



Difference
makes
Innovation

www.jfe-advantech.co.jp/

Technical Report
TR-C02

Kỹ thuật mới phát hiện, hiển thị vị trí và lượng rò rỉ gas thời gian thực Gas Leak Viewer™ MK-750ST

1. Giới thiệu

Trong các nhà máy sản xuất khác nhau sử dụng các loại gas khác nhau, chẳng hạn như khí nén và khí nitơ, có các ống dẫn gas rất dài và phức tạp. Sau một thời gian dài sử dụng, các ống dẫn gas xuống cấp và gây ra sự rò rỉ liên tục làm thất thoát năng lượng đáng kể. Để vận hành hiệu quả và tiết kiệm năng lượng, điều quan trọng là làm thế nào để phát hiện sớm rò rỉ gas từ các ống dẫn gas cũng như từ các thiết bị khác, xác định vị trí rò rỉ để sửa chữa kịp thời.

Cách đơn giản nhất để phát hiện rò rỉ gas là phun chất lỏng để phát hiện rò rỉ như nước xà phòng và kiểm tra bằng mắt tình trạng tạo bọt. Mặc dù phương pháp này rất đơn giản, nhưng rất khó áp dụng cho các ống dẫn gas ở những nơi cao không thể tiếp cận được vì người vận hành phải đi đến tất cả những nơi nghi ngờ có sự rò rỉ.

Phương pháp của thiết bị này là "kiểm tra sự rò rỉ siêu âm" được tạo ra khi có rò rỉ gas, chúng ta đã biết khi rò rỉ gas xảy ra, sẽ tạo ra sóng âm thanh có thể nghe được và sóng siêu âm (đến khoảng 100 kHz).

Vì phương pháp này dựa trên nguyên lý thu sóng siêu âm phát ra khi có rò rỉ gas, nó có ưu điểm là không cần tiếp xúc trực tiếp với đối tượng vì có thể đo từ xa, và có thể lưu lại kết quả định lượng sóng siêu âm nhận được nên được sử dụng như một máy phát hiện rò rỉ trong các nhà máy.



Hình 1 Ngoại hình máy Gas Leak Viewer MK-750ST

Tuy nhiên vì thường được dùng cho các ứng dụng với độ nhạy cao trong phạm vi hẹp hoặc khoảng cách gần, nên có giới hạn trong việc phát hiện rò rỉ từ các ống dẫn gas được đặt dọc ngang phức tạp trong khu vực nhà máy rộng lớn để xác định vị trí rò rỉ một cách hiệu quả.

Trong bối cảnh đó, JFE Advantech (JAC) đã nghiên cứu và phát triển thiết bị cầm tay hoàn toàn mới với hiệu quả cao, sử dụng công nghệ "Ultrasonic Beam-forming" để phát hiện rò rỉ gas và xác định vị trí rò rỉ các ống dẫn gas trong không gian 2D tại các khu vực rộng lớn của các nhà máy. Báo cáo này sẽ giới thiệu tiến trình nghiên cứu và phát triển máy Gas Leak Viewer MK-750ST với rất nhiều tính năng được đưa vào thị trường tháng 2 năm 2021 (Hình 1).

2. Xác định vị trí rò rỉ gas bằng công nghệ Ultrasonic Beam-forming và mảng cảm biến

2.1. Cách tiếp cận vấn đề

Nguyên tắc dựa trên công nghệ phát hiện sóng siêu âm tạo ra do rò rỉ gas để phát hiện và xác định vị trí rò rỉ gas có những ưu điểm:

- Có thể phát hiện được rò rỉ từ xa, không cần phải tiếp xúc trực tiếp
- Có thể phát hiện rò rỉ bất kể loại gas nào.
- Có thể lưu lại tín hiệu thu nhận được.
- Bằng cách tạo "đường quan hệ" giữa áp suất siêu âm đo được với khoảng cách đến vị trí rò rỉ, có thể được ước tính được lượng rò rỉ.

Trong khi các máy phát hiện rò rỉ gas công nghệ siêu âm hiện có phải mang máy đến gần vị trí rò rỉ hoặc tăng hiệu ứng thu thập tín hiệu bằng cách dùng ăng ten parabol để tăng độ nhạy nhưng phạm vi thu thập cũng hạn chế. MK-730 của JAC là loại máy phát hiện rò rỉ parabol (Hình 2) đạt được độ nhạy cao bằng cách thu thập âm thanh với ăng ten parabol góc chỉ hướng (directivity) $\pm 8^\circ$, có thể phát hiện chính xác có hoặc không có rò rỉ gas trong một khu vực hạn chế (ví dụ van, mặt vành, v.v.).

Để phát hiện hàng loạt các rò rỉ gas, cần phải quét toàn thể đối tượng, tìm kiếm một cách chi tiết từng vùng nhỏ hẹp, vì vậy mất nhiều thời gian để phát hiện và xác định vị trí rò rỉ gas từ các đường ống hoặc từ các thiết bị nằm rải rác trong một khu vực rộng lớn.

Khi cần nhắc điều kiện cần thiết cho góc chỉ hướng máy thu siêu âm, để phát hiện rò rỉ gas từ một loạt các đối tượng bắt buộc cảm biến cần góc chỉ hướng rộng có độ nhạy đồng nhất với mọi phương hướng, ngược lại, để xác định điểm rò rỉ gas, cảm biến cần có góc chỉ hướng hẹp để phát hiện sóng siêu âm tạo ra từ một khu vực hạn chế. Như vậy, từ quan điểm

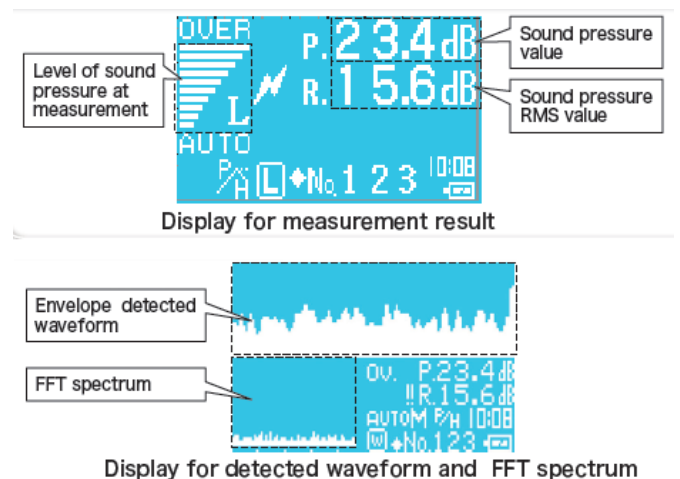
về tính chỉ hướng của máy thu siêu âm, rơi vào mâu thuẫn là cần phải cung cấp các chức năng tương phản để xác định vị trí rò rỉ gas từ hàng loạt các đối tượng.



Hình 2 Ngoại hình máy Multi Checker MK-730

2.2. Phương pháp đo sóng siêu âm để phát hiện rò rỉ gas

Số liệu quang phổ mạnh xuất hiện ở khu vực tần số cao hơn 20 kHz và trở thành tối đa ở khu vực tần số gần 40 kHz. Để tăng độ nhạy cảm với rò rỉ, máy MK-730 đã được phát triển có dải nhận 40 kHz. Tuy nhiên vì khu vực phát hiện rất hạn hẹp, nên mất thời gian và công sức để quét qua đường ống trải dài trong diện tích rộng lớn.



Hình 3 Dạng sóng, FFT, số liệu đo rò rỉ không khí được hiển thị trên máy MK-730

JAC đã nghiên cứu một phương pháp phát hiện rò rỉ mới, mặc dù cũng bằng cách sử dụng cùng một sóng siêu âm, nhưng có thể tìm kiếm trên phạm vi rộng cùng một lúc bằng cách sử dụng nhiều cảm biến siêu âm. Với phương pháp mới này, có thể giảm thời gian quét các điểm rò rỉ một cách hiệu quả.

2.3. Công nghệ "Ultrasonic Beam-forming" và công nghệ "Array Signal Processing"

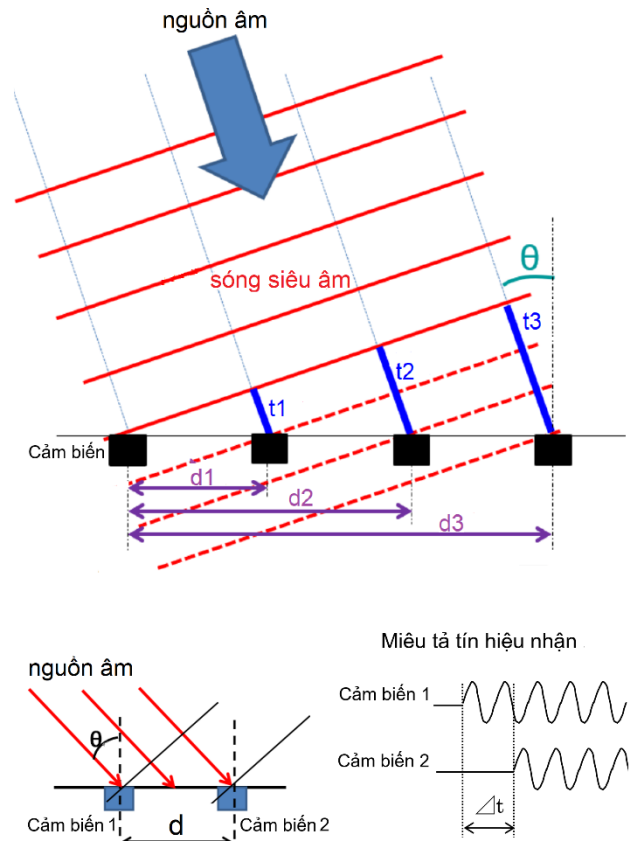
JAC đã áp dụng công nghệ "Ultrasonic Beam-forming", cùng với công nghệ xử lý tín hiệu mảng (array signal processing) để phát hiện và xác định vị trí rò rỉ gas bằng siêu âm.

Trong công nghệ "Ultrasonic Beam-forming", hướng đến của sóng siêu âm (góc phương vị của nguồn siêu âm) được xác định từ độ chênh lệch thời gian (trễ pha) của sóng siêu âm đến từng cảm biến của mảng cảm biến trong đó sắp xếp nhiều cảm biến thu nhận siêu âm.

Để đơn giản hóa, ví dụ xem xét một tình huống trong đó hai cảm biến thu siêu âm được sắp xếp cách nhau một khoảng cách d như trong Hình 4, khi tín hiệu siêu âm đến hai cảm biến thu với góc đến θ , tín hiệu được phát hiện với độ trễ thời gian Δt thể hiện trong phương trình (1), với s là tốc độ của âm thanh.

$$\Delta t = \frac{d \cdot \sin \theta}{s} \quad (\text{sec}) \quad \dots (1)$$

Ngược lại, nếu các tín hiệu phát hiện được đặt chồng lên nhau sau khi bù cho độ trễ thời gian xác định theo từng hướng và vị trí cảm biến, khi góc phương vị giả định trùng với góc phương vị đến thực tế, độ trễ thời gian giữa các đầu ra của các cảm biến trở thành 0 và các pha được căn chỉnh, sao cho biên độ tín hiệu sau khi chồng chất trở thành lớn nhất. Nói cách khác, nếu tín hiệu siêu âm nhận được của mỗi cảm biến được đặt chồng lên sau khi bù cho độ trễ thời gian



Hình 4 Sự khác biệt về thời gian từ nguồn siêu âm đến cảm biến tùy thuộc vào phối trí cảm biến và hướng đến

tương ứng với vị trí cảm biến theo mọi hướng cần tìm, tín hiệu thu được ở hướng đến là mạnh nhất. Biên độ chồng chất tương ứng với áp suất âm của sóng siêu âm nhận được, phân bố không gian 2D của biên độ thu được được gọi là "bản đồ âm áp" (bản đồ áp suất âm). Nếu ghép "bản đồ âm áp" với hình ảnh được chụp bởi máy ảnh có cùng góc nhìn với "Beam-forming" có thể dễ dàng nhận ra có rò rỉ hay không. Điều này giúp phát hiện nhanh rò rỉ gas một cách hiệu quả trong phạm vi rộng cũng như xác định được vị trí rò rỉ.

3. Nghiên cứu và phát triển máy MK-750

Ứng dụng công nghệ "Ultrasonic Beam-forming" được mô tả trong phần trước, để phát hiện các điểm rò rỉ gas các thiết bị trong nhà máy v.v., năm 2016 JAC đã nghiên cứu và phát triển máy cầm tay Air Leak Viewer MK-750 (**bằng sáng chế**) phát hiện và hiển thị vị trí rò rỉ gas được hiển thị dưới dạng hình ảnh trực tiếp trên màn hình. Thiết bị cầm tay, tích hợp bộ nguồn, mảng cảm biến, camera, LCD, cổng cắm thẻ nhớ SD (Hình 5). Bằng cách kết hợp bộ xử lý tín hiệu Beam-forming (FPGA), "bản đồ âm áp" cập nhật khoảng 5 lần mỗi giây, cho phép phát hiện rò rỉ gần như thời gian thực ngay cả khi người dùng di động thiết bị này lên, xuống, sang trái và phải. Cách dùng thiết bị rất đơn giản, bất cứ nơi nào, bởi bất cứ ai, chỉ cần nhấn nút "MEAS" là có thể phát hiện các điểm rò rỉ gas ngay lập tức. Hơn nữa vì dựa trên nguyên tắc thu sóng siêu âm phát ra tại thời điểm rò rỉ nên hoàn toàn không phụ thuộc vào loại gas bị rò rỉ. Hình ảnh camera, hình ảnh chồng lên "bản đồ âm áp" và "bản đồ âm áp" được lưu trữ vào thẻ nhớ SD nên rất dễ dàng lập báo cáo.



Hình 5 Ngoại hình máy Air Leak Viewer MK-750 với camera và mạng cảm biến ở mặt sau

Theo kết quả khảo sát của JAC, các loại thiết bị "định vị nguồn âm thanh" có trên thị trường, từ hệ thống lớn và đắt tiền đến thiết bị cầm tay nhỏ, tất cả

đều chỉ nhắm đến đối tượng là âm thanh nghe được (tối đa vài kHz), ví dụ điều tra khảo sát âm thanh "lạ" trong dải âm thanh của một sản phẩm nào đó, hoặc tìm kiếm nguồn âm thanh nghe được trong không gian nào đó. Vì vậy có lẽ các thiết bị này có tiền đề hoặc giả định rằng xung quanh các đối tượng khảo sát không có nguồn tiếng ồn khác hoặc bối cảnh đối tượng có tiếng ồn thấp. Tuy nhiên, trong thực tế, không được đặt một điều kiện tiên quyết nào khi thực hiện điều tra phát hiện rò rỉ từ thiết bị như ống dẫn gas trong nhà máy, vì các loại thiết bị khác nhau đang hoạt động xung quanh khu vực điều tra có độ ồn cực cao nhưng vẫn cần phải tiến hành phát hiện rò rỉ ở những nơi đó. Trong trường hợp này, các loại thiết bị "định vị nguồn âm thanh" có trên thị trường, chỉ nhắm đến đối tượng là âm thanh nghe được, nên rất khó để phát hiện những rò rỉ từ một điểm cụ thể cũng như có nguy cơ phát hiện sai lầm trong việc tìm kiếm rò rỉ bằng âm thanh nghe được.

Khác với các loại thiết bị loại đó, Air Leak Viewer MK-750 không nhạy cảm với tín hiệu âm thanh nghe được, mà sử dụng công nghệ "Ultrasonic Beam-forming" trong dải siêu âm (40 kHz) để thực hiện định vị phương vị nguồn tín hiệu với thời gian thực, vì vậy có thể phát hiện chính xác vị trí rò rỉ bất kể tiếng ồn xung quanh.

Hơn nữa, MK-750 có độ nhạy cao đối với các rò rỉ không tạo ra âm thanh nghe được, cho nên ngay cả ở nơi có tiếng ồn lớn trong nhà máy cũng có thể phát hiện với độ nhạy cao các rò rỉ khác nhau mà không bị ảnh hưởng nào.

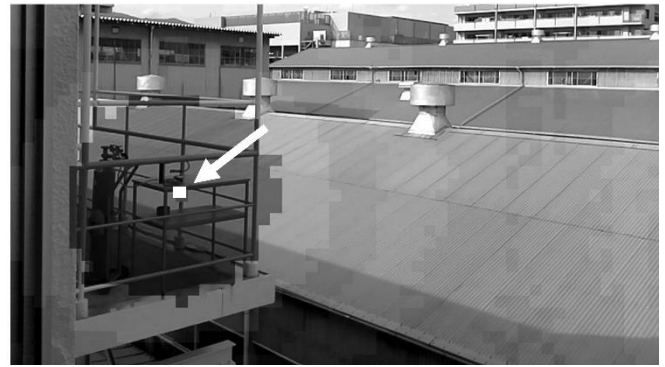
Cũng nên nhắc lại, do thành tích phát minh công nghệ mới thực hiện phát hiện rò rỉ gas hiệu quả, Air Leak Viewer MK-750 đã đoạt giải nhất trao cho các "Sản phẩm & Công nghệ xuất sắc năm 2017" từ Hyogo Prefecture. (Hình 11b)

4. Kiểm chứng tính năng bằng nguồn rò rỉ mô phỏng

Để kiểm chứng khả năng phát hiện rò rỉ gas của MK-750, JAC đã thực hiện thử nghiệm đánh giá bằng cách sử dụng nguồn rò rỉ mô phỏng. Cấu thành của nguồn rò rỉ mô phỏng (Hình 6) bao gồm xi lanh khí nitơ, đồng hồ đo lưu lượng, đồng hồ đo áp suất, van điều chỉnh và đầu rò rỉ mô phỏng lỗ rò đường kính 0.2 mm. Hình 7 cho thấy kết quả kiểm tra phương vị ở khoảng cách 4.6 m từ nguồn rò rỉ (áp suất rò rỉ 40 kPa), "bản đồ âm áp" và "hình ảnh camera" được xếp chồng lên nhau và hiển thị trên màn hình LCD. Số liệu "peak" (đỉnh) trong "bản đồ âm áp" được biểu thị bằng một chấm trắng cũng chính là vị trí (hướng) rò rỉ gas. các mũi tên trong Hình 7 được thêm vào cho mục đích thuyết minh. (Thực tế màn hình của MK-750 hiển thị "bản đồ âm áp" dưới dạng hình ảnh màu và số liệu "peak" được biểu thị bằng một chấm đỏ). Trong thử nghiệm ngoài trời này, nguồn rò rỉ đã được cài đặt bên ngoài tòa nhà của Hãng, có thể thấy số liệu "peak" của "bản đồ âm áp" trùng với nguồn rò rỉ định hướng bởi Beam-forming.

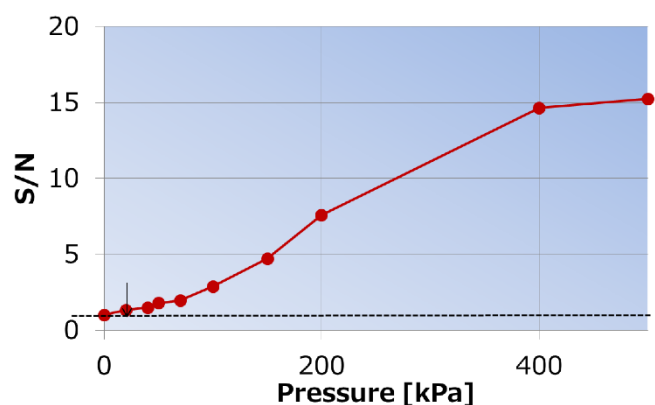


Hình 6 Cấu thành của nguồn rò rỉ mô phỏng



Hình 7 Kết quả kiểm tra phương vị ở khoảng cách 4.6 m từ nguồn rò rỉ mô phỏng (40 kPa)

Nếu cố định hướng rò rỉ và khảo sát sự thay đổi của số liệu "peak" trong "bản đồ âm áp" khi thay đổi áp suất đầu rò rỉ mô phỏng, kết quả trong Hình 8, số liệu "peak" trong "bản đồ âm áp" thay đổi cùng với áp suất. Vì có mối tương quan giữa áp suất và lượng rò rỉ, có thể nói rằng MK-750 có thể đánh giá "định tính" cường độ rò rỉ gas. Nếu điều chỉnh sự suy giảm của khuếch tán siêu âm theo khoảng cách đến nguồn rò rỉ, và bằng cách tạo ra một "đường tương quan" giữa lượng rò rỉ với cường độ phóng xuất siêu âm có thể ước tính lượng rò rỉ (đánh giá "định lượng").

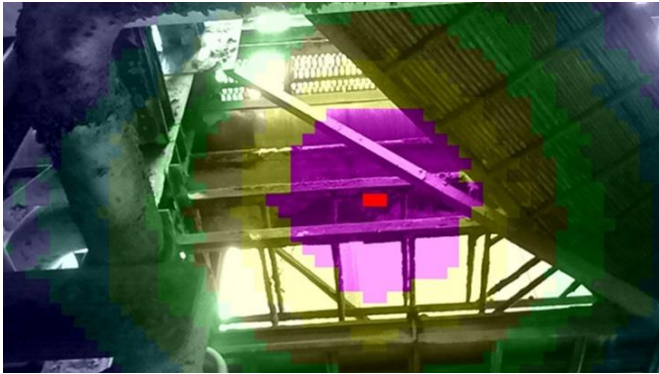


Hình 8 Số liệu "peak" (đỉnh) trong "bản đồ âm áp" thay đổi theo áp suất

5. Kiểm chứng tính năng trong các nhà máy đang vận hành

5.1. Kiểm chứng thực địa trong môi trường ồn ào

Như đã mô tả ở trên, có những khu vực trong nhà máy nơi tiếng ồn cực cao do nhiều nguồn khác nhau, dưới đây là thử nghiệm thực địa trong hoàn cảnh như vậy, Hình 9 cho thấy MK-750 phát hiện có rò rỉ gas và xác định vị trí rò rỉ trong đường ống khí nén tại nhà máy A, có thể nhận ra rò rỉ ở phần dưới của đường ống. Hoàn cảnh thử nghiệm rất ồn ào nơi mà các cuộc trò chuyện thông thường cũng rất khó khăn, thêm vào đó nhiều đường ống được bố trí song song gây khó khăn cho việc định vị trí chính xác. Mặc dù vậy, rò rỉ được phát hiện ngay lập tức từ khoảng cách khoảng 5 m cũng như đã xác định được vị trí rò rỉ, một lỗ ăn mòn vài mm đã tìm thấy và rò rỉ từ lỗ này. Đây là một thử nghiệm thực địa chứng tỏ việc sử dụng sóng siêu âm để phát hiện rò rỉ mà không bị ảnh hưởng bởi tiếng ồn âm thanh xung quanh.



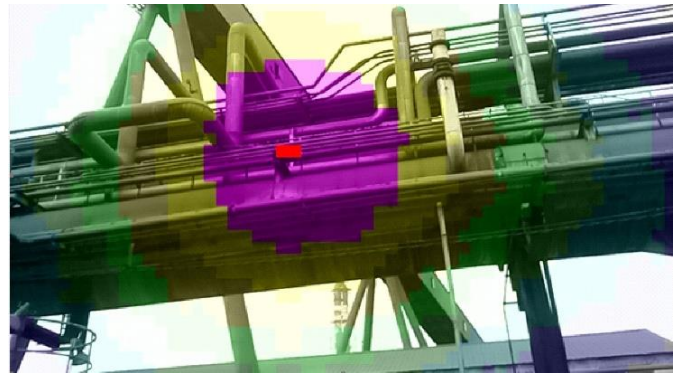
Hình 9 Phát hiện rò rỉ đường ống gas trong môi trường ồn ào

5.2. Kiểm chứng thực địa phát hiện rò rỉ từ xa

Đường ống dẫn gas trong các nhà máy thường được lắp đặt ở cao so với mặt đất. Do các đường ống trên không như vậy nên khi tiếp cận để kiểm tra cần lắp

đặt giàn giáo và tháo dỡ chúng sau khi kiểm tra, điều này sẽ làm mất thời gian và tăng chi phí khi cần kiểm tra. Hình 10 cho thấy một thử nghiệm thực địa phát hiện rò rỉ dễ dàng từ xa bằng sóng siêu âm.

Trong trường hợp này, rò rỉ ở ống khí nitơ đặt ở độ cao khoảng 10 m so với mặt đất tại nhà máy B đã được phát hiện bởi Air Leak Viewer MK-750. Do nhiều đường ống được lắp song song, nên việc tìm kiếm rò rỉ được thực hiện từ mặt đất theo đường chéo bên dưới nhóm ống, rò rỉ gas đã được phát hiện và vị trí rò rỉ được xác định rõ ràng. Rò rỉ này từ một lỗ vì bị ăn mòn. Khoảng cách tuyến tính từ điểm tìm kiếm đến vị trí rò rỉ khoảng 15 m, nhưng vẫn có thể được phát hiện chính xác. Mặc dù khu vực này là một môi trường yên tĩnh không có tiếng ồn, nhưng không nghe thấy âm thanh rò rỉ tại khu vực tìm kiếm và rất khó để phát hiện bằng thính giác.



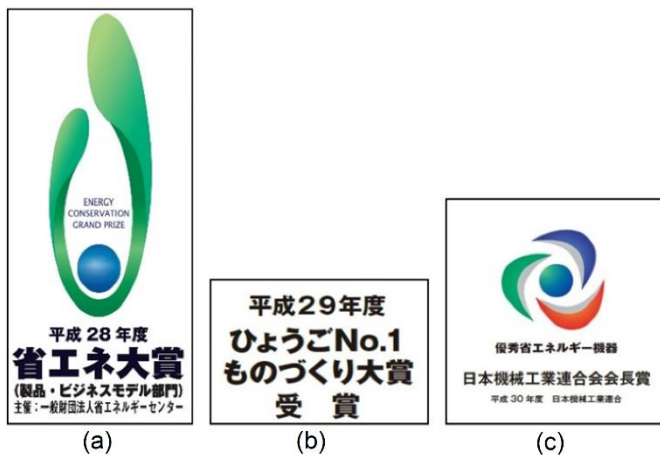
Hình 10 Phát hiện rò rỉ đường ống nitơ lắp đặt trên cao

6. Ước tính hiệu quả tiết kiệm năng lượng bằng cách phát hiện rò rỉ

Thiết bị phát hiện rò rỉ trong nhà máy hiệu quả hơn nhiều so với trước đây và việc sửa chữa kịp thời các vị trí rò rỉ phát hiện sẽ tạo ra hiệu ứng tiết kiệm năng lượng nhờ vào sự ngăn chặn thất thoát, nâng cao hiệu quả kinh tế.

Vì đạt được những hiệu quả tiết kiệm năng lượng như mong đợi Air Leak Viewer MK-750 đã nhận

được giải thưởng trao cho các "Sáng kiến Mô hình Kinh doanh hoặc Sản phẩm Tiết kiệm Năng lượng Tiên tiến Hiệu quả cao trong các ngành công nghiệp, kinh doanh và giao thông tại Nhật Bản năm 2016" do "Trung tâm Tiết kiệm Năng lượng" tài trợ (Hình 11a), và "Giải thưởng Hệ thống và Thiết bị Tiết kiệm Năng lượng Xuất sắc năm 2018" của "Liên đoàn Máy móc Nhật Bản" tại do "Liên đoàn Công nghiệp tài trợ" (Hình 11c).



Hình 11 Các giải thưởng Air Leak Viewer MK-750 đã nhận được

7. Cải tiến đột phá của máy MK-750ST

MK-750ST (**đang chờ bằng sáng chế**) là một mô hình đổi mới hoàn toàn so với MK-750 đã đưa vào thị trường năm 2016. MK-750ST cũng sử dụng kỹ thuật "Ultrasonic Beam-forming" tương tự MK-750 có khả năng phát hiện rò rỉ gas như MK-750, nhưng được cải tiến rất nhiều về vị trí của cảm biến và camera. Đây là một sản phẩm siêu nhỏ gọn nhẹ với các chức năng cải tiến và bổ sung như dưới đây đáp ứng yêu cầu của các khách hàng:

+ Nhỏ gọn nhẹ, thao tác dễ dàng bằng một tay
Sau khi xem xét hình dạng và cách bố trí nút, đã được thiết kế lại nhỏ gọn nhẹ để dễ cầm hơn.



Hình 12 So sánh giữa hai máy MK-750 và MK-750ST

+ Kích thước MK-750ST là W180xH110xD60 (mm) so với W180xH210xD60, trọng lượng 740 g so với 1.200 g (MK-750) (Hình 12)

+ Khả năng định hướng (tính chỉ hướng) của MK-750ST được cải thiện khoảng 1,8 lần so với MK-750 bằng cách bố trí lại các cảm biến.

+ Sự lan tỏa trong "bản đồ âm áp" gần nguồn âm thanh (phạm vi định vị nguồn âm thanh) trở nên nhỏ hơn, nhờ đó, MK-750ST có khả năng tách biệt hai nguồn âm thanh gần nhau.

+ Thời gian sử dụng liên tục đã được cải thiện rất nhiều, lên đến 7 giờ.

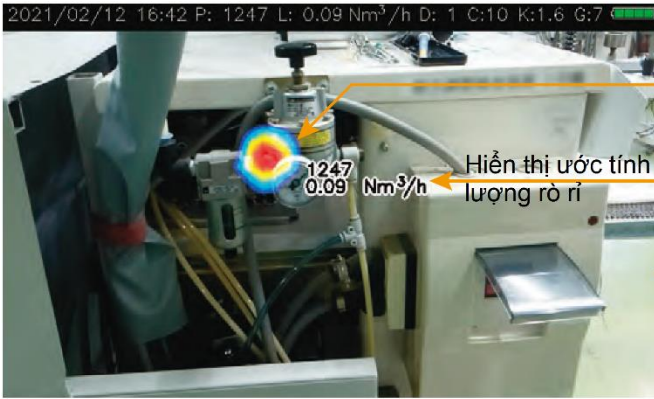
+ Bổ sung chức năng hiển thị lượng rò rỉ.

MK-750ST cũng được trang bị chức năng hiển thị giá trị ước tính lượng rò rỉ căn cứ vào dữ liệu thử nghiệm của JAC, và hiển thị trên màn hình thời gian thực, vì vậy có thể nắm bắt ngay quy mô rò rỉ tại hiện trường (Hình 13).

+ Model MK-750ST sử dụng màn hình LCD có độ sáng cao, để nâng cao khả năng hiển thị trong nhà (Hình 14).

+ Nâng cao khả năng hiển thị vị trí rò rỉ trong "bản đồ âm áp" rõ ràng hơn khi sử dụng ở ngoài trời (Hình 15).

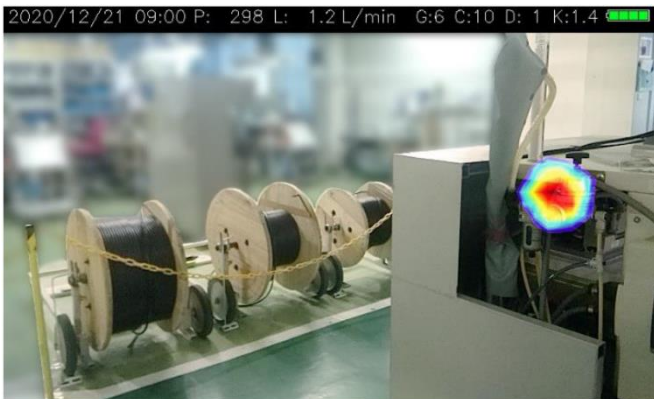
Hình 16 là kiểm chứng tại hiện trường. Hình 17 là sơ đồ kích thước và Bảng 1 là thông số máy Gas Leak Viewer MK-750ST



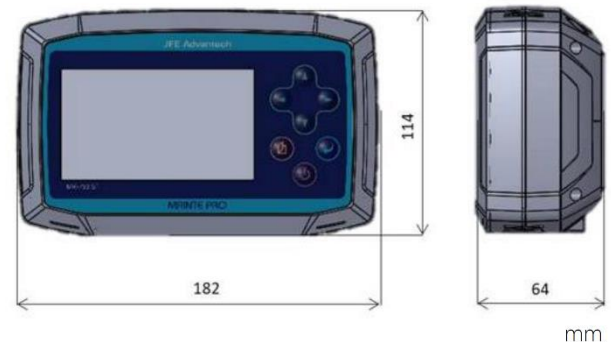
Hình 13 Bỏ sung chức năng hiển thị ước tính lượng rò rỉ.



Hình 16 Máy MK-750ST phát hiện rò rỉ đường ống gas ở nơi cao ngoài tầm với



Hình 14 Phát hiện rò rỉ đường ống gas không bị ảnh hưởng của nhiễu từ máy đang hoạt động



Hình 17 Sơ đồ kích thước máy Gas Leak Viewer MK-750ST



Hình 15 Máy MK-750ST hiển thị rõ ràng trên màn hình ngay cả bên ngoài vào ban ngày

8. Kết luận

Thiết bị tích hợp Gas Leak Viewer MK-750ST nhỏ gọn nhẹ, ứng dụng những công nghệ đột phá tiên phong như "Ultrasonic Beam-forming", có thể phát hiện dễ dàng một cách hiệu quả rò rỉ tại các điểm khác nhau trong không gian 2D các nhà máy rộng lớn, *hiển thị vị trí và lượng rò rỉ gas thời gian thực* trên màn hình. Nhiều thử nghiệm thực địa đã chứng minh rằng có thể phát hiện không bỏ sót và xác định được vị trí rò rỉ của các đường ống trên không, từ tầm xa hơn 10 mét trong hoàn cảnh ồn ào. Ngoài ra thiết bị góp phần phát hiện sớm sự rò rỉ gas để giảm thất thoát và thúc tiến vận động tiết kiệm năng lượng./.

Bảng 1 Thông số kỹ thuật Gas Leak Viewer MK-750ST

Specifications	
Model	MK-750ST-E
Ultrasonic sensor	Center frequency 40kHz
Detecting performance	Able to detect leaks in 7 meter distance with pressure 70kPa from 0.2mm ϕ holes. *Data at our laboratory
Detection display range	Approx. 62 degrees horizontally and 35 degrees vertically
Display	4.3 inch LCD / 800 x 480 pixels
Display refresh frequency	Approx. 5 times/sec
Other functions	Peak hold, approximate leak amount display, and sleep mode
Recording contents	Superimposed image of sound pressure map (JPEG), Camera image (JPEG), Sound pressure map data (CSV), Data list file (CSV)
Data recording	No. of records: 3,500 or more (Recording media: Internal memory (1GB))
Data output	USB communication (Compatible OS: Windows8.1, Windows 10)
Power source	Lithium-ion battery (Continuous operation time length: Approx. 8 hrs. / Full charge time: Approx. 3 hrs.)
Outer dimensions	W182mm x H114mm x D64mm (excluding wrist strap and protector)
Weight	Approx. 740g (including battery, excluding wrist strap and protector)
Standard configuration	Main unit, Battery pack (RRC2057), Battery charger (RRC-SMB-MBC), Wrist strap (MK-9907), Protector (MK-9909), USB cable (U2C-MF10BK), and Instruction manual
Options	Battery pack [as a spare] (RRC2057), Neck strap (MK-9908), Carrying case (MK-9705), Waist bag (MK-9706), Oscillator (MP-161-S001).