

음향 이미지 카메라를 위한 누출 속도 정량화 (LRQ) 방법

Toros Senan,
박사 음향 연구 부문 엔지니어

개요

많은 응용 분야에서 누출 감지가 필요합니다. 잘 알려진 제품 중에는 많은 응용 분야에 사용하고 제조 현장에서 가장 일반적으로 도입하는 압축 공기 시스템이 포함됩니다.

ii900/ii910 작동에 대한 복습

ii900/ii910은 특정 패턴으로 배열된 64개의 마이크를 사용합니다. 배열 중간에 보이는 카메라가 있어 장면 이미지를 제공합니다. 이 장치는 복잡한 알고리즘을 사용하여 사운드 맵 또는 사운드 소스의 이미지를 생성한 다음 생성된 사운드 맵을 이미지에 오버레이합니다. ii900/ii910 시야와 관련된 음원의 위치에 따라 각 마이크는 약간 다른 시간에 소리를 수신합니다. 마이크 간 시간 차이를 통해 음원의 위치를 찾을 수 있습니다. 장치의 오른쪽에서 사운드가 나오는 경우 배열의 오른쪽에 있는 마이크는 왼쪽에 있는 마이크보다 몇 분의 1초 전에 사운드를 수신합니다. ii900/ii910은 화면의 오른쪽에 해당 사운드의 이미지를 표시합니다.

ii900/ii910은 어떻게 누출을 감지합니까?

가압된 시스템에서 누출이 발생할 경우 누출되는 가스(공기) 분자는 난류를 유발하여 압력 및 유속에 급격한 변화를 유발합니다. 이러한 변화가 음파로 전송될 수 있습니다. ii900/ii910은 이러한 음파의 위치와 강도를 감지할 수 있습니다.

주변 대기로 압축 공기가 누출되면 가청 주파수 범위와 초음파 주파수 범위 모두에서 광대역 소음이 발생합니다(Eret and Meskell, 2012, Holstein et al., 2016). 산업 압축 공기 시스템에서 협대역(약 40kHz 중심) 초음파 센서는 누출 위치 파악에 널리 사용되는 도구입니다. 하지만 협대역 초음파 센서를 사용하면 몇 가지 제한이 있습니다.

누출 및 측정 장치와 측정 각도 사이의 거리는 초음파 센서의 효과를 높이는 데 중요한 요소입니다. 첫째, 대기 흡수에 의해 고주파 사운드가 빠르게 감쇠됩니다(Wolstencroft and Neale, 2008 참조). 둘째, 압축 공기 누출로 인해 발생하는 음압 수준은 측정 각도에 따라 다릅니다(Wolstencroft and Neale, 2008). 또한 소음이 심한 환경은 협대역 초음파 센서(Eret and Meskell, 2012)의 성능을 저하시키는 것으로

알려져 있습니다(Eret and Meskell, 2012). 청각 및 초음파 주파수 범위에서 모두 작동하는 광대역 센서를 사용하면 위에서 언급한 제한 사항을 보완할 수 있습니다. 주파수 범위에서 제공되는 유연성으로 누출 감지 시스템의 내구성이 향상됩니다. 예를 들어, 시스템 압력이 6bar일 때 개방된 오리피스에서 누출된 공기 압력이 광대역 소음을 생성하는 것을 그림 1에서 확인할 수 있습니다. 그림 1은 측정된 음압 레벨이 가장 큰 주파수 영역이 가청 범위에 있음을 보여줍니다. 반대로 35-45kHz(그림 1의 빨간색 점선)의 주파수 범위에서 측정된 음압 수준은 나머지 주파수 스펙트럼보다 현저하게 낮습니다.



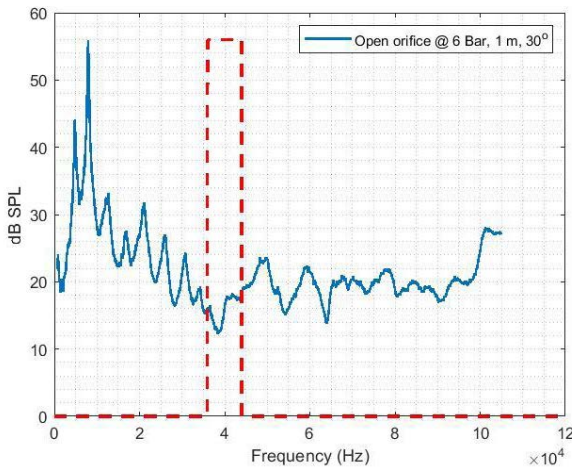


그림 1: 열린 오리피스(1/4인치)를 통해 누출된 압축 공기. ii910을 사용하여 누출 발생원에서 30도의 측정 각도에서 1미터 떨어진 곳에서 측정되었습니다. 파란색 선은 평활화된 스펙트럼을 나타내고, 빨간색 점선은 약 40kHz 인근 주파수 영역을 나타냅니다.

압축 공기 누출 사운드의 주파수 특성을 조사하는 연구는 그 수가 많지 않습니다. Holstein et al. (2016) 연구는 체계적으로 증가된 유속을 가진 누출된 압축 공기를 측정했을 때의 주파수 스펙트럼이 제공했습니다 (그림 2, Holstein et al, 2016). 누출 소스는 개방된 원형 오리피스였고, 소스에서 20cm 떨어진 곳에서 측정되었습니다. 주파수 스펙트럼은 유속이 클수록 50kHz 이상의 에너지가 증가하는 것을 보여줍니다. 실험에서 측정된 최대 유속에서 주파수 스펙트럼은 약 80kHz 인근에서 최대치를 보여줍니다.

누출 감지에 영향을 미치는 요인

누출 감지에 영향을 미치는 요소에 대해서는 현재 섹션에서 별도로 설명합니다. 현재 섹션에서 설명하는 요소들은 서로 상호 작용하며 광범위한 복합 현상의 단일 구성 요소로 간주해야 함에 주의하십시오.

누출 소스 요소:

- 1. 시스템 압력**
일반적으로 시스템 압력이 클수록 누출량이 더 많아지고 사운드 강도가 높아지므로 탐지가 더 쉬워집니다.
- 2. 유속**
압력과 마찬가지로 시스템의 유속이 높아질수록 누출량이 커지므로, 누출 위치에서 측정된 사운드 강도가 높아집니다. 사운드 강도가 높을수록 음향 감지가 더 쉬워집니다.
- 3. 오리피스의 크기와 모양**
오리피스의 크기와 모양을 함께 고려해야 합니다. 다양한 공기 누출 가능성을 고려하면 누출 감지 시 그 모양과 크기의 영향에 대한 지침을 제공하는 것이 어려워집니다. 이 목록에는 일부 잠재적 누출

소스가 나와 있습니다. 오리피스의 크기와 모양은 목록의 각 항목에 대해 다릅니다. 공기 호스 및 공기 호스 연결부 또는 커플링

- 마모로 연결이 끊어졌거나 O-링이 누락되어 연결되지 않았습니다.
- 필터, 윤활 장치 및 조절 장치가 잘못 설치된 경우
- 블로우 오프를 엽니다.
- 응축액 트랩을 엽니다.
- 배수 장치 누출 또는 망가짐
- 나사산 밀폐제를 도포하지 않았거나 품질이 낮은 경우 또는 잘못 도포한 경우
- 제어 밸브 및 차단 밸브
- 씰 또는 개스킷이 마모됨
 - 낡거나 잘 정비되지 않은 공압 공구
 - 공회전 또는 미사용 기계 또는 생산 공기 입력이 있는 장비

가스	공식	Po(Kg/m3)
아세틸렌	C2H2	1.173
공기	-	1.2929
암모니아	NH3	0.7710
아르곤	A	1.7837
이산화탄소	CO2	1.977
일산화탄소	CO	1.250
염소	Cl2	3.214
에탄(10°C)	C2H6	1.356
에틸렌	C2H4	1.260
헬륨	He	0.1785
수소	H2	0.0899
황화수소	H2S	1.539
메탄	CH4	0.7168
네온	Ne	0.9003
산화질소(10°C)	아니요	1.34
질소	N2	1.2506
아산화질소	N2O	1.977
산소	O2	1.429
프로판	C3H8	2.9009
이산화황	SO2	2.927
증기(100 °C)	H2O	0.598
육불화황**	SF6	6.17
냉매 R134a***	CH2FCF3	14.433

표 1. 가스의 밀도 값 목록. 0°C 1ATM * 에서 가스 밀도(po)

*Handbook of Chemistry and Physics. 48th ed.

**https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfur_hexafluoride

***https://www.engineeringtoolbox.com/r134a-properties-d_1682.html

유체 속성

유체의 특성은 누출로 인해 빠져나갈 때 생성되는 음향에 영향을 미칩니다.

4. 밀도

아래 표에는 0°C에서 kg/m³ 단위의 가스 밀도와 대기압 1개가 나와 있습니다. 가스 밀도는 누출의 사운드 강도에 영향을 미칩니다. 예를 들어, 헬륨의 유속 및 압력이 동일하다고 가정하고 압축 공기와 비교할 때 헬륨의 저밀도는 누출 위치에서 측정된 음압 수준이 낮아질 것임을 의미합니다. 현장 경험에 따르면 헬륨의 누출은 감지하기가 어렵습니다.

5. 점도

가스의 점도는 누출 위치의 음압 수준에 영향을 줍니다. 그러나, 그 영향은 밀도의 영향보다 적습니다.

6. 외부 온도

누출원과 경로 모두에서 주변 온도를 고려해야 합니다. 누출원의 경우 주변 온도가 밀도와 점도에 영향을 미칩니다. 이 두 가지 요인 모두 누출 위치에서 음압 레벨을 바꿀 수 있습니다. 주변 온도가 증가하면 분자 운동 에너지가 증가하여 누출 시 사운드 강도가 증가합니다.

7. 주변 압력

주변 압력은 가스의 밀도에 직접적인 영향을 미칩니다. 주변 압력이 감소하면 밀도가 낮아지게 되어 누출의 사운드 강도가 감소합니다.

8. 누출 지점 카메라에서 카메라까지의 거리
측정 거리는 측정된 음압 수준에 영향을 미칩니다. 소리가 음원에서 모든 방향으로 전파되므로 사운드의 강도는 거리에 따라 약해집니다.

9. 주변 온도

주변 온도가 바뀌면 가스의 밀도와 점도가 모두 바뀔 수 있습니다. 반대로 두 가지 모두 매체를 통과하면 사운드 속도에 영향을 미칩니다. 온도가 증가하면 소리가 더 빠르게 이동합니다. 주변 온도 변화는 대기에서 흡수되는 음향 에너지의 양에 영향을 주는 메커니즘 중 하나입니다. 낮은 주파수와 짧은 거리의 경우 공기의 음향 흡수에 온도가 미치는 영향은 무시할 수 있습니다(Harris, 1966). 그러나, 매우 높은 주파수와 먼 거리의 경우 음압은 눈에 띄게 감소할 수 있습니다(Vladišauskas and Jakevičius, 2004).

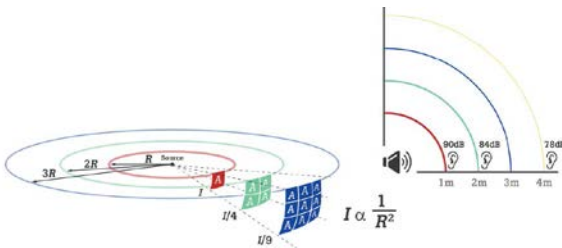
10. 습도

공기 흡수로 인한 음압 수준에 영향을 미치는 두 번째 메커니즘은 습도입니다. 주변 온도가 영향을 미치기 때문에 정상적인 상태에서 음압 수준에 대한 습도의 영향력은 무시할 수 있습니다(Harris, 1966). 매우 높은 주파수와 높은 습도 수준일 경우 그 영향력은 확인합니다(Vladišauskas and Jakevičius, 2004).

11. 주변 압력

공기 밀도와 가스 압력은 둘다 비슷하지만 음속에는 역효과를 일으키므로, 주변 압력은 이상적인 가스 근사치의 음압 수준에 영향을 미치지 않습니다. 두 가지의 기여 요소가 상쇄됩니다. 따라서 누출 위치의 음압 레벨과 주변 압력으로 인한 측정 위치 간에는 차이가 없는 것으로 예상됩니다.

경로 요인 및 대기 효과



음원과 자유장 측정 위치 사이의 거리를 두 배로 늘리면 음 강도가 6dB씩 감소합니다.

ii900/ii910은 어떤 누출 속성을 측정합니까?

i900/ii910은 누출 유형을 알려주 입력된 음향치를 기준으로 누출의 유속을 추정합니다. 누출 유형 분류 및 유속 예측 알고리즘을 개발하기 위해 연구실에서 일련의 실험을 설계 및 수행했습니다.

ii900/ii910의 누출 유형 분류

ii900 및 ii910은 다음 사항이 발생하는가에 따라 캡처된 음향 누출 데이터를 발생 위치에 따라 분류합니다. 호스, 오픈 엔드, 빠른 연결, 나사식 커플링 4가지 등급, 4가지 누출 유형이 압축 공기 튜브 시스템 끝에 설치되었고, 반무향식 챔버에서 음향 측정을 수행했습니다. 실험 설정의 두 가지 예가 그림 3 및 4에 나와 있습니다. 실험을 위한 네 가지 누출 조건을 형성한 피팅이 그림 5에 나와 있습니다.

1. **호스:** 호스는 튜브 연결을 쉽게 할 수 있는 유연한 튜브입니다. 그러나 금속과 황동 파이프와 달리 훨씬 민감한 재질입니다. 따라서 공기 압축기를 공급 장치에 연결하는 호스에는 특정한 찢어짐이나 구멍이 쉽게 생길 수 있습니다. 분류 및 유속 예측을 위한 호스 누출에 대한 음향 데이터를 캡처하기 위해 호스를 가늘고 길게 잘라 누출을 만들었습니다(그림 3 및 그림 5a).
2. **오픈 엔드:** 오픈 엔드 튜브 또는 오픈 오리피스는 과학 연구에 사용되는 가장 일반적인 누출 유형입니다(참조). 압축 공기 시스템의 튜브/파이프 섹션이 열려 있을 때 발생합니다. 오픈 엔드 튜브는 ii900의 개발 단계에 걸쳐 분류 및 유속 예측 실험에 사용되었습니다(그림 4 및 그림 5b).
3. **빠른 연결:** 빠른 분리 또는 빠른 릴리스 커플링이라고도 하는 빠른 연결 피팅은 쉽고 빠르게 연결할 수 있습니다. 빠른 연결 피팅은 한 방향으로 미끄러지는 경사에 의지하고, 반대 방향으로 당길 때는 저항이 있습니다. 일반적으로 이러한 내부 경사 중 하나 이상이 손상되면 빠른 연결 피팅을 통해 압축 공기가 누출됩니다. 공기가 피팅 주위에 퍼지고, 압축 공기의 누출 방향은 각 변형에 따라 달라집니다. 변형된 빠른 연결 피팅은 ii900/ii910의 분류 및 유속 예측 알고리즘 개발 중 음향 측정에 사용되었습니다(그림 5c).
4. **나사식 커플링:** 일반적으로 압축 공기 시스템의 끝점에는 나사식 엔드 캡을 사용합니다. 나사식 엔드 캡은 엔드 튜브로 밀어야 하는 나사산의 수를 고려하여 조심스럽게 배치하고 올바르게 조정해야 합니다. 때로 엔지니어는 이러한 끝 단면이 풀리도록 할 수 있습니다. 또한 나사식 엔드 캡은 여러 번 사용할 경우 변형될 수 있습니다. 이러한 경우 압축 공기가 엔드 캡을 통해 누출되어 시스템 효율성이 떨어집니다. 실험에서 누출 소스로 느슨하게 장착된 나사식 엔드 캡을 사용했습니다(그림 5d).



그림 3: 호스 누출 유형은 30도 각도로 측정됩니다.

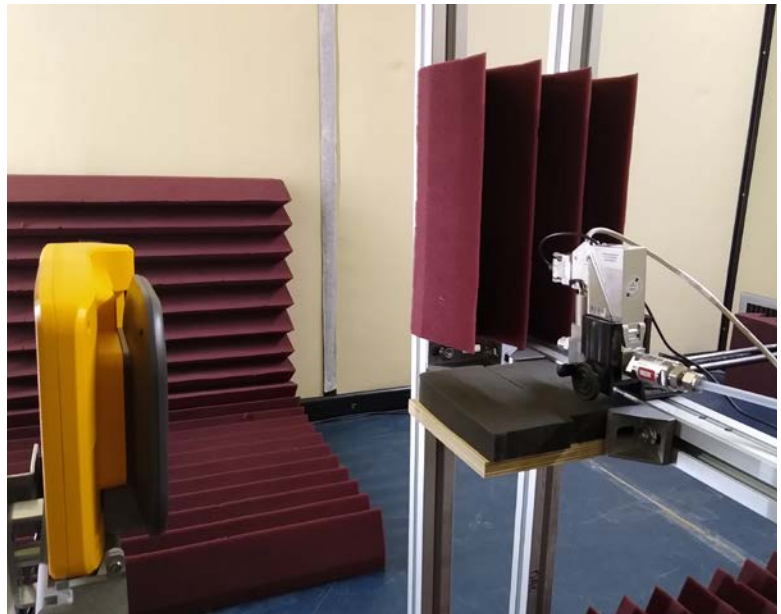


그림 4: 90도 각도에서 오픈 엔드 누출 측정으로 실험 설정



그림 5: 실험 중에 조사한 네 가지 누출 유형은 호스(a), 오픈 엔드(b), 빠른 연결(c), 나사식 커플링(d)입니다.

누출율 정량 지수

ii900/ii910은 캡처된 음향 데이터를 기반으로 누출 위치에서 유속을 추정합니다. 유속 알고리즘은 반무향식 챔버에서 수행된 실험실 측정 결과를 토대로 설계되었습니다. 각 누출 유형의 다양한 음향 특성으로 인해 각 누출 유형에 대해 하나의 유속 예측 알고리즘이 있습니다. 따라서 유속 예측 알고리즘은 분류 단계 이후에 작동합니다.

그런 다음 누출 유형의 예상 유속이 누출율 정량화 (LRQ) 지수로 변환됩니다. LRQ는 0에서 10 사이의 값을 가집니다. LRQ 값이 높을수록 누출 위치에서 유속이 더 높음을 나타내며 수리 제안으로 간주될 수 있습니다.

결론

ii900/ii910은 효율적인 주파수 범위와 사용자 친화적인 휴대용 장치 솔루션을 제공하여 누출 감지의 어려움을 보상하고 정량화를 시도합니다. LRQ 기능은 압축 공기 시스템의 효율성을 유지하는 데 매우 중요하며 보고 기능은 유지 관리 엔지니어 간의 통신 속도를 향상시킵니다.

참조

Eret, P., & Meskell, C. (2012). 산업용 압축 공기 시스템의 누출 감지 도구로 사용되는 마이크 어레이 음향 및 진동의 발전, 2012.

Harris, C. M. (1966). 공기 대 습도 및 온도에 대한 소리 흡수. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 40(1), 148-159.

Holstein, P., Barth, M., & Probst, C. (2016). 누출 감지 및 조임 시험을 위한 음향 방법 제19회 세계 비파괴시험 컨퍼런스 보고서 모음집(p. 13-17).

Vladišauskas, A., & Jakevičius, L. (2004). 공기 중 초음파 흡수 *Ultragarsas*, 50(1), 46-49.

Wolstencroft, H., & Neale, J. (2008). 공기 중 초음파를 사용한 압축 공기 누출 특성화 음향에 대한 연구 보고서(AAS'08).

Fluke. *Keeping your world up and running.*®

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

Fluke Korea
서울특별시 강남구 영동대로 517,
10층 1002호
(삼성동, 아셈타워)

(주)한국플루크 Fluke Korea
Tel.02.539.6311
(주)한국플루크 대구지사
Tel.053.382.6311
www.fluke.co.kr

©2020-2021 Fluke Corporation.
사양은 예고 없이 변경될 수 있습니다.
2021년 06월 210581-ko

이 문서의 수정은 **Fluke Corporation** 의 서면 허가
없이 허용되지 않습니다.