

소화기관내의 압력 모니터링 시스템

Pressure Monitoring System in Gastro-Intestinal Track

김 용 인, 박 석 호, 김 병 규, 박 중 오*

(Yongin Kim, Sukho Park, Byungkyu Kim, and Jong-oh Park)

Abstract : Diseases in the gastro-intestinal track are on an increasing trend. In order to diagnose a patient, the various signals of the digestive organ, such as temperature, pH, and pressure, can offer the helpful information. Among the above mentioned signals, we choose the pressure variation as a monitoring signal. The variation of a pressure signal of the gastro-intestinal track can offer the information of a digestive trouble or some clues of the diseases. In this paper, a pressure monitoring system for the digestive organs of a living pig is presented. This system concept is to transmit the measured biomedical signals from a transmitter in a living pig to wireless receiver that is positioned out of body. The integrated solution includes the following parts: (1) the swallow type pressure capsule, (2) the receiving set consisting of a receiver, decoder box, and PC. The merit of the proposed system is that the monitoring system can supply the precise and repeatable pressure in the gastro-intestinal track. In addition, the design of low power consumption enables it to keep sending reliable signals while the pressure capsule is working in the digestive organ. The subject of the study for the pressure monitoring system is in-vivo experiments for a living pig. We achieved the pressure tracings in digestive organs and verified the validity of system after several in-vivo tests using pressure monitoring system. As a result, we found each organ has its own characterized pressure fluctuation.

Keywords : pressure monitoring system pressure capsule; gastro-intestinal track in-vivo test

I. 서론

최근 소화기관내의 질병이 점점 증가 하면서 소화기 질병의 진단을 위해 내시경의 기술은 계속 발전되고 있다. 또한, 내시경 기술의 발전에 있어서 내시경 시술시 환자가 받을 수 있는 고통과 불편함을 덜어주기 위해 캡슐형 내시경 기술이 부각되고 있는 추세이다. 캡슐형 내시경은 소화기관을 따라 연동운동을 통해 움직이면서 소화기관내의 다양한 영상정보를 외부로 전송한다[1][2]. 상용화 되어있는 M2A (Given Imaging)와 같은 캡슐형 내시경은 소화기 내부의 영상을 외부로 보내어 의사가 환자를 진단하는 데 사용되고 있다[1].

한편 이러한 소화기관내의 영상 이미지 외에 온도, pH, 압력등과 같은 다양한 생체신호들이 환자의 소화기관내의 질병을 진단하기위해 유용하게 쓰일 수 있을 것으로 생각된다. 그러므로 본 논문에서는 소형화하여 무선화 된 온도, 압력 pH를 측정 할 수 있는 기능성 캡슐형 내시경의 모듈에 대해 다루고자 한다.

In-vivo 상태에서 소화기관 내의 생체 신호의 측정에 대한 연구는 다양하게 이루어져 있다. Johannessen[3]은 4가지의 채널을 가진 마이크로시스템을 제안하였고 이 시스템을 통해 온도, pH, 전기 전도성, 산소를 측정하였다. 그러나 이 연구는 생체내의 압력 신호에 대해서는 다루고 있지 않았다.

특히, 생리화적인 연구를 위해 사람이나 돼지의 압력을 측정하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있기 때문에 장기내 압력신호를 측정하기 위해 새로운 장치의 개발과 측정 방법 등이 개발되었다. 우선 Togawa[4]는 위 내부와 장 내부의 압력신호를 측정하였고 여기에서 측정된 압력 신호는 위와 장의 연동운동과 복강의 압력이 합쳐져 나타난 신호라고 해석되었다. 하지만 생체내의 압력을 장시간동안 모니터링하기 위해서는 전체 모니터링 시스템으로부터 압력센서를 분리할 필요가 있다.

따라서 장기 내부의 압력을 모니터링하기 위한 삼키는 것이 가능한 압력 캡슐에 대한 연구가 많은 사람들에 의해 행해져왔다[5-9]. 특히, Mackey[10]는 고무풍선에 싸여진 압력센서를 사용하여 인체의 위와 대장을 포함한 여러 부위의 압력을 측정하였다. 하지만 위의 연구들은 소화기관내의 압력을 각각 소화기관에 따라 구분하여 분석하기에는 미흡한 것으로 알려져 있다.

본 논문에서는 압력 모니터링 원격 측정 시스템에 제안한다. 그림 1은 압력 모니터링 시스템의 개념에 대해 나타내고 있다. 이 시스템은 체내에서 측정된 생체의 압력 신호를 RF 송신부를 통해 외부로 보내고 체외의 수신부에서 송신된 압력신호를 수신하여 받아들이는 형태로 구성되어있다. 압력신호의 전달을 위해 사용되는 RF의 carrier frequency는 1.2GHz(Frequency Shift Keying)를 사용된다. 이 압력 모니터링 시스템은 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. (1) 삼킬 수 있는 압력캡슐로 이루어진 송신파트. (2) 수신기와 디코더, PC로 이루어진 수신파트. 본 압력 모니터링 시스템은 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째, 소화기관 내에서 정확하게 압력을 측정할 수 있다. 둘째, 압력 캡슐의 소비전력이 작아 전체 소화기관 내에서 모듈이 작동하면서 안정적으로 배터리의 전압을 유지할 수 있다. 마지막으로 측정된 압

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 9. 25., 채택확정 : 2004. 10. 13.

김용인, 박석호, 김병규, 박중오 : 한국과학기술연구원 (kuciewsza@kist.re.kr/shpark@kist.re.kr/bkim@kist.re.kr/jop@microsystem.re.kr)

※ 본 연구는 과학기술부의 21C 프론티어 사업의 일환인 지능형 마이크로 시스템 사업단의 지원을 받아 이루어졌습니다.

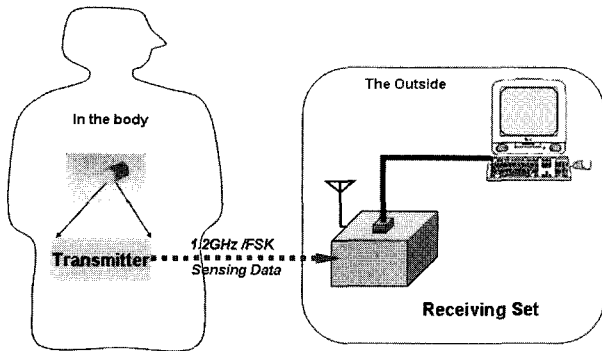


그림 1. 생체 내 압력신호의 원격측정 개념도.
Fig. 1. Concept of telemetry.

력 신호로부터 장기의 움직임이나 폐의 호흡, 심장의 박동 등의 원인을 분석해낼 수 있다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 압력 측정 모니터링 시스템의 전체 구성에 대해 설명하고 있다. 3장에서는 제작된 압력 캡슐의 압력 센서에 대한 자세한 설명과 압력캡슐 내의 무선 송신 모듈에 대한 설명으로 이루어져 있다. 그리고 4장에서는 압력 측정을 위한 실험적 검증으로 이루어져 있다. 살아있는 돼지의 생체실험을 통해 개발된 압력 모니터링 시스템의 안정성과 유용성에 대해 확인할 수 있다. 마지막으로 5장에서는 결론과 추후 진행방향에 대해 다루고 있다.

II. 압력 모니터링 시스템 구성

1. 전체 시스템

압력 모니터링 시스템은 살아있는 생체의 소화기관에서의 압력을 측정하기 위한 기능성 캡슐형 내시경의 형태로 구체화 되어진다. 아래의 그림 2는 압력 모니터링 시스템의 구조가 압력캡슐인 송신부와 외부의 수신부로 이루어짐을 나타내고 있다.

압력 캡슐은 측정된 압력 신호 데이터를 1.2GHz의 carrier frequency에 의해 외부의 수신기로 전송한다. 수신기에서는 수신된 데이터를 받아서 display하고 저장하게 된다. 한편, 압력 모니터링 시스템의 검증을 위해 살아있는 돼지에서 In-vivo 실험이 수행하였다.

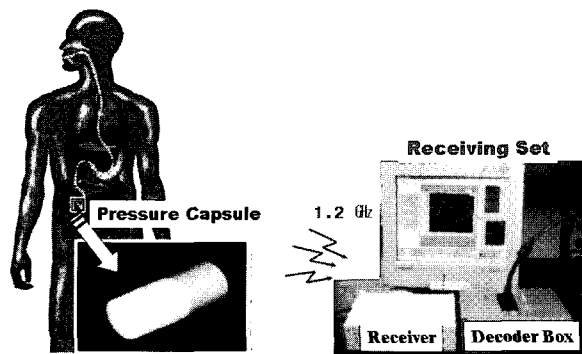


그림 2. 압력 모니터링 시스템 전체 구성.
Fig. 2. Setup of pressure monitoring system.

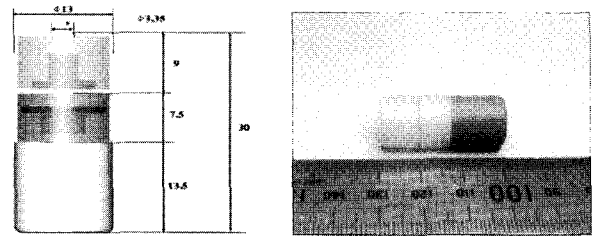


그림 3. 압력 캡슐 외관.
Fig. 3. Shape of pressure capsule.

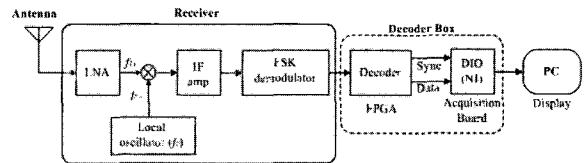


그림 4. 수신부의 블록다이어그램.
Fig. 4. Block diagram of receiving set.

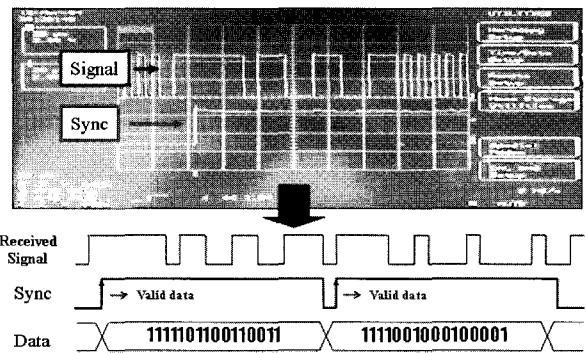


그림 5. 디코더부의 데이터 스트림.
Fig. 5. Data stream of decode.

2. 압력캡슐의 외관

압력캡슐은 입과 식도를 통해 삽입되어야 하기 때문에 가능한 소형으로 제작되어야 한다. 또한 외형은 소화기관을 지나기에 적절하도록 디자인되었다. 그림 3은 제작된 압력 캡슐의 외관을 나타낸다. 제작된 압력캡슐은 길이가 30mm 이고 직경이 13mm 이다. 이 캡슐은 상용의 압력센서와 안테나를 포함한 전자회로, 그리고 상용 배터리로 이루어져 있다. 그리고 조립이 끝난 후에 방수를 위해 테프론 테잎을 사용하여 외관을 감싸도록 되어있다.

3. 수신부

수신부의 블록다이어그램은 그림 4와 같다. 블록다이어그램에 나타난 바와 같이 압력 캡슐로부터 보내지는 데이터가 1.2 GHz로 modulate 되어있기 때문에 수신기는 송신기에서 보내온 데이터를 demodulate 한 다음 디코더 박스에 보낸다. 그리고 CPLD(Complex Programmable Logic Device) (XCR3064XL-10CP44C, Xilinx, USA)인 FPGA가 sync 신호와 데이터 신호를 분리해낸다. 여기에서 sync신호는 압력

캡슐에서의 측정 타이밍과 동기화 되어 있으며 positive edge에서 유효하다. 그림 5에서는 데이터 신호의 데이터 스트림이 나타나있다. 분리된 생체 신호들은 PC의 DAQ board (NI6024E, National Instruments of USA)로 보내어진다.

III. 압력캡슐의 개발

1. 압력센서 및 제어기

그림 6은 캡슐 내부에 들어있는 전자회로를 블록 다이어그램으로 나타낸 것이다. 압력캡슐은 상용으로 개발된 압력센서 (MS5535A, Intersema of Switzerland)을 사용하였다. 이 압력센서는 piezo-resistive 타입으로 Analog to Digital Converter (16bit)를 내장하였다. 그리고 본 압력센서의 분해능은 1.2 mbar이다.

압력센서로부터 4개의 선이 센서와 디지털 제어기 부분과의 통신을 담당한다. 상술하면 SCLK (Serial Clock = 125kHz)이 데이터 전송의 동기화를 담당한다. 센서로부터 출력 데이터의 선택은 센서로의 입력 제어신호로부터 결정된다. MCLK (Master Clock)은 AD conversion clock(32.768 kHz)을 의미하고, 이는 동시에 디지털 제어부에 공급된다.

디지털 제어기는 Verilog HDL에 의해 프로그램 되어져있다. 압력센서의 동작과 측정된 압력 데이터를 인코딩 후 송

신기로 보내기 위해 XCR3064-10CP56C (Xilinx)의 디지털 제어기가 사용 되었다. 이 칩은 압력센서를 작동시키기 위해 MCLK와 SCLK 신호를 생성하고 원하는 데이터를 측정하기 위해 센서로 제어신호를 내보낸다. 이 칩의 출력 파형은 무선전송과 측정된 압력신호를 재구성하기 쉽게 인코딩 되어져 있다.

그림 7은 압력캡슐이 압력센서와 디지털 제어부, 1.2GHz 송신기, 배터리로 이루어져 있음을 보여준다. 압력 캡슐 안에는 측정된 압력 데이터를 송신하기 위해 지름 10mm의 루프 안테나가 내장되어있다. 압력캡슐의 디지털 제어 파트는 양면 PCB 위에 압력센서, encoder, 전원부, 그리고 크리스탈로 구성되어있다. 컨트롤러의 사양은 표 1에 나타나있다.

크리스탈을 포함한 제어기의 크기는 두께 4.5mm, 직경 10mm이다. 압력센서와 전자 회로부는 3V의 Li-배터리에 연결되어져 있다. 이용된 Li-배터리는 negative electrode (anode)로 Lithium metal alloy를 쓰며 positive electrode (cathode)로 manganese dioxide를 사용한다. 배터리로부터 공급 가능한 파워는 평균 48mW이다.

그림 8은 배터리의 lifetime을 개선하기위해 배터리를 테스트한 그래프이다. 이 배터리의 출력은 160mAh이다. 일반적으로 소화기관을 모두 통과하기 위해서는 최소한 11시간 이상 압력캡슐이 동작하여야 한다. 그리고 캡슐내부 제어기의 정격 전압은 3.3V이지만 최소 작동 전압은 실험을 통해 약 2.2V임을 알 수 있었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 이 시스템은 11시간이 넘게 작동 후에도 배터리 전압이 2.2V 이

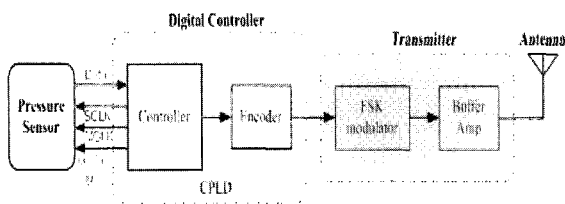


그림 6. 압력 캡슐의 블록다이어그램.
Fig. 6. Block diagram of pressure capsule.

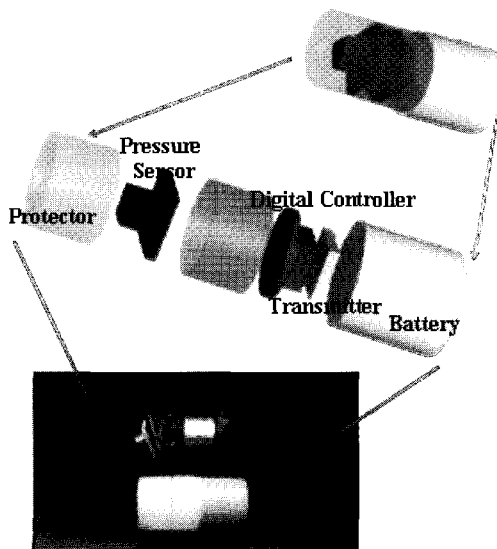


그림 7. 압력 캡슐 구조.
Fig. 7. Layout of pressure capsule.

표 1. 디지털 제어기 사양.

Table1. Specification of digital controller.

Feature	Value
Device	XCR3064-10CP56C
Voltage	3.3 V
Current	8 ~ 10mA
Used I/O	10
Frequency	4MHz

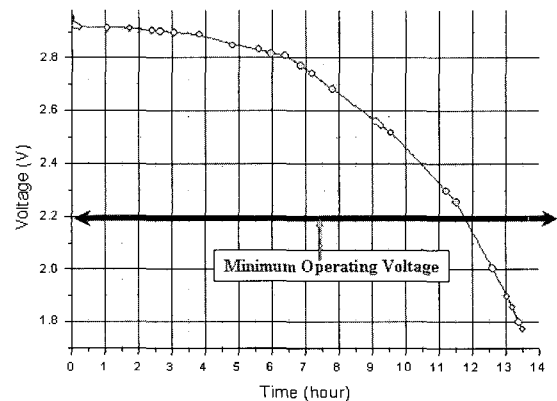


그림 8. 압력캡슐의 배터리 실험결과.
Fig. 8. Result of battery test for pressure capsule.

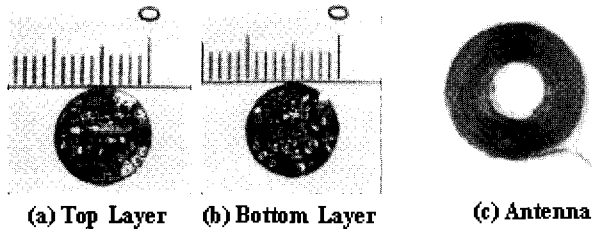


그림 9. 압력캡슐의 송신 모듈.
Fig. 9. Transmitting module for pressure capsule.

상을 유지함을 알 수 있다.

2. 무선 수신모듈 제작

무선 송신기는 출력의 특성을 안정화하기 위해 buffer amp 와 resonant로 VCO(Voltage Controlled Oscillator)를 사용했다. 여기서 buffer amp는 출력파위를 증폭하는 역할과 출력단에서 임피던스의 변화를 억제하는 역할을 한다. 그림 9-(a),(b)는 송신기의 PCB를 나타내며 크기는 직경이 10mm이며 두께는 2.3mm이고, 작동 전원사양은 $V_{ce} = 2V$, $I_c = 7mA$ 이다. 완성된 송신기의 파워 스펙트럼은 -3.67dBm이고 주파수는 1.224~1.244GHz 이다. 그림 9-(c)는 제작된 안테나를 나타내며 직경 10mm이고 두께는 0.8mm이다. 그리고 측정된 생체 신호를 지속적이며 안정하게 송출하기 위해 안테나의 방사 패턴은 전 방향 방사의 특성을 갖도록 설계되었다. 이 무선 송신기의 소비전류는 약 13~14 mA의 수준이다.

IV. 실험적 검증

1. 실험 방법

In-vivo 테스트는 연세대 병원 부속 동물실험실에서 수행하였으며 돼지에 대해 국소마취를 한 뒤 행해졌다. 이 실험의 목적은 압력모니터링 시스템이 안정적으로 작동을 확인하는 것이었다. 이 시스템의 동작을 검증하는 과정에서 신뢰할 만한 수준의 데이터의 검출과 무선 송, 수신을 위하여 다양한 실험이 행해졌다. 이러한 실험을 통해 개발된 압력모니터링 시스템은 생체내 소화기관의 압력을 안정적이고 신뢰성 있게 측정하고자 하는 목적에 부합되는 결과를 얻을 수 있었다. 그리고 또한 각 소화기관내의 장기마다 서로 다른 압력값과 고유한 압력파형을 얻을 수 있었다.

화기관내의 압력을 측정하는 실험에 앞서 압력캡슐의 출력 신호를 Calibration하기위한 초기실험을 수행하였다. 즉, 입력으로 압력을 변화시키면서 압력캡슐의 출력 데이터의 관계를 확인함으로 센서의 선형성을 테스트 할 수 있었다. 그림 10의 결과에서 나타난바와 같이 압력이 매우 작은 영역에서는 비선형적인 구간이 나타난다. 이것은 압력센서가 가지고 있는 특성으로 실제 소화기 내부의 압력은 100kPa 근처에서 존재하기 때문에 생체내의 압력을 측정하는 영역에서는 선형적인 특성을 보인다. 그리고 ADC의 노이즈에 기인하는 것으로 예상되는 떨림은 센서의 datasheet에 제안하는 바와 같이 4-8개의 압력측정값을 평균하여 출력으로 보내는 것이 적절하다[3,10,11].

2. 실험 과정 및 결과

그림 11은 생체내부의 압력 모니터링을 위한 in-vivo 테

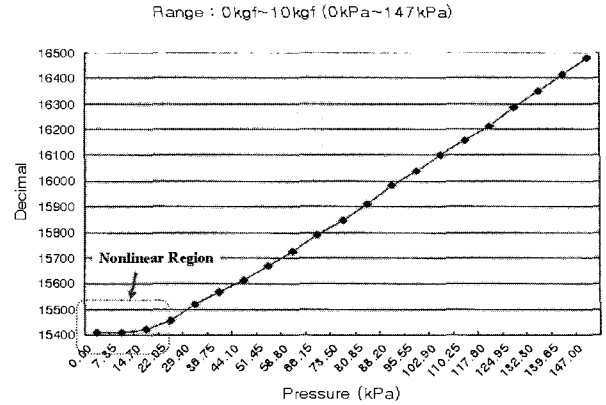


그림 10. 압력센서의 Calibration.
Fig. 10. Calibration for pressure sensor.

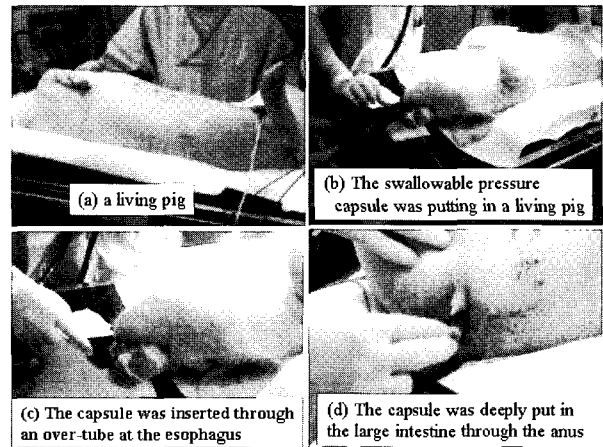


그림 11. In-vivo 실험.
Fig. 11. In-vivo test.

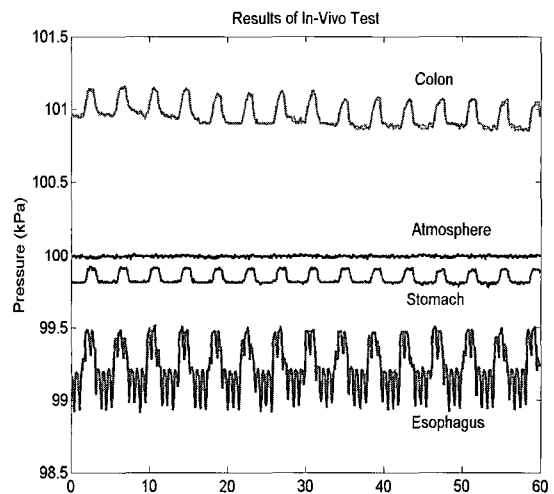


그림 12. In-vivo 실험 결과.
Fig. 12. Result of in-vivo test.

스트의 과정을 나타낸다. 그림 11-(a),(b)에서 먼저 압력캡슐을 살아있는 돼지에게 삼키게 하기 전에 대기압을 측정하게

표 2. 측정된 압력 데이터.

Table2. Measuring pressure data.

	Mean (kPa)	Max (kPa)	Min (kPa)	Max-Min (kPa)
Esophagus	99.22	99.52	98.91	0.61
Stomach	99.84	99.93	99.78	0.15
Colon	100.96	101.16	100.95	0.31

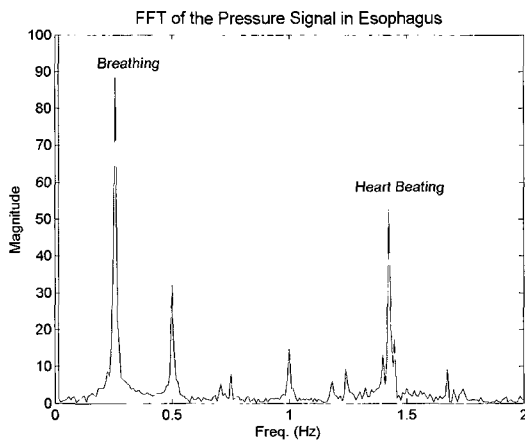


그림 13. 식도에서의 압력신호에 대한 FFT 결과.

Fig. 13. FFT of the pressure signal in esophagus.

된다. 대기압에서 측정된 신호는 다른 신호들의 기준값으로 사용될 수 있다. 다음으로 그림 11-(c)과 같이 압력캡슐을 over-tube를 통해서 살아있는 돼지에게 삼키게 하고 식도에서 압력을 측정한다. 그 이후에 압력캡슐은 위에 도달하게 되고 위장 내부의 압력을 전송한다. 마지막으로 그림 11-(d)에서와 같이 직장을 통해 대장 내부의 깊은 곳으로 압력캡슐을 이동 시킨 후 압력을 모니터링 한다.

그림 12는 개발된 압력 모니터링 시스템을 사용하여 in-vivo 상태에서의 장기내부의 압력을 측정한 결과이다. 처음 압력캡슐이 대기 중에 있는 상태에서 측정된 결과는 약 100kPa이다. 이 데이터를 통해 압력캡슐이 정상적으로 동작한다는 것을 알 수 있다. 다음으로 압력캡슐이 식도에 위치하여 전송한 압력 데이터는 평균값이 99.22kPa이며 그 범위는 98.91 ~ 99.52kPa 사이에 존재함을 알 수 있다. 다음으로 압력캡슐이 위에 도달 했을 때 의 압력 값은 99.78 ~ 99.93kPa 이며 마지막으로 대장에 도달 했을 때는 101.16 ~ 101.85kPa 임을 알 수 있다. 표 2는 측정된 압력파형의 특성치를 나타낸다.

압력센서 모듈의 실험결과를 통해 아래의 몇 가지 유용한 정보를 알 수 있다.

- 1) 대장의 압력값은 대기압의 압력보다 높은 반면, 식도와 위에서 측정된 압력값은 대기압보다 낮다. 그리고 위에 비해 식도에서의 압력이 더 작게 나타나는 것을 알 수 있다.
- 2) 압력신호의 파형은 장기의 운동 즉, 폐의 호흡운동과

심장의 박동에 기인한 진동이 있음을 알 수 있다. 이 것은 식도에서의 압력신호를 FFT (Fast Fourier Transform)을 취한 그림 13의 결과를 통해 분석이 가능하다. 즉, FFT의 결과에서 특성 주파수는 0.258Hz 와 1.425Hz이다. 0.258Hz의 주파수 (15.5cycle/min)는 폐의 호흡에 의한 진동이라 추정할 수 있고 1.425Hz의 주파수(85.5cycle/min)는 심장의 박동에 기인한 진동으로 볼 수 있다.

3) 호흡에 의한 진동은 모든 장기에서 나타난다. 하지만 심장 박동에 의한 진동은 특히 식도에서 잘 나타나고 있다. 이는 식도가 다른 장기에 비해 심장에 가깝게 위치해 있는 결과로 예상된다.

In-vivo 실험의 결과를 통해 소화기관 내의 각 장기에 대해 압력 값을 기준으로 서로 구별이 가능하다는 것을 알 수 있다. 그리고 각 장기마다 고유한 진동 특성이 있는 것도 알 수 있다. 이 결과는 측정된 압력신호를 통해 장기 내에서 압력캡슐이 어디에 위치하고 있는지를 역으로 추정할 수 있다. 추가적으로 이 압력캡슐을 이용하여 여러 의학적인 실험들이 행해진다면 호흡이나 소화기관의 장애를 진단하는데 많은 도움을 주는 시스템으로 발될 수 있을 것이다.

V. 결론

소화기관내의 압력 신호를 측정하기위한 압력 모니터링 시스템을 개발하였다. 본 시스템의 압력캡슐을 사용한 소화기관내의 압력측정을 통하여, 제안된 압력 모니터링 시스템이 안정적이고 신뢰성 있게 작동한다는 것을 검증할 수 있었다. 즉, in-vivo 실험을 통하여 데이터의 재현성과 정확성을 확인할 수 있었다. 저전력으로 구동 가능하도록 압력캡슐의 설계 및 제작을 통해 입으로부터 항문에 이르는 전체 소화기관내의 압력신호를 얻는 것이 가능하다. 추가적으로 장기마다 각각의 고유한 압력파형을 갖는다는 것과 그 파형이 폐의 호흡운동이나 심장의 박동과 연관된다는 것을 알 수 있었다. 또한 각각의 장기마다의 압력특성으로 인해 압력신호를 통해 캡슐의 위치를 역으로 추정가능하게 되었다.

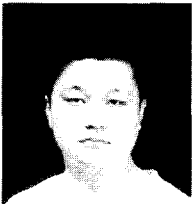
한편 in-vivo 실험은 돼지를 국부 마취한 상태에서 이루어졌고 돼지의 호흡도 기계적인 호흡 기구를 사용되어졌다. 따라서 측정된 호흡 주파수는 호흡 기구의 주파수에 의해 결정된다. 그리고 압력캡슐을 돼지의 내부에 넣기 위해 기존의 내시경이 사용되는데 내시경의 공기 주입기능으로 인해 각 장기에 압력이 증가된다. 결과적으로 측정된 압력신호는 호흡 기구와 내시경의 공기 주입기능으로 인해 약간 변형된 신호라는 개연성을 가지고 있다.

위의 문제점을 줄이기 위해 앞으로 실제로 살아있는 돼지의 활동하는 환경에서의 in-vivo 실험을 수행하는 것을 목표로 하고 있다. 추가적으로 제안된 압력 모니터링 시스템을 사용한 많은 임상적 실험을 수행한다면 장기의 질병을 진단하는데 유용한 정보를 줄 수 있을 것이다.

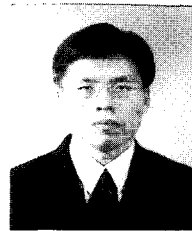
참고문헌

[1] G. A. Douglas and J. G. Christopher, "State of the art - wireless capsule endoscopy," *Hospital Physician*, May, 2003, pp. 14-22.

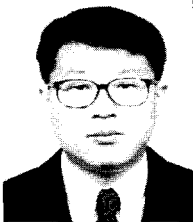
- [2] http://www.rfnorika.com/e_system/e_system_001.html
- [3] E. A. Johannessen, L. Wang, L. Cui, T. B. Tang, M. Ahmadian, A. Astaras, S. W. Reld, P. S. Yam, A. F. Murray, B. W. Flynn, S. P. Beaumont, D. R. Cumming, and J. M. Cooper, "Implementation of multichannel sensors for remote biomedical measurements in a microsystems format," *IEEE Tran. Biomedical Engineering*, vol. 51, no. 3, 2004, pp. 525-535.
- [4] T. Togawa, T. Tamura, and P. A. Oberg, "Biomedical transducers and instruments," *CRC press*, 1997, pp. 13-71
- [5] J. T. Farrar, V. K. Zworykin, and J. Baum, "Pressure-sensitive telemetering capsule for study of gastrointestinal motility," *Science*, vol. 126, pp. 975-976, 1957.
- [6] R. S. Mackay, "Radio telemetering from within the human body," *IRE Trans. Med. Electron.*, vol. 6, pp. 100-105, 1959.
- [7] J. T. Farrar, C. Berkley, and V. K. Zworykin, "Telemetering of intraenteric pressure in man by an externally energized wireless capsule," *Science*, vol. 131, pp. 1814, 1960.
- [8] C. N. Smyth, and H. S. Wolff, "Application of endoradiosound or "wireless pill" to recording of uterine contractions and foetal heart sounds," *lancet*, vol. 2, pp. 412, 1960.
- [9] M. B. Rappaport, E. H. Bloch, and J. W. Irwin, "A manometer for measuring dynamic pressures in the microvascular system," *J. Appl. Physiol.*, vol. 14, pp. 651, 1959.
- [10] R. S. Mackay, "Bio-medical telemetry," *IEEE press*, 2nd Edition, 1993.
- [11] <http://www.intersema.ch/site/technical/ms5535.php>
- [12] http://www.sanyo.com/batteries/lithium_ind.cfm

**김 용 인**

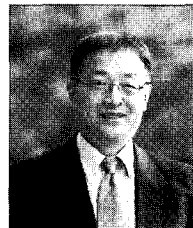
1977년 11월 30일생. 2003년~현재 고려대학교 전기공학과 대학원 재학중. 2003년~현재 한국과학기술연구원(KIST) 학생연구원. 관심분야는 마이크로 로봇, RF Telemetry.

**박 석 호**

1971년 3월 13일생. 2002년 한국과학기술원(KAIST) 기계공학과(공학박사). 2004년~현재 한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원. 관심분야는 마이크로 로봇, Micro Actuator, Micro Manipulation.

**김 병 규**

1965년 2월 7일생. 1997년 Univ. of Wisconsin 기계공학과(공학박사). 2000년~현재 한국과학기술연구원(KIST) 선임연구원. 관심분야는 마이크로 로봇, Micro Actuator, MEMS Simulation.

**박 중 오**

1955년 9월 13일생. 1987년 Univ. of Stuttgart(in Germany) 기계공학과(공학박사). 1982년~1987년 Institut Produktionstechnki Automatisierung 객원 연구원. 1987년~현재 한국과학기술연구원 마이크로시스템 센터 책임연구원. 지능형 마이크로 시스템 센터 단장. 관심분야는 마이크로 로봇, MEMS.