

# 생체제어시스템분야의 연구동향 및 발전전망

이 명 호

연세대학교/생체제어시스템연구회장

1960년대에는 '생물제어시스템 또는 생체제어시스템'(Biological Control System: BCS)으로 불렸으나 1999년 미국 San Diego에서 열렸던 미국자동제어학술회의(American Control Conference: ACC)에서 공식적으로 '생체제어시스템'(Biomedical Control System: BMCS)이라는 명칭으로 확대 사용된 이래, 2001년 독일에서 열렸던 'IFAC on Modelling and Control in Biomedical Systems: IFAC-BMSMC', 2003년 8월 호주 멜보른에서 열리게 될 'IFAC Symposium on Modeling and Control in Biomedical Systems' 등에서 이 분야에 관련한 세계적인 규모의 연구발표가 이루어지고 있다. 이들 세계학술회의에서 두드러지게 나타나고 있는 현상은 일반자동제어연구자들에게 생체제어 시스템의 문제점과 이에 대한 해결 가능성 등에 대한 기초적 또는 임상적 연구내용이 매우 활발하게 발표되고 있다는 사실이다.

이와 같은 논리로 생체의학시스템에 자동제어를 접목시킨 '생체제어시스템'의 연구분야는 주로

- 1) Automated Regulation of Hemodynamic Variables,
- 2) Closed-Loop Control in Anesthesia,
- 3) Insulin-Dependent Diabetes Therapy.
- 4) Blood-Glucose Control,
- 5) Elbow Neuroprotheses Control,
- 6) Grasping and Walking Neuroprotheses,
- 7) Robotic Assistants Aid Sugeons During Minimally Invasive Procedures,
- 8) Cellular/Tissue Engineering 등을 포함하고 있다.

이러한 연구영역에서 가장 기본적인 의학적 배경은 생리학(physiology)이며, 생리학에 대한 제어이론적 접근은 생체시스템에 대한 내인성피드백조절(endogenous feedback regulation)로부터 비롯된다. 즉, 예를 들면 혈압을 조절하는 압수용체반사(baroreceptor reflex)와 혈당(blood glucose)을 조절하는 췌장(pancreas)에 의하여 인슐린과 글루카곤(glucagon, 저혈당중에 반응하거나 또는 하수체 전엽의 성장호르몬에 의한 자극에 반응하여 Langerhans성의 알파세포로부터 분비되는 폴리펩타이드 호르몬)의 합성 등이 포함된다.

자동제어 분야는 역사가 상대적으로 길지 않다. 비록 귀환제어의 기본적인 원리는 Watt의 flywheel governor에

존재하지만 귀환제어의 사용은 1940년대까지 흔한 일은 아니었다. Bode와 Niquist에 기초한 주파수 응답 분석은 페루프 설계를 위하여 지속적으로 사용되었다. 1960년대에 "modern control theory"의 시대가 우주 프로그램과 항공술, 우주 인공위성의 진전에 의해 광범위하게 도래하였다. 거대석유화학공정(petrochemical process)의 속박과 충돌의 문제는 1970년대와 1980년대에 예측 가능한 제어기술 모델의 개발을 이끌어냈다.

explicitly handle model의 불확실성은 1980년대와 1990년대에 강인한 제어시스템(robust control system)의 분석과 디자인 기술을 이끌어냈다. 제어기술의 개발은 1980년대 후반부터 현재까지 연구의 초점이 되어온 비선형 모델에 분명하게 기초하고 있다.

생체의학(biomedicine)에 대한 자동제어응용(automated control application)은 많은 역사를 가지고 있다. 마취의 귀환제어에 관한 최초의 연구는 1950년에 Bickford에 의해서 수행되었다. 일부 다른 마취제(anesthetics)는 촉진 입력(manipulated input)으로 연구되는 동안, 측정된 변수는 뇌파의 통합 수정된 크기로 나타난다. 여기서 제어 전략(control strategy)은 마취의 깊이를 나타내는 인자로 사용되어야 하는 뇌파신호의 특성이 분명하지 않기 때문에 인정을 받을 수가 없다. 마취에 대한 제어노력은 오늘날 까지도 계속 되고 있다. 위에 열거한 7개 연구영역에 대하여 간단히 소개하고자 한다. 좀더 상세한 정보를 원하는 독자들은 해당 참고문헌을 참고하시기 바란다.

① R.R. Rao 등은 중환자실에서 치명적인 임상적 징후를 근접 모니터링이 필요하다. 마취전문가나 혹은 중환자실 의사들은 평균동맥압(mean arterial pressure: MAP), 심박출량(cardiac output:CO), CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub> 레벨, 혈액산도(blood acidity), 체액 레벨, 심장수축, 신장기능과 같은 넓은 범위의 생리학적 상태를 조정하고 모니터링 해야만 한다. 그러나 일부 변수들은 인사들에 의하여 직접적으로 측정할 수 없다. 이들의 연구에서는 다변수 조정을 위하여 필요로 하는 두 가지의 제어방법에 관하여 동물실험(개)을 통하여 얻어지는 데이터를 실제 임상환자에게 적용하여 개선된 치료기법을 제안하였다.

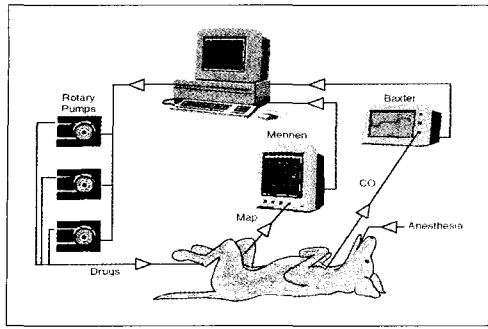


그림 1. Schematic diagram of the experimental setup. (Romesh R. Rao)

- ② A. Gentilli 등은 스위스 베른에 있는 대학병원에서 150명 이상의 임상환자를 대상으로 이미 임상실험에 사용된바 있는 들숨과 날숨시의 마취가스, O<sub>2</sub>와 CO<sub>2</sub>의 농도를 조절할 수 있는 폐루프 제어기가 사용되고 있다.
- ③ R. Bellazzi 등에 의한 '인슈린 주입에 의한 당뇨병 치료를 위한 피하조직'에 관한 연구에서는 피하조직에 인슈린을 주입하는데 있어 폐루프제어 및 부분 폐루프 제어에 의하여 주입시키는 기법을 제안하고 있다. 대부분의 인슈린 주입에 의해 당뇨병을 치료하고 있는 환자들은 기존의 또는 강화된 인슈린 치료 요법으로 살아가고 있다. 즉, 인슈린은 하루에 3-4번씩 피하조직 속으로 주입된다. 그리고 주입량은 3-7번에 걸친 혈당농도측정에 근거하여 조정된다.
- ④ R.S. Parker 등은 'Intravenous route에 의한 blood glucose control'에 관한 기법을 제안하였는데, 이것은 예상제어전략모델(predictive control strategy model)을 이용하여 정맥주입을 통하여 혈당을 제어하는 기법에 관한 연구이다. 일반적으로 당뇨병은 혈당농도를 조절하는 췌장기능의 손상으로 발생하는 질병이다. 인슈린 주입이나 혹은 타입 I에서의 당뇨병은 췌장에서 β-세포의 발생하면 인슈린이 파괴되는데 이때에 생리적인 균형이 깨지면서 발생하는 질환이다. 된다.

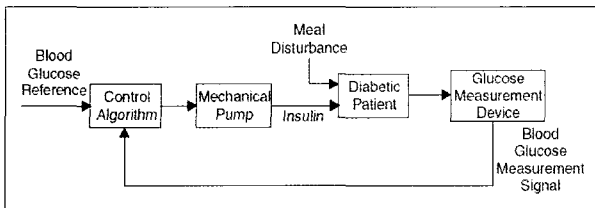


그림 2. A closed-loop glucose control system.(R.S. Parker)

- ⑤ D. Popovin와 M. Popovic 등은 '건강한 피검자 데이터에 기초한 유도학습을 이용하는 팔꿈치신경보철제어(elbow neuroprotheses control)연구에 집중하고 있다. 마비된 근육을 활성화시키기 위해서는 기능

성전기자극(functional electrical stimulation : FES)을 이용하는 신경보철(NP)시스템이 앞으로 이용도가 가장 많을 것으로 기대된다.

- ⑥ M.R. Popovic 등은 '표면자극기술(surface-stimulation technology)'을 이용한 잡음신경보철(grasping neuroprotheses)과 보행신경보철(walking neuroprotheses)에 관하여 연구하고 있다. 이 방법은 척추손상환자들의 재활치료에 가장 효과적인 것으로 평가된다. 물건을 잡거나 보행, 호흡 등과 같은 기본적인 기능이 결여되어 있는 경우의 환자들의 재활활동을 매우 다양하게 지원할 수 있다.

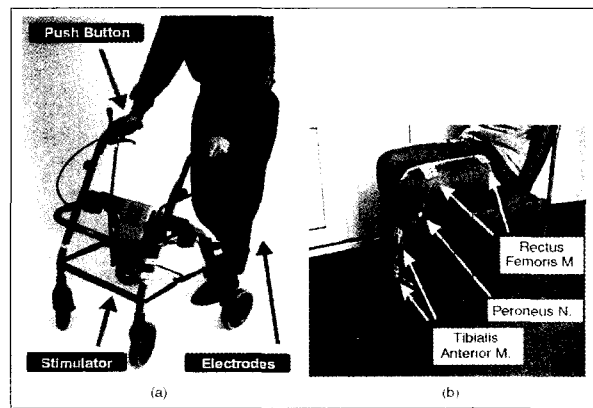


그림 3. (a) Walking neuroprosthesis for hemiplegic subjects and subjects with unilateral paraplegia. (b) Placements of the stimulation electrodes for the subject in (a). (Milos R. Popovic)

- ⑦ H. Kang 등은 수술시 환자에게 침습(invasive)을 최소화(minimally)할 수 있는, 최소침습수술(Minimally Invasive Surgery : MIS)기법을 제안하고 있다. 이 시스템은 외과의사(surgeons)와 로봇(robot)이 서로 협력적으로 수술할 수 있는 새로운 로봇 시스템으로서 앞으로의 역할이 기대된다.

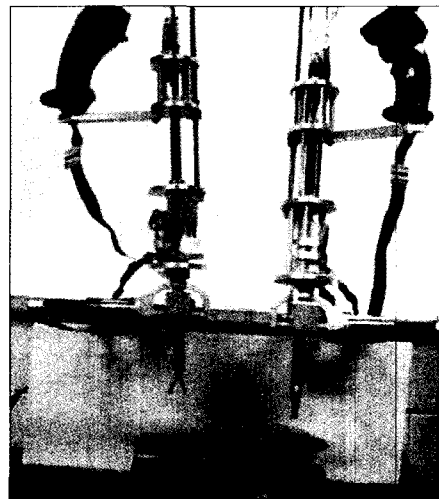


그림 4. Manual operation of EndoBots.(Hyosig Kang)

참고문헌

1. Slate JB, Shepapard LC, Rideout VC, and Blackstone EH: A model for design of a blood pressure controller for hypertensive patients. In: Proc IEEE Engineering in Medicine and Biology Conference, Denvor, CO, Oct.1979,pp.867-872
2. Isaka S and Sebald AV:Control strategies for arterial blood pressure regulation. IEEE Trans Biomed Eng40(4): 353-363, 1993.
3. Bar-Shaiom Y and Fortmann TE: Tracking and Data Association. San Diego, CA: Academic,1988
4. Derighetti M: Feedback Control in Anaesthesia. PhD dissertation, Swiss Federal Institute of Technology (ETH), zURICH, sWITZERLAND, 1999.
5. Trajanoskiz and Wach P:Neural Predictive controller for Insulin Delivery using the Subcutaneous Route. IEEE Trans Biomed Eng 45: 1122-1134, 1998.
6. Lehmann ED: Application of computers in clinical diabetes care. Diabetes Nutr Metab 10:45-59, 1997.
7. Kennedy FP:Recent developments in insulin delivery techniques, current status and future potential. Drug 42: 213-27, 1991.
8. Fisher ME:A semiclosed-loop algorithm for the control of blood glucose levels in diabetics. IEEE Trans Biomed Eng 38: 57-61, 1991.
9. Antsaklis PJ and Nerode A:Hybrid control systems:An introductory discussion to the special issue. IEEE Trans Autom Control AC-43:457-459, 1998.
10. Popovic D and Sinkjae T:Control of movement for the Physically Disabled. London:Springer, 2000
11. Kobetic R, Triolo R, and Morsolais E:Synthesis of paraplegic gait with multichannel functional neuromuscular stimulation. IEEE Trans Rehab Eng 2(2):66-78, 1994.
12. Ng S and Chizeck H: Fuzzy model identification for classification of gait events in paraplegics. IEEE Trans Fuzzy System 5(4): 536-544, 1997.
13. Quintern J:Application of functional electrical stimulation in paraplegic patients. Neuro Rehabilitation 10:205-250, 1998.
14. Tendick F, Sastry S, Fearing R, and Cohn M: Applications of micro-mechatronics in minimally invasive surgery. IEEE/ASME Trans Mechatronics 3(1): 34-42, 1998.
15. Anderson RB and Carte AE : Struck by lightning. Archimedes 31(3):25-29, 1989.
16. Hoff HE and Geddes LA : The rheotome and its prehistory:A study in the historical interrelation of electrophysiology electromechanics. Bull Hist Med 31(3):212-234, 327-347, 1957.

저자소개



《이 명 호》

- 1972년 연세대학교 전기공학과 (공학사)
- 1974년 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1978년 연세대학교전기공학과(공학박사)
- 1996년 3월~현재 : 연세대학교 의료기기기술연구소 소장
- 1997년 10월~1999년 9월 : Asia-Pacific Conference on Medical & Biological Engineering, 1999, Seoul. 조직위원회부위원장 겸 국제협력위원회위원장
- 1997년 9월~1999년 8월 : 연세대학교 산업대학원 전기공학전공 주임교수
- 1999년 1월~1999년 12월 : 제어·자동화·시스템공학회 부회장
- 1994년 9월~2000년 8월 : IFMBE Clinical Eng. Division, Board Member
- 2000년 8월~현재 : IFMBE Administrative Council, Member
- 2002년 1월~현재 : 대한전기학회 감사
- 2002년 1월~현재 : 대한의용생체공학회 수석부회장
- 주요업무 : 비접촉식 생체신호 측정시스템
- 학위논문 : 다접합 신경회로망의 정보처리에 관한 연구