

# วิธีการแสดงปริมาณอัตราการรั่วไหล (LRQ) สำหรับกล้องสร้างภาพจากเสียงสะท้อน

Toros Senan,  
PhD. วิศวกรการวิจัยสวนศาสตร์

## บทนำ

การใช้งานหลายอย่างนั้นต้องมีการตรวจจ็บบรอยรั่วไหลหนึ่งในระบบซึ่งรู้จักเป็นอย่างดีคือระบบอากาศอัดที่มีการใช้งานที่หลากหลาย และมักใช้ในโรงงานผลิต

## บทบาทการทำงานของ ii900/ii910

เครื่อง ii900/ii910 นั้นใช้ไมโครโฟน 64 ตัวในอาร์เรย์เฉพาะ มีกล้องที่สามารถมองเห็นได้ทั้งที่กึ่งกลางของอาร์เรย์ที่จะให้ภาพของเหตุการณ์ อุปกรณ์จะใช้อัลกอริทึมที่ซับซ้อนเพื่อสร้างแผนผังของเสียงหรือภาพของแหล่งเสียง จากนั้นซ้อนแผนผังเสียงที่สร้างไว้บนภาพ ไมโครโฟนแต่ละตัวจะรับเสียงในเวลาที่แตกต่างกันเล็กน้อยโดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแหล่งเสียงที่มีผลต่อขอบเขตการมองเห็นของ ii900/ii910 ความแตกต่างในเวลาการรับรู้ของไมโครโฟนช่วยให้สามารถหาตำแหน่งของแหล่งเสียง: ถ้าเสียงมาจากด้านขวาของอุปกรณ์ ไมโครโฟนด้านขวาของอาร์เรย์จะได้รับเสียงก่อนไมโครโฟนที่ด้านซ้ายเสียวนาทีหนึ่ง เครื่อง ii900/ii910 จะแสดงภาพของเสียงดังกล่าวทางขวาของหน้าจอ

## ii900/ii910 ตรวจจ็บบรอยรั่วได้อย่างไร

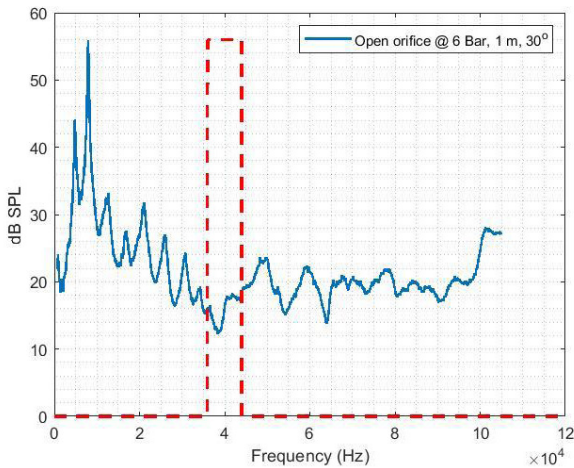
เมื่อเกิดรอยรั่วไหลในระบบอัดอากาศ โมเลกุลก๊าซ (อากาศ) ที่รั่วจะทำให้เกิดความปั่นป่วน ซึ่งจะทำให้แรงดันและความเร็วของการไหลเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้อาจถ่ายถอดเป็นคลื่นเสียงได้ ii900/ii910 นั้นสามารถตรวจจ็บบตำแหน่งและความเข้มข้นของคลื่นเสียงเหล่านี้

อากาศอัดที่รั่วออกสู่บรรยากาศภายนอกนั้นจะสร้างเสียงความถี่กว้าง ทั้งในช่วงความถี่ที่สามารถได้ยินและอัลตราโซนิก (Eret and Meskell, 2012; Holstein et al., 2016) ในระบบอากาศอัดสำหรับอุตสาหกรรมมักใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกแถบความถี่แคบ (ประมาณ 40 kHz) เพื่อหาบอตำแหน่งรอยรั่วไหล อย่างไรก็ตาม การใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกแถบความถี่แคบนั้นมีข้อจำกัดบางประการ

ระยะทางระหว่างรอยรั่ว อุปกรณ์วัด และมุมวัดนั้นเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซนเซอร์อัลตราโซนิก: ประการแรก เสียงความถี่สูงจะลดลงอย่างรวดเร็วด้วยการดูดซึมของบรรยากาศ (ดูที่ Wolstencroft and Neale, 2008)

ประการที่สอง ระดับแรงดันเสียงที่เกิดจากรอยรั่วของอากาศอัดนั้นจะต่างกันไปตามมุมที่วัด (Wolstencroft and Neale, 2008) นอกจากนี้ เป็นที่ทราบว่าคุณภาพแวดล้อมที่มีเสียงดังนั้นจะลดประสิทธิภาพของเซนเซอร์อัลตราโซนิกแถบความถี่แคบ (Eret and Meskell, 2012) การใช้เซนเซอร์ความถี่กว้างที่ทำงานทั้งในช่วงความถี่ที่สามารถได้ยินได้และอัลตราโซนิกนั้นช่วยให้ผู้ใช้สามารถชดเชยสำหรับข้อจำกัดที่กล่าวถึงด้านบน ความยืดหยุ่นในช่วงความถี่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบตรวจจ็บบรอยรั่วตัวอย่าง เช่น ตามที่เห็นได้ในรูปที่ 1 ว่าอากาศอัดที่รั่วออกจากช่องภายใต้แรงดันระบบที่ 6 บาร์นั้นจะสร้างเสียงความถี่กว้าง รูปที่ 1 จะแสดงว่าช่วงความถี่ที่มีระดับแรงดันเสียงที่วัดที่ใหญ่ที่สุดนั้นอยู่ในช่วงที่สามารถได้ยินในทางกลับกัน ระดับแรงดันเสียงที่วัดได้ในช่วงความถี่ 35 – 45 kHz (จุดประสีแดงในรูปที่ 1) นั้นต่ำกว่าช่วงความถี่ที่เหลืออย่างเห็นได้ชัดเจน





รูปที่ 1: อากาศอัดที่รั่วผ่านช่องที่เปิด (1/4 นิ้ว) จะทำการวัดที่ 1 เมตร จากแหล่งการรั่ว โดยใช้มาตรวัด 30 องศาโดยใช้ ii910 เส้นสีน้ำเงินจะแสดงช่วงที่ถูกทำให้เรียบ และเส้นประสีแดงจะแสดงช่วงความถี่ประมาณ 40 kHz

มีการศึกษาจำนวนไม่มากที่จะทำการศึกษาคณลักษณะความถี่เสียงของการรั่วของอากาศอัด ในการศึกษาของ Holstein et al. (2016) การวัดช่วงความถี่ของรอยรั่วของอากาศอัดนั้นมีอัตราการใช้ที่เพิ่มขึ้นแบบสมมาตร (ดูรูปที่ 2 ใน Holstein et al., 2016) รอยรั่วที่เพิ่มขึ้นที่รูกลม และทำการวัดจากระยะ 20 ซม. จากจุดที่รั่ว ช่วงความถี่แสดงว่ายิ่งอัตราการใช้สูงเท่าใด พลังงานที่สูงกว่า 50 kHz จะเพิ่มขึ้น สำหรับอัตราการใช้สูงที่สุดที่วัดได้ในการทดลองนี้มีช่วงความถี่สูงสุดประมาณ 80 kHz

### ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตรวจจ็บรอยรั่วไหล

จะกล่าวถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการตรวจจ็บรอยรั่วไหล ในส่วนการนำเสนอ ควรทราบว่าปัจจัยต่างๆ ที่อธิบายไว้ในส่วนการนำเสนอมีความสัมพันธ์กัน และควรถือว่าเป็นองค์ประกอบเดียวกันของปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนแบบกว้างๆ

### ปัจจัยต่างๆ ของแหล่งรอยรั่วไหล:

#### 1. แรงดันระบบ

โดยทั่วไปแล้ว ยิ่งแรงดันระบบมีสูงเท่าไร ก็จะมีรอยรั่วไหลมากเท่านั้นที่นำไปสู่ความเข้มข้นของเสียงที่สูงขึ้น ทำให้ตรวจจ็บได้ง่ายขึ้น

#### 2. อัตราการไหล

เช่นเดียวกับแรงดัน ยิ่งระบบมีอัตราการไหลสูงเท่าใด ก็จะมีรอยรั่วไหลมากเท่านั้นที่นำไปสู่ความเข้มข้นของเสียงที่สูงขึ้นที่วัดได้ที่ตำแหน่งที่รั่วไหล เสียงที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะยิ่งตรวจจ็บได้ง่ายกว่า

### 3. ขนาดและรูปร่างของช่อง

ควรคำนึงถึงขนาดและรูปร่างของช่องร่วมกัน เมื่อพิจารณาถึงการรั่วของอากาศที่อาจเกิดขึ้นจะเป็นความท้าทายในการกำหนดแนวทางเกี่ยวกับผลกระทบของรูปร่างและขนาดต่อการตรวจจ็บรอยรั่วไหล รายการนี้จะแสดงแหล่งการรั่วที่อาจเป็นไปได้ ทั้งขนาดและรูปร่างของรูนั้นแตกต่างกันไปในรายการนี้ที่อลมและการเชื่อมต่อที่อลมหรือ

- การเชื่อมต่อ
  - ดัดการเชื่อมต่อที่สึกหรอ หรือดัดการเชื่อมต่อที่ไม่โอริง
  - ตัวกรอง ตัวหล่อลื่น และตัวควบคุม หากติดตั้งอย่างไม่เหมาะสม
  - การระบายแบบเปิด
  - การระบายคอนเดนเสทแบบเปิด
  - ที่ระบายที่รั่วหรือไม่ระบาย
  - สารผนึกเกลียวที่ล้มเหลวหรือคุณภาพต่ำ หรือสารผนึกเกลียวที่ใส่อย่างไม่เหมาะสม
  - วาล์วปิดและวาล์วควบคุม
  - ซีลหรือปะเก็นที่สึกหรอ
    - เครื่องมืออลมที่เก่าหรือได้รับการบำรุงรักษาอย่างไม่ดี
    - เครื่องจักรหรือการผลิตที่ไม่มีการใช้งานอุปกรณ์ที่มีทางเข้าของอากาศ

ก๊าซ	สูตร	Po (Kg/m <sup>3</sup> )
อะเซทิลีน	C <sup>2</sup> H <sup>2</sup>	1.173
อากาศ	-	1.2929
แอมโมเนีย	NH <sup>3</sup>	0.7710
อาร์กอน	A	1.7837
คาร์บอนไดออกไซด์	CO <sup>2</sup>	1.977
คาร์บอนมอนอกไซด์	CO	1.250
คลอรีน	Cl <sup>2</sup>	3.214
อีเทน (10 °C)	C <sup>2</sup> H <sup>6</sup>	1.356
เอทิลีน	C <sup>2</sup> H <sup>4</sup>	1.260
ฮีเลียม	He	0.1785
ไฮโดรเจน	H <sup>2</sup>	0.0899
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	H <sup>2</sup> S	1.539
มีเทน	CH <sup>4</sup>	0.7168
นีออน	Ne	0.9003
ไนตริกออกไซด์ (10 °C)	NO	1.34
ไนโตรเจน	N <sup>2</sup>	1.2506
ไนตรัสออกไซด์	N <sup>2</sup> O	1.977
ออกซิเจน	O <sup>2</sup>	1.429
โพเทน	C <sup>3</sup> H <sup>8</sup>	2.9009
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO <sup>2</sup>	2.927
ไอน้ำ (100 °C)	H <sup>2</sup> O	0.598
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์**	SF <sup>6</sup>	6.17
สารทำความเย็น R134a***	CH <sup>2</sup> FCF <sup>3</sup>	14.433

ตารางที่ 1: รายการของค่าความหนาแน่นสำหรับก๊าซ ความหนาแน่นของก๊าซ, po, ที่ 0°C 1ATM\*

\*Handbook of Chemistry and Physics. 48th ed.

\*\*[https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur\\_hexafluoride](https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_hexafluoride)

\*\*\*[https://www.engineeringtoolbox.com/r134a-properties-d\\_1682.html](https://www.engineeringtoolbox.com/r134a-properties-d_1682.html)

## คุณสมบัติของของไหล

คุณสมบัติของของไหลนั้นส่งผลกระทบต่อเสียงที่เกิดเมื่อรั่วออกมา

### 4. ความหนาแน่น

ตารางด้านล่างแสดงความหนาแน่นของก๊าซเป็น Kg/m<sup>3</sup> ที่ 0°C และหนึ่งแรงดันบรรยากาศ ความหนาแน่นของก๊าซนั้นส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของเสียงจากรอยรั่วไหล ตัวอย่างเช่น ความหนาแน่นต่ำของฮีเลียมหมายความว่าเมื่อเทียบกับอากาศอัดในอัตราการใช้และแรงดันที่เท่ากัน ระดับแรงดันเสียงที่วัดได้ที่ตำแหน่งที่รั่วไหลนั้นจะต่ำกว่า ประสิทธิภาพจากภาคสนามยืนยันว่าการตรวจจับการรั่วของฮีเลียมนั้นเป็นสิ่งท้าทาย

### 5. ความหนืด

ความหนืดของก๊าซนั้นส่งผลกระทบต่อระดับของแรงดันเสียงที่ตำแหน่งที่รั่วไหล อย่างไรก็ตาม ผลกระทบนี้จะน้อยกว่าผลกระทบจากความหนาแน่น

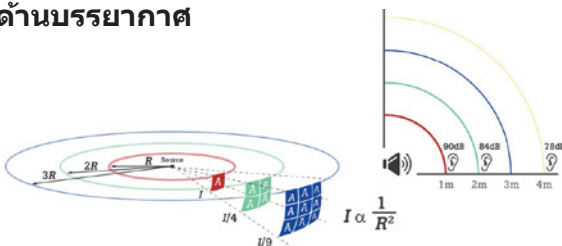
### 6. อุณหภูมิแวดล้อม

เราต้องพิจารณาอุณหภูมิแวดล้อมทั้งที่แหล่งรอยรั่วไหลและที่เส้นทาง สำหรับแหล่งรอยรั่วไหล อุณหภูมิแวดล้อมจะส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นและความหนืด ปัจจัยทั้ง 2 นี้จะทำให้ระดับแรงดันเสียงเปลี่ยนไปที่ตำแหน่งที่รั่วไหล ขณะที่อุณหภูมิแวดล้อมเพิ่มขึ้น พลังงานจลน์ของโมเลกุลก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ความเข้มข้นเสียงที่รอยรั่วไหลเพิ่มขึ้น

### 7. แรงดันแวดล้อม

แรงดันแวดล้อมจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อความหนาแน่นของก๊าซ แรงดันแวดล้อมที่ลดลงจะนำไปสู่ความหนาแน่นที่ลดลง ซึ่งจะลดความหนาแน่นของเสียงที่จุดรั่ว

## ปัจจัยด้านเส้นทางและผลกระทบด้านบรรยากาศ



การเพิ่มระยะทางระหว่างแหล่งเสียงและตำแหน่งการวัดขึ้น 2 เท่า ใน Free Field จะลดความเข้มข้นของเสียงลง 6 dB

### 8. ระยะจากจุดรั่วไปยังกล้อง

ระยะทางจะส่งผลกระทบต่อระดับแรงดันเสียงที่วัดได้ ขณะที่เสียงแพร่กระจายไปทุกทิศทางจากจุดกำเนิด ความเข้มข้นของเสียงจะลดลงไปตามระยะทาง

### 9. อุณหภูมิแวดล้อม

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแวดล้อมสามารถเปลี่ยนได้ทั้งความหนาแน่นและความหนืดของก๊าซในทางกลับกัน ทั้งสองจะส่งผลกระทบต่อความเร็วเสียงที่เดินทางผ่านตัวกลาง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเสียงจะเดินทางเร็วขึ้น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแวดล้อมนั้นคือหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณของพลังงานเสียงที่ดูดซับโดยบรรยากาศ ในกรณีความถี่ต่ำและระยะทางสั้น อุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อ การดูดซับของอากาศต่ำ (Harris, 1966) อย่างไรก็ตาม ในกรณีความถี่สูงและระยะทางที่ไกลมาก อาจสังเกตได้ถึงระดับแรงดันเสียงที่ลดลงอย่างชัดเจน (Vladišauskas and Jakevičius, 2004).

### 10. ความชื้น

ปัจจัยที่สองที่ส่งผลกระทบต่อระดับแรงดันเสียงเนื่องจากการดูดซับของอากาศก็คือความชื้น เช่นเดียวกับผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อม ภายใต้สภาวะปกติ ความชื้นก็มีผลกระทบต่อระดับแรงดันเสียงเพียงเล็กน้อย (Harris, 1966) จะสังเกตผลกระทบนี้ได้อย่างชัดเจนสำหรับความถี่ ความถี่และความชื้นที่สูงมาก (Vladišauskas and Jakevičius, 2004)

### 11. แรงดันแวดล้อม

แรงดันแวดล้อมจะไม่ส่งผลกระทบต่อระดับแรงดันเสียงในการประมาณก๊าซที่เหมาะสม เนื่องจากทั้งความหนาแน่นของอากาศและแรงดันก๊าซนั้นมีผลกระทบที่คล้ายกันแต่กลับกันต่อความเร็วเสียงสองปัจจัยที่หักล้างกัน ดังนั้น จึงไม่คาดว่าจะมีความแตกต่างระหว่างระดับแรงดันเสียงของตำแหน่งรอยรั่วไหล และที่ตำแหน่งที่วัดเนื่องจากแรงดันแวดล้อม

## เครื่อง ii900/ii910 จะทำการวัดคุณสมบัติใดของรอยรั่วไหล

เครื่อง ii900/ii910 จะแสดงประเภทรอยรั่วไหลและอัตราไหลโดยประมาณของการรั่วอิงกับอินพุตเสียงชุดการทดสอบทางห้องปฏิบัติการนั้นได้รับการออกแบบและดำเนินการเพื่อพัฒนาอัลกอริทึมการจัดประเภทรอยรั่วไหลและการคาดการณ์อัตราการใช้

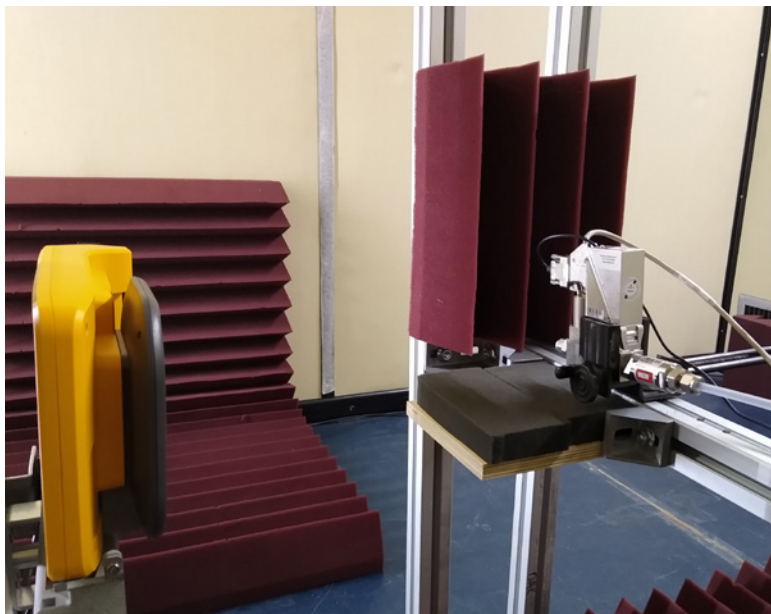
## การจัดประเภทรอยรั่วไหลใน ii900/ii910

เครื่อง ii900 และ ii910 จะจัดประเภทข้อมูลรอยรั่วไหลของเสียงที่บันทึกได้ซึ่งกับตำแหน่งที่เกิด: สายปลายเปิด เชื่อมต่ออย่างรวดเร็ว และการเชื่อมต่อแบบเกลียว สี่ประเภท สี่ลักษณะรอยรั่วไหล ถูกติดตั้งที่ปลายระบบท่ออากาศอัด และทำการวัดเสียงในห้องปิดกั้นคลื่นสนามไฟฟ้าแบบกึ่งไร้คลื่นสะท้อน ดูตัวอย่างสองตัวอย่างของการติดตั้งเพื่อทดสอบได้ในรูปที่ 3 และ 4 สามารถดูติดตั้งที่สร้างสภาวะการไหลทั้ง 4 สำหรับการทดสอบนี้ได้ในรูปที่ 5

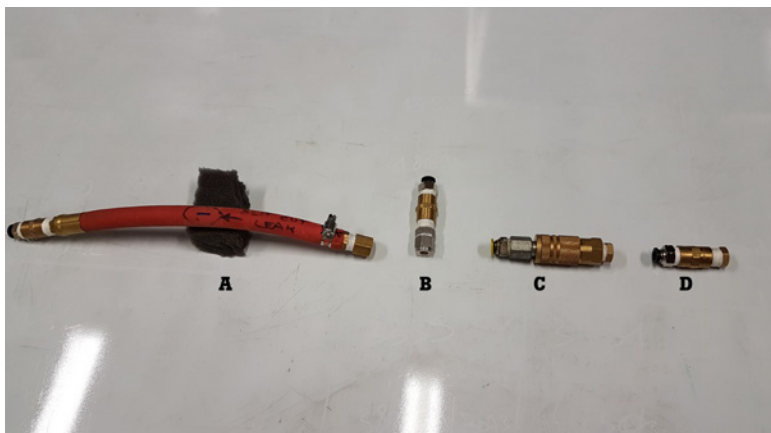
1. **สาย:** สายนั้นเป็นท่อที่ยืดหยุ่นที่ช่วยให้ต่อได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างจากท่อโลหะและท่อทองเหลืองก็คือเป็นวัสดุที่มีความไวมากกว่า ดังนั้น จะเกิดการขาดและรูได้โดยง่ายตามท่อที่เชื่อมต่อ เครื่องอัดอากาศเข้ากับอุปกรณ์ลม จะใช้ Slit Hose Cut Leak เพื่อบันทึกข้อมูลเสียงของการรั่วของท่อ เพื่อจัดประเภทและคาดการณ์อัตราการไหล (รูปที่ 3 และ 5a)
2. **ปลายเปิด:** ท่อแบบปลายเปิดหรือช่องที่เปิดนั้นเป็นรอยรั่วไหลที่ใช้ในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ที่พบบ่อยที่สุด (อ้างอิง) จะเกิดขึ้นเมื่อเปิดส่วนหนึ่งของการต่อสาย/ต่อท่อของระบบอากาศอัดไว้ ใช้ท่อแบบปลายเปิดในการทดลองการจัดประเภทและการคาดการณ์อัตราการไหลตลอดระยะการพัฒนายของ ii900 (รูปที่ 4 และ 5b)
3. **เชื่อมต่ออย่างรวดเร็ว:** ฟิตติ้งเชื่อมต่ออย่างรวดเร็วหรือที่รู้จักในชื่อการตัดการเชื่อมต่ออย่างรวดเร็วหรือการเชื่อมต่อแบบปล่อยเร็วนั้นช่วยให้เชื่อมต่อได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว ฟิตติ้งเชื่อมต่ออย่างรวดเร็วที่อาศัยการเอียงที่เลื่อนในทิศทางเดียว และทนต่อการดึงในทิศทางตรงข้าม โดยทั่วไปแล้วอย่างน้อยหนึ่งการเอียงเหล่านี้จะได้รับความเสียหาย และอากาศอัดจะรั่วออกมาผ่านทางฟิตติ้งเชื่อมต่ออย่างรวดเร็ว อากาศที่กระจายอยู่รอบๆ ฟิตติ้งและทิศทางของการรั่วของอากาศอัดจะต่างกันไปตามการบิดรูปในแต่ละกรณี ใต้ไฟฟิตติ้งเชื่อมต่ออย่างรวดเร็วที่บิดรูปสำหรับวัดเสียงระหว่างการพัฒนาอัลกอริทึมการจัดประเภทรอยรั่วไหลและการคาดการณ์อัตราการไหลของ ii900/ii910 (รูปที่ 5c)
4. **การเชื่อมต่อแบบเกลียว:** มักนิยมใช้ฝาปิดที่เป็นเกลียวสำหรับปลายทางของระบบอากาศอัด ต้องปิดและจัดวางฝาปิดด้วยความระมัดระวังโดยคำนึงถึงจำนวนของเกลียวที่ต้องเลื่อนเข้าไปในปลายท่อ บางครั้ง วิศวกรอาจปล่อยส่วนปลายเหล่านี้ไว้หลวมๆ นอกจากนี้ การใช้งานหลายๆ ครั้งอาจทำให้ฝาปิดที่เป็นเกลียวบิดรูป ในกรณีดังกล่าว อากาศอัดจะรั่วออกทางฝาปิด ซึ่งสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ จะใช้ฝาปิดที่เป็นเกลียวที่วางไว้หลวมๆ เป็นแหล่งการรั่วในการทดสอบ (รูปที่ 5d)



รูปที่ 3: การวัดประเภทการรั่วของท่อที่มุม 30 องศา



รูปที่ 4: การติดตั้งเพื่อทดสอบของการรั่วรอยรั่วไหลแบบปลายเปิดที่มุม 90 องศา



รูปที่ 5: รอยรั่วสี่ประเภทที่ศึกษาระหว่างการทดสอบ: สาย (a), ปลายเปิด (b), เชื่อมต่ออย่างรวดเร็ว (c), และการเชื่อมต่อแบบเกลียว (d)

## ดัชนีการวัดอัตราการรั่ว

เครื่อง ii900/ii910 จะประมาณอัตราการไหลที่ตำแหน่งการรั่วอิงกับข้อมูลเสียงที่บันทึก อัลกอริทึมอัตราการไหลนั้นถูกออกแบบโดยอิงกับผลการวัดทางห้องปฏิบัติการภายในห้องปิดกั้นคลื่นสนามไฟฟ้าแบบกึ่งไร้คลื่นสะท้อน เนื่องจากคุณลักษณะทางเสียงที่แตกต่างกันของรอยรั่วไหลแต่ละประเภท รอยรั่วไหลแต่ละประเภทจึงต้องมีอัลกอริทึมการคาดการณ์อัตราการไหลโดยเฉพาะ ดังนั้น อัลกอริทึมประมาณอัตราการไหลจึงจะทำงานหลังจากกระยะการวัดประเภท

อัตราการไหลที่คาดการณ์ของประเภทการไหลจะถูกแปลงเป็นดัชนีการวัดอัตราการรั่ว (LRQ) LRQ นั้นจะรับค่าระหว่าง 0 และ 10 ค่า LRQ ที่สูงกว่าจะแสดงถึงอัตราการไหลที่สูงกว่าที่ตำแหน่งการรั่ว และสามารถพิจารณาได้เป็นคำแนะนำในการซ่อม

## สรุป

เครื่อง ii900/ii910 นั้นเป็นโซลูชันอุปกรณ์มือถือที่ใช้งานง่ายและมีช่วงความถี่ที่มีประสิทธิภาพ ที่จะพยายามขจัดเขยออุปสรรคและการวัดรอยรั่วไหล คุณสมบัติด้าน LRQ นั้นสำคัญสำหรับคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพของระบบอากาศอัด และความสามารถในการรายงานจะช่วยเพิ่มความเร็วในการสื่อสารระหว่างวิศวกรการบำรุงรักษา

## แหล่งอ้างอิง

Eret, P., & Meskell, C. (2012). Microphone arrays as a leakage detection tool in industrial compressed air systems. *Advances in Acoustics and Vibration*, 2012.

Harris, C. M. (1966). Absorption of sound in air versus humidity and temperature. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 40(1), 148-159.

Holstein, P., Barth, M., & Probst, C. (2016). Acoustic methods for leak detection and tightness testing. In *Proceedings, 19th World Conference on Non-Destructive Testing* (pp. 13-17).

Vladišauskas, A., & Jakevičius, L. (2004). Absorption of ultrasonic waves in air. *Ultragarsas*, 50(1), 46-49.

Wolstencroft, H., & Neale, J. (2008). Characterisation of compressed air leaks using airborne ultrasound. *Proceedings of Acoustics (AAS'08)*.

**Fluke** ให้โลกของคุณคงอยู่ และก้าวต่อไป®

**Fluke Corporation**  
PO Box 9090, Everett, WA 98206 U.S.A.

สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมโทร:  
ในประเทศสหรัฐอเมริกา (800) 443-5853  
ในแคนาดา (800) 36-FLUKE  
จากประเทศอื่น +1 (425) 446-5500  
[www.fluke.com](http://www.fluke.com)

©2020-2021 Fluke Corporation  
ข้อมูลจำเพาะอาจมีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่จำเป็นต้องแจ้งให้ทราบ  
06/2021 210581-th

ห้ามแก้ไขตัดแปลงเอกสารนี้หากไม่ได้รับอนุญาตอย่างเป็นทางการเป็นลายลักษณ์อักษรจาก Fluke Corporation