

전기온도계 제작에 관한 실험적 연구

서울대학교 의과대학 예방의학교실

윤 덕 로 · 김 익 수

—Abstract—

An Experimental Study on the design of the thermister thermometer

Dork Ro Yun, M. D., Ik Su Kim, M. D.

Dept. of Preventive Medicine, College of Medicine, Seoul National University

The study in the field of medical instrument has been out of the interest by any of the life scientist in Korea. Especially, the recent developments in the medical electronics are remarkable one.

Authors planned this study to ascertain the possibility of setting up the thermister thermometer with available accessories of domestic products including some specific foreign assembly parts.

By proper use of the thermister as one of the wheatstone bridge, we could detect the resistance variations due to the environmental temperature variace. The intensive care for the bridge circuit and compensation scheme was required. The calibration procedure adopted here makes it possible to read the current as the temperature. The temperature range was determined by the examination and construction of the graph of the resistance-temperature variation. The determination of electric current, available ambient-temperature, the reduction of excessive current and self-heating of the thermister were made. Renovation in response-velocity was under taken too. This electronic thermometer was designed and assembled by the circuitry developed in accordance with the maximum availability of domestic products with some foreign-made parts. The result of our experiment showed very stable function and proved to be the most promising item in the actual application as long as the thermister thermister is concerned.

1. 서 론

제래의 체온계가 갖는 불편한 점들을 제거하기 위해 오늘의 전기체온계 개발 이전에도 꾸준한 노력이 계속 되었다.

그 중에서 실험실에서 표준으로 삼고 있는 몇가지를 소개하고 문제점을 밝히고자 한다.

가. 열전대를 이용하는 방법

감온기기는 전기적으로 보아 두가지가 있다. 우선 열전대는 표준적이기는 하나 취급이 용이치 않은 점이 있

고 반면에 Thermistor는 취급이 용이하나 오차가 약간 크다.

열전대는 두가지의 다른 금속선을 한점만 합하여 그 부위의 열기전력이 서로 다른 것을 이용한 것이며 이를 Seebeck¹⁾ 효과라 한다.

열전대는 서로 다른 금속의 접합에 따라 서로 다른 열기전력을 나타내는데 이를 표-1²⁾에서 보는 바와 같다.

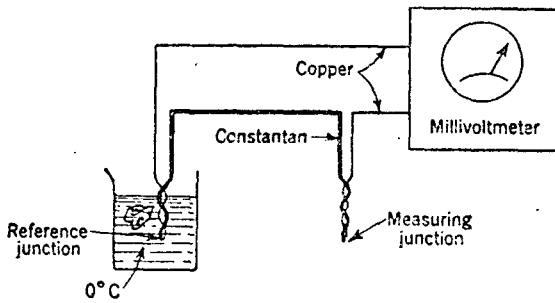
열전대의 감도는 선의 형태 나 접합부의 크기에 관계가 없다. 그러나 응답속도를 빠르게 하려면 미세한 선

표 1. 열전대의 금속별 기전력

Platinum-platinum (90%), rhodium (10%)	0.006mv/°C
Chromel P-alumel	0.040mv/°C
Copper-constan	0.040mv/°C
Iron-constantan	0.053mv/°C

*Cold junction at 0°C

을 사용하고 반대의 경우는 짧은 선으로 하면 좋다.
보통의 경우 열전대는 두개를 함께 쓰는데 이때 한쪽은 기준온도(예를 들면 얼음과 물의 혼합용액으로 된 0°C)로 둔다. 또한 두개의 열전대는 유기전압이 서로 반대를 유지토록 즉 전위치가 커지도록 배치하며 이에 의해 두점의 온도차가 두점의 전위차와 비례하여 기록된다.
도-1³⁾에 생물학적인 온도측정의 예를 들었다. 이때 전위치가 너무 낮으므로 측정이나 기록이 용이치 않다. 이를 극복하기 위한 조치로 Chopper Amp. ⁴⁾등을 쓰는 것이 좋다. 그 외에 Galvanometer 도 쓰인다.



도 -1. 열전대의 구성도

열전대를 직열로 이으면 총전위차는 가법정리를 따르는데 이를 Thermopile 이라고 한다.

나. 저항 온도계

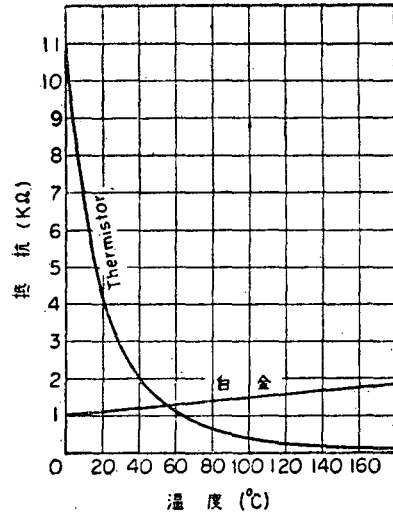
비저항의 온도계수의 정의는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (3-1)$$

여기서 R_0 와 R_t 는 0°C 와 t°C 때의 저항이며 α_0 는 0°를 기준으로 한 온도계수이다.

백금, 니켈, 니크롬선 등의 저항을 이용한 온도측정이 가능하다.

이 저항온도계의 단점은 너무 큰 부피를 차지하며 열시정수가 크다는 점이다. 이런 단점에도 불구하고 안정성이 크고 재현성이 우수하므로 실험실에서 표준으로 많이 쓰인다.



도 2. Thermistor 와 백금의 저항-온도 특성 비교도
(1) Thermistors

최근에 생물학자들이 큰 관심을 기울이는 전기온도계의 같은 소자이다.

저항요소는 반도체로서 고비저항온도계수를 갖고 있다.

Thermistor는 도 2^{b)}와 같은 저항-온도 특성을 갖고 있다.

Thermistor는 열에 민감한 저항체로 반도체나 또는 금속을 주원료로 하여 고온에서 소결시켜 만든다. 이는 온도변화에 의해 저항변화를 일으키며, 대체로 1°C의 온도 상승에 대해 4~5%의 저항 변화를 일으킨다. 또 금속과는 달리 온도 저항의 함수관계가 $R = a[1 - b \cdot \exp(-kT)]$ 형이다. Thermistor는 제조방법으로 미루어 보아 저온에서 안정하며 기준 시간이상으로 고열을 가하여 파괴하는 일이 없도록 하여야 한다. Thermistor 자체의 저항변화를 환산하면 0.1°C/year 이하의 온도변화가 있다.

Thermistor를 제측에 사용하는 경우에 자기가 열과 시정수의 문제가 대두된다.

(2) 자기가열

Thermistor에 전류가 흐를 경우 Joule 열($0.2i^2Rt$)에 의해 온도가 상승하여 측정시 오차가 생기는 원인이 된다.

대체로 측정용 Thermistor는 1mW의 전력에 대해 1°C 정도의 온도상승이 있고 정밀측정의 경우에는 이 오차를 보상하는 대책을 미리 강구해야 한다.

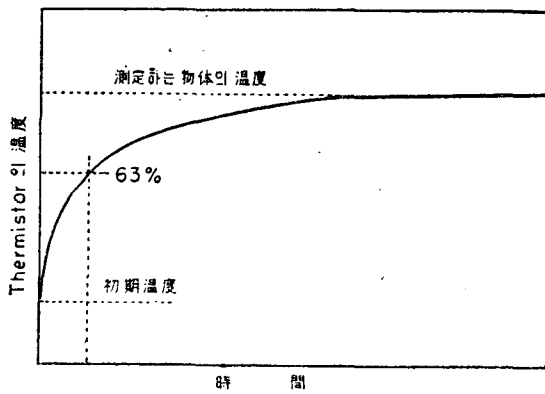
(3) 시정수

Thermistor가 초기의 온도에서 피측정체의 온도와 초기 온도와의 차이의 63%의 온도에 도달하기 까지의

표 2.

계측용 Thersmitor 의 종류

형 명	열 방 산 정 수 mw/°C	시 정 수 sec (공기중)	최고 사용 온도 (°C)	용 도
LBT Glass 관 형	0.6~1.2	30~50	300	일 반 계 측 용
LBP " 보호관형	0.6~1.2	30~50	300	"
S 표 면 형	1.5~2.5	3~5(금속면)	250	표면 온도 계측용
NCT 등 근 침 형	0.6~1.2	6~10	300	일 반 계 측 용
NST 주 사 침 형	0.6~1.2	15~30	300	근육, 고무 측정용
NJT 굽 은 침 형	0.6~1.2	15~30	300	일 반 계 측 용
LMT 금 속 관 형	0.6~1.2	40~60	300	"
F 평 판 형	0.6~1.2	20~30	300	표면 온도 측정용
P Catheter 형	0.6~1.2	50~60	60	등 물 실험 용



도 3. 시정수 설명도

시간을 (열)시정수라고 하며 계측의 경우 접촉에 의해 온도평형이 이루어지기 위해서는 약 5배의 시정수만큼의 시간이 소요되는 것으로 알려져 있다.⁶⁾

참고로 설명도와 각종 온도측정용 Thermistor의 내열성, 시정수, 열방산정수는 도 3-3⁷⁾, 표 2⁸⁾에 나타나 있다.

2. 전기체온계의 원리

전기온도계는 대체로 Bridge 형의 구성을 가지며 이외에 정전류공급을 위한 노력이 부가된다.

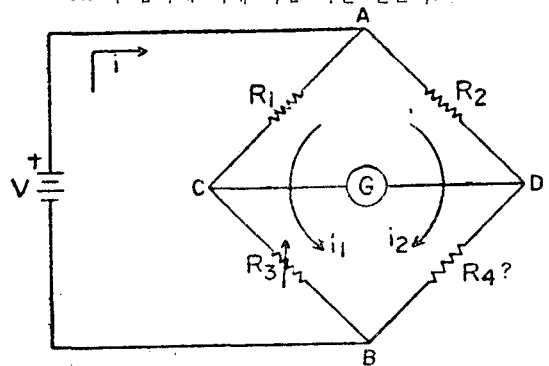
가. Wheatstone Bridge 회로⁹⁾

이는 4개의 저항으로 이루어진 간단한 모형이며 이를 기초로 한 기기로는 전위차계, 저항계 등이 있다.

도 4에서 R₁과 R₂는 고정저항이며 R₃는 가변저항(Potentiometer) R₄는 미지의 저항 또는 검지저항이다.

전압이 A와 B에 인가되면 C의 전위는 R₃/R₁에 종속적이고 D의 전위는 R₄/R₂에 종속적이 된다. 실제 사용에서는 R₃를 조정하여 C와 D의 전위가 같아져서 C-D간의 전위차가 영이 되도록 Galvanometer로 점검한다. C와 D의 전위가 같으므로 Galvanometer에 흐르는 전류도 영이며 따라서 개방 Branch나 다름없다.

이제 Supply에서 A로 흐르는 전류를 i, A-C-D로 흐르는 전류를 i₁, A-D-B로 흐르는 전류를 i₂라 하면 Kirchhoff의 법칙에 의해 다음 식을 얻는다.



도 4. Wheatstone Bridge 회로도

$$i = i_1 + i_2 \tag{3-2}$$

$$V = i_1(R_1 + R_3) = i_2(R_2 + R_4) \tag{3-3}$$

$$V - i_1 R_3 = V - i_2 R_4 \tag{3-4}$$

$$\text{윗 세식에서 } R_1 R_4 = R_2 R_3 \tag{3-5}$$

가 구해진다.

$$\therefore R_4(\text{Unknown}) = \frac{R_2 R_3}{R_1} \tag{3-6}$$

에서 미지저항 R₄를 밝혀 낼 수 있다.

Bridge의 감도는 인가전압 및 검지기의 성능에 따라 다르며 4개의 저항이 거의 같은 값들이고 또 전원의 Impedance와 검지기의 Impedance가 그들이 접속되는 단자에서 본 Impedance와 같을 때가 최대감도이다. 저항의 미소한 변화를 점검하거나 기록하는 경우에는 기준을 평형시로 하고 불평형으로 인한 전압이나 전류를 검지하도록 하면 된다.

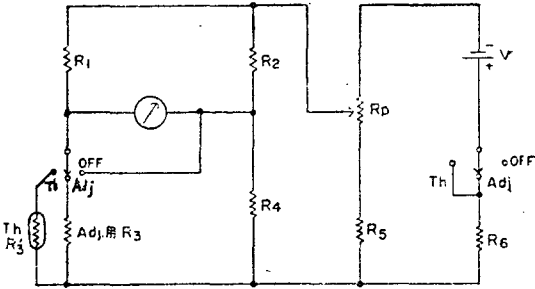
이러한 것을 이용한 것에 전기체온계, 전위차계, Strain Gauge 등이 있다.

나. 전기체온계 회로

도 5가 Wheatstone Bridge를 이용한 전기체온계의

회로이다.

R_1, R_2, R_3, R_4 가 Wheatstone Bridge의 4개의 팔을 이루고 있으며 R_3 와 Th 는 조정시와 측정시에 절환하며 조정시에는 일정한 전류가 meter에 흐르도록 하여 오차를 줄이도록 한다. 이 조정은 Potentionmeter R_p 로 R_2 와 R_4 의 양단에 걸리는 전위차를 간접적으로 제어하여 일정한 전류가 흐르도록 하는 것이다.



도 5. Thermistor 온도계 원리도

V 는 수은전지나 정전류원에서 얻도록 하며, 측정시에 절환되면 Th 의 온도변화가 저항변화로 바뀌고 이에 따른 Wheatstone Bridge 각 부위의 전위변화에 의한 불평형이 생긴 것을 Microammeter로 측정하는 것이다. Microammeter를 쓰는 것은 과다전류로 인한 자기 가열을 없애기 위해서 미소전류가 흐르도록 Bridge를 설계하였기 때문이다.

다. Thermistor와 각종계기¹⁰⁾

Thermistor의 저항-온도의 지수함수적 특성을 이용한 계기는 무수히 많으나 다음에 열거하는 것들이 비교적 안정하고 효율성이 크다.

(1) 교차 Coil형 Meter를 쓴 Thermistor 습도계 (도 6)

- (2) 기록온도차계
- (3) 온도조절기
- (4) 풍속계
- (5) 진공계
- (6) Gas Chromatograph
- (7) Level Gauge 등등

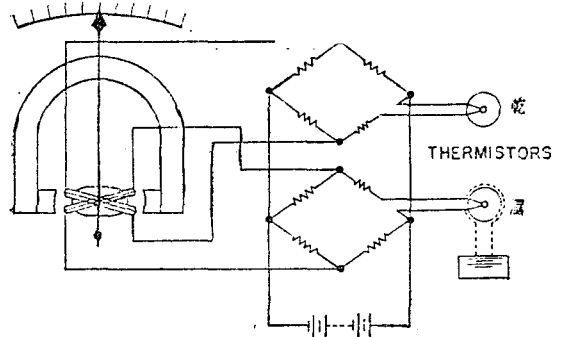
빠른 시일내에 소결에 의한 단점을 보완한 응용에 의한 고안정도의 Thermistor의 이용 및 제작이 가능할 것이다.

3. 제작 및 검토

가. Type 1 전기체온계

Full Scale $1\mu A$ 의 전류계를 써서 처음 시작한 회로는 도 3-7과 같다. 이 회로의 장점으로서는

- 1) 전원이 6V로서 구동이 용이하다.
- 2) 조정부위는 단지 $5k\Omega$ potentiometer 뿐이다.
- 3) Full Scale이 $1\mu A$ 이므로 응답속도가 무척 빠르다.



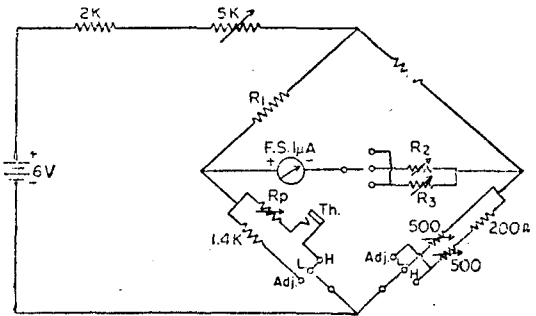
도 6. 교차 Coil형 지시계를 사췌한 Thermistor 습도계 회로

4) 전지소모는 무시할만하다.

반면에 단점으로서는

- 1) $1\mu A$ Full Scale 이므로 불안정한 응답이 유도되며
- 2) 매 측정시마다 조정이 필요하고
- 3) Environmental Response는 기대키 어렵다 ($30^\circ C \sim 40^\circ C$ 인체용)

인체용으로 사용키 위해 수은온도계와 비교 교정하였던 바 $30^\circ C \sim 40^\circ C$ 의 범위에서는 직선성을 지님을 알았고 눈금은 $35^\circ C$ 를 Adjustment point로 하고 등간격으로 매길 수 있었다.



도 7. 전기체온계 회로(Type 1)

나. Type 2 전기체온계

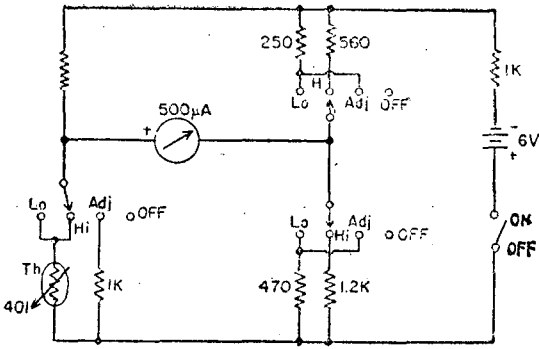
(1) 개요

이것은 Type 1의 단점을 시정 보완하기 위하여 Full Scale을 $50\mu A$ 로 예정하고 설계하였으나 Full Scale $500\mu A$ 의 전류계 밖에는 구할 수 없어서 실제를 이에 맞추어 변경하였다. 도 8에 그 회로가 표시되어 있다. 조정과 Low Range는 공통으로 쓰이게 하였으며 Th 는 401을 사용하였다.

제작후 고압산소장치(Hyperbaric Chamber)¹¹⁾에 Monitor의 일부로서 전기 청진기와 함께 부착하여 사용할 수 있도록 하였다.

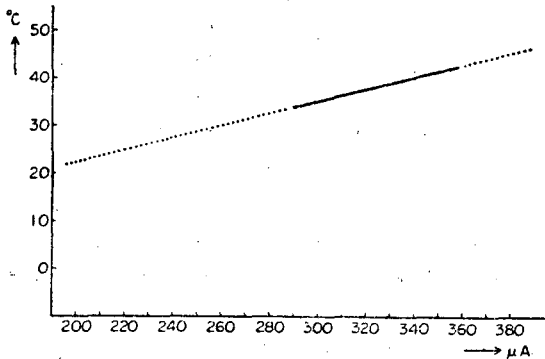
(2) 특성

이 회로는 Type 1 보다 응답속도가 좀 느리고 대신에 상당한 안정성을 갖고 있다. Power Consumption과

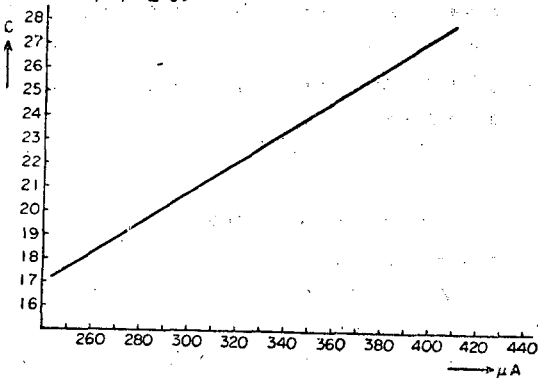


도 8. 전기체온계 회로. (Type 2)

조정회수도 Type 1에 비해 현저히 감소시킬 수 있어 적절한 편이었다. 조정시에 450µA가 흐르며 10회정도 사용에 1회의 조정이 필요하였다. 환경온도의 측정도가 가능하도록 Low와 High의 두 측정범위를 두었으며 이로써 측정가능 온도범위는 10°C~50°C로 확대되었다. Type 2는 눈금이 큰 전류계를 썼으므로 온도의 세분화가 가능하였으며 충실한 직선성과 응답으로 오차를 감소시킬 수 있었다. 응답속도를 좀더 개량하려면 Full Scale을 50µA 정도로 줄이는 것이 좋을 것이다. 아주 정밀한 온도계를 만들기 위해서는 진공관전압계가 정밀저항계 등을 부가하는 것이 좋다.



도 9. High conversion graph. (실선부가 인체, 점선부가 환경)



도 10. Low conversion graph.

(3) 본전기체온계의 전류치와 온도(°C)의 함수곡선

이를 실험에 의하여 구해서 교정하였던 바 각각 도 9 및 도 10과 같이 나타났으며 그 식은

$$C_H = \frac{121}{1400} A_H + \frac{1054}{1400} \quad \text{및} \quad C_L = \frac{155}{2350} A_L + \frac{1775}{2350}$$

로 주어졌다. 윗식에서 C는 섭씨도 A는 µA 단위이고 첨자 H와 L은 각각 High 및 Low range를 나타낸다.

다. 성능검토성적

본 연구에서 개발한 Type 2 전기체온계의 성능을 검토할 목적으로 미세전기체온계(Yellow Spring Instrument Co. Model YSI 232F)와 비교 검토한 결과 다음과 같은 성적을 얻었다(표 3 참조). Y. S. I. 전기체온계에 비해 본 연구에서 개발한 Type 2 전기체온계는 약간 낮은 시도를 보이고 있으나 그오차의 평균은 0.12°C로써 통계적으로 검정한 결과 그 차는 P>0.1로써 거의 동일함이 확인되었다.

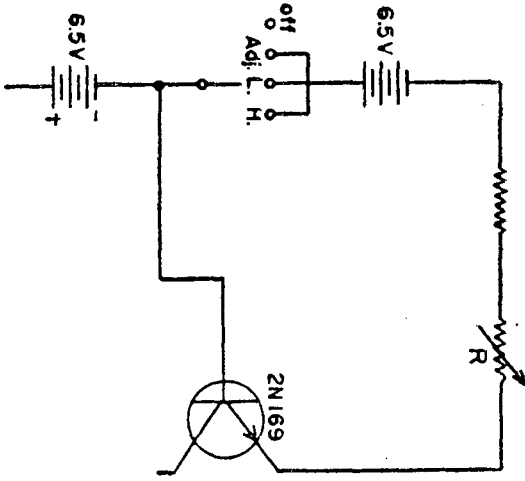
표 3. 전기체온계 비교실험성적

피검인	YSI 전기체온계(°C)	Type 2전기체온계(°C)	오차(°C)
1	36.8	36.7	0.1
2	36.9	36.8	0.1
3	37.0	37.0	0
4	37.2	37.0	0.2
5	37.1	37.2	0.1
6	36.8	36.9	0.1
7	37.1	37.0	0.1
8	36.9	37.2	0.3
9	37.0	36.9	0.1
10	37.1	37.0	0.1
평균	36.9	36.7	0.12

라. 문제점 및 개선점

본 시작품은 Thermistor probe 및 Microammeter를 제외하고는 모든 부품이 국내생산이 가능한 이점이 있으며 년내로 국산화된 Thermistor의 출현도 기대되고 있다. 기술적으로는 Thermistor에 흐르는 전류의 억제와 Bridge 회로의 감도개선(Impedance 정합 및 평형화된 회로정수의 결정등) 및 회로에 흐르는 전류의 일정기준 유지로서 조정을 빈번히해야 하는 불편을 없애도록 하는 점등이 있다.

과다전류나 지나친 전류의 소모를 막는 방안의 하나



도 11. 전류 및 온도보상 회로

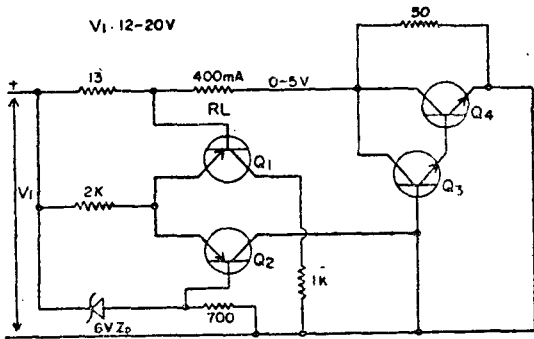
로써 도 11과 같은 회로의 구성이 검토될 수 있으며 정전류를 상용교류로서 얻도록 하는 방안은 여러가지가 있으나 효율적인 것으로서 도 12와 같은 회로를 검토하였다.

(3) 보상법

도 11에서 2N 169의 Base 전위는 $-6.5V$ 를 가지나 Power Drain 으로 인해 하단의 전지가 소모되는 경우에 Emitter 전류가 $2K\Omega$ 의 potentiometer 로서 조정되어 $I_b + I_c = I_E$ 되도록 유지한다. 즉 전지소모로 인한 I_b 의 감소만큼 I_E 를 증가하여 I_c 가 항상 일정하도록 해 주는 것이다.

(4) 정전류장치¹²⁾

정전류장치는 일종의 Regulated power supply 로서 기본구성은 Feedback Amp. 이다. 여기서는 이와 달리 차동증폭기를 사용한 회로를 구성하여 보았다.



도 12. 차동증폭기를 이용한 정전류 회로

$12\sim 20V$ 의 입력변화분은 Z_D 로 기준을 두어 차동증폭기를 차신호(또는 합신호)가 통과하여 본합 접속회로를

거친후 R_L 에 공급되는데 Q_3 및 Q_4 의 β 적 만큼 조절된 후에 R_L 에는 $0\sim 5V$ 로 직접 가변시켜 나타날 수 있으며 전류는 항상 $400mA$ 로 일정히 유지된다.

4. 결 론

전기체온계를 개발, 제작할 목적으로 Wheatstone Bridge 의 원리를 응용한 회로도를 개발하고 이를 제작하여 그 성능을 검토하였던 바 외제(미제 Y. S. I. Co.) Telethermometer에 비해 손색이 없었으며 그 제작비용도 약 60불내외로서 외제의 기성품 값의 1/5정도 밖에는 되지 않음이 밝혀졌다. 종합병원용, 개인병원용으로 그 Type를 나누어서 국산화하여 보급함으로써 의료수준의 향상과 외화절약에 이바지 할 수 있을 것으로 확신한다. 현단계로서는 Thermistor 와 Micro-ammeter 는 국산품이 없어서 외제를 사용할 수 밖에 없었으나 두 가지 모두 머지 않은 장래에 국산화될 전망이 보이므로 2~3년 이내에는 전기체온계에 관한 한에 있어서는 완전 국산화가 가능할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- 1) R. W. Stacy: *Biological and Medical Electronics. p. 158, 1960, McGrawHill.*
- 2) R. W. Stacy: *Biological and Medical Electronics. p. 158, 1960, McGrawHill.*
- 3) R. W. Stacy: *Biological and Medical Electronics. p. 159, 1960, McGraw Hill.*
- 4) Ryder, J.D: *Electronic Fundamentals and Applications. 1970(4th ed.), Prentice Hall.*
- 5) 半導體의 應用と 回路: 電子展望社編 p. 12, 昭和 44年, 誠文堂新光社.
- 6) 電子展望社編: 半導體의 應用と回路. p. 15. 昭和 44年. 誠文堂新光社.
- 7) 電子展望社編: 半導體의 應用と回路 pp. 14 昭和 44年, 誠文堂新光社
- 8) 電子展望社編: 半導體의 應用と回路. 昭和 44年, 誠文堂新光社. p. 15.
- 9) D. K. Cheng: *Analysis of Linear Systems. p. 53.*
- 10) 電子展望社編: 半導體의 應用と回路. p. 15-22. 昭和 44年, 誠文堂新光社.
- 11) 金仁達, 尹德老 共著: 一酸化炭素 中素. p. 32, 1969, 新醫學叢書 第一卷.
- 12) 電子展望社編: 半導體의 應用と回路. p. 103, 昭和 44年, 誠文堂新光社