

캡슐 내시경의 기술적 특징과 동향

종신회원 김 기 윤^{*o}, 정회원 원 경 훈^{**}, 종신회원 최 형 진^{**}

Technical Characteristics and Trends of Capsule Endoscope

Ki-yun Kim^{*o} *Lifelong Member*, Kyung Hoon Won^{**} *Associate Member*,

Hyung-Jin Choi^{**} *Lifelong Member*

요 약

캡슐 내시경은 인체 내부의 소화기관 병변을 조사할 수 있는 캡슐 모양의 전자장치로서 인체 내에 케이블을 삽입하는 기존 푸시 타입(push-type)내시경과는 달리 환자에게 공포와 고통을 주지 않는 시술로 인식되고 있어, 최근 환자와 의사 모두에게 큰 관심을 끌고 있다. 이 기술은 바이오 기술(BT), 정보통신 기술(IT), 나노 기술(NT) 등의 성숙과 융합으로 2000년에 들어와 처음으로 가능하게 되었으며, LED를 포함한 광학계와 이미지 센서, 통신 모듈, 파워 모듈 등으로 구성되어 있다. 캡슐 내시경은 첨단 기술의 총체로 유비쿼터스 시대에 다양한 기술 분야의 핵심 기술을 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 캡슐 내시경의 구성에 대해 소개하고, 현재 데이터 전송을 위해 사용되고 있는 대표적인 RF 무선 통신 방식 및 인체 통신 시스템 방식에 대해 비교하였다. 아울러 현재 상용된 캡슐 내시경의 사양을 비교 분석하고, 미래의 캡슐 내시경의 진화 방향과 기술적 도전 과제를 제시하였다.

Key Words : 캡슐 내시경, 인체 통신, 무선 통신, 소형화 기술, 융합 기술

ABSTRACT

Capsule Endoscope(CE) is a capsule-shaped electronic device which can examine the lesions in digestive tract of human body. Recently the medical procedure using capsule endoscope is receiving great attention to both doctors and patients, since the conventional push-typed endoscope using cables brings great pain and fear to the patients. The technique was firstly available in 2000 and is based on a convergence techniques among BT(Bio Technology), IT(Information Technology), and NT(Nano Technology). The device consists of an optical parts including LEDs(Light Emitting Diodes), an image sensor, a communication module and a power module. Capsule endoscope is the embodiment of the state-of-the art technology and requires key technologies in the various engineering fields. Therefore, in this paper, we introduce the composition of the capsule endoscope system, and compare the communication method between RF(Radio Frequency) communication and HBC(Human Body Communication), which are typically used for data transmission in the capsule endoscope. Furthermore, we analyze the specification of commercialized capsule endoscopes and present the future developments and technical challenges.

I. 서 론

유비쿼터스 시대를 맞아 정보통신을 기반으로 다

양한 기술이 융합되고 있는 가운데 최근 최첨단의 의료 기술인 캡슐 내시경(CE: Capsule Endoscope)에 많은 관심이 집중되고 있다. 캡슐 내시경은 우리가

※ 본 연구는 지식경제부 우수기술연구센터(ATC) 사업(10035991) 지원으로 수행되었습니다.

* 명지전문대학 정보기술계열 전기과(kkim@mjc.ac.kr), (°:교신저자) ** 성균관대학교 정보통신대학(kairress, hjchoi}@ece.skku.ac.kr)

논문번호 : KICS2012-03-109, 접수일자 : 2012년 3월 4일, 최종논문접수일자 : 2012년 4월 16일

일상적으로 먹는 비타민 알약 크기의 전자장치로서 이를 입을 통해 삼키면 캡슐이 소화기관의 연동운동과 중력에 의해 이동하여 인체 소화기관 내부를 촬영하고 촬영된 정보를 통신을 통해 외부로 전달하여 의료진이 내부 병변을 판단할 수 있게 하는 장치이다¹⁻³⁾.

따라서, 캡슐 내시경은 사람이 삼켜도 될 만큼의 안정성을 가지는 바이오 기술(BT: Bio Technology)과 작은 캡슐에 촬영을 위한 이미지센서, 조명, 고성능 배터리(battery), 회로 및 기구물 등이 집약되어 소형화를 이루는 나노 기술(NT: Nano Technology), 그리고 데이터 메모리 크기 한계로 인해 디지털 영상 정보를 캡슐에 직접 저장하지 못하고 외부로 송신해야하는 정보 통신 기술(IT: Information Technology)이 접목되어야 하는 매우 융합성이 강한 특징을 가지며, 아울러 각 부분에 최신의 기술이 요구되는 장치다.

캡슐 내시경과 관련한 기본 아이디어는 1966년 공상과학영화 <마이크로 결사대>(Fantastic Voyage)에서, 잠수함을 탄 사람들이 미생물 크기로 작아져 인체 내부에 투입되어 인간의 생명을 구하는 영화에서 시작을 찾을 수 있다⁴⁾. 이후로 1987년 <이너스페이스> 라는 공상과학영화의 주인공이 실리콘벨리의 극비 초소형 프로젝트의 비행선 조종사로 잠수정을 타고 인체 내부를 탐험한다는 다소 코믹한 영화도 있었다. 이렇듯 초소형 캡슐을 이용한 인체 탐험은 인간 상상력의 산물이며, 최근 전자 기술의 발달과 통신 기술의 발달, 그리고 인체 장기에 대한 바이오 기술 지식 축적으로 마침내 상용화가 가능하게 되었다⁵⁾.

최근 통계를 보면 음식문화와 생활습관 등의 원인으로 위암, 식도암, 대장암 등 소화기관 암의 발병율이 증가하고 있으며, 이에 따라 건강 검진 등을 통한 예방 목적 내시경 진단이 급증하고 있는 추세다. 그러나 일반적인 호스관을 삽입하는 내시경은 환자에게 고통과 공포를 유발하며, 수면 내시경시 약제에 대한 부작용의 부담이 있으나 캡슐 내시경은 이에 대해 자유로울 수 있어 관심을 끌고 있다.

본 논문에서는 아직 국내에서는 논문으로서 심도 있게 소개된 적이 없는 캡슐 내시경에 대한 기술적 특징과 동향을 기술하고자 한다. 먼저 II 장에서는 캡슐 내시경 시스템의 전체 구성에 관해 소개하고 III장에서는 통신 방식 관점에서 RF 무선통신방식과 대별되는 HBC 통신방식을 비교 설명한다. IV장에서는 현재 상용화된 캡슐 내시경 현황을 살펴보고

V장에서는 미래 캡슐 내시경의 기술적 과제를 살펴본다. 그리고 끝으로 VI 장에서 본 논문의 결론의 맺는다.

II. 캡슐 내시경 시스템의 구성

현재 출시되고 있는 대부분의 캡슐 내시경 시스템은 그림 1과 같이 크게 캡슐(capsule endoscope), 수신장치(receiver), 진단장치(diagnosis system)로 나누어 구현되고 있다.



그림 1. 캡슐 내시경 시스템 구성 요소
Fig. 1. Composition of CE systems

2.1. 캡슐 내시경(Capsule Endoscope)

일반적으로 캡슐 내시경은 삼키기 쉬운 11 x 26 mm 이하의 크기로 작은 알약 모양을 가지며, LED를 포함한 광학계, 이미지 센서(image sensor), 배터리, 통신 장치 등을 포함한다. 캡슐의 소재는 소화관 내에서 부식되지 않으며 인체에 무해한 재질로 만들어진다. 캡슐은 초당 수~수십장의 정지 영상을 촬영하며(단위: fps(frame per sec)), 환자가 허리 등 몸에 소지한 그림 1.(b)와 같은 수신장치에 데이터를 송신한다. 캡슐은 상용화된 제품마다 편차가 있지만 보통 8시간 이상 몸속의 소화관 내 영상을 촬영하며 5만장 이상의 정지영상을 송신한다. 캡슐의 렌즈(lens)는 가능한 넓은 광각(FOV: Field of View)를 가지는 것이 좋으며 최소 140도 이상으로 구현되고 있다. 한 번 사용된 캡슐은 자연 배출로 그 역할을 다하게 되며 재사용되지 않는다.

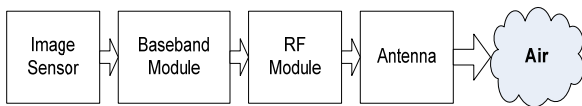
2.2. 수신장치(Receiver)

수신장치는 소화기관내 촬영한 정지 영상을 캡슐로부터 수신하여 저장하는 통신 장치다. 일반적으로 심전도에서 정확한 측정을 위해 다수의 패치를 붙이고 검사를 수행하듯이 수신장치와 연결된 여러 개(보통은 8개)의 패치를 복부에 붙이고 그 중 우수한 감도의 신호를 받아 복조 후 데이터를 저장한다. 저장데이터의 용량은 정지 영상의 촬영속도와 화질에 따라 달라지며 최대 수십 Gbyte 용량에 달한다.

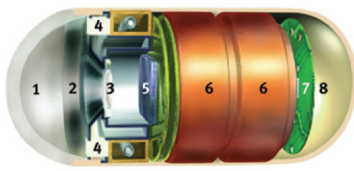
환자는 수신장치를 몸에 휴대하고 일상생활이 가능하며, 캡슐과 마찬가지로 8시간 이상 데이터를 수신해야 하므로 배터리 소모가 적은 저전력, 경량화된 수신장치가 필요하다.

2.3. 진단장치(Diagnosis System)

환자가 진단을 마치게 되면 수신장치를 병원에 돌려주게 되며, 수신장치에 저장된 영상 데이터는 병원내의 진단장치(work station 또는 PC)로 복사된다. 의사는 진단을 위해 특별히 마련된 진단 장치의 진단 S/W를 통해 병변이 있는지를 판독한다. 비디오 동영상과 같은 편의 기능도 제공되며, 전방향 및 역방향 탐색도 가능하다. 판독시간 단축을 위해 병변이 의심되는 지점을 자동으로 알리는 기술이 개발되고 있으며, 아울러 병변이 어느 지점에서 발생했는지 보다 정밀하게 알 수 있는 기술도 개발되고 있다. 최근에는 수신장치가 PC 및 스마트폰과 무선으로 연동하여 실시간 모니터링도 가능한 기술이 개발되고 있다.

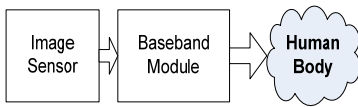


(a) 통신 블록도
(a) Communication block diagram

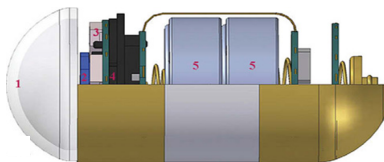


(b) 캡슐 구성 요소
(b) Composition of CE

그림 2. RF 통신방식 캡슐 내시경 구조
Fig. 2. CE structure of RF communication



(a) 통신 블록도
(a) Communication block diagram



(b) 캡슐 구성 요소
(b) Composition of CE

그림 3. HBC 통신방식 캡슐 내시경 구조
Fig. 3. CE structure of HBC

Ⅲ. 통신 기술 구분에 의한 캡슐 내시경

3.1. RF 통신 방식

캡슐 내시경이 최초 개발된 이래 영상 데이터 전송을 위한 통신 방식으로서 RF(Radio Frequency) 무선 통신방식이 주로 사용되었으며, 현재 한국의 (주)인트로메딕을 제외한 세계 여러 나라의 모든 제품은 RF 통신 방식을 사용하고 있다. 주파수 대역은 402~405 MHz와 ISM(Industrial Scientific and Medical) 대역인 433.92 MHz가 대표적이다. 즉, RF 무선 통신 방식은 이미지 센서로부터 촬영된 정지 영상 데이터를 RF 모듈 및 송신 안테나를 거쳐 인체 밖으로 무선 송신하고 수신기는 이를 수신안테나로 RF 수신하고 복조하여 데이터를 저장한다. 그림 2.(a)에 캡슐 내시경의 내의 RF 통신 동작 블록도를 나타내었다.

RF 통신 방식에 의한 캡슐 내시경의 하드웨어 구조는 그림 2.(b)에 나타난 바와 같이 1:광학 돔(dome), 2:렌즈 홀더, 3:렌즈, 4:LED, 5:이미지 센서, 6:배터리, 7:ASIC, 8:안테나로 구성된다⁶⁾.

3.2. HBC 통신 방식

HBC(Human Body Communication)방식 또는 인체 통신 방식이라고 불리는 이 기술은 인체도 하나의 도전체임을 이용하여 캡슐에서 획득한 영상 디지털 정보를 미세 전압/전류 신호로 변환한 뒤 인체를 채널로 전송하면 몸에 부착한 패치가 전계 신호를 감지하여 검출한 뒤 복조하는 기술을 말한다. 이 기술은 IEEE 802.15.6 WPAN 산하 TG BAN(Body Area Network)에서 논의되고 있으며, 인체 채널 모델 중 인체 내부에서 인체 외부로의 통신 모델인 CM(Channel Model) 2에 해당하는 기술이다. HBC 기술을 캡슐 내시경에 적용하고 상용화한 것은 한국의 (주)인트로메딕이 세계 최초이며, 이 회사는 이 부분에 원천특허를 보유하고 있다.

동작원리는 디지털 데이터 전송을 위해 2개의 전극 금속 띠를 지닌 캡슐이 정보 1과 0에 따라 서로 다른 극성(+,-)의 변화를 발생시킨다. 이때 흐르는 전류는 건강검진에 사용되는 매우 약한 전류로 인체에 전혀 무해한 수준이다.

그림 3.(a) 및 그림 3.(b)는 HBC 통신 방식의 캡슐 내시경 시스템 구조를 나타낸 것이다. 그림 2.(a) 및 그림 2.(b)의 RF 방식 캡슐 내시경 시스템과는 달리 RF 및 안테나 소자가 필요하지 않기 때문에 소형화 및 저전력 설계가 가능한 장점을 지닌다.

표 1. 세계 캡슐 내시경 개발 성능 비교분석
Table 1. Comparison of performances among CEs

항목	소장 내시경			
	기븐 이미징 SB/SB2	올림푸스 EndoCapsule	CJST OMOM	인트로메딕 MiroCam
크기(D×L)	11×26mm	11×26mm	13×27.9mm	11×24mm
무게	3.45g	3.8g	<6g	3.4g
해상도	256×256	N/A	320×240, 640×480	320×320
프레임 촬영 속도	2 fps	2 fps	2 fps(1 fps, 0.5 fps)	3 fps
동작 시간	8 hr	8 hr	8 hr	11 hr
Field of View	140°/156°	145°	140°	150°
통신 기술	RF	RF	RF	HBC
Real Time Viewer	No/Yes	Yes	Yes	Yes

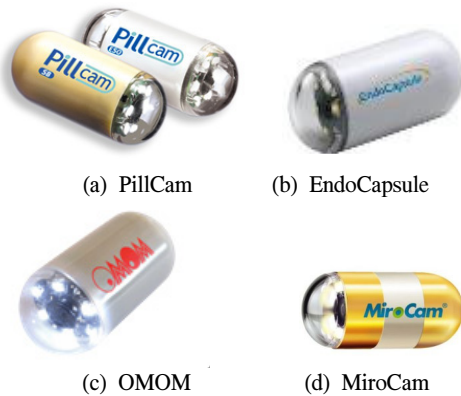


그림 4. 상용화된 캡슐 내시경의 종류
Fig. 4. Commercialized CEs

그림 3.(b)의 캡슐은 1:광학 돔(dome), 2:렌즈, 3:LED, 4:이미지 센서, 5:배터리로 구성된다^[3].

IV. 캡슐 내시경 개발 현황

캡슐 내시경 관련 기술 개발은 세계의 여러 국가들과 유럽 공동체 연합 등에서 국가 주도 R&D의 주요 기술 개발 항목으로 지정할 정도로 관심이 집중되고 있는 분야이다. 현재 캡슐 내시경을 개발하여 상용화한 국가는 우리나라를 포함한, 이스라엘, 중국, 일본의 4 개국뿐이다^[2,3].

우리나라에서도 21세기 프런티어 사업 내 지능형 마이크로 시스템 개발 사업단에서 지난 10년간 캡슐 내시경 시스템의 개발 및 고성능화를 위한 집중 투자가 이루어졌으며 그 산물로서 한국의 (주)인트로메딕에서 소장용 캡슐 내시경 시스템 개발 및 상용화의 계기가 마련되었다^[7,8].

캡슐 내시경은 첫 상용화는 2000년도에 이스라엘의 기븐 이미징(Given Imaging)사의 M2ATM이었다. 이후 기븐 이미징은 소장용 PillCam™ SB 캡슐 내시경을 출시시켰으며, 2001년 FDA 승인을 거쳐 현재 전세계 80~90%의 시장 점유율을 차지하고 있다^[9].

일본의 올림푸스(Olympus)는 2005년 Endo Capsule을 출시하였다. 앞선 광학 기술을 바탕으로 CCD(Charge-Coupled Device) 센서를 사용하여 영상의 밝은 시야를 확보하였다^[10].

중국의 CJST(Chongqing Jinshan Science and Technology)는 2004년 OMOM을 개발하였다. CJST는 중국의 국영기업으로 캡슐로봇, pH 캡슐 등 다양한 종류의 캡슐 내시경 개발 투자를 진행하고 있으며, 2005년 중국 FDA(SFDA) 승인을 획득하였다. 그러나 크기, 영상 촬영속도 등 다른 제품에 비해 다소 열위에 있는 것으로 분석된다^[11].

다음 표 1은 현재 캡슐 내시경을 생산하고 있는 세계 여러 업체들의 소장용 캡슐의 사양 및 성능을 비교 분석한 것이다. 표 1에 나타난 바와 같이 인체 통신 방식을 사용하고 있는 인트로메딕의 MiroCam 제품은 RF 통신 방식을 사용하지 않기 때문에 상대적으로 저전력 설계가 가능하며, 촬영시간이 다른 제품에 비해 길며, RF 모듈 및 안테나가 필요하지 않아 소형화가 가능하며, 경쟁력을 갖춘 제품으로 평가받고 있다^[3].

V. 미래 캡슐 내시경의 기술적 과제

캡슐 내시경 기술의 궁극적 목표는 의료진이 일반 내시경을 직접 조작하여 내시경의 위치와 주시

각을 조절하듯이, 캡슐 내시경에서도 마찬가지로 자세 및 위치를 자유자재로 조정하거나, 구동 기능을 갖춘 캡슐이 의료진의 원격 조정을 받아 움직이며 조직 채취 및 치료와 같은 정해진 임무를 수행하도록 하는 것이다.

그러나 아직 기술적 한계로 이 단계까지 이르지 못한 상황이며, 장의 연동운동과 중력에 의해 자연적으로 이동하며 소화기관 내를 촬영하고 있다. 따라서 캡슐 내시경은 고비용 및 정확도 부족 측면에서 위와 대장 등에는 적극 사용되지 않고 있으며, 현재 일반 내시경으로 관찰이 어려운 소장 질환의 검사에 주로 사용되고 있다.

5.1. 소형화 기술

일반 내시경에서 의사가 필요로 하는 기능은 이미 기술적으로 완성도 높게 구현되고 있지만, 이를 캡슐 내시경에서 모두 갖추는 일은 소형화 문제로 인한 기술적인 한계가 있다.

그림 5에 나타낸 바와 같이 캡슐 내시경은 크게 6가지 정도의 기능이 요구된다. 광학 돔 및 LED 조명을 포함한 광학계(optical parts), 영상 정보를 획득하는 이미지 센서(image sensors), 데이터를 외부로 송수신하기 위한 통신 시스템(communication system), 전력을 공급받거나 조달하는 전력 시스템 또는 배터리(power and battery), 조직 채취, 약물 도포 및 간단한 외과 수술 등의 수술 도구(surgical tools), 그리고 원하는 영역을 촬영하고 수술하기 위해 자체적으로 움직일 수 있는 구동장치(locomotion device)가 그것이다. 그러나 삼킬 수 있는 캡슐의 사이즈는 제한적이기 때문에 현재의 기술로 언급한

모든 기능이 탑재되기는 어려우며 기본적으로 필요한 영역인, 광학계, 이미지 센서, 통신 시스템, 배터리 등 만이 포함되어 구현되고 있다. 따라서 정해진 캡슐 크기에 수술도구와 구동 장치까지 포함하려면 해당 기술의 소형화 기술은 물론 다른 기능의 모듈 역시 소형화 되고 집약될 수 있는 기술이 개발되어야 한다.

표 2는 현재 제품으로 출시된 캡슐 내시경의 사양을 나타낸 것이다. 인체내부는 암흑 같이 어둡기 때문에 조명이 필요하며, 저전력 LED가 4~6개 정도가 사용되어 정지 영상을 촬영할 때 마다 촬영 타이밍에 맞춰 빛을 낸다. 즉, 전력 소모를 줄이기 위해 촬영속도가 3 fps 일 경우 1초에 3번 빛을 밝힌다. 배터리는 캡슐이 노출되어도 인체에 무해한 종류의 것으로 사용하며 소장 캡슐 내시경의 경우 동작 시간(life time)이 8시간 이상 전원 공급이 이루어지도록 설계되어야 한다. 이미지 센서는 CCD 및 CMOS(Complementary Metal Oxide Silicon) 센서가 사용되고 있으며, CCD 센서는 CMOS 센서보다 좋은 품질의 영상을 제공하는 것으로 알려져 있으나 전력소모가 많은 단점이 있다. 현재 올림푸스에서 CCD 센서를 사용하고 있다. 통신 방식은 RF 무선통신 방식이 HBC 통신 방식에 비해 안테나 및 RF 모듈이 필요한 관계로 더 많은 전력소모와 공간을 차지하는 단점을 지닌다. 그러나 이러한 기술적 한계를 극복하고 이스라엘의 기본 이미징은 그 동안 축적한 기술력과 투자를 바탕으로 고속 촬영(최대 35 fps)이 가능한 캡슐 내시경 PillCam Colon2 를 개발하여 대장 검사에 적용하고 있다.

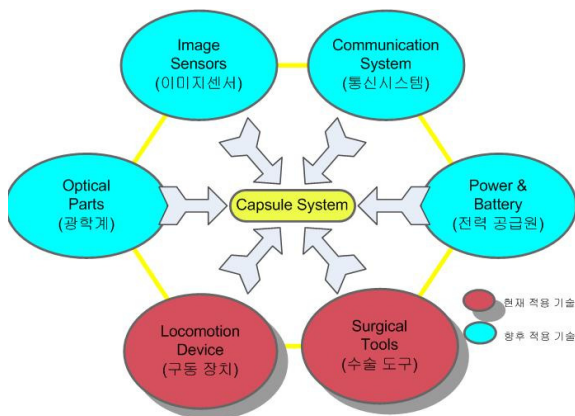


그림 5. 캡슐 내시경의 필요 기능
Fig. 5. Required fuctions of CE

표 2. 캡슐 내시경 사양 현황
Table 2. Specification of commercialized CE

	적용 내용	관련 사양
LED	4~6개 (10~20 mW)	밝기, 촬영속도(fps)
배터리	3V(1.5 V x 2개) 8~80mA	동작시간(촬영시간), 8시간 이상
센서	CCD, CMOS	화질, 전력소모
통신 방식	안테나 및 RF 모듈 존재 여부 및 크기	통신주파수, 변조방식

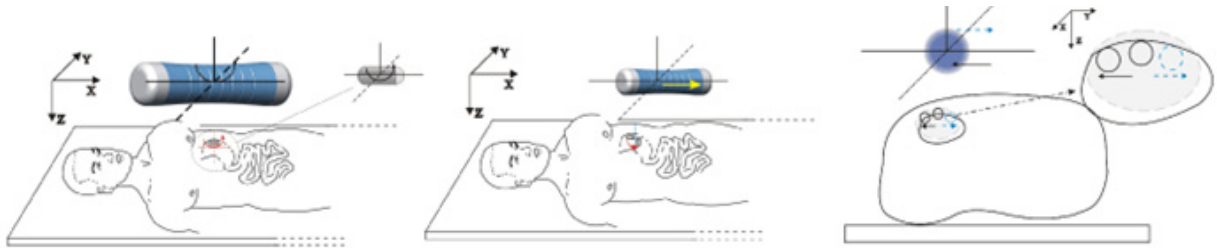


그림 6. CJST의 전자기적 캡슐 유도 메카니즘
Fig. 6. Electromagnetic-guided mechanism of CJST

5.2. 캡슐 자세 제어 기술

현재의 캡슐 내시경은 장의 연동운동에 의해 진행하며 소화관내를 촬영하므로, 갑작스럽게 장이 활발히 연동운동할 경우 캡슐의 진행속도가 빨라져 병변을 놓치거나 관심부분을 촬영하지 못할 수 있게 되며, 또한 너무 연동운동이 느리거나 쉬는 상태에서는 필요 없는 반복된 정지영상의 촬영으로 캡슐의 전력 낭비가 초래될 수 있다. 아울러 미래의 캡슐 내시경은 조직 채취나 약물을 도포할 수 있는 기능을 요구하므로 연동운동에 의한 수동적 캡슐 내시경은 상대적으로 일반적인 푸쉬 타입(push type) 케이블 내시경에 비해 적용의 제약이 따를 수 밖에 없다.

따라서 캡슐을 능동적으로 움직이기 위한 로봇(Robot) 기능 캡슐에 대한 많은 연구가 이루어지고 있는데, 그 기술을 분석해 보면, 전자기적 메카니즘에 의한 구동과 기계적 메카니즘에 의한 구동으로 나누어 기술을 분석할 수 있다.

5.2.1. 전자기적 메카니즘에 의한 구동

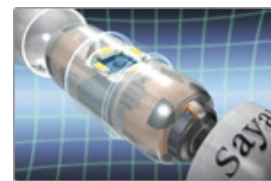
(1) 자기 유도(Electromagnetic Guide) 방식

이 기술은 자석(magnetic)의 원리를 이용하여 영구자석 및 전자석을 이용하여 외부 또는 내부에서 자장을 형성시켜 캡슐을 이동시키는 방식이다. 일명 자기 유도(magnetic guidance) 방식이라 불린다.

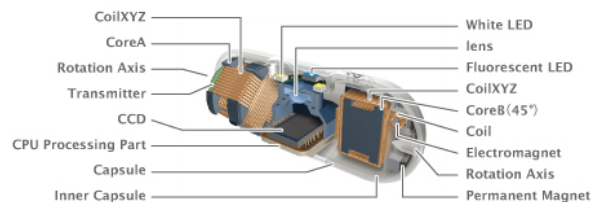
중국 CJST에서 개발 중인 Capsule Robot은 외부에서 강한 자석(또는 전자석)을 이용하여 자장을 형성하고 자성을 띤 캡슐의 위치를 제어하는 방식이다^[11]. 그림 6과 같이 환자는 검진대 위에 누워 있으며, 의사는 외부의 강한 자석을 이용하여 캡슐의 자세를 제어하고 원하는 곳의 병변을 관찰한다. 그러나 이 방식은 환자가 일반 내시경과 마찬가지로 장시간 고정된 자세로 누워 있어야 하며, 강한 자성에 노출될 때 발생할 수 있는 부작용 등의 단점이 있을 수 있다.

(2) 자기 회전(Electromagnetic Rotation) 방식

일본 RF SYSTEM Lab.에서 개발 중인 Sayaka 라는 제품은 기존의 캡슐 내시경이 연동운동에 의해 소화기관을 따라 이동하며 촬영한 정지영상이 특정 각도에서의 영상만 제공하는 단점을 극복하고자 그림 7.(a)와 같이 캡슐을 내측 캡슐(inner capsule)과 외측 캡슐(outer capsule)로 나누고 내측 캡슐이 내부에서 회전하며 360°의 모든 지역을 촬영할 수 있도록 구현하였다^[12]. 캡슐 내시경에서 통상적으로 카메라는 캡슐 끝에 위치하지만 Sayaka는 캡슐 중간에 위치하며 영구자석과 전자석에 의한 스텝 회전(step rotation)에 의해 빠르게 회전하며 촬영한다. 대략 870,000 장의 이미지를 획득하게 되며 촬영된 정지 영상은 모자이크 및 중첩 기술을 이용하여 재구성하여 의료진이 판독하기 편리하게 제공한다. 이를 위해 이미지처리 시간이 소요된다. Sayaka 캡슐은 내장된 배터리로 캡슐 회전을 위한 충분한 전력을 공급받지 못하기 때문에 외부로부터 전자기 유도로 공급받기 위해 코일로 된 조끼를 입어야 하는 단점이 있다.



(a) Sayaka 캡슐 회전
(a) Rotation of Sayaka CE



(b) Sayaka 캡슐 내시경 구조
(b) The structure of Sayaka CE

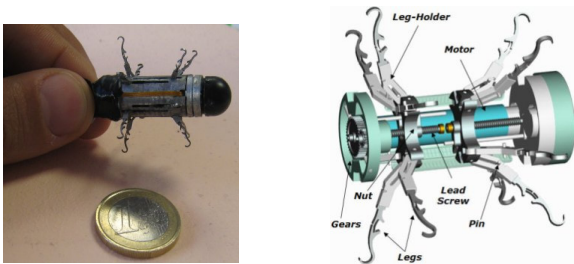
그림 7. Sayaka 캡슐 내시경
Fig. 7. Sayaka CE

5.2.2. 기계적 메카니즘에 의한 구동

능동형 캡슐의 진행성, 방향성, 정지성 등을 고려하여 캡슐이 움직이는 원리를 곤충의 다리, 물고기 지느러미, 애벌레 등에 착안한 구동 메카니즘의 캡슐이 개발되고 있다. 다음에 세계적으로 몇 가지 연구되고 있는 캡슐을 조사하였다.

(1) 곤충형 구조

이탈리아 과학자들에 의해 연구되고 있는 일명 Spider Pill 은 그림 8과 같이 거미 다리 모양과 같은 12개의 다리를 캡슐 주변에 갖추고 중력에 반하여 50mm/min의 속도로 이동 가능한 운동능력을 가진다^[13,14]. 이 캡슐의 핵심 동작원리는 리드 스�크류(lead-screw)를 통한 새로운 슬롯 팔로워(slot-follower) 메카니즘에 있으며 2개의 모터에 의해 구동된다. 그러나 움직임에 따른 전력소모가 430mW 수준으로 높아서 영상 촬영과 통신 시스템 등에 사용되는 전력까지 고려할 경우 현재의 배터리 기술로는 촬영시간이 30분 이내로 제한적일 것으로 예상된다.



(a) 캡슐 외관 (a) CE shape
(b) 캡슐 캐드 이미지 (b) CAD image of CE

그림 8. 12-다리 캡슐 내시경
Fig. 8. 12-legged CE

(2) 물고기형 구조

일본 류코구(Ryukoku) 대학교와 오사카 의과 대학(Osaka medical college)이 자기 추진력과 원격 조정이 가능한 캡슐 내시경을 개발하였다. 그림 9와 같이 Mermaid 라고 불리는 이 캡슐 내시경은 캡슐 후미에 1 cm 직경에 4.5cm 길이를 가지는 지느러미 같은 마그네틱 구동 기어를 장착하여 움직일 수 있도록 한 것이다^[15]. 이것은 구강 또는 직장으로부터 삽입가능하며, 식도에서부터 대장까지 몇 시간 안에 이동하며 검사가 가능하다. 캡슐의 이동속도는 초당 수십 센티미터로 빠르다. 알려진 것으로는 동력 장치는 전자기에 의해 움직이는 것으로 되어 있으나, 이것이 외부 전력원만을 공급받고 스스로 완전한

진행이 가능한 것인지 아니면 외부 자기에 의해 진행되는 길이 유도되는 것인지는 알려지지 않았다. 개에 대해 1차적으로 동물시험이 실시되었으며, 보다 작은 크기로 설계되어 사람에게 실험이 실시될 예정이다.

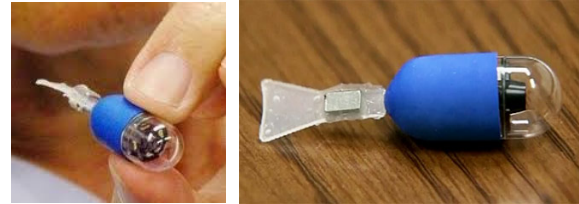
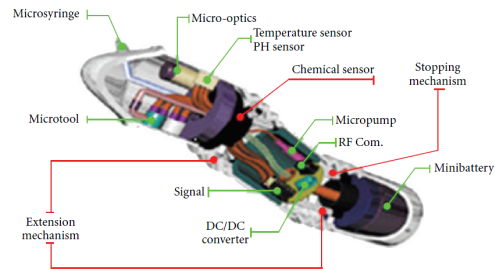


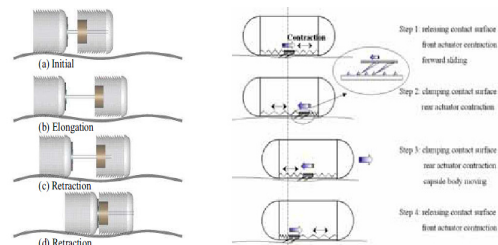
그림 9. 물고기형 구조
Fig. 9. Fish-like CE

(3) 애벌레형 구조

한국의 지능형 마이크로 센터(Intelligent Microsystems Center)에서 그림 10.(a)와 같은 캡슐 내시경 개념을 제시하며 캡슐 내시경 관련 개발을 진행하였다. 이를 기반으로 지렁이형 구조를 KIST에서 제안하였는데, 앞서 기술한 곤충형 구조에서 2개의 액츄에이터(actuator)가 필요했던 것과는 달리 그림 10.(b)의 지렁이형 구조는 일반적으로 1개의 액츄에이터(actuator)가 캡슐 가운데 사용되어 전력



(a) 마이크로로봇 캡슐 내시경 개념
(a) Conceptual structure of micro robot CE



(b) 지렁이형 (b) Earthworm-like CE
(c) 자벌레형 (c) Inchworm-like CE

그림 10. 애벌레형 구조
Fig. 10. Caterpillar-like CE

소모를 줄일 수 있는 장점이 있다^[16]. 이 방식은 앞

과 뒤의 2개의 몸통으로 분리되어 마치 지렁이가 수축 후 앞으로 진행하듯 앞의 몸통이 앞으로 신장할 때 뒤의 몸통이 바닥에 지지하고 있어 이동이 가능한 구조를 가진다. 이 밖에 그림 10.(c)와 같이 자벌레 구조 형태로 설계하여 실험이 진행된 사례도 있다¹⁷⁾.

VI. 결 론

본 논문에서는 캡슐 내시경 시스템의 기술적 특징과 동향을 기술하였다. 최근 캡슐 내시경 시스템이 소화기관 내 검사에 하나의 혁신적 진단 기술로 부각되어 이에 대한 관심이 널리 확산되고 있으나 아직 기술적인 한계로 목표로 추구하는 성능은 얻지 못하고 있는 실정이다. 캡슐 내시경 시스템이 기존 케이블 형태의 내시경만큼의 성능을 갖춘 차세대 캡슐 내시경으로 진화하기 위해서는 BT, IT, NT 기술이 융합된 소형화 기술과 캡슐의 자세 제어와 관련한 기술의 개발이 필요하다. 아울러 조명, 통신, 구동 등을 위한 저전력 소모 기술, 외부로부터의 전력 공급 기술, 배터리 설계 기술 등의 발전도 병행되어야 한다. 이 밖에 보다 정확한 영상 화질(resolution)을 얻기 위한 이미지 센서 및 영상처리 기술, 고속 촬영에 따른 방대한 디지털 데이터 송신이 가능한 고속 통신 기술, 실시간(real-time) 처리 기술 및 진단 기술, 인체 내부의 조직 채취 및 간단한 수술이 가능한 원격 로봇 기술 개발 등도 필요하다. 현재의 기술 수준 및 발전 속도에 비추어 볼 때 차세대 캡슐 내시경은 향후 멀지 않은 미래에 이루어질 것으로 판단되며, 해외 경쟁력을 갖추고 기술을 선점하기 위해서는 국내에서도 캡슐 내시경 개발 연구에 보다 적극적인 투자가 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] G. Iddan, G. Meron, A. Glukhovsky, and P. Swain, "Wireless capsule endoscopy," *Nature*, vol. 405, no. 6785, pp. 417~418, 2000.

[2] Guobing Pan and Litong Wang, "Swallowable wireless capsule endoscopy: progress and technical challenges," *Gastroenterology Research and Practice*, vol. 2012, Article ID 841691, 9 pages, doi: 10.1155/2012/841691, 2012.

[3] K. Kim, H. Won, J. Shin and H. Choi, "A

comparison of communication techniques for capsule endoscope," in *Proc. 17th Asia-Pacific Conference on Communications(APCC)*, pp. 76 1~764, Oct. 2011.

[4] R. Dettmer, "Fantastic voyage(wireless capsule endoscopes)," *IEE Rev.*, Vol. 51, Issue 2, pp. 2 8~32, Feb. 2005.

[5] C. McCaffrey, O. Chevalerias, C. O. Mathuna, and K. Twomey, "Swallowable-capsule technology," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 7, no. 1, pp. 23~29, 2008.

[6] A. Moglia, A. Menciassi, M. O. Schrr, and P. Dario, "Wireless capsule endoscopy: from diagnostic devices to multipurpose robotic systems," *Biomedical Microdevices*, vol. 9, no. 2, pp. 235~243, Dec. 2006.

[7] <http://www.intromedic.com/en/product/productInfo.asp>.

[8] S. Bang, J. Y. Park, S. Jeong et al., "First clinical trial of the "MiRo" capsule endoscope by using a novel transmission technology: electric-field propagation," *Gastrointestinal Endoscopy*, vol. 69, no. 2, pp. 253~259, 2009.

[9] <http://www.givenimaging.com/en-us/HealthCareProfessionals/Products/Pages/PillCamSB.aspx>.

[10] http://www.olympus-europa.com/endoscopy/2001_5491.htm.

[11] <http://english.jinshangroup.com/Products/Endoscopycapsule/tabid/64/Default.aspx>.

[12] <http://www.rfssystemlab.com/en/sayaka/index.html>.

[13] P. Valdastri, R. J. Webster, C. Quaglia, M. Quirini, A. Meniassi, and P. Dario, "A new mechanism for mesoscale legged locomotion in compliant tubular environments," *IEEE Transaction on Robotics*, vol. 25, no. 5, pp. 104 7~1057, Oct. 2009.

[14] http://research.vuse.vanderbilt.edu/MEDLab/research_files/capsule.htm.

[15] <http://www.ryukoku.ac.jp/english2/news/detail.php?id=2806>.

[16] B. Kim, S. Park, J. Chang Yeol, and Y. Seok-Jin, "An earthworm-like locomotive mechanism for capsule endoscopes," in *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent*

Robots and Systems (IROS '05), pp. 2997~3002, 2005.

- [17] B. Kim, S. Lee, J. H. Park, and J. O. Park, "Inchworm-like microrobot for capsule endoscopy," in *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO' 04)*, pp. 458~63, Aug. 2004.

김 기 윤 (Ki-Yun Kim)

중신회원



1997년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업
 1999년 2월 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 석사
 2002년 2월 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 박사
 2006년 4월~2007년 6월 미

국 Univ. of California, Los Angeles(UCLA) 전기공학부 박사후 연구원

2001년~2008년 삼성탈레스 기술연구소 책임연구원

2008년~현재 명지전문대학 정보기술계열 전기과 부교수

<관심분야> 통신신호처리, 군통신, 이동통신, 의용통신 시스템 등

원 경 훈 (Kyung Hoon Won)

정회원



2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 졸업

2010년 2월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사

2010년 3월~현재 성균관대학교 휴대폰학과 박사과정

<관심분야> 무선 및 이동통신 모뎀 동기 기술, OFDM, LTE

최 형 진 (Hyung-Jin Choi)

중신회원



1974년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업

1976년 2월 한국과학기술원 전기전자공학과 석사

1976년 3월~1979년 7월 (주) 금성사 중앙연구소 연구원

1979년 9월~1982년 12월 미국 Univ. of Southern California 전기공학과 (공학박사)

1982년 10월~1989년 2월 미국 Lincom Corp. 연구원

1989년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학대학 교수

<관심분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 MODEM 기술