

# 대장내시경 시뮬레이션

이 글에서는 대장내시경(colonoscopy)을 훈련할 수 있는 시뮬레이터의 연구개발에 관해서 소개한다.

**대**장내시경은 굽어지는 긴 내시경을 환자의 항문을 통해 대장 안으로 삽입하여 병변을 진단하고 치료하는 의료 기술이다. 검진과 함께 치료도 동시에 할 수 있다는 점에 있어서 효과적인 기술로 인정받고 있다. 특히, 한국인의 사망원인 중 1위가 암이고 그 중 대장암은 폐암, 위암, 간암에 이어 4위를 차지하고 있어 주기적인 대장내시경 검사가 권장되고 있다.

성인의 대장은 길이가 1.6m 정도에 이르며 내부에는 굴곡(flexure)과 주름이 있고, 특히 개인별로 그 형태의 차이가 크다. 시술자는 대장내시경의 끝에 부

착된 카메라의 영상과 손으로 느끼는 햅틱 감각에 의존하여 대장내시경을 조작해야 하므로 삽입과 조작이 용이하지 않다. 시술자가 내시경을 제대로 삽입하거나 조작하지 못 할 때는 환자가 과도한 통증을 느낄 수도 있고, 심한 경우에는 대장의 벽에 천공이 생길 수도 있다. 대장내시경은 비교적 느린 학습곡선(learning curve)을 가지며 술기를 익히는데 긴 시간과 연습이 필요하다. 일반적으로 실제 환자에 대한 연습을 최소 100회 이상 하여야 전문가의 감독이 없이 독립적으로 대장내시경을 시술할 수 있다고 알려져 있다. 따라서, 환자대신에

술기를 연습할 수 있는 시뮬레이터는 그 효용성이 높다고 할 수 있다.

## 대장내시경 시뮬레이터의 발달 과정

대장내시경 시뮬레이터는 그 구성원리에 따라 기계적 시뮬레이터, 동물 장기를 이용한 시뮬레이터, 그리고 컴퓨터를 이용한 시뮬레이터로 나눌 수 있다. 기계적 시뮬레이터는 대장의 모형을 기계적으로 구성한 것에 불과하였다. 대장의 형태가 굴곡이 있는 긴 원통 형태라는 점에 착안하여 플라스틱 튜브 등을 이용하여 대

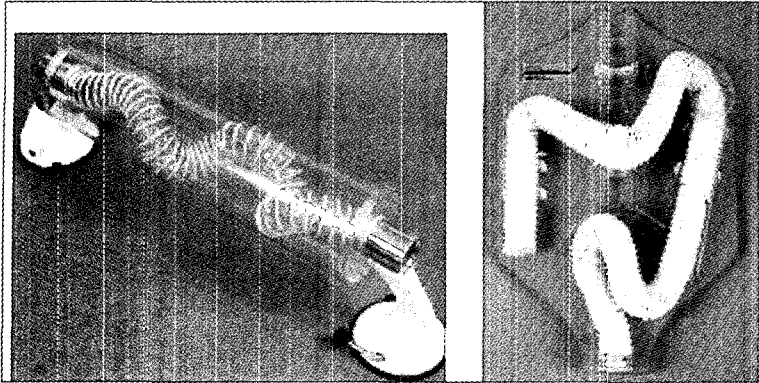


그림 1 1975년(좌)과 1980년(우)에 개발된 기계적 시뮬레이터(영국, 세인트 마크 병원)

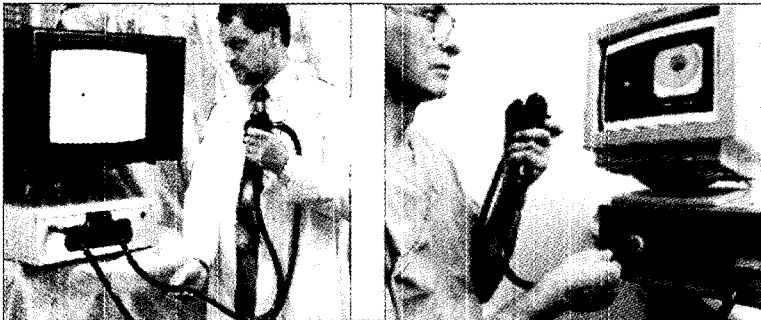


그림 2 1982년(좌)과 1988년(우)에 개발된 컴퓨터를 이용한 시뮬레이터 (영국, 세인트 마크 병원)

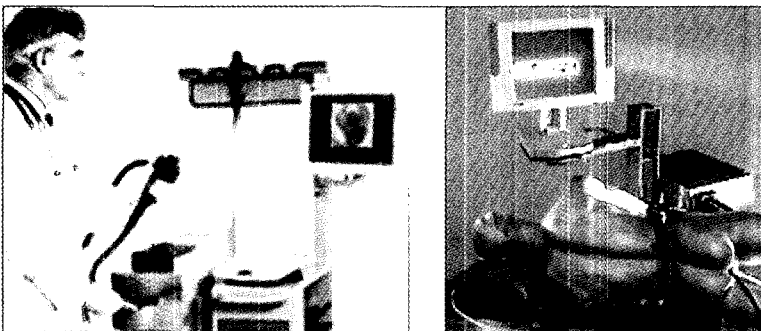


그림 3 현재 시장에 출시되어 있는 컴퓨터를 이용한 대장내시경 시뮬레이터 (좌: 미국의 Immersion Medical, 우: 이스라엘의 Sionix)

장의 형태를 구현하였다. 기계적 시뮬레이터는 내시경의 삽입에 따른 대장의 변형이나, 내시경이 대장의 내벽에 닿을 때 느껴지는

감각이 실제와 크게 달랐기 때문에 의사들에게 별 관심을 받지 못했다. 이에 비해 독일에서 개발된 돼지의 대장을 사용하는 시뮬

레이터는 사람의 대장과 비슷한 느낌을 구현할 수 있었지만, 방법에 대한 윤리적인 논란과 대장의 보관 등의 어려움에 직면하여 널리 사용되지는 못하였다.

컴퓨터에 기반을 둔 시뮬레이터는, 항공기 조종사들을 교육하는 데 있어 널리 사용되어왔고 그 교육적 효과도 검증되었다. 1980년대에 들어서는 이를 의료 교육에도 접목하고자 하는 시도가 활발해졌다. 초기에는 사용자가 내시경 튜브를 잡고 돌리거나, 내시경의 손잡이에 있는 다이얼을 돌리면, 컴퓨터 화면에 있는 테니스 라켓이 움직이는 단순한 게임기와 같았다. 이후 사용자가 모니터 화면에 그려진 대장의 모습을 보며 내시경을 삽입하고, 또한 내시경을 통하여 적절한 저항감 등을 느낄 수 있게 하는 시뮬레이터가 시도되었다. 그러나 복잡하게 꼬이는 대장의 변형을 계산하거나, 이에 따른 그래픽의 변화나 실제와 유사한 햅틱 감각을 제공하는 것 등은 이루어지지 못했다.

이후 20여 년 동안에 이뤄진 컴퓨터 그래픽 기술의 비약적 발전에 따라, 최근에는 실제 환자에게 시술하는 것과 아주 유사한 시각적 가상환경을 구현할 수 있게 되었다. 특히, 대장의 복잡한 변형에 대한 그래픽 모델의 구현이 가능해져서, 현재 시장에는 미국의 이멀전메디칼(Immersion Medical)사에서 개발한

AccuTouch® 제품과 이스라엘의 심바이오닉스(Symbionix)사에서 개발한 GI-Mentor™ 제품이 출시되어 있다. 이들 회사들은 햅틱 감각에 대한 성능을 최소화하고 그래픽에 의한 시각적 성능에 집중하는 마케팅 전략을 사용하고 있는데, 그 이유는 역사가 깊은 컴퓨터 그래픽 분야에 비해서 햅틱 분야는 상대적으로 그 기술과 저변이 충분히 발전되어 있지 않기 때문이다.

그러나 최근에는 햅틱장치에 관련된 기술이 발달함에 따라서, 햅틱 감각에 대한 성능을 높인 대장내시경 시뮬레이터의 개발이 이루어지고 있다. 국내에서는 2005년에 한국과학기술원과 이화여자대학교 의과대학 목동병원이 공동으로 KAIST-Ewha Colonoscopy Simulator I을 개발하였다. 이 대장내시경 시뮬레이터는 실제 환자의 대장 CT(컴퓨터단층촬영) 영상으로부터 3차원으로 복원된 대장 모델들과 특화된 햅틱장치를 갖고 있으며, 이화여자대학교 의과대학 목동병원의 전임의, 펠로(fellow), 레지던트, 그리고 학생들을 대상으로 교육적 효과를 검증하기 위한 임상시험이 수행되었다. 현재, 이 임상시험의 결과를 바탕으로 개선된 KAIST-Ewha Colonoscopy Simulator II의 개발이 완료되었고 평가를 위한 임상시험이 수행되고 있다.

## KAIST-Ewha Colonoscopy Simulator II의 구성

KAIST-Ewha Colonoscopy

Simulator II는 그림 5와 같이 크게 햅틱장치, 햅틱제어부, 그리고 그래픽제어부를 가지고 있다.

사용자는 대장내시경 손잡이와 내시경 튜브를 포함하는 햅틱장

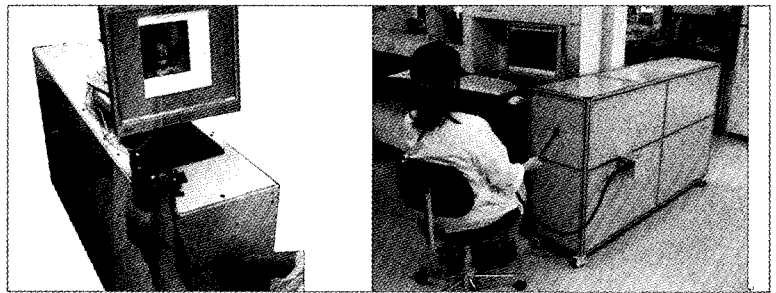


그림 4 KAIST-Ewha Colonoscopy Simulator I(좌)과 II(우)  
(KAIST 로봇 및 시뮬레이션 연구실, 이화여자대학교 의과대학 목동병원)

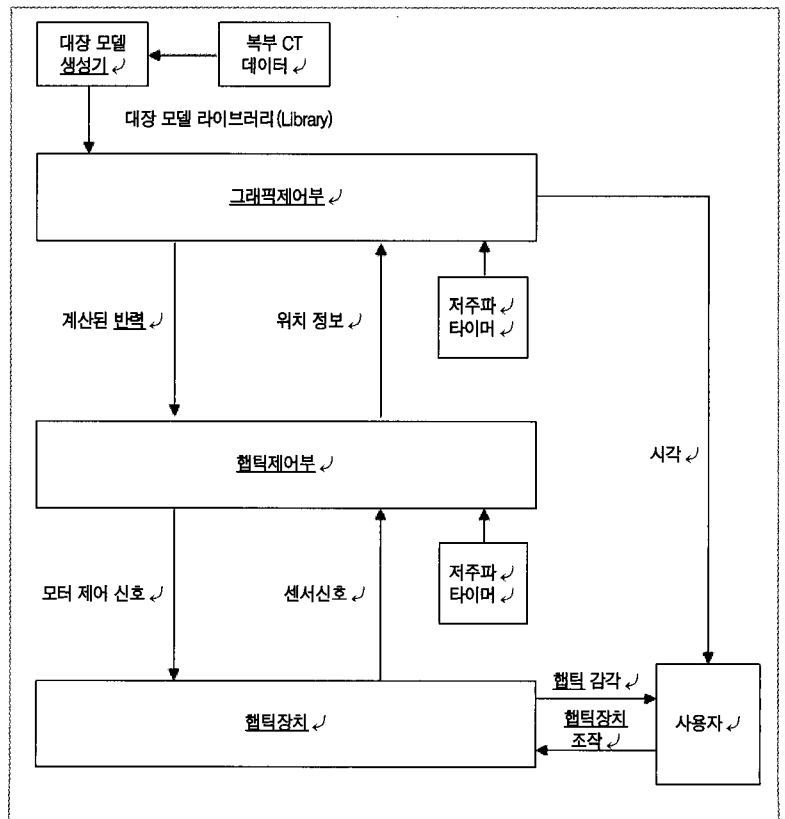


그림 5 대장내시경 시뮬레이터의 구성

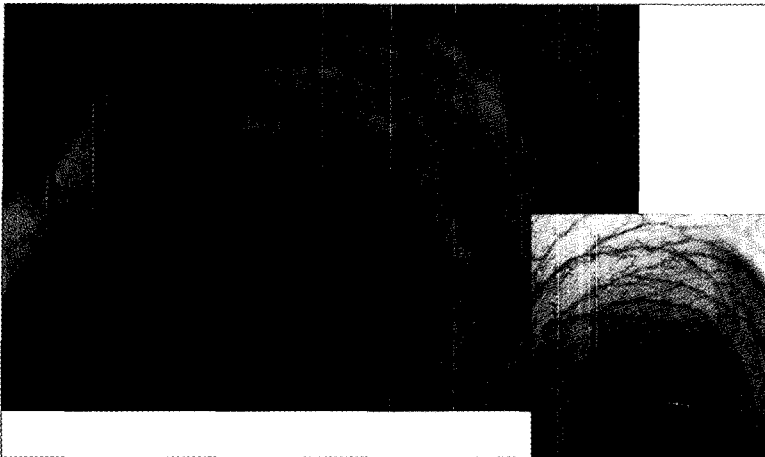


그림 6 시뮬레이터가 보여 주는 대장 내부 모습(좌)과 실제 촬영된 대장 내부 모습(우)

치를 조작하면서 모니터에 보여지는 대장 내부 그래픽을 관찰함으로써 실제 대장내시경을 시술할 때와 유사한 경험을 얻을 수 있다. 특화된 햅틱장치는 실제 대장내시경을 시술하는 동안에 발생하는 햅틱 감각을 구현할 수 있도록 개발되었다. 내시경 손잡이에 있는 두 개의 다이얼을 움직여 내시경의 끝을 상하 좌우로 움직이며 환부를 관찰하는 것과, 단추를 조작하여 공기를 불어 넣거나 빼내고, 물을 분사하여 세척하는 등의 행위를 시뮬레이션할 수 있다.

이 시뮬레이터는 컴퓨터 그래픽 기술을 이용하여 실제와 유사하게 그려진 대장 내부의 모습을 보여줌과 동시에 대장과 내시경 사이의 상호작용에 의해 발생하는 여러 현상들과 카메라의 시점 변화에 따른 영상을 실시간으로 모사한다. 이를 위해서, 햅틱장치를 통해서 변화되는 내시경 모델

과 대장 모델 사이의 접촉을 검사하는 알고리즘이 필요하다. 또한, 대장내시경의 조작으로 발생하는 대장의 변형과 햅틱장치를 통해서 사용자에게 전달되어야 하는 반력 등이 실시간으로 계산되어야 한다.

이 시뮬레이터가 다양한 형태의 대장과 변병에 대한 풍부한 시나리오를 제공할 수 있도록 하기 위해, 대장 모델 생성기가 함께 개발되었다. 대장 모델 생성기는 여러 환자들의 복부를 촬영한 CT 데이터를 입력으로 받아서 삼차원의 대장 모델을 생성하고 난이도 등에 따라서 라이브러리(library)로 만들어 관리한다.

### 맺음말

개발된 KAIST-Ewha Colonoscopy Simulator II는, 현재 시장에 나와 있는 기존 제품들보

다 향상된 햅틱 성능을 제공함으로써 대장을 축 방향으로 접으면서 내시경을 삽입하는 기술과 대장이 꼬인 루프(loop)를 풀어서 길이를 단축하는 기술 등, 실제의 대장내시경에서 필요한 중요한 술기들을 시뮬레이션할 수 있다는 면에서 시뮬레이션의 충실도(fidelity)가 높다고 할 수 있다.

현재 시장에 나와 있는 대장내시경 시뮬레이터 제품들은 아직까지는 예상했던 만큼으로 큰 경제적 성공을 거두지 못했다. 그 이유는 제품들에 대한 충분한 임상시험을 통해서 교육적 효과를 검증하고 그 결과를 제품을 개선하는 데 충분히 반영하지 못했기 때문에, 의료 교육이 이루어지는 병원(teaching hospitals)으로 널리 보급되지 않고 있기 때문이다. 이들 제품들의 교육적 효과에 대한 과학적인 검증이, 사회적으로나 법률적으로 임상시험을 수행하기에 유리한 환경을 가진 유럽의 병원들을 중심으로 최근에 이루어지고 있다.

대장내시경 시뮬레이터의 개발 목적이 무엇보다도 술기 교육의 효율을 높이고 향상된 의료서비스를 제공하는 데 있다는 면에서, 시뮬레이터의 연구개발에는 개념설계의 단계에서부터 임상시험과 보급에 이르기까지 시뮬레이션 관련 전문가, 의사, 그리고 교육 전문가들의 긴밀한 협조가 아주 중요하다.