

ศึกษารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดของคานเพียโซอิเล็กทริก
สำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน
STUDY OF PIEZOELECTRIC CANTILEVER SHAPE
FOR ENERGY HARVESTING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ศึกษารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดของคานเพียโซอิเล็กทริก
สำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน
STUDY OF PIEZOELECTRIC CANTILEVER SHAPE
FOR ENERGY HARVESTING



b00264485
TB00009

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF PIEZOELECTRIC CANTILEVER SHAPE
FOR ENERGY HARVESTING



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าทหารลาดกระบัง

เรื่อง ศึกษารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดของคานเพียโซอิเล็กทริกสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน

STUDY OF PIEZOELECTRIC CANTILEVER SHAPE FOR ENERGY HARVESTING

ผู้จัดทำ นายสุกฤษฎี ช่างเหล็ก 57011377

นายอัศวิน ฉันทภควินท์ 57011529


.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดอน อิศรากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดของคานเพียโซอิเล็กทริก

สำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน

โดย

นายสุกฤษฎี ช่างเหล็ก 57011377

นายอัศวิน ฉันทกวีรินทร์ 57011529

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดอน อิศรากร

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษารูปร่างลักษณะต่างๆ ของเพียโซอิเล็กทริกที่มีผลต่อคุณสมบัติการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือน โดยเพียโซอิเล็กทริกแบบคานยื่นถูกเลือกใช้เป็นตัวแปลงพลังงาน ซึ่งมีการจัดวางชั้นเป็นแบบ ยูนิมอร์ฟ ประกอบด้วยชั้นของซิงค์ออกไซด์ และชั้นของพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) เนื่องจากให้ความหนาแน่นของพลังงานที่สูง ในขั้นตอนการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ รูปทรงของสี่เหลี่ยมผืนผ้า, สี่เหลี่ยมคางหมูแบบยึดด้านกว้าง, สี่เหลี่ยมคางหมูแบบยึดด้านแคบ และทรงขั้นบันไดแบบสองด้านจะถูกจำลองขึ้น เพื่อหาผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกันโดยเปรียบเทียบจากค่าการกระจัด, แรงดันขาออก, กำลังส่งออกและความหนาแน่นพลังงานเพื่อหารูปทรงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จากการจำลองได้ผลสรุปดังนี้ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นรูปทรงเพียโซอิเล็กทริกคานยื่นที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด จากผลการเปรียบเทียบเมื่อความถี่ที่กระทำมีค่าเท่ากัน และทรงขั้นบันไดแบบสองด้านมีประสิทธิภาพดีที่สุด จากผลการเปรียบเทียบเมื่อระยะทางการกระจัดเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF PIEZOELECTRIC CANTILEVER SHAPE FOR ENERGY HARVESTING

By

Mr. Sukit Changlek 57011377

Mr. Assawin Chantapakavin 57011529

Advisor

Asst.Prof.Dr.Don Isaeakorn

Academic Year 2017

ABSTRACT

This work study on the piezoelectric cantilever shapes for harvesting vibrational energy which is easily found from the ambient environment. The piezoelectric conversion is selected due to the high-power density. The piezoelectric cantilevers are considered in the unimorph form consisting of zinc oxide (ZnO) and polyethylene terephthalate (PET) layers. In the implementation, the three shapes of rectangle, trapezoid clamp at longer width, trapezoid clamp at shorter width and double step are analyzed using the Finite Element Method (FEM). Then, the comparison of simulation results including displacement, output voltage, output power and power density of piezoelectric cantilevers are carried out to find the optimal shape. As the comparative results, the rectangular piezoelectric cantilever gives the best performance when acceleration are equal and the double step piezoelectric cantilever give the best performance when displacement are equal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดอน อิศรากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีโดยตลอด ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณผู้บริหารสถานศึกษา และเพื่อนร่วมงานของผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่คอยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือมาตลอด

ขอขอบคุณกำลังใจจากเพื่อนนักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุมตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ นักศึกษาทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจกันมาตลอด

ท้ายที่สุดเหนือสิ่งอื่นใด บิดา มารดา พี่ๆ และน้องๆ ผู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้าน จนกระทั่งประสบความสำเร็จได้ในทุกวันนี้ ขอขอบพระคุณที่ท่านให้การอบรมสั่งสอน และสนับสนุนในทุกกิจกรรมมาตลอด

ผู้จัดทำ

นายสุกฤษฎี ช่างเหล็ก

นายอัศวิน ฉันทกฉวินท์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการ	1
1.3 ขั้นตอนการค้นคว้าและจัดทำโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การเก็บเกี่ยวพลังงาน	3
2.2 เพียโซอิเล็กทริก	6
2.3 ความถี่เรโซแนนซ์	8
บทที่ 3 การสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์	9
3.1 การเลือกใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริก	9
3.2 การออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน	9
3.2.1 การเลือกวัสดุ	10
3.2.2 การจำลองคานเก็บเกี่ยวพลังงาน	11
3.2.2.1 การกำหนดค่าสมบัติของวัสดุ	11
3.2.2.2 การสร้างโครงสร้างต่างๆ	12
3.3 วิธีการวิเคราะห์	15
3.3.1 การแบ่งโครงสร้างเป็นหน่วยเล็กๆ	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.2 การหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ของโครงสร้าง	16
3.3.3 การหาค่าการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างที่ความถี่ใดๆ	17
3.3.4 การหาค่าความเค้นของโครงสร้างใดๆ	19
3.3.5 การหาค่าแรงดันไฟฟ้าของโครงสร้างใดๆ	22
บทที่ 4 การจำลองและการเปรียบเทียบ	26
4.1 การจำลองคานเก็บเกี่ยวพลังงานรูปทรงต่างๆ	26
4.2 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ ที่ความถี่เรโซแนนซ์	28
4.2.1 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่ความถี่เท่ากัน	28
4.2.2 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่การกระจัดเท่ากัน	29
4.3 ค่าความเค้นของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ	29
4.3.1 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่ความถี่เท่ากัน	30
4.3.2 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่การกระจัดเท่ากัน	30
4.4 ค่า POWER DENSITY ของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ	31
4.4.1 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่ความถี่เท่ากัน	31
4.4.2 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่การกระจัดเท่ากัน	31
4.5 ผลการจำลองและเปรียบเทียบคานเก็บเกี่ยวพลังงานแบบโครงสร้างรูปทรงต่างๆ	32
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	33
5.1 สรุปผลการจำลอง	33
5.2 ปัญหาที่พบเจอ	33
5.3 ผลที่คาดหวัง	33
5.4 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ปราบกฎการณ้เพียโซอิเล็ทริกทางตรง	6
2.2 ปราบกฎการณ้เพียโซอิเล็ทริกทางกลับ	6
2.3 เครื่องหมายแสดงแกนสำหรับวัสดุเพียโซอิเล็ทริก	7
3.1 โปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0	10
3.2 ช่อง Ansys Command Prompt	10
3.3 ตัวอย่างการใช้คำสั่งสร้างปริมาตรสี่เหลี่ยมในโปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0	13
3.4 การเข้าถึง Help Topics	14
3.5 การเข้าถึง Prep7 Command	15
3.6 การแบ่งโครงสร้างเป็นหน่วยเล็ก ๆ	16
3.7 ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของโครงสร้างที่ออกแบบ	17
3.8 ลูกศรแสดงการใส่แรงบนโครงสร้าง	18
3.9 ตัวอย่างกราฟแสดงการกระจัดที่ช่วงความถี่ที่เลือก	19
3.10 ลูกศรแสดงการใส่การกระจัดบนโครงสร้าง	20
3.11 การเข้าถึง Results Viewer	21
3.12 การเข้าถึง Stress Intensity	21
3.13 การเข้าถึง Plot Results	22
3.14 ตัวอย่างโครงสร้างที่มีการแสดงค่าความเค้นโดยมีแถบสายรุ้งที่บอกปริมาณความเค้น	22
3.15 ตัวอย่างกราฟแสดงแรงดันไฟฟ้า	25
4.1 โครงสร้างรูปทรงต่างๆ ที่ถูกยึดในรูปแบบคาน	26
4.2 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่ความเร่งเท่ากัน	28
4.3 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่การกระจัดเท่ากัน	29

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 ค่าความเค้นและการกระจายตัวของความเค้นของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่มีความเร่งเท่ากัน	30
4.5 ค่าความเค้นและการกระจายตัวของความเค้นของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่มีการกระจัดเท่ากัน	30
4.6 กราฟแสดง Power Density กรณีที่มีความเร่งเท่ากัน	31
4.7 กราฟแสดง Power Density กรณีที่มีการกระจัดเท่ากัน	31



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียแต่ละแหล่งพลังงาน	3
2.2 เปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานแต่ละตัวแปลง	5
3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุ	11
4.1 ตารางแสดงโครงสร้างรูปทรงต่างๆ ที่ถูกยึดในรูปแบบคาน	27
4.2 ผลการจำลองและเปรียบเทียบคานเก็บเกี่ยวพลังงานแบบโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่มีความเร่งเท่ากัน	32
4.3 ผลการจำลองและเปรียบเทียบคานเก็บเกี่ยวพลังงานแบบโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่มีการกระจัดเท่ากัน	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในชีวิตประจำวันมีพลังงานเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งบางพลังงานมนุษย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ บางพลังงานก็สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ อาทิเช่น พลังงานจากการเดิน การขยับของร่างกาย การสั่นสะเทือนจากเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งพลังงานที่สูญเสียไปนั้นสามารถนำมาเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น เป็นพลังงานหมุนเวียนในวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อเป็นการลดต้นทุนและเพิ่มอายุการใช้งานของแหล่งพลังงานให้ยาวนานขึ้น หรือนำการเก็บเกี่ยวพลังงานไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นชิ้นงาน สำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานในงานด้านอุตสาหกรรมอัตโนมัติ จึงได้สนใจการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแหล่งพลังงานการสั่นสะเทือน เนื่องจากเป็นพลังงานที่พบได้ง่ายจากสภาพแวดล้อมและเป็นที่น่าสนใจในการศึกษา โดยจากการศึกษาการเก็บเกี่ยวพลังงานการสั่นสะเทือน เพียโซอิเล็กทริกถูกเลือกใช้เป็นตัวแปลงพลังงานการสั่น เนื่องจากให้ความหนาแน่นของพลังงานที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแปลงพลังงานการสั่นสะเทือนประเภทอื่น

เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเพียโซอิเล็กทริก ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกศึกษารูปร่างลักษณะต่างๆ ของเพียโซอิเล็กทริกที่มีผลต่อคุณสมบัติการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการสั่นสะเทือน โดยมีพื้นฐานอยู่บนขอบเขตของความคงทนและความน่าเชื่อถือ

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำโครงการ

1. ศึกษารูปร่างที่มีผลต่อความถี่ธรรมชาติของเพียโซอิเล็กทริกแบบคานยื่น
2. ศึกษาการจำลองและวิเคราะห์โดยวิธีระบบไฟไนต์เอลิเมนต์
3. ศึกษารูปร่างที่มีประสิทธิภาพที่สุดของเพียโซอิเล็กทริกแบบคานยื่น สำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน

1.3 ขั้นตอนการค้นคว้าและจัดทำโครงการ

1. ศึกษาหลักการเก็บเกี่ยวพลังงาน ประเภทของการเก็บเกี่ยวพลังงาน และแหล่งพลังงาน สำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน
2. ศึกษาหลักการทำงาน สมการ และพารามิเตอร์ของเพียโซอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาความถี่ธรรมชาติของเพียโซอิเล็กทริก
4. จำลองรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า, สี่เหลี่ยมคางหมูแบบยึดด้านกว้าง, สี่เหลี่ยมคางหมูแบบยึดด้านแคบและทรงชั้นบันไดแบบสองด้านโดยโปรแกรม Ansys
5. สรุปผลการจำลองเพื่อหารูปทรงที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยเปรียบเทียบจากการกระจัด, แรงดันขาออก, กำลังส่งออกและความหนาแน่นพลังงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเก็บเกี่ยวพลังงาน

การเก็บเกี่ยวพลังงานคือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อไม่ให้พลังงานนั้นสูญเปล่า เช่น การเก็บเกี่ยวพลังงานสั่นสะเทือนของเครื่องจักร แสงอาทิตย์ หรือพลังงานความร้อนนำมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า แล้วนำพลังงานไฟฟ้ามาเลี้ยงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้พลังงานต่ำ

แหล่งกำเนิดพลังงานที่สามารถเก็บเกี่ยวได้นั้นมีอยู่มากมาย อาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานการสั่นสะเทือน พลังงานความร้อนหรือการไต่ระดับอุณหภูมิ พลังงานชีวเคมี เป็นต้น ฉะนั้น การเลือกแหล่งพลังงานเพื่อใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานจึงเป็นอีกทางเลือกที่สำคัญ โดยตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นข้อดีและข้อเสียของแต่ละแหล่งพลังงาน

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียแต่ละแหล่งพลังงาน

Source	Advantages	Disadvantages
Solar	<ul style="list-style-type: none">- ง่าย- ราคาถูก- มีประสิทธิภาพ (15 mWatt/cm^2) อ้างอิงจาก Solar Energy	<ul style="list-style-type: none">- พื้นที่ในการติดตั้ง และระยะเวลาใช้งานมีจำกัด เนื่องจากต้องใช้แสงเป็นพลังงาน
Mechanical	<ul style="list-style-type: none">- ล้อมรอบด้วยสิ่งแวดล้อม- ปลอดภัย- เชื้อถือได้- คาดการณ์พลังงานเอาต์พุตได้- ให้พลังงานเอาต์พุตสูง ฯลฯ	<ul style="list-style-type: none">- การสวมใส่ชิ้นส่วนอาจจำกัด- มีอายุการใช้งาน Piezoelectric- ขนาดที่เป็นปัญหากับอุปกรณ์ Electro-magnetic, Limited Power Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียแต่ละแหล่งพลังงาน(ต่อ)

Source	Advantages	Disadvantages
Thermal or Pyro-electric	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่มีส่วนที่เคลื่อนไหว - อายุการใช้งานยาวนาน - มีศักยภาพสำหรับ Human Body Worn Applications. 	<ul style="list-style-type: none"> - พลังงานต่ำ, ราคาสูง - การใช้งานที่จำกัด เนื่องจากความต้องการในการไต่ระดับอุณหภูมิที่สูงขึ้น - การส่งพลังงานขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการเปลี่ยนระดับความร้อน
Bio-chemical	<ul style="list-style-type: none"> - มีความพร้อมใช้งานของแหล่งเชื้อเพลิงอย่างต่อเนื่อง - การประยุกต์ใช้ Implantable สำหรับมนุษย์ 	<ul style="list-style-type: none"> - มีความไวต่อสภาพแวดล้อมภายนอก - ไม่สามารถใช้งานได้ในเชิงพาณิชย์ - จำกัดอายุการใช้งาน

การเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดพลังงานข้างต้น พลังงานการสั่นสะเทือนนั้นเป็นที่ได้รับความสนใจมากที่สุดจากกลุ่มนักวิจัยทางการเก็บเกี่ยวพลังงาน เพราะเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สามารถพบได้ทั่วไปในสภาพแวดล้อม

ในปัจจุบันการเก็บเกี่ยวพลังงานการสั่นสะเทือนแบ่งได้ 3 วิธีหลัก ดังต่อไปนี้

1. ไฟฟ้าสถิต (Electrostatics) อาศัยปรากฏการณ์ที่ประจุไฟฟ้าขั้วบวก และขั้วลบไม่สมดุลกันภายใน หรือบนพื้นผิวของวัสดุหนึ่ง ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าขึ้นอย่างรวดเร็ว
2. การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction) อาศัยตัวนำที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็ก และการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำ และเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำ
3. เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric) อาศัยคุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก โดยวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมีความสามารถในการแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า และสามารถแปลงจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีแปลงพลังงานการสั่นสะเทือนทั้ง 3 วิธี มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งการเลือกใช้วิธีแปลงพลังงานสำหรับการศึกษาี้ ได้จากการเปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบความหนาแน่นของพลังงานแต่ละวิธี

Type	Energy density (mJ cm^{-3})	Equation	Assumption
Piezoelectric	35.4	$(1/2)\sigma^2 k^2 / 2c$	PZT 5 H
Electromagnetic	24.8	$(1/2)B^2 / \omega_0$	0.25 T
Electrostatic	4	$(1/2)\epsilon^0 E^2$	3×10^7 V m

σ_y คือ ความเค้นคราก (Yield Stress)

μ_0 คือ ความซึมซาบได้ของสุญญากาศ (Permeability of Free Space)

k คือ สัมประสิทธิ์ความเหนียวน้ำ (Coupling Coefficient)

ϵ_0 คือ สภาพยอมของสุญญากาศ (Permittivity of Free Space)

c คือ ค่าคงตัวยืดหยุ่น (Elastic Constant)

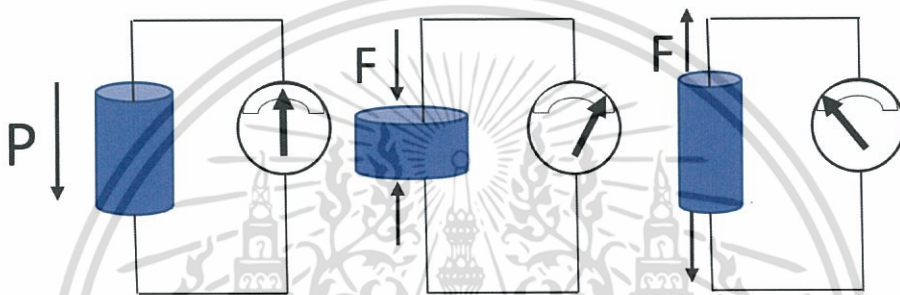
E คือ สนามไฟฟ้า (Electric Field)

B คือ สนามแม่เหล็ก (Magnetic Field)

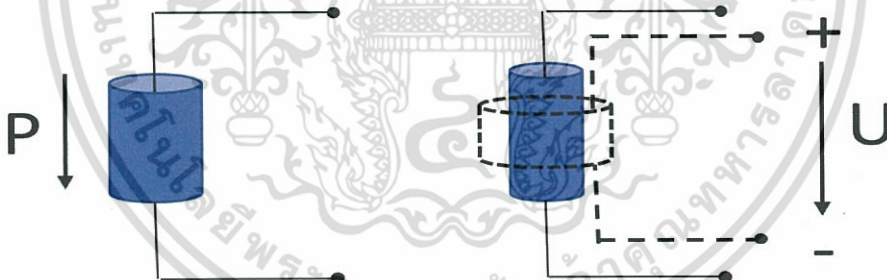
การเปรียบเทียบวิธีแปลงพลังงานสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานการสั่นสะเทือนจากทั้ง 3 วิธี เพียโซอิเล็กทริกเป็นวิธีแปลงที่มีความหนาแน่นของพลังงานสูงสุด การศึกษานี้จึงสนใจเพียโซอิเล็กทริกเป็นวิธีแปลงพลังงานสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน โดยศึกษาโครงสร้างที่มีผลต่อการแปลงพลังงานการสั่นสะเทือน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเพียโซอิเล็กทริก

2.2 เพียโซอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้า ซึ่งปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ปรากฏการณ์ โดยปรากฏการณ์ที่เมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับแรงกดหรือแรงดึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุ จะเกิดการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกทางตรง (Direct Piezoelectric Effect) ดังรูปที่ 2.1 ในทางกลับกันปรากฏการณ์ที่เมื่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกได้รับความต่างศักย์ไฟฟ้าทำให้เกิดการยืดหดหรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิม จะเกิดการเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เรียกว่า ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกทางกลับ (Converse Piezoelectric Effect) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกทางตรง



รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกทางกลับ

สมการพื้นฐานที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกทั้ง 2 ปรากฏการณ์ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าคือ เมื่อให้ความเค้นกล (Mechanical Stress, T) แก่วัสดุเพียโซอิเล็กทริก จะเกิดการกระจัดทางไฟฟ้า (Electric Displacement, D) ขึ้น ดังสมการที่ (2.1) ในทางกลับกันเมื่อให้สนามไฟฟ้า (Electric Field, E) แก่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะเหนี่ยวนำให้เกิดความเครียด (Mechanical Strain, S) ขึ้น ดังสมการที่ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D = dT + \varepsilon^T E \quad (2.1)$$

$$S = s^E T + dE \quad (2.2)$$

เมื่อ D คือ การกระจัดทางไฟฟ้า (Electric Displacement)

T คือ ความเค้นกล (Mechanical Stress)

S คือ ความเครียดกล (Mechanical Strain)

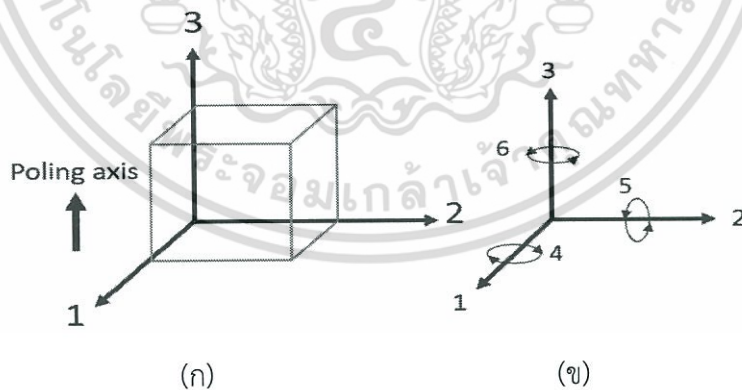
E คือ สนามไฟฟ้า (Electric Field)

d คือ ค่าคงที่เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Coefficient)

s^E คือ ค่าคงที่ยืดหยุ่น (Elastic Constant หรือ Elastic Compliance) มีหน่วยเป็น m^2/N ภายใต้อสนามไฟฟ้าคงที่

ε^T คือ สภาพยอมรับได้ (Permittivity) มีหน่วยเป็น F/m ภายใต้อสนามไฟฟ้าคงที่

สัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริก (d_{ij}) มีค่าเกี่ยวข้องกับทิศทางของแรงที่มากระทำลงบนผลึก ดังนั้นทิศทางในผลึกจึงจำเป็นต้องระบุตัวเลขห้อย ij โดยตัวเลขห้อย i แสดงทิศทางของสนามไฟฟ้า หรือการกระจัดทางไฟฟ้า และตัวเลขห้อย j จะหมายถึงทิศทางของความเครียด เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ d_{31} ซึ่งแสดงทิศทางของสนามไฟฟ้าตามแกน 3 และมีทิศทางของความเครียดตามแกน 1 ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 เครื่องหมายแสดงแกนสำหรับวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

ในรูปที่ 2.3 (ก) แสดงถึงลักษณะแกนหลัก 3 ทิศทางคือเลข 1, 2 และ 3 ส่วนรูปที่ 2.3 (ข)

แสดงถึงแกนเฉือน 3 ทิศทางคือเลข 4, 5 และ 6 โดยทิศการเกิดพลังงานทางกลจะเกิดในทิศทาง 1,

2, 3, 4, 5, และ 6 ซึ่งทิศทางการเกิดพลังงานทางไฟฟ้าจะเกิดในทิศทาง 1, 2 และ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ความถี่เรโซแนนซ์

เมื่อได้ศึกษาทฤษฎีของเพียโซอิเล็กทริก จะพบว่าวัสดุเพียโซอิเล็กทริกนั้น เมื่อตกอยู่ภายใต้แรงดึง หรือแรงอัด จะสามารถเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในการสั่นของคานเพียโซอิเล็กทริก ทำให้เกิดความเค้นและเกิดสนามไฟฟ้า โดยถ้าความถี่ของคานเพียโซอิเล็กทริกมีความถี่ที่ตรงกับวัสดุเพียโซอิเล็กทริก จะทำให้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเกิดการสั่นที่แอมพลิจูดสูงสุด ทำให้เกิดพลังงานที่สูงที่สุด โดยการที่จะทำให้คานและวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมีความถี่ตรงกันนั้น จึงต้องศึกษา ทฤษฎีของความถี่เรโซแนนซ์ โดยการศึกษาทฤษฎีของความถี่เรโซแนนซ์นั้น จำเป็นต้องทราบความหมายของความถี่ธรรมชาติ

ความถี่ธรรมชาติคือ ความถี่ของการสั่นของวัตถุซึ่งเกิดขึ้นจากการรบกวนวัตถุนั้น หรือการให้พลังงานกับวัตถุนั้น ซึ่งพลังงานที่ให้แก่วัตถุจะทำให้วัตถุเกิดการสั่น และสั่นด้วยความความถี่ที่เป็นสมบัติเฉพาะตัวของตัวเองเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติโดยขึ้นอยู่กับขนาดรูปร่างของวัตถุนั้นๆ

ความถี่เรโซแนนซ์คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อใส่พลังงานให้กับวัตถุ จะทำให้วัตถุสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติ ถ้าความถี่ของพลังงานที่ให้แก่วัตถุมีความถี่เท่ากับความถี่ของการสั่นตามธรรมชาติของวัตถุนั้น เป็นผลทำให้วัตถุนั้นรับพลังงานเข้าไปได้ดีที่สุด จึงทำให้วัตถุนั้นสั่นด้วยแอมพลิจูดที่มากขึ้น การสั่นจะรุนแรงมากขึ้น

การสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์

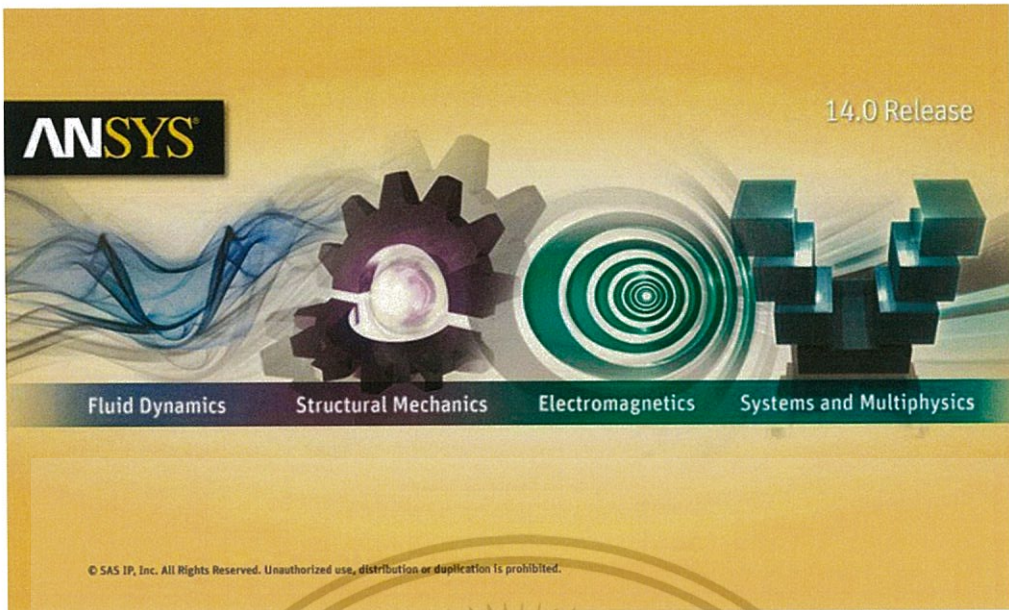
3.1 การเลือกใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริก

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเป็นวัสดุที่เหมาะสม สำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานจากแหล่งกำเนิด การสั่นสะเทือน โดยวัสดุที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ Lead Zirconate Titanate (PZT) เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์เพียโซอิเล็กทริกที่สูง แต่อย่างไรก็ตามเสถียรภาพที่ไม่ดีและการสูญเสียโพลาริซ์ที่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นเรื่องที่สำคัญกับ PZT คุณสมบัติของเพียโซอิเล็กทริกของ PZT ยังได้รับผลกระทบอย่างมากจากอุณหภูมิในการใช้งาน และเนื่องจากความเปราะบางที่ PZT ไม่สามารถเปลี่ยนรูปแบบกลไกได้เป็นเวลานาน

โดยซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นอีกหนึ่งวัสดุที่สำคัญของเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในฐานะวัสดุปลอดสารมลพิษที่ปราศจากมลภาวะและปราศจากข้อจำกัด ที่พบใน PZT โดย ZnO มีความต้านทานแรงดึงสูงและอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางกลได้เป็นระยะเวลานาน โดยไม่มีผลต่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นสำหรับการใช้งาน อุปกรณ์ Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) ต่างๆ เนื่องจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าและ Piezoelectric ที่เป็นเอกลักษณ์ของ ZnO

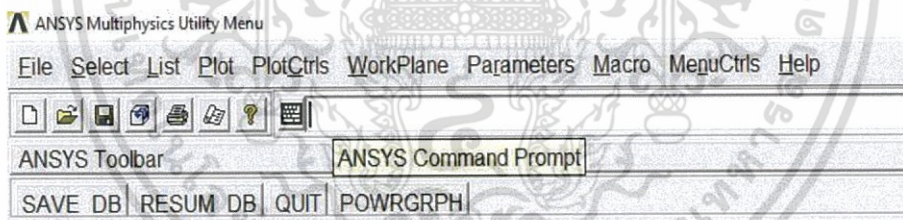
3.2 การออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน

จากการเลือกใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริก จึงนำคุณสมบัติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกไปออกแบบ คานเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อหาความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งทำให้คานเก็บเกี่ยวพลังงานเกิดการสั่น และเกิดการกระจัดสูงสุดทำให้คานเก็บเกี่ยวพลังงาน ที่ทำจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเกิดความเค้นสูงสุด และจึงให้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด โดยการเลือกใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกเพื่อใช้ในการออกแบบคานเก็บเกี่ยวพลังงาน และโปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0 ดังรูปที่ 3.1 เพื่อทำการออกแบบคานเก็บเกี่ยวพลังงาน



รูปที่ 3.1 โปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0

ในส่วนการใช้โปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0 สามารถทำได้โดยการป้อนคำสั่งการใช้งานต่างๆ เข้าไปในช่อง ANSYS Command Prompt ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งในส่วนของคำสั่งการใช้งานนั้นจะกล่าวในช่วงต่อไป



รูปที่ 3.2 ช่อง ANSYS Command Prompt

3.2.1 การเลือกวัสดุ

วัสดุที่จะนำมาใช้ออกแบบคานเก็บเกี่ยวพลังงานนั้น จำเป็นต้องมีข้อมูล ความหนาแน่น (Density), Poissons's Ratio และ Young's Modulus ที่แน่นอน เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้จำเป็นต่อการออกแบบ และการหาความถี่โรโซแนนซ์ของคานเก็บเกี่ยวพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การจำลองคานเก็บเกี่ยวพลังงาน

หลังจากได้ข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบคานเก็บเกี่ยวพลังงาน จะสามารถนำข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุ เพื่อใช้จำลองคานเก็บเกี่ยวพลังงาน โดยใช้โปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0 โดยใช้คำสั่งดังต่อไปนี้

/PREP7

! เปิดใช้กลุ่มคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลอง

3.2.2.1 การกำหนดค่าสมบัติของวัสดุ

จำเป็นต้องทราบข้อมูลของวัสดุ จึงจะสามารถนำวัสดุชนิดนั้นๆ มาออกแบบโครงสร้างได้ โดยจะใช้คำสั่งดังต่อไปนี้ในการกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุ

ET,1,SOLID45

! โครงสร้างของแข็ง

ET,2,SOLID5,0

! โครงสร้างของเพียโซอิเล็กทริก

MP,DENS,1,ความหนาแน่น

! กำหนดค่าความหนาแน่นของวัสดุ

MP,NUXY,1,Poissons's Ratio

! กำหนดค่า Poissons's Ratio ของวัสดุ

MP,EX,1,Young's Modulus

! กำหนดค่า Young's Modulus ของวัสดุ

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุ

Description	ZnO	PET	Until
Density (ρ)	5680	1300	kg/m ³
Piezoelectric Strain Coefficients d_{31}	-5.43E-12	-	m/V
Piezoelectric Strain Coefficients d_{33}	1.17E-11	-	m/V
Piezoelectric Strain Coefficients d_{15}	-1.13E-11	-	m/V
Compliance Coefficients s_{11}^E	1.11E-11	-	m s ² /kg
Compliance Coefficients s_{33}^E	8.47E-12	-	m s ² /kg
Compliance Coefficients s_{12}^E	-4.56E-12	-	m s ² /kg
Compliance Coefficients s_{13}^E	-1.40E-12	-	m s ² /kg
Compliance Coefficients s_{44}^E	3.44E-11	-	m s ² /kg
Compliance Coefficients s_{66}^E	3.14E-11	-	m s ² /kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของวัสดุ(ต่อ)

Description	ZnO	PET	Until
Relative Permittivity K_{11}^T	855	-	(unitless)
Relative Permittivity K_{33}^T	1020	-	(unitless)
The Permittivity of Free Space (ϵ_0)	8.85E-12	-	F/m
Young's Modulus (E)	6.83E+09	2.00E+09	N/m ²
Poisson's Ratio	-	0.37	

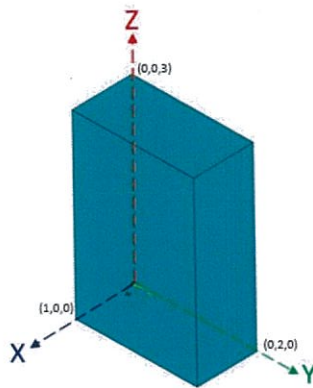
จากตารางที่ 3.1 แสดงค่าคุณสมบัติของวัสดุของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และโพลีเอทิลีนเทเรพทาเลต (PET)

3.2.2.2 การสร้างโครงสร้างต่างๆ

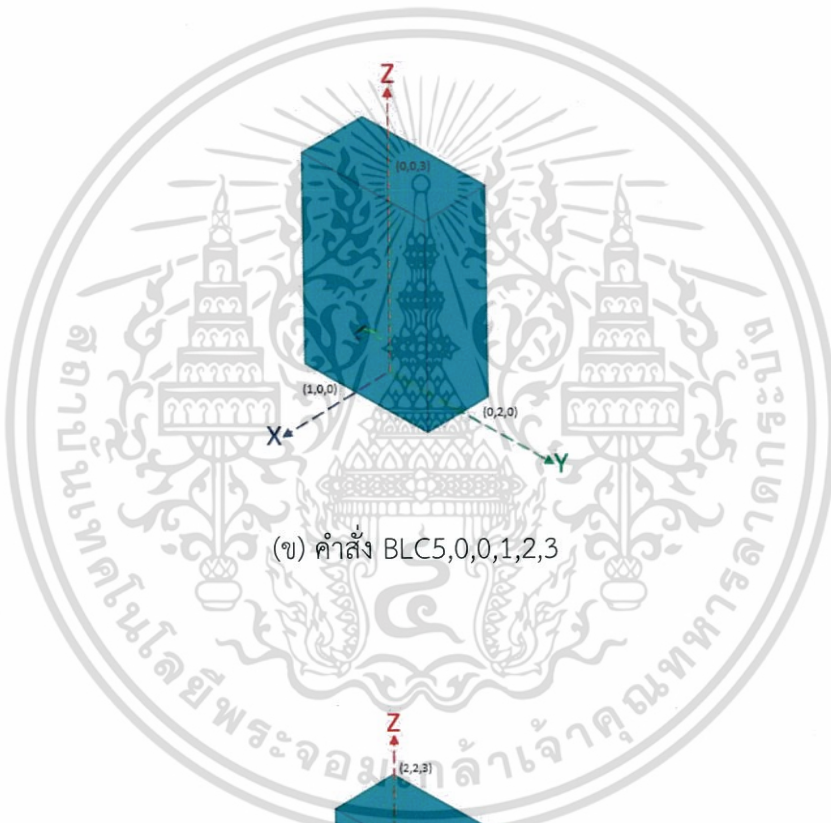
โปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0 นั้นสามารถสร้างโครงสร้างได้หลายรูปแบบโดยขนาดนั้นมีหน่วยเป็น Normalize Unit ซึ่งกำหนดขนาดนั้นมีหน่วยเป็นเมตร และมีตัวอย่างคำสั่งที่ใช้สร้างโครงสร้างต่างๆ ดังต่อไปนี้

BLC4,x,y,กว้าง,สูง,ยาว	! สร้างปริมาตรสี่เหลี่ยมโดยการกำหนดมุม
BLC5,x,y,กว้าง,สูง,ยาว	! สร้างปริมาตรสี่เหลี่ยมโดยการกำหนดจุดกึ่งกลาง
BLOCK,x1,x2,y1,y2,z1,z2	! สร้างปริมาตรสี่เหลี่ยมโดยการกำหนดช่วงบนแกน x, y และ z

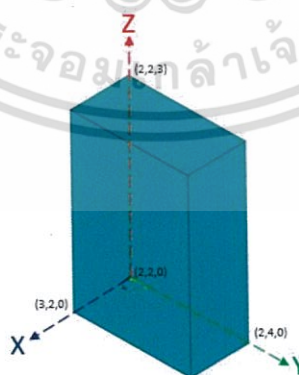
คำสั่งข้างต้นเป็นคำสั่งพื้นฐานในการสร้างปริมาตรสี่เหลี่ยมซึ่งในรูปที่ 3.3 นั้นเป็นตัวอย่างการใช้คำสั่ง BLC4, BLC5 และ BLOCK สังเกตค่าต่างๆ ที่แทนค่าลงไปคำสั่งจะพบว่าคำสั่งทั้ง 3 นั้นใช้แตกต่างกัน



(ก) คำสั่ง BLC4,0,0,1,2,3



(ข) คำสั่ง BLC5,0,0,1,2,3



(ค) คำสั่ง BLOCK,2,3,2,4,0,3

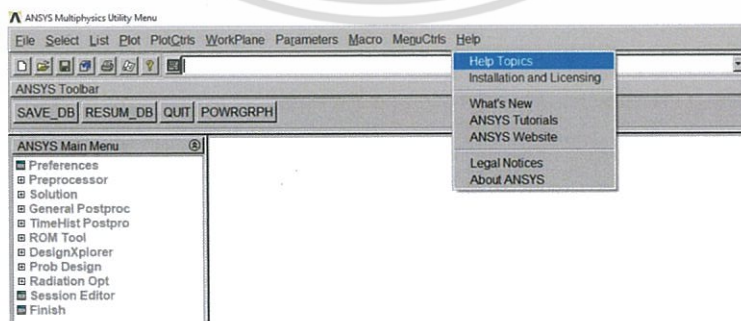
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการใช้คำสั่งสร้างปริมาตรสี่เหลี่ยมในโปรแกรม Mechanical APDL (Ansys) 14.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากทราบคำสั่งพื้นฐานในการสร้างโครงสร้างปริมาตรสี่เหลี่ยม และปริมาตรทรงกระบอก แล้ว แต่หากโครงสร้างที่ต้องการออกแบบเป็นโครงสร้าง 2 โครงสร้าง โดยที่ทั้ง 2 โครงสร้างนั้นไม่ได้เชื่อมติดกันหรือคิดปริมาตรแยกกัน แต่หากต้องการสร้างโครงสร้างที่เป็นปริมาตรหลายๆ โครงสร้างแล้วต้องการนำโครงสร้างเหล่านั้นประกอบเข้าด้วยกัน จึงจำเป็นต้องใช้คำสั่งดังต่อไปนี้ เพื่อเชื่อมปริมาตรเข้าด้วยกัน

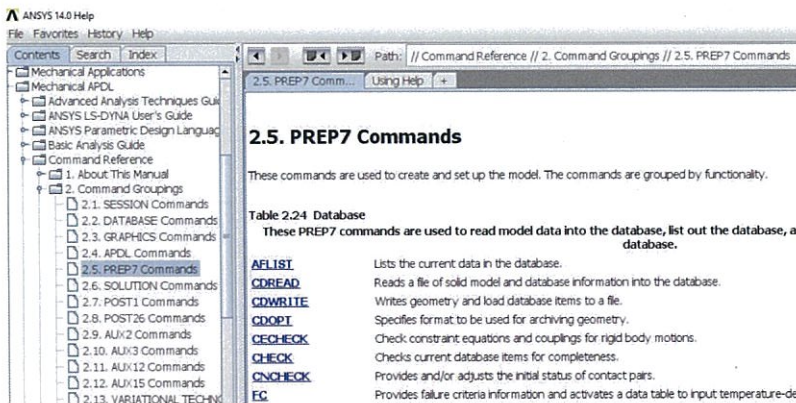
VGLUE,all	! เพื่อเชื่อมปริมาตรทั้งหมดเข้าด้วยกัน
VGLUE,1,2,3,...,n	! เลือกปริมาตรที่ต้องการจากลำดับการสร้างแล้วเชื่อม
VADD,all	! รวมปริมาตรทั้งหมดเป็นปริมาตรเดียวกัน
VADD,1,2,3,...,n	! รวมปริมาตรที่ต้องการเพื่อให้เหลือปริมาตรเดียว
AGLUE,all	! เพื่อเชื่อมพื้นที่ทั้งหมดเข้าด้วยกัน
AGLUE,1,2,3,...,n	! เลือกพื้นที่ที่ต้องการจากลำดับการสร้างแล้วเชื่อม
AADD,all	! รวมพื้นที่ทั้งหมดเป็นพื้นที่เดียวกัน
AADD,1,2,3,...,n	! รวมพื้นที่ที่ต้องการเพื่อให้เหลือพื้นที่เดียว

โปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0 นั้นยังมีคำสั่งอีกมากมายที่สามารถนำมาใช้สร้างโครงสร้างได้ โดยสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Help -> Help Topics -> Mechanical APDL -> Command Reference -> Command Groupings -> PREP7 Command ดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5 หลังจากที่ได้โครงสร้างที่ต้องการแล้ว ต่อไปจึงนำโครงสร้างเหล่านั้นไปแบ่งเป็นหน่วยเล็กๆ เพื่อสร้างโหนดให้สามารถใส่แรง หรือการกระจัดได้ เพื่อให้สามารถดูค่าคุณสมบัติต่างๆ ของโครงสร้างที่ออกแบบ



รูปที่ 3.4 การเข้าถึง Help Topics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



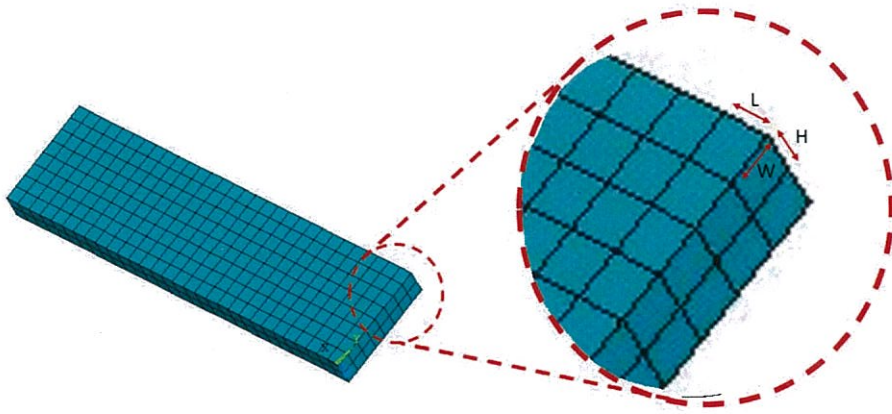
รูปที่ 3.5 การเข้าถึง PREP7 Command

3.3 วิธีการวิเคราะห์

3.3.1 การแบ่งโครงสร้างเป็นหน่วยเล็กๆ

นอกจากการกำหนดคุณสมบัติ และขนาดของโครงสร้าง จำเป็นต้องใช้คำสั่งต่อไปนี้ในการแบ่งโครงสร้างเป็นหน่วยเล็กๆ ดังรูปที่ 3.6 เพื่อที่จะทำให้โครงสร้างสามารถคำนวณและการแสดงผลจำลอง และความเค้นของโครงสร้างได้

- ESIZE,ขนาดของหน่วยเล็กๆ ! กำหนดขนาดของหน่วยเล็กๆ ของโครงสร้าง โดย Element Size = L = H = W
- VSEL,s,loc,z,z1,z2 ! กำหนดช่วงที่ต้องการจะแบ่งโครงสร้าง
- TYPE,1
- MAT,1
- VMESH,all
- Finish



รูปที่ 3.6 การแบ่งโครงสร้างเป็นหน่วยเล็กๆ

ก่อนที่จะสามารถหาค่าความถี่, ค่าการกระจัดสูงสุด และค่าความเค้นของโครงสร้างที่ออกแบบได้นั้น จำเป็นต้องใช้คำสั่งข้างต้นเป็นคำสั่งพื้นฐาน เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองในรูปแบบต่างๆ แล้วจึงจะใช้คำสั่งที่จะกล่าวต่อไปนี้เพื่อหาค่าความถี่, ค่าการกระจัดสูงสุด และค่าความเค้นของโครงสร้างที่ออกแบบ

3.3.2 การหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ของโครงสร้าง

จากการที่ได้ออกแบบโครงสร้างของคานาเพียโซอิเล็กทริกสำหรับเก็บเกี่ยวพลังงานแล้ว จึงจำเป็นต้องหาค่าความถี่เรโซแนนซ์ของโครงสร้างที่ออกแบบ โดยใช้คำสั่งดังต่อไปนี้ใส่เข้าไปในโปรแกรมหลังจากที่สร้างโครงสร้างแบบจำลอง

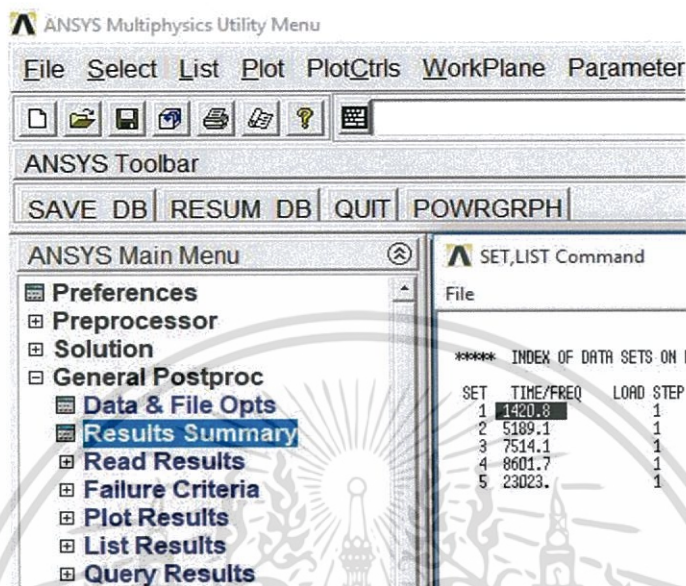
/SOLU	! เปิดใช้คำสั่งที่เกี่ยวข้องกับ Solution Processor
ANTYPE,Modal	
MODOPT,LANB,10	! ระบุตัวเลือกการวิเคราะห์
MXPAND,5	! ระบุจำนวนโหมดสำหรับการวิเคราะห์
nset,s,loc,แกน,ตำแหน่ง1,ตำแหน่ง2	! กำหนดช่วงที่ต้องการจะยึด
nset,r,loc,แกน,ตำแหน่ง1,ตำแหน่ง2	! กำหนดช่วงที่ต้องการจะยึด
d,all,ux,,,,, uy,uz	! ยึดทั้งแถว
nset,all	

Solve

Finish

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ทราบค่าความถี่เรโซแนนซ์ของโครงสร้างที่ได้ออกแบบได้จาก General Postproc -> Results Summary ดังรูปที่ 3.7 แล้ว จึงนำค่าความถี่ที่หามาได้นั้นไปหาค่าการกระจัดสูงสุดที่ความถี่เรโซแนนซ์ และนำไปหาค่าความเค้นต่อไป



รูปที่ 3.7 ค่าความถี่เรโซแนนซ์ของโครงสร้างที่ออกแบบ

3.3.3 การหาค่าการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างที่ความถี่ใดๆ

เมื่อออกแบบโครงสร้างของคานเก็บเกี่ยวพลังงาน ให้อยู่ในย่านความถี่ที่ต้องการได้แล้วนั้น จากนั้นจึงนำทั้งขนาด และความถี่ของโครงสร้างนั้น มาทำการหาค่าการกระจัดสูงสุดที่ความถี่นั้นๆ โดยการใส่แรงเข้าไปในจุดที่คาดว่าจะเกิด การกระจัดสูงสุด โดยใช้คำสั่งดังต่อไปนี้ไปใส่แทนคำสั่งในหัวข้อ 3.3.2

/SOLU	! เปิดใช้คำสั่งที่เกี่ยวกับ Solution Processor
ANTYPE, HARM	! Harmonic Analysis
HARFRQ,Freq1,Freq2	! ช่วงความถี่ที่ต้องการ
DMPRAT,Damping Ratio	! กำหนด Damping Ratio
NSUBST,จำนวนสแต็ป	! จำนวนสแต็ปที่ต้องการสุ่ม
KBC,1	
nset,s,loc,x,ตำแหน่ง	! เลือกโหนดที่ต้องการจะใส่แรงแกน x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

nset,r,loc,y,ตำแหน่ง

! เลือกโหนดที่ต้องการจะใส่แรงแกน y

nset,r,loc,z,ตำแหน่ง

! เลือกโหนดที่ต้องการจะใส่แรงแกน z

f,all,fz,ขนาดของแรง

! ใส่แรงลงไปที่โหนดที่เลือกไว้

nset,s,loc,แกน,ตำแหน่ง1,ตำแหน่ง2

! กำหนดช่วงที่ต้องการจะยึด

nset,r,loc,แกน,ตำแหน่ง1,ตำแหน่ง2

! กำหนดช่วงที่ต้องการจะยึด

d,all,ux,,,,, uy,uz

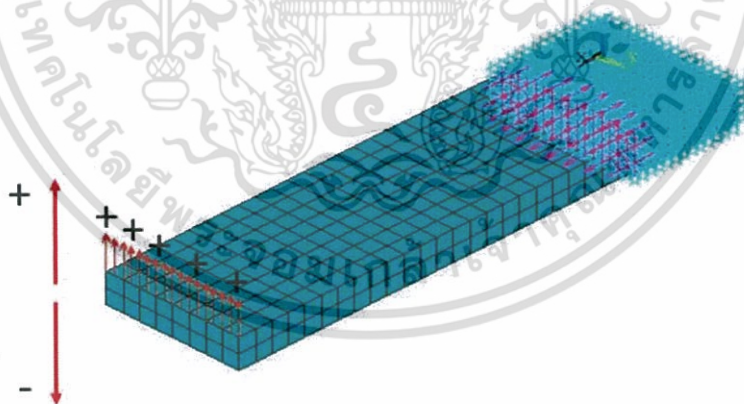
! ยึดทั้งแถว

nset,all

Solve

Finish

หลังจากที่ทำตามคำสั่งแล้ว เมื่อในโครงสร้างมีโหนดตรงกับโหนดที่เลือกที่จะใส่แรงที่ใส่ลงไป ในโครงสร้าง สังเกตจากที่โครงสร้างจะมีลูกศรแสดงแรงอยู่บนโครงสร้างดังรูปที่ 3.8 จากนั้นจึงใช้คำสั่งดังต่อไปนี้ ใส่เข้าไปในโปรแกรมหลังจากคำสั่งในหัวข้อ 3.3.3



รูปที่ 3.8 ลูกศรแสดงการใส่แรงบนโครงสร้าง

/POST26

nset,s,loc,y,ตำแหน่ง

! เลือกโหนดที่ต้องการนำไปประมวลผล

nset,r,loc,z,ตำแหน่ง

! เลือกโหนดที่ต้องการนำไปประมวลผล

nset,r,loc,x,ตำแหน่ง

! เลือกโหนดที่ต้องการนำไปประมวลผล

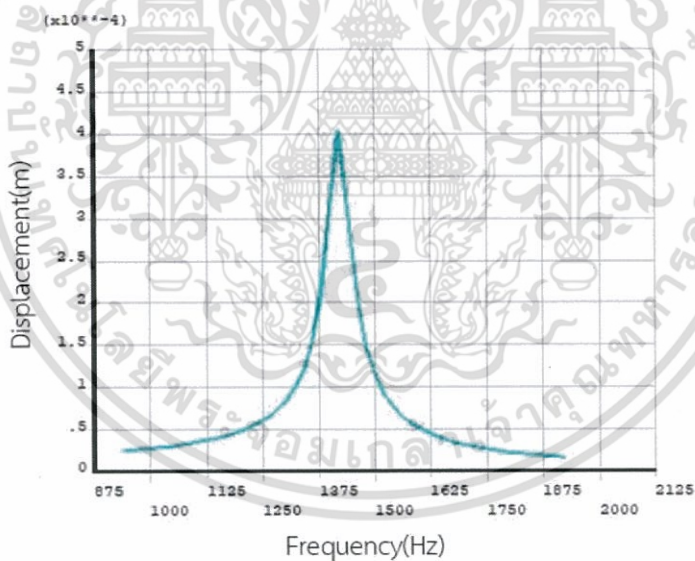
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

*GET,ntip,NODE,,NUM,MIN
NSOL,2,ntip,U,Z,tip_uz
/AXLAB,x,Frequency(Hz)
/AXLAB,y,Displacement(m)
NSEL,all
STORE,MERGE
prvar,2
plvar,2

```

หลังจากที่ทำตามคำสั่งจะได้กราฟแสดงการกระจัดที่ช่วงความถี่ที่เลือกไว้ดังรูปที่ 3.9 ทำให้ทราบค่าการกระจัดสูงสุดของโครงสร้างที่ได้ออกแบบ เมื่อพิจารณาจากกราฟตัวอย่างจะพบว่าที่ความถี่เรโซแนนซ์ของโครงสร้างนั้นจะมีการกระจัดสูงสุด

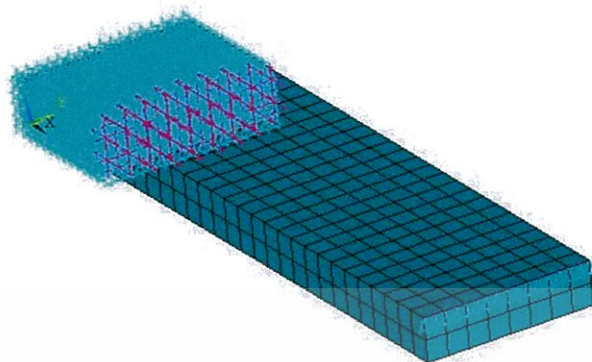


รูปที่ 3.9 ตัวอย่างกราฟแสดงการกระจัดที่ช่วงความถี่ที่เลือก

3.3.4 การหาค่าความเค้นของโครงสร้างใดๆ

หลังจากที่ทราบการกระจัดของโครงสร้างแบบจำลองแล้ว จากนั้นจึงสามารถนำการกระจัดนั้นมาใส่บนโครงสร้าง เพื่อนำไปหาค่าความเค้นของโครงสร้างแบบจำลองต่อไป โดยการใส่การกระจัดบนโครงสร้างนั้นจำเป็นต้องเลือกขนาดของหน่วยเล็กๆ ในโครงสร้างให้มีขนาดตรงกับโหมดที่เลือกที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะใส่การกระจัดที่ใส่ลงไปโครงสร้าง สังเกตที่โครงสร้างจะมีลูกศรแสดงการกระจัดอยู่บนโครงสร้าง ดังรูปที่ 3.10 จากนั้นจึงนำโครงสร้างแบบจำลองนี้ไปหาค่าความเค้นต่อไป



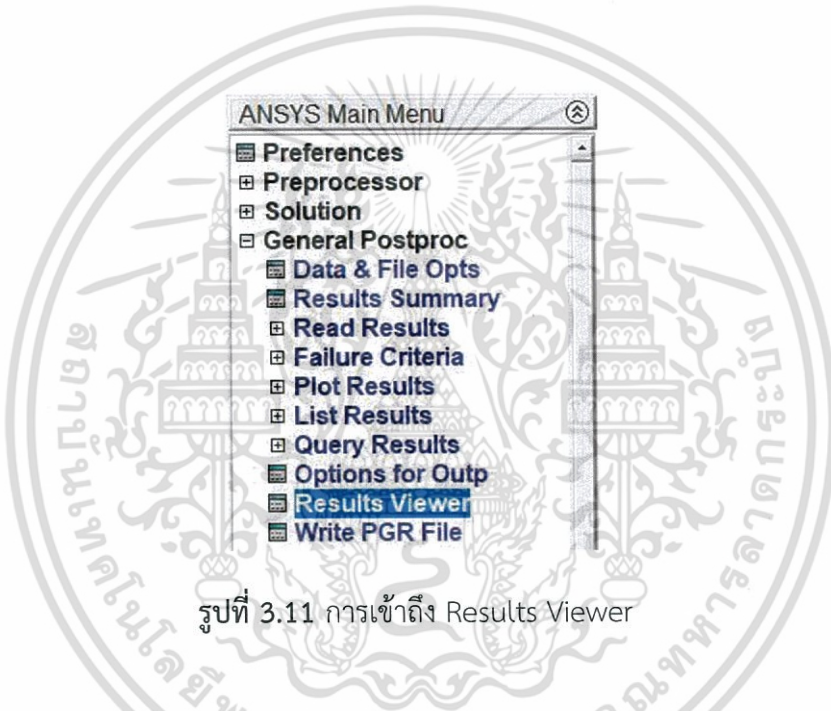
รูปที่ 3.10 ลูกศรแสดงการใส่การกระจัดบนโครงสร้าง

คำสั่งต่อไปนี้ เป็นคำสั่งที่ใช้ในการหาค่าความเค้นของโครงสร้างอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานที่ ออกแบบไว้ในข้างต้น โดยใช้คำสั่งดังต่อไปนี้ไปใส่แทนคำสั่งในหัวข้อ 3.3.2 หลังจากที่ป้อนคำสั่งการ หาค่าความเค้นเข้าไปในโปรแกรม Mechanical APDL (ANSYS) 14.0 แล้วจะต้องพบลูกศรแสดงการ กระจัดดังรูปที่ 3.10 หากไม่พบลูกศรแสดงการกระจัด ก็จำเป็นต้องทดลองเปลี่ยนขนาดของหน่วย เล็กๆ ของวัสดุในหัวข้อ 3.3.1 เพื่อให้สามารถใส่การกระจัดลงบนโครงสร้างได้

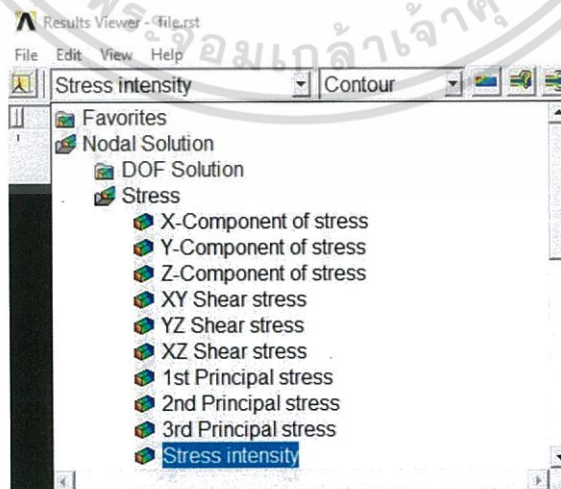
/SOLU	! เปิดใช้คำสั่งที่เกี่ยวกับ Solution Processor
nset,s,loc,x,ตำแหน่ง	! เลือกโหนดที่ต้องการจะใส่แรงแกน x
nset,r,loc,y,ตำแหน่ง	! เลือกโหนดที่ต้องการจะใส่แรงแกน y
nset,r,loc,z,ตำแหน่ง	! เลือกโหนดที่ต้องการจะใส่แรงแกน z
d,all,uz,ขนาดของการกระจัด	! ใส่การกระจัดลงบนโหนดที่เลือกไว้
nset,s,loc,แกน,ตำแหน่ง1,ตำแหน่ง2	! กำหนดช่วงที่ต้องการจะยึด
nset,r,loc,แกน,ตำแหน่ง1,ตำแหน่ง2	! กำหนดช่วงที่ต้องการจะยึด
d,all,ux,,,, uy,uz	! ยึดทั้งแถว
nset,all	
Solve	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจึงนำโครงสร้างที่ใส่การกระจัดลงไปนั้น ไปวิเคราะห์หาความเค้นของโครงสร้างได้จาก ANSYS Main Menu -> General Postproc -> Results -> Viewer Stress -> Stress intensity -> Plot Results ดังรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างจำลองโครงสร้างที่มีการแสดงค่าความเค้นออกมาดังในรูปที่ 3.14 หากว่าค่าความเค้นที่ได้มีการกระจายตัวน้อยเกินไป หรือมีค่าน้อยเกินไป ดังนั้นจึงควรที่จะเปลี่ยนขนาด หรือเปลี่ยนรูปแบบปริมาตรของโครงสร้าง เพื่อให้มีค่าความเค้นให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะเพียโซอิเล็กทริกนั้นอาศัยการเคลื่อนที่เพื่อทำให้เกิดพลังงาน เพราะฉะนั้นยิ่งอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานมีความเค้นมาก วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่นำมาติดบนโครงสร้างก็จะมีค่าความเค้นมากตาม จึงทำให้เกิดพลังงานได้มากกว่าโครงสร้างที่มีค่าความเค้นน้อย

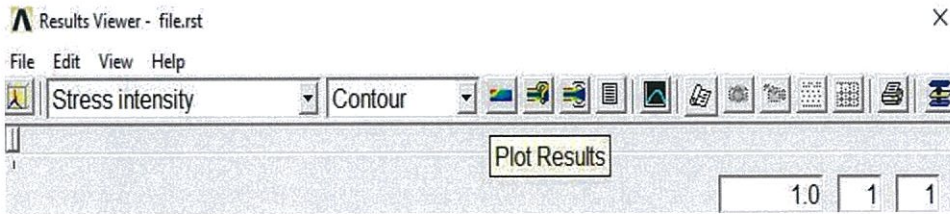


รูปที่ 3.11 การเข้าถึง Results Viewer

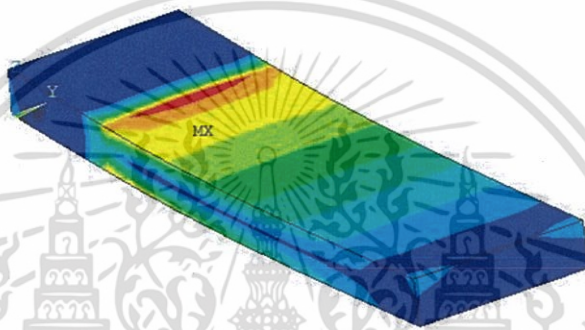


รูปที่ 3.12 การเข้าถึง Stress Intensity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การเข้าถึง Plot Results



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างโครงสร้างที่มีการแสดงค่าความเค้นโดยมีแถบสายรุ้งที่บอกปริมาณความเค้น

3.3.5 การหาค่าแรงดันไฟฟ้าของโครงสร้างใดๆ

จากการที่ได้ออกแบบโครงสร้างของคานเก็บเกี่ยวพลังงานแล้ว โดยขนาดนั้นมีหน่วยเป็น Normalize Unit ซึ่งกำหนดขนาดนั้นมีหน่วยเป็นโวลต์ จึงจำเป็นต้องหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่แตกต่างกัน เพื่อหาตัวต้านทานที่เหมาะสม เพื่อได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยจำเป็นต้องเพิ่มโครงสร้างของตัวต้านทานของโครงสร้างที่ออกแบบ โดยใช้คำสั่งดังต่อไปนี้ ใส่เข้าไปในโปรแกรมที่สร้างโครงสร้างแบบจำลอง

vol_top=0

! ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ที่ขั้วไฟฟ้าด้านบน

vol_bot=0

! ศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ที่ขั้วไฟฟ้าด้านล่าง

ET,3,CIRCU94,0

! โครงสร้างของตัวต้านทาน

Rload = ค่าความต้านทาน

! ค่าความต้านทาน

r,1,Rload

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

nset,s,loc,z,ตำแหน่ง                                ! เลือกโหนดที่ขั้วไฟฟ้าด้านล่าง
nset,r,loc,x,0,ตำแหน่ง
cp,1,volt,all
*GET,n_bot,node,,NUM,MIN
d,n_bot,volt,0                                       ! Ground Electrode ด้านล่าง

nset,s,loc,z,ตำแหน่ง                                ! เลือกโหนดที่ขั้วไฟฟ้าด้านบน
nset,r,loc,x,0,ตำแหน่ง
cp,2,volt,all
*GET,n_top,node,,NUM,MIN
d,n_top,volt,0                                       ! Ground Electrode ด้านบน

type,3 $ real,1                                       ! การเชื่อมต่อตัวต้านทาน
e, n_bot, n_top

หาค่าแรงดันไฟฟ้าที่โครงสร้างใดๆ โดยใช้คำสั่งดังต่อไปนี้ไปใส่แทนคำสั่งในหัวข้อ 3.3.2

/SOLU
!Harmonic analysis
ANTYPE,HARMIC
HROPT,FULL
HROUT,OFF
DMPRAT,0.0170                                       ! ค่า DMPRAT

AUTOTS,ON
NSUBST,50
HARFRQ,ตำแหน่ง,ตำแหน่ง                             ! ช่วงความถี่
KBC,1

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ddele,n_top,volt	! ลบข้อจำกัดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้าด้านบน
nset,s,loc,แกน,ตำแหน่ง1,ตำแหน่ง2	! กำหนดช่วงที่ต้องการจะยึด
nset,r,loc,แกน,ตำแหน่ง1,ตำแหน่ง2	! กำหนดช่วงที่ต้องการจะยึด
d,all,ux,,,, uy,uz	! ยึดทั้งแนว
ACEL,,,ค่าความเร่ง	! ค่าความเร่ง

nset,all

solve

finish

!z Displacement

/POST26

nset,s,loc,y,ตำแหน่ง

! เลือกโหนดที่ต้องการนำไปประมวลผล

nset,r,loc,z,ตำแหน่ง

! เลือกโหนดที่ต้องการนำไปประมวลผล

nset,r,loc,x,ตำแหน่ง

! เลือกโหนดที่ต้องการนำไปประมวลผล

*GET,ntip,NODE,,NUM,MIN

NSOL,2,ntip,U,Z,tip_uz

PRVAR,2

/GRID,1

/AXLAB,y,Displacement

PLVAR,2

nset,s,loc,z,ตำแหน่ง

! เลือกโหนดที่ขั้วไฟฟ้าด้านบน

*GET,Voltage,Node,,NUM,MIN

NSOL,2,Voltage,volt,,Voltage_Load

PRVAR,2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

/GRID,1

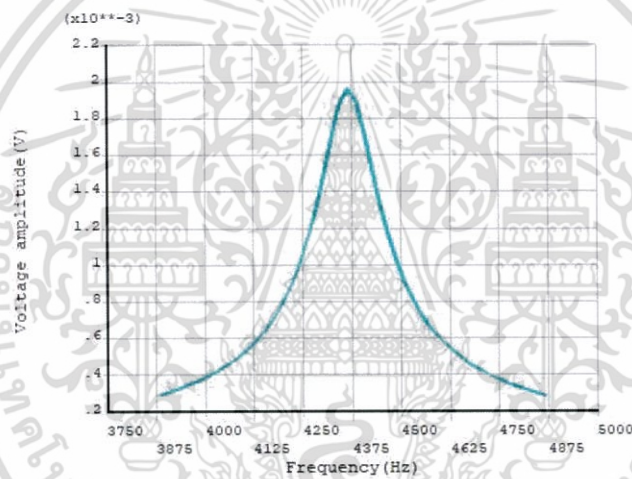
/AXLAB,y,Voltage Amplitude(V)

/AXLAB,x,Frequency(Hz)

PLVAR,2

FINISH

หลังจากที่ทำตามคำสั่งจะได้กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าที่ค่าความต้านทาน ดังรูปที่ 3.12 ทำให้ทราบค่าแรงดันไฟฟ้าของโครงสร้างเพียโซอิเล็กทริกที่ได้ออกแบบ เมื่อพิจารณาจากกราฟตัวอย่างจะพบว่าที่ความถี่เรโซแนนซ์ของโครงสร้างนั้นจะมีแรงดันไฟฟ้าสูงที่สุด



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างกราฟแสดงแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

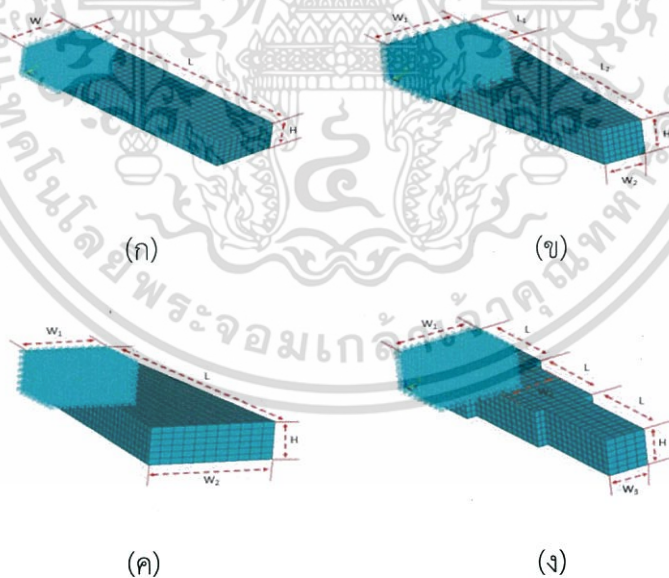
บทที่ 4

การจำลองและการเปรียบเทียบ

การออกแบบ และจำลองรูปแบบที่เหมาะสมที่สุดของคานาเพียโซอิเล็กทริกสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงาน โดยการออกแบบโครงสร้างของคานาเพียโซอิเล็กทริกในรูปทรงต่างๆ ได้แก่ รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า, รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูแบบคานายึดด้านกว้าง, รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูแบบคานายึดด้านแคบ และรูปทรงขั้นบันไดแบบสองด้าน โดยนำไปเปรียบเทียบในสองกรณี ได้แก่ กรณีที่ความเร่งเท่ากัน และกรณีที่การกระจัดเท่ากัน

4.1 การจำลองคานาเก็บเกี่ยวพลังงานรูปทรงต่างๆ

การจำลองโครงสร้างของคานาเพียโซอิเล็กทริกในรูปทรงต่างๆ โดยในการจำลองจะใช้เพียโซอิเล็กทริกชนิด ZnO ติดอยู่กับ PET ซึ่งมีขนาดเท่ากัน และคานายึดที่ตำแหน่งเดียวกันคือ ยาว 3 มิลลิเมตร x หนา 2 มิลลิเมตร โดยทั้ง 4 รูปทรง มีความกว้าง, ความยาว และความหนาเท่ากัน คือ กว้าง 4 มิลลิเมตร x ยาว 15 มิลลิเมตร x หนา 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.1 โครงสร้างรูปทรงต่างๆ ที่ถูกยึดในรูปแบบคานา

- รูปทรง ก คือโครงสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- รูปทรง ข คือโครงสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูแบบคานายึดด้านกว้าง
- รูปทรง ค คือโครงสร้างรูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูแบบคานายึดด้านแคบ
- รูปทรง ง คือโครงสร้างรูปทรงขั้นบันไดแบบสองด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงโครงโครงสร้างรูปทรงต่างๆ ที่ถูกยึดในรูปแบบคาน

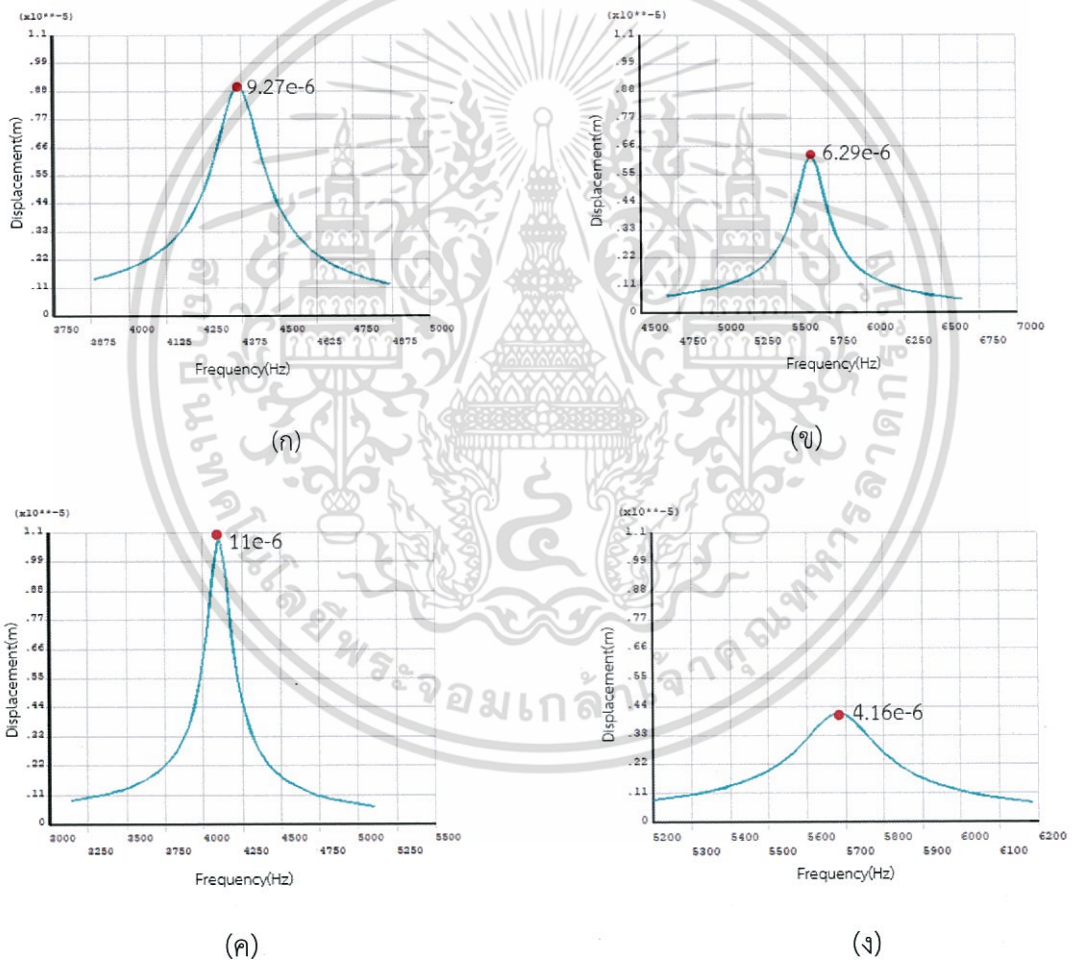
	Rectangle	Trapezoid1	Trapezoid2	Double Step
Natural Frequency (Hz)	4366.3	5632.8	4102.6	5683.7
Length(m)	L = 15e-3 H = 2e-3 W = 4e-3	L ₁ = 3e-3 L ₂ = 12e-3 W ₁ = 4e-3 W ₂ = 2e-3 H = 2e-3	L = 15e-3 W ₁ = 4e-3 W ₂ = 6e-3 H = 2e-3	L = 5e-3 W ₁ = 4e-3 W ₂ = 3e-3 W ₃ = 2e-3 H = 2e-3
Formula	$L \times H \times W$	$H[L_1 \times W_1 + \frac{1}{2}L_2(W_1+W_2)]$	$\frac{1}{2}LH(W_1+W_2)$	$LH(W_1+W_2+W_3)$
Volume (m ³)	120e-7	96e-3	144e-3	90e-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ ที่ความถี่เรโซแนนซ์

เมื่อทราบค่าความถี่เรโซแนนซ์ และขนาดของโครงสร้างในรูปทรงต่างๆ ตามหัวข้อ 4.1 ทำให้สามารถหาค่าการกระจัดสูงสุด ณ ความถี่เรโซแนนซ์ได้ โดยการหาค่าการกระจัดของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ ที่ถูกยึดในรูปแบบคานานั้นต้องใส่แรงกระทำที่บริเวณที่คาดว่าจะมีการกระจัดสูงสุด ในที่นี้คือบริเวณตรงข้ามจากด้านที่ถูกยึดหรือด้านปลายนั่นเอง จากการที่ได้ออกแบบโครงสร้างของคานาเก็บเกี่ยวพลังงานรูปทรงต่างๆ ซึ่งจะนำรูปทรงที่ออกแบบมานั้นนำไปหาค่าการกระจัดสูงสุด, ค่าความเค้น และแรงดันไฟฟ้า ซึ่งการเปรียบเทียบจะเปรียบเทียบ โดยค่า Power Density

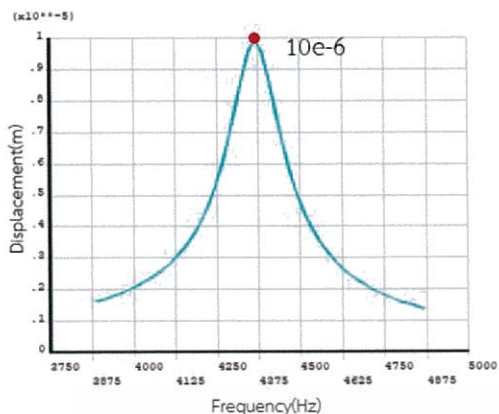
4.2.1 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่ความถี่เท่ากัน



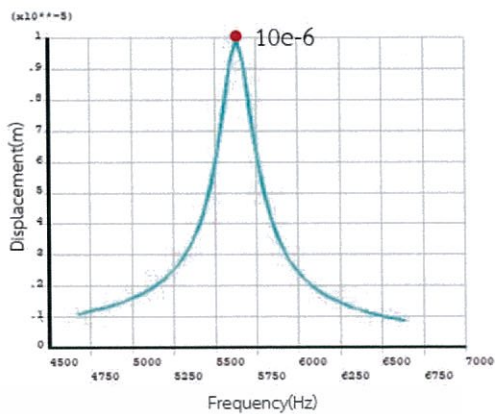
รูปที่ 4.2 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่ความถี่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

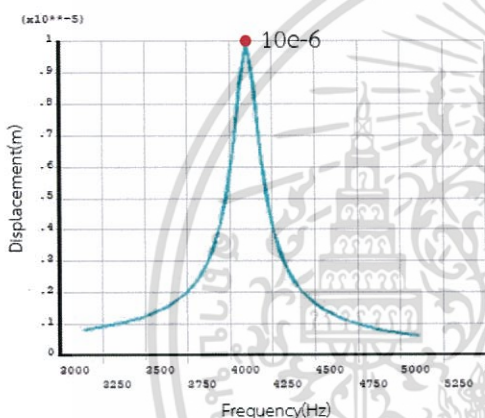
4.2.2 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่การกระจัดเท่ากัน



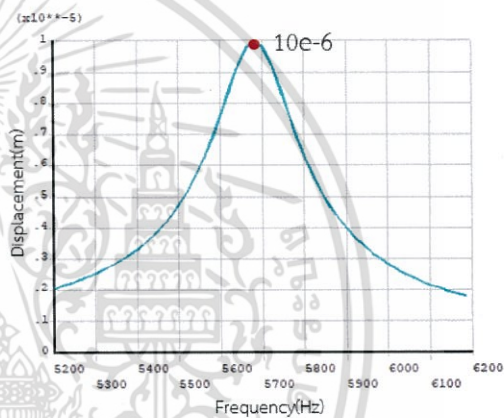
(ก)



(ข)



(ค)



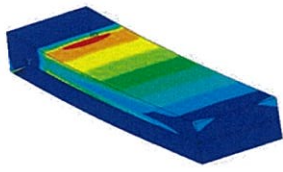
(ง)

รูปที่ 4.3 การกระจัดสูงสุดของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่การกระจัดเท่ากัน

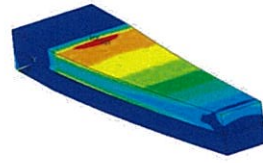
4.3 ค่าความเค้นของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ

หลังจากทราบค่าการกระจัดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้างในรูปทรงต่างๆ ตามหัวข้อ 4.1 แล้ว จึงนำค่าการกระจัดนั้นไปใส่ในโครงสร้างที่ออกแบบมา ณ จุดเดียวกันกับจุดที่ใส่แรง 3.3.4 เพื่อหาความเค้น ของโครงสร้างที่ได้ออกแบบมานั้นข้างต้น แล้วนำโครงสร้างที่ออกแบบนั้นมาเปรียบเทียบค่าความเค้น หรือเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่าความเค้น

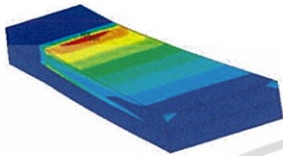
4.3.1 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่ความเร่งเท่ากัน



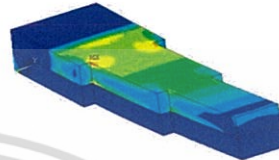
(ก)



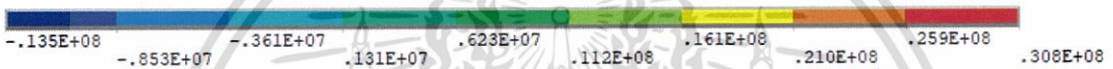
(ข)



(ค)

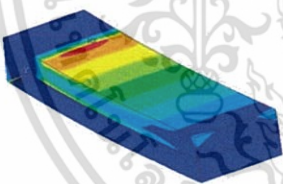


(ง)

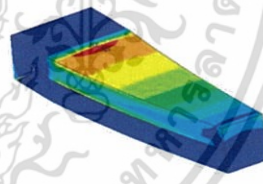


รูปที่ 4.4 ค่าความเค้นและการกระจายตัวของความเค้นของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่ความเร่งเท่ากัน

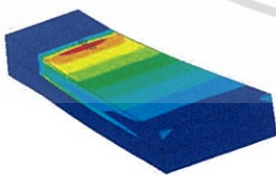
4.3.2 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่การกระจัดเท่ากัน



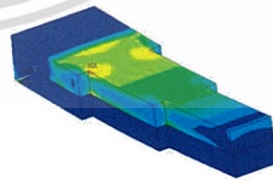
(ก)



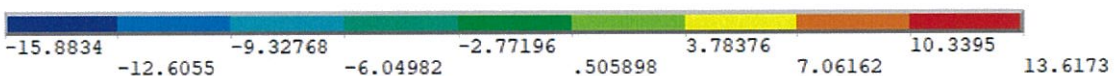
(ข)



(ค)



(ง)



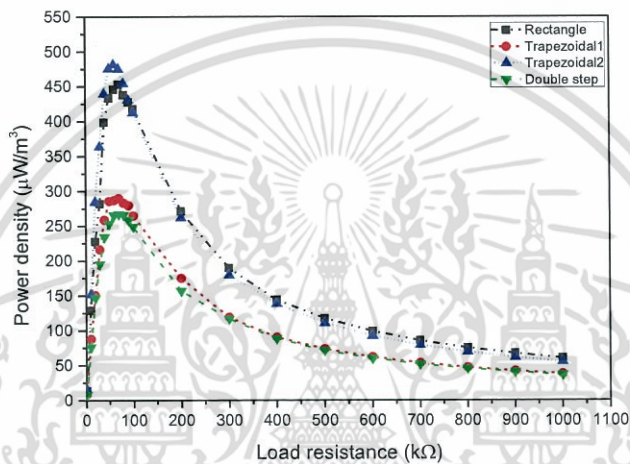
รูปที่ 4.5 ค่าความเค้นและการกระจายตัวของความเค้นของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่การกระจัดเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ค่า Power Density ของโครงสร้างรูปทรงต่างๆ

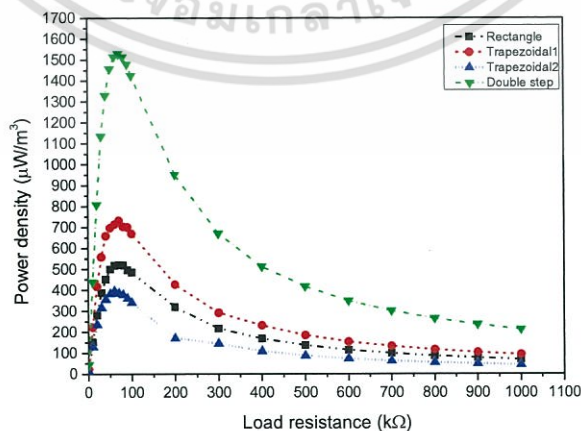
จากการที่ได้ออกแบบโครงสร้างของคานเก็บเกี่ยวพลังงานแล้ว จำเป็นต้องหาค่าแรงดันไฟฟ้าตามหัวข้อที่ 3.3.5 เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวต้านทาน ซึ่งนำไปหาตัวต้านทานที่เหมาะสมเพื่อได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยการเปรียบเทียบนั้นจะนำค่า Power Density มาเปรียบเทียบ เนื่องจากปริมาตรของทั้ง 4 รูปทรงไม่เท่ากัน

4.4.1 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่ความเร่งเท่ากัน



รูปที่ 4.6 กราฟแสดง Power Density กรณีที่ความเร่งเท่ากัน

4.4.2 การเปรียบเทียบรูปทรงต่างๆ กรณีที่การกระจัดเท่ากัน



รูปที่ 4.7 กราฟแสดง Power Density กรณีที่การกระจัดเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการจำลองและเปรียบเทียบคานเก็บเกี่ยวพลังงานแบบโครงสร้างรูปทรงต่างๆ

การจำลองและการเปรียบเทียบคานเก็บเกี่ยวพลังงาน เมื่อออกแบบคานเก็บเกี่ยวพลังงานในหัวข้อที่ 4.1 แล้วจึงนำไปเปรียบเทียบใน 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ความเร่งเท่ากัน ดังตารางที่ 4.2 และกรณีที่การกระจัดเท่ากัน ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการจำลองและเปรียบเทียบคานเก็บเกี่ยวพลังงานแบบโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่ความเร่งเท่ากัน

	Rectangle	Trapezoid	Trapezoid2	Double Step
Mass(kg)	4.19E-04	3.35E-04	5.03E-04	3.15E-04
Force(kg m/s ²)	2.05E-03	1.64E-03	2.47E-03	1.54E-03
Displacement(m)	9.27E-06	6.29E-06	1.10E-05	4.16E-06
Acceleration(m/s ²)	4.90476	4.90476	4.90476	4.90476
Resistor(Ω)	70000	70000	60000	70000
Voltage(V)	1.96E-03	1.40E-03	2.05E-03	1.30E-03
Volume(m ³)	1.21E-07	9.66E-08	1.455E-07	9.04E-08
Power(W)	5.49E-11	2.80E-11	7.00E-11	2.41E-11
Power Density(W/m ³)	4.53E-04	2.90E-04	4.81E-04	2.67E-04

ตารางที่ 4.3 ผลการจำลองและเปรียบเทียบคานเก็บเกี่ยวพลังงานแบบโครงสร้างรูปทรงต่างๆ กรณีที่การกระจัดเท่ากัน

	Rectangle	Trapezoid	Trapezoid2	Double Step
Mass(kg)	4.188E-04	3.350E-04	5.03E-04	3.155E-04
Force(kg m/s ²)	2.200E-03	2.600E-03	2.25E-03	3.700E-03
Displacement(m)	1.000E-05	1.000E-05	1.000E-05	1.000E-05
Acceleration(m/s ²)	5.25059	7.76119	4.476721	11.74643
Resistor(Ω)	70000	70000	60000	70000
Voltage(V)	2.10E-03	2.23E-03	1.86E-03	3.12E-03
Volume(m ³)	1.212E-07	9.696E-08	1.454E-07	9.090E-08
Power(W)	6.30E-11	7.104E-11	5.77E-11	1.391E-10
Power Density(W/m ³)	5.198E-04	7.327E-04	3.96E-04	1.530E-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการจำลอง

การวิเคราะห์รูปทรงเพียโซอิเล็กทริกแบบคานยื่นประกอบด้วย รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า, รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูแบบยึดด้านกว้าง, รูปทรงสี่เหลี่ยมคางหมูแบบยึดด้านแคบ และรูปทรงขั้นบันไดคู่ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ใช้เพื่อหาค่าการกระจัด, ความถี่, แรงดันไฟฟ้า, กำลัง และความหนาแน่นกำลังของเพียโซอิเล็กทริก ผลการดำเนินงานที่ได้เมื่อกำหนดความแรงที่กระทำมีค่าเท่ากัน รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด และเมื่อกำหนดให้ระยะการกระจัดมีระยะทางเท่ากัน รูปทรงขั้นบันไดคู่จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด

5.2 ปัญหาที่พบเจอ

1. ค่าพารามิเตอร์ของวัสดุบางตัวนั้นไม่มีระบุ และยากต่อการวัดหาค่า
2. การเมชซิงวัสดุโดยโปรแกรม Ansys นั้นไม่สามารถเมชซิงรูปทรงบางรูปได้ เนื่องจากขนาดที่ใช้เมชซิง ไม่เหมาะสม

5.3 ผลที่คาดหวัง

1. สามารถมองเห็นถึงประโยชน์ของการเก็บเกี่ยวพลังงาน
2. สามารถเป็นแนวทางเพื่อพัฒนาต่อในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพเพียโซอิเล็กทริก
3. สามารถนำผลการจำลองไปประยุกต์ใช้กับเพียโซอิเล็กทริกในงานเก็บเกี่ยวพลังงานได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

จากการทำการจำลอง นอกจากรูปทรงที่มีผลต่อประสิทธิภาพเพียโซอิเล็กทริกแล้ว ขนาด ความแรงจากภายนอก ความหนาของเพียโซอิเล็กทริก ค่าตัวต้านทานที่มาต่อเพื่อวัดแรงดัน ชนิดของเพียโซอิเล็กทริก ก็ยังมีผลต่อประสิทธิภาพของเพียโซอิเล็กทริกเช่นกัน ดังนั้นเพื่อจะเพิ่มประสิทธิภาพของเพียโซอิเล็กทริกควรคำนึงถึงค่าเหล่านี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jamain U.M, IbrahimN.H Rosminazuin Ab Rahim. (2014). **Performance Analysis of Zinc Oxide Piezoelectric MEMS Energy Harvester**. Master's Thesis, Faculty of Engineering,International Islamic University Malaysia
- [2] Chennupati Jagadish, Stephen J. Pearton. (2011). **Zinc Oxide Bulk,Thin Films and Nanostructures: Processing, Properties and Applications**.pp.443-445: Elsevier
- [3] **Polyethylene terephthalate properties** (online). (2012). Available from:
<http://www.phoenixtechnologies.net/media/371/PET%20Properties%202008.pdf>
- [4] สุปล มนะเกษตรธาร. (2014). การเก็บเกี่ยวพลังงาน (ไฟฟ้า) จากการก้าวเท้าและการประยุกต์ใช้ในการทหารและการอุตสาหกรรมรองเท้าของไทย. แหล่งที่มา:
<https://tunpitcharsin.wordpress.com/2014/08/06/การเก็บเกี่ยวพลังงาน-ไฟ/>
- [5] ศันศินีย์ รักไทยเจริญชีพ. (2555). **วัสดุเพียโซอิเล็กทริก piezoelectric material**. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dss.go.th/images/st-article/ct-10-2555-pieso.pdf>
- [6] สุลอฆาน หะยีสะอะอะ. (2550). **Measurements of piezoelectricity and pyroelectricity for batio3/pvdf composites**. วิทยานิพนธ์ (วท.ม. (ฟิสิกส์))--มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [7] เรโซแนนซ์ [ออนไลน์]. แหล่งที่มา :
<http://rawatrawat.net/www/Sound1/web2.htm>
- [8] HimanshuSharma,R.S.Meenab,V.R.Palkar. (2016). **A novel ZnO piezoelectric micro-cantilever energy scavenger: Fabrication and characterization**. Master's Thesis, Department of Electrical Engineering, Centre for Research in Nano-technology and Science, Indian.