

의용생체공학과 電氣工學과의 관련

朴 相 曠*

— 차 례 —

- | | |
|------------------------|--------------|
| 1. 緒 論 | 3-4. 전자장론 |
| 2. 의용생체工學의 역사적 배경 | 3-5. 전자계산 |
| 3. 電氣工學과 의용生體工學의 관련과제 | 3-6. 시스템과 制御 |
| 3-1. 通信理論 | 4. 結 論 |
| 3-2. 電子回路와 전자장치 | 5. 參考文獻 |
| 3-3. 回路網理論 | |

1. 緒 論

최근 공학분야의 조류는 세분화됨과 동시에 종합화되고 있다. 특히 1948년 R. Wiener의 사이버네틱스(cybernetics) 창시 이래 트랜지스터, IC 등 전자재료의 급속한 진보 발전과 여러가지 기술의 고도화에 따라 새로운 방향의 공학이 형성되어지고 있는 것이다. 이 중에 하나가 여기서 언급하고자 하는 의용생체공학(biomedical engineering)인데, 이것은 공학과 생명과학의 경계 영역에 속하고 있는 학문으로서 궁극적으로 추구하는 연구대상은 인간이나 생체시스템의 우수한 기능을 공학 기술에 응용할 수 있게 하는 것이다. 그런 의미에서 의용생체공학을 참고문헌을 토대로 하여 아래와 같이 정의하여 본다.

"의용생체공학은 생체시스템에 대한 생물학적, 의학적인 지식과 공학 기술을 응용하여 이들 개개의 시스템을 조화시키고, 또 생체시스템과 공학시스템간의 기능조화를 시키며, 양 시스템에 존재하는 환경의 조화를 추구하는 학문이다."

이렇게 볼 때 의용생체공학에서 다루는 분야는 크게 4가지로 나눌 수 있게 된다.

① 생체시스템의 계측, 진단 및 치료에 공학적 수법(수단, 기술, 장치 등)을 사용하는 분야……의용전자공학(M.E.; medical electronics)

② 생체시스템을 공학적으로 해석하고 미지의 생체부분을 예측 또는 해명하는 분야……사이버네틱스(cybernetics)

③ 생체시스템의 우수한 기능을 모방해서 새로운 공학시스템을 창조하는 분야……바이오닉스(bionics)

④ 공학적 수법을 사용하여 생체 기능에 적합한 공학시스템 또는 환경을 개량하는 분야……인간공학(human engineering)과 환경공학(environmental engineering)

그러므로 여기서는 의용생체공학에 속한 여러문제가 전기공학과 더불어 발전하여 온 과정을 먼저 더듬어 보고 전기공학분야와 관련을 갖고 다루어지고 있는 과제를 중심으로 살펴보고자 한다.

2. 의용生體工學의 歷史的 背景

이 학문이 전기공학과 어떠한 관련을 가지고 발전하여 왔는지 역사적인 연구 계보를 개략적으로 다루어 보기로 한다.

1776년에 발표한 H. Carvendish의 논문에서 전기뱀장어를 만지면 누구나 매우 아픈 느낌을 가지는 현상이 전기적인 특성에서 이뤄짐이 밝혀졌으며 또한 전기뱀장어는 1500W 정도의 펄스발생기를 지니고 있음을 발견하게 된 것이다.

그 후 1791년에 Galvani는 개구리의 실험에서 얻어진 2가지 결과를 발표하였는데, 하나는 전류를 개구리의 다리 근육에 흘렸을때 수축을 일으키는 사실을 입증한 것이고 다른 하나는 근육이 수축을 하는 동안 근육 내에 전류가 존재하는 몇가지 징조를 확인한 것이다. 그후 3년뒤 Galvani는 수축하는 근육 내에서 전류가 일어나고 있는 새로운 사실을 발표하게 된 것이다.

*정회원 : 延世大 理工大助教授(工學博士)

이러한 Galvani의 실험을 계속한 Volta는 전기분해에 금속 전극을 이용하므로써 간단하게 전류를 일으킬 수 있는 사실을 발견하게 되었으며 이것이 Volta 전지를 만들게 한 것이다. 이 발견은 개구리의 근육수축에 의한 것이라기 보다는 전기분해를 통한 실험에 의해 실제로 Galvani의 전류 발생현상을 확인한 것이었다. 즉 Galvani가 연구한 개구리의 다리가 아주 훌륭한 볼트미터를 만들 수 있는 간단한 시도를 하게끔 하였던 것이다.

근육에서 발생된 전류의 유무에 대한 문제는 1840년대에 du Bois-Reymond 등이 물질을 연구하게 될 때까지도 전제되고 있었으며, Galvani는 절친한 친구였던 Helmholtz와 du Bois-Reymond의 도움으로 그 당시에 가장 민감한 검전기를 2개 만들게 되었다. Du Bois-Reymond는 이 검전기를 사용하여 근육 수축에서 뿐만 아니라 신경전도에서도 전류가 흐르고 있음을 확인하였다.

한때 생체전기현상의 존재에 관한 문제에 부딪친 일이 있었는데 무엇보다도 19세기 후반기에는 생물학적인 현상에 전기적인 이론의 적용이 어려운 시기도 있었다.

Nernst, Donnan, 그리고 다른 학자들의 전기화학적 이론이 생체시스템내에 전위의 존재를 설명하는데 도움을 주었으며 장거리 전기케이בל에서 확립된 전송이론을 적용하여 신경의 전달과정이 전위로 이뤄지는 것을 확인하는데 성공하였다.

Ostwald와 그의 동료들은 철의 전기화학적인 표면현상과 신경에 전기적인 자극 및 활동적인 전도를 비교하였으며, 화학자들은 금속표면 현상의 신비성 해결을 신경에서 발견하기를 희망하였다. 그 후 1916년부터 1936년 사이에 Lillie의 영향하에 신경생물학자들은 철과 수은과 같은 금속에서 전기화학적인 표면 현상을 연구하므로써 신경 흥분의 신비성을 해결하려고 노력하여 성공적인 결과를 얻지 못했지만 전기와 생체의 상호관계의 규명에 많은 도움을 준 것이 사실이다.

1922년까지만 하드라도 du Bois-Reymond의 기구가 생체전기현상을 측정하는 도구로서 불충분하였으나 이러한 난점을 Gasser & Erlanger가 곧 극복하였다. 이들 신경생물학자들은 처음으로 음극선 오실로스코프에 저전압 신호를 표시할 수 있게 설계 제작하였고 이것은 외부감쇠가 15mV 이상 되는 신호에 대해서 민감하였다. 이 오실로스코프를 사용하여 신경에서 전도되는 신호에 관한 새로운 현상을 많이 발견하게 되었으며 이것으로 Gasser & Erlanger은 노벨상을 받게 된 것이다.

15년 후인 1937년에 Schmitt는 신경 충격성 신호 전

파에 관한 방정식의 역학적인 해석이란 논문을 발표하였는데 이것은 전자신경 모델을 기술한 것이다. 그가 발명한 이 회로의 일부는 오늘날까지도 사용되고 있으며 그 이름을 슈미트 트리거라고 부르고 있는 것이다.

이와 같이 수많은 여러가지 방법에서 전기공학과 생명과학은 Franklin 시대 이래 긴밀한 관계를 유지해 오므로써 생체전기현상 규명이 지속되어 온 것이다.

특히 의학에서는 생체전기현상의 관계가 강력히 요구되어 심전도, 근전도, 뇌파측정기 등 중요한 진단기구를 대두시키게 되었으며 또한 전류 자극기, 가청기기, 치과용 전기 드릴, 그리고 전자보청기 등 임상에서 사용하고 있는 어느 기구나 생체전기현상과 직접 연관을 가지지 않은 것이 없다.

1937년 이래 수년동안 전기과학이 매우 광범위하게 다루게 되었고 생물학과 의학의 공통분야도 성장하게 된 것이다. 이러한 공통분야의 초기 발전은 McCulloch & Pitts가 1943년에 발표한 "신경활동에 내재한 논리적 계산 방법"이라는 논문에서 시작된 것이다. 이것은 순전히 신경회로망 기능의 이론 전개에 대한 노력이었지만 오토메이터 이론(automata theory)의 초석이 되었던 것이다. McCulloch에 의한 이와 같은 일련의 연구는 Neumann과 초기의 디지털 전자계산기를 개발시키는데 참여하였던 학자들의 숨은 노력이 있었다. 오늘날 디지털 전자계산기는 중요한 단일 도구로 급속히 발전하였고 광범위한 생체공학의 모든 분야에서 그 기능을 다하고 있는 것이다.

이러한 사람들이 전기공학분야로 일찌기 전환을 하였더라도 훨씬 더 진전된 분야를 개척하였을런지 모를 일이다.

3. 電氣工學과 依營生體工學의 關聯과제

3-1. 通信理論

Shannon의 논문이 발표된 후 정보이론은 생명과학에서 유용한 개념으로 이용하기에 이르게 되었으며 이것은 감각기 생리학, 신경생물학, 분자생물학, 그리고 생태학과 같은 여러 분야에 점차로 응용을 갖게 되었다. 또한 연구자들은 유전인자의 정보저장 능력, 여러 가지 감각기관의 정보율, 그리고 여러 신경섬유의 채널 용량을 측정하거나 계산을 하게 되었다. 그래서 어떤 경우에는 측정이나 계산이 중요한 관련성을 가졌으나 다른 경우에는 이들 값이 의문시된 일도 있었다. 인간의 두뇌는 1,000억개 이상의 신경세포로 특수하게 연결이 되어 있으며 신경시스템의 감응성에 매우 중요한 자리를 차지하고 있으나 충분한 정보를 함축할 수 없었다. 또한 신경섬유의 채널 용량에 대한 측정도 엔

코더와 디코더에 대한 지식이 미약하였기 때문에 특이하게 나타낼 수 없었던 것이다.

생태학에서는 생태계 안정에 관한 추정을 하고 합축된 생태계 다양성을 정보처리 하기 위해 Shannon의 이론을 측정에 응용하려고 연구를 시도하여 그 결과 다양성이 안정도의 중대한 지표이고 Shannon의 표현이 적절함을 알게 되었고 이러한 개념에 대한 경험적인 입증이 발견되었던 것이다.

통계적 신호해석 역시 의용생체공학에서 광범위한 응용을 갖게 되었으며 신호의 상관과 평균기법의 도입을 하지 않았더라면 많은 중요한 생물학적인 신호들이 잡음과 혼란속에 잠겨진 채 해결하지 못했을런지 모를 일이다. 이들 방법은 일반용 디지털 전자계산기에서 뿐만 아니라 특수 목적용 온·라인 실험장치에서 수행되었고 많은 경우에 신호이론의 유용한 방법이 직접 적용될 수가 있었다. 반면에 전기공학자들은 새로운 이론과 기술을 개발하고 이러한 일을 단계적으로 행해야 했다. 특히 신경생물학으로 돌려보면 펄스 열(pulse train) 해석의 아주 새로운 과학이 전개되고 있다. 이러한 이론의 응용과 검파이론을 포함한 다른 통계적 신호해석 기술은 감각기 전달장치, 감각기내에 신호처리 그리고 신경시스템에 관한 새로운 면을 개척하였고 자동화된 심장부 점맥 검출기와 강력한 안전경보 시스템등의 새로운 의료가구와 많은 다른 중요한 생물학적인 현상을 해명하였다.

3-2. 전자회로와 전자장치

Gasser & Erlanger의 오실로스코프와 Schmitt의 트리거에서 전자회로는 생물학과 의학과의 밀접하고도 다양한 연관성을 가지게 되었다. 그래서 전자회로를 이해하고 설계할 수 있는 물리학자나 생물학자들은 동료들이 생각지도 않는 중요한 측정을 할 수 있었다. 생물학과 의학에 전자공학의 응용은 매우 다양하고 중요하여서 전체 항목에 걸쳐 가치가 있게 되었다. 한 예로서 1949년에 Cole은 신경섬유의 내부를 따라 전압 크램핑의 목적으로 전자회로를 설계하는데에 귀환증폭기의 원리를 사용하였다. 1951년에는 Hodgkin & Huxley가 이 회로를 사용하여 신경섬유의 전기화학적 동특성을 측정하고 신경신호가 한 지점에서 다른 지점으로 전도되는 방법에 대한 2000년 이상되는 생물학자들의 숙제를 해결하여 노벨상을 받게된 것이다.

전자장치의 이론과 설계도 생물학과 의학에 중대한 역할을 하게 되었다. 여러가지 수동과 능동 변환기(transducer)는 생물학과 의학의 기저에 결정적인 요소로 되었으며 이들 변환기의 대부분이 전자장치로 구성되고 있다. 더욱이 이러한 많은 변환기들이나 특수한 동작은 특정한 목적에서 요구되는 높은 입력임피이

던스를 가진 아주 소규모로 주입 가능한 마이크로 회로 증폭기이거나 아주 낮은 에너지 소모를 갖는 회로에 의해 이뤄지고 있다.

최근 Stanford 대학과 Stanford 연구소의 연구진들이 장님을 위해 휴대 가능한 촉각 해독 장치의 설계와 개발을 진행한 일이 있다. 물론 이러한 장치는 정교한 회로를 요망하지만 가장 중요한 2가지의 장애물은 변환기이었다. 한가지 장애물은 정상 프린트의 아주 미소한 패턴을 충분히 이해하도록 감지하는 것이고 또 다른 장애물은 장님에게 촉각으로 느낄 수 있는 패턴을 형성하는 것이었다. 촉각은 가능한 압전기(piezo electric) 장치로 이루고 프린트 센서(sensor)는 Stanford 반도체 연구실의 충분한 검토하에 이루어졌다.

3-3. 회로망이론

회로해석 방법은 생체시스템의 개개조직, 또는 전 조직내에 있는 물질간의 흐름을 분석하고 신경세포내에 흐르는 전류의 분포를 분석하는데 오랜동안 적용되어 왔다.

회로망이론은 세포막 캐패시턴스, 세포막 콘덕턴스, 그리고 세포질 저항을 가진 신경세포와 신경줄, 질량, 그리고 점성감쇠를 가진 근육의 해석에 직접 적용되었고 아직도 다양하게 연구되고 있다. 명확한 회로소자가 확인되지 않았을 때도 회로망해석법은 적용되고 있다. 예를 들면 감각기 시스템에서 측면의 억제제 사다리 회로망(ladder network)의 방법으로 해석되어진다. 사실 공간적으로 불연속인 선형 불가역성 열역학 프로세스의 시퀀스는 사다리 회로망으로 표시될 수 있다. 이러한 프로세스는 생물학과 의학에서 공통관계에 있으며 에너지나 물질의 부분적인 흐름과 화학적인 반응의 순서를 포함한다. 회로망 해석과 합성에 관한 정리가 직접적으로 이러한 시스템에 또한 적용되고 있다. 예를 들면 Tellegen의 정리와 회로망이론의 다른 면들이 세포막 현상과 같은 선형과 비선형인 불가역성 열역학적인 프로세스의 해석에 적용되어 성공하였다.

더욱이 회로망 합성은 강력한 인식론적인 도구의 역할을 지니고 있다. 생체시스템에 선형 입출력관계가 주어지면 문제로 놓여진 메카니즘이 일반적인 불가역성 열역학 프로세스의 어떤 시스템이라고 타당성 있게 가정할 수 있고 구성상태를 찾기위해 데이터의 모호성에 대한 고려할만한 지식을 얻고져 할 때 회로망 합성의 기술과 정리가 적용되고 있다.

3-4. 전자장론

두뇌, 말초감각기관, 심장, 그리고 척추근육과 같은 많은 기관 주변에 이들 기관의 활동과 전장상태를 나타내는 전계가 존재한다. 이러한 제면은 이들 기관내에 개개의 세포로 둘러 쌓여 있으며 이들 세포의 활동을

나타낸다. 세포와 기관 주변에 제면은 전극과 증폭기로서 쉽게 검출될 수 있다. 그러나 이러한 설명은 전자장론의 빈틈없는 이용에 달려 있다. 더욱 분명한 응용의 하나로 신체내부에 있는 구조물의 관찰을 위한 초음파와 호로그래피(holography)의 발전, 그리고 생물 조직에 쓰이는 특수현미경의 발전과 같은 여러가지의 문제에 전자장론과 전파이론이 이용되고 있다. 고주파와 마이크로파 기술 역시 전열요법(diathermy)과 원격측정을 해서 단백질 분자상에 구속된 수분량을 측정하는데에 이르기까지 의용생체에 응용을 찾고 있다.

3-5 電子計算

생물 의료분야의 연구에 전자계산기의 응용은 넓게 전개되고 있다. 예를 들어서 분자생물학의 수준에서는 디지털 전자계산기를 이용하여 거시분자의 구성을 추정하고 염색체의 해석을 하고 있다. 생리학의 모든 수준에서도 전자계산기를 이용하므로서 실험과정을 조절하고 데이터를 서로 관련시켜 시뮬레이션에 의한 가정을 검증하고 있다. 특히 시각생리에서 예를 보면 전자계산기는 자기상관법에 의해 극히 미소한 시각 전달신호를 나타내고 시각신경회로망의 아주 복잡한 동특성을 측정해서 모델화하며 조절작용 및 트래킹 시스템에 입력조절과 출력 평가를 하고 또한 이러한 시스템을 모델화 하는데 사용되고 있다.

마찬가지로 생배학과 인류생물학에서도 전자계산기는 데이터를 관련시키고 해석하며 복잡한 시스템을 모델화하는데 사용되고 있다.

전자계산기의 의학적 이용은 생물학적 응용만큼 다양하다. 예를 들어 진단을 도움으로서 전자계산기의 진가를 나타내고 있다. 그러나 일반적으로 내과의사들은 진단 결정에 그들 책임을 전가하려고 하지 못해 행하여 온 것이다. 그러므로 전자계산기 과학자들은 전자계산기에 의한 의료진단을 하는 대신 계산기의 보조로 진단하기를 바라게 되었다. 또한 병원관리자는 계산기로 책임성있게 건강에 관련된 결정을 내리는 데에 마치 못해 행하여 온 것이다. 한편으로 설계시 인간요소면에 주의할 기울리므로서 기술자는 계산기의 조정으로 자동화된 실험 해석장치를 구성하고 온·라인 환자 모니터링을 하며 보건사업에 납득할 수 있는 자동화된 치료계획 프로그램을 개발하게 된 것이다. 이러한 인간공학의 문제는 보건사업에 관련하여 계산기의 모든 면에서 아주 중요한 것이다. 한 예로서 최근 자동화 치료 경보시스템이 병원내에 설치되고 있는데 아주 경미한 사고 신호에 동작하게 주의깊이 설계되어 있으나 거짓 경보를 자주 일으킬 경우를 대비해서 보다 향상된 algorithm을 개발하고 있다.

3-6. 시스템과 제어

생명과과학 전기공학에 관련한 생산적인 분야의 하나인 생체제어시스템의 연구는 과거 20년동안 많은 발전을 하였다. 이것은 생체시스템이 다이나믹하고 귀환 제어기구에 속하는 유일한 특징 때문이다. 예를들면 미생물학의 수준에서 효소의 작용에 의하여 생성되는 물질로 효소생산 제어를 고찰해 볼 수 있고 이들 대부분은 신진대사 프로세스에서 여러 분기점으로 부(negative) 귀환되어지고 있다. 말초감각 신경계 및 신경근육계의 수준에서 귀환은 거의 모든 조직에 있음을 발전하게 된다. 개 루우프 이득, 폐 루우프 이득 및 위상 측정과 같은 제어시스템 해석 기술은 이들 시스템의 동작에 속고해 불만한 이점을 가지고 있다. 폐순환 시스템, 호흡시스템, 홀몬시스템, 및 다른 많은 내과시스템은 많은 귀환루우프를 나타내는 다중 입력력 방식이 효과적이고 동시에 이것으로 해석되고 있다. 또한 제어이론은 인체조직의 해석뿐만 아니라 모델 설계에도 응용되고 있다. 예를 들면 인공수단으로 고도화를 요하는 보철장치의 설계를 하는데에도 점차로 중요시하여 이용되고 있다.

비선형 제어이론 중 그래프식의 안정도 해석법은 생화학, 신경 및 심장발진기로부터 다중의 생체제열에 이르는 모든 범위에 걸쳐 응용되고 있으며, 특히 생체시스템의 수준에 최적화 방법이 이용되고 있다. 사실상 선형 최적화 방법에서 부딪히는 가장 큰 문제 중의 하나는 인간에게 값이 싼 영양 식품을 찾아 공급하는 것이 문제이다. 오늘날 이와 비슷한 기술적인 방법이 생명 유지를 위한 보조시스템의 설계에서 오염 발생의 최적화에 이르기까지의 환경계획에 이용되고 있다.

4. 結 論

위와 같이 의용생체공학은 의학, 생물학 및 공학간에 상호 존재하는 학문이며, 특히 전기공학의 측면에서 발달과정과 다루어지고 있는 과제를 중심으로 살펴보았다. 지금까지 가능한 한 넓게 다루어 보려고 하였으나 막상 탈고를 하면서 보니 일부의 관찰에 불복한 것을 미안하게 생각하며 앞으로 이 방면에 관심을 가질 수 있고 연구할 수 있는 계기가 된다면 다행으로 생각하면서 끝을 맺는다.

參 考 文 獻

1. L.A. Geddes; Advances in Biomedical Engineering and Instrumentation, 1966.
2. Trans. on Biomedical Engineering; Status of

- Research in Biomedical Engineering, July, 1968.
3. W.J. Perkins; Biomedical Engineering, Proc. IEE Reviews, Sept. 1971.
 4. E.R. Lewis; Education in Biomedical Engineering, Proc. IEEE, June, 1971.
 5. J.F. Dickson; Perspectives on Engineering in Biology and Medicine, Trans. on BME, July, 1971.
 6. L.A. Geddes & H.E Hoff; The Discovery of Bioelectricity and Current Electricity, IEEE Spectrum, August, 1971.
 7. 박상희 : 생체시스템의 제어공학적 연구전망, 연세 공학회보, 1970.
-
- ◇
-