

국내외 의료로봇 현황과 발전방향

전남대학교 | 박종오

1. 서론

로봇은 일반적으로 제품 생산라인에서 사용하는 산업용로봇과 비제조현장에서 사용되는 서비스로봇으로 분류한다. 산업용로봇은 1970년대부터 시장이 형성되어 왔고 서비스로봇은 1990년대에 암중모색을 하다가 21세기에 들어오면서 갑자기 뜨거운 조명을 받기 시작했다. 대표적인 견인차는 일본 SONY의 AIBO 애완견로봇, HONDA의 ASIMO 휴머노이드, 그리고 미국 iRobot의 Roomba 청소기 로봇을 들 수 있다. 우리나라는 서비스로봇이란 공식명칭대신 보통 지능형로봇이라고 말하고 있으며 정부성장동력산업으로 분류되어 그동안 상당한 정부투자가 있어왔다. 서비스로봇은 다시 개인적인 용도로 사용하는 개인용(personal, domestic) 서비스로봇과 공공성을 가진 전문(professional) 서비스로봇으로 분류된다. 우리나라는 그동안 결과적으로는 개인용 서비스로봇에 좀더 많은 투자를 해왔다. 국제로봇연맹에서 매년 발표하는 세계로봇통계자료를 보면 다음 그림 1 과 같다[1].

그림 1은 2006년도의 전세계 서비스로봇시장 분석 결과인데 개인용 서비스로봇 시장은 14억불, 그리고 전문서비스로봇 시장은 58억불을 기록하고 있다. 즉 서비스로봇시장의 80%를 전문서비스로봇이 점유하고 있는 셈이다. 21세기 초에는 개인용 서비스로봇 시장이 먼저 형성될 거라는 예상과는 다른 결과이다. 전문서비스로봇도 종류가 다양하다. 종류별 전문서비스로봇 시장을 분석하면 다음 그림 2와 같다.

그림 2에서 향후 전문서비스로봇시장을 주도하는 로봇의 종류로는 먼저 국방/경비 로봇을 들 수 있다.



그림 1 세계서비스로봇시장 규모(2006년)
(국제로봇연맹 2007년 통계집)

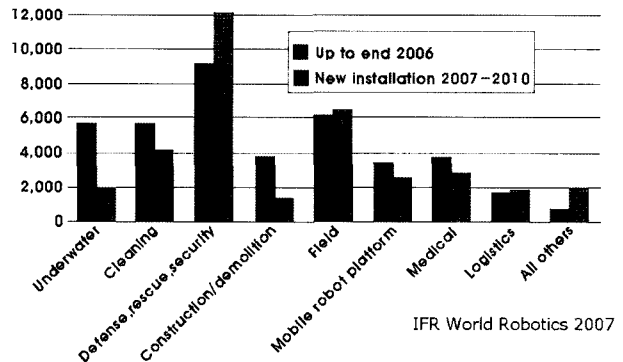


그림 2 세계 전문서비스로봇시장의 분야별 분류
(국제로봇연맹 2007년 통계집)

우리는 이미 아프가니스탄과 이라크 전쟁 자료에서 여러 번 접해왔다. 그리고 필드로봇, 청소로봇 및 의료로봇을 들 수 있다. 의료로봇도 이와 같이 향후 세계로봇시장에서 중요한 역할을 담당할 걸로 예측하고 있다. 필자는 추측컨대 위 통계자료보다 더 적극적인 예측도 충분히 가능하다고 본다.

2. 의료로봇의 특성

의료로봇은 무엇보다도 인체를 대상으로 하는 의료행위를 하는 특성으로 다른 로봇과 크게 다르다. 인간의 질병 및 생명과 연관되는 특성상 가격 경제성보다는 훨씬 작업의 신뢰성이 중요하다. 그러나 다시 로봇이라는 제품의 가격관점에서 보면 청소로봇이 300불 정도라면 복강경 수술로봇은 250만불로 가격은 거의 만 배 차이가 나고 있다. 물론 현재의 세계 의료로봇 시장은 거의 독과점 형태라는 점을 감안해야 하지만 큰 특징 중의 하나로 얘기할 수 있다. 그래서 필자는 청소기 로봇 등을 소비자(consumer) 로봇, 의료로봇 등을 프리미엄(premium) 로봇으로 분류할 수 있다고 얘기하고 있다. 우리나라가 이제까지 산업용로봇 개발기술을 바탕으로 개인용 서비스로봇 개발에 집중하여왔고 이제는 이를 바탕으로 보다 고부가가치를 낼 수 있는 프리미엄 로봇 개발에 전략적인 집중

을 할 필요가 있다고 본다.

현재 세계 의료로봇시장은 급성장하고 있다. 한국은 도입단계로서 수입시장이 급성장하고 있으며 국민들의 관심도 크게 높아지고 있다. 한국시장은 2015년에 약 1조 2천억원 규모로 예측하고 있다. 최근 필자가 간단하게나마 설문조사를 통해 얻은 자료로는 약 500억원 규모의 국내 의료로봇시장이 형성되어 있다고 보고 있다.

의료로봇의 또 다른 특성으로서 부품보다는 시스템에 강한 한국특성에 부합된다고 본다. 일반 소비재 로봇의 경우 개별 부품가격 경쟁력이 로봇 경쟁력에 큰 비중을 가질 수 있으나 의료로봇의 가격은 부품가격보다는 신뢰성을 확보한 시스템이 경쟁력을 확보할 수 있는 관건이다.

우리나라 의료기기 시장은 매우 취약하다. 이는 여러 가지 요인을 들 수 있는데, 신뢰성을 중시하여 수요자인 의료진의 국제 메이저회사 제품을 선호하는 경향, 의료기기 개발 및 국내외 인증을 얻기까지 소요되는 막대한 자본 및 경험 부재 등을 꼽을 수 있다. 그러나, 이제까지의 의료기기와 달리 의료로봇은 로봇이라는 특성을 의료기기에 접목하는 새로운 개념으로서 로봇분야에서의 우리나라의 우수한 인력 및 기술 인프라를 접목시킬 경우 이제까지의 의료기기 시장의 취약성을 뛰어넘을 수 있는 하나의 좋은 계기가 될 수 있다고 본다.

3. 의료로봇의 종류

국제로봇연맹에서는 의료로봇을 다음과 같이 분류하고 있다.

- 장애인 지원(개인용 서비스로봇)
 - 휠체어 로봇
 - 개인용 재활로봇

- 의료로봇(전문서비스로봇)
 - 진단 시스템
 - 수술지원로봇
 - 재활시스템
 - 기타

그러나 필자는 이를 따르기보다 시장이 형성된 또는 형성되고 있는 로봇을 편의상 용도별로 분류하고자 한다.

- 수술로봇 : 복부수술로봇, 관절수술로봇, 대장내시경로봇
- 재활로봇
- 마이크로로봇 : 캡슐내시경로봇, 심도자(catheter)로봇, 혈관치료로봇
- 수술 시뮬레이터
- 원격진료로봇, 안내로봇
- 기타

각각에 대하여 현재 사용되고 있거나 개발 중인 국내외 로봇들을 알아본다.

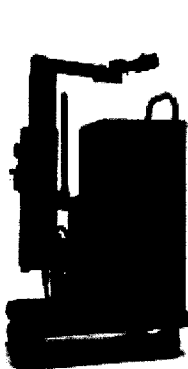
3.1 수술로봇

3.1.1 복부수술로봇

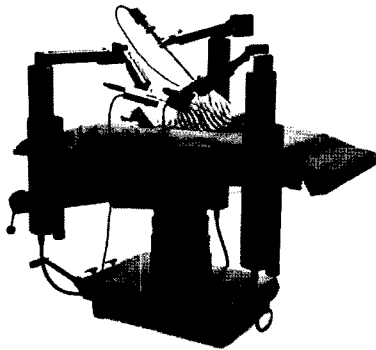
의료로봇 중에서 가장 시장이 활성화되어 있고 세계 의료로봇시장을 주도하는 분야이다. 몇 가지 복부수술로봇들이 순차적으로 시장에 소개되었고 시장 확대와 함께 기술개발도 동시에 진행되고 있는 분야이다.

현재 세계시장을 주도하고 있는 제품은 da Vinci 로봇이다.

AESOP은 의료진이 복부수술을 할 때 옆에서 내시경을 잡고 의료진을 보조하는 기능을 가지고 있다. 수술작업의 특성상 수술시 의료진은 로봇을 음성으로 조종할 수 있는 특성을 가지고 있다. ZEUS는 5자유도를 가진 복강경 조종로봇 팔을 가지고 있다. 산업용



(a) AESOP



(b) ZEUS



(c) da Vinci

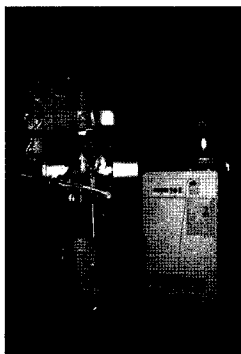
그림 3 복부수술로봇

로봇은 초기에는 5자유도 로봇팔도 많이 사용하다가 현재는 대부분 6자유도 로봇으로 통일됐듯이 ZEUS는 의료진의 팔보다 자유도가 부족하여 수술시 민감한 자세 구현에 취약점이 있다. 그리고 평면 PC 모니터를 보고 조종해야한다. da Vinci 로봇은 현재 복부수술로봇의 주종을 이루고 있다. 3개의 복강경 로봇 팔과 1개의 카메라 로봇 팔이 사용된다. 복강경 로봇 팔은 7자유도를 가지고 있어서 의사의 손동작을 구현하는데 자유로운 강점을 지닌다. 로봇공학자 관점에서 볼 때 유연한 움직임과 복부 수술특성을 고려한 장점을 가지고 있다. 팔 직경은 약 8 mm로서 기존의 복강경 수술과 비교할 때 절개부위 및 접근부위의 손상을 최소화하여 입원기간을 줄이고 정상기능으로의 회복기간도 단축시키고 있다. 또 한가지 장점으로서는 의료진의 고된 수술작업을 훨씬 쉽게하여 앞으로 환자뿐 아니라 의료진의 환경개선을 위해서도 좋은 대안으로 각광을 받을 수 있다. 현재까지는 작업의 유연성을 확보하였으나 향후 수술작업의 현실감을 증대하기 위해 촉각전달장치 등이 필요하다. 국내에서는 위에 열거된 복부수술로봇들이 수입되어 사용되고 있으며 최근 국산화 작업을 산학 협력으로 진행하고 있다[2].

3.1.2 관절수술로봇

수술로봇 중에서 가장 먼저 상용화된 분야이며 로봇의 강점인 강성과 정밀도를 활용할 수 있는 분야에서 구체적인 제품으로는 RoboDoc을 들 수 있다. CAM 데이터를 받아 공작기계가 가공하듯이 1mm 간격으로 컴퓨터단층촬영(CT : Computerized Tomography) 데이터를 활용하여 수평다관절로봇(SCARA)이 자동 수술하는 방식이다. 문제점으로는 숙련된 의료진의 참여 없이 하는 특성 때문에 미국 FDA 인증을 얻지 못했다.

국내에서는 이촌택 병원에서 RoboDoc을 이용하여 기록적인 관절수술 사례를 보유하고 있다. 다음 그림 4(a)는 RoboDoc의 외형을 보여준다.



(a) RoboDoc



(b) MAKO Plasty

그림 4 관절수술로봇

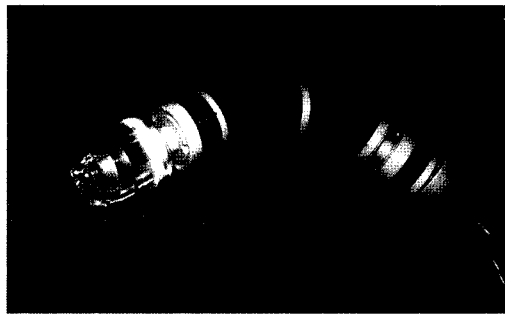


그림 5 대장내시경로봇

그림 4(b)는 의사가 관여하여 수술부위를 사전 모사한 다음 의료진이 로봇을 사용하여 관절 수술하는 방식으로 현재까지는 유일하게 미국 FDA 인증을 받은 로봇이다[3]. 국내에서는 KAIST에서 관절수술로봇을 개발하였다.

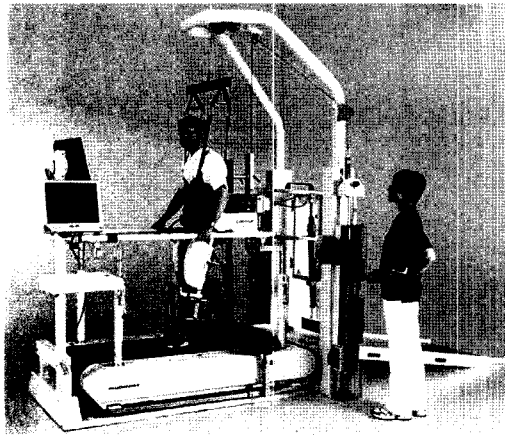
3.1.3 대장내시경로봇

대장은 구부러진 특성으로 인해 내시경 시술시 강제로 펴기 때문에 고통이 수반된다. 이를 해결하기 위해 생체모사기법을 이용하여 구부러진 대장을 그대로 따라가며 진단과 시술을 하는 대장내시경로봇이 필자가 참여한 국책사업단에서 이태리 로봇팀과 공동으로 개발하였다. 현재 유럽회사에서 상용화를 진행 중이다.

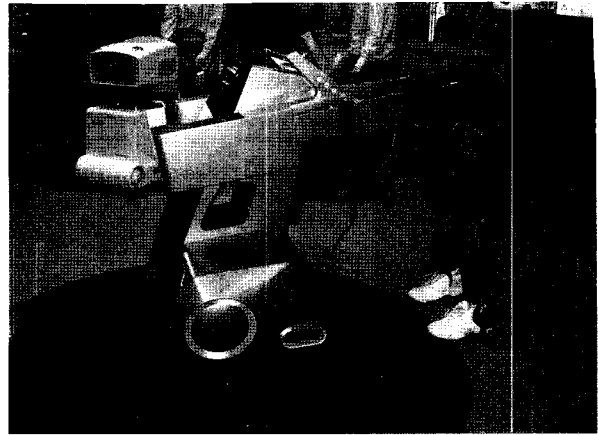
3.2 재활 로봇

삶의 질 향상과 고령화를 대비한 복리증진 관점에서 향후 시장이 성장하는 분야이며 로봇기술을 이용하여 장애인과 고령자의 운동을 보조하는 로봇들이 개발되고 있다. 또 다른 한 편으로는 의수, 의족을 로봇기술을 이용하여 인간의 의도대로 손쉽게 움직이는 기술이 개발 및 상용화되고 있다.

그림 6(a), (b)는 국내외에서 개발된 보행보조로봇을 보여주고 있다. 아직까지 시장은 초기단계이나 향후 성장을 기대하고 있는 분야이다. 그림 6(c)와 같은 착용형로봇(wearable robot)이라는 분야와 기술을 공유하고 있다. 인간의 팔이나 다리의 움직임을 감지하여 구동기가 장착된 로봇 팔이나 다리를 움직여 인간의 움직임을 보조하고, 힘을 증폭시키고 또는 근력을 키우는 재활운동에 사용된다. 인간의 움직임을 감지하고 로봇운동으로 변환시키는 데 시간지연 없이 인간의 감각에 맞게 상호 조정하는 작업이 중요하다. 그림 6(d)는 인간의 신경 신호를 이용하여 팔이나 손을 움직이는 기술이 제품화되었다. 이러한 기술은 유럽전략 프로그램에서도 동일하게 개발되었다. 이러한 장치는 로봇기술이 접목되기 이전에 이미 재활기기로서 있었으며 이를 로봇기술을 이용하여 편리성을 높이고 있으나 시장은 아직 초기단계에 머물러 있다.



(a) 보행보조로봇(Hokoma, 스위스)



(b) 보행보조로봇(서강대)



(c) 착용형로봇(Tsukuba대학)



(d) 신경제어 의수(RIC, 미국)

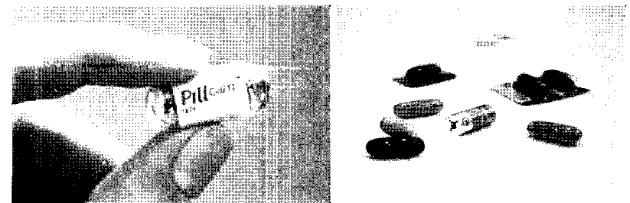
그림 6 재활로봇

3.3 마이크로로봇

마이크로기술이 발전함에 따라 의료기기에 접목하는 기술들이 시장에 나오고 있으며 일부 제품은 이미 시장을 성장하는 단계이다.

3.3.1 캡슐내시경로봇

기존의 내시경 기술이 피수술자에게 불편함을 주므로 이를 해결하기 위한 방안으로서 알약 크기의 캡슐내시경을 삼키면 카메라가 소화기관을 촬영하는 방식이다. 캡슐내시경이 로봇관점에서 의미를 갖는 이유는 아직까지는 인체의 연동운동으로 움직이지만 이를 자체적인 능동 이동기능을 갖출 경우 획기적인 의료기기 및 로봇기술의 발전으로 간주될 수 있기 때문이다. 향후 시장 확대 및 주도를 기대할 수 있다. 그림 7(a)는 이스라엘의 캡슐내시경이고 그림 7(b)는 필자가 주도했던 국책사업단에서 개발된 모듈로서 모두 제품으로 상용화되었다. 아직까지는 소장을 대상으로 사용하고 있으나, 후속모델로서 현재 국내 KIST 국책사업단과 제조회사인 Intromedic에서는 대장 적용 확대와 자체 이동기능을 개발 중에 있으며 외국에서도 비슷한 노력을 하고 있다.



(a) Pillcam(이스라엘) (b) MiroCam(Intromedic/KIST)
그림 7 캡슐내시경로봇

3.3.2 심도자(catheter) 로봇

최근 신제품으로서 의료진이 심도자를 수작업으로 조정하던 이제까지의 방식을 원격조종(teleoperation)과

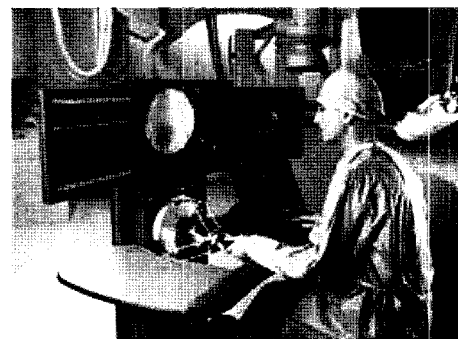


그림 8 심도자 로봇(hansenmedical, 미국)

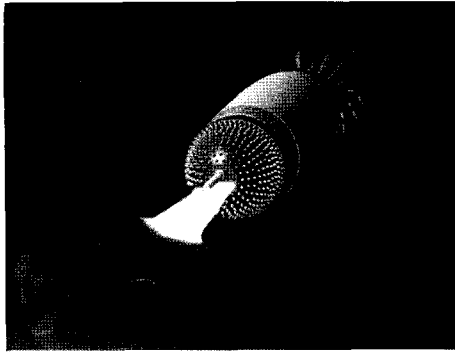


그림 9 혈관치료로봇(전남대)

역각궤환(force feedback) 기능을 추가하여 로봇화한 제품이 출시되었다. 마이크로기술과 의료기술의 접목을 추세를 잘 보여주는 예로 볼 수 있다[4].

3.3.3 혈관치료로봇

마이크로로봇을 개발하여 실제 혈관치료에 적용하고자 하는 시도가 국내에서 시작되었다. 필자가 개발 책임을 맡고 있는데 세계적으로도 첫 시도이며 이제까지의 단편적인 논문 발표단계를 넘어 실용화까지 겨냥하고 있다. 내시경으로 하는 소화기관 시술과 함께 혈관은 심도자(catheter)로 하는 방식이 이미 일반화되었다. 그러나 일부 혈관 질환의 경우, 예를 들어 만성 완전협착(CTO : Chronic Total Occlusion)의 경우, 심도자 시술의 실패율이 높아 새로운 대안이 요구되고 있으며 마이크로로봇을 이용하여 해결하고자 하였다. 외부에서 마이크로로봇의 이동을 제어하고 유선 전력 공급방식을 사용하여 구체성을 확보하고자 하였다[5].

3.4 수술 시뮬레이터

본 기술은 의료로봇이 유연성과 정밀도를 확보하기 위해 필수적인 Navigation S/W 기술로서 국내외적으로 기술개발이 진행되고 있다. 컴퓨터단층촬영 정보 또는 카메라 영상정보를 이용하고 인체장기 변형 등

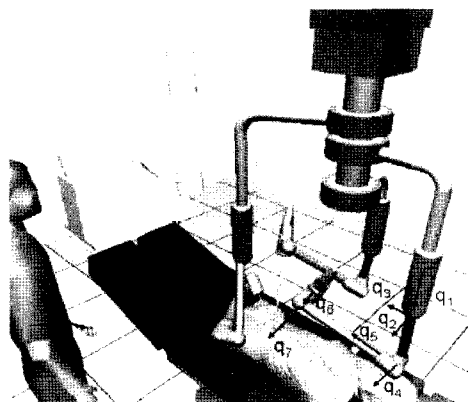
특성을 고려하여 다양한 정보간의 상호정합기술을 거쳐 의료진 또는 로봇의 이동경로를 정확히 그리고 용이하게 얻는 기술이다. 그림 10(a)은 독일에서 개발된 기술로서 수술절차 및 공간을 최적 설계할 수 있는 기술이며 그림 10(b)는 국내기술로서 뇌수술을 위한 항법(Navigation) 시스템을 보여주고 있다.

3.5 원격진료/안내 로봇

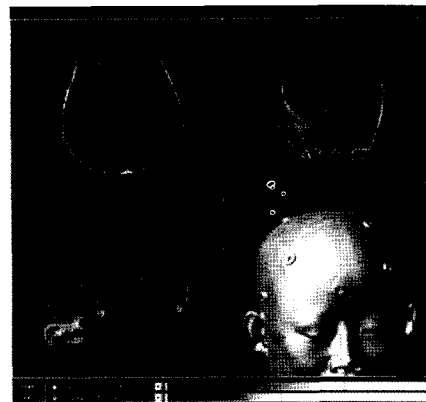
미국에서 최근 RP-7이라는 원격진료로봇을 출시하여 새로운 의료로봇분야를 개척하였다. 무엇보다도 컴퓨터 모니터와 로봇의 차이점을 확인시킨 좋은 예가 되었다고 생각한다. 일반 2차원적인 고정된 PC 모니터대신 이동로봇이 움직이며 머리부위에 부착된 PC 화면에 자유도를 추가하여 사람 머리처럼 움직여서 화면에 나오는 의료진과 환자 간에 대화 및 간단한 진료를 함으로써 유비쿼터스 진료개념을 구체화하였다. 본 로봇은 간혹 소개되는 원격수술로봇(telesurgery)의 초기단계로 볼 수 있으며 실용성이 있는 방안으로 판단된다. 원격수술로봇은 단순한 로봇기술보다도 원격거리 통신에서의 치명적인 시간지연 문제를 해결하지 않고선 실제로 사용하기에는 무리가 있기 때문이다[6]. 다음 그림 11(a)는 RP-7의 원격진료 모습을 보여주고 있다. 그림 11(b)는 분당서울대학병원에 적용된 병원안내로봇을 보여준다.

4. 의료로봇 개발을 위한 핵심기술 및 제품

의료로봇같은 프리미엄로봇을 우리나라가 독자 개발하지 않고서는 세계적으로 로봇강국을 기대할 수는 없다. 그리고 이미 국내산업계에서 그리고 국가연구개발사업으로도 일부 추진되고 있다. 향후 더욱 가속시키기 위해 세부 의료로봇에서 필요한 개발기술 및 제품들을 정리할 필요가 있다. 그 내용은 다음 표 1과 같다.



(a) 수술절차 최적설계(DLR, 독일)

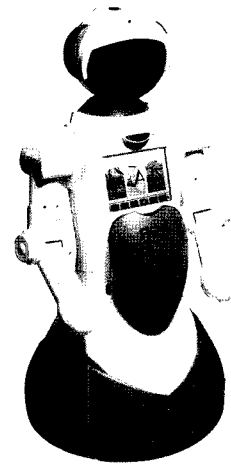


(b) 뇌수술항법(Cybermed, 한국)

그림 10 수술 시뮬레이터



(a) 원격진료로봇(RP-7, 미국)



(b) 병원안내로봇(SNUBHOT, 한올로보틱스)

그림 11 원격진료/병원안내 로봇

표 1 의료로봇 개발을 위한 핵심 제품 및 기술

세부로봇	핵심 제품	핵심 기술
수술로봇	<ul style="list-style-type: none"> 경제성있는 관절수술로봇 정밀 haptic 복강경수술로봇 3차원 영상유도기술을 이용한 정위 방사선치료시스템 	<ul style="list-style-type: none"> haptic device 수술용 manipulator 설계기술 3D Vision, AR
재활로봇	<ul style="list-style-type: none"> 사용자 의지반영형 고정밀 인공 의수/의족 기능보조를 위한 인체 외부장착형 로봇 	<ul style="list-style-type: none"> 생체신호 융합기술 구동메카니즘 기술 Microassembly
마이크로로봇	<ul style="list-style-type: none"> 능동구동 대장용 캡슐 내시경 Active DDS 	<ul style="list-style-type: none"> 마이크로 센서/구동기 위치/자세 인식기술 제어 방법론
수술시뮬레이터	<ul style="list-style-type: none"> 정밀 수술시뮬레이터 환자 시뮬레이터 의료기기 시뮬레이터 	<ul style="list-style-type: none"> 3D volume rendering Deformable modeling VR & AR

5. 비전 및 결론

의료로봇산업의 또 다른 특징 중의 하나로서 인증, 규제 등 의료산업정책에 좌우된다는 점이다. 이로 인해 임상시험 규정정비 및 인허가기준정비 그리고 의료보험과의 관계 등이 의료로봇산업 진흥을 위한 관점에서 검토되어야 하며 의료로봇 국산화와 함께 진행되어야만 한다.

결론적으로 의료로봇과 같은 프로미엄로봇 개발을 통한 고부가가치화와 차별화를 시도해야하며 취약한 국산화 의료기기 산업을 도약시킬 수 있는 좋은 방안이다. 그리고 세계로봇시장을 우리가 주도할 수 있는 핵심분야 중의 하나이다.

참고문헌

- [1] International Federation of Robotics, "World Robotics 2007", IFR.
- [2] 이우정, "외과 영역에서의 로봇수술", 대한의사협회지 제49권 제5호, May 2006, Seoul, Korea, pp. 430-438.
- [3] <http://www.makosurgical.com>
- [4] <http://www.hansenmedical.com>
- [5] 전남대학교 산학협력단, "혈관치료용 마이크로로봇 개발에 관한 연구기획" 2007. 06. 산업자원부
- [6] R.M. Sabata, "How the Future Surgery is Changing: Robotics, telesurgery, surgical simulators and other advanced technologies", University of Washington Medical Center, May 2006.



박종오

1978 연세대학교 기계공학과(학사)
 1981 한국과학기술원 기계공학과(석사)
 1987 독일 슈투트가르트대학교 생산공학과(박사)
 1982~1987 독일 생산기술 및 자동화연구소 (FhG-IPA) 연구원
 1987~2005 한국과학기술연구원 책임연구원
 1999~2004 21세기프론티어사업 "지능형마이크로시스템 개발사업" 사업단장
 2005~현재 전남대학교 기계시스템공학부 교수
 관심분야: 마이크로/나노로봇, 의료로봇, 가전로봇
 E-mail: jop@jnu.ac.kr