

# 무선형태의 체내이식형 혈당 측정 시스템

## 1. 서론

경제력이 올라가고, 기술이 날로 발전하면서, 인류는 삶의 질 향상을 추구하기 시작하였다. 윤택한 삶을 살기를 원하는 사람들의 욕구로 인해 의학이 발달하고, 이를 뒷받침하는 의료기기의 시장은 점점 커져가고 있다.

당뇨병은 체내 인슐린이 부족하거나 정상적으로 기능되지 않는 대사 질환의 하나로, 혈중 포도당의 농도가 잘 조절되지 않아 생기는 질병이다. 당뇨병은 제1형과 제2형으로 분류되는데, 제1형 당뇨병은 인슐린을 전혀 생산하지 못해서 생기는 병이며, 제2형은 인슐린이 부족해서 혈당을 제대로 낮추지 못해 생기는 병이고, 당뇨병 환자의 90% 이상이 제2형 당뇨병 환자이다. 국내 당뇨병에 관한 통계에 의하면 국내 당뇨병 환자는 320만명, 고위험군 환자는 660만명 정도가 있으며, 당뇨병 환자 수 1000만에 이르는 상황이다. 몸의 혈당수치가 올라가게 되면, 그 자체만으로 위험할 뿐 아니라 여러 가지 합병증을 동반하기 때문에 무서운 질병으로 알려져 있다. 그 합병증의 종류는 망막병증, 신기능 장애, 신경병증, 심혈관계 질환 등이다. 또한 당뇨병은 한번 발병하면 회복되기가 매우 어렵고, 치료법도 매일 주기적으로 해줘야 하기 때문에 더욱 무서운 질병이라고 할 수 있다.

대부분의 당뇨병 환자들은 식이요법이나 운동을 통해 혈당을 관리하기 위해서 하루에도 여러번 혈당수치를 측정한다. 그리고 그 방법은 바늘을 통해 피를 일부 채취하여 스트립을 통한 측정방법이다. 이 방법은 당뇨병 환자에게는 매우 고통스러우며, 매번 스트립을 교환해줘야 하기 때문에 경제적인 비용도 많이 들게 된다. 또한 바늘로 인한 감염의 위험도 있어서 위생의 관리에도 신경을 써줘야 한다.

이를 대체하기 위해서 여러 가지 의료기들이 연구/개발되고 있다.



변영재  
울산과학기술원(UNIST)  
전기전자공학부



장희돈  
울산과학기술원(UNIST)  
전기전자공학부



〈그림 1〉 체외에서 측정 가능한 비침습형 혈당센서 (출처: 조인메디컬 홈페이지)

CGMS(Continuous Glucose Monitoring System)의 일종으로 허리에 차서 바늘로 혈당을 측정하며, 인슐린 주입을 해주는 기기부터, 광학식, 전자식 비침습적 기기들이 개발되고 있다. 이들은 현재의 불편한 점들을 개선한 것으로 당뇨병 환자의 고통이나 불편함을 개선시켜 주었다. 하지만 기존의 방법에 비해 반응속도가 느린 것부터 부정확한 혈당수치를 보여주는 등의 단점이 있다. 최근 출시된 당뇨측정장비(〈그림 1〉, 글루코트랙, integrity, Israel)의 경우, 무채혈과 오차범위 17%(기존 채혈방식 15%)의 성능을 보여주었으나, 1분정도 걸리는 측정시간과 6개월마다 센서를 교체해줘야 하는 한계를 가지고 있다.

이러한 단점을 극복하기 위한 방법으로 체내에 센싱 시스템을 이식하는 방법이 연구되고 있으나, 체내에 이식한다는 사회적 염려와 극복해야할 기술적인 어려움들이 많은 것이 사실이다. 우선적으로 이루어져야 할 문제가 바로 안정성이다. 이는 체내 이식되는 재료의 안정성 뿐만 아니라 전자파 등의 물리적 안정성도 고려되어야 한다. 다음 섹션에서는 센서(Sensor), 센서인터페이스(Sensor Interface), 통신회로(Communication Circuits), 무선 전력전송(Wireless Power Transfer) 기술로 분류하여 관련 연구를 설명하고자 한다.

## II. 관련 연구

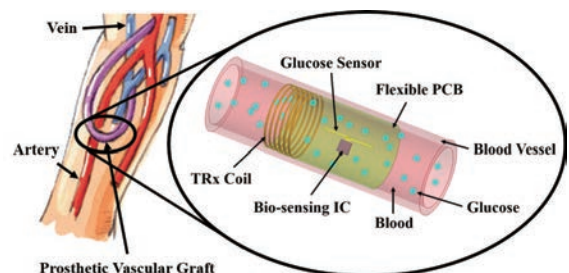
〈그림 2〉는 인공혈관에 삽입된 무선행태의 혈관이식형 혈당 측정 시스템의 모식도이다. 신장투석환자의 경우 정기적인 투석을 받기위한 인공혈관을 삽입하는 경우에 함께 이식되어, 주기적/임의적 혈당측정이 가능하도록 한 시스템이다. 심혈관질환 환자의 경우에도 스텐트 기술을 할 경우에 스텐트와 함께 이식할 수 있도록 설계하였다. 이 섹션에서는 각 부분별 개발 동향과 더불어 설계된 시스템을 설명하고자 한다.

### 2-1 센서 (Sensor)

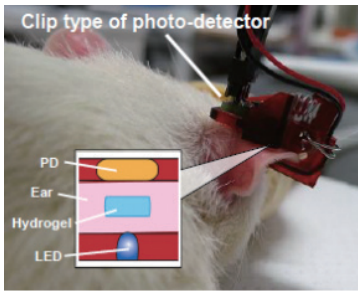
체내에서 혈당을 측정할 수 있는 가장 좋은 방법은 혈액을 직접 검사하는 것이다. 그리고 이 방법이 가능한 위치는 바로 혈관 안쪽이 될 것이다. 혈관 내에 센서가 위치하게 된다면 확산이나 투과방식을 사용한 다른 센서보다 훨씬 정확하고 즉각적으로 혈당을 측정할 수 있을 것이다.

현재 가장 활발하게 개발되고 있는 방식은 LED-PPD 방식이다. 빛의 특성을 사용하여 그 반사와 투과되는 정도에 따라 포도당의 농도를 측정하는 방법을 사용하며, 보다 정확한 측정을 위해 형광물질(Fluorescent material)을 첨가하여 측정하기도 한다<sup>[1]</sup>. 〈그림 3〉은 쥐를 사용한 그 실험의 예를 보여준다.

하지만 이 방법은 체내 형광물질이 주입된 상황이 가정되므로, 매번 형광물질을 추가하여 측정할 수 없기 때문에, 안전성에 대한 연구가 더 필요하다. 새로운 방법으로 혈관에 부착하여 화학적 방법이 추가된 기기도 소개되었으나 혈관의 노폐물로 인한 빛의 감쇄로 인해 시간



〈그림 2〉 인공혈관에 삽입된 무선행태의 체내이식형 혈당 측정 시스템



〈그림 3〉 실험용 쥐 귀부분에 부착된 혈당측정용 LED-PD센서

이 지날수록 부정확한 결과치를 낼 가능성이 있다는 보고가 있다.

LED-PD 방식과 다르게 전자기파를 이용한 안테나의 연구도 진행되고 있다. 컴팩트한 크기와 빔포밍의 특성을 활용한 패치형(Patch type) 안테나를 센서로 활용하는 연구가 보고된 바 있다<sup>[2-3]</sup>. 안테나 특성을 이용한 전자기파 센서는 그 크기가 주파수의 크기에 반비례해서 작아지지만, 기가헤르츠(GHz, 10<sup>9</sup>/s)의 경우에도 한번의 길이가 수mm 이상 되기에, 체내이식에는 무리가 있어 체외에서 측정하는 방법도 병행해서 찾고 있다.

## 2-2 센서 인터페이스 (Sensor Interface)

센서 인터페이스는 센서에서 들어오는 전압/전류의 상태값을 읽어서 이를 데이터화 하는 부분이다. 집적회로(Integrated Circuit) 형태로 제작되며, Readout IC 라고도 한다. 대부분의 센서와 마찬가지로 혈당을 측정하는 센서의 신호는 매우 작은 값의 변화를 구분하여 이를 정보화해야 하기 때문에, 잡음 대비 고성능의 증폭기를 필요로 한다. 이를 위해 보통 차동증폭기(Differential Amplifier) 형태의 증폭기를 사용하여 전원잡음과 일반 잡음을 최대한 줄여주는 방식을 사용한다. 하지만 센서의 종류(resistive/inductive/capacitive)와 출력에 따라 센서 인터페이스의 구조와 동작이 달라질 수 있다. 따라서 이에 맞는 신호처리 기법이 필요하다.

신호가 증폭되고 나면 이를 데이터화(Digitize) 해야 하는데, 이는 ADC(Analog to Digital Converter)에서 이루어진다. 체내 이식형 혈당측정기의 경우, ADC의 성능은 속도에 크게 관여받지 않는다. 이는 센서에서 주는 신호의 데이터가 0~500(mg/dL) 사이의 숫자에 불

과하며, 몇초 사이에 바뀌는 값이 아니기 때문이다. 해상도(Resolution)는 500 이상의 데이터를 표현할 수 있는 9bit 이상의 값이만 하면 된다. 대신 체내 이식 시스템의 특성상 전력소모가 크지 않은 구조로 설계되어야 하기 때문에, Flash type이 아닌 SAR(Successive Approximation Register) type의 ADC 설계가 알맞다.

## 2-3 통신회로 (Communication Circuits)

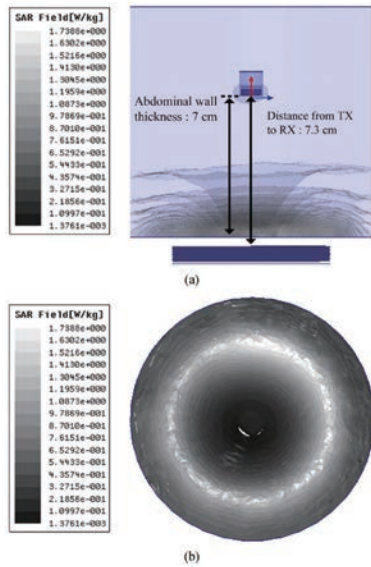
체내이식형 의료기기의 경우, MICS(Medical Implant Communication Service)라는 이름으로 무선통신에 대한 국제적 표준이 존재한다. 이 표준에서는 사용주파수 및 대역폭, 채널수, 최대출력파워, LBT(Listen Before Talk) 등의 규격을 제시하며, 이 표준에 따르는 것을 권고하고 있다. 국내의 경우, 비슷한 주파수 대역에서 표준을 제정하였으나, 기상서비스와 중첩되서 사용하는 것으로 되어 있다.

체내 이식형 혈당측정 시스템에서는 국내/국제 표준에 맞추어 400 MHz 대역에서 통신이 이루어지도록 한다. 최대출력 25 uW 이내에서 OOK(On-Off keying) 변조 방식을 사용한 통신방식으로, 적은 데이터를 전송하는데 필요한 전력소비를 최소한으로 하기 위해 가장 간단한 구조를 채택하였다.

## 2-4 무선전력전송 (Wireless Power Transfer)

일반적으로 무선전력전송은 3가지 방식으로 나뉘는데, inductive coupling 방식과 magnetic resonance 방식, 그리고 electromagnetic 방식이 있다. inductive coupling 방식의 경우 수 cm 정도의 거리에 전력전송이 가능하여 최근 스마트폰에서 사용되고 있는 방식이다. magnetic resonance 방식은 수 cm 에서 수 m 의 거리에 전력전송이 가능하며, 이를 사용한 근거리 무선전력전송에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. electromagnetic 방식의 경우는 수 m 이상의 거리의 전력전송에 적합하다.

체내 이식형 혈당측정 시스템에서는 체외와 체내 혈관 사이의 거리가 수 cm에서 수십 cm 에 이르므로 magnetic resonance 방식을 사용한 무선전력전송을 이

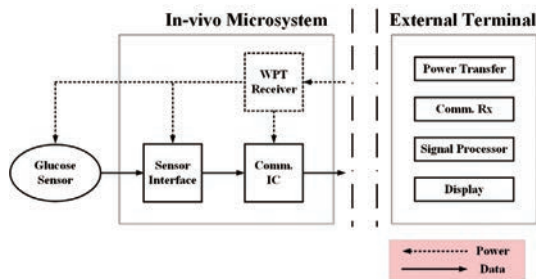


〈그림 4〉 3-D SAR(Specific Absorption Rate) 그래프 (a) 측면 (b) 하부

용하였다. magnetic resonance 방식의 경우 Tx 코일과 Rx 코일간 거리 및 각도, 정렬의 위치에 따른 효율차이가 커서 이를 보다 효율적으로 적용하기 위한 연구를 진행하였다<sup>[4]</sup>. 또한 인체에 미치는 영향을 알아보기 위한 체내 흡수율(SAR; Specific Absorption rate) 실험을 동시에 진행하였다. 〈그림 4〉는 SAR 실험 결과이다. 체내 시스템과 외부단말과의 거리를 7cm로 설정하고 그 결과값을 도출하였다.

### III. 통합 시스템 구성 및 연구

〈그림 5〉에 보이는 것처럼, 체내 이식형 혈당측정 시스템은 외부단말과 체내장치로 구성되어 있다. 외부단말은 체내 이식형 혈당측정 시스템에 전력을 공급하는 소스이자 체내로부터 전송되는 데이터의 수신단이다. 체



〈그림 5〉 체내 이식형 혈당측정 시스템 블록도

외 단말에서 WPT 안테나를 통해 무선으로 전력이 공급 되면 체내에 있는 수신부에서 이를 정류하여 체내 시스템 전반에 전력을 공급해준다. 이를 위해 WPT Receiver 에는 LDO 및 Regulator를 포함하며, 공정상 기준이 되는 전압(VDD)에 맞추어 주는 회로를 구현한다. 외부에서 전달되어지는 전압의 경우, 거리와 중간매체, 정렬의 상태에 따라 수신되는 전압의 크기가 상이하므로, IC 공정에서 HV(High Voltage)의 지원이 필요하다. 전력이 수신된 각각의 블록에서는 그 블록의 역할을 수행하게 되는데, 센서에는 LED-PD 혹은 Microwave를 구동/생성하여 그 유전율의 변화를 측정하게 된다. 그 변화값을 내장된 IC에서 데이터화하고 변조하여 외부 단말로 전송하면 그 값을 수신하여 사용자에게 표시하게 된다.

### IV. Application 및 향후 연구

본 시스템은 체내에서 혈당측정을 목적으로 한 시스템을 개발하였으나, 그 센서의 종류에 따라 측정할 수 있는 물질은 매우 많다. 사람의 피에는 혈당 뿐 아니라 단백질, 무기염류, 지방질 등을 포함하기 때문에, 센서의 개발이 이루어진다면, 한 시스템 내에 여러 물질을 동시에 센싱이 가능하다. 혈액성분 뿐만 아니라 혈압이나 신장액 등의 다른 값들도 측정이 가능하기에, 앞으로의 발전가능성이 매우 높다.

무선전력전송의 경우에는 기존의 체내이식형 의료기전 분야에 걸쳐서 그 활용이 가능하다. 기존 사용되고 있는 페이스메이커나 심박제세동기, 캡슐형 내시경 등에도 적용하면, 그 배터리의 크기를 줄일 수 있을 뿐 아니라 기기의 동작수명을 연장시켜주기 때문에, 수술의 빈도가 낮아지고, 안전성이 높아지게 된다.

하지만 센서 인터페이스나 통신용 IC의 경우에는 이미 팔복할 만큼의 발전이 이루어진 반면, 체내에 이식이 가능한 센서의 개발은 아직 시작단계에 불과하다. 센서의 개발과 더불어 재료적인 부분에서도 개발이 더 필요하다. IC와 센서 및 코일을 체내에서 완벽하게 구분할 수 있는 코팅재료 및 수용성 재료에도 버틸 수 있는 재료의 개발이 필요하다. 또한 무선충전 시에 발생하는 열에 대해서



도 안전성 검사가 필요하다. 체온의 변화에 따라 면역력에 변화가 생긴다는 보고도 있기에, 한두번의 실험이 아닌 꾸준한 안전성의 연구가 필요하다.

그럼에도 불구하고, 체내 이식형 생체측정 시스템은 향후 건강관리를 위한 좋은 솔루션 중의 하나가 될 것이 분명하다. 현재 널리 보급된 개인 스마트 디바이스의 연계가 이루어지면, 지속적인 관리가 가능할 뿐만 아니라 전 세계적으로 연결되어 있는 통신망을 통해 의사에게 건강 상태를 즉시 전송할 수 있는 좋은 방법이다. 또한 개인의 빅데이터를 활용한 개인건강 관리기법으로 활용되기에 충분하기에 향후 연구가 지속되어야 할 것이다.

### 참고 문헌

- [1] Masayuki Takahashi, et. al., "A Transdermal Continuous Glucose Monitoring System with an Implantable Fluorescent hydrogel Fiber and a Wearable Photo-Detector", 16th International Conference on Miniaturized Systems for Chemistry and Life Sciences, October 28–November 1, 2012, Okinawa, Japan
- [2] Lorena I. Basilio, et. al., "The Dependence of the Input Impedance on Feed Position of Probe and Microstrip Line-Fed Patch", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 49, No. 1, January, 2001.
- [3] S. Afroz, et. al., "Implantable SiC based RF antenna biosensor for continuous glucose monitoring", IEEE Sensors., Nov., 2013
- [4] Kyungmin Na, et. al., "Tracking Optimal Efficiency of Magnetic Resonance Wireless Power Transfer System for Biomedical Capsule Endoscopy", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (T-MTT), Vol. 63, No. 1, January 2015



변영재

- 1997년 8월 연세대학교 학사 졸업
- 2000년 5월 조지아공과대학교 석사학위 취득
- 2006년 12월 조지아공과대학교 박사학위 취득
- 2000년 5월~2002년 12월  
Agilent Technologies, IC Design Engineer
- 2003년 1월~2004년 12월  
Quellan, Inc, Senior IC Design Engineer
- 2007년 1월~2009년 2월  
Staccato Communications, Senior Analog/  
Mixed-signal IC Design Engineer
- 2009년 3월~현재 울산과학기술원 부교수/  
대의협력처장

〈관심분야〉

Mixed Signal IC Design, 체내이식형 무선센서 및 통신기기, Touch Screen Readout IC, Electrical Vehicle IC



장희돈

- 2011년 2월 서울과학기술대학교 학사 졸업
- 2013년 3월 울산과학기술원 대학원 입학
- 2017년 현재 울산과학기술원 석박사과정
- 2004년 9월~2007년 2월 (주)테크맨, Production manager
- 2011년 1월~2012년 8월 EN Technologies, Researcher

〈관심분야〉

Mixed Signal IC Design, 체내이식형 무선센서 및 통신기기