

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ระบบเก็บเก็บพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกสำหรับการประยุกต์ใช้พื้นที่  
กำเนิดพลังงาน

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ.....พ.ศ. 2560..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน.....400,000..บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย.....1..... ปี ตั้งแต่ ตุลาคม พ.ศ. 2559 ถึง กันยายน พ.ศ. 2560.....

หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน หน่วยงานต้นสังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ร่วมโครงการวิจัย รศ.ดร. อรรถพล เก่งพิทักษ์กุล หน่วยงานต้นสังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและออกแบบพื้นที่กำเนิดพลังงานโดยอาศัยหลักการและความสามารถ  
การแปลงพลังงานการสั่นสะเทือนทางกลเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยวัสดุที่มีคุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริกซึ่ง  
สามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์กำลังไฟฟ้าต่ำได้หลากหลายรูปแบบหรืออาจจะสะสมพลังงานที่ได้รับใน  
อุปกรณ์สะสมพลังงานเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นไป โดยอุปกรณ์เพียโซอิเล็กทริกที่ใช้  
เป็นวัสดุผสมเซรามิคประเภทเลทเซอร์โครเนตไททาเนต ซึ่งเป็นประเภทที่นิยมในการนำมาผลิต  
พลังงานไฟฟ้าจากแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำ เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การแปลงพลังงานกล-ไฟฟ้า ค่า  
ความเก็บประจุ และความทนทานต่ออุณหภูมิที่สูง อีกทั้งมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมกับการ  
ประยุกต์เป็นพื้นที่กำเนิดพลังงานกล่าวคือมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา การศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้า  
จากการสร้างแบบจำลองทางไฟฟ้าด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink และศึกษาคุณลักษณะทาง  
กายภาพเพื่อหาผลตอบสนองทางกลด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench

**คำสำคัญ :** เพียโซอิเล็กทริก, พื้นที่กำเนิดพลังงาน, คุณลักษณะทางกล-ไฟฟ้า, และอุปกรณ์สะสมพลังงาน

**Research Title:** Energy Harvesting System from Piezoelectric Material for Power Generation Flooring Application

**Researcher:** Asst. Prof. Dr. Chaiyan Jettanasen **Faculty:** .....Electrical Engineering.....

**Department:** .....King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.....

Assoc. Prof. Dr. Atthapol Ngaopitakkul **Faculty:** Electrical Engineering

**Department:** .....King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.....

## ABSTRACT

This research focuses on study and design of the power generating floor based on the piezoelectricity principle and energy conversion ability to convert mechanical vibration energy into electrical form by piezoelectric material that can be applied to various low energy required applications or it can be accumulated those energy in the energy storage device for late power required devices. The piezoelectric device used is a ceramic composite material, especially Lead Zirconate Titanate (PZT), which is the most popular for electrical generation from low level energy vibration due to the high capacitance, mechanical-electrical conversion coefficient and temperature resistance along with their physical characteristics which are suitable for the flooring application owing to their compact sizing and light weight. Electrical characteristics and model developed by MATLAB Simulink, and ANSYS Workbench for mechanical response simulation are carried out.

**Keywords :** Piezoelectric, Power generating floor, Mechanical-electrical characteristics, and Energy storage device

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการศึกษาระบบเก็บเก็บพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกสำหรับการประยุกต์ใช้พื้นที่กำเนิดพลังงาน สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือและได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน

รศ.ดร. อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ .....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>10</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	10
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	14
1.3 ขอบเขตของการวิจัย .....	14
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย .....	14
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	15
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรม.....</b>	<b>17</b>
2.1 เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric).....	22
2.2 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectricity).....	23
2.3 กระบวนการโพลิง (poling).....	24
2.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน .....	25
2.4.1 เซนเซอร์เพียโซ (Piezoelectric sensor) .....	25
2.4.2 การประยุกต์ใช้งานในด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์.....	27
<b>บทที่ 3 การออกแบบและจำลองระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก .....</b>	<b>33</b>
3.1 แบบจำลองลักษณะการทำงานของวงจรถูกเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	34
3.2 ผลการจำลอง .....	35
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง .....</b>	<b>39</b>
4.1 ลักษณะแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น .....	40
4.2 ผลการต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบอนุกรม .....	40
4.3 ผลการต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน .....	42
4.4 การทดลองก่อนเชื่อมต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่ .....	45

4.4.1 แรงดันอินพุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน.....	46
4.4.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน.....	46
4.5 การทดลองหลังเชื่อมต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	47
4.5.1 แรงดันอินพุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน Vin.....	47
4.5.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน Vout.....	48
4.6 แรงดันแบตเตอรี่.....	49
4.7 การประยุกต์ใช้งาน.....	53
4.8 ขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุม Applications .....	54
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>56</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	56
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา .....	57
<b>เอกสารอ้างอิง .....</b>	<b>56</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>56</b>
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ในการวิจัย .....	62
ภาคผนวก ข สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย .....	66
<b>ประวัติคณะผู้วิจัย.....</b>	<b>67</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ลักษณะและประโยชน์ในการใช้เครื่องวัดความดันลูกตา.....30
3.1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จำลองการทำงานของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน.....34
4.1	สรุปลักษณะการต่อของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นขนานกัน.....43
4.2	เวลาในการอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน.....50
4.3	เวลาในการอัดประจุต่อจำนวนพื้นที่กำเนิดพลังงานเมื่อได้รับแรงทางกล.....52
4.4	เปรียบเทียบแรงดัน ณ ตำแหน่งต่างๆ.....55

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1.1	พื้นที่กำเนิดพลังงานที่สถานีโตเกียวประเทศญี่ปุ่น.....	12
1.2	พื้นที่กำเนิดพลังงานประเทศอิสราเอล.....	12
1.3	แผนกำเนิดพลังงานติดตั้งที่ระบบรถไฟประเทศอิสราเอล.....	13
2.1	วงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก.....	18
2.2	พื้นเพียโซอิเล็กทริกโพลิเมอร์.....	19
2.3	ลักษณะการติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่พื้นถนน.....	20
2.4	แบบจำลองทางวิ่ง (taxiway) ที่ติดตั้งพื้นเพียโซอิเล็กทริก.....	21
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างเพียโซอิเล็กทริกและกลุ่มย่อยที่มีพื้นฐานของความสมมาตร.....	23
1.6	ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก.....	24
2.7	การโพลาริเซชันของวัสดุเซรามิค.....	25
2.8	เพียโซอิเล็กทริกเปลี่ยนแรงกดเป็นพลังงานไฟฟ้า.....	26
2.9	รูปร่างลักษณะของเซนเซอร์เพียโซ.....	26
2.10	ตัวรับสัญญาณของเครื่องอัลตราซาวด์.....	27
2.11	ที่รับสัญญาณการเคาะ (Knock Screen).....	28
2.12	กระจกสำหรับการติดตั้งเพียโซอิเล็กทริก.....	29
2.13	เครื่องวัดความดันลูกตา.....	29
2.14	เซนเซอร์วัดความดันโลหิต.....	30
2.15	เซนเซอร์ที่ใช้ในอุปกรณ์วัดความดันโลหิต.....	31
2.16	กางเกงไฮเทค.....	31
2.17	เซนเซอร์ตรวจจับเสียง.....	32
2.18	การทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับเสียง.....	32
3.1	แผนผังแสดงการทำงานของชุดทดลอง.....	33
3.2	แบบจำลองการทำงานของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	34

3.3	กราฟแสดงแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	35
3.4	กราฟสเกลขยายแรงดันอินพุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	35
3.5	กราฟแสดงกระแสอินพุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	35
3.6	กราฟสเกลขยายกระแสอินพุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	36

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.7	กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	37
3.8	กราฟสเกลขยายแรงดันเอาต์พุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	37
3.9	กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	38
3.10	กราฟสเกลขยายกระแสเอาต์พุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	38
4.1	แบบจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	39
4.2	ออสซิลโลสโคป Wave Surfer 3000 Oscilloscopes.....	39
4.3	สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง.....	40
4.4	สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นอนุกรมกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง.....	40
4.5	สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นอนุกรมกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง.....	41
4.6	สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นอนุกรมกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง.....	41
4.7	สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นขนานกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง.....	42
4.8	สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นขนานกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง.....	42
4.9	สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นขนานกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง.....	43
4.10	พื้นที่ติดตั้งแผ่นเพียโซอิเล็กทริก.....	44
4.11	วงจรเก็บเกี่ยวพลังงานและวงจรชาร์จแบตเตอรี่.....	45
4.12	วงจรการทดลองขณะเก็บเกี่ยวพลังงาน.....	45
4.13	กราฟแสดงแรงดันอินพุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานเทียบกับเวลา.....	46
4.14	กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานเทียบกับเวลา.....	46
4.15	วงจรทดลองขณะเก็บเกี่ยวพลังงาน ผ่านวงจรชาร์จลงลิเธียมไอออนโพลิเมอร์.....	47
4.16	กราฟแสดงแรงดันอินพุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานเทียบกับเวลา (หลังต่อวงจรชาร์จ).....	47
4.17	กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานเทียบกับเวลา (หลังต่อวงจรชาร์จ).....	48
4.18	วงจรชาร์จแบตเตอรี่พร้อมไฟแสดงสถานะ.....	49
4.19	การต่อความต้านทานเพื่อจำกัดกระแสชาร์จ.....	50

4.20	การติดตั้งแผ่นเพียโซอิเล็กทริกทั้งหมด 8 แผ่น.....	51
4.21	พื้นที่การติดตั้งขนาด 2.7 ตารางเมตร.....	51
4.22	วงจรเก็บเกี่ยวพลังงานและวงจรชาร์จแบตเตอรี่ พร้อมวงจรควบคุม Applications.....	53
4.23	รายละเอียด วงจรควบคุม Applications.....	53

### สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.24	แผนผังแสดงการทำงานของวงจรควบคุม Applications.....	53
4.25	หลอด LED แบบ Surface Mount Device (SMD).....	54
4.26	การชาร์จโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	54
5.1	พื้นที่กำเนิดพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก.....	56

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปัญหาสถานะเรือนกระจกหรือสภาวะโลกร้อนเป็นหนึ่งในประเด็นสำคัญที่ต้องเร่งแก้ไข เพราะการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลกอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลร้ายแรงต่อชั้นบรรยากาศโลก และความเป็นอยู่ของมนุษย์ รวมไปถึงสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ จึงเป็นที่ตระหนักทั้งในระดับประเทศ ระดับภูมิภาคและระดับโลก เกี่ยวกับแนวทางการบรรเทาปัญหาดังกล่าวในสภาวะที่ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีมากขึ้นในทุกภูมิภาคทั่วโลก กล่าวได้ว่าพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันและขับเคลื่อนเศรษฐกิจ อัตราส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันส่วนใหญ่ยังคงเป็นพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันดิบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยได้ใช้เชื้อเพลิงการผลิตจากก๊าซธรรมชาติสูงถึงร้อยละ 70 ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปไม่สามารถนำมาใช้ใหม่ได้ อีกทั้งยังเป็นหนึ่งสาเหตุของการเกิดสภาวะเรือนกระจกอีกด้วย ทั้งในภาครัฐและเอกชนจึงมีการสนับสนุนนโยบายการเพิ่มอัตราส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือก เช่น พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม เพราะเป็นพลังงานที่สะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อระบบนิเวศน์และยังสามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าใหม่ได้อย่างยั่งยืนและไม่มีวันหมดไป และได้วางแผนนำเอาแหล่งพลังงานทดแทนเหล่านี้มาเป็นพลังงานหลักเพื่อช่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งในประเทศและในระดับโลกต่อไปในอนาคต

อีกหนึ่งเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจที่จะช่วยเพิ่มอัตราส่วนการใช้พลังงานทดแทนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าตามแผนพลังงานทดแทนของภาครัฐและสนับสนุนการใช้พลังงานสะอาดในภาคเอกชน กล่าวคือเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงาน ซึ่งมีคุณลักษณะคล้ายพลังงานทางเลือกอื่น ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นแต่จะเป็นการกักเก็บเอาพลังงานทางกลที่สูญเปล่ารอบ ๆ ตัวจากดกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันมาแปลงผันเป็นพลังงานในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า โดยการเก็บเกี่ยวพลังงานมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนที่ของลมหรือน้ำตามธรรมชาติ การเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นเสียงที่เกิดจากการทำงานอุปกรณ์ไฟฟ้า การเก็บเกี่ยวพลังงานความร้อนจากการทำงานของเครื่องจักรความร้อนหรือพลังงานความร้อนที่แผ่ออกมาจากร่างกายของสิ่งมีชีวิต และที่น่าสนใจเป็นอย่างมากและมีการนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำ เช่น พลังงานการสั่นสะเทือนที่เกิดจาก

การย่ำเดินหรือเกิดจากการกดทับของรถยนต์บนท้องถนนด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งเป็นความสามารถของผลึกภายในวัสดุเมื่อได้รับแรงเค้นทางกลจะเกิดการเรียงตัวกันของไอออนทำให้เกิดการกระจัดทางไฟฟ้าและมีการเคลื่อนที่สัมพันธ์กันระหว่างไอออนบวกและลบ เกิดเป็นสนามไฟฟ้าทำให้ที่ชั้นของวัสดุเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น นิยมใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังไฟฟ้าไม่สูงมาก เช่น ระบบเซนเซอร์และระบบไร้สาย แต่หากใช้ปริมาณแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่มากเพียงพอผนวกกับพัฒนาจอร์อินเตอร์เฟส และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สะสมพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ ก็จะสามารถรวบรวมพลังงานที่มากพอเพื่อใช้กับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นต่อไป เช่น ระบบส่องสว่าง เป็นต้น

การนำเอาวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมาใช้งานโดยทั่วไปจะนิยมใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก เช่น วัสดุผสมเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT) เนื่องจากโครงสร้างอะตอมของวัสดุผสมเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT) เมื่อผ่านกระบวนการโพลิ่งหรือกระบวนการจัดเรียงไดโพลททำให้ผลึกมีความเป็นขั้ว และมีสภาพยอมทางไฟฟ้าที่สูง ทำให้วัสดุผสมเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT) ได้รับความนิยมเพราะมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่เก็บเกี่ยวได้สูงที่สุดต่อราคาลงทุนในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการใช้งานวัสดุผสมเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT) จะด้กทงมีการคำนวณแรงกระทำต่อวัสดุให้เหมาะสมเนื่องจากวัสดุผสมเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT) มีคุณสมบัติเซรามิกทำให้มีความเปราะและแตกหักได้ง่าย ลักษณะการใช้งานมักจะไม่ให้วัสดุสัมผัสกับแรงโดยตรง ใช้กันมากกับการทำพื้นกำเนิดพลังงานโดยมีวัสดุอื่นหุ้มหรือรองไว้ไม่ให้วัสดุผสมเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT) สัมผัสกับแรงโดยตรง วัสดุเพียโซอิเล็กทริกอีกประเภทหนึ่งคือวัสดุผสมโพลีเมอร์พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (PVDF) จะมีพลังงานที่ได้ปริมาณน้อยกว่าวัสดุผสมเลดเซอร์โคเนตไททาเนต (PZT) แต่มีคุณสมบัติโพลีเมอร์ทำให้มีความยืดหยุ่นที่สูง ลักษณะการใช้งานจึงให้รับแรงกระทำโดยตรงโดยไม่เกิดความเสียหาย นิยมใช้กับการทำรองเท้ากำเนิดพลังงาน

สำหรับต่างประเทศมีการนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกไปใช้งานอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่นในประเทศญี่ปุ่นได้ออกแบบและติดตั้งพื้นกำเนิดพลังงานไว้ที่บริเวณช่องทางเดินเก็บค่าโดยสารรถไฟฟ้า สถานีโตเกียวดังภาพที่ 1.1 เพราะเป็นตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของผู้คนต่อขนาดพื้นที่ที่สูงมาก จึงทำให้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานได้ปริมาณมาก โดยทำการเก็บเกี่ยวพลังงานจลน์จากการเดินผ่านของผู้ใช้บริการแล้วนำไปจ่ายให้กับช่องจำหน่ายตั๋วและระบบจอแสดงผล ได้ทำการติดตั้งเป็นพื้นที่รวม 25 ตารางเมตร ทั้งนี้สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 1,400 กิโลวัตต์ต่อวัน

ประเทศอิสราเอลเป็นอีกประเทศที่ให้ความสนใจกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมากโดยได้มีการทดลองทำพื้นกำเนิดพลังงานจากพลังงานจลน์เมื่อรถยนต์วิ่งผ่านแล้วแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยติดตั้งเป็นเส้นตามขวางมีความกว้างไม่กี่เซนติเมตร แสดงไว้ดังภาพที่ 1.2 และได้เป็นที่ยอมรับกัน

อย่างกว้างขวางจากแนวคิดการเปลี่ยนความแออัดของการจราจรบนท้องถนนเป็นแหล่งพลังงานสะอาด พลังงานที่ได้รับประมาณ 400 กิโลวัตต์ต่อพื้นที่กำเนิดพลังงาน 1 กิโลเมตร



ภาพที่ 1.1 พื้นกำเนิดพลังงานที่สถานีโตเกียวประเทศญี่ปุ่น



ภาพที่ 1.2 พื้นกำเนิดพลังงานประเทศอิสราเอล

การเก็บเกี่ยวพลังงานจากแรงกดและความเค้นอัดจากการวิ่งของรถไฟก็เป็นอีกลักษณะหนึ่งที่ประเทศอิสราเอลได้ติดตั้งแผ่นกำเนิดพลังงานที่ทำด้วยวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจากที่เคยทดลองติดตั้งใช้งานกับทางด่วนเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานจากรถยนต์แล้วพัฒนาติดตั้งในระบบรถไฟภายในประเทศดังภาพที่ 1.3 เพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานให้ได้มากยิ่งขึ้น โดยจะติดตั้งไว้ตามแนวล้อรถไฟ เมื่อรถไฟวิ่งผ่าน 10 คัน จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 120 กิโลวัตต์ พลังงานที่ได้เพียงพอสำหรับระบบการให้สัญญาณไฟในระบบรถไฟ



ภาพที่ 1.3 แผ่นกำเนิดพลังงานติดตั้งที่ระบบรถไฟประเทศอิสราเอล

จากลักษณะการติดตั้งใช้งานจริงดังที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าในต่างประเทศได้เห็นความสำคัญของเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริกและได้มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเห็นถึงข้อได้เปรียบของพลังงานทางเลือกนี้หลายประการ เช่น เป็นพลังงานที่สะอาดไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำเอาพลังงานที่สูญเสียไปจากการดำเนินชีวิตประจำวันมาใช้ประโยชน์ มีต้นทุนการติดตั้งที่ต่ำ การติดตั้งไม่ทำลายระบบนิเวศน์และทิวทัศน์ มีความซับซ้อนของระบบที่น้อย สามารถเชื่อมต่อกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ได้ง่าย และสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก

จากเหตุผลข้างต้นโครงการวิจัยนี้จึงมีการนำเสนอการนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกทำเป็นพื้นกำเนิดพลังงานติดตั้งในพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของแรงกระทำทางกลมาก เพื่อใช้งานกับระบบสัญญาณไฟและเซนเซอร์ อีกทั้งยังพัฒนาชุดอุปกรณ์การทดลองประจุไฟเข้าแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้ใรลักษณะงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นต่อไป บูรณาการกับการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าต่อการลงทุน กล่าวคือพลังงานที่สามารถเก็บเกี่ยวได้ด้วยวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะแปรผันไปตามแรงเค้นทางกลที่ผลึกในตัววัสดุได้รับ แต่หากได้รับแรงกระทำทางกลที่สูงจนเกินไปวัสดุอาจได้รับความเสียหายและเสียสภาพความเป็นเพียโซอิเล็กทริกไปและหากได้รับแรงกระทำทางกลน้อยจนเกินไปอาจได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่าปริมาณที่ควรจะได้รับ ทั้งนี้การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะช่วยคำนวณเชิงตัวเลขผนวกกับการวิเคราะห์เชิงวัสดุและโครงสร้าง หากจุดที่เหมาะสมและมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนติดตั้งพื้นกำเนิดพลังงานทำให้การประหยัดพลังงานด้วยวิธีนี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกและสนับสนุนการให้มีการพัฒนาต่อยอดเพื่อเพิ่มสัดส่วนในการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
2. เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าและทางกลของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและออกแบบวงจรอินเตอร์เฟสให้เหมาะสมสำหรับใช้กับเทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงาน
3. เพื่อสร้างพินกำเนิดพลังงานงานและทดลองการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำเพื่อช่วยผลิตไฟฟ้าและเก็บสะสมเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่พิจารณาคือวัสดุผสมเพียโซอิเล็กทริกเซรามิคเลดเซอร์โคเรเนตไททานเนต (PZT)
2. วัสดุสัญญาณแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และพิกัดกำลังไฟฟ้าที่เก็บเกี่ยวได้
3. ออกแบบชุดการทดลองพินกำเนิดพลังงานที่สามารถใช้งานได้จริงจากแรงสั่นสะเทือนความถี่ต่ำ
4. วิเคราะห์ความเหมาะสมและความคุ้มค่าของการออกแบบด้วยการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และปรับปรุงชุดการทดลองให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยตลอดโครงการมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบการเก็บเกี่ยวพลังงาน และศึกษาคุณลักษณะทางกลและไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิดต่าง ๆ ตลอดจนปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการทดลอง
2. จัดเตรียมอุปกรณ์หลักที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมด ได้แก่ มาตรฐานวัดปริมาณทางไฟฟ้า ออสซิลโลสโคป เพียโซอิเล็กทริก เป็นต้น
3. ทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญและมีผลต่อพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้จากเพียโซอิเล็กทริกโดยแบบจำลองทางไฟฟ้า และจำลองการควบคุมให้การชาร์จแบตเตอรี่ในวงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานมีประสิทธิภาพ
4. ติดตั้งอุปกรณ์และสร้างพินกำเนิดพลังงาน ทำการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า และเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงกับการทดลองจากแบบจำลอง
5. จำลองผลตอบสนองทางกลด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาลักษณะการป้อนแรงกระทำทางกลที่เหมาะสมและความสามารถในการรับแรงให้ได้ผลตอบสนองทางไฟฟ้าสูงสุดและไม่เกิดความเสียหายต่อวัสดุ

6. ปรับปรุงวงจรอินเตอร์เฟสให้เก็บเกี่ยวพลังงานได้สูงยิ่งขึ้น
7. ปรับปรุงชุดการทดลองต้นแบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามผลเฉลยและข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผลตอบสนองทางกลที่เกิดขึ้นจากแบบจำลอง
8. สรุปลผลการศึกษาวิจัยเพื่อจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และเขียนบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ประโยชน์ในด้านการพัฒนาทางด้านอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมของประเทศ และประโยชน์จากองค์ความรู้ใหม่ ช่างแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากโครงการอนุรักษ์พลังงาน

1. ช่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าสามารถใช้ได้กับทุกสถานที่ที่เกิดแรงสั่นสะเทือนทางกลทั้งในพื้นที่สาธารณะและเอกชน
2. ช่วยส่งเสริมเทคโนโลยีพลังงานทางเลือกใหม่ให้เป็นที่นิยมและใช้กันแพร่หลายมากยิ่งขึ้น เป็นการสนับสนุนนโยบายพลังงานทางเลือก
3. สามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยที่การติดตั้งระบบไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม กระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน
4. สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานให้กับหน่วยงานที่นำไปใช้งานได้อย่างยั่งยืน และมีความซับซ้อนในการติดตั้งที่น้อยสามารถนำไปใช้ได้กับทุกพื้นที่
5. สนับสนุนและส่งเสริมให้มีการค้นคว้าและวิจัยด้านการอนุรักษ์พลังงานและการนำพลังงานทางเลือกมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อยอดเพื่อการประหยัดพลังงานที่ยั่งยืนต่อไป

ประโยชน์ในด้านการพัฒนาระดับงานวิจัยของประเทศ

1. โครงการวิจัยนี้เป็นการรวมกันของวิทยาการหลาย ๆ ด้าน เช่น วัสดุศาสตร์ ฟิสิกส์ และวิศวกรรมไฟฟ้า เข้าด้วยกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ร่วมกันของนักวิจัยสาขาดังกล่าว ทั้งในด้านการแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดเห็น นับเป็นการพัฒนาระดับงานวิจัยของประเทศ
2. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการวิจัยขึ้นไปเผยแพร่เพื่อการพัฒนาเป็นแนวคิดในการออกแบบและประยุกต์ใช้งานพื้นที่กำเนิดพลังงานในสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งนับเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

จากแหล่งกำเนิดพลังงานหลัก ๆ ได้ทางหนึ่ง โดรนในอนาคตอาจสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดมากขึ้นได้

3. การวิเคราะห์และออกแบบที่นำเสนอในโครงการวิจัยนี้ได้บทความเชิงวิชาการในระดับนานาชาติจำนวน 1 บทความ นับได้ว่าเป็นประโยชน์สำหรับวิศวกร นักวิจัย นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจอื่น ๆ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและพัฒนาต่อไป

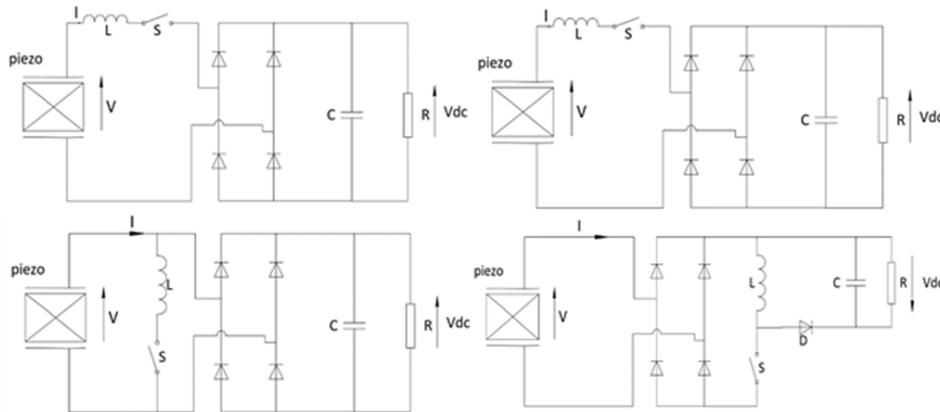
## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการทบทวนวรรณกรรม

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในเอกสารอ้างอิงที่ [1-2] ได้กล่าวถึงที่มาและคุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและได้ยกตัวอย่างวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น BaTiO<sub>3</sub>, PZT และ PVDF พร้อมทั้งแสดงค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกและกระบวนการจัดเรียงตัวของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในลักษณะของเซนเซอร์ เช่น เครื่องตรวจจับการนอนหลับและเครื่องตรวจจับมะเร็งทรวงอก ในทางการทหารมีการนำไปใช้มากเช่นกันเนื่องจากน้ำหนักของแบตเตอรี่เป็นหนึ่งในข้อจำกัดในสนามรบ จึงนิยมใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าไปใช้กับอุปกรณ์ไร้สาย เช่น วิทยุและการสื่อสารทางดาวเทียม ในเอกสารอ้างอิงที่ [4] ได้มีการใช้วงจรเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยเพียโซอิเล็กทริกความถี่สูงเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานการสั่นสะเทือนความถี่ต่ำของการเคลื่อนไหวของมนุษย์ และได้นำเสนอตัวเก็บเกี่ยวพลังงานไฮบริดจ์ ประกอบไปด้วยวัสดุเพียโซอิเล็กทริกติดตั้งในลักษณะของคานยื่นโดยใช้วัสดุเป็นประเภท PVDF และคู่แม่เหล็กถาวรติดตั้งไว้บนหนึ่งที่ปลายคานยื่นและอีกอันหนึ่งที่มีขั้วตรงข้ามไว้กับแหล่งพลังงานทางกลในระยะที่ห่างออกไปเพื่อให้แรงแม่เหล็กช่วยให้เกิดการเคลื่อนไหวของเพียโซอิเล็กทริกและผลิตไฟฟ้าออกมาได้มากยิ่งขึ้นโดยไม่ต้องมีเครื่องสั่นเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานสูงสุดจากความถี่การสั่นธรรมชาติของวัสดุ

จากแนวความคิดการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแหล่งการสั่นสะเทือนความถี่ต่ำด้วยเพียโซอิเล็กทริกเกิดขึ้นแล้ว ต่อมามีการพัฒนาเอาไปใช้งานกับชีวิตประจำวันมากขึ้น เพราะการก้าวเดินของมนุษย์เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาและเป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือนความถี่ต่ำ ในเอกสารอ้างอิงที่ [5] มีการสร้างแบบจำลองทางไฟฟ้าของเพียโซอิเล็กทริก โดยแปลงค่าพารามิเตอร์ทางกลเป็นค่าทางไฟฟ้าทั้งหมดด้วยความสัมพันธ์ทางกล-ไฟฟ้า เพื่อให้ง่ายต่อการจำลองรูปคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้า โดยกล่าวไว้ว่าเมื่อเพียโซอิเล็กทริกได้รับแรงกระทำทางกล พลังงานจะถูกเก็บไว้ในตัวอุปกรณ์ในรูปแบบของพลังงานศักย์และเมื่อไม่ได้รับแรงกระทำจะเปลี่ยนพลังงานที่เก็บไว้เป็นพลังงานจลน์แล้วส่งต่อไปด้วยความถี่ธรรมชาติของอุปกรณ์จนครบคาบของการสั่น จึงได้จำลองวงจรไฟฟ้าโดยแบ่งวงจรเป็นช่วงที่ได้รับแรงและช่วงที่ไม่ได้รับแรง ใช้สวิตช์สองตัวทำงานสลับกันโดยทำการตั้งค่าความถี่ของแหล่งจ่ายตามความถี่ของการย่ำเดิน รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองมีลักษณะที่คล้ายกับการทดลองจริง สามารถนำไปใช้สำหรับการศึกษาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้ ต่อมาแนวคิดรองเท่ากำเนิด

พลังงาน [6-9] เกิดขึ้น โดยที่มีการติดตั้งวงจรเรียงกระแสเพื่อให้รูปคลื่นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเพียโซอิเล็กทริกจากการก้าวเดินที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแปลงเป็นกระแสตรงแล้วประจุลงแบตเตอรี่ขนาดเล็กแต่มีความจุเพียงพอสำหรับอุปกรณ์พกพาต่าง ๆ เช่น เครื่องเล่น mp3 หรือ โทรศัพท์มือถือ ลักษณะการติดตั้งและรูปคลื่นสัญญาณได้อธิบายไว้ในเอกสารที่ [6-7] และตัวอย่างวงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริกได้แสดงไว้ดังภาพที่ 2.1 ในเอกสารอ้างอิงที่ [8] ได้ทดสอบร่องเท้ากำเนิดพลังงานโดยการเดินและวิ่ง ผลสรุปว่าการวิ่งทำให้ได้รับพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้เพิ่มมากขึ้นและสามารถชาร์ตแบตเตอรี่ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ในเอกสารอ้างอิงที่ [9] มีการสรุปการใช้เพียโซอิเล็กทริกเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์ในทางปฏิบัติว่าการประมวลผลและวงจรการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ รวมไปถึงเทคนิคการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้ได้ค่าพลังงานที่สูงขึ้น เช่น เทคนิคการติดตามจุดพลังงานสูงสุด (maximum power point tracking) สามารถนำมาใช้เพื่อการเก็บเกี่ยวพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง



ภาพที่ 2.1 วงจรการเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

ต่อมาได้พัฒนาระบบการเก็บเกี่ยวพลังงานมาใช้สร้างเป็นพื้นทางเดินแสดงไว้ในเอกสารอ้างอิงที่ [10-16] เพื่อให้เกิดความถี่ในการสั่นสะเทือนที่สูงขึ้นหากติดตั้งในบริเวณที่มีความหนาแน่นของผู้คนมาก [10] ได้มีการสำรวจและนับจำนวนผู้ใช้งานสถานีรถไฟฟ้าโดยใช้เพียโซอิเล็กทริกเป็นเซนเซอร์ทำการนับก้าวเดินแทนการใช้เครื่องนับ และสามารถตรวจจับตำแหน่งเพื่อสำรวจพฤติกรรมของผู้คนในการเดินขี้นลงบันไดที่มีความหนาแน่นของผู้คนมาในช่วงใดแล้วทำการติดตั้งเพียโซอิเล็กทริกเพิ่มเติมแล้วนำพลังงานที่ได้รับไปจ่ายอุปกรณ์อื่น ๆ ได้อย่างคุ้มค่า มีลักษณะการใช้งานคล้ายกัน ในเอกสารอ้างอิงที่ [11] โดยเป็นการติดตั้งเซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริกที่พื้นถนนในประเทศจีนตรงบริเวณทางม้าลายเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการข้ามถนนและประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับสัญญาณไฟและเซนเซอร์และมีการทดลองพื้นกำเนิดพลังงานโดยใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ต่าง ๆ กัน ในเอกสารอ้างอิงที่ [12] เพื่อทดลองกับการวิ่งผ่านของรถยนต์ ในเอกสารอ้างอิงที่ [13] มีการใช้

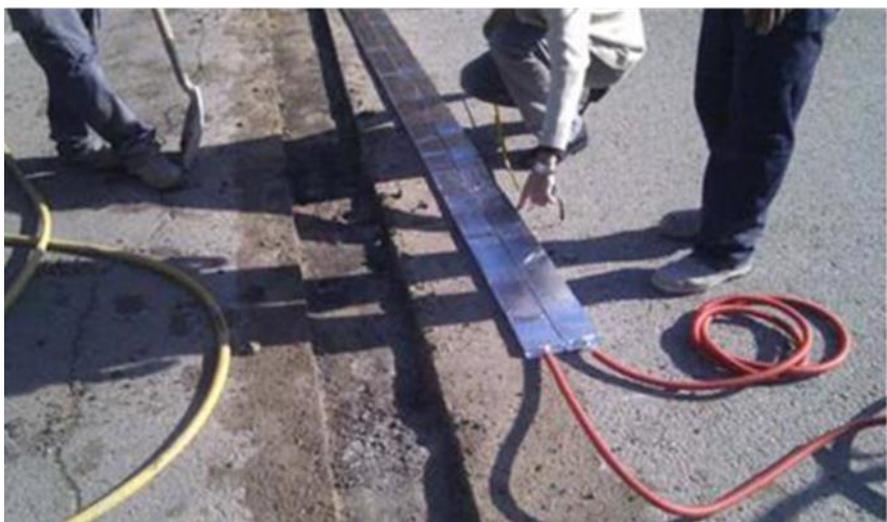
เซนเซอร์เพียโซอิเล็กทริกเพื่อตรวจสอบตำแหน่งของบุคคลในอาคาร โดยผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบตรวจจับตำแหน่งบุคคลได้มาก และในเอกสารอ้างอิงที่ [14] มรการนำไปใช้งานกับพื้นอาคารลักษณะคล้ายกันแต่นำเสนอในรูปแบบของรูปคลื่นสัญญาณและวิธีการคำนวณฯ ในเอกสารอ้างอิงที่ [15] โดย Xiaofeng Li และ Vladimir Strezov ได้ทำการวิจัยและทดลองรำการเก็บเกี่ยวพลังงานด้วยเพียโซอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้งานในมหาวิทยาลัย Macquarie University ในประเทศออสเตรเลีย โดยทำการติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งที่ได้ทำการเก็บสถิติไว้ว่ามีผู้คนเดินผ่านเป็นปริมาณมากโดยปูกระเบื้องที่ทำจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกไว้และได้ผลการทดลองเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ 9.9 MWh ต่อปี ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานโดยรวมของอาคารรวม 0.5% จากพลังงานที่สูญเสียไปโดยการเดินผ่านของผู้คน และมีการนำวัสดุโพลิเมอร์มาใช้ในการสร้างพื้นในอาคาร ดังเอกสารอ้างอิงที่ [16] เพื่อใช้ในการตรวจจับจำนวนบุคคลโดยใช้สัญญาณอ้างอิงเปรียบเทียบกับสัญญาณที่สร้างขึ้นมาจากเพียโซอิเล็กทริก ขณะที่ยังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนามีความแม่นยำสูงถึง 99% อีกทั้งมีการติดตั้งที่ง่ายและสวยงามแสดงไว้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 พื้นเพียโซอิเล็กทริกโพลิเมอร์

แนวคิดพื้นกำเนิดพลังงานได้พัฒนาใช้กับพื้นถนนเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานทางกลที่ได้รับเพิ่มมากขึ้นและเพียงพอต่อการใช้งานและยังสามารถเก็บสะสมไว้ใช้งานได้ดังเอกสารอ้างอิงที่ [17-24] ในเอกสารอ้างอิงที่ [17] Guoliang Ye และคณะได้ทำการศึกษาสัญญาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในลักษณะการใช้งานเพียโซอิเล็กทริกกับพื้นถนนและสรุปไว้ว่าพลังงานที่ได้รับแปรผันโดยตรงกับแรงที่กระทำลงบนเพียโซอิเล็กทริกในลักษณะการติดตั้งแบบคานยื่น คานเพียโซอิเล็กทริกขนาดใหญ่ขึ้นจะสามารถได้รับพลังงานที่สูงขึ้นและการนำไปใช้กับรางรถไฟอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะพัฒนาต่อไป ในเอกสารอ้างอิงที่ [18] Takeshi Kasuga และคณะได้นำเสนอและจำลองการติดตั้งระบบส่องสว่างใช้เป็นตัวแบ่งเลนในทางด่วนโดยใช้เพียโซอิเล็กทริก ตัวเก็บประจุ และหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) ชนิดสว่างพิเศษ โดยหลอดไดโอดเปล่งแสง (LED) จะสว่างจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้นเมื่อรถยนต์วิ่ง

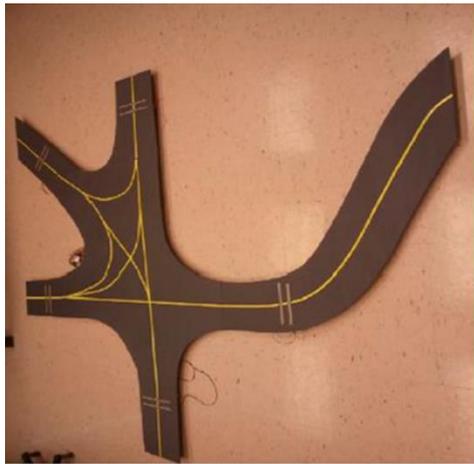
ผ่านบนวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้สร้างพื้นถนน ความเร็วของรถยนต์มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ตัวแบ่งเลนรถยนต์นี้ไม่จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายภายนอกและแทบไม่ต้องการบำรุงรักษา ในเอกสารอ้างอิงที่ [19] M. Vazquez-Rodriguez และคณะได้ทำการศึกษาคูณลักษณะทางไฟฟ้าและได้ติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกโยพื้นถนนบริเวณมหาวิทยาลัยในรูปแบบต่าง ๆ ตัวอย่างการติดตั้งแสดงไว้ดังภาพที่ 2.3 นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันจากการทดลองพบสามารถยืนยันผลการทดลองและได้สรุปไว้ว่าพลังงานที่สามารถเก็บเกี่ยวได้เพียงพอต่อการทำงานของเซนเซอร์ในระบบโยธาและการใช้งานบนท้องถนนได้



ภาพที่ 2.3 ลักษณะการติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่พื้นถนน

เช่นเดียวกับในเอกสารอ้างอิงที่ [20] ทำการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการวิ่งของรถยนต์แล้วนำไปใช้กับอุปกรณ์ไร้สายของ Qingyuan Zhu และคณะ ในลักษณะพื้นถนนที่ต่างกันและพิจารณาวงจรอินเตอร์เฟสในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบ และได้กล่าวไว้ว่าการใช้เพียโซอิเล็กทริกเป็นการลดปัญหาการติดตั้งและช่วยลดค่าการบำรุงรักษาได้อย่างมาก การทดลองยืนยันว่าแรงสั่นสะเทือนจากรถยนต์เพียงพอสำหรับการนำพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้มาใช้กับระบบไร้สายหรือในอีกลักษณะหนึ่งที่มีการนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบรถยนต์นำเสนอไว้โดย Pranjal Kaustubh และ Nishank Vaish ในเอกสารอ้างอิงที่ [21] ได้นำเสนอการใช้เพียโซอิเล็กทริกโพลีเมอร์ PVDF ติดตั้งภายในยางรถยนต์ ผลสรุปว่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ต่อหนึ่งลูกล้ออยู่ระหว่าง 2.1-2.8 โวลต์ จึงใช้ค่าที่ต่ำสุดคือ 2.1 มาคำนวณรวมทั้งสี่ล้อได้แรงดัน 8.1 โวลต์ เมื่อผ่านวงจรเรียงกระแสจะเหลืออยู่ที่ประมาณ 6.57 โวลต์ นำไปผ่านวงจรทบทระดับแรงดัน 24 โวลต์ ที่กระแสไฟฟ้า 3.2 แอมป์แปร์ สามารถนำไปประจุลงแบตเตอรี่ประเภท NiMH 20 โวลต์ 10 แอมป์ชั่วโมงใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 3.1 ชั่วโมง และในเอกสารอ้างอิง

ที่ [22] โดย Samer A. Rajab ได้นำไปใช้งานสำหรับเป็นเซ็นเซอร์ในการแยกประเภทรถยนต์ขนาดต่าง ๆ กันและรถจักรยานยนต์ ได้ผลออกมามีความถูกต้องแม่นยำและสามารถใช้งานได้จริง ในเอกสารอ้างอิงที่ [23] ได้มีการวิจัยและทดลองของ Ysung-Tsi Wu และคณะ โดยใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเพื่อใช้ในอาคารอัจฉริยะซึ่งโดยทั่วไปภายในอาคารอัจฉริยะจะมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เพื่อตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภาพนอก อาทิอุณหภูมิและแสงสว่าง เพื่อทำการปรับบรรยากาศภายในแบบอัตโนมัติให้เหมาะสมกับภายในอาคาร ช่วยในการประหยัดพื้นที่และความไม่สวยงามของการเดินสายไฟ ในเอกสารอ้างอิงที่ [24] Chung S. Leung และคณะได้เสนอการนำเอาเพียโซอิเล็กทริกมาใช้งานภายในสนามบินโดยทำงานเป็นเซ็นเซอร์การตรวจสอบการเคลื่อนที่และนับจำนวนเครื่องบินบนพื้นที่บนสนามบินที่จัดเตรียมไว้สำหรับให้เครื่องบินขับเคลื่อนระหว่างลาดจอดอากาศยานกับทางวิ่ง (taxiway) โดยสามารถทำงานแบบไม่ต้องมีแหล่งจ่ายภายนอกแต่ยังคงต้องมีการพัฒนาต่อไปในเรื่องของการติดต่อสื่อสารกันระหว่างเซ็นเซอร์แต่ละตัวในหลายทางวิ่ง (taxiway) เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำและความปลอดภัยต่อไป ลักษณะของแบบจำลองทางวิ่ง (taxiway) แสดงไว้ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แบบจำลองทางวิ่ง (taxiway) ที่ติดตั้งพื้นเพียโซอิเล็กทริก

จากเอกสารอ้างอิงที่ [25-28] ได้จำลองการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์และระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมโดยมีจุดมุ่งหมายเดียวกันเพื่อคำนวณผลตอบสนองทางไฟฟ้าและทางกลที่จะเกิดขึ้นกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกหากได้รับแรงกระทำทางกลในลักษณะต่าง ๆ และการติดตั้งในรูปแบบที่ต่างกัน เช่น ติดตั้งแบบคานยื่น ติดตั้งในลักษณะเป็นแผ่นระนาบติดแบบเมมเบรน มีการแสดงการจำลองควบคุมการสั่นสะเทือนด้วยโปรแกรม MATLAB และคำนวณผลตอบสนองทางไฟฟ้า และหาผลตอบสนองทางกดจากโปรแกรม ANSYS เพื่อออกแบบการทดลอง

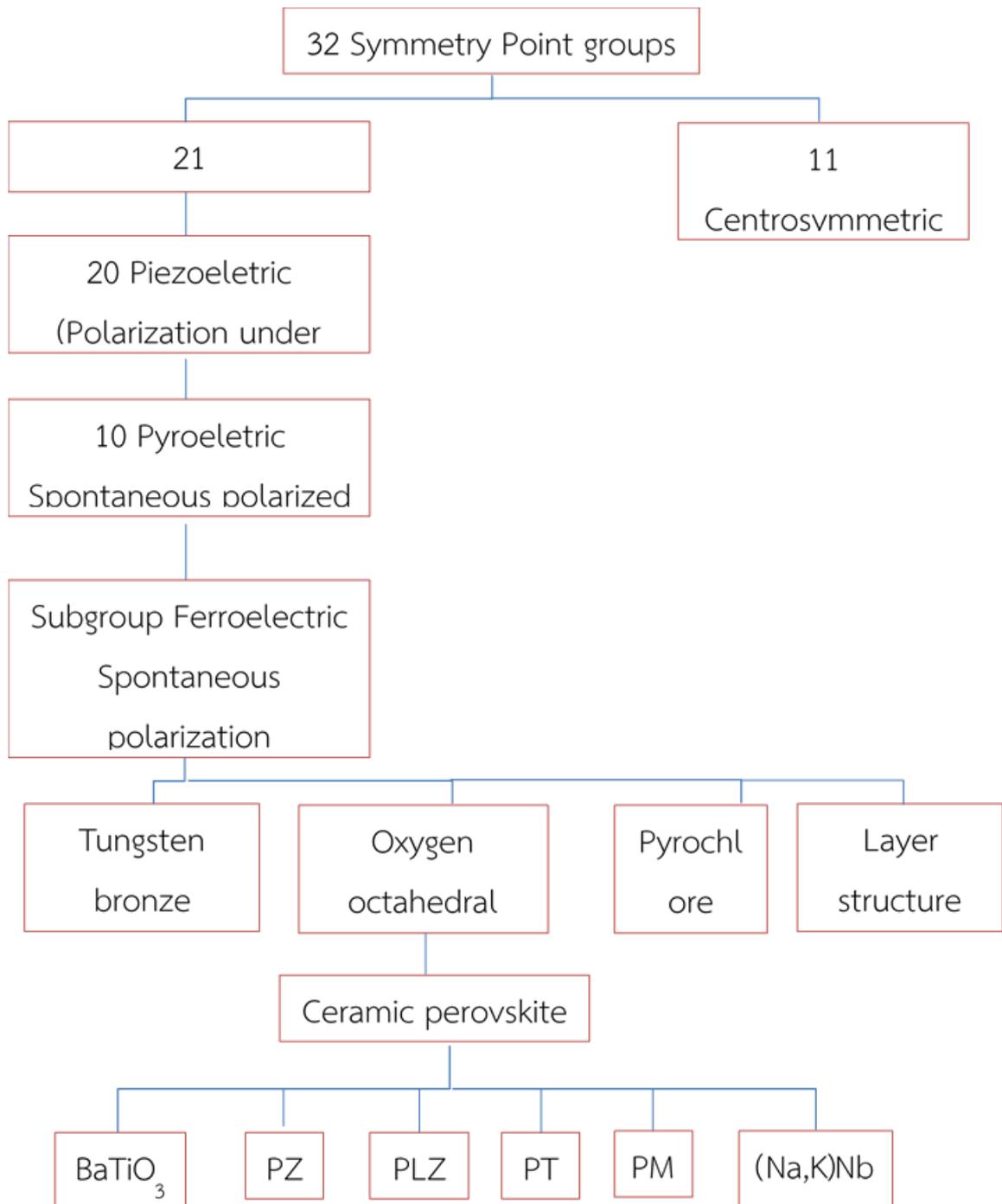
ไม่ให้เกิดความเสียหายกับวัสดุและได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดในเงื่อนไขการรับภาระรับแรงกระทำทางกลที่จำกัด

ซึ่งจากเอกสารอ้างอิงทั้งหมดที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าโครงการวิจัยที่นำเสนอนี้เป็นการวิจัยเพื่อต่อยอดและนำไปทดลองใช้จริง และเป็นการสนับสนุนเทคโนโลยีใหม่ในการช่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานที่เกิดขึ้นตลอดเวลาในการดำเนินชีวิตประจำวันให้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานมากยิ่งขึ้นสำหรับประเทศไทย

## 2.1 เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric)

เพียโซอิเล็กทริกได้ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกโดย Pierre และ Jacques Curie ได้ทำการทดลองครั้งแรกเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกกับโครงสร้างทางผลึกวิทยา โดยการวัดประจุบนผิวของสารตัวอย่าง (สมัยนั้นคือ tourmaline, quartz, topaz, cane sugar และ Rochelle salt) ซึ่งประจุดังกล่าวแปรผันกับแรงเค้น เมื่อพิจารณาด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในปัจจุบัน สมบัติดังกล่าวภายหลังถูกขนานนามว่า “สมบัติเพียโซอิเล็กทริก” คำว่า “เพียโซ” (piezo) มาจากภาษากรีกที่มีความหมายว่า “กด” (press) ดังนั้นสภาพเพียโซอิเล็กทริกจึงเป็นการเกิดขึ้นของสภาพทางไฟฟ้าจากแรงกดที่ไปเข้ากับผลึกซึ่งเป็นแรงทางกล ทำให้เกิดความเครียด (strain) ในผลึกซึ่งเกิดการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันเรียกว่าการโพลาไรเซชัน (polarization) และให้กระแสไฟฟ้าออกมา ปริมาณและเครื่องหมายของการโพลาไรเซชันจะแปรผันตามความเครียดที่ได้รับ

เป็นที่รู้กันว่าสภาพความเป็นเพียโซอิเล็กทริกพิจารณาได้จากระดับโครงสร้างอะตอมของผลึกและหลักการการแพร่กระจายของไอออนภายในโครงสร้างผลึก การจัดกลุ่มของไอออนจะถูกจำกัดด้วยตำแหน่งที่มีพลังงานสูงสุด ผลึกมีองค์ประกอบทางเคมีคงที่ และประกอบด้วยไอออนเรียงตัวกันซ้ำๆต่อกันเป็นเครือข่ายเกิดเป็นระบบผลึก (lattice) หน่วยที่เล็กที่สุดที่มีความสมมาตรเรียกว่า หน่วยเซลล์ (unit cell) และเป็นตัวบอกความเป็นไปได้ของการมีสมบัติเพียโซอิเล็กทริกในผลึกการแบ่งกลุ่มของผลึกจึงพิจารณาจากสมมาตรของผลึกโดยแบ่งเป็น 32 กลุ่มผลึก ใน 32 กลุ่มจะแบ่งเป็นผลึก 11 กลุ่มที่มีสมมาตรแบบจุดศูนย์กลางสมมาตรของหน่วยเซลล์ดังนั้นจึงไม่มีขั้วไฟฟ้า (non-polar) และผลึก 21 กลุ่มที่ไม่มีสมมาตรแบบจุดศูนย์กลางสมมาตรของหน่วยเซลล์ ในผลึก 21 กลุ่มแบ่งเป็น 20 กลุ่มที่แสดงสมบัติเพียโซอิเล็กทริก และอีก 1 กลุ่มซึ่งอยู่ในระบบลูกบาศก์มีลักษณะของสมมาตรเมื่อรวมกันแล้วจะไม่แสดงปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกออกมา ดังแสดงในภาพที่ 2.5

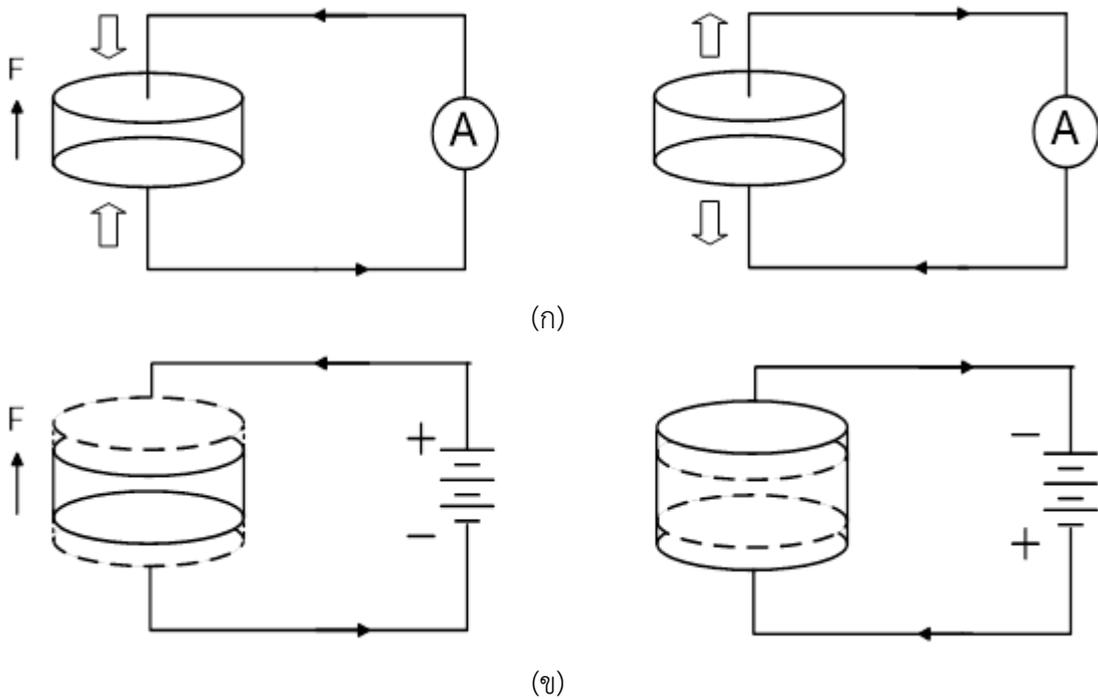


ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเพียโซอิเล็กทริกและกลุ่มย่อยที่มีพื้นฐานของความสมมาตร

## 2.2 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectricity)

การไม่มีสมมาตรของศูนย์กลางเป็นสภาวะสำคัญที่ทำให้เกิดสภาพเพียโซอิเล็กทริก เนื่องจากแรงกดที่ให้กับวัสดุเป็นแบบที่มีสมมาตรของศูนย์กลาง จึงทำให้ผลรวมของการเคลื่อนที่ของประจุบวกและประจุลบสามารถสร้างได้โพลไฟฟ้าขึ้นมาหรือที่เรียกว่าเกิดโพลาริเซชัน สภาพเพียโซอิเล็กทริกเกิดขึ้นได้สองแบบคือแบบที่เป็นเส้นตรง (direct effect) และแบบที่เกิดขึ้น โดยอ้อม (converse

effect) ซึ่งก็คือการเปลี่ยนแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงโพลาริเซชันเมื่อสารถูกแรงกลกระทำ หรือเกิด ความเค้น (stress) เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกแบบเส้นตรง และการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือเกิดความเครียด (strain) ในสนามไฟฟ้าที่ใส่เข้าไป เรียกว่าเป็นปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกแบบผกผัน ดังแสดง ในภาพที่ 2.6 และระดับการเกิดโพลาริเซชันจะขึ้นกับระดับความเครียดที่เกิดจากแรงที่ได้รับ และ เครื่องหมายของประจุที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับว่าแรงที่ใส่เข้าไปเป็นแรงดึงหรือแรงกด



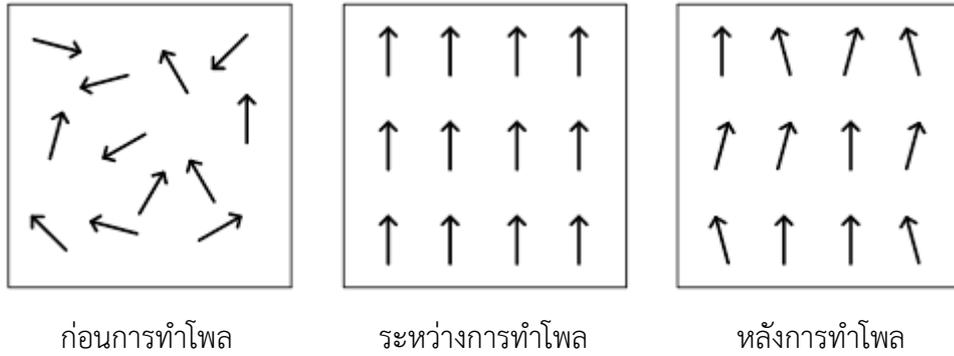
ภาพที่ 2.6 ปรากฏการณ์ 2 แบบ คือ (ก.) Direct effect (ข.) Converse effect

ในสารเพียโซอิเล็กทริก เมื่อด้านซ้ายแสดงการหดตัว และด้านขวาแสดงการขยายตัว

### 2.3 กระบวนการโพลิง (poling)

เป็นกระบวนการสำคัญ ที่จะทำให้เกิดสภาพเพียโซอิเล็กทริก ในเซรามิก ชนิดเฟอร์โรอิเล็กทริก ในระหว่างกระบวนการโพลิงวัสดุจะเกิดการขยายตัวตามแนวแกน สนามไฟฟ้าเล็กน้อย และเกิดการหดตัวในทิศทางที่ตั้งฉากทั้งสองทิศทางเล็กน้อยเช่นกัน ระดับความแรงของสนามไฟฟ้าและอุณหภูมิในการโพลิงเป็นปัจจัยที่สำคัญในการกำหนดการจัดทิศทาง และสมบัติที่ได้ของวัสดุเซรามิกทุกชนิดที่ผ่านการเผาซินเตอร์แล้วจะมีสมบัติโดยรวมที่เหมือนกัน ในทุกทิศทาง (isotropic) หากไม่มีการโพลิง เซรามิกจะไม่เปลี่ยนสภาพแม้ว่าแต่ละผลึกจะมี สมบัติเพียโซอิเล็กทริกอยู่แล้วก็ตามดังแสดงในภาพที่

2.7 เซรามิกที่ผ่านการโพลิงมีประโยชน์ มากมายเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกินอุณหภูมิคูรี (Curie temperature,  $T_c$ ) เพราะเซรามิกจะเสียสภาพ โพลาริเซชันที่ เกิดจากการโพลิงที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิคูรี ( $T_c$ )



ภาพที่ 2.7 การโพลาริเซชันของวัสดุเซรามิกเพื่อสร้างปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก ประกอบไปด้วย ก่อนทำการโพล ระหว่างการโพล และภายหลังการโพล

## 2.4 การนำไปประยุกต์ใช้งาน

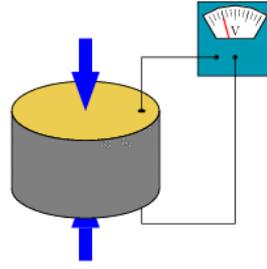
### 2.4.1 เซนเซอร์เพียโซ (Piezoelectric sensor)

หลักการทำงาน

Piezoelectric (เพียโซอิเล็กทริก) คือ อุปกรณ์ตรวจวัดแรงกลต่างๆ เช่น แรงดัน ความเร่ง การสั่น แรงเครียด หรือแรงกระทำอื่นๆ โดยเปลี่ยนพลังงานกลต่างๆเหล่านี้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ในทางกลับกันเมื่อให้พลังงานไฟฟ้าแก่วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นเพียโซอิเล็กทริก วัสดุนั้นก็จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลได้เช่นกัน

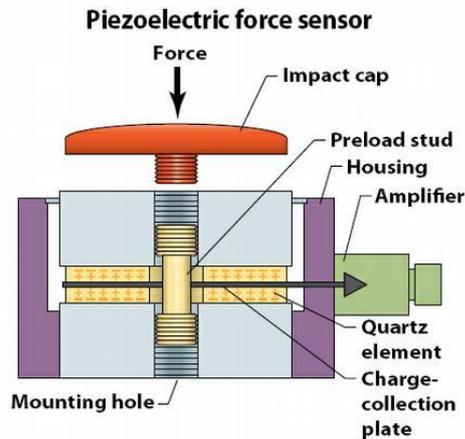
วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric material) เป็นเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติพิเศษ กล่าวคือ เมื่อได้รับแรงกล (mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (voltage) ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect) ในทางกลับกันเมื่อวัสดุได้รับแรงดันไฟฟ้าจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation) เกิดแรงกลซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์อินเวอร์สเพียโซอิเล็กทริก (inverse piezoelectric effect) การเปลี่ยนไปมา ระหว่างพลังงานกล และพลังงานไฟฟ้า สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

สมบัติเพียโซอิเล็กทริก จะเกิดขึ้นในวัสดุที่มีสภาพเป็นขั้วทางไฟฟ้าเท่านั้น วัสดุเพียโซอิเล็กทริก มีทั้งที่พบในธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ เช่น คริสตอล (gallium phosphate, quartz, tourmaline) เซรามิก โพลีเมอร์ เป็นต้น



ภาพที่ 2.8 เพียโซอิเล็กทริกเปลี่ยนแรงกดเป็นพลังงานไฟฟ้า

รูปร่างลักษณะของเซนเซอร์เพียโซ



ภาพที่ 2.9 รูปร่างลักษณะของเซนเซอร์เพียโซ

ข้อดีของเซนเซอร์เพียโซ

เซนเซอร์เพียโซสามารถนำไปใช้วัดการบิดตัว วัดการสัมผัส วัดแรงสั่นสะเทือน วันแรงดัน และวัดแรงกระแทก เนื่องจาก มีความสามารถพิเศษคือสามารถเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ และในทางกลับกันก็สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้ด้วยเช่นกัน เพราะฉะนั้นเซนเซอร์ตัวนี้เลยถูกนำไปใช้ในวงการต่างๆมากมาย เช่นในด้านวงการแพทย์ได้นำไปใช้ผลิตเป็นเครื่องวัดความดันโลหิต (IOP) ด้วย Sensor Piezoelectric ใช้ในการตรวจวัดความดันโลหิต (IOP) ความดันโลหิตที่เปลี่ยนแปลงตามความดันเลือด (OPA) และอัตราการเต้นของหัวใจ (H) โดยบอกคุณภาพการวัดเป็น Q1-Q5 ทำการวัดแบบไม่ต้องข้อมือ และสามารถวัดความดันโลหิตได้ทุกสภาพดวงตา โดยการสัมผัสในส่วนพื้นผิวของกระจกตาส่วนใดก็ได้

ข้อเสียของเซนเซอร์เพียโซ

เซนเซอร์เพียโซ ที่ผลิตขึ้นมา ใช้ตะกั่วเป็นตัวประกอบ ซึ่งตะกั่ว นั้นเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างการนำเซนเซอร์เพียโซมาเชื่อมต่อกับวงจร ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์กำลังศึกษาหาวิธีผลิตเพียโซอิเล็กทริกไร้สารตะกั่วขึ้น แม้จะทำสำเร็จได้บ้างแล้ว แต่คุณภาพยังไม่สามารถเทียบเท่าเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้ตะกั่วได้

#### 2.4.2 การประยุกต์ใช้งานในด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์

การนำเซนเซอร์เพียโซ ไปใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ เช่น ตัววัดคลื่นเสียงของหัวใจ(ไมโครโฟน) ตัวรับสัญญาณของเครื่องอัลตราซาวด์ Quartz crystal microbalance(QCM) ที่มีการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสารชีวโมเลกุลจำนวนมาก ตัวตรวจวัดแรง เครื่องวัดความดันลูกตา (IOP) ทำกางเกงไฮเทค แจ๊จเตือนการหกล้ม (Knock Screen) ตามห้างสรรพสินค้าต่างๆ ร้านค้า ร้านอาหาร และอื่นๆ แล้วแต่จะนำไปประยุกต์ เป็นต้น

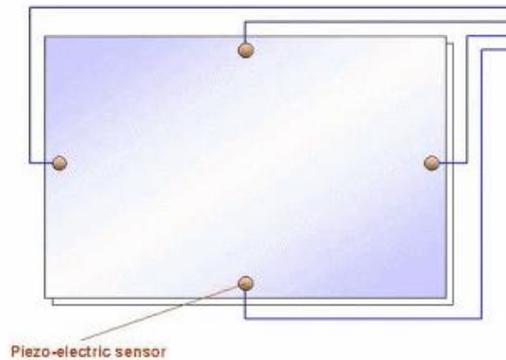
##### 1.) ตัวรับสัญญาณของเครื่องอัลตราซาวด์



ภาพที่ 2.10 ตัวรับสัญญาณของเครื่องอัลตราซาวด์

หลักการของอัลตราซาวด์ก็คือ เมื่อให้ประจุไฟฟ้าเป็นระยะ ติดๆกัน ไปยังผลึกที่มีคุณสมบัติPiezoelectric effect ซึ่งบรรจุอยู่ในหัวตรวจ (Transducer or Probe) จะทำให้ได้อัลตราซาวด์ ออกมาเป็นช่วงๆ (Ultrasonic pules) เข้าสู่ส่วนที่เรานำสัมผัสเมื่อพบรอยต่อของตัวกลาง (Interface) 2 ชนิด ทำให้เกิดการสะท้อน และการหักเห ตลอดแนวทางที่เสียงเดินทาง ในตัวกลางต่างชนิดกัน การเกิดการสะท้อนกลับเข้าสู่หัวตรวจ จะเกิดในเปอร์เซ็นต์และองศาที่แตกต่างกัน ฉะนั้น ภาพที่ได้จึงปรากฏบนจอภาพให้เห็น ความแตกต่างของเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นตัวกลางที่เสียงเดินทาง จึงทำให้บอกความผิดปกติ เพื่อตรวจวินิจฉัยโรคได้

## 2.) ที่รับสัญญาณการเคาะ (Knock Screen)

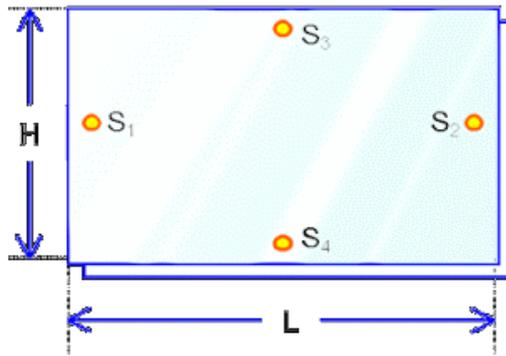


ภาพที่ 2.11 ที่รับสัญญาณการเคาะ

ในการเพิ่มประสิทธิภาพกระจกหน้าร้านธรรมดาให้เป็นจอ Interactive ที่รับสัญญาณจากการเคาะ (Knock Screen) ทำให้ความสามารถในการประชาสัมพันธ์สินค้าดีมากขึ้น เมื่อลูกค้าต้องการทราบรายละเอียดของสินค้าตัวใดก็เพียงแต่ใช้โลหะ เช่น ลูกกอล์ฟแจ หรือเหรียญ เคาะกระจกตรงบริเวณสินค้าที่ต้องการทราบข้อมูล เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ตั้งอยู่หลังกระจกก็จะแสดงรายละเอียดของสินค้าขึ้นมา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานด้านต่างๆได้ เช่น ห้างสรรพสินค้า ร้านค้า ร้านอาหาร และอื่นๆ แล้วแต่จะนำไปประยุกต์

การทำงานโดยจะคอยตรวจการเคาะกระจกโดยใช้เซนเซอร์เพียโซ (Piezoelectric Sensor) 4 ตัวติดไว้ตรงขอบของกระจกทั้ง 4 ด้าน เพื่อคอยตรวจวัดแรงสั่นสะเทือนและส่งข้อมูลแรงสั่นสะเทือนที่จับได้นี้ผ่านทาง RS232 ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้คำนวณตำแหน่ง (Coordinate) บนกระจกออกมา และติดต่อกับฐานข้อมูล (Database) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อจะแสดงรายละเอียดของสินค้านั้นคือ ภาพ ราคา รหัสสินค้า ข้อความบรรยายรายละเอียดสินค้าออกทางจอภาพและเสียงบรรยายออกทางลำโพง

การติดตั้งตั้ง Piezoelectric Sensor นำ Sensor มาติดบนกระจกโดยติดด้านในที่ด้านทั้ง 4 ด้าน โดยเมื่อมองจากด้านนอกร้านแล้ว Sensor ทางด้านซ้ายมือจะเป็นตัวที่ 1 ตัวทางขวาจะเป็นตัวที่ 2 ตัวด้านบนจะเป็นตัวที่ 3 และตัวด้านล่างจะเป็นตัวที่ 4



ภาพที่ 2.12 กระจกสำหรับการติดตั้งเพียโซอิเล็กทริก

จากนั้นให้ต่อ Sensor ทั้ง 4 ตัว เข้ากับ Board โดยเรียงตามลำดับตัวที่ 1 ถึง 4 โดยตัวที่ 1 จะเสียบด้านบนของ Board จากนั้นก็เรียงต่อลงมาเรื่อยๆ จนครบ สุดท้ายให้นำสาย Serial มาเสียบเข้ากับ Board ตรงบริเวณด้านล่างขวา และหัวอีกด้านก็ไปต่อกับ Com-port ของ PC ก็เป็นอันเสร็จสิ้นการติดตั้ง

### 3.) เครื่องวัดความดันลูกตา (IOP)



ภาพที่ 2.13 เครื่องวัดความดันลูกตา

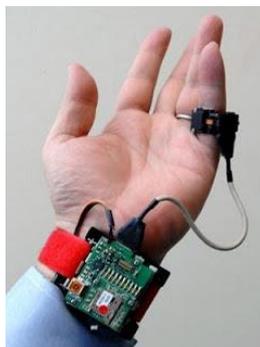
ใช้ในการตรวจวัดความดันลูกตา (IOP) ความดันลูกตาที่เปลี่ยนแปลงตามความดันเลือด (OPA) และอัตราการเต้นของหัวใจ (H) โดยบอกคุณภาพการวัดเป็น Q1-Q5 ทำการวัดแบบไม่ต้องหยอดสี และสามารถวัดความดันลูกตาได้ทุกสภาพดวงตา โดยการสัมผัสในส่วนพื้นผิวของกระจกตาส่วนใดก็ได้

## ตารางที่ 2.1 ลักษณะและประโยชน์ในการใช้เครื่องวัดความดันโลหิต

ลักษณะการใช้งาน	ประโยชน์
1. วัดความดันโลหิตแบบ Digital	1. มีการแสดงผลที่ละเอียด และอ่านง่าย 2. ทันสมัย
2. วัดโดยใช้ Sensor Piezoelectric	1. ตรวจวัดได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับความหนา ความโค้ง และความยืดหยุ่นของกระบอกตา 2. ไม่เกิดการผิดพลาดจากคนวัด
3. วัดโดยการสัมผัสผ่าน Sensor cap	1. ไม่เกิดการติดเชื้อระหว่างคนไข้ 2. เนื้อวัสดุที่สัมผัสเป็น Silicon ทำให้ไม่เกิดการขีดข่วนที่กระบอกตา
4. แสดงผลแรงดันภายในลูกตา สูงสุด และต่ำสุด (OPA)	1. ทำการวินิจฉัยโรคได้ลึกซึ้ง 2. ทำการวินิจฉัยเพิ่มเติมทางการแพทย์ได้
5. การคำนวณค่าผ่านตัวประมวลผล แบ่งออกเป็นคุณภาพการวัด	1. ทำให้รู้ว่าการวัดนั้นสมบูรณ์ และน่าเชื่อถือหรือไม่ 2. ลดภาระในการทำงานของแพทย์ เพราะสามารถให้เจ้าหน้าที่เป็นผู้ทำการตรวจวัดได้
6. เครื่องมีขนาดเล็ก	เคลื่อนย้ายสะดวก ไม่เปลืองเนื้อที่

### 4.) เซนเซอร์วัดความดันโลหิต

คือแผ่น piezoelectric จะรับสัญญาณของความดันโลหิตแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า



ภาพที่ 2.14 เซนเซอร์วัดความดันโลหิต



ภาพที่ 2.15 เซนเซอร์ที่ใช้ในอุปกรณ์วัดความดันโลหิต

ซึ่งสามารถนำไปทำกางเกงไฮเทค แจ้งเตือนการหกล้มได้ เพราะเซนเซอร์ (sensor) ที่ติดอยู่กับกางเกงจะตรวจจับท่าเดินที่เปลี่ยนแปลงไปและส่งสัญญาณแจ้งเตือนหากมีความเสี่ยงที่จะลื่นหรือหกล้ม



ภาพที่ 2.16 กางเกงไฮเทค

## 5.) เซนเซอร์ตรวจจับเสียง (Sound sensor)



ภาพที่ 2.17 เซนเซอร์ตรวจจับเสียง

Sound Sensor ทำหน้าที่ตรวจจับเสียงเป็นระดับเดซิเบล (Decibel) สามารถตรวจจับเสียงได้ทั้ง dB และ dBA เซนเซอร์เสียงเป็นไมโครโฟนที่มีเครื่องขยายเสียงภายใน เซนเซอร์ รูปแบบมาตรฐานในการความดัน (ของอากาศ) เนื่องจากความไวสูงที่เซนเซอร์มีความเหมาะสมมากในการตรวจสอบพัลส์แรงดัน และเซ็นยังสามารถใช้สำหรับการวัดเดซิเบลได้อีกด้วยโดย dBA คือ เสียงที่มนุษย์สามารถได้ยิน dB คือ เสียงทั้งหมด รวมถึงเสียงที่สูงหรือต่ำไปเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยินด้วย



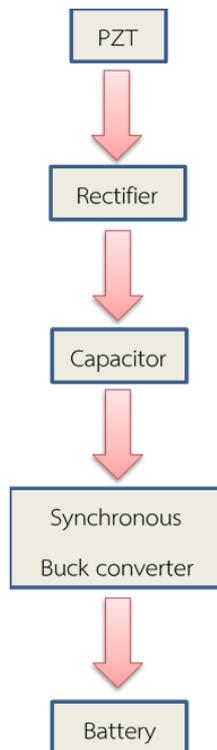
ภาพที่ 2.18 การทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับเสียง

สามารถตรวจจับเสียงได้สูงสุด 90 dB การอ่านค่าจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

## บทที่ 3

### การออกแบบและจำลองระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะการทำงานของระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยจำลองการเก็บค่าจากค่าสูงสุดแรงดันที่ได้จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก และนำแรงดันที่ได้เชื่อมต่อกับ วงจรเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อเปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นต่อเข้ากับ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) เพื่อลดริบเปิ้ลให้กับแรงดันเอาต์พุต เพื่อนำไปเข้าวงจรซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์ เพื่อเป้าหมายที่จะลดระดับแรงดันให้ได้เท่าที่ต้องการ และคงที่ระดับแรงดันนั้นไว้ ซึ่งวงจรซิงโครนัสบัคคอนเวอร์เตอร์สามารถจ่ายกระแสได้สูง อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูง จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเข้าวงจรชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน เพื่อไว้จ่ายโหลดต่อไป

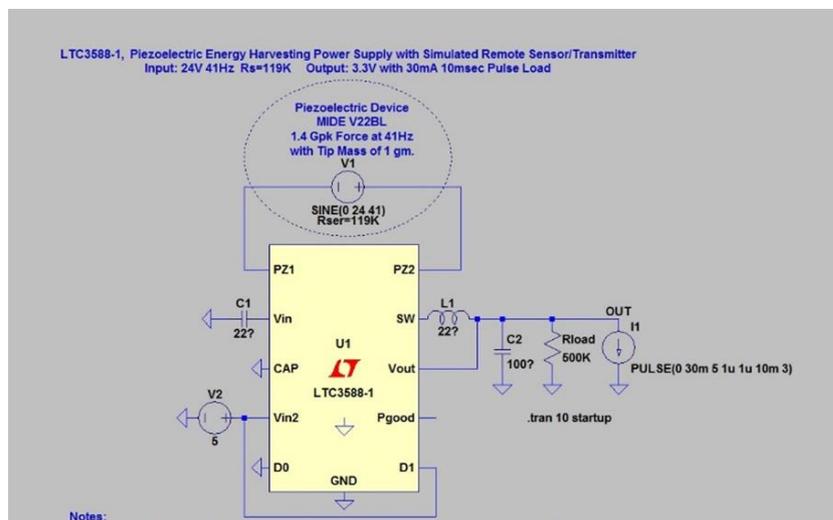


ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงานของชุดทดลอง

จากการหาข้อมูลและศึกษาค้นคว้าพบว่า เทคโนโลยีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกในต่างประเทศนั้นมีการศึกษาพัฒนาวิจัยกันอย่างกว้างขวาง แต่ยังไม่เป็นที่นิยมมากนักในประเทศไทย เนื่องจากด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพราะราคาของวัสดุของแผ่นเพียโซอิเล็กท

ริกที่มีประสิทธิภาพสูง จะมีราคาที่สูงและพลังงานที่ได้รับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกนั้นจะได้ระดับแรงดันสูง แต่กระแสต่ำมากๆ(ระดับไมโครแอมป์) ซึ่งยังเป็นปัญหาหลักในการที่จะพัฒนาเทคโนโลยีที่จะเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก งานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีของบริษัท linear technology คือ บอร์ด Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply (LTC-3588) ซึ่งเป็นบอร์ดที่รวมวงจรการทำงาน จากแผนผังการทำงานข้างต้น จะมี LTC 3588-1 และ LTC 3588-2 ซึ่งเป็นแผ่นบอร์ดที่มีประสิทธิภาพสูง โดยได้เลือกใช้ LTC 3588-2 (เบอร์ 2) สาเหตุที่เลือกใช้เพราะบอร์ดทั้งสองมีระดับแรงดันที่ต่างกัน คือ เบอร์ 1 จะให้เอาต์พุตสูงสุดที่ 3.3 V และเบอร์ 2 จะให้เอาต์พุตสูงสุดที่ 5 V ซึ่งเบอร์ 2 จะให้ค่าแรงดันเอาต์พุตที่สูงกว่า เบอร์ 1

### 3.1แบบจำลองลักษณะการทำงานของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

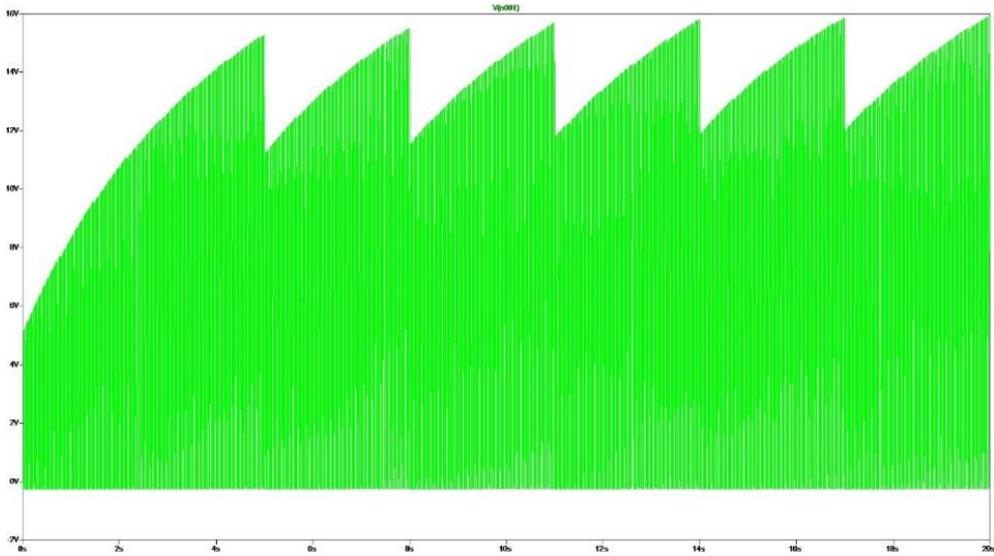


ภาพที่ 3.2 แบบจำลองการทำงานของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จำลองการทำงานของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน

Parameters	Value
Input Voltage	24V
Frequency	41Hz
Rs (Internal Resistance)	119KΩ
Output Voltage	3.3V
Output Current	30mA

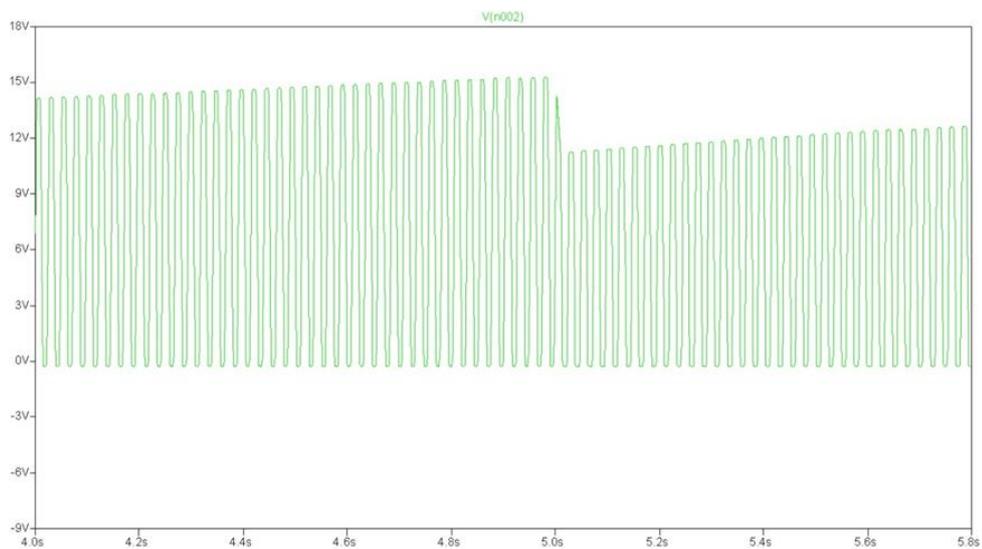
### 3.2 ผลการจำลอง



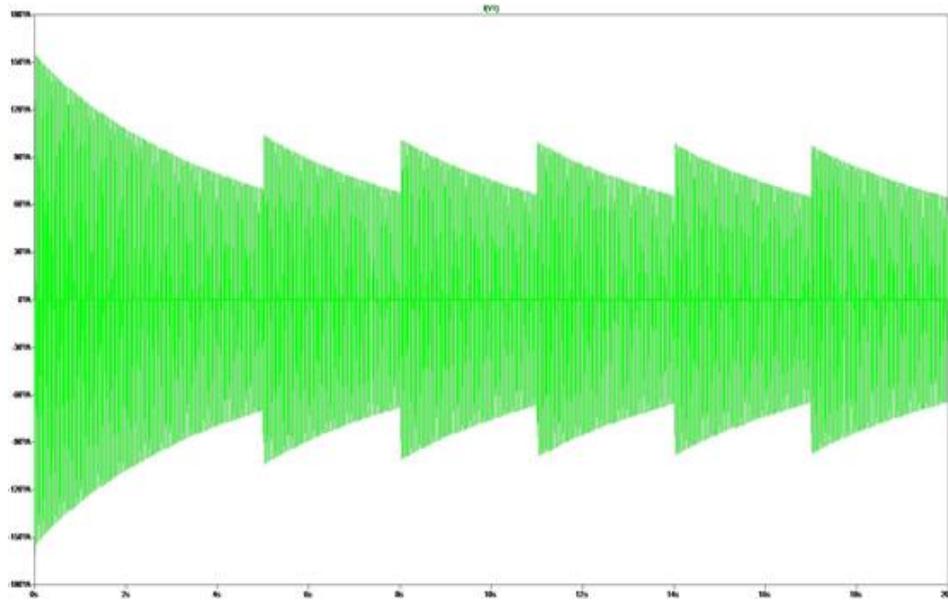
ภาพที่ 3.3 กราฟแสดงแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

จากกราฟ แรงดันอินพุตจะเป็นแรงดันกระแสสลับที่ได้จากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกโดยที่แผ่นเพียโซอิเล็กทริกจะได้รับแรงทางกล เช่น การสั่นสะเทือนหรือแรงกดทับ เป็นต้น ซึ่งแรงทางกลที่กระทำต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกนี้ จะทำให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกมา โดยลูกคลื่นจะมีลักษณะแตกต่างออกไป ตามแรงทางกลที่ได้รับเข้ามา

เมื่อเพียโซอิเล็กทริกได้รับแรงทางกลอย่างต่อเนื่อง จะได้ให้แรงดันที่ได้ออกมานั้นค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณ 10-15 V. ดังภาพที่ 3.4 สเกลขยาย



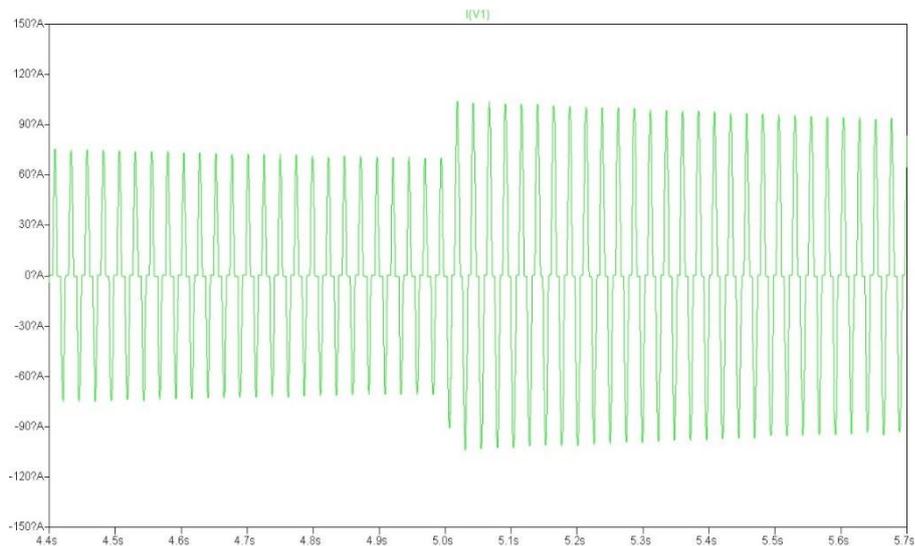
ภาพที่ 3.4 กราฟสเกลขยายแรงดันอินพุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก



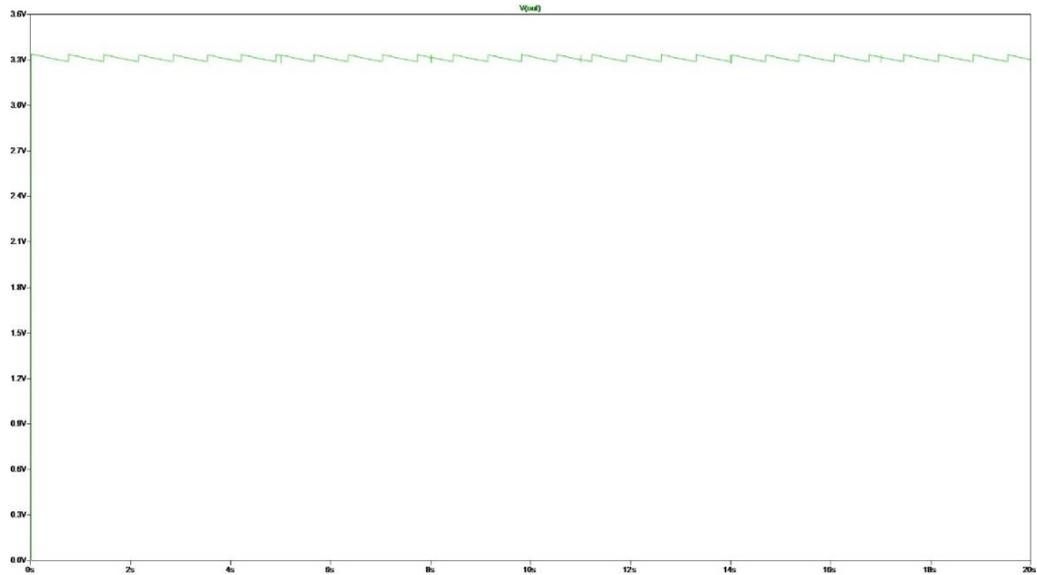
ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงกระแสอินพุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

จากกราฟเป็นการจำลองให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกได้รับแรงทางกลอย่างต่อเนื่องและคงที่ จะพบว่ากระแสอินพุตที่ได้มีลักษณะคงที่ตามที่ได้แสดงดังกราฟ

ในสภาวะคงที่ กระแสที่อินพุตที่ได้ออกมาจะค่อนข้างคงที่ อยู่ที่ประมาณ 70-115  $\mu\text{A}$  ดังภาพที่ 3.6 สเกลขยาย

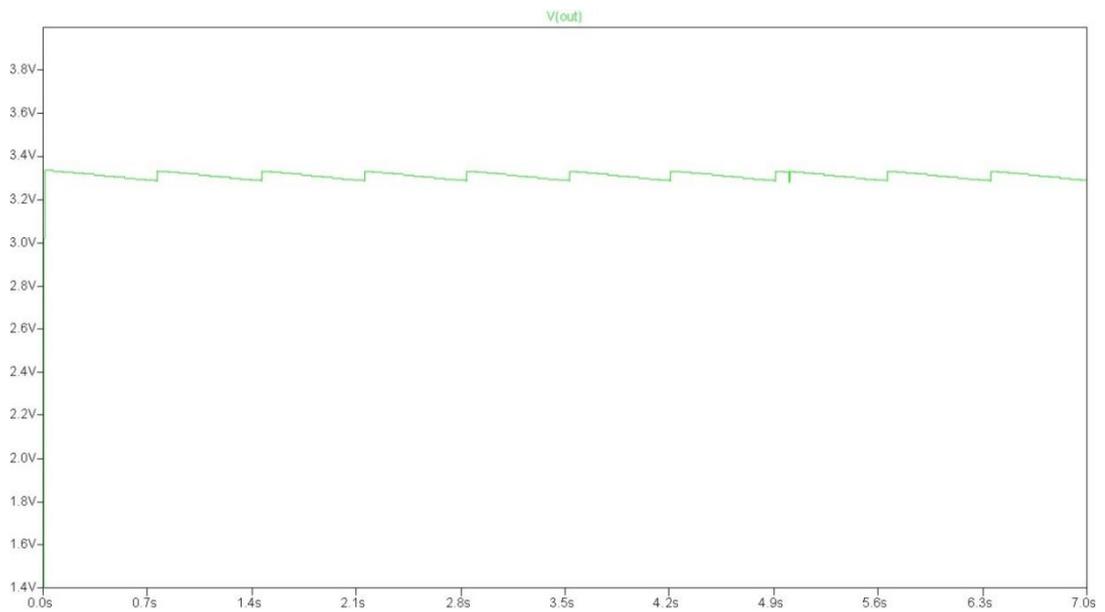


ภาพที่ 3.6 กราฟสเกลขยายกระแสอินพุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

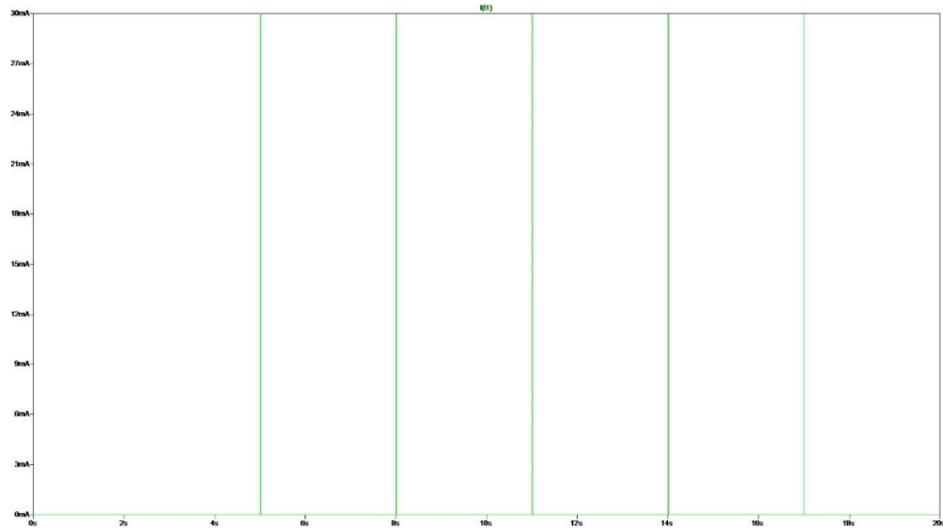


ภาพที่ 3.7 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

จากกราฟ จะสังเกตเห็นได้ว่า แรงดันทางด้านเอาต์พุตจะเป็นแรงดันกระแสตรงเนื่องจากผ่านวงจรเรียงกระแส และแรงดันเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าประมาณ 3.3 V เนื่องจากการผ่านวงจรซิงโครไนส์บัสคอนเวอร์เตอร์เพื่อขยายกระแสจึงทำให้แรงดันลดลง ดังภาพที่ 3.8 สเกลขยาย

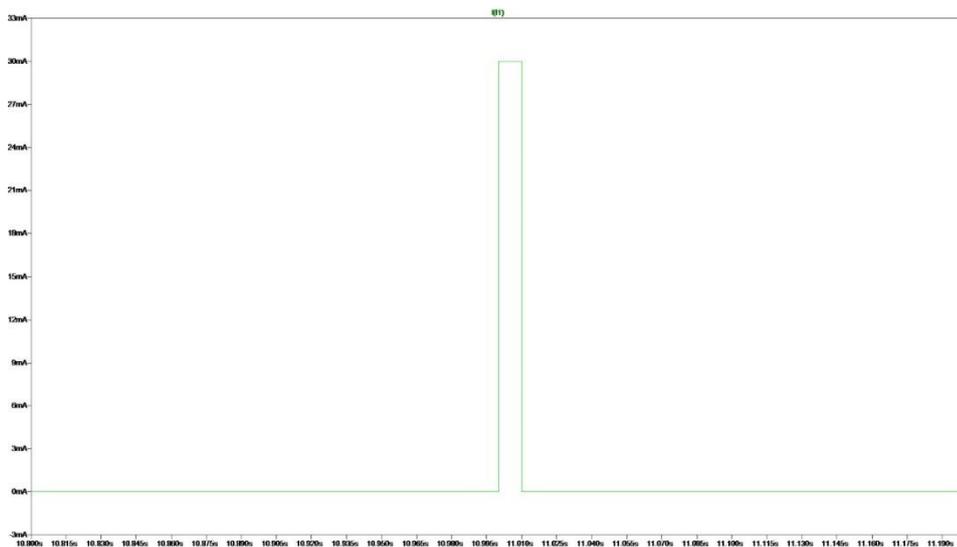


ภาพที่ 3.8 กราฟสเกลขยายแรงดันเอาต์พุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก



ภาพที่ 3.9 กราฟแสดงกระแสเอาต์พุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

จากกราฟ จะสังเกตเห็นได้ว่า กราฟจะมีลักษณะเป็นกราฟแท่งตามแรงทางกลที่ได้รับแต่ละครั้ง โดยกระแสไฟฟ้าที่ได้มีค่ามากที่สุดประมาณ 30 mA ดังภาพที่ 3.10 สเกลขยาย

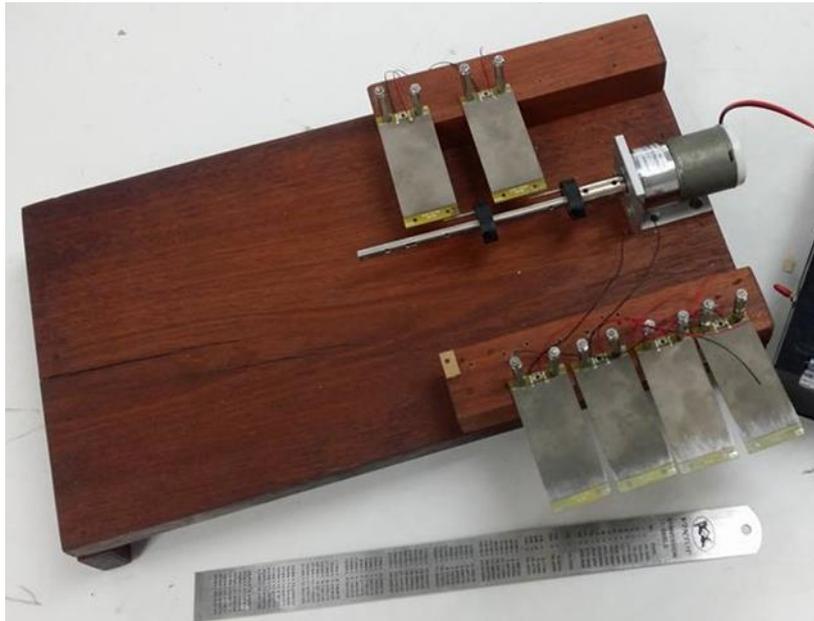


ภาพที่ 3.10 กราฟสเกลขยายกระแสเอาต์พุตจากการสั่นแผ่นเพียโซอิเล็กทริก

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

การเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก แบบจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก โดยเพิ่มจำนวนแผ่นเพียโซอิเล็กทริกตั้งแต่ 1 ถึง 4 แผ่น ต่ออนุกรมและขนานกัน เพื่อเลือกการต่อที่ให้ขนาดแรงดันและกระแสที่เหมาะสมที่สุด มาทำพื้นกำเนิดพลังงาน

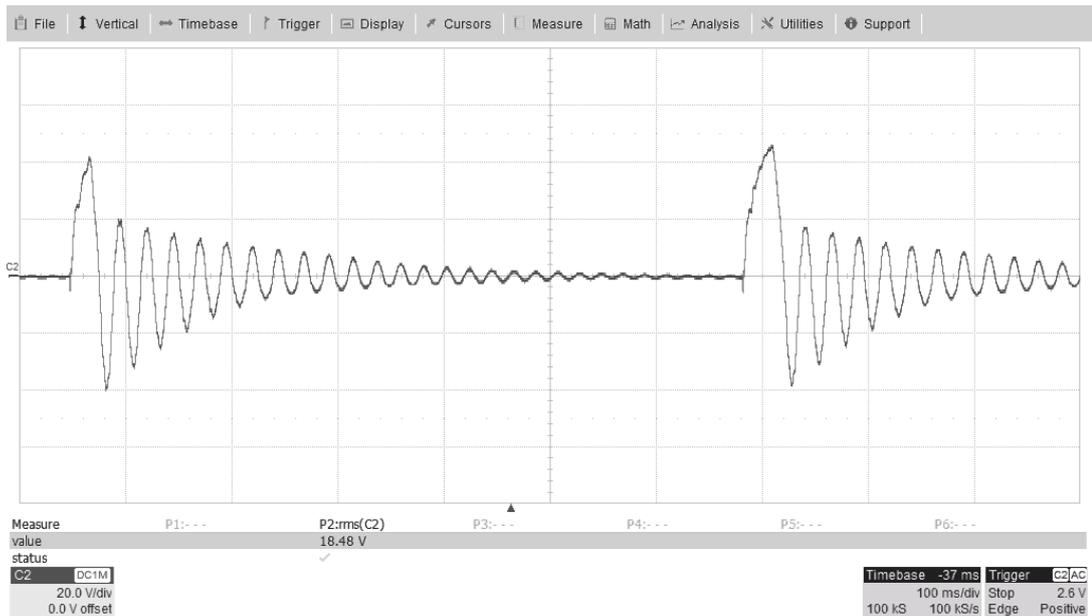


ภาพที่ 4.1 แบบจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก



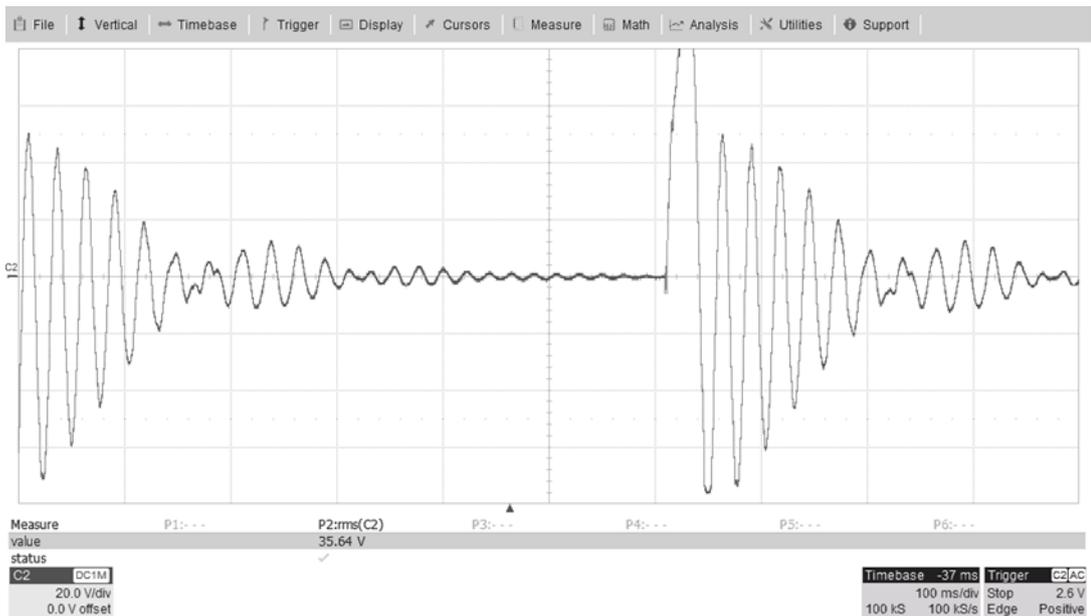
ภาพที่ 4.2 ออสซิลโลสโคป Wave Surfer 3000 Oscilloscopes

#### 4.1 ลักษณะแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น

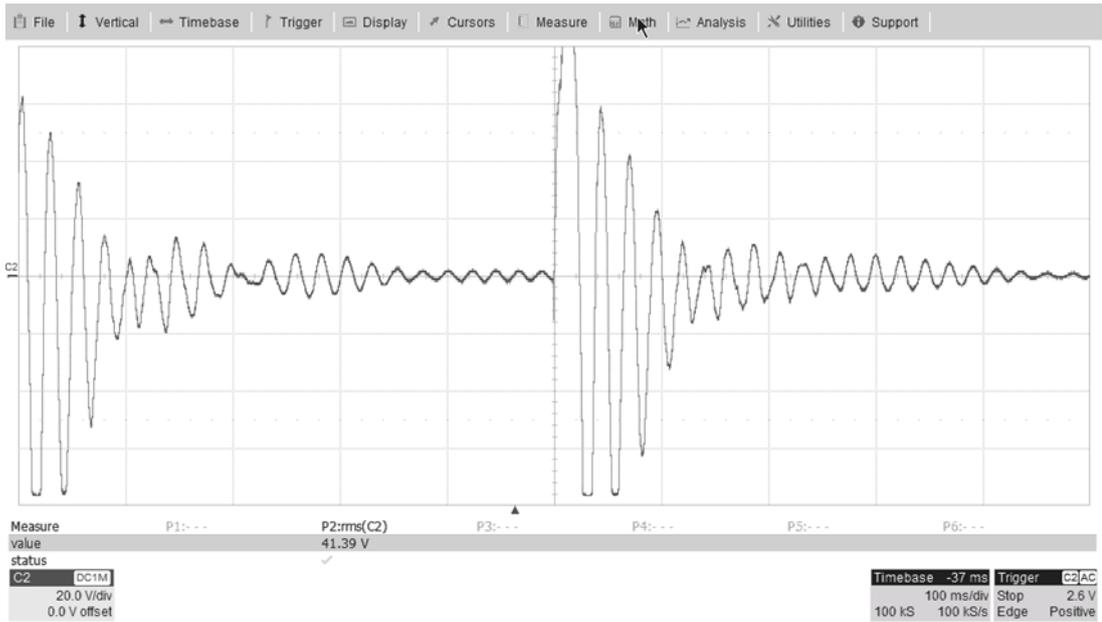


ภาพที่ 4.3 สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง

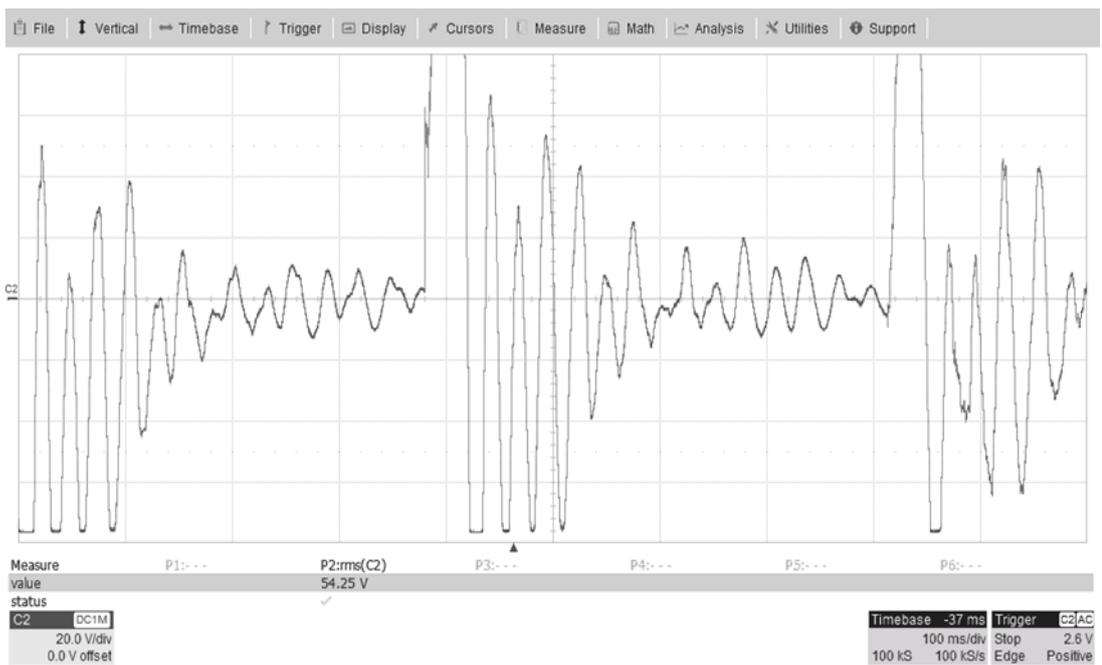
#### 4.2 ผลการต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบอนุกรม



ภาพที่ 4.4 สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นอนุกรมกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง

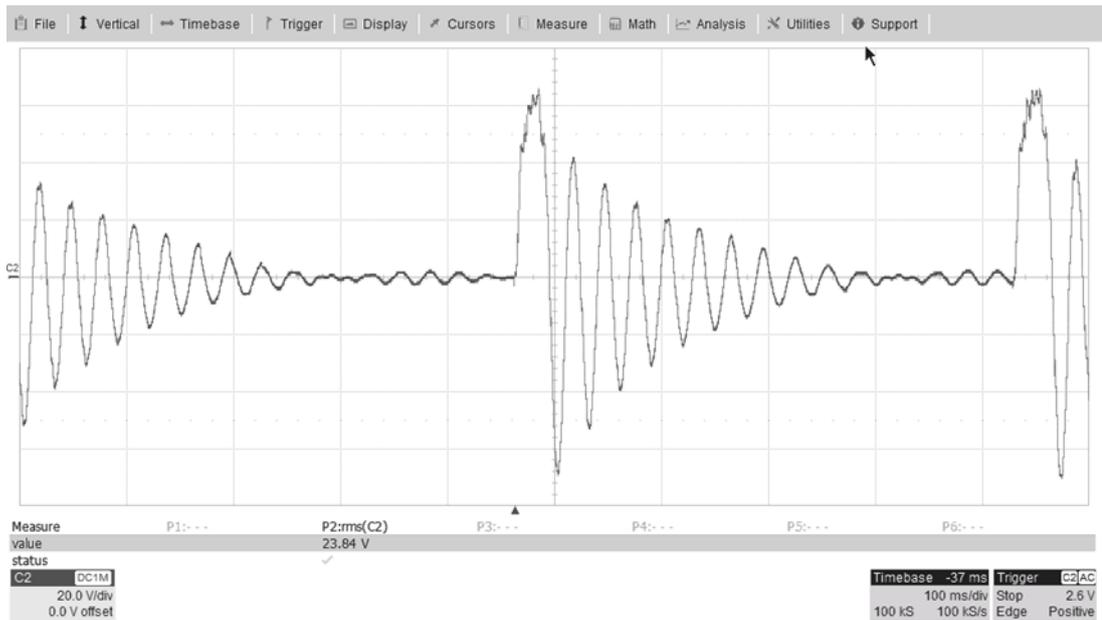


ภาพที่ 4.5 สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นอนุกรมกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง

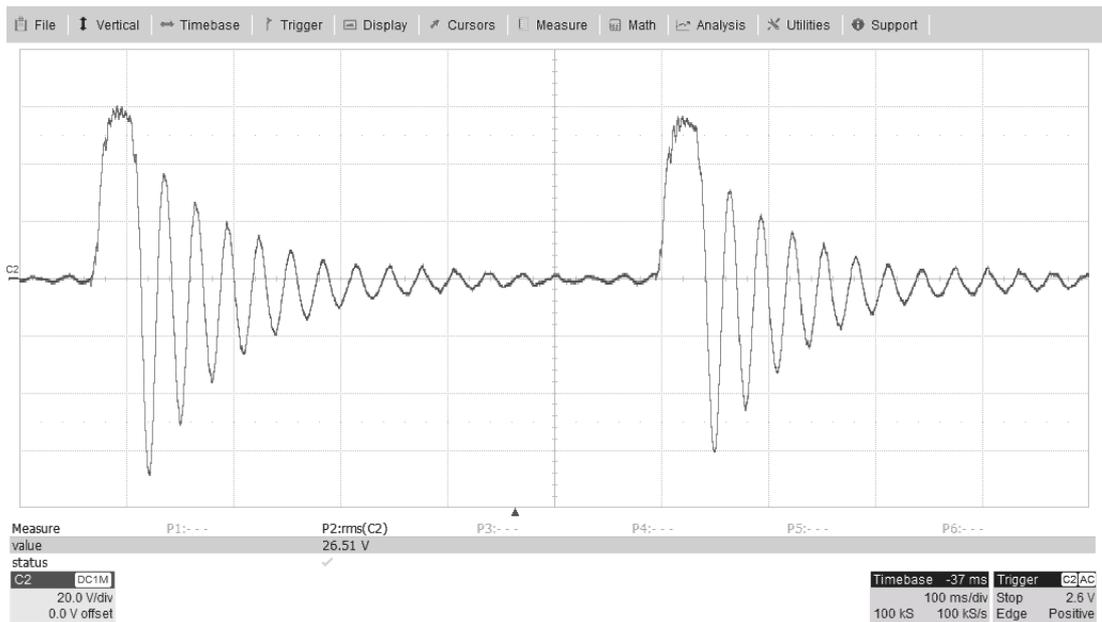


ภาพที่ 4.6 สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นอนุกรมกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง

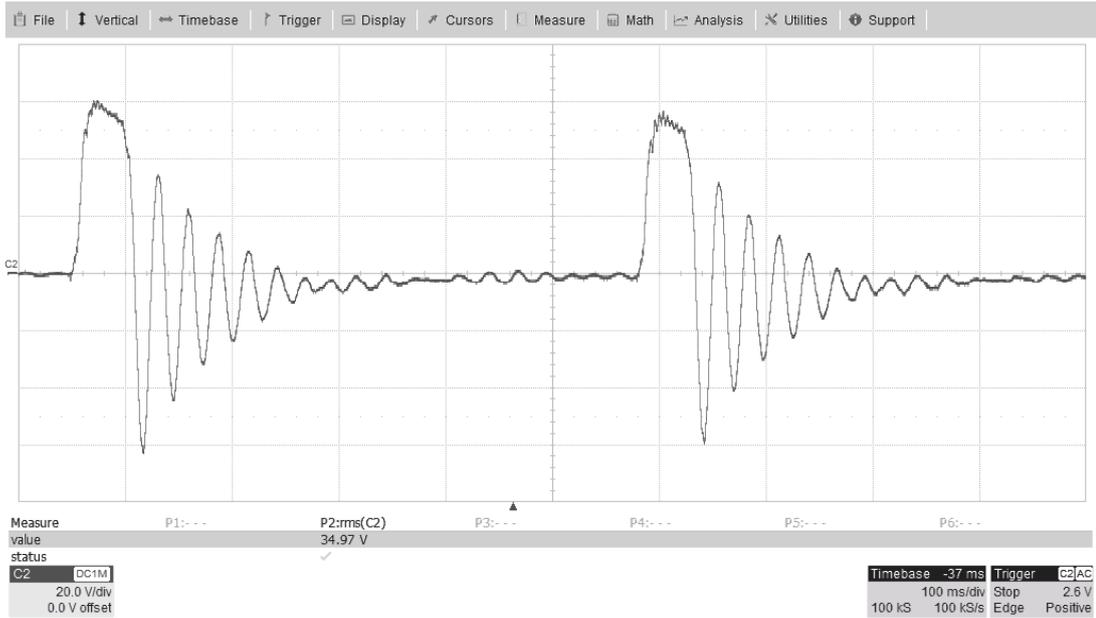
### 4.3 ผลการต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน



ภาพที่ 4.7 สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นขนานกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง



ภาพที่ 4.8 สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นขนานกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง



ภาพที่ 4.9 สัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นขนานกัน ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง

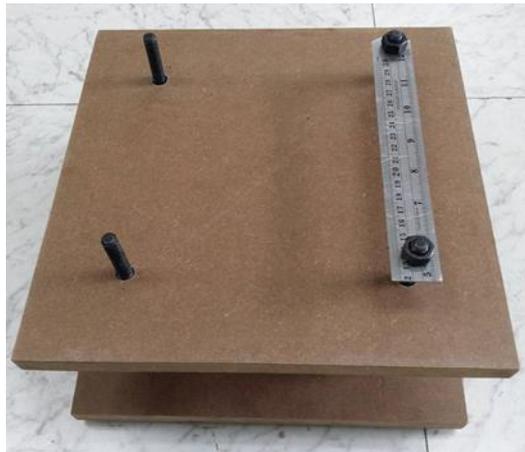
ตารางที่ 4.1 สรุปลักษณะการต่อของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นขนานกัน

ลักษณะการต่อ	ขนาดแรงดัน (V)
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 1 แผ่น	18.48
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นอนุกรมกัน	35.64
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นอนุกรมกัน	41.39
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นอนุกรมกัน	54.25
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 2 แผ่นขนานกัน	23.84
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 3 แผ่นขนานกัน	26.51
แผ่นเพียโซอิเล็กทริก 4 แผ่นขนานกัน	34.97

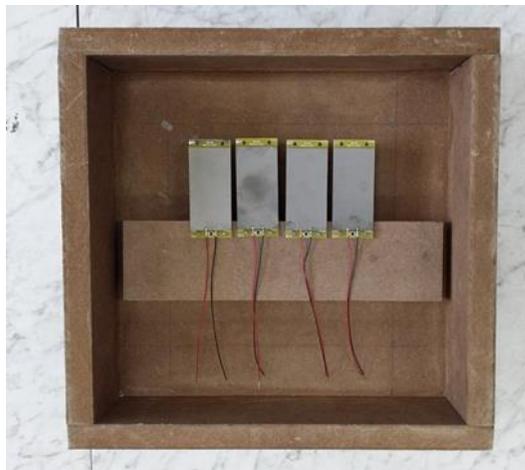
หลังจากศึกษาการจำลองการเก็บสัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก จะพบว่า การต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกขนานกัน จะให้ขนาดแรงดันค่อนข้างใกล้เคียงกัน อีกทั้งหลักการทางไฟฟ้าถ้าเรานำแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้ามาขนานกัน จะให้ขนาดแรงดันคงที่ และกระแสที่สูงขึ้น จึงเลือกการต่อแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนาน 4 แผ่น เพื่อดึงพลังงานสูงสุดมาทำพินกำเนิดพลังงานไฟฟ้าและเก็บสะสมพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ต่อไป

การเก็บพลังงานลงในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ โดยผ่านวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานและวงจรชาร์จแบตเตอรี่ในงานวิจัยนี้ ทำการจำลองโดยใช้หลักการทางกลของคาน คือ ปลายแผ่นเพียโซอิเล็กทริกด้านหนึ่งจะถูกยึดติดให้อยู่นิ่ง และใช้คานตีอีกด้านหนึ่งเพื่อให้เกิดแรงทางกลกับแผ่นเพีย

โซอิล็กทริก เพราะว่าหลักการนี้เป็นหลักการทางกลที่จะทำให้แผ่นเพียโซอิล็กทริก มีความถี่ธรรมชาติต่ำที่สุด ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการได้รับแรงทางกลโดยตรง ทำให้เมื่อนำมาประยุกต์ใช้จริงในพื้นที่กำเนิดพลังงานมีโอกาสให้แผ่นเพียโซอิล็กทริก กำเนิดพลังงานออกมาสูงสุด หากได้รับแรงทางกลซึ่งทำให้เกิดการสั่นใกล้เคียงความถี่ธรรมชาติ ดังนั้นเมื่อทำการจำลอง จึงกำหนดให้คานตีปลายด้านหนึ่งของแผ่นเพียโซอิล็กทริกอย่างต่อเนื่อง ด้วยความถี่ 2 Hz เนื่องจากการเหยียบพื้นกำเนิดพลังงาน 1 ครั้ง จะทำให้คานตีแผ่นเพียโซอิล็กทริก 2 ครั้ง ต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง

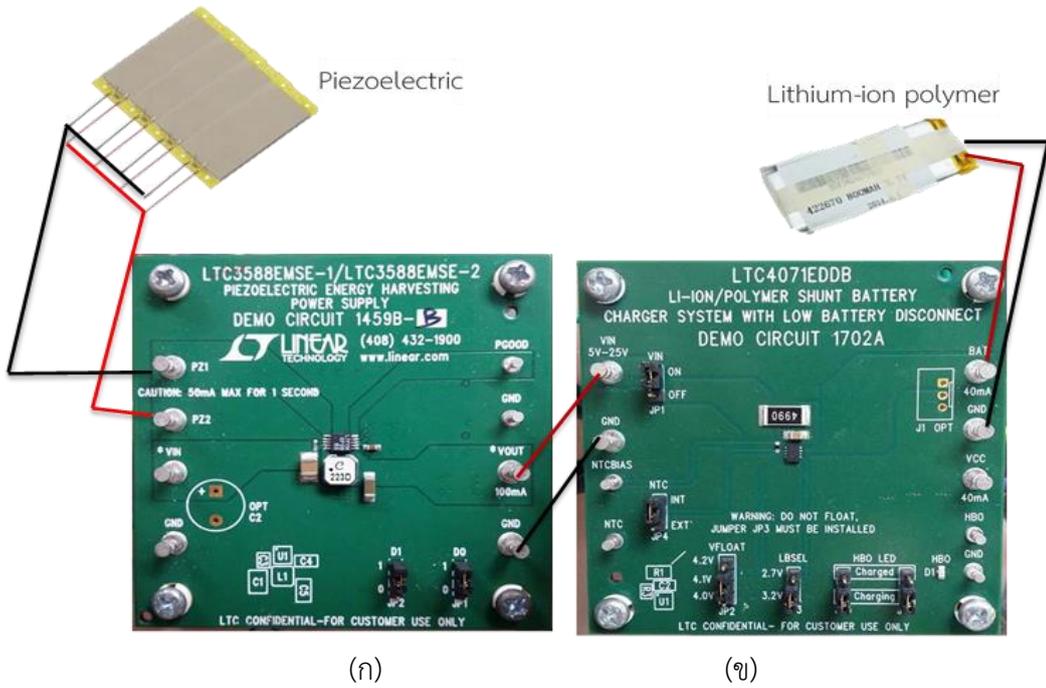


(ก)



(ข)

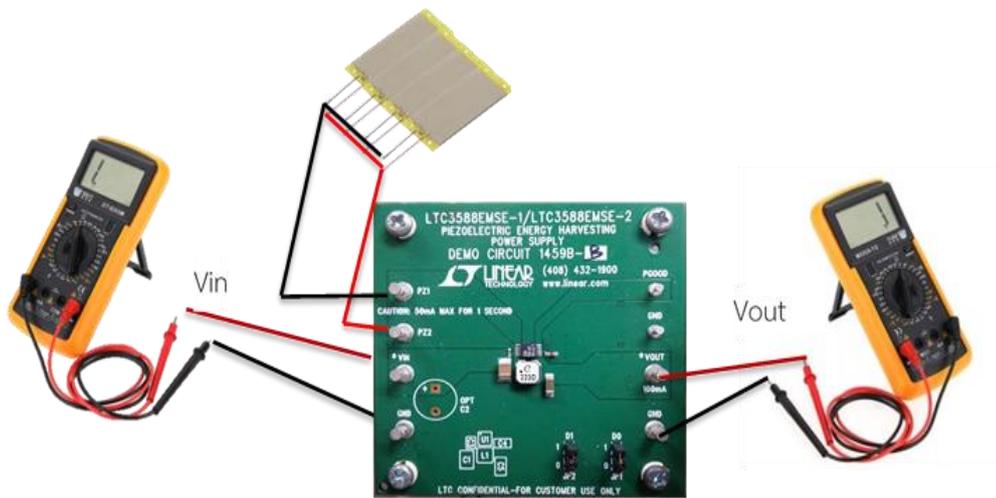
ภาพที่ 4.10 (ก) พื้นที่ยึดคานตี (ข) ปลายแผ่นเพียโซอิล็กทริกถูกยึดติดให้แน่น



ภาพที่ 4.11 (ก) วงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน (ข) และวงจรชาร์จแบตเตอรี่

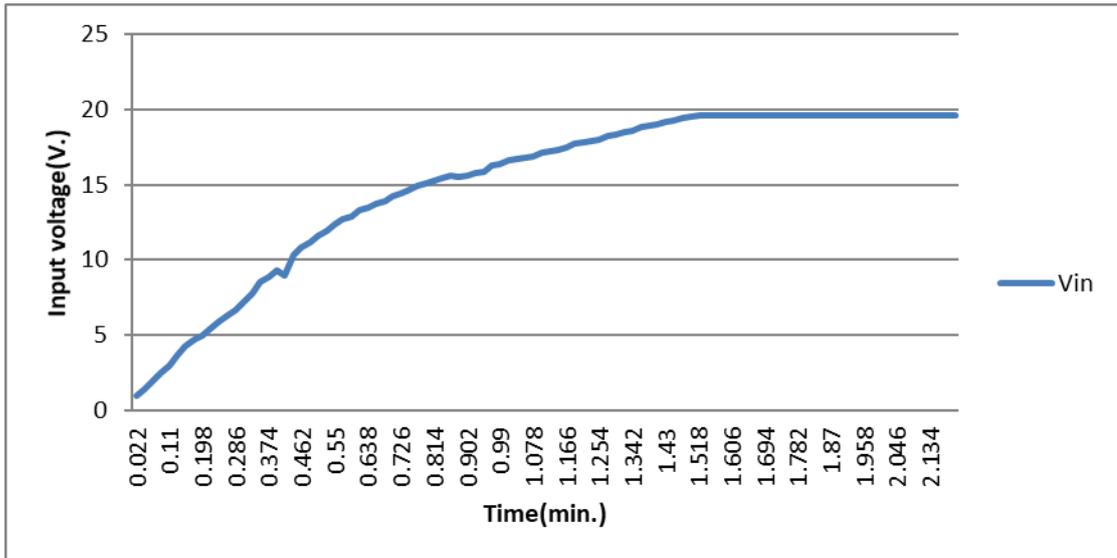
แบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือ ก่อนเชื่อมต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่ และหลังเชื่อมต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่

#### 4.4 การทดลองก่อนเชื่อมต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่



ภาพที่ 4.12 วงจรการทดลองขณะเก็บเกี่ยวพลังงาน

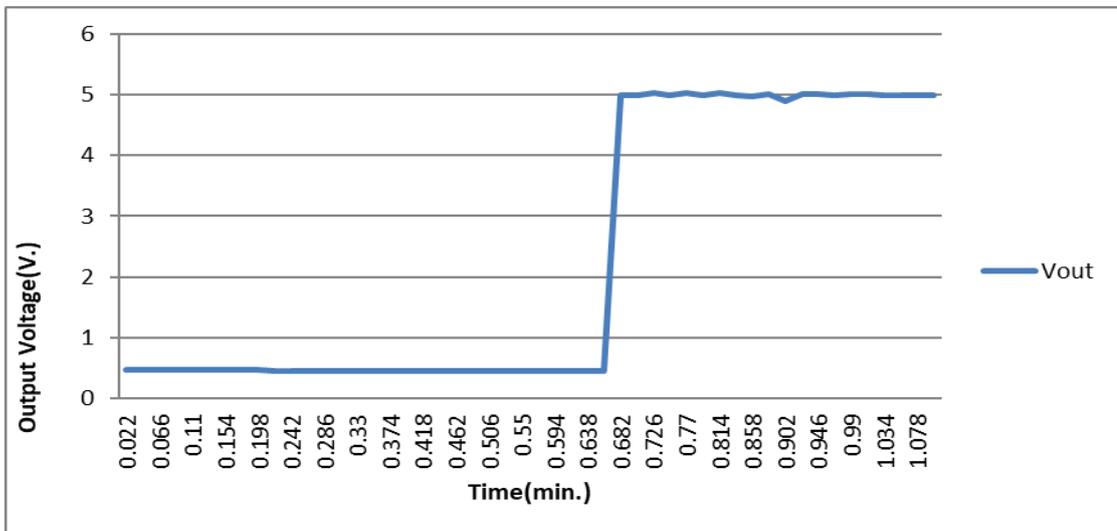
#### 4.4.1 แรงดันอินพุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงแรงดันอินพุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานเทียบกับเวลา

แรงดันอินพุต คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุภายนอก 2 ตัว ขนาด 100  $\mu$ F 35 V ที่ต่อขนานกันเพิ่มเติมเข้าไปกับวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อสะสมพลังงานทางด้านอินพุตที่ได้รับจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งพบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ขนาดของแรงดันอินพุตจะขึ้นไปสูงสุดประมาณ 19 V และจะคงที่ต่อเนื่อง หากได้รับพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ทั้งนี้หากไม่ได้รับพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก หรือมีการดึงพลังงานจากวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานไปใช้ จะทำให้แรงดันอินพุตลดลงซึ่งจะกล่าวในหัวข้อ 4.2.2

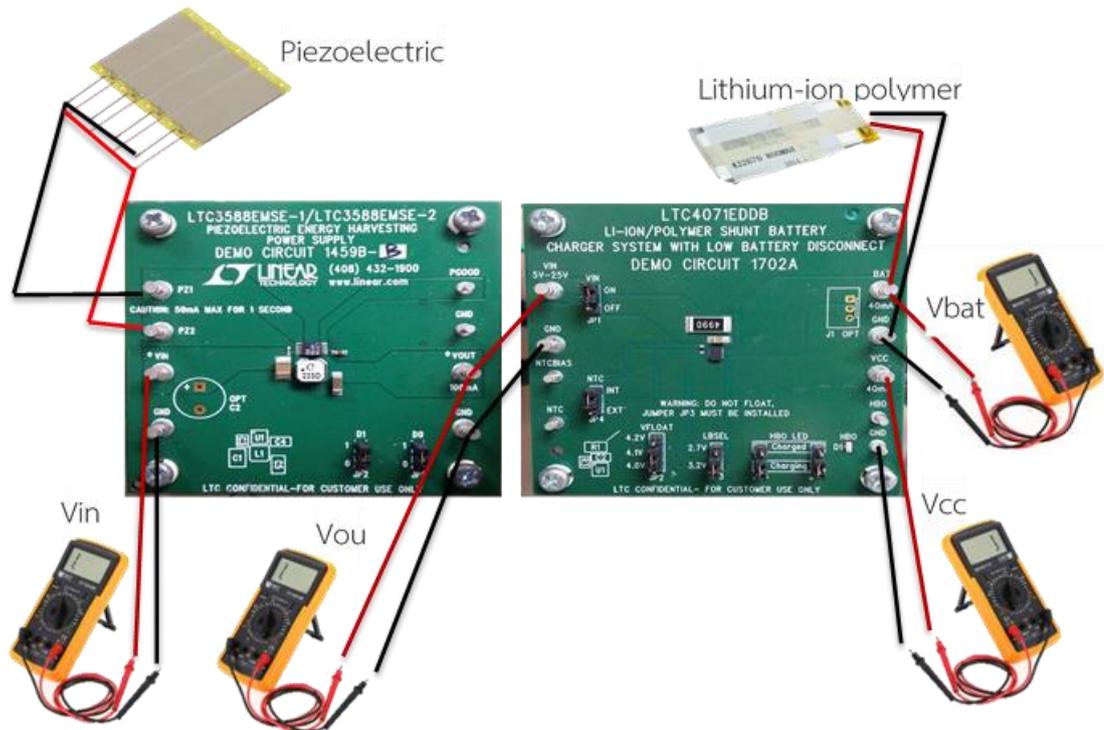
#### 4.4.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานเทียบกับเวลา

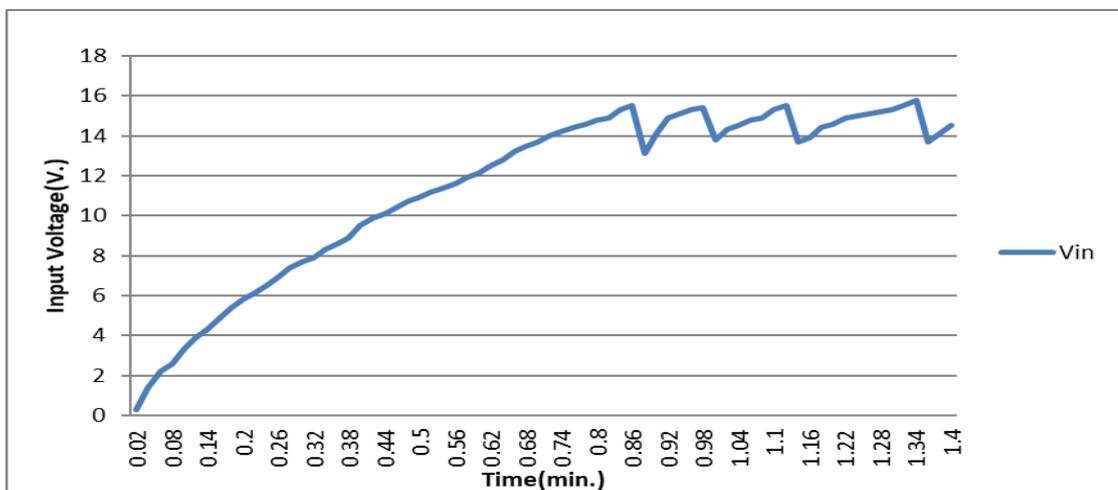
จากกราฟ แรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ขนาดของแรงดันเอาต์พุตจะขึ้นไปสูงสุดที่ 5 V ตามบอร์ด LTC3588-2 และค่อนข้างคงที่ต่อเนื่อง เมื่อตัวเก็บประจุทางด้านอินพุต สะสมพลังงานถึงระดับ 15.5 V

#### 4.5 การทดลองหลังเชื่อมต่อวงจรชาร์จแบตเตอรี่



ภาพที่ 4.15 วงจรทดลองขณะเก็บเกี่ยวพลังงาน ผ่านวงจรชาร์จลงลิเทียมไอออนโพลีเมอร์

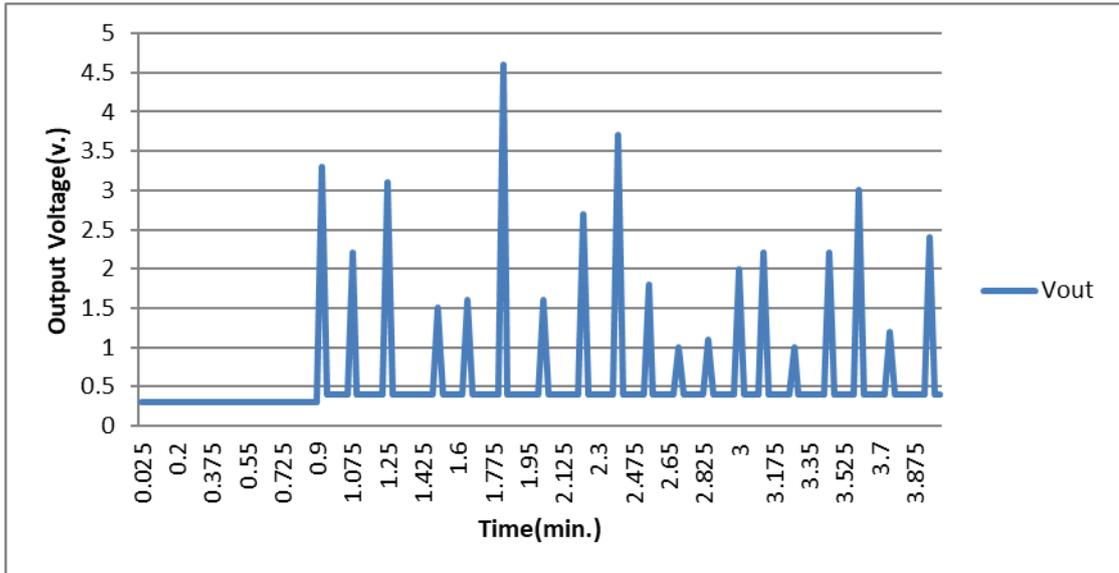
##### 4.5.1 แรงดันอินพุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน $V_{in}$



ภาพที่ 4.16 กราฟแสดงแรงดันอินพุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานเทียบกับเวลา (หลังต่อวงจรชาร์จ)

จากกราฟ แรงดันอินพุตจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ขนาดของแรงดันอินพุตจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆและสูงสุดประมาณ 16 V หลังต่อวงจรชาร์จ ขนาดแรงดันอินพุตจะตกลงอยู่ระหว่าง 13 – 16 V ทุกครั้งที่แรงดันตกนั้น แสดงว่ามีการดึงพลังงานเข้าวงจรชาร์จแบตเตอรี่นั่นเอง

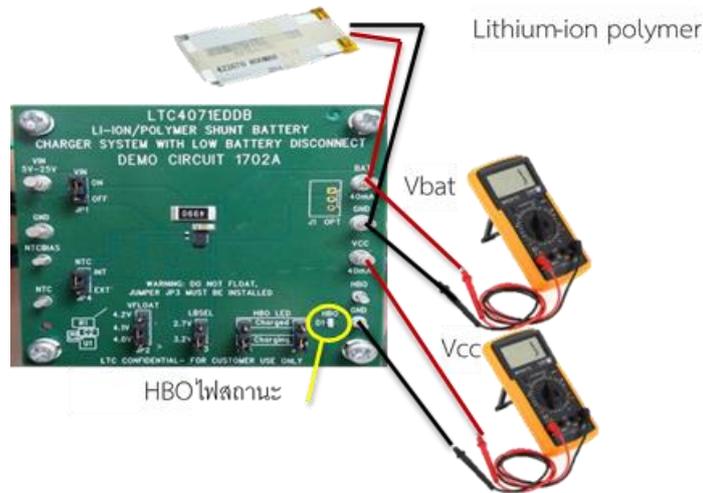
#### 4.5.2แรงดันเอาต์พุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงาน Vout



ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงแรงดันเอาต์พุตของวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานเทียบกับเวลา (หลังต่อวงจรชาร์จ)

จากกราฟ แรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มีการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ขนาดของแรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นไปจนถึง 5 V และแรงดันเอาต์พุตตกลงต่ำกว่า 5 V หลังต่อวงจรชาร์จ แสดงว่ามีการดึงพลังงานเข้าลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ ซึ่งสังเกตได้จากไฟสถานะ HBO (High Battery Monitor Output) ของวงจรชาร์จแบตเตอรี่หลังจากนั้นแรงดันเอาต์พุตจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นและตกลงทุกครั้งที่มีการดึงพลังงานออกไป เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

#### 4.6 แรงดันแบตเตอรี่



ภาพที่ 4.18 วงจรชาร์จแบตเตอรี่พร้อมไฟแสดงสถานะ

ในส่วนนี้เป็นส่วนของแบตเตอรี่ จะพิจารณาแรงดันแบตเตอรี่ (Vbat) และแรงดันจากวงจรชาร์จเข้าแบตเตอรี่ (Vcc) โดยไฟ HBO จะแสดงสถานะว่า แบตเตอรี่ถูกชาร์จเต็มแล้ว (Charged) หรือ แบตเตอรี่กำลังชาร์จอยู่ (Charging) อย่างไม่อย่างหนึ่ง ซึ่งปรับขาเชื่อมต่อของสถานะ HBO บนตัวบอร์ด แต่ถ้าตั้งสถานะ HBO ไว้ที่ Charging ไฟแสดงสถานะจะติดอยู่ตลอดเวลาทำให้สิ้นเปลืองพลังงานจากการเก็บเกี่ยวพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก

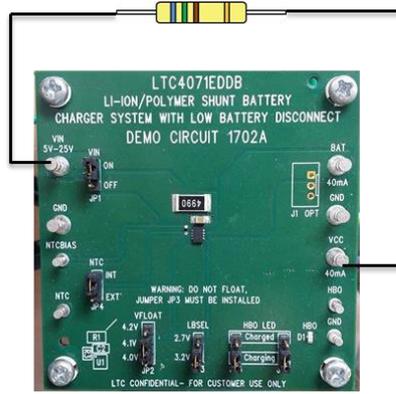
การชาร์จกระแสเข้าลิเธียมไอออนโพลิเมอร์ จะต้องจำกัดกระแสชาร์จ เพื่อไม่ให้ลิเธียมไอออนโพลิเมอร์ดีดกระแสจากวงจรชาร์จไปเลยทีเดียว โดยคำนวณจาก

$$I_{chg} = \frac{V_{in} - V_{bat}}{R_{in}}$$

ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ แบตเตอรี่ลิเธียมไอออนโพลิเมอร์ ขนาด 3.7 V 800 mAh จะได้ Vbat = 3.7 V โดย Vin จะมาจากวงจรเก็บเกี่ยวพลังงานซึ่งมีขนาด 5 V ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แล้วกำหนดให้กระแสชาร์จ Ichg = 2mA จะได้ค่าความต้าน (Rin) ต่ออนุกรมก่อนระหว่าง Vin กับ Vcc เท่ากับ 650 Ω ตามภาพ

$$R_{in} = \frac{5 - 3.7}{0.002}$$

$$R_{in} = 650 \Omega$$



ภาพที่ 4.19 การต่อความต้านทานเพื่อจำกัดกระแสชาร์จ

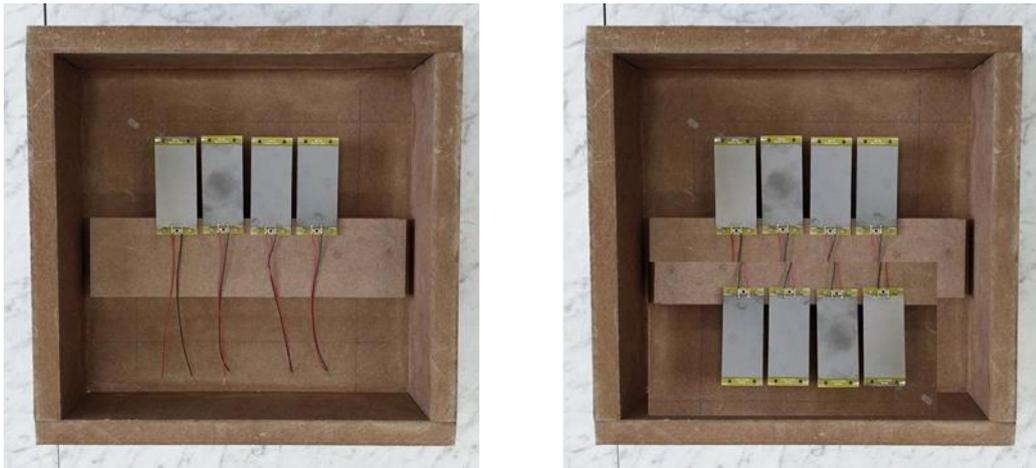
ดังนั้นแนวทางในการจำลองขนาดเสกกลที่ใหญ่ขึ้น จะคำนวณได้ดังนี้ (สมมติฐานให้แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพลังงานเป็นเชิงเส้น)

ตารางที่ 4.2 เวลาในการอัดประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

ณ เวลาที่ (นาทื)	ช่วงเวลาในการอัดประจุ (นาทื)	สถานะการอัดประจุ
0		OFF
	1.06	OFF
1.06		ON
	0.09	OFF
1.15		ON
	0.10	OFF
1.25		ON
	0.11	OFF
1.36		ON
	0.09	OFF
1.45		ON
	0.13	OFF
1.58		ON
	0.16	OFF
2.14		ON
	0.12	OFF
2.26	*เวลาเฉลี่ย = 0.114 นาทื	ON

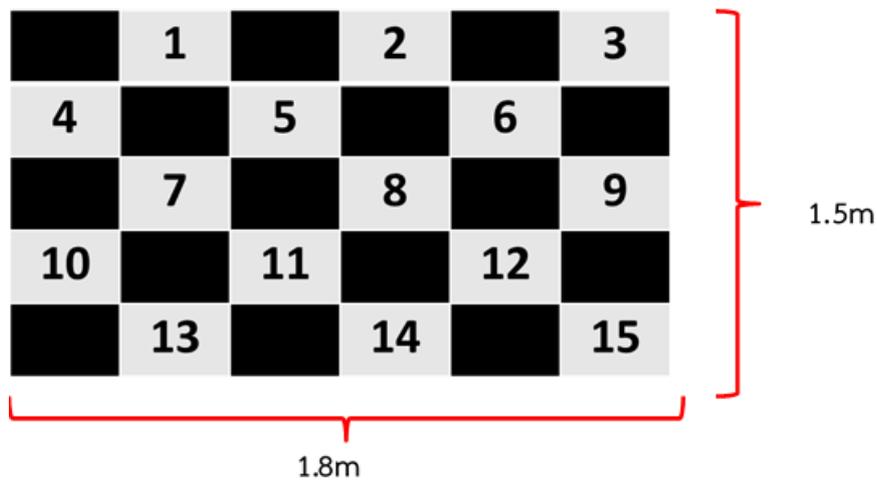
ช่วงเริ่มต้นจาก 0 – 1.06 นาที เป็นช่วงที่สะสมพลังงานในตัวเก็บประจุ จากตารางข้างต้นจะได้เวลาเฉลี่ยในการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน 0.114 นาที หรือประมาณ 7 วินาที จึงคำนวณได้ดังนี้

หากจำลองให้มีการติดตั้งจำนวนแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเพิ่มอีก 4 แผ่น ในลักษณะขนานกันทั้งหมด ทำให้พื้นกำเนิดพลังงานไฟฟ้ามีแผ่นเพียโซอิเล็กทริกทั้งหมด 8 แผ่น ทำให้เวลาในการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ลิเธียมไอออน ลดลงครึ่งหนึ่ง จาก 7 วินาที เหลือ 3.5 วินาที



ภาพที่ 4.20 การติดตั้งแผ่นเพียโซอิเล็กทริกทั้งหมด 8 แผ่น

จะพบว่า เมื่อทำการกำหนดพื้นที่การติดตั้งขนาด 2.7 ตารางเมตร และจำลองการติดตั้งพื้นกำเนิดพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 15 ชุด (ขนาด 0.3x0.3 m) ดังภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 พื้นที่การติดตั้งขนาด 2.7 ตารางเมตร

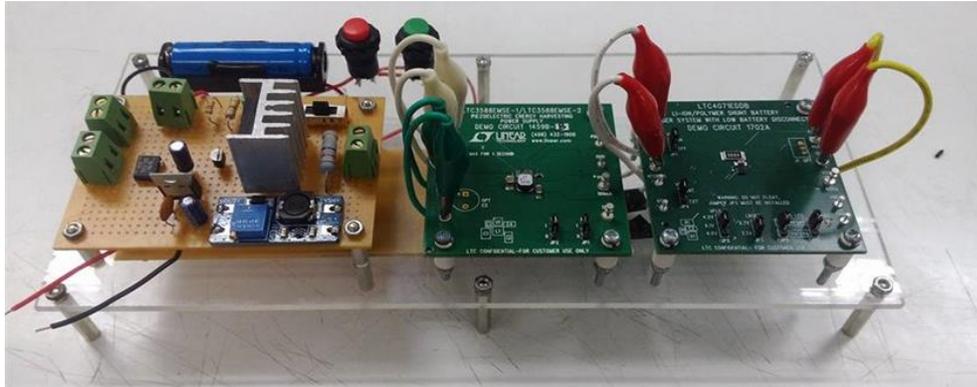
จากการสังเกตพื้นที่ในบริเวณที่มีการสัญจรไปมาของผู้คนเป็นจำนวนมาก จะพบว่า ในทุกๆ 1 วินาที โดยเฉลี่ย พื้นที่กำเนิดพลังงาน จะได้รับแรงทางกลพร้อมกัน 10 ชุด และจากพื้นที่กำเนิดพลังงาน 1 ชุด (ติดตั้งแผ่นเพียโซอิเล็กทริก 8 แผ่นขนานกัน) จะใช้เวลาในการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 3.5 วินาที ดังนั้นถ้าพื้นที่กำเนิดพลังงานจำนวน 10 ชุด เวลาที่ใช้ในการอัดประจุเท่ากับ 0.00683594 วินาที ดังตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3** เวลาในการอัดประจุต่อจำนวนพื้นที่กำเนิดพลังงานเมื่อได้รับแรงทางกล

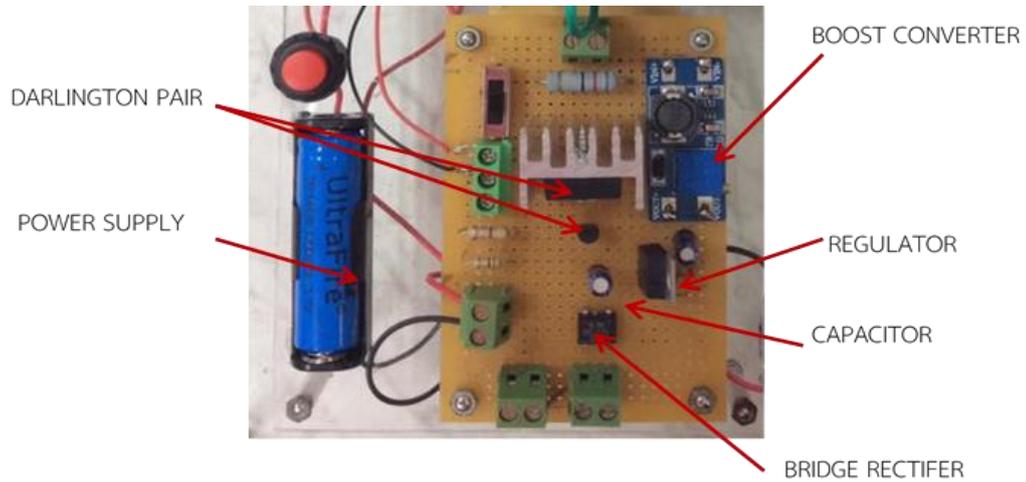
จำนวนพื้นที่กำเนิดพลังงาน ที่ได้รับแรงทางกล (ชุด)	เวลาในการอัดประจุ (วินาที)
1	3.5
2	1.75
3	0.875
4	0.4375
5	0.21875
6	0.109375
7	0.0546875
8	0.02734375
9	0.01367188
10	0.00683594

จากตารางที่ 4.3 สังเกตได้ว่า ทุกๆ 0.00683594 วินาที จะมีการอัดประจุเข้าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 2 mA (ตามสมการที่ 4.1) ดังนั้นใน 1 วินาที จะมีการอัดประจุประมาณ 292.5714 mA สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขนาด 800 mAh ดังนั้นจะใช้เวลาในการชาร์จประมาณ  $\frac{800}{292.5714} = 2.734375$  ชั่วโมง

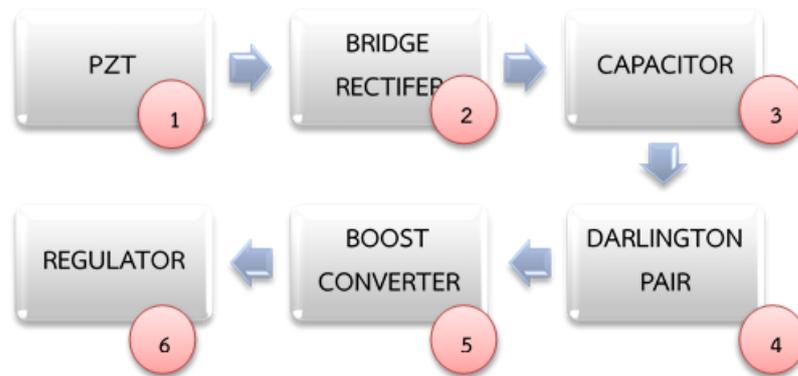
### 4.7 การประยุกต์ใช้งาน



ภาพที่ 4.22 วงจรเก็บเกี่ยวพลังงานและวงจรชาร์จแบตเตอรี่ พร้อมวงจรควบคุม Applications



ภาพที่ 4.23 รายละเอียด วงจรควบคุม Applications



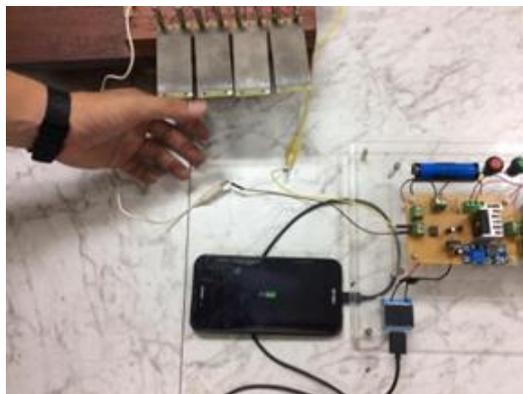
ภาพที่ 4.24 แผนผังแสดงการทำงานของวงจรควบคุม Applications

#### 4.8 ขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุม Applications

1. แผ่นเพียโซอิเล็กทริกได้รับการสั่นสะเทือนจากการก้าวเหยียบ ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ
2. วงจรเรียงกระแสแปลงไฟกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
3. ผ่านตัวเก็บประจุเพื่อลดแรงดันริปเปิ้ล
4. วงจรดาร์ลิ่งตัน (คู์ดาร์ลิ่งตัน) ใช้ขยายกระแสจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกให้สูงขึ้น ขนาดแรงดันจะลดลงเหลือประมาณ 2.45 V เนื่องจากแหล่งจ่ายของวงจรดาร์ลิ่งตัน ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งพลังงานหลังวงจรดาร์ลิ่งตัน สามารถนำไปใช้จ่าย หลอด LED แบบ Surface Mount Device (SMD) ซึ่ง LED จะสว่างตามจังหวะของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ได้รับแรงทางกลจากการก้าวเหยียบ
5. วงจรเพิ่มระดับแรงดัน ใช้ Boost converter module LM2577 ในการเพิ่มระดับแรงดันให้สูงขึ้น จาก 2.45 V เป็น 8 V โดยประมาณ
6. วงจรรักษาระดับแรงดัน โดยใช้ไอซี 3 ขา MC7805 ให้แรงดันออกมาคงที่ ที่ 5 V โดยใช้แรงดันที่ได้ออกมา นำมาชาร์จโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยแรงดัน 5 V



ภาพที่ 4.25 หลอด LED แบบ Surface Mount Device (SMD)



ภาพที่ 4.26 การชาร์จโทรศัพท์เคลื่อนที่

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบแรงดัน ณ ตำแหน่งต่างๆ

จำนวนข้อมูล (20 ครั้งจาก PZT)	แรงดันหลัง วงจรวีงกระแส (V)	แรงดันหลัง วงจรรดาร์ลิ่งตัน (V)
1	1.1	2.2
2	1.0	2.5
3	1.0	2.1
4	1.1	2.3
5	1.1	2.4
6	1.0	2.3
7	0.9	2.5
8	1.1	2.4
9	1.0	2.3
10	0.9	2.2
11	1.1	2.6
12	1.1	1.9
13	1.0	2.3
14	1.1	2.5
15	1.2	2.9
16	1.1	2.5
17	1.0	2.4
18	1.0	2.2
19	1.0	3.8
20	1.1	2.7
แรงดันเฉลี่ย	1.045	2.45

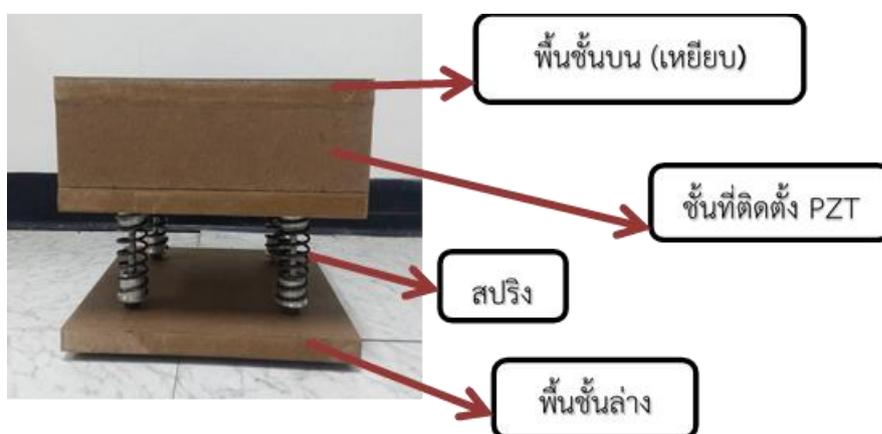
หมายเหตุ : แหล่งจ่ายที่จ่ายไฟให้กับวงจรรดาร์ลิ่งตัน มาจากการเก็บสะสมพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกลงในแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ ผ่านวงจรรชาร์จแบตเตอรี่ ตามหัวข้อ 4.2 ข้างต้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ลงใน แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโพลิเมอร์ โดยผ่านวงจรชาร์จแบตเตอรี่ที่ควบคุมแรงดันและกระแสให้คงที่ ในรูปแบบของพื้นกำเนิดพลังงาน ให้เกิดแรงทางกลกระทำบนแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบทางอ้อมโดยอาศัยหลักการทำงานของสปริงที่อยู่ระหว่างพื้น 2 ชั้น แผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ถูกติดตั้งได้รับการสั่น 2 รอบต่อการก้าวเหยียบ 1 ครั้ง เนื่องจากคานภายในชั้นที่ติดตั้งแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งสามารถนำพื้นกำเนิดพลังงานนี้ไปประยุกต์ใช้ในการติดตั้งบริเวณที่มีผู้คนเดินผ่านไปมาในปริมาณมาก



รูปที่ 5.1 พื้นกำเนิดพลังงานจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

การทดลองเริ่มจากการจำลองเก็บสัญญาณแรงดันจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบต่ออนุกรมและขนานกัน และเลือกใช้การเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกแบบขนานกัน 4 แผ่น เพราะการต่อแบบขนานให้กระแสมากกว่าอนุกรม หลังจากนั้นจึงเก็บเกี่ยวพลังงานตามแผนผังด้านล่างนี้



ภาพที่ 5.2 แผนผังการเก็บเกี่ยวพลังงาน

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริกเข้าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน โพลีเมอร์ จะขึ้นอยู่กับต้นกำลังทางกล ความต่อเนื่องของแรงทางกล และประสิทธิภาพของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวคิด การเก็บพลังงานที่สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ในชีวิตประจำวัน กลับมาสะสมเพื่อใช้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางของพลังงานทางเลือกในอนาคต

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวความคิดการประยุกต์ใช้ จ่ายไฟหลอด LED แบบ Surface Mount Device (SMD) และการชาร์จโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยหลอด LED จะสว่างทันที หรือจะเกิดการชาร์จเข้าโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไปพร้อมกับแผ่นเพียโซอิเล็กทริกที่ได้รับแรงทางกลอย่างต่อเนื่อง หากไม่ต้องการใช้จ่ายหลอดในทันที พลังงานที่เก็บเกี่ยวจากพื้นกำเนิดพลังงาน จะถูกสะสมไว้ในแบตเตอรี่แทน ดังที่กล่าวข้างต้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. ควรมีการเก็บผลการทดลองโดยการนำพื้นกำเนิดพลังงาน ไปทดสอบกับสถานที่จริง ที่มีผู้คนเดินผ่านไปมาในปริมาณมาก
2. ควรศึกษารายละเอียดของแบตเตอรี่ เพิ่มมากขึ้น เพื่อประสิทธิภาพในการเก็บสะสมพลังงาน
3. หากต้องการพลังงานสูงสุดจากแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ควรศึกษาหลักการที่จะทำให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริก เกิดการสั่นที่ความถี่ธรรมชาติ 47 Hz โดยอาจใช้วิธีการเพิ่มมวลที่ปลายแผ่นเพียโซอิเล็กทริก ทำให้ความหน่วงเพิ่มขึ้น และช่วยลดความถี่ธรรมชาติของแผ่นเพียโซอิเล็กทริกได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Jbaily, A. and R. Yeung (2015). "Piezoelectric devices for ocean energy: a brief survey." *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy* **1**(1): 101-118.
- [2] Paradiso, J. A. and T. Starner (2005). "Energy scavenging for mobile and wireless electronics." *Pervasive Computing, IEEE* **4**(1): 18-27.
- [3] Waqar, S., et al. (2015). "Piezoelectric energy harvesting from intelligent textiles." *Electronic Textiles*. T. Dias. Oxford, Woodhead Publishing: 173-197.
- [4] Minami, Y. and E. Nakamachi (2012). "Development of enhanced piezoelectric energy harvester induced by human motion." *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2012.
- [5] Hatti, N., et al. (2011). "A PZT modeling for energy harvesting circuits." *Applications of Ferroelectrics (ISAF/PFM), 2011 International Symposium on and 2011 International Symposium on Piezoresponse Force Microscopy and Nanoscale Phenomena in Polar Materials*.
- [6] Pandey, H., et al. (2014). "Walking based wearable mobile phone charger and lightening system." *International Conference on Medical Imaging, m-Health and Emerging Communication Systems (MedCom)*, 2014.
- [7] Meier, R., et al. (2014). "A piezoelectric energy-harvesting shoe system for podiatric sensing." *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2014 36th Annual International Conference of the IEEE*.
- [8] Kymissis, J., et al. (1998). "Parasitic power harvesting in shoes." *Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers*, 1998.
- [9] Mitcheson, P. D., et al. (2008). "Energy Harvesting From Human and Machine Motion for Wireless Electronic Devices." *Proceedings of the IEEE* **96**(9): 1457-1486.
- [10] Yi, M.-h., et al. (2012). "Pedestrian walking characteristics at stairs according to width change for application of piezoelectric energy harvesting." *Journal of Central South University* **19**(3): 764-769.
- [11] Qian, H.-b. and H. Han (2010). "The Applications and Methods of Pedestrian Automated Detection." *International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*, 2010.

- [12] Vazquez-Rodriguez, M., et al. (2012). "Optimal linear model for piezoelectric materials involved in road traffic energy harvesting applications." IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society.
- [13] Mariotti, C., et al. (2012). "Wireless localization in buildings by smart tiles." IEEE Workshop on Environmental Energy and Structural Monitoring Systems (EESMS), 2012.
- [14] Tsung-Tsi, W., et al. (2010). "Analysis of high efficiency piezoelectric floor on intelligent buildings." Proceedings of SICE Annual Conference 2010.
- [15] Li, X. and V. Strezov (2014). "Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building." Energy Conversion and Management 85(0): 435-442.
- [16] Serra, R., et al. (2014). "Human step detection from a piezoelectric polymer floor sensor using normalization algorithms." SENSORS, 2014 IEEE.
- [17] Guoliang, Y., et al. (2009). "Optimization of a piezoelectric system for energy harvesting from traffic vibrations." IEEE International Ultrasonic Symposium (IUS), 2009.
- [18] Kasuga, T., et al. (2011). "Design of a Lane Marker Lighting System Based on Piezoelectric Power Generation." IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011.
- [19] Vazquez-Rodriguez, M., et al. (2012). "Energy harvesting input stage model for piezoelectric materials involved in road traffic applications." IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2012.
- [20] Qingyuan, Z., et al. (2012). "Vibration energy harvesting in automobiles to power wireless sensors." International Conference on Information and Automation (ICIA), 2012.
- [21] Kaustubh, P. and N. Vaish (2012). "Highly efficient PVDF film energy harvester for self-charging vehicle system." Proceedings of the 9th Industrial and Commercial Use of Energy Conference (ICUE), 2012.
- [22] Rajab, S. A., et al. (2012). "Novel vehicle and motorcycle classification using single element piezoelectric sensor." 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2012.
- [23] Tsung-Tsi, W., et al. (2010). "Analysis of high efficiency piezoelectric floor on intelligent buildings." Proceedings of SICE Annual Conference 2010.
- [24] Leung, C. S., et al. (2013). "Piezoelectric sensors for taxiway airport traffic control system." Conference on 1st IEEE Technologies for Sustainability (SusTech), 2013.

- [25] Zhu, X., et al. (2010). "Analysis of active vibration control for piezoelectric intelligent structures by ANSYS and MATLAB." International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010.
- [26] Xiu-Mei, W., et al. (2010). "Simulation and experimental study on active vibration control of piezoelectric smart plate based on ANSYS." 2nd International Conference on Advanced Computer Control (ICACC), 2010.
- [27] Chang, Z., et al. (2011). "Vibration control simulation of beams with piezoelectric actuators using impedance and FEM." Symposium on Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications (SPAWDA), 2011.
- [28] Lu, X. M. (1995). "Estimation of piezoelectric material properties by coupling theory and FEM." Proceedings, 1995 IEEE Ultrasonic Symposium, 1995.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

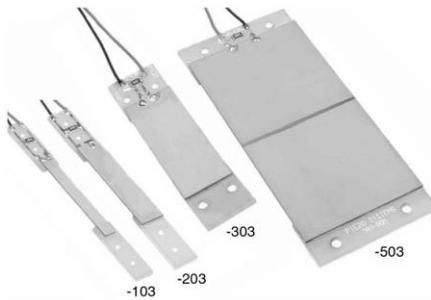
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ในการวิจัย

## 2-PIEZO LAYER ELEMENTS

PIEZO SYSTEMS, INC.

65 Tower Office Park Woburn, MA 01801 • Tel: (781) 933-4850 • Fax: (781) 933-4743 • Web: www.piezo.com • E-mail: sales@piezo.com

### STD. DOUBLE-QUICK-MOUNT BENDING GENERATORS PRE-MOUNTED AND WIRED, TWO ENDS



Double Quick-Mount bending sensors save users the trouble of mounting and wiring transducer elements. They are easily attached and removed from equipment using the two clearance holes in the PCB mount. They are wired for parallel operation. The user may opt to remove the board mounted bleed resistor which protects the transducer and user electronics from transient voltages arising from thermal and mechanical shocks. The user mounts the transducer to the source of mechanical strain.

Standard Double Quick-Mount Benders employ T220-A4-103X, T220-A4-203X, T220-A4-303X or T220-A4-503X standard brass reinforced transducers.

Standard Double Quick-Mount Benders are more economically priced than other Double Quick-Mount configurations, and are generally stocked for immediate delivery.

Dimensions for Standard Double-Quick-Mounts are shown on [page 48](#).

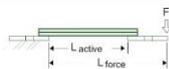
Custom configurations and sizes: Upon request.

**ROHS:** Compliant. Piezo exempt.

#### DESCRIPTION

When a mechanical force causes a suitably wired and polarized 2-layer element to bend, one layer is compressed and the other is stretched. Charge develops across each layer in an effort to counteract the imposed strain. This charge may be collected for strain sensing or power generation.

PERFORMANCE: DOUBLE QUICK-MOUNT BENDING GENERATORS (Cantilever mount)								VALUES TO BE USED AS GUIDELINES		
PART NUMBERS DOUBLE QUICK-MOUNT BENDING GENERATORS		PIEZO MATERIAL	WEIGHT (grams)	STIFFNESS (N/m)	CAPACITANCE (nF) (Parallel Operation)	RATED TIP DEFLECTION ① (mm <sup>3</sup> /peak)	RATED FREQUENCY ① (Hz)	OPEN CIRCUIT VOLTAGE ① At rated deflection, parallel operation (V <sup>peak</sup> )	CLOSED CIRCUIT CURRENT ① Per sinusoidal cycle, at rated deflection, parallel operation. (µA <sup>peak</sup> / Hz)	RATED OUTPUT POWER ① At rated deflection and frequency (mW <sub>rms</sub> )
<p>Y-poled for parallel bending operation (3 wire).</p>										
D220-A4-103YB		5A4E	1.1	6.1x10 <sup>1</sup>	12	± 1.0	100	± 14.9	± 2.0	.37
D220-A4-203YB		5A4E	1.7	1.2x10 <sup>2</sup>	23	± 1.0	120	± 14.9	± 3.9	.88
D220-A4-303YB		5A4E	2.7	3.6x10 <sup>2</sup>	46	± .84	145	± 14.9	± 7.9	2.1
D220-A4-503YB		5A4E	10.4	1.9x10 <sup>2</sup>	232	± 2.6	47	± 20.9	± 52	6.4



-103, -203, and -303 Double Quick-Mount bending generator performance is based on an active extension length of 1.0". -503 performance based on 2.0" active length. Double Quick-Mount performance is based on the force being applied at the outermost tip of the mount.

PRICE & ORDERING INFORMATION		PART NO.	1 pc	5	25	100
Std Double QM Bending Generator, -103 Size		D220-A4-103YB	\$202	\$114	\$76	\$60
Std Double QM Bending Generator, -203 Size		D220-A4-203YB	\$208	\$125	\$81	\$65
Std Double QM Bending Generator, -303 Size		D220-A4-303YB	\$230	\$147	\$92	\$79
Std Double QM Bending Generator, -503 Size		D220-A4-503YB	\$274	\$197	\$147	\$125



LTC3588-1

## Nanopower Energy Harvesting Power Supply

### FEATURES

- 950nA Input Quiescent Current (Output in Regulation – No Load)
- 450nA Input Quiescent Current in UVLO
- 2.7V to 20V Input Operating Range
- Integrated Low-Loss Full-Wave Bridge Rectifier
- Up to 100mA of Output Current
- Selectable Output Voltages of 1.8V, 2.5V, 3.3V, 3.6V
- High Efficiency Integrated Hysteretic Buck DC/DC
- Input Protective Shunt – Up to 25mA Pull-Down at  $V_{IN} \geq 20V$
- Wide Input Undervoltage Lockout (UVLO) Range
- Available in 10-Lead MSE and 3mm × 3mm DFN Packages

### APPLICATIONS

- Piezoelectric Energy Harvesting
- Electro-Mechanical Energy Harvesting
- Wireless HVAC Sensors
- Mobile Asset Tracking
- Tire Pressure Sensors
- Battery Replacement for Industrial Sensors
- Remote Light Switches
- Standalone Nanopower Buck Regulator

### DESCRIPTION

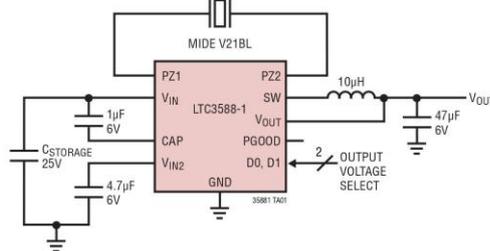
The LTC<sup>®</sup>3588-1 integrates a low-loss full-wave bridge rectifier with a high efficiency buck converter to form a complete energy harvesting solution optimized for high output impedance energy sources such as piezoelectric, solar, or magnetic transducers. An ultralow quiescent current undervoltage lockout (UVLO) mode with a wide hysteresis window allows charge to accumulate on an input capacitor until the buck converter can efficiently transfer a portion of the stored charge to the output. In regulation, the LTC3588-1 enters a sleep state in which both input and output quiescent currents are minimal. The buck converter turns on and off as needed to maintain regulation.

Four output voltages, 1.8V, 2.5V, 3.3V and 3.6V, are pin selectable with up to 100mA of continuous output current; however, the output capacitor may be sized to service a higher output current burst. An input protective shunt set at 20V enables greater energy storage for a given amount of input capacitance.

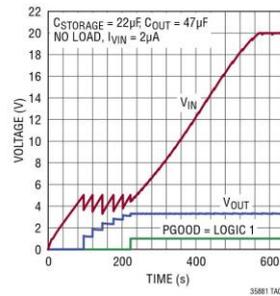
LT, LT, LTC, LTM, Linear Technology, the Linear logo and Burst Mode are registered trademarks of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

### TYPICAL APPLICATION

100mA Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply



LTC3588-1 3.3V Regulator Start-Up Profile



35881fc



For more information [www.linear.com/LTC3588-1](http://www.linear.com/LTC3588-1)

1



LTC4071

## Li-Ion/Polymer Shunt Battery Charger System with Low Battery Disconnect

### FEATURES

- Charger Plus Pack Protection in One IC
- Low Operating Current (550nA)
- Near Zero Current (<0.1nA) Low Battery Disconnect Function to Protect Batteries from Over-Discharge
- Pin Selectable Low Battery Disconnect Level: 2.7V or 3.2V
- 1% Float Voltage Accuracy Over Temperature
- 50mA Maximum Internal Shunt Current
- Pin Selectable Float Voltage Options: 4.0V, 4.1V, 4.2V
- Ultralow Power Pulsed NTC Float Conditioning for Li-Ion/Polymer Protection
- Suitable for Intermittent, Continuous and Very Low Power Charging Sources
- High Battery Status Output
- Thermally Enhanced, Low Profile (0.75mm) 8-Lead (2mm × 3mm) DFN and MSOP Packages

### APPLICATIONS

- Low Capacity, Li-Ion/Polymer Battery Back-Up
- Thin Film Batteries
- Energy Scavenging/Harvesting
- Solar Power Systems with Back-Up
- Memory Back-Up
- Embedded Automotive

### DESCRIPTION

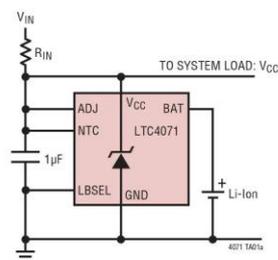
The LTC<sup>®</sup>4071 allows simple charging of Li-Ion/Polymer batteries from very low current, intermittent or continuous charging sources. A near-zero current low battery latching disconnect function protects even the lowest capacity batteries from deep discharge and potentially irreparable damage. The 550nA to 50mA operating current makes charging possible from previously unusable sources. With its low operating current the LTC4071 is well suited to charge low capacity Li-Ion or thin film batteries in energy harvesting applications. The unique architecture of the LTC4071 allows for an extremely simple battery charger solution, requiring just one external resistor.

The LTC4071 offers a pin selectable float voltage with  $\pm 1\%$  accuracy. The integrated thermal battery qualifier extends battery lifetime and improves reliability by automatically reducing the battery float voltage at NTC thermistor temperatures above 40°C. The LTC4071 also provides two pin selectable low battery disconnect levels and a high battery status output.

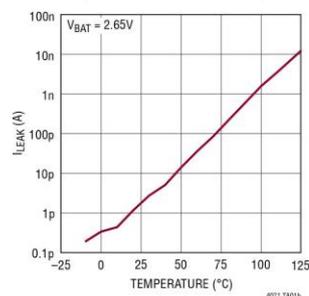
The device is offered in two thermally enhanced packages, a compact low profile (0.75mm) 8-lead (2mm × 3mm) DFN and an 8-lead MSOP package.

LT, LT, LTC, LTM, Linear Technology, the Linear logo and Burst Mode are registered trademarks and ThinSOT is a trademark of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners.

### TYPICAL APPLICATION



Battery Disconnect  $I_{LEAK}$  vs Temperature



4071fc

1

ภาคผนวก ข  
สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

**แนบแบบรายงานการใช้จ่ายเงิน**

## ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน  
(ภาษาอังกฤษ) Chaiyan Jettanasen, Ph.D.

วัน เดือน ปีเกิด 26 สิงหาคม 2522 อายุ 38 ปี  
เพศ ชาย สถานะทางการสมรส สมรส

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3720901020204

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-329-8330 โทรสาร 02-329-8330

เบอร์มือถือ 080-0220851 Email [kjchaiya@kmitl.ac.th](mailto:kjchaiya@kmitl.ac.th)

### ประวัติการศึกษา

ปริญญาเอก Ph.D. of Electrical Engineering (Docteur en Génie Electrique),  
Ecole Centrale de Lyon, France

ปีที่จบ พ.ศ.2551

ปริญญาตรี-โท Master of Electrical Engineering (Master de Recherche en Génie  
Electrique) / Diploma of Electrical Engineering (Diplôme d'ingénieur), Institut  
National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, France

ปีที่จบ พ.ศ. 2548

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ  
EMI/EMC in power electronic systems, ESD in electric/electronic system,  
Conversion of electrical energy, Power electronics

ผลงานวิจัยย้อนหลัง 3 ปีและผลงานวิจัยอื่นๆ (เช่น Proceedings หนังสือ ฯลฯ)

### Journal Papers

1. C. Jettanasen, and A. Ngaopitakkul, "A Novel Probabilistic Neural Networks-Based Algorithm for Classifying Internal Fault in Transformer Windings" IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE), Vol. 8, No. 2, March, 2013, pp. 123-131. (ISI Impact factor 2011 = 0.394)

2. Chaiyan Jettanasen, "Modeling and Optimizing a Passive EMI Filter to Attenuate Common-Mode Currents at High Frequency in a Three-Phase Adjustable-Speed AC Motor Drive", International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC), ISSN 1349-4198, Vol. 8, No. 10 (A), October 2012, pp. 6629 – 6642 (ISI Impact Factor 2010: 1.664)
3. C. Jettanasen, F. Costa, C. Vollaie, "Common mode emissions measurements and simulation in variable-speed drive systems", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 24, No. 11, November 2009.

#### National/International Conference Papers

1. C. Jettanasen, "Analysis of Conducted Electromagnetic Interference Generated by PWM Inverter Fed-AC Motor Drives", The 15<sup>th</sup> International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2012), Sapporo, Japan, October 21-24, 2012.
2. C. Jettanasen, "Reduction of Common-Mode Voltage Generated by Voltage-Source Inverter using Proper PWM Strategy", 2012 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility & Technical Exhibition on EMC RF/Microwave Measurement & Instrumentation, Singapore, May 21-24, 2012.
3. C. Jettanasen, "Design of Electrostatic Discharge Event Detector", IEEE TENCON 2011, Bali, Indonesia, November 21-24, 2011.
4. C. Jettanasen, "Pulse Width Modulation Technique to Attenuate Common-Mode Voltage Generated by Voltage Source Inverter-fed AC Motor Drive ", The International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), Hong Kong, July 10-14, 2011.

2. ชื่อ (ภาษาไทย) รศ.ดร.อรรถพล เก้าพิทักษ์กุล  
(ภาษาอังกฤษ) Atthapol Ngaopitakkul, Ph.D.

วัน เดือน ปีเกิด 28 สิงหาคม 2521 อายุ 39 ปี

เพศ ชาย สถานะทางการสมรส โสด

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 5849990003908

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้ พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 กรุงเทพฯ 10520 โทร 02-329-8330 โทรสาร 02-329-8330  
 เบอร์มือถือ 0817324318 Email [knatthap@kmitl.ac.th](mailto:knatthap@kmitl.ac.th)

### ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (B.Eng)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ 2545	
ปริญญาโทสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (M.Eng)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ 2547	
ปริญญาเอกสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า (D.Eng)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จ 2550	

### สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Power System, Power System Protection, Application of Wavelet Transform to power system protection, Artificial Neural Networks, Illumination, Energy Management

### ผลงานวิจัยย้อนหลัง 3 ปีและผลงานวิจัยอื่นๆ (เช่น Proceedings หนังสือ ฯลฯ)

#### Journal Papers

1. A. Ngaopitakkul, and C. Jettanasen, "A Discrete Wavelet Transform Approach to Discriminating among Inrush Current, External Fault, and Internal Fault in Power Transformer using Low-Frequency Components Differential Current Only," IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE), Vol. 9, No. 3, May, 2014, pp. 302-314. (ISI Impact factor 2012 = 0.343)
2. T. Patcharoen, and A. Ngaopitakkul, "A novel discrete wavelet transform based on travelling wave technique for identifying the fault location for transmission

- network systems,” IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 8, No. 5, September, 2013, pp. 432-439. (ISI Impact factor 2012 = 0.343)
3. A. Ngaopitakkul, and S. Bunjongjit, “An application of a discrete wavelet transform and a back-propagation neural network algorithm for fault diagnosis on single-circuit transmission line,” *International Journal of Systems Science (IJSS)*, Vol. 44, No. 9, September, 2013, pp. 1745-1761. (ISI Impact factor 2012 = 1.305)
  4. C. Jettanasen, and A. Ngaopitakkul, “A Novel Probabilistic Neural Networks-Based Algorithm for Classifying Internal Fault in Transformer Windings” *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering (TEEE)*, Vol. 8, No. 2, March, 2013, pp. 123-131. (ISI Impact factor 2011 = 0.394)
  5. A. Ngaopitakkul and C. Jettanasen, “Selection of Proper Activation Functions in Back-Propagation Neural Networks Algorithm for Identifying the phase with fault appearance in Transformer Windings,” *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*, Vol. 8, No. 6, June, 2012, pp. 4299-4318. (ISI Impact factor 2010 = 1.664)
  6. S. Bunjongjit and A. Ngaopitakkul, “Selection of Proper Artificial Neural Networks for Fault Classification on Single Circuit Transmission Line,” *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*, Vol. 8, No. 1(A), January, 2012, pp. 361-374. (ISI Impact factor 2010 = 1.664)
  7. A. Ngaopitakkul and C. Jettanasen, “The comparisons technique of coefficient DWT for identifying Simultaneous Fault Types on Transmission System,” *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*, Vol. 7, No. 10, October, 2011, pp. 5789-5800. (ISI Impact factor 2010 = 1.664)

#### **ประวัติการทำงานที่สำคัญ และ Professional Activities**

Committee : IEEJ-EIT Joint Symposium : Advanced Technology in Power Systems (2008-2009)  
 Committee : Illuminating Engineering Association of Thailand (TIEA) (Jan 2008 – Present)  
 Committee : Thai Mechanical and Electrical Design and Consulting Engineer Association (MECT)  
 (Oct 2008 – Present)

**ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ**

- Dec 2013 – Present Head of Research Project “ Study and Analysis on Impact and Performance of Distribution System Connected to Multi-Distributed Generation” {Supported by the King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang Research Fund, Thailand}
- Oct 2013 – Present Head of Research Project “Analysis of Energy Consumption and Electromagnetic Interference (EMI) Problems for Light Emitting Diode (LED) Street Light” {Supported by the King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang Research Fund, Thailand}
- Dec 2012 – Present Head of Research Project “ Development of Earth Terminal Configuration of Towers Using Impulse Characteristics” {Supported by the EGAT Research Fund, Thailand}
- Sep 2012 – May 2013 Advisor of Research Project “ Study and analysis the effect of harmonics noise of LED lamp” {Supported by EPPO Fund, Thailand}
- Mar 2012 – Sep 2013 Head of Research Project “ An Application of Discrete Wavelet Transform and Artificial Intelligent for Fault Diagnosis in Distribution System” {Supported by the National Research Council of Thailand, Thailand}
- Sep 2011 – May 2012 Advisor of Research Project “ Study and analysis of harmonics issued from electronic ballast of T5 fluorescent lamp” {Supported by EPPO Fund, Thailand}
- Oct 2010 – Sep 2011 Researcher of Project “ The Classification of fault in power transformer using Discrete Wavelet Transform” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, Thailand}
- Sep 2010 – May 2011 Advisor of Research Project “ Feasibility and System Impact Study of Energy Saving using T5 in Building” {Supported by EPPO Fund, Thailand}
- Dec 2009 – Nov 2011 Head of Research Project “ An Application of Discrete Wavelet Transform and Artificial Intelligent Algorithm for Simultaneous Fault Diagnosis in Electrical Power Transmission Systems”

- {Supported by the King Mongkut' s Institute of Technology Ladkrabang Research Fund, Thailand}
- Oct 2009 – Sep 2010 Head of Research Project “Fault Diagnosis in Underground Cable Systems using Discrete Wavelet Transform” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, King Mongkut' s Institute of Technology Ladkrabang, Thailand}
- Oct 2008 – Sep 2009 Researcher of Project “ Fault Analysis on Single Circuit Transmission line Using Discrete Wavelet Transform and Fuzzy Logic” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, Srinakarinwirot, Thailand}
- Oct 2007 – Sep 2008 Researcher of Project “ An Application of Discrete Wavelet Transform and Neural Network for Fault Diagnosis in Transmission Systems” {Supported by the Faculty of Engineering Fund, Srinakarinwirot, Thailand}