

## 治 療 工 學

洪 勝 弘

(正 會 員)

仁荷大學校 工科學 電子工學科 教授

### I. 序 言

國民所得의 增加와 함께 福祉志向社會로의 정부시책에 따라 醫療需要가 점차 增大해 가며, 또한 醫療自體도 質的, 量的으로 高度化해 가고 있다. 특히 病의 治療에 대한 國民의 관심은 더 한층 높아져 良質의 治療를 요구하게 된다. 이와 같은 時點에서 새로운 工學技術, 특히 電子工學이 醫療에 미치는 영향은 크다. 生體情報의 計測이나 診斷分野에서는 오래전부터 工學技術이 應用되어져 왔으나, 治療分野에서는 最近에 와서 많이 應用되어지기 시작했다. 治療行爲는 手術에 의한 것, 藥劑에 의한 것, 物理的 에너지에 의한 것, 人工臟器로 대치하는 것, 心理的 療法, 그리고 여러 가지 治療行爲를 복합적으로 사용하는 것등이 있다. 工學的手法을 治療에 도입하는 경우는 대개가 物理的 에너지를 이용하고 있다. 治療를 행하기 위해서는 어떠한 形態의 에너지를 生體에 作用시켜야 하는데 에너지 單體로서 보다는 새로운 材料나 電子工學 技術이나 情報工學을 組合한 複合技術에 의한 에너지의 生體作用이 最近의 研究課題이므로 治療工學의 개념으로 더 한층 발전시켜 나가야 한다. 이들 治療機器의 原理와 作用에 의해 분류하면 表 1과 같은데 本稿에서는 物理的 에너지를 대상으로 하는 것에 한정하여 레이저 治療, 超音波 治療, 溫熱 治療등에 대해 記述하기로 한다.

표 1. 治療機器의 原理, 作用에 의한 分類

作用에너지	에너지形態	機 器 名
電 磁 波	低周波	defibrillator, 陣痛誘發器, 低周波治療器, pace-maker, 靜電治療器, 電氣麻醉器, 神經,  근육 자극장치
	高周波	超短波治療器, micro波治療器, 皮膚수술기, 電氣에스
	磁 界	眼科用磁石
	光	光線치료기, 레이저메스, 光凝固裝置, 자외선발생기, 적외선발생기
熱	低 溫	냉동수술기, 胃冷裝置
	常 溫	파라핀浴裝置, 輸液用 히터, 보육기
	高 溫	Hyperthermia, 침뜸치료기
音 波	超音波	超音波에스, 齒石治療器, 溫熱치료기 (Hyperthermia), 초음파진동치료기
放 射 線	電子線	사이크로트론, 베타트론, X線裝置
	粒子線	線型加速器
機 械 力	靜 壓	고압산소실, 加壓물 마사지기, 흡인기
	動 壓	心마사지기, baloon pumping 裝置, 人工呼吸器, 輸液펌프, 수술모터

### II. 레이저 治療<sup>1,2,3)</sup>

레이저의 醫學 應用은 레이저 發振이 成功한 다음 해인 1961年 美國에서 레이저光源을 이용한 眼科用의 網膜光凝固裝置가 시초이다.<sup>4)</sup>이 이후에 體表外科手術으로 고려되고, 近年에 와서 레이저 技術의 발달과 周邊機器의 進步改良으로 醫療의 각 분야에 應用이 확대되었다.

檢體計測, 生體計測, 情報處理등 각 분야에 레이저

光의 특징을 유효하게 이용하고 있는데 특히 치료에 있어서는 주로 레이저의 熱作用, 光化學作用을 應用하고 있다. 레이저光의 특징중에서 治療에의 應用은 레이저의 單色性, 集束性, 光화이버傳送性, 高輝度등을 응용한 것이 주된 것인데 表 2에 治療分野에 대한 것을 표시했다.<sup>5)</sup>

#### 1. 레이저에 의한 熱的 治療

레이저의 治療에의 응용중에서 強한 에너지의

표 2. 治療分野에 대한 레이저應用

1) 弱에너지의 應用
鍼灸術에의 應用 (漢醫學)
創傷治療促進에의 應用
腫瘍變性에의 應用
2) 레이저와 光化學物質의 併用
암治療
皮膚切開
3) 強力레이저光에 의한 手術裝置
網膜光凝固裝置
皮膚病變治療用 펄스·레이저
micro手術用 레이저·메스
連續波 레이저·메스
內視鏡 레이저·메스
結石破壞器
4) 生體用 레이저溶接器
虫齒治療
骨溶接用
5) 殺菌用 레이저照射器
創傷滅菌器
6) 感覺補助用 레이저裝置
盲人用 레이저 지팡이
홀로그래피 眼鏡

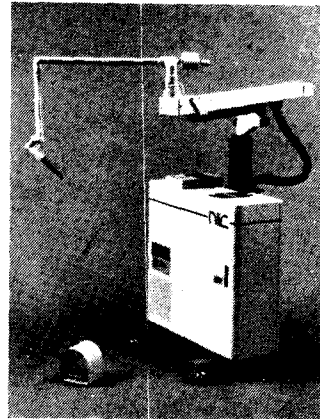


그림 1. 手術용 레이저장치

特定組織을 선택적으로 파괴하는 것이 光化學的인 治療方法이다.

즉 腫瘍組織에 光感受性物質을 레이저光으로 勵起하여 그 光化學反應을 이용하여 癌組織을 파괴하는 선택적 암치료법이 이에 해당된다.<sup>17)</sup> 이 외에도 紫外線 레이저의 殺菌, 抗腫瘍效果를 이용한 皮膚病變의 治療法도 연구되고 있다.

### 3. 光刺戟 治療

미약한 연속파 혹은 펄스형의 레이저 에너지를 生體組織에 刺戟을 가해 生體의 부활, 제어하는 治療法도 시도되고 있다. 漢方에서 사용하는 針 대신에 He-Ne 레이저를 이용하여 針灸治療效果를 얻고 있는데 患者에 대한 위험이나 고통도 적으며 治療의 有用性도 확인되어 있으므로 기대되는 治療機器라고 할 수 있다.<sup>18)</sup> 그러나 이와 같은 光刺戟法에 의한 治療의 作用機序는 아직 밝혀지지 않고 있으므로 理論的인 研究가 수행 되어져야 한다.

위에서 열거한 레이저治療는 現時點에서 ① 裝置의 小型化, ② 安全對策, ③ 高에너지에 견디는 光화이버의 개발, ④ 레이저光의 波長이나 發振을 자유로이 제한 할 수 있는 可變 레이저의 개발, ⑤ 切開深度制御法의 開發, ⑥ 價格의 低廉化등의 문제가 남아 있다.

### Ⅲ. 超音波 治療

超音波의 醫學應用으로서는 通信的인 應用으로 生體計測에의 利用과 動力源으로써의 에너지利用, 즉 治療的 應用으로 크게 나눌 수 있다.

超音波를 이용한 治療裝置는 주로 超音波의 에너지를 이용해서 治療를 행하는 것으로 目的에 따라 여러

레이저光의 熱作用에 의해 組織을 凝固, 滅菌, 切開, 蒸發시키는 방법이 대표적인 응용이다.

生體組織의 成分中 約 60%가 水分이기 때문에 水中에서의 흡수가 높은 CO<sub>2</sub> 레이저나 YAG 레이저는 照射部位를 일정하게 가열되어 凝固, 炭化, 氣化가 행해지는데 이와 같은 작용을 응용한 CO<sub>2</sub> 레이저나 YAG 레이저光 凝固裝置 등이 개발되어 있다. 레이저·메스는 切開와 동시에 주변조직이 熱凝固가 되기 때문에 出血이 적고 非接觸的으로 수술이 행해져 顯微鏡하의 手術등에 응용되고 있다. 또한 光화이버방식의 CO<sub>2</sub> 레이저·메스는 小型의 CO<sub>2</sub> 레이저 發振管의 개발등으로 소형화기기가 실용되고 있으며, 內視鏡과 병용할 수 있는 100W級의 YAG 레이저가 위암등의 치료에 위력을 발휘하고 있다. 이외에도 Kr, N<sub>2</sub>, HF, He-Cd 레이저등의 紫外線 레이저도 검토되고 있어서 레이저治療에 實用될 레이저 種類가 증가일로에 있으며 裝置의 소형화, 간단화도 시도되고 있다.<sup>16)</sup> 그림 1은 실용되고 있는 레이저 치료장치의 한 예이다.

### 2. 光化學的인 治療

레이저光과 특수한 化學物質을 병행하여 사용하여

종류의 裝置가 개발되어 있다.

超音波를 照射하므로 생기는 溫熱, 振動作用에 의해 관절통, 근육통 등의 치료에 이용한다. 使用周波數는 대개 1MHz로 體內에서의 指向性이 비교적 예민하고, 目的으로 하는 部位에 효율 좋게 超音波를 照射시킬 수 있고 超音波의 吸收가 약 5cm정도가 되어 각 부의 치료에 이용한다.

集束超音波<sup>11)</sup>를 이용한 手術裝置는 數 MHz 정도의 超音波를 적당한 렌즈나 反射鏡 등을 사용해서 集束시키면 그 초점에서의 強度는 振動子面에 비해 수 천 배 이상으로 할 수 있어서 이의 초점을 生體內에 맞추어 그 部分의 組織을 파괴하여 手術할 수 있는데, 사용주파수는 대개 1MHz전후의 것이고 초점의 音響強度는  $500W/cm^2 \sim 2KW/cm^2$ 이다. 1MHz 정도의 주파수는 1.5mm 정도의 비교적 짧은 파장이어서 기하광학적인 취급이 가능하고 光學機器와 같이 超音波의 集束音場을 얻을 수 있다. 集束超音波의 發生方法은 ① 曲面反射器를 이용하는 방법, ② 렌즈를 사용해서 集束시키는 방법, ③ 공모양의 振動子를 사용하여 발생시키는 방법, ④ 數個의 集束音場을 組合하여 強度가 큰 音場을 발생시키는 multibeam方式 등으로 분류된다.

그림 2는 周波數 20~50KHz를 이용한 Horn型 메스의 예로 뼈의 切削에 이용한다.

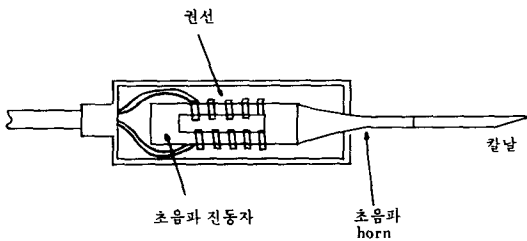


그림 2. 超音波 Horn型 메스의 구조

IV. 溫熱治療 (Hyperthermia)

溫熱治療法은 患部에 적당한 溫度를 加해 治療하는 방법으로서 最近에 癌治療의 새로운 방법으로 각광을 받고 있다. Hyperthermia는 「加溫療法」, 「溫熱療法」이라고도 하는데 癌에 대한 hyperthermia는 기원전 2000年 前부터 존재했던 治療法이나 Bush(1866年), Coley(1893年) 등의 임상보고가 있는 후 1960年 후반부터 연구가 본격적으로 시작되었다.<sup>11a)11)</sup> 이 이후 많은 學者들에 의해 熱影響에 관한 細胞生物學的 研究가 행해져 溫熱에 의한 癌細胞 死滅效果가 明確히 되어 最

近에 와서 다시 관심을 가지게 되었다.

이와 같은 hyperthermia에 관한 연구는 크게 나누어 生物學的 基礎研究, 臨床應用 및 溫度計測·制御를 중심으로 한 工學的 研究로 크게 나누어 진다. 現在까지 生物學的 基礎研究 成果가 많이 축적되어 臨床應用이 본격화 되고 있는데, 특히 원하는 部位에 加溫하는 方式과 加溫部位의 溫度計測이 문제시 되고 있다.

42℃로 일정한 溫度를 유지시키는 加溫方法으로는 代謝熱의 이용, 溫水, 溶融파라핀등에 의한 직접적인 熱傳達法, 電磁波, 超音波의 照射에 의한 熱發生을 이용하는 방법이 있고, 임상적인 면에서 全身加溫과 局所加溫法등으로 고려되고 있다. 表 3에 hyperthermia를 분류하여 표시했다.<sup>12)</sup>

표 3. Hyperthermia의 分類

部位에 의한 分類	全身加溫 whole body
	局所加溫 regional 局部加溫 local
方法에 의한 分類	마이크로波 microwave RF波誘電 RF capacitive RF波誘導 RF inductive 超音波 ultrasonic 溫水灌流 hot-water irrigation

熱을 암치료에 응용하는 합리성은 다음과 같다. ① 42℃~43℃의 加溫에 의해 加溫時間과 함께 細胞의 生存率이 저하하고 ② 低酸素細胞가 有酸素細胞보다 熱에 약하고 ③ 放射線과 熱에 대한 細胞周期의 感受性이 다르고 ④ 熱에 의해 細胞의 방사선 혹은 制癌劑 損傷으로부터의 회복이 저지 되고 ⑤ 正常組織보다 腫瘍組織이 加溫하기 쉬운 것등의 基礎研究의 成果에 두고 있다. 加溫에 의한 細胞致死效果의 한 예를 그림3에 표시했다. 42℃ 이상에 대한 處理時間-生存率曲線으로 43℃ 부근에서 경사가 급속하게 증대한다.<sup>13)</sup>

여기서는 주로 電磁波와 超音波에 의한 加溫方式의 응용에 대해 記述하기로 한다.

1. 電磁波에 의한 生體加溫

Hyperthermia에 이용하는 電磁波는 크게 나누어 RF波와 마이크로波로 나누어 생각할 수 있다. 또한 RF波는 誘電形과 電磁誘導形으로 나누어진다.

그림 4(a)와 같이 誘電形(콘덴서형)은 비교적 큰 평행한 電極에 人體를 삽입하여 이 사이에 13.56MHz~수 10MHz의 高周波, 즉 RF波를 흘려 이온의 이동에

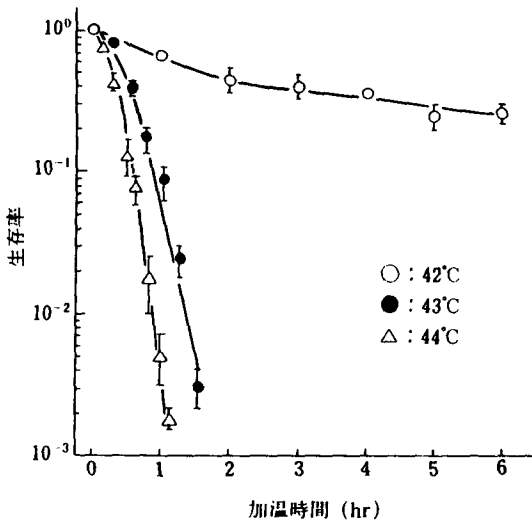


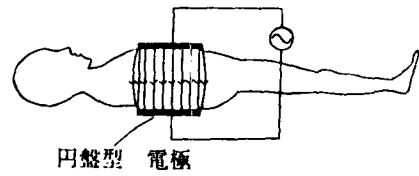
그림 3. 차이니스 햄스터 V-79細胞의 加温時間-生存率曲線

수반하는 joule發熱을 이용하는 加温方法이다. 이 경우는 人體深部를 加温하기 위해 電極의 크기가 人體 두께에 비해 커야하며 發振器의 임피던스와 人體의 임피던스가 整合되어야 효율 좋게 加温된다.

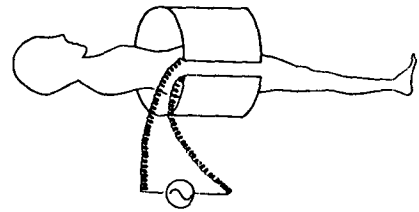
誘導形 加温은 그림 4 (b)와 같이 人體를 코일속에 두어 人體에 渦流를 흘리게 하여 加温하는 방식인데 深部加温에는 적당하지 않다. 마이크로파 加温裝置는 미국, 일본, 유럽등지에서 수 많은 방식들이 制品化되어 臨床에 적용하고 있는데 深部침투 깊이가 좋지 않아서 (周波數에 의한 組織침투성) 문제가 되나, 에너지를 放射하는 안테나, 즉 applicator가 소형으로 설계되어 지므로 組織內 加温이 기대된다. 그림 5는 脂肪-筋肉層에 平面電磁波가 입사했을 때의 吸收電力分布의 計算값을 나타낸 것인데 周波數가 높게 되면 脂肪-筋肉境界에서 電磁波가 反射된다. 그림 4 (c)는 annular phased array형의 applicator로 電磁波를 집중하는 방식을 취하고 있어서 深部加温이 可能하다.<sup>161</sup> 그림 6에 誘導加温 (concentri coil), 誘電加温 (전극 20cm φ), dipole 안테나형의 加温裝置 (erbothermo)를 phantom에 적용한 데이터를 비교한 것이다.

2. 超音波加温<sup>161</sup>

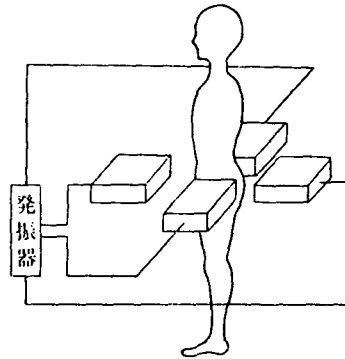
超音波에 의한 發熱은 音場密度의 疎密에 의한 分子振動에 근거를 두고 있다. 이와 같은 초음파는 生體中에서의 감쇄도 적고 深部에의 침투깊이도 크며, 기하학적인 集束이 가능하므로 發熱의 局在性이 기대된다. 또한 溫度計測時에 電磁波가 熱電對에 미치는



(a) 誘電加温



(b) 誘導加温



(c) annular phased array형

그림 4. 여러가지 電磁波 加温方法<sup>162</sup>

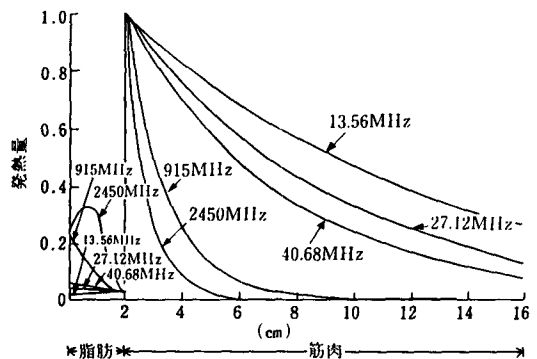


그림 5. 脂肪-筋肉組織間에 平面電磁波가 입사했을 때 흡수전력분포의 계산값<sup>161</sup>

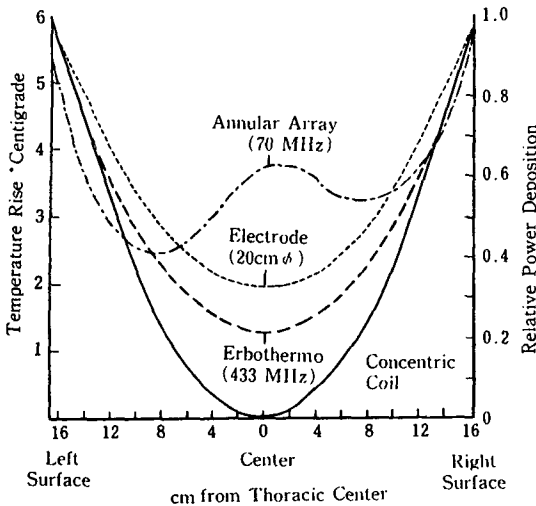


그림 6. 誘導加溫 (concentric coil), 誘電加溫 (20cm φ), dipole 안테나형과 annular array형에 의한 深部加溫의 비교

영향이 없으므로 加溫時에도 溫度測定이 쉬운 長點을 가지고 있으나 吸收係數가 다른 軟部組織과 공기, 뼈와의 경계에서 심한 반사·굴절 등이 생기므로 消化管, 肺 등의 加溫에는 부적당하여 적용부위가 제한된다. 이상의 각종 加溫裝置의 특징과 적용 평가를 表 4에 표시했다.

표 4. 加溫裝置의 特徵

	深部 침투성	局在性	適應狀態	비 고
極超短波	小	良	表在性, 管腔內	組織內 加溫 加能 電磁波 영향이 적다.
超短波	中	良	중간경도의 깊이	電磁波 영향이 크다.
電界型RF	大	部分的	深部용	脂肪, 骨에서 발열 電磁波 영향 크다.
磁界型RF	中	部分的	중간경도 깊이 표면돌출환부용	脂肪, 骨에서 발열 電磁波 영향 크다.
超音波	大	良	深部용	공기, 뼈에서 반사 非熱的 손상이 생긴다.

3. 溫度測定

加溫技術과 함께 溫度測定技術 또한 매우 중요하다. 人體內部에 加溫하고 있는 部位의 溫度를 精確하게 측정하여 42°C에 해당하는 일정한 溫度를 가할 수 있도록 해야 하기 때문에 현재의 技術로써 응용되는 것은 더어미스터를 癌部位에 직접 삽입하여 測定하고 있

다. 이는 患者에게 고통을 줄은 물론 특히 電磁波를 이용한 加溫裝置에서는 加溫方法과 溫度測定과의 사이에 相互 간섭문제가 야기된다. 이는 高抵抗 더어미스터를 이용하여 해결하는 방법과 光學的 레이저를 이용한 溫度測定法을 도입하여 해결하고 있다.<sup>17)</sup> 그러나 컴퓨터·시뮬레이션에 의한 生體內 發熱分布의 추정, 超音波의 音速의 溫度依存性, NMR에 대한 완화시간의 溫度依存性을 이용한 무침습 온도측량방법도 연구되어지고 있다.<sup>18,19)</sup> 표 5에 hyperthermia의 연구 분야를 요약하였다.

표 5. Hyperthermia의 研究分野

工學的研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>○加溫技術                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 加溫理論</li> <li>• 生體內의 電磁界, 超音波 解析</li> <li>• 溫度分布解析</li> <li>• 加溫裝置 (RF, 마이크로波, 超音波)</li> </ul> </li> <li>○溫度測定技術 (invasive, noninvasive)</li> <li>○溫度制御技術</li> <li>○臨床應用을 위한 周邊技術                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 冷却法</li> </ul> </li> </ul>
生物學的 基礎研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>○細胞의 熱感受性</li> <li>○腫瘍에 대한 微小循環動態</li> <li>○化學療法劑의 增感作用</li> <li>○放射線의 增感作用</li> </ul>
臨床應用	<ul style="list-style-type: none"> <li>○局所加溫度 (接觸型, 非接觸型)</li> <li>○全身加溫法</li> </ul>

V. 컴퓨터에 의한 放射線 治療計劃

放射線 治療의 컴퓨터 이용은 放射線 治療의 自動化에 목적을 두고 있다. 이것은 컴퓨터 제어로 治療裝置의 自動 set up과 照射條件을 설정하여 치료하고, 照射 완료 후에는 그 내용을 기록하는 3개의 업무를 수행하도록 되어 있다.

放射線 治療計劃에는 線量分布에 관한 線質, 照射方法, 照射技術 등의 物理的 문제와 1회線量, 總線量, 分割回數, 照射日數 등의 生物學的 課題에 대한 研究가 중요시 된다.

이와 같은 最適化計劃은 照射의 시뮬레이션에 의해 病巢와 그 주변에 대한 放射線의 吸收線量分布의 評價를 통해 행해진다.

治療計劃시스템은 이와 같은 요구에 완전하게 응할 수 있도록 지정된 照射技法과 구체적인 照射條件에

대해 즉시로 線量分布計算이 행해져 그 결과를 CRT 상에 표시된다. 보통 數回의 반복시물레이션에 의해 最適한 治療計畫이 달성된다. 最近은 X線 CT의 情報를 기초로 하여 컴퓨터로 처리하는 治療計畫이 연구되어지고 있다. 이와 같은 새로운 計測手法과 治療技術을 컴퓨터로 연결한 治療시스템이 구성되어 실제로 응용 되어지고 있다.

## VI. 結 言

위에서 열거한 것은 最近에 화제가 되고 있는 새로운 治療機器에 대해 논했는데, 이 외에도 電氣麻酔, pace maker, 除細動器(defibrillator) 등 첨단기술의 治療에의 응용기기가 많으나 紙面上 생략하였다. 앞으로 計測과 情報處理技術을 토대로한 새로운 治療工學이 확립되어 醫師의 치료행위에 대한 補助手段으로 정착되어 갈 것이다.

## 參 考 文 獻

- [1] R.A. Malt & C.H. Townes: Optical Masers in biology and Medicine, *New Engl. J. Med.*, 269-26, 1963.
- [2] 渥美和彦, 桜井靖久: 레이저의 醫學への 應用, 醫用電子と生體工學, 4-5, 370/392, 1966.
- [3] 大城俊夫: 레이저의 治療應用, 治療, 64-9, 58/68, 1980.
- [4] M.M. Zaret, et al: Occular lesions produced by optical maser (laser), *Science*, 134, 1525/1526, 1961.
- [5] 桜井靖久: 醫用 레이저, 醫用電子と生體工學, 20-7, 548, 1982.
- [6] Laser Tikyo'81, ed. by K. Atsumi & N. Nimsakul, The 4th Congress of the International Society for Laser Surgery, 1981.
- [7] 加藤大典: 레이저와 癌의 光化學, 레이저研究, 10-2, 165/172, 1982.
- [8] H.K. Koebner, *Lasers in Medicine*, John Wiley & Sons, 1980.
- [9] 日本超音波醫學會: "超音波醫學", 醫學書院 1976.
- [10] W. Busch: *Verhandl. Naturh, Preuss, Rhein. Westphal*, 23-18, 1866.
- [11] W.C. Dewey, et al.: Cellular response to combinations of hyperthermia and radiation, *Radiology*, 123, 1977.
- [12] 菅原 努, 하이퍼เทอร์미아, 마그로스出版, 1984.
- [13] Miyakoshi, J., et al.: *Cellular responses to Hyperthermia and radiation in Chinese hamster cells. In modification of radiosensitivity in cancer treatment*, Academic Press, Tokyo, 335-350, 1984.
- [14] Sterzer, F., et al.: RF therapy for malignancy, *IEEE Spectrum*, 17: 32-37, 1980.
- [15] Special Issue: Hyperthermia and Cancer therapy, *IEEE, BME-31*, no. 1, 1984.
- [16] P. Fessenden: Experience with a multitransducer ultrasound system for localized hyperthermia of deep tissues, *IEEE BME* 31-1, 1984.
- [17] K.A. Wickersheim and R.V. Alves,: Recent advances in optical temperature measurement, *Ind. Res. Devel.*, 82-89, Dec., 1979.
- [18] John W. Strohbehn, et al.: A Survey of computer simulations of hyperthermia treatments, *IEEE, BME-31*, no. 1, 136-138, 1984.
- [19] Dennis L. Parker,: Applications of NMR Imaging in hyperthermia, *IEEE BME-31*, no. 1, 161-167, 1984.\*

## ❀ 전자계산연구회 학술발표회 논문모집 ❀

- 본 학회 전자계산연구회에서는 학술발표회 논문을 모집하오니 여러분의 많은 참여를 바랍니다.
- 개 최 일 시 : 1986년 9월 6일(土)
- 논문원고마감 : 1986년 8월 6일(水)