รหัสโครงการ : SUT7-707-61-12-15

รายงานการวิจัย

การวิจัยและออกแบบวัสดุอัจฉริยะเพียโซอิเล็กทริกเพื่อสร้างพลังงานทดแทนในอากาศยาน

A Research and Development of Piezoelectric Materials for Generating Renewable Energy in Aviation

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รายงานการวิจัย

การวิจัยและออกแบบวัสดุอัจฉริยะเพียโซอิเล็กทริกเพื่อสร้างพลังงานทดแทนในอากาศยาน

A Research and Development of Piezoelectric Materials for Generating Renewable Energy in Aviation

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร. วีณา ฟั่นเฟ็ง

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

อาจารย์ ดร. ธงชาติ เกิดผล

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ.2561

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2563

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการศึกษาวัสดุอัจฉริยะเพียโซอิเลกทริกสร้างพลังงานทดแทนในอากาศยาน คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณนายฑีรพรรษฏ์ ศรีอ่อน วิศวกรศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฝ่ายห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอากาศยาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เป็นที่ปรึกษาร่วมโครงงาน คอยดูแลให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโครงงาน การใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่เริ่มต้นจนเสร็จสมบูรณ์

ขอบคุณนาย ภิเษก ทัศนะนาคะจิตต์ นางสาว ภูชิสสา จันทร์สุข นายกิตติโชติ ทิพยนนท์ นักศึกษาวิศวกรรมอากาศยาน ชั้นปีที่ 4 และนายอาติยะ โสภารักษ์ นักศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ช่วยเหลือในการดำเนินการทดลอง การต่อวงจรต่าง ๆ ทั้งยังมีส่วนช่วยในการออกแบบการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอวิธีในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทางกล ด้วยวิธีการกระตุ้นงานทางกลบนวัสดุเพียโซอิเลกทริกเพื่อสร้างพลังงานทดแทนไว้ใช้ในอากาศยาน โดยจะทำการทดสอบด้วยการใช้วัสดุเพียโซแบบเซรามิกและแบบพอลิเมอร์ที่ทำการต่อเป็นวงจร ซึ่งแต่ละวงจรประกอบไปด้วยวัสดุเพียโซ 4 ตัว แยกเป็นการต่อวงจรแบบขนานและอนุกรม ในโครงงานนี้มีการทดลองกระตุ้นวัสดุเพียโซ 3 แบบ คือ การกระตุ้นด้วยเครื่องวัดการสั่นแบบอิสระโดยนำวัสดุเพียโซติดตั้งอยู่บนคาน (เพื่อจำลองการสั่นคล้ายปีกเครื่องบิน), การทดลองกระตุ้นด้วยการใช้มวลกดวัสดุเพียโซที่ติดตั้งบนเครื่องเขย่า และการทดลองกระตุ้นด้วยการใช้แรงลมทดสอบภายในอุโมงค์ลม ผลปรากฏเป็นดังนี้ เมื่อทำการทดลองกระตุ้นด้วยการใช้เครื่องวัดการสั่นแบบอิสระวัสดุเพียโซไม่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าออกมาได้ เนื่องจากวิธีการกระตุ้นไม่เหมาะสมกับวัสดุเพียโซทั้งแบบเซรามิกและแบบพอลิเมอร์ จึงได้เลือกวิธีการกระตุ้นด้วยการใช้มวล 0.7 N กดบนวงจรเพียโซที่สามารถกำหนดค่าความถี่และแอมพลิจูดในการสั่นได้ โดยได้เลือกใช้เครื่องเขย่าในการทดลอง (ค่าความถี่ในการทดลองคือ 5-100 Hz, แอมพลิจูด 6-7 dB) ผลปรากฏว่าวัสดุเพียโซแบบเซรามิกสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้โดยวงจรแบบอนุกรมสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุด 2.67 V (ที่แอมพลิจูดเท่ากับ 7 dB, ความถี่ 50 Hz) ซึ่งมากกว่าวัสดุเพียโซแบบเซรามิกที่ต่อวงจรแบบขนานซึ่งสร้างแรงดันได้สูงสุดที่ 0.075 V (แอมพลิจูด 6 dB, ความถี่ 30 Hz) ส่วนวัสดุเพียโซแบบพอลิเมอร์ไม่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าออกมาได้เนื่องจากวิธีการใช้มวลกดยังไม่ใช่วิธีการกระตุ้นที่เหมาะสม และสุดท้ายเป็นการกระตุ้นวัสดุเพียโซด้วยการใช้ลมในอุโมงค์ลมผลปรากฏว่าวัสดุเพียโซแบบเซรามิกให้แรงดันไฟฟ้าออกมาได้น้อยมากเนื่องจากแรงในการกดกระตุ้นไม่เพียงพอ ส่วนวัสดุเพียโซแบบพอลิเมอร์ได้ค่าแรงดันสูงสุดที่ 2.51 V จากวงจรแบบอนุกรม จากการทดลองโดยการใช้เครื่องวัดการสั่นแบบอิสระทำให้ผู้ทดลองทราบถึงวิธีที่เหมาะสมในการกระตุ้นวัสดุเพียโซแบบเซรามิกที่จะต้องให้แรงกระทำบนส่วนที่เป็น PZT Disk ส่วนการทดลองโดยใช้เครื่องเขย่าทำให้สามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากวัสดุเพียโซแบบเซรามิกได้ และในการทดลองสุดท้ายการทดลองโดยการใช้แรงลมในการกระตุ้นทำให้ได้ทราบถึงแนวทางในการประยุกต์ใช้และแนวทางในการติดตั้งวัสดุเพียโซเพื่อสร้างพลังงานทดแทนไว้ใช้สำหรับอากาศยาน

คำสำคัญ: วัสดุอัจฉริยะเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Materials), การกักเก็บพลังงาน (Energy Harvesting) และ อากาศยาน (Aviation)

Abstract

This paper presents a method for harvesting electric energy from mechanical vibration using a mechanically excited piezoelectric circular membrane array for inducing electrical energy for use in aircraft. This is tested using ceramic and polymer piezoelectric materials. Each circuit consists of four plate materials with parallel and series circuits connection. In this project, three types of pulsed materials are stimulated by independent vibration measuring machines. (The vibration like a wing of aircraft), a pulsed mass activation experiment mounted on a shaker and the last is used wind tunnel for experiment. The results appear as follows. When experimenting with an independent vibration measuring machines, the piezoelectric material can not generate electricity. The method of stimulation was not suitable for both ceramic and polymer piezoelectric. Then the method is activated by using a 0.7 N mass. Press on the pulse circuits to determine the frequency and amplitude of the vibration. The shaker was used in the experiment. The experimental frequency is 5-100 Hz, the amplitude is 6-7 dB). The result is that ceramic piezoelectric material can generate electricity by series circuits, generating up to 2.67 volts.(at 7 dB amplitude, 50 Hz frequency), which is greater than the ceramic connected to the parallel circuit, generating a maximum voltage of 0.075 V (6 dB amplitude, frequency 30 Hz). Polymer materials can not generate electricity in this experiment, since it is not the proper method of stimulation. Finally, it stimulates the piezoelectric circular membrane array by using wind in the wind tunnel. As a result, the ceramic piezoelectric material gives a very low voltage due to inadequate force. Polymer piezoelectric material generating a maximum voltage of 2.51 V from series circuit. And all the results can be summarized as follows. Experiment was conducted using the independent vibration measuring machines to determine the suitable method for stimulating ceramic piezoelectric materials to be applied to the PZT Disk. Then the experiment using shaker can measure the voltage and power generated from ceramic piezoelectric materials. In the last experiment, wind tunnel experiments revealed the way in which the use and installation of piezoelectric materials for inducing renewable energy was made available to aircraft.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... จ

สารบัญภาพ ..... ฉ

คำอธิบายสัญลักษณ์ ..... ช

บทที่ 1 บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

ขอบเขตของการวิจัย 4

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล 10

วิธีดำเนินการวิจัย (Method) 12

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย 12

วิธีการดำเนินโครงงาน 13

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการวิจัย 18

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย 21

ข้อเสนอแนะ 21

บรรณานุกรม 22

ภาคผนวก 23

.....

.....

ประวัติผู้วิจัย 27

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

หน้า

การทำงานของวัสดุเพียโซเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้า 1
การทำงานของวัสดุเพียโซเพื่อสร้างพลังงานกล..... 2
ตัวอย่างการใช้งานวัสดุเพียโซเพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากรองเท้า..... 2
การทำงานของของสนามแม่เหล็กในฉนวน..... 6
ปรากฏการณ์ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก..... 7
ชนิดและขนาดที่แตกต่างกันของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก..... 9
รูปแบบการติดตั้งวัสดุเพียโซเพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ในอากาศยาน..... 11
วัสดุเพียโซที่ติดตั้งบนคาน 13
การติดตั้งคานกับเครื่องวัดการสั่นแบบอิสระ แบบที่ 1 13
การติดตั้งคานกับเครื่องวัดการสั่นแบบอิสระ แบบที่ 2 14
การใช้ Oscilloscope วัดค่าแรงดันไฟฟ้า 14
การเตรียมแผ่นอะคริลิคด้วยการใช้ Laser Cutting..... 14
วัสดุเพียโซแบบเซรามิกและพอลิเมอร์ที่ต่อวงจรแบบขนานและอนุกรม..... 15
อุปกรณ์ ในการทดลองร่วมกับ Shaker 15
Oscilloscope. Fluke 190-204 Scopemeter..... 15
Power Amplifier. QSC Model ISA 750 Professional Amplifier 16
haker. Spectrum Dynamics Model M1200W 16
Function Generator. Crotech Multifunction Generator Model 4950..... 16
การติดตั้งวัสดุเพียโซลงบนผิวปีกอากาศยาน..... 16
การติดตั้ง Oscilloscope..... 17
ปรับค่าความเร็วในการไหลของอากาศโดยการปรับ Butterfly Valve..... 17
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ในการสั่น (แอมพลิจูด 6 dB)..... 18
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ในการสั่น (แอมพลิจูด 7 dB) 19
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุเพียโซและความถี่ในการสั่น (แอมพลิจูด 6 dB)..... 19
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุเพียโซและความถี่ในการสั่น (แอมพลิจูด 7 dB..... 19
การทดลองกระตุ้นวัสดุเพียโซในอุโมงค์ลม..... 24
การบัดกรี..... 24
การทดลองกระตุ้นวัสดุเพียโซด้วยเครื่องเขย่า..... 24
การกลึงและทำเกลียวสกรูเพื่อใช้ในเครื่องเขย่า 25
Certificate of Best Oral Presentation..... 25
การเข้าร่วมกิจกรรมทางวิชาการเพื่อเผยแพร่งานวิจัย..... 26

คำอธิบายสัญลักษณ์

P	กำลังไฟฟ้า (W)
V	แรงดันไฟฟ้า (V)
R	ค่าความต้านทาน (Ω)
	10 kΩ สำหรับวงจรขนาน
	150 kΩ สำหรับวงจรอนุกรม
P’	ความดัน (Pa)
F	แรง (N)
A	พื้นที่ (m^2)
P’’	การทำงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถาวรซึ่งเป็นการทำงานที่ไม่มีสนามแม่เหล็ก
σE	การทำงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำโดยใช้สนามแม่เหล็ก
σ	ค่าสัมประสิทธิ์ของฉนวน
S	แรงเครียด (Strain)
s	เงื่อนไขการลัดวงจร
T	แรงเค้น (Stress)
γ	แรงดึงลำดับที่สาม
t	การทรานโพสต์ของเมททริกส์

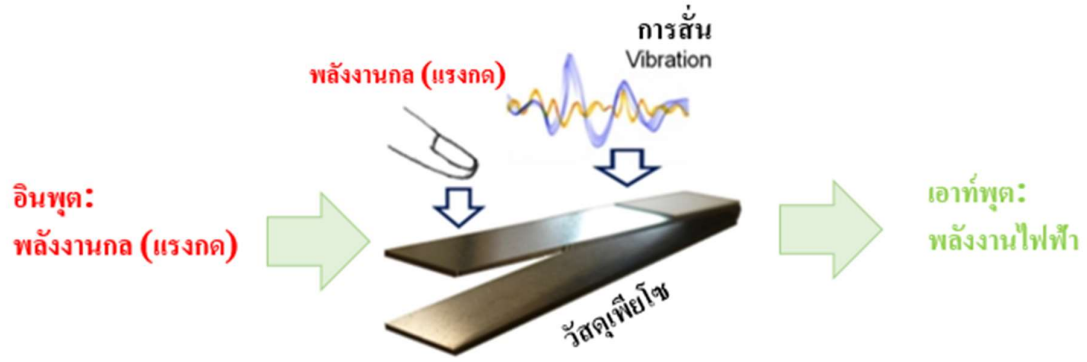
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบ พัฒนาและประยุกต์ใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าสูงสุดสำหรับใช้ในอากาศยาน (The design and development of piezoelectric for aircrafts) ลดการใช้เชื้อเพลิงโดยไม่จำเป็น เพิ่มประสิทธิภาพของการบิน และ สร้างแหล่งพลังงานทดแทนแบบใหม่ในอากาศยาน ในทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยีของวัสดุอัจฉริยะเช่นวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้นำมาใช้งานในการควบคุมและปรับเปลี่ยนรูปโครงสร้างวัสดุในระบบอุตสาหกรรมสมัยใหม่อย่างกว้างขวางเพราะคุณสมบัติที่โดดเด่นเฉพาะตัวของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เช่น คุณสมบัติการกักเก็บพลังงานได้สูง การครอบคลุมอย่างกว้างขวางในการตอบสนองด้านความถี่ คุณสมบัติความยืดหยุ่นที่ดีมาก [1-3]

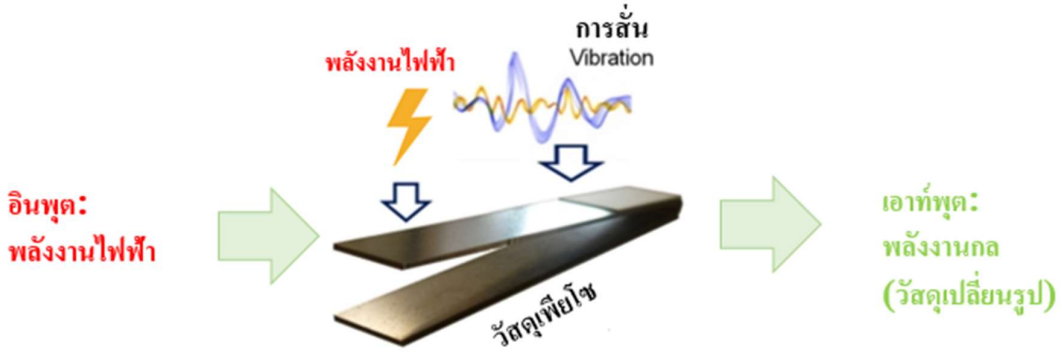
วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Material) คือ วัสดุเซรามิกคริสตอล หรือโพลิเมอร์ที่เมื่อได้รับแรงกดหรือแรงดึงจะเปลี่ยนรูปพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่าวิธีการ Direct Effect เพื่อกักเก็บไว้ใช้ต่อไป (ดูรูปที่ 1) หรือ เมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับกระแสไฟฟ้าจะเกิดการยืดหดตัวเองได้ ขนาดของการยืดหดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ได้รับคือเปลี่ยนรูปจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมหรือเปลี่ยนรูปวัสดุ เรียกว่าวิธีการ Converse Effect (ดูรูปที่ 2) [3]



รูปที่ 1 การทำงานของวัสดุเพียโซเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้า (Direct Effect)

ตัวอย่างของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่พบได้ในชีวิตประจำวันมีดังนี้ ผู้ใช้อาจไม่ทราบเลยว่าอุปกรณ์ในชีวิตประจำวันเหล่านั้นมีวัสดุเพียโซอิเล็กทริกผสมอยู่ เช่น หัวฉีดน้ำมันในรถยนต์ รถจักรยานยนต์ ระบบการ

ควบคุมถุงลมนิรภัย (Air Bag) ระบบเบรค ระบบป้องกันขโมย หัวฉีดหมึกพิมพ์ กล้องดิจิตอล การใช้ประโยชน์จากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในการทำความสะอาด เช่น อุปกรณ์ล้างเครื่องมือแพทย์ ล้างผัก เครื่องล้างอัญมณี เนื่องจากเมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับกระแสไฟฟ้าสลับที่ความถี่สูง เช่น 60 KHz จะเกิดการยืดหดตัวของวัสดุตามความถี่ที่ได้รับและส่งผ่านคลื่นความถี่ไปยังน้ำ ทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกจากเครื่องมือ ผัก หรือ อัญมณีโดยไม่ทำให้อุปกรณ์เสียหาย หลักการเดียวกันนี้ยังถูกนำไปใช้ในเครื่องนวด ทำให้กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นด้วยคลื่นไฟฟ้าระดับอัลตร้าซาวน์ เมื่อกล้ามเนื้อถูกกระตุ้นเป็นจังหวะทำให้ระบบเลือดไหลเวียนได้ดีขึ้นด้วย การใส่วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (วงสีแดง) เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากส้นรองเท้าแล้วนำไปใช้ระบบต่าง ๆ ในรองเท้า เช่น ระบบไฟ ระบบฮีตเตอร์ (ดูรูปที่ 3) [1-4,10,12]



รูปที่ 2 การทำงานของวัสดุเพียโซเพื่อสร้างพลังงานกล (Converse Effect)

รูปที่ 3 ตัวอย่างการใช้งานวัสดุเพียโซเพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากรองเท้า

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน งานวิจัยในอุตสาหกรรมการบินส่วนใหญ่ได้ศึกษาการควบคุมเชิงกลศาสตร์ต่าง ๆ (Dynamic and Static Control) ในระบบอากาศยานและการบินซึ่งแบ่งได้เป็นสองหัวข้อหลักๆดังนี้ (1) การควบคุมการเสียงและสั่น (Noise and Vibration Control) ตัวอย่างคือ การควบคุม Buffet Control ในระบบเครื่องบินขับไล่ F/A-18 Hornet [3] การควบคุม Flutter Suppression เพื่อขยายความสามารถในการควบคุมความเร็ว (Flight Envelop) การควบคุมการสั่นของเครื่องยนตร์ในเครื่องบิน (2) การควบคุมการออกแบบ (Shape Control) [10] ตัวอย่างคือ การออกแบบปีกเครื่องบินเพื่อเพิ่มสมรรถนะการไหลของอากาศ (Aerodynamic Performance) ไม่นานมานี้ได้เริ่มมีการนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมาใช้ในอุตสาหกรรมการบินอย่างแพร่หลาย [1,2,5-9,11] ในปี พ.ศ. 2551 วัสดุเพียโซอิเล็กได้ถูกนำไปทดสอบและติดตั้งที่ปีกของอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aircraft) เพื่อเพิ่มสมรรถนะการหมุน (Roll Control) [2] เพิ่มสมรรถนะการไหลของอากาศ (Aerodynamic Performance) [7] และลดน้ำหนักโครงสร้างของเครื่องบิน (Structure weight reduction) [1] แนวคิดของงานวิจัยนี้มาจากการที่พื้นผิวของอากาศยาน จะได้รับแรงลมหรือแรงกดอยู่ตลอดเวลา ตั้งแต่ขึ้นเครื่องบินขึ้นจนถึงเครื่องบินลง ถ้าเรานำแรงกดหรือแรงลมเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ได้ โดยการเปลี่ยนแรงกดหรือแรงลมเหล่านี้เป็นพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้สำหรับอุปกรณ์อิเล็กโทรนิกส์ต่าง ๆ ในเครื่องบินได้ก็น่าจะเป็นประโยชน์อย่างมหาศาล เพราะการผลิตไฟฟ้าจากแรงลมเหล้านี้สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงของอากาศยานได้และยังสามารถเพิ่มสมรรถนะของอากาศยาน ได้อีกด้วย เมื่อทีมผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าอย่างลึกซึ้งแล้ว ทีมผู้วิจัยพบว่าวัสดุเพียโซอิเล็กทริกนั้นมีหลากหลายชนิด (คริสตัลเซรามิค และโพลิเมอร์) และหลายขนาด แต่ละชนิดและขนาดให้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไป อีกทั้งยังไม่เคยพบงานวิจัยใด ๆ ที่ศึกษาและเปรียบเทียบชนิดของวัสดุเพียโซเพื่อวัดปริมาณการสร้างกระแสไฟฟ้าสูงสุด มากไปกว่านั้นยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาการติดตั้งวัสดุเพียโซเพื่อกักพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ในอากาศยาน ลดการใช้เชื้อเพลิงอย่างสิ้นเปลือง และเพิ่มสมรรถนะในด้านต่าง ๆ ของอากาศยาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นตัวแปรสำคัญมากในการพัฒนาวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและอุตสาหกรรมการบินยุคใหม่เพราะพลังงานไฟฟ้าในอากาศยาน โดยส่วนใหญ่มาจากการเผาผลาญพลังงานเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันจากเครื่องยนต์ และพลังงานงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สำคัญและขาดมิได้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์อิเล็กโทรนิกส์ต่าง ๆ ในอากาศยาน รวมไปถึงการสตาร์ทอากาศยาน ดังนั้นการสร้างแหล่งพลังงานไฟฟ้ารูปแบบใหม่ในอากาศยาน จึงเป็นปัจจัยที่ท้าทายและสำคัญอย่างมากในการออกแบบและพัฒนาอากาศยาน ในยุคปัจจุบันและอนาคต [6] เพื่อแก้ปัญหาขาดแคลนพลังงานเชื้อเพลิง เพิ่มอิสระในการใช้พลังงานไฟฟ้าในอากาศยาน และลดภาวะการก่อมลพิษจากพลังงานเชื้อเพลิงในปัจจุบัน

สำหรับงานวิจัยนี้ เราจะออกแบบ พัฒนา และประยุกต์ใช้วัสดุอัจฉริยะเพียโซอิเล็กทริกเพื่อสร้างและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด ไว้ใช้ในระบบต่าง ๆ ของอากาศยาน ลดการใช้เชื้อเพลิง และเพิ่มสมรรถนะของอากาศยาน ผู้วิจัยจะสร้างแบบจำลอง ศึกษา และทดสอบวัสดุเพียโซอิเล็กทริกหลากหลายชนิด ได้แก่ วัสดุชนิดเซรามิคและโพลิเมอร์ เพื่อวัดการสร้างพลังงานไฟฟ้าสูงสุด จากนั้นทีมผู้วิจัยจะทำการออกแบบ

ตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกบนอากาศยาน เพื่อให้สร้างพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดโดยไม่ขัดต่อหลักกลศาสตร์ของอากาศยาน สถานการณ์ความไม่แน่นอนของสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย เช่น ขนาดแรงกดที่ต่างกัน และอุณหภูมิได้นำมาศึกษาและพิจารณาในงานวิจัยนี้ จากนั้นเราจะทำการเปรียบเทียบศักยภาพงานวิจัยนี้โดยนำผลงานวิจัยไปเปรียบเทียบกับอากาศยาน ที่ไม่ได้ติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริก แล้วประเมินผลว่างานวิจัยที่นำเสนอสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าทดแทนไว้ใช้ในอากาศยาน และลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้มากน้อยเพียงได้

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาว่าวัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิดใดให้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด

2.2 เพื่อส่งเสริม พัฒนาและประยุกต์ใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกในอุตสาหกรรมการบิน นำไปสู่การออกแบบอากาศยาน สมัยใหม่ (ใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิง) ในอนาคต

2.3 เพื่อสร้างแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ในอากาศยาน ลดการใช้เชื้อเพลิงโดยไม่จำเป็น และเพิ่มประสิทธิภาพในการบิน

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

3.1 วิจัยและเปรียบเทียบวัสดุเพียโซอิเล็กทริกสองชนิด คือ เซรามิก และโพลิเมอร์ ในขนาดที่เท่ากันเพื่อศึกษาการสร้างและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

3.2 วิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกโดยไม่ทำลายหลักกลศาสตร์ของอากาศยาน

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น ด้านวิชาการ ด้านนโยบาย ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์ อุตสาหกรรม ด้านสังคมและชุมชน รวมถึงการเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลสำเร็จที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัยนี้ คือ การสร้างแบบจำลอง ศึกษา และทดสอบวัสดุเพียโซอิเล็กทริกหลากหลายชนิด (เซรามิค และโพลิเมอร์) เพื่อสร้างและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด ไว้ใช้ในอากาศยานต่อไป ผลงานที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาในโครงการวิจัยนี้ จะอยู่ในรูปของการนำเสนอผลงานในวารสารระดับนานาชาติ หรือ วารสารระดับชาติ อย่างน้อย 1 ครั้ง

4.1 สร้างองค์ความรู้ใหม่และเสริมความรู้เดิมให้เข้มแข็งในการสร้างพลังงานทดแทนแหล่งใหม่ในอุตสาหกรรมการบิน

4.2 สร้างองค์ความรู้ใหม่และเสริมความรู้เดิมให้เข้มแข็งในการประยุกต์ใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกกับอุตสาหกรรมการบิน

4.3 สามารถสร้างแบบจำลอง ศึกษา และทดสอบวัสดุเพียโซอิเล็กทริกหลากหลายชนิด (เซรามิคและโพลิเมอร์) เพื่อสร้างและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด ไว้ใช้ในอากาศยาน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบขนส่งอื่น ๆ ที่มีระบบปัญหาใกล้เคียงกันได้

4.4 สร้างโอกาสและพัฒนาองค์ความรู้ทางการวิจัยดำเนินงานให้กับนักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรีและระดับบัณฑิตศึกษาได้

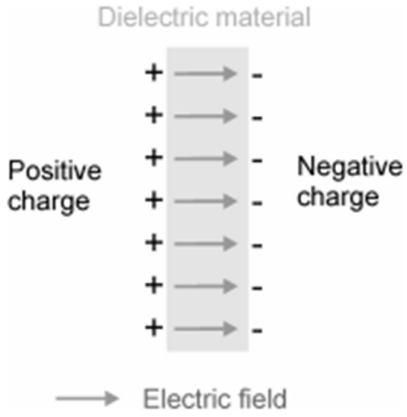
บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

การทำงานของสนามแม่เหล็ก (Polarization) ในการแยกขั้วบวก (Positive Charge) และขั้วลบ (Negative Charge) จะทำงานที่ปลายขอบของวัสดุที่เป็นฉนวน (Dielectric Material) ในสภาพแวดล้อมที่เป็นสนามแม่เหล็ก (Electric Field)

การทำงานของสนามแม่เหล็กแบบฉับพลัน (Spontaneous Polarization) นั้นคือปรากฏการณ์ที่การทำงานของสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นโดยไม่อยู่ในสภาวะของสนามแม่เหล็ก (ดูรูปที่ 4) การทำงานของสนามแม่เหล็กแบบฉับพลันถูกพบในวัสดุคริสตัล ที่ข้างในมีขั้วบวกและลบไม่ดูดติดกันอยู่ ระดับและทิศทางของการทำงานของสนามแม่เหล็กถูกอธิบายโดยใช้ ความหนาแน่นของวัสดุในการปล่อยพลังงานไฟฟ้า D ไว้ดังต่อไปนี้ [1-3]

$$D = \sigma E + P'' \quad (1)$$



รูปที่ 4 การทำงานของของสนามแม่เหล็กในฉนวน

เพียโซอิเล็กทริกถูกค้นพบโดย เพียร์ คิวรี และ จาค็อบ คิวรี ในปี ค.ศ. 1880 ปรากฏการณ์ จากรูปที่ 4 พบว่า Direct Effect คือคุณสมบัติของวัสดุเพื่อปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าบนพื้นผิวของวัสดุภายใต้แรงดึงทางกล จะมีทิศทางของสนามแม่เหล็กและขั้วไฟฟ้าปรากฏดังรูปที่ 5a ปรากฏการณ์ Converse Effect คือคุณสมบัติของวัสดุเพื่อปลดปล่อยกล บนพื้นผิวของวัสดุภายใต้การให้แรงทางไฟฟ้า จะมีทิศทางของสนามแม่เหล็กและขั้วไฟฟ้าปรากฏดังรูปที่ 5b ทั้งสองปรากฏการสามารถอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้ [1-5]

เริ่มแรกใช้สมการ การนำไฟฟ้าของวัสดุ

$$D = \sigma E \quad (2)$$

จากนั้นใช้สมการ Hooke's law อธิบายการยืดหยุ่นของวัสดุ

$$S=sT \tag{3}$$

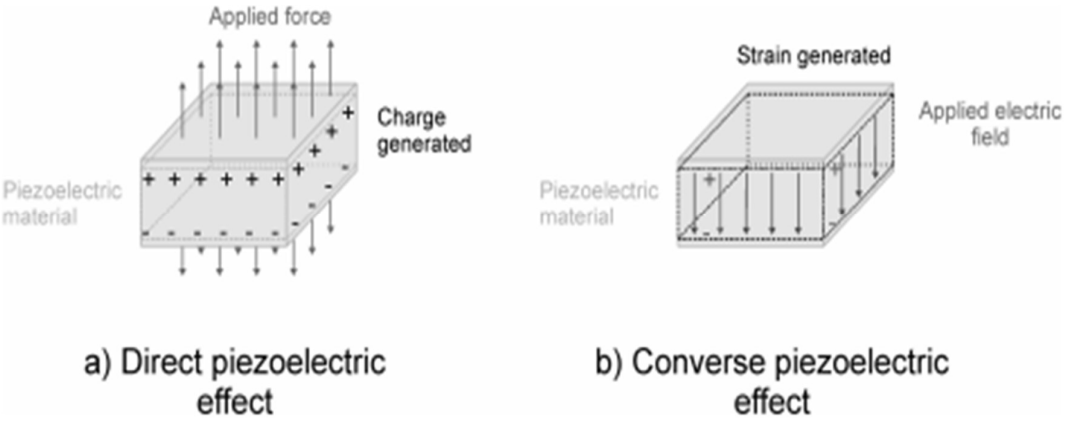
ดังนั้น นำสองสมการด้านบนมารวมกันจะได้สมการอธิบายการทำงานของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกดังต่อไปนี้

ปรากฏการณ์ Direct Effect (เปลี่ยนพลังงานกลเป็นไฟฟ้า)

$$D = \gamma T + \sigma E \tag{4}$$

ปรากฏการณ์ Converse Effect (เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกล)

$$S= sT + \gamma^{t} E \tag{5}$$



รูปที่ 5 ปรากฏการณ์ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

2. สมมุติฐานงานวิจัย มีดังนี้

2.1 ถ้าใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกชนิดและขนาดที่แตกต่างกัน คาดว่าจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ปริมาณที่แตกต่างกันออกไป

2.2 ถ้าใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน คาดว่าจะสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้ในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป

3. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน งานวิจัยในอุตสาหกรรมการบินส่วนใหญ่ได้ศึกษาการควบคุมเชิงกลศาสตร์ต่าง ๆ (Dynamic and Static Control) ในระบบอากาศยานและการบินซึ่งแบ่งได้เป็นสองหัวข้อหลักๆดังนี้ (1) การควบคุมการเสียงและสั่น (Noise and Vibration Control) ตัวอย่างคือ การควบคุม Buffet Control ในระบบเครื่องบินขับไล่ F/A-18 Hornet [3] การควบคุม Flutter Suppression เพื่อขยายความสามารถในการควบคุมความเร็ว (Flight Envelop) การควบคุมการสั่นของเครื่องยนตร์ในเครื่องบิน (2) การควบคุมการออกแบบ (Shape Control) [10] ตัวอย่างคือ การออกแบบปีกเครื่องบินเพื่อเพิ่มสมรรถนะการไหลของอากาศ (Aerodynamic Performance) ไม่นานมานี้ได้เริ่มมีการนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมาใช้ในอุตสาหกรรมการบินอย่างแพร่หลาย [1,2,5-9,11] ในปี พ.ศ. 2551 วัสดุเพียโซอิเล็กได้ถูกนำไปทดสอบและติดตั้งที่ปีกของอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aircraft) เพื่อเพิ่มสมรรถนะการหมุน (Roll Control) [2] เพิ่มสมรรถนะการไหลของอากาศ (Aerodynamic Performance) [7] และลดน้ำหนักโครงสร้างของเครื่องบิน (Structure weight reduction) [1] แนวคิดของงานวิจัยนี้มาจากการที่พื้นผิวของเครื่องบินจะได้รับแรงลมหรือแรงกดอยู่ตลอดเวลา ตั้งแต่ขึ้นเครื่องบินขึ้นจนถึงเครื่องบินลง ถ้าเรานำแรงกดหรือแรงลมเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ได้ โดยการเปลี่ยนแรงกดหรือแรงลมเหล่านี้เป็นพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้สำหรับอุปกรณ์อิเล็กโทรนิกส์ต่าง ๆ ในเครื่องบินได้ก็น่าจะเป็นประโยชน์อย่างมหาศาล เพราะการผลิตไฟฟ้าจากแรงลมเหล่านี้สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องบินได้ และยังสามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องบินได้อีกด้วย เมื่อทีมผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าอย่างลึกซึ้งรวมไปถึงการทำการทบทวนวรรณกรรมแล้ว ทีมผู้วิจัยพบปัญหาว่าวัสดุเพียโซอิเล็กทริกนั้นมีหลากหลายชนิด (คริสตัล เซรามิค และโพลิเมอร์) และหลายขนาด (ดูรูปที่ 6) แต่ละชนิดและขนาดให้พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไปขึ้นกับคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนั้น ดังนั้นปัญหาการเลือกใช้ชนิดของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกให้เหมาะสมกับเครื่องบินนั้นเป็นอีกปัญหาที่สำคัญ เพราะผู้ผลิตต้องเลือกให้เหมาะสมกับปัจจัยทางกายภาพและกลศาสตร์ของเครื่องบินเพื่อให้สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด และไม่ทำลายเสถียรภาพด้านอื่น ๆ ของเครื่องบิน อีกทั้งยังไม่เคบพบงานวิจัยใด ๆ ที่ศึกษาและเปรียบเทียบชนิดของวัสดุเพียโซเพื่อวัดปริมาณการสร้างพลังงานไฟฟ้าสูงสุด มากไปกว่านั้นยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาการติดตั้งวัสดุเพียโซเพื่อกักพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ในเครื่องบิน ลดการใช้เชื้อเพลิงอย่างสิ้นเปลือง และเพิ่มสมรรถนะในด้านต่าง ๆ ของเครื่องบิน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นตัวแปรสำคัญมากในการพัฒนาวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและอุตสาหกรรมการบินยุคใหม่เพราะพลังงานไฟฟ้าในเครื่องบินโดยส่วนใหญ่มาจากการเผาผลาญพลังงานเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันจากเครื่องยนต์ และพลังงานงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สำคัญและขาดมิได้ในการขับเคลื่อนอุปกรณ์อิเล็กโทรนิกส์ต่าง ๆ ในเครื่องบิน

รวมไปถึงการสตาร์ทเครื่องบิน ดังนั้นการสร้างแหล่งพลังงานไฟฟ้ารูปแบบใหม่ในเครื่องบินจึงเป็นปัจจัยที่ท้าทายและสำคัญอย่างมากในการออกแบบและพัฒนาเครื่องบินในยุคปัจจุบันและอนาคต [8] เพื่อแก้ปัญหาขาดแคลนพลังงานเชื้อเพลิง เพิ่มอิสระในการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องบิน และลดภาวะการก่อมลพิษจากพลังงานเชื้อเพลิงในปัจจุบัน

รูปที่ 6 ชนิดและขนาดที่แตกต่างกันของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

สำหรับงานวิจัยนี้ เราจะออกแบบพัฒนาและประยุกต์ใช้วัสดุอัจฉริยะเพียโซอิเล็กทริกเพื่อสร้างและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด ไว้ใช้ในระบบต่าง ๆ ของเครื่องบิน ลดการใช้เชื้อเพลิง และเพิ่มสมรรถนะของเครื่องบิน ผู้วิจัยจะสร้างแบบจำลอง ศึกษา และทดสอบวัสดุเพียโซอิเล็กทริกหลากหลายชนิด (เซรามิค และโพลิเมอร์) เพื่อวัดการสร้างพลังงานไฟฟ้าสูงสุด จากนั้นทีมผู้วิจัยจะทำการออกแบบตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกบนเครื่องบิน เพื่อให้สร้างพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดโดยไม่ขัดต่อหลักกลศาสตร์ของเครื่องบิน สถานการณ์ความไม่แน่นอนของสภาพแวดล้อมที่หลากหลายในเช่น ขนาดแรงกดที่ต่างกัน และอุณหภูมิได้นำมาศึกษาและพิจารณาในงานวิจัยนี้ จากนั้นเราจะทำการเปรียบเทียบศักยภาพงานวิจัยนี้โดยนำผลงานวิจัยไปเปรียบเทียบกับเครื่องบินที่ไม่ได้ติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริก แล้วประเมินผลว่างานวิจัยที่นำเสนอสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าทดแทนไว้ใช้ในเครื่องบิน และลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้มากน้อยเพียงได้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

เป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้คือ การทดสอบ และ พัฒนาวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเพื่อศึกษาการสร้างและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าให้ได้สูงสุด เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงในอากาศยาน และเพิ่มประสิทธิภาพการบิน ตัวแปรที่สำคัญและใช้ในงานวิจัยนี้คือสภาพความไม่แน่นอน ต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดแรงกดเพื่อสร้างพลังงานไฟฟ้า อุณหภูมิที่มีผลต่อการสร้างพลังงานไฟฟ้า ชนิดและขนาดของวัสดุเพียอิเล็กทริกที่ใช้สร้างพลังงานไฟฟ้า ตัวแปรทั้งหมดนี้นำไปสู่การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงและเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบินได้ เพื่อให้เข้าใจการทำงานของระบบนี้ได้ดียิ่งขึ้น ทีมผู้วิจัยจะวิเคราะห์และทดสอบวัสดุเพียโซอิเล็กทริกหลากหลายขนาดและชนิดเปลี่ยนแปลงไปตามตัวแปรที่กล่าวไว้และจากนั้นจะสร้างแบบจำลองของปีกเครื่องบินเพื่อทำการวิเคราะห์หาจุดติดตั้งที่เหมาะสมสำหรับวัสดุเพียโซอิเล็กทริกโดยไม่ทำลายหลักกลศาสตร์การบิน

การพิจารณาปัญหาเริ่มต้นที่การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการสร้างพลังงานไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก มีเป้าหมายเพื่อให้สร้างและกักเก็บพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด การวิจัยได้ทำการทดสอบวัสดุเพียโซที่แตกต่างกันสองชนิดได้แก่ โพลิเมอร์ และ เซรามิก เพื่อให้ได้จุดประสงค์ในการสร้างพลังงานไฟฟ้าสูงสุด การออกแบบการทดลองมีดังต่อไปนี้

3.1 <u>การสร้างพลังงานไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของวัสดุ</u>

ทีมผู้วิจัยจะทำการศึกษา ทดสอบ แบบจำลองของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกสองชนิด (Two types of material) โดยมีการกำหนดขนาดของวัสดุที่เท่ากัน จากนั้นจะทำการศึกษาและวิเคราะห์การสร้างพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไป

<u>3.2 การสร้างพลังงานไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับแรงกดที่ได้รับ (พลังงานกล)</u>

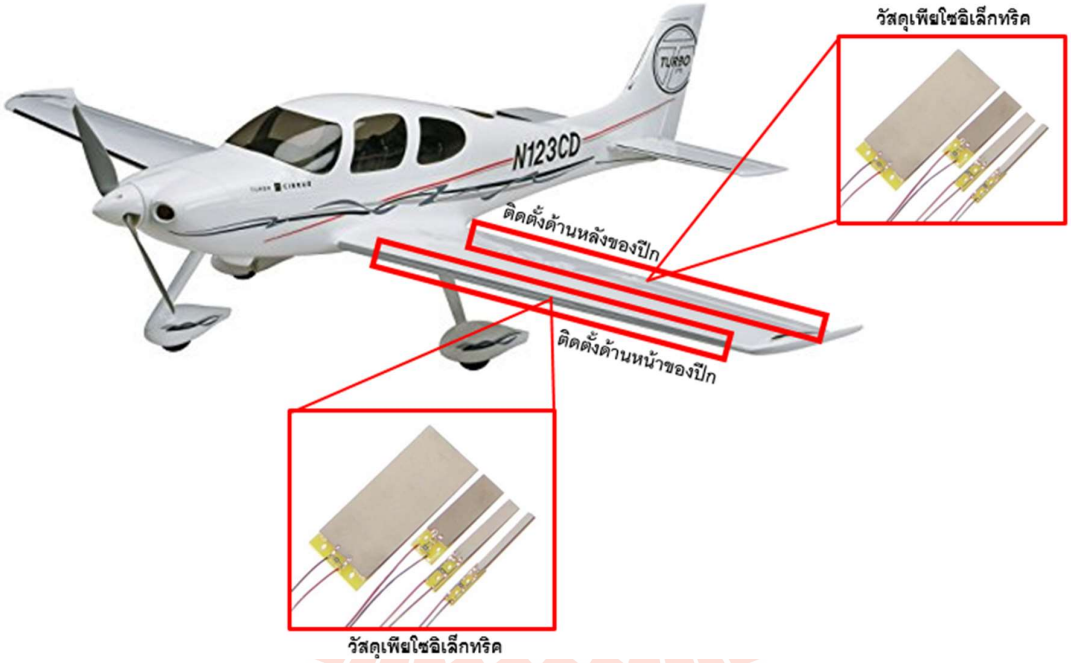
ทีมผู้วิจัยจะทำการศึกษาและทดสอบ แบบจำลองของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกสองชนิด (Two types of material) โดยมีการกำหนดขนาดของวัสดุที่เท่ากัน แต่ใช้ขนาดแรงกดที่แตกต่างกันออกไป จากนั้นจะทำการศึกษาและวิเคราะห์การสร้างพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไป

<u>3.3 การสร้างพลังงานไฟฟ้าของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่แตกต่างกัน</u>

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ทีมผู้วิจัยจะทำการศึกษาและทดสอบ แบบจำลองของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกสองชนิด (Two types of material) โดยมีการกำหนดขนาดของวัสดุที่เท่ากัน ขนาดแรงกดที่เท่ากัน แต่ทำการทดสอบภายใต้สภาพอุณหภูมิที่แตกตางกัน จากนั้นจะทำการศึกษาและวิเคราะห์การสร้างพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไป

หลังจากทราบแล้วว่าวิธีการไหนสามารถทำให้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกสร้างพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุด จากนั้นผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์หาจุดติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่เหมาะสมบนตัวเครื่องบิน ดูรูปที่ 7 โดยไม่ทำลายหลักกลศาสตร์การบิน



รูปที่ 7 รูปแบบการติดตั้งวัสดุเพียโซเพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ในอากาศยาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้วิจัยเริ่มต้นโดยสร้างแบบจำลองปีกเครื่องบินที่เหมาะสม จากนั้นนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริกลงไปติดตั้งแล้วนำไปเข้าอุโมงค์ลมทำการทดสอบการไหลตามหลักกลศาสตร์การบิน ขั้นตอนสุดท้ายผู้วิจัยจะวิเคราะห์การไหลของลมก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและทำการสรุปผลการทดลอง

2. วิธีดำเนินการวิจัย (Method)

1. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริก
2. ทดสอบแบบจำลองโดยใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกสองชนิดที่ต่างกันเพื่อศึกษาการสร้างพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

3. เก็บรวมรวมข้อมูล วิเคราะห์ผลและอภิปรายผลการวิจัย พร้อมทั้งเตรียมต้นฉบับเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสาร และเขียนรายงาน
4. ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอากาศยาน
5. สร้างแบบจำลองอากาศยาน ที่จะทำการติดตั้งวัสดุเพียโซอิเลกทริก
6. ศึกษาหาตำแหน่งติดตั้งวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่เหมาะสมโดยไม่ทำลายกลศาสตร์การบิน
7. เก็บรวมรวมข้อมูล วิเคราะห์ผลและอภิปรายผลการวิจัย พร้อมทั้งเตรียมต้นฉบับเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสาร และเขียนรายงาน

3. วิธีการดำเนินโครงงาน

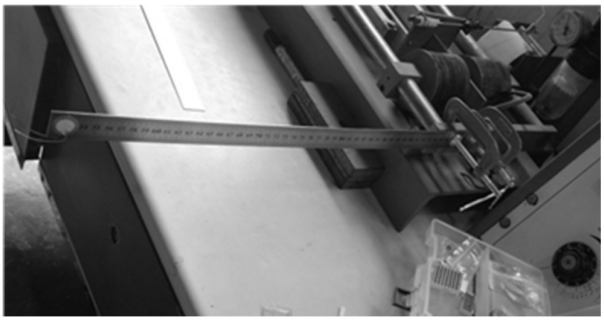
การทดลองของกลุ่มมีทั้งหมด 3 แบบ โดยได้เริ่มต้นจากการใช้เครื่องวัดการสั่นแบบอิสระในการสร้างการสั่นสะเทือนเป็นอย่างแรก จากนั้นใช้เครื่องเขย่า (Shaker) เป็นอย่างที่สอง และเครื่องมืออย่างสุดท้ายคือการใช้อุโมงค์ลมในการสร้างแรงทางกล

<u>เครื่องมือชนิดที่ 1 ใช้เครื่องวัดการสั่นแบบอิสระในการสร้างแรงทางกล</u>

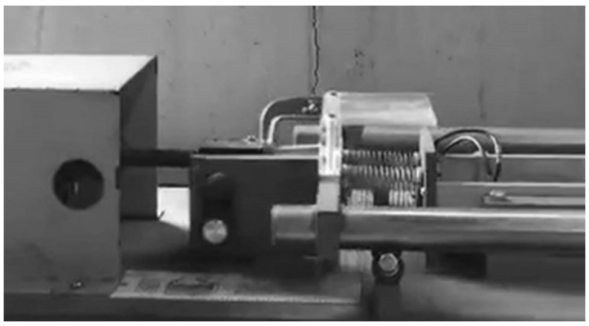
1. ติดตั้งเพียโซอิเลกทริกลงบนคาน (ไม้บรรทัดฟุตเหล็ก)

รูปที่ 8 วัสดุเพียโซที่ติดตั้งบนคาน

2. ติดตั้งคานกับเครื่องวัดการสั่นแบบอิสระด้วย C-Clamp

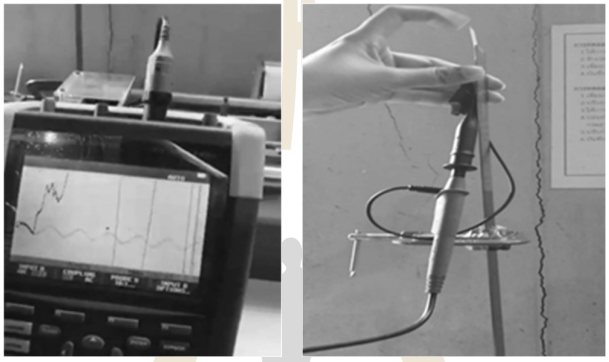


รูปที่ 9 การติดตั้งคานกับเครื่องวัดการสั่นแบบอิสระ (1)



รูปที่ 10 การติดตั้งคานกับเครื่องวัดการสั่นแบบอิสระ (2)

3. ต่อสายไฟจากเพียโซอิเลกทริกไปที่ Oscilloscope

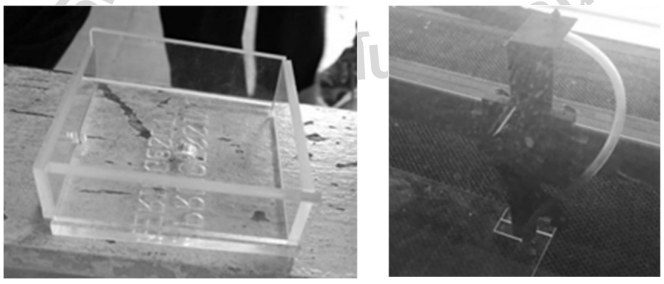


รูปที่ 11 การใช้ Oscilloscope วัดค่าแรงดันไฟฟ้า

4. เริ่มเดินเครื่องวัดการสั่นแบบอิสระเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

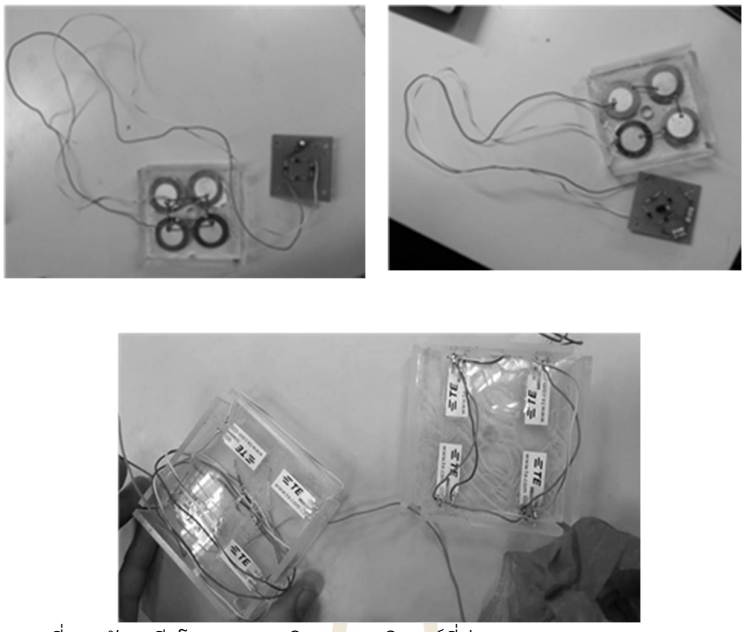
<u>เครื่องมือชนิดที่ 2 เครื่องเขย่า (Shaker)</u>

1. ออกแบบและสร้างแท่นอะคริลิคเพื่อวางวัสดุเพียโซ



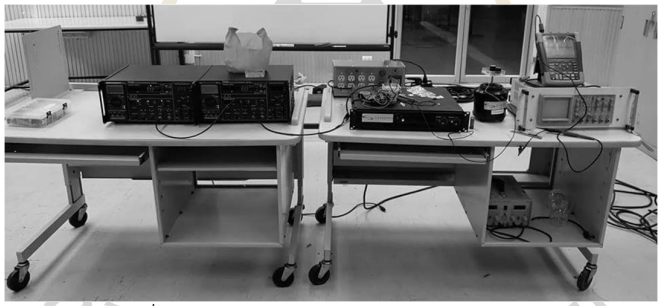
รูปที่ 12 การเตรียมแผ่นอะคริลิคด้วยการใช้ Laser Cutting

2. บัดกรีเพื่อต่อวัสดุเพียโซให้เป็นวงจรขนานและอนุกรมและติดตั้งบนแผ่นอะคริลิค



รูปที่ 13 วัสดุเพียโซแบบเซรามิกและพอลิเมอร์ที่ต่อวงจรแบบขนานและอนุกรม

3. ติดตั้งแผ่นอะคริลิคลงบนเครื่องเขย่าพร้อมกับต่อสายไฟจากวงจรวัสดุเพียโซเข้าเครื่อง Oscilloscope



รูปที่ 14 อุปกรณ์ ในการทดลองร่วมกับ Shaker

รูปที่ 15 Oscilloscope. Fluke 190-204 Scopemeter

รูปที่ 16 Power Amplifier. QSC Model ISA 750 Professional Amplifier

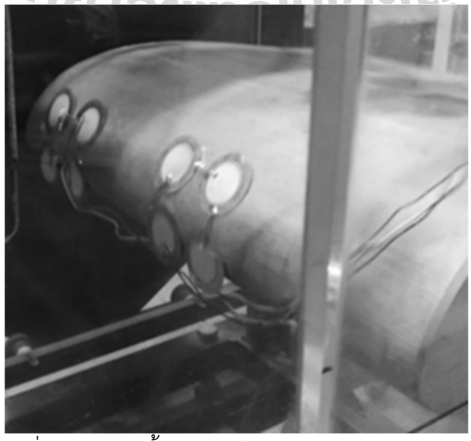
รูปที่ 17 Shaker. Spectrum Dynamics Model M1200W

รูปที่ 18 Function Generator. Crotech Multifunction Generator Model 4950

4. ตั้งค่าความถี่และแอมพลิจูดในการสั่นของเครื่องเขย่า (5-100 Hz, 6-7 dB)
5. อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากเครื่อง Oscilloscope
6. นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสูตร $P = V^2/R$

<u>เครื่องมือชนิดที่ 3 อุโมงค์ลม</u>

1. ติดตั้งวัสดุเพียโซที่ต่อวงจรแบบขนานและอนุกรมเรียบร้อยแล้วลงบน Airfoil ในอุโมงค์ลม

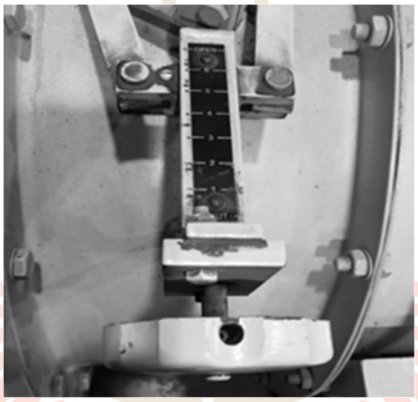


รูปที่ 19 การติดตั้งวัสดุเพียโซลงบนผิวปีกอากาศยาน

2. ต่อ Oscilloscope เพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 20 การติดตั้ง Oscilloscope

3. ปรับค่าความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านอุโมงค์ลม



รูปที่ 21 ปรับค่าความเร็วในการไหลของอากาศโดยการปรับ Butterfly Valve

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

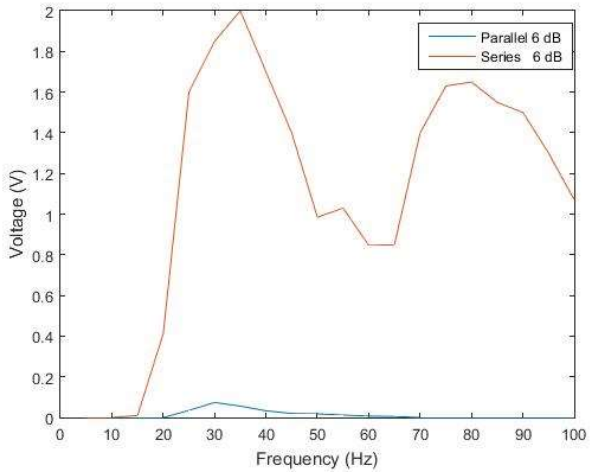
บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองโดยการใช้เครื่องวัดการสั่นแบบอิสระเป็นตัวกระตุ้นวัสดุเพียโซ

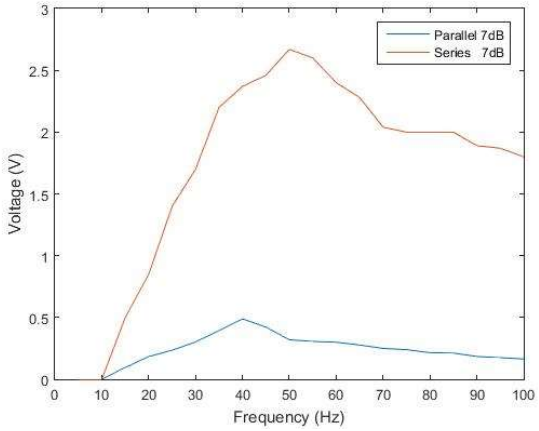
ในตอนต้นผู้จัดทำคาดว่าการสั่นด้วยแรงทางกลจะเพียงพอที่จะทำให้วัสดุเพียโซสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าได้จึงได้ออกแบบการทดลองโดยการนำวัสดุเพียโซทั้งแบบเซรามิกและแบบพอลิเมอร์ติดตั้งที่ปลายของไม้บรรทัดฟุตเหล็กและนำไม้บรรทัดฟุตเหล็กไปติดตั้งบนเครื่องวัดการสั่นแบบอิสระ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการสั่นที่คล้ายกับการสั่นของปีกเครื่องบิน และจากการทดลองพบว่าการให้แรงในลักษณะนี้ไม่สามารถทำให้วัสดุเพียโซสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมาได้จึงต้องทำการออกแบบการทดลองใหม่

4.2 ผลการทดลองโดยการใช้เครื่องเขย่าและมวลขนาด 0.7 N เป็นตัวกระตุ้นแรงกดบนวัสดุเพียโซ

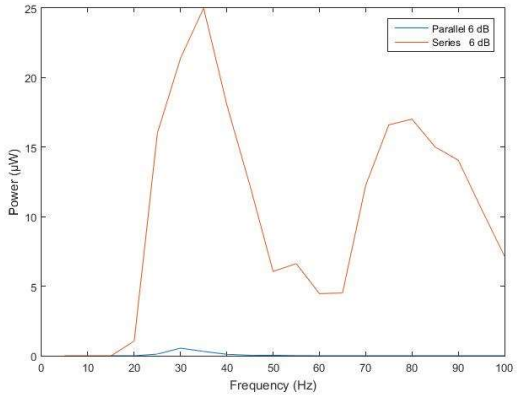
จาก Literature Review ทำให้ผู้ทดลองทราบในเบื้องต้นว่าวิธีการกระตุ้นวัสดุเพียโซให้สร้างแรงดันไฟฟ้าได้จำเป็นจะต้องมีแรงกระทำโดยตรงกับส่วนที่เป็น PZT Disk ผู้ทดลองจึงได้เลือกใช้เครื่องเขย่าในการทดลองเพราะสามารถกำหนดได้ทั้งความถี่และแอมพลิจูดในการสั่นได้ โดยได้ออกแบบให้สามารถนำมวลขนาด 0.7 N จำนวน 2 ตัว วางลงบนวงจรวัสดุเพียโซได้ (มวล 1 ตัว/วัสดุเพียโซ 2 ตัว) ค่าความถี่ที่ใช้ในการสั่นคือ 5-100 Hz แอมพลิจูด 6 และ 7 dB จากนั้นทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัสดุเพียโซสร้างได้ด้วย Oscilloscope เพื่อนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ในการสั่น และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุเพียโซและความถี่ในการสั่น โดยหาค่ากำลังไฟฟ้าจากสูตร $P = \frac{V^2}{R}$ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปด้านล่าง



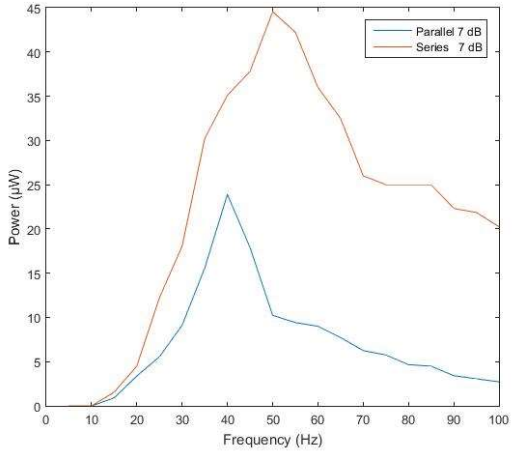
รูปที่ 22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ในการสั่น
(แอมพลิจูด 6 dB, วงจรอนุกรมเส้นสีแดง, วงจรขนานเส้นสีน้ำเงิน)



รูปที่ 23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ในการสั่น
(แอมพลิจูด 7 dB, วงจรอนุกรมเส้นสีแดง, วงจรขนานเส้นสีน้ำเงิน)



รูปที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุเพียโซและความถี่ในการสั่น
(แอมพลิจูด 6 dB, วงจรอนุกรมเส้นสีแดง, วงจรขนานเส้นสีน้ำเงิน)



รูปที่ 25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากวัสดุเพียโซและความถี่ในการสั่น
(แอมพลิจูด 7 dB, วงจรอนุกรมเส้นสีแดง, วงจรขนานเส้นสีน้ำเงิน)

4.3 ผลการทดลองโดยการใช้ลมในอุโมงค์ลมเป็นตัวกระตุ้นวัสดุเพียโซ

ผู้ทดลองได้นำวงจรวัสดุเพียโซไปติดตั้งบนAirfoil ในส่วนที่เป็น Leading Edge เนื่องมาจากหลักการทางอากาศพลศาสตร์บริเวณดังกล่าวจะเป็นบริเวณที่เกิดความดันอากาศขึ้นสูงกว่าบริเวณ อื่น ๆ ของ Airfoil และจากสูตร $P = \frac{F}{A}$ โดยจะทราบค่าความดันอากาศจากมานอมิเตอร์ของอุโมงค์จากนั้นวัดพื้นที่หน้าตัดของวัสดุเพียโซ ก็จะสามารถหาค่าแรงที่กระทำได้ แต่เมื่อทำการทดลองพบว่าค่าแรงดันที่ได้จากวัสดุเพียโซแบบเซรามิกมีค่าน้อยมากจนไม่สามารถนำมาคำนวณเป็นค่ากำลังไฟฟ้าได้ทั้งนี้เป็นเพราะว่าแรงลมที่กระทำไม่เพียงพอที่จะกระตุ้นให้วัสดุเพียโซแบบเซรามิกสร้างแรงดันไฟฟ้าได้ ส่วนวัสดุเพียโซแบบพอลิเมอร์วงจรอนุกรมได้ค่าแรงดันไฟฟ้า 1.32–2.51 V วงจรขนานได้ค่าแรงดันไฟฟ้า 216–333 mV ซึ่งก็จะเห็นได้ว่าวงจรแบบอนุกรมได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่มากกว่าวงจรแบบขนานเช่นเดียวกับวัสดุเพียโซแบบเซรามิก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการค้นคว้าวิจัยทำให้ทราบถึงวิธีที่เหมาะสมในการกระตุ้นวัสดุเพียโซอิเลกทริกแบบชนิดเซรามิกและแบบพอลิเมอร์ให้สามารถสร้างกำลังไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม ทราบถึงผลของความถี่และแอมพลิจูดของแรงกระตุ้นว่าส่งผลอย่างไรต่อการสร้างกำลังไฟฟ้า ทราบถึงผลกระทบเบื้องต้นของการติดตั้งวัสดุเพียโซอิเลก-ทริกบนผิวปีกของอากาศยาน การหาค่ากำลังไฟฟ้าที่วัสดุเพียโซสร้างได้ ยังมีค่าที่น้อยมากเมื่อเทียบกับพลังงานที่ต้องการนำไปใช้งานในระบบอิเล็กทรอนิกส์ของอากาศยาน ดังนั้นจึงควรต้องศึกษาค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาความสามารถของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเพื่อให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าออกมาให้มากขึ้นหรือมีประสิทธิภาพมากขึ้นให้เหมาะสมต่อการที่จะนำไปใช้ในอากาศยาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรใช้วัสดุเพียโซมากกว่า 4 ตัวในการต่อวงจรเพื่อเก็บพลังงาน ควรคำนึงถึงเรื่องของการลดประสิทธิภาพทางด้านอากาศพลศาสตร์เมื่อติดตั้งวัสดุเพียโซบนผิวปีกของอากาศยานเนื่องจากการติดอะไรก็ตามลงไปบนพื้นผิวอากาศยานจะส่งผลต่อการเกิดแรงต้านของอากาศที่ผ่านผิว ส่งผลกระทบถึงแรงยก แรงต้านที่เกิดขึ้นต่ออากาศยานได้ นอกจากนั้นควรคำนึงถึงเรื่องของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการติดตั้งวัสดุเพียโซบนอากาศยานถึงแม้ว่าแผ่นเพียโซอิเล็กทริกจะมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาก็ตาม แต่หากความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้การติดตั้งแผนเพียโซเพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดันนั้นควรจะต้องพิจารณาเรื่องของน้ำหนักที่อาจจะมีผลกระทบตามมา ควรใช้โปรแกรม Solidworks หรือ ANSYS ในการช่วยคำนวณและประเมินพฤติกรรมของกระแสอากาศที่ไหลผ่าน Airfoil ที่มีการติดตั้งวัสดุเพียโซอิเลกทริกเพื่อให้แน่ใจว่าตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งแผนเพียโซอิเล็กทริกคือตำแหน่งใด ที่จะผลทำให้สามารถสร้างพลังงานทางไฟฟ้าได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บรรณานุกรม

[1] Bilgen O, Kochersberger KB, InmanDJ. A novel aerodynamic vectoring control airfoil via macro-fiber-composite actuators plate airfoil designs. AIAA Paper, 2008, pp. 1700

[2] Carlos ESC, Brown EL. Modeling of high aspect ratio active flexible wings for roll control, AIAA Paper, 2002, pp.1719

[3] Culshaw B. Smart Structure and Materials. Boston, USA: Artech House, 1996.

[4] Niezrecki C, Brei D, Balakrishnan S, et al. Piezoelectric actuation: state of art. Shock VibDig, 2001, 33(4), pp.269-280

[5] Park JS, Kim JH, Material properties of single crystal macro fiber composite actuators for active twist rotor blades. AIAA Paper, 2005, pp. 2265

[6] Sanders B, Eastep FE, Forster E, Aerodynamic and aeroelastic characteristics of wings with conformal control surfaces for morphing aircraft. Journal of Aircraft, 2003, 40(1),pp. 94-99

[7] Sahoo D, Carlos ESC. Roll maneuver control of UCAV wing using anisotropic piezoelectric actuators. AIAA Paper, 2002. pp.1720

[8] Saynor B, Bauen A, Leach M. The potential for renewable energy sources in aviation, PRESAV Final Report, Imperial College London, Centre for Energy Policy and Technology, 2003

[9] Schultz MR, Hyer MW. A morphing concept based on unsymmetric composite laminates and piezoceramic MFC actuators. AIAA Paper, 2004, pp.1806

[10] Yousefi- Koma A, Zimcik DG. Application of smart structures to aircraft for performance enhancement. Canadian Aeronaut Space Journal, 2003, 49(4), pp.163-172

[11] Williams RB, Nonlinear mechanical and actuation characterization of piezoelectric fiber composites. Doctoral Dissertation. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004

[12] เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง สารเพียโซอิเล็กทริกกับการพัฒนานวัตกรรมอัลตราโซนิกส์โดย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) วันที่ ๒๑ พฤษภาคม ๒๕๕๔

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก. ภาพที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการการปฏิบัติ

รูปภาพ 26 การทดลองกระตุ้นวัสดุเพียโซในอุโมงค์ลม

รูปภาพ 27 การบัดกรี

รูปภาพ 28 การทดลองกระตุ้นวัสดุเพียโซด้วยเครื่องเขย่า

รูปภาพ 29 การกลึงและทำเกลียวสกรูเพื่อใช้ในเครื่องเขย่า

Project VDO

https://drive.google.com/file/d/1MUbIIzqt8JnBKtmvVABLvKPdXJHV7J0q/view?usp=drivesdk

ข. การเข้าร่วมโครงการ The 25th Tri-University International Joint Seminar and Symposium November 4-8 ,2018 Chiang Mai University, THAILAND

รูปภาพ 30 Certificate ofnBest Oral Presentation in The 25th Tri-University International Joint Seminar and Symposium November 4-8 ,2018 Chiang Mai University, THAILAND

รูปภาพ 31 การได้เข้าร่วมกิจกรรมทางวิชาการเพื่อเผยแพร่งานวิจัย The 25th Tri-University International Joint Seminar and Symposium “Population, Food, Energy and Environment to Sustainable Society” November 4-8 2018 at Chiang Mai University, Thailand

ประวัติผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หัวหน้าโครงการ

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว วีณา ฟั่นเพ็ง
   ชื่อ -นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Veena Phunpeng
2. เลขหมายบัตรประจาตัวประชาชน 3-3099-00666-40-4
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผศ. ดร.
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ที่อยู่ของหน่วยงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
สถานที่ติดต่อ เลขที่ 111 อาคารวิชาการ 1 ถนนมหาวิทยาลัย
ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์มือถือ 081-977-0235
โทรศัพท์ที่ทำงาน 044-224-448
อีเมลล์ veenap@g.sut.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2558 ปริญญาเอก Doctor of Philosophy in Aeronautics
Imperial College London, United Kingdom

พ.ศ. 2550 ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

พ.ศ. 2547 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   - การวิเคราะห์วัสดุระดับนาโนเทคโนโลยี
   - การวิเคราะห์โครงสร้างวัสดุผสม
   - การออกแบบโครงสร้างอากาศยาน
7. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ และวารสาร ทั้งในและต่างประเทศ

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ และวารสาร ทั้งในและต่างประเทศ

งานวิจัยตีพิมพ์วารสารระดับนานาชาติ

1. **V. Phunpeng**, PM. Baiz, Mixed finite element formulations for strain-gradient elasticity problems using the FEniCS environment, *Finite Elements in Analysis and Design,* vol. 96, no.1, pp. 23-40, April, 2015. (Impact factor 2016: 2.161)

งานวิจัยตีพิมพ์ประชุมวิชาการนานาชาติ

1. Kerdphol T, Rahman F, Mitani Y, Watanabe M, **Phunpeng V**, Comparative study of Sugeno and Mamdani-based virtual inertia control for microgrids. *In the proceeding of IEEE PES Innovative Smart Grid Technology Conference (ISGT Asia 2017)*, December 2017.
2. K. Sudtachat, S. Tantrairatn, **V. Phunpeng**. The queuning model for perishable inventory with lost sale under random demand, lead time and lifetime, *In the proceeding of IASTED international conference on Modeling Identification and Control,* pp.13-20. 2017.
3. **V. Phunpeng**, Pedro M. Baiz and Silvestre T. Pinho, NUMERICAL ANALYSIS OF PIEZOELECTRIC FUNCTIONALLY GRADED BEAMS, *In the proceeding of the 20th UK Conference of the Association for Computational Mechanics in Engineering(ACME)*, the University of Manchester, UK, pp.71-74, March 2012.

งานวิจัยตีพิมพ์ประชุมวิชาการระดับชาติ

1. **วีณา ฟั่นเพ็ง** และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์, ผลของความยาวโลหะยึดกระดูก และการยึดกระดูกโดยใช้รูปแบบการวางสกรูที่แตกต่างกันต่อความเครียดบริเวณกระดูกหักในภาวะกระดูกต้นขาหัก, การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20 วันที่ 18 – 20 ตุลาคม 2549, จ. นครราชสีมา

ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย ธงชาติ เกิดผล
   ชื่อ -นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Thongchart Kerdphol
2. เลขหมายบัตรประจาตัวประชาชน 1249900152138
3. ตำแหน่งปัจจุบัน
   ตำแหน่งทางวิชาการ ดร.
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

Kyushu Institute of Technology, Tobata campus,
Power system and renewable energy laboratory (Mitani lab)
Research building no. 10. 4th floor, 1-1, Sensui-cho,
Tobata-ku, Kitakyushu-shi, Fukuoka, Japan
โทรศัพท์ +81-090-8405-5432 , +81-093-883-3243
e-mail address: thongchartkerd@gmail.com kerdphol@ele.kyutech.ac.jp

5. ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2559 ปริญญาเอก Doctor of Philosophy in Electrical and Electronic Engineering
(ทุนรัฐบาลญี่ปุ่น) Kyushu Institute of Technology, Japan

พ.ศ. 2556 ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

พ.ศ. 2553 ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

- การวิเคราะห์และควบคุมเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง (Power system dynamic and stability)
- การออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังสมัยใหม่ (Smart/micro-grids control)

- การควบคุมแบบคงทน (Robust control)
- การหาค่าที่เหมาะสม (Intelligent optimizations)

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

7.1) โครงการออกแบบและควบคุมความถี่ของโรงไฟฟ้าสมัยใหม่ สำหรับการติดตั้งพลังงานทดแทน, หัวหน้าโครงการวิจัย

โครงการวิจัย, ทุน Kyushu Institute of Technology 2560

(ดำเนินการเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว)

8. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการ และวารสาร ทั้งในและต่างประเทศ

งานวิจัยตีพิมพ์วารสารระดับนานาชาติ

1. **Kerdphol T**, Rahman F, Mitani Y, Watanabe M, Kufeoglu S, **Robust Virtual Inertia Control of an Islanded Microgrid considering High Penetration of Renewable Energy**, IEEE Access, USA, Article in Press, DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2773486.
(Impact factor 2016: 3.244)

2. **Kerdphol T**, Rahman F, Mitani Y, Watanabe M, Hongesombut K, **Robust Virtual Inertia Control to Support Frequency Stability of an Islanded Microgrid**, IET Renewable Power Generation, UK, Article in Press, DOI: 10.1049/iet-rpg.2017.0510.
(Impact factor 2016: 2.635)

3. **Kerdphol T**, Rahman F, Mitani Y, Hongesombut K, Kufeoglu S, **Virtual Inertia Control-Based Model Predictive Control for Microgrid Frequency Stabilization Considering High Renewable Integration**, Sustainability, MDPI, Switzerland, vol. 5, No. 9, pp. 1–21, 2017.
(Impact factor 2016: 1.789)

4. **Kerdphol T**, Qudaih Y, Mitani Y, **Optimum Battery Energy Sorage System using PSO considering Dynamic Demand Rsponse for Microgrids**, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Elsevier, UK, vol. 83, No. 1, pp.58–66, 2016.
(Impact factor 2016: 3.289)

5. **Kerdphol T**, Fuji K, Qudaih Y, Watanabe M, Mitani Y, **Otimization of Battery Energy Storage System using Particle Swarm Optimization for Stand-alone Microgrids**, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Elsevier, UK, vol. 81, No. 1, pp.32–39, 2016.
   (Impact factor 2016: 3.289)

6. **Kerdphol T**, Qudaih Y, Watanabe M, Mitani Y, **RBF Neural Network-based Online Intelligent Management of a Battery Energy Storage System for Stand-alone Microgrids**, Energy, Sustainability and Society, Springer–Verlag, Germany, vol. 6, No. 5, pp.1–16, 2016.
   (SCImargo Journal Rank Index 2016: 0.50)

7. **Kerdphol T**, Qudaih Y, Hongesombut K, Watanabe M, Mitani Y, **Intelligent Determination of a Battery Energy Storage System Size and Location based on RBF Neural Networks for Microgrids**, International Review of Electrical Engineering, University of Naples Federico II, Italy, vol. 11, No. 1, pp.78–86, 2016.
   (SCImargo Journal Rank Index 2016: 0.556, Impact factor: 1.364)

8. **Kerdphol T**, Qudaih Y, Mitani Y, **Optimal Battery Energy Storage System using Particle Swarm Optimization for Microgrid system**, International Review of Electrical Engineering, University of Naples Federico II, Italy, vol. 10, No. 2, pp.125–130, 2015.
   (SCImargo Journal Rank Index 2016: 0.556, Impact factor: 1.364)

9. Fuji K, Kawagoe T, Shiyota A, Mitani Y, **Kerdphol T**, Qudaih Y, **Development of Control Unit for Smart Power Supply System using Battery Energy Storages and Residential PV-PCSs**, International Journal of Smart grid and Clean Energy, USA, vol. 4, No. 3, pp.159–166, 2015.

10. **Kerdphol T**, Hongesombut K, Weerakamaeng Y, **Robust Interline Power Flow Controller Design for Damping of Low Frequency Oscillations in Power System with Wind Power Sources**, International Review of Automatic Control, Italy, vol. 6 No. 2, pp.127–133, 2013. (SCImargo Journal Rank Index 2015: 0.447)

งานวิจัยตีพิมพ์วารสารระดับชาติ

1. Hongesombut K, **Kerdphol T**, **Robust Interline Power Flow Controller with Wind Power Sources using Phase-Plane Fuzzy Logic Control**, ECTI Trans. on Electrical Eng., Electronics, and communications, Thailand, vol. 11 No. 2, pp.23–27, 2013.
   (SCImargo Journal Rank Index 2015: 0.147)

งานวิจัยตีพิมพ์ประชุมวิชาการนานาชาติ

1. **Kerdphol T**, Rahman F, Mitani Y, Watanabe M, Phunpeng V, **Comparative study of Sugeno and Mamdani- based virtual inertia control for microgrids**. IEEE PES Innovative Smart Grid Technology Conference (ISGT Asia 2017), 2017.

2. **Kerdphol T**, Rahman F, Hongesombut K, Qudaih Y, Mitani Y, Kufeoglu S, **Design of Sugeno Fuzzy Logic Control- based Virtual Inertia Emulation for Microgrid Frequency Stabilization**. IEEJ P&ES - IEEE Thailand Joint Symposium – Advanced Technology in Power Systems Conference, pp.1-5, 2017.

3. **Kerdphol T**, Tripathi R, Hanamoto T, Qudaih Y, Mitani Y, **ANN based Optimized Battery Energy Storage System Size and Loss Analysis for Distributed Energy Storage Location in PV- Microgrid**. IEEE PES Innovative Smart Grid Technology Conference (ISGT Asia 2015), 2015.

4. Qudaih Y, **Kerdphol T**, Mitani Y, **Different optimization schemes for community based energy storage systems**. 4th International Conference on Electrical Power and Energy Conversion Systems (EPECS), 2015.

5. Koyamatsu K, Shiyota A, Mitani Y, **Kerdphol T**, Qudaih Y, **Construction of PV Simulator by using Geographic Information System and Digital Surface Model**. IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, 2015.

6. **Kerdphol T**, Qudaih Y, Mitani Y, **PSO based Optimal Size and Allocation of Battery Energy Storage System for Micro-grid System**. International Conference of Electrical Engineering (ICEE), 2015.

7. **Kerdphol T**, Qudaih Y, Mitani Y, **Battery Energy Storage System Size Optimization in Microgrid using Particle Swarm Optimization**. IEEE PES Innovative Smart Grid Technology Europe Conference (ISGT Europe 2014), 2014.

8. Khairudin, **Kerdphol T**, Qudaih Y, Mitani Y, **Wavelet Demodulation Method Based Out of Step Detection and Damping Estimation in Japan Campus Wams**. 18th Power System Computation Conference (PSCC 2014), Warsaw, Poland, 2014.

9. Tephiruk N, Hongesombut K, **Kerdphol T**, **Robust control of combined optimized resistive FCL and ECS for power system transient stability improvement**. International Conference on Electrical Engineering Congress (iEECON), 2014.

ผู้เกี่ยวกับการดำเนินงานวิจัย

โครงงานการศึกษาวัสดุอัจฉริยะเพียโซอิเลกทริกสร้างพลังงานทดแทนในอากาศยาน โดยนักศึกษาชั้นปีที่ 4 หลักสูตรอากาศยาน สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งประกอบด้วยสมาชิก 3 คน ดังนี้

1.นายภิเษก ทัศนะนาคะจิตต์

ตำแหน่ง: หัวหน้าโครงงาน

โทรศัพท์มือถือ: 082-792-2309

ข้อมูลการติดต่อ: pisek.tussana@gmail.com

2.นางสาวภูชิสสา จันทร์สุข

ตำแหน่ง: สมาชิก

โทรศัพท์มือถือ: 062-451-8905

ข้อมูลการติดต่อ: pchsny2904@gmail.com

3.นายกิตติโชติ ทิพยนนท์

ตำแหน่ง: สมาชิก

โทรศัพท์มือถือ: 089-794-3311

ข้อมูลการติดต่อ: kittichotttt@gmail.com

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี