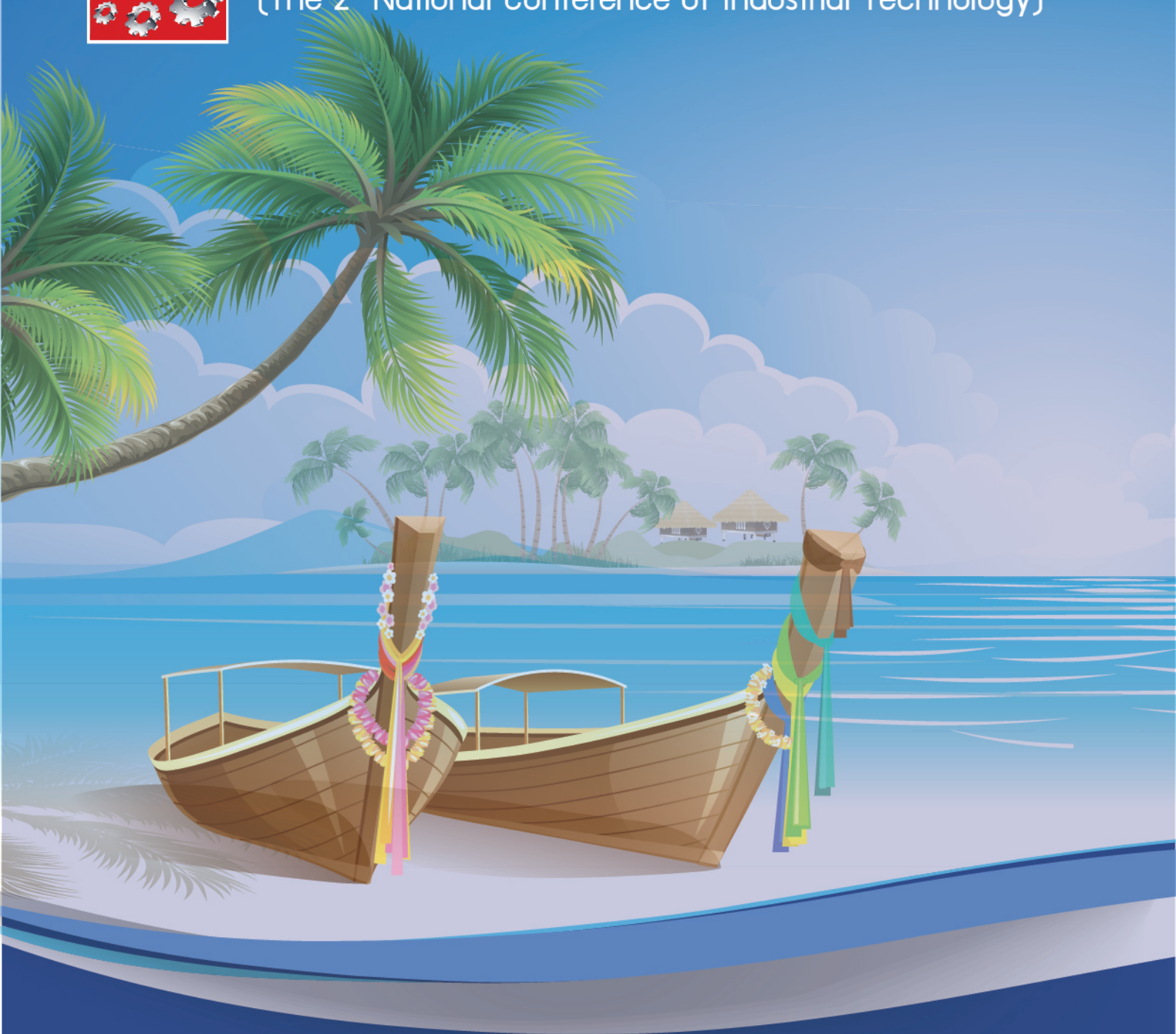




การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมระดับชาติ ครั้งที่ 2 (The 2nd National Conference of Industrial Technology)



สาขาของบทความ

กลุ่มไฟฟ้า

กลุ่มเครื่องกล อุตสาหการ การผลิต

กลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคม คอมพิวเตอร์

กลุ่มออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กลุ่มการจัดการอุตสาหกรรม

กลุ่มอื่น ๆ

กลุ่มวิจัยเพื่อสร้างกระบวนการเรียนรู้

25 - 26 ตุลาคม 2559

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

สารบัญ

หน้า

กลุ่มไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

วงจรกำเนิดสัญญาณควอเตอร์โหนดกระแสอันดับสามโดยใช้ CCCFTA	190
---	-----

การพัฒนาสื่อการสอนทางวิศวกรรมศาสตร์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง	195
--	-----

การศึกษาด้านการบันทึกข้อมูลการเข้าร่วมกิจกรรมของนักศึกษาบนสื่อออนไลน์ด้วยเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด	201
---	-----

การพัฒนาชุดทดลองการควบคุมสัญญาณไฟจราจรด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ARDUINO	208
---	-----

การพัฒนากล่องส่งงานอัจฉริยะด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พาย	215
--	-----

ระบบจ่ายน้ำอัตโนมัติสำหรับแปลงผัก	220
-----------------------------------	-----

การเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นกระเบื้องปูพื้นโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริก	226
--	-----

กลุ่มเครื่องกล อุตสาหการ การผลิต

กระบวนการขึ้นรูปการถ่ายทอดเทคโนโลยีเกษตรทฤษฎีใหม่ในด้านเครื่องยนตการเกษตร	232
---	-----

ผลของสัดส่วนพื้นที่ช่องลมออกต่อการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน	237
--	-----

การหาค่าความร้อนที่เข้าสู่อาคารเพื่อเป็นแนวทางการประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี	245
--	-----

การวางแผนคลังสินค้าแบบสัดส่วนการรับ-ส่งสินค้าร่วมกับหลักการวิเคราะห์แบบ ABC กรณีศึกษา : บริษัทบีซี ซูเปอร์เซ็นเตอร์ จำกัด (มหาชน)	251
--	-----

เครื่องขนส่งอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า	257
---	-----

เครื่องทดสอบגעבודความดัน	264
--------------------------	-----

การออกแบบและสร้างเครื่องอัดกลีบดอกไม้จันทร์	268
---	-----

การเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นกระเบื้องปูพื้นโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริก

Energy Harvesting Floor Tile Using Piezoelectric Methods

พิชิต อ้วนไตร

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Email : pichitutri@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาชุดต้นแบบสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นกระเบื้องปูพื้นโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริก โดยประกอบด้วยชุดกระเบื้องปูพื้นรับแรงกดที่ประกอบจาก เพียโซอิเล็กทริก 64 ชิ้น วงจรควบคุม และแบตเตอรี่ เมื่อทำการทดลองพบว่าชุดรับแรงกดเมื่อรับน้ำหนักประมาณ 70 กิโลกรัมที่มีความถี่ในการเหยียบ 20 ครั้งต่อนาทีชุดต้นแบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้แรงดันเฉลี่ย 8.8 โวลท์ และเมื่อเชื่อมต่อกับชุดวงจรรักษาระดับแรงดันสามารถประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ ขนาด 300 mAh ได้โดยใช้เวลา 63.829 ชั่วโมง

คำสำคัญ: การเก็บเกี่ยวพลังงาน, เพียโซอิเล็กทริก

Abstract

The paper aims to develop the prototypes for energy harvesting floor tile using piezoelectric methods, the prototype consists of floor tile pressure set created from 64 of Piezoelectric, control circuits and battery. The research results was found that floor tile pressure set on the weight of about 70 kg and used the frequency of step 20 times per minute can produce an electric voltage 8.8 Volt and when connected to the regulator circuits the floor tile pressure set can charged with a 300 mAh battery takes 63.829 hours.

Keywords : Energy Harvesting, Piezoelectric

1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตประจำวันที่ตอบสนองต่อความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์และเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิต มนุษย์ได้นำพลังงานรูปแบบต่างๆ มาใช้ในการดำเนินชีวิต เช่น ในการเกษตร ใช้ในงานอุตสาหกรรมและทางการทหาร แต่การใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันทำให้แหล่งพลังงานที่มีในโลกร่อยหรอลง จากการคาดการณ์ของนักวิทยาศาสตร์ ประเมินว่าในอนาคตพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปโดยเฉพาะ

น้ำมันจะมีปริมาณลดลงในขณะที่ความต้องการพลังงานของมนุษย์กลับสูงขึ้นซึ่งเป็นปัญหาหลักของทุกประเทศ เช่นเดียวกับประเทศไทยที่มีการใช้พลังงานสูงขึ้นและนำเข้าน้ำมันในช่วงเดือน มกราคมถึงกรกฎาคม 2559 มากสุดเป็นอันดับหนึ่ง [1] ดังนั้นการลดการใช้พลังงานและการอนุรักษ์การใช้พลังงานอย่างประหยัดจึงเป็นนโยบายสำคัญ

ไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีความสำคัญและถูกนำมาใช้ในชีวิตประจำวันนับเป็นปัจจัยสำคัญในการดำเนินชีวิต โดยไฟฟ้านั้นเป็นพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติและสามารถผลิต

ขึ้นมาได้ โดยใช้พลังงานกล โรงไฟฟ้าส่วนใหญ่จะใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานความร้อนเพื่อสร้างไอน้ำแรงดันสูงในการขับเคลื่อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) ซึ่งปริมาณเชื้อเพลิงที่สูงสูญเสียไปในระหว่างการผลิตความร้อนถือเป็นปริมาณที่มากซึ่งทำให้เกิดการค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลเดิมคือ น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ที่ใช้แล้วหมดไปด้วยพลังงานหมุนเวียนต่างๆ เช่น แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำขยะ ไฮโดรเจน พลังงานนิวเคลียร์

อีกหนึ่งวิธีการที่กำลังได้รับความสนใจคือการนำพลังงานจากแหล่งกำเนิดพลังงานที่อยู่ล้อมรอบ (ambient energy) หรือพลังงานที่เหลือใช้ (waste energy) แปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าและกักเก็บสะสมไว้เพื่อป้อนให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ เป็นทางเลือกอีกวิธีหนึ่งสำหรับพลังงานทดแทนในอนาคต กระบวนการนี้เรียกว่าการเก็บเกี่ยวพลังงาน (energy harvesting or energy scavenging) ซึ่งมีบทบาทสำคัญอย่างมากสำหรับเครือข่ายเซนเซอร์แบบไร้สาย (wireless sensor network) และประยุกต์ใช้เข้ากับระบบติดตามเฝ้าระวังผู้ป่วย (health care monitoring system) โดยอาศัยเครือข่ายพลังงานเลี้ยงตัวเอง (self power network) เข้ากันกับตัวตรวจจับ (sensor) โดยไม่อาศัยพลังงานจากแบตเตอรี่ [2] โดยอาศัยกระบวนการนำพลังงานทางกล เช่น แรงสั่นสะเทือน การยืดหด การกดทับ การไหล ฯลฯ มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric) ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกคือจะผลิตไฟฟ้าออกมาเมื่อมีแรงกดทับหรือบิดงอ [3] โดยผู้วิจัยหลายท่านได้ทำการวิจัยเพื่อหาวิธีการเก็บเกี่ยวพลังงานที่ได้จากการเคลื่อนที่ โดยนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในเส้นรองเท้าเนื่องจากในวันหนึ่งมนุษย์มีการเดินและใช้เวลาทำกิจกรรมการเดินมาก ทำให้เสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ การนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกใส่ลงในรองเท้าจึงทำให้ทุกๆครั้งที่ก้าวเดินเสมือนใส่พลังงานกลลงในวัสดุแล้วเก็บพลังงานไว้แปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางชนิดที่ไม่ต้องการกำลังไฟมากนัก เช่น เครื่องวัดสัญญาณทางการแพทย์แบบติดตามตัว เครื่อง

เล่นเพลง หรือแม้กระทั่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่การที่จะนำอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานไปใส่ให้กับรองเท้าอาจจะไม่สะดวกนักเนื่องจากจะเพิ่มน้ำหนักและอาจทำให้รองเท้าเสียคุณสมบัติในการรับแรงกระแทก เพราะต้องมีการเจาะหรือตัดช่องเพื่อใส่อุปกรณ์

จากปัญหาและความสำคัญของวิธีการเก็บเกี่ยวพลังงานดังกล่าวผู้วิจัยได้สร้างแผ่นกระเบื้องปูพื้นสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริก โดยเป็นแผ่นกระเบื้องปูพื้นที่วางบนฐานที่มีอุปกรณ์สำหรับเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อเป็นต้นแบบในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ ที่ต้องการแหล่งกำเนิดพลังงานขนาดเล็กและสามารถนำไปใช้ในพื้นในที่คนพลุกพล่านเพื่อช่วยให้การเก็บเกี่ยวพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษากระบวนการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริก

2. สร้างชุดต้นแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นกระเบื้องปูพื้นโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริก

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

1. ชุดต้นแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นกระเบื้องปูพื้นโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริกสามารถผลิตไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่า 5 V_{DC}

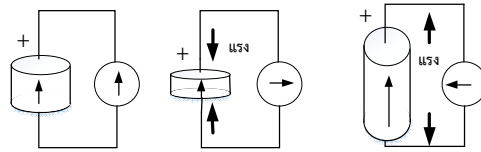
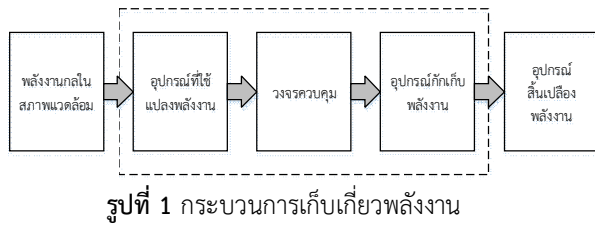
2. สามารถกักเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่ได้

2. ทฤษฎี

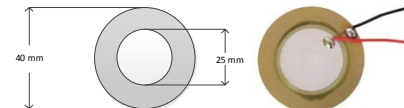
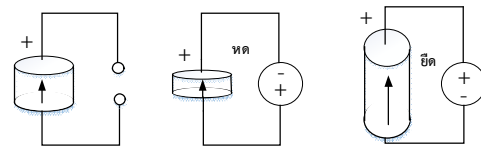
การดำเนินการวิจัยอาศัยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเป็นข้อมูลประกอบการดำเนินงานดังนี้

2.1 หลักการเก็บเกี่ยวพลังงาน

การเก็บเกี่ยวพลังงาน (energy harvesting, energy scavenging) คือกระบวนการนำพลังงานที่ปรากฏในสภาพแวดล้อมซึ่งเป็นพลังงานกลในรูปแบบต่างๆมาแปลงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า [4] สามารถจัดเก็บหรือป้อนพลังงานให้แก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้พลังงานต่ำได้โดยมีกระบวนการดังรูปที่ 1



จากกระบวนการเก็บเกี่ยวพลังงานสามารถอธิบายได้ดังนี้ในส่วนของพลังงานกลในสภาพแวดล้อมหมายถึงแรงที่เกิดจากเครื่องจักร แรงกดทับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมนั้นๆ อุปกรณ์ที่ใช้แปลงพลังงาน (transducer) หมายถึงอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งในที่นี้หมายถึงอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริก วงจรควบคุมหมายถึงวงจรที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการจ่ายพลังงานระหว่างเพียโซอิเล็กทริกกับอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน วงจรที่ใช้คือวงจรเรียงกระแสและวงจรรักษาระดับแรงดัน อุปกรณ์กักเก็บพลังงานใช้สำหรับเก็บพลังงานที่ได้เป็นอุปกรณ์ เช่น ตัวเก็บประจุ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานหมายถึง ส่วนใช้พลังงาน เช่น ไฟแสดงผล โหลดที่ใช้พลังงานต่ำ

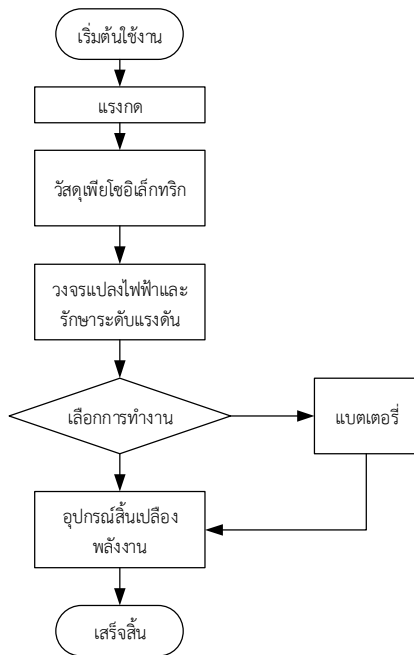


2.2 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

ในปี ค.ศ. 1880 โดย ปีแอร์ คูรี (Pierre Curie) และ จาคส์ คูรี (Jacques Curie) ได้ศึกษา ผลของความดันต่อการเกิดประจุไฟฟ้าของผลึกควอตซ์ (quartz) ดีเกลือ (rochelle salt) อัญมณี (tourmaline) พบว่าสามารถให้กำเนิดไฟฟ้าได้เมื่อมีแรงกดกระทำต่อผลึก เขาให้ชื่อกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า ปรากฏการณ์ “เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect)” ซึ่งมีรากศัพท์จากภาษากรีก หมายถึง “to press” นำมารวมกับคำว่า “electric” และ ถ้าป้อนไฟฟ้ากลับเข้าไปในผลึก ผลึกก็จะสั่นเป็นปรากฏการณ์ที่เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายเช่น ไมโครโฟน และ ลำโพง โดยอาศัยปรากฏการณ์แบบตรง (direct) ดังรูปที่ 2 และแบบผกผัน (inverse) ดังรูปที่ 3 และวัสดุเพียโซอิเล็กทริกของจริงที่ใช้ในการวิจัยเลือกใช้ขนาด 40 มิลลิเมตรเป็นแบบเซรามิคสามารถผลิตไฟฟ้าได้เมื่อมีการบิดงอหรือกดทับดังรูปที่ 4

3. การออกแบบ

การสร้างชุดต้นแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นกระเบื้องปูพื้นโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริกมีขั้นตอนการทำงานและการออกแบบดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผังการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบ

3.1 การออกแบบ

ออกแบบและสร้างชุดต้นแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นกระเบื้องปูพื้นโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริกประกอบด้วยกัน 3 ส่วน คือ

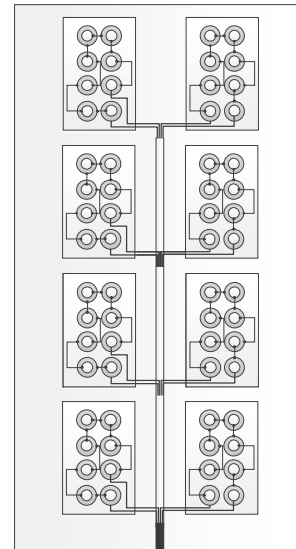
- 1.ชุดโครงแผ่นกระเบื้องปูพื้นรับแรงกด
- 2.วงจรแปลงไฟฟ้าและรักษาระดับแรงดัน
- 3.อุปกรณ์เก็บกระแสไฟฟ้า

การสั่นของโครงวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสลับ (ac signal) [5] เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของฟลักซ์ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องที่ความถี่เรโซแนนซ์ของโครงสร้างผลึกเปรียบเสมือนวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ขดลวดและตัวเก็บประจุ ขณะเกิดเรโซแนนซ์กระแสไหลผ่านวงจรได้สูงสุดวิธีเปลี่ยนความถี่เชิงกลอาศัยสมการ

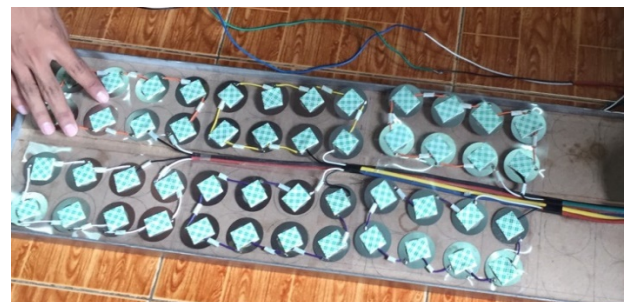
$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

เมื่อ f_r คือความถี่เรโซแนนซ์ของระบบ k คือค่าคงที่สปริง m คือมวลติดสปริง

แต่ในการออกแบบชุดต้นแบบครั้งนี้ใช้ทดลองที่น้ำหนัก 70 กิโลกรัมโดยใช้การวางแผ่นเพียโซอิเล็กทริกบนแผ่นกาวยางจึงทดลองที่การวัดเป็นจำนวนครั้งของการเหยียบต่อนาทีแทน

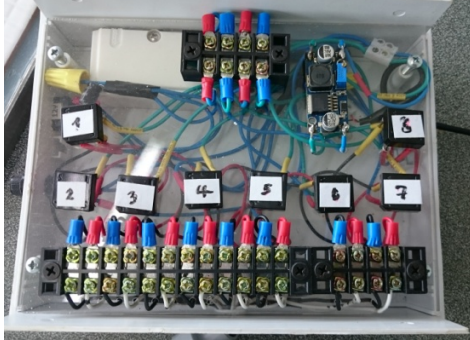
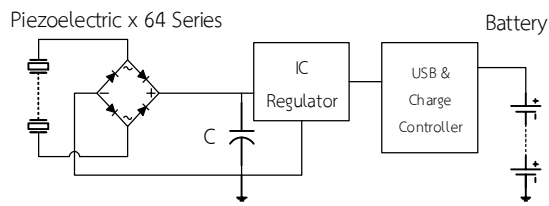


รูปที่ 6 ผังการออกแบบการติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 64 ชิ้นบนโครงแผ่นกระเบื้องปูพื้นรับแรงกด



รูปที่ 7 การติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจำนวน 64 ชิ้นบนแผงอุปกรณ์จริง

วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าและวงจรรักษาระดับแรงดันใช้การออกแบบวงจรอย่างง่ายโดยใช้วงจรเรียงกระแสทั่วไปและวงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ IC สำเร็จรูปดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 วงจรเรียงกระแสและวงจรรักษาระดับแรงดัน
อย่างง่าย

แบตเตอรี่ที่ใช้ในการวิจัยได้เลือกใช้แบตเตอรี่ ขนาด 150 mAh จำนวน 2 ก้อน อนุกรมกัน มาใช้สำหรับทดลอง การเก็บพลังงาน

4. ผลการทดลอง

ในการทดลองชุดต้นแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจาก แผ่นกระเบื้องปูพื้นโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริกได้ทำการ เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลดังนี้

4.1 การวัดแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยของชุดต้นแบบ

ในการหาค่าแรงดันเฉลี่ยได้ทดลองหาแรงดันไฟฟ้า โดย โดยใช้น้ำหนักของผู้ทดลองกดประมาณ 70 กิโลกรัม ทดลองกดโครงกระเบื้องปูพื้นเป็นจำนวน 20 ครั้งต่อ นาที ผลลัพธ์ดังตารางที่ 1



รูปที่ 8 การทดลองหาค่าแรงดันเฉลี่ยที่ผลิต

ตารางที่ 1 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย

ครั้งที่	แรงดัน (โวลต์)	เวลา (วินาที)
1	6.3	3
2	5.5	3
3	7.9	3
4	6.1	3
5	10.4	3
6	9.2	3
7	5.4	3
8	6.3	3
9	5.3	3
10	8.5	3
11	9.5	3
12	10.6	3
13	10.8	3
14	10.4	3
15	10.8	3
16	10.5	3
17	10.6	3
18	10.8	3
19	10.4	3
20	10.8	3
แรงดันเฉลี่ย	8.8 โวลต์	60 วินาที

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้อยู่ที่ 8.80 โวลต์ ซึ่งสูงกว่าวัตถุประสค์ที่ตั้งไว้ 5 โวลต์ หากพลังงานที่ได้จากค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยจากสูตร

$$W = \frac{1}{2} V^2 \cdot C \quad (2)$$

เมื่อใช้ค่า $C = 470 \mu F$

พลังงานที่ได้เท่ากับ 18.19 mJ

พลังงานต่อก้าวเท่ากับ 0.90 mJ

กำลังงานที่ได้ในหาได้จากสูตร

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (3)$$

กำลังงานใน $5 \mu s$ มีค่าเท่ากับ 3,638 W

4.2 ทดสอบความสามารถกักเก็บพลังงานลงแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแบตเตอรี่ขนาด 150 mAh อนุกรมกันโดยใช้สมการ

$$\text{เวลาประจุ/ปล่อยประจุ(ชม.)} = \frac{\text{Batt (Ah / mAh)}}{\text{Cap (Ah / mA)}} \quad (4)$$

จะได้เวลาเท่ากับ 63.829 ชม.

5. สรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและสร้างชุดต้นแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นกระเบื้องปูพื้นโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริก โดยได้ใช้การออกแบบอย่างง่ายเพื่อหาความเป็นไปได้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานกลซึ่งผลการทดลองพบว่า ชุดต้นแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากแผ่นกระเบื้องปูพื้นโดยใช้วิธีทางเพียโซอิเล็กทริกที่สร้างขึ้นสามารถผลิตไฟฟ้าได้โดยการกดทับ โดยในการทดลองใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริก 64 ชิ้นต่ออนุกรมกันเมื่อกดทับบนโครงที่สร้างได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 8.80 โวลต์ ซึ่งสูงกว่าค่าที่ต้องการคือ 5 โวลต์ และใช้เวลาในการประจุไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ขนาด 150 mAh เป็นเวลา 63.829 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป หากต้องการให้แรงดันไฟฟ้าออกมาจากมากกว่านี้จะต้องเลือกใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่มีคุณภาพสูง และวงจรสำหรับการหน่วงเวลาสำหรับการประจุไฟฟ้าครั้งนี้เป็นวงจรที่ออกแบบอย่างง่าย จึงทำให้ไม่สามารถหน่วงเวลาได้นานพอ และพื้นที่ของแผ่นกระเบื้องปูพื้นที่นำมาทดลองน้อยเกินไป หากต้องการได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำจะต้องออกแบบให้กว้างและใช้ปริมาณของเพียโซอิเล็กทริกที่มากกว่าซึ่งจะมีผลต่อความคุ้มค่าในการลงทุนและการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] “สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย เดือนมกราคม - กรกฎาคม 2559 (Energy Situation January - July 2016)”, สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2559, สืบค้นจาก http://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=43607
- [2] ชัชชัย พุฒซ้อน, “การเก็บเกี่ยวพลังงานกลด้วยพอลิเมอร์ฉลาด” , วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17 (2555), หน้า182-188.
- [3] “วัสดุเพียโซอิเล็กทริกคัน” ศันศินัย รักไทยเจริญชีพ สืบค้นเมื่อ 30 กันยายน 2559, สืบค้นจาก <http://www.dss.go.th/images/st-article/ct-10-2555-pieso.pdf>
- [4] ธงชัย โชติวัฒนกานต์กุล, “เพียโซอิเล็กทริกในระบบเก็บเกี่ยวพลังงานสำหรับเซนเซอร์ไร้สาย”, GRC 2013 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น, หน้า. 195-201.
- [5] ภาณุ ไทยนิรมิตร, “การพัฒนาการเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยวิธีการทางเพียโซอิเล็กทริก”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2556.