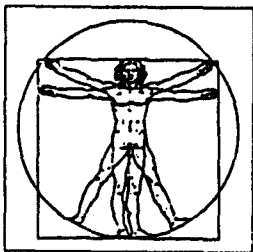


클린룸내의 기류 측정법과 그 문제점



1. 서론

클린룸에서는 소정의 청정도 및 온·습도를 유지하기 위해, 항상 청정하고 일정한 온·습도의 공기를 공급해서 일정한 기류를 확보하고 있다. 이러한 기류는 표1과 같이 클린룸에 있어서의 역할을 고려하는 경우, Sclar량으로서의 풍속, 기류방향 및 난류강도의 3요소가 중요하다. 또 그외에도 기류를 거시적으로 파악하기 위해서는 기류의 가시화가 중요한데, 현재 클린룸의 기류측정의 관련 규격으로서는 1ES-RP-CC-006-84T “Testing Clean Rooms”에서 풍속 및 평행도 측정을 위한 장치 및 측정방법에 관해 간략하게 기술되어 있는 정도이다.

본고에서는 클린룸내의 기류측정법과 현재 시판되고 있는 미풍속계의 문제점에 관해 관련자료 및 필자의 연구결과를 토대로 하여 기술하고자 한다.

2. 미풍속계

2.1 미풍속계의 현황

최근 산업의 다양화와 함께, 초음속영역에서 부터 거의 정지에 가까운 유속범위까지의 측정이 필요하게 되었으며, 그에 따른 고성능 계측기의 개발이 절실히 요구되고 있다.

클린룸내의 흐름과 같이 매우 느린 기류의 측정에 사용되고 있는 미풍속계의 측정방법 및 종류는 다음과 같다.

1) Tracer법

가는 니크롬선에 유동파라핀을 칠한 후에

표 1. 클린룸에 있어서의 기류의 역할¹⁾

기 류 의 역 할		역할에 대한 요건	대 용 특 성
1. 대상영역을 청정하게 유지	(1) 청정공기로 대상영역을 덮음 (2) 주위로 부터의 오염물질의 방지	<ul style="list-style-type: none"> • 소정량이하의 미립자농도 • 소정의 풍속, 풍향, 평행도 • 약한 난류강도 • Barrier로서의 기류분포 	<ul style="list-style-type: none"> • 사용필터의 포집효율, 필터의 면풍속 • 상류측의 미립자농도 • 풍속, 풍향, 평행도 • 난류강도 • 풍속, 풍향, 청정도
2. 대상영역을 일정한 온·습도로 유지		<ul style="list-style-type: none"> • 소정풍속의 일정한 온·습도 공기 	<ul style="list-style-type: none"> • 풍속, 온도, 습도
3. 대상영역에서 발생한 미립자, 열을 효율적으로 배제	(1) 발생 미립자의 확산방지 (2) 발생 미립자의 효율적인 제거	<ul style="list-style-type: none"> • 소정의 풍속, 풍향 	<ul style="list-style-type: none"> • 풍속, 풍향, 청정도 • 공기온도, 장치의 형상
4. 클린룸의 실내압력을 일정한 정압으로 유지		<ul style="list-style-type: none"> • 배기량보다 급기량을 많게해서 정압으로 유지 	<ul style="list-style-type: none"> • 풍속, 취출면적, 배기량, 차압조절 밸브

pulse전류를 흘려보내 연기를 발생시킨다. 기류에 의해 연기가 이동하는 거리와 이동에 걸린 시간과의 비로 부터 유속을 구하는 방법이다. 또한 이 방법은 Smoke Wire 법이라고도 불려지고 있으며, 파라핀을 칠하는 것까지 자동화된 장치도 있다.

2) Pulse Wire 법

Tracer 법에서는, 연기의 이동을 시각적으로 검출하지만, Pulse Wire 법에서는 가는 선에 의해 Pulse적으로 가열된 기류가 흐름에 따라서 하류에 이동하는 시간을, 가열선의 하류측에 설치한 또 하나의

검출용 센서의 저항치 변화로부터 전기적으로 검출한다. 역류를 측정할 수 있게끔 가열선의 상·하류측에 검출용 센서를 설치하거나, 이동시간을 위상차로부터 검출할 수 있게끔 정현파(正弦波)상으로 기류를 가열하는 것도 있다.

3) Karman 過法

흐름속에 수직으로 놓여있는 기동형태의 물체양측으로 부터는, 교대로 소용돌이가 생성되어, 후방에는 Karman 過列이라고 불리우는 소용돌이의 열이 형성된다. 단위시간에 생성되는 소용돌이의 갯수는 비교적 좁은 유소범위에서는, 유속과 거의 직선관계에 있다. 소용돌이가 통과하면, 그 근방의 유속은 변동하기 때문에, 기동의 후방에서 열선풍속계 등으로 유속변동의 주파수를 측정하는 것에 의해 유속을 구할 수 있다.

4) 열식유속계

Joule의 가열에 의해, 가열된 가는 백금선과 반도체의 센서를 흐름중에 놓으면, 흐름에 의한 강제대류에 의해서 냉각된다. 이때의 온도변화를 센서의 저항치를 측정하는 것으로부터 구해서 유속을 측정할 수 있다. 한편, 센서의 가열에 의해서 열대류가 발생하기 때문에, 열대류보다 작은 미풍속영역까지는 측정할 수가 없다. 단, 출력은 유속에 대해서 지수함수적으로 변화하기 때문에 Linearizer를 추가할 필요가 있다. 센서에 반도체를 이용한 반도체유속계는 센서

의 감도가 높기 때문에 가열온도를 낮게 해서 열대류에 의한 오차를 작게 할 수 있다. 센서에 백금선과 텅스텐선 등의 저항선을 이용한 열선풍속계는, 클린룸과 같이 청정한 장소에서의 사용조건하에서는 시간경과에 따른 변화가 작다고 하는 이점이 있다. 풍향까지는 측정이 되지 않지만 Laser 유속계와 초음파유속계에 비교해서, 구조가 간단하며 가격이 싸다.

5) 초음파유속계

기류중에서, 초음파는 그때의 음속과 기류속도의 초음파의 진행방향성분을 합한 속도로 전파한다. 따라서, 기류의 상류측과 하류측으로부터 초음파를 같은 거리로 송신했을 때의 필요로 하는 도달시간의 차를 정확히 측정하는 것에 의해서 기류의 속도를 구할 수 있다. 초음파의 진동자는, 송신과 수신 양쪽에 사용할 수 있기 때문에, 현대의 진동자로 송신과 수신방향의 유속성분을 측정할 수 있다. 따라서 3대의 진동자를 다른 방향에 배치하면 3차원의 유속 Vector를 측정할 수 있게 된다. 기류가 복잡하게 흐트러 지거나, 역류한 경우의 측정에는 3차원 초음파유속계가 가장 적합하다.

6) Laser 유속계

기류중에 포함된 미립자에 빛을 조사하면, 산란되는 미립자는 Doppler 효과를 만든다. 조사하는 빛에 Laser를 이용하면, 산란광과 간섭시켜서 Doppler 주파수를 측

정할 수 있게되어 유속을 구할 수 있다.

이상, 미풍속계의 측정방법 및 종류에 대해서 기술했는데, 이 중에서 Tracer법과 Laser 유속계는 미립자의 발생이 불가능한 클린룸내에서는 사용할 수 없다. Pulse Wire법과 Karman 過法은 클린룸의 현장에서의 사용에는 적합하지 않다. 결국 현재

로서는 열식유속계와 초음파유속계만이 클린룸의 미풍속측정에 사용되고 있다. 한편, Karman 過法과 Pulse Wire법, Laser 유속계는 미풍속계의 교정에는 이용할 수 있다. 表2에 클린룸내의 기류의 측정방법을 나타낸다.

미풍속계는 클린룸의 보급과 함께 판매대

표 2. 클린룸내의 기류의 측정방법¹⁾

대 용 특 성		범위 목표치	측정기기 · 방법		
			클린룸의 연구 개 발 시	클린룸의 검 수 시	클린룸의 가 동 시
한점에 있어서	풍 속	0 ~ 1.0 m/s	열식풍속계 초음파풍속계	열식풍속계	열식풍속계
	풍 향	소정의 방향	초음파풍속계 Tuft법		
	난류강도 (확산성)	현재로서는 명 확치 없음	열식풍속계 초음파풍속계		
공간에 있어서	기류의평 행성(떨 림각)	예를 들면 < 15°	초음파풍속계 열식풍속계 + Tuft법 연기법		
	난류강도	상 동	상 동		
기류의 가시화			Tuft법 연기법 Mist법		

수는 급속하게 늘고 있으며, 일본의 경우
년간 3,000대 정도에 달하고 있으나, 실제
로 카다로그의 표시치 성능을 갖는 미풍속

계는 현재 거의 없다. 이것은, 클린룸의 성
능검사에서 계약에 지정된 풍속치가 측정
사용한 미풍속계에 따라 크게 다르게 되는

원인이 되고 있다.

2.2 풍속계의 규격

풍속계에 관한 규격 으로서는, ISO 7726 열환경 (물리량 측정의 계기와 방법) 과, 일본의 JIS M 7606 (광산용 열식풍속계), JIS T 8202(휴대용 열식풍속계) 등이 있다. ISO 7726에서는 Class C를 평가하기 위해 풍속 0.05~1m/s의 계측이 규정되어 있다. 2개의 관련 JIS규격에서는 미풍속계측은 대상에 포함되어 있지 않다. 이하에 미풍속계측과 관련이 있는 ISO 규격의 개략을 소개한다.

○ ISO 7726 열환경 (물리량 측정의 계기와 방법)

기온, 습도, 방사온도, 기류 등의 열환경에 관한 물리량의 측정방법을 규정해서, 사람이 열환경에 처했을 경우의 문제에 관한 연구에 도움이 되기 위한 국제규격이다. 기류는 유속의 크기와 방향으로 표시되는 Vector 량이지만, 열환경의 문제에서는 유속의 크기만 고려되어 지기 때문에, 이규격에서는 열구식센서와 같은 전방향성의 측정 Probe를 사용해서 유속의 크기만을 측정하는 것을 전제로 하고 있는 점이 특징이다. 단, 기류가 일방향성의 경우는, 열선 풍속계와 같은 일방향성의 Probe도 사용할 수 있다. 表3에 규격의 일부를 나타내고 있지만, 환경은 쾌적(Class C)과 불쾌(Class S)로 분류되어 있으며, 이중에서 미풍속계

측이 관계하고 있는 것은, 주로 Class C이다. Accuracy의 규정이 Required와 Desiable의 2 Rank로 나누어져 있는 것, 또 그것이 일정오차부분과 유속비례 오차부분의 합으로써 나타내 있는 2점이 JIS규격과 비교해서 합리적이다.

이상, 기술한 바와 같이 기존의 규격을 그대로 미풍속계에 적용시키는 것은 곤란함으로, 미풍속계측의 표준과 교정에 관한 연구와 함께 관련규격의 제정이 필요하다.

3. 저풍속 영역에서의 미풍속계의 성능 비교²⁾

3.1 클린룸과 미풍속계

클린룸에 있어서는, 거액의 운전비의 상당부분이 송풍동력에 의한 것은 널리 알려진 사실이다. 클린룸의 풍량·풍속의 적절한 설정 및 관리가 높은 품질의 확보, 제품의 생산원가를 낮추기 위해서도 중요하다. 청정도를 확보하기 위해, 각각의 공정·부위에 있어서의 기류는, 일반의 미풍속계로 설정되며, 관리된다. 따라서, 지금까지 기술한 바와 같이 미풍속계의 교정방법이 아직 충분히 정비되어 있지 않기 때문에 미풍속계의 표시치에는 제작사에 따른 차가 심하다. 이하에 미풍속계의 성능비교를 위한 필자의 연구결과를 소개한다. 본 연구에서는, 저풍속계측 실험을 목적으로 한 풍동을 제작해서, 그 성능을 파악한 뒤에 Tracer

表3 Characteristics of measuring instruments ISO 7726 - 1985(E)¹⁾

		Class C (comfort)			Class S (thermal stress)			Comments
Quantity	Symbol	Measuring range	Accuracy	Response time (90%)	Measuring range	Accuracy	Response time	
Air temperature	t_a	10 to 30 °C	Required: ± 0.5 °C Desirable: ± 0.2 °C These levels shall be guaranteed at least for a deviation $ t_r - t_a $ equal to 10 °C.	The shortest possible. Value to be specified as characteristic of the measuring appliance	- 40 to +120 °C	Required: - 40 to 0 °C: $\pm 10.5 + 0.01 t_a $ °C > 0 to 50 °C: ± 0.5 °C > 50 to 120 °C: $\pm [0.5 + 0.04 (t_r - 50)]$ °C Desirable: ² required accuracy These levels shall be guaranteed at least for a deviation $ t_r - t_a $ equal to 20 °C.	The shortest possible. Value to be specified as characteristic of the measuring appliance	The air temperature sensor shall be effectively protected from any effects of the thermal radiation coming from hot or cold walls. An indication of the mean value over a period of 1 min is also desirable.
Mean radiant temperature	\bar{t}_r	10 to 40 °C	Required: ± 2 °C Desirable: ± 0.2 °C These levels are difficult, or even impossible to achieve in certain cases with the equipment normally available. When they cannot be achieved, indicate the actual measuring precision.	The shortest possible. Value to be specified as characteristic of the measuring appliance	- 40 °C to + 150 °C	Required: - 40 to 0 °C: $\pm 15 + 0.02 t_r $ °C > 0 to 50 °C: ± 5 °C > 50 to 150 °C: $\pm [5 + 0.08 (t_r - 50)]$ °C Desirable: - 40 to 0 °C: $\pm 10.5 + 0.01 t_r $ °C > 0 to 50 °C: ± 0.5 °C > 50 to 150 °C: $\pm [0.5 + 0.04 (t_r - 50)]$ °C	The shortest possible. Value to be specified as characteristic of the measuring appliance	When the measurement is carried out with a black sphere, the inaccuracy relating to the mean radiant temperature can be as high as ± 5 °C for class C and ± 20 °C for class S according to the environment and the inaccuracy for v_a , t_a and t_g
Radiant temperature asymmetry	Δt_{pr}	0 to 20 K	Required: ± 1 K Desirable: ± 0.5 K	The shortest possible. Value to be specified as characteristic of the measuring appliance	0 to 200 K	Required: 0 to 20 K: ± 2 K > 20 to 200 K: $\pm 0.1 \Delta t_{pr}$ Desirable: 0 to 20 K: ± 1 K > 20 to 200 K: $\pm 0.05 \Delta t_{pr}$	The shortest possible. Value to be specified as characteristic of the measuring appliance	
Air velocity	v_a	0.05 to 1 m/s	Required: $\pm [0.05 + 0.05 v_a]$ m/s Desirable: $\pm [0.02 + 0.07 v_a]$ m/s These levels shall be guaranteed whatever the direction of flow within a solid angle $\omega = 3 \pi \text{ sr}$	Required: 1 s Desirable: 0.5 s	0.2 to 10 m/s	Required: $\pm [0.1 + 0.05 v_a]$ m/s Desirable: $\pm [0.05 + 0.05 v_a]$ m/s These levels shall be guaranteed whatever the direction of flow within a solid angle $\omega = 3 \pi \text{ sr}$	The shortest possible. Value to be specified as characteristic of the measuring appliance	Except in the case of a unidirectional air current, the air velocity sensor shall measure the effective velocity whatever the direction of the air. An indication of the mean value for a period of 3 min is also desirable. The degree of turbulence is an important parameter in the study of comfort problems. It is recommended that it be expressed as standard deviation of the velocity. In a cold environment it is recommended that class C instruments be used whatever the type analysis carried out (comfort or extreme thermal stress).

Basic quantities

법에 의한 절대풍속계측의 가능성을 나타내고 있으며, 미풍속계에 의한 측정치를 통한 성능비교를 하고 있다.

3.2 절대풍속의 계측을 위한 시스템

클린룸에서 사용되는 일반적인 미풍속계로서는, 열식풍속계, 초음파풍속계가 사용되고 있다. 열식풍속계에는 저항열선식 풍속계와 반도체식 풍속계가 있으며, 열식풍속계에 있어서는 ①미풍속에 있어서의 열대류의 영향 ②센서에 의한 공간의 착란 ③주위 온도의 영향 등의 문제점이 지적되고 있으며, 저풍속을 정확하게 측정하기에는 곤란하다.

이러한 문제점에 대해, 본 연구에서는 그림 1과 같은 Smoke Wire(니크롬선 0.1 mm경)를 이용한 절대풍속의 계측을 위한 시스템을 작성했다. 5 mmW He-Ne 레이저로부터의 광선은 Beam Splitter에 의해 2개의 평행광선으로 되어, 투명 아크릴판으로 제작된 풍동의 내부에 조사된다. 상류측에서 Smoke Wire법에 의해 발생된 유동과라편 증기가 2개의 평행광선을 통과할 때의 차광을 각각의 주광센서(Photodiode)에 의해 계측된다. 그때의 차광에 의한 전기신호는 전기필터를 통과한 후 Sy-

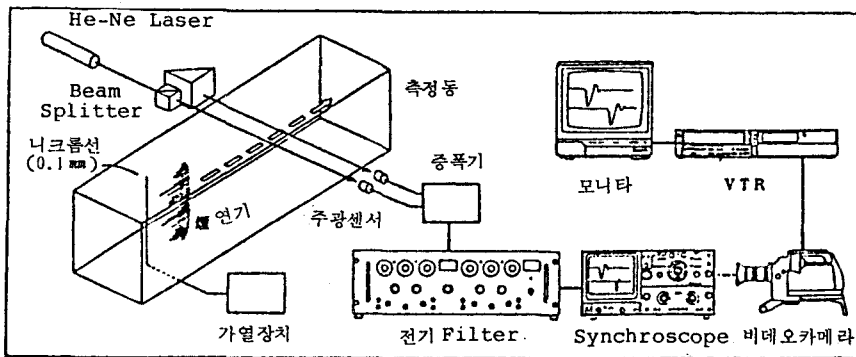


그림 1. 절대풍속계측 시스템의 개요

synchroscope 상에 나타나며, 그것을 동시에 비디오카메라로 녹화시킨 후 재생시켜 목시로 2개의 레이저광선의 차광신호의 시간차를 측정하는 것에 의해, 기류를 홀트리지 않고 정확하게 풍속을 측정할 수 있다.

3.3 실험용 풍동의 제작

저풍속의 계측실험을 위해 저풍속의 기류를 발생시킬 수 있는 실험용 풍동을 제작했다. 그림 2에 풍동의 개요를 나타낸다. 본 풍동은 흡입식으로써, 집합동, 축류동, 측정동

확산동, Fan으로 구성되어 있으며, 홀트림이 적고 안정한 저풍속의 기류를 얻기 위해 흡입구 및 측정동의 양단에 정류효과를 지니고 있는 조진용필터를 장치했으며, 측류동에는 60Mesh의 정류망을 4층으로 부착시켰다. Fan에는 측류송풍기를 사용했다.

제작한 풍동의 성능을 파악하기 위해, 측정동 단면의 풍속분포 및 중앙점에서의 풍속

의 시간경과를 열선풍속계로 측정했다. 그림 3에 단면풍속분포, 그림 4에 풍속변동의 표준편차, 그림 5에 시간경과에 의한 변화의 예를 나타낸다. 측정동의 단면내의 풍속분포는 절대풍속 계측실험을 행한 중앙부분에서 5%정도의 변동범위내에 있다. 풍속변동의 표준편차는 풍속과 거의 1차관계에 있으며, 시간경과에 의한 변화량은 평균풍속의 $\pm 5\%$ 이내에서 안정되어 있다.

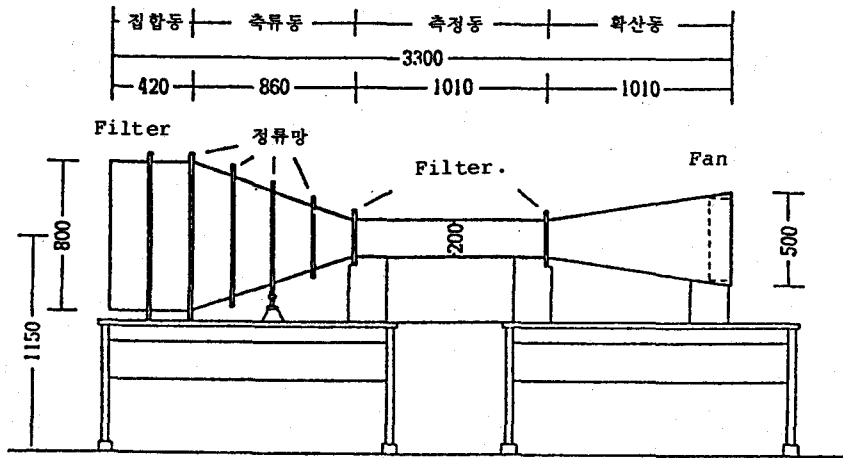


그림 2. 실험용 풍동의 개요

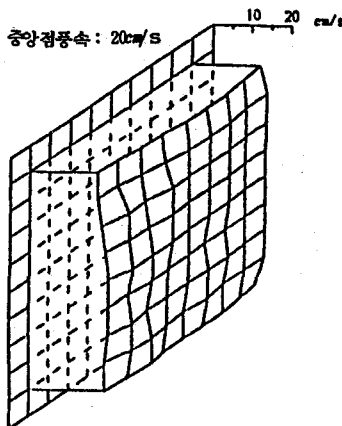


그림 3. 풍동단면의 풍속분포
(열선풍속계에 의한 측정)

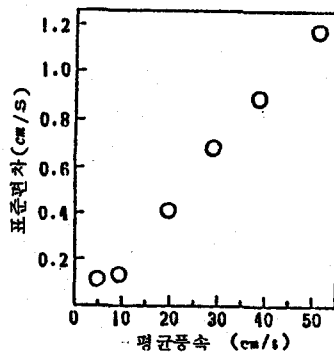


그림 4. 풍동중앙점에 있어서의
풍속변동의 표준편차
(교정된 열선풍속계에 의한 측정)

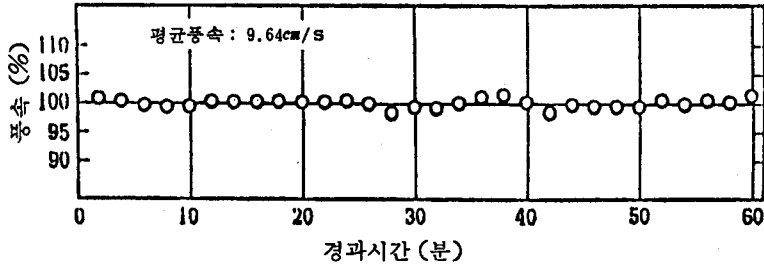


그림 5. 풍동중앙점에 있어서의 시간경과에 의한 풍속변화 (교정된 열풍속계에 의한 측정)

3.4 저풍속영역에 있어서의 절대풍속의 계측

그림 6에 Smoke Wire에 의한 풍속측정치의 빈도분포의 예를 나타낸다. Smoke Wire에 의한 풍속측정치의 50~60회의 평균은 빈도분포의 Mode치와 거의 일치

하고 있으며, 각 풍속측정치의 변동계수는 약 2~7%로써, 이 평균치를 가지고 측정동내의 절대풍속으로 간주했다. 이상의 결과로부터 4~60 cm/s 정도의 저풍속의 범위에서 본방법에 의한 풍속계측이 가능하다는 것을 알수 있다.

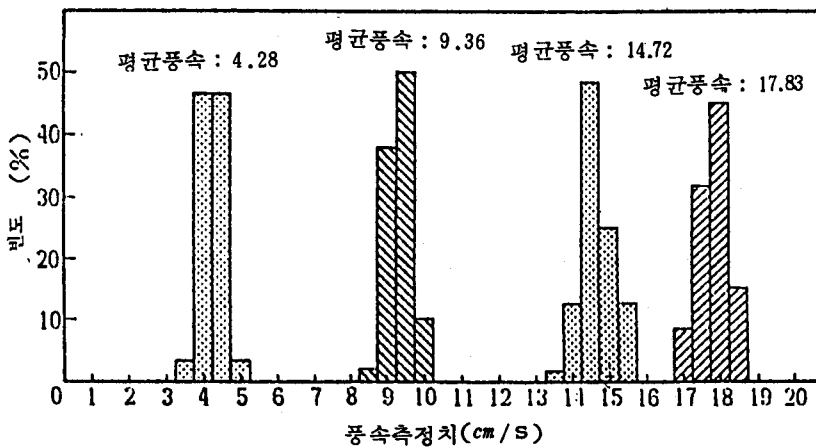


그림 6. Smoke Wire에 의한 풍속측정치의 빈도분포

그림 7에 Smoke Wire에 의한 측정치와 각각의 제작사에 의해 나름대로 교정된 4종류의 풍속계에 의한 측정치와의 비교를 나타낸다. 풍속계 A는 Smoke Wire에 의

한 측정치와 비교적 잘 일치하고 있지만 30 cm/s이하의 풍속에서는 조금 낮은 치를 나타내는 경향이 있다. 풍속계 B는 50 cm/s 이상의 풍속에서는 잘 일치하고 있지만, 30

cm/s 전후에서 높은 치를 나타내고 있으며 9 cm/s 이하에서는 일정한 치 (1 cm/s)를 나타내어 측정의 최소한계를 보여주고 있다. 풍속계 C도 30 cm/s 전후에서 높은 치를 나타내고 있는 경향이 있다. 풍속계 D는 전체적으로 조금 높은 치를 나타내고 있는 경향

이 있으며, 풍속이 0 cm/s 인 경우에도 4 cm/s를 나타내고 있다. 이와 같이 본실험에서 사용한 4 종류의 열식풍속계의 측정치는 50 cm/s 이상에서는 잘 일치하지만, 40 cm/s 이하에서는 각각 다른 특성을 나타내고 있다.

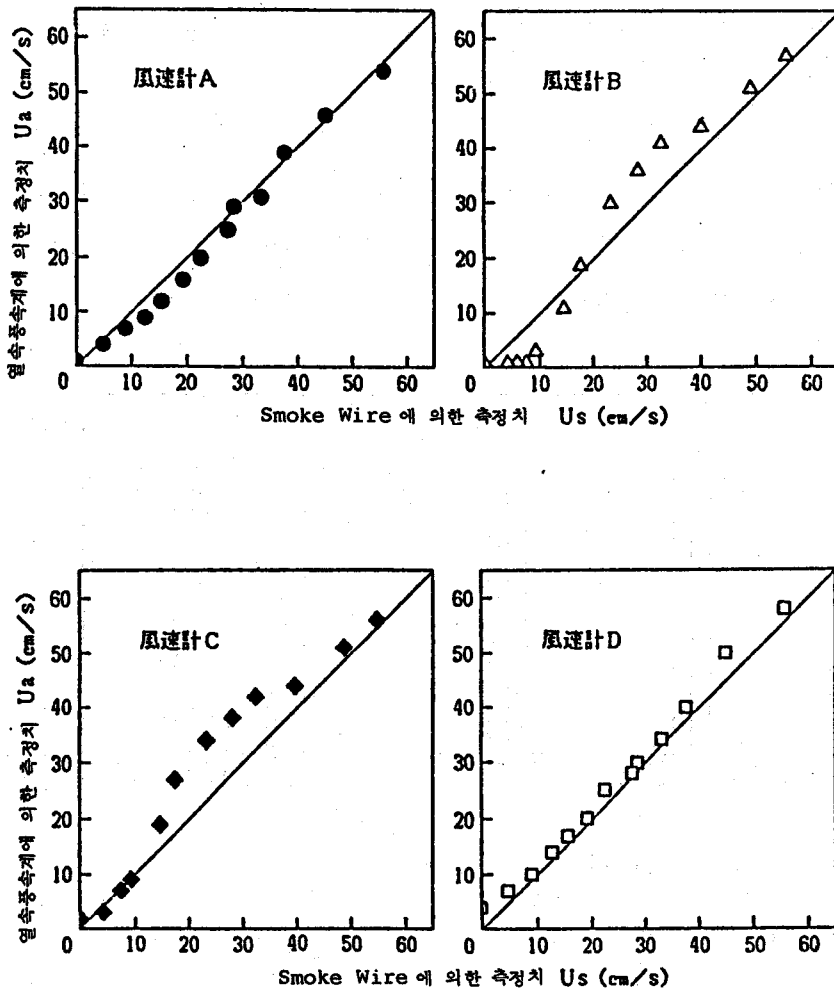


그림 7. Smoke Wire에 의한 절대풍속과 열 풍속계에 의한 측정치와의 비교

그림 8에 ISO규격에 의한 미풍속 측정규격과 본실험에 사용한 풍속계의 측정치와의 관계를 나타내고 있다. 30cm/s정도 이하의 저풍속영역에서는 측정 오차가 큰 것을 알 수 있다. 또, 10cm/s이하의 풍속에서는 I

SO규격을 만족시키고는 있지만, 오차가 ±55%이상으로 크다. 이상의 실험결과에서 알 수 있듯이 저풍속영역에서는 풍속계의 측정원리를 고려한 풍속치의 충분한 교정이 필요하리라 생각된다.

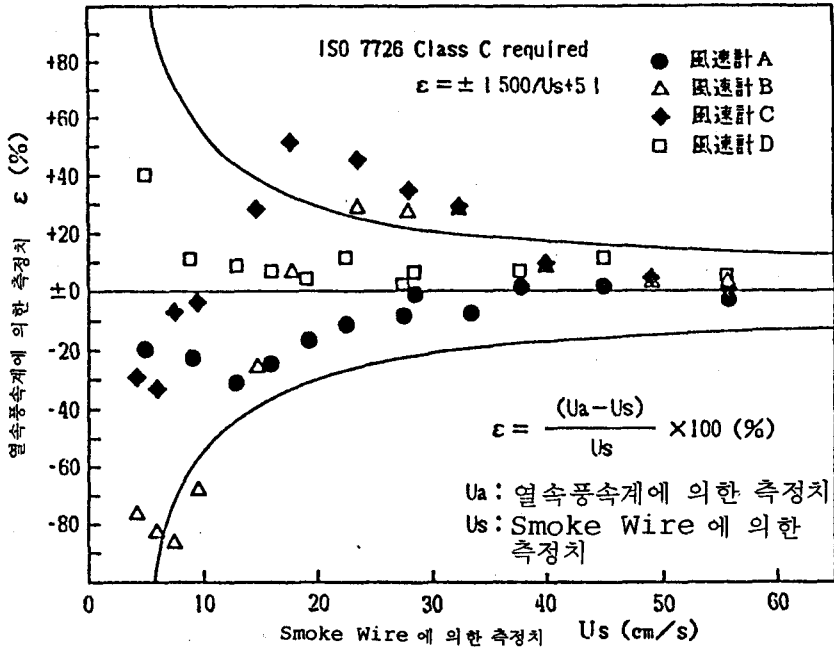


그림 8. 열선 풍속계의 측정오차

4. 기류의 가시화 ¹⁾³⁾

클린룸내의 기류의 성상은 가시화 수법에 의해 용이하게 관찰할 수 있다. 수법으로서 여러가지가 개발되어 있지만, 클린룸이라고 하는 특수한 경우에 사용되는 것은 한정되어 있다. 최근의 경향으로서는, 실제의 현장에서 클린룸을 오염시키지 않고, 간단하게 기류를 가시화할 수 있는 수법의 개발이

절실히 요구되고 있다. 이러한 조건을 완전히 만족시키는 것은 없지만, 현재 새로운 제품들이 개발되고 있다.

4.1 연기법

연초 및 선향의 연기를 기류중에, 기류와 동속으로 주입해서, 기류의 상태를 사진상으로 관찰할 수 있어 일반적으로 많이 사용되고 있다. 앞에서 기술한 IES-RP-006-

84T에 의하면, 기류의 평행도시험에 있어서 이 수법에 의해 기류의 주류로부터의 확산의 상태를 가시화해서, 기류의 확산각도가 최대 14° 이내로 규정하고 있다. 그러나 이 방법은 실내를 오염시키기 때문에 모니터링용으로서는 사용할 수 없다.

4.2 Tuft법

Tuft법은 저풍속영역에서 간단히 기류의 상태를 관찰할 수 있어서 많이 사용되고 있으나, 기류의 방향을 정확하게 나타내게 하기 위해서는 가능한한 가는 단섬유를 사용할 필요가 있다. 그러나, 그대로는 관찰하기 어렵기 때문에 Tuft에 형광염료를 칠해, 자외선을 조사시켜서 관찰하는 형광미니 Tuft법이 제안되어 있다.⁴⁾

4.3 청정수 Mist법

Mist를 만드는 방법으로서, 초음파가 습기에 의한 것, 반도체제조에 사용되는 고순도 LN₂를 사용하는 것 등이 실용화되어 있다.⁵⁾ 전자는 휴대가능하다는 장점이 있으며, 후자는 Mist의 발생량이 많아 가시화 거리가 비교적 긴 이점이 있다.

4.4 3차원 초음파풍속계에 의한 화상화

3차원 초음파풍속계의 probe의 소형화(200g + Cable 중량)와 처리소프트의 개발이 이루어져, 클린룸내의 기류가시화를 위해 현장측정에도 사용할 수 있게끔 되었다. 아직 소정의 위치에 Probe를 지지

고정해야 하는 것, 다점의 측정에 시간이 걸리는 것 등의 문제점은 있지만, 연기법 Tuft법으로는 관찰하기 어려운 난류실의 기류에도, 3차원 수치데이터와 함께 화상출력이 얻어지는 이점이 있다.

5. 결 론

이상 클린룸내의 기류측정법과 문제점에 대해 간략하게 기술했으며, 특히 현재 시판되고 있는 미풍속계에 의한 측정치의 오차가 실제로 매우 크다는 것을 실험을 통해 수치적으로 밝혔다. 앞으로, 클린룸의 기술개발 및 보수관리를 위해서는 미풍속의 표준과 교정에 관한 연구를 수행하여 미풍속 측정의 신뢰성을 향상시킬 필요가 있다. 또, 클린룸의 현장에서 간단하게 사용가능한 무발전의 기류가시화법의 개발도 조속히 이루어져야 되리라 생각한다.

(참고문헌)

- 1) 超清浄空間評價基準に係わる調査研究報告書, (社)日本機械工業連合會, p.64 ~ p.87, 1988年4月
- 2) 藤井修二, 金光映, その他; 低風速域における風速計の特性に関する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集(關東), p.901 ~ 902, 1988年10月.
- 3) 早川一也編著; クリーンルーム, 井上書院 p.184, 1985年4月.

- 4) Growder, J.P. ; Fluorescent Minitufts for Flow Visualization on Rotating Surfaces, 3rd International Symposium on Flow Visualization, Univ. of Michigan, Sep. 1983.

- 5) Bassam Amir; Clean Air Tracer System Non-Contaminating Flow Visualization System, 空氣清淨, Vol. 25, No.3, p. 24 ~ 40, 1987年10月.