

# Ring type non-invasive glucose sensor

## 민감도가 향상된 링 형태의 비 침습식 혈당 센서

Kihyuck Lee, Kook Joo Lee, Dong Ho Lee, Moonil Kim<sup>\*★</sup>, Gil-Hong Park<sup>\*\*</sup>

이 기 혁, 이 국 주, 이 동 호, 김 문 일<sup>\*★</sup>, 박 길 홍<sup>\*\*</sup>

### Abstract

A novel sensitive and non-invasive ring-type glucose probe was designed and measured. The magnitude and phase of return loss change with different concentration of the glucose solution inside the loop structure. Ring type probe is more advantageous than open ended probe to measure electrical characteristics under the skin. The maximum difference of return loss was 0.94 for the concentration difference of 0% and 20% at 285MHz and more sensitive in low frequency.

### 요 약

루프 공진기 구조를 가지는 비침습식 혈당 센서 구조를 제작하여 혈당 측정을 위한 민감도 측정을 하였다. 0%와 20%의 글루코스 용액의 전기적 특성을 확인하고, 25mm~170mm의 지름을 가지는 링 구조를 이용하여 식염수 중 글루코스 농도에 따른 반사 손실의 차이를 측정하였다. 링 형태 프로브가 혈액과 같은 인체 내부의 물질을 측정하는데 종단 개방 프로브에 비해 유리한 특성을 가지며, 측정 주파수 중 가장 낮은 285MHz에서 S11이 0.94의 차이를 보여, 저주파일수록 민감도가 향상됨을 알 수 있었다.

*Key words : Non invasive, Glucose sensor, Ring type*

## 1. 서론

우리나라 당뇨병 현황에 대한 조사 자료에 따르면 [1], 2003년 당뇨병 환자는 전 국민의 7.75%인 약 2백 6십만 명으로 추정되고 그 수가 매년 증가하고 있는 추세이다. 당뇨에 의한 사망 또한 인구 10만 명당 25명으로 1994년 17명에 비해 증가하였다. 전 세계적으로도 당뇨병 환자는 1억 3천5백만 명이며, 2025년도

에는 3억 명으로 증가할 것으로 예상되고 있다.

당뇨병 환자의 효과적인 당 수치 관리를 위해 1일 4회 이상의 혈당량 측정이 권장되고 있지만, 채혈시의 통증과 거부감, 비용 등이 문제점으로 지적되고 있다. 비 침습식 혈당 센서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 연구되어 왔고, 그 원리는 적외선을 이용한 방법, 광 분산법 등이 있지만[2], 피부의 간섭이 심하여 피부의 상태에 따른 보정이 필요하고, 측정 결과 중 혈당에 의한 정보량이 아주 적어 신뢰도가 떨어진 다. 또한 매 측정시마다 측정 위치가 조금씩 달라지므로 재현성에도 문제가 있다.

마이크로파를 이용한 센서에는 동축 케이블의 종단 면에서 물질의 반사계수를 측정하는 종단 개방 프로브가 있지만, 구조와 원리의 특성상 측정을 원하는 물질이 프로브 구조에 매우 가까이 접촉하여야 한다. 링 구조 센서는 루프 내부에 존재하는 자기장의 변화를 측정하는 원리이므로, 종단 개방 프로브보다 내부 물질의 변화를 측정하는데 유리하며, 보다 민감하게 반응하는 구조이다. 또한 링 형태이므로 액세스리 등으로 이용 시 환자의 거부감이 적고 인체에 손쉽게

\* 高麗大學校 電氣電子電波工學部  
(School of Electrical Engineering, Korea University)

\*\* 高麗大學校 醫科大學  
(College of Medicine)

★ 교신저자 (Corresponding author)

※ 감사의 글 (Acknowledgment)

본 연구는 서울시 기술 기반 구축사업 (10833)에 의하여 지원되었음.

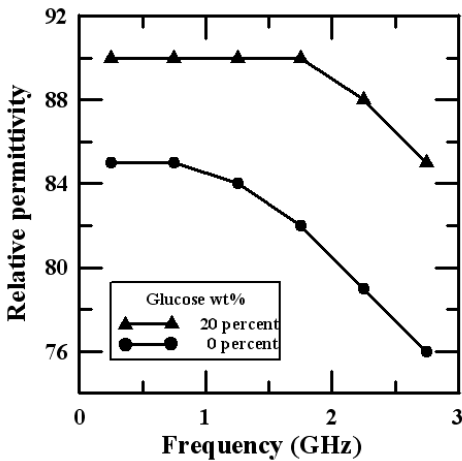
接受日:2007年 11月 10日, 修正完了日: 2007年 12月 23日

고정이 가능하며, 위치 변화가 적어 연속적인 무체혈 혈당 측정이 가능하다는 장점이 있다.

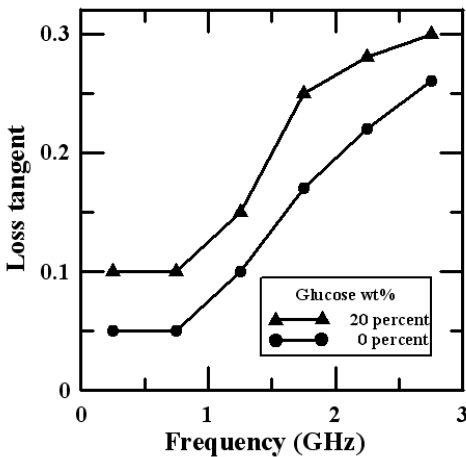
## II. 본론

### 1. 유사 혈당 용액의 전기적 성질 측정

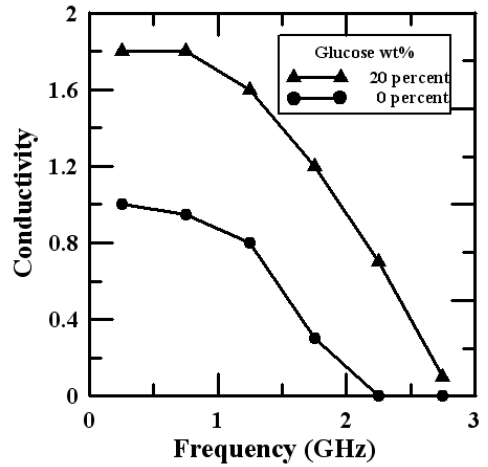
인체의 표면에서 혈당을 측정하기에 보다 정확한 구조를 얻기 위해서 체내 성분과 유사한 물질의 전기적 성질을 알아보았다. 유사 혈당 용액으로서는 0.9% 식염수에 D-글루코스 분말을 용해시켜 20% 식염수-글루코스 용액을 만들어 측정에 이용하였다. 농도에 따른 변화를 비교하기 위하여 글루코스가 첨



(a)



(b)



(c)

그림 1. 10MHz~3GHz 주파수에서의 혈당 유사 용액의 전기적 특성 (a)유전율, (b)손실 탄젠트, (c)도전율

가되지 않은 식염수의 수치도 함께 측정 되었다. 측정 장비는 중단 개방 프로브가 사용되었고, 10MHz~3GHz의 범위에서 프로브의 끝부분을 용액에 담근 채 반사손실을 측정하였다. 측정한 데이터는 3D EM 시뮬레이션 툴을 이용하여 모델링된 프로브와 측정 용액에 대하여 기존에 발표된 수치들[3, 4]을 입력하였을 때 같은 동작을 하는지 확인하였다. 이렇게 두가지 결과를 비교함으로써 그림 1과 같이 농도에 따른 유전율, 손실 탄젠트, 그리고 도전율에 대한 수치를 측정할 수 있었다.

### 2. 측정대상과의 거리에 대한 센서의 민감도

링 형 센서의 장점 중 하나는 다른 구조에 비해 넓은 면적의 샘플을 측정할 수 있기 때문에 좀 더 정확한 결과를 얻을 수 있는 점이다. 이는 기존의 중단 개방 프로브와의 비교를 통해 알 수 있다. 중단 개방 프로브는 그림 2(d)와 같이 동축 케이블의 절단면과 같은 구조를 가진다. 프로브 끝에 위치한 물질에서 일어나는 반사파를 이용하고, 반사된 신호가 이루는 전기장은 누설 전계로써, 프로브에서 매우 근접한 거리에 제한되어 있다. 링 프로브는 그림 2(a), (b), (c)와 같이 루프 내부에 존재하는 자기장의 변화에 의해 반사된 신호의 변화량을 측정하는 원리이므로, 루프 내부에 존재하는 물질에 대해 민감하고, 방사 패턴 또한 넓으므로 내부에 위치한 물질을 측정하는데 유리하다.

측정 대상과의 거리에 대한 프로브의 민감도 변화

를 시뮬레이션 한 결과, 종단 개방 프로브는 0.1mm 이하에서 급격히 민감도가 감소하여 측정이 불가능하지만, 링 probe는 어느 정도 간격이 발생하여도 측정이 가능함을 알 수 있었다. 실제 피부에 적용 시 피부 하층에 위치한 혈관 속 혈액의 변화를 측정하는데 링 구조가 더욱 유리함을 예상할 수 있다.

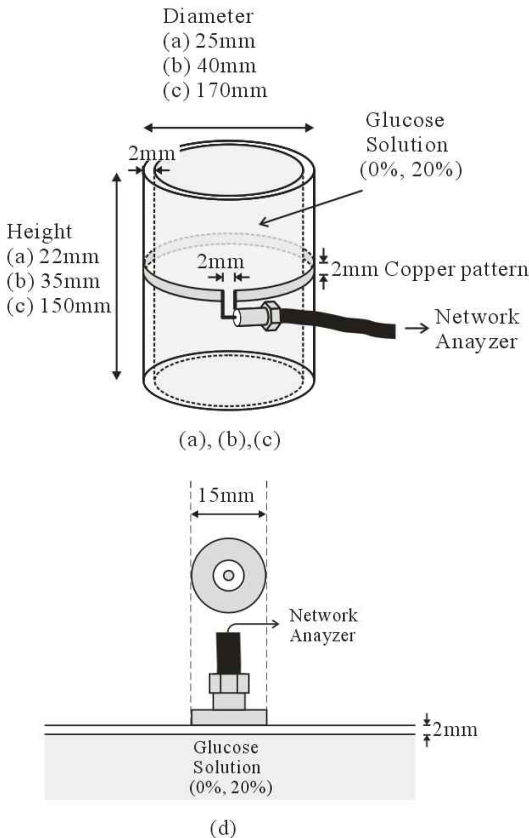
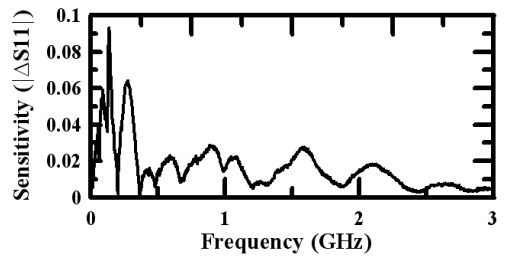


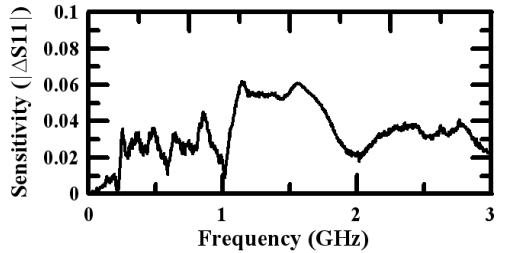
그림 2. 다양한 구조의 링 센서 구조 (a), (b), (c) 및 종단 개방 프로브(d)

### 3. 주파수에 따른 민감도 변화 측정

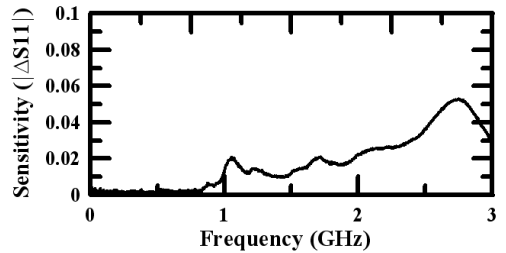
가장 적절한 링 구조 센서를 설계하기 위하여 링 구조가 농도 변화에 따라 가장 민감하게 반응하는 주파수를 찾을 필요가 있다. 구조의 크기와 동작 주파수는 반비례 관계이므로, 그림 2.(a), (b), (c)와 같이 구조의 크기를 달리 해가며 시뮬레이션과 측정을 실시하였다. 두께 2mm인 아크릴 재질의 병에 측정 용액을 넣고, 외부에 두께 2mm의 금속 패턴을 삽입하였다. 용기의 높이와 지름은 측정 주파수에 따라 조절하여 285MHz ~ 2.7GHz에서 동작하는 구조를 제



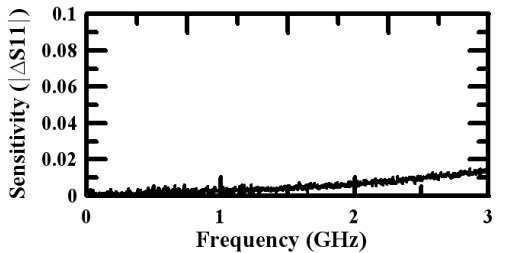
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 3. 크기에 따른 링 센서와 종단 개방 프로브의 민감도 측정결과. 지름 25mm(a), 지름 40mm(b), 지름 170mm(c), 종단 개방 프로브(d)

작하였다.

링 구조 센서의 동작 특성은 루프 공진기로 동작하지만 측정 물질과의 커플링에 의해 공진 주파수에서 농도에 따른 반사 손실의 차이를 보이게 된다. 특히

글루코스-식염수 용액의 도전율에 의한 커플링은 링 구조 주변에서 전류를 생성하여 상호 인덕턴스 성분을 증가시켜 링 구조의 인덕턴스를 변화시킨다. 변화된 인덕턴스는 반사 손실의 위상 차이로 나타난다. 또한 인체에 흡수되는 파워는 도전율에 비례하므로 [5] 반사 손실의 크기 차이를 발생시킨다.

주파수에 따른 물질의 전기적 특성 차이를 측정하기 위하여 용기와 패턴의 크기를 주파수에 반비례하여 제작한 후 측정한 결과, 그림 3과 같이 저주파일수록 농도에 따른 반사 손실의 차이의 최대값이 큰 것을 알 수 있다. 이는 기구의 크기를 달리 하며 시뮬레이션 한 결과와 동일한 경향을 보이며, 그림1의 저주파의 전기적 특성으로부터 설명할 수 있다. 공진 주파수에서의 반사 손실의 크기 및 위상차는 유전율, 손실 탄젠트, 도전율 모두가 관여하지만, 농도 변화에 따라 도전율이 가장 많은 변화를 보이고, 특히 주파수를 고려했을 경우 저주파에서 그 변화가 더욱 증가하므로, 저주파에서는 도전율이 농도차를 측정하는데 중요한 역할을 한다.

### III 결론

기존의 중단 개방 프로브와 시뮬레이션 툴을 이용하여 0%와 20% 글루코스 용액의 유전율, 손실 탄젠트, 도전율을 측정하였고, 링 형태 프로브와의 민감도를 비교하였다. 링 형태의 글루코스 센서는 루프 공진기로서 동작한다. 루프 내부에 위치한 글루코스 용액의 농도에 따른 전기적 성질 변화 중, 도전율 변화에 가장 크게 반응하며, 센서의 공진 주파수에서 위상과 크기가 변화로써 이를 측정할 수 있었다. 측정 주파수 중 가장 낮은 주파수인 285MHz에서 0.94의 반사 손실 차이를 보이며, 낮은 공진 주파수를 가지는 구조가 글루코스 농도차를 검출하는데 유리함을 알 수 있다.

### 참고문헌

[1] “당뇨병 기초통계연구 TFT”, *대한 당뇨병학회*, 2003  
 [2] Jhon L. Smith, "The Pursuit of Noninvasive Glucose", 2006  
 [3] Xinagjun Liao et al, "Dielectric Properties of Aqueous Solutions of  $\alpha$ -D Glucose at 915MHz", *Journal of Molecular Liquids*, 100/3, 2002  
 [4] 조태경. "Application of Radio Frequency Microwave Technique for Glucose Detection" *한국콘텐츠학회*, 2004

[5] S.Curto and J. Ammann, "Circular Loop antenna at 434 MHz for Medical Applications: Loop-Tissue Interaction", *ISSC* 2006

### 저 자 소 개

#### 이 기 혁 (학생회원)



2006년 : 고려대학교 전기전자전공학과 졸업 (공학사)  
 2006년 9월~현재 : 고려대학교 대학원 마이크로/나노시스템 석사과정  
 <주관심분야> 소형 안테나 설계

#### 이 국 주



2005년 : 고려대학교 전기전자전공학과 졸업 (공학사)  
 2006년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전파공학과 석사과정  
 <주관심분야> mm-wave 회로

#### 이 동 호



2004년 : 고려대학교 전기전자전공학과 졸업 (공학사)  
 2004년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자공학과 석박통합과정  
 <주관심분야> CMOS/InP MMIC 설계

#### 박 길 흥



1990년 : 고려대학교 대학원 의학과 (박사)  
 1987년~현재 : 고려대학교 의과대학 생화학 교수  
 <주관심분야> 유헬스케어, 방사선 생물학, 종양학