

우리나라 醫用生체공학의 현황과 전망

스프링기 교체까지

李 忠 雄

(서울대고교수 · 전자공학)

현대는 電子工學의 시대이다. 이 전자공학의 발전은 놀라와 전전지 3~4개로 동작하는 담배갑만한 포켓용 컬러TV, 인간을 대신해서 일을 해주는 로봇등을 볼 수 있으며, 2000년대에 6세대 컴퓨터가 등장하면, 로봇은 자기 스스로 자기를 고치고, 자기 스스로 공부하고, 인간의 자문에도 응하는 로봇으로 변신할 것이다.

특히 최근의 전자공학은 여러 분야에서 그 위력을 발휘하여 전자공학의 응용없이는 어느 분야이고 시대에 뒤떨어지게 되었으며, 의학분야에서도 전자공학의 공헌이 기초연구 및 臨床面에서 큰 것은 주지의 사실이다.

전자공학이 의학에 이용되는 주요한 이유의 하나는 生體의 여러가지 현상이 전자공학으로

환원될 수 있는 까닭이며, 따라서 醫用生體 전자공학이란 새로운 분야가 형성되게 되었다.

초기에는 전자공학의 성과를 의용기술속에 구체적으로 도입하는 것이 주가 되었지만, 차츰 의학분야와 공학분야간에 지식 및 정보교류가 이루어져 광범위한 상호이용의 학술영역으로 발전하여, 전자공학과 의학은 물론 생물학, 공학, 사회학등으로 망라된 새로운 학문체계를 이루워 의학과 공학의 교량역할을 담당하는 ME(medicine and engineering)라는 새로운 학문이 생기게 되었다.

이 ME를 연구하는 학회는 美國, 英國, 日本등을 비롯한 선진제국에서, 1950년대말을 전후하여 생겼다. 우리나라에서는 1977년에 대한전자공학회

에 ME전문연구회(필자가 설립)가 생겼고, 1979년에는 大韓醫用生體工學會가 창립되었으며, 금년에 10주년을 맞이하게 되었다. 본학회는 그동안 회원이 400명이 넘는 학회로 발전하였다. 그리고 각국의 ME學會를 망라하는 ME의 國際聯合이 1958년에 IFMBE(International Federation for Medical and Biological Engineering)라는 명칭으로 결성되었다. 이 IFMBE에서는 3년마다 國際ME大會를 개최하여 인간이나 생물을 대상으로 하는 미지영역의 탐구, 의료보전에 도움이 되는 機器, 하드웨어 시스템 및 소프트웨어의 개발, 생체의 메카니즘의 탐구를 위하여 많은 학자들이 참가하고 있다.

이 글에서 먼저 ME의 현황과 미래를 흥미있는 분야의 예를 들어 단편적으로 설명하고 미래의 ME 연구분야를 소개하고자 한다.

우선 학회에서 사용되고 있는 여러가지 전자장치중에서 가장 대표적인 전자장치는 CT(computer tomography)라고 할 수 있다. 이 CT는 종래의 X-선 촬영기술과 컴퓨터기술을 결합하여 발전시킨 것으로서 환자가 누워서 숨 한번 쉬는 동안에 인체의 보고싶은 움직이지 않는 부위의 단면을 인체의 절개없이 브라운 관에 비추어 볼 수 있고 사진촬영도 할 수 있다. 이 CT의 출현으로 인체의 臟器中에서도 아주

복잡한 두뇌의 보고 싶은 부분의 단면들을 차례차례 브라운관에 비추어 볼 수가 있다. 이 CT가 출현하기 전에는 뇌 전문의도 뇌의 단면을 지금 같이 잘 볼 수가 없었다. 지금은 이 CT를 이용하여 뇌의 구석구석을 절개하지 않고 자세히 볼 수 있으니 얼마나 놀라운 일인가.

이 CT는 1972년 英國의 EMI사의 Hounsfield에 의해서 최초로 개발된 것으로서 17년이 지난 오늘날에는 美國, 日本, 英國등지에서 다량생산되고 있다. 韓國에서도 KAIST의 趙長熙박사팀이 NMRCT를 개발한 것을 金星通信에서 생산하고 있다. CT의 보급상태를 보면 美國, 日本, 英國, 歐洲諸國에서 수천대가 가동되고 있으며, 우리 나라에서는 서울대 부속병원에 NMR CT와 X-ray CT가, 延世大 부속병원, 慶熙大 부속병원, 漢陽大 부속병원, 聖母病院등에는 X-ray CT가 설치되어 큰 成果를 내고 있다.

인체의 단면을 보는데는 X선을 이용하지 않고 인체에 전혀 무해한 초음파를 이용한 CT도 있다. 이 경우에는 화상의 해상도가 X선의 경우보다 떨어지지만 인체에 전혀 해가 없기 때문에 임산부의 태아영상을 보는데 적합하다. 이 뿐만 아니라 뇌의 작용을 살필 수 있는 Positron CT도 출현되어 뇌의 신비를 벗기는데 희망적이다.

인간의 머리를 비롯한 몸의 표면에는 電位가 발생한다. 胸圍의 전위를 측정함으로써 심장의 동작상태를 알 수 있다. 특히 머리에 나타나는 전압파형은 잠 잘 때, 긴장했을 때, 꿈을 꿀 때, 간질병이 발작할 때 각각 다르다. 이와같이 머리의 표면에 나타나는 전기파형을 뇌파라 한다. 이 뇌파는 1929년 H.Berger에 의해서 발견되었으나 전자공학의 발전에 힘입어 腦波計및 뇌파의 분석기술이 발달하였다. 이 뇌파를 분석하면 그 사람의 정신적 상태 및 육체적인 상태를 알 수 있다. 인간이 완전히 사망했다고 의학적으로 판정할 때 심장이나 맥박이 멎는 것으로 하지 않고 뇌파가 완전히 멎는 것으로 한다. 요사이는 이 뇌파를 이용한 정신질환의 치료가 시도되고 있다. 즉 정신병 환자에게 자기 자신의 정상적인 때의 뇌파와 발작시의 뇌파를 동시에 보여 주면서 환자로 하여금 자기뇌파의 모양이 정상적인 뇌파의 모양이 되도록 정신적으로 애를 쓰게 하는 치료법이 있다. 이와같이 하여 정신병 환자의 뇌파모양이 정상적인 모양으로 되면 정신병이 치료되며, 이 방법으로 치료하면 재발이 잘 안된다고 한다. 이와같이 환자몸에서 나온 뇌

이 글은 의공학회지 제10권 제 2호에서 전제한 것임.
 (편집자 註)

파출력을 환자자신에게 보여줌으로서 환자자신의 뇌파가 정상적인 뇌파가 되도록 하는 치료법을 Biofeedback 치료법이라 한다.

뇌파를 이용한 재미있는 실험의 예가 있다. 즉 꿈을 꾸고 있는 사람의 뇌파를 Data recorder에 기록하여 두었다가, 그 사람이 잘 때 이 Data recorder를 돌려 기록하여 두었던 뇌파를 그 사람의 머리에 印加하면 그 전과 동일한 꿈을 다시 꾸는다고 한다. 이것은 아주 흥미있는 일이다. 이 현상을 이용하면 악몽에 시달리는 환자를 인위적으로 安眠시킬 수도 있으며 또한 꿈을 연구하는데 크게 도움이 될 것이다.

그러면 장차 뇌파계는 어떤 방향으로 발전될 것인가. 현재는 뇌파를 보거나 기록하려면, 전극을 두피에 접촉시켜야 하나 장치는 전극을 머리에 대지 않고도 뇌파를 얻게 될 것이며, 환자의 뇌파를 자동적으로 분석하여 처방전까지 얻게 될 것이다. 이것이 더 발전하면 사람의 몸에 전극을 대지 않고 사람의 마음을 읽을 수 있는 시대가 올까봐 걱정이 되기도 한다.

요사이는 人工臟器가 발달되었다. 이 人工腎臟은 腎臟기능이 상실된 환자에게 사용되고 있다. 또 어떤 원인으로 해서 심장의 심박수에 이상이 생겨 충분한 혈액을 驅出할 수가 없을 때, pacemaker로 心筋에 전기속전(전기적인 펄스波形)을

주어 심장의 박동을 정상화 한다. 이 페이스메이커는 일종의 전자장치로서 체내에 곤립하여 사용하기도 한다. 이 페이스메이커를 사용하고 있는 사람이 꽤 많다. 인공심장도 많은 발전을 보아 인공심장으로 1년 좀 넘게 살 수 있게 되었다. 그러나 2000년대에는 인공심장을 체내에 넣어 생명을 10년 이상 연장할 수 있게 될 것이다.

물론 인공관절도 사용되고 있다. 요사이에 발달된 電子制御 기술을 이용한 電子義手が 있다. 사람이 팔을 구부릴 때 어떻게 하여 팔을 구부리게 되는가를 살펴보면, 먼저 팔을 구부리겠다고 마음을 먹으면 대뇌에서 발생하는 신경여구에 의해 생긴 遠心性 신경의 전기 임펄스가 팔의 근육을 수축시켜서 팔이 구부러지게 된다. 따라서 대뇌에서 오는 전기신호를 전자의수에 인가하여 전자의수가 구부러지게 하면 되므로, 앞으로는 팔을 구부리겠다고 생각하면 전자의수가 자동적으로 구부러지게 될 것이다. 멀지않은 미래에 인공장기는 고도로 발달되어 자동차에서 부품을 교환하듯이 노후된 신체의 장기를 인공장치와 교환하여 인간의 생명이 자꾸 연장될 것이다. 전자공학 기술은 초음파 또는 마이크로波 에너지를 신체의 부분에 투입하여 암과 같은 병든 세포조직을 파괴하여 실효를 거두는 Hyperthermia 분야가 생겨서 큰 기대를 모으고 있다.

美國, 日本과 같은 선진국에서는 환자 감시장치를 많이 이용하고 있다. 이 환자감시장치는 환자의 심장박동상태, 혈압, 체온등을 측정하여 그 결과를 유선 또는 무선으로 의사가 있는 감시센터로 보내며, 의사가 와서 볼 시간을 기다릴 수 없는 위험한 환자에게는 자동적으로 감시장치가 주사를 환자에게 놓기도 한다. 특히 팔목할만한 것은 심장의 기능에 이상이 생긴 환자의 심전도를 집에 있는 전화선을 이용하여 병원에 있는 의사에게 보낼 수가 있다. 이 遠隔測定 및 감시 기술을 확장하여, 산간벽지의 무의촌에 있는 환자를 위한 의료시스템이 일본등지에서 연구되었다. 즉 벽촌의 무의촌에 사는 환자가 그 곳에 있는 무인 의료센터에 가서 체온, 혈압, 맥박, 심전도등을 도시에 있는 의사에게 전송하여 처방을 얻고, 그곳 무인 의료센터에 비치되어 있는 약을 찾아 복용하여 치료를 하게 한다.

지금까지 醫工學의 발전상을 몇가지 예를 들어 설명하였지만, 무엇보다도 앞으로 연구개

발하여 진요하게 쓰이게 될 것은 환자에게 투약했을 경우에, 약이 인체내에 들어가서 작용하는 상태를 그대로 영상출력으로 볼 수 있게 하는 전자장치가 될 것이다. 전자공학이 1906년에 삼극진공관이 발명된 이래, 불과 83년동안이 그 당시에는 상상도 못했을 정도로 눈부신 발전을 할 수 있었던 것에는 여러가지 원인이 있겠지만, 그 중에서도 전자장치내부에서 일어나고 있는 현상을 즉각 볼 수 있는 오실로스코프가 있었기 때문이라고 하여도 과언이 아닐 것이다. 현재는 환자에게 수일분의 약을 복용케 한 다음, 좀 어떠냐고 물어 보아서 약의 효과를 간접적으로 부정확하게 파악한다. 만일에 약을 먹은 후에 인체내에서의 약의 작용을 그대로 정확하게 볼 수 있다고 판정하면, 인력과 출력의 관계를 나타내는 전달함수를 구할 수 있으므로 그 환자에게 맞는 약의 설계방정식을 세울 수 있을 것이며, 따라서 환자를 잘못 치료하는 경우란 있을 수가 없으며, 전자공학에 못지않은 이론체계가 서게 될 것이다.

이상 의학측에서 공학측의 과학기술을 이용하는 것만 설명하였다. 그러면 공학측에서 생체속에 숨어있는 아이디어를 이용하는 경우는 어떨까? 오늘날 공학에서 당면한 큰 문제점은 참신한 아이디어의 고갈이다.

전자공학을 비롯한 공학기술

〈표-1〉 工學的인 측면에서 본 ME분류

- ① 생체계측공학
- ② 생체정보공학
- ③ 생체모델공학
- ④ 생체작용공학
- ⑤ 생체작용공학
- ⑥ 의용계통공학
- ⑦ 공학에의 의학응용

은 1960년대 이후부터는 획기적인 발명 또는 신기술이 나오지 않고 있다. 전자공학분야의 break through 예를 들어보면, 1906년에는 3極眞空管, 1920년에는 라디오 방송의 개시, 1936년에는 TV방송개시, 1948년에는 트랜지스터 출현, 및 1959년의 IC 출현등을 생각할 수 있다. 그러나 1960년대 이후에 브레이크 스루(break through)가 없는 理由는, 현대 과학기술이 물리 및 화학의 몇 가지 안되는 기초현상을 조합한 재창조에 근거를 두고 있는데, 1960년경까지 이 조합에 동원되는 기초현상을 다 써먹고 더는 기초현상을 조합하여 새로운 기술을 만들어낼 것이 없기 때문이다. 그러나 생체는 신이 창조한 것이기 때문에 생체에는 아주 고도하고 기발한

아이디어가 숨어 있으며, 공학자는 생체에서 이 아이디어를 얻어내는데 큰 관심이 있다.

이를테면 레이다는 박쥐의 초음파 레이다로부터 착상되어 개발되었다고 볼 수 있다. 박쥐는 눈을 완전히 가려도 날아가는데 아무 지장이 없다. 그러나 두꺼운 반창고로 박쥐의 입을 막으면 장애물에 부딪혀 조금도 날지 못한다. 왜냐하면 박쥐는 입에서 발사한 초음파가 물체에 부딪쳐 반사되어 온 초음파를 수신분석하여 비행로를 결정하기 때문이다. 아직도 인간이 만든 레이다는 성능이 박쥐의 초음파 레이다만 못하다. 박쥐는 좁은 동굴에서 수 10마리가 동시에 날아도 추락하지 않으나, 레이다를 장비한 비행기는 무한히 넓은 하늘에서 가끔 추락사고를 일으키는

일이 있다. 공학자는 이 박쥐의 기밀을 알고 싶은 것이다.

우리가 조명용으로 사용하고 있는 백열전구는 그 기능상으로 보아 전열기라고 하는 것이 보다 적절한 이름이 된다. 왜냐하면 전구에서 나오는 스펙트럼 에너지의 10%만이 가시광선이고 나머지 90%는 우리가 보지 못하는 적외선(열선)이기 때문이다. 이 전구를 등으로 생각하면, 효과는 10%이고, 히터로 보면 효율이 90%가 되는 것을 보면 재미있는 일이다.

그러나 무더운 여름밤에 반짝이며 날아다니는 개뿔벌레는 열을 거의 내지 않고 빛을 낸다. 효율이 90% 이상이다. 그 뿐만 아니라 반딧불을 쫓다 쫓다 하며 광통신을 하고 있으니 참으로 신기한 일이다.

삼복더위에 거미는 인간보다 훨씬 효과적으로 싱싱하게 먹이를 보존한다. 즉 거미줄에 먹이가 걸리면 거미가 뛰어나와 곤충에 따라 다르지만 일정한 곳을 물었다 놓는다. 그러면 곤충은 가사상태에 들어가기 때문에 부패하지 않는다. 우리 인간은 전기냉장고를 만들어도 거미의 비법은 모른다.

이상 몇가지 예를 들어 생체의 우수성을 설명하였다. 이번에는 생체전자공학의 발달로 동물과의 대화가 가능함을 생각해 보기로 한다. 이것은 옛날 이야기에서 나오는 것이지만 무슨 허황된 말이냐고 할 것이다. 인간이 들을 수 있는 음의

〈표-2〉 의학적인 측면에서 본 ME분류

① 心臟과 순환	⑩ 병인과 건강관리 시스템
② 心電圖와 이와 관련된 분야	⑪ 항공우주의용
③ 호흡	⑫ 체육
④ 마취와 소생	⑬ 생리학과 환경
⑤ 인공장기	⑭ 인간공학
⑥ 대뇌와 신경계	⑮ 임상검사기술
⑦ 뇌파와 이와 관련된 분야	⑯ 컴퓨터, 오토메이션(임상)
⑧ 시각과 眼球운동	⑰ 생물학적인 연구에서의 컴퓨터
⑨ 청각	⑱ 사이버네틱스·시뮬레이션·바이오닉스
⑩ 지각 일반	⑲ 생물학적인 공학 시스템과 소프트웨어
⑪ 근육, 骨髓系, 바이오메카닉스, 義肢	⑳ 생물학적인 공학기기와 하드웨어
⑫ 정신과학과 심리학	㉑ 전자·트랜스듀서·텔레메트리
⑬ 방사선학과 핵의학	㉒ 아날로그 기술
⑭ 의과와 수술실	㉓ 溫寒技術
⑮ 산과·부인과와 태아	㉔ 광학과 영상기술
⑯ 생리학	㉕ 초음파
⑰ 분자생물학과 생물물리학	㉖ 생물학적인 공학훈련과 관리
⑱ 생리학적 모니터링	

〈표-3〉 생체공학적인 측면에서 본 ME분류

<p>〈생체의 계측기술〉</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 電極 ② 變換器 ③ 전기현상의 측정 ④ 음향·기계진동의 측정 ⑤ 유량·유속등의 측정 ⑥ 변위·압력 등의 측정 ⑦ 광·온도·열등의 측정 ⑧ 화학현상의 측정 ⑨ 기타 <p>〈생체의 계측시스템〉</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 초음파응용계측 ② 방사선응용계측 ③ 광학계·텔레비전의 응용 ④ 텔레미터·감시장치 ⑤ 생체현상의 표시와 기록 ⑥ 기타 <p>〈생체재료 기술〉</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 생체의 물성 ② 성분분석 ③ 검체검사 ④ 의용재료 ⑤ 기타 <p>〈생체어의 작용〉</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 에너지의 생체작용기구 ② 자극장치 ③ 파괴장치 ④ 치료장치 ⑤ 기타 	<p>〈생체정보처리와 병원·건강관리시스템〉</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 생체데이터 처리 ② 자동판독·자동진단 ③ 생체정보의 전송·기록·표시 ④ OR등 ⑤ 병원의 기능·자동화 시스템 공학 ⑥ 건강관리 시스템 ⑦ 기타 <p>〈생체와 機械系〉</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 인간-기계계 ② 생체기능·행동의 제어 ③ 인공장기의 제어 ④ 순환호흡의 제어 ⑤ 생체내에너지의 이용 ⑥ 기타 <p>〈생체공학·바이오닉스〉</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 생체정보계의 해석·표시 ② 생체내의 유체·기계계의 해석·표시 ③ 시뮬레이션 ④ 바이오닉스 ⑤ 생체분자공학 ⑥ 기타 <p>〈기타분야〉</p> <ol style="list-style-type: none"> ① ME교육 ② 교육기계 ③ 안전성 ④ 기기의 규격·권고 ⑤ 기타
--	--

주파수범위는 20~20,000 Hz이다. 쥐나 새는 사람보다 훨씬 높은 주파수의 소리를 듣고 낸다. 새가 우는 소리의 주파수 중에서 낮은 쪽의 주파수 성분만을 우리는 듣는다. 다시 말해서 쥐나 새의 베이스(bass)나 바리톤(baritone)은 인간에게는 소프라노나 테너로 들린다. 따라서 사람이 새소리를 아무리 잘 듣고 흉내를 내어도 새는 그 소리가 자신이 내는

소리와 비슷하다고 생각하지 못한다. 왜냐하면 사람은 새소리의 여러가지 주파수 성분 중에서 낮은쪽의 일부분만을 듣고 흉내를 내는 것이기 때문에 새가 들으면 전혀 엉뚱한 소리가 되기 때문이다. 그러나 수 많은 사람 가운데는 새나 쥐가 사용하는 음역전체를 듣는 사람이 있다. 자연에 존재하는 사물은 정규분포에 따라서 대부분의 사람은 쥐나 새

의 음역을 다 듣지 못하지만 아주 극소수의 사람은 쥐나 새의 음역을 다 들을 수 있다. 이러한 특수한 사람이 새의 소리를 흉내낼 경우에는 새소리를 정확히 듣고 정확한 흉내를 낼 수 있으므로, 새가 자기의 언어를 말한다는 것을 인식할 수가 있게된다.

그러면 전자공학적으로 어떻게 하면, 새와 대화를 할 수 있을까? 우선 새소리의 모든 주파수성분을 다 정확하게 기록하여, 새가 기쁠 때, 슬플 때, 배고플 때, 오라고 할 때 내는 소리를 전자공학의 음성인식 기술로 정확히 인식하고, 회신하는 소리를 전자의 합성음으로 내주면 될 것이다. 새는 지능이 낮아 사용하는 단어수가 몇개 안되므로 새와의 대화는 용이하게 해결 될 것이다. 인간이 동물과 대화를 하게되면 좋을지 나쁠지는 미지수다. 동물과 대화가 되면 소나 돼지고기를 먹기 곤란해질 것이고 동물 사냥도 하기가 곤란하게 될 것이다.

이상 醫用生體 電子工學의 흥미있는 부분을 단편적으로 설명하였으나, 의용생체 전자공학의 미래지향적인 연구영역의 분류를 생각해 보기로 한다. 이 ME분야는 목적으로 하고 있는 분야가 대단히 넓으므로 연구영역의 학문체계적인 분류가 어려우나 다음과 같은 분류를 할 수 있을 것이다. 즉,

(1) 工學的인 측면에서 본 분류

(2) 醫學的인 측면에서 본 분류

(3) 生體工學的인 측면에서 본 분류 등이다.

(1) 의 경우는 <表1>과 같이 분류할 수 있다.

(2) 의 경우는 <表2>와 같이 분류된다.

(3) 의 생체공학적인 분류는 <表3>과 같다.

의용생체공학은 현재 발전 도상에 있다. 가까운 장래에 전자공학이나 기계공학등과 같이 고도의 학문체계가 확립될 것으로 예상된다.

앞으로 ME에 의해서 구체적으로 어떠한 발전이 이루어질 것이며, 이것이 어떻게 가능해질 것인가? 가까운 장래에 있을 ME의 발전 및 효과에 대해서 여러가지가 예측되고 있다. 이 중에서 대표적인 것을 들어보면 다음과 같다.

(1) 이미 일부 실용화 단계에 있는 컴퓨터를 이용한 자동 진단기나 병원의 자동화가 보급단계에 들어갈 것에 있다.

(2) 정보전송기술, 컴퓨터에 의해서, 병원간 또는 병원과 가정을 연결하는 廣域診療시스템화가 이루어질 것이며, 이에 따라 도시와 산간벽지의 지역차가 없는 진료를 받게 될 것이다.

(3) 의학에서 예방의학의 중요성이 커짐에 따라 ME에서도 예방의학, 건강기대에 관한 것이 많이 연구개발되어 병에 걸리기 전에 적절한 처치를 할 수 있게 될 것이다.

(4) 치료기의 발달, 특히 인공장기의 경우에 직접 인체속에 넣는 것의 실용화가 진전될 것이다.

(5) 시뮬레이션의 발달에 따라 전자의수나 생체의 대응에서, 종래는 제한된 단순 운동기능밖에 하지 못했던 것을 인간의 의지에 따라 움직이는 전자의수등이 보다 인간에 가까운 것으로 발전한다. 이들의 발달에 의해서 산업로봇에 의한 공장의 무인화, 해중, 기타 악환경조건 속에서의 작업이 로봇에 의해서 행해질 것이다.

(6) 공학에서의 새로운 에너지의 발전에 따라 레이저나 플라즈마放電등이 의학에 응용실용화되어 새로운 진단이나 치료법이 가능해질 것이다.

(7) 종래에는 수술하지 않고는 볼 수 없었던 생체내부 장치의 동태를 3차원 입체상으로 용이하게 볼 수 있게 될 것이다.

의용생체·전자공학은 美國, 英國, 日本등의 선진국에서도 2차대전 이후 50년대말경에 시작된 새로운 분야이다. 모든 일이 다 그렇듯이 초기에는 성과가 노력과 투자에 정비례하다가 나중에는 성과가 둔화되고 드디어는 포화상태에 들어간다. 다시 말해서 모든 일의 성과는 인력의 지수함수적으로 나타난다. 즉 정통전자공학은 이미 포화상태에 와 있으며, 종점도 어렵듯이 보인다. 이미 앞에서 설명한 바와 같이 60년

대 이후에는 전자공학분야에서 획기적이고 새로운 기술, 즉 breakthrough가 거의 나오지 않고 있으며, 다만 과거에 등장한 기술의 확장이 대부분이다. 또한 전자공학은 통신기술의 발전이 根幹되고 있으며, 통신기술의 발전척도는 취급하는 주파수의 고저가 된다. 현대 전자통신이 사용할 수 있는 주파수중에 제일 높은 것이 광파이다. 전파의 주파수가 광파의 주파수보다 높아지면 파동성 보다 입자성이 강해지므로 종전과 같은 파동성을 이용하는 방식으로는 통신을 할 수 없게 된다. 따라서 새로운 개념으로 통신기술을 새롭게 개발하지 않으면 안되므로 광파 통신이 재래식 전자공학의 한계로 생각할 수 있다. 전자부품의 꽃인 VLSI도 IC제조시에 사용되는 조사빔의 파장보다 작은 패턴을 마스크에 넣을 수 없으므로 IC의 집적도도 한계가 있다.

의용생체 전자공학은 아직 초기단계에 있으므로, 생체속에 숨어있는 하나님의 아이디어의 발굴 또는 기타 새로운 기초현상을 이용하는 새로운 기술개발에 큰 힘을 기울이면, 용이하게 Nobel상을 수상할 만큼 큰 성과를 얻을 수 있을 것이다. 이 점을 감안하여 국가적인 차원에서 노력을 집중한다면 선진국을 앞지르는 큰 성과를 타분야보다 용이하게 낼 수가 있다는 것을 확신하는 바이다.