韓國精密工學會 '96年度 秋季學術大會論文集 pp.496~500

제너 다이오드를 이용한 공기 유속계측 장치개발

김영재* 김희식** 조홍근***

*서울시립대 대학원, **서울시립대 , ***전력연구원

Abstract

An air flow measurement device is proposed. The thermal characteristic of a semiconductor element is adopted as a cooling parameter of thermal convection rate. The difference between forced convection and natural convection of two Zener diodes results enough difference in temperature. Experiment at various air flow conditions shows the measuring capability of the air flow in a duct. This measuring device has some merits, such as a reliability n hard field condiotion, simple circuit for signal processing, small volume of the element, less air flow resistance, independance of various air temperature. The experimental result shows that it is an exact and usefull air flow measurement device.

1. 서론

기체 유속 측정은 공기의 흐름을 이용하는 다양한 산업기기에서 중요한 부분을 차지하고 있다.
특히, 소방기기에서는 화재를 조기에 감지하고 정확성을 높이기 위해서는 원활한 공기 흐름이 유지되어야 한다. 공기의 흐름을 측정하는 대부분의 방법은 관내 센서장치나 기계장치를 설치하여 측정한다.
이 방법들은 운동에너지를 전기에너지로 변환하는 방법으로 이 과정에서 공기 흐름을 방해하는 기계적인 요소에 의해 많은 에너지 손실을 초래한다. 공기 유동 저항 증가 또는 압력손실은 본래 고유한 유동시스템에 문제를 발생시키는 경우도 있다.

본 논문의 내용은 공기 유동 저항이 극히 미약하면서 정밀하게 공기 유동을 감지하는 장치를 개발하고 그 특성을 규명하고자 한다.

화재 감지기에 적용하기 위하여 전자부품의 열특성을 이용한 공기 유속 측정장치를 개발하였는 바 그 이론을 제시하고 실험결과를 정리 하였다.

2. 기체유속측정의 기본이론

기체 유속측정에는 기체의 물리적 특성을 이용한 다양한 방법이 있다. 그 중에 대표적인 방법 에는 다음과 같다.

2.1 Pitot-static tube [1]

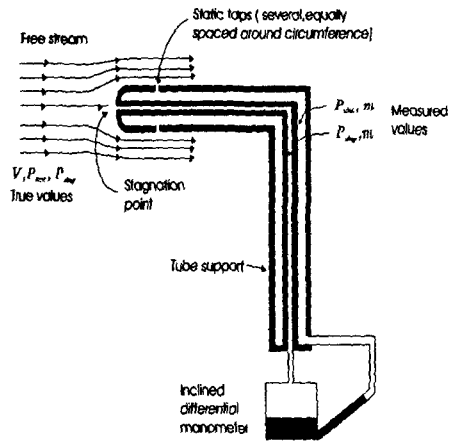


그림 1. Pitot 튜브를 이용한 유속 계측 방법

$$V=\sqrt{\frac{2(P_{stag}-P_{stat})}{\rho}}$$

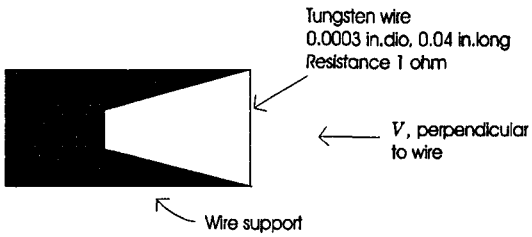
V = flow velocity
ρ = fluid mass density
P_{stag} = total pressure, free stream
P_{stat} = static pressure, free stream

정체점 압력 (P_{stag}) 과 정압 (P_{stat})의 차이를 이용하여 공기의 유속을 측정하는 방법으로 이 두 압력의 차이는 순수한 동압($P_{dynamic}$)이 되며

$P=\frac{1}{2}\rho V^2$ 이 된다.

즉, 압력 차이를 측정하면 유속 측정이 가능하다.

2.2 Hot -Wire Anemometers [1]



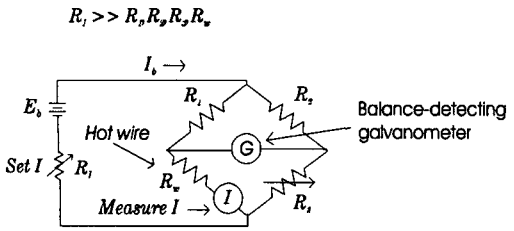


그림 2. Hot-wire를 이용한 공기 유속 계측

$I^2 R_w = hA(T_w - T_f)$

I = wire current

R_w= wire resistance

T_w= wire temperature

T_f = temperature of flowing fluid

h = film coefficient of heat transfer

A = heat-transfer area

Wire 가 I^2R_w의 열을 발생하고 그 열은 공기 흐름에 의해 식혀지고 전류는 열평형을 위해 더 많이 흐른다.

따라서, 전류값을 측정함으로서 유속을 알수 있다.

2.1 Pitot-static tube 와 같은 경우에는 공기 유속이 측정장치를 통과 한후 측정장치의 저항에 의해 낮아진다. 그렇지만 2.2 hot-wire 를 이용한 경우에는 공기 저항이 적기 때문에 측정장치를 통과 후에도 공기 유속은 거의 일정하다.

이번 연구에서 사용된 방법은 Hot-Wire Anemometers 와 같이 열 특성에 기초로 하고 Hot -Wire 라는 저항대신에 제너다이오드를 이용하였다.

3. 제너 다이오드의 동작 및 온도 특성[2][4]

제너다이오드의 기본특성을 결정하는 pn접합의 항복 현상은 제너 항복 현상과 애벌란시 항복 현상의 두개 현상에 의해서 설명되고 있다.

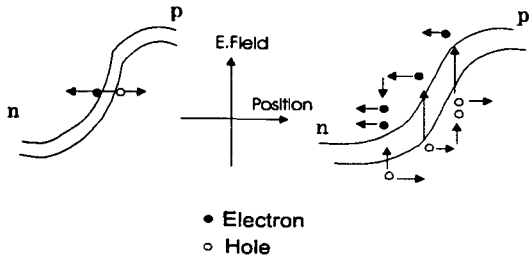


그림 3 제너항복 그림 4 애벌란시 항복

제너 항복 현상은 그림 3에서 처럼 pn접합에 역전압을 인가해서 점차 높여가면 공핍층 내 결정 격자를 형성하고 있는 가전자가 강전계에 따라서 격자의 결합수로 부터 잡아떼는 형태가 되고 공핍층의 폭이 수백Å이하인 경우, 그 대부분이 터널 현상에 의해서 pn 접합을 통과해서 급격히 전류를 흘리게 하는 현상을 말한다.

이때, 온도가 높아지면, 금지 대폭이 적어지므로 전위 장벽의 높이와 폭이 감소한다. 그러므로 제너 항복은 보다 낮은 역전압에서 일어난다.

애벌란시 항복은 그림 4에서 처럼 열적으로 발생한 전자와 정공이 역전압의 상승으로 공핍층 내를 가속되어 결정내 원자와 충돌해서 가전자를 두들겨 내어 전자와 정공의 쌍을 만든다. 그리고 두들겨낸 전자와 정공도 전계에 의해서 가속되고 다른 원자와 충돌해 가전자를 두들겨 내어 전자와 정공의 쌍을 만든다.

이와 같이 전자와 정공이 계속 증식되어서 드디어는 급격한 전류를 흘리게 하는 현상을 말한다. 온도가 높아지면 결정격자의 열진동이 심해지기 때문에 캐리어의 자유행정이 짧아지며 이온화 작용을 나타내기 위해서 더욱 강한 전장이 요구된다.

따라서, 애벌란시 효과에 의한 항복전압은 온도가 높아짐에 따라 증대한다.

그림 5은 I_z = 5[mA] 일 때 여러가지 제너 다이오드에 대해서 제너전압의 함수로서 온도계수를 표시하고 있다. 온도계수는 양 혹은 음이며, 보통 $\pm 0.1\%/℃$[3]의 범위에 있다.

기준 전압이 6 V 이상의 다이오드는 애벌란시 효

과에 의해 온도계수가 양이며, 6 V이하의 것은 제너 효과에 의해 온도계수가 음이다.

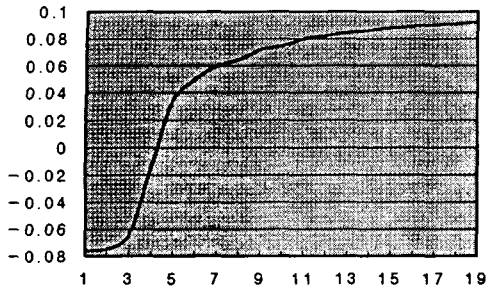


그림 5 항복전압과 온도계수(%/℃)의 관계[5]

4. 공기 유속 계측 실험 및 교정 방법

실험은 pitot-static tube를 이용해서 표준유속을 측정하고 동일한 환경하에서 제너다이오드 유속측정 장치로 측정하였다. 일정한 풍속을 만들기 위해 brushless DC motor를 사용하는 air pump[6]를 이용하였다.

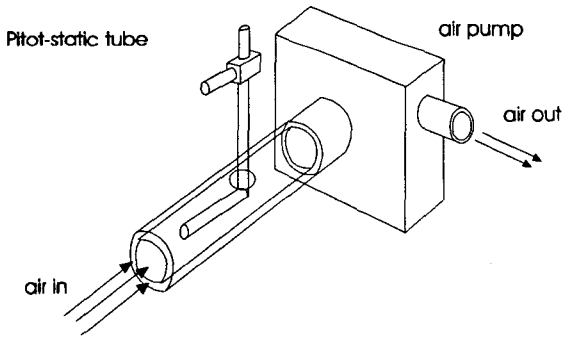


그림 6 Pitot 튜브 이용한 유속 표준측정

그림 6 처럼 Pitot-static 튜브에 연결된 두개의 관에서 압력을 계측한다. 외부관에서는 정압이 작용되고 중앙의 내부관에서는 정체점압력 즉, 정압과 동압의 합력이 작용되므로 차이 압력이 동압이 된다.
그러므로 차압 측정계를 연결하면 2.1과 같이 유속을 계산할 수 있다.

표준 유속교정에 사용한 Pitot-static 튜브와 차압계는 외부 표준연구기관에 검교정을 실시하여 0.5% 이하의 오차를 가진것으로 확인한 후에 사용였다.

실제 제너 다이오드 유속계측 실험장치는 검교정 장치의 측정 환경과 동일 하게 하기 위하여 air pump와 내부관은 검교정 장치와 같은 위치에 두고 단지 pitot-static tube 대신에 제너다이오드 유속계측 장치를 그림 7과 같이 설치 하여 전압을 측정하였다.

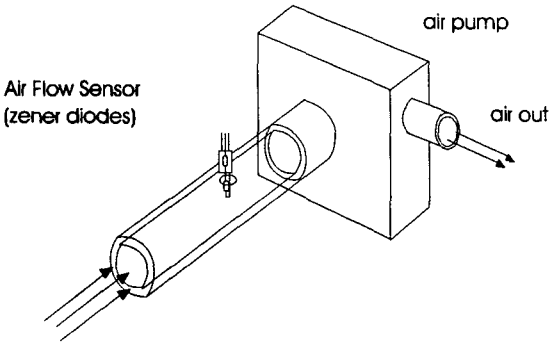


그림 7. 제너다이오드를 이용한 유속계측

제너다이오드 유속실험 장치의 제너다이오드 부분를 보면 그림 8 과 같은 모양으로 제너다이오드 하나는 관내 노출시켜 공기 흐름에 의해 냉각 되도록 한다.

그리고 나머지 하나는 외부에 설치해서 관내 흐르는 공기와 분리되도록 하였다.

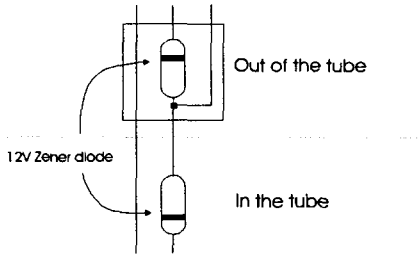


그림 8. 제너다이오드

외부,내부에 관계없이 설치된 다이오드는 인가된 전압에 의해 발열하게 되지만 내부에 설치된 다이오드는 대류열 전달에 의하여 냉각열량이 크게된다.
시간적으로 정상상태에 도달했을 때에는 다이오드에서 발생 되는 열과 외부공기에 의해서 냉각되는 열이 균형을 이루게 되는 데 실험에 의하면 약 10초가 필요하였다.

두제너다이오드의 전압차를 이용하므로서 측정 환경의 외부 온도에 관계없이 공기 흐름에 의해 냉각되는 전압을 측정하게 된다.

사용된 회로 구성은 그림 9와 같이 2개의 12V제너다이오드와 두개의 저항을 이용하여 회로를 만들

고 두개 다이오드의 전압 손실차를 측정하였다. 정확한 제너다이오드로 부터의 측정값을 알기 위해 별도의 증폭회로는 추가 하지 않았다. R1, R2 저항값에 의해 제너다이오드에 흐르는 전류를 조절할수 있다. 전류가 많이 흐를 수록 제너다이오드의 발열량은 많아 진다. 따라서 R1,R2와 제너다이오드 유속계측값과의 관계를 알기 위해 각각 560,1K일 때 1K, 1K 일 때, 1K,560일때 3가지 경우에 대해 실험하였다.

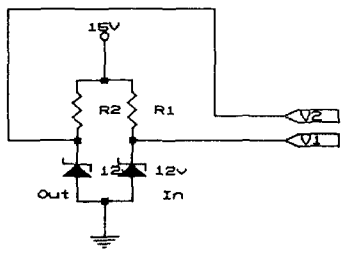


그림 9. 제너다이오드를 이용한 유속계측용 브릿지 회로

5. 실험 결과

Pitot-static 튜브의 측정 단위인 mm of water 와 제너다이오드 유속계측장치의 측정단위인 mv 와의 상관관계를 그래프로 나타내면 그림 10, 그림 11, 그림 12과 같다.

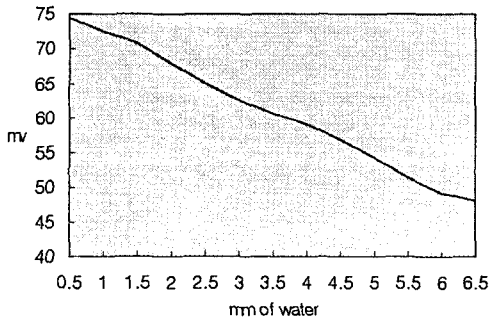


그림 10 . R1=560, R2=1K 일 때 관계 그래프

그림 10과같이 R1=560,R2=1K 인 경우에는 R1과 연결된 제너다이오드에 흐르는 전류값이 다른 쪽의 제너다이오드보다 크므로 제너 다이오드 자체에서 발열되는 열의 양이 다른 쪽에 비해 더 크다.

두개의 제너다이오드에서 발열되는 열의 양의 차이에 의해 제너다이오드의 항복전압은 서로 차이가 나게 된다.

그렇지만 R1과 연결된 제너다이오드는 튜브 내부에 설치되어 바람에 의해 냉각 되므로 냉각되는 열량이 커질 수록 그 차이는 줄어 들게 되어 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있다.

그래프로 나타내면 그림 10과 같이 풍속에 강해질 수록 두개의 제너다이오드 사이의 전압차가 줄어듬을 알 수 있다.

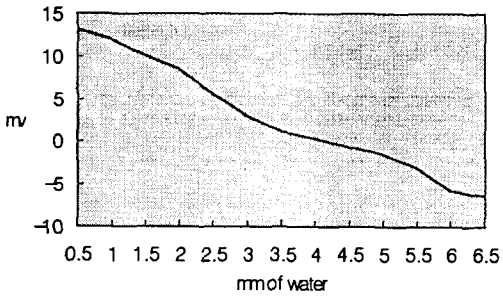


그림 11 .R1=1K, R2=1K 일 때 관계 그래프

그림 11과 같이 R1=R2=1K일 경우 두개의 제너다이오드의 발열량이 같으므로 튜브내부와 외부의 환경 조건과 풍속의 차이에 의해 전압차가 13.1 mv 에서 -6.3 mv 까지로 전압차의 극성이 바뀌게 된다. 그러므로 다른 회로와 같이 사용하기가 힘들게 됨을 알 수 있다.

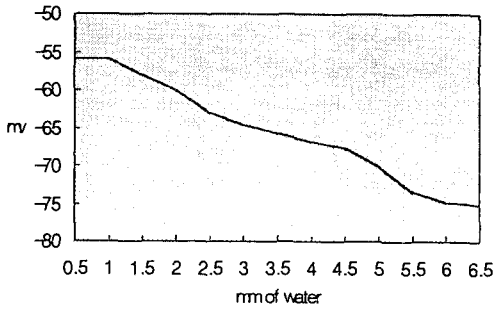


그림 12 R1=1K, R2=560 일 때 관계

그림 12와 같이 R1=1K, R2=560 일 경우에는 튜브 외부에 설치된 제너다이오드의 발열량이 내부에 설치된 제너다이오드 보다 크게 되어 음의 전압차를 나타낸다. 위의 실험을 통해 제너 다이오드를 이용

한 풍속 계측기의 특성을 알아 보았다.

제너 다이오드와 저항만으로 된 브릿지 회로를 이용함으로써 간단히 회로를 구성하였고 공기가 흐르는 관내부에 제너다이오드 하나 만을 설치 함으로써 공기의 저항을 최소화 하였다.

앞으로 제너다이오드 이외에 다른 회로를 추가함으로서 보다 정밀한 측정이 가능하고 보다 다양한 분야에 활용 되어 질 것으로 보인다.

6. 참고 문헌

1. Ernest O.Doebelin,"Mesasurment Systems Application and Design" Mechanical Engineering Series , McGraw-Hill pp.528-544 ,1990

2. M.S. TYAGI, " Introduction to Semiconductor Materials and Devices" John Wiley & Sons, Inc. pp.235 ,1991

3. THOMAS L.FLOYD "Electronic Devices" Macmillan Publishing Company, pp.101, 1992

4. 工業調査會 "일렉트로닉스 디바이스 活用技術" 기전연구사, pp 116-120, 1994

5. 연규호, "반도체 공학" 상조사 pp.208-210, 1994

6. IRVING H. SHAMES "Mechanics of Fluids" Mechanical Engineering Series, McGraw-Hill pp.641-649, 1982