



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

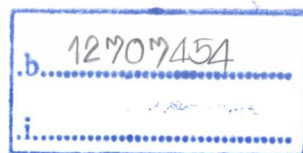
การออกแบบและพัฒนาชุดทดลองเรื่องระบบเก็บเกี่ยวพลังงานลมสำหรับเด็ก  
Design and development of Wind Energy Harvesting Kits for Kids

สองเมือง นันทขว้าง

ดอน อิศรากร

RCH  
ร 443 ก  
2556

เลขหมู่  
เลขทะเบียน 136358  
วันเดือนปี 7 11.ย. 2558



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากโครงการงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การออกแบบและพัฒนาชุดทดลองเรื่องระบบเก็บเกี่ยวพลังงานลมสำหรับเด็ก  
แหล่งเงิน โครงการงบประมาณเงินรายได้

ประจำปีงบประมาณ..... 2556..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน..... 80,000..... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย..... 1..... ปี ตั้งแต่..... ต.ค. 55..... ถึง..... ก.ย. 56.....

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

หัวหน้าโครงการ นายสองเมือง นันทขว้าง สังกัดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและ  
ควบคุม

ผู้ร่วมโครงการ ดร. ดอน อิศรากร สังกัดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและ  
ควบคุม

### บทคัดย่อ

รายงานการวิจัยฉบับนี้ นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองเรื่องการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมด้วยอุปกรณ์เก็บพลังงานเพียโซอิเล็กทริกแบบการสั่น จุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือสามารถออกแบบต้นแบบแหล่งกำเนิดพลังงานจากลมที่มีความเร็วลมเพียงเล็กน้อย เพื่อให้ได้พลังงานออกมาได้ดีที่สุด โดยในการทดลองมีขั้นตอนในการดำเนินการ โดยเริ่มจากการออกแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้เพียโซชนิด PVDF (Polymer of Vinylidene Fluoride) จากนั้นนำโครงสร้างที่เหมาะสมมาทำการทดสอบเพื่อหาแรงดันต่างศักย์ที่ออกมาที่ดีที่สุด ในรูปแบบตัวเดียวหรือต้นแบบในรูปของ Wind Belt ฯลฯ

คำสำคัญ : การเก็บเกี่ยวพลังงาน, เพียโซอิเล็กทริก, อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานลม, วงจรจัดการพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** Design and development of Wind Energy Harvesting Kits for Kids

**Researcher:** Mr.Songmoung Nundrakwang, Dr.Don Isarakorn

**Faculty:** .....Engineering.....**Department:** ..Instrumentation and  
Control Engineering.....

## ABSTRACT

This research reports on energy harvesting from the environment from piezoelectric vibrations. The aim of this project is to design the piezoelectric energy harvesters to harvest wind energy. This research involving producing electricity from low speed wind aims to create small-scale generator. Piezoelectric PVDF material; a type of material transfers even less vibration to electricity is designed to stick with different form of PVC sheet. Width, Length, Depth of PVC sheet causes different frequency and amplitude of voltage as well. Due to PVC sheet with PVDF, vibration occurs when wind blows through. This research might be alternative energy in the future.

**Keyword :** energy harvesting, piezo PVDF, wind type generator, power management circuit

### กิตติกรรมประกาศ

ที่งานวิจัยนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ได้นั้นเกิดจากการที่คณะที่มิวิจัยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนโครงการงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2556 ทางทีมงานจึงต้องขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นอย่างสูง

นายสองเมือง นันทขว้าง

ดร.ดอน อิศรากร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
สารบัญภาพ.....	vi
สารบัญตาราง.....	ix
<b>บทที่1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์.....	2
<b>บทที่2 ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน.....</b>	<b>4</b>
2.1 พลังงานทดแทน.....	4
2.1.1 ประเภทพลังงาน.....	5
2.1.1.1 พลังงานจากแสงอาทิตย์.....	5
2.1.1.2 พลังงานจากความร้อนใต้พิภพ.....	6
2.1.1.3 พลังงานจากน้ำ.....	6
2.1.1.4 พลังงานจากลม.....	7
2.1.1.4.1 ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม.....	8
2.2 เพียโซอิเล็กทริก.....	9
2.2.1 ประวัติความเป็นมาของเพียโซอิเล็กทริก.....	9
2.2.2 ลักษณะของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก.....	10
2.2.3 ปฏิกิริยาการเพียโซอิเล็กทริก.....	10
2.3 สมการแบร์นูลลี.....	12
2.3.1 แรงยกใต้ปีกเครื่องบิน.....	14
2.4 วงจรเรียงกระแส.....	15
2.4.1 การทำงานวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์.....	16
2.4.2 แรงดันที่ออกมาของวงจร.....	17
2.4.3 แรงดันสูงสุดด้านกลับ.....	17
2.5 การเก็บพลังงาน.....	19
2.5.1 เทคโนโลยีของระบบเก็บสะสมพลังงาน.....	19
2.5.2 ทฤษฎีและหลักการการทำงานเบื้องต้นของเทคโนโลยีการเก็บสะสมพลังงาน.....	21
2.5.3 การเก็บประจุ.....	22
2.5.4 การคายประจุ.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 หลักการการออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานลม</b> .....	<b>24</b>
3.1 อุโมงค์ลม.....	24
3.2 แหล่งกำเนิดลม.....	24
3.3 เพียโซอิเล็กทริก.....	25
3.4 อุปกรณ์วัดความเร็วของลม.....	26
3.5 การออกแบบตัวต้นแบบ.....	26
3.6 การออกแบบ Wind Belt.....	27
3.6.1 การออกแบบตัวโครงสร้างของ Wind Belt.....	27
3.6.2 การออกแบบ Belt.....	28
3.7 วงจรเรียงกระแส.....	29
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b> .....	<b>31</b>
4.1 การทดลองการเก็บพลังงานจากต้นแบบชนิดเดี่ยว.....	31
4.1.1 การทดลองระยะที่วางของต้นแบบในอุโมงค์ลม ลักษณะในการตั้งของ ต้นแบบและความสูงของต้นแบบมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา.....	31
4.1.2 การทดลองความกว้างของต้นแบบมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา.....	36
4.1.3 การทดลองความหนาของต้นแบบมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา.....	40
4.2 การทดลองการเก็บพลังงาน Wind Belt.....	44
4.2.1 การทดลองความตึงของ Belt และระยะการติดของเพียโซอิเล็กทริก กับแผ่นพีวีซีมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา.....	44
4.2.2 การทดลองการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริกโดยการต่ออนุกรมหรือขนาน มีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา.....	49
<b>บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง</b> .....	<b>53</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	53
5.2 ปัญหาที่พบและวิธีแก้ไข.....	53
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในค้นคว้าพัฒนา.....	54
<b>เอกสารอ้างอิง</b> .....	<b>55</b>
<b>ภาคผนวก ก. เอกสารคู่มืออุปกรณ์</b> .....	<b>56</b>
<b>ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์</b> .....	<b>90</b>
<b>ประวัติผู้จัดทำ</b> .....	<b>97</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากลมที่มีอยู่ในปัจจุบัน .....	1
2.1 การเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์.....	5
2.2 การเก็บเกี่ยวพลังงานจากความร้อนใต้พิภพ.....	6
2.3 การเก็บเกี่ยวพลังงานจากน้ำ.....	7
2.4 ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากลม .....	8
2.5 Horizontal Axis Wind Turbine Vertical Axis Wind Turbine .....	9
2.6 ปฏิกิริยาเพียโซอิเล็กทริกที่มีเมื่อมีการจ่ายกระแสเข้าไป.....	11
2.7 ปฏิกิริยาเพียโซอิเล็กทริกที่มีเมื่อมีการป้อนแรงใส่ตัวเพียโซ.....	11
2.8 การ Poling of Piezoelectric Ceramics.....	11
2.9 กระแสอากาศที่ไหลผ่านปีก.....	14
2.10 กระแสอากาศที่ไหลผ่านปีกเครื่องบิน.....	15
2.11 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์.....	16
2.12 ไดโอด D1 และ D2 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโพลด.....	16
2.13 ไดโอด D3 และ D4 ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโพลด.....	16
2.14 รูปคลื่นแรงดันขาออกเปรียบเทียบกับแรงดันขาเข้าของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์.....	17
2.15 แสดงค่าแรงดันไฟตรงกับค่าแรงดันไฟสูงสุดของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น.....	17
2.16 แสดงค่าแรงดันสูงสุดด้านกลับที่เกิดกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์.....	18
2.17 แสดงปริมาณพลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน.....	20
2.18 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ.....	22
2.19 แสดงการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ.....	22
2.20 แสดงการคายประจุของตัวเก็บประจุ.....	23
3.1 อุโมงค์ลม.....	24
3.2 แหล่งกำเนิดลม.....	25
3.3 เพียโซชนิด LDT0 – 028K/L.....	25
3.4 อุปกรณ์วัดความเร็วของลม.....	26
3.5 ตัวต้นแบบ.....	27
3.6 Wind Belt.....	27
3.7 โครงสร้างของ Wind Belt.....	28
3.8 belt ที่ทำการออกแบบ.....	28
3.9 Wind Belt เมื่อประกอบเสร็จ.....	29
3.10 ไดโอด ชนิด Schottky รุ่น Bat46 .....	29
4.1 ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร .....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 ระยะการตั้งของต้นแบบในอุโมงค์ลม .....	32
4.3 (ก) ลักษณะการตั้ง 0 องศา (ข) ลักษณะการตั้ง 45 องศา (ค) ลักษณะการตั้ง 90 องศา .....	32
4.4 แรงดันที่ออกมาจากเพียโซ ต้นแบบ สูง 8 เซนติเมตร ระยะการตั้ง 90 เซนติเมตร.....	33
4.5 แรงดันที่ออกมาจากเพียโซ ต้นแบบ สูง 12 เซนติเมตร ระยะการตั้ง 90 เซนติเมตร.....	33
4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการตั้งของต้นแบบและลักษณะการตั้งของต้นแบบกับ Vrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร.....	35
4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการตั้งของต้นแบบและลักษณะการตั้งของต้นแบบกับ Vrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร.....	35
4.8 ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร ต้นแบบ ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร.....	36
4.9 ต้นแบบขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร ต้นแบบ ขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร.....	37
4.10 ต้นแบบขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร ต้นแบบ ขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร.....	37
4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความกว้างของต้นของต้นแบบและระยะการตั้งของ ต้นแบบกับ Vrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร.....	39
4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความกว้างของต้นของต้นแบบและระยะการตั้งของ ต้นแบบกับ Vrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร.....	39
4.13 ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร ต้นแบบ ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร.....	40
4.14 ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หน้า 0.8 มิลลิเมตร ต้นแบบ ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หน้า 1.2 มิลลิเมตร .....	41
4.15 ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หน้า 0.8 มิลลิเมตร ต้นแบบ ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หน้า 1.2 มิลลิเมตร .....	41
4.16 ความหนา 0.4 มิลลิเมตร 0.8 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร.....	42
4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหนาของต้นของต้นแบบและระยะการตั้งของ ต้นแบบกับ Vrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร.....	43
4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหนาของต้นของต้นแบบและระยะการตั้งของ ต้นแบบกับ Vrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 Belt ขนาด ความยาว 13.6 เซนติเมตร และระยะติดเพียโซอิเล็กทริกกับ แผ่นพีวีซีระยะต่างๆ .....	44
4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความตึงของ Belt และระยะการตั้งของ Wind Belt กับ Vrms เฉลี่ยของระยะการติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี 1.5 เซนติเมตร.....	48
4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความตึงของ Belt และระยะการตั้งของ Wind Belt กับ Vrms เฉลี่ยของระยะการติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี 1.0 เซนติเมตร.....	48
4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความตึงของ Belt และระยะการตั้งของ Wind Belt กับ Vrms เฉลี่ยของระยะการติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี 0.5 เซนติเมตร.....	49
4.23 ลักษณะการวางของเพียโซอิเล็กทริกใน Wind Belt .....	50
4.24 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการต่อเพียโซอิเล็กทริกและการเพิ่มจำนวน เพียโซอิเล็กทริก กับ Vavg เฉลี่ย ที่ จุด 120 เซนติเมตรจากแหล่งกำเนิดลม.....	52
4.25 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการต่อเพียโซอิเล็กทริกและการเพิ่มจำนวน เพียโซอิเล็กทริก กับ Vavg เฉลี่ย ที่ จุด 150 เซนติเมตรจากแหล่งกำเนิดลม .....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงรูปแบบและเทคโนโลยีการเก็บสะสมพลังงาน.....	21
3.1 แสดงคุณสมบัติเพียโซชนิด LDT – 028K/L .....	26
3.2 คุณสมบัติต่างของไดโอด ชนิด Bat46 .....	30
4.1 ตารางผลการทดลองของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร.....	34
4.2 ตารางผลการทดลองของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร .....	34
4.3 ตารางผลการทดลองของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร.....	38
4.4 ตารางผลการทดลองของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร.....	38
4.5 ตารางผลการทดลองของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร.....	42
4.6 ตารางผลการทดลองของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร.....	42
4.7 ตารางผลการทดลองของ Wind Belt ระยะการติดเพียโซอิเล็กทรอนิกส์กับแผ่นพีวีซี 1.5 เซนติเมตร .....	45
4.8 ตารางผลการทดลองของ Wind Belt ระยะการติดเพียโซอิเล็กทรอนิกส์กับแผ่นพีวีซี 1.0 เซนติเมตร .....	46
4.9 ตารางผลการทดลองของ Wind Belt ระยะการติดเพียโซอิเล็กทรอนิกส์กับแผ่นพีวีซี 0.5 เซนติเมตร .....	47
4.10 ผลการทดลองของการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทรอนิกส์.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของการศึกษา

“พลังงาน” เป็นสิ่งที่ขับเคลื่อนหลายสิ่งหลายอย่างบนโลกนี้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทุกวันนี้มนุษย์ไม่อาจมีชีวิตอยู่ได้ถ้าปราศจากพลังงานที่ชื่อว่า “ไฟฟ้า” พลังงานไฟฟ้าได้แทรกซึมเข้าไปอยู่ทุกกิจกรรมของมนุษย์ ความคิดรวบยอดในการผลิตไฟฟ้าในยุคปัจจุบันมีอยู่หลากหลาย แต่ความคิดรวบยอดที่น่าสนใจ คือ การเก็บเกี่ยวพลังงานที่สูญเสียเปล่ามาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานที่สูญเสียเปล่าในธรรมชาติ เช่น แสง น้ำ ลม เป็นต้น แต่ที่น่าสนใจคือ พลังงานลม เพราะมันเป็นพลังงานที่อยู่รอบตัวเรา และมีอยู่เกือบตลอดเวลาโดยในปัจจุบันมีแหล่งเก็บเกี่ยวพลังงานลม ดังรูปที่ 1.1 การเก็บเกี่ยวพลังงานให้ได้ต่อเนื่องและเกือบตลอดเวลาต้องเก็บเกี่ยวพลังงานลมที่ความเร็วลมน้อยๆ วัสดุที่ทำให้เกิดการจ่ายไฟฟ้าได้เมื่อได้รับความเร็วลมน้อยๆจึงเป็นเพียงเพราะวัสดุนี้จะจ่ายไฟฟ้าได้แม้ว่าจะได้รับแรงสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในอนาคตอันใกล้นี้แนวโน้มปริมาณน้ำมันในโลกน้อยลง ปัญหาการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเริ่มส่งผลกระทบต่อชีวิตของผู้คน การผลิตไฟฟ้าจากกังหันลมขนาดใหญ่เริ่มไม่ตอบโจทย์ โครงการนี้จะตอบโจทย์พลังงานทดแทนในอนาคตก็อาจเป็นไปได้



รูปที่ 1.1 ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากลมที่มีอยู่ในปัจจุบัน

(อ้างอิงจาก : <http://www.ist.cmu.ac.th/riseat/newsimages//01/19050602.jpg> ,

[http://img.bhs4.com/68/B/68B6140B870E5372D096990E95C2D9232ED831CE\\_large.jpg](http://img.bhs4.com/68/B/68B6140B870E5372D096990E95C2D9232ED831CE_large.jpg))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการออกแบบสร้างโครงสร้างต้นแบบในการเก็บเกี่ยวพลังงานลมขนาดเล็ก
2. เพื่อศึกษาการออกแบบสร้างต้นแบบที่มีความยาว ความกว้าง และความหนาอย่างไรให้สามารถเก็บพลังงานได้มากที่สุด
3. เพื่อศึกษาการออกแบบสร้างโครงสร้างต้นแบบที่มีลักษณะเป็น Wind Belt
4. เพื่อศึกษาการเก็บพลังงานจากลมโดยให้มีประสิทธิภาพดีที่สุดในวัสดุ Piezo เป็นวัสดุผลิตพลังงานออกมา

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ออกแบบและสร้างโครงสร้างของอุโมงค์ลมและสามารถใช้งานได้จริง
2. ออกแบบและสร้างโครงสร้างของต้นแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานลมโดยลักษณะเป็นลักษณะเดี่ยว
3. ศึกษาดูแรงดันที่ออกมาที่ออกมา เมื่อมีการเปลี่ยนตัวต้นแบบรับลมที่ติดบนตัวเพียโซอิเล็กทริก ให้มีขนาดยาวขึ้น มีขนาดความกว้างมากขึ้นและมีความหนามากขึ้น มีผลออกมาอย่างไร
4. ศึกษาดูแรงดันที่ออกมาที่ออกมา เมื่อได้ต้นแบบเดี่ยวที่ดีที่สุดนำมาอนุกรมกันหรือขนานกันว่ามีผลออกมาอย่างไร
5. ออกแบบและสร้างโครงสร้างของต้นแบบการเก็บเกี่ยวพลังงานลมโดยเป็น Wind belt และศึกษาดูผลแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา ที่ออกมาว่ามีผลอย่างไร
6. ทำการเก็บพลังงานจากลมจากโครงสร้างต้นแบบที่เป็นลักษณะเดี่ยวและโครงสร้างต้นแบบที่เป็น Wind belt ด้วยวงจรเก็บพลังงาน

## 1.4 รายละเอียดของรายงานการวิจัย

ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 5 บท ซึ่งครอบคลุมเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงวัตถุประสงค์ ขั้นตอนการศึกษา และการจัดทำโครงการพร้อมด้วยรายละเอียดโดยย่อของปฏิญานินพนธ์แต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องของการเก็บเกี่ยวพลังงานจากลม กล่าวถึงพลังงานทดแทนที่มาจากธรรมชาติโดยเฉพาะพลังงานจากลม เพียโซอิเล็กทริก ทฤษฎีการยกตัวของปีกเครื่องบินของแบร์นูลลี ทฤษฎีของวงจรรีจิงกระแส และการเก็บพลังงาน

บทที่ 3 หลักการออกแบบ กล่าวถึงการออกแบบโครงสร้างต้นแบบของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานในรูปแบบลักษณะคล้ายสนามหญ้าและโครงสร้างต้นแบบที่เป็นลักษณะ Wind Belt

บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง เช่นการอ่านค่าแรงดัน ที่ได้จากการเก็บเกี่ยวพลังงานจากลม และทำการทดลองการเก็บพลังงานจากลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 บทวิจารณ์ และสรุป นำเสนอปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลอง และแนวทางการพัฒนา  
โครงการต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและความรู้พื้นฐาน

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการของระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากลม รวมถึงข้อมูลที่สนับสนุนและเกี่ยวข้องเพื่อประกอบการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลต่อไปนี้

#### 2.1 พลังงานทดแทน

พลังงานทดแทนโดยทั่วไปหมายถึงพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติและสามารถมีทดแทนได้อย่างไม่จำกัด (เมื่อเทียบกับพลังงานหลักในปัจจุบัน เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน)

ตัวอย่างพลังงานทดแทนที่สำคัญเช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ ไบโอฟิล พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่น และพลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากกระบวนการชีวภาพ เช่น ปศุภัณฑ์ชีวภาพ เป็นต้น

พลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะศักยภาพ และสถานภาพการใช้ประโยชน์ของพลังงานทดแทน การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นการศึกษา ค้นคว้า ทดสอบ พัฒนา และสาธิต ตลอดจนส่งเสริมและเผยแพร่พลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในท้องถิ่น เช่น พลังงานลม แสงอาทิตย์ ชีวมวล และอื่นๆ เพื่อให้มีการผลิต และการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย มีประสิทธิภาพ และมีความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสังคม

สำหรับผู้ใช้ในเมือง และชนบท ซึ่งในการศึกษา ค้นคว้า และพัฒนาพลังงานทดแทนดังกล่าว ยังรวมถึงการพัฒนาเครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์เพื่อการใช้งานมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วย งานศึกษา และพัฒนาพลังงานทดแทน เป็นส่วนหนึ่งของแผนงานพัฒนาพลังงานทดแทน ซึ่งมีโครงการที่เกี่ยวข้องโดยตรงภายใต้แผนงานนี้คือ โครงการศึกษาวิจัยด้านพลังงาน และมีความเชื่อมโยงกับแผนงานพัฒนาชนบทในโครงการจัดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าประเภทเตอรีด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับหมู่บ้านชนบทที่ไม่มีไฟฟ้า โดยงานศึกษา และพัฒนาพลังงานทดแทนจะเป็นงานประจำที่มีลักษณะการดำเนินงานของกิจกรรมต่างๆ ในเชิงกว้างเพื่อสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ทั้งในด้านวิชาการเชิงทฤษฎี และอุปกรณ์เครื่องมือทดลอง และการทดสอบ รวมถึงการส่งเสริมและเผยแพร่ ซึ่งจะเป็นการสนับสนุน และรองรับความพร้อมในการจัดตั้งโครงการใหม่ๆ ในโครงการศึกษาวิจัยด้านพลังงานและโครงการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น การศึกษาค้นคว้าเบื้องต้น การติดตามความก้าวหน้าและร่วมมือประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาต้นแบบทดสอบวิเคราะห์ และประเมินความเหมาะสมเบื้องต้น และเป็นงานส่งเสริมการพัฒนาโครงการที่กำลังดำเนินการให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนสนับสนุนให้โครงการที่เสร็จสิ้นแล้วได้นำผลไปดำเนินการส่งเสริม และเผยแพร่และการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 ประเภทพลังงานทดแทน

ในปัจจุบันเรื่องพลังงานเป็นปัญหาใหญ่ของโลก และนับวันจะมีผลกระทบรุนแรงต่อมวลมนุษยชาติมากขึ้นทุกที การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยก็เป็นอีกหนึ่งหน่วยงานที่ให้ความสำคัญในการร่วมหาหนทางแก้ไข ทำการศึกษา ค้นคว้า สืบค้น ทดลอง ติดตามเทคโนโลยีอย่างจริงจังและต่อเนื่องมาโดยตลอด เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการนำพลังงานทดแทนและเทคโนโลยีใหม่ๆ ในด้านพลังงานทดแทนเข้ามาใช้ในประเทศไทยต่อไป โดยคำนึงถึงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมซึ่งพอจะจำแนกประเภทของพลังงานทดแทนได้ดังต่อไปนี้

#### 1. พลังงานจากแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ให้พลังงานจำนวนมากมหาศาลแก่โลกของเรา พลังงานจากดวงอาทิตย์จัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญที่สุด เป็นพลังงานสะอาดไม่ทำปฏิกิริยาใดๆอันจะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ เซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ที่ถูกนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า เนื่องจากสามารถเปลี่ยนเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ส่วนใหญ่เซลล์แสงอาทิตย์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำพวกซิลิคอน มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 22 เปอร์เซ็นต์ดังรูปที่ 2.1

ในส่วนของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ในเกณฑ์สูง พลังงานโดยเฉลี่ยซึ่งรับได้ทั่วประเทศประมาณ 4 ถึง 4.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ประกอบด้วยพลังงานจากรังสีตรงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานรังสีกระจายซึ่งเกิดจากละอองน้ำในบรรยากาศ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าบริเวณที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรออกไปทั้งแนวเหนือ - ใต้



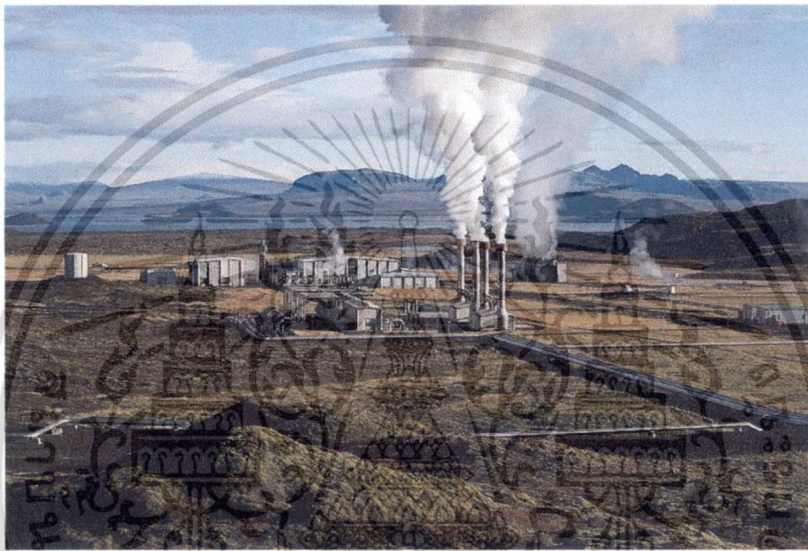
รูปที่ 2.1 การเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์

(อ้างอิงจาก : <http://derossobby.com/wp-content/uploads/2012/12/Huawei1.jpg>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. พลังงานจากความร้อนใต้พิภพ

น้ำร้อนที่ถูกนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าแล้วนั้น แม้อุณหภูมิจะลดลงบ้าง แต่ก็ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้ง และใช้ในห้องเย็นสำหรับเก็บรักษาพืชผลทางการเกษตรได้ นอกจากนี้ น้ำที่เหลือใช้แล้วยังสามารถนำไปใช้ในกิจการเพื่อกายภาพบำบัด และการท่องเที่ยวได้อีก ท้ายที่สุดคือ น้ำทั้งหมดซึ่งยังมีสภาพเป็นน้ำอุ่นอยู่เล็กน้อย จะถูกปล่อยลงไปผสมกับน้ำตามธรรมชาติในลำน้ำ ซึ่งนับเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำให้กับเกษตรกรในฤดูแล้งได้อีกทางหนึ่งด้วยดังรูปที่ 2.2



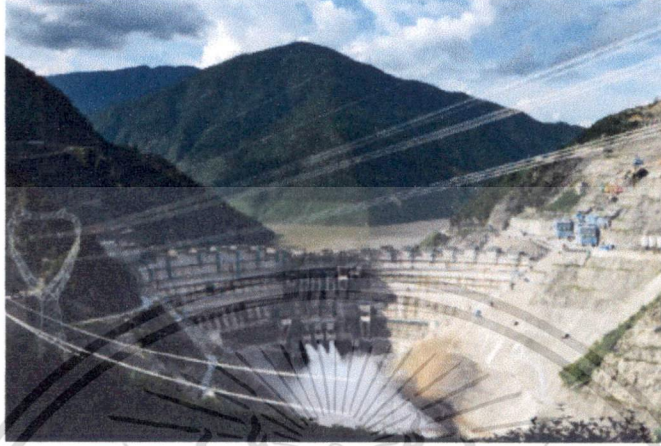
รูปที่ 2.2 การเก็บเกี่ยวพลังงานจากความร้อนใต้พิภพ

(อ้างอิงจาก : <http://4.bp.blogspot.com/-5nkvVQTLm/TmmFNmJOXnl/AAAAAAAAA18/8z22Gwtjr4Q/s1600/3.jpg>)

## 3. พลังงานจากน้ำ

พื้นผิวโลกถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ปกคลุมด้วยน้ำ ซึ่งมีความสำคัญยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย น้ำเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะและหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา ระหว่างผิวโลกและบรรยากาศอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเรียกว่า วัฏจักรของน้ำ น้ำที่กำลังเคลื่อนที่มีพลังงานสะสมอยู่มาก และมนุษย์รู้จักนำพลังงานนี้มาใช้หลายร้อยปีแล้ว เช่น ใช้หมุนกังหันน้ำ ปัจจุบันมีการนำพลังงานน้ำไปหมุนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้างดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเก็บเกี่ยวพลังงานจากน้ำ

(อ้างอิงจาก : <http://www.thaibizchina.com/upload/thaibizchina/BIC-KUNMING/2011.06/xiaowanshuidiazhan.jpg>)

#### 4. พลังงานจากลม

พลังงานลมเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้อม กล่าวคือ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในภาคตัดขวางของโลกประมาณ 178,000 ล้านล้านวัตต์ มีเพียง 0.2% เท่านั้นที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนไหวของอากาศที่เรียกว่าพลังงานลม และส่วนนี้ก็ยังเป็นผลให้เกิดคลื่นในมหาสมุทรด้วย ลมเป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่มีอยู่อย่างมหาศาลและสามารถใช้ได้โดยไม่หมดสิ้น ซึ่งได้มีการนำมาใช้ประโยชน์กันเป็นเวลานานแล้ว ด้วยการประกอบใช้กับเครื่องจักรต่างๆ เช่น เครื่องสีข้าว ระเบิดดินดาน ฯลฯ โดยในการนำพลังงานจากลมออกมาใช้ประโยชน์นั้น เครื่องมือสำคัญคือ กังหันลมที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจลน์จากลมมาเป็นพลังงานกลโดยตรง การใช้ประโยชน์จากกังหันลมในระยะแรกๆ จะเป็นการประยุกต์ใช้กับงานกลเป็นส่วนใหญ่ และในเวลาต่อมาการพัฒนาใช้ประโยชน์ในลักษณะกังหันลมผลิตไฟฟ้าจึงเริ่มขยายตัวมากขึ้นเพื่อทดแทนการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานจากซากพืชซากสัตว์หรือพลังงานเชื้อเพลิงที่นับวันจะมีต้นทุนที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ อีกทั้งยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

การพัฒนาการใช้ประโยชน์จากพลังงานลมนั้นมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในแถบทวีปยุโรปซึ่งได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลม เพื่อผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ที่มีขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่สูง อย่างไรก็ตามแม้จะมีการใช้และพัฒนาพลังงานลมมาช้านาน แต่ก็ยังมีจุดเสียดุลในหลาย ๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นการขาดการสนับสนุนด้านเงินทุน การหันไปใช้พลังงานรูปแบบอื่นที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง และมีต้นทุนที่ถูกกว่ากังหันลม รวมไปถึงการขาดการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาที่ดี อย่างไรก็ตามเมื่อราคาพลังงานเชื้อเพลิงมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับการคำนึงถึงผลกระทบจากการใช้พลังงานที่มีต่อสภาวะแวดล้อม โดยเฉพาะผลกระทบจากภาวะก๊าซเรือนกระจกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของโลก ได้ทำให้ความสนใจในการใช้พลังงานลมจากประเทศต่าง ๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้ง เพราะพลังงานลมเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาด ไม่มีวันหมด ไม่สร้างมลพิษ และไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อสภาพแวดล้อม

พลังงานลมเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอัตราการเจริญเติบโตของการใช้เป็นอันดับหนึ่งของโลก เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนอื่น โดยที่มีการเพิ่มขึ้นประมาณ 30% ต่อปี โดยในปี 2004 มีการติดตั้ง เครื่องกังหันไฟฟ้าพลังงานลมประมาณ 40,000 เมกกะวัตต์ และในปี 2005 มีการติดตั้งเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 18,000 เมกกะวัตต์ รวมแล้วมีการติดตั้งเครื่องกังหันไฟฟ้าพลังงานลมทั่วโลกถึงกว่า 58,000 เมกกะวัตต์ การใช้งานของพลังงาน ลมแบ่งแยกตามประเทศที่ใช้งาน โดยเยอรมันเป็นประเทศที่มีการใช้งานพลังงานลมมากที่สุดประมาณ 18,000 เมกกะวัตต์ ตามด้วยประเทศสเปนและสหรัฐอเมริกา โดยในแถบภูมิภาคเอเชีย มีประเทศอินเดีย, จีนและ ญี่ปุ่นที่มีการติดตั้งเครื่องกังหันไฟฟ้าพลังงานลมอยู่ใน 10 อันดับแรกของโลก การที่พลังงานลมเป็น พลังงานทดแทนที่หลายประเทศให้ความสนใจนั้นเนื่องจากข้อดีหลายอย่างเช่น เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ปล่อยมลพิษให้กับโลกเป็นพลังงานที่ใช้ไม่มีวันสิ้นสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานทดแทนอื่นเช่น พลังงานแสงอาทิตย์แล้ว พลังงานลมถือเป็นพลังงานทดแทนที่มีค่าการลงทุนต่ำ ดังรูปที่ 2.4 เป็นอุปกรณ์เบเกี้ยวพลังงานจากลมในปัจจุบัน



รูปที่ 2.4 ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากลม

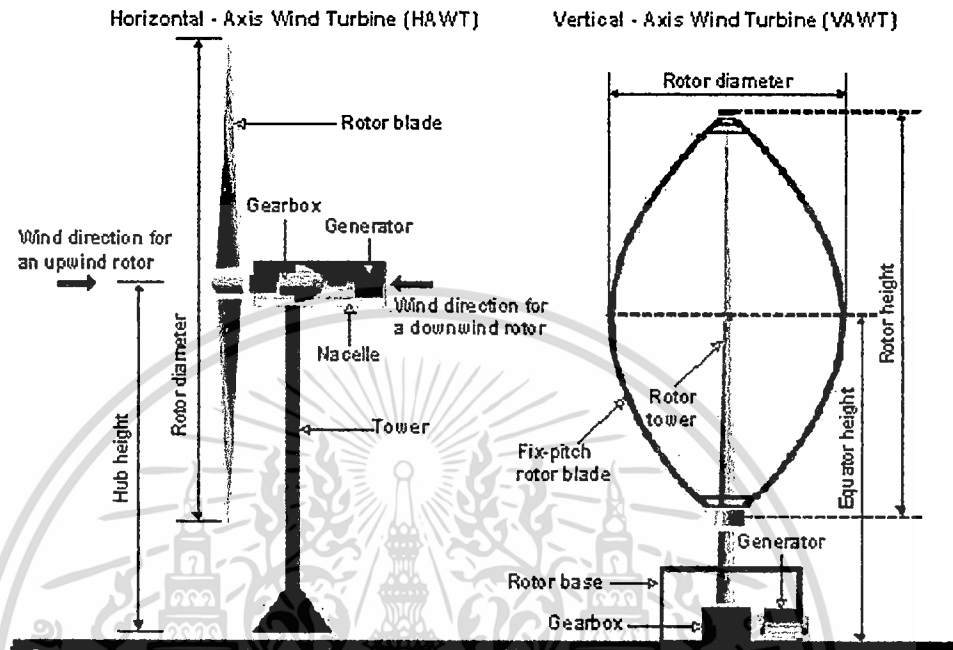
(อ้างอิงจาก : <http://www.ist.cmu.ac.th/riseat/newsimages//01/19050602.jpg> ,  
[http://img.bhs4.com/68/B/68B6140B870E5372D096990E95C2D9232ED831CE\\_large.jpg](http://img.bhs4.com/68/B/68B6140B870E5372D096990E95C2D9232ED831CE_large.jpg))

#### 4.1 ชนิดของเครื่องกังหันไฟฟ้าพลังงานลม แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

4.1.1 Horizontal Axis Wind Turbine เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมใน แนวราบ ดังรูปที่ 2.5 ด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 Vertical Axis Wind Turbine เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ โดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม ดังรูปที่ 2.5 ด้านซ้าย



รูปที่ 2.5 (ด้านขวา) Horizontal Axis Wind Turbine (ด้านซ้าย) Vertical Axis Wind Turbine [5]

## 2.2 เพียโซอิเล็กทริก

### 2.2.1 ประวัติความเป็นมาของเพียโซอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1880 โดย Pierre Curies ได้ศึกษาผลของความดันต่อการเกิดประจุไฟฟ้าของผลึกควอตซ์ ตีเกลีอ อัญมณี และสามารถให้กำเนิดไฟฟ้าได้เมื่อมีแรงกดกระทำต่อผลึก เขาให้ชื่อกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่าปรากฏการณ์ “เพียโซอิเล็กทริก ต่อมาในปี ค.ศ.1881 Gabriel Lippmann ได้ศึกษาค้นพบปรากฏการณ์ย้อนกลับได้โดยพิจารณาจากหลักเทอร์โมไดนามิกส์ คือ ถ้าให้ไฟฟ้าเข้าไปในผลึก ผลึกก็จะสั่นได้ วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ได้รับแรงเค้น จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการประจุไฟฟ้าหรือ การจัดเรียงตัวทางแสงเรียกว่า “ผลทางตรง” เมื่อนำวงจรต่อเข้ากับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกภายใต้แรงอัดจะมีกระแสไหลเข้าวงจรและหากเปลี่ยนเป็นแรงดึงจะเกิดกระแสไหลในทิศทางตรงข้าม การประยุกต์จากผลทางตรงเช่น ไมโครโฟน และสัญญาณโซนาร์ เป็นต้น

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกภายใต้สนามไฟฟ้าจะเกิดแรงเครียดอัดภายในผลึกทำให้วัสดุเกิดการบิดรูปไปจากเดิม และหากกลับทิศทางของสนามจะเกิดแรงเครียดดึง ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า “ผลทางอ้อม” งานประยุกต์ผลทางอ้อมเช่น เตาจุดแก๊ส, อนุตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ แอคชูเอเตอร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียโซอิเล็กทริกเป็นคุณสมบัติชนิดของวัสดุที่มาจากคริสตอลรวมไปถึงคริสตอลธรรมชาติ ทั้งควอตซ์ ดีเกลือและอัญมณี รวมกับเซรามิก เช่น แบเรียมไททาเนต และ ลีตโซโคเนต เมื่อใช้ความดันทางกลปรับให้เข้ากับวัสดุเหล่านี้โครงสร้างที่เป็นคริสตอลจะสร้างสนามไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมกับความดัน ทำให้โครงสร้างถูกเปลี่ยนรูปร่างจนทำให้เกิดการเปลี่ยนมิติของวัสดุการทดลองที่เกี่ยวข้องระหว่างปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก กับ โครงสร้างของคริสตอลถูกเผยแพร่ในปี ค.ศ. 1880 โดย Pierre และ Jacques Curie การทดลองของเขาศึกษาถึงการวัดการเปลี่ยนแปลงของผิวหน้าซึ่งปรากฏอยู่บนคริสตอล ที่ได้รับจากความเครียดทางกล ในวงการทางวิทยาศาสตร์ผลการทดลองนี้ถือว่าการค้นพบที่สำคัญ และถูกตั้งชื่อให้อย่างรวดเร็วว่า “เพียโซอิเล็กทริก” และเพื่อทำให้เกิดความต่างกับการทดลองปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์อื่น เช่น Contact Electricity หรือ Pyroelectric พี่น้อง Curies ได้พบว่าปฏิกิริยาร่วมกันแบบหนึ่งต่อหนึ่งระหว่างผลกระทบทางไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความเครียดทางกลในคริสตอลซึ่งเป็นผลมาจากการทดลองในเรื่องของการเกิด Microscopic Crystallographic อันเป็นจุดเริ่มต้นของไพโรอิเล็กทริก

### 2.2.2 ลักษณะของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

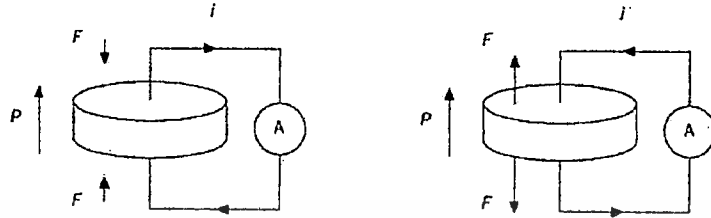
นักฟิสิกส์ได้แบ่งระบบโครงสร้างผลึกเป็น 7 ระบบ โดยโครงสร้างผลึกสามารถแบ่งเป็น 32 กลุ่ม ผลึกทั้ง 32 กลุ่มสามารถแบ่งหมวดได้ตั้งรูปที่ 1 ผลึกที่มีศูนย์กลางสมมาตรมีอยู่ 11 กลุ่ม และผลึกที่ไม่มีศูนย์กลางสมมาตรมีอยู่ 21 กลุ่ม ในจำนวนนี้มีผลึกถึง 20 กลุ่มสามารถแสดงปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกได้

ผลึกที่แสดงปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกจะแบ่งออกไปอีก 10 กลุ่ม โดยเป็นผลึกที่มีทิศทางการโพลารไรซ์ตามธรรมชาติ แม้จะไม่มีแรงดันหรือสนามไฟฟ้ามากระทำ ขนาดการโพลารไรซ์สามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงแบบรอบตัวหรือรอบทิศทางการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ และบางกลุ่มเป็นแบบให้สนามไฟฟ้า ซึ่งมีทั้งแบบที่เป็น Spontaneously Polarization และ Reversible Polarization ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “Ferroelectric” ซึ่งอยู่ในกลุ่มของ “Pyroelectric”

สารสังเคราะห์ Polycrystalline Materials ประกอบด้วยผลึกจำนวนมากที่มีทิศทางการโพลารไรซ์กระจายหลากหลายทิศ ทำให้ทิศการโพลารไรซ์ได้ผลลัพธ์เป็นศูนย์และไม่สามารถตรวจวัดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกได้ การจัดทิศขั้วสามารถทำได้โดยการจ่ายสนามไฟฟ้าเพื่อให้ทิศขั้วอยู่ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้ามากที่สุดจึง ทำให้สามารถตรวจสอบปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกได้ วิธีการดังกล่าวเรียกว่าการโพล

### 2.2.3 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

จากที่กล่าวผ่านในเรื่องของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ในเรื่องความไม่สมมาตรกับจุดศูนย์กลางของผลึกเซลล์เมื่อมีแรงกดจะทำให้ไดโพล เกิดขึ้น และเป็นผลทำให้เกิดกระแสขึ้น ในทำนองกลับกันเมื่อมีแรงดึงจะทำให้ไดโพลเกิดขึ้น และเป็นผลทำให้เกิดกระแสขึ้น เช่นกัน ดังรูปที่ 2.6 และในทำนองเดียวกันเมื่อเราป้อนแรงดันบนเพียโซอิเล็กทริกเซรามิก ตัวเซรามิกจะขยายและหดตัว ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล ดังรูปที่ 2.7

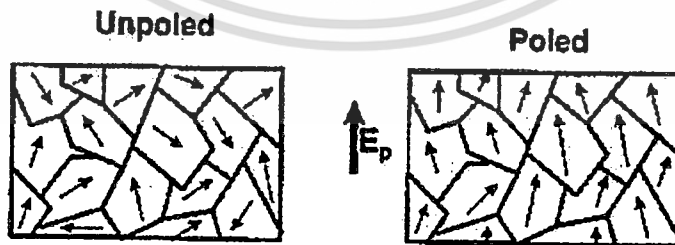


รูปที่ 2.6 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกดีเมื่อมีการจ่ายกระแสเข้าไป [6]



รูปที่ 2.7 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกดีเมื่อมีการป้อนแรงใส่ตัวเพียโซ [6]

เพียโซอิเล็กทริกนั้นจะมีการโพลาไรซ์เช่นตามธรรมชาติ ซึ่งแตกต่างจาก Ferroelectric สารเพียโซอิเล็กทริกนั้นหลังจากการตัดให้เป็นชิ้นใหม่ๆ ไดโพลที่มีอยู่ในส่วน(Grains) ต่างๆ นั้นไม่ได้เรียงไปในแนวทางเดียวกันดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการ Poling เพื่อให้ไดโพล ต่างๆ เรียงไปในทิศทางเดียวกัน ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งหากปราศจากกระบวนการ Poling แล้ว สารเพียโซจะไม่แสดงสมบัติพิเศษใดๆ เลยการ Poling จะกระทำที่อุณหภูมิคูรี ( Curie Temperature,  $T_c$  )



รูปที่ 2.8 การ Poling of Piezoelectric Ceramics [6]

สมการที่อธิบายเกี่ยวกับผลของปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกเขียนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = dE + \epsilon^T E \quad (1)$$

$$E = s^E + dE \quad (2)$$

เมื่อ  $D$  = ระยะประจุเคลื่อนที่ (Electric Displacement)

$T$  = ความเค้น (Stress)

$E$  = สนามไฟฟ้า (Electric Field)

$S$  = ความเครียด (Strain)

$d$  = ค่าคงที่ของเพียโซ (Piezoelectric Coefficient)

$\epsilon$  = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant)

$s$  = ค่าของวัสดุที่ใช้ (Material Compliance)

ค่าของเพียโซอิเล็กทริกจะเกี่ยวข้องกับสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงเค้น อาจเขียนในรูปของแรงดันหรือค่า  $g$  มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อนิวตันต่อตารางเมตร ดังสมการ

$$g = \frac{\text{Open Circuit Electric Field}}{\text{Applied Mechanical Stress}} \quad (3)$$

ซึ่งค่า  $g$  เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับ  $d$  ดังนี้

$$g = \frac{d}{\epsilon} = \frac{d}{\epsilon_r \epsilon_0} \quad (4)$$

เมื่อ  $\epsilon$  = ค่าความซึมซาบ (Permittivity)

$\epsilon_r$  = ค่าคงที่ของสารไดอิเล็กตริก (Relative Permittivity)

$\epsilon_0$  = ค่าความซึมซาบสมบูรณ์ (Permittivity in free space  $\approx 8.854 \times 10^{-12}$  F/m)

ส่วนค่าความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หรือในทางกลับกันของเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Coupling Factor) สามารถหาได้ดังนี้

$$K = \sqrt{\frac{\text{Energy Output}}{\text{Total Mechanical Energy Input}}} \quad (5)$$

ซึ่งค่า  $K$  นั้น จะเป็นผลปรากฏการณ์ของเพียโซอิเล็กทริกทั้ง ผลทางตรงและผลทางอ้อมทั้งสองกรณี และค่าของ  $k$  นั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ

### 2.3 สมการแบร์นูลลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลศาสตร์ของของไหลเป็นการศึกษาของไหลที่มีการเคลื่อนที่ โดยสมมติให้ของไหลเป็นของไหลอุดมคติ พฤติกรรมของของไหลอุดมคติอธิบายได้ด้วย สมการความต่อเนื่อง สมการของแบร์นูลลี และหลักของแบร์นูลลี ความรู้เกี่ยวกับหลักการของแบร์นูลลีนำไปใช้อธิบายการทำงานของอุปกรณ์บางอย่าง เช่น เครื่องพ่นสี การทำงานของปีกเครื่องบิน เป็นต้น รวมทั้งใช้อธิบายปรากฏการณ์บางอย่างในชีวิตประจำวัน

หลักการของ แบร์นูลลี ณ ตำแหน่งใดๆ ในการไหล ผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ต่อปริมาตร และพลังงานศักย์ต่อปริมาตรจะมีค่าคงที่เสมอ

การใช้งานสมการ แบร์นูลลี ในกลศาสตร์ของไหล โลกใบนี้มีสิ่งที่จัดเป็นของไหลอยู่รอบๆ ตัวเรา โดยที่เราคุ้นเคยกับมัน แต่อาจจะไม่เคยสนใจมัน ยกตัวอย่างเช่น น้ำ และ อากาศ ทั้งสองสิ่งนี้ เราประยุกต์ใช้ความรู้ด้านกลศาสตร์ของไหล โดยอาศัยสมการ แบร์นูลลี ซึ่งมีหน้าตาดังนี้

$$\Delta w = \Delta E$$

$$\therefore \text{จาก } P = \frac{F}{A} \text{ และ } v = AS \text{ และ } \rho = \frac{m}{v}$$

$$\text{จะได้ } \Delta FS = \left[ \frac{1}{2} mv_2^2 + mgh_2 \right] - \left[ \frac{1}{2} mv_1^2 + mgh_1 \right]$$

$$\Delta (PA)S = \left[ \frac{1}{2} mv_2^2 + mgh_2 \right] - \left[ \frac{1}{2} mv_1^2 + mgh_1 \right]$$

$$\Delta Pv = \left[ \frac{1}{2} (\rho v) v_2^2 + (\rho v) gh_2 \right] - \left[ \frac{1}{2} (\rho v) v_1^2 + (\rho v) gh_1 \right]$$

ตัด v สองข้างจะได้สมการดังนี้

$$\Delta P_1 - P_2 = \left[ \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 \right] - \left[ \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 \right]$$

จะได้สมการแบร์นูลลี

$$P_1 + \left[ \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 \right] = P_2 + \left[ \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 \right]$$

เมื่อ P คือ ความดัน ณ จุดที่ 1 และ 2

$\rho$  คือ ความหนาแน่น

v คือ ความเร็ว ณ จุดที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

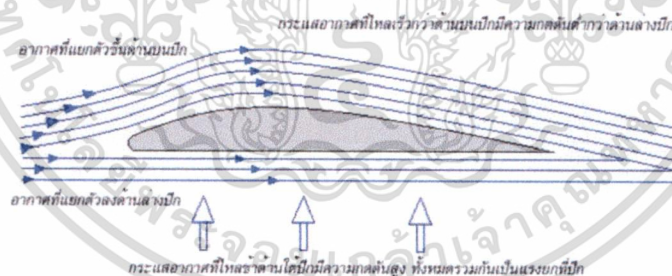
g คือ ค่าแรงโน้มถ่วง

h คือ ค่าความสูง ณ จุดที่ 1 และ 2

### 2.3.1 แร้งยกใต้ปีกเครื่องบิน

วิศวกรออกแบบปีกเครื่องบินทำงานออกแบบโดยอาศัยสมการของแบร์นูลลี โดยออกแบบให้ด้านบนของปีกมีความโค้งมากกว่าด้านล่าง เมื่อเครื่องบิน อากาศที่บริเวณผิวปีกด้านบนต้องเคลื่อนที่ได้ระยะทางไกลกว่าอากาศที่บริเวณผิวปีกด้านล่าง ดังนั้น อัตราเร็วของอากาศที่บริเวณผิวปีกด้านบนจะสูงกว่าอัตราเร็วของอากาศที่ผิวปีกด้านล่าง ทำให้ความดันของอากาศที่ผิวปีกด้านล่างมากกว่าที่ผิวปีกด้านบน จึงเป็นผลให้เกิดแรงยกขึ้นกระทำที่ปีกเครื่องบิน เครื่องบินจึงสามารถบินขึ้นได้เมื่อกระแสอากาศไหลผ่านปีกความกดดันของกระแสอากาศทำให้เกิดแรงยก

มวลกระแสอากาศที่ไหลอย่างต่อเนื่องเมื่อผ่านปีกที่ชายหน้าของปีกก็จะแยกตัวออกเป็น 2 ส่วน ไหลเป็นกระแสอากาศด้านบนและกระแสอากาศด้านล่าง มวลกระแสอากาศที่แยกตัวออกจากกันนั้นจะไหลไปบรรจบกันที่ชายหลังของปีกในเวลาใกล้เคียงกัน อากาศที่ไหลไปด้านบนของปีกที่เป็นรูปผิวโค้งของปีกซึ่งมีระยะทางที่ยาวกว่า จึงมีความเร็วสูงกว่ากระแสอากาศที่ไหลผ่านมาทางใต้ปีก ความกดดันของกระแสอากาศด้านบนปีกจึงลดลงต่ำกว่าความกดดันของกระแสอากาศด้านใต้ปีก ตามหลักการของเบอร์โนลี และถ้าหากปีกเอียงทำมุมปะทะกับกระแสอากาศมากขึ้น มวลของกระแสอากาศที่ปะทะและผ่านไปใต้ปีกก็จะยิ่งทำให้ความดันของกระแสอากาศภายใต้ปีกทั้งหมดรวมกันเป็นแรงยกที่ปีก ทำให้เครื่องบินลอยตัวไปได้ในอากาศดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กระแสอากาศที่ไหลผ่านปีก [7]

จึงสรุปได้ว่า เครื่องบินบินไปในอากาศได้ก็เพราะเครื่องยนต์และใบพัดหรือไอพ่นขับดันให้เครื่องบินมีความเร็วไปข้างหน้าทำให้ปีกเครื่องบินผ่านกระแสอากาศที่มีความเร็ว กระแสอากาศที่ปะทะผ่านไปข้างล่างปีกทำให้เกิดแรงดันขึ้นไปข้างบนปีกประกอบด้วยความดันของกระแสอากาศที่ไหลผ่านปีกไปข้างบนยิ่งลดลงเมื่อความเร็วของกระแสอากาศเพิ่มขึ้นทำให้ความดันของกระแสอากาศข้างใต้ปีกสูงกว่าข้างบนปีกขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งเครื่องบินมีความเร็วมากพอ ความดันของกระแสอากาศที่ปะทะผ่านไปทางใต้ปีกทั้งหมดรวมกันจะเพิ่มขึ้นเป็นแรงยกที่ปีกมากพอ ทำให้เครื่องบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลอยตัวไปในอากาศได้ทราบเท่าที่เครื่องบินยังมีความเร็วเพียงพออยู่ และสามารถพิสูจน์เป็นสมการได้ดังนี้



รูปที่ 2.10 กระแสอากาศที่ไหลผ่านปีกเครื่องบิน [7]

จากรูปที่ 2.10 ที่จุดที่ 1 และ 2 เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการวิเคราะห์ง่ายขึ้นคือ ความหนาของปีกมีค่าน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับระดับเพดานบิน ทำให้เราสามารถถือว่า  $h_1 = h_2$  เสมอ

จากสมการ

$$P_1 + \left[ \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 \right] = P_2 + \left[ \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \right]$$

จะได้สมการที่อธิบายแรงยกตัวของปีกเครื่องบิน

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

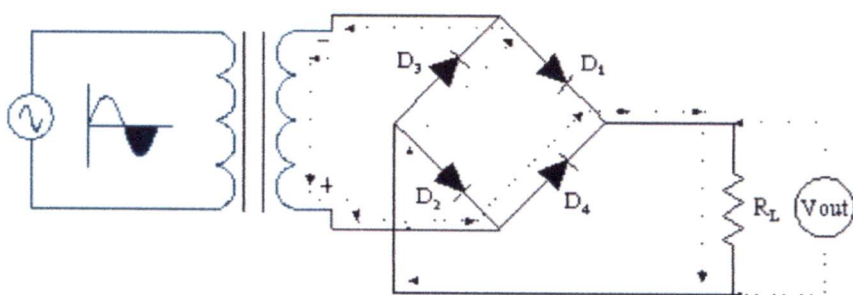
$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho [v_2^2 - v_1^2]$$

## 2.4 วงจรเรียงกระแส

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์มีลักษณะเหมือนวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น เพราะแรงดันเอาต์พุตที่ได้เป็นแบบเต็มคลื่น ข้อแตกต่างระหว่างการเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์และแบบเต็มคลื่นธรรมดา ต่างกันตรงการต่อวงจรไดโอด แบบเต็มคลื่นจะใช้ไดโอด 2 ตัว แบบบริดจ์จะใช้ไดโอด 4 ตัว และหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ก็แตกต่างกัน แบบเต็มคลื่นธรรมดาใช้หม้อแปลงมีแท่งปกกลาง มี 3 ขั้ว แบบบริดจ์ใช้หม้อแปลง 2 ขั้วหรือ 3 ขั้วก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารทลวงนวิชาสำหรับกรเซงงานเพอกรรคกษาเทานน ไมอนญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

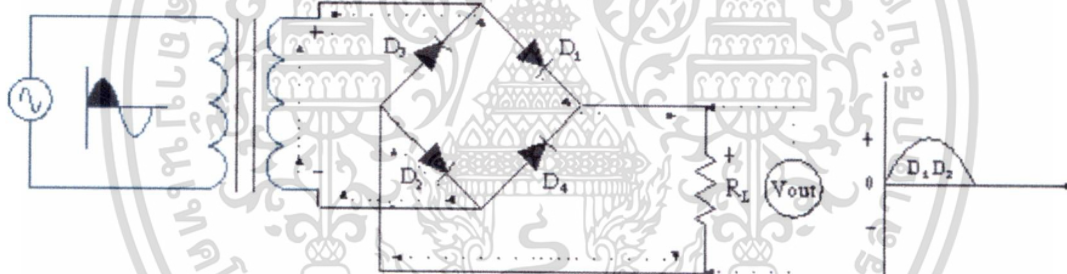
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



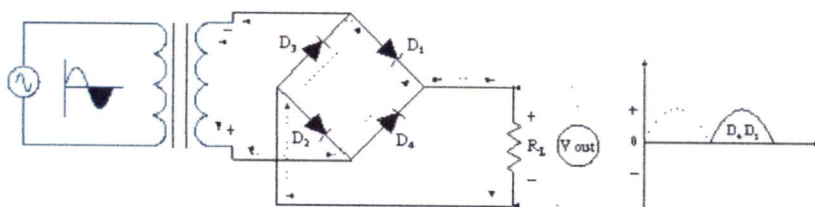
รูปที่ 2.11 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ [8]

#### 2.4.1 การทำงานวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

การทำงานของวงจร ไดโอดจะผลัดกันนำกระแสครึ่งละ 2 ตัว โดยเมื่อไซเคิลบวกของแรงดันไฟสลับ ( $V_{in}$ ) ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลงและด้านล่างจะเป็นลบ จะทำให้ ไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  ได้รับไบอัสตรงจะมีกระแสไหลผ่านไดโอด  $D_1$  ผ่านโหลด  $R_L$  ผ่านไดโอด  $D_2$  ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านล่าง มีแรงดันตกคร่อมโหลด  $R_L$  ด้านบนเป็นบวก ด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุท

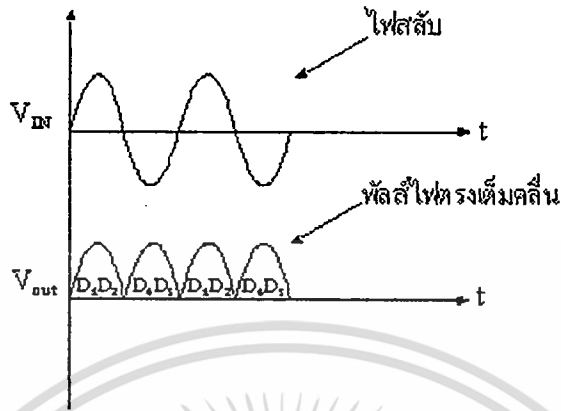
รูปที่ 2.12 ไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด [8]

ในช่วงเวลาต่อมาไซเคิลลบของแรงดันไฟสลับ ( $V_{in}$ ) ปรากฏที่ด้านบนของขดทุติยภูมิของหม้อแปลง และด้านล่าง เป็นบวก ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ในช่วงเวลานี้ไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  จะได้รับไบอัสกลับแต่ไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  จะได้รับไบอัสตรง ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด  $D_4$  ผ่านโหลด  $R_L$  และผ่านไดโอด  $D_3$  ครบวงจรที่หม้อแปลงด้านบน มีแรงดันตกคร่อมโหลด  $R_L$  ด้านบนเป็นบวกด้านล่างเป็นลบ ได้แรงดันไฟช่วงบวกออกทางเอาต์พุททำให้ได้คลื่นไฟตรงรวมกันเต็มคลื่นดังรูปที่ 2.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 ไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  ได้รับไบอัสตรงและรูปคลื่นแรงดันตกคร่อมโหลด [8]

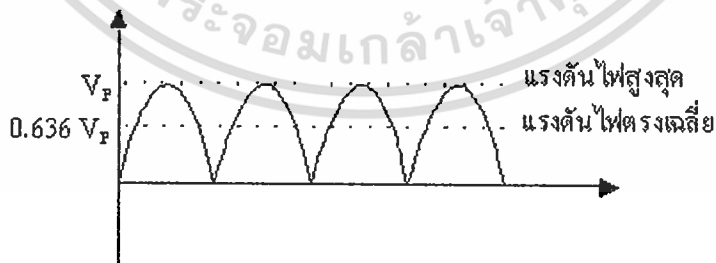


รูปที่ 2.14 รูปคลื่นแรงดันขาออกเปรียบเทียบกับแรงดันขาเข้าของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ [8]

### 2.4.2 แรงดันที่ออกมาของวงจร

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นทั้งแบบมีแท่งกลางและแบบบริดจ์จะให้แรงดันเอาต์พุตทุกๆ ครึ่งรอบของแรงดันไฟสลับที่เข้ามาทั้งซีกบวกและซีกลบ ค่าเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตจึงมีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันไฟตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น ค่าแรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็น 0.636 เท่าของแรงดันไฟสูงสุด ดังสมการที่ 1

$$V_{DC} = 0.636 V_p \quad (1)$$



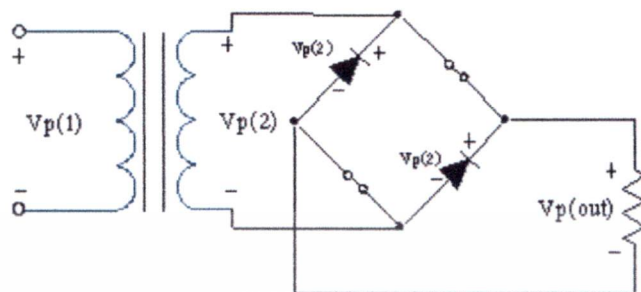
รูปที่ 2.15 แสดงค่าแรงดันไฟตรงกับค่าแรงดันไฟสูงสุด  $V_p$  ของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น [8]

### 2.4.3 แรงดันสูงสุดด้านกลับ

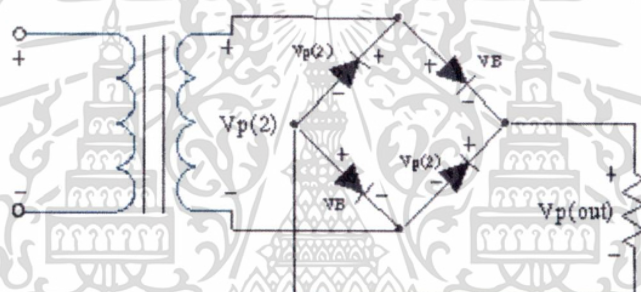
วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์มีค่าแรงดันสูงสุดด้านกลับ (PIV) น้อยกว่าวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ใช้หม้อแปลงมีแท่งครึ่งหนึ่ง เมื่อพิจารณาวงจรในรูปที่ 2.16 (ก) เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดโอด  $D_1, D_2$  นำกระแส ไดโอด  $D_1, D_2$  จะทำหน้าที่เหมือนสวิตช์ปิดวงจร (ถ้าไม่คิดแรงดันตกคร่อมไดโอด) จะเห็นว่าแรงดันสูงสุดด้านกลับที่ตกคร่อมไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  ที่ได้รับไปอัสกลับจะมีค่าเท่ากับแรงดันพีค ( $V_p$ )



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.16 แสดงค่าแรงดันสูงสุดด้านกลับที่เกิดกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ [8]

ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณาค่าแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะที่ไดโอด  $D_1, D_2$  นำกระแส ( $V_B$ ) ดังรูปที่ 2.16 (ข) จะเห็นว่าแรงดัน PIV ที่เกิดกับไดโอด  $D_3$  และ  $D_4$  จะหาได้จากสูตร

$$PIV = V_{P(out)} + V_B \tag{2}$$

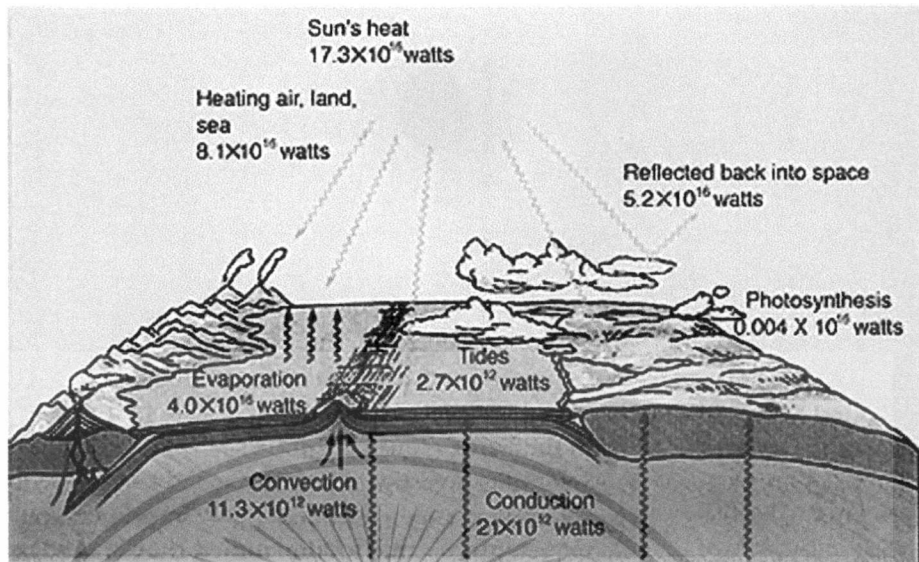
เช่นเดียวกันถ้าหากว่าต้องการใช้ไฟตรงที่เรียงกระแสออกมาเรียบขึ้นเราก็ต้องใช้ตัวเก็บประจุค่ามากๆ มาเป็นวงจรกรองกระแส ยิ่งตัวเก็บประจุมีค่ามากการคายประจุก็ต้องใช้เวลานานขึ้น จึงทำให้ไฟกระแสตรงที่ออกมาเรียบที่สุด

## 2.5 การเก็บพลังงาน

ระบบเก็บสะสมพลังงาน คือ การเก็บสะสมพลังงานส่วนเกินจากที่ผลิตได้ แล้วนำมาใช้ในยามจำเป็น เพื่อรักษาสมดุลของการผลิตกับการบริโภคพลังงานที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับแล้วก็คล้ายคลึงกับการออมทรัพย์เพื่อเก็บสำรองไว้ใช้เมื่อยามขาดแคลน แต่แตกต่างกันตรงที่รูปแบบเทคโนโลยีของระบบการเก็บสะสมทางพลังงานนั้นมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งพลังงานตั้งต้นกับการนำไปประยุกต์ใช้ ดังนั้นก่อนที่จะนำเข้าสู่รายละเอียดของระบบเก็บสะสมพลังงาน ผู้เขียนจึงขอเกริ่นนำเกี่ยวกับรูปแบบของพลังงานที่เรานำมาใช้ในปัจจุบันเสียก่อน เพื่อปรับฐานความเข้าใจของผู้อ่านให้ตรงกัน แหล่งพลังงานหลักที่ถือเป็นกลไกหลักในการขับเคลื่อนโลกของเรา ล้วนมาจากดวงอาทิตย์ ค่าพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่เดินทางมาถึงโลกของเรา มีค่าถึง  $18 \times 10^{14}$  วัตต์ โดยที่ 1 วัตต์ เท่ากับ พลังงาน 1 จูล ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในเวลา 1 วินาที ลองคิดดูว่า  $10^{14}$  วัตต์ จะมีปริมาณที่มากมายเพียงใด ซึ่งพลังงานจากดวงอาทิตย์นี้จะมีการเก็บสะสมอยู่ในหลายรูปแบบตามธรรมชาติทั่วไป เช่น พื้นดิน, พื้นน้ำ, อากาศ และ พืช เป็นต้น ดังรูปที่ 2.17 แต่เมื่อจำแนกตามลักษณะรูปแบบของพลังงาน ที่บริโภคกันอยู่ในชีวิตประจำวัน โดยผ่านองค์ความรู้ของเราในรูปแบบของเทคโนโลยี สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า (Thermal and Electricity) สำหรับแหล่งพลังงานที่เรานำมาใช้เพื่อผลิตพลังงานทั้ง 2 รูปแบบนี้ มาจากแหล่งพลังงานฟอสซิล (Primary Energy Sources) และแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Secondary Energy Sources) โดยระบบเก็บสะสมพลังงานนี้จะมีหน้าที่สำคัญในการเสริมสร้างเสถียรภาพให้แก่ระบบการผลิตพลังงาน ณ ช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งมีอัตราการบริโภคพลังงานที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

### 2.5.1 เทคโนโลยีของระบบเก็บสะสมพลังงาน (Energy Storage Technology)

รูปแบบของพลังงานตั้งต้นที่นำมาเก็บสะสมนี้ สามารถจำแนกได้ตามรูปแบบของพลังงานที่นำมาใช้ในชีวิตประจำวัน อันได้แก่ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยรูปแบบของเทคโนโลยีในการเก็บสะสมพลังงานสามารถจำแนกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ ดังตารางที่ 1 โดยเทคโนโลยีของการเก็บสะสมพลังงานที่เก่าแก่นั้นเกิดขึ้นเมื่อ 1 พันล้านปีมาแล้ว ด้วยจุดประสงค์ที่นำไปประยุกต์ใช้ในการเกษตร และการป้องกันอาณาเขต โดยเทคโนโลยีที่ใช้กันนั้นมีรูปแบบที่ไม่ซับซ้อนมากนักเมื่อเทียบกับปัจจุบัน เช่น การกักเก็บน้ำไว้บนที่สูง เพื่อขยายพื้นที่เพาะปลูกให้มากขึ้น หรือการนำก้อนหินไปเก็บรวมกันบนป้อมปราการ เพื่อใช้เป็นอาวุธในสงครามป้องกันอาณาเขต เป็นต้น แต่เมื่อมีการค้นพบพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีความสะดวกสบายในการใช้งาน จึงทำให้เกิดการพัฒนาเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆให้สอดคล้องกับรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งระบบของการเก็บสะสมพลังงานก็มีความซับซ้อนมากขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 2.17 แสดงปริมาณพลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน [9]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบและเทคโนโลยีการเก็บสะสมพลังงาน

พลังงาน ตั้งต้น	เทคโนโลยีในการเก็บสะสมพลังงาน				
	ความร้อน (Thermal)	ไฟฟ้า (Electric)	จลนศาสตร์ (Kinetic)	ศักย์(แรง โน้มถ่วงของ โลก) (Potential: Gravity)	ปฏิกิริยาเคมี (Chemical)
พลังงาน ไฟฟ้า		ตัวเก็บประจุ (Capacitor)	ล้อช่วยแรง (Flywheel) การอัดอากาศ (Compressed air energy storage, CAES)	ระบบสูบน้ำ กลับ (Pump Hydro- Electric)	แบตเตอรี่ (Battery)
พลังงาน ความร้อน	ถังน้ำร้อน- เย็น (Hot-Cold water tank)				

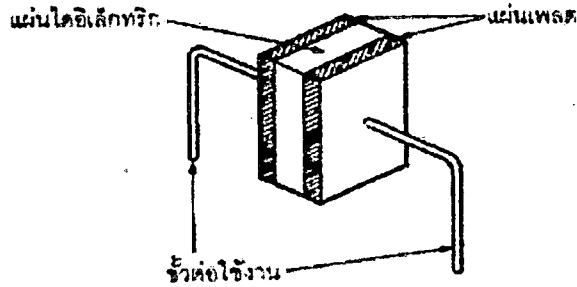
### 2.5.2 ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้นของเทคโนโลยีการเก็บสะสมพลังงาน

#### 1. ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

ตัวเก็บประจุ คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เก็บ และ คายประจุไฟฟ้า ให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในอุปกรณ์ไฟฟ้า

#### 2. โครงสร้างและส่วนประกอบ

โครงสร้างของตัวเก็บประจุประกอบด้วย แผ่นตัวนำสองแผ่นซึ่งเรียกมันว่า "แผ่น 1 เพลต" และคั่นด้วย "แผ่นไดอิเล็กตริก" ซึ่งทำด้วยฉนวนไฟฟ้า เช่น กระจก , ไม้ก้ำ , เซรามิก หรือ อากาศ ดังรูปที่ 2.18



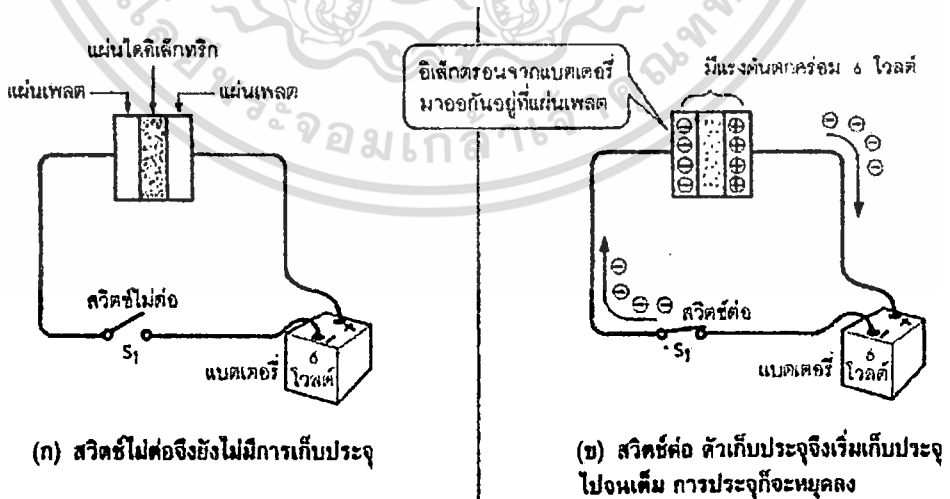
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของตัวเก็บประจุ [9]

3. ทฤษฎีและหลักการทำงาน

ตัวเก็บประจุมีสภาวะการทำงานอยู่ 2 สภาวะคือ การเก็บประจุ (Charge) และ การคายประจุ (Discharge)

2.5.3 การเก็บประจุ

การเก็บประจุก็คือ การเก็บอิเล็กตรอนไว้ที่แผ่นเพลตของตัวเก็บประจุดังในรูปที่ 2.19 เมื่อนำแบตเตอรี่อื่นๆ ต่อกับตัวเก็บประจุ อิเล็กตรอนจากขั้วลบของแบตเตอรี่ จะเข้าไปออกันที่แผ่นเพลตทำให้เกิดประจุลบขึ้นและยังส่งสนามไฟฟ้าไป ผลักอิเล็กตรอนของแผ่นเพลตตรงข้าม (เหมือนกับนำแม่เหล็กที่มีขั้วเหมือนกันมาใกล้กันมันก็จะผลักรัน) ซึ่งโดยปกติในแผ่นเพลตจะมี ประจุเป็น + และ - ปะปนกันอยู่ เมื่ออิเล็กตรอนจากแผ่นเพลตนี้ถูก ผลักให้หลุดออกไปแล้วจึงเหลือประจุบวกมากกว่าประจุลบ ยิ่งอิเล็กตรอนถูกผลักออกไปมากเท่าไร แผ่นเพลตนั้นก็จะเป็นบวกมากขึ้นเท่านั้น (เมื่อเทียบกับอีกด้าน)

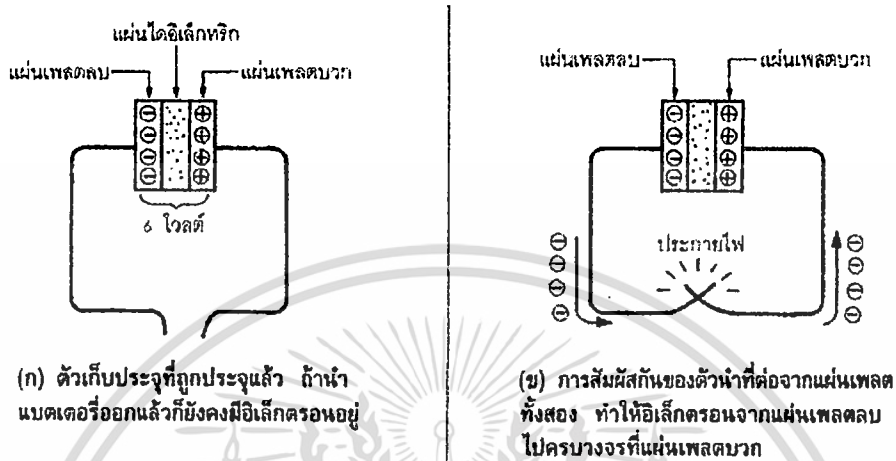


รูปที่ 2.19 แสดงการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ [9]

2.5.4 การคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุที่ถูกประจุแล้ว ถ้าเรายังไม่นำขั้วตัวเก็บประจุมาต่อกัน ดังในรูปที่ 2.20 อิเล็กตรอนก็ยังคงอยู่ที่แผ่นเพลต แต่ถ้ามีการครบวงจร ระหว่างแผ่นเพลตทั้งสองเมื่อไร อิเล็กตรอนก็จะวิ่งจากแผ่นเพลตทางด้านลบ ไปครบวงจรที่แผ่นเพลตบวกทันที เราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า "การคายประจุ"



(ก) ตัวเก็บประจุที่ถูกประจุแล้ว ถ้าใส่แอมมิเตอร์ออกแล้วยังคงมีอิเล็กตรอนอยู่

(ข) การสัมผัสกันของตัวนำที่ต่อจากแผ่นเพลตทั้งสอง ทำให้อิเล็กตรอนจากแผ่นเพลตลบไปครบวงจรที่แผ่นเพลตบวก

รูปที่ 2.20 แสดงการคายประจุของตัวเก็บประจุ [9]

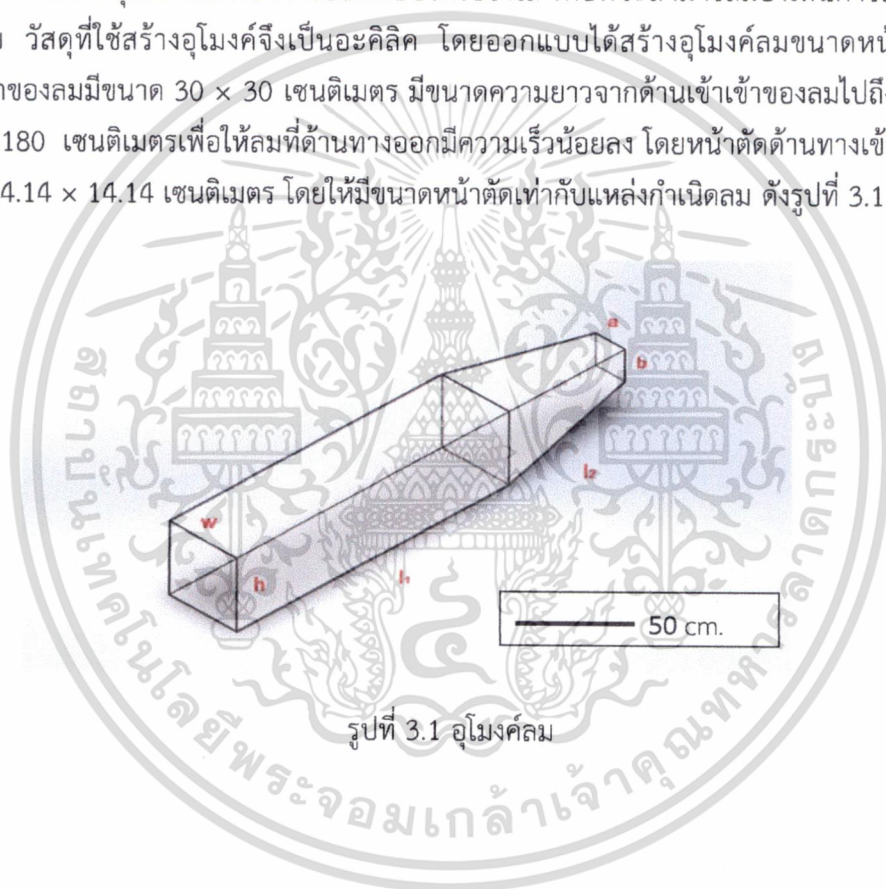
## บทที่ 3

### หลักการการออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานลม

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานในด้านที่เกี่ยวกับการค้นคว้าข้อมูลและงานออกแบบชิ้นส่วนที่นำมาใช้ในการทดลองเพื่อออกแบบระบบเก็บเกี่ยวพลังงานลม

#### 3.1 อุโมงค์ลม

การสร้างอุโมงค์ลม ต้องการออกแบบให้โปร่งใส เพื่อที่จะสามารถมองเห็นการสั่นของตัวต้นแบบ วัสดุที่ใช้สร้างอุโมงค์จึงเป็นอะคริลิก โดยออกแบบได้สร้างอุโมงค์ลมขนาดหน้าตัดด้านทางออกของลมมีขนาด  $30 \times 30$  เซนติเมตร มีขนาดความยาวจากด้านเข้าของลมไปถึงด้านออกของลม 180 เซนติเมตรเพื่อให้ลมที่ด้านทางออกมีความเร็วลดลง โดยหน้าตัดด้านทางเข้าของลมมีขนาด  $14.14 \times 14.14$  เซนติเมตร โดยให้มีขนาดหน้าตัดเท่ากับแหล่งกำเนิดลม ดังรูปที่ 3.1

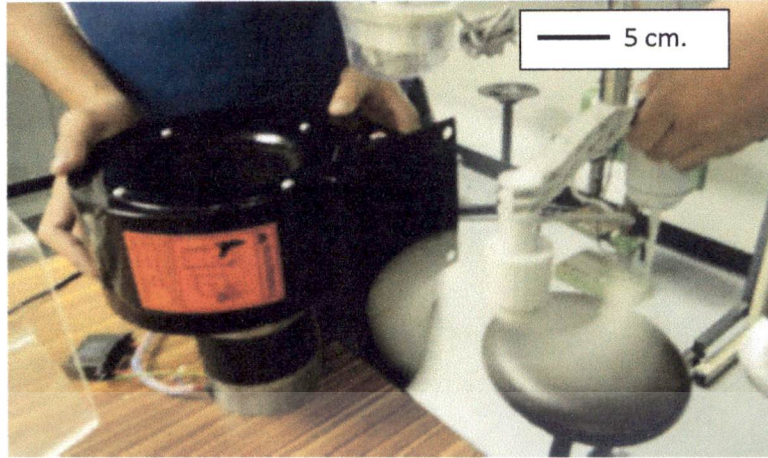


รูปที่ 3.1 อุโมงค์ลม

#### 3.2 แหล่งกำเนิดลม

ในการทดสอบนี้ได้ โบวเวอร์ เป็นแหล่งกำเนิดลม โดยโบวเวอร์มีขนาดของมอเตอร์  $\frac{1}{3}$  แรงม้าสามารถให้ความเร็วลม 25.2 เมตรต่อวินาทีดังรูปที่ 3.2

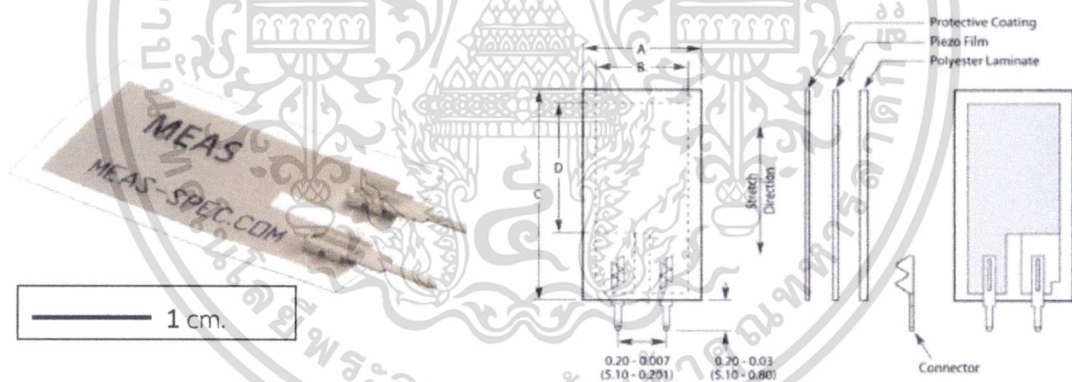
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แหล่งกำเนิดลม

### 3.3 เพียโซอิเล็กทริก

ในการทดสอบนี้ใช้เพียโซชนิดPVDF รุ่น LDT0-028K/L ดังรูปที่ 3.3 จาก Measurement Specialties เนื่องจากเพียโซชนิดแอสติที่ ค่อนข้างอ่อนตัวและมีขนาดเล็ก เหมาะกับการทำการทดสอบนี้ ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ ตามตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 เพียโซชนิด LDT0 - 028K/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติเพียโซชนิด LDT – 028K/L

Resonant Frequency	180 Hz
Sensitivity at Resonance	1.4 V/g
Capacitance	480 pF
Operating Temperature	0°C to 85°C
Storage Temperature	-40°C to 85 °C

### 3.4 อุปกรณ์วัดความเร็วของลม

เนื่องจากความเร็วลมในอุโมงค์ลมนั้นมีความเร็วไม่เท่ากันจึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วัดความเร็วของลมที่เรียก Anemometer วัดความเร็วของลมในแต่ละจุดของอุโมงค์ลมโดย Anemometer ที่ใช้นั้นผลิตโดย Brannan ดังรูปที่ 3.4



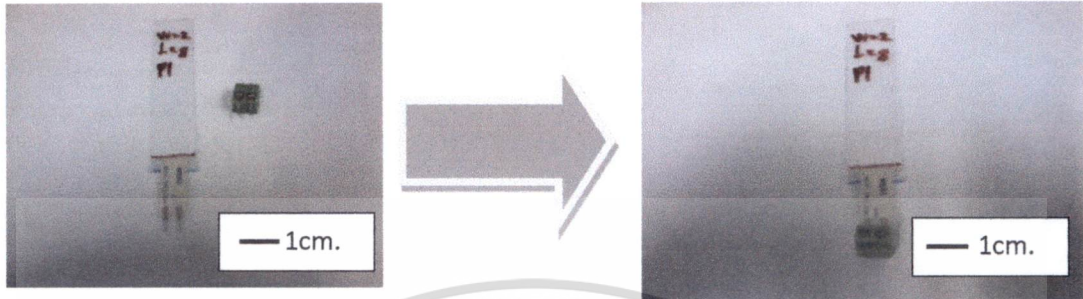
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์วัดความเร็วของลม

(อ้างอิงจาก : <http://th.element14.com/brannarv/13-430-0/anemometer-digital/dp/1271858>)

### 3.5 การออกแบบตัวต้นแบบ

เนื่องจากเพียโซอิเล็กทรอนิกส์นั้นมีขนาดความกว้างเพียง 13.5 มิลลิเมตรและมีความยาวเพียง 25 มิลลิเมตรซึ่งจำเป็นต้องวัสดุมาติดบนตัวเพียโซอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้เกิดการสั้นเมื่อมีลมพัดเข้ามา โดยวัสดุที่เลือกนำมาติดคือ แผ่นพีวีซี โดยการออกแบบต้นแบบเริ่มจากทำการออกแบบให้แผ่นพีวีซีให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างเท่ากับความกว้างของเพียโซอิเล็กทรอนิกส์ เหตุผลที่เลือกออกแบบแผ่นพีวีซีเป็นรูปสี่เหลี่ยมเพราะว่าเป็นรูปร่างที่สามารถศึกษาการสั้นของตัวต้นแบบเมื่อมีลมพัดผ่านได้ง่ายที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำแผ่นเพียโซอิเล็กทริกมาประกอบกับแผ่นพีวีซีแล้ว ก็นำตัวต้นแบบมาประกอบกับเทอร์มินอล เพื่อให้ตัวต้นแบบนั้นสามารถตั้งกับพื้น ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวต้นแบบ

### 3.6 การออกแบบ Wind Belt

Wind Belt เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากลมโดยใช้หลักการของสนามแม่เหล็กเมื่อ belt ที่ติดแม่เหล็กไว้ตรงปลายของ belt มีการสั่นจากลมทำให้ แม่เหล็กตัดผ่านขดลวดจึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นมอดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 Wind Belt

(อ้างอิงจาก : <http://api.ning.com/files/r-4c7vbDb11ZhwbPRdJysMm7NSb0pJg4-KH0ybCMijGr7oc2LxKG3oZu6GS2Kdq8971c208usm3iHpMY124aw6K0M8wAYy9q/windbelted02.jpg>)

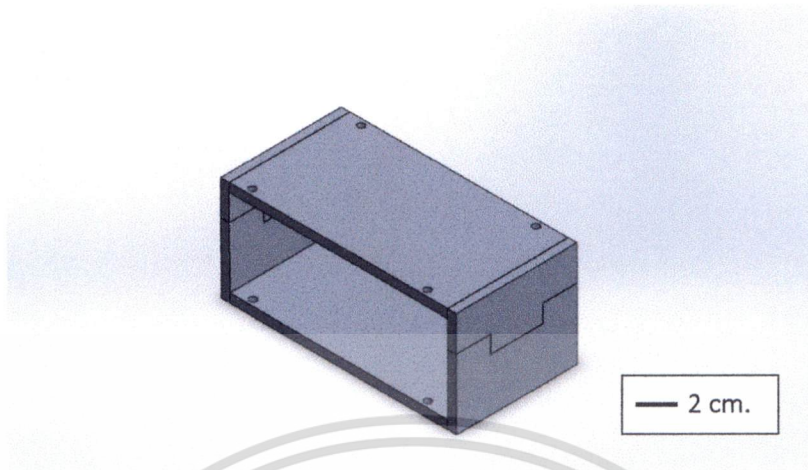
แต่ Wind Belt ที่ทำนั้นไม่ได้ใช้หลักการของสนามแม่เหล็กในการกำเนิดพลังงานแต่ใช้เพียโซอิเล็กทริกในการกำเนิดพลังงาน โดยการออกแบบของ Wind Belt สามารถแบ่งการออกแบบเป็น 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

#### 3.6.1 การออกแบบตัวโครงสร้างของ Wind Belt

โครงของ Wind Belt ทำจากแผ่นอะครีลิกที่มีความหนา 5 มิลลิเมตรมีขนาดความกว้าง 7

เซนติเมตร มีขนาดความยาว 13.6 เซนติเมตร และมีความสูง 6 เซนติเมตรดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของ Wind Belt

### 3.6.2 การออกแบบ Belt

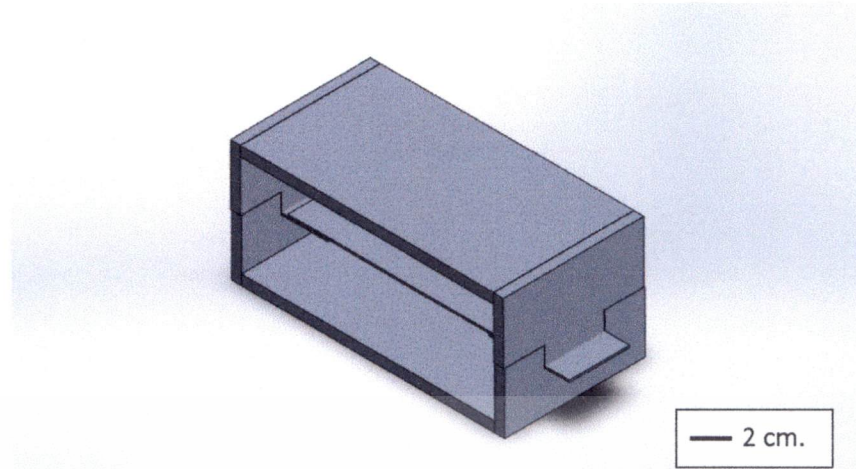
Belt นั้นส่วนที่กำเนิดพลังงานเพราะจะประกอบไปด้วยเฟียโซที่ติดกับแผ่นพีวีซีที่ได้แนวคิดมาจากตัวต้นแบบแบบเดียว ซึ่ง Belt มีขนาดความกว้าง 13.5 มิลลิเมตร และมีความยาว 13.2 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 belt ที่ทำการออกแบบ

เมื่อนำโครงสร้างของ Wind Belt และ Belt มาประกอบกัน ดังรูปที่ 3.9 โดยหลักการทำงานของ Wind Belt ที่ทำการออกแบบนั้น เกิดจากเมื่อมีลมพัดผ่าน ในบริเวณของ Wind Belt จะแรงกดที่อยู่บริเวณ Belt นั้นมีขนาดที่ไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดการสั่นของ Belt เมื่อมีการสั่นของ Belt จึงทำให้เฟียโซอิเล็กทรอนิกส์มีการสั่นไปด้วยจึงทำให้เกิดการผลิตพลังงานออกมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 Wind Belt เมื่อประกอบเสร็จ

### 3.7 วงจรเรียงกระแส

เนื่องตัวต้นแบบหรือ Wind Belt ถ้าเกิดใช้เพียงโซลิดเล็ทริกเพียงตัวเดียวจะทำให้เกิดพลังงานที่น้อยมากจึงจำเป็นต้องใช้เพียงโซลิดเล็ทริกจำนวนมากเพื่อนำมาต่อ อนุกรม หรือ ขนาน เพื่อให้ได้พลังงานออกมาได้มากที่สุดแต่เนื่องจากการสั้นของเพียงโซลิดเล็ทริกในแต่ละตัวมีการสั้นไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดหักล้างกันของพลังงานจึงทำให้ได้พลังงานออกมาน้อยลง จึงใช้วงจรเรียงกระแสแปลงแรงดันที่ออกจากเพียงโซลิดเล็ทริกเป็นกระแสสลับให้เป็นกระแสตรงแล้วนำ เพียงโซลิดเล็ทริกที่ผ่านวงจรเรียงกระแสมาอนุกรม หรือ ขนานก็จะทำให้ได้พลังงานได้มากที่สุด โดยวงจรเรียงกระแสมีส่วนประกอบคือ ไดโอด โดยไดโอดที่เลือกนั้น เป็นไดโอด ชนิด Schottky รุ่น Bat46 ดังรูปที่ 3.9 เพราะมีการ Reverse Voltage เพียง 250 มิลลิโวลต์ มีคุณสมบัติต่างๆ ตามตารางที่ 3.2

รูปที่ 3.10 ไดโอด ชนิด Schottky รุ่น Bat46

(อ้างอิงจาก : <http://th.element14.com/stmicroelectronics/bat46/diode-schottky-small-signal/dp/9801456>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติต่างของไดโอด ชนิด Bat46

Repetitive Peak Reverse Voltage	100 V
Forward Continuous Current ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )	150 mA
Repetitive Peak Forward Current ( $t_p \leq 1\text{s} \leq 0.5$ )	350 mA
Surge non Repetitive Forward Current ( $t_p = 10\text{ms}$ )	750 mA
Power Dissipation ( $T_i = 80^\circ\text{C}$ )	150 ma
Storage and Junction Temperature Range	-65 to +150 $^\circ\text{C}$ -65 to +125 $^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering during 10s at 4mm from Case	230 $^\circ\text{C}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

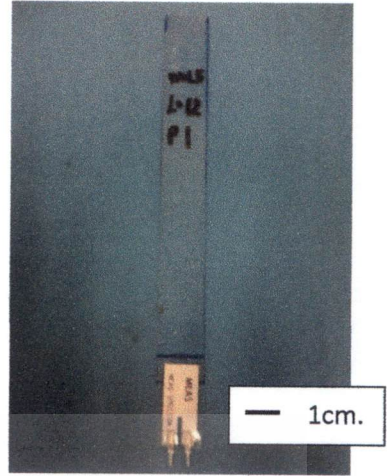
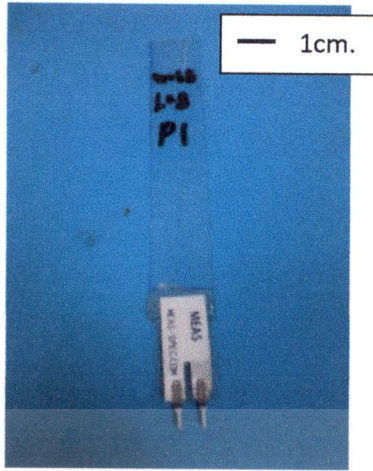
ในบทนี้กล่าวถึงการทดลองและผลการทดลองการเก็บเกี่ยวพลังงานลมโดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการทดลองการเก็บพลังงานลมจากตัวต้นแบบชนิดเดี่ยว และการทดลองการเก็บพลังงานลมจาก Wind Belt โดยการทดลองนั้นทำการทดลองในอุโมงค์ลมขนาดความยาว 180 เซนติเมตร ขนาดหน้าตัด 30×30 ตารางเซนติเมตร และมีโบว์เวอร์ขนาด  $\frac{1}{3}$  แรงม้าเป็นแหล่งกำเนิดลมโดยการทดลองแบ่งออกเป็น 3 จุดในอุโมงค์ คือ 90 เซนติเมตร 120 เซนติเมตร และ 150 เซนติเมตร จากแหล่งกำเนิดลม โดยจุดที่ 1 มีความเร็วลมเฉลี่ยที่ 5 เมตรต่อวินาที จุดที่ 2 มีความเร็วลมเฉลี่ยที่ 4.5 เมตรต่อวินาทีและจุดที่ 3 มีความเร็วลมเฉลี่ยที่ 3 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ โดยมีการทดลองดังนี้

#### 4.1 การทดลองการเก็บพลังงานจากต้นแบบชนิดเดี่ยว

การทดลองเป็นการนำต้นแบบชนิดแบบเดี่ยว ซึ่งต้นแบบชนิดเดี่ยวทำมาจากแผ่นพีวีซี ในการทดลองต้องการหาว่า ระยะที่วางของต้นแบบในอุโมงค์ลม ลักษณะในการตั้งของต้นแบบ ความสูงของต้นแบบ ความกว้างของต้นแบบ และความหนาของต้นแบบมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมาอย่างไร ในการทดลองนั้นแบ่งออกเป็น 3 ตอน ดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 การทดลองระยะที่วางของต้นแบบในอุโมงค์ลม ลักษณะในการตั้งของต้นแบบและความสูงของต้นแบบมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา

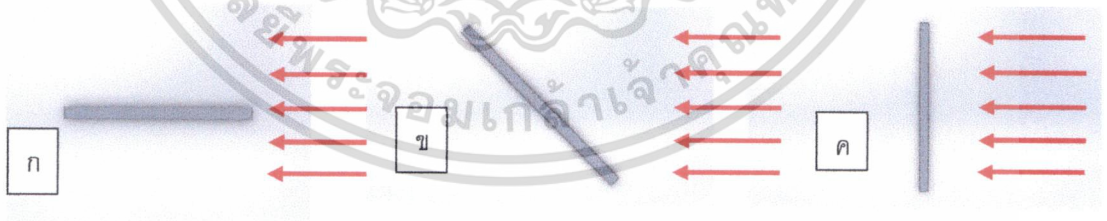
ในการทดลอง เป็นการศึกษาระยะที่วางของต้นแบบ ลักษณะในการตั้งของต้นแบบและความสูงของต้นแบบมีผลต่อการแรงดันต่างศักย์ที่ออกมาอย่างไร โดยการทดลองนี้จะทำต้นแบบออกมา 2 แบบคือ ต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร และต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตรดังรูป 4.1 ในการทดลองได้กำหนดระยะที่ตั้งในอุโมงค์ เป็น 3 ระยะ คือ 90 เซนติเมตร 120 เซนติเมตร 150 เซนติเมตร จากโบว์เวอร์ดังรูปที่ 4.2 และได้กำหนดลักษณะการตั้งออกเป็น 3 แบบคือ 0 องศา 45 องศา และ 90 องศา ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร



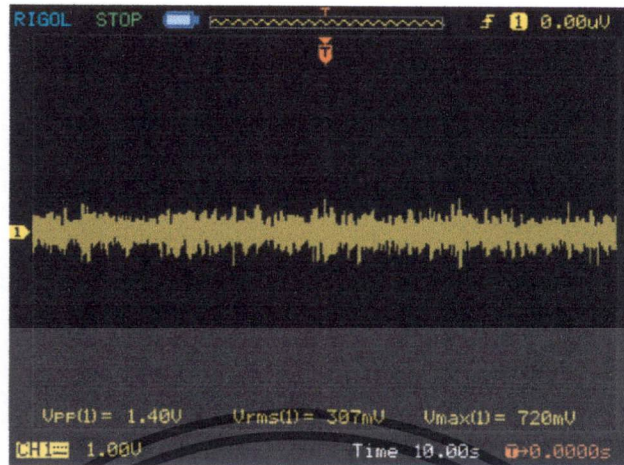
รูปที่ 4.2 ระยะการตั้งของต้นแบบในอุโมงค์ลม



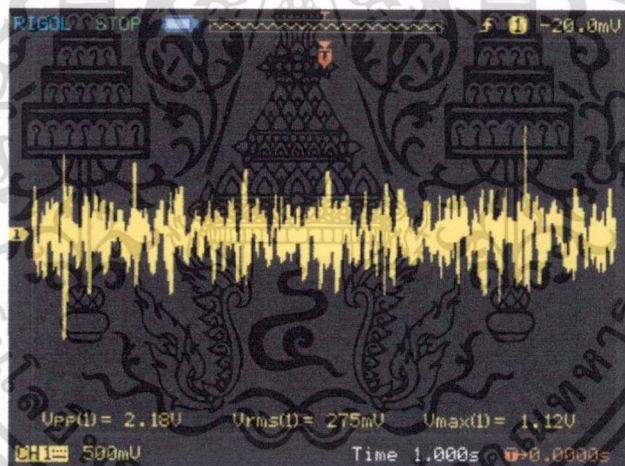
รูปที่ 4.3 (ก)ลักษณะการตั้ง 0 องศา (ข)ลักษณะการตั้ง 45 องศา (ค)ลักษณะการตั้ง 90 องศา

โดยการทดลองได้ทำการทดลองเก็บค่า 10 ครั้ง จากการทดลองได้ผลตามตารางที่ 4.1-4.2 ได้รูปสัญญาณจากออสซิลอโคปดังรูปที่ 4.4-4.5 และได้กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการตั้งของต้นแบบและลักษณะการตั้งของต้นแบบ กับ  $V_{rms}$  เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร และ 12 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.6-4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แรงดันที่ออกมาจากเพียโซ ดันแบบ สูง 8 เซนติเมตร ระยะการตั้ง 90 เซนติเมตร



รูปที่ 4.5 แรงดันที่ออกมาจากเพียโซ ดันแบบ สูง 12 เซนติเมตร ระยะการตั้ง 90 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

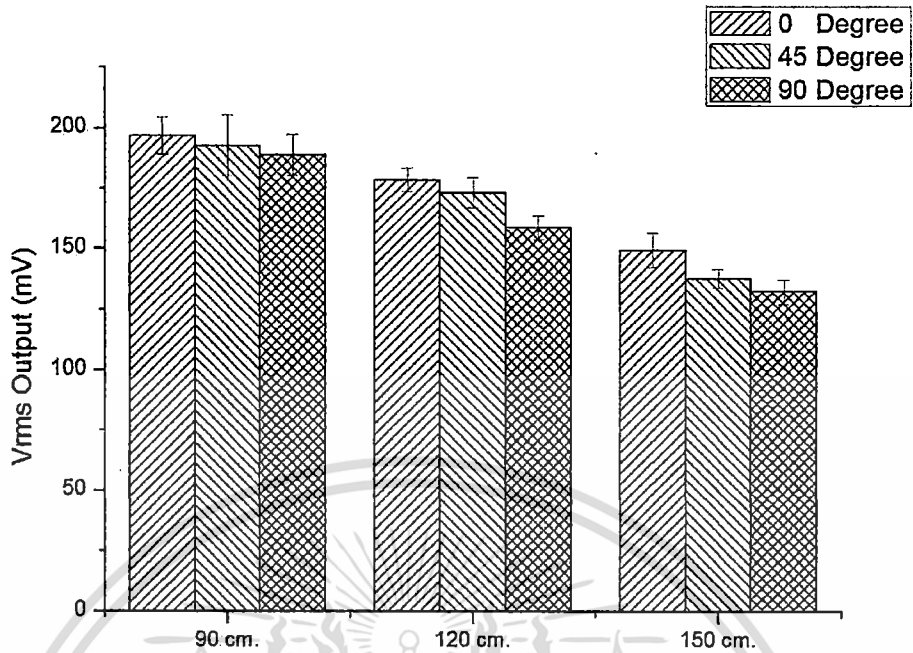
ขนาดความสูงของต้นแบบ (cm.)	ระยะการตั้ง (cm.)	ลักษณะการตั้งของต้นแบบ (องศา)	Vrms (mV)										Vrms เฉลี่ย (mV)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
8	90	0	188	219	192	185	203	197	204	201	195	183	196.7
	90	45	197	179	205	217	174	211	162	205	184	192	192.6
	90	90	185	210	185	188	197	182	192	200	167	182	188.8
	120	0	182	173	174	191	173	177	170	179	188	179	178.6
	120	45	175	176	170	174	162	163	186	185	179	163	173.3
	120	90	170	154	155	168	149	155	152	156	163	163	158.5
	150	0	137	136	146	163	166	146	150	153	143	154	149.4
	150	45	134	129	142	138	133	145	140	135	136	145	137.7
	150	90	129	127	136	144	128	143	129	127	123	136	132.2

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร  
หนา 0.4 มิลลิเมตร

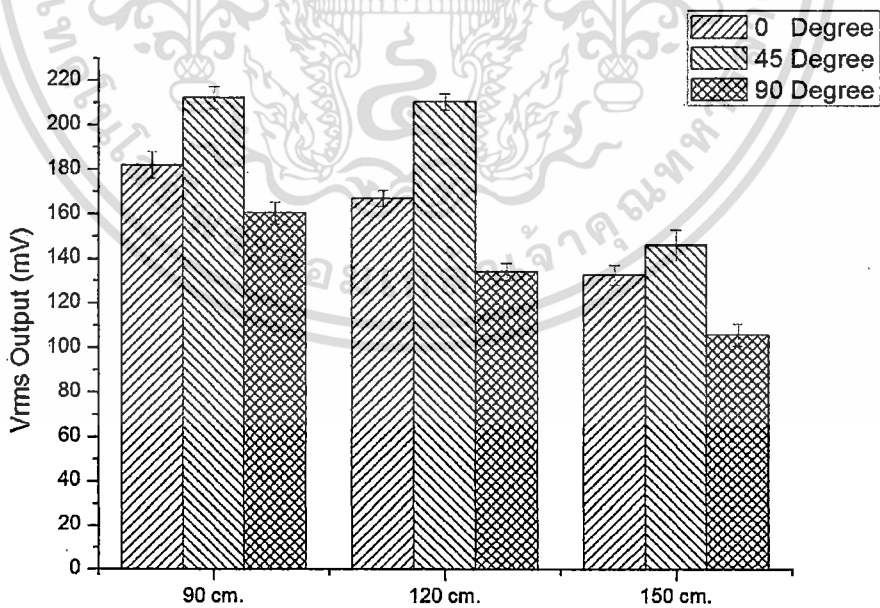
ขนาดความสูงของต้นแบบ (cm.)	ระยะการตั้ง (cm.)	ลักษณะการตั้งของต้นแบบ (องศา)	Vrms (mV)										Vrms เฉลี่ย (mV)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
12	90	0	179	185	180	176	189	190	169	170	188	193	181.9
	90	45	199	204	209	210	218	220	213	215	219	216	212.3
	90	90	159	169	170	157	160	170	155	154	150	160	160.4
	120	0	169	177	171	170	167	167	160	163	163	164	167.1
	120	45	212	216	203	220	207	213	210	210	210	204	210.5
	120	90	128	141	134	130	138	141	129	127	135	139	134.2
	150	0	133	134	128	137	133	133	126	131	125	147	132.7
	150	45	167	146	155	139	148	141	136	151	137	141	146.1
	150	90	120	141	134	130	138	141	129	127	135	139	106.1

ตารางที่ 4.2 ตารางผลการทดลองของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร  
กว้าง 1.5 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการตั้งของต้นแบบและลักษณะการตั้งของต้นแบบกับ Vrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการตั้งของต้นแบบและลักษณะการตั้งของต้นแบบกับ

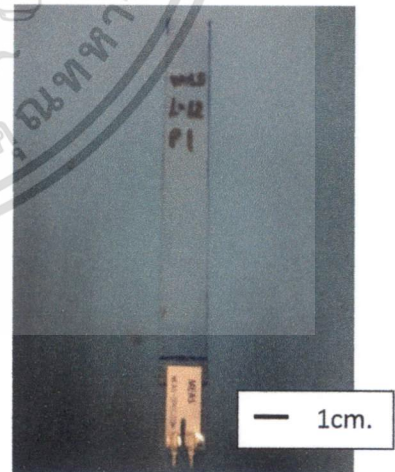
Vrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าระยะที่ตั้งต้นแบบ 90 เซนติเมตร จะมีความแรงดันต่างศักย์ออกมา มากที่สุด ระยะที่ตั้งต้นแบบ 120 cm. มีแรงดันต่างศักย์ออกมารองลงมาจากระยะที่ตั้งต้นแบบ 90 เซนติเมตร และ 150 เซนติเมตร ได้แรงดันต่างศักย์ออกมาน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับระยะ 90 เซนติเมตร และ 120 เซนติเมตร และในแต่ละระยะการตั้งต้นแบบ 90 เซนติเมตร ลักษณะการตั้งต้นแบบ แบบ 0 องศา จะมีค่าแรงดันต่างศักย์ออกมาที่มากที่สุด แบบ 45 องศา จะมีค่าแรงดันต่างศักย์ออกมารองลงมา และแบบ 90 องศา มีค่าแรงดันต่างศักย์ออกมาน้อยที่สุด ซึ่งในระยะที่ 120 เซนติเมตร และ 150 เซนติเมตร ลักษณะการตั้งต้นแบบก็มีค่าแรงดันต่างศักย์ออกมาในทำนองเดียวกับระยะที่ 90 เซนติเมตร และจากรูป 4.7 ลักษณะการตั้ง 45 องศาจะได้แรงดันต่างศักย์มากที่สุด ซึ่งระยะที่ตั้ง 90 เซนติเมตร จะได้แรงดันต่างศักย์มากที่สุด แล้วก็ตามด้วย 120 เซนติเมตร 150 เซนติเมตร ตามลำดับ

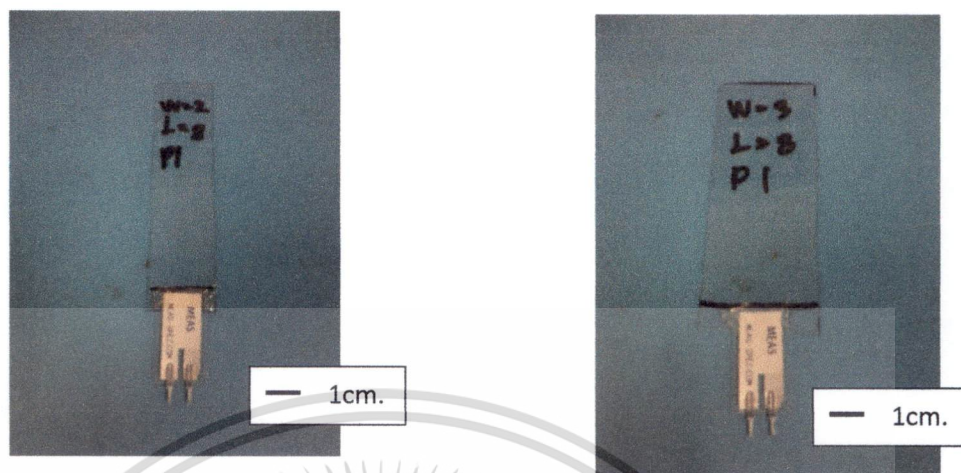
#### 4.1.2 การทดลองความกว้างของต้นแบบมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา

ในการทดลอง เป็นการศึกษาความกว้างนั้นมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ โดยการทดลองทำคล้ายกับการทดลองในเรื่องระยะที่ตั้งของต้นแบบ ลักษณะการตั้งของต้นแบบ และความสูงของต้นแบบ แต่ในการทดลองครั้งนี้จะดูแค่ความกว้างของต้นแบบ โดยการทดลองครั้งนี้จะทำเพียงระยะที่ตั้ง 120 เซนติเมตร และ 150 เซนติเมตร เพราะว่าที่ระยะที่ตั้ง 90 เซนติเมตร จะมีความเร็วลมมากกว่าระยะที่ตั้ง 120 เซนติเมตร และ 150 เซนติเมตร ซึ่งเป็นความเร็วที่มากเกินไป โดยต้นแบบที่ทำการทดลอง จะมีทั้งหมด 6 แบบคือ ขนาดความสูง 8 เซนติเมตรและขนาดความสูง 12 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร จะมีความกว้าง 1.5 เซนติเมตร , 2 เซนติเมตร และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับดังรูปที่ 4.8 - 4.10



รูปที่ 4.8 ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร ต้นแบบ  
ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ต้นแบบขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร ต้นแบบ  
ขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.10 ต้นแบบขนาดกว้าง 2 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร ต้นแบบ  
ขนาดกว้าง 3 เซนติเมตร สูง 12 cm. หนา 0.4 มิลลิเมตร

ซึ่งขนาดความสูง 8 เซนติเมตร จะใช้ลักษณะการตั้งแบบ 0 องศาเพราะการทดลองลักษณะการตั้งที่ขนาดความสูง 8 เซนติเมตร จะมีค่าแรงดันต่างศักย์ออกมามากที่สุดเมื่อเทียบกับ 45 องศา และ 90 องศา และขนาดความสูง 12 เซนติเมตร จะใช้ลักษณะการตั้งเป็นแบบ 45 องศา เพราะการทดลองลักษณะการตั้งที่ขนาดความสูง 12 cm. จะมีค่าแรงดันต่างศักย์ออกมามากที่สุดเมื่อเทียบกับ 0 องศา และ 90 องศา ซึ่งผลการทดลองได้ตามตารางที่ 4.3-4.4 และได้กราฟแสดงการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างของต้นของต้นแบบและระยะการตั้งของต้นแบบ กับ  $V_{rms}$  เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร และ 12 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.11-4.12

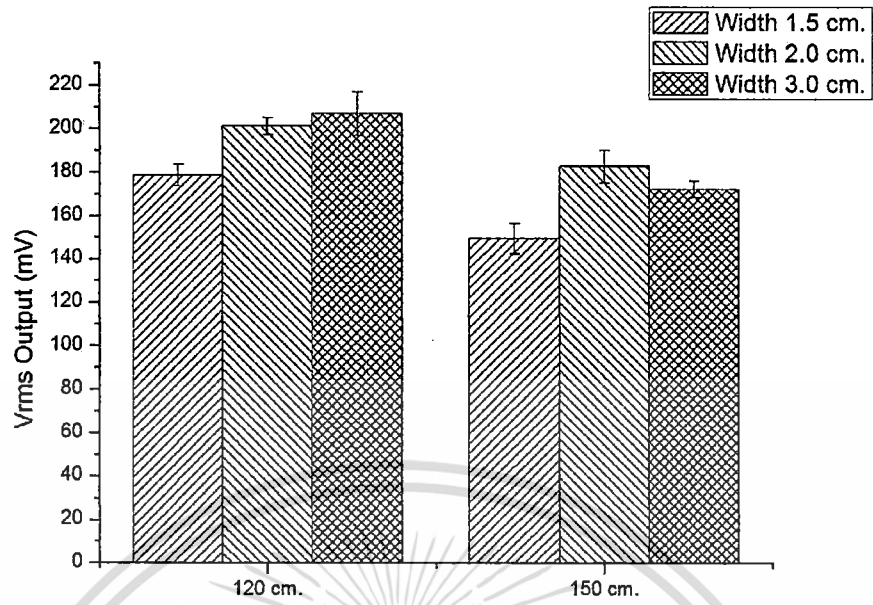
ขนาดความสูงของต้นแบบ (cm.)	ความกว้างของต้นแบบ (cm.)	ระยะการตั้ง (cm.)	$V_{rms}$ (mV)										$V_{rms}$ เฉลี่ย (mV)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
8	1.5	120	182	173	174	191	173	177	170	179	188	179	178.6
	2	120	202	198	198	197	203	204	192	198	210	208	201
	3	120	208	225	187	214	201	222	202	186	201	222	206.8
	1.5	150	137	136	146	163	166	146	150	153	143	154	149.4
	2	150	180	187	170	181	172	168	189	202	187	190	182.6
	3	150	167	169	168	171	185	170	174	175	169	173	172.1

ตารางที่ 4.3 ตารางผลการทดลองของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร

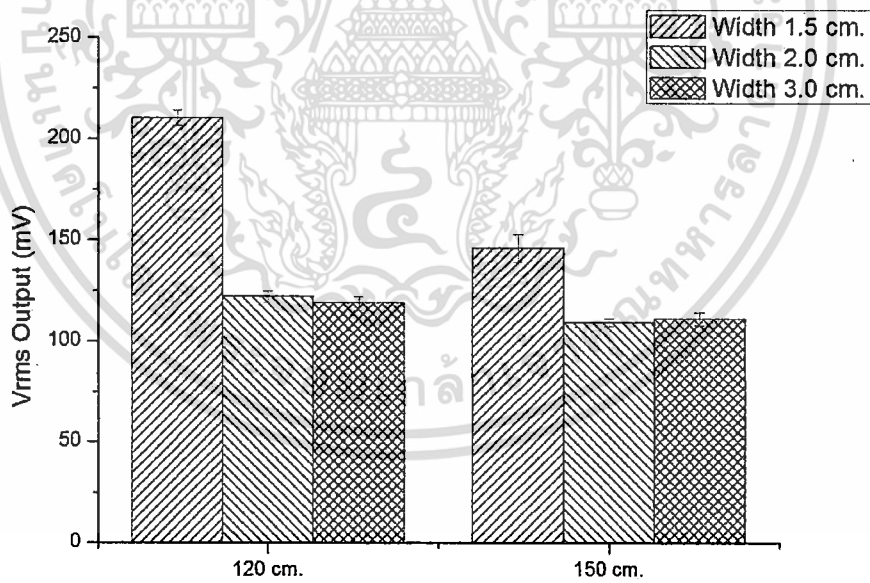
ขนาดความสูงของต้นแบบ (cm.)	ความกว้างของต้นแบบ (cm.)	ระยะการตั้ง (cm.)	$V_{rms}$ (mV)										$V_{rms}$ เฉลี่ย (mV)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
12	1.5	120	203	220	207	212	216	213	210	210	210	204	210.5
	2	120	120	119	122	122	118	115	125	127	128	124	122
	3	120	116	123	113	118	125	115	114	125	122	116	118.7
	1.5	150	155	139	148	167	146	141	136	151	137	141	146.1
	2	150	106	107	112	109	109	112	111	112	109	106	109.3
	3	150	116	109	110	115	109	120	110	104	111	108	111.2

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดลองของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร หน้า 0.4 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความกว้างของต้นของต้นแบบและระยะการตั้งของต้นแบบกับ Vrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร



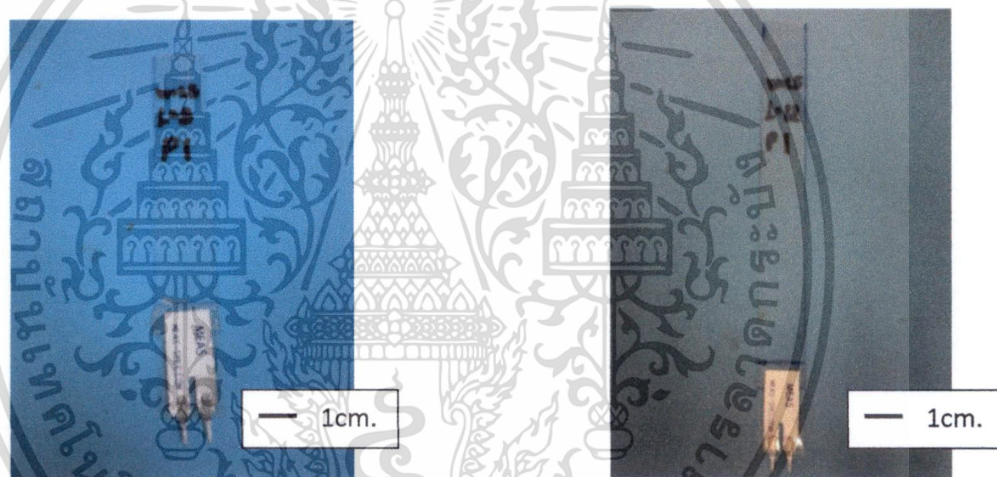
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความกว้างของต้นของต้นแบบและระยะการตั้งของต้นแบบกับ Vrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.11 เมื่อเพิ่มความกว้างให้กับต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร จะทำให้แรงดันต่างศักย์ดีขึ้น แต่จากรูป 4.12 เมื่อเพิ่มความกว้างให้กับต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร จะทำให้แรงดันต่างศักย์ลดลง

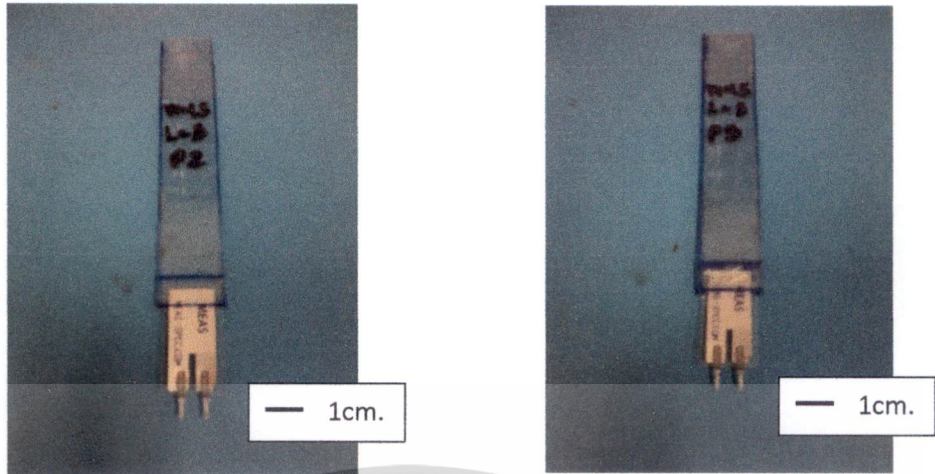
#### 4.1.3 การทดลองความหนาของต้นแบบมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา

ในการทดลอง เป็นการศึกษาความหนานั้นมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ ในการทดลองครั้งนี้จะดูแค่ความหนาของต้นแบบ โดยการทดลองครั้งนี้จะทำเพียงระยะที่ตั้ง 120 เซนติเมตร และ 150 เซนติเมตร โดยต้นแบบที่ทำการทดลองจะมีทั้งหมด 6 แบบคือ ขนาดความสูง 8 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร จะมีความหนา 0.4 มิลลิเมตร 0.8 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร ตามลำดับลักษณะการตั้งเป็นแบบ 0 องศา และขนาดความสูง 12 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตรจะมีความหนา 0.4 มิลลิเมตร 0.8 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร ลักษณะการตั้งเป็นแบบ 45 องศา ดังรูป 4.13-4.15

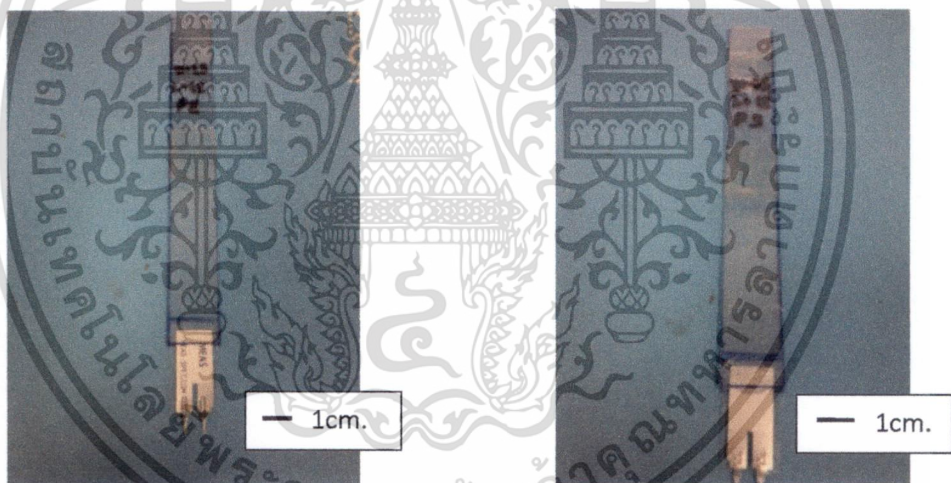


รูปที่ 4.13 ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หนา 0.4 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



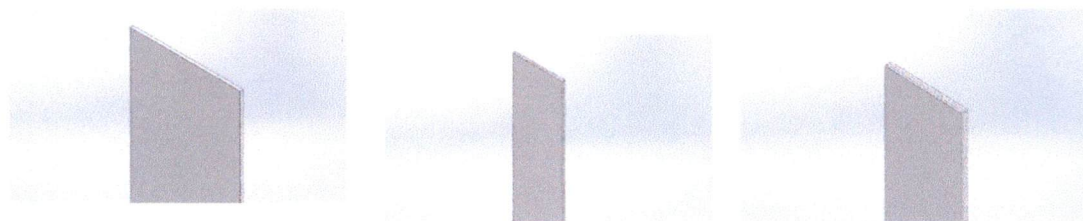
รูปที่ 4.14 ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หนา 0.8 มิลลิเมตร ต้นแบบ  
ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.15 ต้นแบบขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หนา 0.8 มิลลิเมตร ต้นแบบ  
ขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร สูง 12 เซนติเมตร หนา 1.2 มิลลิเมตร

โดยการเพิ่มความหนาคือเพิ่มจำนวนแผ่นพีวีซี เข้าไปดังรูปที่ 4.16 ซึ่งผลการทดลองได้ตาม  
ตารางที่ 4.5-4.6 และได้กราฟแสดงการเปรียบเทียบความกว้างของต้นแบบและระยะการตั้ง  
ของต้นแบบ กับ  $V_{rms}$  เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร และ 12 เซนติเมตร ดังรูปที่  
4.17-4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ความหนา 0.4 มิลลิเมตร 0.8 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร

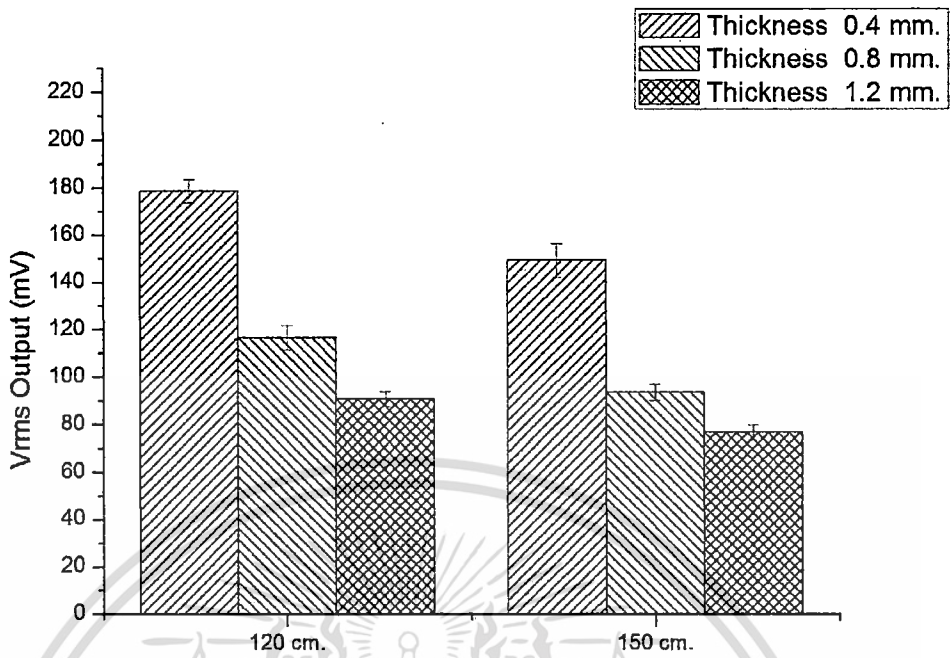
ขนาดความสูงของดินแบบ (cm.)	ความหนาของดินแบบ (mm.)	ระยะการตั้ง (cm.)	Vrms (mV)										Vrms เฉลี่ย (mV)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
8	0.4	120	182	173	174	191	173	177	170	179	188	179	178.6
	0.8	120	128	126	115	108	108	116	115	113	108	115	116.6
	1.2	120	95	89.8	94.3	97	90.9	85.4	94	88.4	83.9	89.1	90.78
	0.4	150	137	136	146	163	166	146	150	153	143	154	149.4
	0.8	150	96.7	103	94.7	91.2	88.7	97	85.8	91.9	92.6	93.9	93.49
	1.2	150	72.4	80.4	78.8	88.4	78	82	75.5	79.2	84.3	77.6	76.66

ตารางที่ 4.5 ตารางผลการทดลองของดินแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร กว้าง 1.5 cm.

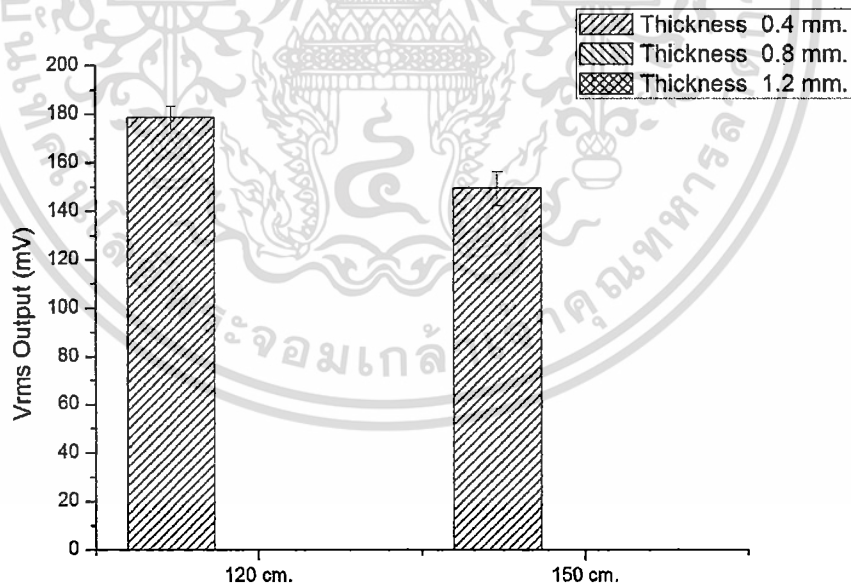
ขนาดความสูงของดินแบบ (cm.)	ความหนาของดินแบบ (mm.)	ระยะการตั้ง (cm.)	Vrms (mV)										Vrms เฉลี่ย (mV)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
12	0.4	120	203	220	207	212	216	213	210	210	210	204	210.5
	0.8	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.2	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.4	150	155	139	148	167	146	141	136	151	137	141	146.1
	0.8	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1.2	150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 4.6 ตารางผลการทดลองของดินแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร กว้าง 1.5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหนาของต้นของต้นแบบและระยะการตั้งของต้นแบบกับVrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 8 เซนติเมตร



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหนาของต้นของต้นแบบและระยะการตั้งของต้นแบบกับVrms เฉลี่ยของต้นแบบขนาดความสูง 12 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

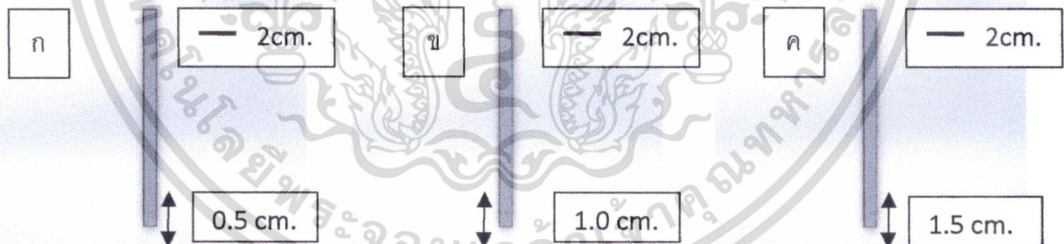
จากรูป 4.17 และ 4.18 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความหนาจะทำให้แรงดันต่างศักย์ที่ออกมาลดลง ทั้งความสูง 8 เซนติเมตร และ 12 เซนติเมตร ผลการทดลองที่ขนาดความสูง 12 เซนติเมตร ที่เพิ่มความหนาเข้าไปนั้นไม่มีผลการทดลองเป็นเพราะว่าน้ำหนักของต้นแบบมีน้ำหนักมากเกินไปทำให้เพียโซอิเล็กทริกที่รับน้ำหนักไม่ได้ เลยทำให้ไม่มีผลการทดลอง

## 4.2 การทดลองการเก็บพลังงาน Wind Belt

การทดลองนี้เป็นการนำผลการทดลองครั้งแรกมาประยุกต์ใช้ โดยนำมาทำเป็น Wind Belt โดยการทดลองนี้ต้องการหาว่า ความตึงของ Belt ระยะการการติดของเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี มีผลต่อแรงดันต่างศักย์อย่างไร แล้วถ้ามีการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริกโดยการต่อกันหรือขนาน มีผลต่อแรงดันต่างศักย์อย่างไร

### 4.2.1 การทดลองความตึงของ Belt และระยะการติดของเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซีมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา

โดยการทดลองนี้ได้ทำสร้าง belt ทั้งหมด 5 ขนาด คือความยาว 13.1 เซนติเมตร 13.2 เซนติเมตร 13.3 เซนติเมตร 13.4 เซนติเมตร และ 13.5 เซนติเมตร ตามลำดับ และทำการติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี 3 ระยะคือ 0.5 เซนติเมตร 1.0 เซนติเมตร และ 1.5 เซนติเมตรดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 Belt ขนาด ความยาว 13.6 เซนติเมตร และระยะติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซีระยะต่างๆ

โดยทำการประกอบดังรูปที่ 3.9 และวางบนอุโมงค์ลม 3 จุด คือที่ระยะ 90 เซนติเมตร 120 เซนติเมตร และ 150 เซนติเมตร จากแหล่งกำเนิดลม ตามลำดับ โดยการทดลองได้ทำการทดลองเก็บค่า 10 ครั้ง จากการทดลองได้ผลตามตารางที่ 4.7-4.9 และได้กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะการติดของเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี กับ  $V_{rms}$  เฉลี่ยของ Wind Belt ความยาว 13.1 เซนติเมตร 13.2 เซนติเมตร 13.3 เซนติเมตร 13.4 เซนติเมตร และ 13.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.20-4.22 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี (cm.)	ขนาดความยาวของ Belt (cm.)	ระยะวาง Wind Belt (cm.)	Vrms (mV)										Vrms เฉลี่ย (mV)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
1.5	13.1	90	26.4	27.8	27.2	31	28.1	25.7	27.5	24.5	29	25.4	27.26
		120	26.8	23.5	21.4	23.5	21.6	20.7	22.9	22.9	21.4	25.1	22.98
		150	19.4	19	17.6	18.9	18.7	19.7	17.5	19.5	19.4	18.5	18.82
	13.2	90	108	101	91.8	82.4	82.2	84.6	65.7	99.9	85.4	79.9	88.09
		120	72.8	71.2	69.8	65.1	74.4	81.4	75.1	98.6	73.7	78.7	76.08
		150	43.6	44.6	48.5	40.2	46.9	33.2	46.3	39.6	36.5	33.8	41.32
	13.3	90	128	126	118	108	101	103	110	110	109	127	114
		120	78.6	73.1	84.8	70.8	106	92.2	88.4	74.3	81.5	91	84.07
		150	60.2	56.4	50.6	67.8	51.3	43.3	62.4	53.8	56.5	51.1	55.34
	13.4	90	99.8	114	101	83.7	109	88.3	103	106	96.1	81.2	98.21
		120	79.3	69.1	72.4	78.3	55.8	78.8	72.6	70	70.2	70.4	71.69
		150	53.6	68.3	64	57.3	65.8	58.8	56.9	58.5	52.3	69.9	60.54
	13.5	90	208	189	215	224	225	190	231	263	243	203	219.1
		120	167	162	143	159	184	151	166	170	147	150	159.9
		150	102	102	84.9	98	106	106	115	111	93.8	131	104.97

ตารางที่ 4.7 ตารางผลการทดลองของ Wind Belt  
ระยะเวลาติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี 1.5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะการติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี (cm.)	ขนาดความยาวของ Belt (cm.)	ระยะวาง Wind Belt (cm.)	Vrms (mV)										Vrms เฉลี่ย (mV)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
1.0	13.1	90 cm.	35	40.1	37.3	37.4	49	34.1	33.3	41.4	44.4	39	39.1
		120 cm.	24.6	23.9	23.6	29	29	26.1	25	28.1	23.5	30.8	26.36
		150 cm.	18.3	18.8	19.2	15	19.7	16.4	17.8	18.5	20.1	18.8	18.26
	13.2	90 cm.	203	208	189	217	206	200	241	207	256	197	212.4
		120 cm.	170	149	140	155	137	156	155	162	128	146	149.8
		150 cm.	85.3	92.6	124	97.9	89.7	97.1	71.5	111	94.1	84.1	94.73
	13.3	90 cm.	185	231	219	237	232	229	234	229	234	229	225.9
		120 cm.	187	169	137	165	136	150	148	167	178	155	159.2
		150 cm.	115	106	82.5	91.7	111	91.7	91.7	100	102	82.5	97.41
	13.4	90 cm.	190	184	243	200	228	229	210	229	191	200	210.4
		120 cm.	154	148	146	160	159	140	167	170	157	161	156.2
		150 cm.	89.4	93.8	89.4	87.2	91.7	95.9	104	95.9	95.9	95.9	93.91
	13.5	90 cm.	235	265	210	205	247	211	212	217	242	228	227.2
		120 cm.	195	184	169	167	190	165	152	193	176	176	176.7
		150 cm.	126	113	122	106	111	134	108	133	131	134	121.8

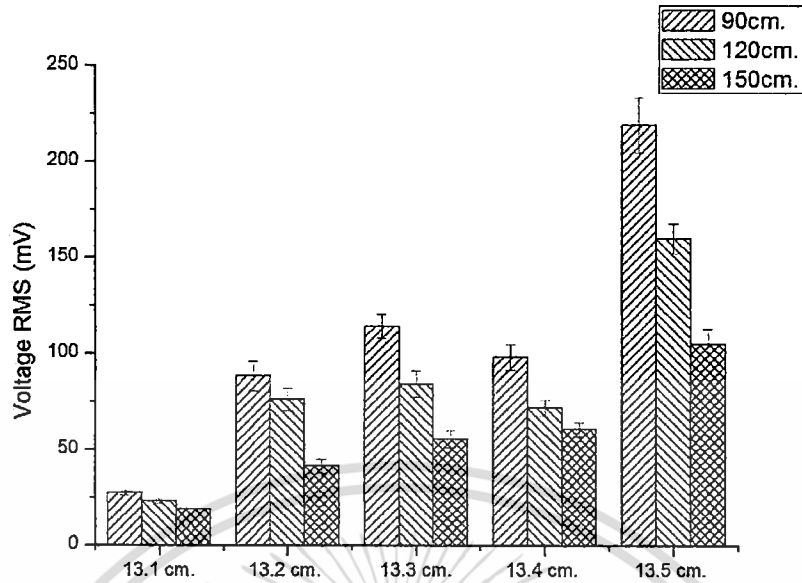
ตารางที่ 4.8 ตารางผลการทดลองของ Wind Belt  
ระยะการติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี 1.0 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

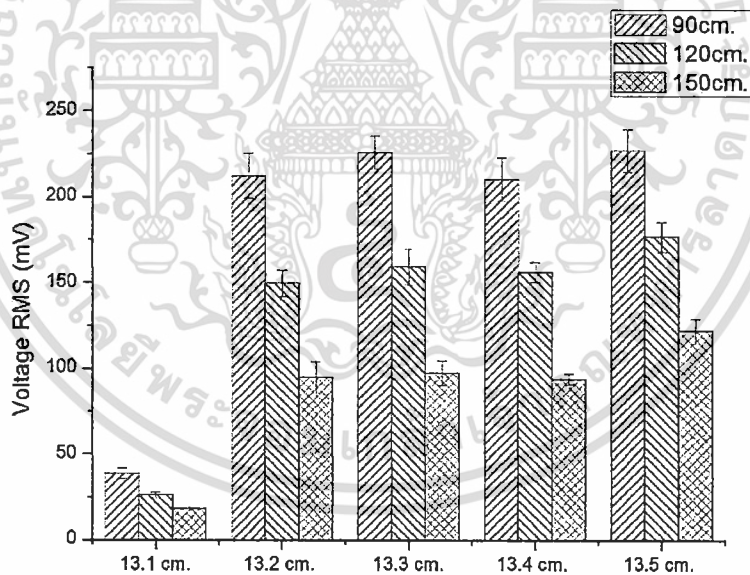
ระยะเวลา ติดเพียโซอิ เล็กทริกกับ แผ่นพีวีซี (cm.)	ขนาด ความ ยาวของ Belt (cm.)	ระยะ วาง Wind Belt (cm.)	Vrms (mV)										Vrms เฉลี่ย (mV)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
0.5	13.1	90 cm.	80	87.2	89.4	77.5	74.8	84.9	82.5	87.2	72.1	100	83.56
		120 cm.	63.2	74.8	77.5	80	82.5	72.1	74.8	72.1	66.3	60	72.33
		150 cm.	40	52.9	44.7	40	49	44.7	52.9	52.9	44.7	49	47.08
	13.2	90 cm.	351	299	320	302	367	346	386	302	312	346	333.1
		120 cm.	284	237	249	274	285	297	263	277	317	329	281.2
		150 cm.	167	128	152	166	161	178	139	139	144	170	154.4
	13.3	90 cm.	353	294	317	223	353	332	349	353	268	268	311
		120 cm.	297	265	265	262	208	271	256	259	204	250	253.7
		150 cm.	173	162	154	140	126	144	140	162	131	144	147.6
	13.4	90 cm.	268	240	294	274	215	256	200	243	230	256	247.6
		120 cm.	256	226	174	215	196	192	208	179	237	204	208.7
		150 cm.	165	126	165	155	126	144	150	139	155	133	145.8
	13.5	90 cm.	265	212	208	262	223	259	200	277	247	262	241.5
		120 cm.	277	208	208	259	208	219	250	247	219	250	234.5
		150 cm.	113	120	165	106	139	144	126	139	126	155	133.3

ตารางที่ 4.9 ตารางผลการทดลองของ Wind Belt  
ระยะเวลาติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี 0.5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

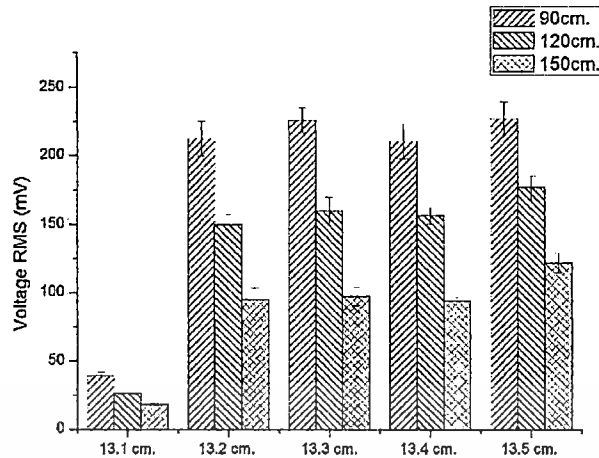


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความตึงของ Belt และระยะการตั้งของ Wind Belt กับ Vrms เฉลี่ยของระยะการติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี 1.5 เซนติเมตร



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความตึงของ Belt และระยะการตั้งของ Wind Belt กับ Vrms เฉลี่ยของระยะการติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี 1.0 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



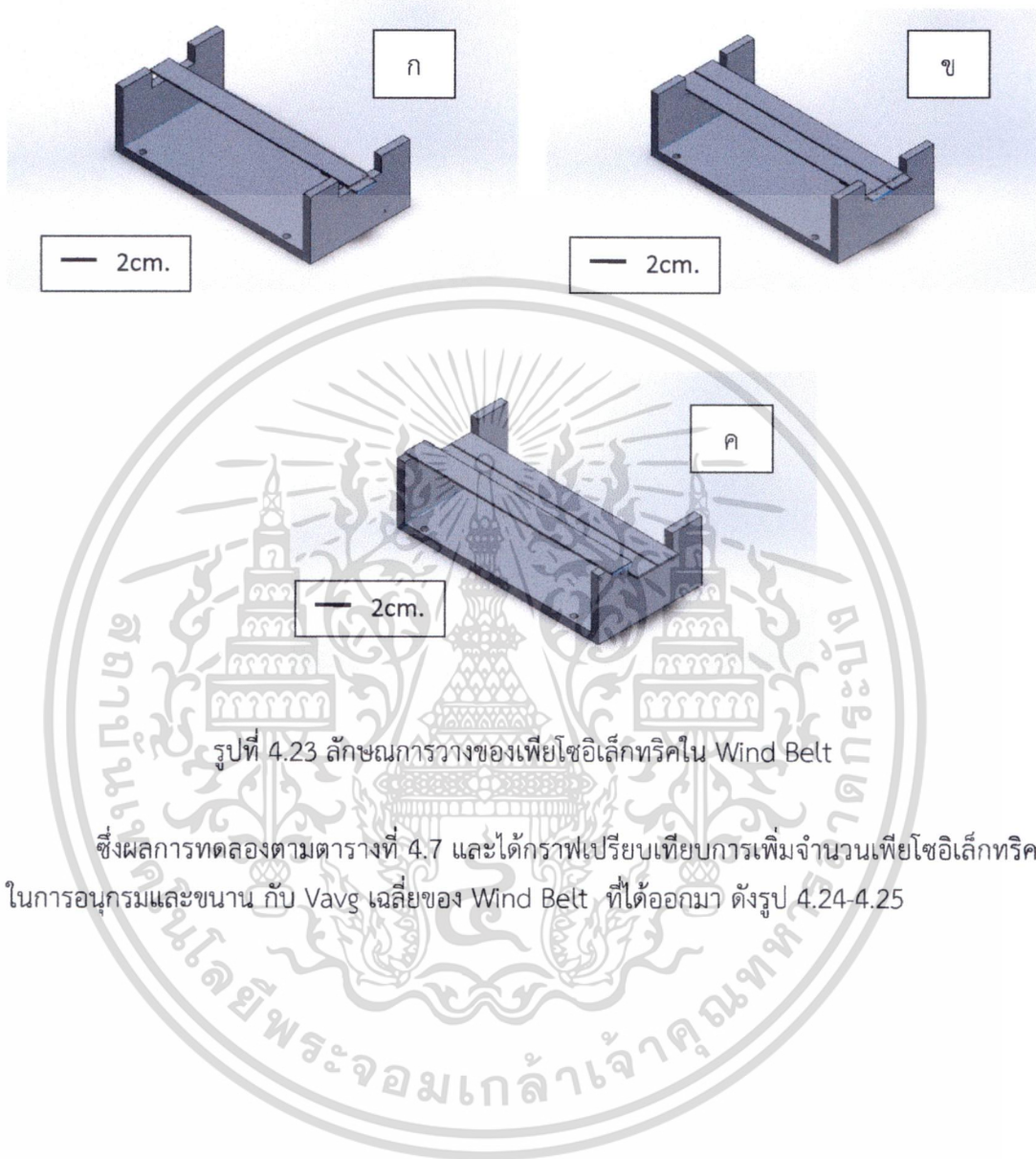
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความตึงของ Belt และระยะการตั้งของ Wind Belt กับ  $V_{rms}$  เฉลี่ยของระยะการติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซี 0.5 เซนติเมตร

จากรูป 4.20-4.22 จะเห็นได้ว่าความตึงของ Belt มีผลให้แรงดันต่างศักย์มีค่าน้อยแต่ในทางกลับถ้าปล่อย Belt ยาวเกินไป ก็จะทำให้เกิดการหักงอของ Wind Belt เพราะการสั่นเป็นการในอีกรูปแบบหนึ่งคือ ไม่ได้สั่นในแนวขึ้นลง แต่กลับกลายเป็นการสั่นในระดับราบไปกับพื้น ซึ่งจากการทดลองก็เห็นได้ว่าการทำให้มีขนาดความยาวไม่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการสั่นได้ดีที่สุด ซึ่งถ้ามองในทางเดียวกันคือใช้ขนาดเดียวกันแต่ระยะการติดเพียโซอิเล็กทริกต่างกันจะเห็นว่าระยะที่ติดปลายเพียโซอิเล็กทริกสามารถให้แรงดันต่างศักย์ออกมาได้มากที่สุด

#### 4.2.2 การทดลองการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริกโดยการต่ออนุกรมหรือขนานมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมา

จากการทดลองที่ 4.2.1 สามารถสรุปได้ว่า Belt ที่ดีควรจะมีขนาด 13.2 เซนติเมตร และควรมีระยะการติดของเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซีที่ระยะ 0.5 เซนติเมตร สามารถให้แรงดันต่างศักย์ออกมาได้มากที่สุด ซึ่งแต่แรงดันต่างศักย์ที่ได้ออกมานั้นยังไม่เยอะมากที่พอจะเข้าก็วงจรเก็บพลังงานได้ จึงทำให้เกิดการทดลองนี้ขึ้นมาว่า การเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริกจะสามารถให้แรงดันต่างศักย์เพิ่มขึ้น ซึ่งผลปรากฏว่าการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริกไม่ได้ทำให้แรงดันต่างศักย์เพิ่มขึ้นเป็นเพราะว่าการสั่นของเพียโซอิเล็กทริกแต่ละตัวมีการสั่นที่ไม่เท่ากัน จึงทำให้แรงดันต่างศักย์ที่ออกมามีค่าน้อยลง แต่เนื่องจากผลการทดลองที่ 4.2.1 จะเห็นว่าแรงดันต่างศักย์ที่ออกมานั้น สามารถผ่านวงจรเรียงกระแสโดยผ่านไดโอด รุ่น Bat 46 ได้ โดยการทดลองจะทดลองโดยการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริกที่ผ่านวงจรเรียงกระแส ว่าแรงดันต่างศักย์เป็นอย่างไรและการต่ออนุกรมและขนานของเพียโซอิเล็กทริกจะมีผลอย่างไรต่อแรงดันต่างศักย์ที่ออกมาอย่างไร โดยการทดลองจะเริ่มการทดลองโดยใช้เพียโซอิเล็กทริกเริ่มจาก 1 ตัว โดยให้มีขนาดของ Belt ยาว 13.2 เซนติเมตร มีระยะการติดเพียโซอิเล็กทริกกับแผ่นพีวีซีที่ระยะ 0.5 เซนติเมตร วาง Wind Belt ในอุโมงค์ ที่ระยะ 120

เซนติเมตร และที่ระยะ 150 เซนติเมตร และทำการเพิ่มเพียโซอิเล็กทริกจาก 1 เป็น 2 และ 3 ตามลำดับ โดยลักษณะการวาง Belt ใน Wind Belt วางดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ลักษณะการวางของเพียโซอิเล็กทริกใน Wind Belt

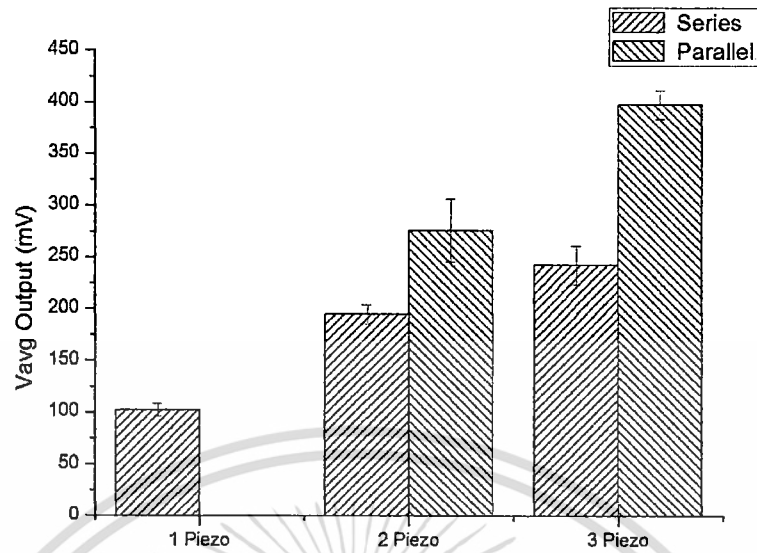
ซึ่งผลการทดลองตามตารางที่ 4.7 และได้กราฟเปรียบเทียบการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริกในการอนุกรมและขนาน กับ Vavg เฉลี่ยของ Wind Belt ที่ได้ออกมา ดังรูป 4.24-4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

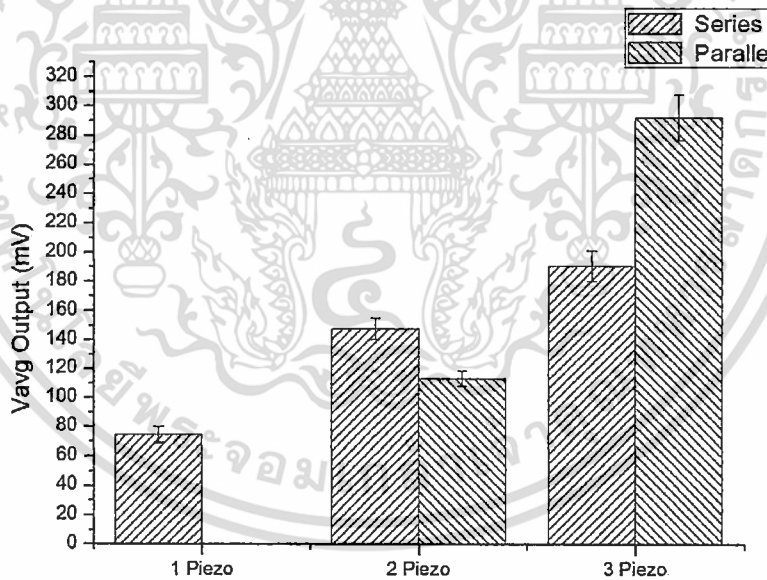
จำนวนเพีย โซอิเล็กทริก	ลักษณะ การต่อ	ระยะ การวาง Wind belt (cm.)	Vavg (mV)										Vavg เฉลี่ย (mV)
			ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5	ครั้งที่6	ครั้งที่7	ครั้งที่8	ครั้งที่9	ครั้งที่10	
1	-	120	103	101	98.3	107	103	100	106	107	82.5	114	102.18
		150	85.3	75.8	75.3	70.6	73.9	81.6	80.6	60.3	65.7	73.8	74.29
2	อนุกรม	120	200	199	179	201	186	215	211	190	188	179	194.8
		150	155	146	136	150	132	148	167	156	142	143	147.5
	ขนาน	120	293	271	264	249	218	206	329	335	300	293	275.8
		150	118	109	106	123	116	119	100	116	117	106	113
3	อนุกรม	120	206	283	277	254	242	253	232	230	242	203	242.2
		150	184	168	203	180	174	199	203	209	205	182	190.7
	ขนาน	120	384	380	381	372	403	411	412	391	437	405	397.6
		150	315	319	303	314	300	268	278	260	298	269	292.4

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองของการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการต่อเพียโซอิเล็กทริกและการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริก กับ Vavg เฉลี่ย ที่ จุด 120 เซนติเมตรจากแหล่งกำเนิดลม



รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบลักษณะการต่อเพียโซอิเล็กทริกและการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริก กับ Vavg เฉลี่ย ที่ จุด 150 เซนติเมตรจากแหล่งกำเนิดลม

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 ทำให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริกทำให้แรงดันต่างศักย์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

จากการทดลองที่ผ่านมาทั้งหมดทำให้ได้ข้อสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะต่างๆเพื่อให้ผู้สนใจเข้าใจในการทดลองดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. องศาการตั้งของตัวต้นแบบมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ ตัวต้นแบบที่ยาว 8 เซนติเมตร จะต้องตั้ง 0 องศา จึงจะให้แรงดันต่างศักย์สูงสุด แต่ ตัวต้นแบบที่ยาว 12 เซนติเมตร จะต้องตั้ง 45 องศา จึงจะให้แรงดันต่างศักย์สูงสุด และตัวต้นแบบที่ยาว 12 เซนติเมตร ที่ตั้ง 45 องศา จะให้แรงดันต่างศักย์สูงกว่า ตัวต้นแบบที่ยาว 8 เซนติเมตร ที่ตั้ง 0 องศาอีกด้วย

2. ความกว้างของตัวต้นแบบมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ แต่ผลลัพธ์ต่างกัน พิจารณาตัวต้นแบบที่ยาว 8 เซนติเมตร จะพบว่า เมื่อความกว้างเพิ่มขึ้น แรงดันต่างศักย์ก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อพิจารณาตัวต้นแบบที่ยาว 12 เซนติเมตร จะพบว่า เมื่อความกว้างเพิ่มขึ้น แรงดันต่างศักย์จะลดลงอย่างชัดเจน

3. ความหนาของตัวต้นแบบมีผลต่อแรงดันต่างศักย์ ทั้งตัวต้นแบบที่ยาว 8 เซนติเมตร และ 12 เซนติเมตร เมื่อเพิ่มความหนาจะทำให้แรงดันต่างศักย์ ลดลงอย่างชัดเจน

4. ความตึงของ Belt มีผลต่อแรงดันต่างศักย์ เมื่อมีความตึงมากเกินไปจะทำให้เกิดการสั่นน้อย แต่ทำให้เกิดทำให้หย่อนจนเกิดก็เกิดการสั่น แต่จะเป็นการสั่นในอีกรูปแบบหนึ่ง

5. การเพิ่มจำนวนเพียโซอิเล็กทริกจะทำให้แรงดันต่างเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นการต่อแบบอนุกรมหรือขนานก็ตาม

#### 5.2 ปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไข

1. ในการทดลองจำเป็นต้องหาความเร็วลมของแต่ละจุด ซึ่งลมที่ออกมาจากโบว์เวอร์ เป็นแบบลมหมุน ทำให้ยากต่อการวัดความเร็วลมจริงๆ ดังนั้นจึงใช้อุปกรณ์วัดความเร็วลมวัดความเร็วลมแต่ละจุดเป็นจำนวน 10 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้รู้ว่าจุดนั้นมีความเร็วลมเฉลี่ยเท่าไร

2. การยึดตัวต้นแบบให้ตั้งอยู่ในอุโมงค์ได้อย่างแข็งแรงไม่โดนกระแสลมพัดล้มได้ ดังนั้นจึงใช้ดินน้ำมันยึดตัวต้นแบบไว้ เมื่อเริ่มบันทึกผลจะพบว่าสัญญาณที่ออกมาครั้งแรกจะได้ค่ามากที่สุด นั่น ดังนั้นจึงต้องเปิด โบว์เวอร์ ไปสักครู่ จึงจะสามารถวัดค่าที่แท้จริงได้

3. จากการทดลองลองนั้นมีสัญญาณรบกวนสาเหตุหลักมาจากสายไฟที่ต่อ ยิ่งสายไฟยาวเท่าไร สัญญาณรบกวนยิ่งมากเท่านั้น ดังนั้นจึงออกแบบสายไฟให้สั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในการทำตัวต้นแบบนี้จำเป็นต้องมีการบัดกรีเกิดขึ้น การบัดกรีจะทำให้ เพียโซ เปลี่ยนคุณสมบัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงที่จะบัดกรีตรงๆกับ เพียโซ จึงใช้ เทอร์มินอล

4. จากการทดลองของ wind belt นั้นเนื่อง wind belt นั้นมีขนาดไม่ใหญ่มากเมื่อนำมาวางในอุโมงค์ลมนั้นแล้ววางบนพื้นซึ่งความเร็วลมในบริเวณมีความเร็วลมที่ไม่คงที่เลยทำการแก้ไขโดยนำกล่องขนาดความสูง 12 เซนติเมตรเพื่อให้ wind belt ตรงกับลมที่ออกมาจากโบว์เวอร์พอดี

### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในค้นคว้าพัฒนา

ตำแหน่งที่ตั้งตัวต้นแบบมีความสัมพันธ์กับการสั่นอย่างแน่นอน เพราะฉะนั้นในอนาคตควร จะทดลองตำแหน่งการตั้งที่หลากหลายด้วย วัสดุที่ใช้ทำตัวต้นแบบควรทดลองให้หลากหลายแล้ว บันทึกผลการทดลอง และนำมาเปรียบเทียบกัน รูปร่างต้นแบบควรเปลี่ยนให้เป็นรูปทรงแบบอื่น เพื่อ จะได้เป็นแนวทางในการพัฒนา ซึ่งจากการทดลองทั้งหมดทำให้เห็นว่าการทดลองนั้นเป็นการทดลอง ที่ใช้เพียโซอิเล็กทรอนิกส์เพียงจำนวน 1-3 ตัวเพียงเท่านั้นซึ่งแรงดันต่างศักย์ที่ออกมาเป็นจำนวนน้อย ดังนั้นถ้าต้องการพลังงานที่ออกมาเป็นจำนวนมากนั้นควรจะใช้เพียโซอิเล็กทรอนิกส์ให้มากกว่านี้ ซึ่งจะ สามารถกำเนิดพลังงานออกมาได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Wafi Danesh Nomir MuktaDir Sandip Bhowmick and Md. Shamaul Alama “proposal for large scale electricity generation from high pressure applications using piezoelectric materials”, International Journal of Science and Advanced Technology (ISSN 2221-8386)
- [2] Mickaël Lallart, Shashank Priya, Scott Bressers and Daniel J. Inman “Small-scale Piezoelectric Energy Harvesting Devices Using Low-energy-density Sources”, Journal of the Korean Physical Society, Vol. 57, No. 4, October 2010, pp. 947-951
- [3] Robert Myers, Mike Vickers, and Hyeoungwoo Kim “Small scale windmill” APPLIED PHYSICS LETTERS 90 Received 31 October 2006; accepted 27 December 2006; published online 31 January 2007
- [4] Hugh Piggott “How to build a WIND TURBINE”, the axial flux alternator windmill plans - May 2003 version
- [5] สำนักวิศวกรรมไม้เศรษฐกิจ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ “พลังงานลม”
- [6] ชาญณรงค์ น้อยบางยาง, ถาวร สุวรรณกิจ “ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกและการประยุกต์ใช้งาน”, วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2552
- [7] “สมการแบร์นูลลี กับ แรงยกใต้ปีก” [Online]. Available : <http://rungsinan-classroom.blogspot.com/2012/08/chill-chill.html>
- [8] “วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์” [Online]. Available : [http://www.sptc.ac.th/prapruet/devicesweb/books/book\\_4.htm](http://www.sptc.ac.th/prapruet/devicesweb/books/book_4.htm)
- [9] นางสาวสรญา ยงประยูร “ระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage)”
- [10] วัฒนพงษ์ รัชชวีเชียร และ นิพนธ์ เกตุจ้อย (2549) เอกสารประกอบรายวิชาการระบบสะสมพลังงาน, วิทยาลัยพลังงานทดแทน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, พิษณุโลก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# LDT with Crimps Vibration Sensor/Switch

## examples of properties

Four different experiments serve to illustrate the various properties of this simple but versatile component.

### Experiment #1

**LDT0 as Vibration Sensor** - with the crimped contacts pushed through a printed-circuit board, the LDT0 was soldered carefully in place to anchor the sensor. A charge amplifier was used to detect the output signal as vibration from a shaker table was applied (using a charge amplifier allows a very long measurement time constant and thus allows the "open-circuit" voltage response to be calculated). Small masses (approximately 0.26g increments) were then added to the tip of the sensor, and the measurement repeated. Results are shown in Table 1 and the overlaid plots in Fig. 1. Without adding mass, the LDT0 shows a resonance around 180 Hz. Adding mass to the tip reduces the resonance frequency and increases "baseline" sensitivity.

LDT0 Sensitivity: Effect of Added Mass (Figure 1)

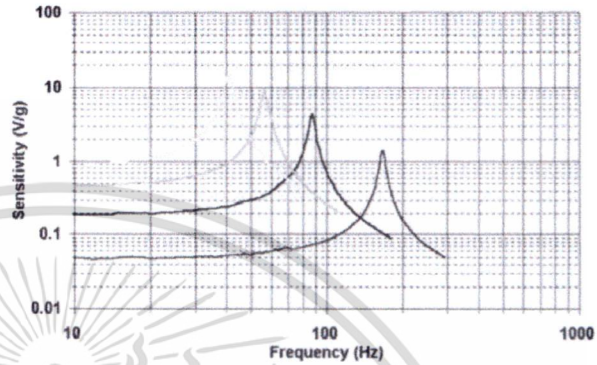


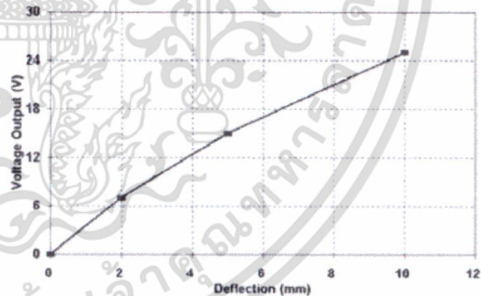
TABLE 1: LDT0 as Vibration Sensor (see Fig 1)

Added Mass	Baseline Sensitivity	Sensitivity at Resonance	Resonant Frequency	+3 Db Frequency
0	50 mV/g	1.4 V/g	180 Hz	90 Hz
1	200 mV/g	4 V/g	90 Hz	45 Hz
2	400 mV/g	8 V/g	60 Hz	30 Hz
3	800 mV/g	16 V/g	40 Hz	20 Hz

### Experiment #2

**LDT0 as Flexible Switch** - using a charge amplifier to obtain "open-circuit" voltage sensitivity the output was measured for controlled tip deflections applied to the sensor (supported by its crimped contacts as described above). 2 mm deflection was sufficient to generate about 7 V. Voltages above 70V could be generated by bending the tip of the sensor through 90° (see Table 2, Fig. 2).

LDT0: Voltage Output vs Tip deflection (Figure 2)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LDT with Crimps Vibration Sensor/Switch



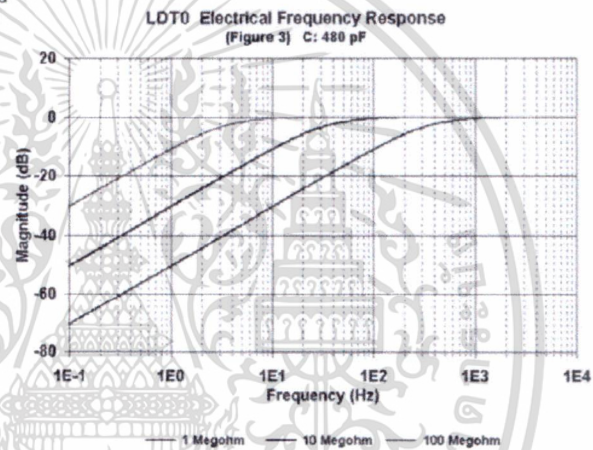
examples of Properties (continued)

**TABLE 2: LDT0 as Flexible Switch (see Fig 2)**

Tip Deflection	Charge Output	o/c Voltage Output
2 mm	3.4 nC	7 V
5 mm	7.2 nC	15 V
10 mm	10 - 12 nC	20 - 25 V
max (90E)	> 30 nC	> 70 V

### Experiment #3

**LDT0 Electrical Frequency Response** - when the source capacitance of around 480 pF is connected to a resistive input load, a high-pass filter characteristic results. Using an electronic noise source to generate broad-band signals, the effect of various load resistances was measured and the -3 dB point of the R-C filter determined (see Table 3, Fig. 3).



**TABLE 3: LDT0 Electrical Frequency Response**  
(see Fig 3)  
(480 pF source capacitance)

Load Resistance	-3 db Frequency
1 Megohm	330 Hz
10 Megohm	33 Hz
100 Megohm	3.3 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LDT with Crimps Vibration Sensor/Switch



### Experiment #4

**LDT0 Clamped at Different Lengths** - using simple clamping fixture, the vibration sensitivity was measured (as in (1) above) as the clamp was moved to allow different "free" lengths to vibrate. The sensor may be "tuned" to suit specific frequency response requirements (see Table 4, Fig. 4).

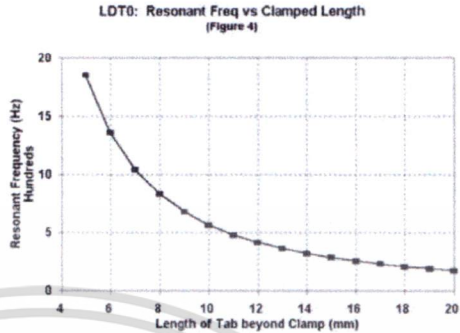


TABLE 4: LDT0 Clamped at Different Lengths (See Fig. 4)

Length Beyond Clamp	Resonant Frequency	Settling Time (5 cyc)
20 mm (no clamp)	180 Hz	28 msec
16 mm	250 Hz	20 msec
11 mm	500 Hz	10 msec
7 mm	1000 Hz	5 msec

The information in this sheet has been carefully reviewed and is believed to be accurate, however, no responsibility is assumed for inaccuracies. Furthermore, this information does not convey to the purchaser of such devices any license under the patent rights to the manufacturer. Measurement Specialties, Inc. reserves the right to make changes without further notice to any product herein. Measurement Specialties, Inc. makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its product for any particular purpose, nor does Measurement Specialties, Inc. assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. Typical parameters can and do vary in different applications. All operating parameters must be validated for each customer application by customer's technical experts. Measurement Specialties, Inc. does not convey any license under its patent rights nor the rights of others.

### ordering information

Description	Part Number
LDT0-028K	1002794-0
LDTM-028K	1005447-1

#### North America

Measurement Specialties, Inc.  
1000 Lucas Way  
Hampton, VA 23666  
Sales and Customer Service  
Tel: +1-800-745-8008 or  
+1-757-766-1500  
Fax: +1-757-766-4297  
Technical Support  
Email: [piezo@meas-spec.com](mailto:piezo@meas-spec.com)

#### Europe

MEAS Deutschland GmbH  
Hauert 13  
44227 Dortmund  
Germany  
Sales and Customer Service  
Tel: +49 (0)231 9740 21  
Technical Support  
Tel: +49 (0)6074 862822  
Email: [piezo@meas-spec.com](mailto:piezo@meas-spec.com)

#### Asia

Measurement Specialties (China), Ltd.  
No. 26 Langshan Road  
Shenzhen High-Tech Park (North)  
Nanshan District  
Shenzhen, China 518107  
Sales and Customer Service  
Tel: +86 755 3330 5088  
Technical Support  
Email: [piezo@meas-spec.com](mailto:piezo@meas-spec.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ภาคผนวก ก

## Anemometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Wind Speed Meter - Anemometer

tel: +44 (0)1946 816600

fax: +44 (0)1946 816625

email: sales@brannan.co.uk

web: www.brannan.co.uk



An easy to use, hand held, electronic instrument giving an accurate wind speed measurement and ambient temperature.

### Product Features:

- Wind speed measure in mph, ft/min, Km/h, m/s or knots
- Wind speed in Beaufort wind scale bar graph
- Wind chill display
- Temperature display in Celsius or Fahrenheit
- LCD back light
- Auto power off
- Neckband included
- 3V lithium battery operation

### Product Specifications:

Wind Speed Range				
Unit	Range	Resolution	Threshold	Accuracy
m/s	0 to 30	0.1	0.1	±5%
ft/min	0 to 5860	19	39	±5%
knots	0 to 55	0.2	0.1	±5%
km/hr	0 to 90	0.3	0.3	±5%
mph	0 to 65	0.2	0.2	±5%
Temperature Range				
Unit	Range	Resolution	Accuracy	
°C	-10 to +45°C	0.2	±2°C	
°F	14 to 113°F	0.36	±3.6°F	
Battery	CR2032.30V			
Bearing	Sapphire bearing			
Thermometer	NTC thermometer			
Operating Temperature	-10 to +45°C (-14 to 113°F)			
Operating Humidity	≤90% RH			
Store Temperature	-40 to +60°C (-40 to 140°F)			
Current Consumption	Approx 3 m A			
Weight	52g (including battery and lanyard)			
Product Number	13/430/0			



S Brannan & Sons Ltd

Leconfield Industrial Estate • Cleator Moor • Cumbria • CA25 5QE • UK

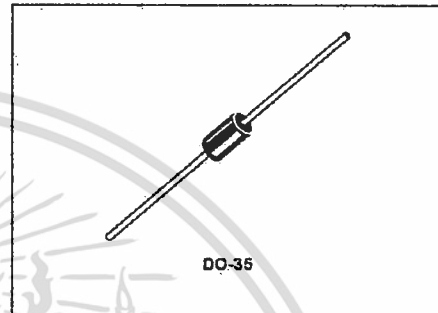


S/291055-2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**BAT46****SMALL SIGNAL SCHOTTKY DIODE****DESCRIPTION**

General purpose, metal silicon diode featuring high breakdown voltage low turn-on voltage.

**ABSOLUTE RATINGS (limiting values)**

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{RRM}$	Repetitive Peak Reverse Voltage	100	V
$I_F$	Forward Continuous Current*	$T_j = 25^\circ\text{C}$ 150	mA
$I_{FRM}$	Repetitive Peak Forward Current*	$t_p \leq 1\text{s}$ $\delta \leq 0.5$ 350	mA
$I_{FSM}$	Surge non Repetitive Forward Current*	$t_p = 10\text{ms}$ 750	mA
$P_{tot}$	Power Dissipation*	$T_j = 80^\circ\text{C}$ 150	mW
$T_{stg}$ $T_j$	Storage and Junction Temperature Range	- 65 to + 150 - 65 to + 125	$^\circ\text{C}$
$T_L$	Maximum Temperature for Soldering during 10s at 4mm from Case	230	$^\circ\text{C}$

**THERMAL RESISTANCE**

Symbol	Test Conditions	Value	Unit
$R_{th(j-a)}$	Junction-ambient*	300	$^\circ\text{C/W}$

\* On infinite heatsink with 4mm lead length.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## BAT46

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

## STATIC CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{BR}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_R = 100\mu\text{A}$	100			V
$V_F^*$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 0.1\text{mA}$			0.25	V
	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 10\text{mA}$			0.45	
	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 250\text{mA}$			1	
$I_R^*$	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_R = 1.5\text{V}$			0.5	$\mu\text{A}$
	$T_j = 60^\circ\text{C}$				5	
	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_R = 10\text{V}$			0.8	
	$T_j = 60^\circ\text{C}$				7.5	
	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_R = 50\text{V}$			2	
	$T_j = 60^\circ\text{C}$				15	
	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_R = 75\text{V}$			5	
	$T_j = 60^\circ\text{C}$				20	

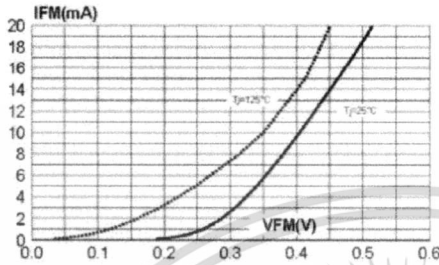
## DYNAMIC CHARACTERISTICS

Symbol	Test Conditions		Min.	Typ.	Max.	Unit
C	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_R = 0\text{V}$	f = 1Mhz	10	6	pF
	$T_j = 25^\circ\text{C}$	$V_R = 1\text{V}$				

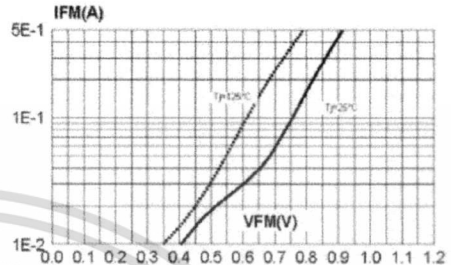
\* Pulse test:  $t_p \leq 300\mu\text{s}$ ,  $\delta < 2\%$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

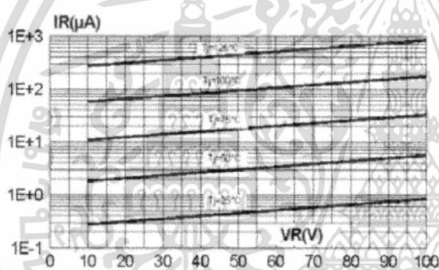
**Fig. 1-1:** Forward voltage drop versus forward current (low level, typical values)



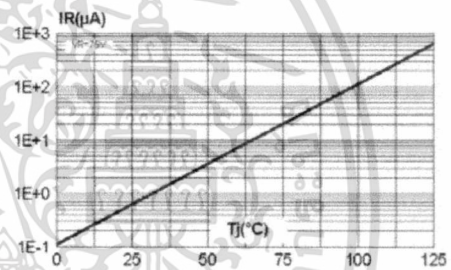
**Fig. 1-2:** Forward voltage drop versus forward current (high level, typical values)



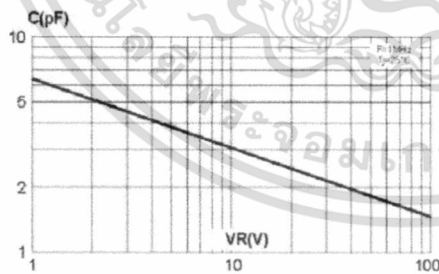
**Fig. 2:** Leakage current versus reverse voltage applied (typical values)



**Fig. 3:** Leakage current versus junction temperature (typical values)



**Fig. 4:** Junction capacitance versus reverse voltage applied (typical values)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## BAT46

## PACKAGE MECHANICAL DATA

DO-35

REF.	DIMENSIONS			
	Millimeters		Inches	
	Min.	Max.	Min.	Max.
A	3.05	4.50	0.120	0.177
B	1.53	2.00	0.060	0.079
C	28.00		1.102	
D	0.458	0.558	0.018	0.022

- Cooling method: by convection and conduction
- Marking: clear, ring at cathode end
- Weight: 0.15g

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All rights reserved.

STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia  
Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - U.S.A.

<http://www.st.com>



ภาคผนวก ก  
วงจร DC – DC MAX757

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



EVALUATION KIT AVAILABLE

## MAX756/MAX757

### 3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

#### General Description

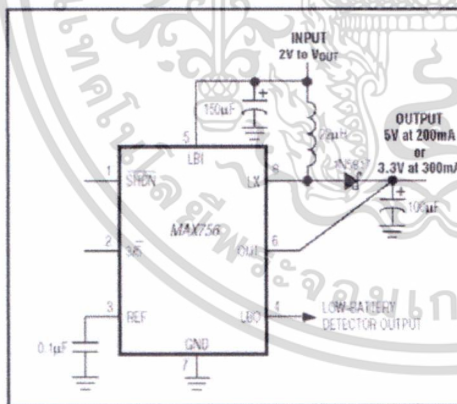
The MAX756/MAX757 are CMOS step-up DC-DC switching regulators for small, low input voltage or battery-powered systems. The MAX756 accepts a positive input voltage down to 0.7V and converts it to a higher pin-selectable output voltage of 3.3V or 5V. The MAX757 is an adjustable version that accepts an input voltage down to 0.7V and generates a higher adjustable output voltage in the range from 2.7V to 5.5V. Typical full-load efficiencies for the MAX756/MAX757 are greater than 87%.

The MAX756/MAX757 provide three improvements over previous devices. Physical size is reduced—the high switching frequencies (up to 0.5MHz) made possible by MOSFET power transistors allow for tiny (<5mm diameter) surface-mount magnetics. Efficiency is improved to 87% (10% better than with low-voltage regulators fabricated in bipolar technology). Supply current is reduced to 60µA by CMOS construction and a unique constant-off-time pulse-frequency modulation control scheme.

#### Applications

- 3.3V to 5V Step-Up Conversion
- Palmtop Computers
- Portable Data-Collection Equipment
- Personal Data Communicators/Computers
- Medical Instrumentation
- 2-Cell & 3-Cell Battery-Operated Equipment
- Glucose Meters

#### Typical Operating Circuit



#### Features

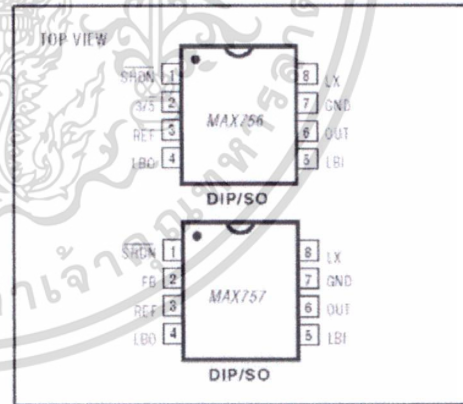
- † Operates Down to 0.7V Input Supply Voltage
- † 87% Efficiency at 200mA
- † 60µA Quiescent Current
- † 20µA Shutdown Mode with Active Reference and LBI Detector
- † 500kHz Maximum Switching Frequency
- † ±1.5% Reference Tolerance Over Temperature
- † Low-Battery Detector (LBI/LBO)
- † 8-Pin DIP and SO Packages

#### Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX756CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MAX756CSA	0°C to +70°C	8 SO
MAX756C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX756EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP
MAX756ESA	-40°C to +85°C	8 SO
MAX757CPA	0°C to +70°C	8 Plastic DIP
MAX757CSA	0°C to +70°C	8 SO
MAX757C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX757EPA	-40°C to +85°C	8 Plastic DIP
MAX757ESA	-40°C to +85°C	8 SO

\* Dice are tested at  $T_A = +25^\circ\text{C}$  only.

#### Pin Configurations



For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

19-0113; Rev. 2; 1/95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MAX756/MAX757

### 3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (OUT to GND)	-0.3V, -7V
Switch Voltage (LX to GND)	-0.3V, +7V
Auxiliary Pin Voltages (SHDN, LBI, LBO, REF, 3/5, FB to GND)	-0.3V, (V <sub>OUT</sub> + 0.3V)
Reference Current (I <sub>REF</sub> )	2.5mA
Continuous Power Dissipation (T <sub>A</sub> = +70°C)	
Plastic DIP (derate 9.09mW/°C above +70°C)	727mW
SO (derate 5.86mW/°C above +70°C)	471mW

#### Operating Temperature Ranges:

MAX75_C	0°C to +70°C
MAX75_E	-40°C to +65°C
Junction Temperature	+150°C
Storage Temperature Range	-65°C to +160°C
Lead Temperature (soldering, 10sec)	+300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

#### ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Circuits of Figure 1 and Typical Operating Circuit, V<sub>IN</sub> = 2.5V, I<sub>LOAD</sub> = 0mA, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage	MAX756, 3/5 = 0V, 0mA < I <sub>LOAD</sub> < 200mA	4.8	5.0	5.2	V
	MAX756, 3/5 = 3V, 0mA < I <sub>LOAD</sub> < 300mA	3.17	3.30	3.43	
	MAX757, V <sub>OUT</sub> = 5V, 0mA < I <sub>LOAD</sub> < 200mA	4.8	5.0	5.2	
Minimum Start-Up Supply Voltage	I <sub>LOAD</sub> = 10mA		1.1	1.8	V
Minimum Operating Supply Voltage (once started)	I <sub>LOAD</sub> = 20mA		0.7		V
Quiescent Supply Current in 3.3V Mode (Note 1)	I <sub>LOAD</sub> = 0mA, 3/5 = 3V, LBI = 1.25V, V <sub>OUT</sub> = 3.47V, FB = 1.3V (MAX757 only)			60	µA
Battery Quiescent Current Measured at V <sub>IN</sub> in Figure 1	Output set for 3.3V		60		µA
Shutdown Quiescent Current (Note 1)	SHDN = 0V, LBI = 1.25V, 3/5 = 3V, V <sub>OUT</sub> = 3.47V, FB = 1.3V (MAX757 only)		20	40	µA
Reference Voltage	No REF load, C <sub>REF</sub> = 0.1µF	1.23	1.25	1.27	V
Reference-Voltage Regulation	3/5 = 3V, -20µA < REF load < 250µA, C <sub>REF</sub> = 0.22µF		0.9	2.0	%
LBI Input Threshold	With rising edge	1.22	1.25	1.28	V
LBI Input Hysteresis			25		mV
LBO Output Voltage Low	I <sub>SENSE</sub> = 2mA			0.4	V
LBO Output Leakage Current	LBO = 5V			1	µA
SHDN, 3/5 Input Voltage Low				0.4	V
SHDN, 3/5 Input Voltage High		1.6			V
SHDN, 3/5, FB, LBI Input Current	LBI = 1.25V, FB = 1.25V, SHDN = 0V or 3V, 3/5 = 0V or 3V			±100	nA
FB Voltage	MAX757	1.22	1.25	1.28	V
Output Voltage Range	MAX757, I <sub>LOAD</sub> = 0mA (Note 2)	2.7		5.5	V

**Note 1:** Supply current from the 3.3V output is measured with an ammeter between the 3.3V output and OUT pin. This current correlates directly with actual battery supply current, but is reduced in value according to the step-up ratio and efficiency.

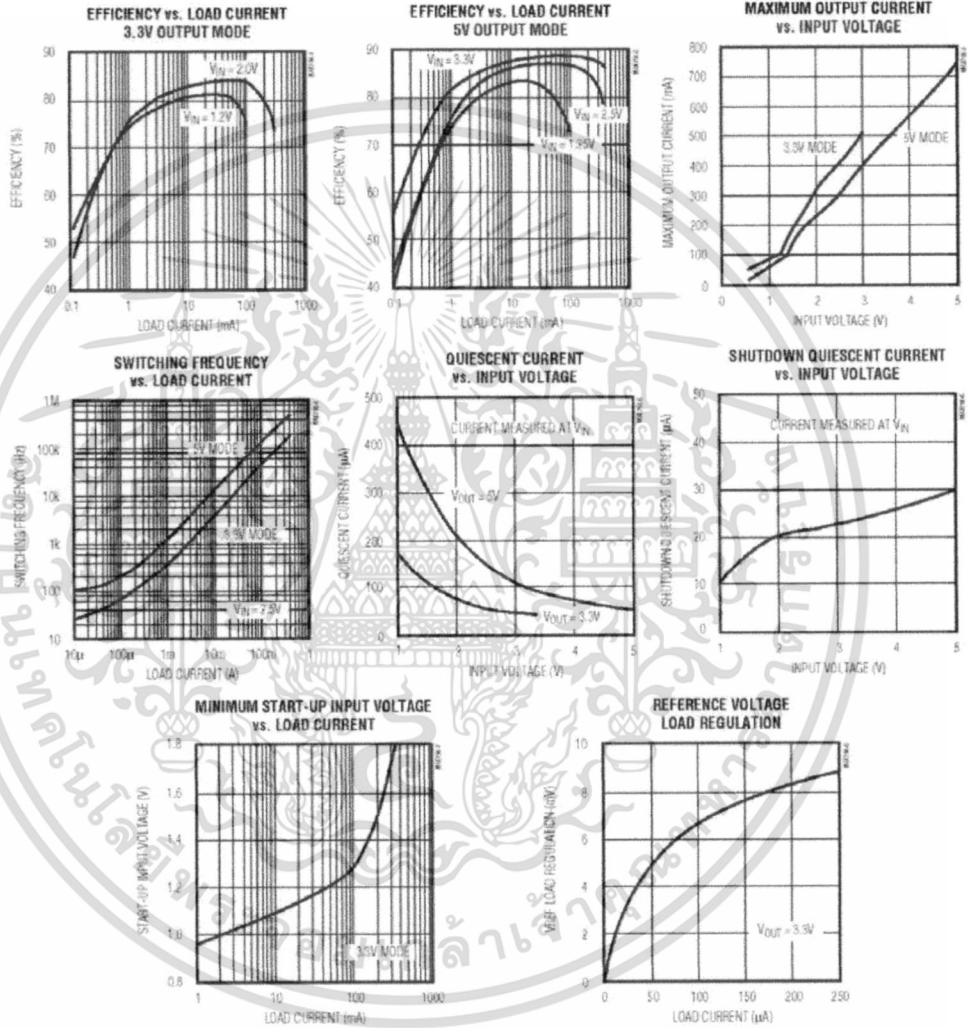
**Note 2:** Minimum value is production tested. Maximum value is guaranteed by design and is not production tested.

# MAX756/MAX757

## 3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

### Typical Operating Characteristics

(Circuit of Figure 1,  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)



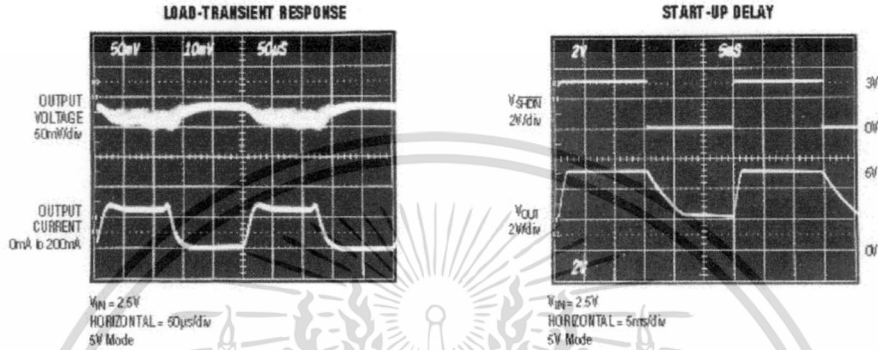
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MAX756/MAX757

### 3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

#### Typical Operating Characteristics (continued)

(Circuit of Figure 1,  $T_A = +25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)



#### Pin Description

PIN		NAME	FUNCTION
MAX756	MAX757		
1	1	SHDN	Shutdown Input disables SMPS when low, but the voltage reference and low-battery comparator remain active.
2	-	3.5	Selects the main output voltage setting; 5V when low, 3.3V when high.
-	2	FB	Feedback Input for adjustable output operation. Connect to an external voltage divider between OUT and GND.
3	3	REF	1.25V Reference Voltage Output. Bypass with 0.22 $\mu\text{F}$ to GND (0.1 $\mu\text{F}$ if there is no external reference load). Maximum load capability is 250 $\mu\text{A}$ source, 20 $\mu\text{A}$ sink.
4	4	LBO	Low-Battery Output. An open-drain N-channel MOSFET sinks current when the voltage at LBI drops below +1.25V.
5	5	LBI	Low-Battery Input. When the voltage on LBI drops below +1.25V, LBO sinks current. Connect to $V_{IN}$ if not used.
6	6	OUT	Connect OUT to the regulator output. It provides bootstrapped power to both devices, and also senses the output voltage for the MAX756.
7	7	GND	Power Ground. Must be low impedance; solder directly to ground plane.
8	8	LX	1A, 0.5 $\Omega$ N-Channel Power MOSFET Drain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MAX756/MAX757

### 3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

#### Detailed Description

##### Operating Principle

The MAX756/MAX757 combine a switch-mode regulator with an N-channel MOSFET, precision voltage reference, and power-fail detector in a single monolithic device. The MOSFET is a "sonso-FET" type for best efficiency, and has a very low gate threshold voltage to ensure start-up under low-battery voltage conditions (1.1V typ).

##### Pulse-Frequency Modulation Control Scheme

A unique minimum off time, current-limited, pulse-frequency modulation (PFM) control scheme is a key feature of the MAX756/MAX757. This PFM scheme combines the advantages of pulse-width modulation (PWM) (high output power and efficiency) with those of a traditional PFM pulse-skipper (ultra-low quiescent currents). There is no oscillator; at heavy loads, switching is accomplished through a constant peak-current limit in the switch, which allows the inductor current to self-oscillate between this peak limit and some lesser value. At light loads, switching frequency is governed by a pair of one-shots, which set a minimum off-time (1 $\mu$ s) and a maximum on-time (4 $\mu$ s). The switching frequency depends on the load and the input voltage, and can range as high as 500kHz.

The peak switch current of the internal MOSFET power switch is fixed at 1A  $\pm$ 0.2A. The switch's on resistance is typically 0.5 $\Omega$ , resulting in a switch voltage drop ( $V_{sw}$ ) of about 500mV under high output loads. The value of  $V_{sw}$  decreases with light current loads.

Conventional PWM converters generate constant-frequency switching noise, whereas this architecture produces variable-frequency switching noise. However, the noise does not exceed the switch current limit times the filter-capacitor equivalent series resistance (ESR), unlike conventional pulse-skippers.

##### Voltage Reference

The precision voltage reference is suitable for driving external loads such as an analog-to-digital converter. It has guaranteed 250 $\mu$ A source-current and 20 $\mu$ A sink-current capability. The reference is kept alive even in shutdown mode. If the reference drives an external load, bypass it with 0.22 $\mu$ F to GND. If the reference is unloaded, bypass it with at least 0.1 $\mu$ F.

##### Control-Logic Inputs

The control inputs (3/5, SHDN) are high-impedance MOS gates protected against ESD damage by normally reverse-biased clamp diodes. If these inputs are driven from signal sources that exceed the main supply

voltage, the diode current should be limited by a series resistor (1M $\Omega$  suggested). The logic input threshold level is the same (approximately 1V) in both 3.3V and 5V modes. Do not leave the control inputs floating.

#### Design Procedure

##### Output Voltage Selection

The MAX756 output voltage can be selected to 3.3V or 5V under logic control, or it can be left in one mode or the other by tying 3/5 to GND or OUT. Efficiency varies depending upon the battery and the load, and is typically better than 80% over a 2mA to 200mA load range. The device is internally bootstrapped, with power derived from the output voltage (via OUT). When the output is set at 5V instead of 3.3V, the higher internal supply voltage results in lower switch-transistor on resistance and slightly greater output power. Bootstrapping allows the battery voltage to sag to less than 1V once the system is started. Therefore, the battery voltage range is from  $V_{OUT} + V_D$  to less than 1V (where  $V_D$  is the forward drop of the Schottky rectifier). If the battery voltage exceeds the programmed output voltage, the output will follow the battery voltage. In many systems this is acceptable; however, the output voltage must not be forced above 7V.

The output voltage of the MAX757 is set by two resistors, R1 and R2 (Figure 1), which form a voltage divider between the output and the FB pin. The output voltage is set by the equation:

$$V_{OUT} = (V_{REF}) [(R2 + R1) / R2]$$

where  $V_{REF} = 1.25V$ .

To simplify resistor selection:

$$R1 = (R2) [(V_{OUT} / V_{REF}) - 1]$$

Since the input bias current at FB has a maximum value of 100nA, large values (10k $\Omega$  to 200k $\Omega$ ) can be used for R1 and R2 with no significant loss of accuracy. For 1% error, the current through R1 should be at least 100 times FB's bias current.

##### Low-Battery Detection

The MAX756/MAX757 contain on-chip circuitry for low-battery detection. If the voltage at LBI falls below the regulator's internal reference voltage (1.25V), LBO (an open-drain output) sinks current to GND. The low-battery monitor's threshold is set by two resistors, R3 and R4 (Figure 1), which forms a voltage divider between the input voltage and the LBI pin. The threshold voltage is set by R3 and R4 using the following equation:

$$R3 = [(V_{IN} / V_{REF}) - 1] (R4)$$

## MAX756/MAX757

### 3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

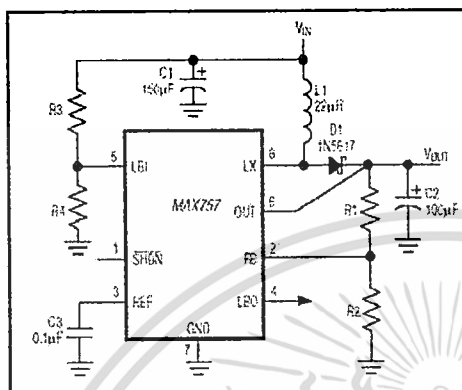


Figure 1. Standard Application Circuit

where  $V_{IN}$  is the desired threshold of the low-battery detector,  $R3$  and  $R4$  are the input divider resistors at LBI, and  $V_{REF}$  is the internal 1.25V reference.

Since the LBI current is less than 100nA, large resistor values (typically 10k $\Omega$  to 200k $\Omega$ ) can be used for  $R3$  and  $R4$  to minimize loading of the input supply.

When the voltage at LBI is below the internal threshold, LBO sinks current to GND. A pull-up resistor of 10k $\Omega$  or more connected from LBO to  $V_{OUT}$  can be used when driving CMOS circuits. Any pull-up resistor connected to LBO should not be returned to a voltage source greater than  $V_{OUT}$ . When LBI is above the threshold, the LBO output is off. The low-battery comparator and reference voltage remain active when the MAX756/MAX757 is in shutdown mode.

If the low-battery comparator is not used, connect LBI to  $V_{IN}$  and leave LBO open.

#### Inductor Selection

The inductors should have a saturation (incremental) current rating equal to or greater than the peak switch-current limit, which is 1.2A worst-case. However, it's generally acceptable to bias the inductor into saturation by 20%, although this will reduce the efficiency.

The 22 $\mu$ H inductor shown in the typical applications circuit is sufficient for most MAX756/MAX757 application circuits. Higher input voltages increase the energy transferred with each cycle, due to the reduced input/output differential. Minimize excess ripple due to increased energy transfer by reducing the inductor value (10 $\mu$ H suggested).

The inductor's DC resistance significantly affects efficiency. For highest efficiency, limit L1's DC resistance to 0.03 $\Omega$  or less. See Table 1 for a list of suggested inductor suppliers.

Table 1. Component Suppliers

PRODUCTION METHOD	INDUCTORS	CAPACITORS
Surface-Mount	Sunnic CD54-220 (22 $\mu$ H) CoilCraff DT3316-223 Coiltronics CTX20-1	AVX TPS series Sprague 635D series
Miniature Through-Hole	Sunnic RCH654-220	Sanyo OS-CON OS-CON series low-ESR organic semiconductor
Low-Cost Through-Hole	CoilCraff PCH-27-223	Nichicon PI series low-ESR electrolytic United Chemi-Con LXF series

AVX	USA: (207) 262-5111, FAX (207) 263-1941 (600) 282-9976
CoilCraff	USA: (708) 639-6400, FAX (708) 639-1969
Coiltronics	USA: (407) 241-7676, FAX (407) 241-8539
CoilCraff Semiconductor	USA: (214) 230-1569
Motorola	USA: (602) 244-3576, FAX (602) 244-4015
Nichicon	USA: (708) 846-7500, FAX (708) 843-2798 Japan: +81-7-6231-8461, FAX (+81-7-6256-4166)
Nihon	USA: (605) 667-2555, FAX (605) 667-2556 Japan: +81-3-3494-7411, FAX (+81-3-3494-7414)
Sanyo OS-CON	USA: (619) 661-6635 Japan: +81-729-70-1005, FAX (+81-720-70-1174)
Sprague	USA: (603) 224-1961, FAX (603) 224-1430
Sunnic	USA: (708) 958-0666 Japan: +81-3-3237-5111, FAX (+81-3) 3207-5428
United Chemi-Con	USA: (708) 636-2000, FAX (708) 640-6311

#### Capacitor Selection

A 100 $\mu$ F, 10V surface-mount (SMT) tantalum capacitor typically provides 50mV output ripple when stepping up from 2V to 5V at 200mA. Smaller capacitors, down to 10 $\mu$ F, are acceptable for light loads or in applications that can tolerate higher output ripple.

## MAX756/MAX757

### 3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

#### Rectifier Diode

The ESR of both bypass and filter capacitors affects efficiency. Best performance is obtained by using specialized low-ESR capacitors, or connecting two or more filter capacitors in parallel. The smallest low-ESR SMT tantalum capacitors currently available are Sprague 595D series, which are about half the size of competing products. Sanyo OS-CON organic semiconductor through-hole capacitors also exhibit very low ESR, and are especially useful for operation at cold temperatures. Table 1 lists suggested capacitor suppliers.

For optimum performance, a switching Schottky diode, such as the 1N5817, is recommended. 1N5817 equivalents are also available in surface-mount packages from Collmer Semiconductor in Dallas, TX, phone (214) 233-1589. The part numbers are SE014 or SE024. For low output power applications, a pn junction switching diode, such as the 1N4148, will also work well, although efficiency will suffer due to the greater forward voltage drop of the pn junction diode.

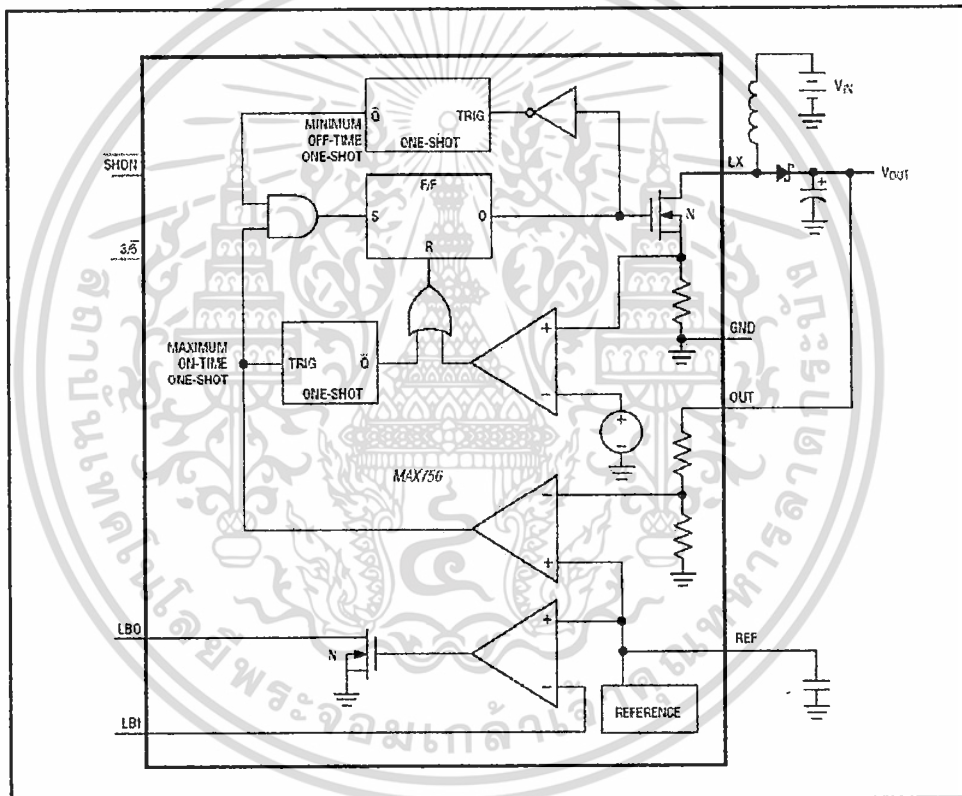


Figure 2. MAX756 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

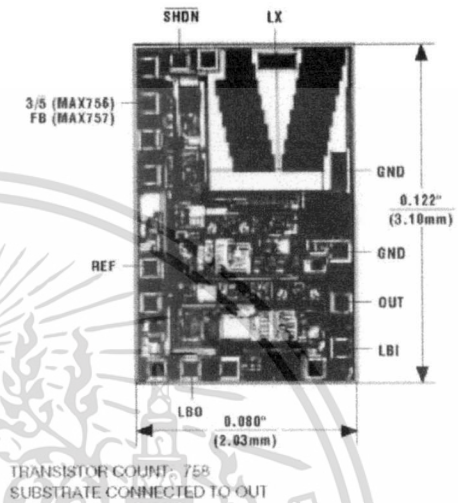
## MAX756/MAX757

### 3.3V/5V/Adjustable-Output, Step-Up DC-DC Converters

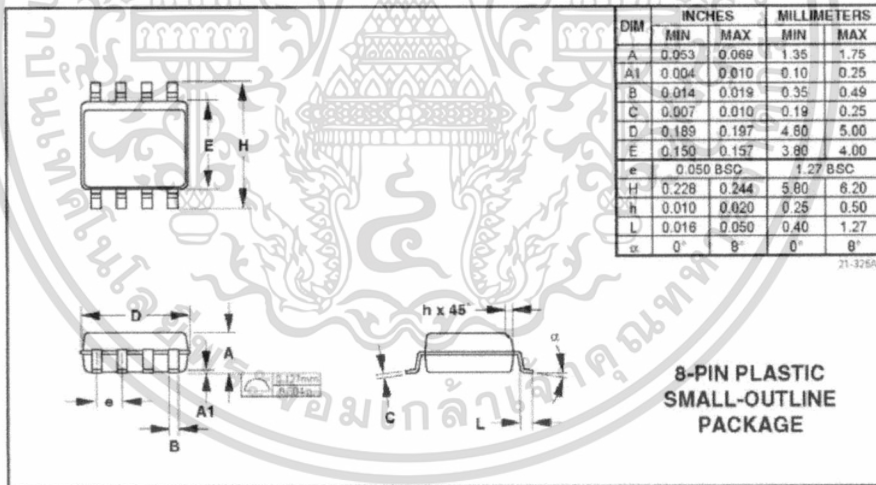
#### PC Layout and Grounding

The MAX756/MAX757 high peak currents and high-frequency operation make PC layout important for minimizing ground bounce and noise. The distance between the MAX756/MAX757's GND pin and the ground leads of C1 and C2 in Figure 1 must be kept to less than 0.2" (5mm). All connections to the FB and LX pins should also be kept as short as possible. To obtain maximum output power and efficiency and minimum output ripple voltage, use a ground plane and solder the MAX756/MAX757 GND (pin 7) directly to the ground plane.

#### Chip Topography



#### Package Information



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Humdinger Wind Belt Kit



instructions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## About KidWind

The KidWind Project is a team of teachers, students, engineers and practitioners exploring the science behind wind energy in classrooms around the US. Our goal is to introduce as many people as possible to the elegance of wind power through hands-on science activities which are challenging, engaging and teach basic science principles.

While improving science education is our main goal, we also aim to help schools become important resources for students, and the general public, to learn about and see wind energy in action. [www.KidWind.org](http://www.KidWind.org)



Our plastic components are made from recycled resins.

## About Humdinger

Humdinger, a Hawaii limited liability company with a wholly-owned subsidiary (Humdinger Wind Energy (HK) Limited) in Hong Kong, is primarily a research and development house focused on pushing forward the development of the Windball™ technology. Through its growing intellectual property base in the US and abroad, Humdinger manages rights to the Windball™ and several additional enabling innovations in power conditioning, linear alternator design, and aerodynamic numerical modeling.

The Humdinger Windball was developed in partnership between the KidWind Project and Humdinger. [www.humdingerwind.com](http://www.humdingerwind.com)



Made in US

We source domestically whenever possible, and assemble and pack our kits in St. Paul, MN.

## A Note on Reproduction

This work may not be reproduced by mechanical or electronic means without written permission from KidWind, except for educational uses by teachers in a classroom situation or a teacher training workshop. For permission to copy portions or all of this material for other purposes, such as for inclusion in other documents, please contact Michael Arquin at the KidWind Project: [michael@KidWind.org](mailto:michael@KidWind.org)

**We Give Back** 

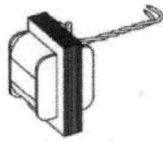
Proceeds from your purchase help us train and supply teachers.

V3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Humdinger Windbelt Kit

### Parts



Stator (2)



Bolt (4)



Washer (4)



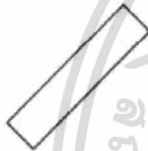
Lock nut (4)



Washer, small (4)



Spool (2)



Tape (1)



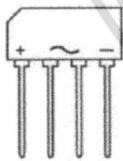
Belt (1)



Magnets (4)



Alligator clip cords (2)



Rectifier (1)



LED (2)

### Parts

- 2 Stator
- 4 Tap bolt
- 4 Washers
- 4 Nylon insert lock nut
- 4 Washer, 1/4"
- 2 Spool
- 1 Double-sided tape
- 1 Belt
- 2 Magnet, 1/8" thick
- 2 Magnet, 1/16" thick
- 2 Alligator clip cord sets
- 1 Rectifier
- 1 LED, red
- 1 LED, bi-color

### You need to supply

- 1 Measuring tool to measure the one-meter distance (about 39 inches) between bolt holes.
  - Wrenches for above bolts and nuts.
  - 1 Drill or other tool to form holes through the cardboard tube.
  - 1 Cutting blade (box cutter or hacksaw blade) to form notch for stator in the cardboard tube.
  - Double-sided tape (to attach magnets to belt).
  - Tape: duct tape, masking tape, filament tape, etc.
  - 1 Straightedge to mark belt for cutting.
  - 1 Blade or scissors to cut belt.
- A small carpenter's square helps make sure the bolt holes are perpendicular to the tube, should you choose to make your frame with one.
- Congratulations, you are about to embark on a creative journey. Kid-Wind has provided the basic parts needed for a Windbelt. We have not included materials needed to construct the "frame." You will have to design and try your own. We are including suggested design ideas; you can use them or ignore them. When you get your Windbelt to work, we'd love to see photos of it!

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MAKE YOUR OWN BELT**

The pre-cut belt has a width of about  $\frac{3}{4}$  inch, and a length of about 43 inches. If you want to try different widths, you can cut the additional belt material. The belt can be slit to width with a blade and straight-edge; or marked and cut with a scissors.

**A TIP ON BELT LENGTH**

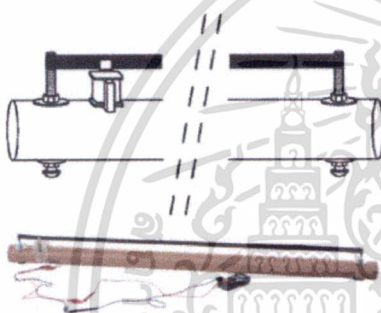
The materials will work the best if the mounted length of the belt is about one meter (about 39 inches). But feel free to try anything else.

**Design ideas**

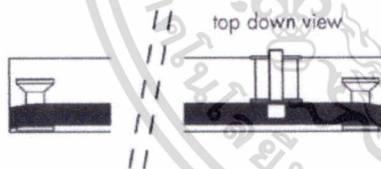
- Film canisters, hand held. (plastic pipe ends, pieces of wood dowels.)
- Step on one end, hold film canister in hand.
- Film canisters, or other spools with belt taped to back of board.
- Bolts on a board.
- Two boards with hinge.
- Turnbuckle on a board.
- Wood workers clamp as frame.
- Pipe-clamp as frame.
- Suspend a weight from ends of belt, as it goes over vertical supports.

**Important operating considerations**

- A belt vibrating at a higher frequency produces higher voltage.
- The magnitude of the magnets' vibration influences electrical output.
- The wind speed is very important. The Windbelt will work much better with a high quality metal fan, than with an inexpensive plastic fan.
- Also, try using two plastic window fans next to each other, so that they both blow onto the Windbelt.
- Belt tension is extremely important and must be fine-tuned.
- The distance from magnets to the stator is extremely important. The magnets must be very close to the stator without the belt rubbing the stator.



You can use a cardboard shipping tube to make a frame for your Windbelt.

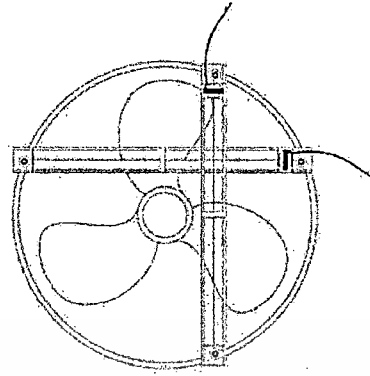


You can use wooden spools to tension your belt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Operation

1. Place the Windbelt so it receives maximum air from the fan. The Windbelt can be horizontal or vertical.
2. Turn on fan. Adjust tension in the Windbelt (by turning either bolt) until the belt vibrates. Make sure that the magnets are always directly in front of the stator.
3. You may use your hand on the belt (on the end opposite the stator) to apply tension to see how it affects the belt vibrations.
4. Sometimes the belt will go into a "torsional" mode (rotating back and forth along its length); this torsion will allow the Windbelt to produce a minimal amount of electricity. But the Windbelt produces more power if the belt is in "longitudinal" mode (a long wave throughout the belt that looks like half of a sine wave if viewed from the side).
5. If the belt is in a torsional mode, you can often prod it into longitudinal mode by touching it with a finger, by changing the tension with a finger, or by slightly changing the angle to the fan.



Place windbelt across your fan so that the full length of the belt is inside the air stream, but so that it does not cross the lower-speed center of the fan.

Windbelts can be placed in front of the fan horizontally or vertically.

## Experiments

Change these variables and observe any changes in production.

### Wind Speed

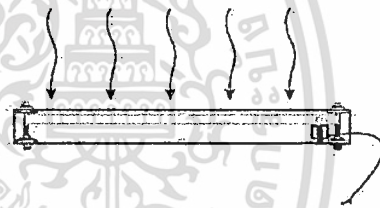
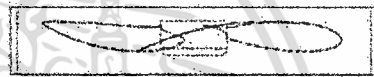
- Vary the fan speed.
- Hold the Windbelt at various distances from the fan.
- Hold the Windbelt at various angles to the fan.
- On a windy day, take the Windbelt outside.

### Magnets

- Change the standard pair of magnets to another pair (always use two of the same size magnets). Mount the magnets on the belt as previously described. If you want to try the Windbelt with other magnets, [www.kjmagnetics.com](http://www.kjmagnetics.com) is one good source.

### Belt

- Take off the narrow belt and install the wide belt (mount magnets to the wide belt first).
- Use your fingers (starting at the end opposite of the stator) to pinch the belt. Move your fingers toward the stator, effectively shortening the belt.
- Stator and Magnets: Move them to a different location along the belt.
- Wire two or more Windbelts in parallel to power a bigger load.
- Does adding an electrical load change the vibration of the belt?



Orient the windbelt so that the belt side is facing the fan. If the magnet sticks to the stator, you can try flipping the orientation so that the wind blows the belt and magnet away from the stator. A better long-term fix is to readjust the belt so that it sits slightly further from the stator.

**A NOTE ON FANS**

The Classic Windbelt will only work well with a powerful fan. It works best with wind speeds of 15mph (7m/s) or higher. High quality metal fans tend to be more powerful than cheap plastic ones. A metal cage is one sign of a strong fan.

When shopping for a fan, another good indicator of fan power is the amount of electricity it draws. Look at the specs to find amperage. Many weaker fans draw less than 1 amp. These will not work. Look for a fan that draws around 2 amps.

**Troubleshoot**

Q: What if the belt will not vibrate?

A: Make sure you are using a high power fan. Adjust the belt to more and less tension (as the Windbelt is in the moving airstream). Make sure the magnets are not "stuck" to the stator. If you mounted the belt so close to the stator that the magnets are clinging to the stator, try rotating the Windbelt so that the wind blows through it from the other side. Otherwise, remount the belt with proper spacing between the belt and stator.

Q: The belt is vibrating but I am not getting any electrical output.

A: Make sure all the wires have good connections, that the stator is installed in the proper orientation and that the pair of magnets is close to—but not touching—the stator.

Longitudinal flutter is more effective at generating electricity than torsional flutter.



Q: The belt seems to be in torsion, and is generating very little electrical output.

A: Measure the electrical output (if any) with a meter so you have a comparison. Then flick the belt with your finger. If that does not work, vary the belt tension with your fingers. Try rotating the Windbelt so the air blows through it from the other side.

Torsional flutter often occurs when the belt is incorrectly tensioned, misaligned on the pulleys, or too close to the stator. For consistent longitudinal oscillations, reinstall the belt.

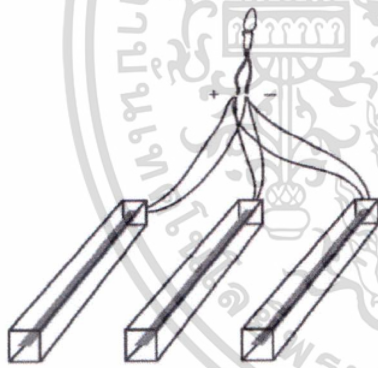
Q: The belts loosen and will not hold the belt in tension.

A: Tighten the pulleys slightly.

Q: Is it ok to hook up two or more units together to power a bigger load?

A: Yes, as long as you hook them up in parallel (positive to positive, and negative to negative).

Note: If you hook them up in series, the induced current from one Windbelt may flow through the coil of the other Windbelt, and potentially disrupt the induced current generation of that generator.



Windbelts wired in parallel.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q: Does it matter if the Windbelt is horizontal or vertical when it is in front of the fan?

A: No

Q: What is the expected electrical output?

A: 10mV to 100mV (milliWatts), depending on wind speed. At 6m/s wind speed, around 50mV delivered to a load. Voltage, unloaded, will be around 2-3 Volts AC before rectification.

Q: What is the difference between AC and DC?

A: Read the descriptions at the end of this manual.

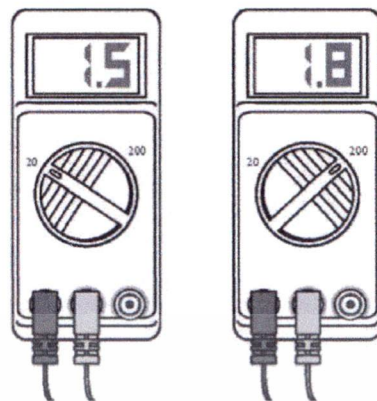
Q: How does moving a magnet past a coil generate electricity?

A: The process is called induction. See description at the end of this manual.

Q: At what frequency does the Windbelt usually vibrate?

A: The 0.5 meter Windbelts will vibrate at around 70-100 Hz. The 1 meter Windbelt vibrates at a lower frequency, 20-50 Hz range ideally. Frequency varies, depending on belt thickness, belt tension, wind speed, etc.

#### Using your multimeter



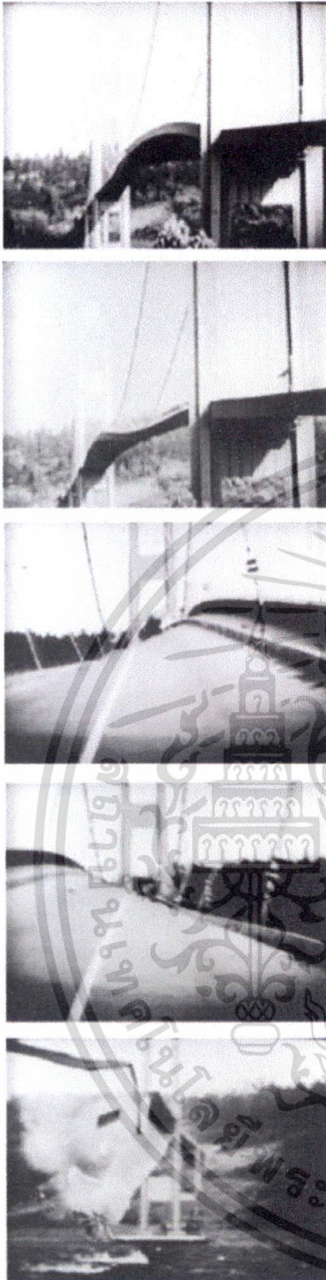
Measuring DC voltage

Measuring AC voltage

#### THE PRACTICAL VALUE OF ELECTRICITY

*"One day sir, you may tax it."*  
— Faraday's supposed reply to the British Minister of Finance,  
when asked about any practical value of electricity.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

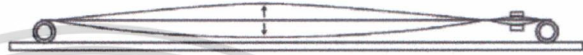


## Windbelt Theory

Until recently, the only viable wind harvesting device was the turbine. Humdinger's Windbelt is the first non-incremental innovation beyond this century-old approach.

Instead of using conventional geared, rotating airfoils to pull energy from the wind, the Windbelt relies on an aerodynamic phenomenon known as aeroelastic flutter ('flutter'). While the phenomenon is a well-known destructive force, researchers at Humdinger have discovered that it can also be a useful and powerful mechanism for catching the wind at scales and costs beyond the reach of turbines.

At its heart, The Windbelt uses a tensioned membrane undergoing a flutter oscillation to pull energy from the wind.



To picture how this works, think of how you held a blade of grass between your fingers as a kid and made it whistle—or how the strapping on a truck can be seen moving in the wind. That is roughly how the Windbelt can pull energy from the wind—then, it's a second step to turn that energy of the moving membrane into electricity, which is done by actuating new types of linear generators.

The Tacoma Narrows bridge collapse is a famous example of the destructive power of aeroelastic flutter. The bridge across Puget Sound opened on July 1, 1940. Four months later a strong continuous wind induced oscillation into the structure, which showed torsional and longitudinal flutter, eventually causing its collapse. The photos on the right are stills from video footage of that flutter and collapse. Structural engineers studied the failure; newer suspension bridges were built differently to avoid such oscillation.

A clarinet reed is another, more constructive example of flutter. Air passing through the mouthpiece sets up a vibration in the reed. Certain techniques are required from the musician, which then produce a pleasing sound.

How does the Windbelt turn its 'flutter' into electricity? A pair of magnets is fastened to the belt, so as the belt moves up and down the magnets follow the same motion. This motion of the magnets takes place directly next to the stator coil. A magnetic field moving next to a coil of wire induces a current to flow. As generated, the electricity is alternating current (AC). This AC may be converted to direct current (DC) with the enclosed rectifier.

## Electricity

### Direct Current (DC)

DC is the flow of electric charge in only one direction. You may wish to think of water flowing constantly in a river, or water flowing in a pipe. It flows constantly in one direction. In an ideal world, DC flows at a constant rate. For instance a fully charged battery will provide a steady flow of electricity to a light bulb. But in the real world sometimes the rate of DC flow varies; engineers who design electronic circuits often put "filters" into the circuit to try to maintain the flow as steadily as possible. If the flow is not steady, then devices such as your computer or television will not work as they should.

DC is used in almost all electronic devices. How is this done since they are usually plugged into a wall outlet that provides AC? They have a part called the Power Supply, which converts household AC to the required DC.

### Alternating Current (AC)

AC is very different from DC. With AC, the flow of electric charge moves forward, then backward, then forward, then backward, constantly.

Not only does AC change direction constantly, it also changes how strong it is. The current starts very slowly in one direction, then builds up to a high value, slows down, and reverses direction. Then it does the same thing, building up to a maximum value, and then reversing again.

Since AC is constantly changing from high to low and back again constantly, the power that can be generated from AC is also changing constantly. The AC power that comes into your home (if you are in North America) changes direction and back again 60 times each second. With some devices, such as a light bulb, you cannot visibly detect these cycles because they change very fast.

With electronic equipment, these changes in power are very apparent.

The number of cycles that occur in one second is called the "frequency." The frequency is measured in cycles per second (CPS); also called Hertz (Hz).

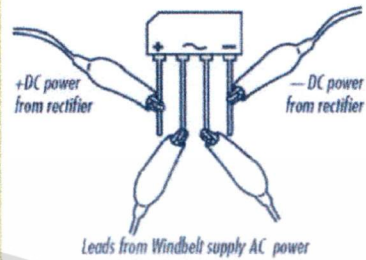
In North America, our utilities provide us with 60 Hz AC. In some other parts of the world, for instance Europe, the standard is 50 Hz AC.

Since the power provided by AC is constantly changing, how do we know how much usable power is provided? Mathematically, we do a sort of averaging of the many changes, which gives us the "effective" power. This effective voltage number that we give to the AC means the AC provides the same amount of power as would DC at the same voltage.

### GET DIRECT CURRENT FROM YOUR WINDBELT

Using the provided rectifier will allow you to obtain direct current (DC) from the Windbelt.

Wire the Windbelt's two leads to the two center leads of the rectifier.



The output terminals from the rectifier are labeled "+" and "-", which may be connected to DC loads.

If you use the red LED, you will notice that it lights with one polarity of wiring, but not the other polarity (since LEDs only allow current to flow in one direction).

If you hook up the red/green LED, one color will light for each polarity of wiring.

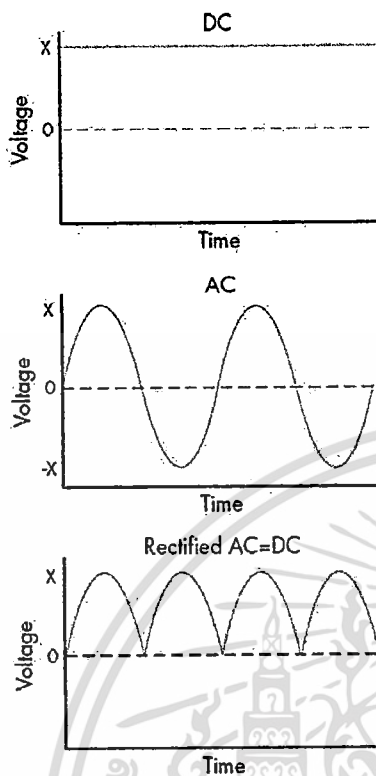
### USING THE AC FROM YOUR WINDBELT

The Windbelt produces alternating current (AC) as the magnets move up and down next to the stator (coil). If you wire the output to the red LED you will get a pulsed light (since LEDs only accept one direction of current flow). If you can count fast (very fast), you may be able to count the LED light pulses and figure the frequency of the belt's vibration. (A 5-meter belt usually vibrates at roughly 70–100 cycles per second. A 1-meter belt will vibrate more slowly, in the 20–50 cycles per second range.)

Connect the red/green LED. The red will light with current flowing in one direction; the green will light with current flowing in the other direction.

With a LED hooked up, try to optimize the Windbelt's output: the brighter the light, the more the output. Slightly vary the Windbelt's angle to the fan; move the Windbelt so it receives air from a different portion of the fan. Vary the tension of the belt.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The technical term for this effective (usable) power of AC is the RMS (root mean square) value of the voltage. The RMS value of an AC current is the number which represents the same power that a DC current of that voltage would produce.

In North America, most homes have 110 to 120 Volts AC electricity. (120 volts is the most commonly used term; 115 volts is the official National Electrical Code Standard.) This 120 VAC is the RMS value; so the AC electricity is equivalent in power to 120 VDC.

AC with an RMS of 120 volts actually goes from peaks of +170 volts to -170 volts. Students with a strong interest can search and find the formula to calculate RMS.

AC usually comes from large scale power generation by utility companies.

The advantage of AC is that it is easy to transform voltages. So it can be run efficiently at high voltage for long distances, and then a transformer can lower the voltage for residential or business use.

Direct Current may be obtained from Alternating Current by using a rectifier, a device that allows current to flow in only one direction.

Alternating Current may be obtained from Direct Current by using an inverter.

#### How a Generator Works

Electromagnetic Induction: It is the production of current across a conductor in a changing magnetic field. If a magnet moves near a wire, it produces electricity in the wire. If a wire moves near a magnet it will also produce electricity in the wire.

Electromagnetic induction is used in generators, electric motors, transformers, solenoids, etc.

#### Further Reading

- Direct Current
- Alternating Current
- RMS (Root Mean Square)
- Thomas Edison
- Nikola Tesla
- Michael Faraday
- Induction
- Heinrich Hertz



**ภาคผนวก ข.**  
**ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบใบหญ้าเพียโซอิเล็กทริกเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานจากลม

### The Design of Piezoelectric Grass for Harvesting Energy from Wind.

ดอน อิศรารกร\* สองเมือง นันทขว้าง ธนพล บุญโชติ บุลกร สีเหลืองเย็น และพงษ์ศธร นุ่มทอง

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

\*อีเมล: [kidon@kmitl.ac.th](mailto:kidon@kmitl.ac.th)

#### บทคัดย่อ

ทุกวันนี้ พลังงานธรรมชาติอยู่รอบๆตัวเรา ดังนั้นการเก็บเกี่ยวพลังงานจากมันอย่างมีประสิทธิภาพจะเป็นประโยชน์ในอนาคตอย่างแน่นอน การวิจัยนี้พูดถึงเกี่ยวกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากลมที่มีความเร็วต่ำมีจุดประสงค์ที่จะสร้างแหล่งกำเนิดพลังงานขนาดเล็ก เพียโซอิเล็กทริกเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนการสั่นเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ถูกออกแบบให้ติดกับแผ่น PVC ที่มี ความกว้าง, ความยาว, ความหนา ของแผ่น PVC ให้ความถี่ และ แอมพลิจูด ของแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกัน เนื่องจากแผ่น PVC ติดกับเพียโซอิเล็กทริก การสั่นจะเกิดขึ้นเมื่อลมพัดผ่าน การวิจัยนี้อาจจะเป็นพลังงานทางเลือกในอนาคต

**คำหลัก :** การเก็บเกี่ยวพลังงาน, เพียโซ PVDF , แหล่งกำเนิดพลังงานลม , แผ่น PVC

#### Abstract

Nowadays, natural energy is all around human being; therefore, harvesting energy from that efficiency will be benefit in the future absolutely. This research involving producing electricity from low speed wind aims to create small-scale generator. Piezoelectric ceramic material (PZT) a type of material transfers even less vibration to electricity is designed to stick with different form of PVC sheet. Width, Length, Depth of PVC sheet causes different frequency and amplitude of voltage as well. Due to PVC sheet with PZT, vibration occurs when wind blows through. This research might be alternative energy in the future.

**Keyword :** energy harvesting, piezo PVDF , wind type generator , PVC sheet

1. บทนำ

การเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเริ่มได้รับความนิยมนมากขึ้น เนื่องจากพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเป็นพลังงานที่สะอาดและเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไป ในปัจจุบันนี้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมได้หลากหลายแหล่ง เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากการสั่นสะเทือน และพลังงานจากลม [1-2] ซึ่งพลังงานจากลมเป็นพลังงานที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาและตลอดฤดูกาล โดยแหล่งกำเนิดพลังงานจากลมที่มีอยู่ในปัจจุบันมีเพียง กังหันลม ซึ่งกังหันลมในปัจจุบันจำเป็นต้องใช้ความเร็วที่มากจึงจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ [3-4] และในแต่ละพื้นที่ความเร็วลมที่ไม่เท่ากัน ซึ่งถ้าบริเวณนั้นมีความเร็วไม่มากก็ไม่สามารถติดตั้งกังหันลมได้ เราจึงนำเหตุผลดังกล่าวมาทำการวิจัยด้วยแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมที่ความเร็วลมน้อย โดยการเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานลมในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็นสองแบบ คือ เก็บพลังงานโดยใช้หลักการสนามแม่เหล็ก และเก็บพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก จากการเก็บเกี่ยวพลังงานทั้งสองแบบนี้ การเก็บเกี่ยวพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริกเป็นวิธีการเก็บเกี่ยวพลังงานที่น่าสนใจที่สุด เนื่องจากการเก็บเกี่ยวพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพ ใช้งานง่าย และเหมาะกับการใช้งานกับความเร็วลมน้อย

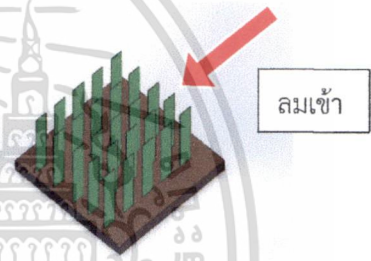
โดยอุปกรณ์การเก็บพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริกได้มีการวิจัยเป็นเวลานานแล้ว ซึ่งอุปกรณ์การเก็บพลังงานส่วนใหญ่จะใช้หลักการสั่นพ้องในการผลิตพลังงานไฟฟ้า การเก็บเกี่ยวพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริกโดยการใช้การสั่นพ้อง จำเป็นต้องมีการปรับความถี่ที่เหมาะสมกับความถี่ของธรรมชาติ จึงจะได้พลังงานที่มากที่สุดแต่การวิจัยนั้นเกิดปัญหาที่ยุ่งยากเพราะเมื่อความเร็วลมเปลี่ยนไป ความถี่ก็จะเปลี่ยนตามด้วย ทำให้ต้องปรับค่าความถี่ใหม่เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าออกมาได้ดีที่สุด แต่การใช้เพียโซอิเล็กทริกในการเก็บพลังงานนั้นไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงความถี่ของธรรมชาติ จึงสามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องความถี่สั่นพ้องได้

โดยงานวิจัยนำเสนอการเก็บเกี่ยวพลังงานจากลมโดยใช้เพียโซอิเล็กทริก โดยตัวอุปกรณ์สามารถผลิตพลังงานด้วยตนเอง จากการแปลงแรงการสั่นจากลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเพียโซ Polymer of Vinylidene Fluoride ( PVDF ) โดยบทความนี้จะพูดถึงการออกแบบ

ตัวรับแรงลมที่มีลักษณะเหมาะสมที่สุด เพราะการออกออกแบบตัวรับแรงที่เหมาะสมจะทำให้ได้พลังงานที่ได้มีค่าดีที่สุด

2. แนวคิดในการออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานลม

แนวคิดของแหล่งเก็บเกี่ยวพลังงานจากลมที่มีความเร็วไม่มากนักได้ซึ่งมีลักษณะการสั่นคล้ายกับการสั่นของใบหญ้าเนื่องจากความเร็วลมเพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ใบหญ้ามีการสั่นได้ แต่เพียงใบหญ้าใบเดียวจะทำให้พลังงานที่ได้มีเพียงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อเปลี่ยนจากใบหญ้าใบเดียวเป็นทุ่งหญ้าเนื่องจากมีจำนวนใบหญ้ามากเมื่อมีลมพัดมาก็มีการสั่นของใบหญ้าเป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบใบหญ้าให้เปรียบเหมือนตัวรับแรงลม ก็จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้จำนวนมาก โดยจากแนวคิดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวต้นแบบที่ทำการออกแบบ

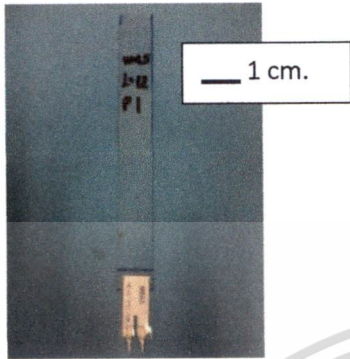
โดยแนวคิดแหล่งเก็บเกี่ยวพลังงานจากลม ได้ใช้เพียโซอิเล็กทริก ชนิด PVDF รุ่น LDT0 - 028K/L จาก Measurement Specialties มีขนาดความกว้าง 13 มิลลิเมตร และความยาว 25 มิลลิเมตรโดยมีคุณสมบัติของ PVDFตามตารางที่ 1

คุณสมบัติ	ขนาด
Piezoelectric coefficient $d_{31}$ (pm/V)	23
Electromechanical coupling $k_{31}$	0.12
Dielectric constant	12-13
Capacitance (nF)	1.38
Young's modulus (Gpa)	2-4
Maximum temperature (°C)	80

เพียโซ ชนิด PVDF เป็นเพียโซที่มีขนาดเล็กเมื่อนำวัสดุเพียโซมาเป็นตัวกำเนิดแบบโคเดเดี่ยวจะทำให้ไม่สามารถกำเนิดพลังงานทางไฟฟ้าออกมาได้ จึงจำเป็นต้องหาวัสดุชนิดหนึ่งเพื่อนำมาต่อกับวัสดุเพียโซ ชนิด PVDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษารายงาน เมื่อผู้จัดทำเอกสารฉบับนี้เผยแพร่เอกสารฉบับนี้

เพราะเมื่อนำวัสดุนำมาต่อกับวัสดุเพียโซ ชนิด PVDF จะทำให้เกิดการสั่นของวัสดุที่ติดกับเพียโซ จึงทำให้เกิดพลังงานออกมาได้ ดังรูปที่ 2

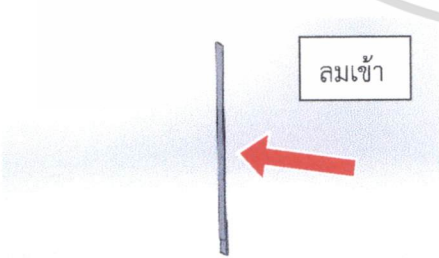


รูปที่ 2 ต้นแบบตัวกำเนิดพลังงานจากลม

โดยวัสดุที่นำมาใช้ในการต่อกับวัสดุเพียโซ ชนิด PVDF นั้นก็คือ แผ่น PVC มาต่อเพราะว่าแผ่น PVC มีน้ำหนักเบาแล้วมีสภาพคงตัวคือ มีการอ่อนตัวเมื่อมีแรงกระทำ แต่ถ้าไม่มีแรงมากระทำก็จะอยู่สภาพคงตัว ซึ่งวัสดุที่เหมาะสมกับการนำมาต่อตัววัสดุเพียโซ PVDF มากที่สุดเมื่อได้ตัวต้นแบบก็จะนำตัวต้นแบบหลายๆตัวมารวมกัน จึงทำให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าตัวเดียว

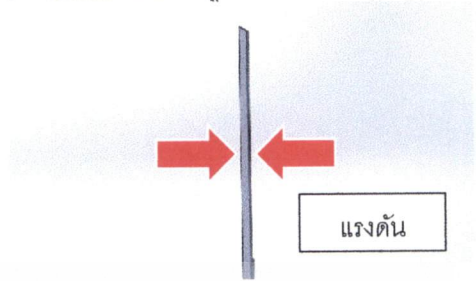
**3. หลักการทำงาน**

อุปกรณ์เกี่ยวกับพลังงานจากลมจากลมนั้นได้ทำการออกแบบให้มีลักษณะคล้ายใบพัดเพื่อให้มีการสั่นที่ถี่ที่สุดเมื่อมีความเร็วลมเพียงเล็กน้อย โดยเริ่มต้นออกแบบลักษณะของใบพัดลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพราะเป็นรูปแบบที่ออกแบบง่ายที่สุดในการเริ่มต้น โดยมีหลักการทำงานคือเมื่อ มีลมพัดผ่านที่ตัวต้นแบบดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะลมเข้าตัวต้นแบบ จากรูปที่ 3 เมื่อลมพัดผ่านตัวต้นแบบทำให้ลมที่บริเวณตัวต้นแบบจะหายไปเพราะโดนแรงดันจากดินออกไปทำให้บริเวณนั้นไม่มีแรงส่วนอีกด้านมีแรงดันจากลมจึงทำให้แรงดันที่ผลักตัวต้นแบบให้เอนเอียงมาอีก

ฝั่งหนึ่ง หรือสรุปได้ว่าเมื่อมีลมพัดผ่านตัวต้นแบบจะทำให้แรงดันจากลมที่กระทำกับตัวต้นแบบไม่เท่ากันเลยทำให้เกิดการการสั่นไปสั่นมา ดังรูปที่ 4

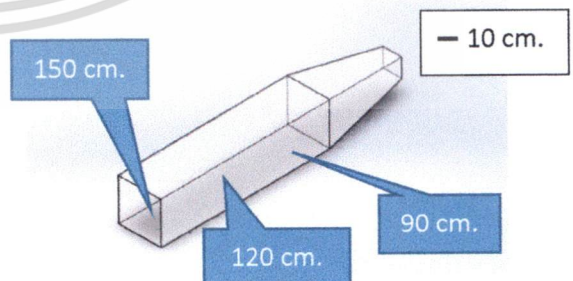


รูปที่ 4 การสั่นไปสั่นมาของตัวต้นแบบ

**4. วิธีดำเนินงานวิจัย**

บทความในเรื่องนี้จะพูดถึงการออกแบบตัวรับแรงลมโดยสามารถแบ่งการการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน คือ การหาความยาวที่เหมาะสมที่ทำให้แรงดันที่ออกมาได้มากที่สุด การหาความกว้างและลักษณะการวางของตัวต้นแบบที่เหมาะสมที่ทำให้แรงดันที่ออกมาได้มากที่สุด และการหาความกว้างที่เหมาะสมที่ทำให้แรงดันที่ออกมาได้มากที่สุด

โดยการวิจัยเป็นการวิจัยในอุโมงค์ลมที่มีขนาดหน้าตัด 30x30 ตารางเซนติเมตร ความยาวของอุโมงค์ลมยาว 180 เซนติเมตรดังรูปที่ 5 โดยใช้แหล่งกำเนิดพลังงานลมเป็นโบว์เวอร์ที่มีขนาด  $\frac{1}{3}$  แรงม้า ดังรูปที่ 6 และวัดความเร็วลมโดยใช้ Anemometer จาก Brannan ที่ระยะ 90 เซนติเมตร ได้ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที ที่ระยะ 120 เซนติเมตร ได้ความเร็วลม 4.5 เมตรต่อวินาที และระยะ 150 เซนติเมตร ได้ความเร็วลม 2.7 เมตรต่อวินาที ตัวรับแรงลมนั้นได้ใช้แผ่น PVC ที่ความหนา 0.4 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 อุโมงค์ขนาดหน้าตัด 30x30 เซนติเมตร ยาว 180 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 โบริเวอร์แหล่งกำเนิดพลังงานลม

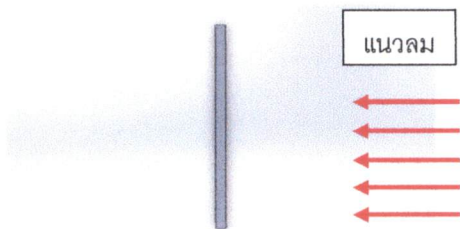
**4.1 การทดลองเพื่อหาความยาวและลักษณะการวางของตัวต้นแบบที่เหมาะสม**

โดยการทดลองเป็นการหาความยาวที่เหมาะสม โดยการทดลองได้เลือกความยาวของแผ่น PVC ที่จะติดบน เพียโซ PVDF 2 ขนาด คือขนาดความยาว 8 เซนติเมตร และความยาว 12 เซนติเมตร และได้เลือกลักษณะการวางของตัวต้นแบบในอุโมงค์ลม 3 แบบ คือ ตัวต้นแบบวางแบบ 0 องศา กับแนวลม ตัวต้นแบบวางแบบ 45 องศา กับแนวลม และตัวต้นแบบวางแบบ 90 องศา กับแนวลม ดังรูปที่ 7



(ก) ตัวต้นแบบวางแบบ 0 องศา กับแนวลม

(ข) ตัวต้นแบบวางแบบ 45 องศา กับแนวลม



(ค) ตัวต้นแบบวางแบบ 90 องศา กับแนวลม

**รูปที่ 7 ลักษณะการวางตัวต้นแบบภายในอุโมงค์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.2 การทดลองเพื่อหาความกว้างของตัวต้นแบบที่เหมาะสม**

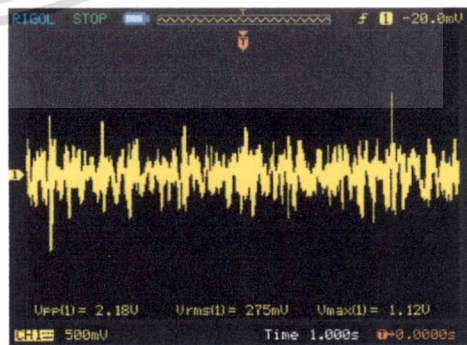
โดยการทดลองเป็นการหาความกว้างที่เหมาะสม โดยการทดลองได้นำผลการทดลองจากตอนแรกที่ดีที่สุดมาเป็นตัวเปรียบเทียบ โดยการทดลองได้เลือกความกว้างของแผ่น PVC 3 ขนาดคือ ความกว้าง 1.5 เซนติเมตร ความกว้าง 2 เซนติเมตร และความกว้าง 3 เซนติเมตรตามลำดับ

**4.3 การทดลองเพื่อหาความหนาของตัวต้นแบบที่เหมาะสม**

โดยการทดลองเป็นการหาความหนาที่เหมาะสม โดยการทดลองได้นำผลการทดลองจากตอนแรกและการทดลองที่สองที่ดีที่สุดมาเป็นตัวเปรียบเทียบ โดยการทดลองได้เลือกความหนาของแผ่น PVC 3 ขนาดคือ ความหนา 0.4 มิลลิเมตร ความหนา 0.8 มิลลิเมตร และความหนา 1.2 มิลลิเมตรตามลำดับ

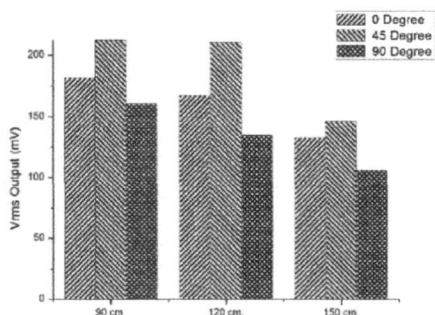
**5. ผลการทดลองและอภิปราย**

โดยการทดลองแรกเป็นการทดลองเพื่อหาความยาวที่เหมาะสมกับการที่ติดกับวัสดุเพียโซ PVDF และลักษณะการวางตัวต้นแบบ โดยการทดลองได้เลือกขนาดความยาวแผ่น PVC ที่มีขนาดความกว้าง 1.5 เซนติเมตร และมีความยาว 2 ขนาดคือ 8 เซนติเมตร และ 12 เซนติเมตร ระยะการตั้งภายในอุโมงค์ลมโดยจะตั้งที่จุด 90 เซนติเมตร 120 เซนติเมตร และ 150 เซนติเมตรตามลำดับ โดยวัดจากจุดกำเนิดพลังงานลม โดยได้แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากเพียโซ PVDF ที่เกิดจากสันของดังรูปที่ 8 และผลการการออกมามาดังรูปที่ 9

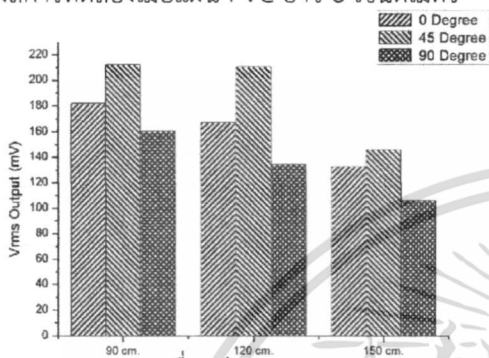


รูปที่ 8 แร่งดันจากไฟฟ้าจากเพียโซ PVDF ต้นแบบขนาดความยาว 12 เซนติเมตร ลักษณะการวางแบบ

45 องศา กับแนวลม ตั้งที่จุด 90 เซนติเมตร



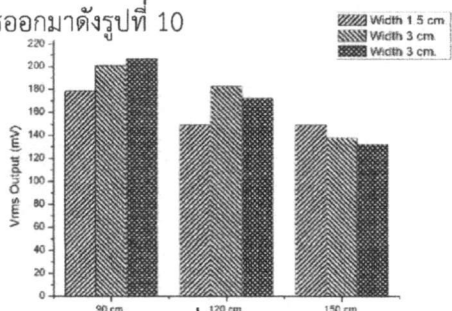
(ก) ผลการทดลองเมื่อแผ่น PVC ยาว 8 เซนติเมตร



(ข) ผลการทดลองเมื่อแผ่น PVC ยาว 12 เซนติเมตร รูปที่ 9 ผลการทดลองเมื่อมีการเปลี่ยนความยาวแผ่น PVC

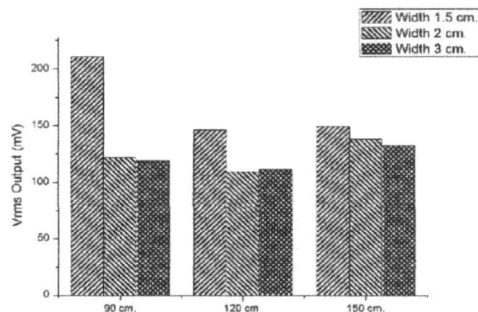
จากรูปที่ 9 เห็นว่าเมื่อระยะใกล้แหล่งกำเนิดลม จะทำให้แรงดันไฟฟ้ามากกว่าระยะที่อยู่ห่างจาก แหล่งกำเนิดลม เมื่อเทียบกับความยาวจะเห็นว่า การที่มี ขนาดที่ยาวขึ้นจะทำให้แรงดันทางไฟฟ้ามากขึ้นและเมื่อ เทียบลักษณะการวางจะเห็นว่า การวางแบบ 45 องศา เป็นการวางต้นแบบที่ดีที่สุด

โดยการทดลองครั้งที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหา ความกว้างที่เหมาะสมกับการที่ติดกับวัสดุเพียโซ PVDF โดยการทดลองได้นำผลการทดลองที่ดีที่สุดในตอนแรกมา เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบโดยให้แผ่น PVC ที่มีขนาดความ ยาว 8 เซนติเมตรและความยาว 12 เซนติเมตร โดยให้มีความ กว้าง 3 แบบ คือ 1.5 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร และ 3 เซนติเมตร ระยะการตั้งภายในอุโมงค์ลมโดยจะตั้ง ที่จุด 90 เซนติเมตร 120 เซนติเมตร และ 150 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยวัดจากจุดกำเนิดพลังงานลม โดยได้ผลการ การออกมาดังรูปที่ 10



(ก) ผลการทดลองเมื่อแผ่น PVC ยาว 8 เซนติเมตร

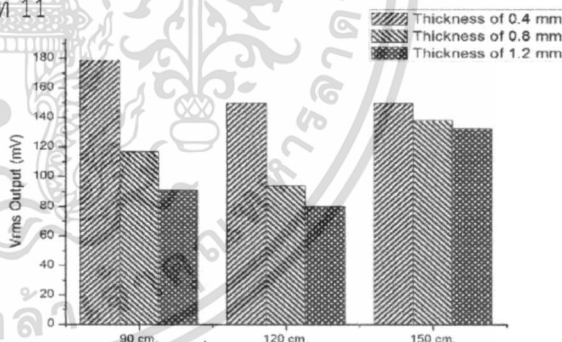
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



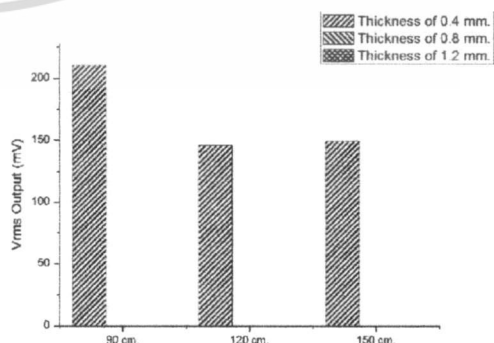
(ข) ผลการทดลองเมื่อแผ่น PVC ยาว 12 เซนติเมตร รูปที่ 10 ผลการทดลองเมื่อมีการเปลี่ยนความกว้างแผ่น PVC

จากรูปที่ 10 เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มความกว้างกับ ตัวรับแรงลมที่มีขนาดความยาว 8 เซนติเมตรทำให้ แรงดันที่ออกมาได้มากขึ้น แต่ในทางกลับกันถ้าเพิ่มความ กว้างให้ตัวรับแรงลมที่มีขนาดความยาว 12 เซนติเมตรจะ ทำให้แรงดันไฟฟ้าออกมาน้อยลง

โดยการทดลองครั้งที่ 3 เป็นการทดลองเพื่อหา ความหนาที่เหมาะสมกับการที่ติดกับวัสดุเพียโซ PVDF โดยการทดลองได้ให้แผ่น PVC ที่มีขนาดความยาว 8 เซนติเมตรและความยาว 12 เซนติเมตร โดยให้มีความ หนา 3 แบบ คือ 0.4 มิลลิเมตร 0.8 มิลลิเมตร และ 1.2 มิลลิเมตร ระยะการตั้งภายในอุโมงค์ลมโดยจะตั้งที่จุด 120 เซนติเมตร และ 150 เซนติเมตรตามลำดับ โดยวัด จากจุดกำเนิดพลังงานลม โดยได้ผลการการออกมาดังรูป ที่ 11



(ก) ผลการทดลองเมื่อแผ่น PVC ยาว 8 เซนติเมตร



(ข) ผลการทดลองเมื่อแผ่น PVC ยาว 12 เซนติเมตร รูปที่ 11 ผลการทดลองเมื่อมีการเปลี่ยนความกว้างแผ่น PVC

จากรูปที่ 11 เห็นว่าการเพิ่มความหนาทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาลดลงทั้งขนาดความยาว 8 เซนติเมตรและความยาว 12 เซนติเมตร

#### 6. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าวัสดุที่จะนำมาติดกับวัสดุเพียโซ PVDF นั้นจำเป็นจะต้องไม่มีน้ำหนักมากเกินไปซึ่งจากผลการทดลองในตอนต้นที่ 3 จะเห็นได้ว่ายิ่งเพิ่มความหนาจะทำให้ น้ำหนักมากขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาลดลง ดังนั้นการที่จะใช้วัสดุแผ่น PVC มาใช้ติดกับเพียโซ PVDF ควรจะไม่มียาวเกิน 12 เซนติเมตร ไม่ควรกว้างเกิน 2 เซนติเมตร และไม่ควรมีหนาเกิน 0.4 มิลลิเมตร จะทำให้แรงดันที่ออกมาได้ดีที่สุด จากที่สรุปมานั้นสามารถออกแบบต้นแบบที่สามารถให้แรงดันทางไฟฟ้าได้ดี โดยงานวิจัยขั้นต่อไปจะสามารถนำต้นแบบมาผ่านวงจรเรียงกระแสเพื่อแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงและนำมาต่อขานานหรือกับอนุกรมกับตัวต้นแบบหลาย ๆ ตัวให้มีลักษณะคล้ายกับทุ่งหญ้าเพื่อนำเข้ากับวงจรเก็บพลังงาน ก็สามารถเป็นแหล่งเก็บเกี่ยวพลังงานจากลมได้ในอนาคต

#### 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังด้วยงบวิจัยเงินรายได้ ปี 2556 โครงการวิจัยเลขที่ IC - 006

#### 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wafi Danesh Nomir Muktedir Sandip Bhowmick and Md. Shamaul Alama "proposal for large scale electricity generation from high pressure applications using piezoelectric materials", International Journal of Science and Advanced Technology (ISSN 2221-8386)
- [2] Mickael Lallart, Shashank Priya, Scott Bressers and Daniel J. Inman "Small-scale Piezoelectric Energy Harvesting Devices Using Low-energy-density Sources", Journal of the Korean Physical

Society, Vol. 57, No. 4, October 2010, pp. 947-951

- [3] Hugh Piggott "How to build a WIND TURBINE", the axial flux alternator windmill plans - May 2003 version
- [4] สำนักนวัตกรรมไม้เศรษฐกิจ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ "พลังงานลม"
- [5] ชาญณรงค์ น้อยบางยาง, ถาวร สุวรรณกิจ "ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกและการประยุกต์ใช้งาน", วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2552
- [6] LDT with Crimps Vibration Sensor/Switch datasheet

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล.....ดร.ดอน อิศรากร.....

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด..... 4 ธันวาคม 2520 ..... อายุ 35 ..... ปีสถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

## ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Ph.D.	Microsystems and Microelectronics	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland	2011
M.Eng.	Control Engineering	KMITL	2003
B.Eng.	Electronics Engineering	KMITL	2000

ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ..... Microsensors and microactuators, Piezoelectric materials for sensing and actuating applications, MEMS process development, Energy harvesting systems, PowerMEMS.....

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2013	Sci & Tech Initiative and Sustainability Awards (STISA 6 <sup>th</sup> )	The Thai Institute of Chemical Engineering and Applied Chemistry
2011	Good Ph.D. thesis award	Office of National Research Council of Thailand
2011	Prix de La Ville de La Chaux-de-Fonds 2011	Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Switzerland

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2006-2010	Thai Government Science and Technology Scholarship	Thai Government
2001-2003	Royal Thai Government Scholarship	Thai Government

#### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

#### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

- **Don Isarakorn** (Principal investigator), Noppadol Maneerat and Bundit Pasaya, **“Fundus Image Database System and Primary Diabetic Retinopathy Screening Software,”** A New Researcher Scholarship of CSTC, MOST, 2012.
- **Don Isarakorn** (Principal investigator), Songmoung Nundrakwang, Noppadol Maneerat and Kasemsuk Sepsirisuk, **“Design and Development of an Electric Stand-up Wheelchair,”** Faculty of Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2012.
- **Don Isarakorn** (Principal investigator) and Songmoung Nundrakwang, **“Self-powered System for Machine Condition Monitoring Applications,”** Faculty of Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2012.

#### การเสนอผลงานวิชาการ

- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, รัชพล สัตยพัฒน์, กานูพงศ์ โสจรัส, วัชรินทร์ กิจวิไลรักษ์ และหฤมณฑ์ เข็มประภากุล, **“อุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานขนาดเล็กส่วนจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์,”** การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 94-99, 2556
- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, รัชพล พรชัยวุฒิกุล, วิชุด เข้มช้อย และสิรินาถ มาวรณ, **“การเก็บเกี่ยวพลังงานจากข้อต่อหัวเข้าโดยใช้สเตปเปอร์มอเตอร์,”** การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 154-159, 2556
- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, ธนากร หมุ่มทอง, ธนาพร สิริโสภาพรพรชัย, พรสุดา ฟ้าสกร และวิรุฒม์ ยืนยง, **“การเก็บเกี่ยวพลังงานจากกรรณเข็นข้อปิ้ง,”** การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 160-165, 2556
- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, ฐาปนันท์ สุธาวิญญู, มุลาพร สุขใส และเฉลิมชัย จงสินทวี, **“การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการกระแทกโดยใช้โซลาร์เซลล์เพื่อติดตามสภาพเครื่องจักร,”** การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 205-210, 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, โกมล บัญญัติเลิศดาวร, กฤษณา ประภาณุกิต และวีณา จงเจริญกุล, “พื้นกำเนิดพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก,” การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 988-993, 2556
- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, ธนพล บุญโชติ, บุณกร สีเหลืองเย็น และพงษ์ศธร นุ่มทอง, “การออกแบบไบโอบัญชีเพียโซอิเล็กทริกเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานจากลม,” การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 1000-1005, 2556
- ดอน อิศรากร, สองเมือง นันทขว้าง, ฌวันยุทธ แสนจิตร, ณิชพงศ์ เหมือนหม้อ และธงชัย ทองคำ, “การศึกษาระดับการสั่นของสะพานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับเซนเซอร์,” การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9, นครนายก, ประเทศไทย หน้า 89-93, 2556

### ผลงานสิทธิบัตร/สิ่งประดิษฐ์/งานสร้างสรรค์ (ศิลปะ หรือ อื่นๆ)

**“Energy Scavenging from a Rotating Gear using an Impact Type Piezoelectric MEMS Scavenger”, International Patent: P2203PC00/ European Patent: N°EP 11168703.4**

**“Piezoelectric energy generating device from impact force”, Thai patent: Patent pending no. 1201006020**

**“Piezoelectric energy harvesting floor”, Thai patent: Patent pending no. 1201006021**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล.....นายสองเมือง นันทขว้าง.....

เพศ  ชาย  หญิง วันเดือนปีเกิด.....อายุ.....ปีสถานภาพ  โสด  สมรส

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

## ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
M.Eng.	Control Engineering	KMITL	2005
B.Eng.	Control Engineering	KMITL	2003

ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ Machine Design, Mechatronic, System Modeling, Control Systems

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้