



# 헬륨 누설 검출 기법과 교정 절차 소개(Ⅲ)

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

이 글은 본지 지난 6월, 8월호에 소개되었던 '헬륨 누설 검출 기법과 교정절차들에 관한 전형적인 사례들 소개(Ⅰ, Ⅱ)\*'에 이어지는 내용이다. 이번호에서는 누설 검출의 실용적 기술들중에서 시험할 대상의 물체에 검출기를 짜붙임하는 방식을 먼저 다룬다. 그에 따라 제목 일부를 수정하였다.



朱 昇 煥\*  
Choo, Seung Hwan

### 제3부 헬륨 누설 검출기의 운용 기법들

헬륨 누설 검출기를 누설 검사에 이용하려면, 그 검출기의 운용에 필요한 기본적인 기법들을 알고 있어야 한다. 소개할 내용은, 비록 단편적이라 할 수 있긴 하겠지만, 필자가 헬륨 누설 검출기를 써서 누설 검사를 하는 이들에게는 꼭 필요한 핵심 기술이라 생각해 오던 몇 가지 부분들을 다루게 될 것이다. 독자와 함께 실용에 도움이 될 헬륨 누설 검출기의 기본적인 기법들에 관한 원리와 사례를 생각해 보고자 한다.

교과서적인 얘기를 한다고 나무라시겠지만, 모든 기술이 그러하듯, 한 기술의 기본 바탕은 합리적 논리에서부터 시작된다. 우리는 그런 논리를 '과학'이라고 일컫는다. 과학은 어느 누구라도 쉽게 이해될 수 있는 자연 현상들에 관한 원리와 주장들이 뼈대를 이루고, '기술'이라는 살이 뼈대를 감싸야 제구실을 하게 된다. 그런 관점에서 과학과 기술은 한 몸통이지 결코 분리될

수 없다. 해부학적인 논리로서 '기술 따로', '과학 따로'의 구분은 과학과 기술이 합쳐 이뤄진 누설 검사 현장에서는 별 뜻이 없다.

필자는 헬륨 질량 분석계의 원리를 본지에 소개한 적이 있었다(주승환,1997; 1998a 그리고 1998b). 거기에서 He 누설 검출기의 이용에 대한 6 가지 기본 방식들을 간략하게 나눠서 그들의 개요를 소개하였다. 여기서는 좀더 원리적인 기본 바탕에 중심을 잡고, 현장에서 He 누설 검출기의 효율적인 활용에 도움이 될 실용 가능한 몇 가지 운용 기술들을 소개한다.

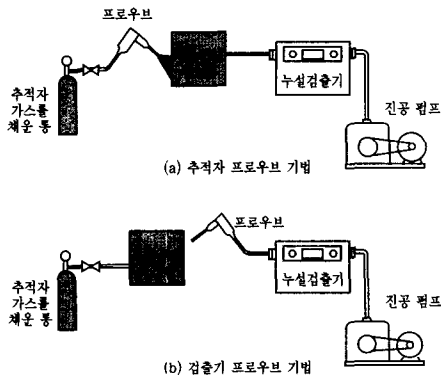
앞서(제1부 '누설 검사에서 몇 가지 생각할 점들' 그리고 제2부 '표준 누설') 설명된 내용들은, He 누설 검사뿐만 아니고, 모든 누설 검사 활동 등에서 기본적으로 유념할 체크 포인트(check point)에 해당한다. 지금부터 앞으로 몇회에 걸쳐 다루게 될 제3부는 He 누설 검사의 실용에 대한 기술들이 주제가 될 것이다.

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



### 3.1 프로우빙 기법들

누설 검사는 검사의 목적에 따라 3 가지로 나눈다. 시험할 시스템 또는 부품들에 생긴 누설 부위를 찾기 위한 '위치 지정 시험', 어떤 저장 용기들에서 누출 또는 거기에 유입하는 누출량 또는 유입량을 정확히 측정하기 위한 '누출률 측정 시험' 그리고 양쪽을 모두 함께 검사해야 할 '정밀 누설시험' 등이 있다.



〈그림 3.1〉 민감한 전자 누설 검출기구로써 누설의 위치 지정용에 쓰이는 추적자 가스 프로우빙 기법.

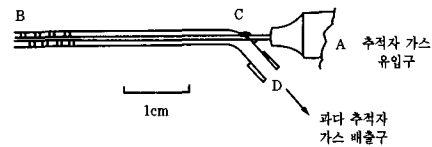
〈그림 3.1〉은 누설들의 '위치 지정 시험들'을 간략하게 그려 설명한다. 그 그림은 두 가지의 프로우빙 기법(probing technique)들을 보여준다. '프로우브(probe)'는 '사물을 깊이 탐색한다'는 뜻이 담겨져 있다. 그런 뜻에서 대개 '프로우브'는 '탐색하는 도구'를 지칭한다. 비파괴 검사 용어 사전에서는 '탐촉자(探觸子)'라고 일어를 그대로 번역하여 쓰고 있으나, 영어의 발음 그대로 우리말로 씀이 더 편할 것으로 생각된다.

〈그림 3.1〉(a)는 '추적자 프로우브 기법(tracer probe technique)'의 검출기 짜붙임(setup)의 모습이다. 왼쪽에 있는 추적자 가스(주로 He 가스가 담겨져 있다) 통에서 나오는 기체를 시험할 시스템의 걸면을 따라가면서 추적

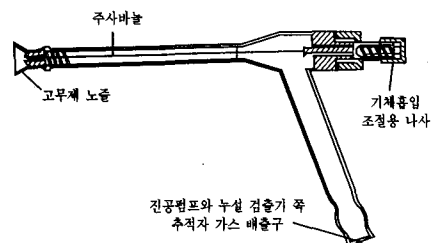
자를 뿌려 누설 자리를 찾는 모습이다. 누설이 있는 자리 위를 추적자 프로우브가 지나가면, 추적자 가스는 곧바로 누설을 꿰뚫고 시스템으로 유입되고, 그 가스는 시스템에 연결된 검출기에 전달되며, 검출기는 곧바로 누출 신호를 낸다. 이 경우, 프로우빙의 속도는 반드시 규정된 속도 기준에 따라야 한다. 만일의 경우, 규정된 것보다 빠르면, 누설의 위치를 잘못 지정할 우려가 있다.

〈그림 3.1〉(b)는 위와는 다른 대표적인 '검출기 프로우브' 기법의 설명이다. 시험할 시스템 속에 지정된 추적자 가스를 규정 압력 크기로 유지시키면서, 시스템의 걸면을 따라 검출기를 움직여 간다. 만일 시험하는 물체에 누설이 있는 경우, 누설을 꿰뚫고 누출하는 추적자 가스를 찾아낸다. 〈그림 3.1〉(a)와 다른 점은 '추적자' 대신에 '검출기'를 움직여 누설을 찾아낸다.

〈그림 3.1〉의 (a)와 (b) 기법들에 연결하여 쓸 '추적자 프로우브'와 '추적자 가스 검출기 프로우브'의 모습들은 〈그림 3.2〉와 〈그림 3.3〉에 각각 그려져 있다.



〈그림 3.2〉 누설 위치 지정용인 민감한 전자 누설 검출기들에 연결된 배기된 시험 시스템의 외부 표면에 추적자 가스를 뿌릴 추적자 프로우브.



〈그림 3.3〉. 누설 위치 지정용인 민감한 전자 누설 검출기에 쓰이는 '추적자 가스 검출기' 또는 '스니퍼'.

〈그림 3.2〉에 그려진 추적자 프로우브의 구조 설명은, A쪽이 추적자 가스와 연결된 고무관이고, C쪽은 주사 바늘을 찌를 수 있게 연한 테이프 또는 고무 제품으로 된 것이며, B쪽은 스펀지(sponge)처럼 다공성 물질로 된 부분으로서 잠시 동안 추적자 가스를 흡수하여 시험 물체의 표면으로 보내는 역할이다. 그리고 D쪽은 추적자 가스가 되돌아 나오는 길이며, 고무관과 연결할 부분이다.

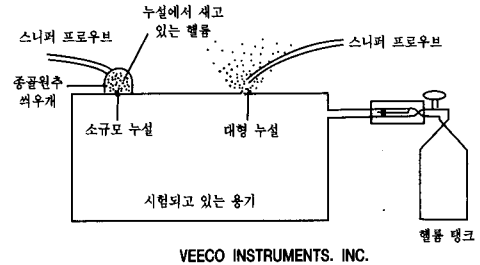
〈그림 3.3〉은 오른쪽에 추적자 가스의 흐름량을 조절할 수 있게 조절 나사가 있고, 관 가운데 또 다른 가느다란 금속 파이프 속으로 추적자 가스가 흐르게 되며, 그 통로와 연결된 바늘이 고무 노즐(nozzle)의 끝과 연결되어 추적자 가스를 분사시킬 수 있게 돼 있다. 아래로 처져 있는 파이프는 추적자 가스의 출구로서, 진공 펌프와 누설 검출기 등과 연결된다.

### 3.2 시험 시스템과 검출기의 짜붙임에 대한 여러 가지 모습들

#### 3.2.1 종꿀 원뿔 둘러막이

〈그림 3.4〉는 시험 중인 통에 크고 작은 누설들이 함께 나 있을 경우, 스니퍼 프로우브(sniffer probe)를 써서 미세한 누설부위를 찾아내는 기법을 설명하고 있다. '스니프'는 '냄새를 맡다'의 뜻이다. '냄새 맡는 프로우'의 이름이다. 시험할 물체에 큰 누설 자리가 있을 경우, 그 누설 부위를 통과한 추적자 가스가 이웃의 스니퍼 프로우브로 들어올 수 있으므로 그런 장소의 미세한 누설 시험은 특수한 장치가 필요하다. 이런 경우, 그림에서 왼쪽에 스니퍼 프로우브를 둘러막이한 종꿀 원뿔(bell cone)을 써서 주위의 누설로부터 오는 추적자 가스의 접촉을 막고, 미세

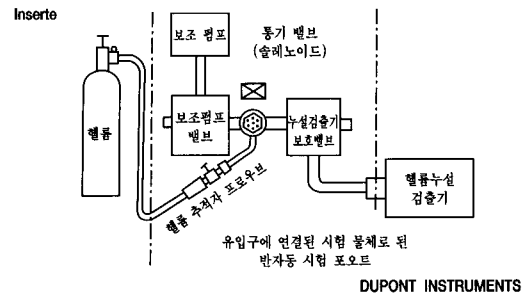
한 누설 부위에서 새는 추적자 가스의 누출만을 찾아낼 수 있다. 그리고 오른쪽의 큰 누설들은 '종꿀 원뿔' 없이도 누설을 검출 할 수 있다.



〈그림 3.4〉 가뒀진 작은 누설은 가뒀지 않은 큰 규모 누설보다 더 높은 헬륨 농도를 나타낸다.

#### 3.2.2 빠른 누설 시험용 반-자동 시험구

반도체나 전자 부품들과 같은 작은 물체들의 누설 시험을 하기 위하여 경우에 따라서는 〈그림 3.5〉처럼, 시험 물체를 쉽게 교환하면서 간편하게 시험할 반-자동 시험구(semi-automatic test port)를 제작하여 쓰는 경우가 있다. 이런 기구는 같은 종류의 부품들을 대량으로 생산하는 공장에서 특수하게 제작해 쓴다.



〈그림 3.5〉 신속한 누설 검출에 알맞은 대표적인 짜붙임(setup). 유입구에 심은 시험 물체가 달린 반-자동 시험구.

그림에서 가운데 자리한 여러 개의 구멍들이나 있는 곳은 시험할 물체를 쉽게 바꿔 끼울 수



있게 자동으로 작동하는 솔레노이드(solenoide) 밸브가 달려 있고, 자동으로 시험 부품들을 배기 시키고 추적자 가스를 통하게 한다. 시험구(test port)에 물체를 끼우고 나면, 시험구에 부착된 솔레노이드 밸브가 왼쪽의 보조 펌프에 연결된 밸브, 누설 검출기 쪽의 밸브, 그리고 시스템을 통기(vent)할 밸브 등을 자동적으로 차례로 여닫게 작동하므로써 누설 시험이 빠르게 진행된다.

주로 수량이 많은 규격 제품들을 제조하는 제조 공정에서 품질 관리를 하는 데 쓰인다. 경우에 따라서는 전-자동으로 짜붙임 할 수 있을 것이다.

### 3.2.3 용접된 부위들과 접속 부위들을 시험할 보조기들

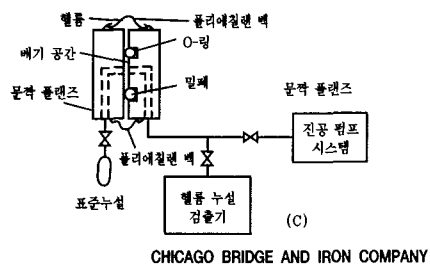
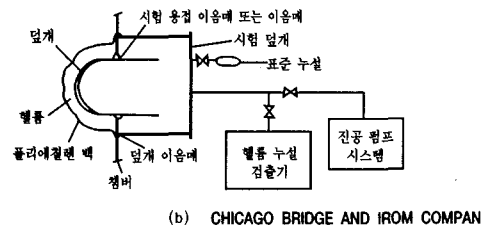
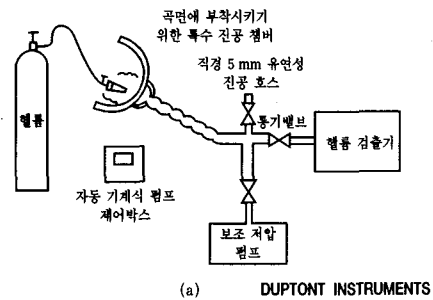
누설 검사에서는 시험할 물체와 검출기를 서로 연결할 장치가 필요한 경우가 많다. <그림 3.6>은 용접된 곳의 모양이나 또는 이중 O-링으로 접속된 부위 등에 따라 누설 시험에 보조로 쓰일 여러 가지 특수 보조 장치들의 대표적인 짜붙임 방식을 설명하고 있다.

용접된 자리의 모습들은 아주 다양할 것이다. 이들은 대체로 대형 구조물의 한 부분이다. 대형 구조물들이 만들어지고 나면 완성품으로 조립되기 전에 <그림 3.6>처럼, 여러 가지 모습으로 짜붙임하여 개별 누설 시험을 받게 된다.

<그림 3.6>에 보여준 예들은 단지 이들 부품들을 누설 시험하는 전형적인 개별 짜붙임에 불과할 것이다.

<그림 3.6>(a)는 곡면으로 된 활꼴의 용접된 부분을 누설 시험하는 짜붙임의 모습이다. 대체로 이런 모양의 소재들은 대형 구조물인 용기를 만들기 위하여 조립할 한 부분이다. 제조 후, 개별 조각들은 어떤 한 용기의 완성품으로 조립되

기 전에 누설 시험을 받게 된다. 시험할 용접된 걸면 쪽에는 굽은 면에 알맞게 특수하게 제작된 진공 챔버형으로 된 용접 표면 양쪽에 장치를 달고, 유연한 호스로 검출기와 연결된다. 표면의 안쪽은 추적자 가스를 뿌려 추적자 가스가 누설 부위를 꿰뚫고 새어 나오게 한다. 강력한 압력으로 검출기 쪽으로 빨아 내게 되면 누설이 있을 경우 추적자 가스는 누출하여 검출기에 전달된다. 곡면에 닿는 특수 진공 챔버를 시험 중인 곡면 위에 계속 이동시키면서 누설을 찾는다.



<그림 3.6> 용접 자리들의 누설 검사에 알맞는 특수한 설비. (a) 큰 규모 용기들의 형태를 나타낸 면에서 용접들의 누설 검사. (b) 챔버 용입 용접 자리들(penetration welds)의 누설 검사. (c) 챔버 문짝 위의 이중 O-링 밀폐 자리들의 누설 검사.

〈그림 3.6〉(b)는 바로 위 그림의 (a)와 같은 곡면(가운데 자리함)의 양 끝 쪽에 있는 용접 이음새(seam) 부분의 누설 시험을 하는 짜붙임(setup)에 관한 설명이다. 먼저 그 그림처럼, 오른쪽에 있는 특수 챔버의 왼쪽 안으로 시험 물체를 짜붙이고, 폴리에틸렌 백(polyethylene bag)으로 그 챔버의 왼쪽을 그림처럼 둘러막는다. 시험 물체와 폴리에틸렌 사이 공간에는 규정된 압력으로 헬륨을 채운다.

모든 준비 작업이 끝나면, 진공 펌프를 써서 챔버 안쪽을 배기 하여 진공으로 만들고, 규정된 진공도 수준에 이르면, 펌프로 향한 밸브를 막고 헬륨 검출기를 써서 이음새 용접에서 새 누설 부위를 찾는다. 경우에 따라서는 챔버를 적절하게 배기시킨 다음 폴리에틸렌 백 쪽에 헬륨을 채우면 능률적인 작업이 될 수도 있을 것이다.

여기서 챔버에 부착된 표준 누설은, 앞의 설명(〈그림 2.2〉)처럼, 한 저장 용기형 표준 누설을 쓰고 있다. 시험 물체의 누설들로부터 새는 누출률의 결정 방법들은, 앞으로 설명할 〈그림 3.6〉(c), 〈그림 3.7〉 그리고 〈그림 3.8〉(a), (b) 그리고 (c) 등에서도 같은 유형의 표준 누설들이 쓰이고 있으므로 누출률의 결정 방법들은 뒤에서 따로 하게 될 것이다.

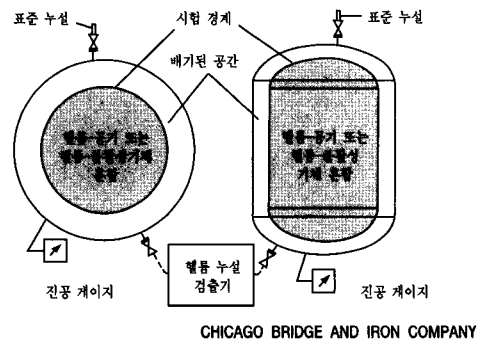
〈그림 3.6〉(c)는 이중 O-링의 자리 홈통 부분에 있을지도 모를 누설 여부를 시험하는 짜붙임을 설명하고 있다. 챔버의 두 문짝 사이에 끼워진 두 개의 원형 꼴들이 시험할 O-링 자리의 홈들이다. 챔버의 두 문짝들 사이의 공간 양쪽(두 개의 O-링 양 바깥쪽)은 폴리에틸렌으로 막고, 거기에 지정된 헬륨 가스를 규정 압력으로 채운다.

점선으로 표시된 통로를 통하여 두 문짝 사이 공간의 공기를 배기 시킨다. 만일 두 O-링 자리의 홈통들 중에서 누설이 있을 경우, 양쪽의 공간에 채워진 헬륨이 누출하여 검출기에 잡힌다.

시험 절차는 대체로 〈그림 3.6〉의 개별 요령과 같다. 한 가지를 덧붙인다면, 두 개의 O-링 자리 홈통 중에서 어느 한쪽에 결합이 나 있을 경우, 한쪽 공간에만 헬륨을 채워 시험해 보면 알게 될 것이다.

### 3.2.4 이중 탱크들의 누설 시험 짜붙임

〈그림 3.7〉은 이중벽으로 된 높은 진공 용기의 안쪽 벽에 나 있을 누설을 시험하려고 검출기를 짜붙임 한 설명이다. 이중벽으로 된 대형 용기들은 특히 안에 담을 물질이 강력한 발화성 또는 유해한 물질일수록 당연히 누설이 전혀 없어야 한다. 저온성 물질을 담을 용기들도 모두가 이중 벽으로 만든 용기들이다.



〈그림 3.7〉 큰 규모 이중 벽의 탱크들과 용기들의 헬륨 추적 누설 검사.

〈그림 3.7〉에서는 대형 이중벽 용기의 양쪽 단면을 그려서 보여준다. 그림에서 흰 부분이 이중벽 사이의 공간이다. 헬륨이 혼합된 기체는 용기의 안쪽에 채워진 모습(검게 칠한 부분)을 보여준다. 외부벽과 내부벽 사이의 배기된 공간은 만일 내부벽에 누설이 있을 경우, 헬륨의 혼합 기체가 거기로 새어 나와 그 공간에 축적된다.

압력 게이지를 써서 축적된 헬륨량을 읽고, 헬륨량을 경과 시간으로 역산하면, 보다 미세한 총



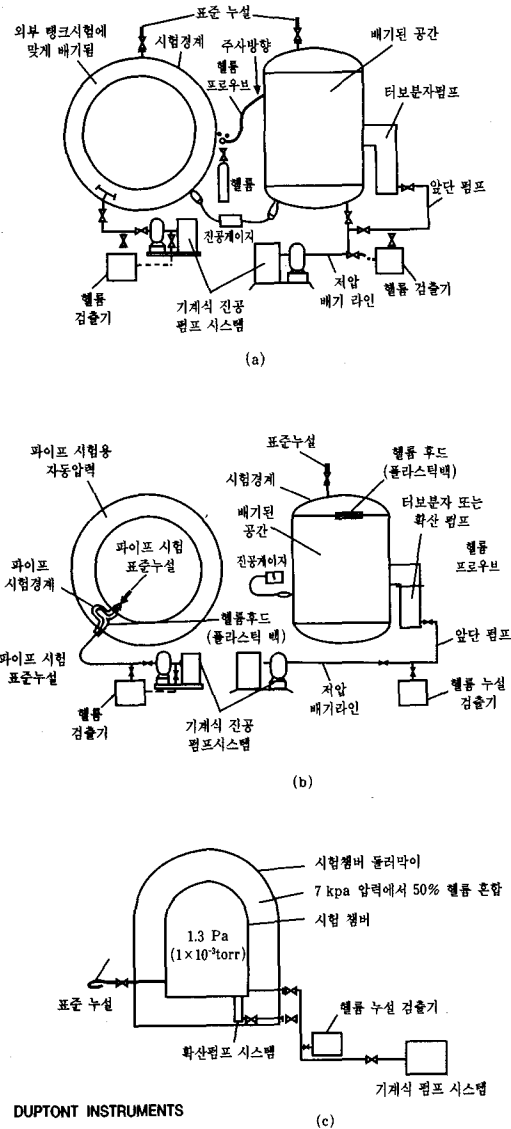
누출률을 측정할 수 있다.

앞의 시험과 별로 차이는 없긴 하겠지만, 다른 점은 대형 용기에 채울 비싼 헬륨량을 적게 쓰려고, 헬륨과 공기(또는 값싼 질소 등)를 각각 1:10의 용적 비율로 섞은 혼합 기체를 추적자 가스로 쓴다는 점이 다를 뿐이다. 특히 이중으로 제작된 용기의 누설 시험에서 중요한 것은 총누출률을 반드시 지정하게 된다. 탱크 유형들 또는 용도가 지정된 용기들에 대한 개별 누출률의 한도 범위나 지정 방법들은 대체로 법으로 된 산업 규격으로 정한다.

우리의 산업 규격은 대체로 공산품들에서 누출률의 지정 방법을 수압 시험으로 할 수 있게 규정하고 있다. 하지만, 그와 같은 단순하고 융통성이라고는 전혀 없는 시험법으로서는 극미세한 누설 검사는 불가능하다. 예컨대, 수소 연료의 저장 용기 같은 것을 수압 시험으로 시험하기란 불가능하다. 뿐만 아니라 저온성 이중 용기들의 누설 검사도 그와 같은 방법으로는 되지 않는다. 이 점은 반드시 개선되어야 하므로 우리가 노력해야 할 것이다. 누설 검사에서 가장 정밀한 누출률의 측정은 오로지 헬륨 누설 검출기만이 해결한다 (제1부에서 설명된 <표 1.1> 참조).

### 3.2.5 탱크 외부벽 누설 시험의 짜붙임

<그림 3.8>은 앞의 경우와는 달리 탱크 외부벽체의 누설을 시험하기 위하여 검출기를 짜붙임한 것이다. 그 그림에서는 세 가지 사례들을 설명하고 있다. <그림 3.8>(a)는 겹벽 또는 홑벽으로 된 용기의 외벽에 나 있을 누설들을 찾기 위하여 헬륨 추적자 스니퍼(sniffer)를 써서 누설들을 찾는 기법의 설명이고, <그림 3.8>(b)는 대형 용기의 외벽을 후드 누출 시험(hood leakage test)법을 써서 하는 시험의 설명이며, <그림



<그림 3.8> 배기된 공간 속으로 난 누설들에 알맞는 큰 규모의 용접된 홑벽의 또는 겹벽용기들의 누설 검사. (a) 큰 규모의 홑벽 또는 겹벽인 진공 시스템들의 헬륨 프로우빙에 알맞는 배치. (b) 큰 규모의 겹벽인 진공 시스템과 큰 규모의 홑벽의 진공 시스템에 있는 파이프의 헬륨 후드 누설 시험에 알맞는 배치. (c) 누설들이 겹벽들 사이의 활꼴 공간에서 큰 규모의 겹벽 용기의 내부 속으로 새는 헬륨 후드 누설 시험에 알맞는 배치.

3.8)(c)는 이중 벽들 사이에 고리 모양의 공간으로부터 대형 겹벽 용기의 내부 공간으로 새는 누설들을 검사하려고 헬륨 누설 검출기를 적절하게 짜붙임한 그림이다. <그림 3.8>의 경우들은 모두 후드법을 쓴 것이다. 후드법은 일명 '헬륨 분무 기법'이란 이름으로 일컬어지기도 한다. 이들은 주로 누설 검출과 누설 위치 지정 등의 예비 시험 성격으로 쓰인다. 그리고 시험 용기의 총누출을 측정의 경우는 헬륨 백(helium bag) 또는 후드 시험법으로 이뤄진다.

<그림 3.8>(a)에서 가운데 자리 잡은 헬륨 프로우브는 용기의 외벽에서 헬륨을 뿌려, 헬륨이 외부 벽의 누설을 꿰뚫고 안쪽 공간으로 들어가면, 검출기에 잡힌다.(<그림 3.1>(a) 참조) 대형 용기의 누설 시험이므로 진공 속도가 빠른 확산 펌프를 이용하여 대규모 시험 시스템을 배기시킨다. 시험 용기의 외벽에 헬륨을 뿌릴 때 주의할 점은 뿌리기 방향을, 위에서 아래로 내려오면서 해야 한다. 헬륨 기체는 가볍기 때문에 뿌리

기 방향이 밑에서부터 위로 올라가는 경우, 위의 누설들을 통해 들어올 헬륨 때문에 프로우브의 위치와는 전혀 관계없이 검출기가 잘못된 누설 위치의 신호를 나타낼 수도 있을 것이다.

<그림 3.8>(b)는 대형 이중벽 속을 관통하는 파이프(왼쪽)와 용기 외벽(오른 편의 위)의 누설을 시험할 짜붙임이다. 그에 대한 설명은 위의 것과 같다.

<그림 3.8>(c)는 이중 벽으로 된 대형 고리 모양 시험 물체의 누설 시험에 알맞게 검출기를 짜붙임한 특수 사례의 그림이다. 두 벽들 사이에 50%의 헬륨을 섞은 기체가 7 kPa 압력으로 채워져 있고, 안쪽에는 거의 진공과 다름없는 압력, 1.3 Pa( $1 \times 10^{-3}$  torr)을 유지한다. 안쪽 벽에 누설이 있을 경우, 안쪽의 헬륨 압력이 올라간다.

<다음 호에 계속>

(원고 접수일 1998. 9. 10)