

การประเมินศักยภาพการคืนพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบขับเคลื่อนลิฟต์

Potential assessment of the energy regeneration for an elevator drive system

ไพบูลย์ เกียรติสุขคนธา^{1*} กิตติพงศ์ คล้ายดี² และ นภัทร วัจนเทพินทร์³

Paiboon Kiatsookkanatorn^{1*}, Kittipong Klaidee² and Napat Watjanatepin³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประเมินศักยภาพการคืนพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบขับเคลื่อนลิฟต์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการติดตั้งชุดคืนพลังงานไฟฟ้าสำหรับการอนุรักษ์พลังงาน ในบทความได้แสดงการวิเคราะห์การทำงานของมอเตอร์ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดมอเตอร์และโหมดเจนเนอเรต การประเมินศักยภาพการคืนพลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอได้แสดงการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของลิฟต์จากการทำงานที่กำหนดโดยเงื่อนไขตามพิคัดโหลดและการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง รวมทั้งการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของลิฟต์จากการทำงานจริงตามปกติด้วย ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบขับเคลื่อนลิฟต์สามารถคืนพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 6.42 ของการดึงพลังงานไฟฟ้า โดยการคืนพลังงานสูงสุดและการดึงพลังงานสูงสุดจะเกิดขึ้นในเงื่อนไขที่ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นและลงตัวเปล่าตามลำดับ นอกจากนั้นผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่าทุกๆ ครั้งที่ลิฟต์เบรกจะมีการคืนพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย ลักษณะดังกล่าวหากติดตั้งชุดคืนพลังงานไฟฟ้ากับระบบลิฟต์เดิมเพื่อคืนพลังงานกลับไปยังระบบของการไฟฟ้าจะทำให้สามารถอนุรักษ์พลังงานซึ่งจะเกิดความคุ้มค่าในระยะยาว

คำสำคัญ: ระบบขับเคลื่อนลิฟต์ การคืนพลังงานไฟฟ้า การอนุรักษ์พลังงาน

Abstract

This paper presents the potential assessment of the energy regeneration of an elevator drive system to set up the regenerative module for energy saving. In this paper, an analysis of the motor function was shown. It can be separated into 2 modes which consisted of the motoring mode and the regenerating mode. The proposed potential assessment of the energy regeneration, the measurements of energies from the conditional determination of the elevator function and normal elevator function were shown. The results revealed that the elevator drive system could regenerate energies about 6.42% of the absorbed energies. The maximum energy regeneration and absorption would be coincided with 0% of the rated capacity for the movement of the elevator going up and down

¹ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี 72130

¹ Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering and Architecture, RUS, Suphanburi 72130, Thailand

² สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี 72130

² Electrical Engineering Department, Faculty of Industrial Education, RUS, Suphanburi 72130, Thailand

³ ศูนย์วิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี 11000

³ Solar Energy Research and Technology Training Center, RUS, Nonthaburi 11000, Thailand

* Corresponding author. E-mail: Paiboonkiat@hotmail.com

consequently. Moreover, the results also showed that the energy regeneration would be occurred every break. These findings represented that if the regenerative module was installed together with the conventional elevator system, it could save energies in long-term beneficially.

Keywords: elevator drive system, energy regeneration, energy saving

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการทางด้านพลังงานและเชื้อเพลิงของโลกมีอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้า ที่มีความจำเป็นต่อภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมรวมทั้งการใช้งานในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ด้วยเหตุนี้ทำให้มีการค้นคว้าและแสวงหาพลังงานทดแทนมาใช้เสริมกับพลังงานที่มีอยู่ เพื่อให้ได้พลังงานที่เพียงพอ นอกจากนี้แนวคิดดังกล่าวการจัดการพลังงานหรือการอนุรักษ์พลังงานที่มีอยู่แล้วให้เกิดประโยชน์สูงสุดและเพียงพอกับความต้องการก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สำคัญไม่แพ้กัน

ลิฟต์คืออุปกรณ์ที่สำคัญซึ่งถูกนำมาใช้อยู่เป็นจำนวนมากในการเคลื่อนย้ายสิ่งของหรือผู้โดยสารขึ้นลงในแนวดิ่งภายในอาคารเพื่อความสะดวกและรวดเร็ว ลิฟต์ที่พบเห็นภายในอาคารส่วนใหญ่จะเป็นลิฟต์โดยสาร อาทิเช่น สำนักงาน คอนโดมิเนียม รวมถึงห้างสรรพสินค้า หรือโรงแรม ดังนั้นการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของลิฟต์จะถูกใช้งานอยู่เป็นจำนวนมากในแต่ละวัน การเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของลิฟต์จะอาศัยการควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์ลิฟต์ ร่วมกับชุดลูกถ่วง (counterweight) ซึ่งประกอบด้วยโครงเหล็กบรรจุก้อนน้ำหนักที่ทำด้วยเหล็กหล่อ ทำหน้าที่ถ่วงดุลกับน้ำหนักของลิฟต์และจำนวนผู้โดยสาร ดังแสดงใน (Figure 1)

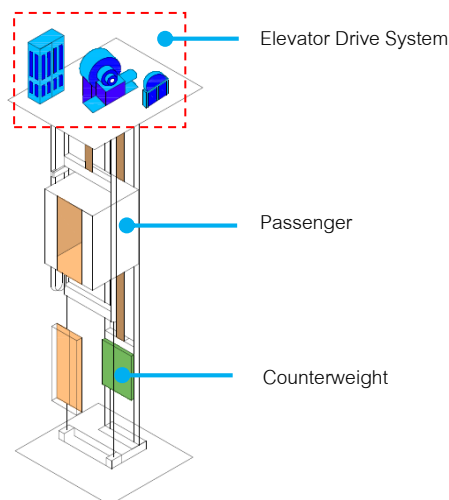


Figure 1 The structure of the elevator.

อินเวอร์เตอร์คืออุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์สำหรับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของลิฟต์ โดยอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงความถี่เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ และควบคุมกระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์เพื่อควบคุมแรงบิด ลักษณะดังกล่าวจึงอาจกล่าวได้ว่าพลังงานที่ถูกใช้สำหรับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของลิฟต์คือพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้กับมอเตอร์นั่นเอง อย่างไรก็ตามมอเตอร์ไม่ได้ต้องการดึงพลังงานไฟฟ้าเสมอไป ในบางเงื่อนไขการทำงานของลิฟต์ มอเตอร์จะทำหน้าที่เป็นเสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลิตไฟฟ้าจ่ายกลับไป

ให้กับแหล่งจ่ายไฟ (regeneration) โดยมีอินเวอร์เตอร์เป็นตัวกลางในการส่งผ่านพลังงาน แต่ถ้าอินเวอร์เตอร์ดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีเก่า (non-regenerative inverter) ซึ่งมีวงจรเรียงกระแสเป็นแบบที่ใช้ไดโอด (diode rectifier) ดังแสดงใน (Figure 2) จะไม่สามารถส่งผ่านพลังงานคืนกลับไปยังแหล่งจ่ายได้ ซึ่งจะต้องนำพลังงานดังกล่าวเผาทิ้งไปกับตัวต้านทาน (braking resistor) แทนเพื่อไม่ให้สปีดมอเตอร์มีแรงดันเกิน พลังงานไฟฟ้านี้จะสูญเสียไปโดยไร้ประโยชน์ซึ่งจะเกิดขึ้นในลักษณะนี้ทุกๆ ครั้งที่มีการใช้ลิฟต์

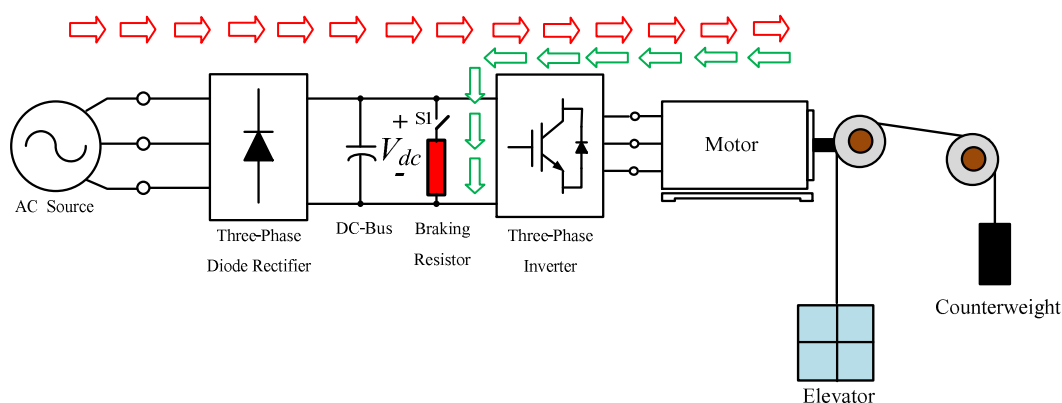


Figure 2 The structure of inverters in the elevator drive system with non-regenerative energy.

การคืนพลังงานจากระบบขับเคลื่อนมอเตอร์มีผู้สนใจศึกษามากมาย งานวิจัย Nomura *et al.* (1988) ได้นำเสนอวิธีการเบรกมอเตอร์แบบใหม่ซึ่งเรียกว่า “critical braking method” สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยอาศัยการควบคุมสลิปของมอเตอร์ทำให้สามารถคืนพลังงานในช่วงเบรกของมอเตอร์ได้และยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบขับเคลื่อนของลิฟต์ได้ด้วย อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะมีกระแสค่อนข้างสูง ทำให้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมีพิภักสูงตามไปด้วย

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัย Matsui *et al.* (1992); Saha *et al.* (1996) ได้นำเสนอการปรับปรุงวงจรเรียงกระแสที่ใช้ไธริสเตอร์ (Thyristor) ด้วยการเพิ่มวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบชุก (Cuk) ขึ้นกลางระหว่างวงจรเรียงกระแสและวงจรอินเวอร์เตอร์ทำให้กระแสที่ป้อนคืนกลับไปยังแหล่งจ่ายมีลักษณะใกล้เคียงไซน์เพิ่มมากขึ้นแต่จะมีผลทำให้มีค่าสูญเสียเพิ่มขึ้นจากวงจรดังกล่าวที่ต่อเพิ่มเข้าไป ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนางานวงจรเรียงกระแสแบบ PWM ด้วยการ

เปลี่ยนจากไดโอดเป็นสวิตช์ไวงานทำให้สามารถควบคุมกระแสด้านเข้าให้มีลักษณะเป็นไซน์และสามารถคืนพลังงานกลับไปยังแหล่งจ่ายได้ด้วย (Rodriguez *et al.*, 2005) งานวิจัย Blasko (1998) ได้นำวงจรเรียงกระแสแบบ PWM ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ไม่สามารถคืนพลังงานได้ (non-regenerative drive) โดยต่อขนานเข้ากับวงจรเรียงกระแสเดิมที่ใช้ไดโอดซึ่งจะเรียกว่า “external regenerative brake unit” พลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์จึงสามารถส่งคืนกลับไปยังแหล่งจ่ายได้ ปัญหาอย่างหนึ่งที่สำคัญสำหรับการขนานในลักษณะดังกล่าวจะทำให้มีกระแสไหลวน (circulating current) ไหลผ่านระหว่างวงจรเรียงกระแสเดิมกับวงจรที่ต่อเพิ่มเข้าไป ดังนั้นงานวิจัย Cheng *et al.* (2008) จึงนำเสนอการวิเคราะห์และเสนอแนวทางแก้ไขด้วยการเพิ่มตัวเหนี่ยวนำแทรกระหว่างบัสไฟตรง (DC bus) กับด้านเข้าของชุดคืนพลังงานวงจรแปลงผันช่วย (auxiliary converter) นอกจากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วในช่วงต้นยังมีงานวิจัยสิทธิชัย และคณะ (2555); Kantawong *et al.* (2012) ได้นำเสนอการศึกษาการกลายเป็นเครื่องกำเนิดของมอเตอร์ซึ่งโครนส์ชนิดแม่เหล็กถาวรเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ผลิตไฟฟ้าในช่วงที่มอเตอร์ทำงานในโหมดรีเจนเนอเรติฟ ป้อนคืนพลังงานให้กับระบบของการไฟฟ้า จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ต่อยอดกับระบบขับเคลื่อนของลิฟต์ได้ด้วย งานวิจัยสิทธิชัย และบุญยัง (2556, 2557); Plangklang *et al.* (2014) ได้นำเสนอการศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากระบบ

ลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร ด้วยวิธีการรีเจนเนอเรติฟ ในงานวิจัยดังกล่าวได้แสดงการใช้วงจร energy regenerative unit (ERU) ร่วมกับอินเวอร์เตอร์ที่ไม่สามารถคืนพลังงานได้ในระบบขับเคลื่อนลิฟต์เดิม โดยนำบัสไฟตรงของอินเวอร์เตอร์ต่อเข้ากับวงจร ERU ที่ประกอบด้วยวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง แบบทบระดับแรงดัน (boost converter) และอินเวอร์เตอร์ (PWM inverter) ลักษณะดังกล่าวทำให้การทำงานของวงจร ERU จะเป็นแบบสองสเตจ (two stage) ดังแสดงใน (Figure 3) ทำให้พลังงานบางส่วนสูญเสียไปกับวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง งานวิจัย ธนิศร์ (2555) ได้นำวงจร ERU ที่ทำงานเป็นแบบสองสเตจ ไปประยุกต์ใช้กับลิฟต์ในอาคารเรียนรวม ทำให้ระบบลิฟต์เดิมสามารถคืนพลังงานในช่วงรีเจนเนอเรติฟของมอเตอร์ได้ นอกจากนั้นยังได้ศึกษาผลการประหยัดพลังงานของระบบขับเคลื่อนลิฟต์ ซึ่งผลการวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ร้อยละ 43 เมื่อเทียบกับลิฟต์ที่ไม่ได้ติดตั้งระบบรีเจนเนอเรติฟโดยมีความสอดคล้องกับระบบลิฟต์ที่สามารถคืนพลังงานได้ซึ่งช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่าร้อยละ 35 (मितชุบิธิ เอลเลเวเตอร์ (ประเทศไทย), 2559) จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาในช่วงต้นหากต้องการคืนพลังงานไฟฟ้ากลับไปยังแหล่งจ่ายโดยติดตั้งชุดคืนพลังงานแบบสเตจเดียวเพื่อประหยัดพลังงานจำเป็นจะต้องประเมินศักยภาพการคืนพลังงานของระบบการขับเคลื่อนลิฟต์ก่อนเพื่อตรวจสอบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

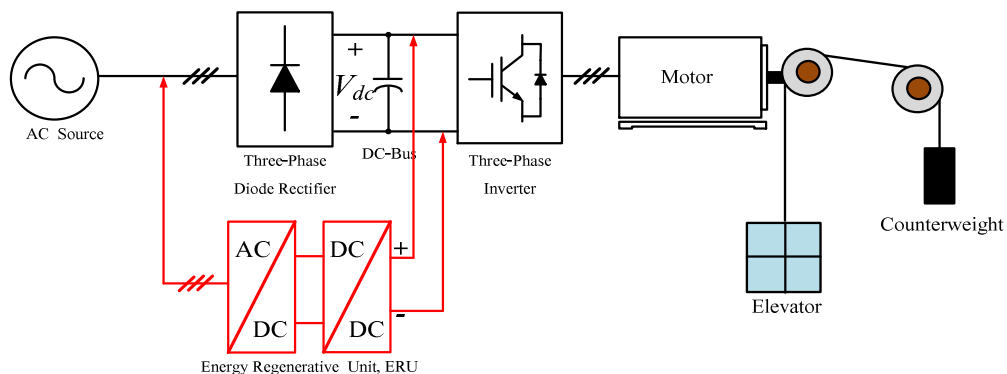


Figure 3 The regenerative elevator drive system by using the energy regenerative unit, ERU for the conventional drive system (Plangklang *et al.*, 2014).

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำเสนอการประเมินศักยภาพการคืนพลังงานสำหรับระบบการขับเคลื่อนลิฟต์โดยมีประเด็นหลักที่เกี่ยวข้องดังนี้

- ศึกษาการทำงานของระบบการขับเคลื่อนของลิฟต์
- ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของลิฟต์ในช่วงที่มอเตอร์ทำงานในโหมดดึงพลังงานไฟฟ้าและคืนพลังงานไฟฟ้า โดยกำหนดเงื่อนไขการทำงานของลิฟต์ตามพิสัยโหลดและการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง
- หาความสัมพันธ์ของการดึงพลังงานและคืนพลังงานไฟฟ้าในเงื่อนไขโหลดที่แตกต่างกัน
- ประเมินศักยภาพการคืนพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบการขับเคลื่อนลิฟต์

- นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ของลิฟต์เพื่อคืนพลังงานสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับการอนุรักษ์พลังงาน

วิธีการศึกษา

1. การทำงานของระบบควบคุมลิฟต์

การเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของลิฟต์ ไม่ได้อาศัยมอเตอร์เพียงอย่างเดียวเท่านั้นแต่ยังอาศัยชุดถ่วงน้ำหนักร่วมด้วย ดังนั้นจึงสามารถแบ่งโหมดการทำงานของมอเตอร์ตามโหลดหรือน้ำหนักของลิฟต์กับการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ดัง (Figure 3)

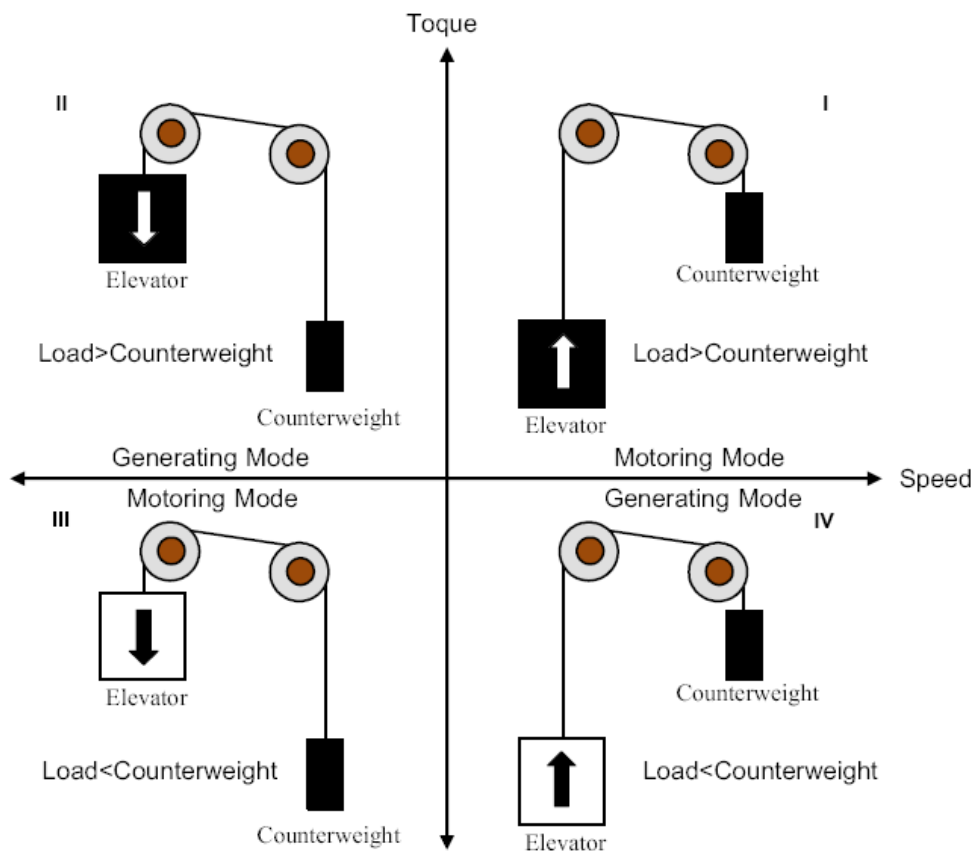


Figure 4 The operating mode of motor depending on the load and the moving of elevators.

(Figure 4) แสดงการจำแนกโหมดการทำงานของมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนลิฟต์ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อลิฟต์อยู่ชั้นล่างและมีจำนวนโหลดมากกว่าน้ำหนักของชุดถ่วง การดึงลิฟต์ขึ้นด้านบนจะไม่สามารถใช้เพียงชุดถ่วงน้ำหนักได้ซึ่งจะต้องอาศัยมอเตอร์สร้างแรงบิดร่วมด้วยดังนั้นในเงื่อนไขนี้มอเตอร์จะทำงานในโหมดมอเตอร์จึง โดยแรงบิด (Toque) และการหมุนของมอเตอร์ (rotation) จะมีทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในจุดภาคที่ 1 ส่งผลให้มอเตอร์ดึงพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย แต่ถ้าลิฟต์อยู่ชั้นบนกำลังเคลื่อนที่ลงมาด้านล่างและมีจำนวนโหลดมากกว่า

น้ำหนักของชุดถ่วง ลิฟต์สามารถเคลื่อนที่ลงมาตัวเองตามแรงโน้มถ่วงของโลกแต่จะต้องอาศัยมอเตอร์สร้างแรงบิดด้านเพื่อควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ลงของลิฟต์ให้ได้ตามที่ต้องการ ส่งผลให้แรงบิดและการหมุนของมอเตอร์จะมีทิศทางตรงข้ามกันดังแสดงในจุดภาคที่ 2 ดังนั้นในเงื่อนไขนี้มอเตอร์จะทำงานในโหมดเจนเนอเรต โดยคืนพลังงานไฟฟ้าไปสู่แหล่งจ่ายไฟ อย่างไรก็ตามถ้าจำนวนโหลดน้อยกว่าน้ำหนักของชุดถ่วง ลิฟต์จะไม่สามารถเคลื่อนที่ลงโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกได้ซึ่งจะต้องใช้มอเตอร์สร้างแรงบิดเพื่อเอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลกที่ดึงชุดถ่วงเอาไว้

ลักษณะดังกล่าวทำให้แรงบิดและการหมุนของมอเตอร์ มีทิศทางเดียวกันดังแสดงในจุดภาคที่ 3 ในเงื่อนไขนี้ มอเตอร์จะทำงานในโหมดมอเตอร์เชิง ในทางตรงกันข้ามมอเตอร์จะทำงานในโหมดเจเนอเรติงถ้าลิฟต์ อยู่ชั้นล่างกำลังเคลื่อนที่ไปขึ้นบน เนื่องจากชุดถ่วงมี น้ำหนักมากกว่าสามารถดึงลิฟต์ขึ้นไปด้านบนได้

แต่จะต้องอาศัยมอเตอร์สร้างแรงบิดต้านเพื่อควบคุม ความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นของลิฟต์ในทำนองเดียวกับ จุดภาคที่ 2 ดังนั้นแรงบิดและการหมุนของมอเตอร์ จะมีทิศทางตรงข้ามกันดังแสดงในจุดภาคที่ 4 จากคำอธิบายที่กล่าวมาในข้างต้นสามารถสรุปโหมด การทำงานของลิฟต์ได้ตาม (Table 1)

Table 1 The operating mode of motor depending on the load and the moving of elevators.

condition	load > counterweight	load < counterweight
elevators move up	motoring mode (quadrant 1)	generating mode (quadrant 4)
elevators move down	generating mode (quadrant 2)	motoring mode (quadrant 3)

2. การตรวจวัดการดึงพลังงานไฟฟ้าและการคืนพลังงานไฟฟ้าของระบบขับเคลื่อนลิฟต์

2.1 การกำหนดจุดการตรวจวัด

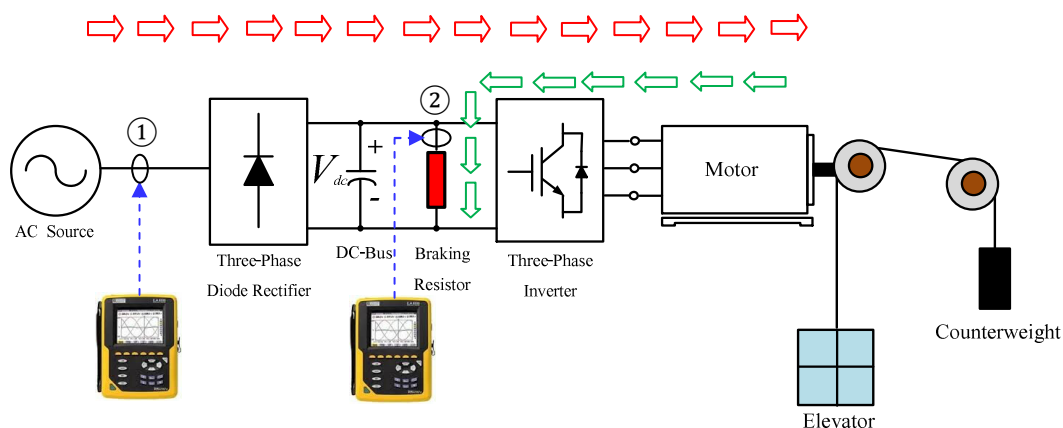


Figure 5 The structure of the inverter in the elevator drive system with non-regenerate drive.

การตรวจวัดการดึงและการคืนพลังงานไฟฟ้า ของระบบขับเคลื่อนลิฟต์จะทำให้ทราบข้อมูลการดึง พลังงานไฟฟ้าในขณะที่มอเตอร์ทำงานในโหมดมอเตอร์เชิง

และการคืนพลังงานในขณะที่มอเตอร์ทำงานในโหมด เจเนอเรติง โดยการตรวจวัดจะใช้เครื่องวิเคราะห์ กำลังไฟฟ้าชนิดเดียวกัน อย่างไรก็ตามตำแหน่งการ

ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในการทำงานทั้งสองโหมดจะมีจุดตรวจวัดที่แตกต่างกันดังแสดงใน (Figure 5)

- จุดตรวจวัดที่ ① การดึงพลังงานไฟฟ้าในขณะที่มอเตอร์ทำงานในโหมดมอเตอร์ จะกำหนดการวัดไว้ทางด้านเข้าของวงจรเรียงกระแสซึ่งตำแหน่งการตรวจวัดดังกล่าวจะทำให้ทราบการดึงพลังงานทั้งหมดของระบบขับเคลื่อนลิฟต์ กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ในจุดนี้จะเป็นไฟสลับ 3 เฟส
- จุดตรวจวัดที่ ② การคืนพลังงานไฟฟ้าในขณะที่มอเตอร์ทำงานในโหมดรีเจนเนอเรติง จะกำหนดตำแหน่งการตรวจวัดไว้ที่ตัวต้านทาน (braking resistor) ซึ่งจะมีตำแหน่งการตรวจวัดที่แตกต่างจากการดึงพลังงาน เนื่องจากพลังงานที่ได้กลับคืน

มาจากมอเตอร์จะไม่สามารถคืนกลับไปยังแหล่งจ่ายผ่านวงจรเรียงกระแสได้แต่จะถูกเผาทิ้งไปกับตัวต้านทาน กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ในจุดนี้จะเป็นไฟตรง

2.2 การกำหนดเงื่อนไขการทำงานของลิฟต์

จากหัวข้อที่ 1 ได้แสดงหลักการทำงานของลิฟต์ ดังนั้นเพื่อหาความสัมพันธ์ของการดึงพลังงานไฟฟ้าและคืนพลังงานไฟฟ้าในเงื่อนไขโหลดที่แตกต่างกันของลิฟต์ จะใช้พิกัดของลิฟต์และการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงเป็นเงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน (Table 2)

Table 2 The different condition of elevator drive system on absorbed and regenerative energies.

			loads				
			0% cap.	30% cap.	50% cap.	70% cap.	100% cap.
elevators move up or down (from floor to floor)	up	1⇒3	G1	G3	G5	M7	M9
	down	3⇒1	M1	M3	M5	G7	G9
	up	1⇒7	G2	G4	G6	M8	M10
	down	7⇒1	M2	M4	M6	G8	G10

Remark: Rated capacitor 900 Kg (13 persons) for using 7th floors.

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การวิเคราะห์การดึงและการคืนพลังงานไฟฟ้าของลิฟต์ จะใช้ผลิตภัณฑ์ของฮิตาชิขนาด 90 กิโลกรัม ซึ่งมีพิกัดมอเตอร์ 9.5 กิโลวัตต์ แรงดัน 170 โวลต์ กระแส 50 แอมแปร์ ความเร็ว 1455 รอบต่อนาที และจะใช้เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกค่าทางไฟฟ้ายี่ห้อ Fluke รุ่น 435 series II ผลการตรวจวัดสามารถแสดงได้ดัง (Figure 6-8)

1. การดึงพลังงานและคืนพลังงานตามเงื่อนไขโหลดที่แตกต่างกันของลิฟต์

จากเงื่อนไขใน (Table 1) สามารถแสดงผลการทดสอบได้ดัง (Figure 6-7) โดยเริ่มจากการกำหนดให้ลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้น-ลง ตัวเปล่า และเพิ่มน้ำหนักผู้โดยสารเป็นร้อยละ 30, 50, 70 และ 100 ของพิกัดลิฟต์ ตามลำดับ

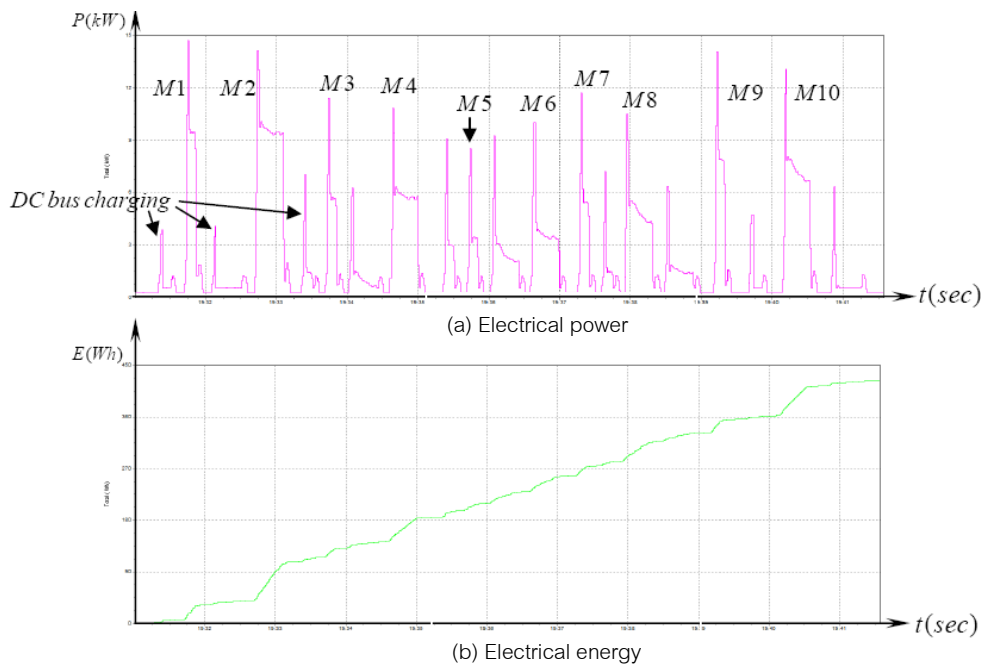


Figure 6 The electrical power and electrical energy of the elevator drive system with the absorbed energy mode.

(Figure 6a) แสดงกำลังไฟฟ้าในขณะที่ลิฟต์ทำงานในโหมดดึงพลังงาน เมื่อพิจารณาารูปคลื่นจะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่ายอดพุ่งสูงขึ้นทุกครั้งในช่วงที่ลิฟต์เริ่มทำงานในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งเกิดจากการเริ่มหมุนของมอเตอร์แต่ถ้าตัดค่ายอดที่พุ่งสูงขึ้นออกไปจะได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นในเงื่อนไขที่ลิฟต์ตัวเปล่าเคลื่อนที่ลงจากชั้น 7 ไปชั้น 1 (เงื่อนไข M2) ซึ่งมีค่าประมาณ 9.5 กิโลวัตต์ แต่กำลังไฟฟ้าจะมีค่าต่ำสุดในช่วงที่ลิฟต์มีพิคัดของโหลดร้อยละ 50 (เงื่อนไข M5) ซึ่งจะเป็นเงื่อนไขที่น้ำหนักของผู้โดยสารกับตุ้มถ่วงน้ำหนักมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อนำเงื่อนไขต่างๆ เปรียบเทียบกันจะพบว่าระดับของชั้นในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของลิฟต์ จะมีผลต่อเวลาการทำงาน ส่วนน้ำหนักของผู้โดยสารจะมีผลต่อ

ขนาดของกำลังไฟฟ้า ซึ่งทั้งสองส่วนมีนัยสำคัญต่อการดึงพลังงานไฟฟ้า และเมื่อพิจารณาารูปคลื่นกำลังไฟฟ้าจะพบว่าบางช่วงมีการดึงพลังงานไฟฟ้าค่าต่ำๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ นอกเหนือจากเงื่อนไขที่กำหนดไว้ซึ่งจะเกิดในช่วงเริ่มต้นของการคืนพลังงานเนื่องจากช่วงดังกล่าวนี้บัลไฟตรงจะมีขนาดแรงดันต่ำกว่าขนาดแรงดันด้านเข้าทำให้ไดโอดไบอัสตรงนำกระแสมาสะสมประจุไว้ที่ตัวเก็บประจุจนกระทั่งบัลไฟตรงมีแรงดันเพิ่มขึ้นมากพอไดโอดจึงหยุดนำกระแส (ไบอัสกลับ) ดู (Figure 5) ประกอบและจากผลการทดสอบเงื่อนไขการทำงานทั้งหมด ลิฟต์จะดึงพลังงานไฟฟ้าประมาณ 420 วัตต์-ชั่วโมง ดังแสดงใน (Figure 6b)

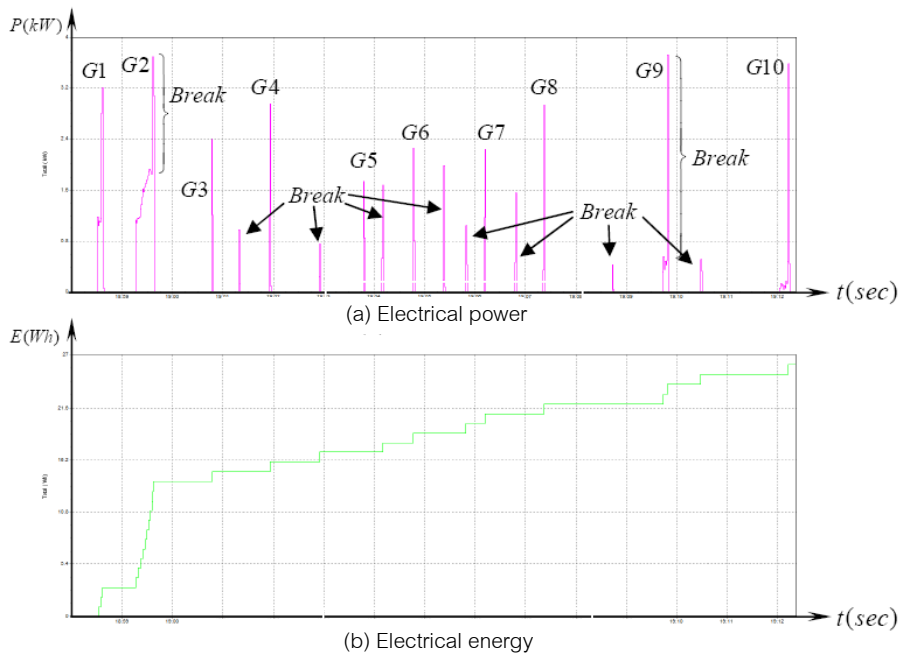


Figure 7 The electrical power and electrical energy of the elevator drive system with the regenerative energy mode.

(Figure 7a) แสดงกำลังไฟฟ้าในขณะที่ลิฟต์ทำงานในโหมดคืนพลังงาน จากรูปจะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 3.6 กิโลวัตต์ จะเกิดขึ้นในเงื่อนไขที่ลิฟต์ตัวเปล่าเคลื่อนที่ขึ้นจากชั้น 1 ไปชั้น 7 (เงื่อนไข G2) และกำลังไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 3.7 กิโลวัตต์ จะเกิดขึ้นในเงื่อนไขลิฟต์เคลื่อนที่ลงโดยมีผู้โดยสารเต็มพิกัด และหากพิจารณาใน (Figure 7a) จะพบว่ามีการคืนพลังงานไฟฟ้า นอกเหนือจากเงื่อนไขการทำงานที่กำหนดไว้ซึ่งเกิดจากการเบรกของลิฟต์ในช่วงที่ต้องการจอดตามชั้นต่างๆ ผลของการเบรกดังกล่าวทำให้ค่ายอดของกำลังไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในกรณีที่อยู่ในโหมดการคืนพลังงานไฟฟ้า นอกจากนั้นผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นด้วยว่าเงื่อนไข G2 จะใช้เวลาในการคืนกำลังไฟฟ้ามากที่สุดลักษณะดังกล่าวจะทำให้ได้พลังงานไฟฟ้า

กลับคืนมามากที่สุดและเมื่อนำเงื่อนไขต่างๆ ที่พิกัดของโหลดเหมือนกันเปรียบเทียบกันจะชี้ให้เห็นว่าน้ำหนักของผู้โดยสารมีนัยสำคัญต่อการคืนพลังงานไฟฟ้ามากกว่าระดับของชั้นในการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของลิฟต์ และจากผลการทดสอบเงื่อนไขทั้งหมดของลิฟต์สามารถคืนพลังงานไฟฟ้าประมาณ 27 วัตต์-ชั่วโมง ดังแสดงใน (Figure 7b) และเมื่อนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับกรณีที่ลิฟต์ทำงานในโหมดดึงพลังงาน จะได้ข้อสรุปว่าระบบขับเคลื่อนลิฟต์ที่ได้ทำการทดสอบสามารถคืนพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 6.42 ของการดึงพลังงานไฟฟ้า

2. การคืนพลังงานไฟฟ้าตามการใช้งานปกติ

ข้อมูลกำลังไฟฟ้าและการคืนพลังงานไฟฟ้าของระบบขับเคลื่อนลิฟต์ที่ใช้งานตามปกติตลอดเวลา 1 วัน สามารถแสดงได้ดัง (Figure 8)

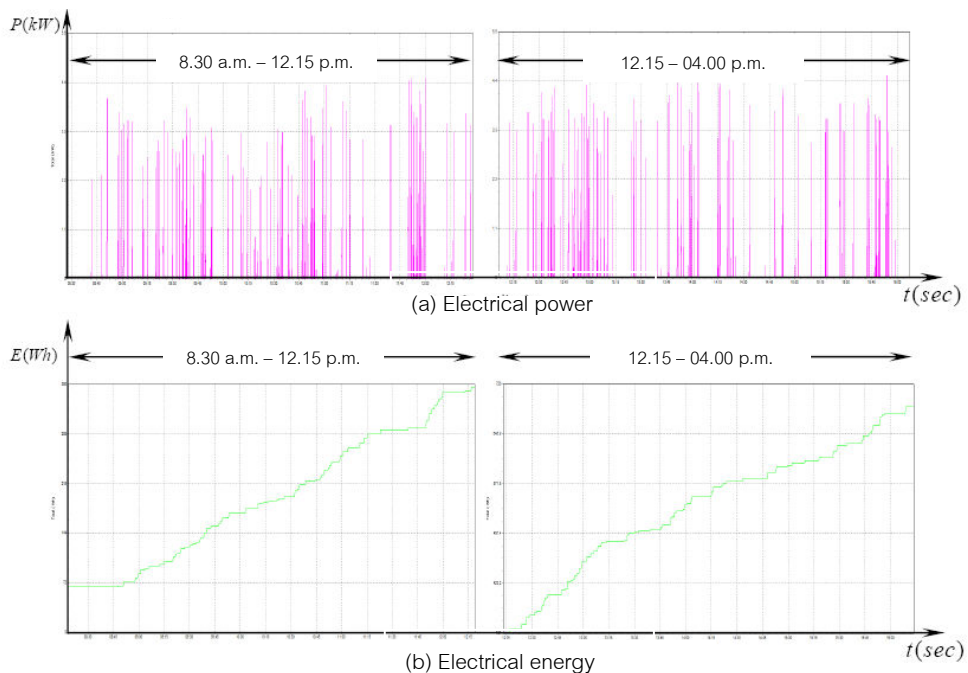


Figure 8 The electrical power and electrical energy of the elevator drive system with the regenerative energy mode in 1 day.

จาก (Figure 8a) จะเห็นได้ว่าจำนวนครั้งในการคืนพลังงานไฟฟ้าของลิฟต์มีมากถึง 154 ครั้ง/1 วัน โดยในที่นี่ได้เริ่มบันทึกผลตั้งแต่ 8.30-16.00 น. ในแต่ละช่วงเวลาจะมีค่ากำลังไฟฟ้าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการทำงานของลิฟต์ที่ฟังก์ชันของโหลดและระดับชั้นการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง และจากผลการตรวจวัดทำให้ทราบว่าตลอดระยะเวลา 1 วัน ลิฟต์สามารถคืนพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 720 วัตต์-ชั่วโมง ดังแสดงใน (Figure 8b)

สรุป

บทความนี้นำเสนอการประเมินศักยภาพการคืนพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบการขับเคลื่อนลิฟต์ ในบทความได้แสดงผลการทดสอบการดึงและการคืน

พลังงานไฟฟ้าของลิฟต์ตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยฟังก์ชันโหลดและระดับชั้นการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง นอกจากนั้นยังแสดงผลการทดสอบการคืนพลังงานไฟฟ้าตลอดระยะเวลา 1 วันอีกด้วย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการคืนพลังงานไฟฟ้าจะเกิดขึ้น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ลิฟต์ทำงานตามเงื่อนไขโหลดและช่วงที่ลิฟต์เบรก การเคลื่อนที่ขึ้นของลิฟต์ตัวเปล่าจะคืนพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด นอกจากนั้นการเคลื่อนที่ลงของลิฟต์ตัวเปล่ายังคืนพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดอีกด้วย ซึ่งระดับชั้นการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของลิฟต์และน้ำหนักของลิฟต์มีนัยสำคัญต่อการดึงพลังงานไฟฟ้าทั้งคู่ แต่ในกรณีคืนพลังงานไฟฟ้าน้ำหนักของลิฟต์จะมีนัยสำคัญมากกว่าระดับชั้นการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง นอกจากนั้นผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าลิฟต์

สามารถคืนพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณร้อยละ 6.42 ของการดึงพลังงานไฟฟ้า โดยตลอดระยะเวลา 1 วัน มีความถี่ในการคืนพลังงานไฟฟ้ามากถึง 154 ครั้ง และคืนพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 720 วัตต์-ชั่วโมง ลักษณะดังกล่าวหากติดตั้งชุดคืนพลังงานไฟฟ้ากับระบบลิฟต์เดิมเพื่อคืนพลังงานกลับไปยังระบบของการไฟฟ้า (grid) จะทำให้สามารถถนอมรักษพลังงานซึ่งจะเกิดความคุ้มค่าในระยะยาว ดังนั้นแนวทางการวิจัยครั้งต่อไปคณะผู้วิจัยจะดำเนินการติดตั้งชุดคืนพลังงานไฟฟ้าและประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบดังกล่าว

คำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทิตาชิประเทศไทย จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบและบันทึกผล และขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มทร.สุวรรณภูมิ ที่ให้ทุนสนับสนุนสำหรับการดำเนินการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ธนิศร์ พันธุ์ประยูร. 2555. การวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟในระบบลิฟต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

मितชูบิชิ เอลเลเวเตอร์ (ประเทศไทย). 2559. ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วย Regenerative converter. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.mitsubishielectric.com/whatschanging/ecochanges/elevators/index.html> (31 มีนาคม 2559).

สิทธิชัย กันทะวงศ์, เอกรัตน์ นภกานต์ และบุญยัง ปลั่งกลาง. 2555. การศึกษาการกลายสภาพเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของมอเตอร์ซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรเพื่อการประยุกต์ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ. ใน: การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5, 18-20 ธันวาคม 2555. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

สิทธิชัย กันทะวงศ์ และบุญยัง ปลั่งกลาง. 2556. การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากระบบลิฟต์ที่ใช้มอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ. ใน: การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5, 27-29 มีนาคม 2556. หัวหินแกรนด์แอนด์พลาซ่า จ.ประจวบคีรีขันธ์.

สิทธิชัย กันทะวงศ์ และบุญยัง ปลั่งกลาง. 2557. การศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ลิฟต์ชนิดแม่เหล็กถาวรด้วยวิธีการรีเจนเนอเรทีฟ. ใน: การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6, 26-28 มีนาคม 2557. มาริโทม์ ปาร์คแอนด์สปาร์ตสอร์ท จ.กระบี่.

Blasko, V. 1998. Power conditions and control of a regenerative brake. *Proc. IEEE/IAS Conf.* 2: 1504-1510.

Cheng, P.T., C.C. Hou and J.S. Li. 2008. Design of an auxiliary converter for the diode rectifier and the analysis of the circulating current. *IEEE Trans. Power Electronics* 23(4): 1658-1667.

Kantawong, S., A. Noppakant and B. Plangklang. 2012. Study of generator reaction on permanent magnet synchronous motor for energy regenerative applications. The 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, December 5-8, 2012.

- Matsui, K., U. Mizuno and Y. Murai. 1992. Power regenerative controls by using thyristor rectifier bridge of voltage source inverter and a switching transistor. *IEEE T Ind Appl.* 28(5):1010-1016.
- Nomura, M., H. Ikejima, S. Morita and E. Watanabe. 1988. Regenerative power control for VVVF motor drive (critical braking method applied to the elevator). pp. 97-105. *In: Proc. APEC'88.*
- Plangklang, B., S. Kantawong, S. Dangeam and Y. Kumsuwan. 2014. Elevator energy regenerative unit (EERU) for energy saving in a permanent magnet motor elevator system. pp. 2120-2124. *In: 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), October 22-25, 2014, Hangzhou, China.*
- Rodriguez, J.R., J.W. Dixon, J.R. Espinoza, J. Pontt and P. Lezana. 2005. PWM regenerative rectifiers: State of the art. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 52(1): 5-22.
- Saha, S., A.V. Dandekar and V.P. Sundarsingh. 1996. A modified approach of feeding regenerative energy to the mains. *IEEE Trans on IE* 43(4): 510-514.