

### **บทคัดย่อ**

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลได้ และในทางกลับกันสามารถเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายด้าน เช่น แหล่งจ่ายแรงดันขนาดสูง เซ็นเซอร์ และ แอ็คทูเอเตอร์ บทความนี้นำเสนอคุณสมบัติ สมการ และแบบจำลองของเพียโซอิเล็กทริกส์ทรานสดิวเซอร์ รวมถึง การนำเซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริกและเทคนิค acoustic emission มาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสภาพโครงสร้างและผิวของเรือ เพื่อหาจุดที่มีความเสียหาย

---

**เรือเอก โชค แก้วมณูช่วย**  
อาจารย์ ฝ้ายศึกษา โรงเรียนนายเรือ  
E-mail : chok\_rtn@yahoo.com



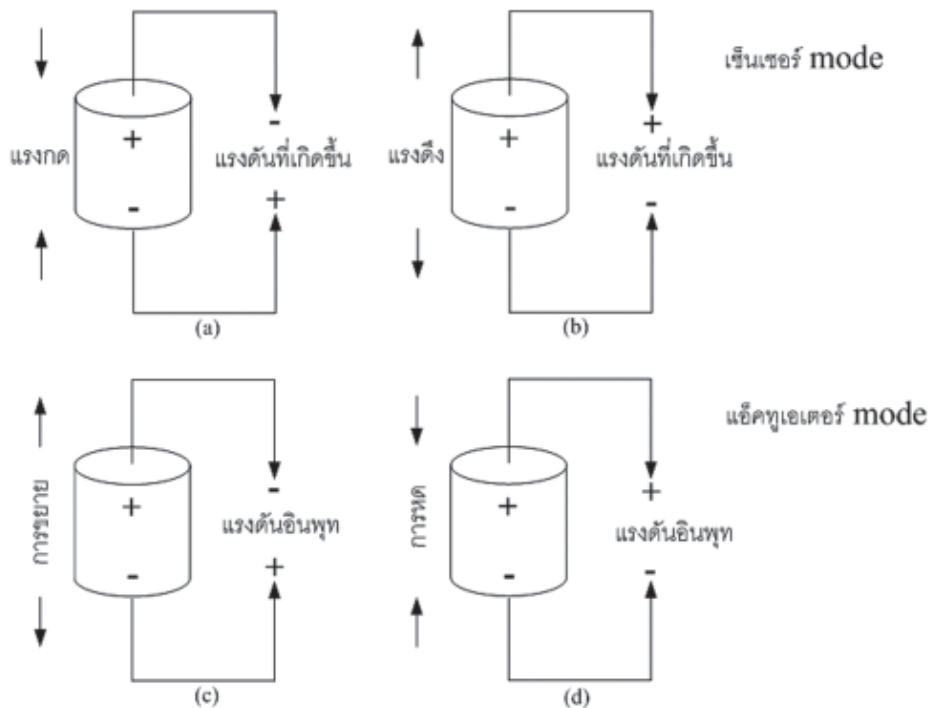
# เทคโนโลยี Piezoelectric ในการตรวจสอบสภาพรอยแตกของตัวเรือ

## บทนำ

การบำรุงรักษาและการตรวจสอบสภาพความพร้อมของเรือรบในราชนาวีไทย เป็นเรื่องที่สำคัญมาก เนื่องจากเรือรบเป็นหัวใจสำคัญของกองทัพเรือในการปกป้องอธิปไตยของชาติ อย่างไรก็ตาม การตรวจและบำรุงรักษาเรือรบตามวงรอบนั้น เป็นงานที่ใช้เวลาและบุคลากรเป็นจำนวนมาก บางครั้งอาจใช้เวลาเป็นปี บทความนี้นำเสนอแนวทางการตรวจสอบสภาพพื้นผิวและโครงสร้างของเรือโดยการใช้เซ็นเซอร์ที่มีส่วนประกอบของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ซึ่งสามารถตรวจจับสัญญาณความผิดปกติที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในของโลหะผิวเรือหรือโครงสร้างของเรือ ซึ่งอาจเกิดจากการใช้งานเป็นเวลานาน การกระแทก และการสึกหรอจากสิ่งแวดล้อม ข้อได้เปรียบของเทคนิคการตรวจจับแบบนี้คือการตรวจและวิเคราะห์โดยไม่จำเป็นต้องถอดหรือแยกชิ้นส่วนของเรือมาวิเคราะห์ที่อู่หรือโรงงาน สามารถติดตั้งระบบการตรวจจับไว้ที่พื้นผิวของเรือได้ตลอดเวลา ซึ่งทำให้ลดค่าใช้จ่ายและสามารถทราบถึงข้อผิดพลาด ความเสียหายของโครงสร้างเรือล่วงหน้า ก่อนที่จะเกิดความเสียหายรุนแรง เทคโนโลยีการตรวจสอบโครงสร้างแบบ real time นี้ได้ถูกนำมาติดตั้งบนเครื่องบินรบสมัยใหม่ เช่น Eurofighter, the Joint Strike Fighter และ F-22 โดยเครื่องบินเหล่านี้จะติดตั้งระบบ Health Usage Monitoring Systems (HUMS) ซึ่งจะบันทึกค่าความเค้น ความเครียด และความเร่งของชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่สำคัญต่าง ๆ ข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญเป็นอย่างมากและบ่งบอกถึงสถานภาพของยานพาหนะขณะปฏิบัติงาน

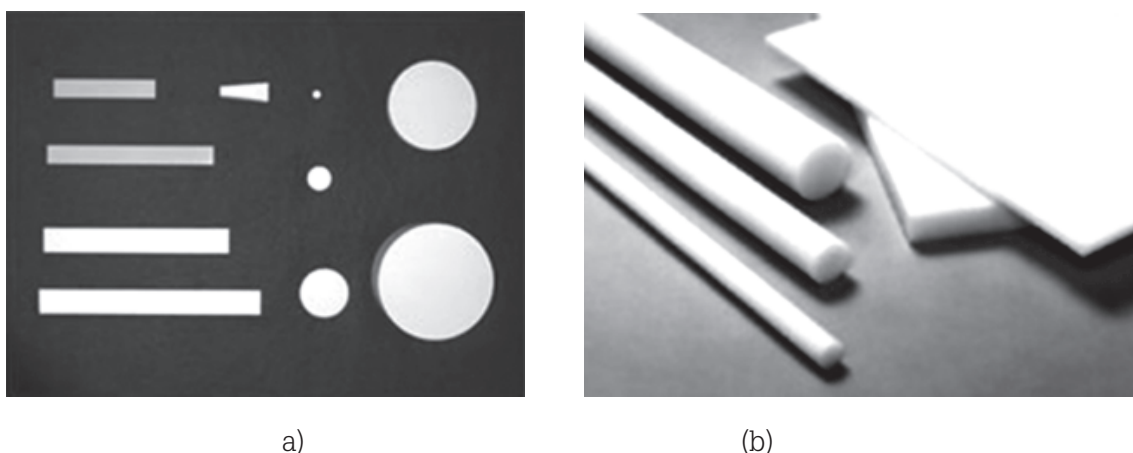
## วัสดุเพียโซอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectricity) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยการที่วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นคริสตัล (เช่น quartz) สามารถสร้างสนามไฟฟ้าได้ เมื่อถูกแรงบีบหรือแรงดึงยืด ในทางกลับกัน วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นเพียโซอิเล็กทริกก็สามารถสร้างแรงยึดหดหรือสั่นไหวได้เมื่อผิวสัมผัสถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกได้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Jacques and Pierre Curie ในปี ค.ศ. 1880 โดยพบว่าวัสดุคริสตัลที่ไม่สมมาตรในเชิงโมเลกุล มีความสามารถในการสร้างขั้วไฟฟ้าเมื่อถูกบีบ ซึ่งการบีบหรือกระแทกไปบนผิวของวัสดุจะทำให้เกิดการสะสมประจุบวกบนพื้นผิวด้านหนึ่งของวัสดุและประจุลบอีกด้านหนึ่ง ซึ่งจะเห็นว่าวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า หรือจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล [1]



รูปที่ 1 mode การทำงานของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกสามารถพบได้ในวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นคริสตัล เช่น สังกะสี, โซเดียมคลอไรด์, โบเรอไซด์, ทอมาไลต์, ควอตซ์, คาลาไมน์, และ ทอพาช [2] อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก สามารถสร้างขึ้นได้ด้วยวัสดุสังเคราะห์ ดังนั้นคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกสามารถถูกออกแบบได้ตามความต้องการของวิศวกรและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้ตรงกับงานต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ lead zirconate titanate (LZT) และ polyvinylidene fluoride (PVDF) ดังที่แสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ได้จากการสังเคราะห์ (a) PZT (b) PVDF

วัสดุเพียโซอิเล็กทริก ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมอย่างมากมาย โดยเริ่มพัฒนาในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 วัสดุเพียโซอิเล็กทริกถูกออกแบบเพื่อใช้สร้างสัญญาณอัลตราซาวด์ โดยการนำเอาวัสดุที่มีคุณสมบัติเพียโซอิเล็กทริก สองแผ่นประกบเข้ากับแผ่นเหล็ก หลังจากนั้นต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้แผ่นเพียโซอิเล็กทริกสั่นและสร้างเสียงที่มีความถี่ในช่วงอัลตรา ต่อมาอุปกรณ์นี้ได้ถูกนำมาใช้ในระบบโซนาร์ของเรือดำน้ำ [3] ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 การพัฒนาในเชิงทหารทำให้เทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกถูกประยุกต์ใช้ในการสื่อสาร มีการพัฒนาเครื่องรับโทรศัพท์ที่ใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริก โดยเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาตามสายเป็นการสั่นของแผ่นฟิล์มเพียโซอิเล็กทริก

ในปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกกำลังมุ่งไปที่การสร้างวัสดุอัจฉริยะ (Smart material) ซึ่งจะเห็นได้ในรูปแบบของเซ็นเซอร์, แอ็คทูเอเตอร์, ระบบควบคุม, และแหล่งกำเนิดพลังงานต่างๆ ถูกพัฒนาโดยมีส่วนประกอบหลักเป็นวัสดุเพียโซอิเล็กทริก นอกจากนี้การพัฒนาเทคโนโลยีชิปขนาดเล็ก (MEMS) ซึ่งมีส่วนประกอบของทั้งเซ็นเซอร์และแอ็คทูเอเตอร์ได้นำเอาวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมาประยุกต์ใช้

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทตามการประยุกต์ใช้งาน ดังต่อไปนี้

### 1 แหล่งจ่ายแรงดันสูง

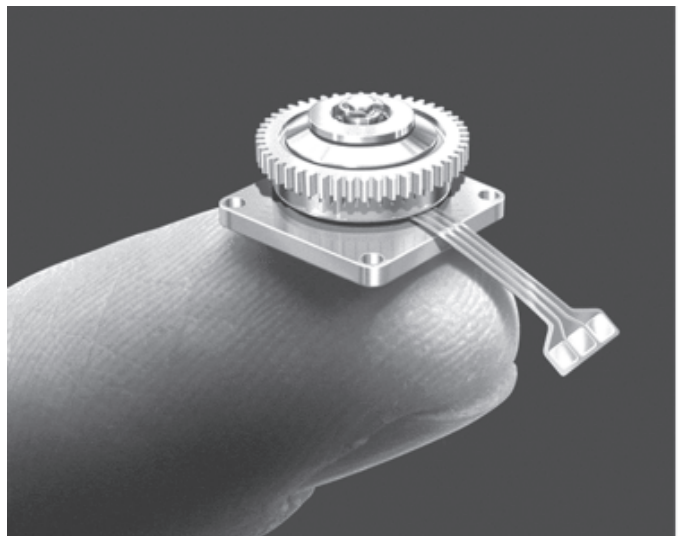
วัสดุเพียโซอิเล็กทริกสามารถสร้างแรงดันที่ชั่วได้หลายพันโวลต์ เมื่อถูกการกระแทกอย่างแรงโดยตรง ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกประเภทนี้คือ การใช้เป็นเครื่องจุดไฟสำหรับเครื่องทุ้มหรือบุหรี่ นอกจากนี้ยังมีการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านการทหารคือการใช้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกในการสร้างสัญญาณพัลส์กำลังสูงเป็นกิโลวัตต์ (Piezoelectric pulse generator) เพื่อใช้เป็นสัญญาณที่มีประโยชน์ต่อการตรวจจับวัตถุระเบิด ซึ่งสัญญาณพัลส์ (pulse) นี้จะสามารถสร้างได้โดยการต่อวงจรเพียโซอิเล็กทริกเข้ากับสปาร์คแก๊ป (Spark gap) [4] นอกจากนี้ยังมีการทำวิจัยการเปลี่ยนพลังงานที่เกิดจากการกระแทกของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ตัวอย่างเช่นการนำเอาวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมาประกอบเข้ากับร่องเท้าบูทของทหาร

## 2 เพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์

เพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแรงดัน แรงตึง เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน เพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์สามารถออกแบบให้รับสัญญาณกลได้หลายทิศทางเช่น แรงบีบ แรงบิด แรงหมุน ซึ่งทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่เราต้องการวัดได้อย่างง่ายดาย ตัวอย่างของการนำเพียโซอิเล็กทริกมาใช้คือ ไมโครโฟน ซึ่งมีส่วนประกอบของเพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์ที่รับสัญญาณเสียงแล้วนำมาแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อนำไปขยายต่อไป นอกจากนี้เพียโซอิเล็กทริกเซ็นเซอร์ยังได้ถูกนำมาใช้ในระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของรถยนต์สมัยใหม่

## 3 เพียโซอิเล็กทริกแอ็ททูเอเตอร์

เพียโซอิเล็กทริกแอ็ททูเอเตอร์ คืออุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าให้เป็นการหดหรือการขยายตัวของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ตัวอย่างของอุปกรณ์ชนิดนี้เช่น ระบบควบคุมการไหลของหมึกในเครื่องพิมพ์แบบ inkjet, นอกจากนี้วัสดุเพียโซอิเล็กทริกสามารถถูกออกแบบให้สร้างแรงหมุนได้เช่น มอเตอร์เพียโซอิเล็กทริก [5] ซึ่งการหมุนของมอเตอร์ชนิดนี้มีความละเอียดสูงมากสามารถนำมาใช้แทน step motor ได้เป็นอย่างดี มอเตอร์เพียโซอิเล็กทริกถูกใช้ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่ต้องการความละเอียดสูง เช่น ระบบโฟกัสอัตโนมัติของกล้องถ่ายรูป, และระบบควบคุมการหมุนของฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์ ในระบบเครื่องยนต์ดีเซลแบบคอมมอนเรล วัสดุเพียโซอิเล็กทริกถูกออกแบบให้เป็นหัวฉีด แทนการใช้หัวฉีดแบบโซเลนอยด์



รูปที่ 3 มอเตอร์เพียโซอิเล็กทริก

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเพียโซอิเล็กทริก

การวิเคราะห์การทำงานของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมีหลักการพื้นฐานดังต่อไปนี้

### 1. Piezoelectric Constants

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกมีคุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะ สามารถแสดงได้เป็นค่าคงที่เฉพาะตัวขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ โดยคุณลักษณะของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะขึ้นอยู่กับทิศทางของขั้วไฟฟ้า สัญญาณที่แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าหรือทางกลของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะถูกกำกับด้วยเครื่องหมายใต้ตัวอักษร 2 ตัว ซึ่งแสดงถึงทิศทางของการกระทำและการตอบสนองของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก โดยทิศทางจะแสดงเป็นตัวเลข 1, 2, และ 3 ซึ่งหมายถึงแกน x, y, และ z ตามลำดับ

a) ค่าสัมประสิทธิ์ความตึงของเพียโซอิเล็กทริก,  $d$  แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยืดหดที่เกิดขึ้น และ แรงดันไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับวัสดุ วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์  $d$  สูง จะเหมาะต่อการใช้งานด้านแอ็คทูเอเตอร์

$$d_{ij} = \frac{\text{strain develop}}{\text{applied field}} \quad (1)$$

b) ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันไฟฟ้าของเพียโซอิเล็กทริก,  $g$  แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เกิดขึ้นกับแรงกลที่กระทำกับวัสดุ วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์  $g$  สูงเหมาะต่อการใช้งานด้านเซ็นเซอร์

$$g_{ij} = \frac{\text{electrical field develop}}{\text{applied stress}} \quad (2)$$

c) ค่าสัมประสิทธิ์ในการเปลี่ยนพลังงานของเพียโซอิเล็กทริก,  $k$  บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการแปลงพลังงาน ซึ่งมีค่าเท่ากับรากของอัตราส่วนพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นต่อพลังงานที่ใส่

$$k_{ij} = \sqrt{\frac{\text{mechanical energy stored}}{\text{electrical energy applied}}} \text{ or } k_{ij} = \sqrt{\frac{\text{electrical energy stored}}{\text{mechanical energy applied}}} \quad (3)$$

## 2. สมการเพียโซอิเล็กทริก

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกเป็นการที่รวมเอาทั้งปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าและทางกลเข้ามาเกี่ยวข้องกัน โดยสมการทางไฟฟ้าที่อธิบายเกี่ยวกับเรื่องประจุไฟฟ้าสะสมบนวัสดุที่วางขั้วขนานกันคือ

$$D = \epsilon E \quad (4)$$

ส่วนสมการทางกลคือ

$$S = sT \quad (5)$$

เมื่อทำเอาความสัมพันธ์ทั้งสอง มารวมกันจะได้สมการเพียโซอิเล็กทริก [1]

$$\{S\} = [s^E]\{T\} + [d_e]\{E\} \quad (6)$$

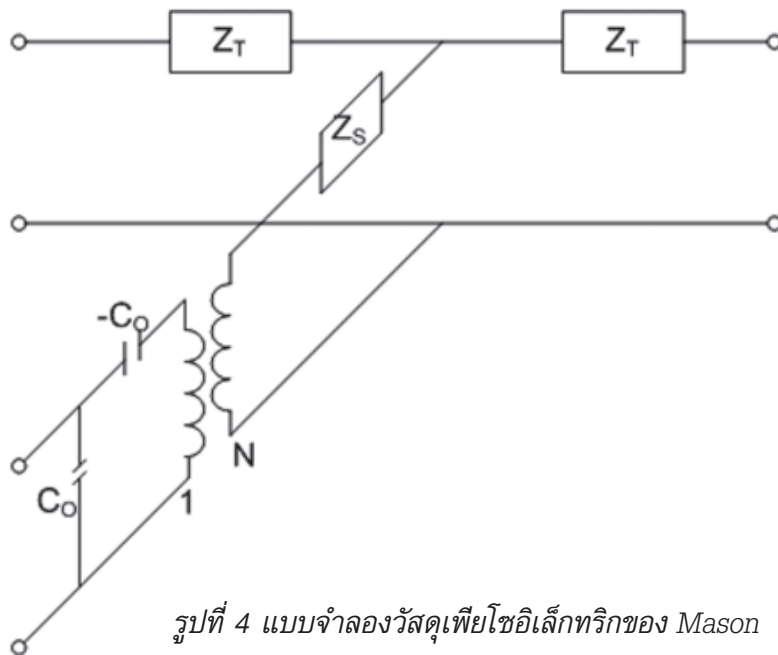
และ

$$\{D\} = [d]\{T\} + [\epsilon^T]\{E\} \quad (7)$$

โดย  $d$  คือค่าสัมประสิทธิ์ความตึง, และตัวยก  $E$  หมายถึงการที่วัสดุเพียโซอิเล็กทริกต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันคงที่หรือไม่ได้ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน; ตัวยก  $T$  หมายถึงวัสดุเพียโซอิเล็กทริกถูกบีบด้วยแรงบีบคงที่หรือไม่ได้ถูกบีบ; และ ตัวใต้ตัวอักษร  $t$  หมายถึง แมทริกซ์ทรานสโพสด์ ทฤษฎีและสมการเพียโซอิเล็กทริกสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ [2]

## 3. แบบจำลองของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าแรงหรือแรงดันที่เกิดที่ขั้วของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเป็นเรื่องที่ยุ่งยากเนื่องจากการวิเคราะห์สมการที่เกี่ยวข้องทั้งทางไฟฟ้าและทางกล การวิเคราะห์ยังรวมถึงการคำนวณเมตริกซ์ขนาดใหญ่และสมการการเคลื่อนที่ของคลื่น จึงจำเป็นต้องมีแบบจำลอง (Simulation model) ที่สามารถใช้คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ในการคำนวณได้ แบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลาย คือแบบจำลองของ Mason [6] ซึ่งเป็นการจำลองวัสดุเพียโซอิเล็กทริกโดยแยกพอร์ตทางไฟฟ้า (Electrical port) กับพอร์ตทางกลหรือทางเสียง (Acoustic port) ออกจากกันอย่างเด่นชัด ดังแสดงในรูปที่ 4



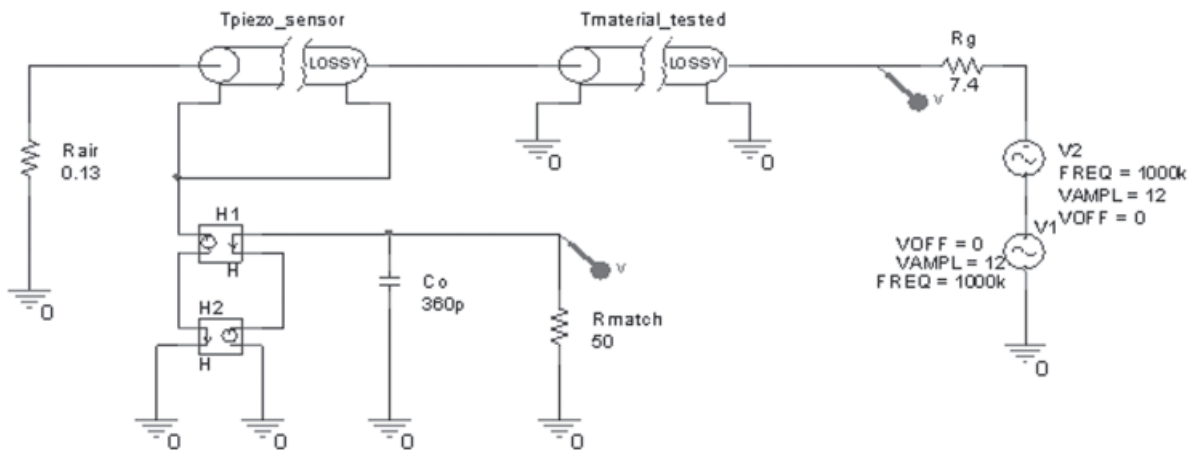
รูปที่ 4 แบบจำลองวัสดุเพียโซอิเล็กทริกของ Mason

จากรูปจะเห็นว่า พอร์ตทางไฟฟ้าจะต่อเข้าตรงกลางของพอร์ตทางเสียง ซึ่งพอร์ตทางเสียงมีค่าอิมพีแดนซ์  $Z_T$  สองตัว แสดงถึงหน้าสัมผัสของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ถ้าพอร์ตทางเสียงด้านใดด้านหนึ่งเป็น short circuit จะหมายถึงหน้าสัมผัสด้านนั้นไม่ได้ยึดติดกับวัสดุใด ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง Mason แสดงในตาราง 1

$C_o = \frac{\epsilon_{33}^s A}{t}$	$N = C_o h$
$Z_o = \rho A v^D$	$\Gamma = \frac{\omega}{v^D}$
$Z_T = iZ_o \tan(\Gamma t / 2)$	$Z_s = -iZ_o \csc(\Gamma t)$

ตาราง 1 พารามิเตอร์ของโมเดลของ Mason

แบบจำลอง ของ Mason สามารถคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ทางไฟฟ้า เช่น Orcad PSpice [7] ในการวิเคราะห์ รูปที่ 5 แสดงแบบจำลองโดยใช้ Orcad PSpice



รูปที่ 5 แบบจำลองเซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริก โดยใช้ซอฟต์แวร์ Orcad PSpice

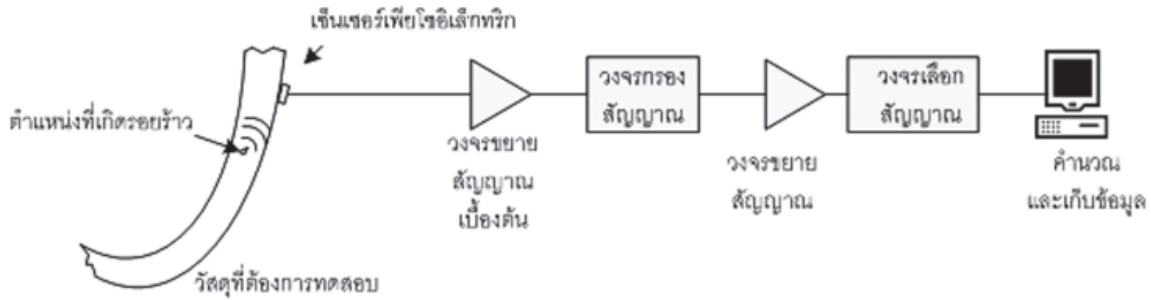
ในพอร์ตทางไฟฟ้า แบบจำลองประกอบด้วย ซึ่งเป็นค่าความเป็นตัวเก็บประจุของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก และ source controller 2 ตัว ทำหน้าที่จำลองสมการการเกี่ยวเนื่องทางไฟฟ้าและทางกลของวงจร ส่วนพอร์ตทางเสียงของวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและวัสดุที่ต้องการทดสอบ จะถูกจำลองด้วยแบบจำลองของสายส่ง (transmission line model) ซึ่งจะให้ค่าความละเอียดสูงเนื่องจากเป็นแบบจำลองแบบ distributed โดยขั้นตอนและวิธีการสร้างแบบจำลองสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ที่[8]

## การประยุกต์ใช้งานวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในการตรวจสภาพพื้นผิวของเรือ

### 1. ระบบ Acoustic emission

วัสดุเพียโซอิเล็กทริก สามารถใช้ตรวจจับสภาพของพื้นผิววัสดุ โดยใช้เทคนิคตรวจจับการปล่อยคลื่นความเค้น (Acoustic emission) ของวัสดุ [9] เนื่องจาก วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงของความเครียด (Stress redistribution) ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ เมื่อเรือแล่นผ่านคลื่นที่มีความรุนแรงสูง การปะทะของคลื่นกับโครงสร้างของตัวเรืออาจจะทำให้ลำตัวเรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Elastic deformation), และการเปลี่ยนแปลงของความเครียดและพลังงานความเค้น (Elastic strain energy) ในโครงสร้าง ซึ่งเมื่อถึงจุดที่พลังงานคลื่นมีความรุนแรงจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบถาวรในระดับอนุภาคของโครงสร้าง จะส่งผลให้เกิดการปล่อยพลังงานความเค้นออกมาในรูปแบบการแพร่ของคลื่นเสียง การแพร่ของคลื่นนี้ เมื่อแอมพลิจูดสูงถึงระดับหนึ่งจะสามารถตรวจจับได้ด้วยเซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริก โดยทั่วไปความถี่ของคลื่นนี้จะอยู่ที่ระดับ 30 kHz ถึง 30 MHz การออกแบบการวางเซ็นเซอร์ตั้งแต่ 3 ตัวขึ้นไป (Triangulation) ยังช่วยให้สามารถระบุตำแหน่งที่เกิดความเสียหายได้อีกด้วย ขั้นตอนของระบบตรวจจับสภาพโครงสร้างของพื้นผิวเรือ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6



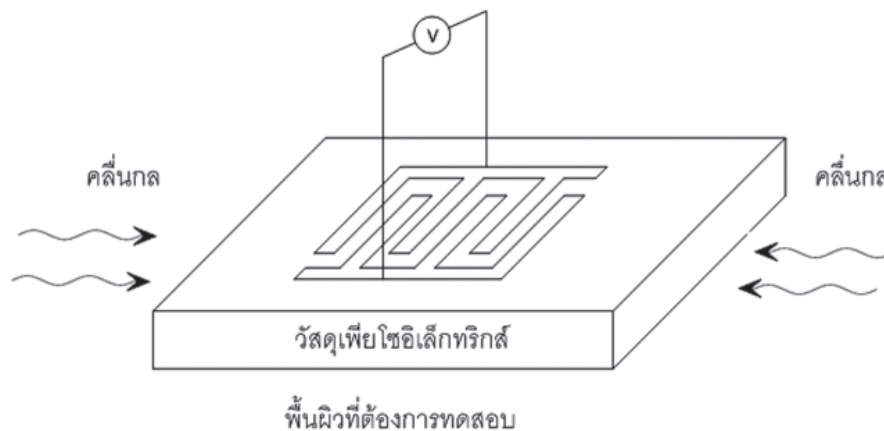


รูปที่ 6 ระบบ Acoustic emission ในการตรวจสอบสภาพพื้นผิวและโครงสร้างเรือ

เซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริกจะถูกนำมาพินกับพื้นผิวที่ต้องการตรวจ ตามรูปที่ 7 เซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริกมีความไว ต่อสัญญาณคลื่นถึง 1000 V ต่อ 1 mm สัญญาณคลื่นที่มีแอมพลิจูด 0.1 pm เซ็นเซอร์จะสร้างสัญญาณแรงดัน 100 mV



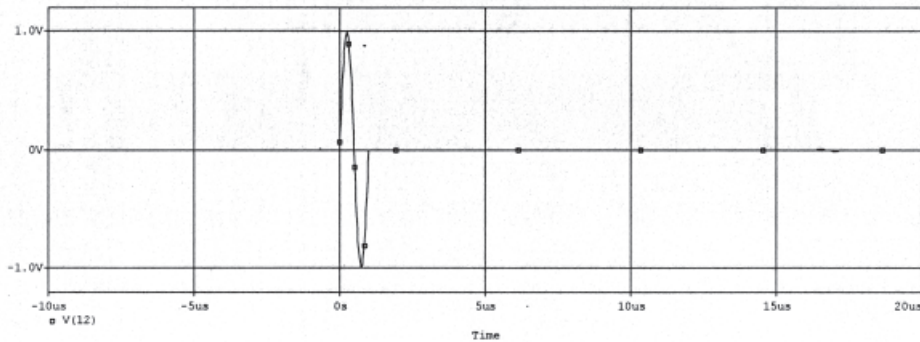
(a)



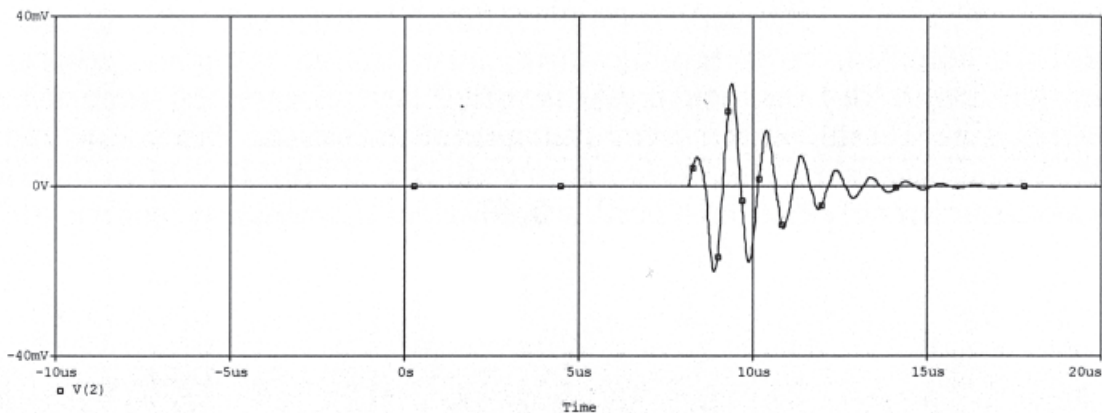
(b)

รูปที่ 7 (a) เซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริกที่ใช้ในระบบ Acoustic emission (b) ภาพจำลองการทำงาน

ตัวอย่างสัญญาณที่เซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริกวัดได้ ซึ่งอ่านค่าแรงดันได้เป็นมิลลิโวลต์ โดยใช้แบบจำลองของ Mason model และซอฟต์แวร์ Orcad PSpice เป็นดังรูปที่ 8



(a)



(b)

รูปที่ 8 (a) การจำลองการเกิดคลื่นความเค้นที่วัสดุ

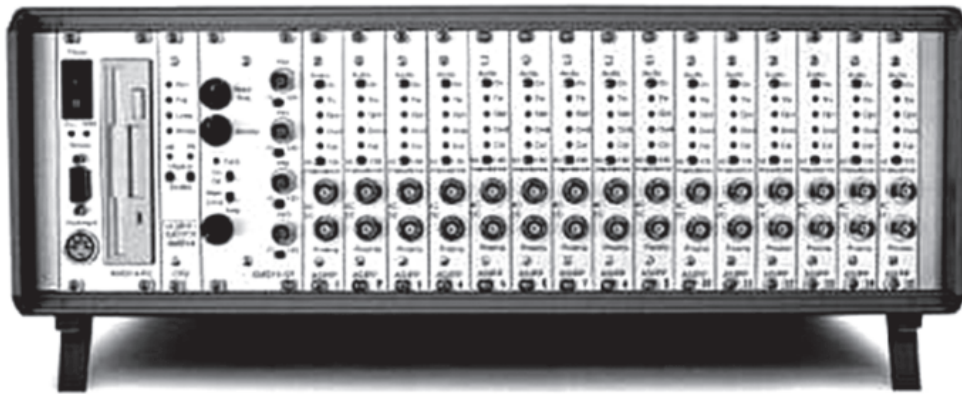
(b) การตอบสนองของเซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริก

รูปที่ 8 แสดงถึงการตอบสนองของเซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริกต่อการเกิดคลื่นความเครียดในตัววัสดุ การตอบสนองมีแอมพลิจูดสูงสุดที่ประมาณ 24 mV และล่าช้าไปประมาณ 8  $\mu$ s จากเวลาที่เกิดคลื่นความเค้น

## 2. การวิเคราะห์สัญญาณ

ขั้นตอนที่สำคัญในการวัดความเสียหายของเรืออยู่ที่การวิเคราะห์และประมวลผลสัญญาณ (Signal processing) ที่ตรวจจับได้โดยเซ็นเซอร์เพียโซอิเล็กทริก เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับมีขนาดเล็ก และการวางเซ็นเซอร์อาจจะมีระยะทางไกลจากจุดวิเคราะห์สัญญาณ จึงจำเป็นต้องมีวงจรขยายสัญญาณ เพื่อที่จะสามารถขับสัญญาณผ่านสายเคเบิลก่อนเข้าสู่วงจรกรองสัญญาณได้ วงจรกรองสัญญาณทำหน้าที่แยกสัญญาณที่เกิดจากความเค้นที่ปล่อยมาจากโครงสร้างของวัสดุออกจากสัญญาณรบกวนภายนอกซึ่งได้แก่ เสียงฝน หรือ เสียงการเคลื่อนไหวของมอเตอร์เรือ โดยสัญญาณรบกวนนี้จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของตำแหน่งที่วางเซ็นเซอร์ ดังนั้นวงจรกรองสัญญาณที่ติดอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ ของเรือ จะมีความสามารถในการกรองสัญญาณรบกวนที่ความถี่แตกต่างกันไป

สัญญาณที่ผ่านจากวงจรกรองสัญญาณจะถูกนำมาขยายอีกครั้ง และนำเข้าสู่วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ก่อนนำเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ ขั้นตอนและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์สามารถออกแบบเองเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์วิเคราะห์สัญญาณ acoustic emission ดังรูปที่ 9 มีจำหน่ายแบบสำเร็จรูป ซึ่งเป็นระบบ acoustic emission ที่สามารถรองรับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ได้ถึง 15 ตัว และมีการรวมการวัดและวิเคราะห์ไว้ในโมดูลเดียว ซึ่งสะดวกและรวดเร็วในการเคลื่อนย้าย [10]



รูปที่ 9 ระบบวิเคราะห์สัญญาณ Acoustic emission AMSY4 ของบริษัท Vallon ประเทศเยอรมันนี

## สรุป

เทคโนโลยีเพียโซอิเล็กทริกมีประโยชน์มากมาย วัสดุเพียโซอิเล็กทริกมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายด้าน เช่น แหล่งจ่ายพลังงานแรงดันสูง เซ็นเซอร์ที่มีความไวมาก และแอคทูเอเตอร์ที่มีความละเอียดขนาดไมโครเมตร ในทางทหาร การบำรุงรักษา ยุทธโธปกรณ์เป็นเรื่องที่สำคัญ บ่งบอกถึงสภาพความพร้อมในการรบและปกป้องอธิปไตยของชาติ กองทัพเรือมีเรือรบหลายลำ มีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ การนำวัสดุเพียโซอิเล็กทริก มาใช้ในการตรวจจับและहारอยแตก ร้าว รอยร้าว หรือความล้าของเหล็ก ในลำเรือ จะช่วยให้สามารถตรวจพบปัญหาแต่เนิ่น ๆ และยังสามารถช่วยประหยัดงบประมาณในการซ่อมบำรุงของกองทัพเรือ

**เอกสารอ้างอิง**

- [1.] A. Ballato, "Piezoelectricity: history and new thrusts," IEEE Trans. Ultrasonics Symposium, vol. 1, pp. 575-583, 1996.
- [2.] W. G. Cady, Piezoelectricity: an Introduction to the Theory and Applications of Electromechanical Phenomena in Crystals. New York: McGraw-Hill, 1946.
- [3.] M. A. Kettatni, Direct Energy Conversion. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing Company, 1970, pp. 327-365.
- [4.] C. Keawboonchuay, and T. G. Engel, "Design, modeling, and implementation of a 30 kW piezoelectric pulse generator, IEEE Trans. Plasma Science, vol. 30, no. 2, pp. 679-686, Apr. 2002
- [5.] AlliedSignal Aerospace, Kansas City Division
- [6.] W. P. Mason, "Electromechanical Transducers and Wave Filters," Princeton, NJ: Van Nostrand, 1948.
- [7.] OrCad PSpice A/D, version 9.2, OrCad inc., 13211 SW 68<sup>th</sup> Parkway Suite 200, Portland, OR 97223.
- [8.] A. Püttmer, P. Hauptmann, R. Lucklum, O. Krause, and B. Henning, "SPICE model for lossy piezoceramic transducers," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr., vol. 44, no. 1, pp. 60-66, January 1997.
- [9.] M. Huang, L. Jiang, P. K. Liaw, C. R. Brooks, R. Seeley, and D. L. Klarstrom, "Using acoustic emission in fatigue and fracture materials research," Journal of Material Science, vol. 50, no. 11, Nov. 1998.
- [10.] Vallen-Systeme GmbH, PO-Box 34 82055 Icking, Munich.