



헬륨 누설 검출 기법과 교정 절차 소개(Ⅳ)

Introduction to the Procedures of the Detection Technique and Calibration in the Helium Leak Testing(Ⅳ)

이 글은 본지 10월호에 소개되었던 “헬륨 누설 검출 기법과 교정절차 소개(Ⅰ,Ⅱ 그리고Ⅲ)”에 이어지는 내용이다. 여기서는 단순한 누출률의 검사 사례와 동적누설검사서 간단한 누출률 측정 방법 등을 알아본다.



朱 昇 煥*
Choo, Seung Hwan

3.3 단순한 누출률 셈의 사례들

3.3.1 표준 누설을 부착시킨 시험 시스템의 짜붙임에서 단순한 누출률의 셈

<사례 1>

<그림 2.3>(a)와 <그림 2.3>(b)(기술사1998. 8월호 p60)처럼, 두 가지 유형의 표준 누설들을 누설 시험 물체와 검출기 사이에 각각 배치할 경우, 개별 짜붙임에서 간단한 누출률을 셈하는 공식들을 알아본다.

<해설>

- <그림 2.3>(a)의 경우:

<그림 2.3>(a)에서 표준 누설은 후드 또는 씌우개 속을 별도의 경로를 통하여 관통하여 연결된다. 누설 검출기에 연결된 배기 통로, 시험 시스템의 내부, 그리고 표준 누설 등과는 T자로 연결되어 있다. 표준 누설과 T자 연결 사이에 한

밸브가 그 통로를 가로막고 있다.

따라서 씌우개 속에 든 추적자 가스가 검출기에 이르는 길은, 오로지 씌우개 속에 채워진 추적자 가스가 시스템에 나 있을 누설을 꿰뚫고 시험 시스템 안으로 유입되고 쌓여져 검출기와 연결된 통로를 따라 흐름 부분과, 표준 누설과 연결된 통로의 밸브가 열릴 때, 표준 누설을 관통하여 검출기에 들어 올 수 있는 통로 등, 두 갈래의 길만 있을 뿐이다.

먼저 시험 물체 주변의 공기를 지정된 진공도(진공 상태의 일정한 크기)로 배기시키고 나서 진공시킨 씌우개 속에 추적자 가스를 지정된 압력으로 가압한다. 충분한 시간이 지난 다음에 표준 누설의 통로를 막고 있던 밸브를 열게 되면, 씌우개 속의 추적자 가스는 두 갈래로 갈라져 검출기 속으로 들어갈 것이다. 잠시 후에 검출기의 눈금, A를 읽고 기록한다. 그 후에 한 쪽인 표준 누설 쪽의 밸브만을 막고 나서, 다시 검출기의 눈금, B를 읽고 기록한다. 이렇게 하기를 반복하

*방사선관리기술사, 世安技術(주) 연구소장, 공학박사(원자력공학), 본회 홍보위원.



여 실험하면, A와 B의 안정된 값들이 얻어진다. 얻어진 값들 중에서 대표적인 A값과 B값을 써서 다음 등식 3.1로 누출률을 셈한다:

$$Q = \{B/(A - B)\} Q_{cal} \quad \text{식 3.1}$$

여기서,

Q는 알려고 하는 시스템의 누출률, 단위는

$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 또는 $\text{std cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,

Q_{cal} 는 표준 누설의 지정된 누출률,

$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 또는 $\text{std cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 이다.

- <그림 2.3>(b)의 경우:

<그림 2.3>(b)는 저장 용기형 표준 누설을 시험 시스템에 짜붙임한 경우이다. 추적자 가스는 표준 누설 자체의 저장 통에 채워진 것이며, 알고 있는 누출물인 표준 누설을 관통하여 공급된다. 표준 누설에 연결된 밸브를 좀더 긴 시간(수분) 열어 둔다. 이 경우, 표준 누설에 저장된 추적자 가스는 시험 시스템과는 전혀 별도의 경로를 통하여 누설 검출기에 들어간다. 하지만, 씌우개 속에 이미 채워진 같은 종류의 추적자 가스는 시험 시스템에 나 있을 누설을 꿰뚫고 시험 중인 시스템 속에 쌓여지면서 검출기와 연결된 파이프를 통하여 계속 검출기를 경유, 펌프로 배기되고 있다.(<그림 2.3>(a)의 경우와 같음.) 잠시 후에 검출기에 나타난 눈금 표시가 안정된 상태로 계속될 경우, 검출기의 눈금, C를 읽고, 기록한다. 표준 누설 쪽의 밸브를 닫고 나서 다시 검출기의 눈금, D를 읽고 기록한다. 이런 절차는 C와 D의 안정된 값이 얻어질 때까지 계속되고, 그 결과로 나타난 대표적인 C값과 D값을 얻고 나면, 다음의 등식 3.2를 써서 알려고 하는 누출률(Q)을 셈한다.

$$Q = (D/C) \times Q_{cal} \quad \text{식 3.2}$$

기호의 설명은 위와 같다.

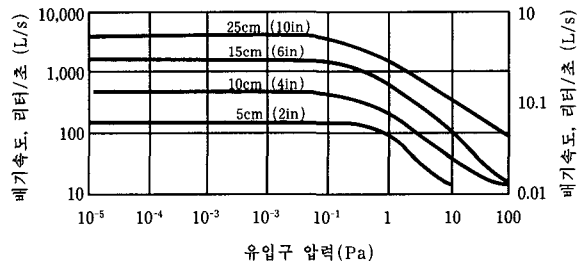
3.3.2 유효 배기 속도의 셈

누설 검사에 쓰이는 펌프들은 펌프에 고유한 배기 용량이 지정되어 있다. 하지만, 누설 검사 시스템에 펌프를 짜붙임할 경우, 펌프의 용량은 '유효 배기 속도'로 표시되며, 이 값은 유출률의 셈에 쓰인다. 유효 배기 속도의 셈은 아래처럼 해야 한다.

<사례 2>

헬륨 질량 분석계 누설 검사는 당연히 시험 시스템을 적절하게 진공시켜야 한다. 진공에 쓰이는 진공 펌프들은 빠른 배기 능력을 가진 확산 펌프가 있다. 확산 펌프에 보조 펌프인 기계식 펌프('로타리 펌프', 또는 배기 시스템에 장착되었을 경우, 대체로 '러핑 펌프' 또는 '앞단 펌프' 등으로 일컬어 짐)가 따라 붙는다. 펌프들은 그들의 성능인 배기 용량을 표시할 개별 '정격 배기 속도(rated pumping speed)'가 있다. 그런 용량은 펌프 제작 회사가 시험하여 개별 펌프에 표시한다.

개별 펌프의 배기량인 정격 배기 속도는 펌프가 진공 시스템에 장착될 경우, 시스템의 짜붙임에 따라 '유효 펌프 속도(effective pump speed)'를 셈하여 누출률의 평가에 쓰인다. 유효 펌프 속도는 누설 검사에서 진공을 시켜야 할 시스템에 공통적으로 적용된다.



<그림 3.9> 진공 펌프 속도와 확산 펌프 쪽 우입구에서 운전 압력(Pa)에 관계되는 대표적인 곡선들.

〈그림 3.9〉는 높은 진공 라인에서 확산 펌프가 장착될 경우, 그 시스템 유입구(inlet)의 압력(Pa)에 따라 발휘될 펌프의 크기별 성능들을 그래프로 나타낸 것이다. 세로는 정격 배기 속도, 단위는 L/s(매초마다 리터)이고, 가로는 그 시스템 유입구에 걸린 압력의 세기, 단위는 파스칼(Pa)이다. 그래프의 곡선들은 펌프의 크기별 배기량의 특성을 나타낸다.

만일 어떤 확산 펌프가 달린 높은 진공 시스템에서 오염 물질 분자들의 유입을 억제시킬 냉각 배플(cold baffle)이 장착된 경우, 그 펌프의 유효 펌프 속도는 '하중 보정 계수(service factor, SF)'를 써서 셈을 하게 된다. 간단한 셈이긴 하나 진공 기술에서는 중요한 뜻이 담겨져 있다.

냉각 배플이 확산 펌프 라인에 연결될 경우, 하중 보정 계수(SF)는 4이고, 연결되지 않는 경우는 2 이다. 이런 하중 보정 계수들은 펌프의 정격 배기 속도가 진공 라인에서 펌프의 성능이 1/4 배 또는 1/2 배로 떨어짐을 뜻한다.

〈예제〉

〈그림 3.9〉의 펌프 특성 곡선을 써서, 배플이 달린 확산 펌프 25 cm(10 in.)의 유효 펌프 속도를 셈하라.

〈해답〉

우선 〈그림 3.9〉에서 25 cm 확산 펌프의 정격 배기 속도를 읽는다. 진공 시스템의 유입구에서 운전 중인 확산 펌프의 정상 압력은 10^{-2} Pa보다 낮다. 〈그림 3.8〉에서 정격 배기 속도(S_r)는 $4.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (그림에서는 정확한 값을 읽을 수 없지만 확대시켜 보면 가능함) 이므로 유효 펌프 속도(S)는, 배플이 달려 있으므로, $SF = 1/4$ 이다.

$$S = S_r / SF = 4.2/4 = 1.05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

3.3.3 정적 방법에서 간단한 누출률의 셈

질량 분석계를 써서 어떤 성분들을 정량하는 경우, 대체로 정적 방식(static method)과 동적 방식(dynamic method) 등으로 크게 나뉜다. 헬륨 누설 검출은 누설에서 새 헬륨의 양을 정량하는 일이므로 두 방식을 써서 하게 된다.

〈요점〉 정적 누설 검사를 해야 할 상황과 정적 검사의 한계 :

1. 총누출량의 측정을 해야 할 경우
2. 동적 방식의 측정 감도 이하의 누출량 측정의 경우
3. 시험되고 있는 물체의 주변 환경에서 백그라운드가 매우 높아 동적 방법으로는 정밀한 측정을 할 수 없는 경우
4. 소규모의 시험 물체일 경우, 개별 누설 검사의 경제성과 실효성의 문제 여부
5. 더욱 민감한 누설 검사법을 적용해야 할 경우(주로 최종 검사의 판정 수단) 등이다.

〈사례 3〉

정적 방법(static method)을 써서 누설 시험할 때, 누출률 셈의 바탕이 될 등식을 생각해 본다. 〈그림 3.7〉과 같은 큰 검벽 탱크의 총누출률은 대체로 아주 낮기 때문에 추적자 가스인 헬륨이 누설을 꿰뚫고 시험 챔버에서 낮은 압력 경계에 오랜 기간 동안 쌓이게 해야 한다. 그때, 누설에서 새는 헬륨의 누출량은 고정된 챔버 체적(V) 속에서 쌓이게 되므로 거기에 걸리는 압력은 헬륨 때문에 올라간다. 경과 시간이 길수록 누출한 헬륨의 양은 많아 진다. 누출률(Q)은, 단위 시간마다 용기 속으로 새어드는 누출량 때문에 챔버 속에 올라가는 변화된 압력으로 나타나



므로, 누출률(Q)과 챔버 용적의 비율은 단위 시간마다 올라가는 압력(dP/dt)과 같다. 즉, $Q/V = dP/dt$ 이므로, 이것을 Q의 수식으로 정리하면, 등식 3.3과 같이 쓸 수 있다.

$$Q = V(dP/dt) \quad \text{식 3.3}$$

여기서,

Q는 총누출률, 단위, $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 또는 $\text{std cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

V는 시험 챔버의 용적, 단위, cm^3 또는 m^3

P는 압력, 단위, Pa 또는 psi 또는 atm(기압)

t는 단위 시간, 초(s), 그리고

dP/dt는 챔버 속의 미세한 압력 변화,

Pa/s(또는 atm/s)

등식 3.3은 미세한 누출량을 측정하는 정적 방식에서 누출률의 셈에 많이 쓰인다. 미세한 압력 변화율의 측정은 여러 단계의 시간 주기 간격으로 여러 번 측정하여 대표 값을 얻어야 한다. 높은 압력이 필요한 시스템에서 시간에 따라 변하는 '압력 저하 시험'에도 등식 3.3을 이용할 수 있다.

3.3.4 축적법 또는 PPM 검사의 셈

축적법 또는 PPM 검사의 경우도 한 정적 방식이다. 일정한 기간 동안 추적자 가스가 시험 물체 속에 쌓여지게 하고 난 다음 추적자 가스의 양을 정량하여 누설을 평가한다.

<사례 4>

헬륨 질량 분석계 누설 검출기를 쓰는 '축적 검사(accumulation testing, 또는 part-per-million testing)'의 누출률 측정 기법을 알아 본다. <그림 3.10>(a)처럼 시험 시스템을 배열하고, 검출기는 추적자 가스가 쌓여질 챔버에 연결된다. 시험 챔버는 축적될 추적자 가스를 가두게 할 목적이므로

챔버의 단위 용적 속에 추적자 가스의 농도를 높이기 위하여 될 수 있으면 작은 용적으로 설계한다. <그림 3.10>(a)는 시험 챔버 속에 시험 물체가 놓이고, 먼저 표준 누설로부터 헬륨이 누출되어 시험 챔버 속에 쌓여 지게 하면서 검출기의 신호를 읽는다. 검출기의 출력 신호는 샘플링 프로우브의 헬륨 흡입률(Q_i)에 비례한다. 표준 누설로서 시험 시스템의 교정 자료가 확보된다.

다음은 시험 챔버 속에 헬륨을 채우고 압력을 주면, 헬륨이 시험 물체의 누설을 관통하여 거기에 쌓여지고, 챔버 속의 헬륨을 배기하고 나면, 시험 물체의 누설을 관통한 헬륨이 역류하여 챔버 속에 다시 쌓여지게 된다. 일정한 용적 속은 축적되는 헬륨 때문에 경과된 시간에 비례하여 헬륨의 농도가 계속 올라갈 것이다.

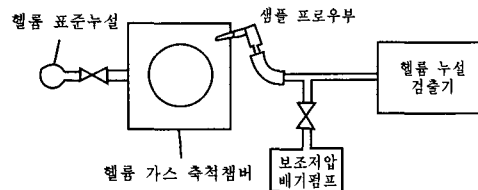
표준 누설의 누출률을 얻는 방식으로 축적되는 시험 물체의 누출률도 검출기의 신호로 얻어진다.

위의 방법으로 얻어진 자료들은 <그림 3.10>(b)와 같이 그래프를 그려서 누출률을 셈할 수도 있고, 다음의 등식 3.4를 써서 셈할 수도 있다.

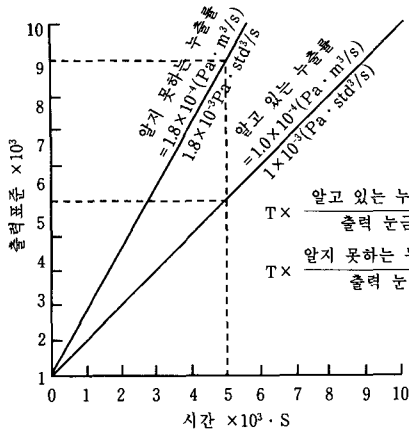
$$t_1 \times (Q_1)/X_1 = t_2 \times Q_2/X_2 \quad \text{식 3.4}$$

여기서, 첨자인 1과 2는 표준 누설과 알리고 하는 누설의 표시이다.

t는 누설로부터 낸 헬륨이 챔버 속에 축적된



<그림 3.10> (a). 백만분지-일(ppm) 축적 헬륨 방출-누출률 시험의 교정. 스니퍼 프로우브로써 헬륨 표준 누설의 알고 있는 누출률을 검출하기에 알맞는 배치.



(그림 3.10) (b). 표준 누설로써 추적 헬륨 방출-누출량 시험의 교정. 표준 누설(아래쪽 곡선)과 알지 못하는 누설(위 곡선)에서 측정된 추적률을 보여주는 견증 그래프.

시간, 단위, 초

Q는 누설로부터 새 헬륨의 누출률, 단위, Pa · cm³ · s⁻¹ 또는 std cm³ · s⁻¹, 그리고

X는 추적된 헬륨에서 잡힌 검출기 신호 출력의 눈금 수효이다.

3.3.5 추적자 헬륨 스니퍼 시험 감도의 셈

〈사례 5〉

추적형 시험의 감도는 부착된 프로우브 누설 검출기의 감도, 특수한 시험 배치의 자유 용적, 추적 시간, 그리고 부품의 잠재성 누출률 등을 알아야 설명될 수 있다. 이들 요소들 중에서 두 세 가지를 정확하게 측정하기가 어렵기 때문에, 〈그림 3.10〉(b)에서 보여준 그래프 방식과 같은 교정 방법은 총방출 누출량(total out-leakage)의 추정이 필요할 경우, 이용이 가능하다.

정확도가 낮아도 될 누설 검사의 사례들에서는 누출량 시험을 수행하기 위하여 그 시스템 감도에 영향을 미칠 요소들의 측정을 근사법으로 확보할 경우가 있을 것이다. 이런 근사법은 (1) 자유 용적을 추정하기, (2) 쓰이는 추적자 가스에

알맞은 누설 검출기 특수 압력 감도의 정보를 확보하기, 그리고 (3) 적절한 추적 시간을 결정하기 등이 포함된다.

이들 요소들이 알려질 때, 설치된 시험 배치에 알맞은 감도를 결정하기 위하여 다음 등식 3.5를 이용할 수 있을 것이다. 등식 3.5는 앞의 등식 3.4와 유사하다.

$$Q_s = P_s V / t$$

또는

$$P_s = Q_s t / V \quad \text{식 3.5(a)}$$

필요한 추적 시간(t)은 등식 3.5를 변형하여 얻게 된다.

$$t = P_s V / Q_s \quad \text{식 3.5(b)}$$

여기서,

Q_s는 주어진 시험 배치에 알맞은 최소 검출 가능 방출-누출률, 단위, Pa · m³/눈금

P_s는 프로우브 검출기의 눈금마다 추적자 가스의 부분 압력, 단위, Pa/눈금

V는 추정된 자유 용적, 단위, cm³ 또는 m³

t는 헬륨이 추적된 경과 시간

만일 등식 3.4와 3.5를 연결시켜 그 관계를 이용하는 경우, 주어진 시험 배치에서 출력 신호의 눈금을 추정할 수 있다:

시험 신호의 진폭(amplitude), 눈금 = P/P_s

여기서,

P는 시스템의 챔버 속에 걸리는 총압력

P_s는 누설 검출기 눈금마다의 헬륨 부분 압력



의 감도

특수한 시험 배치에서 검출 가능한 신호가 생길 수 있는 경우, 이와 같은 추정으로 출력 신호를 결정할 수 있다.

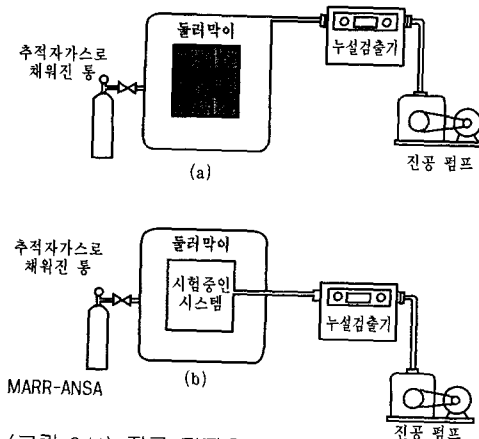
3.4 동적 누설 검사

3.4.1 동적 누설 검사의 이모저모

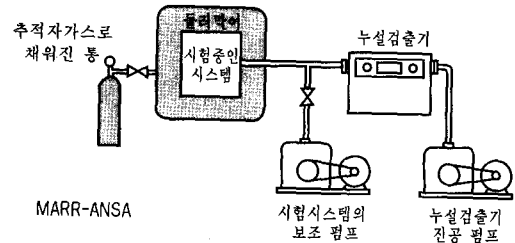
동적 누설 검사(dynamic leak testing)가 앞의 정적 방법과 다른 점은 시험 중인 시스템을 펌프로써 계속하여 배기하면서 누설 시험을 수행한다는 점이다. 펌프를 계속 가동한다는 뜻으로 '동적'이라 쓴다. 동적 누설 검사 시스템의 구성은 <그림 3.11>과 <그림 3.12>로 짜붙임 할 수 있다.

<그림 3.11>(a)는 추적자 가스를 밀폐된 시험 물체 또는 시스템 속으로 주입시키고, 그들에 나 있을 누설을 관통한 추적자 가스가 둘러막이 속으로 새어 나오면, 둘러막이 속까지 연결된 누설 검출기가 그 추적자 가스의 누출량을 측정한다.

<그림 3.11>(b)는 시험 물체 또는 시스템을 둘러막이한 공간에 추적자 가스를 채우고, 검출기를



<그림 3.11> 진공 펌핑을 이용하는 동적 누설 검사 기법에 쓰이는 누출량 측정 방식. (a)작은 부품들의 누설 검사용 가압 시스템 방식. (b)큰 규모 용적 시스템들의 누설 검사용 가압 둘러막이 방식.



<그림 3.12> 보조 펌프를 이용하는 동적 누출량의 측정.

시험 시스템과 연결시켜 누출하는 추적자 가스를 검출한다.

<그림 3.12>는 <그림 3.11>(b)의 짜붙임에서 보조 배기 펌프 시스템을 추가로 부착시킨 경우이다. 동적 누설 검사는 대체로 대규모의 시험 용적을 진공 시켜야 하므로 보조 진공 시스템을 반드시 이용할 필요가 있고, 또한 그 규모는 아주 크다.

위의 두 그림들처럼, 검출기를 짜붙임한 모습들에서는 지금까지 봐 온 표준 누설을 이용하지 않는다. 동적 누설 검사의 시스템 구성에서 표준 누설은 필요한 요소가 아닐 수도 있음을 보여준다. 동적 누설의 기본 방식은 특수한 경우를 제외하고는 표준 누설을 써서 시험 시스템을 교정하는 경우가 거의 없고, 그 대신 유체의 흐름 특성을 이용하여 누출률을 교정한다.

동적 누설 검사에서 중요한 개념은 누설을 통하여 유체들이 누출될 때, 유체 흐름의 동적 특성일 것이다. 누설의 흐름 특성들은 누설 콘덕턴스(leak conductance, C)로 설명될 수 있다. 콘덕턴스는 전기 저항의 역수로 표현되는 전기 전도도의 뜻과 아주 흡사하다. 유체의 흐름은 높은 압력에서 낮은 압력으로 유체가 이동하는 현상이다. 전자의 흐름인 전류도 높은 전압 쪽에서 낮은 쪽으로 전자들이 이동하는 현상과 견줄 수 있다.

콘덕턴스, C를 다음 등식으로 정의한다. 즉

$$\text{누설 콘덕턴스, } C = Q / (P_1 - P_2) \quad \text{식 3.6}$$

여기서,

C는 콘덕턴스, $m^3 \cdot s^{-1}$

Q는 누설을 관통하는 추적자 가스의 흐름률, $Pa \cdot m^3 \cdot s^{-1}$

P_1 는 시스템의 위 흐름 압력(높은 쪽 압력), Pa

P_2 는 시스템의 아래 흐름 압력(낮은 쪽 압력), Pa

누설 콘덕턴스의 단위는 단위 시간마다 유체의 용적($m^3 \cdot s^{-1}$ 또는 $cm^3 \cdot s^{-1}$)으로 표시된다. 다른 말로는 콘덕턴스란, 윗흐름 압력(P_1)에서 매초마다 그 누설을 관통할 추적자 가스의 흐름량(분자의 수효)이라고 생각할 수도 있을 것이다. 그리고 경우를 바꿔, 아래 흐름 압력(P_2)에서 그 누설을 빠져나가는 추적자 가스의 양(분자 수효)으로도 생각할 수 있다. (콘덕턴스는 또한 누설 통로 안의 어떤 점에서나 거기에 걸리는 압력에서 매초마다 그 지점을 통과할 추적자의 양이라고 정의 될 수도 있을 것이다.)

등식 3.6에서 누출률, Q는 유체가 누출 통로를 통하여 압력 경계를 가로 질러 흐르는 양을 단위 시간으로 본 흐름률이므로, 위 흐름 압력과 아래 흐름 압력 세기의 차(차압)에 크게 영향을 받는다.

누설 양쪽의 압력 차가 커지면, 커질수록 누출률도 그에 따라 더욱 커질 것이다. (공교롭게도, 기체의 흐름 유형들 중에서 특히 층 흐름(laminar flow)을 이루는 한 누설 콘덕턴스는 압력 의존성이므로, 경우에 따라서 등식 3.6은 완벽하다고는 할 수 없다.) 같은 누설일지라도 다른 압력 조건들 밑에서는 측정 값이 다르게 나타난다.

등식 3.6은 누출률, Q와 압력 차, ($P_1 - P_2$) 양쪽으로 콘덕턴스, C를 정의하기 때문에, 당연히 그 누설 크기는 콘덕턴스 아니면, 주어진 어떤 압력 조건 아래의 누출률을 설명해야 할 것

이다.

동적 누설 검사에서 검출기가 누설에서 나오는 신호에 응답하는 메카니즘은 아주 중요하다. 여기서는 검출기 응답 개념의 기본 등식만 소개하고 뒤에서 관계되는 등식과 함께 보다 자세히 설명될 것이다.

위의 설명처럼, 동적 누설 검사 중에 추적자 가스의 누출 흐름률은 시스템 속에서 압력 경계의 차압과 밀접하게 관계를 가지며, 시험 시스템에서 압력의 평형이 이뤄졌을 때, 시험 중인 조건 밑에서 동적 누설 검출기의 응답 관계는 등식 3.7로 나타난다.

$$\text{동적 누출률, } Q = PS \quad \text{식 3.7}$$

여기서,

Q는 동적 누설 검사 중인 시스템의 누출률, $Pa \cdot m^3 \cdot s^{-1}$

P는 흡입구 챔버의 펌프에서 추적자 가스의 압력, Pa 그리고

S는 동작 압력에서 누설 검출기 시스템을 배기하는 펌프의 배기 속도, $m^3 \cdot s^{-1}$ 이다.

3.4.2 동적 누출 측정에서 누설 검출기의 감도와 시스템의 효과

동적 누출량 측정에서 '누설 검출기 감도(sensitivity)'란, '최소 측정 가능 누설 신호의 표시로서 검출기에 응답을 줄 추적자 가스의 농도 또는 추적자 가스의 흐름률'이다. 이 감도는 시험 챔버 속으로 유입된 지정된 추적자 가스 분자들을 검출할 수 있는 최소 분자의 수효이기도 하다.

누설의 크기는 고정된 것이긴 하지만, 시험 시스템의 위 아래 압력의 차이로서 누출률은 변한다. 따라서 검출기의 감도에 어떤 근본적인 변화



없이도 압력을 변화시켜 더 미세한 누설을 찾을 수 있다. 변화시킬 압력은 위 아래의 어느 한 쪽이든 근본적인 차이는 없는 것이다.

앞의 <그림 3.11>과 <그림 3.12>에서 동적 누설 검사법의 간단한 검출기 짜붙임을 볼 수 있었다. 시험할 물체는 헬륨 또는 헬륨과 혼합된 어떤 기체를 써서 가압되어 위 아래 압력 차를 일으킨다. 검출기는 앞단 펌프(fore pump)의 앞쪽에 놓여지고, 시험 시스템 속에서 압력 차의 크기가 헬륨의 흐름률을 좌우한다.

만일 알고 있는 배기 속도의 펌프에 감도를 알고 있는 검출기가 연결되고, 추적자 가스의 누출량이 검출될 수 있다면, 누출률은 측정된다. 누설 검사 감도는 시스템 속의 위 아래 압력 차의 크기가 같고, 그리고, 누설 검출기에 연결된, 시험 물체를 둘러막이한, 배기 용적 안에서 추적자 가스의 농도가 변하지 않는다고 가정한다면, 당연히 같을 것이다.

3.4.3 동적 누설 검출기들의 감도와 응답에 영향을 주는 요소들

누설 검출기의 동적 누설 시험 감도에 영향을 주는 요소들은:

1. 탐지할 기체(추적자 가스를 포함)의 물리적 성질들, 이들은 추적자 가스가 누설들에 유입되는 비율을 조절
2. 배기 속도, 펌프 또는 펌프들의 조합으로 제거되는 배기 용적(추적자 가스를 포함) 속의 기체 혼합 비율을 결정한다
3. 쓰이고 있는 특정한 추적자 가스에 대한 누설 검출기의 감도
4. 배기되는 낮은 압력 챔버의 용적, 작은 순부피(net volume)의 챔버는 검출기에 유입되는 추적자 가스의 더 높은 농도를 얻을

수 있기 때문이다.

5. 누설 시험 시스템에 부착된 펌프들과 추적자를 감지할 누설 검출기의 위치

<그림 3.11>과 <그림 3.12> 등처럼, 실제로 검출기의 짜붙임들 중의 어느 한 시스템의 선택으로부터 영향을 받을 다른 요소들은:

1. 압력 차의 한 방향보다 우세한 압력(또는 진공)에 맞설 시험 중인 시스템의 기능
2. 추적자 가스가 시험 배치의 높은 압력 쪽에 적용될 수 있을 용이성
3. 반대 방향에서보다는 더욱 쉽게 한 방향에서 흐름률, 또는 특정한 방향에서 흐름이 일어날 때 누설들의 막힘 경향 등을 허용케 할 누설들의 성질 등이 있다.

3.4.4 동적 검사에서 속도와 응답의 크기에 영향을 줄 요소들

누출량 측정의 동적 방법은 정적 방법보다는 상대적으로 아주 신속하게 누출률을 결정할 수 있는 점도 한 특징이다. 검출기를 구성한 시험 시스템의 '응답 시간(response time)' -일명, '시간 상수(time constant)'- 는 추적자 가스가 검출기에 도달하는 속도와 그리고 검출기가 이에 응답할 응답 시간에 달려 있다.

동적 검사는 시간적 기능 측면에서나, 또는 시험 중에 누출 변화가 일어나는 곳에서는 다른 파라미터들의 기능 면에서나, 당연히 누출 측정의 가장 이상적인 한 방법인 것이다.

동적 시험법에서 누설들에 대한 응답의 크기는 쓰이는 추적자 가스에 대한 검출기의 감도, 그리고 그 기체가 펌프로 제거되는 속도에 달려 있다. 대부분의 사례들에서 추적자 가스의 부분 압력은 검출기에 의한 전류 신호 또는 누출률의 표시로 환산된다.

3.4.5 동적 시험법에서 진공 쪽 누출률 션의 등식

낮은 압력 챔버에 검출기를 연결하여 앞단 펌프의 앞쪽에 놓이게 짜붙임(〈그림 3.11〉과 〈그림 3.12〉 참조)한, 동적 누설 검사에서 동적 누출률, Q는 등식 3.8를 써서 션할 수 있다.

$$\text{동적 누출률, } Q = P_a S_a = K_a S_a \quad \text{식 8}$$

여기서,

Q는 누출률, $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

P_a 는 누설 검출기 기구의 앞단에서 압력, Pa
 S_a 는 누설 검출기 기구의 검출기 단면에서 배기 속도, $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

K는 증폭 계수, 검출기의 전류를 곱하였을 때, 추적자의 부분 압력 출력 신호를 나타냄

a는 검출기의 전류 또는 누설 신호의 진폭(amplitude).

K_a 는 P_d 와 같음에 주의할 것.

압력의 읽기, K_a (누설 검출기 기구의 감도이기도 함)를 높이기 위하여 두 개의 파라미터들 중의 하나를 변경할 수 있다.

첫째로, 신호 증폭, K는 일반적으로 전자 기구의 잡음 한계까지 올릴 수 있다. 선택적으로, 배기 속도, S_d 를 줄이므로써 시험 시스템 속의 추적자 가스의 농도를 높일 수 있을 것이다. 따라

서 동적 누설 검사 기법의 감도(K_a)는 배기 속도를 줄이면, 그에 따라 곧바로 올라간다. 공교롭게도 감도의 증가는 검출기의 응답 속도를 떨어뜨린다.

3.4.6 진공으로 새는 누출의 동적 검사에서 보조 펌프들의 이용

동적 누설 검사에 이용되는 진공 시스템에서는 보다 많은 보조 펌프들을 추가할 필요가 있다. 특히 압력에 민감한 누설 검출기를 이용할 때가 그런 경우이다.

추가된 펌프들은 누출률의 측정 도중에 '기체 방출(outgassing)'로 생길 기체들을 제거시키는 데에도 한 몫을 할 수 있다. 이들 추가 펌프(〈그림 3.12〉에서 아래에 놓인 둘 중, 왼쪽의 앞단 펌프는 검출기와는 별도의 보조적인 펌프임)는 그 시스템의 전체 배기 속도를 높이는 데 큰 역할을 한다. 그들은 추적자 가스의 부분 압력을 줄이는데 쓰이고, 추적자 가스의 감소는 차례로, 동적 누설의 측정 감도를 낮춘다.

감도가 떨어지는 것은 시스템의 배기 속도를 높이기 때문에 바로 비례한다. 동적 누설 검사 시스템의 검출기 단면에서 감도가 줄어들 때, 콘덕턴스 감소에 의하여 걸보기의 시스템 배기 속도는 올라간다.

〈다음호에 계속〉

(원고 접수일 1998. 9. 10)