

# 2023년 제25회 한국 MEMS 학술대회

## 제25회 KMEMS 학술대회 ORAL SESSION

### Materials, Fabrication, Packaging and Simulation Technologies

3월 22일 수요일  
13:30~14:35

No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Organization
WO-1-01	Nanoscale three-dimensional printing based on mechanical buckling	안준성	박인규	한국기계연구원
WO-1-02	Fabrication of Flexible Aerogel by Ice-templating Process for Electrothermal Vacuum Pressure Sensors	이동현	최정욱	중앙대학교
WO-1-03	Fabrication of silicon-on-insulator structure via simultaneous internal and external oxidation of Silicon-on-Nothing (SON)	김태영	이정철	한국과학기술원
WO-1-04	Precise alignment of ultrathin silicon shadow mask using transfer printing	이상엽	김석	포항공과대학교

### Bio/Medical Micro/Nano Devices

3월 22일 수요일  
14:55~16:15

No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Organization
WO-2-01	Multifocal Plasmon-induced Photoacoustic Transducer Using Double-sided Fabrication of Microlens Integrated Plasmonic Nanopillar Arrays	나하민	정기훈	한국과학기술원
WO-2-02	세포의 침강 속도 차이를 이용한 줄 발열 기반의 혈구 용해 및 박테리아 분리 소자	배성훈	양성	광주과학기술원
WO-2-03	All-in-one cartridge for SARS-CoV-2 detection by using colorimetric LAMP reaction	왕칭양	정효일	연세대학교
WO-2-04	Simulation and Phantom Study of Piezoelectric Micro-pyramid Balloon Catheter Sensors	강요섭	류원형	연세대학교
WO-2-05	혈압 모니터링을 위한 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트	김동수	이동원	전남대학교

### Physical Micro/Nano Sensors and Systems

3월 23일 목요일  
08:00~08:50

No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Organization
TO-3-01	MagMaps: An economical, Lego-inspired, high-speed magnetic mapping system	아웨이스아메드	최홍수	대구경북과학기술원
TO-3-02	전자현미경의 전자 빔에 의해 발생하는 정전기력 구동	이승윤	이원철	한양대학교 ERICA캠퍼스
TO-3-03	Fabrication and Characterization of the Thermopiles with Different Thermocouple Lengths and Infrared Absorber Areas	이준엽	정대용	한국생산기술연구원

### Micro/Nanofluidics

3월 23일 목요일  
11:00~12:05

No.	Journal Title	First Author	Corresponding Author	Organization
TO-4-01	MEMS-based electrical nanoparticle counter using heterogeneous growth of water droplets and capacitive counting methods for ubiquitous monitoring of airborne nanoparticle	유성재	김용준	연세대학교
TO-4-02	Disposable microfluidic device for real-time droplet control	류재욱	한기호	인제대학교
TO-4-03	분리, 혼합, 농축 기능이 하나의 칩에서 동작 가능한 미세유체 소자	남영호	박재형	단국대학교
TO-4-04	폐수 정화를 위한 태양광과 나노동전기를 활용한 광촉매 기반 수처리 기술	서은석	박정열	서강대학교

# 혈압 모니터링을 위한 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트

<sup>1,3</sup> 김동수, <sup>1,2,3</sup> 이동원\*

<sup>1</sup> 전남대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 차세대 센서 연구 개발 센터,

<sup>3</sup> 심혈관 환자맞춤형 차세대 정밀의료기술 선도연구센터

E-mail: mems@jnu.ac.kr

## Smart stent integrated with L-C resonator for blood pressure monitoring

<sup>1,3</sup> Dong-Su Kim, <sup>1,2,3</sup> Dong-Weon Lee\*

<sup>1</sup>School of Mechanical Engineering, Chonnam National University

<sup>2</sup>Center for Next Generation Sensor Research and Development, Chonnam National University

<sup>3</sup>Advanced Medical Device Research Centre for Cardiovascular Disease, Chonnam National University

### Abstract

Several smart stents have been proposed in the past to continuously detect biological cues. Here, we propose a smart stent with integrated L-C resonators to detect blood pressure and evaluate the functional dynamics of the heart. The proposed smart stent is manufactured using microelectromechanical system (MEMS)-based micro machining technology and can detect and wirelessly transmit biological signals without a separate power source. The biocompatibility of the smart stent is confirmed through cytotoxicity tests that monitor the cell growth, viability of cultured cardiomyocytes. The capacitance of the smart stent shows a good linear relationship with the applied pressure. The excellent sensitivity of the pressure sensor allowed the proposed smart stent to detect biological signals during in vivo analysis. Finally, we demonstrate the practical potential of smart stents by monitoring diastolic and systolic at various beat rates using phantom system, indicating that the proposed smart stents can potentially be used in real-time applications.

**Keywords:** *Smart stent*(스마트 스텐트), *L-C resonator*(L-C 공진기), *Pressure sensor*(압력 센서), *Blood pressure*(혈압)

### 1. 서론

관상 동맥 질환은 동맥 경화와 혈관 내부의 플라크 형성으로 인해 발생하는 가장 흔한 심장 질환이다. 관상 동맥 질환을 해결하기 위하여 풍선 혈관 성형술과 스텐트 삽입술이 대표적으로 사용 중이며, 혈관에 축적된 플라크를 제거하고 혈류를 회복하는 역할을 한다[1]. 최근에는 스마트 스텐트라고도 하는 MEMS 기반 무선 압력센서가 집적화된 스텐트가 바이오 메디컬 분야에서 다양한 형태로 개발 중에 있다. 스마트 스텐트는 혈관에서 재협착이나 기타 기능 이상이 발생할 때 무선 신호를 통해 정보를 수집할 수 있으며, 스마트 폰과 같은 휴대용 장치로 실시간 모니터링이 가능하고 병원을 방문하지 않고 건강상태를 의사와 공유할 수 있다. LC 공진기가 집적화된 스텐트, 마이크로칩이 집적화된 스텐트 그리고 자기 탄성 센서가 집적화된 스텐트와 같이 다양한 감지 원리를 가진 스마트 스텐트가 연구 중에

있다[1]. 하지만 현재까지 개발된 스마트 스텐트는 표준 스텐트 시술 절차를 통해 혈관에 삽입할 수 없고, 마이크로칩이 스텐트 외부에 집적화되어 혈관에 손상을 줄 뿐만 아니라 혈류로 인해 센서가 스텐트에서 분리될 가능성이 존재한다.

본 연구에서는 혈압 모니터링을 위한 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 설계 및 제작 그리고 in vitro 특성 평가를 통해 활용 가능성을 확인하였다. L-C 압력센서는 MEMS 공정을 사용하여 2D 평면에서 제작하였다. Inductor coil 은 스텐트 영역의 60% 이상으로 설계하여 높은 표면적을 통하여 높은 감도를 달성하였다. 세포 독성 실험을 통하여 생체 적합성 및 바이오 메디컬 분야의 활용 가능성을 확인하였으며, 제안된 혈압 모니터링을 위한 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트를 활용하여 원격 진료 및 진단 서비스 분야에 활용될 것으로 기대한다[1].

### 2. 본론

#### 2.1 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 설계 및 제작

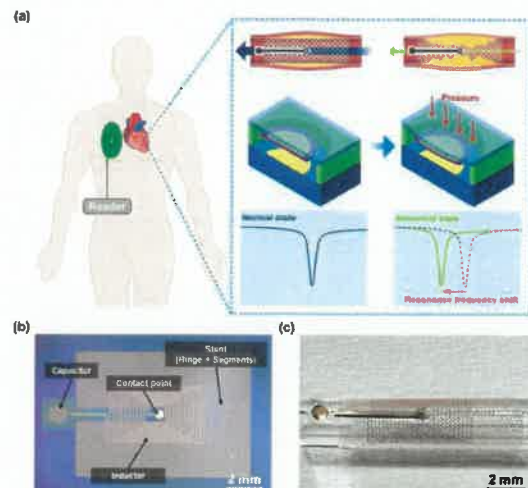


그림. 1 (a) 혈관의 압력 변화에 따른 L-C 공진기가

집적화된 스마트 스텐트의 작동 원리 (b, c) Self-rolling 전/후 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 광학 이미지

그림. 1 은 혈관의 압력 변화에 따른 스마트 스텐트의 작동 원리 및 self-rolling 전/후 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 광학 이미지를 나타낸다. Capacitor membrane 에 압력이 가해지면 capacitor plate 의 간격이 좁아지고, capacitance 가 증가한다. L-C 회로의 공진 주파수는 capacitor plate 에 작용하는 외부 압력에 비례하여 천이된다. L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 self-rolling 전/후 광학 이미지를 그림. 1 (b, c)와 같다. 스마트 스텐트는 inductor, capacitor, contact point, rigid segment, flexible hinge 로 구성되며, 2D 평면에서 제작 후 희생층(SiO<sub>2</sub>)을 제거하면 self-rolling 된다.

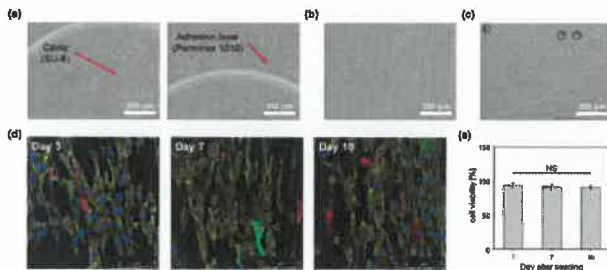


그림. 2 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 생체적합성 평가

제작된 스마트 스텐트의 생체적합성 확인을 위하여 NRVM isolation 을 통해 획득한 심근세포를 스마트 스텐트에서 배양하였다(1000 cells mm<sup>-2</sup>). 배양 후 3 일, 7 일 그리고 10 일차에 광학 현미경 및 ICC 염색을 통해 세포 생존을 확인하였으며, 심근 세포의 생존율은 배양 후 10 일째 95% 미만으로 감소하지 않는 우수한 생체적합성을 나타낸다(그림. 2).

## 2.2 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 특성 평가

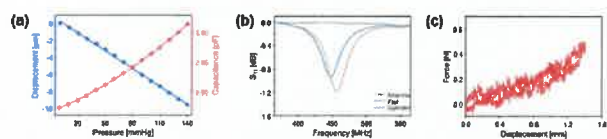


그림. 3 (a) 인가된 압력에 따른 capacitor membrane 의 변위 및 capacitance (b) Self-rolling 전/후 스마트 스텐트의 공진 주파수 (c) L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 radial force

그림. 3 은 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 전기, 기계적 특성 평가이다. 압력 챔버 환경에 스마트 스텐트를 위치시키고, syringe pump 를 이용하여 압력을 인가하였다. 0-140 mmHg 의 압력을 10 mmHg 간격으로 인가하였으며, 인가된 압력에 따른 capacitor membrane 의 변위 및 capacitance 를 측정하였다(그림. 3a). 제안된 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 self-rolling 전/후 공진 주파수를 측정하였다(그림. 3b).

스마트 스텐트의 초기 공진 주파수는 self-rolling 전 457 MHz, self-rolling 후 448 MHz 의 특성을 갖는다. L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 radial force 는 혈관 팽창 후 일정하게 유지할 수 있는 능력을 나타낸다. 만능 인장시험기 (Ez-Test EZ-L, Shimadzu)를 사용하여 radial force 를 측정하였으며, 스마트 스텐트의 외경이 3.0 mm 에서 1.4 mm 로 감소하는 동안 radial force 는 0.04 N mm<sup>-1</sup> 이다(그림. 3c).

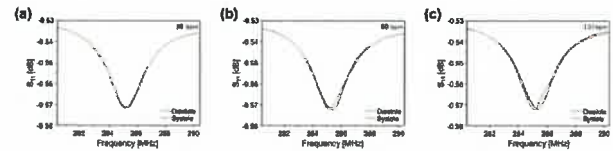


그림. 4 서로 다른 심장 박동에 따른 공진 주파수 천이 (a) 30bpm, (b) 60bpm 및 (c) 120bpm

마지막으로, 심장 모사 팬텀 시스템을 이용하여 심장의 수축기, 이완기와 같은 생물학적 신호를 모니터링하였으며, 제안된 스마트 스텐트의 in vivo 활용 가능성을 확인하였다. 심장 박동이 변하는 환경에서 스마트 스텐트의 공진 주파수 변화량은 30 bpm 에서 0.03 MHz, 60 bpm 에서 0.15 MHz 그리고 120bpm 에서 0.23 MHz 로 측정되었다. L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트를 이용하여 심장 모사 팬텀 시스템의 심박수와 혈압을 정량적으로 측정하고 심장의 기능적 역할을 분석하는 플랫폼으로 활용 가능성을 확인하였다(그림. 4).

## 3. 결론

본 연구에서는 혈압 모니터링을 위한 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 설계 및 제작 그리고 바이오 메디컬 활용을 위한 생체적합성 평가와 심장 모사 팬텀 시스템을 이용하여 생체 신호 감지 활용 가능성을 평가하였다. 심근세포 배양을 통해 세포 독성이 없는 우수한 생체적합성을 확인하였다. 심장 모사 팬텀 시스템을 활용하여 심장 박동에 따른 공진 주파수 천이를 측정함으로써 제안된 L-C 공진기가 집적화된 스마트 스텐트의 실용성을 검증하였다. 기계적, 전기적, 생물학적 안정성을 바탕으로 차세대 원격 의료 활용 가능성을 기대한다.

## 감사의글

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2020R1A5A8018367, 2022R1C1C2012280).

## 참고문헌

- Oyunbaatar, Nomin-Erdene, et al., Self-rollable polymer stent integrated with wireless pressure sensor for real-time monitoring of cardiovascular pressure." *Sensors and Actuators A: Physical* **346(16)**, 113869 (2022)
- Dong-Su Kim et al., Stress induced self-rollable smart-stent-based U-health platform for in-stent restenosis monitoring, *Analyst*, **147(21)**, 4793-4803 (2022)