

광도전성저항 안정화회로를 채택한 가변온도형 열선유속계의 출력특성에 관한 실험적 연구

이 신 표*

(2001년 1월 4일 접수, 2001년 7월 2일 심사완료)

Experimental Study on Output Characteristics of a Variable Temperature Anemometer Adopting a Photoconductive Cell and Stabilizing Circuit

Shin-Pyo Lee

Key Words: Photoconductive Cell(광도전성저항), Output Drift(출력변동), Variable Temperature Anemometer(가변온도형 열선유속계), Stabilizing Circuit(안정화회로)

Abstract

Variable temperature anemometer(VTA) has greater sensitivity than a conventional constant temperature anemometer(CTA). In order to design a reliable VTA system, however, an elaborate photoconductive cell stabilizing circuit which plays a key role in setting wire-overheat ratio should be firstly developed. In this study, a stabilizing circuit which adopts proportional-integral analog controller was proposed and thoroughly tested for its accuracy and reproducibility. In contrast to the available circuit suggested by Takagi,⁽¹⁾ the present circuit has characteristic that the resistance of a photoconductive cell increases with the increase of input voltage, which makes the current circuit very suitable for the design of VTA. Finally, VTA adopting stabilizing circuit was made and the enhanced sensitivity of the VTA was validated experimentally by comparing the calibration curves of VTA and CTA.

1. 서 론

열선유속계는 가장 널리 사용되는 유속 측정 기기로서 센서인 열선의 구동방식에 따라 정온도형(CTA, Constant Temperature Anemometer), 정전류형(CCA, Constant Current Anemometer), 정전압형(CVA, Constant Voltage Anemometer) 등으로 구

분된다. 기존에 개발된 열선유속계들의 공통적인 단점은 저속에서는 속도에 대한 출력의 감도가 높지만 고속이 될수록 감도가 낮아지는 것이다.

이신표 등⁽²⁾은 열선의 온도가 일정하지 않고 열선의 온도를 속도에 따라 증가시키는 새로운 유속계 회로를 제시하고 실험을 통하여 정온도형보다 감도가 향상됨을 확인하였다. 새로운 유속계는 열선의 온도가 속도에 따라 변하므로 가변온도형 유속계(VTA, Variable Temperature Anemometer)로 명명되었다. 가변온도형은 정온도형 열선유속계를 기본모델로 사용한다. 다른 점은 정온도형 유속계의 브릿지에서 열선의 반대측

* 회원, 경기대학교 기계공학과
E-mail: shinpyo@kuic.kyonggi.ac.kr
TEL : (031)249-9814 FAX : (031)249-9796

에 위치하여 열선의 과열비를 설정하는데 사용하는 포텐시옴터(potentiometer) 저항 대신 광도전성저항을 사용하는 것이다. 광도전성저항은 입력되는 전압에 따라 저항이 변하는 전기소자이다. 따라서 열선의 온도가 속도의 증가에 따라 증가하도록 광도전성저항에 입력되는 전압을 조절하면 유속계는 가변온도형으로 동작하고 향상된 감도를 기대할 수 있다.

한편 최근에 광도전성저항을 열선유속계에 도입하여 사용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. Takagi⁽¹⁾는 유속계 온도보상, 과열비 설정, 주파수 응답특성 시험 등에 광도전성저항을 사용하였다. Lee 등⁽³⁾은 광도전성저항과 트랜지스터를 이용한 가변온도형 유속계의 설계방법을 제시하였다. Ligeza,⁽⁴⁾ Lee⁽⁵⁾ 등은 유속계의 온도보상에 광도전성저항을 사용함으로써 임의형식의 온도계를 사용할 수 있는 방법을 제시하였다.

이상에서 언급한 모든 방법들은 기존 유속계의 브릿지에 사용되던 과열비 설정용 가변저항을 광도전성저항으로 대체하고 입력전압을 목적(예를 들면 감도향상 또는 온도보상)에 따라 적절히 조절하는 것이다. 따라서 광도전성저항이 입력전압에 따라 재현성(reproducibility)을 갖고 일정한 저항값을 유지해야만 출력 또한 재현성을 갖고 유속계의 교정곡선도 신뢰할 수 있을 것이다.

그러나 谷腰欣司⁽⁶⁾이 지적한 바와 같이 광도전성저항은 입력전압이 동일하여도 주위온도의 변화와 내부를 흐르는 전류의 발열에 의하여 저항이 변동한다. 현재 제안된 광도전성저항 안정화회로로는 Takagi⁽¹⁾의 회로가 있으나 본 연구자가 이 회로를 이용하여 측정실험을 수행한 결과 재현성의 문제가 발견되었다.

본 연구에서는 비례적분제어를 사용하는 새로운 광도전성저항 안정화회로의 설계방법을 제시하고 최종적으로 이 회로를 이용하여 가변온도형 열선유속계를 제작하였다. 예시적으로 안정화회로 없이 저항변동이 있는 광도전성저항을 정온도형 유속계의 과열비 설정용 저항으로 사용하였을 때, 출력변동과 오차를 계산하여 안정화회로의 필요성을 강조하였다. 기존 안정화회로의 입력-출력특성을 검토하고 가변온도형 유속계에 사용할 경우 발생하는 문제점을 파악하였다. 그리고 노즐 출구에서 교정실험을 수행하여 재현성을 갖는 안정된 교정곡선을 얻을 수 있는가를 검토하였

다.

2. 광도전성저항의 저항변동

2.1 입력-출력 특성

Fig. 1에 입력전압 V_c 를 직렬저항 R_s 를 통하여 광도전성저항과 연결한 단순한 형태의 구동회로를 나타내었다. 광도전성저항은 입력측이 광다이오드(LED, Light Emitting Diode), 출력측이 황화카드뮴(CdS)으로 구성된 반도체 소자로서 밀폐된 패키지에 조립되어 있다. 입력전압에 따라 광다이오드의 빛의 강도가 변하면 이에 따라 출력측의 저항 R_c 가 변화한다.⁽²⁾ 광도전성저항은 입력전압이 증가함에 따라 출력측의 저항이 비선형적으로 감소한다.^(2,4,6)

Fig. 2는 Fig. 1의 회로에서 V_c 를 3.01V로 일정하게 설정하고 주위온도를 바꾸며 저항변화를 측정된 것이다. 실험은 광도전성저항회로와 열전대를 동일한 위치에 설치하고 열풍기를 이용하여

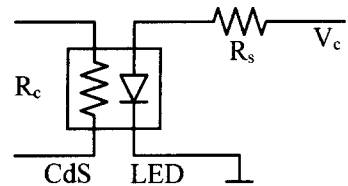


Fig. 1 Basic photoconductive cell driving circuit

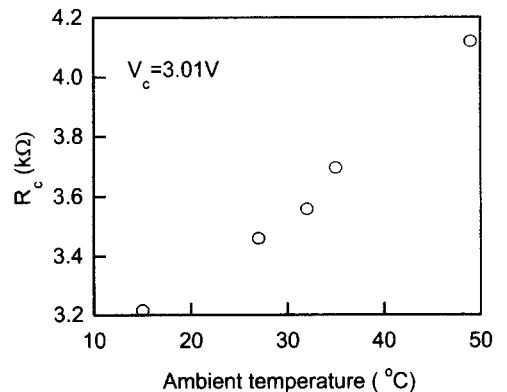


Fig. 2 Effect of ambient temperature on the resistance of photoconductive cell

회로주위의 온도를 조절하였다. 온도가 상승함에 따라 저항값이 매우 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 15°C와 49°C의 측정값을 비교해보면 약 30%의 매우 크게 저항변동이 나타난다. 정밀한 온도조절을 실시하지 않았으므로 Fig. 2의 결과는 많은 오차를 포함하지만 Fig. 1의 회로는 주위온도의 변화에 따라 큰 저항변동이 나타나게 됨을 보여준다.

2.2 정온도형 열선유속계의 출력 변동 예측

정온도형 열선유속계의 정특성방정식 즉, 속도-출력전압 관계식을 이용하여 브릿지의 과열비 설정용 저항으로 광도전성저항을 사용하는 경우 저항의 변동에 의해 발생하는 출력의 변동을 계산을 통하여 정량적으로 예측해 본다. Fig. 3은 잘 알려진 정온도형 열선유속계의 개략도이다. 브릿지에서 R_a , R_b 는 고정저항이며 R_w 는 센서인 열선, R_c 는 과열비 설정용 가변저항으로 본 연구에서는 기존의 포토시미터 가변저항대신 광도전성저항을 사용한다. 그러므로 Fig. 3의 경우에는 입력전압 V_c 를 조정하여 광도전성저항의 저항값을 설정한다.

부귀환(negative feedback) 증폭기의 작용에 의해 열선의 저항은 항상 다음의 식 (1)이 되도록 제어된다.⁽⁷⁾

$$R_a \cdot R_c = R_b \cdot R_w \quad (1)$$

또한 브릿지 상단의 출력 E_b 는 다음과 같이 표시된다.^(1,2,7)

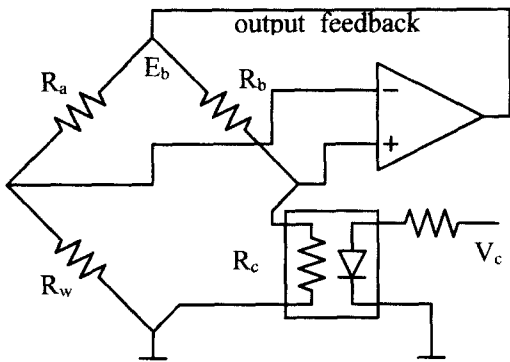


Fig. 3 CTA circuit adopting a photoconductive cell as a resistor for overheat ratio setting

$$E_b^2 = K \cdot (A + B\sqrt{U}) \quad (2)$$

$$K = \frac{\pi dl}{\alpha R_0} \left(1 - \frac{R_f R_b}{R_a R_c} \right) \left(R_a + \frac{R_a R_c}{R_b} \right)^2 \quad (3)$$

여기서 $A + B\sqrt{U}$ 는 열선주위의 대류열전달계수 h 를 나타내며 d 는 열선의 지름, l 은 열선의 길이, α 는 온도저항계수, R_0 는 0°C에서의 열선의 저항, R_f 는 열선이 유체온도에서 갖는 저항이다. R_c 가 정밀하게 설정되는 기존 정온도형 유속계에서 K 는 상수이다. 그러나 R_c 가 일정하게 유지되지 않으면 K 는 변동하게 되고 이것이 식 (2)에 반영되므로 출력이 변동하게 된다.

가장 많이 사용되는 직경 5 μm , 길이 2mm의 텅스텐 열선에 대하여 식 (2)와 (3)을 이용하여 계산한 유속계의 출력을 Fig. 4에 나타내었으며 Table 1에 상세한 계산조건을 나타내었다.

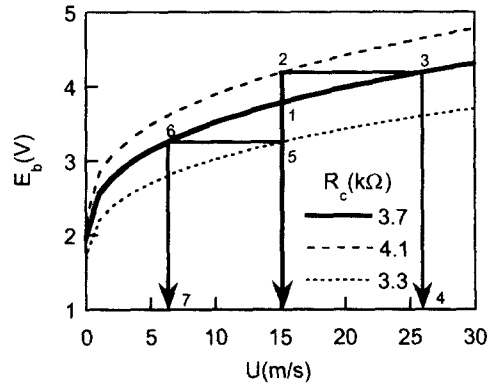


Fig. 4 Effect of R_c drift on the output of CTA

Table 1 Calculation conditions for Eq. (2)

	value	remarks
R_a, R_b	50 Ω 24.7k Ω	fixed resistor
R_c	3.7k Ω	overheat ratio
R_f	5.0 Ω	resistance at 20°C
R_0	4.64 Ω	resistance at 0°C
l	2mm	wire length
d	5 μm	wire diameter
α	0.0039/°C	for tungsten
A, B	2000, 1400	King's Law
U	0 ~ 30m/s	velocity

R_c 가 $3.7k \Omega$ 인 경우를 기준으로 약 30%씩 ($+0.4k \Omega$, $-0.4k \Omega$) 증감한 경우의 출력변동을 보여준다. 15m/s의 경우를 기준으로 보면 R_c 의 변동에 의해 출력이 10%이상 변동하고 있다. 유체의 속도가 15m/s인 경우, R_c 가 $3.7k \Omega$ 으로 일정하면 유속계의 출력은 점 1로 표시한 약 3.8V로 나타난다. 그러나 R_c 가 $4.1k \Omega$ 으로 증가하면 동일한 15m/s에서 출력은 점 2로 표시한 약 4.2V로 나타날 것이다. 이 경우 사용자는 유체의 속도를 점 4로 표시한 약 26m/s로 측정할 것이다. 따라서 속도측정의 오차는 대략 $(26-15)/15$ 정도로 약 70%정도까지 매우 크게 나타난다. R_c 가 감소하여 $3.3k \Omega$ 이 된 경우의 측정과정이 점 5-6-7로 표시되어 있다. 이 경우 동일한 속도보다 최종적으로 측정속도를 낮게 평가하게 되며 속도측정의 오차는 R_c 가 증가한 2-3-4의 경우와 비슷하다.

이상의 계산결과를 통하여 안정화회로를 사용하지 않고 광도전성저항을 정온도형 열선유속계의 과열비설정용 저항으로 사용할 경우, 매우 큰 속도측정의 오차가 발생하게 됨을 알 수 있다. 따라서 광도전성저항을 유속계에 도입하여 사용하는 경우 먼저 재현성 있는 광도전성저항 구동 안정화회로의 개발이 필수적임을 알 수 있다.

3. 광도전성저항 안정화회로의 설계

3.1 Takagi⁽¹⁾가 제시한 안정화회로

Fig. 5의 회로는 Takagi에 의하여 제시된 안정화회로로서 연산증폭기의 적분회로를 응용하여 증폭기의 부귀환루프에 광도전성저항을 연결한 안정화회로이다.

비반전입력단자(+)는 접지와 연결되어 있으므로 반전입력측(-)의 전위도 0이 된다. 따라서 Fig. 5에서 A로 표시된 점이 전위가 0이 되는 가상접지(imaginary short)점이다. 이 점에 저항 R_1 , R_{ref} 와 콘덴서 C가 연결되어 있고 전류 I_1 , I_2 , I_3 가 흐른다. 키르히호프의 법칙에 의해 이 점을 지나는 전류의 합은 0이므로 다음의 식 (4)로 표시되며 적분하면 출력 V_0 는 식 (5)와 같다.

$$-\frac{V_{ref}}{R_1} + \frac{V_c}{R_{ref}} + C \frac{dV_0}{dt} = 0 \quad (4)$$

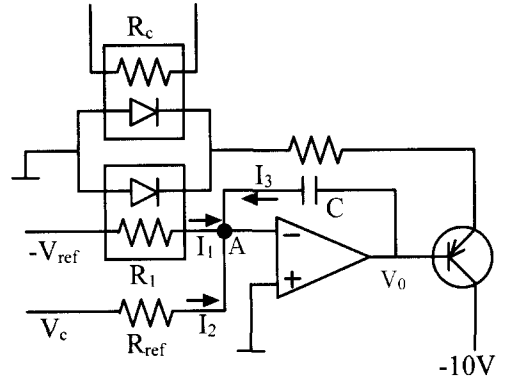


Fig. 5 Photoconductive cell stabilizing circuit suggested by Takagi

$$V_0 = -\frac{1}{C} \int_0^t \left(-\frac{V_{ref}}{R_1} + \frac{V_c}{R_{ref}} \right) dt \quad (5)$$

연산증폭기의 적분회로는 식 (5)의 괄호 안의 식이 0이 되도록 작용하며 따라서 다음의 식 (6)이 성립하여 R_1 은 입력전압 V_c 에 따라 변화한다.⁽⁸⁾

$$R_1 = \frac{V_{ref} \cdot R_{ref}}{V_c} \quad (6)$$

Fig. 5를 보면 두 개의 광도전성저항이 병렬로 연결되어 있다. R_1 은 그 입력과 출력이 모두 부귀환회로에 직접 연결되어 있으며 그 저항값이 식 (6)이 되도록 입력전류가 조절되고 있다. 따라서 이 광도전성저항 R_1 은 직접 유속계의 브릿지에 연결되어 사용될 수 없다. R_1 과 병렬로 연결된 저항 R_c 의 입력측에도 동일한 조절전류가 흐르므로 만약 두 개의 광도전성저항의 성질이 정확히 동일하다면 출력측의 저항 R_c 도 식 (6)으로 표시될 것이다.

Fig. 6은 Fig. 5의 회로를 구성하여 실험한 결과이다. 입력전압 V_c 가 증가함에 따라 저항이 비선형적으로 감소하며 식 (6)으로 예상한 저항변화의 경향과 일치한다. 그러나 실험실온도가 17°C로 일정하고 입력전압이 동일하여도 최대 약 100% (2%)의 저항변동이 관찰되었다. 열풍기를 이용하여 주위온도를 실험실 온도보다 약 30°C 증가시

키면 최대 약 400Ω (7%)의 저항변동이 관찰되었다.

저항값의 재현성문제 뿐만 아니라 입력전압에 따라 저항이 감소하는 특성은 본 연구의 최종목표인 가변온도형 유속계를 설계하는 경우 매우 결정적인 단점이 된다. 유속계의 감도를 향상시키기 위해서는 속도증가에 대한 정보를 이용하여 증가된 V_c 를 광도전성저항을 구동하는 회로에 입력하여 R_c 를 증가시켜 이에 따라 열선의 과열비를 증가시켜야 한다. 그러나 Fig. 6의 특성을 갖

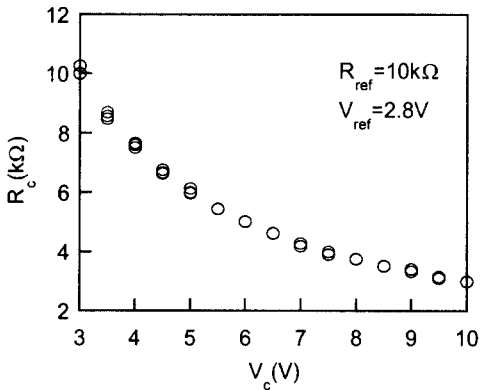


Fig. 6 Resistance variation curve using the stabilizing circuit by Takagi

는 안정화회로를 이용하는 경우에는 V_c 의 증가에 의해 오히려 R_c 가 감소하여 열선의 과열비가 낮아지고 결과적으로 감도가 낮아지게 된다. 회로 구성을 통하여 이것을 해결하려면 연산증폭기 등을 이용하여 증가된 속도신호를 다시 줄여서 광도전성저항에 입력해야만 R_c 가 증가하고 감도의 향상을 기대할 수 있다. 따라서 추가적인 신호변환회로가 필요해진다. 이상의 논의를 통하여 입력전압에 따라 출력저항이 증가하는 새로운 형식의 안정화회로가 필요함을 알 수 있다.

3.2 비례적분제어를 이용한 안정화회로 설계

Fig. 7은 비례적분제어기를 이용하여 새로 구성된 안정화회로를 나타낸다. 연산증폭기를 이용하여 차동증폭기(compare and amplifier), 적분기(integrator)를 구성하였다.⁽⁹⁾ 차동증폭기는 입력전압 V_c 와 V_5 의 차이를 검출하고 증폭한다. 전압 V_5 는 저항 R_{ref} 와 R_1 에 의해 V_{ref} 가 분할되어 식 (7)로 표시되며 R_1 즉, 광도전성저항의 저항변동에 대한 정보를 가지고 있다.

$$V_5 = V_{ref} \frac{R_1}{R_1 + R_{ref}} \tag{7}$$

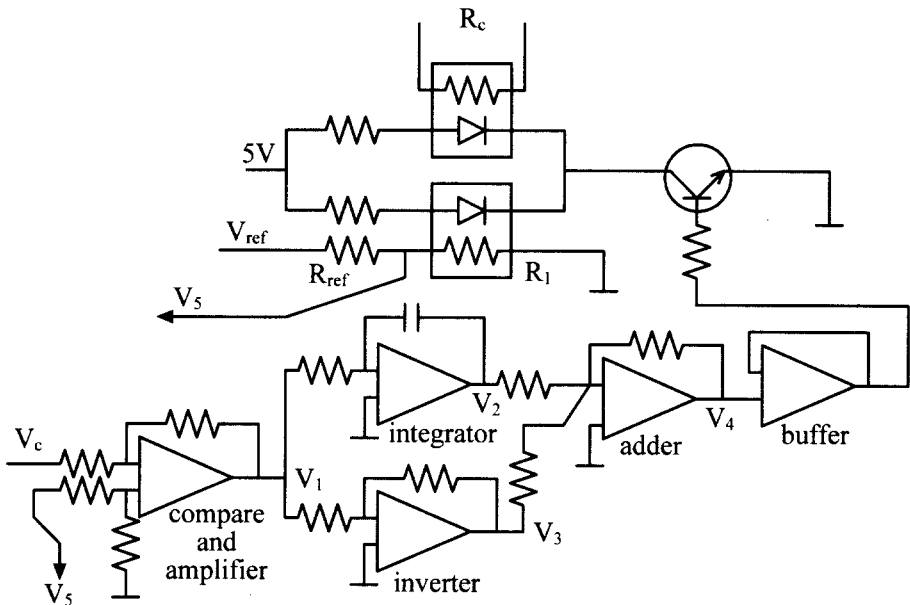


Fig. 7 Photoconductive cell stabilizing circuit using proportional-integral analog controller

적분기는 재현성을 향상시키기 위하여 도입되었으며 전체회로는 부귀환루프를 형성하여 $V_c=V_s$ 가 되도록 동작한다. 이 경우 R_1 은 V_c 에 의해 변화하며 다음의 저항값을 갖는다.

$$R_1 = R_{ref} \left(\frac{V_c}{V_{ref} - V_c} \right) \quad (8)$$

Fig. 7은 Takagi의 회로에서 두 개의 저항을 병렬로 사용했던 방법을 동일하게 적용하고 있다. 즉, 한 개의 광도전성저항 R_1 은 그 입력과 출력이 부귀환회로에 직접 연결되어 자신의 양단에 걸리는 전압을 검출하는 센서로서의 역할을 수행한다. 만약 온도변화와 같은 외부의 교란이 발생하여 R_1 에 변화가 생기면 이것은 바로 전압의 차이로 나타나고 부귀환회로의 작용에 의해 LED에 흐르는 전류가 조절되어 자신의 저항값이 다시 외부의 기준저항값 R_{ref} 과 전압 V_c , V_{ref} 로 설정되는 R_1 으로 제어된다. 병렬로 연결된 저항 R_c 의 입력측에도 동일한 조절전류가 흐르므로 만약 두 개의 광도전성저항의 성질이 정확히 동일하다면 출력측의 저항 R_c 도 식 (8)로 표시될 것이다. 이 저항이 실제로 유속계의 브릿지에 연결되어 열선의 과열비를 조절하게 된다.

Fig. 8은 입력전압 V_c 의 증가에 따라 저항 R_c 가 증가하는 것을 보여준다. R_{ref} 는 $1.3k\Omega$ 이며 V_{ref} 는 $5V$ 이다. 동일한 값을 식 (8)에 적용하여 계산된 R_1 과 측정값 R_c 는 정성적으로 경향이 일치하

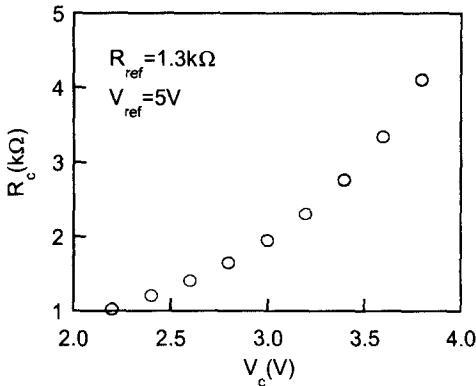


Fig. 8 Resistance variation curve using the circuit in Fig. 7

여 제시한 안정화회로가 설계의도에 따라 잘 동작함을 보여준다. 실험과정에서 측정된 R_1 의 저항값은 정확히 식 (6)을 만족하였다. 그러나 두 개의 저항 R_1 , R_c 의 입력-출력 특성이 정확히 동일하지 않으므로 두 값은 차이가 나게 된다. 광도전성저항의 형식은 1개의 LED와 1개의 CdS가 1개의 광도전성저항을 구성하는 형식과 1개의 LED와 2개의 CdS가 하나의 소자를 구성하는 형식이 있다. 국내의 경우에는 1개의 LED와 1개의 CdS로 구성된 소자만을 구할 수 있었던 관계로 본 저자는 동일한 제조번호를 가진 여러 개의 소자에 대하여 입력-출력 실험을 통하여 가능한 한 비슷한 특성을 갖는 소자를 선정하여 실험하였다.

Fig. 6의 결과와 비교하여 중요한 것은 입력전압에 따라 출력측 저항이 증가하는 형식으로 동작하는 것이다. 또한 구성한 회로에 열풍기를 이용하여 회로의 온도를 상온보다 $30^{\circ}C$ 나 변화시킨 경우에도 최대로 나타나는 저항의 변동은 약 $0.2\%(5\Omega)$ 로 재현성이 우수하였다. 따라서 Fig. 7의 회로를 이용하여 가변온도형 유속계를 설계하면 신뢰할 수 있는 교정곡선이 얻어질 것으로 예상할 수 있다.

4. 가변온도형 열선유속계의 설계

정온도형 열선유속계에서 유속의 증가에 따라 사용자가 과열비 설정용 저항을 수동으로 연속적으로 증가시키면 속도의 증가에 따라서 열선의 온도가 증가하는 형식이 된다. 이 경우 유속계는 가변온도형으로 동작하게 되고 유속계의 감도향상을 기대할 수 있다. 그러나 현실적으로는 어떻게 유속의 변화를 검출하고 어떻게 연속적으로 과열비를 바꾸느냐가 문제가 된다. 정온도형 열선유속계의 경우 브릿지 상단에서의 전압이 속도 증감에 대한 정보를 가지고 있으므로 이 전압의 일부를 이용하여 본 연구에서 제안된 안정화회로 Fig. 7의 V_c 에 입력하면 R_c 는 V_c 에 따라 연속적으로 변화하게 되고 유속계는 가변온도형으로 동작하게 될 것이다.^(2,3)

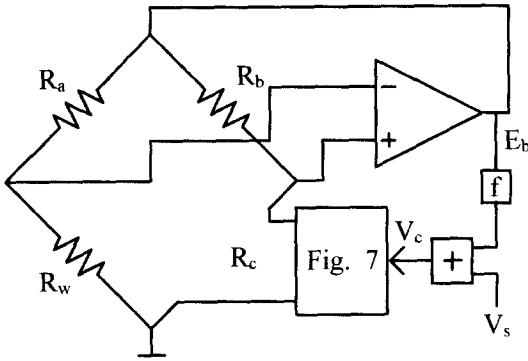


Fig. 9 Variable Temperature Anemometer with photoconductive cell stabilizing circuit

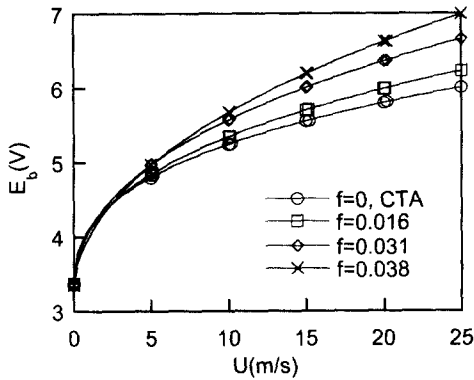


Fig. 10 Reproducibility tests and calibration curves of VTA

Fig. 9는 광도전성저항 안정회로가 채택된 가변온도형 열선유속계의 개략도이다. Fig. 7로 표시한 부분이 3.2절에서 설명한 안정회로이다. 입력 V_c 는 일정한 전압 V_s 와 유속계의 출력전압 E_b 가 더해진 것으로 다음과 같다.

$$V_c = V_s + f \cdot E_b \quad (9)$$

여기서 f 는 열선유속계의 동작형식 즉, 유속계를 정온도형 또는 가변온도형으로 동작시키도록 출력 E_b 의 귀환율(feedback ratio)을 정한다. 만약 $f=0$ 이면 $V_c=V_s$ 가 되고 안정회로에 일정한 전압 V_s 가 입력된다. 따라서 광도전성저항의 출력저항 R_c 는 일정한 값을 갖게 되고 유속계는 정온도형으로 동작한다. 그러나 f 가 0 이상의 값을 가지면 V_c 에는 속도에 대한 정보 E_b 가 나타나고 E_b 의 증

Table 2 Coefficients in curve fitting equation

cases	a	b	n
CTA	11.374	5.447	0.47
$f=0.016$	11.308	5.323	0.51
$f=0.031$	11.283	5.449	0.56
$f=0.038$	11.266	4.800	0.64

가에 따라 V_c 도 증가하여 열선의 과열비가 상승하고 유속계는 가변온도형으로 동작한다.

Fig. 10은 f 값의 변화에 따라 가변온도형 열선유속계의 출력과 곡선맞춤된 교정곡선을 보여준다. 이론상 f 는 0과 1 사이의 값을 가질 수 있으나 실제적으로는 Fig. 10에 표시한 바와 같이 최대 약 0.04 정도의 값을 갖는다. 이와 같은 작은 f 값의 경우는 출력의 극히 일부가 정귀환(positive feedback)되어 식 (9)를 통하여 브릿지에 가해지는 것을 의미하고 가변온도형 유속계도 정온도형과 마찬가지로 전체적으로는 부귀환적으로 동작되는 것을 의미한다. 그러나 f 를 0.04 이상으로 동작시키면 유속계에는 정귀환특성이 강하게 나타나 신호가 불안정해지고 발진하기 시작한다. 또한 f 로 높은 값을 사용하면 감도는 향상되지만 속도증가에 따라 열선의 과열비도 상승하게 되므로 열선의 온도가 쉽게 녹는점에 도달하여 끊어지게 된다.

Fig. 10의 교정곡선은 기존의 정온도형 열선유속계의 교정과정에서 사용했던 속도의 제곱근($U^{0.5}$)에 비례하는 형식⁽¹⁰⁾을 사용하면 많은 곡선맞춤의 오차가 발생하였으며 다음의 식 (10)을 이용하여 속도의 지수 n 도 구하는 경우 오차를 최소화할 수 있었다.

$$E_b^2 = a + b \cdot U^n \quad (10)$$

계산된 계수 a , b , n 을 Table 2에 나타내었는데 지수 n 은 유속계의 작동형식에 따라 다르고 특히 가변온도형의 경우에도 f 를 증가시키에 따라 커지는 것을 알 수 있다.

곡선맞춤식과 실험데이터의 차이를 제공하여 합산하는 Chi Square(χ^2)를 이용하여 데이터의 오차정도를 표시할 수 있다. Table 2에서 Chi Square의 최대값은 $f=0.016$ 일 때 0.38로 계산되었다. Chi Square의 계산에서 엄밀하게는 실험의 불확정성(uncertainty)을 고려해야 하지만 여기서는 개략적인 계산만을 수행한다. f 가 0.016의 경우에

11개의 측정데이터를 이용하였는데 이 오차를 1개의 속도측정의 오차로 환산해 보면 약 1% 정도로 재현성과 관련된 오차를 예측할 수 있다.

5. 결 론

광도전성저항을 정온도형 열선유속계의 과열비 설정용 저항으로 사용하는 경우, 저항의 변동에 따라 속도측정의 오차가 매우 크게 발생하는 것을 확인하여 광도전성저항 안정화회로의 중요성을 확인하였다.

비례적분제어를 사용하는 새로운 형식의 안정화회로를 제시하였는데 출력측 저항이 재현성을 갖고 정밀하게 제어되었을 뿐만 아니라 입력전압이 증가하면 출력이 증가하는 특성을 보여서 가변온도형 유속계를 설계하는데 적합함을 알 수 있었다.

제안된 안정화회로를 이용하여 실제 동작하는 가변온도형 열선유속계를 제작할 수 있었으며 교정실험을 수행하여 재현성을 갖는 출력곡선을 획득하고 그 감도가 정온도형 열선유속계와 비교하여 우수함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 1999년도 경기대학교 신진연구과제 학술연구비 지원에 의하여 수행된 결과이며 이에 관계자께 감사드립니다.

참고문헌

(1) Takagi, S., 1994, "The Status and Future of

Hot-wire Anemometer," *Research of Machinery*, Vol. 46, No. 6, pp. 61~67.

(2) 이신표, 고상근, 1995, "유속에 따른 열선의 과열비 조정을 통한 열선유속계의 감도향상에 관한 연구," 대한기계학회논문집, 제19권, 제10호, pp. 2678~2689.

(3) Lee, S. and Kauh, S., 1997, "A New Approach to Enhance the Sensitivity of a Hot-wire Anemometer and Static Response Analysis of a VTA," *Experiments in Fluid*, Vol. 22, pp. 212~219.

(4) Ligeza, P., 1998, "A Modified Temperature Compensation Circuit for CTA," *Meas. Sci. Technol.*, Vol. 9, pp. 452~457.

(5) Lee, S., Kim, J. and Kauh, S., 1995, "Temperature Compensation of Hot-wire Anemometer with Photoconductive Cell," *Experiments in Fluid*, Vol. 19, pp. 362~365.

(6) 谷腰欣司, 이종락 역, 1995, 광센서와 그 사용법, 세화, 서울, pp. 146~166.

(7) Bruun, H., 1995, *Hot-wire Anemometry*, Oxford University Press, Oxford, pp. 94~105

(8) 이신표, 고상근, 1996, "광도전성저항을 이용한 열선유속계의 하드웨어적 온도보상에 관한 연구," 대한기계학회논문집 B권, 제20권, 제11호, pp. 3666~3675.

(9) Coughlin, R. and Driscoll, F., 1991, *Operational Amplifier and Linear Integrated Circuit*, Prentice Hall, New Jersey, pp. 201~208.

(10) 김진권, 강신형, 2000, "삼직교 열선유속계의 간편한 측정법 개발," 대한기계학회논문집 B권, 제24권, 제1호, pp. 85~92.