



## การวิเคราะห์ระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

### ELECTRICAL ENERGY STORAGE SYSTEMS ANALYSIS

ถาวร อมตกิตต์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

#### บทคัดย่อ

พลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งต่อกระบวนการทำงาน ซึ่งพลังงานไฟฟ้าย่อมมีการขาดแคลนหรือมีไม่ต่อเนื่องได้ในบางช่วงเวลา การเก็บพลังงานไฟฟ้าจึงเป็นวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวได้เป็นอย่างดี แต่การเก็บพลังงานไฟฟ้ามีหลายชนิด และหลายรูปแบบ โดยเฉพาะพลังงานขนาดใหญ่ ซึ่งแต่ละรูปแบบมีวิธีการดำเนินการและจัดเก็บที่แตกต่างกัน การวิจัยนี้จึงพิจารณาและวิเคราะห์ระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ทั้งในด้านความเหมาะสมและความคุ้มค่าต่อการใช้งาน

**คำสำคัญ:** การเก็บพลังงานไฟฟ้า, แม่เหล็กยิ่งยวด, คาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวด, ไฟฟ้าเคมี, ลีโธมุน, น้ำที่ถูกระบาย, อากาศอัด

#### ABSTRACT

*Electrical energy is very important for working process that may be shortage or not continuity in some periods of time. Electrical energy storage, therefore is the efficiency method to solve the problems, but there are many types and configurations for electrical energy storage, especially the large plant of energy which each configuration of procedure and storage differential. Therefore this research would be consider and analysis for the suitable usable and worth of various types of electrical energy storage systems.*

**KEYWORDS:** Electrical energy storage, super-conducting magnetic, super capacitors, electrochemical, flywheels, pumped hydro, compressed air.

#### 1. บทนำ

ระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไปประกอบด้วยระบบย่อยในการเก็บพลังงานและระบบที่เปลี่ยนพลังงานที่เก็บไว้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าตามที่ต้องการ ซึ่งอุปกรณ์เก็บพลังงานจะขึ้นกับปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้

ในการพิจารณาเลือกใช้ระบบเก็บพลังงานไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ นั้น จะต้องพิจารณาถึงราคา อายุ และประสิทธิภาพของระบบ จึงจะเกิดประโยชน์สูงสุด

## 2. การเก็บพลังงานรูปแบบต่าง ๆ

ระบบเก็บพลังงานเพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้ามี 6 รูปแบบ [8] คือ การเก็บพลังงานแม่เหล็กแบบยิ่งยวด การเก็บพลังงานด้วยคาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวด การเก็บพลังงานแบบไฟฟ้าเคมี การเก็บพลังงานด้วยล้อหมุน (flywheel) การเก็บพลังงานด้วยน้ำที่ถูกลบ และการเก็บพลังงานด้วยอากาศอัด

### 2.1 การเก็บพลังงานแม่เหล็กแบบยิ่งยวด

โดยปกติแล้วไฟฟ้ากระแสตรงสามารถเก็บไว้ในสนามแม่เหล็ก ซึ่งพลังงานที่เก็บไว้จะขึ้นกับค่าอินดักแตนซ์คูณกับค่ากำลังสองของกระแสไฟฟ้า ระบบเก็บพลังงานชนิดนี้ใช้คอนเวอร์เตอร์เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งเปลี่ยนกลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับอีกครั้งเมื่อต้องการใช้งาน โดยมีขดลวดขนาดใหญ่ของตัวนำยิ่งยวดอยู่ในอ่างฮีเลียมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 1.8 เคลวิน [3, 7, 9]

การที่ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหวในขดลวดและการมีริชิสแดนที่ค่าเข้าใกล้ศูนย์ จึงทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่า 90% แต่ก็ยังมีความสูญเสียของพลังงานเกิดขึ้นที่คอนเวอร์เตอร์และระบบทำความเย็น เช่น ฮีเลียม [2, 8, 9]

แรงดันไฟฟ้าที่มาจากเครือข่ายไฟฟ้ากระแสสลับจะถูกลดแรงดันไฟฟ้าลง แล้วเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อป้อนเข้าขดลวดแบบนำยิ่งยวด ซึ่งพลังงานจะถูกเก็บไว้ในขดลวด เมื่อต้องการกำลังไฟฟ้าในภาวะแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะหรือแรงดันไฟฟ้าไม่เสถียร ขดลวดจะคายประจุและทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านคอนเวอร์เตอร์เปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับเครือข่ายไฟฟ้าหรือโหลดต่อไป [2, 6]

ระบบเก็บพลังงานแม่เหล็กแบบยิ่งยวดนี้สามารถเก็บพลังงานได้สูงถึง 10 เมกะวัตต์ และเหมาะที่จะใช้กับงานที่ต้องการกำลังสูงในช่วงเวลาที่สั้นมาก นอกจากนั้นได้มีการพัฒนาให้คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้สองทางและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น จึงทำให้ระบบนี้ทำงานได้มากขึ้นกว่าเดิม

### 2.2 การเก็บพลังงานด้วยคาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวด

คาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวดสามารถรองรับการอัดประจุมากกว่าคาปาซิเตอร์ทั่วไป ซึ่งปกติแล้วคาปาซิเตอร์ทั่วไปจะมีความหนาแน่นของพลังงานเป็น 0.5 วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม แต่คาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวดสามารถเก็บได้พลังงานได้ 2.0 วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม

คาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวดมีอิเล็กโทรดแบบท่อนาโนคาร์บอนและฟิล์มโพลิเมอร์บางๆ ซึ่งท่อนาโนคาร์บอนสามารถนำไฟฟ้าได้ดี ส่วนที่ว่างของโพลิเมอร์ในท่อจะมีคุณสมบัติเหมือนไดอิเล็กตริก ระบบเก็บพลังงานชนิดนี้แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยคอนเวอร์เตอร์และต่อเชื่อมเข้ากับระบบเครือข่ายไฟฟ้าได้ [1, 8, 9]

เมื่อนำคาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวดมาเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่แล้ว แบตเตอรี่มีข้อจำกัดจำนวนครั้งในการอัดประจุและคายประจุ อีกทั้งต้องใช้เวลาในการอัดประจุนานเนื่องจากกระบวนการทางปฏิกิริยาเคมีไม่รวดเร็วทันที่ โดยปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวจะปล่อยความร้อนออกมาทำให้แบตเตอรี่ร้อน ซึ่งมีผลให้อายุและสมรรถนะลดลง อีกทั้งแบตเตอรี่มีสารละลายไฟฟ้าที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนคาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวดสามารถอัดประจุและคายประจุได้ไม่จำกัดจำนวนครั้ง โดยสามารถคายประจุเป็นมิลลิวินาทีและสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าที่มีค่าได้สูงมาก ทำให้ใช้กับโหลดที่มีค่าสูงได้ทันทีและไม่เกิดความร้อนขณะคายประจุ [3, 8]

นอกจากนี้ตัวนำยิ่งยวดมีอายุยาวนานมากโดยมีการบำรุงรักษาน้อยและไม่ทำลายสภาพแวดล้อม แม้ว่าคาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวดจะมีขนาดใหญ่และหนักกว่าแบตเตอรี่แต่ก็มีประโยชน์ต่อการใช้งานเฉพาะ

### 2.3 การเก็บพลังงานแบบไฟฟ้าเคมี

พลังงานไฟฟ้าเคมีเป็นพลังงานที่รู้จักกันแพร่หลายในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แบตเตอรี่และเซลล์เชื้อเพลิง [3] ซึ่งแบตเตอรี่นำมาเก็บพลังงานไฟฟ้าเป็นที่นิยมมากที่สุดและมี 2 ประเภทคือ แบตเตอรี่ปฐมภูมิและแบตเตอรี่ทุติยภูมิ แบตเตอรี่ปฐมภูมิจะเก็บพลังงานเคมีไว้และเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้แต่ไม่สามารถอัดประจุซ้ำได้ ส่วนแบตเตอรี่ทุติยภูมิจะเหมือนกับแบตเตอรี่ปฐมภูมิแต่สามารถอัดประจุซ้ำได้หลายครั้ง แบตเตอรี่ที่นำมาใช้งานกันมากในด้านกำลังไฟฟ้าคือ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดและแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียม

แบตเตอรี่ที่รู้จักกันมากที่สุดคือแบตเตอรี่ตะกั่วกรด เนื่องจากมีเทคโนโลยีที่ยาวนานและราคาเหมาะสม ส่วนอายุของแบตเตอรี่ชนิดนี้ก็ถือว่าเหมาะสมกับราคา แบตเตอรี่ชนิดนี้จ่ายพลังงานที่เก็บไว้โดยการลดตะกั่วไดออกไซด์เป็นตะกั่วซัลเฟตที่อิเล็กโทรดบวกและการออกซิเดชันตะกั่วเป็นตะกั่วซัลเฟตที่อิเล็กโทรดลบ โดยมีสารละลายไฟฟ้าเป็นกรดซัลฟูริก แบตเตอรี่ชนิดนี้มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำคือประมาณ 22 วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม

แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียมจ่ายพลังงาน โดยการลดนิกเกิลออกไซด์เป็นนิกเกิลไฮดรอกไซด์และการออกซิเดชันแคดเมียมเป็นแคดเมียมไฮดรอกไซด์ โดยมีสารละลายไฟฟ้าเป็นด่างโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีความหนาแน่นของพลังงาน 44 วัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัมขึ้นไป ซึ่งโดยภาพรวมแล้วแม้ว่าแบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีราคาสูงแต่ก็มีอายุยาวนานและน้ำหนักไม่มากนัก

ในส่วนของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นมีพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงเปลี่ยนเป็นกำลังไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งแตกต่างจากแบตเตอรี่คือ เซลล์เชื้อเพลิงมีพลังงานได้นานเท่าที่เชื้อเพลิงถูกป้อน [3]

เซลล์เชื้อเพลิงมีคุณสมบัติของกำลังและการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยมีคุณลักษณะตามชนิดของสารละลายไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งระบบผลิตกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงมีกระบวนการ 3 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกเป็นการผลิตแก๊สไฮโดรเจนบริสุทธิ์จากเชื้อเพลิง แล้วป้อนเข้าสู่อิเล็กโทรดของเซลล์เชื้อเพลิง ขั้นต่อมาเมื่อแก๊สไฮโดรเจนเข้าสู่แอโนดของเซลล์เชื้อเพลิงก็จะกระจายไปยังแคโทด อะตอมไฮโดรเจนที่แอโนดจะแตกตัวเป็นโปรตอนบวกและอิเล็กตรอนลบ ซึ่งอิเล็กตรอนจะไหลไปในตัวนำไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้โหลดต่อไป ขั้นสุดท้ายมีคอนเวอร์เตอร์ที่ควบคุมให้แรงดันไฟฟ้าสอดคล้องกับระบบไฟฟ้าที่ต้องการหรือสอดคล้องกับโหลดที่ต้องการ

### 2.4 การเก็บพลังงานด้วยล้อยหมุน

พลังงานชนิดนี้ถูกเก็บอยู่ในรูปพลังงานจลน์ด้วยล้อยหมุน ซึ่งปัจจุบันล้อยหมุนมีเทคโนโลยีที่สามารถเก็บพลังงานได้นานขึ้น เช่น ป้อนไฟฟ้าเข้าสู่ตัวหมุนแล้วเร่งความเร็วด้วยมอเตอร์ที่อยู่ภายใน การเปลี่ยนพลังงานจากการหมุนกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าทำได้โดยให้มอเตอร์ทำงานกลับเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [3]

พลังงานที่ถูกเก็บไว้ด้วยล้อยหมุนขึ้นกับมวลของล้อยหมุนคูณกับกำลังสองของรัศมีของล้อยหมุน ได้เป็นโมเมนต์ของล้อยหมุนแล้วคูณกับกำลังสองของความเร็ว [9] ดังนั้นเพื่อให้อัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนักดีที่สุดจึงให้ล้อยหมุนมีความเร็วสูงสุดเท่าที่จะทำได้ โดยมีการคุมค่าระบบไฟฟ้าให้เหมาะสมและมีการใช้แรงแม่เหล็กเพื่อให้ตัวหมุนลอยอยู่ในอากาศทำให้ลดความฝืดในการหมุนลงได้

### 2.5 การเก็บพลังงานด้วยน้ำที่ถูกบ็ม

การเก็บพลังงานชนิดนี้อยู่ในรูปแบบพลังงานศักย์โดยบีมน้ำไปเก็บไว้ที่ระดับสูง เมื่อต้องการใช้พลังงานก็จะปล่อยน้ำให้ไหลลงสู่ที่เก็บน้ำซึ่งอยู่ต่ำกว่า ซึ่งผลิตไฟฟ้าได้โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันน้ำจากการไหลของน้ำ [9]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหันน้ำของการเก็บพลังงานชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดประมาณ 90% ส่วนระบบบีมน้ำกลับจะมีประสิทธิภาพประมาณ 85% ดังนั้นประสิทธิภาพรวมของระบบเก็บพลังงานชนิดนี้จึงมากกว่า 75% [8] โดยขึ้นกับปริมาตรน้ำและความสูงของน้ำ รวมทั้งระยะที่เหมาะสมของบีมน้ำที่อยู่ระหว่างที่เก็บน้ำทั้งสอง

ความยากของระบบเก็บพลังงานชนิดนี้คือต้องมีที่เก็บน้ำค่อนข้างใหญ่ซึ่งโดยส่วนใหญ่ที่เก็บน้ำด้านบนจะเป็นอ่างเก็บน้ำตามธรรมชาติที่อยู่ใกล้ทะเลสาบหรือแม่น้ำ โดยอาจจะสร้างที่เก็บน้ำด้านล่างขึ้นใหม่หรือใช้อ่างเก็บน้ำตามธรรมชาติก็ได้

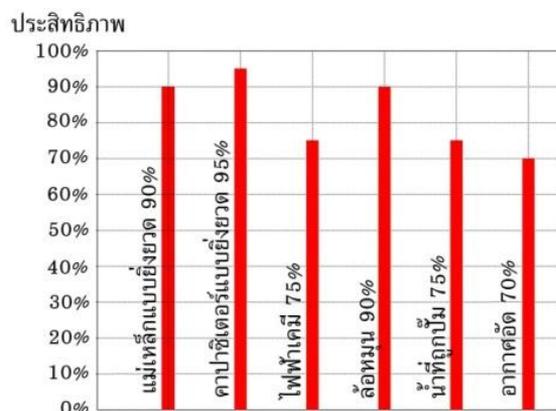
### 2.6 การเก็บพลังงานด้วยอากาศอัด

การเก็บพลังงานด้วยอากาศอัด ทำได้จากห้องที่ปิดสนิทและอัดความดันอากาศเข้าไป เมื่อต้องการใช้พลังงานที่เก็บไว้เป็นพลังงานไฟฟ้าก็ทำได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกังหัน โดยปกติแล้วการเก็บพลังงานชนิดนี้มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเก็บพลังงานรูปแบบอื่นข้างต้น [3, 9-10]

## 3. การวิเคราะห์และพิจารณาวิธีการเก็บพลังงานไฟฟ้า

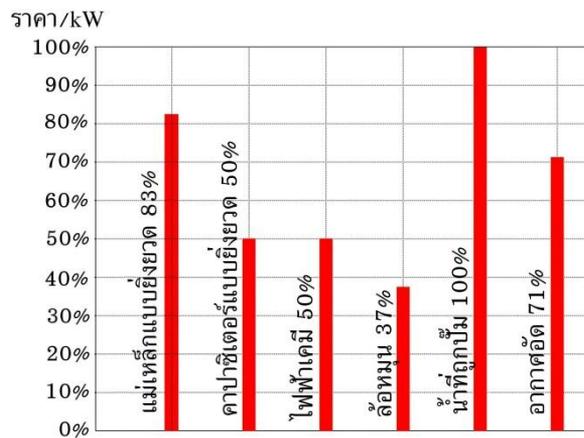
การเลือกระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ปลอดภัยและเหมาะสมนั้นต้องวิเคราะห์และพิจารณารายละเอียดต่าง ๆ คือ การป้องกันอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพ พิกัดโหลดไฟฟ้าที่จะใช้งาน ราคาตามอายุในรอบที่ใช้งานซึ่งเป็นราคาซื้อเริ่มต้นเพื่อใช้ในการสำรวจการลงทุนระยะแรกเริ่มและราคาค่าขนส่งเพื่อให้เกิดความมั่นใจในกำหนดส่งมอบ รวมทั้งราคาการบริการและบำรุงรักษาทั้งแบบรวมอะไหล่และไม่รวมอะไหล่

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ นั้น การเก็บพลังงานด้วยคาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวดจะให้ประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนการเก็บพลังงานด้วยอากาศอัดจะให้ประสิทธิภาพต่ำสุด [3, 4, 8] ตามรูปที่ 1



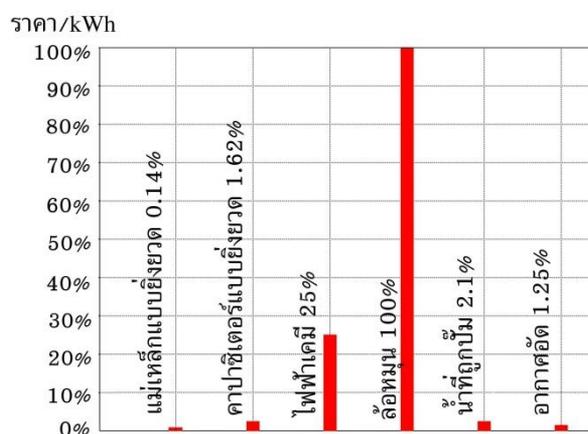
รูปที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าของการเก็บพลังงานไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เพื่อจัดทำเป็นโรงไฟฟ้านั้น เมื่อพิจารณาจากราคาที่ลงทุนต่อกิโลวัตต์โดยเปรียบเทียบจากราคาที่ลงทุนของการเก็บพลังงานแบบน้ำที่ถูกบีบแล้ว การเก็บพลังงานด้วยล้อยหมุนมีราคาลงทุนต่อกิโลวัตต์ต่ำสุด ส่วนการเก็บพลังงานด้วยน้ำที่ถูกบีบจะมีราคาลงทุนต่อกิโลวัตต์สูงสุดตามรูปที่ 2 นั่นคือในการลงทุนที่เท่ากันนั้นการเก็บพลังงานแบบล้อยหมุนจะให้กำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุด [2, 3, 5, 8-10]



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบราคาลงทุนต่อกิโลวัตต์ของระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

นอกจากนั้นหากพิจารณาจากราคาลงทุนต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบจากราคาที่ลงทุนของการเก็บพลังงานด้วยล้อยหมุนแล้ว การเก็บพลังงานแม่เหล็กแบบยิ่งยวดมีราคาลงทุนต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงต่ำสุด ส่วนการเก็บพลังงานด้วยล้อยหมุนจะราคาลงทุนต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงสูงสุดตามรูปที่ 3 นั่นคือในการลงทุนที่เท่ากันนั้นการเก็บพลังงานแม่เหล็กแบบยิ่งยวดจะให้พลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุด [3, 5, 10]



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบราคาลงทุนต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงของระบบเก็บพลังงานไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

#### 4. สรุป

กล่าวได้ว่าการเก็บพลังงานด้วยคาปาซิเตอร์แบบยิ่งยวดจะให้ประสิทธิภาพสูงสุด การเก็บพลังงานด้วยล้อยหมุนจะให้ราคาลงทุนต่อกิโลวัตต์ต่ำสุด นั่นคือให้กำลังไฟฟ้าได้มาก ส่วนการเก็บพลังงานแม่เหล็กแบบยิ่งยวดจะให้ราคาลงทุนต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงต่ำสุด นั่นคือให้พลังงานไฟฟ้าได้มาก

นอกจากการวิเคราะห์และพิจารณาข้างต้นแล้วยังมีหลายปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาในการเลือกระบบเก็บสำรองพลังงานในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้คุ้มค่าและเหมาะสมต่อการใช้งานด้วย เช่น การใช้งานเฉพาะ การจำกัดของที่ตั้ง การกระทบต่อสภาพแวดล้อม เวลาตอบสนอง ขนาดของพลังงาน การแข่งขัน และประสิทธิภาพในการทำงานอีกด้วย

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Bullard, G. L., Sierra-Aleazar, H. B., Lee, H. L., Morris, J. L. Operating Principle of Ultracapacitor. *IEEE Transaction in Magnetics*, 1989, 25, pp. 102-103.
- [2] Mohd. Hasan Ali, Bin Wu, Roger A. Dougal. An Overview of SMES Applications in Power and Energy Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 2010, 1(1), pp. 38-40, 43.
- [3] T, Sels, C. Dragu, T. Van Craenenbroeck, R. Belmans. *Electrical Energy Storage Systems : Existing Systems versus Newest Systems – An Overview*. K.U. Leuven Energy Institute, Belgium, 2001, pp. 1-3, 5, 6.
- [4] J.A. Harison. *The Essence of Electric Power Systems*. England: Prentice Hall, 1996, pp. 102-104.
- [5] Kyle Bradbury. *Energy Storage Technology Review*. Duke University, U.S.A., 2010, pp. 30-31.
- [6] Darmawan Sutanto, K.W.E.Cheng. *Superconducting Magnetic Energy Storage for Power System Applications*. Proceeding of IEEE International Conference Applied Superconductivity and Electromagnetic Device, China, September 2009, pp. 377, 378.
- [7] David Larbalestier, Alex Gurevich, D. Matthew Feldmann & Anatoly Polyanskii. *High-Tc Superconducting Materials for Electric Power Applications*. *Applied Superconductivity Center*, University of Wisconsin, U.S.A., November 2001, pp. 378.
- [8] Sel, T., Dragu, C., Craenenbroeck, T., Belmans, R. *New Energy Storage Devices for an Improved Load managing on Distribution Level*. IEEE Power Tech. Conference, September 2001, pp. 1-3, 5.
- [9] Sercan Teleke, *Energy Storage Overview: Applications, Technologies and Economical Evaluation*, Quanta Technology LLC, U.S.A., 2010, pp. 3, 4, 6, 9.
- [10] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Std. 793-1995. *IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities*, U.S.A., 1996, pp. 37-38, 114-116.