดด้วยค่าความเร็วรอบสูงสุด และมอเตอร์ชนิดนี้ยังมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และแรงเฉื่อยต่ำกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ค่าพิกัดเดียวกัน การพันขดลวดอาร์เมเจอร์ที่สเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์แบบ ซิงโครนัสมอเตอร์แบบตัวหมุนพันขดลวด ซิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน และซิงโครนัสรีลักซ์แดนซ์มอเตอร์ จะเป็นการพันแบบกระจาย (Distributed, polyphase armature winding)

โดยที่แม่เหล็กถาวรดังกล่าวจะทำมาจาก เฟอร์ไรต์แบบ Hard materials เช่น เซรามิกเฟอร์ไรต์ (Ceramic ferrite) เหล็กอัลลอยด์ (Alloys of iron) โคบอลต์ หรือนิกเกิล เป็นต้น สนามแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์สำหรับซิงโครนัสมอเตอร์ จะเปลี่ยนจากการใช้ขดลวดพันรอบโรเตอร์เป็นการใช้แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) แทนได้ ดังภาพที่ 2-7 แต่ปัญหา คือ ทำให้แม่เหล็กถาวรจะมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก เพราะเฟอร์ไรต์แบบ Hard materials จะมีค่า Remanence คือเป็นขนาดของความหนาแน่นฟลักซ์ที่ยังเหลือคงอยู่ เมื่อมีสนามแม่เหล็ก ก่อนจะถูกถอดออก และค่า Coercive force หรือค่าแรงต้านแม่เหล็กต่ำ เกิดจากการเพิ่มความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กในทิศทางตรงข้าม โดยการกลับขั้วกระแสไฟ ทำให้ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กจะค่อย ๆ ทำให้เกิดแรงต้าน



ภาพที่ 2-8 ชิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Jim Murphy, 2012)

ข้อดีของ Brushless permanent magnet motor (วิศรุตา สุภรังสรรค์, 2558) มีดังนี้ 1) ไม่มีแปรงถ่าน การที่ไม่มีแปรงถ่านทำให้ไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษาแปรงถ่าน เนื่องจากแปรงถ่านจะมีเสียงดังรบกวน (Noise) ไปรบกวนระบบ เพราะว่าแปรงถ่านมีการกระทบกันกับคอมมิวเตเตอร์ ถ้าไม่มีแปรงถ่านจะลดเสียงดังรบกวน (Noise) นี้ไปได้ บางช่วงแปรงถ่านทำให้เกิดประกายไฟได้ ผุ่นจากแปรงถ่านอาจจะเข้าไปขัดในแบร์ริง การมีแปรงถ่านทำให้มอเตอร์ไม่สามารถเอาไปใช้งานในบางที่ไม่ได้ เช่น พื้นที่โดยรอบมีขนาดเล็ก ไม่สะดวกต่อการเข้าไปบำรุงรักษา 2) ขดลวดอาร์เมเจอร์อยู่ที่สเตเตอร์ ทำให้มีพื้นที่มากขึ้นสำหรับการบรรจุขดลวด และการระบายความร้อนที่สเตเตอร์ทำได้ง่ายกว่าที่โรเตอร์ 3) ไม่มีคอมมิวเตเตอร์หรือส่วนประกอบที่ใช้ในการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า ทำให้โรเตอร์สั้นขึ้น แรงเสียดทานน้อยลง และทำให้มอเตอร์มีความเร็วสูงขึ้น และ 4) มีเสียงที่เงียบขึ้น โดยลดเสียงที่เกิดจากคอมมิวเตเตอร์

2. หลักการทำงานของชิงโครนัสมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Basic Principles of Permanent Magnet Motors) (Mohan, Underland, & Robbins, 1995)

เมื่อมอเตอร์หมุน ทำให้โรเตอร์ที่เป็นแม่เหล็กถาวรจะสร้างสนามแม่เหล็กหรือฟลักซ์แม่เหล็ก ϕ_f ในอากาศ จะหมุนตามด้วยความเร็วชิงโครนัส (Synchronous Speed: ω_s) โดยที่ ϕ_{fa} คือ ฟลักซ์ของโรเตอร์ที่จะไปเกี่ยวคล้องกับขดลวดสเตเตอร์ (Flux linking) ของเฟส a โดยสมการ ϕ_{fa} จะเป็นฟังก์ชันของเวลา สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\phi_{fa}(t) = \phi_f \sin \omega t \quad (2-1)$$

เมื่อ ϕ_{fa} หมายถึง เส้นแรงแม่เหล็กที่ไป link กับขดลวดสเตเตอร์ของเฟส a
 ϕ_f หมายถึง เส้นแรงแม่เหล็กที่ออกมาจากตัวโรเตอร์ที่สร้างสนามแม่เหล็ก
 ω หมายถึง ความเร็วรอบทางไฟฟ้า มีหน่วย เรเดียนต่อวินาที (rad/ s)
 t หมายถึง เวลา (time) มีหน่วย วินาที (s)
 โดยที่

$$\omega = 2\pi f = \frac{p}{2} \omega_s \quad (2-2)$$

เมื่อ f หมายถึง สัญญาณทางไฟฟ้าหรือความถี่ (frequency) มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)
 p หมายถึง จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ มีหน่วย คู่ขั้ว
 ω_s หมายถึง ความเร็วของสัญญาณทางไฟฟ้า จะอยู่ในรูปของความเร็วเชิงกล
 มีหน่วย เรเดียนต่อวินาที (rad/ s)

ถ้าจำนวนรอบของขดลวดสเตเตอร์มีค่า N_s แรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในเฟส a หรือค่า Back emf โดยค่าแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดสเตเตอร์เฟส a ที่เกิดจาก ϕ_{fa} จะมีค่าเท่ากับ

$$e_{fa}(t) = N_s \frac{d\phi_{fa}}{dt} = \omega N_s \phi_f \cos \omega t \quad (2-3)$$

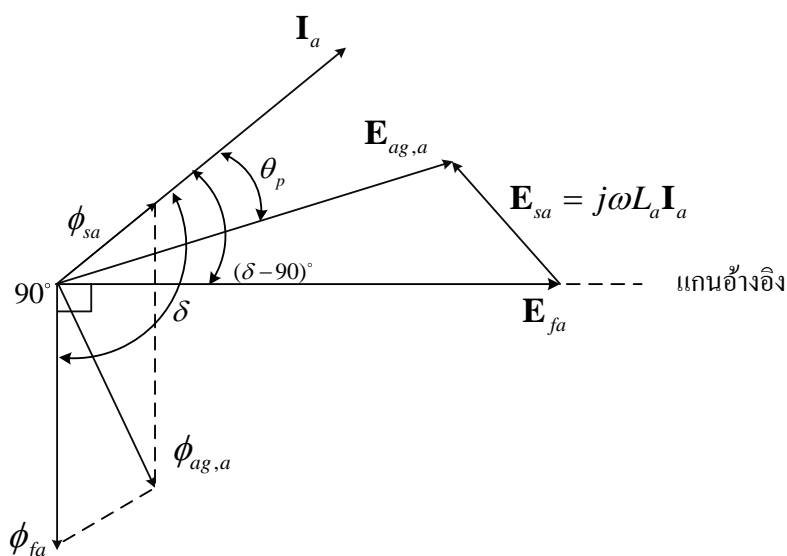
เมื่อ e_{fa} หมายถึง ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับของเฟส a มีหน่วย โวลต์ (V)
 N_s หมายถึง จำนวนรอบของขดลวดสเตเตอร์แต่ละเฟส มีหน่วย รอบ
 แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับที่ขดลวดสเตเตอร์ที่เรียกว่า “แรงดันกระตุ้น (Excitation voltage)” นั้นมีค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (rms value) คือ

$$E_{fa} = \frac{\omega N_s}{\sqrt{2}} \cdot \phi_f \quad (2-4)$$

เมื่อ E_{fa} หมายถึง ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (rms value) ย้อนกลับของเฟส a มีหน่วย โวลต์ (V)

ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับ (e_{fa}) และเส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้องกันที่ขดลวดสเตเตอร์เฟส a (ϕ_{fa}) อยู่ในรูปของฟังก์ชันไซน์ที่แปรผันตามเวลา สามารถเขียนแรงดันเหนี่ยวนำ E_{fa} ในรูปของเฟสเซอร์ E_{fa} ซึ่งมีมุมหน้า ϕ_{fa} อยู่ 90° โดยที่ $\phi_{fa} = -j\phi_f$ ดังภาพที่ 2-9 ดังนั้น E_{fa} สามารถเขียนสมการเฟสเซอร์ในรูปของ ϕ_{fa} โดยพิจารณาจากสมการที่ 2-3 ถึงสมการที่ 2-4 และภาพที่ 2-9 จะได้

$$E_{fa} = j \frac{\omega N_s}{\sqrt{2}} \phi_{fa} = E_{fa} \quad (2-5)$$



ภาพที่ 2-9 เฟสเซอร์ไดอะแกรม (วีระเชษฐ์ จันทร์เงินและวุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, 2557)

ในการขับเคลื่อนซิงโครนัสมอเตอร์ มอเตอร์จะต่อเข้ากับแหล่งจ่ายที่มีความถี่ (f) ดังนั้นจากสมการที่ 2-2 จะได้

$$f = \frac{P}{4\pi} \omega_s \quad (2-6)$$

กระแสที่เข้าสู่มอเตอร์จะมีองค์ประกอบความถี่หลักมูล (Fundamental frequency components) เป็น f ด้วย และกระแสนี้ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ_s ที่มีขนาดคงที่กระจายอยู่ใน

ช่องอากาศและหมุนด้วยความเร็วเชิงโคจร ω_s โดยที่ขนาดของ ϕ_s ขึ้นอยู่กับขนาดของ
องค์ประกอบความถี่หลักมูลของกระแสเตเตอร์

ถ้า ϕ_s ไป link กับขดลวดสเตเตอร์เฟส a จะเรียกว่า ϕ_{sa} ซึ่งขนาดขึ้นอยู่กับกระแสของ
เฟส a ดังสมการ

$$N_s \phi_{sa}(t) = L_a i_a(t) \quad (2-7)$$

เมื่อ ϕ_{sa} หมายถึง เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวข้องกับขดลวดสเตเตอร์เฟส a

L_a หมายถึง ค่าความเหนี่ยวนำอาร์เมเจอร์ (Armature inductance) มีหน่วย เฮนรี (H)

i_a หมายถึง กระแสที่ไหลในขดลวดสเตเตอร์เฟส a มีหน่วย แอมแปร์ (A)

โดยค่าความเหนี่ยวนำอาร์เมเจอร์ (L_a) จะมีค่าเท่ากับ $3/2$ เท่าของค่าความเหนี่ยวนำ
ตัวเองของขดลวดสเตเตอร์เฟส a ดังนั้นจากสมการที่ 2-7 ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำในขดลวด
สเตเตอร์เฟส a (e_{sa}) และ $\phi_{sa}(t)$ จะมีค่าเท่ากับ

$$e_{sa}(t) = N_s \frac{d\phi_{sa}}{dt} = L_a \frac{di_a}{dt} \quad (2-8)$$

ให้องค์ประกอบหลักมูลของกระแสที่ป้อนไปยังขดลวดสเตเตอร์เฟส a มีค่าเท่ากับ

$$i_a(t) = \sqrt{2} I_a \sin(\omega t + \delta) \quad (2-9)$$

เมื่อ δ หมายถึง มุมแรงบิด (torque angle) มีหน่วย เรเดียน (rad)

I_a หมายถึง กระแสที่ป้อนไปยังขดลวดสเตเตอร์เฟส a มีหน่วย แอมแปร์ (A)
จะได้

$$e_{sa}(t) = \sqrt{2} \omega L_a I_a \cos(\omega t + \delta) \quad (2-10)$$

จากสมการที่ 2-8 หากแปลงค่า i_a และ e_{sa} สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเฟสเซอร์ ซึ่งดังภาพที่ 2-9
และเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\mathbf{I}_a = I_a e^{j(\delta - 90^\circ)} \quad (2-11)$$

และ

$$\mathbf{E}_{sa} = j\omega L_a \mathbf{I}_a = \omega L_a \mathbf{I}_a e^{+j\delta} \quad (2-12)$$

เมื่อ \mathbf{E}_{sa} หมายถึง ค่าเฟสเซอร์ของค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับขดลวดสเตเตอร์เฟส a

\mathbf{I}_a หมายถึง ค่าเฟสเซอร์ของกระแสที่ป้อนไปยังขดลวดสเตเตอร์เฟส a
 ผลลัพธ์ของเส้นแรงแม่เหล็กในอากาศที่เกี่ยวข้องขดลวดสเตเตอร์เฟส a (Resultant air gap flux : $\phi_{ag,a}(t)$) ซึ่งเกิดจากผลรวมของ $\phi_{fa}(t)$ และ $\phi_{sa}(t)$ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\phi_{ag,a}(t) = \phi_{fa}(t) + \phi_{sa}(t) \quad (2-13)$$

ซึ่งสามารถแทนเป็นค่าเฟสเซอร์ดังแสดงดังภาพที่ 2-9 และจะได้สมการเท่ากับ

$$\Phi_{ag,a} = \Phi_{fa} + \Phi_{sa} \quad (2-14)$$

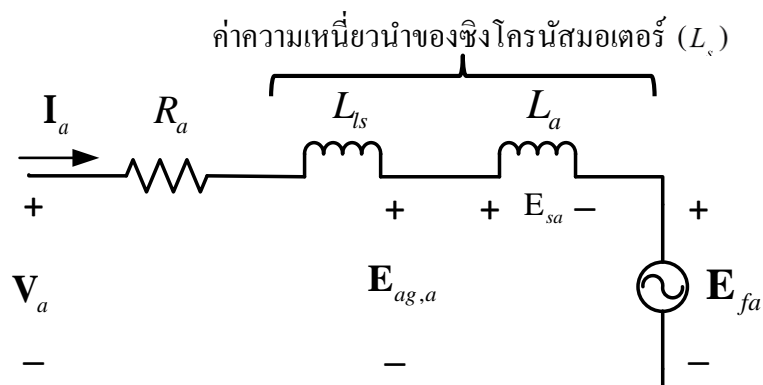
แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำย้อนกลับอากาศ $e_{ag,a}(t)$ ที่เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กในอากาศที่เกี่ยวข้องขดลวดสเตเตอร์เฟส a จะได้

$$e_{ag,a}(t) = N_s \frac{d\phi_{ag,a}}{dt} = e_{fa}(t) + e_{sa}(t) \quad (2-15)$$

จากสมการที่ 2-5 และ 2-12 รวมกับสมการที่ 2-15 กับพิจารณาภาพที่ 2-9 จะได้ผลลัพธ์ดังสมการ

$$\mathbf{E}_{ag,a} = \mathbf{E}_{fa} + \mathbf{E}_{sa} = \mathbf{E}_{fa} + j\omega L_a \mathbf{I}_a \quad (2-16)$$

ดั่งภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 วงจรสมมูล (วิระเชษฐ ชื่นเงิน และวุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์, 2557)

โดยที่ R_a หมายถึงความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์ และ L_{ls} หมายถึง ความเหนี่ยวนำฟลักซ์รั่ว จากภาพที่ 2-10 แรงดันที่ขั้วต่อเฟสเฟส a เท่ากับ

$$\mathbf{V}_a = \mathbf{E}_{ag,a} + (R_a + j\omega L_s) \mathbf{I}_a \quad (2-17)$$

เมื่อ \mathbf{V}_a หมายถึง แรงดันที่ขั้วต่อเฟสของเฟส a

หากอาศัยวงจรสมมูลต่อเฟสของซิงโครนัสมอเตอร์ในภาพที่ 2-10 และเฟสเซอร์ไดอะแกรมในภาพที่ 2-9 จะสามารถหาค่าแรงบิด T_{em} ได้โดยใช้การแปลงจากค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงเป็นกำลังไฟฟ้าทางกล (P_{em}) เท่ากับ

$$P_{em} = 3E_{fa} I_a \cos(\delta - 90^\circ) \quad (2-18)$$

เมื่อ P_{em} หมายถึง ค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้าทางกล ดังนั้นจะได้แรงบิดของแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic torque : T_{em}) ดังสมการ

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\omega_s} = \frac{3E_{fa} I_a \sin\delta}{\omega_s} \quad (2-19)$$

เมื่อ T_{em} หมายถึง ค่าแรงบิดของแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้าทางกล ใช้สมการที่ 2-4 2-18 และ 2-19 จะได้

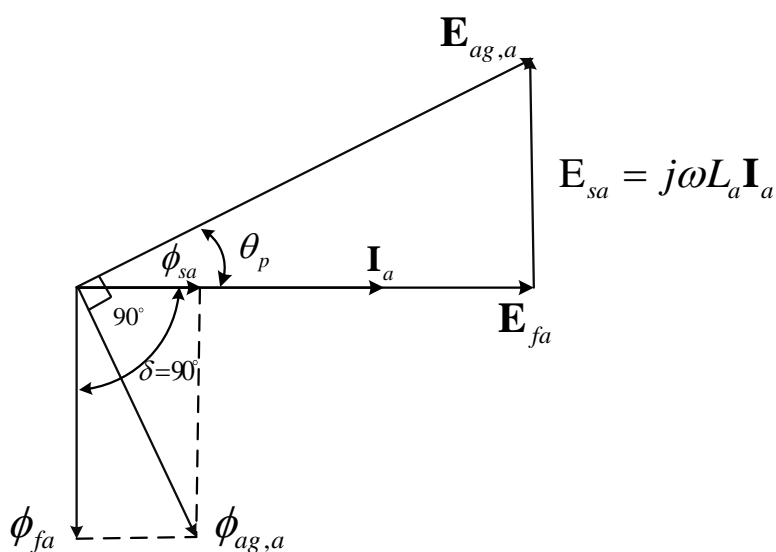
$$T_{em} = k_t \phi_f I_a \sin \delta \quad (2-20)$$

เมื่อ δ หมายถึง ค่ามุมระหว่างเฟสเซอร์ ϕ_{fa} และ I_a ซึ่งจะนิยามว่า “มุมแรงบิด”

k_t หมายถึง ค่าคงที่อัตราส่วนของแรงบิดกับกระแส จะได้

$$k_t = \frac{3\omega N_s}{\sqrt{2}\omega_s} \quad (2-21)$$

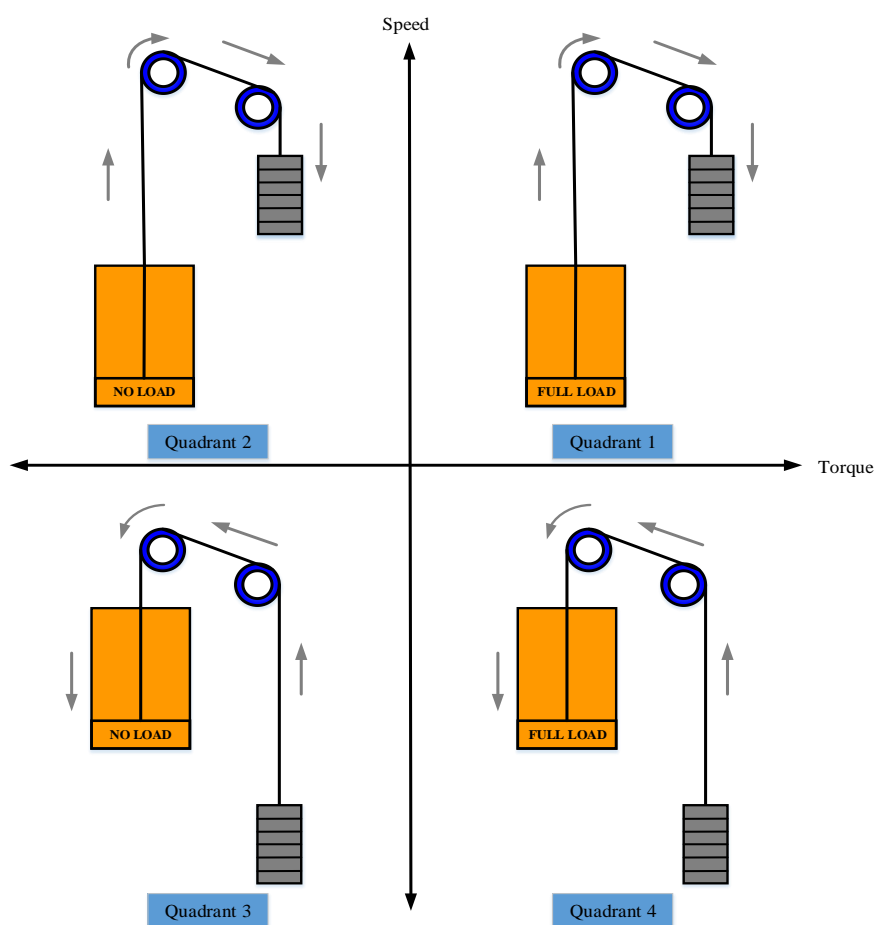
ดังนั้นขนาดของแรงบิดจะมีค่ามากที่สุด เมื่อมุม δ มีค่าเท่ากับ 90° เพราะ $\sin \delta = 1$ นั้นหมายความว่า I_a จะอยู่ในแนวเดียวกับ E_{fa} ดังภาพที่ 2-11



ภาพที่ 2-11 เฟสเซอร์ไดอะแกรมเมื่อ $\delta = 90^\circ$ (วีระเชษฐ์ ชันเงิน และวุฒิพล ธาราธิ์รเศรษฐ์, 2557)

ระบบการทำงานของลิฟต์

ปกติแล้วลิฟต์จะมีตุ้มถ่วงเป็นส่วนประกอบหลัก ใช้ถ่วงดุลน้ำหนักลิฟต์เพื่อช่วยไม่ให้มอเตอร์ต้องออกตัวแรงมาก สำหรับงานวิจัยนี้ใช้เท่ากับ 400 kg ซึ่งคิดเป็น 40% ของผลรวมระหว่างน้ำหนักตู้ลิฟต์กับน้ำหนักพิคค โหลด เมื่อน้ำหนักของ โหลดและตู้ลิฟต์มีค่าคงที่ที่ 1,000 kg ดังนั้นการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ที่สภาวะคงตัว สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 การทำงานของมอเตอร์ในโหมดต่าง ๆ

Quadrant 1: ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น เมื่อตู้ลิฟต์มีน้ำหนักมากกว่าตุ้มถ่วง (Full load) มอเตอร์จะใช้กำลังงานมากในการดึงลิฟต์ขึ้น เรียกว่า โหมดมอเตอร์ (Motoring mode)

Quadrant 2: ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น เมื่อตู้ลิฟต์มีน้ำหนักน้อยกว่าตุ้มถ่วง มอเตอร์จะไม่ออกแรง เนื่องจากใช้น้ำหนักของตุ้มถ่วงเพื่อดึงลิฟต์ขึ้น เรียกว่า โหมดรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerating mode)

Quadrant 3: ลิฟต์เคลื่อนที่ลง มอเตอร์ยังคงมีการออกแรงดึงลิฟต์ลง คือมีการใช้พลังงานแปรผกผันกับโหลด ถ้าโหลดมีค่าน้อยมอเตอร์ต้องออกแรงมากเพื่อดึงโหลดลง เรียกว่า โหมดมอเตอร์ (Motoring mode)

Quadrant 4: ลิฟต์เคลื่อนที่ลง เมื่อผู้ลิฟต์มีน้ำหนักมากกว่าตุ้มนั่ง (Full load) มอเตอร์ไม่ต้องออกแรง เพราะที่ใช้แรงโน้มถ่วงจากน้ำหนักลิฟต์ พลังงานจะไหลย้อนกลับสู่มอเตอร์ เรียกว่า โหมดรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerating mode)

กรณีศึกษาจากวรรณกรรม

จากกรณีศึกษาของ Ahmed M. Ahmed ได้ทำการวิจัยในเรื่อง Brushless DC Motor Speed Control using both PI Controller and Fuzzy PI Controller (Ahmed, Elksasy, Ali-Eldin, & Areed, 2015) เนื่องจากการใช้งานมอเตอร์ที่มีย่านความเร็วกว้าง ดังนั้นการควบคุมความเร็วจึงเป็นสิ่งสำคัญ เป็นการศึกษาและเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการควบคุมค่า PI กับ Fuzzy PI ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์หลายค่าที่ต้องพิจารณา เช่น กระแสสตาร์ท แรงบิด และความเร็ว เป็นต้น

ผลการศึกษางานวิจัยเรื่อง Brushless DC Motor Speed Control using both PI Controller and Fuzzy PI Controller ค่า Start-up torque มีค่าเท่ากับ 7.9 Nm และ start-up current มีค่าเท่ากับ 6 A นำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยเรื่อง Performance Evaluation of BLDC Motor with Conventional PI and Fuzzy (Singh & Garg, 2012) ค่า Start-up torque มีค่าเท่ากับ 3 Nm และค่า start-up current มีค่าเท่ากับ 4 A พบว่า งานวิจัยแรกมีค่า Start-up torque และ start-up current สูงกว่า

จากกรณีศึกษาของ สิทธิชัย กันทะวงศ์ (2556) ได้ทำการศึกษาการทำงานของลิฟต์ในช่วงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์แบบแม่เหล็กถาวร ด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ ติดตั้งวงจร Energy regenerative unit: ERU และจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/ Simulink การทำงานของลิฟต์จะมีการทำงาน 2 ช่วงการทำงาน คือในช่วงที่ทำหน้าที่เป็นมอเตอร์และในช่วงที่ทำหน้าที่เป็นเจนเนอเรเตอร์

ผลการศึกษาหลังจากเปรียบเทียบการใช้พลังงานในกรณีที่ตั้งและไม่ติดตั้งระบบรีเจนเนอเรทีฟ ทดสอบวิ่งลิฟต์ตัวเปล่าขึ้นลงอัตโนมัติ ใช้เวลาเก็บข้อมูล 30 วัน สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 60 kWh หรือคิดเป็น 43%

จากกรณีศึกษาของ Shreelakshmi and Agarwal (2013) ได้ศึกษาการประหยัดพลังงานของลิฟต์โดยใช้ตัวเก็บประจุความจุสูง (Ultra-capacitor : UC) เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell : FC) และวงจรการแก้ไขตัวประกอบกำลัง (Power factor correction : PFC) โดยจำลองการทำงานด้วย

โปรแกรม MATLAB/ Simulink เนื่องจากลิฟต์ในขณะที่ลิฟต์เริ่มสตาร์ทมีการใช้กำลังงานสูง Shreelakshmi จึงมีแนวคิดที่จะนำตัวเก็บประจุความจุสูงมาใช้ในช่วงดังกล่าว การศึกษาระบบลิฟต์นี้ มีการเปลี่ยนแปลงโหลด และมีความเร็วคงที่ 2.5 เมตรต่อวินาที ทำการศึกษา 3 สถานะ คือ การเคลื่อนที่ขึ้น เคลื่อนที่ลง และเปลี่ยนแปลงความเร็ว

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น ถ้าโหลดน้อยกว่า 300 กิโลกรัม จะมีการคืนพลังงาน และถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ลง มีโหลดมากกว่า 300 กิโลกรัม ก็จะมีการคืนพลังงาน และเมื่อลิฟต์มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ก็จะมีการใช้กำลังงานสูงขึ้นตาม

จากกรณีศึกษาของ Tukka, Uimonen and Lehtonen (2016) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินและการปรับปรุงประสิทธิภาพ Counterbalance ลิฟต์ภายใต้การจราจรผู้โดยสาร โดยการใช้พลังงานจะถูกวัดจากการจราจรของผู้โดยสาร การระบายผู้โดยสาร ทิศทางของลิฟต์ และระยะทางการเคลื่อนที่ มีการศึกษาการใช้พลังงานของลิฟต์ 2 โหมด คือ โหมด Standby และ Running เลือกศึกษาเป็นออฟฟิศในการเก็บข้อมูลมีลักษณะเป็นตึกสูง มีการเก็บข้อมูลการจราจร บันทึกชั้นที่เริ่มชั้นที่เดินทางไป เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ส่วนจำนวนผู้โดยสารประมาณโดยคิดว่ามีน้ำหนักคนละ 75 กิโลกรัม เป็นเวลา 1 เดือน

ผลการศึกษา พบว่า มีช่วงที่ใช้งานลิฟต์สูงสุด 3 รอบต่อวัน คือช่วงเช้า ช่วงเที่ยง และช่วงเย็น ทิศทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในแต่ละวัน ส่วนใหญ่เมื่อเริ่มสตาร์ทโดยไม่มีโหลดหรือโหลดน้อย และมีจำนวนรอบไม่บ่อยมากที่โดยสาร โหลดเกิน 60% ของพิกัด แต่ถ้าเป็นช่วงเย็นผู้โดยสารจะขึ้นจากชั้นล่างไปยังชั้นบน และลิฟต์วิ่งลงตัวเปล่าจากชั้นบนไปชั้นล่างอีกรอบ การที่ลิฟต์ลงมาตัวเปล่า หมายความว่า ลิฟต์ใช้พลังงานเหมือนมีโหลด 50% ของพิกัดโหลด การใช้พลังงานที่ดีของ Counterbalance 50% จะเกิดขึ้นเมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ลงแบบ Full load หรือเคลื่อนที่ขึ้นแบบไม่มีคน ลิฟต์จะคายพลังงานออกมา แต่ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพดีกว่าถ้าเป็นลิฟต์แบบ Regenerative ซึ่งจะคืนพลังงานให้กับระบบไฟฟ้าประเภทอื่นได้ เช่น Lighting แต่ถ้าเป็นระบบ Non-regenerative load ที่ดี คือ net-load เท่ากับศูนย์ คือ Load balance เท่ากับ Counter weight พอดีก็จะทำให้ไม่ต้องสูญเสียพลังงานไปที่ Brake resistor ในกรณีที่ Traffic น้อย พลังงานจะสูญเสียไปกับการยก Counterbalance ซึ่งถ้าปรับขนาดของ Counterbalance ก็จะสามารถประหยัดพลังงานไปได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร ในขณะที่มอเตอร์เริ่มการทำงาน จึงได้หาค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงมอเตอร์กำลังเริ่มต้นสตาร์ท เพราะว่ามอเตอร์จะมีขนาดของกระแส ช่วงกระแสกระเพื่อมในขณะที่มอเตอร์สตาร์ท และแรงบิดค่อนข้างสูง แต่ในขณะที่เดียวกันมอเตอร์เองก็จะมีสถานะเบรกเพื่อหยุด ซึ่งจะเป็นการคืนพลังงาน ถ้าสามารถนำพลังงานที่มีการคืนพลังงานออกมาเก็บ และนำมาใช้ในช่วงสตาร์ทต่อไปได้ก็จะถือว่าเป็นการประหยัดพลังงาน

ในการดำเนินการวิจัยจะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไปและมีการนำโปรแกรม MATLAB/ Simulink เพื่อนำมาศึกษาและจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร (Synchronous permanent magnet motor) โดยทำการศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ มีการศึกษา 2 รูปแบบ คือ การเคลื่อนที่ขึ้นและการเคลื่อนที่ลง ให้น้ำหนักของโหลดมีการเปลี่ยนแปลง กำหนดน้ำหนักของโหลดตั้งแต่ 0-900 kg และให้ความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่กำหนดให้ความเร็วเท่ากับ 160 rpm (100 m/ min)

ซึ่งการศึกษานี้จะกำหนดน้ำหนักของโหลดตั้งแต่ 0-900 kg โดยกำหนดให้น้ำหนักของตู้ลิฟต์เท่ากับ 100 kg และน้ำหนักตู้มถ่วงจะเท่ากับ 400 kg ซึ่งคิดเป็น 40% ของผลรวมระหว่างน้ำหนักตู้ลิฟต์กับน้ำหนักพิคัดโหลด เมื่อน้ำหนักของ โหลดคงที่ที่ 1,000 kg โดยลิฟต์จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 40-160 rpm และมีการคำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละช่วงของการเคลื่อนที่ของลิฟต์ เช่น พลังงานในช่วงสตาร์ท (Energy start) พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ (Steady state energy) พลังงานในช่วงมอเตอร์เบรก (Energy Break) ตามลำดับ และนำผลการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์นี้ไปเป็นแนวทางในการอนุรักษ์พลังงาน

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลต่าง ๆ ของระบบลิฟต์ ในส่วนนี้จะศึกษาหลักการทำงาน ส่วนประกอบ และโครงสร้างของลิฟต์ โดยคำนึงถึงปริมาณการใช้พลังงาน เพื่อสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานวิจัยครั้งนี้ต่อไปได้ จากการศึกษา พบว่า มอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ทำหน้าที่ขับเคลื่อนตู้ลิฟต์ขึ้นลง และรับน้ำหนักผู้โดยสาร ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด เหตุผลที่เลือกมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร เพราะว่ามอเตอร์ชนิดนี้มีความนุ่มนวลในการขนส่งคน

2. ขั้นตอนที่ 2 เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ผู้ม
เลือกขึ้นสำหรับทำการวิจัยนี้ เพื่อจำลองระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วย
โปรแกรม MATLAB/ Simulink

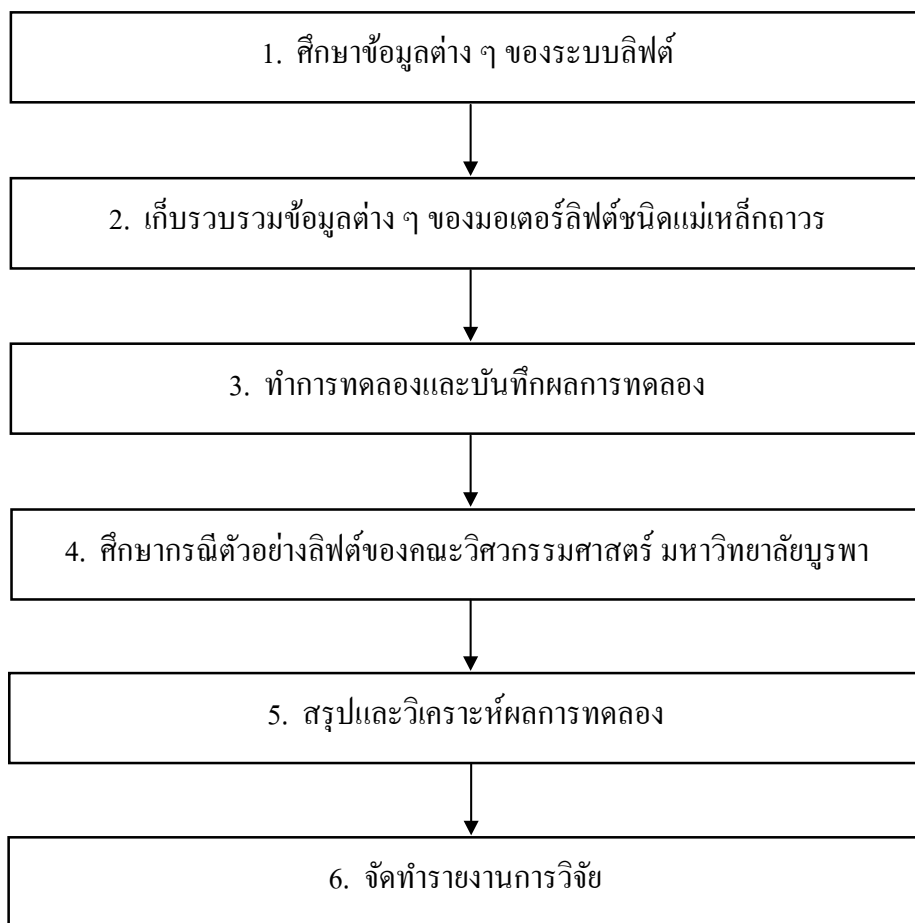
3. หลังจากได้ข้อมูลมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร นำมาจำลองการทำงานด้วย
โปรแกรม MATLAB/ Simulink เพื่อทำการทดสอบ ทำการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแส
ความเร็วรอบของมอเตอร์ แรงบิดโหลดของมอเตอร์ และค่าพลังงานไฟฟ้าที่เป็นไปได้ในช่วง
Transient

4. ขั้นตอนต่อมา คือ การนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ในช่วงต่าง ๆ โดยนำไปศึกษา
กับกรณีตัวอย่างลิฟต์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เพื่อลงในรายละเอียด เนื่องจาก
พลังงานที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ลิฟต์ในแต่ละกรณีศึกษาจะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับน้ำหนักของโหลด
จำนวนผู้โดยสารลิฟต์ และทิศทางการเคลื่อนที่ ลักษณะการทำงานของมอเตอร์ว่าเป็นโหมด
มอเตอร์ ซึ่งเป็นโหมดที่มีการใช้พลังงาน หรือ โหมดรีเจนเนอเรทีฟ ซึ่งเป็นโหมดที่มีการคืน
พลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย ซึ่งโดยทั่วไปลิฟต์ไม่สามารถส่งคืนพลังงานกลับสู่แหล่งจ่ายได้
เพราะว่ากระแสจะไม่สามารถไหลผ่านตัวไอ โอคในวงจรของมอเตอร์ได้ ทำให้พลังงานจะต้องถูก
นำไปกำจัดโดยใช้ตัวต้านทานเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน

5. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

6. จัดทำรายงานการวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินการวิจัยข้างต้น สามารถนำมาอธิบายในรูปแบบของแผนผังเพื่อ
ทำให้สามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น ตามภาพที่ 3-1



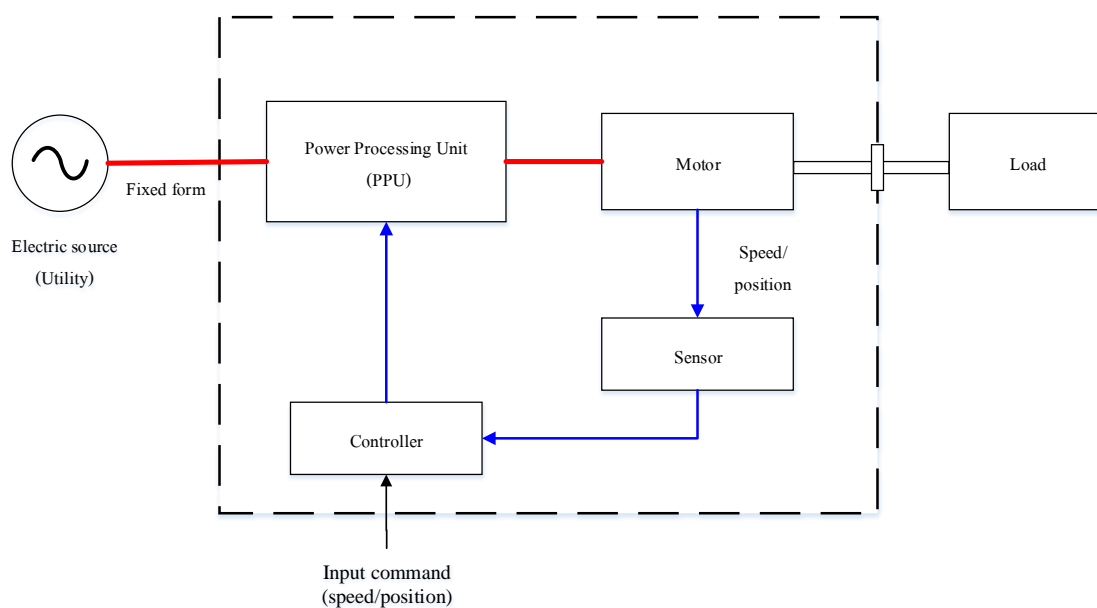
ภาพที่ 3-1 แผนผังของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรโดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

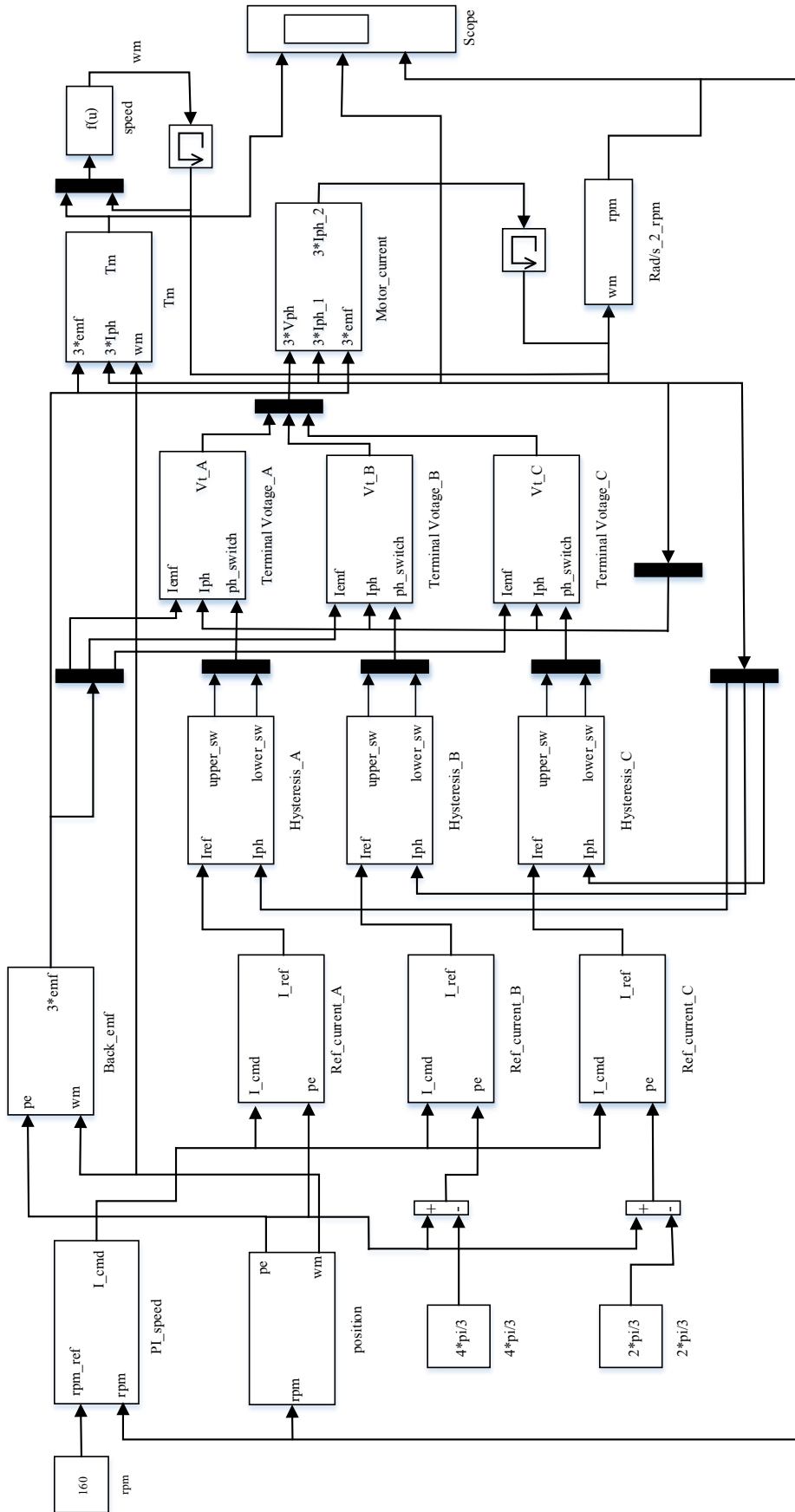
งานวิจัยนี้ดำเนินการจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร ได้จำลองตามบล็อกไดอะแกรม ตามภาพที่ 3-2 โดยประกอบด้วย ส่วนแรก คือ แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC power supply) ซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายของเส้นประ ภายในเส้นประ คือ ระบบขับเคลื่อนของมอเตอร์ ประกอบไปด้วย Power processing unit (PPU) หรือ Inverter ซึ่งจะจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ (Motor) ในภาพใช้เส้นสีแดง แสดงถึงการไหลของพลังงานจากแหล่งจ่ายสู่มอเตอร์ และเส้นสีน้ำเงินแสดงถึงสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม PPU เพื่อให้จ่ายกระแสให้กับมอเตอร์ เพื่อนำไปควบคุมแรงบิด (Torque) ที่จะทำการขับโหลด (Load) หลังจากที่มอเตอร์ทำการขับโหลด ก็จะต้องทำการวัด Speed หรือ Position คือ การวัดตำแหน่งเพื่อไปป้อนกลับไปสู่ตัวคอนโทรลเลอร์

(Controller) แล้วตัวคอนโทรลเลอร์นี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดกระแสที่จะไปใช้ควบคุมกระแสมอเตอร์ต่อไป

หลังจากสร้างบล็อกไดอะแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้วก็นำไปสร้างแบบจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ โดยใช้บล็อกไดอะแกรมเปรียบเทียบกับโปรแกรม MATLAB/ Simulink ดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 3-2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร



ภาพที่ 3-3 แบบจำลองการทำงานของมอเตอร์เฟสชนิดแม่เหล็กถาวรโดยใช้โปรแกรม MATLAB/ Simulink

จากภาพที่ 3-2 แสดงภาพบล็อกไดอะแกรมการทำงานของมอเตอร์ ถ้านำมาเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่เป็นแบบจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ ดังภาพที่ 3-3 ซึ่งสามารถแบ่งส่วนของการอธิบายได้เป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ส่วน Motor model จากโปรแกรมนี้มีการจำลองการทำงานของมอเตอร์โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์เป็นหลัก โดยส่วนของ Motor model จะประกอบไปด้วย Block motor current ซึ่งมาจาก Equivalent circuit จากสมการ

$$V_t = I_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + E_a \quad (3-1)$$

เมื่อ V_t หมายถึง แรงดันที่ Terminal Voltage มีหน่วย โวลต์ (V)

I_a หมายถึง กระแสที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ มีหน่วย แอมแปร์ (A)

R_a หมายถึง ค่าความต้านทานของขดลวด มีหน่วย โอห์ม (Ohm)

L_a หมายถึง ค่าความเหนี่ยวนำอาร์เมเจอร์ของขดลวด มีหน่วย เฮนรี (H)

E_a หมายถึง ค่า Back emf per phase มีหน่วย โวลต์ (V)

ส่วน E_a ซึ่งก็คือ ค่า Back emf หรือแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดจาก Field flux หรือฟลักซ์ของแม่เหล็กถาวรที่โรเตอร์ เกิดขึ้นที่ขดลวดอาร์เมเจอร์หรือขดลวดสเตเตอร์ ถูกสร้างใน Block Back emf

$$E_a = k_a \omega_a \sin\theta_e \quad (3-2)$$

เมื่อ k_a หมายถึง ค่าคงที่ของค่า Back emf มีหน่วย โวลต์ต่อเรเดียนต่อวินาที (V/ rad/ s)

ω_a หมายถึง ความเร็วรอบทางไฟฟ้าของมอเตอร์ มีหน่วย เรเดียนต่อวินาที (rad/ s)

θ_e หมายถึง มุมทางไฟฟ้าของมอเตอร์ มีหน่วย เรเดียน (rad)

แรงบิดที่เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล จะเท่ากับสมการจาก

$$P = 3E_a I_a \quad (3-3)$$

เมื่อ P หมายถึง กำลังงาน มีหน่วย วัตต์ (Watt)

และ

$$P = T\omega_m \quad (3-4)$$

เมื่อ ω_m หมายถึง ความเร็วรอบทางกลของมอเตอร์ มีหน่วย เรเดียนต่อวินาที (rad/s)
เมื่อนำสมการที่ 3-3 และ 3-4 มาเท่ากันจะได้

$$3E_a I_a = T\omega_m \quad (3-5)$$

ทำการย้ายข้างสมการจะได้

$$T = \frac{3E_a I_a}{\omega_m} \quad (3-6)$$

เมื่อได้สมการที่ 3-6 แล้วนำไปหาค่าความเร็ว (ω)
สำหรับความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็ว (ω) มีความสัมพันธ์กันดังนี้ แรงบิด
ซึ่งเกิดจากสมการ

$$T_m = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L \quad (3-7)$$

เมื่อ T_m หมายถึง แรงบิดของมอเตอร์ มีหน่วย นิวตันเมตร (Nm)

J หมายถึง โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia) มีหน่วย kg.m^2

B หมายถึง แรงเสียดทานความหนืด (Viscous friction) มีหน่วย Nm.sec

T_L หมายถึง แรงบิดของโหลด มีหน่วย นิวตันเมตร (Nm)

เมื่อแปลงสมการที่ 3-7 ให้อยู่ในรูปลาปลาซทรานส์ฟอร์ม (Laplace transform) จะได้

$$T_m = Js\omega + B\omega + T_L \quad (3-8)$$

และเมื่อกำหนดให้แรงเสียดทานความหนืด (B : Viscous friction) มีค่าเป็นศูนย์ จะได้

$$\omega = \frac{T_m - T_L}{J_s} \quad (3-9)$$

2. ส่วน Drive เป็นวงจรที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ หรือวงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ในที่นี้เป็น การคำนวณเพื่อหาค่า Terminal voltage ของมอเตอร์ หลังจากที่ได้รับสัญญาณสวิตซิ่ง (Switching signal) มาจากส่วนควบคุม

ส่วน Terminal voltage ซึ่งเป็นส่วนของวงจรเพาเวอร์ (Power circuit) ซึ่งเป็น ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณสวิตซิ่ง (Switching signal) ของสวิตช์ในตัวอินเวอร์เตอร์กับกระแส เกิดจากการคำนวณค่า Terminal voltage ออกมา เพราะไม่ได้มีการสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ขึ้นจริง เนื่องจากการคำนวณกระแสมอเตอร์จากสมการโดยตรง

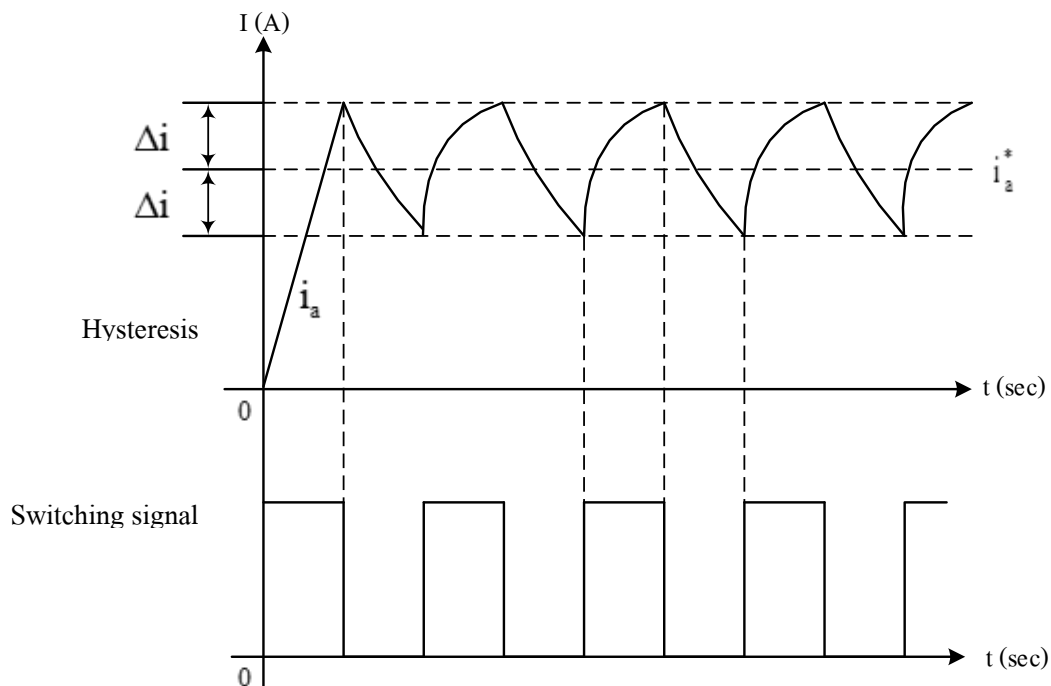
หลังจากนั้น Terminal voltage นี้จะถูกป้อนเข้าสู่มอเตอร์ใน Block motor current เพื่อ คำนวณหากระแสในมอเตอร์ต่อไป

3. ส่วน Control เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ในส่วนของสัญญาณ ควบคุมและการคำนวณ จะประกอบไปด้วย Block PI Speed Loop, Ref_Current และ Hysteresis (ภาพที่ 3-3) ในที่นี้ใช้ระบบ Control แบบ PI ซึ่งการควบคุมความเร็วรอบนี้เป็นการกำหนดขนาด กระแสตั้งต้น คือ I_cmd (ภาพที่ 3-3) ของมอเตอร์ และขนาดจะถูกส่งไปยัง Block Ref_Current เพื่อ สร้างเป็น sine wave โดยกระแสจะเป็นตัวปรับแรงบิด และแรงบิดจะเป็นตัวปรับความเร็วรอบอีกที

ในความเป็นจริงในส่วนของ Hysteresis นั้น จะเป็นส่วนของสัญญาณของภาค Control เพราะนั่น คือ Digital signal processing ลักษณะการกำหนดสัญญาณสวิตซิ่ง (Switching signal) ใน งานวิจัยนี้ คือ การเข้าสัญญาณแบบ Hysteresis คือ สัญญาณสวิตซิ่ง (Switching signal) ที่ได้จะมี 6 สัญญาณเพื่อนำไปควบคุม inverter สามเฟส ซึ่งมี 6 สวิตช์ ด้วยกัน โดยสัญญาณกระแสของแต่ละ เฟส จะถูกส่งไปยัง Block Hysteresis ซึ่งอยู่ในส่วนของ Drive เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกระแสที่ ออกมาจากระบบควบคุม (I_ref) โดยถ้ากระแสที่ Feed back กลับน้อยกว่าขอบเขตที่กำหนด Switch ของ Inverter จะถูก ON เพื่อให้กระแสเฟสมีขนาดเพิ่มขึ้น แต่ถ้ากระแสจริงที่ Feed back กลับมี ขนาดใหญ่กว่าขอบเขตที่กำหนด (ซึ่งมาจากกระแสที่ระบบควบคุม) Switch ของ Inverter จะ OFF เพื่อให้กระแสมีขนาดค่อย ๆ ลดลง โดยการนำเอาสัญญาณ sine ทำออกมาให้อยู่ในรูปของ Switching signal ซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วนำไปป้อนสู่ Inverter ที่มี 6 สวิตช์ ดังภาพที่ 3-4

เริ่มต้นด้วยการนำความเร็วรอบของมอเตอร์มาเปรียบเทียบกับความเร็วที่กำหนดไว้ คือ rpm_ref (ภาพที่ 3-3) ค่าความแตกต่างของความเร็วรอบนั้นจะผ่าน Block PI เพื่อกำหนดขนาดของ กระแสในมอเตอร์ คือ I_cmd หลังจากนั้นขนาดของกระแสจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณ ไซน์ (sine wave) ซึ่งก็คือ กระแสอ้างอิง โดยใช้ I_cmd เป็นขนาดสูงสุดของกระแสอ้างอิง ที่มีค่า

Maximum amplitude ตามที่กำหนดจาก Block PI เพื่อกำหนดรูปแบบกระแสในมอเตอร์ต่อไปใน Block Ref_Current หลังจากนั้นสัญญาณกระแสอ้างอิงจะนำไปเปรียบเทียบกับขนาดของกระแสไฟฟ้าจากมอเตอร์ ที่ถูกวัดมาจากตัวเซนเซอร์ (Sensor) เพื่อกำหนดสัญญาณสวิตซ์ (Switching signal)



ภาพที่ 3-4 การทำงานของ Hysteresis controller

จากภาพที่ 3-4 Krishnan (2001) อธิบายว่า เริ่มจากกระแสเริ่มต้นของระบบ (i_a) จะเริ่มจากศูนย์ นั่นคือ สถานะ ON ถ้าหากว่ากระแสจากมอเตอร์มีค่าน้อยกว่ากระแสที่กำหนด คือ I_{ref} (i_a^*) สัญญาณสวิตซ์ (Switching signal) ก็จะ ON เพื่อให้กระแสมากขึ้นเรื่อย ๆ มีช่วงที่เกินกว่า Δi (hyst band) ก็จะมีสถานะ OFF เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสเพิ่ม กระแสก็จะค่อย ๆ ลดลงเพราะว่าในตัวมอเตอร์มีความต้านทานอยู่ ระหว่างที่กระแสค่อย ๆ ตกนั้น หากกระแสตกลงต่ำกว่าช่วง hyst band ก็จะทำการ ON สวิตซ์ขึ้นใหม่เพื่อใส่พลังงานเข้าไปอีกรอบเพื่อให้กระแสมากขึ้น วนลูปการทำงานเช่นนี้เรื่อยไป ทำให้กระแสอยู่ในช่วงที่เราต้องการ

สัญญาณของกระแสเกิดจาก Block motor current ซึ่งจะคำนวณค่ากระแสมอเตอร์ หลังจากได้รับแรงดันจาก Block terminal voltage กระแสจาก Block นี้จะถูกป้อนกลับซึ่งเปรียบเสมือนการวัดค่ากระแสจากมอเตอร์จริง

โดยการออกแบบใน PI Controller เป็นการมองผลลัพธ์จากระบบ ซึ่งก็คือ ความเร็วรอบ ในภาพรวม เพื่อให้ผลลัพธ์ในภาพรวมเป็นไปตามที่ต้องการหรือที่ออกแบบนั่นเอง โดยรายละเอียดของการออกแบบจะถูกนำเสนอในหัวข้อถัดไป

4. ส่วน Sensor ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

4.1 สัญญาณ Position หรือตำแหน่งของตัวโรเตอร์ เนื่องจากโปรแกรม MATLAB นี้เป็นการ Simulate จากสมการทางคณิตศาสตร์ พิจารณาจากสมการที่ 3-9

ซึ่งจะแก้สมการได้ความเร็วรอบ (ω_m) จะมีหน่วยเป็น rad/s หลังจากนั้นจะถูกแปลงเป็นหน่วยของอัตราเร็วรอบต่อนาที (rpm) แล้วถูกส่งไปยัง Block PI เพื่อคำนวณขนาดกระแสตั้งต้น คือ I_{cmd} และส่งไปยัง Block position ดังสมการที่ 3-10 ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่งใน sine wave ของ I_{ref} และ Back emf จะได้

$$\theta_e = p \int \omega_m dt \quad (3-10)$$

เมื่อ θ_e หมายถึง มุมทางไฟฟ้า มีหน่วย เรเดียน (rad)

p หมายถึง จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก (Pole pair) มีหน่วย คู่ขั้ว

4.2 สัญญาณกระแสแต่ละเฟส สัญญาณเหล่านี้จะถูกส่งไปยัง Block Hysteresis ซึ่งอยู่ในส่วนของ Drive เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกระแสที่ออกมาจากระบบควบคุม (I_{ref}) ถ้ากระแสที่ feed back กลับน้อยกว่าขอบเขตที่กำหนด switch ของ inverter จะถูก ON เพื่อให้กระแสมีขนาดเพิ่มขึ้น แต่ถ้ากระแสจริงที่ feed back กลับมีขนาดใหญ่กว่าขอบเขตที่กำหนด (ซึ่งมาจากกระแสของระบบควบคุม) switch จะ OFF เพื่อให้กระแสมีขนาดค่อย ๆ ลดลง การจำลองการทำงานในโปรแกรม MATLAB/ Simulink ค่าพารามิเตอร์ได้ถูกนำมาจากมอเตอร์ที่ได้ใช้ในระบบลิฟต์จริง ๆ ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

Parameters	Value	Unit
R_a	0.32	Ohm
λ_m	0.75	V.s
p	20	pairs
J	6.6	kg.m ²
Vdc/ 2	190	V
Load Torque	20	Nm
dt	0.00002	sec
k_p	9.9561	-
k_i	39.824	-
hyst band	0.5	A

หมายเหตุ: R_a หมายถึง ความต้านทานในขดลวดของสเตเตอร์ มีหน่วย โอห์ม (Ohm)

λ_m หมายถึง เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวค้ำของแม่เหล็กถาวร มีหน่วย (V.s)

p หมายถึง จำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ มีหน่วย คู่ขั้ว

J หมายถึง โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of inertia) มีหน่วย kg.m²

Vdc/ 2 หมายถึง แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีจุดอ้างอิงอยู่ตรงกลาง มีหน่วย โวลต์ (Volt)

dt หมายถึง ช่วงเวลา 1 คาบที่น้อยที่สุดสำหรับการ Simulation มีหน่วย วินาที (sec)

hyst band หมายถึง แถบของกระแสฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) มีหน่วย แอมแปร์ (A)

จากภาพที่ 3-3 ได้นำค่าพารามิเตอร์จากมอเตอร์จริงมาจำลองการทำงาน โดยได้เลือกเอามอเตอร์ที่มีขนาด 7.4 kW เพื่อจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม MATLAB/ Simulink นำค่าพารามิเตอร์มาจากการคำนวณและข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ชนิด Permanent magnet synchronous motor ที่ใช้งานกับตัวลิฟต์จริง โดยทำการศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ ซึ่งมีการศึกษา 2 รูปแบบ คือ การเคลื่อนที่ขึ้นและการเคลื่อนที่ลง กำหนดให้น้ำหนักของโหลด

มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีค่าตั้งแต่ 0-900 kg และให้ความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่ กำหนดให้ ความเร็วเท่ากับ 160 rpm (ความเร็วลิฟต์ 100 m/ min) เป็นการศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ ในช่วงต่าง ๆ คือ ช่วง Energy start ช่วง Steady state และช่วง Break เป็นต้น

การคำนวณค่า K_p และ K_i

จากข้อมูลในตารางที่ 3-1 สามารถคำนวณค่า k_p และ k_i โดย k_T คือ ค่าคงที่อัตราส่วนของแรงบิดกับกระแส ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3-12 แล้วนำไปหาค่าแรงบิด (Torque) เมื่อ $\delta = 90^\circ$ จึงต้องควบคุมค่านี้เพื่อทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

จากสมการ

$$T = k_T I_a \quad (3-11)$$

เมื่อ I_a หมายถึง กระแสในขดลวดอาร์เมเจอร์

$$k_T = \frac{3p\lambda_m}{\sqrt{2}} \quad (3-12)$$

แทนค่าพารามิเตอร์จากตารางที่ 3-1 $k_T = \frac{3 \times 20 \times 0.75}{\sqrt{2}}$

ดังนั้น $k_T = 31.8198 \quad Nm / A$

และ k_E คือ ค่าคงที่อัตราส่วนแรงดัน back emf กับความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$E_a = k_E \omega_m \quad (3-13)$$

จะได้

$$k_E = \frac{p\lambda_m}{\sqrt{2}} \quad (3-14)$$

$$\text{แทนค่าในสมการ } k_E = \frac{20 \times 0.75}{\sqrt{2}}$$

$$\text{ดังนั้น } k_E = 10.6066 \text{ V/rad/s}$$

เนื่องจาก τ_e คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสในขดลวดอาร์มเจอร์ต่อเวลา จากสมการ

$$\tau_e = \frac{L_a}{R_a} \quad (3-15)$$

$$\text{จากค่าในตารางที่ 3-1 แทนค่าลงในสมการ } \tau_e = \frac{7.65 \times 10^{-3}}{0.32}$$

$$\text{จะได้ } \tau_e = 23.91 \text{ ms}$$

โดย τ_m คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบต่อเวลา และเนื่องจากกำหนดให้ค่า motor load เป็น 2 เท่าของ Inertia ของมอเตอร์ ดังนั้น J_{eq} เท่ากับ Inertia ของมอเตอร์ร่วมกับโหลดเป็น 3 เท่า ของ Inertia มอเตอร์ เพราะ โหลดของลิฟต์มีน้ำหนักมากกว่ามอเตอร์ลิฟต์จึงทำให้มีค่า Inertia สูงกว่า ซึ่ง J_{eq} มีค่าเท่ากับ 19.81 นำค่า k_p และ k_E ที่หาได้และค่าพารามิเตอร์ จากตารางที่ 3-1 จะได้ จากสมการ

$$\tau_m = \frac{R_a J_{eq}}{k_T k_E} \quad (3-16)$$

$$\text{แทนค่าในสมการ } \tau_m = \frac{0.32 \times 19.8}{31.8198 \times 10.6066}$$

$$\text{จะได้ } \tau_m = 18.7733 \text{ ms}$$

เนื่องจากกำหนดให้ Speed loop เป็น Second order จึงมีการกำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้
ค่าการปรับตั้งเวลา (Settling time: t_s) เลือกลงจาก τ_e และ τ_m ต้องมีค่ามากกว่า τ_e และ τ_m อย่างน้อย 10 เท่า แต่ในที่นี้จะใช้ค่า settling time ถ้า $t_s \geq \tau_e$ (ประมาณ 20 เท่า) เนื่องจาก τ_e มากกว่า τ_m

ถ้าอัตราหน่วง (Damping ratio : ζ) โดยต้องการให้ค่า Damping ratio มีค่าน้อยที่สุด เพื่อจำกัดค่าพุ่งเกิน (Overshoot) ของความเร็วรอบ ทำให้ลิฟต์เคลื่อนที่ได้อย่างนุ่มนวล หากมีค่า Overshoot มาก ก็จะทำให้เข้าสู่ระบบเข้าสู่สถานะคงตัว (Steady state) ยาก จึงกำหนดให้ค่า Damping ratio (ζ) = 1.0

จากสมการ

$$t_s = \frac{4}{\zeta \omega_n} \quad (3-17)$$

เมื่อ ω_n หมายถึง ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency)

ζ หมายถึง อัตราหน่วง (Damping ratio)

เนื่องจาก $t_s \geq \tau_e$ (ประมาณ 20 เท่า) ดังนั้น

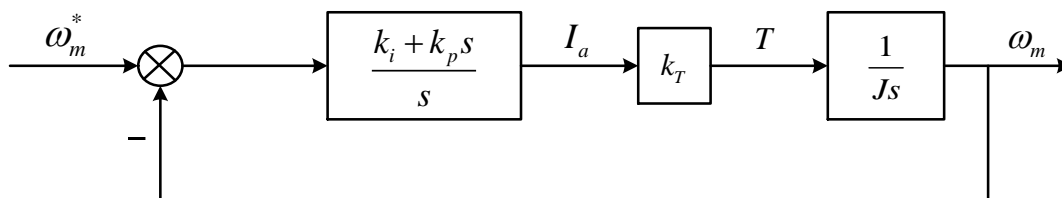
$$t_s = 23.91 \text{ ms} \times 20 = 0.4782 \text{ s}$$

$$t_s \approx 0.5 \text{ s}$$

แทนค่าในสมการที่ 3-17 จะได้ค่า ω_n

$$\omega_n = \frac{4}{0.5 \times 1} = 8$$

จาก Transfer function block diagram ของ Speed loop ที่เป็นระบบ Second order ดังภาพที่ 3-5

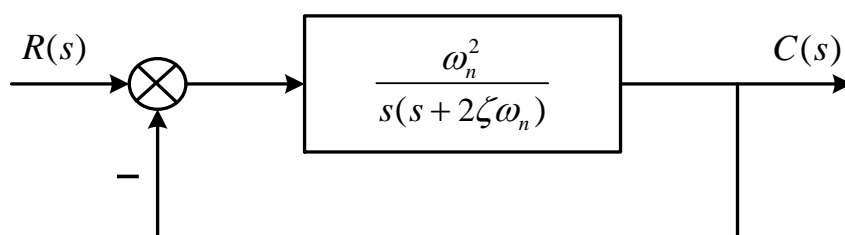


ภาพที่ 3-5 Transfer function block diagram ของ Speed loop

$$\begin{aligned} \frac{\omega_m}{\omega_m^*} &= \frac{\frac{k_T (k_i + k_p s)}{Js^2}}{1 + \frac{k_T (k_i + k_p s)}{Js^2}} \\ &= \frac{k_T (k_i + k_p s)}{Js^2 + k_T (k_i + k_p s)} \end{aligned}$$

$$= \frac{\frac{k_T}{J}(k_i + k_p s)}{s^2 + \frac{k_T k_p s}{J} + \frac{k_T k_i}{J}}$$

จากรูปแบบมาตรฐาน (Standard form) ของระบบ second order ดังภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 Standard form ของระบบ Second order

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3-18)$$

เทียบ $\frac{\omega_m}{\omega_m^*}$ กับ $\frac{C(s)}{R(s)}$ (Standard form) จะได้ว่า

$$\omega_n^2 = \frac{k_T k_i}{J} \quad \text{และ} \quad 2\zeta\omega_n = \frac{k_T k_p}{J}$$

จากสมการ Standard form ของระบบ Second order

$$\omega_n^2 = \frac{k_T k_i}{J_{eq}} \quad (3-19)$$

แทนค่าจากตารางที่ 3-1 และค่าจากสมการที่หาได้
จะได้ว่า

$$k_i = \frac{\omega_n^2 J}{k_T} \quad (3-20)$$

$$\text{แทนค่าในสมการ } k_i = \frac{8^2 \times 19.8}{31.8198}$$

$$\text{ดังนั้น } k_i = 39.824$$

และจากสมการ

$$2\zeta\omega_n = \frac{k_T k_p}{J} \quad (3-21)$$

จะได้

$$k_p = \frac{2\zeta\omega_n \times J}{k_T} \quad (3-22)$$

$$\text{แทนค่าในสมการ } k_p = \frac{2 \times 8 \times 19.8}{31.8198}$$

$$\text{ดังนั้น } k_p = 9.9561$$

นำค่าที่คำนวณได้ไปแทนในโปรแกรม Simulink เพื่อหาค่ากระแสและทอร์ก

สรุป

จากการศึกษาการออกแบบจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรชนิด Permanent magnet synchronous motor โดยใช้โปรแกรม MATLAB/ Simulink ทำการศึกษากำลังงานและพลังงานในช่วงที่มอเตอร์กำลังเริ่มต้นสตาร์ทจนไปถึงขณะที่มอเตอร์เข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) และจนถึงช่วงเบรก ทำการตรวจวัดโดยใช้ตัว Scope ในโปรแกรม โดยทำการศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ 2 รูปแบบ คือ การเคลื่อนที่ขึ้นและการเคลื่อนที่ลง ให้น้ำหนักของโหลดมีการเปลี่ยนแปลง และให้ความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่ โดยทำการศึกษาในช่วงต่างๆ ขณะที่ลิฟต์มีการใช้งาน โดยนำข้อมูลไปใช้ในการประเมินปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และศึกษาผลประหยัดพลังงาน เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานของลิฟต์ได้ ซึ่งจะแสดงผลการศึกษาในบทที่ 4 ถัดไป

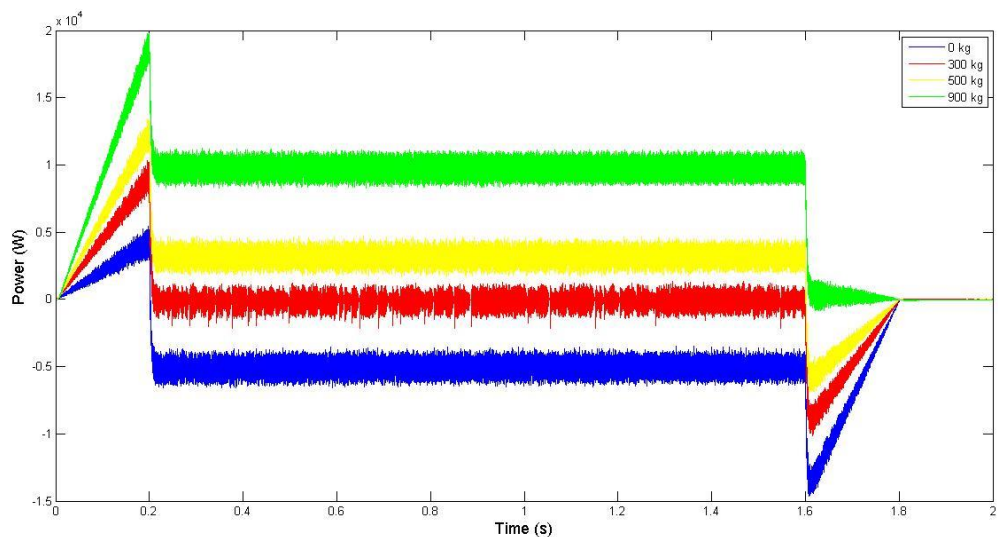
บทที่ 4

ผลการวิจัย

การศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ โดยมีการเปรียบเทียบ 2 รูปแบบ รูปแบบแรกคือ น้ำหนักของโหลดมีการเปลี่ยนแปลงและให้ความเร็วคงที่ โดยที่กำหนดให้ความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่ กำหนดให้ความเร็วของมอเตอร์เท่ากับ 160 rpm (ความเร็วลิฟต์ 100 m/ min)

กำหนดน้ำหนักของโหลดตั้งแต่ 0-900 kg และน้ำหนักของตู้ลิฟต์เท่ากับ 100 kg และน้ำหนักตุ้มถ่วงที่ใช้ในการถ่วงดุลน้ำหนักลิฟต์เพื่อช่วยไม่ให้มอเตอร์ต้องออกตัวแรงมีค่าเท่ากับ 400 kg ซึ่งคิดเป็น 40% ของผลรวมระหว่างน้ำหนักตู้ลิฟต์กับน้ำหนักพิคดโหลด เมื่อน้ำหนักของโหลดและตู้ลิฟต์มีค่าคงที่ที่ 1000 kg โดยลิฟต์จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 40-160 rpm และนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ไป ทำแบบจำลองใน โปรแกรม Matlab/ Simulink ซึ่งจะแสดงผลการวิจัยตามภาพและตารางในบทที่ 4

การเคลื่อนที่ขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงโหลด



ภาพที่ 4-1 กราฟของการใช้พลังงานขณะลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นที่มีโหลดแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4-1 แสดงค่ากำลังงานเมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 160 rpm จะเห็นได้ว่าในช่วงสตาร์ท (0-0.2 วินาที) ซึ่งลิฟต์จะใช้กำลังงานมากในการที่จะทำให้ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

หลังจากนั้นการใช้กำลังงานจะคงที่ (0.2-1.6 วินาที) จะแปรผันตามน้ำหนักของโหลด ถ้าโหลดมีค่ามาก ลิฟต์ก็จะใช้กำลังงานมาก ถ้าโหลดมีค่าน้อยลิฟต์ก็จะใช้กำลังงานน้อยหรือคืนพลังงาน (1.6-1.8 วินาที) ลิฟต์จะทำการเบรก ในช่วงนี้เองลิฟต์จะคืนพลังงาน (กราฟติดลบ) ถ้าโหลดมากการคืนพลังงานจะน้อย ถ้าโหลดน้อยการคืนพลังงานจะมาก

เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าพลังงาน ได้ทำการคำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละช่วงของการเคลื่อนที่ของลิฟต์ แล้วนำค่ามาเขียนลงในตารางที่ 4-1

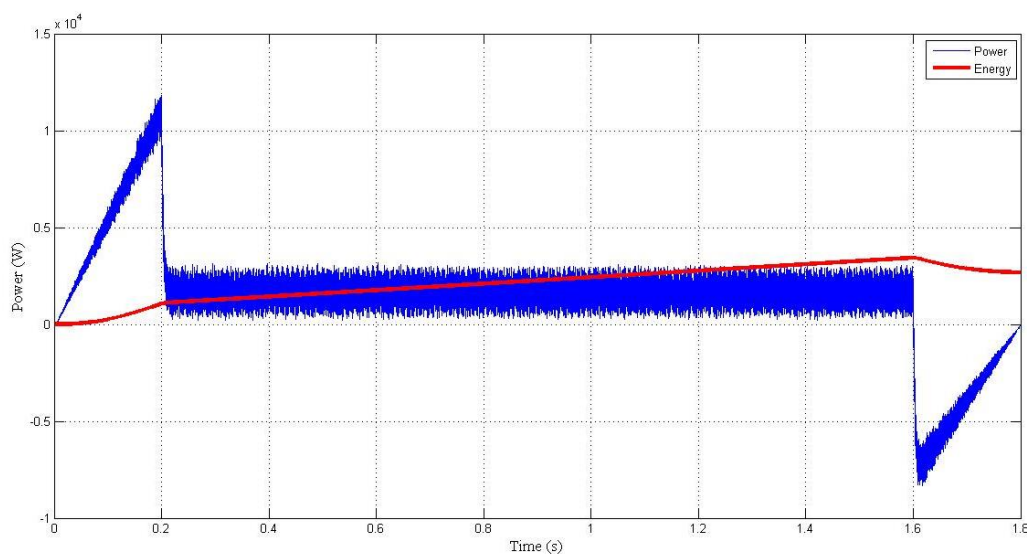
Energy start คือ การคิดค่าพลังงานในช่วงสตาร์ทของลิฟต์ คือ ช่วง 0-0.2 วินาที จะเห็นว่าพลังงานขณะสตาร์ทจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม โหลด ดังภาพที่ 4-1

Steady state energy คือ ค่าพลังงานที่ลิฟต์ใช้ในการเคลื่อนที่ในช่วง Steady state (0.2-1.6 วินาที) หาได้จากพลังงานจุด Break start ลบด้วยพลังงาน Energy start

Break start คือ ค่าพลังงานที่ลิฟต์ใช้ไปทั้งหมดตั้งแต่เริ่มจนถึงขณะลิฟต์กำลังจะเริ่มเบรก เมื่อเวลา 1.6 วินาที

Break end คือ ค่าพลังงานที่ลิฟต์ใช้ไปทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นจนเบรกเสร็จ ที่เวลา 1.8วินาที

Energy break คือ พลังงานที่ลิฟต์ใช้ในช่วงเบรก สามารถคำนวณได้จากพลังงาน Break endลบด้วยพลังงาน Break start พลังงานในช่วงเบรกมีค่าเป็นลบ คือ เป็นช่วงคืนพลังงาน ถ้าสามารถนำพลังงานในช่วงนี้มาเก็บแล้วเอาไปใช้แทนในช่วงสตาร์ทก็จะสามารถลดการใช้พลังงานของลิฟต์ลงได้



ภาพที่ 4-2 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างค่ากำลังงานและค่าพลังงาน

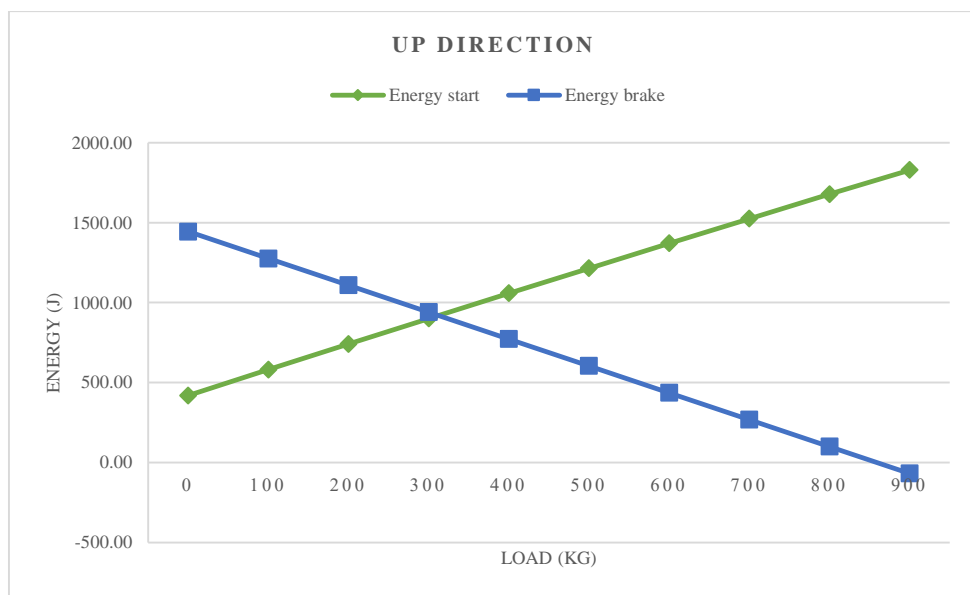
จากภาพที่ 4-2 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่ากำลังงาน (Power) คือเส้นสีน้ำเงิน กับค่าพลังงาน (Energy) คือ เส้นสีแดง สามารถอธิบายได้ว่า

Energy start คือ มีการใช้พลังงานเริ่มตั้งแต่จุด 0 วินาที ไปจนถึงหมดช่วง Transient ที่ 0.2 วินาที หรือเมื่อมอเตอร์มีความเร็วรอบคงที่ เช่น งานวิจัยนี้กำหนดความเร็วรอบ 160 rpm ซึ่งกราฟพลังงานเริ่มแรกความชันที่กราฟ (Slope) จะมีค่าเป็นบวกแสดงว่ามีการใช้พลังงาน หลังจากนั้นลิฟต์มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ การใช้พลังงานก็จะลดลง เนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงานในการต้านแรงเสียดทาน ทำให้กำลังคงที่ แต่กราฟพลังงานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากว่าพลังงาน คือ พื้นที่ใต้กราฟ ทำให้เกิดความชันที่กราฟพลังงาน มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ขึ้นอยู่กับระยะทางและเวลาในการเคลื่อนที่ เป็นการเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่อมาถึงจุดที่มอเตอร์เริ่มเบรกที่ 1.6 วินาที ความเร็วรอบมีค่าลดลง มอเตอร์จะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่ามอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบเพื่อต้านแรงเสียดทาน แต่ในกรณีนี้แรงที่ใช้มีทิศทางเดียวกับทิศของน้ำหนักตู้ลิฟต์ ทำให้ช่วงเบรกมีการกินพลังงาน กราฟกำลังจะอยู่ด้านล่างและกราฟพลังงาน มีความชันเป็นลบจนกระทั่งความเร็วรอบเป็นศูนย์ที่ 1.8 วินาที มอเตอร์ก็จะหยุดการทำงาน

ตารางที่ 4-1 การใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ในทิศทางเคลื่อนที่ขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงโหลด

Up Direction					
Load (kg)	Energy start (J)	Brake start (J)	Steady state energy (J)	Brake end (J)	Energy brake (J)
0	418.69	-6,671.05	-7,089.74	-8,114.71	-1,443.66
100	580.61	-4,199.95	-4,780.56	-5,475.70	-1,275.75
200	740.94	-1,731.18	-2,472.12	-2,838.93	-1,107.75
300	900.18	735.19	-164.99	-204.43	-939.62
400	1,058.13	3,199.47	2,141.34	2,427.83	-771.64
500	1,214.71	5,661.63	4,446.92	5,057.85	-603.78
600	1,370.27	8,121.19	6,750.92	7,685.61	-435.58
700	1,524.48	10,578.75	9,054.27	10,311.13	-267.62
800	1,677.30	13,034.04	11,356.74	12,934.39	-99.65
900	1,829.31	15,486.92	13,657.61	15,555.36	68.44

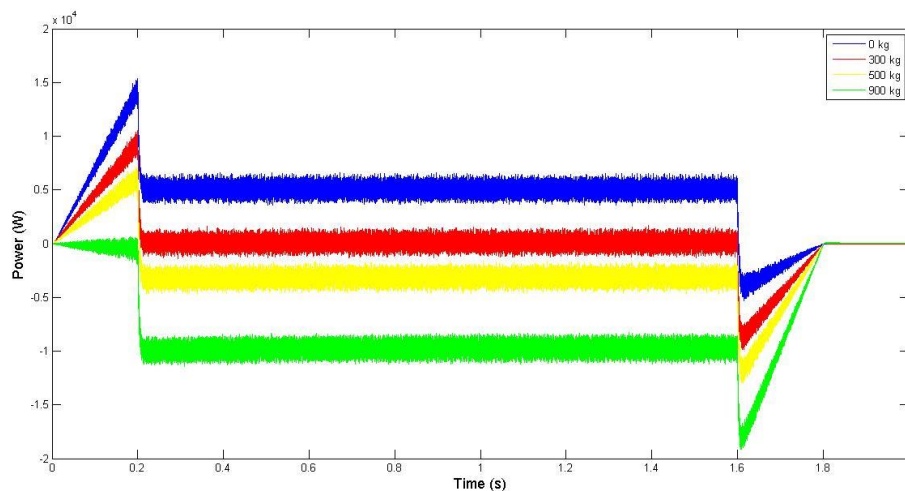
จากตารางที่ 4-1 สามารถกล่าวได้ว่าเมื่อมีการเคลื่อนที่ขึ้น และมีโหลดน้อยกว่า 400 kg การใช้งานพลังงานในช่วง Break end จะมีค่าติดลบ เป็นช่วงที่มีการคืนพลังงาน ช่วงนี้เองที่ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้ โดยนำพลังงานช่วงดังกล่าวมาเก็บในตัวเก็บประจุหรือแบตเตอรี่ แต่ ถ้าโหลดมีค่ามากกว่า 400 kg ลิฟต์จะมีการใช้พลังงานในขณะที่ตัวลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นทำให้ไม่มีการคืนพลังงานออกมา ก็จะไม่สามารถประหยัดพลังงานได้



ภาพที่ 4-3 การใช้งานพลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ในทิศทางเคลื่อนที่ขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลง โหลด

จากภาพที่ 4-3 ในกรณีที่โหลดมีค่าน้อยกว่า 400 kg พลังงานที่คืนออกมาในช่วงเบรกจะมีค่ามากกว่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในช่วงสตาร์ท (สีเขียว) ถ้าสามารถนำพลังงานที่คืนออกมา (สีน้ำเงิน) ในช่วงเบรกนำไปเก็บไว้แล้วนำไปใช้ในช่วงสตาร์ท ก็จะมีพลังงานเหลืออยู่ แต่ถ้าโหลดมีค่ามากกว่า 400 kg ขึ้นไป พลังงานในช่วงสตาร์ทจะมีค่ามากกว่าพลังงานที่คืนออกมาในช่วงเบรก เมื่อนำพลังงานในช่วงเบรกไปใช้ชดเชยในช่วงสตาร์ท ถือได้ว่าสามารถประหยัดพลังงานในช่วงสตาร์ทได้

การเคลื่อนที่ลงและมีการเปลี่ยนแปลงโหลด



ภาพที่ 4-4 กราฟของการใช้พลังงานขณะลิฟต์เคลื่อนที่ลงที่มีโหลดแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4-4 ถึงแม้ว่าจะเป็น การเคลื่อนที่ลง ในขณะที่ลิฟต์สตาร์ท ก็ยังคงมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง แต่ลักษณะการใช้พลังงานจะแปรผกผันกับ โหลด คือ ถ้ามีโหลดมีค่าน้อย การใช้พลังงานในช่วงสตาร์ทจะมีค่ามาก และถ้า โหลดมีค่ามาก การใช้พลังงานในช่วงสตาร์ทจะมีค่าน้อยที่เป็นในลักษณะนี้ เนื่องจากลิฟต์เคลื่อนที่ลง ซึ่งจะตรงข้ามกับลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

ในกรณีที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลง ถ้าน้ำหนักของ โหลดน้อยจะทำให้แรงดึงลงมีค่าน้อย ตัวมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนจะต้องออกแรงกด ซึ่งก็คือ ต้องออกแรงเพื่อดึงตัวคัมถ่วงขึ้น เพื่อให้ลิฟต์เคลื่อนที่ลงให้ได้ตามความเร็วที่กำหนด แต่ถ้า น้ำหนักของ โหลดมาก โหลดจะเป็นตัวช่วยในการดึงลิฟต์ลงทำให้มอเตอร์ออกแรงน้อยลง

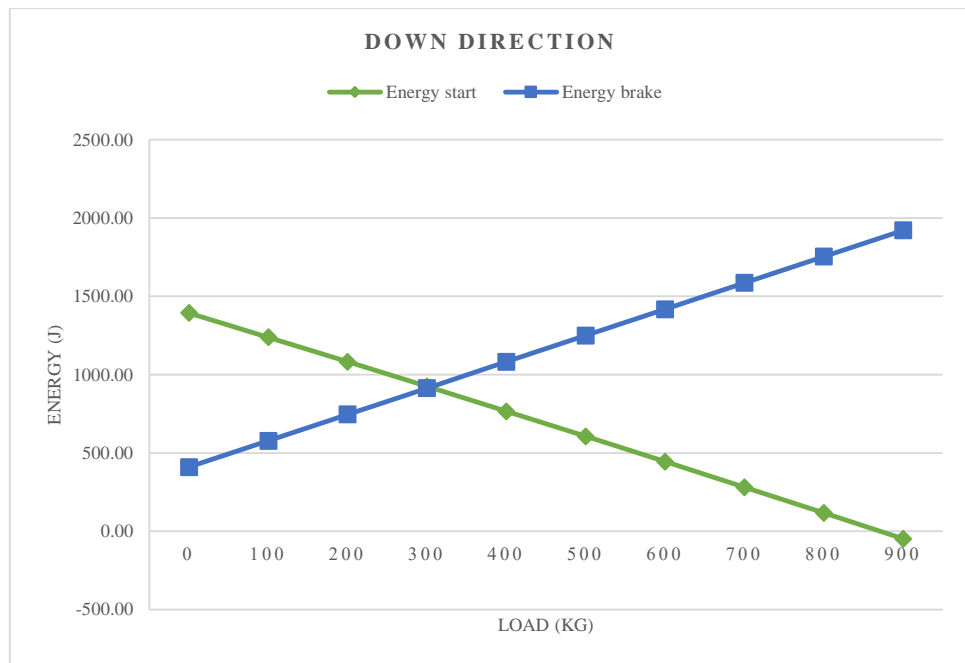
ในขณะที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลง (ในช่วง 0.2-1.6 วินาที) มอเตอร์จะใช้พลังงาน ในกรณีที่ โหลดน้อยกว่า 400 kg เช่น กรณี 0 kg และ 300 kg ดังภาพที่ 4-4 จะเห็นได้ว่าในช่วงนี้ค่ากำลังงาน มีค่าเป็นบวก และถ้า โหลดมีค่าตั้งแต่ 400 kg เช่น กรณี 500 kg และ 900 kg มอเตอร์จะกินพลังงาน ซึ่งจะเห็นได้จากการที่ค่าพลังงานในช่วงนี้มีค่าติดลบ และในช่วงเบรกมอเตอร์จะกินพลังงาน โดย ถ้า โหลดน้อย การกินพลังงานจะน้อย และถ้า โหลดมากการกินพลังงานจะมาก

ในการทำงานเดียวกันกับกรณีที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น พลังงานที่ถูกใช้ในแต่ละช่วงการทำงานจะถูกคำนวณ ซึ่งแสดงค่าในตารางที่ 4-2 และค่าการใช้พลังงานในช่วงสตาร์ทและช่วงเบรกจะถูก ดังภาพที่ 4-5

ตารางที่ 4-2 การใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ในทิศทางการเคลื่อนที่ลง โดยมีการเปลี่ยนแปลง โหลด

Down Direction					
Load (kg)	Energy start (J)	Brake start (J)	Steady state energy(J)	Brake end (J)	Energy brake (J)
0	1,394.15	8,502.08	7,107.93	8,092.57	-409.51
100	1,238.87	6,042.77	4,803.90	5,465.16	-577.61
200	1,082.50	3,580.97	2,498.47	2,835.48	-745.49
300	924.58	1,117.22	192.64	203.57	-913.65
400	765.57	-1,348.87	-2,114.44	-2,430.59	-1,081.72
500	605.47	-3,817.36	-4,422.83	-5,067.00	-1,249.64
600	443.88	-6,287.98	-6,731.86	-7,705.65	-1,417.67
700	281.13	-8,760.84	-9,041.97	-10,346.58	-1,585.73
800	117.32	-11,236.10	-11,353.42	-12,989.73	-1,753.64
900	-47.77	-13713.51	-13,665.74	-15,635.14	-1,921.63

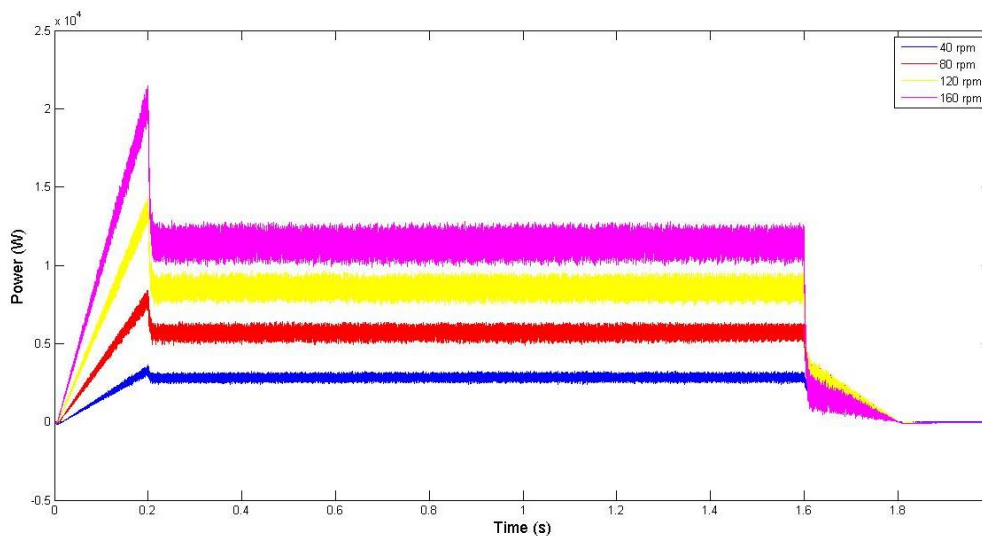
จากตารางที่ 4-2 สามารถกล่าวได้ว่าเมื่อมีการเคลื่อนที่ลง และมีโหลดมากกว่า 400 kg ในช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลงในช่วง Steady state (0.2-1.6 วินาที) จะมีการคืนพลังงาน ช่วงนี้เองที่ทำให้สามารถนำพลังงานที่คืนออกมาสะสมในอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน เช่น ตัวเก็บประจุและแบตเตอรี่ แล้วนำพลังงานที่เก็บได้ไปใช้ในเวลาที่ลิฟต์มีการใช้พลังงาน เช่น ลิฟต์เคลื่อนที่ลงและโหลดน้อยกว่า 400 kg ก็จะสามารประหยัดพลังงานได้



ภาพที่ 4-5 การใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์ในทิศทางการเคลื่อนที่ลง โดยมีการเปลี่ยนแปลงโหลด

จากภาพที่ 4-5 ในกรณีที่โหลดมีค่ามากกว่า 400 kg พลังงานในช่วงเบรกจะมีค่ามากกว่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในช่วงสตาร์ท (สีเขียว) ถ้าสามารถนำพลังงานที่คืนออกมา (สีน้ำเงิน) ในช่วงเบรคนำไปเก็บไว้แล้วนำไปใช้ในช่วงสตาร์ทได้ ก็จะมีพลังงานเหลืออยู่ในทางกลับกันถ้าโหลดมีค่าน้อยกว่า 400 kg ขึ้นไป พลังงานในช่วงสตาร์ทจะมีค่ามากกว่าพลังงานที่คืนออกมาในช่วงเบรกเมื่อนำพลังงานในช่วงเบรกไปใช้ชดเชยในช่วงสตาร์ท ถือได้ว่าสามารถประหยัดพลังงานในช่วงสตาร์ทได้

การเคลื่อนที่ขึ้นและมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว



ภาพที่ 4-6 กราฟของการใช้พลังงานขณะลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น ที่โหลดแตกต่างกัน

จากตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-6 จะเห็นได้ว่าความเร็วรอบส่งผลต่อการใช้พลังงานของมอเตอร์ ยิ่งความเร็วของลิฟต์มีค่าเพิ่มมากขึ้น การใช้พลังงานก็จะสูงขึ้นตาม ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$T = J \frac{d\omega}{dt} \quad (4-1)$$

เมื่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบมีค่ามากขึ้น มอเตอร์ก็ต้องออกแรงบิดมากขึ้น ส่งผลให้ใช้พลังงานสูงขึ้น

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้

งานวิจัยจะมีการจับเวลาการเคลื่อนที่ลิฟต์จริง เพื่อนำไปคำนวณหาผลการประหยัดพลังงาน โดยกำหนดลิฟต์ตัวอย่างที่จะทำการศึกษา ซึ่งผู้วิจัยเลือกลิฟต์ของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เป็นตัวอย่างในการประมาณการใช้งาน โดยประมาณจากช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของลิฟต์ในแต่ละชั้น เนื่องจากลักษณะการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์มีลักษณะคล้าย ๆ กัน แต่ปริมาณการใช้พลังงานขึ้นอยู่กับลักษณะของอาคาร ปริมาณการใช้งานลิฟต์ ช่วงเวลาและคุ่มถ่วง (Tukia, Uimonen, & Lethonen, 2016) ซึ่งแต่ละอาคารก็จะแตกต่างกัน ผู้วิจัย

จำเป็นต้องนำลิฟต์ตัวอย่างมาเพื่อทำการศึกษา ซึ่งแสดงเวลาที่ลิฟต์ตัวอย่างใช้ในการเคลื่อนที่ในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 เวลาที่ลิฟต์ตัวอย่าง (ดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา) ใช้ในการเคลื่อนที่

จำนวนชั้นที่เคลื่อนที่	เวลา (วินาที)
1	11.30
2	18.25
3	23.00
4	27.35
5	33.90
6	39.30
7	45.65
8	50.70

สำหรับช่วงที่ลิฟต์ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้น และเคลื่อนที่ลง (พิจารณาภาพที่ 4-1 และภาพที่ 4-4) ก็จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วงหลัก คือ 1) ช่วงลิฟต์สตาร์ท 2) ช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 3) ช่วงลิฟต์เบรก

ตัวอย่างที่ 1 ในกรณีมีผู้กดเรียกลิฟต์ที่ชั้น 5 จำนวน 5 คน ซึ่งมีน้ำหนักรวมประมาณ 400 kg ลิฟต์จะเคลื่อนที่จากชั้น 1 ด้วยโหลดจำนวน 0 คนจนถึงชั้น 5 และโดยสารคนลงสู่ชั้น 1 จำนวน 5 คน

ช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

1. ช่วงสตาร์ท

ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นจากชั้น 1 ไปยังชั้น 5 โดยไม่มีผู้โดยสาร จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์สตาร์ทใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์สตาร์ทเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงสตาร์ท เท่ากับ 418.69 J (ค่า Energy start ดังตารางที่ 4-1) จะมีค่าเท่ากับ

$$418.69 \times \left(\frac{1}{0.2} \right)^2 = 10467.25 \text{ J}$$

2. ช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

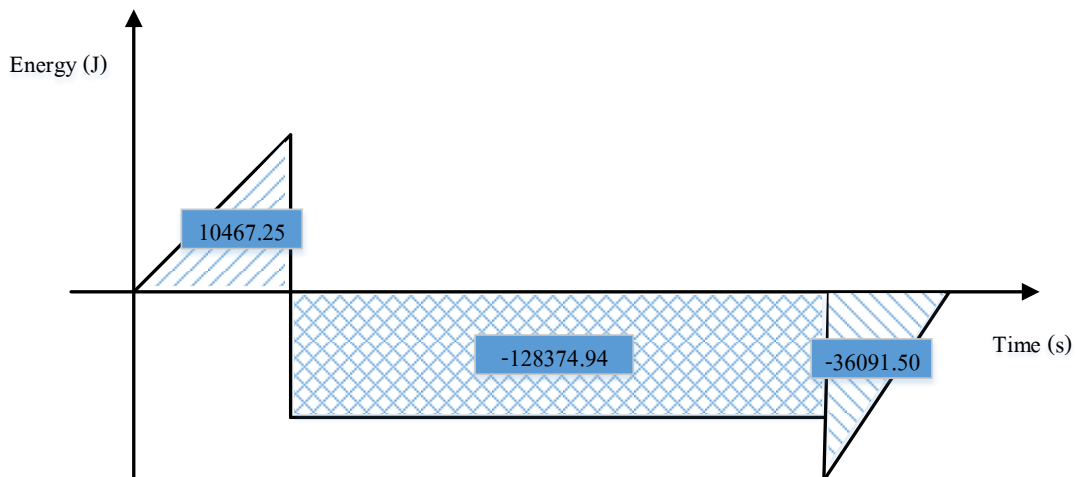
ในช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น จากการจำลองช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่ คือ 0.2-1.6 วินาที (ได้มาจากค่า Brake start ลบด้วยค่า Energy start นั่นก็คือ ค่า Steady state energy ดังตารางที่ 4-1) ถ้าโหลด 0 kg ลิฟต์เคลื่อนที่จำนวน 4 ชั้น จากตารางที่ 4-3 กำหนดให้ช่วงเวลาที่ลิฟต์เคลื่อนที่ใช้เวลา $27.35\text{s} - 2\text{s} = 25.35\text{s}$ โดยที่ลบ 2 วินาที คือ เวลาในช่วงสตาร์ทและเบรก ในช่วงที่ความเร็วของลิฟต์คงที่มีการใช้พลังงานเท่ากับ ช่วงความเร็วลิฟต์คงที่ เท่ากับ $1.6\text{s} - 0.2\text{s} = 1.4$ วินาที

จะได้ 1.4 s เท่ากับ $-6671.05 - 418.69 = -7089.74$ J

ดังนั้น 25.35 s เท่ากับ $\frac{-7089.74 \times 25.35}{1.4} = -128374.94$ J

3. ช่วงเบรก

ในช่วงนี้จะคิดในช่วงที่ลิฟต์เริ่มต้นเบรกไปจนถึงลิฟต์เบรกเสร็จจึ้น จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์เบรกใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์เบรกเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงเบรก เท่ากับ -1443.66 J (ค่า Energy brake ดังตารางที่ 4-1) จะมีค่าเท่ากับ $-1443.66 \times \left(\frac{1}{0.2}\right)^2 = -36091.50$ J การใช้พลังงานของลิฟต์เมื่อมีการเคลื่อนที่ขึ้น ดังภาพที่ 4-7



ภาพที่ 4-7 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น (ตัวอย่างที่ 1)

ช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ลง

1. ช่วงสตาร์ท

ลิฟต์เคลื่อนที่ลงจากชั้น 5 ลงสู่ชั้น 1 ด้วยโหลด 400 kg จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์สตาร์ทใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์สตาร์ทเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงสตาร์ท เท่ากับ 765.57 J (ค่า Energy start ดังตารางที่ 4-2) จะมีค่าเท่ากับ

$$765.57 \times \left(\frac{1}{0.2} \right)^2 = 19139.25 \text{ J}$$

2. ช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

ในช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลง จากการจำลองช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงที่ คือ 0.2-1.6 วินาที (ได้มาจากค่า Brake start ลบด้วยค่า Energy start นั่นก็คือ ค่า Steady state energy ดังตารางที่ 4-2) ถ้าโหลด 400 kg ลิฟต์เคลื่อนที่จำนวน 4 ชั้น จากตารางที่ 4-3 กำหนดให้ช่วงเวลาที่ลิฟต์เคลื่อนที่ใช้เวลา $27.35 \text{ s} - 2 \text{ s} = 25.35 \text{ s}$ โดยที่ลบ 2 วินาที คือ เวลาในช่วงสตาร์ทและเบรก ในช่วงที่ความเร็วของลิฟต์คงที่มีการใช้พลังงานเท่ากับช่วงความเร็วลิฟต์คงที่ เท่ากับ $1.6 \text{ s} - 0.2 \text{ s} = 1.4$ วินาที

จะได้ 1.4 s เท่ากับ $-1348.87 - 765.57 = -2114.44 \text{ J}$

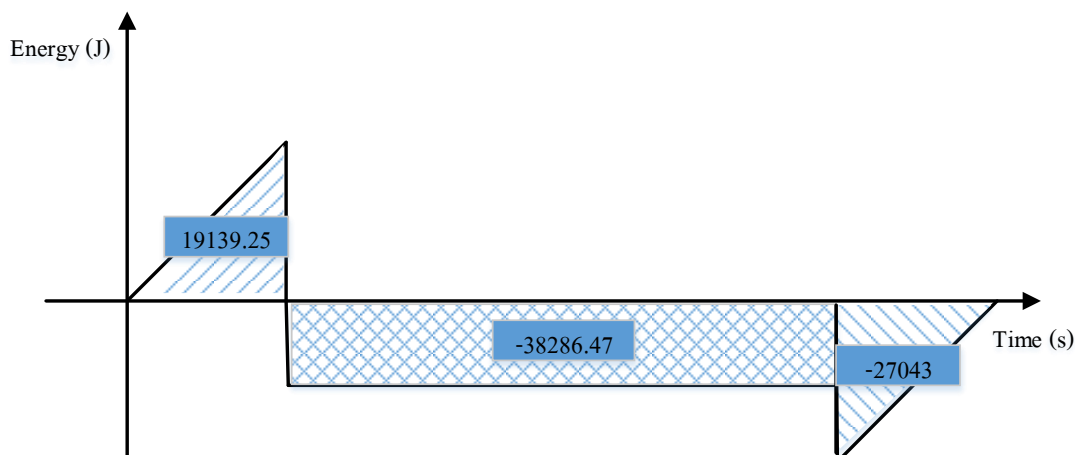
ดังนั้น 25.35 s เท่ากับ $\frac{-2114.44 \times 25.35}{1.4} = -38286.47 \text{ J}$

3. ช่วงเบรก

ในช่วงนี้จะคิดในช่วงที่ลิฟต์เริ่มต้นเบรกไปจนถึงลิฟต์เบรกเสร็จสิ้น จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์เบรกใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์เบรกเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงเบรก เท่ากับ -1081.72 J (ค่า Energy brake ดังตารางที่ 4-2) จะมีค่าเท่ากับ

$$-1081.72 \times \left(\frac{1}{0.2} \right)^2 = -27043 \text{ J}$$

การใช้พลังงานของลิฟต์เมื่อมีการเคลื่อนที่ลง ดังภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-8 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ลง (ตัวอย่างที่ 1)

เมื่อนำเอาพลังงานมาบวกกลับแล้วดูว่าการทำงานของลิฟต์ใน 1 รอบนั้น ลิฟต์ใช้พลังงานในช่วงขาขึ้นมีการคืนพลังงานเท่ากับ 153,999.19 J และลิฟต์ใช้พลังงานในช่วงขาลงมีการคืนพลังงานเท่ากับ 46,190.22 J ดังนั้นการทำงานของลิฟต์ในครั้งนี้จะไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกเลย และยังมีการคืนพลังงานเท่ากับ 200,189.41 J หรือคิดเป็น 55.608×10^{-3} kWh ซึ่งสามารถนำพลังงานส่วนที่เหลือเก็บไปชดเชยกับการใช้งานในครั้งถัดไป

ตัวอย่างที่ 2 ในกรณีที่ลิฟต์จอดหนึ่งที่ชั้น 4 เพื่อรอรับผู้โดยสาร มีผู้กดเรียกลิฟต์ที่ชั้น 9 เพื่อไปยังชั้น 1 จำนวน 7 คน ซึ่งมีน้ำหนักรวมประมาณ 500 kg ลิฟต์จะเคลื่อนที่จากชั้น 4 ด้วยโหลด จำนวน 0 คน จนถึงชั้น 9 และโดยสารคนลงสู่ชั้น 1

ช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

1. ช่วงสตาร์ท

ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นจากชั้น 4 ไปยังชั้น 9 โดยไม่มีผู้โดยสารจากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์สตาร์ทใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์สตาร์ทเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงสตาร์ท เท่ากับ 418.69 J (ค่า Energy start ดังตารางที่ 4-1) จะมีค่าเท่ากับ

$$418.69 \times \left(\frac{1}{0.2}\right)^2 = 10467.25 \text{ J}$$

2. ช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

ในช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น จากการจำลองช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่ คือ 0.2-1.6 วินาที (ได้มาจากค่า Brake start ลบด้วยค่า Energy start นั่นก็คือ ค่า Steady state energy

ดังตารางที่ 4-1) ถ้าโหลด 0 kg ลิฟต์เคลื่อนที่จำนวน 5 ชั้น จากตารางที่ 4-3 กำหนดให้ช่วงเวลาที่ลิฟต์เคลื่อนที่ใช้เวลา $33.90\text{s} - 2\text{s} = 31.90\text{s}$ โดยที่ลบ 2 วินาที คือ เวลาในช่วงสตาร์ทและเบรก ในช่วงที่ความเร็วของลิฟต์คงที่มีการใช้พลังงานเท่ากับ ช่วงความเร็วลิฟต์คงที่ เท่ากับ $1.6\text{s} - 0.2\text{s} = 1.4$ วินาที

จะได้ 1.4 s เท่ากับ $-6671.05 - 418.69 = -7089.74\text{ J}$

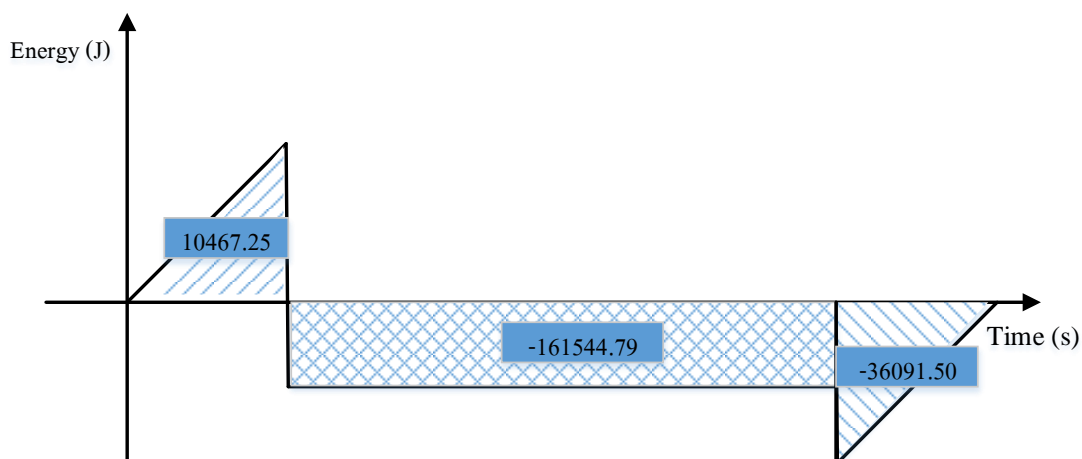
ดังนั้น 31.90 s เท่ากับ $\frac{-7089.74 \times 31.90}{1.4} = -161544.79\text{ J}$

3. ช่วงเบรก

หลังจากลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่ก่อนที่จะถึงชั้น 9 ในช่วงนี้จะคิดในช่วงที่ลิฟต์เริ่มต้นเบรกไปจนถึงลิฟต์เบรกเสร็จสิ้น จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์เบรกใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์เบรกเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงเบรกเท่ากับ

-1443.66 J (ค่า Energy brake ดังตารางที่ 4-1) จะมีค่าเท่ากับ $-1443.66 \times \left(\frac{1}{0.2}\right)^2 = -36091.50\text{ J}$

การใช้พลังงานของลิฟต์เมื่อมีการเคลื่อนที่ขึ้น ดังภาพที่ 4-9



ภาพที่ 4-9 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น (ตัวอย่างที่ 2)

ช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ลง

1. ช่วงสตาร์ท

ลิฟต์เคลื่อนที่ลงจากชั้น 9 ลงสู่ชั้น 1 ด้วยโหลด 500 kg จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์สตาร์ทใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์สตาร์ทเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงสตาร์ท เท่ากับ 605.47 J (ค่า Energy start ดังตารางที่ 4-2) จะมีค่าเท่ากับ

$$605.47 \times \left(\frac{1}{0.2} \right)^2 = 15136.75 \text{ J}$$

2. ช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

ในช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลง จากการจำลองช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงที่ คือ 0.2-1.6 วินาที (ได้มาจากค่า Brake start ลบด้วยค่า Energy start นั่นก็คือ ค่า Steady state energy ดังตารางที่ 4-2) ถ้าโหลด 500 kg ลิฟต์เคลื่อนที่จำนวน 8 ชั้น จากตารางที่ 4-3 กำหนดให้ช่วงเวลาที่ลิฟต์เคลื่อนที่ใช้เวลา $50.70 \text{ s} - 2 \text{ s} = 48.70 \text{ s}$ โดยที่ลบ 2 วินาที คือ เวลาในช่วงสตาร์ทและเบรก ในช่วงที่ความเร็วของลิฟต์คงที่มีการใช้พลังงานเท่ากับช่วงความเร็วลิฟต์คงที่ เท่ากับ $1.6 \text{ s} - 0.2 \text{ s} = 1.4$ วินาที

จะได้ 1.4 s เท่ากับ $-3817.36 - 605.47 = -4422.83 \text{ J}$

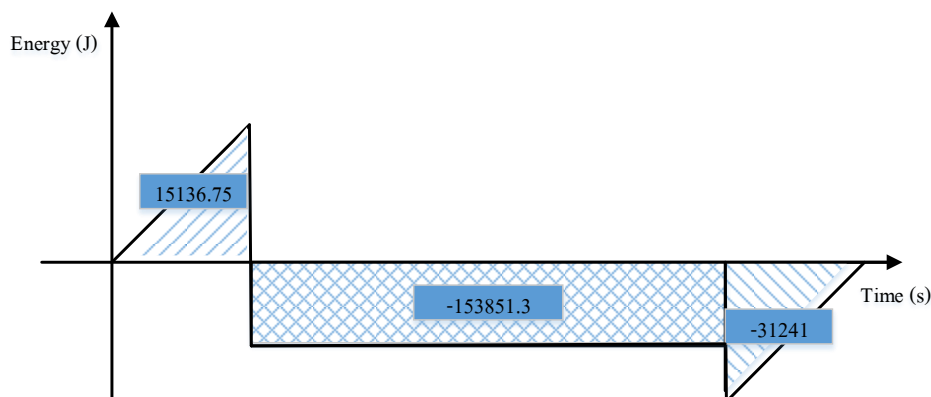
$$\text{ดังนั้น } 48.70 \text{ s เท่ากับ } \frac{-4422.83 \times 48.70}{1.4} = -153851.30 \text{ J}$$

3. ช่วงเบรก

หลังจากลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงที่ก่อนที่จะถึงชั้น 1 ในช่วงนี้จะคิดในช่วงที่ลิฟต์เริ่มต้นเบรกไปจนถึงลิฟต์เบรกเสร็จสิ้น จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์เบรกใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์เบรกเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงเบรก เท่ากับ

$$-1,249.64 \text{ J (ค่า Energy brake ดังตารางที่ 4-2) จะมีค่าเท่ากับ } -1249.64 \times \left(\frac{1}{0.2} \right)^2 = -31241 \text{ J}$$

การใช้พลังงานของลิฟต์เมื่อมีการเคลื่อนที่ลง ดังภาพที่ 4-10



ภาพที่ 4-10 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ลง (ตัวอย่างที่ 2)

เมื่อนำเอาพลังงานมาบวกกลับกันแล้วดูว่าการทำงานของลิฟต์ใน 1 รอบนั้น ลิฟต์กินพลังงานในช่วงขาขึ้นเท่ากับ 187,169.04 J และลิฟต์มีการคืนพลังงานในช่วงขาลงเท่ากับ 169,955.55 J ดังนั้นการทำงานของลิฟต์ในครั้งนี้ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากภายนอกเลย และยังมีพลังงานเหลือเก็บเท่ากับ 357,124.59 J หรือคิดเป็น 99.2012×10^{-3} kWh ซึ่งสามารถนำพลังงานส่วนที่เหลือเก็บไปชดเชยกับการใช้งานในครั้งต่อไป

ตัวอย่างที่ 3 มีผู้โดยสาร 8 คน มีน้ำหนักรวมประมาณ 600 kg กดเรียกลิฟต์ที่ชั้น 1 เพื่อไปยังชั้น 7 หลังจากลิฟต์โดยสารคนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ลิฟต์วิ่งผู้แปล่ากลับมาชั้น 1 เพื่อรอรับผู้โดยสารท่านอื่นต่อไป

ช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

1. ช่วงสตาร์ท

ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นจากชั้น 1 ไปยังชั้น 7 มีโหลด 600 kg จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์สตาร์ทใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์สตาร์ทเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงสตาร์ท เท่ากับ 1370.27 J (ค่า Energy start ดังตารางที่ 4-1) จะมีค่าเท่ากับ

$$1370.27 \times \left(\frac{1}{0.2}\right)^2 = 34256.75 \text{ J}$$

2. ช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

ในช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น จากการจำลองช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่ คือ 0.2-1.6 วินาที (ได้มาจากค่า Brake start ลบด้วยค่า Energy start นั่นก็คือ ค่า Steady state energy ดังตารางที่ 4-1) ถ้าโหลด 600 kg ลิฟต์เคลื่อนที่จำนวน 6 ชั้น จากตารางที่ 4-3 กำหนดให้ช่วงเวลาที่ลิฟต์เคลื่อนที่ใช้เวลา $39.30\text{s} - 2\text{s} = 37.30\text{s}$ โดยที่ลบ 2 วินาที คือ เวลาในช่วงสตาร์ทและเบรก

ในช่วงที่ความเร็วของลิฟต์คงที่มีการใช้พลังงานเท่ากับ ช่วงความเร็วลิฟต์คงที่ เท่ากับ $1.6s - 0.2s = 1.4$ วินาที

จะได้ 1.4 s เท่ากับ $8,121.19 - 1,370.27 = 6750.92$ J

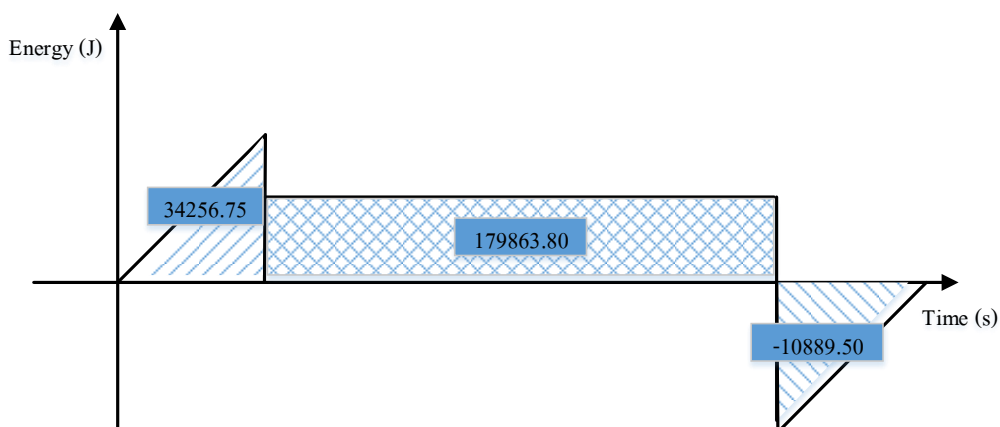
ดังนั้น 37.30 s เท่ากับ $\frac{6750.92 \times 37.30}{1.4} = 179863.80$ J

3. ช่วงเบรก

หลังจากลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่ก่อนที่จะถึงชั้น 7 ในช่วงนี้จะคิดในช่วงที่ลิฟต์เริ่มต้นเบรกไปจนถึงลิฟต์เบรกเสร็จสิ้น จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์เบรกใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์เบรกเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงเบรก เท่ากับ

-435.58 J (ค่า Energy brake ดังตารางที่ 4-1) จะมีค่าเท่ากับ $-435.58 \times \left(\frac{1}{0.2}\right)^2 = -10889.50$ J

การใช้พลังงานของลิฟต์เมื่อมีการเคลื่อนที่ขึ้น ดังภาพที่ 4-11



ภาพที่ 4-11 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น (ตัวอย่างที่ 3)

ช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ลง

1. ช่วงสตาร์ท

ลิฟต์เคลื่อนที่ลงจากชั้น 7 ลงสู่ชั้น 1 โดยไม่มีผู้โดยสาร จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์สตาร์ทใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์สตาร์ทเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงสตาร์ท เท่ากับ 1394.15 J (ค่า Energy start ดังตารางที่ 4-2) จะมีค่าเท่ากับ

$$1394.15 \times \left(\frac{1}{0.2} \right)^2 = 34853.75 \text{ J}$$

2. ช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

ในช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลง จากการจำลองช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงที่ คือ 0.2-1.6 วินาที (ได้มาจากค่า Brake start ลบด้วยค่า Energy start นั่นก็คือ ค่า Steady state energy ดังตารางที่ 4-2) โดยไม่มีโหลด ลิฟต์เคลื่อนที่จำนวน 6 ชั้น จากตารางที่ 4-3 กำหนดให้ช่วงเวลาที่ลิฟต์เคลื่อนที่ใช้เวลา $39.30 \text{ s} - 2 \text{ s} = 37.30 \text{ s}$ โดยที่ลบ 2 วินาที คือ เวลาในช่วงสตาร์ทและเบรก ในช่วงที่ความเร็วของลิฟต์คงที่มีการใช้พลังงานเท่ากับช่วงความเร็วลิฟต์คงที่ เท่ากับ $1.6 \text{ s} - 0.2 \text{ s} = 1.4$ วินาที

$$\text{จะได้ } 1.4 \text{ s เท่ากับ } 8502.08 - 1394.15 = 7107.93 \text{ J}$$

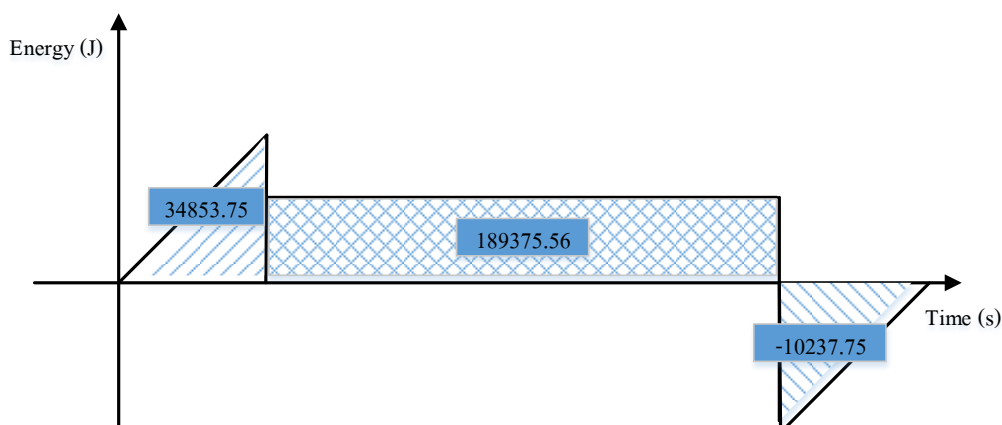
$$\text{ดังนั้น } 37.30 \text{ s เท่ากับ } \frac{7107.93 \times 37.30}{1.4} = 189375.56 \text{ J}$$

3. ช่วงเบรก

หลังจากลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงที่ก่อนที่จะถึงชั้น 1 ในช่วงนี้จะคิดในช่วงที่ลิฟต์เริ่มต้นเบรกไปจนถึงลิฟต์เบรกเสร็จสิ้น จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์เบรกใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์เบรกเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงเบรก เท่ากับ

$$-409.51 \text{ J (ค่า Energy brake ดังตารางที่ 4-2) จะมีค่าเท่ากับ } -409.51 \times \left(\frac{1}{0.2} \right)^2 = -10237.75 \text{ J}$$

การใช้พลังงานของลิฟต์เมื่อมีการเคลื่อนที่ลง ดังภาพที่ 4-12



ภาพที่ 4-12 การใช้พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ลง (ตัวอย่างที่ 3)

เมื่อนำเอาพลังงานมาบวกกลับกัน แล้วดูว่าการทำงานของลิฟต์ใน 1 รอบนั้น ลิฟต์ใช้พลังงานในช่วงขาขึ้นเท่ากับ 203,231.05 J และลิฟต์ใช้พลังงานในช่วงขาลงเท่ากับ 213,991.56 J ดังนั้นการทำงานของลิฟต์ในครั้งนี้จะไม่มีพลังงานเหลือเก็บ มีการใช้พลังงานเท่ากับ 417,222.61 J หรือคิดเป็น 115.89×10^{-3} kWh พลังงานในช่วงเบรกที่ติดลบโดยปกติจะถูกเผาทิ้งในระบบเบรกของลิฟต์ แต่ถ้านำมาเก็บได้จะสามารถประหยัดพลังงานไปได้ 21,127.3 J

กำหนดให้ค่าพลังงาน (Energy) ถ้ามีค่าเป็นบวก หมายถึง มีการใช้พลังงาน (Energy Consumed) และถ้ามีค่าติดลบ หมายถึง มีการคืนพลังงาน (Energy Regenerated) ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 สรุปตัวอย่างการคำนวณหาค่าพลังงานที่ประหยัดได้

Example	Direction	Level	Passenger (Persons)	Energy (J)	Energy saving (J)	Sum energy (J)
1	Up	4	0	10,467.25 -164,466.44	-153,999.19	-200,189.41
	Down	4	5	19,139.25 -65,329.47	-46,190.22	
2	Up	5	0	10,467.25 -197,636.29	-187,169.04	-357,124.59
	Down	8	7	15,136.75 -18,5092.3	-169,955.55	
3	Up	6	8	214,120.55 -10,889.50	203,231.05	417,222.61
	Down	6	0	224,229.31 -10,237.75	213,991.56	

จากตารางที่ 4-4 เป็นตารางสรุปตัวอย่างข้างต้น แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของลิฟต์ (Direction) จำนวนชั้นที่ลิฟต์เคลื่อนที่ (Level) นอกจากนี้ยังแสดงค่าการใช้พลังงาน (Energy consumed) การคืนพลังงาน (Energy regenerated) และผลรวมการใช้พลังงานทั้งหมด (Sum Energy) ถ้าผลรวมการใช้พลังงานเป็นลบ แสดงว่าพลังงานที่คืนมีค่ามากกว่าพลังงานที่ถูกนำมาใช้

จากแหล่งจ่าย ถ้าผลรวมการใช้พลังงานเป็นบวก แสดงว่าพลังงานที่คืนมีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ถูกนำมาใช้จากแหล่งจ่าย ถึงแม้ว่าผลรวมของพลังงานจะเป็นบวกแต่ก็ยังมีภาระประหยัดพลังงาน เนื่องจากส่วนพลังงานที่คืนมาโดยปกติแล้วจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน โดยไม่ได้ใช้ประโยชน์แต่ในกรณีนี้ถูกนำกลับไปใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์ถือได้ว่าพลังงานที่ถูกคืนเป็นพลังงานที่ประหยัดได้

การหาค่าพลังงานที่ลิฟต์คืนพลังงานได้สูงสุดและใช้พลังงานสูงสุด

1. การหาค่าพลังงานที่ลิฟต์คืนพลังงานได้สูงสุด

พิจารณาเปรียบเทียบตารางการใช้พลังงานของลิฟต์ในทิศทางขึ้นและลง ดังตารางที่ 4-1 และ 4-2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ช่วงที่ลิฟต์มีการคืนพลังงานสูงในขณะที่มีการใช้พลังงานต่ำ คือ ช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลง และมีโหลดเต็มพิกัด (Full load = 900 kg) จะทำให้เกิดการคืนพลังงานสูงสุดและใช้พลังงานต่ำสุด กำหนดให้ลิฟต์เคลื่อนที่ลงจากชั้น 9 ลงสู่ชั้น 1 ซึ่งใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่มากที่สุดตามลิฟต์ตัวอย่างของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

1.1 ช่วงสตาร์ท

จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์สตาร์ทใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์สตาร์ทเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงสตาร์ท เท่ากับ -47.77 J (ค่า Energy start

$$\text{ดังตารางที่ 4-2) จะมีค่าเท่ากับ } -47.77 \times \left(\frac{1}{0.2}\right)^2 = -1194.25 \text{ J}$$

1.2 ช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

ในช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลง จากการจำลองช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงที่ คือ 0.2-1.6 วินาที (ได้มาจากค่า Brake start ลบด้วยค่า Energy start นั่นก็คือ ค่า Steady state energy ดังตารางที่ 4-2) โดยไม่มีโหลด ลิฟต์เคลื่อนที่จำนวน 8 ชั้น จากตารางที่ 4-3 กำหนดให้ช่วงเวลาที่ลิฟต์เคลื่อนที่ใช้เวลา $50.70 \text{ s} - 2 \text{ s} = 48.70 \text{ s}$ โดยที่ลบ 2 วินาที คือ เวลาในช่วงสตาร์ทและเบรก ในช่วงที่ความเร็วของลิฟต์คงที่มีการใช้พลังงานเท่ากับช่วงความเร็วลิฟต์คงที่ เท่ากับ $1.6 \text{ s} - 0.2 \text{ s} = 1.4$ วินาที

$$\text{จะได้ } 1.4 \text{ s เท่ากับ } -13713.51 - (-47.77) = -13665.74 \text{ J}$$

$$\text{ดังนั้น } 48.70 \text{ s เท่ากับ } \frac{-13665.74 \times 48.70}{1.4} = -475372.53 \text{ J}$$

1.3 ช่วงเบรก

หลังจากลิฟต์เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วคงที่ก่อนที่จะถึงชั้น 1 ในช่วงนี้จะคิดในช่วงที่ลิฟต์เริ่มต้นเบรกไปจนถึงลิฟต์เบรกเสร็จสิ้น จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์เบรกใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์เบรกเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงเบรก เท่ากับ

$$-1921.63 \text{ J (ค่า Energy brake ดังตารางที่ 4-2) จะมีค่าเท่ากับ } -1921.63 \times \left(\frac{1}{0.2}\right)^2 = -48040.75 \text{ J}$$

จากการศึกษาพบว่า ลิฟต์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จะสามารถคืนพลังงานสูงสุด ในช่วงที่ลิฟต์มีการเคลื่อนที่ลงและโหลดเต็มพิกัด มีการคืนพลังงานเท่ากับ 524,607.53 J หรือคิดเป็น $145.724 \times 10^{-3} \text{ kWh}$

2. การหาค่าพลังงานที่ลิฟต์ใช้สูงสุด

พิจารณาเปรียบเทียบตารางการใช้พลังงานของลิฟต์ในทิศทางขึ้นและลง ดังตารางที่ 4-1 และ 4-2 ตามลำดับ ช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น และมีโหลดเต็มพิกัด (Full load = 900 kg) จะใช้พลังงานสูงสุดหรือสามารถคืนพลังงานได้ต่ำสุด กำหนดให้ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นจากชั้น 1 ไปยังชั้น 9 ซึ่งใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่มากที่สุดตามลิฟต์ตัวอย่างของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

2.1 ช่วงสตาร์ท

จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์สตาร์ทใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์สตาร์ทเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงสตาร์ท เท่ากับ 1,829.31 J (ค่า Energy start

$$\text{ดังตารางที่ 4-1) จะมีค่าเท่ากับ } 1829.31 \times \left(\frac{1}{0.2}\right)^2 = 45732.75 \text{ J}$$

2.2 ช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

ในช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น จากการจำลองช่วงที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่ คือ 0.2-1.6 วินาที (ได้มาจากค่า Brake start ลบด้วยค่า Energy start นั่นก็คือ ค่า Steady state energy ดังตารางที่ 4-1) ถ้าโหลด 900 kg ลิฟต์เคลื่อนที่จำนวน 8 ชั้น จากตารางที่ 4-3 กำหนดให้ช่วงเวลาที่ลิฟต์เคลื่อนที่ใช้เวลา $50.70 \text{ s} - 2 \text{ s} = 48.70 \text{ s}$ โดยที่ลบ 2 วินาที คือ เวลาในช่วงสตาร์ทและเบรก ในช่วงที่ความเร็วของลิฟต์คงที่มีการใช้พลังงานเท่ากับช่วงความเร็วลิฟต์คงที่ เท่ากับ $1.6 \text{ s} - 0.2 \text{ s} = 1.4 \text{ วินาที}$

$$\text{จะได้ } 1.4 \text{ s เท่ากับ } 15,486.92 - 1,829.31 = 13,657.61 \text{ J}$$

$$\text{ดังนั้น } 48.70 \text{ s เท่ากับ } \frac{13657.61 \times 48.70}{1.4} = 475089.72 \text{ J}$$

2.3 ช่วงเบรก

หลังจากลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วคงที่ก่อนที่จะถึงชั้น 9 ในช่วงนี้จะคิดในช่วงที่ลิฟต์เริ่มต้นเบรกไปจนถึงลิฟต์เบรกเสร็จสิ้น จากการทำการจำลองช่วงที่ลิฟต์เบรกใช้เวลา 0.2 วินาที ในตัวอย่างนี้กำหนดให้เวลาในช่วงลิฟต์เบรกเป็น 1 วินาที ซึ่งพลังงานในช่วงเบรก เท่ากับ

$$68.44 \text{ J (ค่า Energy brake ดังตารางที่ 4-1) จะมีค่าเท่ากับ } 68.44 \times \left(\frac{1}{0.2}\right)^2 = 1711 \text{ J}$$

จากการศึกษาพบว่า ลิฟต์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จะมีการใช้พลังงานสูงสุด ในช่วงที่ลิฟต์มีการเคลื่อนที่ขึ้นและมีโหลดเต็มพิกัด มีการใช้พลังงานเท่ากับ 522,533.47 J หรือคิดเป็น $145.724 \times 10^{-3} \text{ kWh}$

ตารางที่ 4-5 สรุปการหาค่าพลังงานที่ลิฟต์คืนพลังงานได้สูงสุดและใช้พลังงานสูงสุด

Example	Direction	Energy (J)
Energy regenerated	Down	-524607.53
Energy consumed	Up	522533.47

จากตารางที่ 4-5 สามารถอธิบายได้ว่า ลิฟต์จะสามารถคืนพลังงานได้สูง เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ลงและมีโหลดเต็มพิกัด (Full load = 900 kg) เท่ากับ -524,607.53 J สำหรับลิฟต์จะมีการใช้พลังงานมากที่สุด เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นและมีโหลดเต็มพิกัด (Full load = 900 kg) เท่ากับ 522,533.47 J

สำหรับแนวทางในการประหยัดพลังงานของลิฟต์ โดยทั่วไปลิฟต์จะใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V 17 Ah จำนวน 8 ก้อน เพื่อจ่ายพลังงานในกรณีฉุกเฉิน ไฟดับ แบตเตอรี่นี้สามารถคำนวณพลังงานเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงได้ 0.204 กิโลวัตต์ชั่วโมง และแปลงเป็นพลังงานได้ 734,400 J ดังนั้น แบตเตอรี่ 1 ก้อน ก็เพียงพอสำหรับการเก็บพลังงานใน 1 รอบการเคลื่อนที่ แต่ว่าการคำนวณ แบตเตอรี่ของระบบไม่ได้คิดจากพลังงานในส่วนนี้เท่านั้น ยังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อจำนวนของ แบตเตอรี่อีกด้วย เช่น กระแสขณะสตาร์ท งบประมาณ เป็นต้น การประยุกต์ใช้จริงไม่ได้ทำเพื่อเอาพลังงานกลับมาใช้โดยตรง แต่สามารถนำพลังงานมาเชื่อมต่อขณะสตาร์ท การทำงานกับกริดแล้ว นำพลังงานที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่เป็นตัวช่วยสำหรับทำให้ลิฟต์เคลื่อนที่ (Shreelakshmi, & Agarwal, 2013) การทำเช่นนี้จะสามารถใช้งานได้จริง

ดังนั้นงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการศึกษาและออกแบบจำนวนและขนาดของแบตเตอรี่ แต่สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับอุปกรณ์เก็บกักพลังงาน (Energy storage) การออกแบบแบตเตอรี่สำหรับระบบขึ้นอยู่กับงบประมาณ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปคำนวณพลังงานที่อาจจะประหยัดได้ เมื่อใช้กับระบบ Regenerative elevator และเมื่อรู้ลักษณะการใช้งานลิฟต์

สรุป

การใช้พลังงานของลิฟต์ขึ้นอยู่กับโหลด และปริมาณการใช้งานลิฟต์ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างชั้นที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นลงจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่ง คำนึงถึงสถานะเริ่มต้นของตู้ลิฟต์ว่าจอดรับผู้โดยสารชั้นไหน ผู้โดยสารกดอยู่ชั้นไหน และจำนวนโหลดเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักตู้ลิฟต์และตุ้มน้ำหนักรวมกัน จะเห็นได้ว่าหากมีการเก็บพลังงานตามที่แสดงในตัวอย่างข้างต้น ในบางช่วงลิฟต์ไม่จำเป็นต้องนำพลังงานจากภายนอกมาใช้ ถ้ามีการพัฒนาแหล่งเก็บพลังงานในอนาคต ลิฟต์อาจจะไม่จำเป็นต้องต่อกับแหล่งพลังงานจากภายนอก หรืออาจจะกลายเป็นแหล่งผลิตพลังงานรูปแบบใหม่ในอนาคต

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ลิฟต์เป็นพาหนะที่มนุษย์ใช้โดยสารขึ้นลงอาคารสูง ตลอดอายุการใช้งานของลิฟต์จะมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง ในภาวะการขึ้นที่อาคารสูงมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ลิฟต์จึงมีความสำคัญอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยลิฟต์จะมีการทำงานโดยมีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งระบบการขับเคลื่อนของมอเตอร์จะมีทั้งใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟและกินพลังงานเมื่อเบรก ในปัจจุบันพลังงานที่กินออกมาจะถูกเผาทิ้งไปในตัวด้านทาน หากว่าสามารถหาวิธีที่จะนำพลังงานเหล่านี้ไปเก็บและสามารถนำออกมาใช้ในเวลาที่เหมาะสมหรือช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด นั่นคือ ช่วงสตาร์ทของมอเตอร์ซึ่งเป็นช่วงที่มอเตอร์กำลังเริ่มต้นการทำงาน จะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้

ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำโปรแกรม MATLAB/ Simulink เพื่อนำมาศึกษาและจำลองการทำงานของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวร โดยทำการศึกษาการใช้พลังงานของมอเตอร์ลิฟต์มีการเปรียบเทียบ 2 รูปแบบ คือ การเคลื่อนที่ขึ้นและการเคลื่อนที่ลง ให้น้ำหนักของโหลดมีการเปลี่ยนแปลง กำหนดน้ำหนักของโหลดตั้งแต่ 0-900 kg และให้ความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่กำหนดให้ความเร็วเท่ากับ 160 rpm (100 m/ min) ให้น้ำหนักของตู้ลิฟต์เท่ากับ 100 kg และน้ำหนักตุ้มถ่วงจะเท่ากับ 400 kg ซึ่งคิดเป็น 40% ของผลรวมระหว่างน้ำหนักตู้ลิฟต์กับน้ำหนักพิคัดโหลด

เมื่อน้ำหนักของโหลดรวมกับตู้ลิฟต์มีค่าคงที่ที่ 1,000 kg และมีการคำนวณหาค่าพลังงานในแต่ละช่วงของการเคลื่อนที่ของลิฟต์ เช่น พลังงานในช่วงสตาร์ท (Energy start) พลังงานช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ (Steady state energy) พลังงานในช่วงมอเตอร์เบรก (Energy Break) ตามลำดับ

ผลการวิจัยพบว่า ในระหว่างที่ลิฟต์กำลังเคลื่อนที่ขึ้นจะมีการใช้กำลังงานไฟฟ้าในช่วงสตาร์ทสูง จะแปรผันตามน้ำหนักของ โหลด ถ้าโหลดมีค่ามาก ลิฟต์ก็จะใช้กำลังงานมาก ถ้าโหลดมีค่าน้อยลิฟต์ก็จะใช้กำลังงานน้อยหรือกินพลังงาน หลังจากนั้นการใช้กำลังงานจะคงที่ (Steady state energy) ซึ่งแปรผันตามน้ำหนักลิฟต์เหมือนกับช่วงสตาร์ท ในช่วงนี้เองเมื่อลิฟต์ทำการเบรก ลิฟต์ก็จะกินพลังงาน ถ้าโหลดมากการกินพลังงานจะน้อย ถ้าโหลดน้อยการกินพลังงานจะมาก

สำหรับการเคลื่อนที่ลง ในขณะที่ลิฟต์สตาร์ท ก็ยังคงมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง แต่ลักษณะการใช้พลังงานจะแปรผกผันกับ โหลด คือ ถ้ามีโหลดมีค่าน้อย การใช้พลังงานในช่วงสตาร์ทจะมีค่ามาก และถ้าโหลดมีค่ามาก การใช้พลังงานในช่วงสตาร์ทจะมีค่าน้อยที่เป็นในลักษณะ

นี้ เนื่องจากลิฟต์เคลื่อนที่ลง หลังจากนั้นการใช้กำลังงานจะคงที่ (Steady state energy) ซึ่งแปรผันตามน้ำหนักลิฟต์ลักษณะเดียวกับช่วงสตาร์ทก่อนที่ลิฟต์จะทำการเบรก ซึ่งลิฟต์จะมีการคืนพลังงาน ถ้าโหลดมากกว่าการคืนพลังงานจะมาก แต่ถ้าโหลดน้อยกว่าการคืนพลังงานก็จะน้อยตามไปด้วย ซึ่งลักษณะของการคืนพลังงานของการเคลื่อนที่ลงนี้จะตรงข้ามกับลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น

เนื่องจากการวิจัยนี้กำหนดให้ตุ้มถ่วงมีน้ำหนัก 400 kg ตุ้มถ่วงนี้เองจึงมีความสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของลิฟต์ ทั้งในช่วงเบรกและสตาร์ทของมอเตอร์ เพราะถ้าน้ำหนักของตุ้มลิฟต์และตุ้มถ่วงมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผู้โดยสารรวมกับน้ำหนักของตุ้มลิฟต์ จะทำให้ลิฟต์มีความสมดุลระดับหนึ่ง จากผลการวิจัยจะพบว่า ถ้าเป็นการเคลื่อนที่ขึ้น ถ้าโหลดมีค่าน้อยกว่า 400 kg พลังงานที่คืนออกมาในช่วงเบรกจะมีค่ามากกว่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในช่วงสตาร์ท แต่ถ้าโหลดมีค่ามากกว่า 400 kg ขึ้นไป พลังงานในช่วงสตาร์ทจะมีค่ามากกว่าพลังงานที่คืนออกมาในช่วงเบรก และในช่วง Steady state หรือในช่วงที่ลิฟต์วิ่งด้วยความเร็วคงที่ จะพบว่าถ้าน้ำหนักของโหลดน้อยกว่า 400 kg ก็จะเป็นช่วงที่มีการคืนพลังงานด้วย

ถ้าเป็นการเคลื่อนที่ลง ถ้าโหลดมีค่ามากกว่า 400 kg พลังงานที่คืนในช่วงเบรกจะมีค่ามากกว่าพลังงานที่ถูกใช้ไปในช่วงสตาร์ท ในทางกลับกันถ้าโหลดมีค่าน้อยกว่า 400 kg ขึ้นไป พลังงานที่คืนในช่วงเบรกจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานที่คืนออกมาในช่วงสตาร์ท แต่ถ้านำพลังงานในช่วงเบรกไปใช้ชดเชยในช่วงสตาร์ท ถือได้ว่าสามารถประหยัดพลังงานในช่วงสตาร์ทได้

นอกจากนั้นยังได้แสดงตัวอย่างที่ได้ทำการคำนวณหาพลังงานที่ประหยัดได้ โดยใช้กรณีศึกษาจากลิฟต์ของตึกคณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.บูรพา ผลการศึกษพบว่า การใช้พลังงานของลิฟต์ขึ้นอยู่กับโหลด (จำนวนคนในการใช้ลิฟต์แต่ละครั้ง) และความถี่ในการใช้งานลิฟต์ซึ่งตรงกับงานวิจัย Evaluating and improving the Energy Efficiency of counterbalanced Elevators based on Passenger Traffic (Tukia, Uimonen, & Lethonen, 2016) และระยะทางที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นลง ทำให้ค่าการใช้พลังงานในการใช้ลิฟต์แต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกัน แสดงในตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 (ตัวอย่างในบทที่ 4) เนื่องจากผู้โดยสารมีจำนวนไม่มาก มีโหลดน้อย และในช่วงลิฟต์เคลื่อนที่ลงลิฟต์โดยสารผู้เปล่า ทำให้ลิฟต์ไม่มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานจากภายนอก และมีพลังงานที่เหลือจากการเก็บไปชดเชยกับการใช้งานครั้งถัดไปได้ และตัวอย่างที่ 3 (ตัวอย่างในบทที่ 4) จะเห็นว่าลิฟต์มีผู้โดยสารจำนวนมาก ทำให้มีโหลดมาก และระยะทางในการเคลื่อนที่ลิฟต์ไกล อย่างไรก็ตามขณะลิฟต์มีการเบรกจะมีการคืนพลังงาน ถึงแม้ว่าจะมีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ถูกใช้ในช่วงสตาร์ท และช่วง Steady state ทำให้พลังงานที่คืนออกมาในช่วงเบรกมีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ใช้ไปในช่วงที่ถูกใช้ในช่วงสตาร์ทและช่วง Steady state จึงไม่มีพลังงานเหลือเก็บ แต่ยังคงถือว่ามีการประหยัดพลังงานเกิดขึ้น เนื่องจากพลังงานในช่วงเบรกสามารถนำมาชดเชยในช่วงสตาร์ทได้ส่วนหนึ่ง

สำหรับการหาค่าพลังงานที่ลิฟต์คืนพลังงานได้สูงสุด เมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ลงและมีโหลดเต็มพิกัด (Full load = 900 kg) และใช้พลังงานสูงสุดเมื่อลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นและมีโหลดเต็มพิกัด (Full load = 900 kg)

จากผลวิจัยดังกล่าวข้างต้นจะสรุปได้ว่า ในบางช่วงลิฟต์ไม่จำเป็นที่จะต้องนำพลังงานจากภายนอกมาใช้ ถ้ามีการพัฒนาแหล่งเก็บพลังงานในอนาคต ลิฟต์อาจจะไม่จำเป็นต้องต่อกับแหล่งพลังงานจากภายนอก

ข้อเสนอแนะ

ถ้ามีเครื่องมือที่สามารถวัดค่ากำลังงานที่ลิฟต์ใช้ได้จริงและมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บพลังงาน จะช่วยให้สามารถทำการประเมินผลการประหยัดพลังงานได้อย่างถูกต้อง หากมีการนำไปพัฒนาและศึกษาต่อเพื่อสร้างอุปกรณ์กักเก็บพลังงานที่ลิฟต์คืนพลังงานออกมาได้ทั้งหมด ลิฟต์ก็อาจจะกลายเป็นแหล่งผลิตพลังงานรูปแบบใหม่ในอนาคต

บรรณานุกรม

- ชนิศร์ พันธุ์ประยูร. (2555). *การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟในระบบลิฟต์*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- บริษัท สยามอีตาซี เอลเลเวเตอร์ จำกัด. (2558, 19 สิงหาคม). Basic Elevator Training Handouts.
- ระบบลิฟต์และการอนุรักษ์พลังงาน. (2558). เข้าถึงได้จาก <http://ienergyguru.com/2015/11/energy-conservation-of-lift/>
- วีระเชษฐ ชันเงิน และวุฒิพล ชาราธิรเศรษฐ์. (2557). *อิเล็กทรอนิกส์กำลัง* (พิมพ์ครั้งที่ 14). กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินต์.
- วิศรุดา สุภรังสรรค์. (2558). ระบบขับเคลื่อนเชิงโรตัสแม่เหล็กถาวร. *การขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า (Electric Drives)*, 6-7.
- สิทธิชัย กันทะวงศ์. (2556). *การจำลองชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีรีเจนเนอเรทีฟ*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สำรวจโลก.(2561). ลิฟต์เข้ามาในประเทศไทยครั้งแรก. เข้าถึงได้จาก <https://www.facebook.com/samrujlok/photos/a.478177772225.261896.146609607225/10156151671002226/?type=3&theater>
- Ahmed, A. M., Elksasy, M. S., Ali-Eldin, A., & Areed, F. F. (2015). Brushless DC Motor Speed Control using both PI Controller and Fuzzy PI Controller. *International Journal of Computer Applications*, 2015(109), 29-35.
- Krishnan, R. (2001). *ELECTRIC MOTOR DRIVES Modeling, Analysis, and Control*. New Jersey: Prentice Hall.
- Mohan, N., Underland, T. M., & Robbins, W. P. (1995). *Power electronics: converters, application, and design (3rd ed.)*. Canada: Hamilton Printing Company.
- Murphy, J. (2012). *Motion System Design*. Retrieved from <http://www.machinedesign.com/motorsdrives/whats-difference-between-ac-induction-permanent-magnet-and-servomotor-technologies>

- Shreelakshmi, M. P., & Agarwal, V. (2013). An Energy Efficient and Environment Friendly Elevator System Using Ultracapacitor and Fuel Cell with Power Factor Correction. IEEE, 2013, 721-727.
- Singh, M., & Garg, A. (2012). Performance Evaluation of BLDC Motor with Conventional PI and Fuzzy Speed Controller. Electrical Engineering, Delhi Technological University.
- Stein, B., Reynolds, J.S., & McGuinness, W. J. (1986). Mechanical and electrical equipment for buildings (7th ed.). New York: Wiley.
- Tukia, T., Uimonen, S., & Lehtonen, M. (2016). Evaluating and improving the Energy Efficiency of counterbalanced Elevators based on Passenger Traffic. IEEE, 2016.