

醫 學 工 學

張 虎 男

韓國科學院 生物工學科

Biomedical Engineering

Ho Nam Chang

*Department of Biological Engineering, Korea Advanced
Institute of Science, Seoul 131, Korea*

Abstract

The application of physics, mathematics, chemistry and various kinds of engineering principles to problems of medicine and biology has increased tremendously for the last twenty years. Especially the close interaction between medicine and engineering has resulted in the birth of a new field, biomedical engineering. The role of chemical engineer in this new interdisciplinary area is reviewed here with a brief introduction to other relevant areas like biomechanics and biomedical electronics.

1. 序論 및 概要

최근 20여년간 物理學, 數學, 化學, 및 각종 工學이 醫學이나 生物學같은 生命科學에 광범하게 應用되어 많은 成果를 올리고 있는 것은 잘 알려진 사실이다. 특히 工學을 醫學分野에 應用하는것은 그 成果가 눈부신 바 있으며 Bio-medical Engineering 이라는 新種의 學問을 誕生시키기에 이르렀다^{1,2)}. 動機를 본다면 工學者 및 自然科學者 측에서는 工學 및 自然科學의 知識을 利用하여 人類의 福祉向上과 人間을 포함한 각종 生物의 動作機能을 理解해 보려는 努力에서 시작되었고 生命科學者 측에서는 중전의 記述, 分類 및 相關關係 糾明 위주의 學門體系에서 각

종 測定을 數量化해 보려는 努力에 基因한다고 하겠다. 이렇게 하여 생긴 學問들을 列舉해보면 Biochemistry, Biomathematics, Biophysics, Biomedical Engineering 등이 있으며 BME (Biomedical Engineering)을 좀더 細分해보면 Biomedical Electronics, Biomechanics, Biomaterials, Bionics, Bioacoustics 등이 있는데 자세한 분류가 Table 1에 나와있다.

先進國 특히 美國의 경우 教育 및 研究活動을 보면 大學院 教科課程을 가진 大學은 거의 大部分의 BME program을 갖고 있으며 이미 獨立된 學科를 가진 大學도 30餘個校에 달하고 있고 계속 增加하는 추세에 있다. 初創期에는 주로 大學院 課程 (Ph. D.)에 치우쳐 있었으나 Table 2에서 보는바와 같이 學部 Program까지 擴大

Table 1. Current scope of biomedical engineering¹⁾.

Basic bioengineering		
Biomechanics	Transport mechanisms	Simulation
Properties of tissues	Mass-transfer	Mathematical modeling
Stress-strain relations	Hydrodynamics	Systems
Viscoelastic properties	Diffusion	Sequences
Tensile strength	Active transport	Interaction
Compliance	Secretion	
Contraction-relaxation	Excretion	Biological models
Damping	Digestion	Comparative Anatomy
	Absorption	Physiology
Biomaterials		
Support materials	Energy transmission	
Artificial joints	Electromagnetic waves	Bionics
Bone substitutes	X-ray	Sensors
Artery-vein substitutes	Ultraviolet	Networks
Dialysis membranes	Visible light	
Nonthrombogenic surfaces	Infrared	Control system analysis
Artificial skin	Microwaves	Neural controls
	Radiowaves	Neuromuscular
	Mechanical waves	Autonomic
	Subsonic	Visceral organs
	Sonic	Glands
	Ultrasonic	Temperature
		Blood pressure
		Hormonal
		Controls
		Metabolic controls
		Psychological responses

Table 2. Engineering Degrees by curriculum and Level, 1974~1975.

Major	B. S.	M. S.	ENG	Ph. D.
Elect	10, 277	3, 495	92	673
M. E.	7, 076	1, 962	32	361
Ch. E.	3, 167	1, 044	6	366
Civil	7, 957	2, 897	19	364
Biomed	155	137	0	52
Environ	170	493	1	44
Others	9, 408	5, 521	74	1, 278

Total	38, 210	15, 549	224	3, 138
-------	---------	---------	-----	--------

되어 가고 있는 실정이다. 全般的으로 美國의 경우 工學系 志望生이 줄어들고 있는 추세에 비해 이 分野는 계속 늘어나고 있는 실정이며³⁾, 統計上으로 52명에게 Ph. D.를 授與하였지만 실질적으로 각 學科에서 授與하는 學位까지 합하면 相當한 數에 이를 것 같다. Table 3에서는 美國 및 캐나다의 1975年度에 化學工學으로 Ph. D. 學位를 받은 사람의 專攻別 總計現況이다⁴⁾.

Applied bioengineering			
Instrument development	Therapeutic techniques	Health care system	Environmental engineering
Research tools	Physical therapy	Organization	Pollution
Physical meas.	Surgical instruments.	Medical economics	Air
Chemical comp.	Respiratory treatments	Long range planning	Water
Microscopy	Radiation therapy	Methods improvement	Noise
Isotope		Support functions	Solid waste
		Service functions	Human fertility
Clinical instruments	Monitoring	Nursing	Population control
Neurology	Intensive care	Facilities design	Aerospace
Cardiology	Surgical, postop	Medical care	Environment control
Respiratory	Coronary care		Closed ecologic systems
Gastrointestinal	Ward supervision	Operations research	Physiological adaptation
Genitourinal		Optimization of laboratories	Underwater
Musculoskeletal	Artificial organs	Support functions	Compression effects
	Sensory aids	Personnel	Heat conservation
Diagnostic data	Heart-lung mach.	Processing	Communication
Automation	Artificial kidneys	Scheduling	
Chemistry	Artificial extremities		
Microbiol.	Arms	Cost-benefit analysis	
Pathology	Legs	Cost accounting	
Multiphasic screening		Evaluation of results	
		Beneficial economy	
Computer applications			
Data processing			
Analysis			
Retrieval			
Diagnosis			

Table 3. 1975 Thesis Index of Ch. E. Ph. D. s earned in the U. S. and Canada. ⁴⁾

Thesis Index	Numbers
Fluid mechanics & Rheology	48
Polymer science & Engineering	33
Bio & Biomedical Engineering	29
Catalysis	29
Kinetics	21
Mass & Membrane transport	21
Thermodynamics	20
Chemical Engineering	17

Biochemical & Enzyme Engineering	14
Heat transfer	13
Process dynamics & Control	12
Pollution	6
Other areas	131
Total	434

BME는 Fluid mechanics 및 Rheology, Poylmer Science and Engineering에 이어 Catalysis와 함께 3位를 차지하고 있어 美國 각 大學院 教育의 중요한 몫을 차지하고 있음을 알 수 있다.

참고로 美國大學의 BME program을 보면 電氣 및 電子工學科에서 提供하는 “Biomedical Electronics”, 機械 및 應用力學科에서 “Biomechanics”, “Bioacoustics”, 化學工學科에서 “Transport Phenomena in Biological Systems”, 材料 혹은 化學工學科에서 “Biomaterials”, Computer Science에서 提供하는 “Biomedical Data Processing” 등이 있고 이들 엔지니어를 위한 生理學으로 “Physiology for Engineers”가 있다. BME의 特色은 工學者의 專門知識을 生理現象 理解와 人體를 위한 各種 Device의 開發에 活用하는데 있다. 그러므로 生理學에 대한 어느 정도의 知識이 必須的이라 하겠다⁵⁾. 어떤 한 分野의 工學者가 여러가지 일을 할 수도 있겠지만 그렇게 하려면 여러 分野의 工學知識을 習得해야 하는 難點이 있기 때문에 주로 자기가 잘 아는 分野의 일만 하게 마련이다. 그래서 身體의 어떤 問題를 잘 解決하기 위해서는 때로는 여러 分野의 工學자와 醫師와의 共同努力이 必要하게 된다.

研究活動은 初期에는 美國政府의 支援으로 各大學院 및 研究所 中心으로 행하여 졌으나 지금은 聯關産業이 發展되어 産業界에서도 研究를 활발히 推進하고 있다. 이 方面의 研究活動이 활발해 짐에 따라 各種 專門學會와 學會誌가 생기게 되었는데 Table 4 와 5 에 각각 소개되어 있다. 學會는 歷史가 긴것이 20年정도인데 美國이 가장 활발하게 움직이고 있고 日本, 英國, 西獨, 스웨덴, 프랑스 등도 상당히 學會活動이 활발하

Table 4. Professional societies of biomedical engineering⁶⁾.

Name of Societies	years established
International Federation for Medical and Biological Engineering (IFMBE)	1959
American Society for Artificial Internal Organs (ASAIO)	1955
Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI)	1965
Alliance for Engineering in Medicine and Biology (AEMB)	1969
Biomedical Engineering Society	1968
Biophysical Society	1958

Table 5. Professional Journals of biomedical engineering.

Journal of Biomedical Materials Research
Biomaterials, Medical Devices, and Artificial Organs
Medical Instrumentation
Biomedical Engineering (United Kingdom)
Biomedical Engineering (U. S. S. R.)
CRC Critical Reviews in Bioengineering
Medical and Biological Engineering
Annals of Biomedical Engineering
Biorheology
Transactions-American Society for Artificial Internal Organs.
IEEE Transactions on Biomedicel Engineering
Journal of Biomechanics
Journal of Theoretical Biology
Mathematical Biosciences

며 IFMBE (International Federation of Medical and Biological Engineering)에 加入한 會員國도 18個國에 이르고 있다. 研究發表는 주로 BME 學會와 學會誌에 하기도 하지만 論文의 性質에 따라 關聯 工學會誌 또는 醫學會誌에 掲載하게 된다.

2. BME의 最近의 發展

BME의 歷史를 살펴보면 16세기경 Petronius 가 骨折治療에 gold plate를 使用한 이후 金, 銀 Stainless Steel 등이 pin, 줄, 실의 形態로 使用되었고 또한 Sanctorius가 人體를 對象으로 먹는 것을 Input, 排泄物을 Output으로 하여 物質收支를 試圖하였고 그후에 그는 體溫計를 開發했다. 19세기에 들어와 Jacobi의 Heart-lung machine, 20세기 초반의 Kolff의 人工신장 (kidney)의 發明등의 發展을 해 왔지만 BME의 大部分의 發展은 최근 20여년간에 이루어 졌다고 해도 과언이 아니며 現在에는 가장 빨리 發展하는 學問의 하나로 또한 이계통의 産業역시 빨리 成長하는 産業의 하나로 간주되고 있다.

저의 工學의 全分野가 BME에 關聯이 되어 있지만 여기선 Biomechanics, Biomedical Electronics and Computers 및 그밖의 分野의 發展에 대해서 간단히 紹介하고 化學工學의 聯關性에 대

해서 比較的 자세히 살펴보기로 한다.

먼저 Biomechanics의 發展 및 動向을 보면 Poiseuille가 血液循環에 대해서 研究한 후 pulsatile blood flow의 wave propagation 및 血管의 viscoelasticity에 따른 pressure, velocity response⁷⁻¹⁰⁾에 관해 많은 研究가 되어 왔고 특히 blood vessel에서 wave transmission의 特性에 관한 研究는 動脈 硬化症으로 血管이 굳어지게 됨에 따라 性質이 달라 질 것 이므로 動脈 硬化症의 早期 診斷 및 高血壓 豫防에 많은 도움을 줄 것으로 믿는다. 또한 Doppler effect를 使用하여 血管속의 velocity profile (心臟 收縮時와 擴張時)을 研究함으로써 本人도 모르는 사이에 血管에 생긴 앞으로 心臟痙攣 또는 高血壓의 危險을 事前에 防止할 수 있도록 研究가 進行되고 있다¹¹⁾.

또한 人間의 뼈가 筋肉의 각종 부하(load)에 대한 應答(response)을 力學的으로 解析하는 研究도 활발히 進行되고 있다^{12,13)}. 이러한 研究의 大部分의 結論은 人間의 骨格設計가 例를 들면 팔의 생김새등이 가장 最適化 되어 있는 狀態라는 것이며 人工骨格, hip joint 등을 設計하는데 使用되고 있다. 또한 최근에는 이러한 理論들을 野球, 籠球, 蹴球, 水泳, 陸上等 각종 運動경기에 適用하여 記錄向上을 꾀하고 있음은 注目할 만한 일이라 하겠다¹⁴⁾.

音響學(acoustics) 계통의 發展을 보면 먼저 超音波(ultrasonic wave)를 調査하고자 하는 部分에 보냄으로써 그 部分에서의 速度 및 吸着係數를 基礎로 computer로 image를 形成하여 癌 및 胎兒의 位置等を 手術을 하지않고도 알아내는등 눈부신 發展을 하고 있다¹⁵⁻¹⁷⁾.

또한 빛의 全反射를 利用한 fiber optics¹⁸⁾의 發達은 빛이 flexible한 tube을 통해 다니게 함으로써 內視鏡(endoscope) 등을 만들어 肛門에서 食道에 이르는 消化器官의 健康狀態를 바깥에서 觀察할 수 있는 裝置가 開發되어 患者 診斷에 많은 도움을 주고 있고 레이저도 眼部手術(eye surgery) 등을 위시하여 많이 使用되고 있다¹⁹⁾.

BME에서 Electronics 및 computer의 역할은 이 分野가 다른 産業 및 工學分野에서 차지하는

比重과 같이 가장 重要的 部分을 차지하고 있다고 하겠다²⁰⁻²³⁾. 우선 基本的인 生理學 研究로 nerve impulse의 transmission²⁴⁻²⁶⁾ 및 modeling이 활발히 進行되어 왔고 또한 blood flow도 viscous force를 resistance, wall elasticity를 capacitance, inertia를 inductance로 心臟循環계를 electrical network로 取扱한 modeling이 있다^{27,28)}. 또 生命體는 高度로 control system化(constant temperature, weight, blood pressure, blood sugar level 등) 되어 있으므로 이에 대한 研究도 활발히 進行되고 있고²⁹⁻³¹⁾ 心臟痙攣患者에게 心臟의 拍動狀態를 monitor 할 수 있는 裝置를 附着하여 有事時에 病院에 自動적으로 連絡이 되는 system의 開發 및 動物에 電波發生 裝置를 附着시켜 動物의 位置를 알려주는 Biotelemetry가 있어 鳥類나 動物의 棲息狀態 등을 研究하는데 많은 도움을 주고 있다³²⁾.

Computer는 病院에서 診斷의 自動化, 患者의 각종 診斷資料 保管 및 處理, pattern recognition 또 brain research 등에 利用되는등 急速한 發展을 보이고 있다³³⁻³⁹⁾.

宇宙飛行 및 超音速 航空機의 到來로 無重力狀態 및 高速 飛行이 人體에 미치는 問題에 대한 工學的인 研究도 進行되어 왔다^{40,41)}.

化學工學者의 이分野에의 參與는 다른 工學分野와 달리 化學에 대한 상당한 知識이 있고 反應工學, 物質傳達등의 타 分野와 겹치지 않는 工學 知識을 갖고 있어 身體의 機能 理解와 補助器具製作에 많은 도움을 주고 있다. Biorheology, Electrochemistry, Membrane transport, Biomaterials, Artificial Organ의 design 등에 많은 貢獻을 했다고 하겠다.

먼저 Biorheology 및 流體力學 계통을 보면 血液의 粘度에 관해 研究가 많이 遂行되었는데 그 理由는 low shear rate에서 Nonnewtonian의 behavior 이나 high shear rate ($>30 \text{ sec}^{-1}$)에서는 Newtonian으로 되며 또한 赤血球(Red blood cell)의 濃도가 40% 이상임에도 불구하고 다른 剛球(rigid particle)와는 달리 粘度가 增加하지 않아(Fig. 1 參照) 피를 循環시키는 心臟의 일을 쉽게 해주고 있다^{42,43)}. 이것은 赤血球가 flexible한

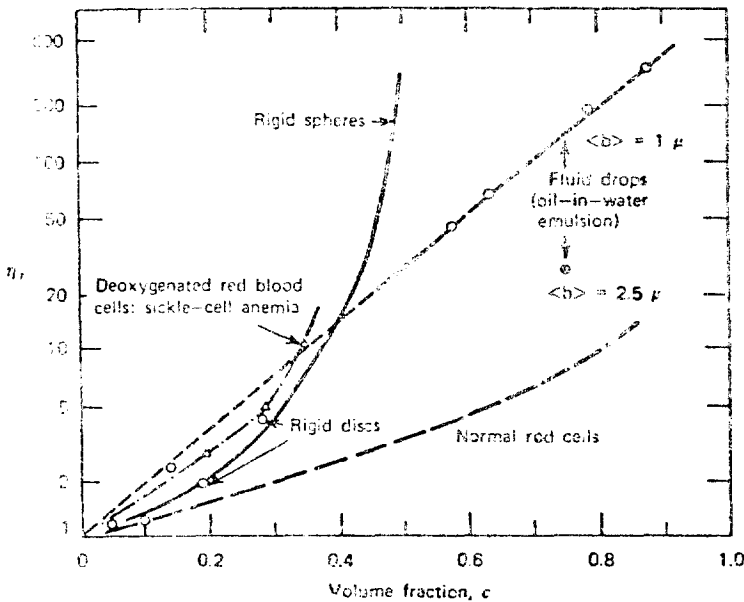


Fig. 1. The apparent relative viscosities η_r of a normal red-cell suspensions and other particles. ⁴⁴⁾

biconcave type disc 인 것 때문에 해석되며 또한 이赤血球들은 낮은 shear rate에서 rouleaux를形成하기도 하며 病院에서 利用하는 血沈檢査 (Blood sedimentation test)는 疾病으로 因한 blood chemistry의 變化로 赤血球의 rouleaux 形成 및 이의 沈澱 速度가 달라지므로 이 原理를 利用한 것이다⁴⁴⁾. 이러한 血液의 興味있는 性質 때문에 straight 혹은 tapered tube에서의 pressure drop에 관한 研究도 많이 進행되고 있다^{45, 46)}. 또한 血管內에서 赤血球들이 고르게 分布되어 있는 것이 아니고 tube의 中心으로 移動해와 red blood cell free layer를 tube 가장자리에 形成하는 사실도 밝혀졌다^{47, 48)}. 팔, 다리등의 關節에서 人間이 製作한 工業적인 friction bearing 보다 10배내지 100배나 效率적인 synovial fluid의 rheology에 관한 研究도 이루어 졌다^{49, 50)}.

熱傳達에 관한 研究는 流體力學이나 物質傳達에 비해 많지 않다. 人體가 本質적으로 恒溫體이므로 溫度에 대해선 별로 考慮를 할 必要가 없기 때문이다. 二次 大戰時 軍人들의 凍傷등을 豫防하기 위해서 손가락, 발가락 등 비교적 溫度가

낮아지기 쉬운 部分의 溫度分布에 관한 研究가 많았고 최근에 human thermoregulatory system에 研究를 compartment modeling을 써서 하기도 했다^{51, 52)}.

物質傳達 계통은 가장 활발히 研究가 進行되어 四개의 chemical engineering symposium series (53-56)가 出版되었다. 여기에서 취급된 주요 研究題目을 보면 人工腎臟 (artificial kidney)의 設計, 새로운 membrane의 開發, 流動 및 物質傳達에 관한 研究가 가장 많고 다음 血液酸化器 (blood oxygenator) 및 腦에서의 oxygen transport 그리고 thrombogenesis (blood coagulation)에 관한 研究도 중요한 部分을 차지 하고 있다. 赤血球에는 hemoglobin이 30% 이상의 진한 濃度로 存在하기 때문에 이와 關聯하여 단

백질의 擴散係數의 測定⁵⁷⁾ 및 赤血球의 벽과의 相互作用에 관한 研究⁵⁸⁾와 pulsating flow에서 物質傳達도 研究 되었다^{59, 60)}. 腎의 신장을 利用하여 ultrafiltration 現象을 hydraulic pressure difference와 osmotic pressure difference 등의 變數를 써서 實驗 및 理論적으로 解析한 研究⁶¹⁾가 있었고 한걸음 더 나아가 Kedem-Katchalsky가 開發한 非平衡熱力學 (Nonequilibrium thermodynamics)의 membrane filtration에 관한 理論을 써서 신장의 glomeruli에서의 여러가지 크기의 dextran을 使用한 sieving 現象을 研究하기도 했다^{62, 63)}. 그리고 짙은 濃度の 단백질이 여과 될 때 단백질이 表面에 모이는 concentration polarization이 일어 나므로 이에 關聯된 filtration 現象도 研究되었다^{64, 65)}.

人體를 肺, 上體, 腎臟, 下肢, 肝, 몸통의 compartment로 나누어서 blood flow에 의해서 drug가 transport 되고 신진대사 (metabolize) 또는 정화 (clear) 되는 것을 간단한 一次反應模型을 세워서 身體內에서 drug distribution을 豫測하는 Pharmacokinetics도 研究되어 患者의 藥投

與에 앞으로 많은 도움을 줄 것으로 믿는다⁶⁶⁻⁶⁹).

최근에 들어 각종 金屬, 窯業, 高分子 材料의 人體內外에서 人體와 接觸되어 使用되는 Biomaterials^{69,70}의 開發에 관한 研究가 先進各國에서 활발히 進行되고 있다. 人體의 原來의 機能을 代身 또는 補完하기 위해 使用되는 것으로 軟性組織 代用으로는 人工角膜, 人工皮膚, heart valve, 人工動脈, 人工腎臟 등이 있고 硬性 組織代用으로는 人工齒牙, 뼈, 다리, 손 등이 있다(Fig. 2 參照). 이 Biomaterials의 가장 큰 難點은 人體에 移植되었을 때에 생기는 각종 副作用을 들 수 있겠다⁷¹. 移植된 金屬材料 등이 身體組織과 電

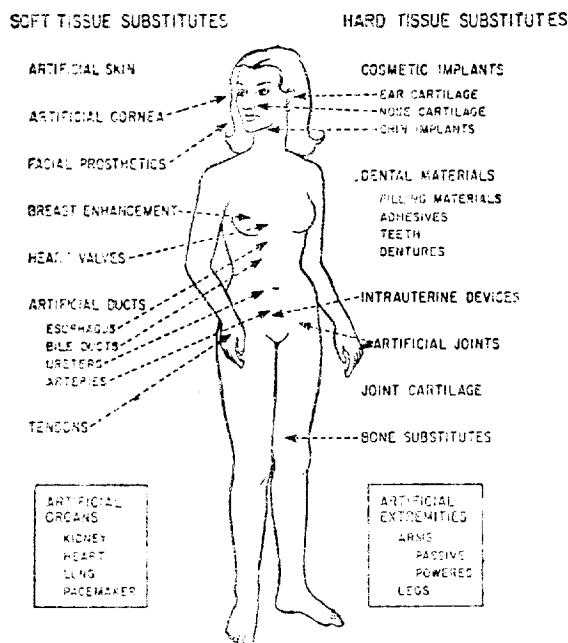


Fig. 2. Replaceable parts of human body by biomaterials¹⁾.

氣化學的 反應으로 腐蝕될 수도 있겠고 각종 移植物質의 浸蝕된 殘滓가 人體에 해로울 수도 있고 癌을 誘發하는 경우도 있다. 가장 理想的인 材料라면 人體에 不利한 反應을 惹起 시키지 않고 原來의 機能을 다하면서 生體와 잘 調和 될 수 있는 物質이라 하겠다. 특히 血液과 直接 接觸해야 되는 heart valve 및 人工血管 등에 使用되는 材料의 難點은 Biomaterial로 인한 血液凝

固 및 赤血球 破壞 現象이다⁷²). 美國 Utah 大學 校 人工臟器 研究所에서 송아지에 移植한 人工心臟의 경우 94日間の 生存記錄을 세우고 결국 血液凝固 現象으로 죽은적이 있고 최근에는 120日間の 生存記錄을 세웠다는 報道도 있어 결코 쉬운 問題는 아니지만 血液凝固 現象이 解決되는 데로 人工心臟의 將來에 밝은 빛을 던져주고 있다. 우선 血液이 異物質하고 接觸하게 되면 血液 단백질이 吸收되고 다음에 platelets가 吸着, 凝集되어 酵素로 活性化된 fibrin과 함께 赤血球를 entrap 시켜서 血液凝固을 일으킨다(Fig. 3, 參照). 이와같이 platelets는 人工臟器의 血液凝固에 있어서 중요한 역할을 하므로 platelets의 赤血球의 運動에 依한 物質傳達 (shear dependent)의 增加, platelet-platelet interaction에 의한 aggregation이 研究 되었다⁷³⁻⁷⁵). 또한 人工 腎臟 등에서 物質傳達速度를 증가 시키기 위해 high shear rate를 使用하게 되는데 이에 따른 赤血球의 hemolysis도 研究되었다^{76,77}). Biomaterials의 開發과 더불어 최근에 活氣를 띄고 있는 것은 얇은 膜을 이용한 각종 醫藥, 殺虫劑, 肥料, 그리고 다른 化學的 生物學的 活性物質의 調節放出法 (controlled release)이다^{78,79}). 즉 統制하고자 하는 物質을 얇은 膜으로 싸서 서서히 適當량 流出되게 하여 藥效를 持續하자는 것으로 이미 상당한 數의 製品이 市場화되고 있다.

이러한 각 分野의 BME의 發展은 人工臟器 및 醫學機器 (medical instrumentation)의 開發에 많은 貢獻을 했는데 중요한 것을 보면 現在 使用되고 있는 臟器로는 人工腎臟, 血液酸化器(blood oxygenator), pacemaker 등이 있으며, 人工心臟 및 肝臟⁸⁰은 實驗段階에 있다. 機器로는 盲人을 위한 optacon, 스티나는 文字判讀機 등이 있고 難聽人을 위한 補聽器등은 實用化 되고 있으며 Computer를 利用한 人工眼球도 開發중에 있다. 診斷裝置로는 前述한 ultrasonics, fiber optics를 利用한 것과 身體의 溫度分布를 赤外線記錄技法 (infrared recording technique)로 알아내는 thermography 등이 있고 血球를 正確 迅速하게 셀 수 있는 blood cell counter 및 blood의 12가지 成分 (K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Cl^- , glucose, urea level

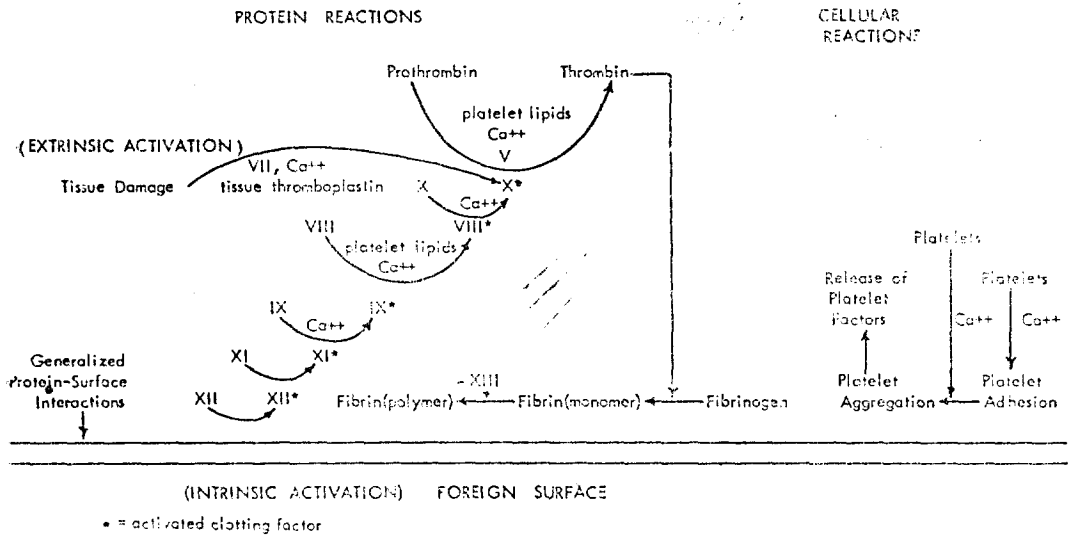


Fig. 3. Protein and cellular reactions in blood coagulation⁵⁵⁾

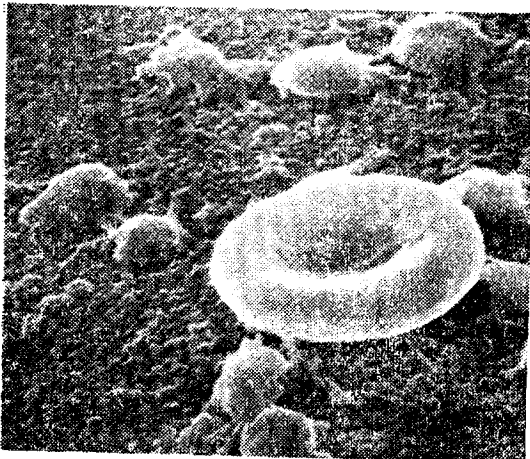


Fig. 4. Scanning electron micrographs of a glass bead surface following platelet deposition. (7000x)⁷⁴⁾
A biconcave shape disc is a red blood cell and the others are platelets

등) 한꺼번에 분석하는 자동분석기(autoanalyzer) 등이 있다. 이외에도患者에게 最少의 被害를 주고 疾病을 正確 迅速하게 診斷할 수 있는 각종 裝置의 開發이 研究되고 있다.

3. BME의 意義 및 展望

人間이 習得한 工學知識을 利用하여 人體 및 다른 生物의 動作機能을 理解해 보려는 努力은 純粹한 學問의 面에서 볼때 重要한 意義가 있다고 하겠으며 結果로 人間이 얻는 것은 오랜 세월을 두고 進化된 生命體의 動作機能은 가장 最適化되고 效率의이고 必要에 따라 最小化 되어 있다는 것이다. 이러한 奧妙한 動作機能에 對한 理解는 關聯工學 自體의 發展을 도울것이고 研究結果는 直接人體의 故障난 部分이라든가 이에 必要한 代替品, 例를 들면 人工骨格, hip joint의 製作에 直接 應用되고 있다. 그리고 人體에 使用되는 機具들은 精密하고 miniaturized 된 것이 많아 精密工學의 發達을 도와줄 수 있다고 보겠다.

이 分野를 先進國에서의 추세로 보아 우리나라에도 머지 않은 將來에 重要視 되리라 보며 이는 所得增大에 따른 國民保健向上과 輸出産業(醫療機具)의 育成을 위해서 必要하기 때문이다. 우리나라의 경우 醫療機具의 生産額은 醫藥生産額의 5%미만에 不過하나 美國의 경우 80%以

상에 이르고 있어 이 方面 産業의 落後性을 보여주고 있다⁸¹⁾.

外國의 例를 보면 BME 系統의 公부를 한 후 基存 工學 分野에 從事하거나 (BME역시 基存 工學의 延長 및 應用 이므로), 學校의 教授職, 研究所 및 BME 關聯會社의 研究職 등에 從事하며 최근에 들어 病院도 醫師만으로 運營하기 힘들 정도로 機器가 複雜하여 Biomedical Engineer를 必要로 하고 있고 日本 東京 大學의 경우 醫科 大學에 BME科까지 設置하여 本格的인 教育을 하고 있다.

끝으로 工學者들이 醫學知識의 習得에 많은 時間을 消耗하는 것 보다 이 方面에 知識이 많은 醫師들과 協同하여 研究하는 것이 바람직 하다는 것을 말해둔다.

參 考 文 獻

1. R. Rushmer, "Medical Engineering", Academic Press, New York, 1972.
2. J.H.U. Brown, J.E. Jacobs and L. Stark, "Biomedicel Engineering", F.A. Davis Co., Philadelphia, 1971.
3. J. Alden, *Eng. Ed.*, **66** (1975) 78.
4. *Chem. Eng. Prog.*, **72** (1976) 78.
5. A.C. Guyton, "Textbook of medical physiology", 4th ed. W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1971.
6. M. Fisk, "Encyclopedia of Associations, vol. 1. National Organization of the U.S.", Gale Research Co., 1975.
7. G.B. Thurston, *J. Biomech.*, **9**(1976), 13.
8. E.O. Attinger and F.M. Attinger, *Ann. Rev. Biophys. Bioeng.*, **2**, L.J. Mullins et al. (eds), Annual Reviews Inc., Palo Alto 1971.
9. M. Anliker, M.K. Wells and E. Ogden, *IEEE. Trans. Biomed. Eng.*, **16** (1969), 262.
10. Y.C.B. Fung, N. Perrone and M. Anliker, "Biomechanics; Its Foundations and Objectives", Prentice-Hall, 1972.
11. D.W. Baker, *IEEE. Trans. Sonics Ultrasonics*, **17** (1970), 170.
12. T. Yamashita and R. Katoh, *J. Biomech.*, **9** (1976), 93.
13. P.E. Scranton, Jr. and J.H. McMaster, **9** (1976), 45.
14. J.G. Hays, "The Biomechanics of Sports techniques", Prentice-Hall, 1973.
15. J.E. Jacobs, *Adv. Biomed. Eng.*, **2** J.H. U. Brown and J.F. Dickson (eds), Academic Press, New York 1972.
16. G. W. Stroke et al., "Ultrasonic Imaging and Holography", Plenum Press, New York, 1974
17. W. Buschmann, W., *Adv. Biomed. Eng.*, **1**. R.M. Kenedi (ed), Academic Press, New York, 1971.
18. N. Kapany, "Fiber Optics", Academic Press, New York, 1967.
19. M.L. Wolbarst, "Laser applications in medicine and biology", Plenum Press, New York, 1971.
20. H.P. Schwan, "Biological Engineering", McGraw-Hill, New York, 1969.
21. H.M. Yanof, "Biomedicel Electronics", F.A. Davis. Co., Philadelphia, 1972.
22. L.A. Geddes and L.E. Baker, "Principles of applied biomedical instrumentation", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1968.
23. H.A. Miller and D.C. Harrison, "Biomedical Electrode Technology", New York, 1974.
24. G. Ehrenstein and H. Lecar, *Ann. Rev. Biophys. Beioeng.*, M.F. Morales et al. (eds). Ann. Reviews Inc., Palo Alto, 1972.
25. F. Donati and H. Kunov., *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, **23** (1976), 23.
26. 26. E.M. Glaser, *Adv. Biomed. Eng.*, **1** R.M. Kenedi (ed), Academic Press, New

- York, 1971.
27. M.F. Snyder, V.C. Rideout and R.J. Hillestad, *J. Biomech.*, **1** (1968), 341.
 28. N. Westerhof, F. Bosman, C. deVries, A. Noordergraf, *J. Biomech.*, **2** (1969), 121.
 29. J.B. Reswick, *Adv. Biomed. Eng.*, **2**, J. H.U. Brown and J.F. Dickson (eds), Academic Press, New York, 1972.
 30. C. Cobelli and G. Romanin-Jacur, *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, **23** (1976), 93.
 31. D.S. Gann. and G.L. Cryer, *Adv. Biomed Eng.*, **2**, J. H.U. Brown and J.F. Dickson, (eds). Academic Press, New York, 1972.
 32. C.A. Caceres., "Biomedical Telemetry", Academic Press, New York, 1965.
 33. W.A. Spencer et al., *Adv. Biomed., Eng.*, **2**, J. H.U. Brown and J.F. Dickson, (eds), Academic Press, New York, 1972.
 34. L.E. Lipkin, and B.S. Lipkin *Ann. Rev. Biophys. Bioeng.*, **4**, L. J. Mullins et al. (eds), Ann. Rev.Inc., 1975.
 35. M. Rubin, *Adv. Biomed. Eng.*, **3**, J. H.U. Brown and J.F. Dickson, (eds), Academic Press, New York, 1973.
 36. F.V. Lucas et al., *Adv. Biomed. Eng.*, **3**, J. H.U. Brown and J.F. Dickson, (eds), Academic Press, New York, 1973.
 37. A.W. Pratt, *Adv. Biomed. Eng.*, **3**, J. H.U. Brown and J.F. Dickson, (eds), Academic Press, New York, 1973.
 38. R.W. Stacy and B.D. Waxman, "Computers in Biomedical Research", Academic Press, New York, 1965.
 39. J. Vidal, *Ann. Rev. Biophys Bioeng.*, **2**, L.J. Mullins et al. (eds). Ann. Rev. Inc. 1973.
 40. G. H. Bourne, "Medical and Biological problems of space flight", Academic Press, New York, 1963.
 41. J.H.U. Brown, "physiology of man in Space", Academic Press, New York, 1963.
 42. G.R. Cokelet, "The Rheology of human blood", in Biomechanics, Y.C.B. Fung. et al. (eds), Prentice-Hall, 1972.
 43. E.W. Merrill and R.E. Wells, *App. mech. Rev.*, **14** (1961), 663.
 44. H.L. Goldsmith and S.G. Mason, "The microrheology of dispersions", in Rheology, vol. **4**, F.R. Eirich (ed), Academic Press, New York, 1967.
 45. D. Hershey and G. Song., *AIChE J.*, **13** (1967), 491.
 46. W.P. Walawender and T.Y. Chen, *Microvascular Res.* **9** (1975), 190.
 47. H.L. Gold smith, *Fed. Proc.*, **30** (1971), 1578.
 48. H.L. Gold smith, *Fed. Proc.*, **26** (1967), 1813
 49. D.A. Gibbs, E.W. Merrill et al., *Biopolymers*, **6** (1968), 777.
 50. L. Dintenfass, *Fed. Proc.*, **25** (1966), 1054.
 51. K.H. Keller and L. Seiler, *J. App. physiol.*, **30** (1971), 779.
 52. E.H. Wissler, *CEP Symposium Series*, **66**, vol. 62 E.F. Leonard (ed), *AIChE*, New York, 1966.
 53. E.F. Leonard, "Chemical Engineering in Medicine", CEP Symposium Series **66**, vol. 62, *AIChE*, New York, 1966.
 54. R.L. Dedrick, K.B. Bischoff, E.F. Leonard, "The artificial kidney", *CEP Symposium Series*, **84**, vol. 64, *AIChE*, New York, 1968.
 55. A.L. Schrier and T.G. Kaufmann, "Mass-transfer in biological systems", CEP Symposium Series, **99**, vol. 66, *AIChE*, New York, 1970.
 56. R.G. Buckles, "Advances in Bioengineering", CEP Symposium Series, **114**, vol. 67, *AIChE*, 1971.

57. K. H. Keller, E. R. Canales and Su Il Yum, *J. Phys. Chem.*, **75** (1971), 379.
58. K. H. Keller and Su Il Yum, *Trans. Am. Soc. Artif. Intern. Organs.*, **16**(1970), 42.
59. E. B. Fagela-Alabastro and J. D. Hellums, *AIChE J.*, **15** (1969), 164.
60. E. B. Fagela-Alabastro and J. D. Hellums, *AIChE J.*, **15** (1969), 803.
61. B. M. Brenner, W. M. Deen and C. R. Robertson, *Ann. Rev. Phys.*, **38** (1976), 9.
62. R. L. S. Chang, C. R. Robertson et. al., *Biophys J.*, **15** (1975), 861.
63. R. L. S. Chang, I. F. Ueki et. al., *Biophys. J.*, **15** (1975), 887.
64. W. M. Deen, C. R. Robertson and B. M. Brenner, *Biophys J.*, **14** (1974), 412.
65. A. A. Kozinski and E. N. Lightfoot, *AIChE J.*, **18** (1972), 1030.
66. R. L. Bell, and A. L. Babb, *Trans. Am. Soc. Artif. Intern. Organs.*, **11** (1965), 183.
67. K. B. Bischoff and R. L. Dedrick, *J. Theol. Biol.*, **29** (1970), 63.
68. E. N. Lightfoot, "Transport phenomena and living systems", John Wiley Sons, New York, 1974.
69. 張虎男, 化學과 工業의 進歩, **16** (1976), 116.
70. R. I. Leininger, *CRC Crit. Rev. Bioeng.*, **1** (1972), 333.
71. D. F. Williams, *Biomed. Eng.*, **10** (1975), 207.
72. J. F. Dickson and J. H. U. Brown, "Future Goals of Engineering in Biology and medicine", Academic Press, New York, 1969.
73. E. F. Grabowski, L. I. Friedman and E. F. Leonard, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **11** (1972), 224.
74. C. R. Robertson and H. N. Chang, *Ann. Biomed. Eng.*, **2** (1974), 361.
75. H. N. Chang and C. R. Robertson, *Ann. Biomed. Eng.*, **4** (1976), 151.
76. L. B. Leverett, J. D. Hellums et al., *Biophys. J.*, **12** (1972), 257.
77. R. M. Hochmuth, N. Mohandas, and P. L. Blackshear, Jr. *Biophys. J.*, **13** (1973), 747.
78. R. W. Bake and H. K. Lonsdale, *Chem. Tech.*, **11** (1975), 668.
79. 高英燦 · 文相翕, "화학공학", **13** (1975), 181.
80. E. Denti, J. W. Freston et al., *Trans. Am. Artif. Intern. Organs.*, **22** (1976), 693.
81. 金芳模 · 張虎男, "韓國의 醫療製品 및 産業 現況", 韓國 科學 技術 研究所, 1976.

著 者 略 歷

張虎男 博士는 서울工大 化學工學科를 卒業(1967), 軍 服務後 1970년에 Stanford University에 留學하여 71년에 碩士, 化學工學專攻 (Specialty: Biomedical Engineering)으로 75년에 Ph. D.學位를 授與받았다. 그 後 Iowa State University에서 Enzyme Engineering에 關하여 研究를 遂行하였으며, 1976년에 歸國하여 現在 韓國 科學院 生物 工學科 助教授로 在職中 이다.

