

## 누설 검사의 이모저모(Ⅲ)

Leak Testing(Ⅲ)



朱昇煥<sup>\*1</sup>  
Choo, Seung Hwan



朱光泰<sup>\*2</sup>  
Joo, Gwang Tae

이 글은 본지의 지난 호에 소개된 바 있는 앤더슨 박사님의 논문을 번역한 내용 중에서 마지막 부분입니다. (역자)

### 수량 손실에 의한 압력 시스템의 누설 검사

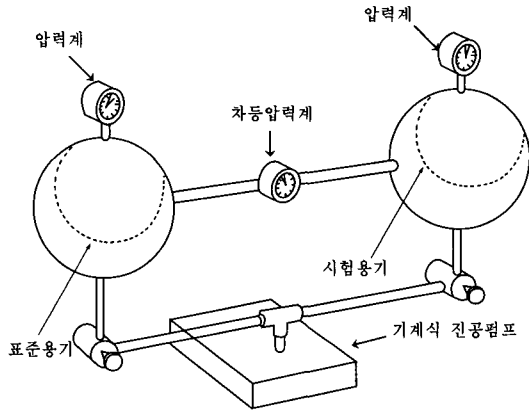
한 용기에서 새는 유체의 손실량을 측정하는 것은 누출이 일어났던 사실을 입증하는 하나의 수단이다. 유체의 손실을 측정하기 위하여 어떤 용기를 저울질하는 것은 오직 그 용기의 크기가 적당하여 적절한 잣대로 가늠할 수 있어야 실제로 응용할 수 있다. 이 방법의 감도와 정확도는 그 잣대의 감도와 정확도로 한정된다: 일반적으로 그 용기의 무게가 견줄 수 없다든지 또는 용기의 내용물의 무게보다 적다면, 이 방법은 만족스럽지 않다.

### 차압 방법(Differential-Pressure Method)

기체 손실량은 차압 방법에 의하여 측정될 수 있다. <그림 12>에서 보였듯이, 이것은 두 개의 같은 용기들 사이에 한 차압 게이지를 함께 연결하여 측정될 수 있다. 차압 게이지들은 작은 압력 차이들에 민감하다: 그러므로, 만일 두 개의 용기들이 같은 주변 조건들로 유지된다면, 40 MPa(6 ksi)까지 올라간 압력에서 동작하는 시스템에서는  $10^{-4}$  atm cm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> 만큼이나 작은 누설들을 측정할 수 있다. 이 방법의 근본적인 강점들은 온도 효과들이 크게 상쇄되어 실제 작업 유체가 쓰일 수 있다는 사실이다.

\*1 방사선관리기술사, 공학박사(원자력공학), 한국자원연구소 자원탐사부 책임연구원, 본회 홍보위원.

\*2 비파괴검사기술사, 이학박사, 고려공업검사(주) 전무이사.



〈그림 12〉 검사하는 용기에서 누설들의 위치를 지정하기 위하여 한 기준 용기와 검사 용기 사이에 한 차등-압력 게이지의 이용을 보여주는 모식도

### 압력 시스템들의 가시 누설 검사(Visual Leak Testing)

누설들을 찾으려고 액체로 채운 용기를 점검하는 가장 단순한 방법은 시각적인 관찰이다. 듣기와 냄새맡기처럼 이 방법은 액체로 채운 용기들에서 큰 누설을 찾는 신속하고 단순한 검사 방법이다.

시각(vision)은 단일 개체라도 보는 관점에 따라서는 하나의 변덕스러운 일용품이고, 여러 개체들의 관점에서는 더한층 변할 수 있다. 이것은 두뇌와 신경 계통에서 변화뿐만 아니라 눈에서도 변화가 있을 수 있기 때문에 광학적 분해능(optical resolution)과 색깔 인식(color perception) 양쪽에 영향을 준다.

#### 광학 보조기구들

거울, 렌즈, 현미경, 보아스코오프(borescope), 섬유 광학기(fiberoptic) 그리고 확대경과 같은 시각 보조기구들은 작은 불연속 점들(틈들)을 확

대시켜 사람의 시력 한계를 보충한다. 예컨대, 보아스코오프는 속이 빈 튜브들, 챔버들의 내부, 그리고 기타 내부 표면들에 대한 직접 가시 검사를 가능케 한다.

### 정수압 누설 검사(Hydrostatic Leak Testing)

정수압 누설검사는 한 부품이 물과 같은 액체로 완전하게 채워져야 한다. 시험 유체로써 탈염수(증류)된 물을 이용하는 가시 검사의 정상적인 감도는  $10^{-2} \text{ atm cm}^2 \text{ s}^{-1}$  이다. 그러므로 단지 크게 갈라진 곳들이 이 방법으로 드러나게 된다.

시험의 감도는 다음을 추가하여 개선될 수 있다:

- 작은 누설과 접촉되었을 때, 외부에 따라붙어 색을 변하게 하는 일종의 수성 현색제(water developer). 이 방법은 오래된 흰물법(lime wash method)을 대체한 것이며, 보이게 하기 위하여 많은 양의 물을 누수케 하였다.
- 물의 표면 장력을 줄거나 가시 또는 형광 추적자를 제공하는 농축물(concentrate).

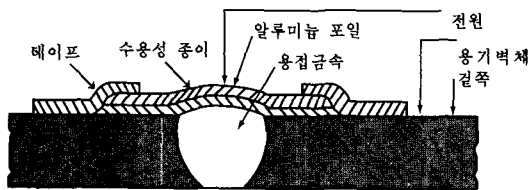
정수압 시험은 적절하게 수행될 때, 대규모의 시험 대상 물체들에 관한 일종의 액체 침투 누설 시험을 적용한 것과 같은 감도를 달성할 수 있다. 침투 시험은 대표적인 전자 부품들의 용적들에 두 승수 크기로 민감하다.

정수압 시험의 최근 변화는 스탠드 파이프 시험(stand pipe test) 이다. 그 방법은 지하 저장 탱크들에 있는 누설들을 검출하는데 쓰인다. 이 시험에 저장 탱크는 넘쳐나게 채워지고, 액체의 레벨은 지상의 액주 또는 스탠드 파이프의 기준

으로 감시된다. 이 방법은 아주 효율적인 것은 아니지만 감도는  $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ atm cm}^2 \text{ s}^{-1}$  사이다.

#### 알루미늄 포일로 된 수용성 종이에 의한 검출

물의 누출을 검출하는 또 하나의 방법은 수용성 종이의 넓은 스트립(strip; 길고 얇은 조각) 위에 겹쳐 놓은 알루미늄 포일인 스트립을 이용한다. <그림 13>에서 보여준 것과 같이 그 스트립들은 물로 채운 용기의 용접 이음매 위에 덮힌다. 만일 누설이 있다면, 수용성 스트립은 용기와 전기적으로 접촉이 된다. 대응하는 저항 변화는 누설이 있는 곳을 지시한다.



<그림 13> 이음매(seam)에서 누설들의 위치를 지정하는데 쓰인 수용성 종지와 알루미늄포일의 스트립(strip)들을 보여주는 물로 채운 한 용기의 용접된 단면

#### 액체 침투제(Liquid Penetrant)들

누설 검사에 알맞은 가시 액체 침투제의 이용은 단지 검사되는 품목의 배치에 의하여 다소 제한될 뿐이다. 또 다른 이점은 이 방법이 마감된 용기를 완성하기 이전에 소조립(subassembly)에서 쓰일 수 있다. 만일 침투제가 역으로 재료에 영향을 주지 않는다면, 침투제를 쓰는 누설 검사는, 제일철, 비철 그리고 비철금속 재료들 모두에 적합하다. 이 방법에 의한 누설 검사는 가해진 응력과 연합 보증검사 요소들이 중요할 때는 압력 시험으로 대체될 수 없다.

액체 침투제는 설계의 정상적인 특징인 모서

리들 또는 끝 부분 또는 구멍 또는 통로들을 거쳐서 지나가는 반대쪽 표면에 침투제가 닿지 않게 완벽한 적용 범위가 확보되게 놓여야 함은 당연하다. 시험 기간 중에 건조되는 것을 방지하기 위하여 충분한 양의 침투제를 시험체 표면에 칠해야 한다. 그 침투제를 칠한 후 곧바로 현색제는 반대 표면에 놓여야 된다. 현색제는 반드시 모서리들 또는 끝 부분에서 또는 설계된 구멍들 또는 통로들에서 흘러 내리는 침투제와 접촉하지 말아야 시험 결과들이 유효하다.

만일 가시 액체 침투 시험에서 얻은 감도보다 더 큰 것이 바람직하다면, 액체 형광 침투제를 써서 감도를 대개 100 배 높일 수 있다. 누설 검사에서 액체 침투제의 이용에 관한 추가 정보는 이 책에 실린 논문 "액체 침투 검사"에서 손쉽게 얻을 수 있다.

#### 연기 bombe들과 촉광들(Smoke bombs and Candles)

연기 bombe들과 촉광들은 누설 검사에 쓰일 수 있다. 대체로 시험되는 면적보다는 5~6 배나 더 큰 용적을 채울 충분한 연기 용적이 한 번의 연기 시험에 필요하게 된다. 보일러들 그리고 압력 용기들과 같은 중간 크기 용적들은 모든 통기구(vent)들을 막고 연기 캔들 또는 연기 bombe를 발화시켜 그것을 그 용기 속에 놓아 시험할 수 있다. 모든 열린 부분을 막아야 하는 것은 당연하다. 대개는 연기들의 탈출이 이 방법의 감도 안에서 어떤 누설들을 지정한다. 용적이  $2,800\text{m}^3(100,000 \text{ ft}^3)$  이상인 보일러들과 비슷한 설비들을 검사할 때 종종 공기 압력을 주는 것이 바람직하다.

연기를 만들어 내는 캔들은 30초 안에는 110

m<sup>3</sup>(4,000ft<sup>3</sup>)의 연기를, 2~3분 안에 3,700m<sup>3</sup>(130,000ft<sup>3</sup>)를 공급할 수 있다. 그 연기는 흰색에서 회색으로 변한다. 연기는 화학 반응으로 발생되며, 어떤 폭발성 물질들이나 독성도 들어있지 말아야 한다.

### 진공 시스템의 누설 검사

진공 시스템들은 내부적으로 가압되고 있다기 보다는 대개는 배기된 조건에서 검사되고 있다. 어떤 누설들, 특히 작은 누설들은 방향성이 있기 때문에 조작하는 방향에 따라 흐르는 누출로써 시험하는 것이 바람직하다.

#### 시스템 안에 추적자 가스의 끼워 넣기

추적자 가스가 쓰일 수 있는 두 가지 방법들이 있다. 하나는 그 용기의 외곽 표면을 추적자 가스로 뿌려 프로우브로 추적하여 누설의 검출과 위치 지정 양쪽을 하는 것이다. 다른 하나는 누설률을 검출 내지는 측정할 양쪽을 강체(rigid) 아니면, 유연성 둘러막이의 이용으로 추적자 가스의 육조 안에 전체 검사 용기(또는 그의 특수 부분)를 둘러싸기 하는 것이다. 교정은 진공 시스템 안으로 일정 양의 추적자 가스를 주입 또는 그 시스템에 교정 누설계를 부착하여 이루어진다.

헬륨은 가장 흔히 쓰는 추적자 가스들 중의 하나이며, 그 까닭은 다음과 같다:

- 근본적으로 불활성이고 안전하다.
- 작은 분자 크기이므로 아주 작은 누설들을 꿰뚫고 흐를 수 있다.
- 확산률이 높다

- 질량 분석계로 쉽게 검출된다.

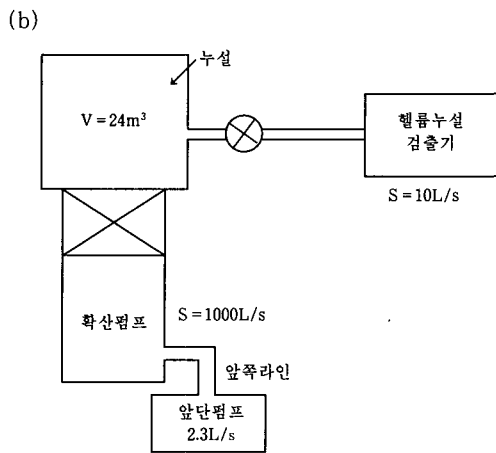
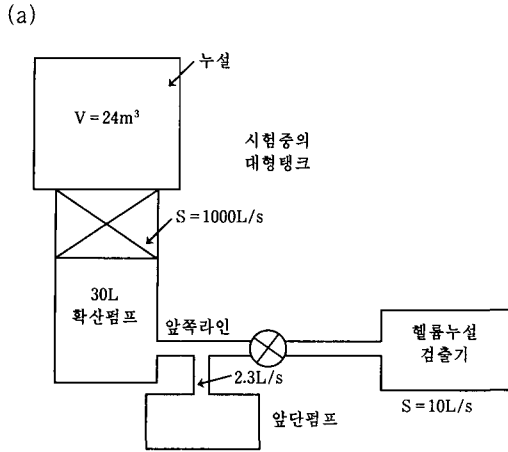
어떤 진공 시스템을 검사함에 있어 가장 작은 누설들이라도 그 시스템이 달성될 수 있는 극한 진공에서는 작은 누설들이 영향을 미치기 때문에 중요하다. 따라서 가장 민감한 검사법 - 헬륨 질량 분석계와 조합을 이룬 헬륨 추적자 가스 - 이 표준으로 쓰인다.

누설들의 검사를 하기 위한 그러한 시스템을 조작하기에 앞서 높은 진공 그리고 시스템의 확실한 특성들은 반드시 인식되고 이해되어야만 한다. 이들 특성들은 아래에서 요약하여 설명한다.

**추적자 - 가스 확산률**은 변화가 심하고 쓰이는 가스의 유형과 그 시스템의 배치에 달려있다. 헬륨과 수소처럼 그러한 기체들의 확산률들은 일반적으로 프레온 가스들의 확산률보다 8~9 배나 높다.

#### 질량 분석계들의 부속 장치

만일 소규모 시스템들이 시험되고, 그리고 누출이 적다면, 질량 분석계들은 진공을 유지하기 위하여 펌핑 시스템과 연결하여 쓰인다. 대규모 시스템들에는 그 시스템이 시험되고 있는 동안 앞단 기계식 진공 펌프로 뒷받침되는 확산 진공 펌프 시스템을 가동할 필요가 있다. 대개 질량 분석계는 당연히 앞단 펌프와 병렬로 확산 펌프의 앞쪽 라인에 부착될 것이며, 시험 용기에는 부착되지 않는다.<그림 14a> 이런 방식에서 질량 분석계는 다음에 따라 질량 분석계의 펌핑 속도와 앞단 펌프의 펌핑 속도에 비례하는 추적자 가스의 양을 받아들인다:



〈그림 14〉 대규모 용적의 진공 누설 검사에 알맞은 펌핑 배열에서 정당한 연결(a)과 정당하지 아니한 연결(b)의 모식도

$$T_G = \frac{100 S_1}{S_2 + S_1} \quad \langle \text{식 8} \rangle$$

여기서

$T_G$ 는 질량 분석계 안으로 흐르는 총추적자 가스 누출의 백분율

$S_1$ 은 질량 분석계의 펌핑 속도

$S_2$ 는 앞단 펌프의 펌핑 속도이다.

만일 질량 분석계가 검사 용기에 직결된다면, 분석계 펌핑 속도가 일반적으로 진공 챔버 확산 펌프들의 속도보다 훨씬 낮기 때문에 단지 적은 양의 추적자 가스만이 잡힌다(그림 14b). 반대로, 질량 분석계가 확산 펌프 앞쪽 라인에 연결될 때, 배기된 가스의 압착은 앞쪽 라인에서 기체의 총압력을 올려서 차례차례 라인 안에 추적자 가스의 부분 압력이 올라가서, 그 용기로부터 직접적으로 감지되는 것보다도 검출하기에 더욱 적합하게 만든다. 하지만, 만일 그 시스템이 시종 일관 작은 규모라면, 그 시스템의 확산 펌프들과 러핑 펌프(roughing pump)들은 밸브가 닫혀질 수 있고 또는 질량 분석계 펌프들에 의하여 잇달게 되어 차례로 바람직한 진공을 유지한다.

### 시스템 재료들과 청결성(Cleanliness)

진공 시스템과 누설 검사 시스템 양쪽은 당연히 아주 깨끗한 상태를 유지해야 할 것이다; 그렇지 않으면, 기체 방출 오염은 시스템 진공을 떨어지게 한다. 적절한 재료들은 반드시 추적자 가스의 장애물을 줄이게 선택되어야 한다; 유리 또는 스테인레스 스틸이 추천된다. 밀봉을 하기 위하여 그리스 피막들과 고무 사용은 이들 재료들이 쉽게 헬륨을 흡수, 그 후에 그것을 서서히 방출하여 높은 백그라운드를 나타내기 때문에 최소의 양을 이용해야만 할 것이다.

### 온도와 추적자 가스의 농도

누설 검사를 하는데 있어서 온도는 검사되는 품목의 적절한 예상 작업 온도에서 가능한 일정하게 지속되어야 하는 것은 당연하다. 또한 추적자 가스 농도는 충분한 검출기 응답을 보증하기

위하여 가능한 만큼 높아야 한다.

### 진공 누설 검사법들

진공 시스템의 누설 검사에 알맞게 가장 보편적으로 쓰이는 설비는 압력계(manometer)들, 할로겐 검출기(halogen detector)들, 질량 분석계(mass spectrometer)들, 이온화 게이지(ionization gage)들, 열 전도도 게이지(thermalconductivity gage)들, 잔류 가스 분석기(residual gas analyzer)들, 부분 압력 분석기(partial pressure analyzer)들, 그리고 기체 크로마토그래프(gas chromatograph)들을 부분적으로 포함한다. 이 설비를 써서 하는 방법들은 <표 3>에 나열되어 있다. 진공과 압력 시스템들 양쪽에 쓰일 수 있는 방법들은 이 논문의 “특수 기체 검출기들을 이용한 압력 시스템들의 누설 검사”에서 자세하게 논의되고 있다.

### 압력계들

진공 중인 시스템들에서 새는 누설들의 검사는 그 시스템 위에 설치된 압력계들을 관찰하여 수행될 수 있다. 비록 압력계들이 어떤 누설의 위치를 지정하는데 정규 누설 검출기로서의 유효성은 없을지라도, 얼마 정도의 누설 지시는 될 수 있다. 대부분의 진공 게이지들이 추적자 가스의 존재를 그들의 눈금으로 재연 또는 변경시키기 때문에 그 진공 시스템의 개별 부분들 위에 추적자 가스를 뿌리면, 게이지 반응을 일으켜 어느 정도의 누설 위치를 지시한다. 그 위치는 시스템의 여러 부분들을 분리시켜 게이지 응답을 관찰하여 대충 정해질 수 있다. 그 시스템에서 어떤 누설의 일차 증거는 그 시스템의 배기에

바탕이 될 과거의 기록 또는 썸이 된 시간 안에 예정된 압력 수준을 달성하지 못하는 것이다. 하지만, 반드시 주의할 점은 그 시스템 안에 존재할지도 모르는 다른 기체의 부하(겉보기 누설)들이다. 이들 기체 부하의 근원은 물, 챔버 표면과 검사 품목들의 기체 방출과 같은 시스템의 오염 물질들, 그리고 막혀진 O-링의 홈통처럼 둘러싸인 지점들의 기체 방출 등이다.

0.13 mPa( $10^{-6}$  토르)의 압력 변화 감도를 가진 압력 변화 게이지들은 진공 응용들에 알맞게 쓰인다. 이온 게이지들은 1.3 pPa( $10^{-14}$  토르)까지 측정이 가능하며, 압력 변화들을 측정하는데 쓰일 수 있다. 모든 압력 변화 방법들에 대한 감도는 시간에 의존한다. (즉, 시간 단위마다 질량이 변화한다); 그러므로 검사시간이 길면 길수록 그 방법의 감도는 더욱 좋아진다.

### 할로겐 검출기들

열 양극 할로겐 검출기들도 진공 시스템에 쓰일 수 있다. 특수한 연결관을 써서 그들은 0.13 Pa( $10^{-3}$  토르)까지 내려서 쓸 수 있다. 누설들은 극히 적게 가한 추적자 가스를 이용하여 검출된다.

### 질량 분석계들

이들은 진공 시스템에서 누설 검출기들로서 쓰기에는 아주 적절하며, 그 까닭은 질량 분석관에서는 반드시 진공을 유지해야 하기 때문이다. 또한 질량 분석계들은 대개 내장된 진공 펌프 시스템에 직접적으로 연결될 수 있다. 가장 일반적으로 쓰이는 것은 헬륨 질량 분석계들이다. 헬륨으로 그 시스템의 외부 표면을 뿌리기 또는 둘러싸기를 하므로써 누설들이 검출된다.

**이온화 게이지들**

진공 시스템에서 압력 변화 기구들에 의하여 누설들을 검출하는데 덧붙여, 이온화 게이지들은 지정된 추적자 가스들의 존재를 검출하는데 쓰일 수 있다. 게이지를 거쳐서 이동하는 개별 기체는 틀리게 이온화를 하기 때문에, 같이 흐르는 다른 기체들은 별도의 눈금을 나타낸다. 분자 또는 층 흐름들에 알맞은 누설률은 꿰뚫는 추적자 가스에 대한 응답으로써 이온화 게이지의 읽기 눈금 수와 관계될 수 있다:

$$Q_a = \Delta R S_a (\sigma - 1) \quad (\text{분자 흐름}) \quad \langle \text{식 9} \rangle$$

$$Q_a = \Delta R S_a (\sigma \nu / \mu - 1) \quad (\text{층 흐름}) \quad \langle \text{식 10} \rangle$$

여기서

$Q_a$ 는 공기의 흐름(초마다 토르 리터)

$\Delta R$ 는 이온 게이지 읽기 눈금 수의 변화(토르)

$S_a$ 는 배기하는 펌프 속도(초마다 리터)

$\sigma$ 는 게이지의 감도 계수

$\nu = \eta_a / \eta_t$  (여기서  $\eta_a$ 는 공기의 점성도이고  $\eta_t$ 는 추적자 가스의 점성도)

$\mu = (M_a / M_t)^{1/2}$  (여기서  $M_a$ 는 공기 분자의 무게이고,  $M_t$ 는 추적자 가스의 무게이다).

몇몇 기체들에 대한 이온화 게이지들에 알맞은  $\sigma$  그리고 기체의 계수들( $\sigma - 1$ )과 ( $\sigma \nu / \mu - 1$ )의 값들은 다음과 같다.

기체	기체의 계수		
	$\sigma$	$(\sigma - 1)$	$(\sigma \nu / \mu - 1)$
헬륨	0.17	-0.83	-0.93

아르곤	1.3	0.3	0.85
이산화탄소	1.4	0.4	0.4
수증기	0.9	-0.1	-0.72
탄화수소	3-10	2-9	1-10
수소	0.5	-0.5	-0.94

진공 시스템의 외부 표면 위에 추적자 가스를 뿌려 이온화 게이지 응답을 관찰하여 누설들을 위치 지정할 수 있다. 게이지 읽기는 마이너스 기체의 계수 값을 가진 기체들이 있는 곳에서는 내려갈 것이며, 플러스일 경우는 당연히 올라간다.

팔라듐-장벽 게이지는 개량된 이온화 게이지이며 이온 챔버의 전면에 팔라듐 장벽이 있다. 수소는 가열된 팔라듐을 침투해서 이온 챔버 속으로 들어 갈 수 있는 유일한 기체이기 때문에 하나의 추적자 가스로 쓰인다.

**열 전도율 게이지들**

어떤 기체의 열 전도율은 기체의 평균 자유 행정 함수이다; 그러므로 가열된 필라멘트 위를 지날 때, 그 기체의 열 전도율을 측정하는 게이지들은 진공을 지시한다. 피라니 게이지를 포함하여 몇몇 유형들의 게이지들을 이용할 수 있다.(이 논문에서 "추적자 가스 없이 압력 시스템의 누설 검사"에서 열 전도율 게이지 논의 참고)

**가스크로마토그래프들**

이들은 진공 펌프가 달린 진공 시스템으로부터 이끌어낸 가스의 한 시료를 어떤 냉각 트랩에 응축시킴으로써 진공 시스템에서 누설 검출기들로서 쓰일 수 있다. 냉각 트랩은 그 후에 밸브들이 달린 진공 시스템에서 분리되고, 그리고는 얼어붙은 기체는 그 트랩을 데워 크로마토그

래프로 방출된다. 이 기구의 감도는 기본적으로는 냉각 트랩 안으로 이끌린 시료의 용적에 의하여 제한을 받게 되며, 그 용적은 기체가 냉각 트랩으로 이끌린 시간 길이에 비례한다.

잔류 기체 분석기들과 부분 압력 분석기들은 질량 분석계 누설 검출기들에 대한 작동 원리와 비슷하다. 그들은 기구에 유입되는 시료 안에 들어있는 모든 기체들의 분자 봉우리(peak)들을 주사할 수 있는 이점도 있다. 이것은 누설 검사 작업자에게 그 시료가 유력한 누출인지 또는 시스템 표면들, O-링들, 그리고 세척 시약 잔류물에서 오는 오염 물질인지의 여부에 관한 정보를 준다. 그들은 어떤 일체식 펌프 시스템을 갖추지 못한 단점도 있다. 만일 그들이 누설 검출과 위치 지정에 쓰이기로 되어 있다면, 그들은 합리적인 어떤 응답 시간을 얻기 위하여 반드시 시험되고 있는 시스템 위의 한 펌프 시스템에 편들게 설치되어야 한다.

### 최적화 누설 검사법을 선정하기

누설 검사법의 선택을 결정하는 세 가지 주된 요소들은:

- 시스템의 물리적 특성들과 추적자 유체
- 추정된 누설의 크기
- 검사를 수행할 까닭(즉, 한 누설의 위치 지정 또는 검출하기 또는 어떤 누설률을 측정하기)

### 시스템과 추적자 유체 특성들

시스템의 물리적 특성들은 누설 검출 방법들의 선택에 큰 역할을 한다. 만일 기체이거나 액체이든 어떤 유체가 이용된다면, 그것은 반드시

검사 품목 또는 시스템 부품들과는 반응하지 말아야 한다. 일반적인 품목 또는 시스템 부품들은 당연히 실제 작업 유체를 써서 누설 시험이 될 것이다. 이것은 추적자 유체의 누출로부터 작업 유체 누출로 전환하여 발생될지도 모르는 어떤 착오들을 없앤다. 작업 유체 누출이 일어나지 않을 동안, 추적자의 유체 누출이 일어날 가능성도 있으며, 그리고 그 반대일 수도 있다.

만일 추적자 가스가 쓰이게 된다면, 당연히 그 가스의 특성을 고려할 것이다. 대부분의 경우, 높은 확산률을 가진 수소와 헬륨과 같은 작은 분자 크기인 기체들이 바람직하다. 한편, 추적자 가스로 채워진 용기의 표면을 프로우빙할 때, 지속성 가스 또는 낮은 확산률을 가진 기체를 이용하는 것이 바람직하다. 지속성 가스는 누설 부위에 더 오래 머무를 것이며, 추적자 가스의 농도를 증가시켜 누설 검출과 위치 지정이 쉽다.

### 누설 크기

방법과 기구는 반드시 그 누설의 크기에 맞추거나 또는 반응을 잘 일으켜야 한다. <그림 15>에 나타난 것은 몇 가지 누설 검출기들 또는 누설 검출방법들의 근사적인 작동 구간들이다. 만일 누출이 너무 크다면, 누설 검출기는 수렁에 빠지게 된다. 검출기가 폴스케일로 가서 누출 근원에서 이동되기까지는 거기에 머무를 것이기 때문에 이것은 규칙대로 자명하다. 하지만 어떤 인화성 기체 검출기들은 높은 농도의 누출에서도 그의 눈금은 영(0)을 표시할 수 있을 것이다. 예컨대, 만일 가솔린 증기의 증기 : 공기 비율이 약 1 : 9 인 공기보다 그 비율이 더욱 높다면, 비록 가솔린의 높은 농도의 증기가 있음에도 불구하고 그 혼합은 더 오래 불타지 않고 촉매







주의를 반드시 기울여야 한다.

### 누설 크기

누설 크기는 이론적으로 시스템 응답 시간에 영향을 주지 않는다; 검출기 읽기의 크기에만 영향을 준다. 하지만, 만일 누출 집적(또는 질량 손실)법의 어떤 유형이 쓰이게 된다면, 충분한 누출이 반드시 그 검출기가 반응하기 이전에 집적(또는 손실)되어야 하기 때문에 누설 크기는 응답 시간에 영향을 줄 것이다.

검출기가 응답할 가장 작은 누출은 '최소 검출 가능 누출'이란 용어이며, 알고 있는 누출에 대한 누출 검출기의 반응을 관찰하므로써 측정된다. 어떤 질량 분석계의 최소 검출 가능 누출을 셈할 때, 그 잡음과 불규칙한 백그라운드 측정률이 측정오차를 가지고 있다는 것은 당연하다. 질량 분석계 검출기 감도의 정의는:

$$S = Q / (D - B_s) \quad \text{〈식 11〉}$$

여기서

S는 감도(초마다 눈금마다 대기압 세제곱센티미터)

D는 교정된 누설에서 일어난 총 편향(눈금 단위)

Q는 교정된 누출 흐름(초마다 대기압 세제곱센티미터)

B<sub>s</sub>는 정상 백그라운드 눈금(눈금 단위)

S의 항에서 최소 검출 가능 누출(MDL)의 표현은:

$$MDL = 2(N + B_R)S \quad \text{〈식 12〉}$$

여기서

N은 시스템에서 비정상 또는 잡음으로 생긴 눈금 편향(눈금 단위)

B<sub>R</sub>은 불규칙 백그라운드 편향이다(눈금 단위)

### 추적자 가스 확산률

대규모로 열린 용기들에서 기체의 확산률은 주된 문제가 되지 않는다. 하지만, 뒤틀린 시스템들에서 어떤 조사자는 24 시간이 지나도 헬륨이나 프레온이 그 시스템 구석구석에 고루 확산되지 않는다는 사실을 발견한 적이 있다.

### 추적자 가스의 흡수와 흡착

추적자 가스의 흡수와 흡착은 그 시스템에서 지체(hang-up)의 원인이다: 그들은 또한 추적자 가스 농도를 양적으로 줄일 수 있다. 또한 침투 현상도 곤란한 점들이다. 예컨대, 헬륨은 어떤 25 mm(1 in.) 지름 O-링을 통하여 약 1 시간 안에 침투해서 그 시스템 안에서 검출 가능한 눈금을 이룬다.

**검출기의 세정 시간** (그 누설 검출기가 추적자 가스를 자신이 일소하는데 필요한 시간)은 수 초에서 수 분의 범위일 수 있다. 따라서 어떤 누설에 알맞은 탐색 작업들 사이의 시간에 영향을 미친다. 세정 시간은 항상 미터 눈금의 최대 값의 37%로 줄어드는데 걸리는 시간으로 정의된다.

### 펼핑 속도

어떤 누설 검출기가 응답 시간으로 알려진 어떤 특정한 시간, t 에서 읽어낼 최대 기울림의 63%가 나타나는 것이 확인될 수 있다. 응답 시

간은  $t = V/S$ , 여기서  $V$ 는 리터단위인 그 시스템의 용적이고,  $S$ 는 초마다 리터인 펌핑 속도이다. 펌핑 속도를 올리는 것은 응답 시간을 줄이기는하나, 최대 신호에 대응하는 감소를 가져오지는 않을 것이다. 십 배로 펌핑 속도를 올리는 것은 검출기 눈금의 편향 계수를 10으로 줄인다. 그것은 문제가 될 수 있다. 응답 시간의 썸은 그 추적자 가스가 한 누설을 검출하기 위하여 진공 중인 한 용기의 외부 표면 위에 반드시 뿌려져야 된다. 예컨대, 그 용기의 용적이 1,000 L 이고 누설 검출기의 펌핑 속도가 5 L/S 이라면, 그때 낚새채 누설 면적은 당연히 검출기가 그의 최대 값의 63%에 도달하는 약 200S(1 000/5)에 알맞은 탐지 기체로 뿌려져야 할 것이다.

### 시스템 용적

그 시스템의 용적이 크면 클수록 누출 농도는 작다. 이것은 가능할 때 그 시스템의 부분을 차단하므로써 검감될 수 있다. 누출을 트랩 하는데 쓰이는 둘러막이는 가능하면, 당연히 작아야 할 것이다. 예컨대, 만일 추적자 가스의 누출이  $10^{-5}$  atm  $\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$  이고, 검사 용적을 뺀 둘러막이 용적이 106  $\text{cm}^3$  이며, 그리고 검출기가 탐색 기체의 1 ppm을 검출할 수 있다면, 추적자 가스가 검출 가능 농도에 이르는 시간은 28 시간이 걸린다.

### 교정 누설계를 이용한 누설률 측정

누설률 측정은 한 교정된 또는 알고 있는 누설계와 함께 거의 모든 표준 누설 검출 방법으로 이루어질 수 있다. 만일 누출이 안쪽으로 있

다면, 그 용기 또는 시스템 진공 안쪽에 추적자 가스 농도에 의하여 측정될 수 있다. 만일 바깥쪽으로 누출이 있다면, 한 둘러막이 안에서 그리고 둘러막이 안의 상승 농도를 포집할 수 있다; 그 누설 위에 직접적으로 누설 검출기 프로우브를 놓고 그리고 한 흡입컵으로 둘러싼 면적일부를 격리시킴으로써 측정될 수 있다.

누출 속도를 측정할 한 누설 검사 기구를 교정하기 위하여 알고있는 누설계에 대한 응답은 반드시 확인되어야 한다. 더욱이 그 기구는 당연히 검사기간 동안 이용될 유체의 응답이 가장 작은 누출로써 교정되어야 할 것이다. 그 이유는 대부분의 검출기들은 다른 유체들에게 다르게 응답하기 때문이다. 전체 질량 또는 총흐름의 변화들을 측정하기에 알맞은 누설 검출기들은 사하중 시험(dead weight test)들, 노즐, 오리피스, 그리고 압력계들을 이용한 편리한 방식으로 교정될 수 있다. 더욱이 민감한 기체 또는 추적자 가스 검출기들은 그 시스템 안으로 알고 있는 어떤 양의 추적자 가스를 주입 또는 표준 혹은 교정 누설계들을 이용하여 교정될 수 있다.

한 표준 누설계는 작은 오리피스 또는 노즐로 된 한 기구를 조립하여 만들 수 있다; 윗흐름 압력을 일정하게 유지하므로써 그 흐름이 일정하게 된다. 다른 방법은 그 노즐 목에서 음과 속도의 흐름을 내기에 충분한 수준에서 윗흐름 압력을 유지하는 것이다. 따라서 그 누출이 윗흐름 압력에 독립적이 되게 한다. 아주 작은 교정 누설계들은 모세관을 꿰뚫는 흐름에 의하여 또는 한 격막(대개는 유리)을 꿰뚫는 침투에 의하여 제조된다. 모세관 유형은 자체에 담긴 기체 공급기를 가질 수도 또는 그렇지 않을 수도 있다. 자체에 가스 공급기를 갖지 않는 모세관-형 누설

계들에 대한 장점은 있다. 그 까닭은 비록 일정한 추적자 가스 압력이 반드시 공급될지라도, 그들 기체들의 이용에 변수가 있기 때문이다. 약  $10^{-2} \sim 10^{-7} \text{ atm cm}^3 \text{ s}^{-1}$  범위의 누설률들인 모세관을 구입할 수 있다. 특수 누설계의 크기들도 가능하다: 이들 교정 누설계들은 대개 어떤 지정된 누출에서 약 20% 범위에 맞추어 공급될 수 있다. 침투-형 표준 누설계들은 항상 헬륨인 자체 기체 공급기가 달려서 공급된다. 비록 그 격막을 꿰뚫는 흐름이 분자 흐름이라 압력에 의존할지라도 대표적인 헬륨 손실은 단지 10 년에 10% 밖에 되지 않는다. 이들의 헬륨 누설계들은  $10^{-6} \sim 10^{-10} \text{ atm cm}^3 \text{ s}^{-1}$  범위의 흐름을 가진다.

### 누설 검사에서 흔한 잘못들

누설 검사에서 부딪히게 되는 가장 흔한 잘못들은:

- 너무 민감한 방법들의 이용
- 하나의 누설 검사 방법만을 이용
- 누설 주변의 환경 조절 실패

큰 누설들이 있는 장소에서는 민감한 방법들을 쓸 수 없기 때문에 누설 검사는 당연히 큰 누설 검사로부터 시작하여 더 민감한 방법들로 이어지는 두 단계 또는 더 많은 단계들에 따라 수행되어야 할 것이다. 이런 절차는 시간과 돈 양쪽을 절약한다.

누설 주변 환경의 조절은 쓰이는 시험 방법에 의존할 절차 단계에 속한다. 만일 한 추적자 가스가 쓰이고 있다면, 한 누설로서 잘못 보고 될지도 모르는 추적자 가스에 의한 오염을 방지하

기 위하여 대기의 공기는 반드시 규제되어야 한다. 만일 음파 또는 초음파 방법이 이용된다면, 백그라운드 잡음이 반드시 규제되어야 한다. 만일 작은 누설들이라면, 공기에 섞인 오염물질들은 일시적으로 그 누설을 막는 원인이 될 수도 있다. 예컨대, 한 분자 누설에 관한 호흡작용은 한 번 들이쉬는 숨에 섞인 수증기 때문에 막힐 수도 있을 것이다. 공기에서 특정 물질은 한 누설을 막는다든가 또는 부분적으로 막을 수도 있다. <표 5>는 산업 생산품들의 다양성에 알맞은 누설 내밀성 기준들의 차이들이 나열되어 있다.

<표 5> 여러가지 생산품들에 알맞은 누설 내밀성 규정들

Leak testing term	Vessel or part (material contained)	Minimum detectable leakage rate, std cm <sup>3</sup> /s
Large -----	Truck (gravel)	$1 \times 10^3$
	Hourglass (sand)	$1 \times 10^2$
	Car window (air)	$1 \times 10^{-1}$
Gross -----	Truck (oil)	$1 \times 10^{-2}$
	Bucket (water)	$1 \times 10^{-3}$
	Storage tank (gasoline)	$1 \times 10^{-4}$
Small -----	Pipeline (gas)	$1 \times 10^{-5}$
	Tanker (liquified natural gas)	$1 \times 10^{-6}$
Fine -----	Storage tank (NH <sub>3</sub> )	$1 \times 10^{-8}$
	Heart Pacemaker (gas)	$1 \times 10^{-8}$

<참고 문헌>

1. Leak Testing, in Nondestructive Testing Handbook, R. C. McMaster, Ed., Vol 1. 2nd ed., American Society for Nondestructive Testing, 1982
2. Encyclopedia of Materials Science and Engineering, Vol 4, MIT Press. 1986

▣ 우리글 용어는 다음을 참고했음

과학기술용어집, 과총회편, 아카데미서적사, 1988.

비파괴검사용어사전, KSNT편, 1996.

KS규격 A 083-1989 : JIS Z 8754-1988의 번역

(원고 접수일 1997. 7. 15)

<바로 잡습니다>

오	정	페이지 넘버
$Ls^{-1}$	$MLs^{-1}$	기술사지 1997. 6. P93 오른쪽 아래서 4째줄
$P_i = \left(\frac{1 - e^{-AT}}{V}\right)$	$P_i = P_o \left(\frac{1 - e^{-AT}}{V}\right)$	기술사지 1997. 8. P86(식7)
$(30in. m^{-1})$	$(30in^3. m^{-1})$	기술사지 1997. 8. P77 오른쪽 아래서 2째줄
GBg	GBg 12	기술사지 1997. 8. P78 오른쪽 위에서 16째줄