

การตรวจสอบการรั่วของท่อแก๊สธรรมชาติที่สภาวะการรั่วไหลต่ำ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจสอบความดันแบบพลวัต

The Pipe Leak Detection of Natural Gas at Small Leak Rate using Dynamics Pressure Transducer

ธเนศ วิลาสมงคลชัย *

¹ สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

46 ถนน จรัญสนิทวงศ์ แขวงวัดท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร 10600

* E-mail: zl.thanet@gmail.com, 084-144-3195

บทคัดย่อ

การตรวจสอบระบบท่อด้วยการตรวจวัดความดันแบบพลวัตนับได้ว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากจุดเด่นทางด้านสัญญาณรบกวนที่ต่ำ ระยะทางในการตรวจสอบไกล การเข้าถึงพื้นที่ทำงาน และสามารถทำงานได้ตลอดเวลาโดยไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ อย่างไรก็ตามปัญหาการตรวจสอบการรั่วที่สภาวะการรั่วไหลต่ำ ยังเป็นปัญหาสำคัญซึ่งขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของอุปกรณ์ตรวจวัด ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิค การปรับระดับด้วยค่ากำลังที่สอง โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์เพื่อขยายสัญญาณและลดทอนสัญญาณ รบกวนในเวลาเดียวกัน ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบการตรวจรู้การรั่วไหลเทียบกับการใช้และไม่ใช้วงจรขยายสัญญาณ พบว่าความสามารถในการเปรียบเทียบสัญญาณเพื่อบ่งชี้การรั่วนั้นดีขึ้น โดยสามารถนำไปใช้เพื่อระบุตำแหน่งการรั่วไหลที่มีความแม่นยำสูงสุดมีความผิดพลาดเพียง 0.8%

คำสำคัญ : ความดันพลวัต, การปรับระดับค่ากำลังที่สอง, แนวท่อ, การรั่วไหล, การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย

Abstract

The pipeline inspection using dynamics pressure has been continuous development with the advantages on low noise, long range, accessible, and no electrical spark occurred. However, a small leak rate was a limitation of this inspection method which depend on sensor sensitivity. The scaling-square method is a mathematical based signal processing which can amplify leak signal and noise reduction at the same time. This research compared the proposing method to the conventional (with and without pre-amplifier). On the results, the advantage of scaling- square method was improved leak detection ability. Hence, the calculation on leak location of the scaling-square method present the 0.8% error for highest accuracy.

Keywords : Dynamics Pressure, Scaling-Square, Pipeline, Leakage, Non-destructive Testing.

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวของภาคธุรกิจด้านพลังงานที่ได้จากแก๊สธรรมชาติเป็นจำนวนมาก และเนื่องด้วยการขยายตัวนี้เองที่เป็นตัวกระตุ้นเศรษฐกิจของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานที่ใช้ในภาคการขนส่งซึ่งถือ ว่าเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบโดยตรงในค่าครองชีพ และราคาสินค้าอุปโภคบริโภค การขนส่งพลังงานจึงเป็น สิ่งสำคัญที่มองข้ามไม่ได้เช่นกัน

แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในภาคการขนส่ง ดังนั้นในการขนส่ง แก๊สธรรมชาติไปยังสถานีบริการต่างๆ เพื่อให้มีความรวดเร็ว ปลอดภัย และสะดวกต่อการให้บริการ จะเป็นการ เสี่ยงโดยผ่านท่อนำแก๊สใต้ผิวดิน แต่อย่างไรก็ตามในการบำรุงรักษาสามารถกระทำได้ยาก เนื่องจากไม่สามารถ เข้าถึงได้ง่ายและไม่สามารถทำได้บ่อยครั้ง

การตรวจสอบท่อแก๊สใต้ผิวดินอาจมีวิธีการตรวจสอบได้หลายวิธี เช่น Flow monitoring, Dynamic modeling, Magnetic Flux Leakage, Acoustic Emission, Long Range Ultrasonic Testing เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีการล้วนมีจุดเด่นและจุดด้อยที่ต่างกันไป (ดังตารางที่ 1) แต่สำหรับการตรวจสอบแล้ว สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการ รับรู้ได้ถึงความเสียหายได้อย่างรวดเร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในอันดับต่อไป แต่ การตรวจสอบที่สามารถกระทำการโดยละเอียดนั้นไม่สามารถกระทำการตรวจสอบได้ในขณะที่จ่ายแก๊ส จึงไม่ สามารถกระทำการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นอย่างทันท่วงทีได้ ดังนั้นแล้วการตรวจสอบด้วยวิธีการแผ่ กระจาย จึงมีความต้องการที่จะพัฒนาขึ้น ให้มีศักยภาพทางด้านความละเอียดและความแม่นยำ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบจุดเด่นและจุดด้อยในแต่ละวิธีการตรวจสอบการรั่วของท่อแก๊ส

Testing Method	Strength	Weakness
Flow monitoring / Dynamic modeling	• easy to setup	• Cannot detect a small leak • Cannot accurate leak location
Magnetic Flux Leakage	• high accuracy • can detect wall loss	• Electrical spark maybe occur • Periodic inspection
High gained acoustic emission	• easy to setup	• wiring needed • high interfering noise
Wireless acoustic emission module	• portable • no wiring needed	• battery needed • maybe false alarm • low accuracy indication
Dynamic pressure transducer	• high sensitivity • long range inspection	• gas flow rate maybe concern • complex method for leak locating • maybe false location in large pipeline network

ด้วยขีดจำกัดของความปลอดภัย และการเข้าถึงพื้นที่ทำงาน วิธีการตรวจสอบที่เป็นไปได้ในการพัฒนา เทคโนโลยีการตรวจสอบการรั่วแบบแผ่กระจายจึงถูกจำกัดลง และพัฒนาต่อยอดแทนการประมวลผลข้อมูลเพื่อเพิ่ม

ความแม่นยำในการระบุจุดเสียหาย ดังนั้นอุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบพลวัต หรือ Dynamic pressure transducer เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความดันอย่างทันทีทันใด รวมถึงสัญญาณความดันที่มีการกระเพื่อมจากการรั่วที่ความถี่สูง จึงถูกนำมาใช้ ด้วยข้อได้เปรียบเรื่องของคุณภาพสัญญาณ ระยะทางการ ตรวจสอบ การเข้าถึงพื้นที่ทำงาน และสามารถทำงานได้ตลอดเวลาโดยไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ (อุปกรณ์ตรวจสอบ ต้องผ่านการรับรอง explosion proof)

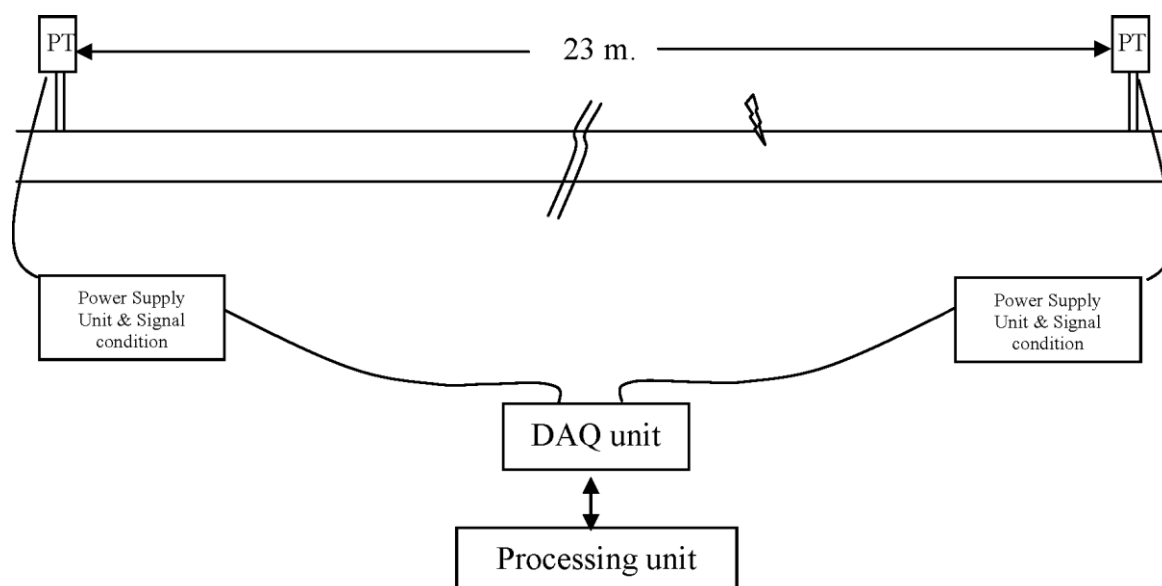
สำหรับงานวิจัยในประเทศสำหรับการตรวจจบบการรั่วของท่อขนส่งแบบฝังดินนั้น พบว่าการใช้อุปกรณ์ ตรวจวัดความดันแบบพลวัตนั้นได้ถูกวิจัยทั้งในส่วนของการปฏิบัติการและภาคสนาม โดยผลการวิจัยมีทิศทาง เดียวกันคือสามารถตรวจจบบการเปลี่ยนแปลงความดันแบบพลวัตได้เมื่อเกิดการรั่ว ของท่อฝังดินเมื่อตัวกลางคือ น้ำ มันดิบ [1-4] และสามารถหาตำแหน่งของการรั่วได้จากการวัดความแตกต่างของเวลาที่คลื่นความดันที่เดิน ทางผ่านตัวกลางมายังอุปกรณ์ตรวจวัด โดยระยะการตรวจสอบสูงสุดอยู่ที่ 96 km โดยมีความผิดพลาดอยู่ในระดับ 100 m อย่างไรก็ตามความสามารถในการ

ตรวจรู้ของระบบขึ้นอยู่กับความสามารถอุปกรณ์ตรวจวัด ความดัน อัตรา การไหล และสภาพการรั่ว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [5] ว่าความสามารถของระบบในการตรวจรู้มีการแปรผันกับ ความดันของระบบ และขนาดรูรั่ว หรือกล่าวคือเมื่อมีการรั่วเกิดขึ้นขนาดของรูรั่วจำเป็นต้องมีขนาดที่มากเพียงพอ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของความดัน ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบการรั่วในระดับอัตราการไหลต่ำๆ การเพิ่ม วงจรขยายสัญญาณภายนอกเข้าไปกับระบบช่วยให้ระบบมีความสามารถในการตรวจรู้การรั่วได้ดีมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด สำหรับการนำไปใช้ในการตรวจสอบการรั่วในท่อภาคสนามที่ความดันในท่อมักมากกว่าท่อจำลองถึง 10 เท่า จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำผล งานวิจัยนี้ไปใช้พัฒนาเป็นระบบเฝ้า ระวังแบบได้สายเพื่อตรวจจับการรั่วของท่อ ผิดดิน

อย่างไรก็ตามปัญหาคือการตรวจสอบการรั่ว ที่สภาวะการรั่วไหลต่ำ ยังเป็นปัญหาคriticalซึ่งขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของอุปกรณ์ตรวจวัด ในงานวิจัยนี้ได้เสนอเทคนิคการปรับระดับด้วยค่ากำลังที่สอง โดยอาศัยหลักการทาง คณิตศาสตร์เพื่อขยายสัญญาณและลดทอนสัญญาณรบกวนในเวลาเดียวกัน โดยจะทำการเปรียบเทียบการตรวจรู้ การรั่ว ุ่วไหลเทียบกับการใช้และไม่ใช้วงจรขยายสัญญาณเพื่อทดสอบศักยภาพของการประมวลผลสัญญาณเพื่อเพิ่ม ความสามารถในการตรวจรู้ของระบบ รวมทั้งทำการทดสอบเพื่อหาตำแหน่งการรั่วเพื่อประเมินศักยภาพของระบบ

2. ทฤษฎีและระบบ

ในการตรวจสอบระบบท่อด้วยการตรวจวัดความดันแบบพลวัตนับได้ว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ที่ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากจุดเด่นทางด้านสัญญาณรบกวนที่ต่ำ ระยะทางในการตรวจสอบไกล การเข้าถึงพื้นที่ทำงาน และสามารถทำงานได้ตลอดเวลาโดยไม่ก่อให้เกิดประกายไฟ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมในการ พัฒนาการประมวลผลสัญญาณเพื่อตรวจสอบการรั่วไหลต่ำ ซึ่งเป็นปัญหาคriticalของการตรวจสอบด้วยวิธีการนี้ ตลอดจนสามารถนำเทคนิคที่ได้ไปใช้เพื่อทำการเพิ่มระยะในการตรวจสอบอีกด้วย

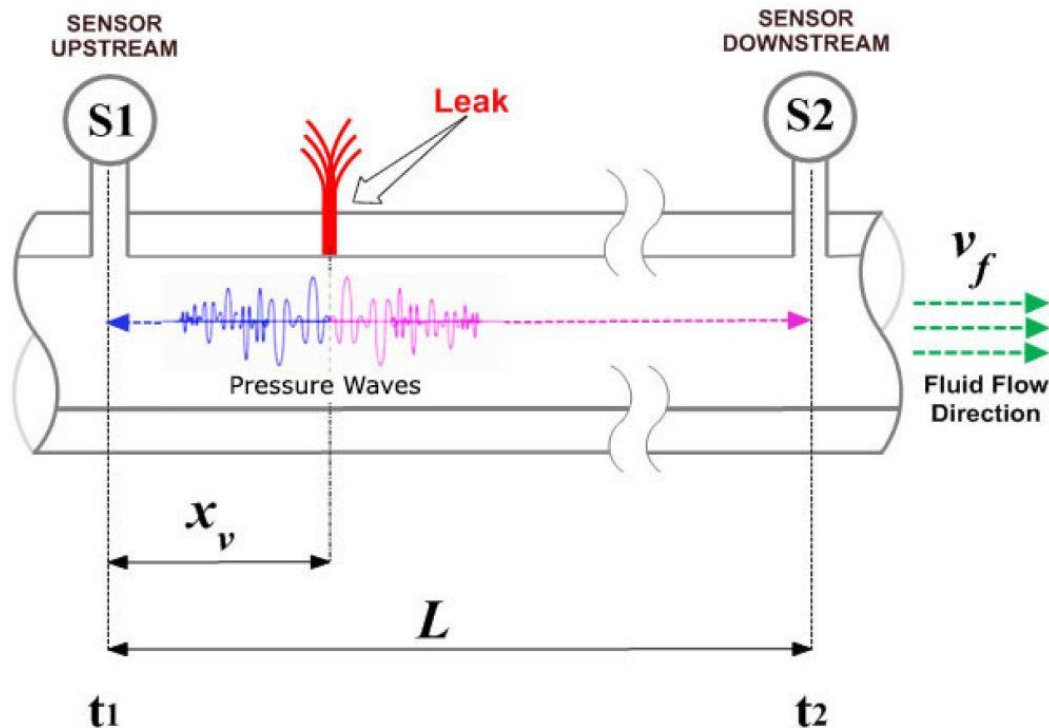


รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานโดยรวมของระบบ

จากแผนภาพ ระบบจะถูกแยกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนตรวจรับ สัญญาณ และส่วนประมวลผล โดยที่ส่วนตรวจรับสัญญาณ ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบพลวัต (Dynamic Pressure Transducer) และชุดวงจรสำหรับ

ปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ สำหรับส่วนประมวลผล ประกอบด้วยการรับข้อมูลแบบดิจิทัล (DAQ card) และคอมพิวเตอร์ โดยการทำงานในส่วนตรวจรับสัญญาณจะแยกอย่างเป็นอิสระจากกัน โดยอาศัยฐานเวลา จากคอมพิวเตอร์หลัก เมื่อมีการตรวจพบสัญญาณที่มีขนาดที่สามารถบ่งชี้การรั่ว และส่วนประมวลผลจะทำการคัดกรองเพื่อแยกแยะสัญญาณอีกครั้ง ก่อนจะทำการแจ้งเตือน

2.1 การตรวจรู้และการระบุตำแหน่ง



รูปที่ 2 แผนภาพหลักการระบุตำแหน่งการรั่วด้วยวิธีคำนวณผลต่างเวลา

(ที่มา: http://www.pipetechs.com/operating_principle.htm)

เมื่อเกิดการรั่วของแก๊สธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงความดันอย่างกะทันหันจะทำให้เกิดคลื่นของความดันขึ้น วิ่งผ่านตัวกลางซึ่งเป็นแก๊สภายในท่อ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกินกว่าค่าที่ตั้งระดับเปรียบเทียบ (Threshold) ไว้ จะสามารถบ่งชี้การรั่วที่เกิดขึ้น ทั้งนี้การระบุตำแหน่งของการรั่วสามารถทำได้จากการสมการการเคลื่อนที่พื้นฐาน ร่วมกับการตรวจวัดผลต่างเวลา เนื่องจากเซ็นเซอร์ตัวที่อยู่ใกล้จุดรั่วไหลกว่าจะสามารถตรวจรับคลื่นความดันที่เปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันได้เร็วกว่า และสามารถทำการคำนวณผลต่างของ เวลาเพื่อระบุ ตำแหน่งการรั่วได้โดยใช้สมการที่ 1

$$x = (L - At - V) / 2 \quad (1)$$

เมื่อ x คือ ระยะห่างของจุดรั่วกับเซ็นเซอร์ตัวที่หนึ่ง

L คือ ความยาวของท่อวัดจากระยะห่างของเซ็นเซอร์ที่หนึ่ง และเซ็นเซอร์ตัวที่สอง

At คือ ระยะเวลาผลต่างในการตรวจพบสัญญาณของเซ็นเซอร์ตัวที่หนึ่ง และเซ็นเซอร์ตัวที่สอง คือ ความเร็วในการเดินทางของคลื่นความดันที่เปลี่ยนแปลง (m/s)

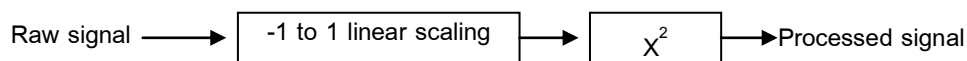
2.2 การประมวลผลสัญญาณ

สำหรับการรั่วไหลในอัตราต่ำ จะทำให้การเปลี่ยนแปลงของความดันอยู่ในระดับที่น้อยมากและยากต่อการตรวจสอบ เนื่องจากความแปรปรวนของสัญญาณที่บ่งชี้การรั่วกับระดับสัญญาณ รบกวนที่น้อยมาก ดังนั้นการบ่งชี้การรั่วจำเป็นต้องใช้การปรับปรุงสัญญาณในทางซอฟต์แวร์ ซึ่งวิธีการที่เลือกใช้เป็นการใช้วิธีการกำลังสองดังนี้

การปรับสัญญาณในส่วนนี้จะอาศัยหลักการของค่ากำลังสอง เพื่อเพิ่มความแตกต่างของระดับสัญญาณเมื่อเกิด การรั่วไหลให้มีขนาดที่สูงขึ้น และลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนลง ด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์และ คุณสมบัติของการปรับระดับด้วยค่ากำลังสอง

$$X^2 < X \text{ เมื่อ } X < 1 \quad (2)$$

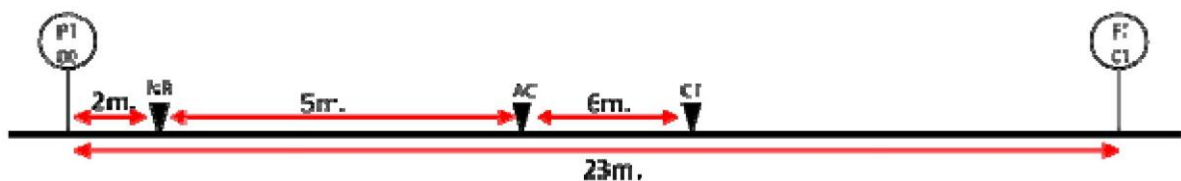
ดังนั้นในการลดผลกระทบของสัญญาณพื้นหลังและเพิ่มความแปรปรวนของสัญญาณ จะต้องพยายามปรับค่า โดยการคูณด้วยตัวคูณเชิงเส้น เพื่อให้ระดับของสัญญาณพื้นหลังมีค่าน้อยกว่า 1 ก่อน จากนั้นจึงทำการยกกำลัง สอง เพื่อให้ได้ค่าที่มีความแปรปรวนสูงขึ้นและสามารถนำไปใช้ได้ง่าย หรือแสดงแผนภาพได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 3 แผนภาพแสดงหลักการการประมวลผลสัญญาณด้วยการปรับระดับด้วยค่ากำลังสองการออกแบบทดลอง

3. การออกแบบการทดลอง

เพื่อจำลองการรั่วไหลในสภาวะการรั่วไหลต่ำ การวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้หัวฉีดแบบรูเข็ม (Pin Hole) ควบคุมการทำงานด้วยโซลินอยด์วาล์ว เพื่อจำลองการรั่วไหลที่เกิดขึ้นกับระบบท่อจำลอง (รูปที่ 1) โดยหัวฉีดจะมีอัตราการไหลที่ 0.2 lt/min (ที่ 0.4 MPa) แทนการจำลองรอยรั่วขนาดเล็ก โดยตำแหน่งซึ่งทำการจำลองสภาพการรั่ว สามารถแจกแจงได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 แผนภาพระบบท่อและจุดจำลองการรั่ว

PT เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบพลวัต (Dynamics pressure) สามารถทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของความดันที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน และมีความถี่สูงได้ การทำการวิจัยเพื่อหา ตำแหน่งการรั่วจะใช้วิธีการคำนวณผลต่างเวลาระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดทั้งสองตัว

NR เป็นตำแหน่งทดสอบการรั่วที่ใกล้อุปกรณ์ตรวจวัด เพื่อทดสอบความสามารถในการตรวจวัดระดับ ความดันแปรปรวน (threshold) เมื่อ ไม่เกิด-เกิดการรั่วขึ้น

AC เป็นตำแหน่งทดสอบการรั่วเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของอุปกรณ์ในการคำนวณหาตำแหน่งการรั่ว และใช้เป็นจุดอ้างอิงเพื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการทดลอง

CT เป็นตำแหน่งทดสอบการรั่วที่ไกลจุดกึ่งกลางระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัด เพื่อทดสอบความสามารถในการระบุตำแหน่ง เมื่อค่าระยะเวลาของการเปลี่ยนแปลงที่ตรวจสอบได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดมีค่าที่ ใกล้เคียงกัน

3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

- ความดันสถิตย (static pressure) ซึ่งเป็นค่าความดันของระบบ มีการตอบสนองที่ไม่รวดเร็วนัก (มากกว่า 100 ms.) ใช้เพื่อตรวจสอบระดับความดันที่มีการสูญเสียของระบบ (Pressure loss)
- ความดันพลวัต (Dynamics pressure) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงในชั่วขณะ มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ใช้ เพื่อตรวจสอบเหตุการณ์ที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของความดันอย่างกะทันหัน อาทิ เช่น การรั่ว
- เวลา (Time) ค่าระยะเวลาที่ได้จากการเปรียบเทียบของการวัดสัญญาณ จากความดันพลวัต จะถูกนำมาใช้ เพื่อคำนวณระยะรั่วจากจุดอ้างอิง ทั้งนี้ความถูกต้องของระยะเวลาที่ได้ขึ้นกับค่า threshold ที่กำหนดไว้ด้วย

4 ผลการทดลอง

การทดลองจะทำการทดสอบที่ความดันค่าต่อไปนี้ 0.3, 0.4, และ 0.5 MPa โดยทำการทดลองเปลี่ยนจุดรั่ว และรูปแบบการจำลองดังตารางที่ 2 โดยอาศัยเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- n/a คือ ไม่พบสัญญาณบ่งชี้การรั่วที่สามารถแยกแยะได้ชัดเจน
- F คือ พบสัญญาณแต่ขาดความสามารถในการทำซ้ำ หรือสัญญาณระดับต่ำมากไม่สามารถนำไปใช้แปลผลได้
- A คือ พบสัญญาณรั่ว ที่สามารถแยกแยะจากสัญญาณสภาวะปกติอย่างชัดเจน

*** โดยการทดสอบเพื่อระบุเกณฑ์ 'จะต่อ'ทดสอบอย่าง 'น้อย 3 ครั้ง หากพบสัญญาณที่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ (n/a) จะต้องทำการทดสอบซ้ำเพิ่มเติมอีก 3 ครั้ง ซึ่งหากผลการทดลองยังพบสัญญาณที่ไม่สามารถชี้บ่งชี้ได้ ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถทำซ้ำ (F)

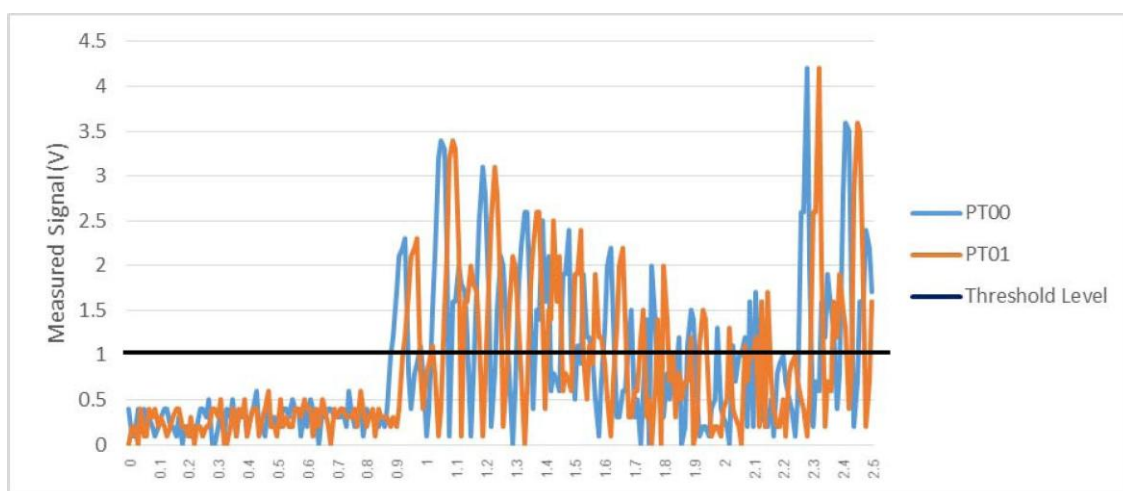
ตารางที่ 2 ตารางบันทึกผลความสามารถในการตรวจรู้ของระบบ

Leak Simulation	NR			CT			AC		
	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5
Without	n/a	n/a	F	n/a	n/a	F	n/a	F	F
Amplifier	F	A	A	n/a	A	A	F	A	A
Pre-scaler	F	A	A	F	A	A	F	A	A

* s คือ ผลการทดลองเมื่อไม่ใช้ amplifier

a คือ ผลการทดลองเมื่อใช้ amplifier ภายนอก

ในส่วนของการทดลองตรวจวัดสัญญาณการรั่วของท่อเมื่อไม่ใช้วงจรขยายสัญญาณภายนอกพบว่า ความสามารถในการตรวจพบการรั่วไม่สามารถทำการตรวจพบได้ที่ความดัน และอัตราการรั่วไหลที่ต่ำ เนื่องจาก สัญญาณอยู่ในระดับที่ต่ำ ทำให้สามารถตรวจพบได้ในการจำลองการรั่วที่ความดัน 0.5 MPa เท่านั้น โดยตำแหน่ง AC ถือว่าเป็นจุดที่ให้ความเหมาะสมต่อการตรวจพบการรั่วมากที่สุด เมื่อทำการเพิ่มวงจรขยายสัญญาณภายนอก พบว่ามีเพียงจุดจำลองการรั่ว ด้วยรูรั่วแบบรูเข็ม ที่ความดัน 0.3 MPa ขนาดของสัญญาณมีขนาดเล็กจนไม่สามารถ นำสัญญาณมาใช้ บ่งชี้การรั่วได้ ณ การจำลองในตำแหน่งที่ใกล้จุดกึ่งกลาง (CT) และมีระดับสัญญาณที่สามารถ มองเห็นแยกแยะได้แต่ยังอยู่ในระดับที่เปรียบเทียบไม่ชัดเจน ณ ตำแหน่ง NR และ AC สำหรับการรั่วที่ 0.3 MPa ส่วนผลการทดลองเมื่อทำการประมวลผลสัญญาณด้วยการปรับระดับด้วยค่ากำลังที่สอง พบว่าสัญญาณมีการ เปรียบต่างที่มากขึ้น ทำให้สามารถแยกแยะสัญญาณการรั่วได้ชัดเจน และนำไปแปลผลเพื่อระบุตำแหน่งได้



รูปที่ 5 สัญญาณการรั่วเมื่อเปรียบเทียบในเชิงของเวลา เซ็นเซอร์ตัวที่หนึ่ง (ฟ้า) และเซ็นเซอร์ตัวที่สอง (ส้ม)

สำหรับส่วนของการทดสอบความสามารถในการระบุตำแหน่ง เมื่อทำการจำลองการรั่วขึ้นโดยใช้เทคนิคการ ปรับระดับด้วยค่ากำลังที่สอง ทำให้สามารถแยกแยะค่าด้วยระดับเปรียบเทียบ (Threshold) ได้อย่างชัดเจนดังรูปที่ 5 ทั้งนี้การระบุตำแหน่งของการรั่วสามารถทำการคำนวณได้จากการสมการที่ 1

ตารางที่ 3 ตารางบันทึกผลความสามารถในการระบุตำแหน่งของระบบที่ความดัน 0.4 MPa

Leak Location	Miss Detection	Locating Error
NR	0%	11.5%
AC	0%	0.8%
CT	0%	1.2%

จากผลการทดลองเพื่อระบุตำแหน่งการรั่วพบว่า ค่าความผันแปรของการจำลองการรั่วในตำแหน่ง NR มีค่าต่ำกว่าค่าการผันแปรของตำแหน่งที่ได้จากการเก็บค่า ณ ตำแหน่งการจำลองการรั่วอื่น แต่ขณะเดียวกันค่าความ ผิดพลาดจากการคำนวณที่เกิดขึ้นมีค่าที่ผิดพลาดมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการรั่วเกิดขึ้นในตำแหน่งที่อยู่ใกล้หัว ทดสอบมากจนเกิดการไหลแบบปั่นป่วน (turbulence) และส่งผลกระทบต่อการใช้สำหรับตำแหน่ง CT เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้จุดกึ่งกลางท่อ ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจึงมีค่ามากกว่าตำแหน่ง AC

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาความสามารถในการตรวจรู้ของระบบ พบว่าความสามารถของระบบในการตรวจรู้มีการ แปรผันกับความดันของระบบ หรือกล่าวคือเมื่อมีการรั่วเกิดขึ้นขนาดของรูรั่วจำเป็นต้องมีขนาดที่มากเพียงพอ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของความดัน ดังนั้น เมื่อทำการทดสอบการรั่วใน ระดับอัตราการไหลต่ำๆ การเพิ่ม วงจรขยายสัญญาณภายนอกเข้าไปกับระบบช่วยให้ระบบมีความสามารถในการตรวจรู้การรั่วได้ดีมากขึ้นอย่างเห็น ได้ชัด

โดยสาเหตุสำคัญที่ทำให้สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดโดยไม่ใช้วงจรขยายสัญญาณคือ เซ็นเซอร์วัดความดัน แบบพลวัตที่ใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความดันเนื่องจากการรั่วได้เลือกใช้ย่านที่ครอบคลุมการวัดที่ 0-100 bar โดยให้สัญญาณขาออกเป็นสัญญาณมาตรฐานขนาด 4-20 mA เมื่อนำมาใช้ในการทดสอบกับระบบจำลอง ต้นแบบที่ความดันไม่

เกิน 0.5 MPa ค่ากระแสที่ทดแทนแรงดันที่อ่านได้คือตั้งแต่ 4-4.8 ทาA ซึ่งมีค่าความเปรียบ ต่างที่ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้สามารถตรวจรู้การรั่วไหลที่อัตราการรั่วไหลที่ต่ำๆได้ยาก อย่างไรก็ตามการจำลองด้วย หัวฉีดรูเข็มซึ่งมีอัตราการไหลที่ค่อนข้างต่ำ จึงไม่สามารถทำการตรวจรู้และระบุตำแหน่งได้อย่างแม่นยำที่ความดัน ต่ำอย่างกรณี 0.3 MPa

เมื่อทำการทดลองเพื่อเก็บผลการทดลองเชิง สถิติเพื่อทดสอบความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างทาง เวลาของสัญญาณ พบว่าค่าที่ได้มีค่าความผิดพลาดที่อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ยกเว้นการรั่วที่ตำแหน่ง NR หรือ ตำแหน่งใกล้เคียงเซอร์ตรวจวัด ซึ่งอาจเป็นเพราะความไม่สม่ำเสมอของความดัน (turbulence) ซึ่งทำให้ตำแหน่งที่ คำนวณได้มีความผิดพลาดไปมาก สำหรับตำแหน่ง CT เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้จุดกึ่งกลางท่อ ค่าความ ผิดพลาดที่เกิดขึ้นจึงมีค่ามากกว่าตำแหน่ง AC เนื่องจากความแตกต่างทางเวลามีค่าที่ค่อนข้างต่ำ และผลการ ทดลองโดยภาพรวมจากการใช้และไม่ใช้วงจรขยายสัญญาณภายนอก พบว่าหลังจากผ่านวงจรขยายสัญญาณแล้ว สัญญาณที่ได้สามารถนำไปหาค่าเวลาแตกต่าง ได้ดีขึ้น และส่งผลให้ตำแหน่งที่ทำการคำนวณได้มีความถูกต้องที่ มากกว่า

6. เอกสารอ้างอิง

- [1]. Zhang, Y. et. al, (2014). Leak detection monitoring system of long distance oil pipeline based on dynamic pressure transmitter, Measurement, Vol. 49, pp. 382-389.
- [2]. Jin, H. et. al, (2014). Integrated leakage detection and localization model for gas pipelines based on the acoustic wave method, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 27, pp. 74-88.
- [3]. LB defence Group., (2007). Wavealert: Acoustic Leak Detection System for pipeline.
- [4]. Lin, W. and Zhang, X., (2006). A Novel Approach for Dynamic Pressure Transducer Based Pipeline Leak Detection, Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, Dalian China, 21 - 23 June 2006.
- [5]. รายงานผลการตรวจสอบ “โครงการวิจัยและออกแบบเครื่องต้นแบบตรวจสอบการรั่วของท่อก๊าซ (ระยะดำเนินการที่ 1)” 5 มกราคม พ.ศ.2558, บริษัท ซีโรลอส จำกัด รายงานต่อบริษัท ปตท. (มหาชน) จำกัด