

## 공기조화 및 냉동설비에 사용되는 센서

Sensors for Air Conditioning and Refrigeration Facilities

오 박 균\*  
Park Kyoun Oh

### 1. 서 언

지능건물(Intelligent Building)의 개념 등장으로 인해 완전 제어기능을 갖는 공기조화 및 냉동설비의 사용이 증가되고 있는 추세에 있다.

제어 기능을 갖기 위하여는 사용 현황을 감지할 수 있는 센서가 필수적이며, 센서(Sensor: 계측소자)는 감응하는 물리적 양을 검출하거나 측정하기 위해 신호를 제공하는 장치로서 계측계의 일부분인 감지부를 의미한다. 그러므로 센서는 변환기(Transducer)와는 구별이 되어야 한다.

본 강연에서는 공기조화 및 냉동설비에 사용되는 센서에 대해서만 다루고자 한다. 즉 온도, 유량, 습도, 입자 및 진동 등을 감지하는 감지부분에 대해서 센서의 종류, 원리, 구조, 특징 및 응용 범위 등에 대해서 말하고자 한다.

### 2. 센서의 역할

센서를 사용하는 이유는 공기조화 및 냉동설비가 이용되는 범위에서 효과적으로 작동하고 있는지의 여부를 확인하여 적정범위를 벗어났을 경우에 원하는 상태로 제어하기 위함이며, 설비를 효과적으로 사용할 때에 에너지

절약에 의한 쾌적한 환경을 얻을 수 있다.

또한 정확한(올바른) 센서 선택에 의한 올바른 사용은 생산공정에서 제품의 성능 향상과 원가절감 등에 의해 제품의 경쟁력을 향상시키는 결과를 초래한다.

### 3. 센 서

#### 3.1 공조용 온도 센서

##### (1) 서 론

일반적으로 온도센서는 측정온도 범위에 따라 저온 측정용, 상온 측정용, 고온 측정용으로 구분할 수 있다. 공조용 온도 센서는 이 분류에 따르면 상온 측정용으로 생각할 수 있다. 이러한 온도센서의 선정 방법은 다음과 같다.

##### ○ 온도센서의 선정

- 정확도 — 교정정도, 규격치로부터 편차, 눈금의 정확성
- 정밀도 — 온도차의 판별 성능
- 재현성과 안정성
- 응답성 — 응답 속도
- 분위기 — 열전달 특성, 허용최고 온도, 내산성, 진동
- 관리성 및 기타 — 센서의 열화 및 경화, 교체여부, 교정기간

\* 한국과학기술원, 열유체 및 항공공학연구실장

모든 측정 장치는 사전에 반드시 교정을 거쳐야 한다. 교정된 온도계라 하더라도 실제 사용에 있어 온도센서의 분위기를 교정할 당시의 분위기와 유사하게 유지하여야 한다.

(2) 온도계 교정방법

가. 정점교정법

온도치가 주어진 온도점검(IPS에 정해져 있는 온도)을 재현하여 그 온도를 기준으로 교정하는 방법으로 일반적으로 빙점과 주석, 아인, Antimon, 은, 금, Palladium 등의 금속 정점이 많이 이용되고 있다.

나. 비교 교정법

표준 온도계와 비교하여 교정하는 방법과 상온측정용 즉 공존용 온도센서의 종류, 비교 교정을 위한 표준기는 다음 표 1 과 같다.

(3) 기본 원리 및 사용범위

가. 유리제 온도계

유리제 온도계는 유리관 속에 봉인된 액체가 온도의 상승에 의해 팽창하고 또 온도의 하강에 의해 수축함에 따라 이동하는 액면의 위치에 의해 온도를 지시하도록 만들어진 온도계이다. 구조가 대단히 단순하여 기계적으로 움직이는 부분이 없기 때문에 장시간에 걸쳐서 안정한 온도 지시가 얻어진다. 사용온도 범위는 감온액의 종류에 따라 다음과 같다.

표 2.

감 온 액	주요 사용 범위(%)
수 은	- 30 ~ 360 (고압 봉입 ~ 650)
Tallium, Amalgam	- 60 ~ 30
Kalium	30 ~ 750 (석영유리사용)
Alcohol	- 80 ~ 70
Toluol	- 100 ~ 100
Creosote	- 5 ~ 200
공업용	- 200 ~ 30
Pentan (Gasoline)	

나. 저항 온도계

금속선의 전기저항이 온도에 따라 상승하는 현상을 이용하여 이 저항치에 따라 온도를 측정하는 계기가 저항온도계이다. 저항온도계는

표 1.

기 종	표 준 기	비 고
열전대	동종의 열전대 측은 저항체 유리제 온도계	백금측은 저항체를 사용하고 비교장치 선정에 따라 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 에서 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 까지 비교 가능하다.
	동종의 열전대 PR 열전대	표준·수검 열전대의 측은 접점을 가는 선으로 결합시켜 측정
측은 저항체	백금측은 저항체, 유리제 온도계	백금 측은 저항체를 통한 비교에서 주의하여 측정하면 비교장치 선정에 따라 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 에서 $0.005^{\circ}\text{C}$ 정도로 비교할 수 있다.
Thermistor 온도계	백금측은 저항체, 유리제 온도계	Thermistor의 감지부를 직접 담그는 것이 좋다. 그렇지 못할 경우 일관성에 의한 비교 정도의 차이를 고려하여야 한다.
유리제, Bimetal 압력식 온도계	백금측은 저항체, 유리제 온도계	

온도를 검출하는 측은 저항체, 도선, 지시계 또는 기록계로 구성되어 있다. 측은 저항체의 소선재료는 저항의 온도계수가 크고 직선성이 좋아야 하며, 넓은 범위의 온도에서 안정하고 적당한 저항치를 얻을 수 있어야 한다. 아울러 가공이 용이하여야 한다. 측은 저항체의 종류는 다음과 같다.

(가) Mica에 감은 측은 저항소자 - 저항치는 안정하지만 size가 크기 때문에 미소한 개소의 온도측정에는 적합치 못하고 응답이 늦다.

(나) 유리봉입 측은 저항체 소자 - 응답이 빠르고 진동에 강하며 최고 사용온도는  $500^{\circ}\text{C}$  이지만 높은 온도에 사용하기에는 적당하지 못하다.

(네) Ceramic 봉입 측은 저항체 - 유리대신 Ceramic을 사용한 것으로  $600^{\circ}\text{C}$  고온

까지 사용 가능하고 소형으로 응답이 빠르고 절연 특성 내전압 특성도 좋다. size도 여러가지 있다.

(배) Sheath형 측온 저항체 - 사용범위는 -200~+600℃이고, 보수점검이 용이하다.

다. 열전 온도계

열전 온도계는 열전대를 측온부로 하여 열

표 3. 열전 온도계

열전대	선경 mm	JISC 1602		ANSI C. 96.1
		상용한도 (°C)	과열사용 한도(°C)	최고사용 한도(°C)
R & S (구PR)	0.5	1,400	1,600	1,480
K (구CA)	3.20	1,000	1,200	1,260
	2.30	900	1,100	1,090
	1.60	850	1,050	
	1.0	750	950	980
	0.8	650	850	
	0.65			
	0.5			870
0.33			870	
T (구CC)	1.6	300	351	370
	1.0	250	300	
	0.8			260
	0.65	200	250	
	0.5			200
E (구CRO)	0.33	200	250	200
	3.2	700	800	870
	2.3	600	750	
	1.6	550	650	650
	1.0	500	550	
	0.8			540
	0.65	450	550	
0.5			430	
0.33			430	
J (구IC)	3.2	600	800	760
	2.3	550	750	
	1.6	500	650	590
	1.0	450	550	
	0.8			480
	0.65	400	500	
	0.5			370
0.33			370	

전대로서 얻어진 온도에 대응한 열기전력을 계측기로서 측정하여 온도를 측정하는 것으로서 산업계에서 가장 많이 이용되고 있다. 열전온도계는 열전대, 보상도선, 계측기, 동도선으로 구성된다. 열전도계는 실용화를 위해 다음과 같은 조건이 요구된다.

1. 열기전력이 클 것.
2. 열기전력이 사용온도에서 안정하고 수명이 길 것.
3. 내열성이 좋고 기계적 강도가 클 것.
4. 내식성이 좋을 것.
5. 호환성이 있을 것.

사용온도 범위에 따른 선정은 다음 표 3을 이용한다.

라. Thermistor 온도계

Thermistor 온도계는 감온 반도체의 일종인 Thermistor의 큰 온도계수, 소형, 높은 전기 저항의 특징을 살려서 고감도의 측정, 미소부분 측정, 원격 측정, 빠른 온도변화의 측정, 휴대형 계기 등의 많은 이점이 있으나 통상 350℃ 이상에서는 사용 불가능하고, 넓은 온도범위에서 균일 눈금이 불가능한 점 등이 단점이다.

3.2 공조용 유량계

일반 유량센서는 측정 목적에 따라 Point velocity measurement, mean pipe (duct) velocity measurement, volumetric flowrate measurement, total volume measurement, mass flowrate measurement, total mass measurement로 구분되어지나 공조용은 비압축성 유동에 적용되는 것이 보통으로 Volumetric flowrate measurement에 관심이 높다. 물론 일반 센서들의 계측장비 선정 방법과 유사하게 discrimination, Repeatability, Accuracy, Effective range and rangeability, Linearity 등의 사용자 요구 조건들에 의해 공조용 유량 센서도 선정되어야 한다. 공조용 유량센서의 측정원리 별 분류는 다음과 같다.

(1) Differential Pressure Meter

- Venturi Tubes

- Orifice Plates
- Nozzles
- (2) Other Flowrate Meter Utilizing Pressure Difference
  - Drag or Target, Flowmeters
  - Rotameters
  - Spring-loaded variable-aperture flowmeters
  - Laminar Flowmeter
- (3) Rotating Mechanical Meter
  - Positive Displacement meter (CVM meter, Diaphragm meter, Wet gas meter Serve-driven meter)
  - Turbine Meter
  - Miniature Pelton Wheel Meters
  - Mass-Produced Total -Volume Rotary Meter (Constrained-Vortex meter, The Hoverflo, Angled propeller meter)
  - Bypass Meters
  - Metering Pumps

(4) Volumetric Flowmeters

- Electromagnetic Flowmeter
- Ultrasonic Flowmeter
- Vortex-Shedding Meters
- Non-Mechanical Oscillatory meter (Fluidic Flowmeters, The Swirlmeter)
- Tracer Flowmeter

위와 같은 측정원리별 구분에 대한 실제 유량센서 선정은 일반적으로 다음과 같은 선정 도표에 의해 선정한다(표 4).

습도의 표시 방법은 여러가지가 있으나 주로 공기중의 수증기 분압과 그 공기온도에서의 포화수증기가 낼 수 있는 압력의비로서 표시되는 상대습도가 주로 사용되고 있다. 표 5는 습도감지 재료에 의한 일반용 습도센서의 구분을 보여주고 있으며 원리, 작동범위, 응답성 및 용도 등을 보여주고 있다.

습도의 측정방법은 습도표시에 사용되는 양을 직접 측정하는 방법과 습도변화에 따른 품질변화 현상을 이용하는 방법으로 구분할 수

표 4. 유량센서 선정 도표

Requirement	Vannuri tube	Orifice plate	Nozzle	Low-loss DP meters	Drag plate	Rotameter (glass)	Rotameter (metal)	Spring-loaded
<b>Water flow</b>	X	X	X	X	?	X	?	X
<b>Suspensions of solids in liquids</b>	0	X <sup>a</sup>	0	0	X	0	X	0
<b>Low viscosity organic liquids</b>	X	X	X	X	?	X	X	X
<b>High viscosity organic liquids</b>	0	X <sup>c</sup>	0	0	X	?	?	X
<b>Gases at pressures close to ambient</b>	X	X	X	X	0	X	0	0
<b>Gases at high pressure</b>	X	X	X	X	X	0	X	X
<b>Very large water pipes</b>	X	0	0	X	0	0	0	0
<b>Very large air ducts</b>	?	0	0	?	0	0	0	0
<b>Very small liquid flows</b>	0	?	0	0	0	X	?	X
<b>Very small gas flows</b>	0	?	?	0	0	X	?	?
<b>Very wide rangeability<sup>m</sup></b>	0	0	0	0	0	0	0	X
<b>Cryogenic liquids</b>	?	?	?	0	0	0	0	0
<b>Hot liquids</b>	X	X	X	X	X	0	X	X
<b>Hot gases, including steam</b>	?	X	X	X	X	0	X	?
<b>Pulsating flow</b>	??	??	??	??	??	0	0	0
<b>High accuracy measurement of liquid flowrate<sup>p</sup></b>	?	?	?	?	?	?	?	?
<b>High accuracy measurement of liquid quantity<sup>p</sup></b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>High accuracy measurement of gas flowrate and quantity<sup>p</sup></b>	?	X	X	?	?	?	?	?
<b>Insensitive to poor upstream flow conditions<sup>m</sup></b>	0	0	0	0	0	X	X	X
<b>Low head loss</b>	X	0	0	X	0	0	0	0
<b>Long life without maintenance or recalibration<sup>m</sup></b>	X	X	X	X	?	X	X	X
<b>Low initial cost (including essential secondary devices)<sup>m</sup></b>	0	?	?	0	0	X	0	0

<sup>a</sup> Use only segmental type.  
<sup>b</sup> Use only with electrically conducting liquids (e.g. water).  
<sup>c</sup> Use only quarter-circle or conical-entrance types.  
<sup>d</sup> Hot-wire, propeller and rotating-vane type only.  
<sup>e</sup> Special secondary instrumentation is necessary.  
<sup>f</sup> Hot-wire type only.  
<sup>g</sup> Only in the medium size range, and only if electrical pulse-generator is fitted.  
<sup>h</sup> Only in sizes above about 50 mm diameter, and only if frequently recalibrated, preferably with a dedicated pipe prover.  
<sup>i</sup> Refers to mass flowrate only.

Requirement	Laminar	Pos. disp. (high quality)	Pos. disp. (arvo driven)	Turbine	Pelton wheel	Mass-produced rotary	Constrained vortex	'Hoverflo'	Angled propeller	Bypass	Metering pumps	Electromagnetic	Ultrasonic (1 dip. beam)	Ultrasonic (2 dip. beam)	Ultrasonic (3 dip. beam)	Ultrasonic (4 dip. beam)	Vortex-shedding	Fluidic (flowmeter)	Swirlmeter	Nuclear mag. resonance	Thermal (tracer type)	Insertion (R-radius)	Insertion ('Annubar')	Insertion (v → inteq. n.)	Mass flow (momentum)
<b>Water flow</b>	0	?	?	X	X	X	X	0	?	X	0	?	X	?	?	?	X	?	0	?	?	X	X	X	0
<b>Suspensions of solids in liquids</b>	0	0	0	0	0	0	?	X	X	0	?	X	?	X	?	?	X	?	0	?	?	X	X	X	0
<b>Low viscosity organic liquids</b>	0	X	X	X	X	X	0	?	X	0	?	X	?	X	?	?	X	?	0	?	?	X	X	X	0
<b>High viscosity organic liquids</b>	0	X	X	?	0	0	0	?	X	0	?	X	?	X	?	?	X	?	0	?	?	X	X	X	0
<b>Gases at pressures close to ambient</b>	X	X	?	?	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	?	?	?	?	?	X	X	X	0
<b>Gases at high pressure</b>	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	?	?	?	?	?	X	X	X	?
<b>Very large water pipes</b>	0	0	0	0	0	0	0	?	0	X	?	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	0
<b>Very large air ducts</b>	0	0	0	0	0	0	0	?	0	X	?	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	0
<b>Very small liquid flows</b>	0	?	?	X	?	?	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
<b>Very small gas flows</b>	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0
<b>Very wide rangeability<sup>m</sup></b>	X	X	X	0	?	0	0	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	X	0	X	0
<b>Cryogenic liquids</b>	0	X	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	?	?	?	?	?	?	?	?	?	0	0	0	0
<b>Hot liquids</b>	0	?	?	?	?	?	?	X	X	X	?	X	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
<b>Hot gases, including steam</b>	?	0	0	?	0	0	0	?	0	0	0	0	0	0	0	0	?	?	?	?	?	X	X	X	?
<b>Pulsating flow</b>	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	0	0	0	0	?	X	0	X	0
<b>High accuracy measurement of liquid flowrate<sup>p</sup></b>	0	X	X	X	0	0	0	0	0	0	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
<b>High accuracy measurement of liquid quantity<sup>p</sup></b>	0	X	X	X	0	0	0	0	0	0	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
<b>High accuracy measurement of gas flowrate and quantity<sup>p</sup></b>	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	?	?	?	?	?	?	?	?	?
<b>Insensitive to poor upstream flow conditions<sup>m</sup></b>	?	X	X	X	?	?	X	0	X	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
<b>Low head loss</b>	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0
<b>Long life without maintenance or recalibration<sup>m</sup></b>	?	?	?	?	X	?	?	?	?	?	?	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	?
<b>Low initial cost (including essential secondary devices)<sup>m</sup></b>	0	0	0	X	?	0	0	?	0	?	0	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?

<sup>1</sup> Accuracy of very small and very large meters is less good than that of medium-sized meters.  
<sup>2</sup> However, there is a substantial consumption of thermal energy, which increases with increased size of meter.  
<sup>3</sup> Turbine meters for gases are better in this respect than those designed for use with liquids.  
<sup>4</sup> Note that it is easier for moderate-accuracy instruments to meet this requirement.  
<sup>5</sup> Depends on the type.  
<sup>6</sup> Note that a higher standard of accuracy is generally called for in the metering of liquids than gases.  
<sup>7</sup> Depends upon the standard of cleanliness and the maintenance of filters.

있으며 아래와 같은 방법들이 있다.

- (1) 물의 증발에 의한 방법 - 건습구 온도계
- (2) 신축을 이용하는 방법 - 머리카락, 나이론, Bimetal
- (3) 노점을 측정하는 방법 - 결로 온도 측정
- (4) 전기적 방법 - 수증기 흡탈착에 의한 전기적 특성 변화 측정
- (5) 광학적 방법 - 기체의 유전을 또는 광의 굴절을 변화 측정
- (6) 열적 방법 - 열전도율의 변화 측정
- (7) 흡수에 의한 방법 - 질량 측정

### 3.3 습도 센서

공기조화 설비에서는 습도의 감지가 어느다 른 설비에서 보다는 중요하게 취급되고 있으며, 특히 클린룸 설비에서의 올바른 습도의 측정과 제어는 매우 중요하다. 올바른 습도측 정을 위하여는 습도센서의 선택, 설치위치 및 교정 방법과 교정순서 등에 대한 올바른 지식을 갖고 있어야만 기대하는 결과를 얻을 수 있다. 본 절에서는 습도 센서 자체만을 다루 기로 한다.

표 5. 습도 센서의 분류

분류	센서 명칭	감습 재료	원 리	작동습도온도	응 답 성	주 용 도
전해 질계	염화리튬 습도 센서	LiCl-유기 결합제	LiCl의 흡습에 의한 이온의 도전율(전기저항)변화	20~90% RH 0~60 °C	2~5 분	습도계측
	염화리튬 노점 센서	LiCl 용액	용액의 수증기압 평형			
	전해 습도 센서	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	물의 전기분해			
유기 물계	고분자막 습도 센서	도전성 고분자 친수성 고분자	수증기 흡착에 따른 도전을 변화 수증기 흡착에 따른 유전을 변화	30~90% RH 0~50 °C 0~100%RH -40~80 °C	1분이내 1분이내	습도계측 과제어 습도계측
	고분자 결로 센서	흡습성수지 카본분산형	수지분에 흡습 평윤에 의한 카본입자 간격의 변화에 의한 도전을 변화	94~100%RH -10~60 °C	10초이하	VTR의 결로방지
	수정진동식 습도 센서	흡습성 고분자	흡습에 의한 중량 변화			
	금속 산화 물계	산화알루미늄 습도센서(용량형 습도센서)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 박막	미세구멍을 가진 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 의 박막에 수증기의 흡착에 따른 전기용량의 변화	1~2000 ppm	10초이하
세라믹 습도 센서		MgCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> TiO <sub>2</sub> 계	다공질의 세라믹 표면에 수증기의 흡착에 의한 도전을 변화	10~100%RH 0~150 °C	10초이하	각종공조제어, 식품공조제어, 건조시스템
기타	Thermistor 습도 센서	Thermistor	수분의 열전도율의 변화	0~100%RH 10~40 °C	10 초	습도계측
	Micro 파 습도 센서	유전체기판	수분에 의한 마이크로파의 감쇠량 측정	0.3~70%RH 0~35 °C	수초이하	곡물, 임목, 종이
	지르코니아 식습도 센서	지르코니아 고체 전해질	수분에 의한 산소의 희석			
	노점 센서		냉각에 따른 결로			

3.4 입자 센서(Aerosol Sensor)

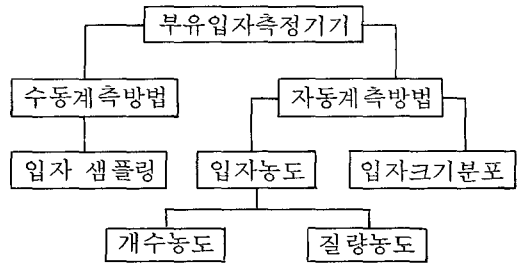
에어로졸(Aerosol)이란 가스중에 부유하는 고체나 액체의 입자로서 보통 그 크기가 0.002  $\mu\text{m}$ 에서 100  $\mu\text{m}$ 사이의 크기를 갖는다. 이러한 부유입자들은 주변 가스 입자들의 mean free path(공기 : 0.0652  $\mu\text{m}$ )나 빛의 파장 크기(가시광선 : 0.4~0.7  $\mu\text{m}$ )와 비슷한 크기를 갖게 되어서 그들과의 상호작용이 중요하기 때문에 고체, 액체, 기체 상태의 순수 물질과는 그 거동이 다르게 된다. 따라서 에어로졸 상태는 고체, 액체, 기체, 플라즈마 상태에 이은 제 5의 물질상태라고 불리워진다.

이러한 에어로졸을 측정하는 방법은 크게 수동계측과 자동계측의 두가지로 분류할 수 있다. 수동계측이란 먼저 부유입자를 샘플하고 그 후에 그것들의 농도, 크기, 화학 성분 등을 직접 해석하는 것을 말하고 자동계측이란 부유입자들의 필요 특성을 현장에서 자동적으로 측정하는 것을 말한다. 자동계측은 수동계측과 같이 포집된 입자를 직접 계측하는 것이 아니고 그 입자크기와 상관관계를 갖는 물리량에서 산출된 값을 취하는 간접 측정으로 항상 계기보정 등의 문제가 수반된다. 그러나 현장에서 짧은 시간동안의 측정이 가능하고 반복적인 측정으로 좋은 통계적 결과를 얻을 수 있다.

표 7. 입자 샘플링 기기

MAJOR AEROSOL SAMPLING METHODS			
METHOD	EFFECTIVE LOWER LIMIT, $\mu\text{m}$	EFFECTIVE UPPR LIMIT, $\mu\text{m}$	PRINCIPLE
FILTER SAMPLES (HL-VOL, LO-VOL)	0	10 - 20	FILTRATION
CASCADE IMPACTORS	0.5 (AMB, PRESS.) 0.5 (LOW PRESS.)	10 - 20	INERTIAL IMPACTION
CYCLONES	0.5	10 - 20	CENTRIFUGAL FORCE
IMPINGERS	0.5	10 - 20	INERTIAL IMPACTION
DICHOTOMOUS SAMPLER	0	1 10 - 20	FILTRATION & VIR-IMPACTION
CENTRIFUGE	0.2	10	CENTRIFIGAL FORCE
ELECTROSTATIC SAMPLER	0.01	10 - 20	CHARGING & PRECIPITATION

표 6. 입자 측정기기 분류도표



(1) 입자 샘플링 기기

공기중 부유입자를 수동적인 방법으로 샘플링하는 기기에서는 주로 주어진 시간 동안의 집합적인 샘플을 위하여 여과, 관성충돌, 원심력, 전화 및 침전 등 다양한 원리가 이용되고 있다(표 7 참조). 필터 샘플러 : 이중 가장 많이 사용되는 것으로 대기 부유입자를 글래스 파이버 필터에 포집하는 장치이다. 유입 공기의 속도, 방향에 의해 결정되는 최대포집 크기는 보통 25~50  $\mu\text{m}$  정도이고, 기기 흡입구에 부착하는 PM-16과 같은 것을 사용하면 최대 포집 크기를 인간 허파에 침착하는 최대 크기와 상사하는 10  $\mu\text{m}$ 까지 만들 수 있다

이분 샘플러(Dichotomous sampler): 대기 중의 부유입자를 보통 2.5  $\mu\text{m}$ 보다 큰 입자들과 그보다 작은 입자들로 나누어 포집하는 그 원리와 분리 방식이 독특하다. 이러한 분

리는 노즐에 의해 가속된 입자를 포함한 공기를 그 밑에 설치된 virtual impactor에 의해서 큰 입자들을 포함한 10%정도의 유량과 작은 입자들을 포함한 90%정도의 유량으로 분류하여 각각 필터에 포집한다. 계단식 Impactor : 노즐을 통해 고속으로 분사된 유입공기를 고체표면에 충돌시켜 어떤 크기 이상의 입자들을 관성 충돌에 의해서 포집하는 일단식 impactor를 다단으로 설치한 것으로 보통 6~9 단으로 구성되며 최종단은 필터단이 된다.

Impactor 고체표면은 부착력 있는 층을 입혀서 충돌입자가 튀어나가는 것을 방지한다. 보통의 impactor의 cut-size limit는 약 0.3  $\mu\text{m}$ 가 되며 저압에서 작동하면 그 크기를 0.05  $\mu\text{m}$ 까지 줄일 수 있다.

사이클론 : 부유공기의 흡입량이 많을 때 실린더형 몸통의 접선 방향으로 공기를 유입하여 원심력에 의해서 몸체의 안쪽벽에 입자를 침착시키는 것으로 이것의 최대 장점은 충돌에 의한 입자의 뿜겨나감을 방지할 수 있어 흡입량을 증가할 수 있다는 것이다. 반면에 그 성능은 impactor의 경우와 같이 이론에 의해서 예측 하기가 어려워 주로 시행착오에 의한 실제 방법이 쓰이고 있다.

### (2) 입자 농도 측정기기

이 측정기기는 모든 크기 분포를 갖는 어떤 특정한 집합적인 입자 변수를 측정하는 것으로 총갯수, 질량 농도 등이 여기에 속한다.

#### 가. 개수 농도 측정기기

이 기기는 공기 단위부피당 입자의 개수를 측정하는 것으로 그 대표적인 기기는 응축핵 개수기(Condensation Nucleus Counter)이다. 응축핵 개수기(CNC) : 이 기기는 0.002~1.0  $\mu\text{m}$ 의 크기 범위에 있는 입자들의 개수 농도를 측정할 수 있는 유일한 것이다. 광학장치만으로는 측정할 수 없는 부유입자들을 포함한 흡입공기를 증기로 포화시키고 단열팽창이나 직접 접촉 냉각방식으로 과포화 상태로 만들어서 과포화 증기가 입자 표면에 응축하게 한후 그 작은 입자의 크기를 광산란 방식으로

측정가능한 크기로 성장 시켜서 측정을 하게 된다.

#### 나. 질량·농도 측정기기

이 기기는 공기 단위 부피당 입자의 질량을 측정하는 것으로 그 원리는 주로 질량에 따른 진동변화나 방사선의 세기감소를 이용한다.

Quartz-Crystal Microbalance : 부유입자들을 수정결정위에 침착시키면 수정결정의 고유진동주기가 침착입자들의 질량에 따라 변화함으로 질량농도의 측정이 가능하다. 보통 입자의 침착방법은 정전식 집진장치나 관성 충돌을 이용한다.

Beta-Attenuation Mass Sensor : 이 측정기기는 표면 질량에 따라서 배타선의 투과되는 세기가 달라지는 것을 이용하여 표면에 포집된 입자질량농도를 측정한다. 입자 포집은 충돌이나 여과 작용을 이용한다. 보통 C 방사성 탄소가 배타선 소스로 많이 사용되고, 고체 상태의 실리콘을 이용하여 감소되는 배타 방사 선을 측정한다.

#### (3) 입자 크기분포 측정기기

앞서 설명한 입자농도 측정기기들은 부유입자의 크기별 분포를 측정하기 위해 적절한 입자크기별 분급 장치와 함께 사용된다. 여기서는 이러한 기기들과 입자의 크기에 따라서 변화하는 광산란, 전기이동도, 입자 확산량등을 이용하여 측정을 하는 기기들을 설명한다 (표 9 참조).

광학입자 계수기(Optical particle counter : OPC) : 가장 많이 쓰이는 입자 크기 분포 측정기기로서 그 원리는 다음과 같다. 부유입자들이 유입공기를 따라서 일반 광원으로 조사되는 샘플공간으로 들어오고, 이때 조사공간을 통과하는 입자의 크기에 따라 조사광에 의한 산란 정도가 달라지는 것을 photo detector로 감지하여 전압 펄스로 전환한다. 이 전압 펄스의 진폭이 입자직경에 비례하므로 이 펄스를 개수화 하고 펄스높이의 히스토그램을 전자적으로 통계화 하면 입자크기와 상응한 보정 곡선을 이용하여 입자직경별 분포를 구할 수 있다.

표 8. 입자 농도 측정기기

INTEGRAL CONCENTRATION MEASURING INSTRUMENTS FOR AEROSOLS			
INSTRUMENT	EFFECTIVE LOWER LIMIT, $\mu\text{m}$	EFFECTIVE UPPER LIMIT, $\mu\text{m}$	PRINCIPLE
NEPHLOMETERS, PHOTOMETERS & TRANSMISSOMETERS	0.15	5	LIGHT SCATTERING OR ATTENUATION
CONDENSATION NUCLEI COUNTER (ALTKEN NUCLEI)	0.002	0.2	CONDENSATION - HI SUPERSATURA- TION
CLOUD CONDENSATION NUCLEI COUNTER	0.1	10	CONDENSATION - LO SUPERSATURA- TION
ICE NUCLEI COUNTER	?	?	ICE NUCLEATION
QUARTZ CRYSTAL	0.01 (ELECTR.) 0.3 (IMP.)	10 10	FREQUENCY CHANGE OF CRYSTAL
BETA GAGE	0 (FILTER) 0.3 (IMP.)	20 20	BETA ATTENUATION
ELECTRICAL DETECTOR	0.01	10-20	CHANGING AND CURRENT MEAS.
CONTACT CHARGING	5	100 (?)	CONTACT CHARGING

일반 광원을 이용하면  $0.3 \sim 10 \mu\text{m}$ 까지의 크기를 측정할 수 있고, 레이저를 이용하면 약  $0.1 \mu\text{m}$ 까지의 측정이 가능하다.

Electrical Aerosol Analyser (EAA) : 전기장내에서는 입자들의 전기 이동도 (electric mobility)가 입자직경에 따른 단순증가함수로 표시됨으로 이 원리를 이용하면 전기 전하를 띠게되는 부유입자들을 분류하고 그 크기를 결정할 수 있다. 기기 작동원리는 측정할 부유 입자가 부유입자전하기 속에서 unipolar 이온에 노출되어 전기적으로 하전 된다. 이 하전된 입자들이 작은 전기 이동도를 갖는 입자는 통과시키고 큰 전기 이동도를 갖는 입자들은 침착시켜서 low-pass 필터 역할을 하는 mobility analyser 속으로 들어오면 분석기에 가해지는 전압변화에 의해서 cut-off size가 결정되고, 이때 통과하는 하전된 입자들의 전기량을 적분식 분포로 표시하면 상응하는 입자크기 분포를 구할 수 있다.

Differential Mobility Particle sizer (DMPS) : 이 기기는 기존의 EAA가 cut-off

mobility에 의한 적분식 형태의 전기 측정장치인데 비추어 어느 특정 크기에서의 전기 이동도를 분류할 수 있는 고감도의 입자 크기별 차분식 형태의 분류장치인 Differential Mobility Analyser (DMA)와 앞서 설명한 농도 측정장치인 고성능 CNC를 결합하여 고감도의 원하는 입자크기를 분류하여 측정할 수 있다. 이때 DMA의 하전장치를 unipolar 대신 bipolar로 바꾸면 더욱 감도를 높일 수 있다. 이 기기는 우리가 원하는 균일한 크기의 입자 발생로도 활용할 수 있다.

Diffusion Batteries (DB) : 부유입자들의 고체 표면으로의 확산율은 입자 직경의 함수이므로 확산 콜렉터안에서의 확산에 의한 입자 감소를 이용하면 입자의 크기를 측정할 수 있다. 간단한 작동원리는 부유입자를 포함한 유입 공기를 하나의 모세관 튜브나 모세관 튜브 다발에 통과시키고 CNC로 통과하는 부유입자의 투과량을 계산하면 그것에 의해서 입자 크기를 얻을 수 있다. 이와 같은 확산 콜렉터를 여러개 직렬로 연결하면 그 크기에 따라



표 9. 입자 크기분포 측정기기

SIZE DISTRIBUTION MEASUREMENT INSTRUMENTS FOR AEROSOLS			
INSTRUMENT	EFFECTIVE LOWER LIMIT,	EFFECTIVE UPPER LIMIT	PRINCIPLE
OPTICAL PARTICLE COUNTER	0.3 (CONVENT.) 0.06 (LASER)	10,- 50 10	LIGHT SCATTERING LIGHT SCATTERING
ELECTRICAL AEROSOL ANALYZER	0.006	1	DIFFUSION CHARGING & MOBILITY MEAS.
DIFFUSION BATTERY	0.002	0.2	BROWNIAN DIFFUSION
INTEGRAL SENSOR COMBINED WITH SIZE CLASSIFIER:			
QUARTZ CRYSTAL + CASCADE IMPACTOR			
QUARTZ CRYSTAL + SPIRAL CENTRIFUGE			
CNC + DIFFUSION BATTERY			
ETC.			

분급할 수 있다.

상용화된 확산콜렉터는 얇은 층으로된 스테인레스 스크린을 사용한다. DB는 CNC와 결합하여 입자 크기를 측정할 수 있는 장비로 널리 사용되고 있으며, 따라서 정확한 DB의 운영을 위해서는 CNC의 개수효율이 잘 특성화되어야 한다.

### 3.5 소음 센서

#### (1) 마이크로폰의 종류와 특성

##### 가. Condenser Microphone

콘덴서 마이크로폰에서는 그림 1의 음파가 다이어프램을 압축시키고, 다이어프램과 다이어프램에 평행한 전극 사이의 정전용량을 변화시킨다. 정전용량은 다음과 같은 3가지 방법에 의하여 전기신호로 바뀌게 된다.

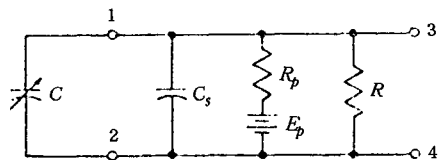
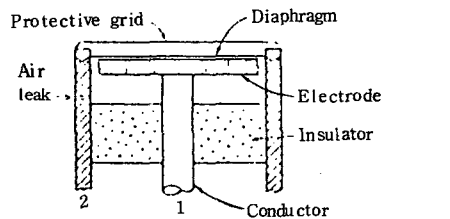
- (가) 전압이 정전용량에 따라 변화하도록 정전용량에 일정한 전하를 유지한다.
- (나) 주파수가 정전용량에 의해 변조되도록 진동자의 주파수를 확립하는데 마이크로폰 정전 용량을 사용한다.
- (대) 정전용량을 변화하는 정전용량에 의하여 균형을 잃는 ac-bridge 회로의 한 축으로 사용한다.

콘덴서 마이크로폰의 장점은 적당한 음향 sensitivity와 이상적인 주파수 응답 특성, 낮

은 전기 noise, 하나의 단위로서 기계적 진동에 덜 반응하는 것이다.

단점은 마이크로폰의 작은 정전용량, 손상되기 쉬운 다이어프램, 습기에 민감한 것이다.

\* 주) Sensitivity의 dBv/bar의 단위를 쓰며, 이는 1.0 microbar의 입사음압에 대하여 1 volt 를 기준으로하여 decibels 단위로 표시된 출력 전압이다.



- $C$  = microphone capacitance
- $C_s$  = stray capacitance
- $R_p$  = polarization resistor
- $E_p$  = polarization voltage
- $R$  = preamp input resistance

그림 1. Sketch and equivalent circuit for a condenser microphone.

나. Electret microphones

2개의 축전판 사이의 공기 대신 이미 극화된 유전판을 사용한다. 이는 dc-bias 전압의 필요성을 제거하며, 마이크로폰의 보다 높은 정전 용량을 보장한다. 입사된 음압은 박판에 힘을 가하며, 이를 움직인다. 이는 구멍이나 있는 후면판에 대한 박판의 상대적인 운동을 의미하며 이것은 전압을 발생시킨다. 단점은 극화된 박판의 자연 극성감쇠로 인한 수명 단축이며, 온도에 대하여도 콘덴서 마이크론보다 예민하다.

장점은 dc-bias 전압의 제거이며, 간단하고 튼튼하며, 큰 정전 용량을 가지고 있다(그림 2).

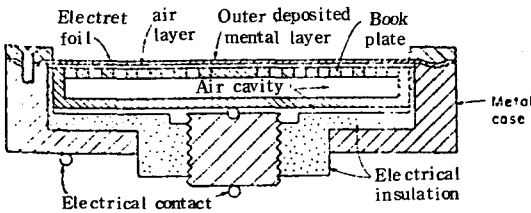


그림 2. Construction of electret microphone (After Sessler and Hesh)

다. Piezoelectric microphone

이 마이크로폰은 음파가 압전재료로 구성된 박판에 음압을 가할때 전기가 발생하는 원리를 이용한 경우이다(그림 3).

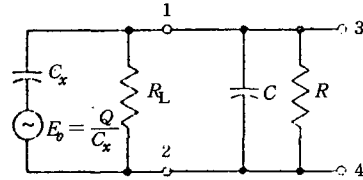
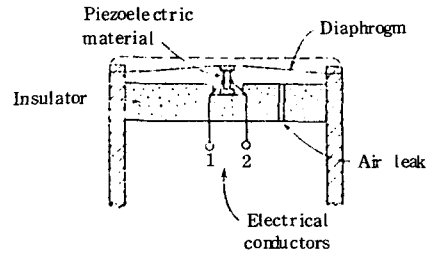
장점은 높은 정전용량과 전고함, 폭넓은 동특성, 극성전압의 불필요 등이다.

단점은 낮은 음향 sensitivity, 외부 진동에 민감한 것 등이다.

라. Dynamic microphone

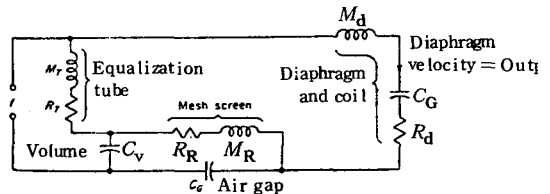
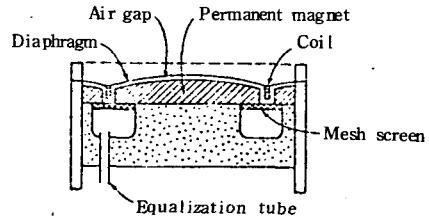
이 마이크로폰은 음압에 의하여 박판에 가하여진 진동을 이용, 코일을 자장내로 움직여서 코일에 전류가 흐르도록 한다. 장점은 낮은 전기 임피던스로 긴 케이블과 저 noise가 장점이다.

단점은 외부 자기장의 영향을 받기 쉬우며, 박판 및 코일의 고유 진동에 의한 취약점이다(그림 4).



- $C_x$  = crystal capacitance
- $R_L$  = crystal leakage resistance
- $C$  = cable capacitance
- $R$  = preamp. input resistance

그림 3. Sketch and equivalent circuit for a piezoelectric microphone.



- $f$  [ force from acoustic pressure on diaphragm
- $M_d$  = mass of diaphragm and coil
- $C_d$  = compliance of diaphragm and coil
- $R_d$  = mechanical resistance of diaphragm and coil
- $C_G$  = acoustic compliance of air gap behind diaphragm
- $R_R$  = acoustic resistance of mesh screens
- $M_R$  = mass of air in mesh screens
- $C_V$  = acoustic compliance of large volume  $V$
- $M_T$  = acoustic resistance of equalization tube
- $R_T$  = acoustic resistance of equalization tube

그림 4. Sketch and mechanical equivalent circuit of a dynamic microphone

(2) 가속 감지소자

가. Piezoelectric accelerometer

미소 mass에 가하여진 힘이 압전 요소에 변위를 일으키고, 이는 전기신호로 변화한다. 장점은 낮은 변환자 출력 임피던스이며, 이는 긴 케이블의 사용을 가능하도록 한다.

나. Electro-dynamic accelerometer

원리에 있어서는 dynamic microphone 과 유사하며, 속도에 비례하는 출력신호를 발생하고, 미소 mass는 영구 자석을 사용한다.

장점은 낮은 출력 임피던스이며, 단점은 압전변환자에 비하여도 외부 자장의 영향을 더 받으며, 덜 견고하다. 좁은 주파수 측정 범위도 단점이다.

센서 자체에 대한 조사 연구는 국내에서 시도된 적이 없었고, 센서와 변환기가 조합을 이룬 계측기기로서 수입이 되거나 제작이 되고 있으므로 국내 현황을 파악하기는 힘든 실정이다. 표 10은 1986년도의 개량조합가입회사의 생산품 현황을 보여주고 있다. 종업원

수에서 알 수 있듯이 영세 내지 중소기업의 범주에서 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

표 11은 검출대상별 센서의 수입량으로 무역통계월보에 의거해 작성된 것이며, 상세한 분류가 되어 있지 않아 정확한 파악은 힘들지만 수입량의 개략치를 알 수 있다. 표에서 보듯이 단제품으로도 많은 양이 수입되고 있음을 알 수 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이 공기조화 및 냉동설비에서 센서의 역할이 필수적이고, 수입량이 엄청나지만 다품종 소량이라는 이유 때문에 국내 기업의 연구 개발 의욕이 부진하였다. 장차 자동화 및 무인화 시대의 도래에 의한 센서의 수요가 급증할 것이 예상되어 센서의 국산화 개발을 위해 한국표준연구소가 센서 개발을 위한 사전 실태파악 조사를 수행중에 있고, 한국과학기술원에서는 장기 연구과제로서 센서 개발연구계획 수립을 준비중에 있으며 기초연구를 통한 센서 국산화개발을 위해 노력중이다.

표 10. 86년도 계량조합 가입회사 생산품목 현황

주생산품	업 체 명	상 시 종업원수
온도계	광일계 량기제작소	35
	극동초자계 량기공업사	30
	대한계 량기제작소	19
	서울 콘트롤스	10
	우진계기공업(주)	290
	(주)유일계 량기제작소	150
	(주)천일전기	200
	신흥공업사	35
	(주)연 경	43
	오성실업(주)	34
	한성전자공업사	21
	협성계공(주)	80
	온도계측 기자동온	(주)우 진
(주)퍼시픽 콘트롤즈		120
도조절기 유량계	(주) 고려산업	14
	대호기전(주)	22
	대흥계 량기제작소	24
	동화계 량기	60
	한국 오발	19
	충일정공(주)	12
열량계	금성계전(주)	1,500
	(주)대호기전	22
	신강정밀공업(주)	39
	신한 공기(주)	200
	신강정밀공업(주)	39
시험기 열량계 부피계 (수도미터)	금성산업사	44
	금호 전기(주)	700
	대한정밀공업(주)	110
	대협 기공(주)	50
부피계	삼원 산기(주)	52
	대영이화학기 제작소 (초자량기)	18
	신한 공기(주)	200
	한국 주유기(주)	52
	한일 소독기공(주)	50
	(주)합동 정밀	145
전자 계측기	금성 계전(주)	1,500
	중경 계기	25
	한생 계기(주)	31
전기계기	한국횡하전기(주)	40
	서울 콘트롤스	10
	우진계기 공업(주)	73
	(주)천일 전기	200
	풍성 전기(주)	1,700
	한국폭스보로(주)	31
	현대 전기	20

표 11. 검출 대상별 센서 수입량 (단위 : \$1000)

센서의 분류	86년도 수입액		
	일본	미국	전체
<u>온도, 습도 검출용 센서</u>			
기록식 온도계	189	33	241
바이메탈 온도계	18	21	93
체온계	31	-	34
기 타	560	594	1,565
광학적 고온계	29	14	44
기 타	40	16	60
온도계와 파이러미터	1,158	362	1,775
온도계와 마이크로미터	286	216	645
열유량계	182	2	669
건습구습도계	9	1	20
모발습도계	7	-	13
기 타	237	45	333
열량계	111	617	818
빙점계	23	1	25
기 타	687	799	1,881
습도검사용기및자동조절기	175	444	774
<u>유체량 검출 센서</u>			
수준기	528	37	647
비중계	21	108	168
액면계	1,269	603	3,165
기 타	865	351	2,220
유량계	3,148	1,394	6,038
풍력계	175	37	217
기 타	2,422	1,006	6,326
수은기압계	12	-	14
액체형압력계	140	28	227
금속형압력계	317	122	507
기 타	1,905	768	4,010
팽창계	26	22	50
표면장력계	16	89	108
압력계	483	329	1,179
액면계와 유량계 이와	2,787	619	3,792
유사한 기기			
<u>광검출용 센서</u>			
광도계	277	84	818
조도계	66	7	80
<u>음파, 초음파 검출용 센서</u>			
마이크로폰, 스탠드	3,198	389	4,071
이어폰	50	2	52