

원적외선 최적화 방사유도 알고리즘과 프로그래밍

대구대학교 대학원 물리치료전공

김 재 윤

극동정보대학

박 돈 목

국립 청주과학대학

박 영 한

대구대학교 물리치료학과

박 래 준

Algorithm and computerize programming to induce optimized Far-infrared radiation

Kim, Jae -Yoon, P.T.

Physical Therapy Major, Graduate School of Taegu University

Park, Don- Mork, P.T., M.S.

Department of Physical Therapy, Keukdong College

Park, Young- Han, M.S., P.T.

Department of Physical Therapy in Chongju National College of Science and Technology

Park, Rae -Joon, Ph.D., P.T.

Department of Physical Therapy, Taegu University

< Abstract >

To take the Far-infrared(FIR) ray which is a optimized wavelength and strength, at first, it is to be induced the characteristic algorithm and the computerized programing of FIR radiating materials. In this study, we induced that the formular of optimized FIR with physical, mathematical logic and theory, especially, Plank, Kirchhoff, Wien, Stefan-Boltzmann's logic and law. In the long run the formular was induced with mathematical integration, since we had to know the molecular wavelength. Base on the induced formular as above, we programmed the optimized FIR radiating computerized program, it would be useful to design semiconductor(VLSI) as the FIR instrument center control system.

I . 서 론

최근에는 원적외선(이하 FIR)이 근적외선(이하 NIR)보다 인체에 침투력과 흡수력이 뛰어나다(야마자키 요시코, 1997, 지철근, 2001)고 연구결과가 발표되어지고 있고, 병리학적으로 유방종양치유기전에 치유효과가 있는 것으로 연구논문이 발표되어지고 있다(Udagawa Y, 등, 1999). 그리고 FIR을 응용한 분야는 산업, 의료분야, 식품분야, 통신분야, 전자전기분야, 제약산업 등 다양하다. 특히 인체에 적용하는 의료분야에

서 물리치료분야에서는 광선치료라하여 FIR을 적극적으로 환자에게 적용시킬 수 있는 분야가 있는데, 환자, 즉 인체에 적용하는 것이므로 FIR방사 기구에서부터 흡수체의 변화에 이르기까지 일련의 메카니즘에 대한 연구의 선행과 그에 따라 얻을 수 있는 효과에 대한 원인이 명확하게 규명되어야 하므로, 최적화된 원적외선의 방사율과 흡수율에 대한 정확한 데이터 산출을 위한 다양한 연산방식, 즉 알고리즘을 개발하고, 이러한 연산과정의 전산화를 통한 FIR방사율과 흡수율 수치의 산출 프로그래밍을 제시하고자 한다.

II. 본 론

1. 물리학과 Far infrared(원적외선)

FIR은 빛의 한 종류로 비발광조사선이다. 그런데 빛의 성질중 고전물리와 현대물리를 구분짓는 요건인, 파동성과 입자성을 실험적으로 증명할 수 있는 빛 중의 하나이기도 하다. FIR의 파장은 정확히 구분하기는 난해하나, 최근에는 8-14 μm 로 생물학적인 FIR을 구분짓고, 그중에서 광범위하게 FIR의 파장을 8-1000 μm 로 정의하고 있다(김재운, 2001, 高嶋光夫, 1988) 위의 제시된 파장대 중 현실적으로 사용되어지고 있는 FIR의 파장은 8-40 μm 이고(김재운, 2001), 그외의 파장은 지금까지 그 이용의 방법을 알아내지 못하여 이용하지 못하고 있는 실정이다.

1) FIR과 빛의 파동성

FIR은 비발광성 빛으로 고전물리의 근간을 이루고 있는 빛의 파동성의 특징을 내포하고 있다. 빛의 파동성은 호이겐스가 빛은 파동의 성질을 가진것이라고 하였으나, 이에 대한 충분한 증거로 19세기 초 영국의 과학자 T.Young이 파동성의 근거를 처음으로 제시하여, 빛의 간섭, 회절, 편광의 특징을 증명하였다(박승재 등 1997, 노현모 1993)

2) FIR과 빛의 입자성

FIR의 특징과 가장 유사성이 큰 빛의 성질은 빛 입자성으로 뉴턴이 가정하여 많은 수학적인 방법으로 빛의 입자가 불규칙한 표면에 부딪혀서 반사되는 각도를 산출하여 증명하려 하였으나 뉴턴의 설명은 불충분하였다. 그 후 현대물리의 기준이 되는 아인슈타인이 플랑크가 주장한 에너지 양자가설을 확장하여 광양자설로 광전효과를 설명하였다(박승재 등 1997, 노현모 1993, 박원서 1992). 이 광전효과는 FIR이 어떠한 원리에 의하여 발생되는지를 가장 잘 설명하고 뒷받침할 수 있는 이론으로 이 이론을 바탕으로 지구상에 존재하는 물질마다의 각각의 독특한 파장이 존재하여 산출되어 물질파를 이룬다(박승재 등 1997, 박원서 1992) 좀더 자세히 빛의 이중성, 즉 파동성과 입자성을 알아보면 다음과 같다.

아인슈타인은 진동수 ν 를 가진 빛은 광자라는 입자의 모임이며, 빛은 일정한 에너지를 가진 광자로서 흡수 또는 방출한다고 하였고, 따라서 광자 1개의 에너지는 $h\nu$ 이다. 광전효과는 금속의 전자가 광자와 충돌에 의하여

금속 밖으로 튀어 나오는 것으로 이때 물질안에 있던 전자는 광자의 에너지 $h\nu$ 를 모두 받지만 물질이온이 끌어당기는 힘을 이기고 밖으로 튀어 나오려는 W만큼의 에너지가 소모된다. 그러므로 광전자가 가지는 운동 에너지 E_k 의 최대값 E_{max} 는

$$E_{\text{max}} = h\nu - W \text{-----} \text{ (a)}$$

로 된다. 만약, 광자의 에너지 $h\nu$ 가 일함수 W와 같은 때의 진동수를 ν_0 라고 하면, 한계 진동수 ν_0 는

$$0 = h\nu_0 - W, \nu_0 = W/h \text{-----} \text{ (b)}$$

로 정해진다.

위의 식 a를 바탕으로 한 그래프의 기울기를 산출하여 보면 플랑크 상수 h가 된다.

$$h = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J's}$$

따라서 이렇게 구해진 플랑크 상수는 FIR에 대한 여러 가지 데이터를 산출함에 있어서 빛의 특징을 나타내어 주는 상수이기 때문에 메커니즘을 규명하고 데이터 산출을 위한 프로그래밍을 하는 과정에 있어서 중요한 요건이다(백우현, 1997)

광자의 운동량에서 보면 에너지가 $h\nu$ 이고, 운동량이 $h\nu/c$ 인 광선의 광자를 정지한 전자에 충돌시켰을 경우, 전자의 속도는 ν 로 되고, 산란된 광선의 광자 진동수가 ν' 로 되었다면 산란된 광자의 에너지는 $h\nu'$ 가 되고, 운동량은 $h\nu'/c$ 가 된다. 이때 ν' 가 ν 보다 작아지므로 파장이 길어진다. 따라서 일반적인 가시광선이 지구상에 도달하여 물체에 닿게되면 가시광선보다 파장이 긴 파장대의 전자파로 바뀌어진다. 충돌전후에 있어서 광자와 전자 사이에 에너지 보존법칙과 운동량 보존법칙의 성립에 의하여 진동수 ν' 를 구할 수 있다.

위의 현상으로 산란되어져 나오는 광자의 진동수가 작아지고, 파장이 길어지는 현상을 콤프턴효과라 한다. 진동수가 ν 이고, 파장이 λ 인 광자는 $\lambda = c / \nu$ 이므로, 광자의 운동량 p는 다음과 같다.

$$p = h\nu / c \text{ 또는 } p = h / \lambda$$

위의 식을 근거로 하여 일반적으로 태양광에서 지구상에 도달하는 적외선중 FIR의 입사한 광자와 산란된 광

자의 파장을 비교하면 다음과 같다.

전자의 질량을 m , 충돌후의 속력을 ν 라고 하면 에너지 보존법칙에 의하여

$$h\nu = 1/2 m\nu^2 + h\nu' \text{ ----- (a)}$$

$$\text{운동량 보존법칙은 } h\nu/c = m\nu - h\nu'/c \text{ -----(b) 이다.}$$

b의 식에 $c = \nu\lambda$ 의 관계를 대입하여 ν 에 대하여 계산하면

$$\nu = 1/m(h/\lambda + h/\lambda') \text{ ----- (c) 이고,}$$

위의 식을 다시 a식에 대입하면

$$2mc(h/\lambda - h/\lambda') = (h/\lambda + h/\lambda')^2 \text{ --- (d)}$$

이 된다.

파장의 변화가 작아서 $\lambda + \lambda' \approx 2\lambda$, $\lambda\lambda' \approx \lambda^2$ 로 할 수 있으므로, d 식에서 $\lambda' - \lambda \approx 2h/mc$ 이다.

2. Principles of FIR Radiating

물질은 온도가 상승하면, 구성하고 있는 분자가 원자가 불안정한 상태, 즉 여기 상태로 된다. 따라서 안정한 상태로 돌아가려고 한다. 이때에 방출되는 에너지는 전자파로 방출되어진다(지철근, 2001, 백우현 1997) 이러한 현상을 열방사라고하며, 분자상태에서 여기의 발생이 진행되어진다. 원자는 양전하외에 원자핵을 중심으로, 몇 개의 정해진 궤도상을 들고 있으며, 한 궤도에 수용되는 전자의 수는 Pauli의 배타율에 따라 정해지는데, 전자의 궤도, 즉 Shell은 원자핵에 가까운 안쪽으로부터 바깥쪽으로 향하여 각각 K, L, M... 이라 부르는데, K를 $n=1$, L을 $n=2$,.....하면, $n=i$ 차례의 쉘에 수용될 수 있는 전자의 최대수는 $2i^2$ 개이다. 쉘의 에너지는 $K \langle L \langle M$ 으로 커지며, n 번째의 쉘의 에너지는 W_i 는 $W_i = -2\pi^2 m e^4 / i^2 h^2$ (단, m :전자의 질량, e :전자의 전하, h :플랑크의 정수) 이다(Fessenden 1993).

따라서 전자(electron)는 이와 같은 조건에 의하여 에너지가 낮은 궤도로부터 순차적으로 메워진다.

정상상태에 있는 원자에, 가열, 방전, 전자파조사 등의 방법으로 외부에너지를 주면, 원자의 전자가 보자 에너지가 높은 바깥쪽의 궤도로 전위하여 원자는 일시 높

은 에너지의 불안정한 상태에 놓이는 여기상태로 된다. 여기된 원자는 외부로부터 자극을 받지 않아도 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 낮은 에너지의 정상상태의 궤도로 이행하여 충돌 등으로 흡수된 외부에너지를 복사로 방사한다.

원자가 W_2 란 에너지의 궤도로부터 낮은 에너지의 W_1 의 정상상태의 궤도로 전위할 때, 방사되는 복사의 파장 λ , 또는 진동수 ν 는 다음과 같다.

$$\nu = W_2 - W_1 / h = \Delta W/h, \Delta W = h\nu \text{ 따라서 파장 } \lambda = c / \nu \text{ 이므로}$$

$$\lambda = c / \nu \text{ 이므로 } \lambda = c/h\nu = hc / W_2 - W_1 \text{ (m)이다. (단, } c \text{는 광속도, } h \text{는 plank 상수)}$$

그러므로 파인된 에너지가 많으면, 복사의 파장은 짧고, 적으면 파장은 길어지고, 위의 식에 의하여 FIR방사는 물체가 고온이 아니더라도 양이나 질적으로 차이는 있지만 절대온도 이상의 어떤 온도에서도 발생되어진다(지철근, 2001).

3. FIR 방사와 관련된 제법칙

지금까지 위에 나열된 것은 일반적인 빛의 물리적인 성질을 나타내는 공식들에 FIR의 특성을 적용시켜 우리가 실질적으로 많이 접하고 있는 FIR 발생의 원리를 물리적으로 풀어보았다. 그런데 좀더 정확한 FIR에 직접적으로 적용되어지는 FIR방사 기초원리는 Plank 법칙외에 많은 제법칙이 FIR 방사전리를 뒷받침하고 한다(지철근, 2001, 백우현, 1999).

A.Ampere에 의하면 IR은 전자파이므로 입자적성질과 파동적 성질의 양면성을 가지며, 그 에너지는

$$E = h\nu \text{ 로 표시된다.}$$

IR은 분자의 진동운동 에너지에 해당하므로 분자가 에너지를 흡수하여 기저상태(ν)에서 여기상태($\nu+1$)로 전이가 일어날 때 진동운동 에너지 변화는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta E_{\nu} = E_{\nu+1} - E_{\nu} = h\nu$$

(h : Plank constant, ν : frequency)

일정온도에서 동일파장의 방사선에 대한 물질의 흡수

능력과 방사능력과과의 비는 물질의 성질과는 무관하고 온도에만 의존하여 일정한 값을 가진다는 Kirchhoff 법칙으로 입사된 모든 광선을 완전히 흡수하는 이상적인 물체, 즉 흑체(이하 BD)라는 개념을 도입하면 파장에서 방사강도, 최대 방사파장, 절대온도와와의 관계 및 전방사 에너지 밀도에 관하여 다음과 같은 제법칙들이 관련되어진다(양중식 1992. 지철근 2001) Plank 방사법칙, Wien의 변위법칙, Stefan-Boltzmann의 법칙, Kirchhoff 법칙이 FIR의 방사에 대하여 많은 관련성을 가진다. 실제 물체에서 임의의 파장 λ 에 대한 방사율을 E_{λ} 라 하고 E_{λ} 를 전파장 영역에서 평균한 값을 ϵ 라 하면 실제 물체의 방사에너지는 다음과 같다.

$$\epsilon_t : E_R / E_b$$

$$E_{\lambda} : E_{\lambda R} / E_{\lambda b} > E_R : \epsilon_t E_b = \epsilon \sigma T^4$$

($E_{\lambda R}$: 실제물체의 방사강도,
 E_R : 실제물체의 전방사 에너지 밀도)

위의 열거된 제법칙을 좀 더 자세히 보면 다음과 같다. Kirchhoff 법칙은 물질의 성질에 관계없이 온도에만 의존하여 일정한 값을 갖는다는 법칙으로, 즉 동일온도, 동일파장에서는 다음과 같은 식이 성립된다.

$$\frac{\text{물체의 방사발산도}}{\text{물체의 흡수율}} = \frac{\text{BD의 방사발산도}}{\text{BD의 흡수율}}$$

BD의 흡수율은 1이므로, 이것을 변형하면 다음과 같다.

$$\frac{\text{물체의 방사발산도}}{\text{BD의 방사발산도}} = \text{물체의 흡수율}$$

그 물체의 방사율이므로 동일물체에 대하여 방사율(ϵ) = 흡수율(α)로 된다.

따라서 어느 파장의 FIR을 잘 흡수하는 물질은 동시에 그 파장의 FIR을 잘 방사하는 물질인 것을 알 수 있다.

Stefan - Boltzman의 법칙에서 빛이 전자파라는 것을 바탕으로, 이상적인 방사체가 방사하는 전체에너지 S는 절대온도 T의 4제곱에 비례한다는 법칙을 유도하여 다음과 같은 공식이 된다.

$$S = aT^4 (W \cdot m^2)$$

위에 제시된 상수 a는 S-B Stefan-Boltzman 상수로

$a = (5.6697 \pm 0.0029) \times 10^{-8} (W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4})$ 따라서 위의 공식에 의하여 온도가 높아질수록, 가속적으로 에너지가 방출한다는 것을 알 수 있다.

Wien's displacement 법칙에서 온도에 의하여 에너지의 중심파장이 어떻게 변화하는가를 알 수 있는데, 따라서 이 법칙으로 최대강도 방사의 파장 λ_m 은, 절대온도에 반비례한다는 것으로 식은 다음과 같다.

$$\lambda_m = 2897/T$$

그러므로, 온도가 낮을 때는 눈에 느끼지 않는 FIR의 방사가 주체로 되고, 온도가 높아 짐에 따라 가시광선으로 방사의 중심이 이동하여 가는 것이다.

Plank's Radiation 법칙에 의하여 FIR의 에너지 분포상태를 알 수 있는데, 이것은 이상적인 BD의 온도방사에서부터 분광방사가 온도와 같이 변화함을 나타내는 데, 파장 λ 의 분광방사의 발산도 S_{λ} 는 온도T(K)에서

$$S_{\lambda} = C_1 \lambda^{-5} / e^{(C_2/\lambda T)} - 1$$

(단, $C_1 = 3.7418 \times 10^{22} (W \cdot \mu m^2)$, $C_2 = 1.4388 \times 10^4 (m \cdot K)$ 이다.

위의 식을 0에서 ∞ 까지 적분하면 Stefan - Boltzman의 법칙이 되고, 미분하여 0으로 되는 값을 구하면 Wien's displacement 법칙이 되어진다.

4. Algorithm of FIR radiation

위의 식을 0에서 ∞ 까지 적분하면 Stefan - Boltzman의 법칙이 되고, 미분하여 0으로 되는 값을 구하면 Wien's displacement 법칙이 되어지는데, 제법칙들을 바탕으로 다음과 같이 FIR복사의 알고리즘을 유도할 수 있다.

1) 절대온도 T하의 이상기체에서 복사되는 광에너지의 분포(분광복사발산)는 Plank 식에 의하여,

A. 파장중심으로 보면: $\lambda, \mu m$

$$M = C_1 \lambda^{-5} / \exp(C_2 \lambda T) - 1 \text{ ----- (a)}$$

(단, $C_1 = 3.7418 \times 10^8 W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^4$

$C_2 = 1.4388 \times 10^4 \mu m \cdot k$ (진공중의 광속도)

$h = 6.6261 \times 10^{-34} w \cdot sec^2$ (plank 상수)

$k = 1.3807 \times 10^{-23} w \cdot sec \cdot K^{-1}$ (Boltz-mann 상수)

B. 파수중심으로 보면 : σ, cm^{-1}

$$M = C_1 \sigma^3 / \exp(C_2 \sigma / T) - 1 \text{ ----- (b)}$$

(단, $C_1 = 2\pi^5 h^6 C^2 = 3.7418 \times 10^{-16} \text{W} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{cm}^4$

$$C_2 = hc/k = 1.4388 \text{ cm} \cdot \text{k}$$

그러나, 실제적으로는 파장 또는 파수에 관한변수로 복사율이 있게 되어 분광발산도는 아래와 같다.

C. 파장중심으로 보면: $M(\lambda) = M \cdot \epsilon(\lambda) \text{ ---- (c)}$

D. 파수중심으로 보면: $M(\sigma) = M \cdot \epsilon(\sigma) \text{ ---- (d)}$

따라서 위의 식을 기준으로 절대온도 T에서 BD로부터 방사된 파장기준의 적분복사발산도는 (a)를 적분하면 다음과 같다.

$$E_b = \int M d\lambda = 5.6703 \times 10^{-12} \cdot T^4 (\text{W/cm}^2)$$

위의 (e)의 식에 의하여 적분방사 에너지 발산도는 BD온도의 4배에 비례하여 증대함을 보여준다.

위의 식에서도 마찬가지로 실제적인 상황, 즉 비이상 기체 상태하에서는 복사율이 관계된 차식이 적용되어야 한다.

2) FIR 방사체 에너지 밀도 표현: 분광밀도복사:U를 파장 단위로 보면 다음과 같이 표현할 수 있는데(백우현, 1992)

$$U = 8\pi hc / \lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)$$

위의 식의 산출과정은 h는 Plank 상수로 빛에 요건에 알맞은 조건을 충족시켜주고, c는 진공 속의 빛의 속도 상수($2.99 \times 10^8 \text{ms}^{-1}$)로 비이상기체전의 상태를 나타내었고, k는 Boltzmann 상수($1.38 \times 10^{-23} \text{JK}^{-1}$)이고 T는 절대온도를 나타낸다.

에너지 복사하는 속도를 분광복사방사라 하는데, 이것은 분광방사밀도에 c/4를 곱하여 구할 수 있다. 그리고 복사할 때의 세기를 분광복사세기라 한다(백우현, 1992). 이것은 분광복사밀도에 c/4 π 를 곱하여 구할 수 있는데, 파장 단위로 나타낸 분광복사밀도를 분광복사방사 및 분광복사세기로 전환하여 FIR의 면적당 인체에 조사되는 강도를 산출할 수 있는데, 그 식은 다음과 같다.

$$W = c / 4 \times U \text{ ----- (FIR분광복사방사)}$$

$$N = c / 4\pi \times U \text{ ---- (FIR 분광복사세기)}$$

FIR의 분광방사율(Spectral emissivity, ϵ)은 분광복사에너지와 시료에 대한 분광에너지의 비로 산출할 수 있는데,

$$\epsilon = L / L_B$$

이고, 임의의 구간 안에서의 복사에너지를 측정하기 위해서는 구간 E1, E2에서 면적의 복사에너지를 적분하여 구할 수 있는데, 그 식은 다음과 같다.

$$L(E1-E2) = \int_{E2}^{E1} L dE$$

따라서 위의 식을 바탕으로 임의의 구간에 한정된 복사에너지를 구하는 것을 구간방사율이라 하여, 적분 복사에너지와 시료에 대한 적분복사에너지의 비로 FIR의 구간방사율을 산출할 수 있다. 그 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$\epsilon(E1-E2) = L(E1-E2) / L_B(E1-E2) \\ = \int_{E2}^{E1} L dE / \int_0^{\infty} L_B dE$$

그리고 위의 식의 유도된 식들을 바탕으로 임의의 구간의 복사에너지에 대한 FIR의 비율을 산출할 수 있는데 그 식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta(E1-E2) = \int_{E2}^{E1} L dE / \int_0^{\infty} L_B dE \times 100$$

5. Computerized Programming

측정하고자 하는 시료의 FIR분광복사강도는 대조군의 FIR분광복사강도에 FIR분광복사율을 곱하여 얻을 수 있고, 복사선이 시료의 표면에 충돌하여 반사, 흡수, 투과되어 각 부분의 입사에너지에 대한 비율에 따른 분광반사율, 분광흡수율, 분광투과율로 정의할 때 위의 세 요건은 모두 합하면 1로 표시할 수 있고, 앞서 제시한 Kirchhoff 법칙으로부터 시료의 분광복사율은 다음과 같은데,

$$p\lambda = 1 - \epsilon\lambda$$

즉 분광복사율을 프로그램할 기본적인 공식의 위의 식으로부터 유추할 수 있으며, 시료의 적분복사강도는 분광복사강도를 파장구간에서 적분하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_b(\lambda_1-\lambda_2) = \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} E_b \lambda d\lambda : E(1-2) = \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} E_b \lambda d\lambda$$

따라서 위의 식을 지금까지 나열한 FIR 알고리즘 방식과 5번의 프로그래밍 기초식을 바탕으로 먼저, 대상시료의 분광복사율을 얻은 다음과 같은 프로그램에 의하여 각각의 분광복사강도, 분광반사율을 얻을 수 있다(Fig. 1).

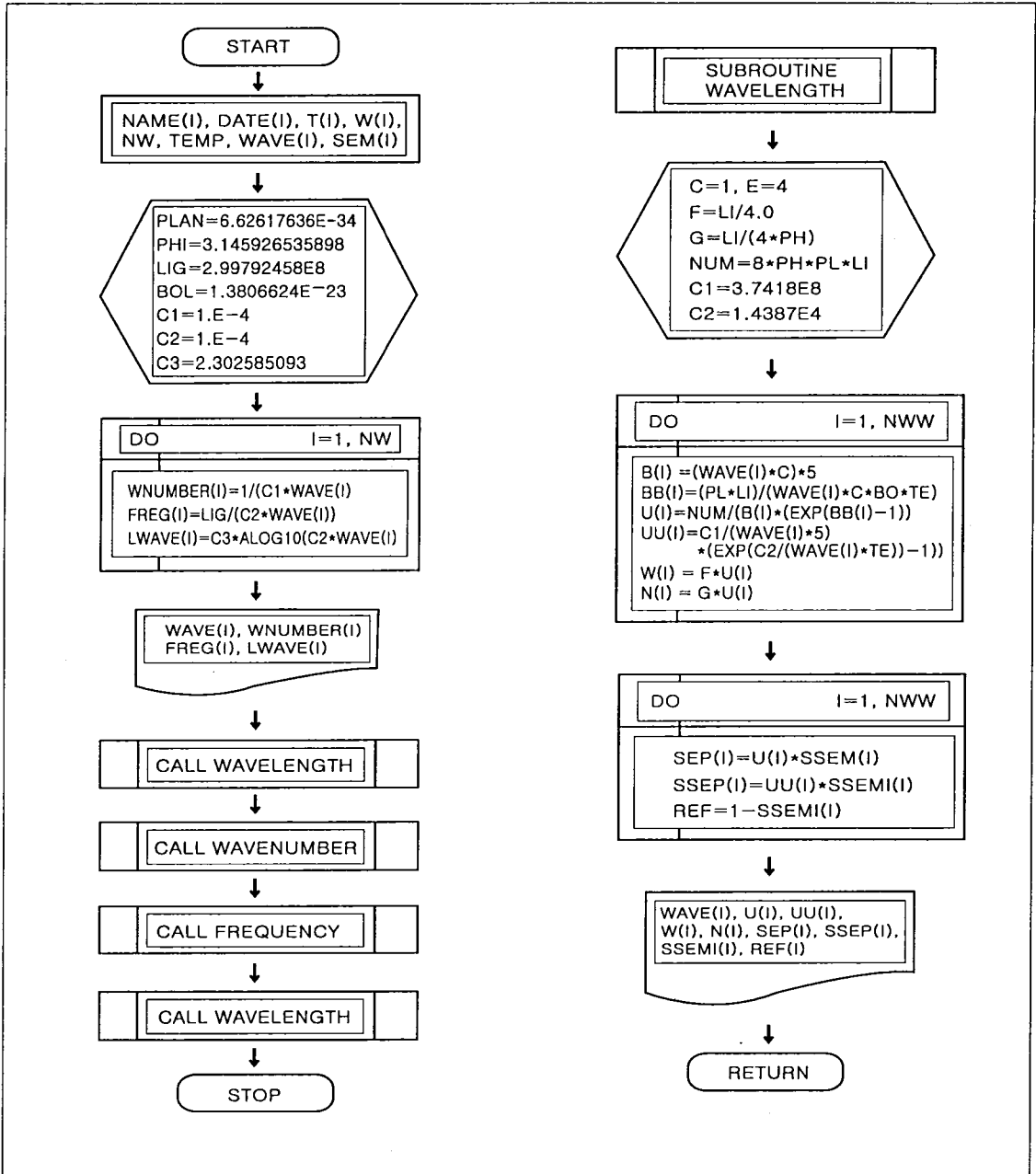


FIG 1. FLOW CHART AND PROGRAMMING OF FIR ALGORITHM A1

FIR의 적분복사강도는 이미 제시된 공식 e에 의하여 다음과 같이 프로그램이 할 수 있다(Fig. 2).

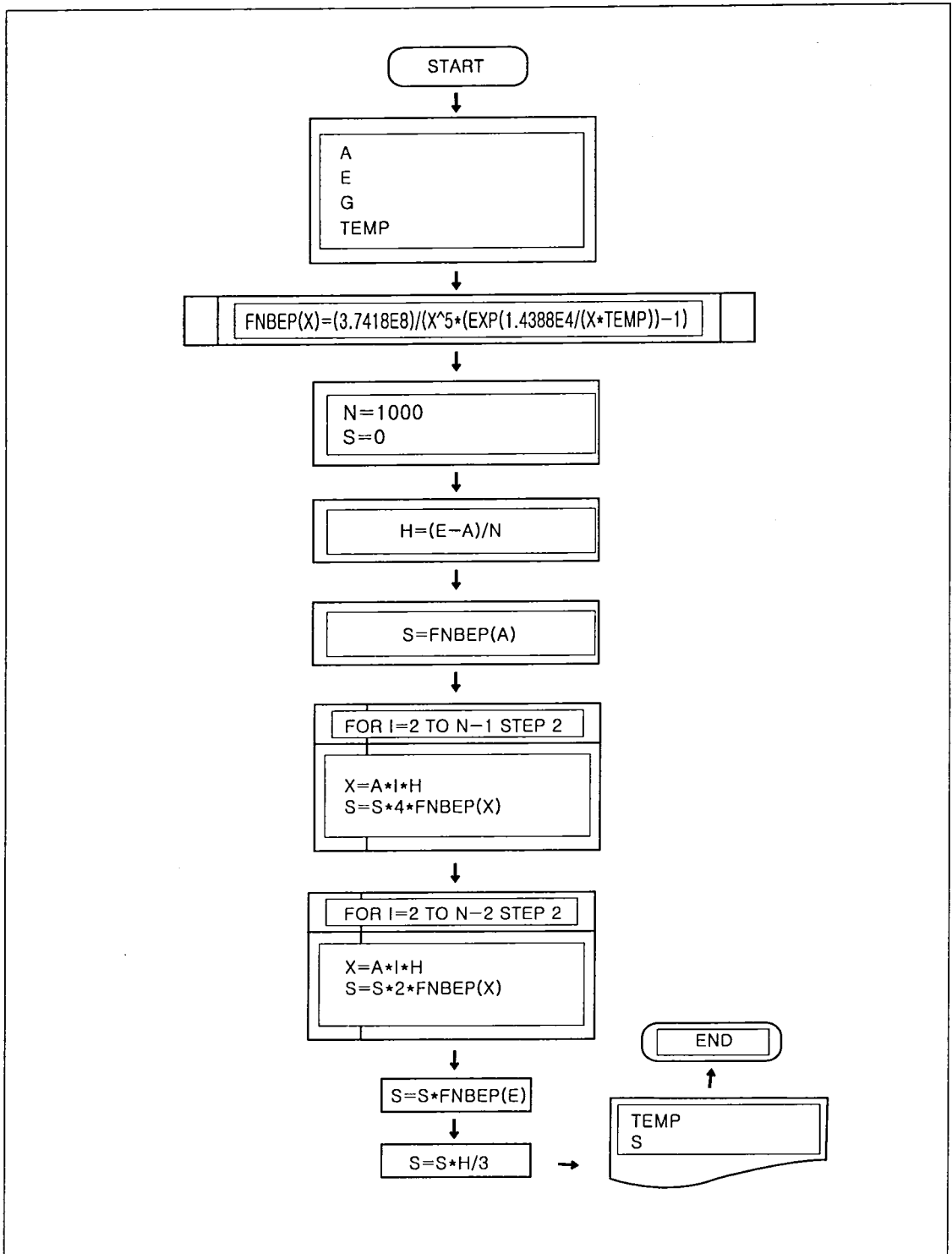


FIG 2. FLOW CHART AND PROGRAMMING OF FIR ALGORITHM A2

Ⅲ. 결론 및 고찰

위의 유도된 제반공식들은 모두 기존의 식들을 기본으로 응용되어진 FIR 알고리즘의 한 모델이다. 충분히 다른 물리, 수학적, 화학적인 제반 이론들에 의하여 변동이 있을 수 있으나 빛의 입자성과 파동성을 이용하는 플랑크 상수의 적용과 물리, 수학적 논리의 적용은 어느 이론이 가감되더라도 있어야 되는 필수 사항일 것이다. 위의 유도된 식에 의하여 우리는 좀더 세부적인 실험을 할 수 있는 의료기기 및 실험장비를 제조할 수 있으며, 특히 반도체로 온도를 제어하는데 필요한 프로그래밍에서 아주 유용하게 사용되어질 수 있으므로, 기계적인 제어방식에서 벗어나, 전자적으로 정밀하게 측정, 제어하여 FIR방사를 하게 할 수 있을 것으로 사료되며, 지금까지 FIR의 조사량과 그 질적 수준을 판가름하고 조절할 수 없었던 것들이 위의 식들을 바탕으로 조절할 수 있었으면 한다. 위의 식들은 앞으로 실질적으로 산업적으로나, 의학적으로 사용되기 위해서는 많은 실험을 통하여 수정과 침삭이 필요하고, 특히 재료선택에 따른 실험적, 그리고 실질적으로 사용하는 과정에서 나오는 자료값의 차이를 극복하는 것이 관건이라 할 것이다.

< 참고 문헌 >

김재윤, 원적외선의 발전과 물리치료적응례, 대한물리치료학회, 2001

- 노현모, 바이오브라운관 효과검증에 관한 연구, 일본원적외선응용연구회1993
- 박승재, 조순탁, 조성호, 박봉상, 일반물리, 1997
- 박원서, 원적외선과 물, 서암소재연구소, 1992
- 백우현, 원적외선복사체의 분광학적 특성, 국립요업연구원, 1995
- 백우현, 천연소재를 이용한 원적외선 응용기술, FIR응용기술연구회, 1998
- 양중식, FIR 방사세라믹스 재료와 응용, 재료과학기술연구소, 1992
- 지철근, 원적외선의 특징과 응용, FIR ASSOCIATION, 2001
- 야마자끼도시코, 遠赤外線療法科學, 人間史社, 1987
- 高嶋廣夫, 遠赤外線工學, 1988
- Yoko Udagawa, Hiroshi Nagasawa, Shin Kiyokawa, Inhibition by whole-body hyperthermia with Far-infrared rays of the growth of spontaneous mammary tumors in mice, ANTICANCER RESEARCH, 1999
- Hiroshi Nagasawa, Yoko Udagawa and Shin Kiyokawa, Evidence that irradiation of Far-infrared rays inhibits mammary tumor growth in SHN mice, ANTICANCER RESEARCH, 1999
- Ralph J.Fessenden, Joan S. Fessenden, Organic Chemistry, 3rd, 1993