

## บทที่ 6

### การประยุกต์ใช้งาน

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเฝ้าระวังเครื่องจักรกลในโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่ตัวตรวจจذب ซึ่งปัจจุบันตัวตรวจจذبที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ ตัวตรวจจذبที่สร้างจากสาร PZT ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้นำตัวตรวจจذبที่สร้างขึ้นจากสาร PZT และฟิล์ม PVDF ไปประยุกต์ใช้งานจริงในการเฝ้าระวังสภาพหล่อลื่นของตลับลูกปืนในเครื่องจักรกลหมุนและการเฝ้าระวังการรั่วของท่อ

#### 6.1 การเฝ้าระวังสภาพหล่อลื่นของตลับลูกปืนด้วยวิธีการปล่อยคลื่นอะคูสติก จากตัวตรวจจذبที่สร้างจากฟิล์ม PVDF [22,23,24]

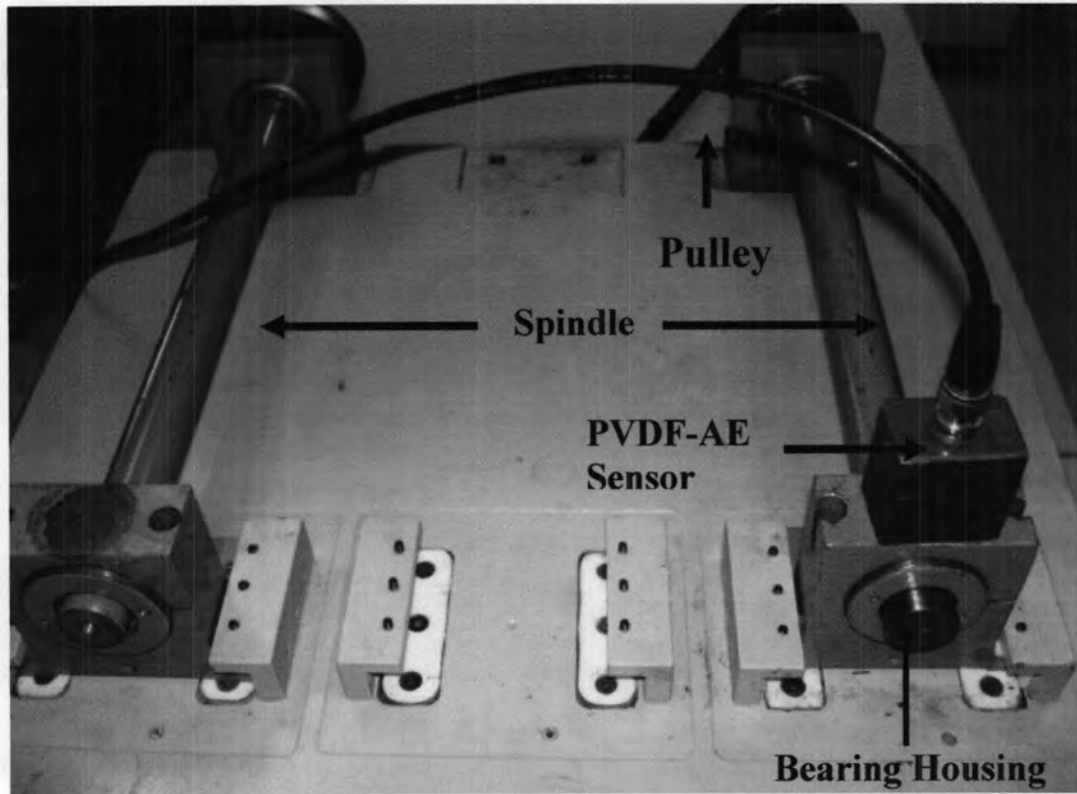
ตลับลูกปืนเป็นส่วนสำคัญสำหรับเครื่องจักรกลประเภทเครื่องจักรหมุน เมื่อเครื่องจักรกลใช้งานเป็นเวลานาน จะมีผลทำให้ตลับลูกปืนเกิดการสึกหรอและแตกร้าวเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการกระทบกันของลูกปืน ซึ่งจากผลของการแตกร้าวนี้ จะมีการปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของคลื่นอะคูสติก เราสามารถที่จะตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับตลับลูกปืนได้ ก่อนที่ตลับลูกปืนนั้นจะเกิดการแตกร้าวซึ่งจะนำสู่ความเสียหายต่อเครื่องจักรกลหมุน ฉะนั้นการทราบความเสียหายก่อนโดยการเปลี่ยนตลับลูกปืนที่เสื่อมสภาพ เพื่อลดความเสียหายโดยการใส่สารหล่อลื่น (Lubricant) จะช่วยให้ลูกปืนเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาสภาพการหล่อลื่นของตลับลูกปืน โดยใช้ตลับลูกปืน 3 ประเภทด้วยกัน คือ ตลับลูกปืนที่ไม่มีสารหล่อลื่น ตลับลูกปืนที่ใส่สารหล่อลื่นและตลับลูกปืนที่ใส่สารหล่อลื่นผสมแองกราไฟต์ ทั้งนี้ได้ใช้ตลับลูกปืนชนิดเดียวกันและมีขนาดเท่ากัน หลังจากนั้นทำการศึกษาเพื่อหาค่าพลังงานของคลื่นอะคูสติกที่ปลดปล่อยออกมา โดยพิจารณาในค่าของ  $AE_{RMS}$  จากตลับลูกปืนทั้ง 3 ประเภท

#### ขั้นตอนการทดลอง

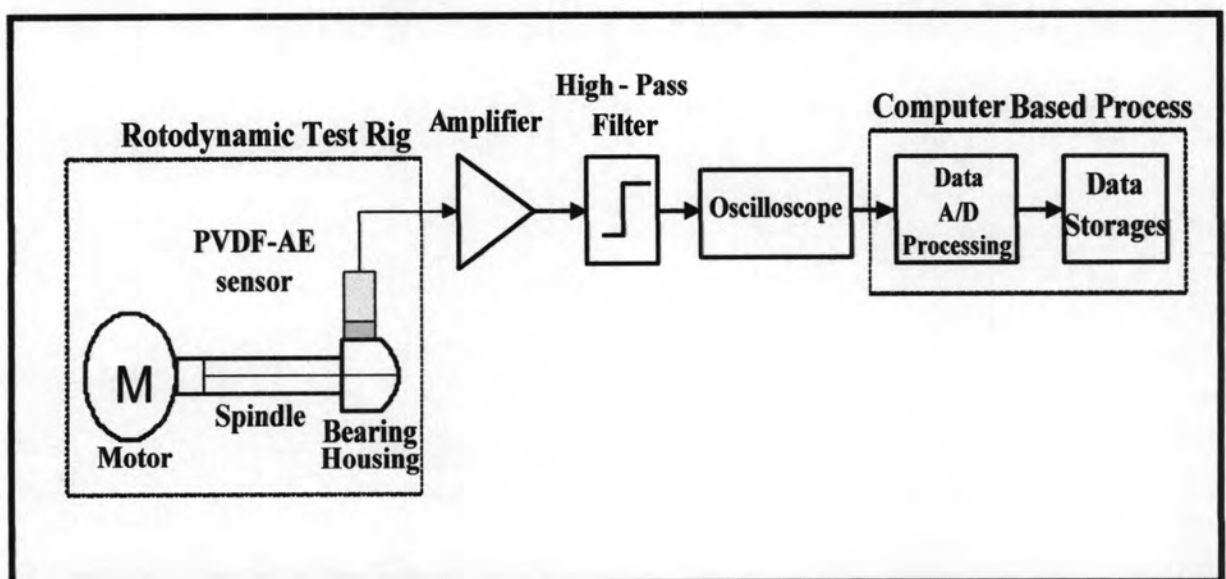
1. จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 6.1 โดยรูปที่ 6.2 เป็นรูปโครงสร้างของระบบที่ใช้ในการตรวจสอบ โดยใช้ตลับลูกปืนประเภทที่ไม่มีสารหล่อลื่น
2. เปิดเครื่องจักรกลหมุน โดยตั้งค่าการหมุนไว้ที่ 99 rpm ,1,500 rpm และ 3,000 rpm ตามลำดับ
3. เก็บข้อมูลโดยใช้ Data acquisition เข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์

4. นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าพลังงาน AE  $AE_{RMS}$  ที่เงื่อนไขของความเร็วของเครื่องจักรกลหมุนต่างๆ กัน

6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 5 โดยใช้ดัลลิ่งเป็นประเภทที่ใส่สารหล่อลื่นและดัลลิ่งเป็นประเภทที่ใส่สารหล่อลื่นผสมแท่งกราไฟต์



รูปที่ 6.1 รูปถ่ายของเครื่องจักรกลหมุนที่ใช้ในการตรวจสอบ [23]



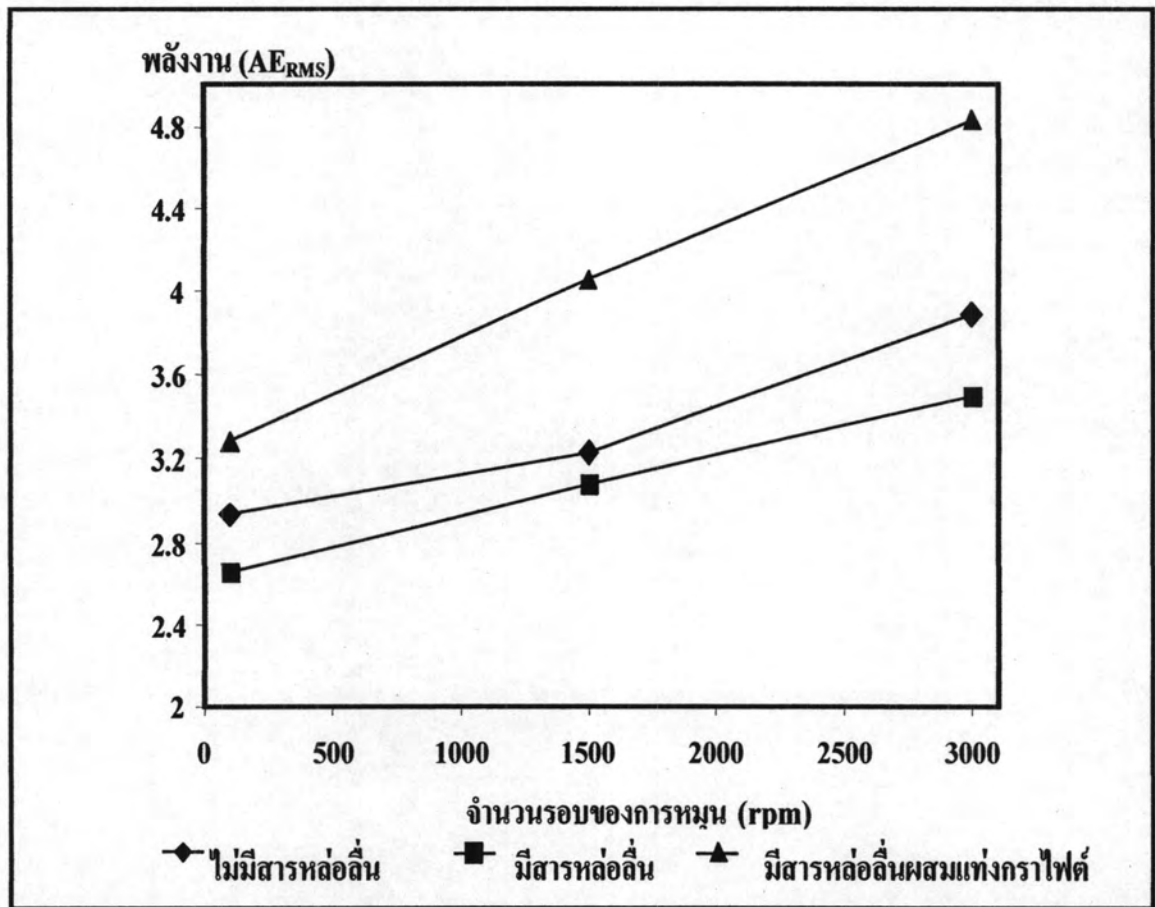
รูปที่ 6.2 โครงสร้างของระบบของเครื่องจักรกลหมุนที่ใช้ในการตรวจสอบ [23]

## ผลการทดลอง

ตารางที่ 6.1 แสดงค่า  $AE_{RMS}$  ที่เงื่อนไขต่างๆ กัน และรูปภาพที่ 6.3 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $AE_{RMS}$  กับจำนวนรอบของเครื่องจักรกลหมุนที่เงื่อนไขต่างๆ จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณาตลับลูกปืนประเภทเดียวกันพบว่า ที่จำนวนรอบของเครื่องจักรกลหมุนที่ค่า 3,000 rpm จะมีค่า  $AE_{RMS}$  มากที่สุด สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อทำให้เครื่องจักรกลหมุนเร็วขึ้น จะทำให้ตลับลูกปืนเกิดการกระทบกันมากขึ้น จึงส่งผลให้มีการปลดปล่อยคลื่นอะคูสติกออกมามากขึ้นเช่นกัน ส่วนจำนวนรอบของการหมุนที่ 1,500 rpm และ 99 rpm จะมีค่า  $AE_{RMS}$  ต่ำลงมาตามลำดับ ในขณะที่เมื่อพิจารณาที่จำนวนรอบของการหมุนมีค่าเท่ากัน แต่ประเภทของตลับลูกปืนต่างกัน พบว่า ตลับลูกปืนประเภทที่ใส่สารหล่อลื่นผสมแท่งกราไฟต์มีค่า  $AE_{RMS}$  สูงที่สุด ส่วนตลับลูกปืนประเภทที่ไม่มีสารหล่อลื่นมีค่า  $AE_{RMS}$  รองลงมาและตลับลูกปืนประเภทที่มีสารหล่อลื่นมีค่า  $AE_{RMS}$  ต่ำที่สุด สาเหตุเนื่องมาจาก เมื่อเครื่องจักรกลหมุนจะทำให้ตลับลูกปืนเกิดการเสียดสีกัน ดังนั้นตลับลูกปืนประเภทที่มีสารหล่อลื่นผสมกับแท่งกราไฟต์ จะเกิดการกระทบกันระหว่างตัวตลับลูกปืนกับแท่งกราไฟต์ จึงทำให้ปลดปล่อยคลื่นอะคูสติกออกมามากที่สุด ส่วนตลับลูกปืนประเภทที่ไม่มีสารหล่อลื่น จะทำให้ตลับลูกปืนเกิดการกระทบกัน จึงปลดปล่อยคลื่นอะคูสติกออกมาแต่ที่ค่าน้อยกว่าประเภทที่มีแท่งกราไฟต์ ส่วนตลับลูกปืนประเภทที่ใส่สารหล่อลื่นจะปลดปล่อยคลื่นอะคูสติกน้อยที่สุด เนื่องจากสารหล่อลื่นที่ใส่เข้าไปนั้นจะช่วยลดผลการเสียดสีกันของตลับลูกปืน

ตารางที่ 6.1  $AE_{RMS}$  ที่เงื่อนไขของประเภทของตลับลูกปืนและจำนวนรอบของการหมุนต่างๆ [23]

ประเภทของตลับลูกปืน	กำลังงานของการปล่อยคลื่นอะคูสติก ( $AE_{RMS}$ )		
	99 rpm	1500 rpm	3000 rpm
ไม่มีสารหล่อลื่น	2.94	3.23	3.89
มีสารหล่อลื่น	2.66	3.08	3.50
มีสารหล่อลื่นผสมแท่งกราไฟต์	3.28	4.06	4.83



รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $AE_{RMS}$  กับจำนวนรอบของเครื่องจักรกลหมุนที่เงื่อนไขต่างๆ [23]

## 6.2 การเฝ้าระวังการรั่วของท่อด้วยวิธีการตรวจจับการปล่อยคลื่นอะคูสติก [25,26]

ในระบบอุตสาหกรรม อุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับการขนส่งอย่างหนึ่งก็คือ ท่อ (Pipeline) ซึ่งทำหน้าที่ลำเลียงสารซึ่งอยู่ในรูปของของเหลวและก๊าซจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น การส่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติจากกลางทะเลมาที่ชายฝั่ง ดังนั้นถ้าท่อที่ใช้ในการลำเลียงเกิดการรั่วหรือเกิดรอยรั่วขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบการผลิตอย่างมากและเกิดการสูญเสียเปล่า วิธีการตรวจสอบด้วยการตรวจจับการปล่อยคลื่นอะคูสติกจึงนำมาใช้เพื่อเฝ้าระวังปัญหาดังกล่าวที่จะเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการตรวจจับการปล่อยคลื่นอะคูสติกมีข้อดีคือ สามารถตรวจสอบได้ในบริเวณที่ไม่สามารถเข้าไปถึงได้ ใช้พื้นที่สำหรับติดตั้งตัวตรวจจับเพียงเล็กน้อย อีกทั้งยังสามารถเฝ้าระวัง ณ เวลาที่เกิดขึ้นจริง จึงสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างทันท่วงที ก่อนที่ท่อจะเกิดความเสียหาย ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้นำตัวตรวจจับที่สร้างขึ้นจากฟิล์ม PVDF และสาร PZT มาใช้งานสำหรับเฝ้าระวังการรั่วของท่ออากาศขนส่ง ทั้งนี้เนื่องจากค่าความถี่ของการเกิดการรั่วอยู่ในช่วงประมาณ 30 – 400 kHz ซึ่งค่าความถี่ต่อการตอบสนองของตัวตรวจจับทั้งสองชนิดอยู่ในช่วงความถี่ของการรั่ว จึงสามารถที่จะตรวจสอบการรั่วได้ โดยใช้เงื่อนไขสำหรับการทดลองคือ การรั่วที่ขนาดต่างๆ กัน และค่าความดันของลมที่อัดให้กับท่อที่ค่าต่างๆกัน

### 6.2.1 การเฝ้าระวังการรั่วของท่อด้วยวิธีการตรวจจับการปล่อยคลื่นอะคูสติกด้วยตัวตรวจจับที่สร้างจากฟิล์ม PVDF

#### ขั้นตอนการทดลอง

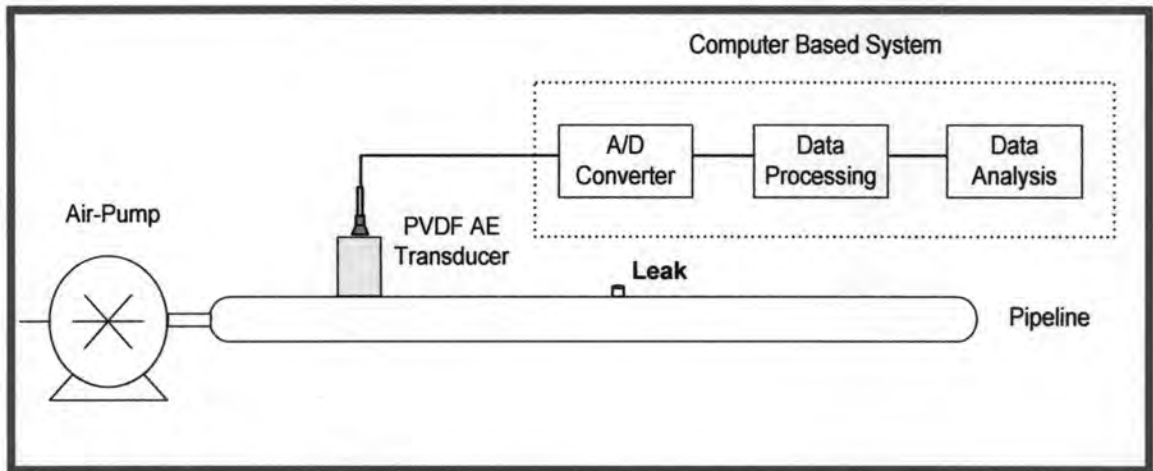
1. จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องปั๊มลม ชุดอุปกรณ์ท่อที่ต้องการตรวจสอบ ตัวตรวจจับ PVDF วงจรขยายสัญญาณ Data acquisition และคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่

6.4

2. ตั้งค่าขนาดของรูรั่วของท่อที่ต้องการตรวจสอบ โดยใช้ขนาดของรูรั่วที่ 0.5 เซนติเมตร
3. ตั้งค่าความดันจากเครื่องปั๊มลมไว้ที่ 1 bar หลังจากนั้นเปิดเครื่องปั๊มเข้าสู่ท่อลม
4. เก็บข้อมูลโดยใช้ Labview card นำข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์
5. เปลี่ยนค่าเงื่อนไขของความดันจากปั๊มลมไปที่ 2 bar และ 3 bar ตามลำดับ
6. เปลี่ยนขนาดของรูรั่วของท่อลมจาก 0.5 เซนติเมตร ไปเป็นขนาด 1.0 เซนติเมตร
7. ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 3 – 6



8. นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าพลังงาน AE<sub>RMS</sub> โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่เงื่อนไขของค่าความดัน และขนาดของรูรั่วต่างๆ กัน



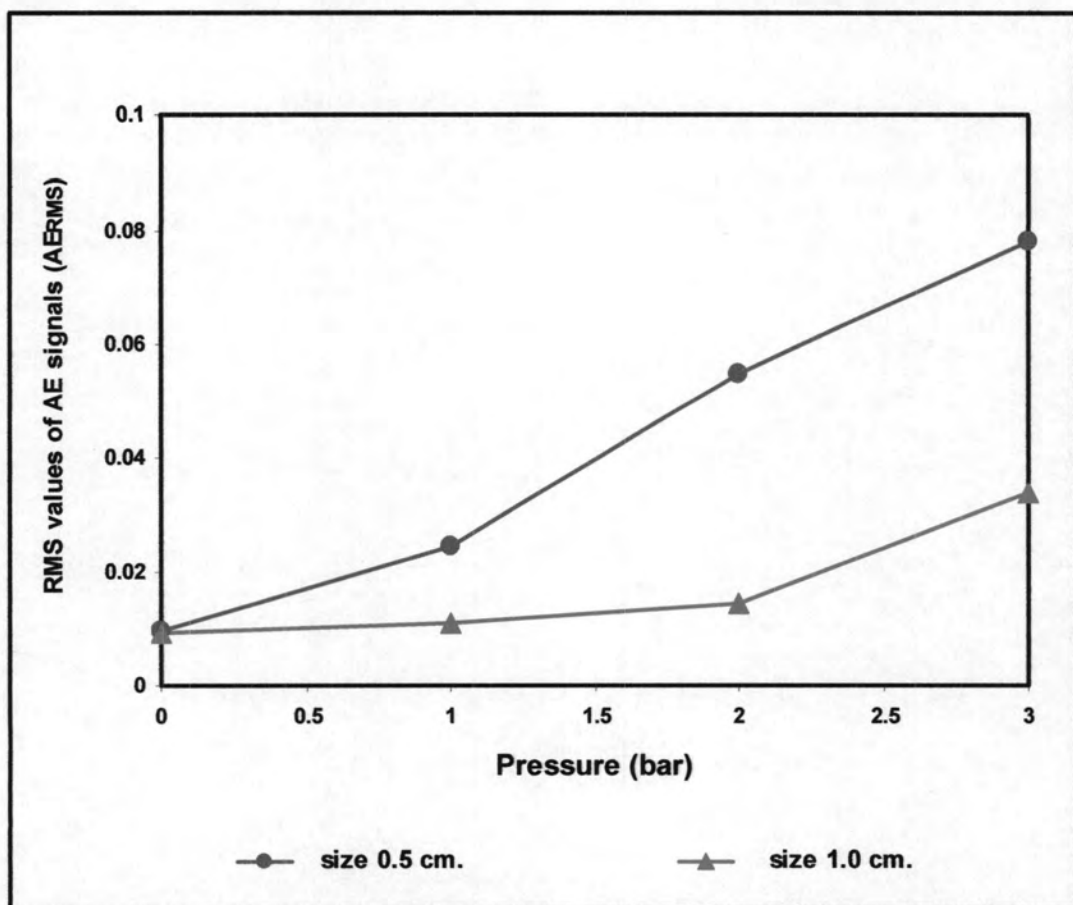
รูปที่ 6.4 โครงสร้างของระบบการตรวจจับรั่วของท่อ [25]

#### ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า  $AE_{RMS}$  ที่เงื่อนไขความดันและขนาดของรูรั่วของท่อต่างกัน จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณาที่ขนาดของรูรั่วเดียวกันพบว่า ความดันที่ 3 bar เมื่อใช้ตัวตรวจจับตรวจจับการปล่อยคลื่นอะคูสติก จะมีค่า  $AE_{RMS}$  มากที่สุด สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อขนาดของความดันเพิ่มขึ้นในขณะที่ขนาดรูรั่วเท่าเดิมนั้น แรงดันภายในท่อซึ่งแปรผันตรงกับความดันจะมีค่ามากขึ้น ค่าพลังงานของคลื่นอะคูสติกที่ตรวจจับได้มีค่ามากที่สุด ส่วนค่าความดันที่ 2 bar และ 1 bar จะมีค่า  $AE_{RMS}$  ต่ำลงมา ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อพิจารณาที่ความดันมีค่าเท่ากัน แต่ขนาดของรูรั่วของท่อต่างกัน พบว่า ขนาดของรูรั่วที่มีค่าเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร จะมีค่า  $AE_{RMS}$  สูงที่สุด ส่วนขนาดของรูรั่วที่ 1.0 เซนติเมตรจะมีค่า  $AE_{RMS}$  รองลงมา สาเหตุเนื่องมาจาก เมื่ออัตราการไหลของอากาศในท่อมี่ค่าคงที่ ดังนั้น เมื่อพื้นที่หน้าตัดของการไหลมีค่าน้อยจะทำให้ความเร็วของอากาศภายในท่อมี่ค่ามาก จึงทำให้ความเข้มของสัญญาณอะคูสติกที่ปล่อยออกมามากด้วย ส่วนขนาดของรูรั่วของท่อที่ 1.0 เซนติเมตร ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของการไหลใหญ่กว่าจึงส่งผลให้ความเร็วของอากาศที่ส่งออกมาในรูปคลื่นอะคูสติกมีค่าน้อยกว่า ซึ่งรูปภาพที่ 6.5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $AE_{RMS}$  กับค่าความดันจากบีบลมที่เงื่อนไขต่างๆ

ตารางที่ 6.2  $AE_{RMS}$  ที่เงื่อนไขของประเภทของความดันและรูรั่วที่ขนาดต่างๆ [25]

ขนาดของรูรั่ว (เซนติเมตร)	ค่าพลังงานของการปล่อยคลื่นอะคูสติก ( $AE_{RMS}$ )			
	ความดันของอากาศภายในท่อ (bar)			
	0	1	2	3
0.5	0.0095	0.0244	0.0549	0.0782
1	0.0094	0.0110	0.0144	0.0339

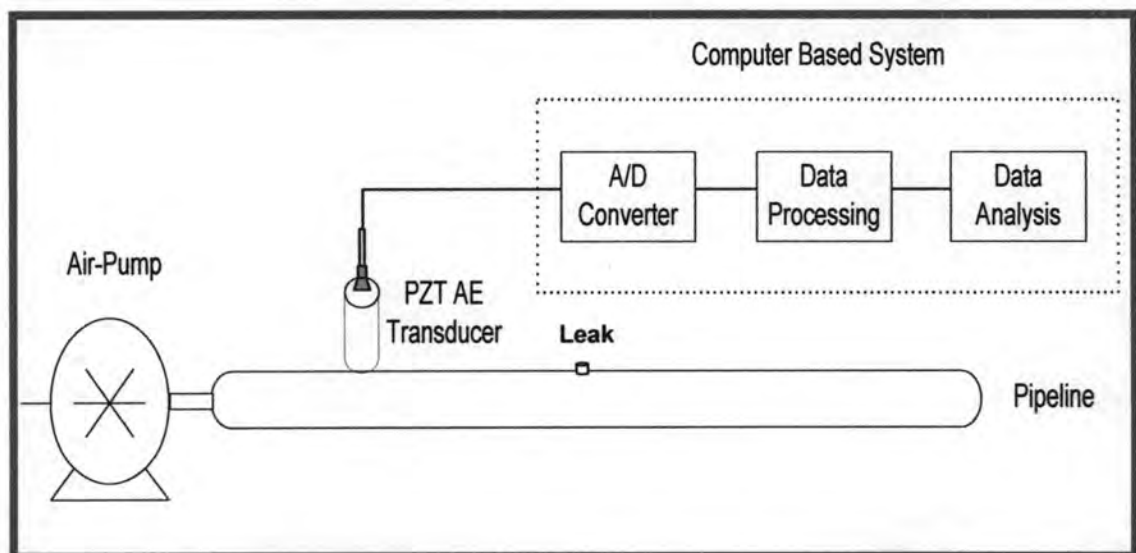


รูปที่ 6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $AE_{RMS}$  กับค่าความดันที่เงื่อนไขต่างๆ [25]

## 6.2.2 การเฝ้าระวังการรั่วของท่อด้วยวิธีการตรวจจับการปล่อยคลื่นอะคูสติก ด้วยตัวตรวจจับที่สร้างจากสาร PZT

### ขั้นตอนการทดลอง

1. จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องปั๊มลม ชุดอุปกรณ์ท่อที่ต้องการตรวจสอบ ตัวตรวจจับ PZT วงจรขยายสัญญาณ Data acquisition และคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 6.6
2. ตั้งค่าขนาดของรูรั่วของท่อที่ต้องการตรวจสอบ โดยใช้ขนาดของรูรั่วที่ 0.5 เซนติเมตร
3. ตั้งค่าความดันจากเครื่องปั๊มลมไว้ที่ 2 bar หลังจากนั้นเปิดเครื่องปั๊มเข้าสู่ท่อลม
4. เก็บข้อมูลโดยใช้ Data acquisition นำข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์
5. เปลี่ยนค่าเงื่อนไขของความดันจากปั๊มลมไปที่ 1.5 bar 1.0 bar 0.75 bar 0.5 bar และ 0.25 bar ตามลำดับ
6. เปลี่ยนขนาดของรูรั่วของท่อลมจาก 0.5 เซนติเมตร ไปเป็นขนาด 0.7 เซนติเมตร และ 1.0 เซนติเมตร ตามลำดับ
7. ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 3 – 6
8. นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าพลังงาน  $AE_{RMS}$  ที่เงื่อนไขของความดัน และขนาดของรูรั่วต่างๆ กัน



รูปที่ 6.6 โครงสร้างของระบบการตรวจจับรูรั่วของท่อ [26]

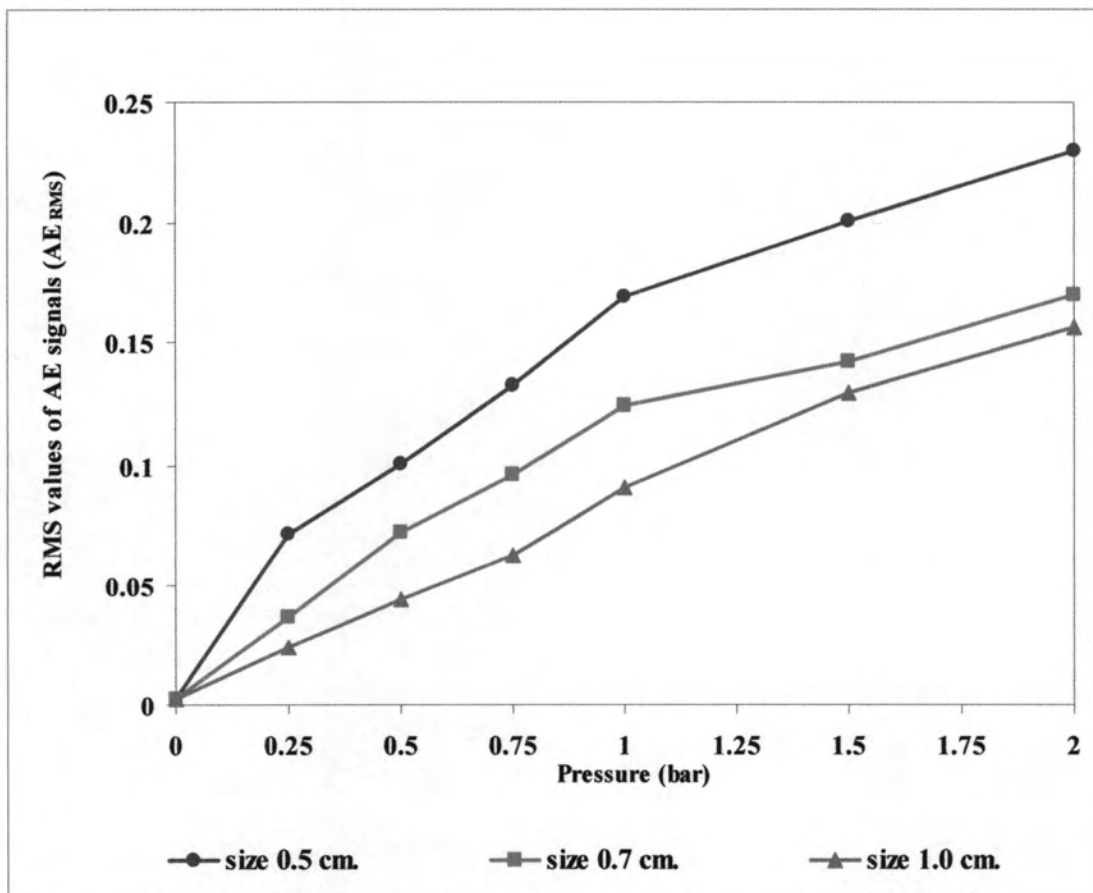


## ผลการทดลอง

ตารางที่ 6.3 แสดงค่า  $AE_{RMS}$  ที่เงื่อนไขความดันและขนาดของรูรั่วของท่อต่างกัน จากผลการทดลอง เมื่อพิจารณาที่ขนาดของรูรั่วเดียวกันพบว่า ที่ความดันสูงที่สุดคือ ความดันที่ 2 bar เมื่อใช้ตัวตรวจจับตรวจจับการปล่อยคลื่นอะคูสติก จะมีค่า  $AE_{RMS}$  มากที่สุด ซึ่งมีสาเหตุเช่นเดียวกันกับการตรวจจับด้วยตัวตรวจจับที่สร้างจากฟิล์ม PVDF ส่วนค่าความดันที่ 1.5 bar 1.0 bar 0.75 bar 0.5 bar และ 0.25 bar จะมีค่า  $AE_{RMS}$  ต่ำลงมา ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อพิจารณาที่ความดันมีค่าเท่ากัน แต่ขนาดของรูรั่วของท่อต่างกัน พบว่า ขนาดของรูรั่วที่มีค่าเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร จะมีค่า  $AE_{RMS}$  สูงที่สุด ส่วนขนาดของรูรั่วที่ 0.7 เซนติเมตร และ 1.0 เซนติเมตรจะมีค่า  $AE_{RMS}$  รองลงมา ตามลำดับ สาเหตุเนื่องมาจาก เมื่ออัตราการไหลของอากาศในท่อมี่ค่าคงที่ดังนั้น เมื่อพื้นที่หน้าตัดของการไหลมีค่าน้อยจะทำให้ความเร็วของอากาศภายในท่อมี่ค่ามาก จึงทำให้ความเข้มของสัญญาณอะคูสติกที่ปล่อยออกมามากด้วย ส่วนขนาดของรูรั่วของท่อที่ 1.0 เซนติเมตร ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของการไหลใหญ่กว่าจึงส่งผลให้ความเร็วของอากาศที่ส่งออกมาในรูปคลื่นอะคูสติกมีค่าน้อยกว่า ซึ่งรูปภาพที่ 6.7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $AE_{RMS}$  กับค่าความดันจากบีมลมที่เงื่อนไขต่างๆ

ตารางที่ 6.3  $AE_{RMS}$  ที่เงื่อนไขของประเภทของความดันและรูรั่วที่ขนาดต่างๆ [26]

ขนาดของรูรั่ว (เซนติเมตร)	ค่าพลังงานของการปล่อยคลื่นอะคูสติก ( $AE_{RMS}$ )						
	ความดันของอากาศภายในท่อ (bar)						
	0	0.25	0.5	0.75	1	1.5	2
0.5	0.0026	0.0712	0.1008	0.1327	0.1688	0.2011	0.2302
0.7	0.0020	0.0367	0.0721	0.0957	0.1240	0.1423	0.1700
1	0.0022	0.0238	0.0437	0.0626	0.0907	0.1294	0.1564



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $AE_{RMS}$  กับค่าความดันที่เงื่อนไขต่างๆ [26]