

Appendix. 쉽게 읽는 융합기술



4casting

CONTENTS

I. 융합 에세이	02	융합으로 여는 신 의료 패러다임
II. 융합연구 기술동향	06	나노 - 바이오 융합을 통한 바이오센서 기술
	08	IT 기술의 활용을 통한 QoLT 연구
	14	상시 건강 모니터링 기술
	17	인공조직 · 장기로 가는 길, 생체 3D 프린팅 기술
	24	모바일 원격 진료 장비
Appendix	26	쉽게 읽는 융합기술

융합 4casting

융합의 대표적 4가지 분야(NT, BT, IT, CS)와 미래예측(Forecasting)의 합성어로서 인류의 행복과 사회적 성과의 향상을 위해 미래 창조적 가치를 창출할 수 있는 융합기술을 전망하고 관련 종합 정보를 제공하는 동향지

융합으로 여는 신 의료 패러다임

윤건호 교수 가톨릭의과대학 서울성모병원 내분비 내과

● 왜 신 의료 패러다임인가?

지금 전 세계는 급격한 인구 노령화, 만성질환 환자의 증가, 이의 합병증 발생으로 인한 급격한 의료비 상승으로 몸살을 앓고 있다. 우리나라는 현재 국민 모두에게 적절한 비용으로 상당한 수준의 의료의 질을 보장할 수 있는 선진 의료 시스템을 가진 나라가 되었다. 이러한 경과를 거치며 Big 5로 거론되는 매우 대형화되고 초현대적 시설을 갖춘 상급종합병원들이 다수 설립되고 이외의 병원들도 몸집 불리기와 신형 고가 의료기기 확보를 경쟁하고 있다. 현재 의료비용이 모두 행위별 수가로 책정되고 있으며 치료의 질과는 무관하게 신형 의료기기를 사용하는 경우 수익을 보장받을 수 있는 비현실적인 수가체계가 이를 조장하고 있는 것이 사실이다. 이로 인해 급성 중증 질환 치료의 성적은 선진국 어디에 비견해도 뒤지지 않고 오히려 우수한 상태로 평가되고 있다.

그러나 우리나라도 최근 전 세계 1위의 인구 노령화 속도를 보이고 있고 당뇨병, 고혈압, 비만 및 고지혈증 등으로 대표되는 만성질환의 유병률이 이미 오래 전부터 상당히 높은 상황이며 이제는 이들 질환의 다양한 중증 합병증인 심뇌혈관 질환, 실명, 만성신부전증 등이 급격히 증가되는 단계에 이르렀다. 이로 인하여 현재는 국가 재정 상 의료비 지출은 중간 정도의 수준을 보이고 있으나 비용 증가 속도는 매우 높아 조만간 국가 재정에 큰 부담을 줄 수 있는 수준에 이를 것으로 예측되고 있다. 이를 피하기 위해서는 치료의 질을 개선하여 건강 수명을 최대한 연장하는 것이 최선의 방법으로 생각된다. 따라서 의료의 질을 개선하면서 동시에 비용은 줄여야 하는 배치되는 두 가지 목표를 동시에 달성할 수 있는 새로운 의료 패러다임이 절실히 요구되는 것이다.

● 무엇이 새로운 의료 패러다임인가?

이를 이해하기 위해서는 의료 비용의 구조를 아는 것이 중요하다. 만성질환 중 당뇨병의 예를 들어, 초기 당뇨병 환자가 병원을 다니며 투약을 받는 비용을 전 생애적으로 보면 총 당뇨병 치료 비용의 20%에 불과하다. 나머지 80%는 만성 합병증 즉 뇌졸중, 심장질환, 실명, 사지 절단 및 만성신부전으로 인한 투석에 비용이 지拂되고 있다. 따라서 만성질환을 초기부터 잘 관리하거나 더 나아가 초기 예방을 통해 발병 시기를 최대한 늦추고 발병 후에도 관리를 잘하여 만성 합병증을 예방할 수 있다면 총 치료 비용을 적어도 50%까지는 줄일 수 있다.

이를 위하여 첫 번째로 요구되는 패러다임의 변화는 질환의 중증 합병증을 치료하는 것보다는 발병 자체를 예방하는 방향으로 치료의 패러다임이 바뀌어야 하는 것이다. 두 번째 변화는 다양한 기술의 융합으로 비용-효율적인 새 치료 기술 패러다임을 개발하는 것이다. 만성 질환은 발병한 후에도 만성 합병증이 발생하기까지는 10~20년의

장기간이 걸리는 것으로 알려져 있다. 또한 발병 후라 하더라도 철저히 관리한다면 만성 합병증을 예방할 수 있다. 그러나 당뇨병 환자들의 경우를 보면 전체 환자 중 잘 관리되고 있는 환자의 비율은 전 세계적으로 40% 정도에 불과하다. 그러나 철저히 조절하여 합병증을 예방하고자 시도된 장기 대규모 임상연구의 결과는 심한 제1형 당뇨병 환자(소아당뇨병)의 경우에도 많은 수의 환자들이 치료 목표를 달성할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 이들은 어떻게 일반적인 상황에서는 달성할 수 없는 치료 성적을 보고할 수 있었는가? 이를 분석해 보면 집중적인 관리인데, 예를 들어 간호사 한 명이 십 수명의 환자를 지속적으로 직접 만나거나 전화를 하고, 관리가 안되는 경우 직접 가정 방문까지 하여 환자를 교육하며 성적을 관리할 수 있도록 모든 치료방법을 환자의 특성에 따라 적용한 결과이다. 비용적인 면에서 계산해 보면 일반적인 당뇨병 환자가 드는 비용에 약 3~5배까지 소요가 된다. 이러한 연구를 통하여 어떻게 하면 잘 치료할 수 있을지 알았고 그 효과도 알게 되었으나 비용을 누구도 부담할 수 있는 상황이 아니므로 현실에 접목하지 못하고 있다.

따라서 우리는 최소의 비용으로 최대의 효과를 거둘 수 있는 다양한 최신 기술이 융합된 새로운 질환 관리 플랫폼이 필요하게 된 것이다. 이 플랫폼은 의료 비용의 상당 부분을 차지하는 인건비를 최소화할 수 있는, 새로운 기술들이 접목되어야 하며 기술의 안정성과 비용-효과성이 증명되고 지속적으로 관리, 평가되어야 하며 경험과 데이터 축적을 통하여 점차 진화되어가는 플랫폼이어야 한다. 또한 질병의 효과적 예방을 위하여 말 그대로 “요람에서 무덤까지” 생애 전 주기를 관리할 수 있다면 이상적일 것으로 생각된다.

● 생애 전주기 건강관리 통합 플랫폼의 구성과 핵심 요소

그렇다면 생애 전주기 건강관리 통합 플랫폼의 구성과 핵심 요소에는 무엇이 필요할까? 너무나도 많은 서로 다른 기술과 정책적인 변화가 요구된다. 간단히 요약하면 다음과 같은 요소들이 필요할 것이다.

- ✔ 생활을 모니터링할 수 있는 다양한 생체신호 측정기(혈압, 체중, 체지방, 심전도, 산소 포화도 및 혈당 등), 식사 일지 기록 및 영양 평가 소프트웨어, 운동량 측정기 등
- ✔ 다양한 자료를 저장하고 전송하는 안전한 망과 완벽한 정보 보안
- ✔ 다양한 기기의 신호 및 자료를 받을 수 있는 표준 게이트웨이
- ✔ 병원 기록과 환자의 개인 의료정보 연결
- ✔ 의사 - 환자 간의 연결고리 확보
- ✔ 방대한 양의 자료를 저장하고 공유할 수 있는 자료 기지
- ✔ 치료 가이드라인에 기초한 정보 판단시스템 구축
- ✔ 가장 발달된 인공지능을 통한 고도의 분석 기술 확보
- ✔ 분석된 자료를 바탕으로 개개인의 환자와 주치의에게 맞춤형 치료 정보 제공
- ✔ 일반의사 - 전문의 간 연결
- ✔ 병원 - 약국 - 환자의 정보 연계
- ✔ 엠블라스 - 응급실의 연결
- ✔ 치료의 효과 및 비용 분석
- ✔ 비용 지불 구조 확립 (총 비용 산출 및 개인 부담과 보험 부담의 경계 확립) 등



다시 말해 현재 환자와 의사가 대면해야 하는 진료의 패턴을 바꾸기 위해서는 너무나도 큰 변화가 요구되며 다양한 기술의 융합이 필수적이다. 이를 일거에 전환하려는 시도는 무리인 것으로 판단된다. 따라서 일단 평생 진료가 필요한 만성질환부터 시작하고, 진단과 처방보다는 관리부터 서서히 시작하는 점진적인 개혁이 필요할 것이다. 이러한 시도로 점차 경험이 축적되어 간다면 향후 우리가 꿈꾸는 미래의 진료가 실현될 수 있다고 생각한다.



융합연구 기술동향

가까운 미래에는 100세를 넘어 120세까지 살게 될 것이라는 전망이 여러 곳에서 나왔고, 실제로 일본 오사카 시는 지난해 120세 이상 장수인이 5천명 이상이라고 발표했다. 이러한 현상에 부응하듯 '얼마나 오래 사느냐'에서 '어떻게 오래 사느냐'로 옮겨가고 있다. 이에 따라 치료 중심에서 예방과 건강관리 중심으로 헬스케어의 패러다임이 바뀌고 있다.

실제로 삼성경제연구소의 '헬스케어 3.0 건강수명 시대의 도래' 보고서에 따르면 헬스케어 3.0 시대에는 치료 중심에서 예방·건강관리 중심으로 발전할 것이며 개인 맞춤형 치료가 확산될 것이라고 언급했다. 또한 헬스케어 패러다임 변화의 4대 키워드로 1) 대중 치료에서 일상 건강 관리로 2) 개인맞춤 치료의 확산 3) 진단·치료의 미세화 4) 환자 중심화 등을 꼽았다.

이번호 II. 융합연구 기술동향에서는 건강장수시대 구현을 위한 5가지 기술을 소개한다.



'나노-바이오 융합을 통한 바이오센서 기술'에서는 질병의 발현유무를 병원이 아닌 집에서 개인이 스스로 알아내고 건강관리를 할 수 있게 해주는 바이오센서 및 이의 응용에 관한 연구를 소개하고 있다.



'IT 기술의 활용을 통한 QoLT 연구'에서는 선진국을 중심으로 진행되고 있는 QoLT(Quality of Life Technology) 연구를 소개하며, 특히 첨단 의료기술과 IT기술을 접목하여 노인과 장애인이 독립적인 생활을 할 수 있게 해주는 기술을 담고 있다.



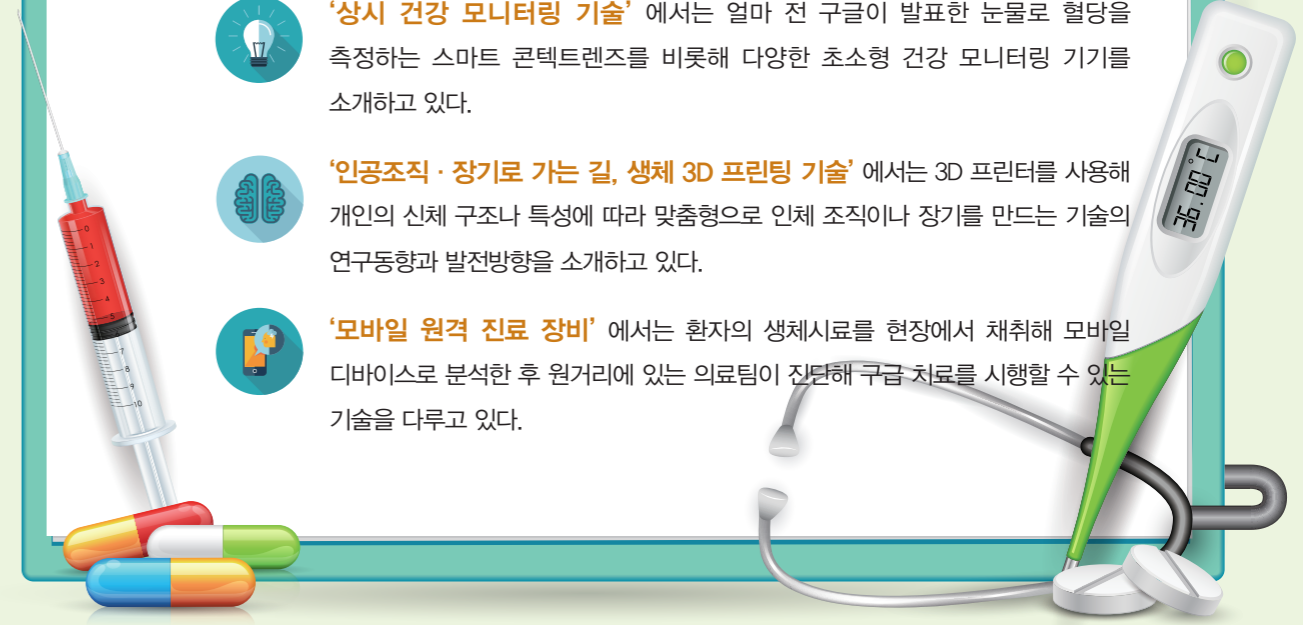
'상시 건강 모니터링 기술'에서는 얼마 전 구글이 발표한 눈물로 혈당을 측정하는 스마트 콘택트렌즈를 비롯해 다양한 초소형 건강 모니터링 기기를 소개하고 있다.



'인공조직·장기로 가는 길, 생체 3D 프린팅 기술'에서는 3D 프린터를 사용해 개인의 신체 구조나 특성에 따라 맞춤형으로 인체 조직이나 장기를 만드는 기술의 연구동향과 발전방향을 소개하고 있다.



'모바일 원격 진료 장비'에서는 환자의 생체시료를 현장에서 채취해 모바일 디바이스로 분석한 후 원격리에 있는 의료팀이 진단해 구급 치료를 시행할 수 있는 기술을 다루고 있다.



나노-바이오 융합을 통한 바이오센서 기술

황교선 박사 NT-BT 융합전문위원

고도의 경제 성장기를 거치면서 사람들은 물질적 풍요가 삶의 질 향상과 항상 비례하지 않다는 것을 깨달은 후 진정한 삶의 질 향상에 관심을 갖게 되었다. 삶의 질 향상에 가장 기본이 되는 것은 건강한 몸과 마음인데 최근에는 '100세 건강시대' 라고 하여 평균수명이 100세에 도달하는 시기가 얼마 남지 않았으며, 그에 맞는 올바른 건강관리가 주요 화두로 떠오르고 있다. 건강관리에 있어 질병을 조기에 진단하여 효과적인 치료 및 예방을 할 수 있도록 관리하는 것은 가장 기초적이면서 매우 중요하다.

많은 생체 정보를 포함하는 혈액을 통해 혈액 내 극미량으로 존재하는 질병 관련 생체물질(단백질, DNA 등)을 빠르고 정확하게 검출하여 질병의 발현 유무를 병원이 아닌 집에서 개인이 스스로 알아낼 수 있다는 것은 조기 진단에 있어서 매우 중요한 패러다임의 전환이라고 할 수 있다. Jim Kling 박사는 2006년 Nature Biotechnology지에 'Moving diagnostics from the bench to the bedside' 라는 제목으로 게재하였다. 머지않은 미래에 병원 검사실에서 이루어지던 질병진단 행위가 침대 옆에서 이루어진다는 것이다. 질병진단이 행해지는 위치가 병원의 검사실에서 개인공간으로 옮겨지는 변화는 진단 시스템의 소형화를 용이하게 하고 고감도 생체물질 검출 성능을 갖는 마이크로/나노 기술 기반 바이오센서가 이를 실현할 것이라고 말하고 있다.

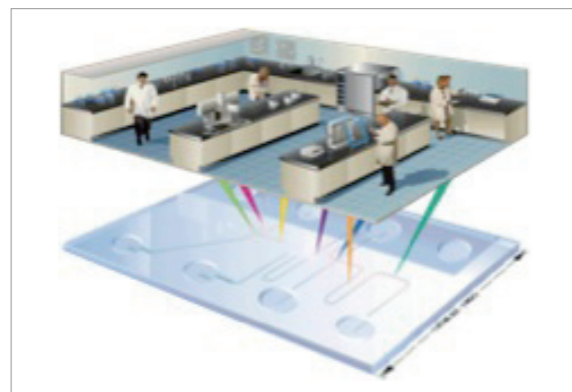


그림1 마이크로/나노 기술 기반 바이오 칩(랩온어 칩) 모식도¹⁾

마이크로/나노 기술 기반의 바이오센서는 극저 농도로 존재하는 질병관련 생체물질을 검출할 뿐만 아니라 미지의 질병 관련 생체물질을 밝혀내는 연구에도 유용하게 사용될 수 있고, 혈액과 같은 생체 시료의 사용량을 수 마이크로 리터 이내로 최소화하여 다양한 응용을 가능하게 할 수 있다.

대표적인 마이크로/나노 기술 기반 바이오센서는 나노 입자와 같이 물질 기반의 연구와 마이크로/나노구조체를 제작하여 응용하는 연구로 크게

나뉘는데 나노 입자는 개발된 센서의 성능을 증진시키는데 주로 사용되었다. Northwestern 대학 Mirkin 교수 연구 그룹은 나노 와이어의 전도도 변화를 이용한 바이오센서에 나노입자를 이용하여 민감도를 극대화 하였다. 두 전극 사이에 나노 와이어 구조를 형성되게 한 후 나노 와이어 표면에 특정 염기 서열을 갖는 DNA를 고정하고 이에 상보결합을 하는 DNA와 금 나노 입자를 결합시켜 반응시키면 DNA 간의 상보 결합(hybridization)에 의해 나노 와이어 위에 금 나노입자가 배열되게 된다. 두 전극 사이에 전압을 인가하면 금 나노입자의 배열을 통해 전자가 자유롭게 이동하게 되고 전도도가 증가하여 나노 와이어 센서의 민감도는 크게 증가한다고 할 수 있다.

마이크로/나노구조체를 바이오센서로 응용하는 연구는 캔틸레버 센서가 대표적이라고 할 수 있다. 캔틸레버는 한쪽 끝이 고정되어 있고 나머지 끝은 자유롭게 움직일 수 있는 구조의 날뽀지 형상을 가지고 있는데, 이는 수영장의 스프링 다이빙 보드와 매우 흡사하다고 할 수 있다. 이러한 형상을 갖는 캔틸레버를 마이크로미터 수준에서 제작하여 바이오센서로 응용할 수 있다.

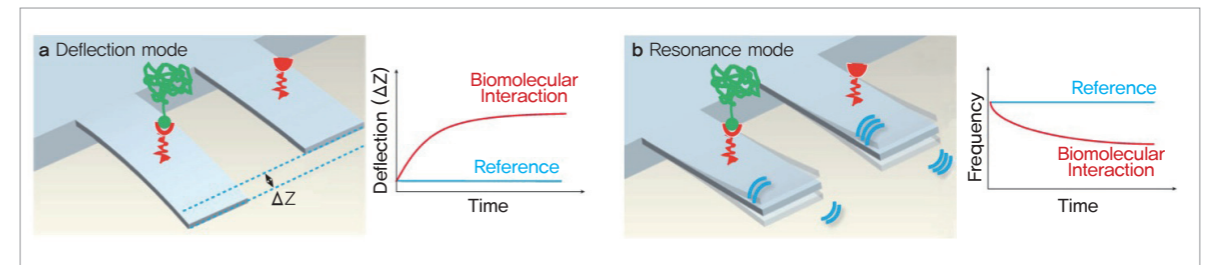


그림2 마이크로/나노 캔틸레버를 이용한 센싱 원리 모식도²⁾

마이크로/나노 캔틸레버를 이용하여 생체물질을 검출하는 원리는 그림2와 같이 마이크로 캔틸레버 센서의 표면에서 특이 생체 반응(예: 항원-항체 반응)이 일어났을 때 표면응력 변화에 의하여 발생하는 휘어짐을 측정하는 정적 모드(static mode or deflection mode)와 질량 증가 및 스프링 상수의 변화에 의하여 발생하는 공진주파수 변화를 측정하는 동적 모드(dynamic mode or resonance mode) 두 가지로 분류된다. 세계 여러 그룹에서 이 두 가지 검출 모드를 이용하여 질병 관련 생체물질을 검출하는 연구가 진행 중에 있다. 특히 KIST에서는 압전 물질을 포함한 캔틸레버 센서를 제작하여 전립선 암, 심근경색, B형 및 C형 간염 바이러스 관련 생체물질을 검출하는데 성공하였고,³⁾ 최근에는 그 응용 범위를 공기 중 미세 물질 감지로 넓혔으며,⁴⁾ 알츠하이머병 조기진단 시스템에 적용하는 연구를 수행 중에 있다. 제작된 캔틸레버 센서를 이용해 혈액 내 수 ng/mL(밀리리터 내 나노 그램) 이하로 존재하는 단백질 등을 검출할 수 있었고, 이는 기존 병원에서 사용하는 책상 이상 크기의 검사장비와 유사한 검출 성능을 보이는 것으로 확인되었다. 이로써 나노 기술과 바이오 기술이 융합된 바이오센서를 소형 개인 질병진단기로 활용할 수 있음을 보여 주었다고 할 수 있다.

2) K.S. Hwang et al.(2009), Ann. Rev. Anal. Chem. 2, 77-98.
 3) 3-1) J.H. Lee et al.(2011), Adv. Mater. 23, 2920-2923. 3-2) K.S. Hwang et al.(2009), J. Appl.(2009), Phys., 105, 102017.
 4) 4-1) K.S. Hwang et al.(2011), Biosens. Bioelectron, 30, 249-254. 4-2) Y.K. Yoo et al.(2012), Anal. Chem. 84, 8240-8245.

IT 기술의 활용을 통한 QoLT(Quality of Life Technology) 연구

김익재 · 최희승 박사 IT 융합전문위원

연구배경

최근 사회적으로 과학기술에 대한 인식이 경제성장을 위한 수단을 넘어 건강·안전 등 삶의 질 향상을 가져다 주는 수단으로 확대됨에 따라 과학기술의 패러다임은 성장과 삶의 질을 함께 중시하는 방향으로 진화하고 있다. 특히 의료 서비스에 대한 소비자의 인식은 기존의 치료 위주의 의료 공급자 중심서비스에서 예방·건강증진에 중점을 둔 수요자 중심의 서비스로 변화되고 있다. 전 세계적 현상인 저출산·고령화 사회로의 진입으로 인해 만성질환 및 건강관리 서비스에 대한 수요가 증가하는 가운데 기존 의료서비스의 접근성을 향상시키고 질의 저하를 막기 위한 특별한 수단이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 이미 미국, EU, 일본 등 선진국들의 경우에는 사태의 심각성을 깨닫고 건강관리 서비스 선진화를 위한 첨단 IT 기술이 접목된 헬스케어(healthcare) 산업 및 연구개발을 지속적으로 강화하고 있다. 미국의 경우 2006년 Carnegie Mellon University와 University of Pittsburgh 등의 연구소 및 산업체 간 협력으로 Quality of Life Technology(QoLT) 센터를 설립하여 노인과 장애인을 위한 기술개발 및 연구활동에 집중적으로 투자하고 있으며 개발된 기술의 실효성 향상을 위한 노력을 기울이고 있다. EU는 제 7차 다자간 공동기술 개발 프로그램(Framework Program)을 통해 IT 기술을 활용하여 유럽 사회의 경쟁력 및 삶의 질 향상에 기여하는 노력을 하고 있다. 이미 초고령화 사회로 진입한 일본의 경우에도 사회기술 연구개발센터(RISTEX) 등을 운영하며 다양한 IT 기술을 활용한 사회적·공익적 가치를 창출하는 연구개발 프로그램을 추진 중에 있다.¹⁾ 하지만 국내의 경우 그간 과학기술의 사회적 역할에 관한 분야는 정책의 사각지대였으며 의료서비스 사업 역시 중증 상태의 고령자, 장애인만을 대상으로 한 재활보조기구의 개발이 주를 이루었다. 따라서 본 고에서는 현재 활발히 진행 중인 IT 기술이 활용 혹은 융합된 고령자·장애인의 삶의 질 향상 기술에 대해 미국 QoLT 센터의 연구 사례를 중심으로 소개하고 향후 발전 방향에 대해 논의를 진행하고자 한다.

중점 연구분야

최근 QoLT 연구의 방향은 기존 재활보조기구 개발 위주의 연구에서 탈피하여 첨단 의료 기술과 IT 기술을 접목하여 고령자·장애인의 독립적인 생활(Active aging & Active Disability)을 지원하도록 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적 연구기관인 미국의 QoLT 센터²⁾에 따르면 연구 분야는 크게 4가지 요소로 구분할 수 있으며 각

1) 한국연구재단(2013), R&D 동향누리 Vol. 7
2) <http://www.cmu.edu/qolt/index.html>

분야별로 첨단 IT 기술이 널리 활용되고 있다. (그림1)

- **Perception and Awareness** 사용자가 소지한 다양한 센서를 통해 획득한 대용량의 데이터를 활용하여 사용자 주변환경 및 인물, 이벤트를 자동으로 인지하는 기술
- **Mobility and Manipulation** 로봇 등의 기계를 활용하여 사용자의 일상적인 활동(이동 및 기기조작)에 도움을 주는 다양한 종류의 보조기구 개발 연구
- **Human System Interaction** 인공지능 기반의 알고리즘을 활용하여 사용자의 의도를 자동으로 파악하고 이를 바탕으로 개발된 기구들의 사용자 활용도를 높이는 방안에 대한 연구
- **Person and Society** 개발된 사용자 보조기구들에 대한 사용자들의 인식, 거부감, 사회적 비용, 활용 가능성 등을 설문 등을 통해 피드백 받아 기구 개발의 효율성을 향상시키기 위한 연구

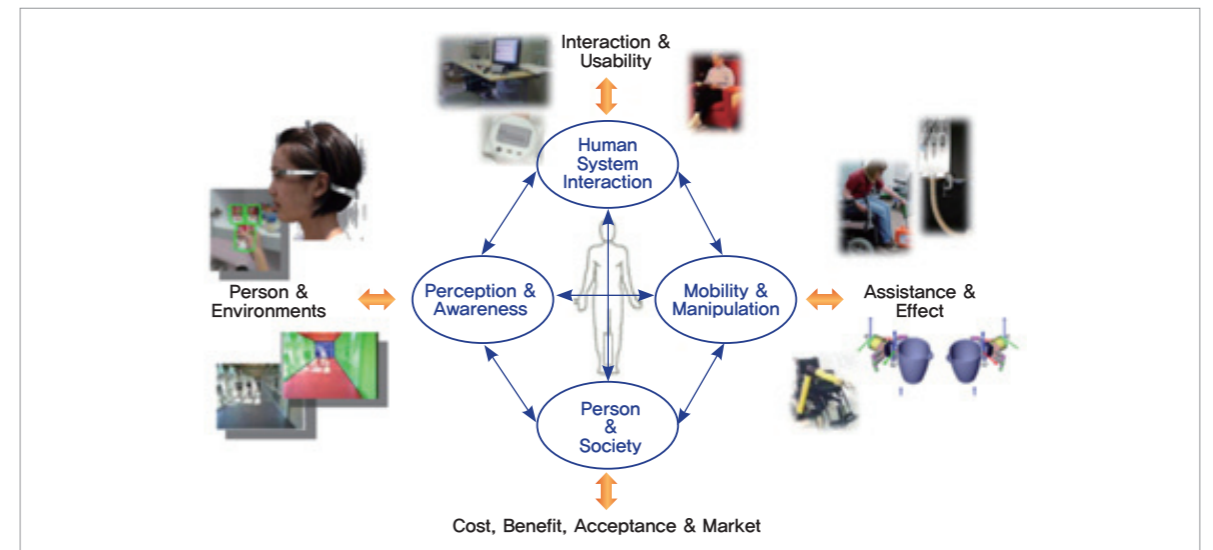


그림1 QoLT 연구방향³⁾

첨단 IT 기술을 활용한 QoLT

현재 미국의 QoLT 센터에서는 H/W 및 S/W를 융합한 다양한 프로젝트를 진행하고 있다. 주목할만한 성과로는 로봇 시스템 기반의 QoLTbots, 다기능 센서 기반의 Virtual Coach가 있다. 이들이 기존의 보조기구들과 다른 점은 일상생활이 불편한 고령자·장애인이 독립적인 생활을 할 수 있도록 도움을 줄 수 있는 형태의 로봇 혹은 기구에 사용자의 주변 상황을 자동으로 인지하여 사용자의 행동 결정에 도움을 주거나 위험 상황을 사전에 감지하는 인공지능 시스템을 접목하였다는 것이다. (그림2) 이러한 인공지능형 보조기구를 개발하는데 결정을 미치는 요소들에는 사용자 상호작용(User interaction), 전문가 처방(Prescription), 사용자 편의성(Usability) 등을 고려할 수 있겠지만 인공지능기술의 가장 핵심이 되는 요소는 IT 기술을 활용한 센서 데이터 프로세싱(Sensor data processing)이라고 할 수 있다.

3) http://www.nar.uni-heidelberg.de/md/nar/medien/pdfs/schulz_nar_apa2013.pdf

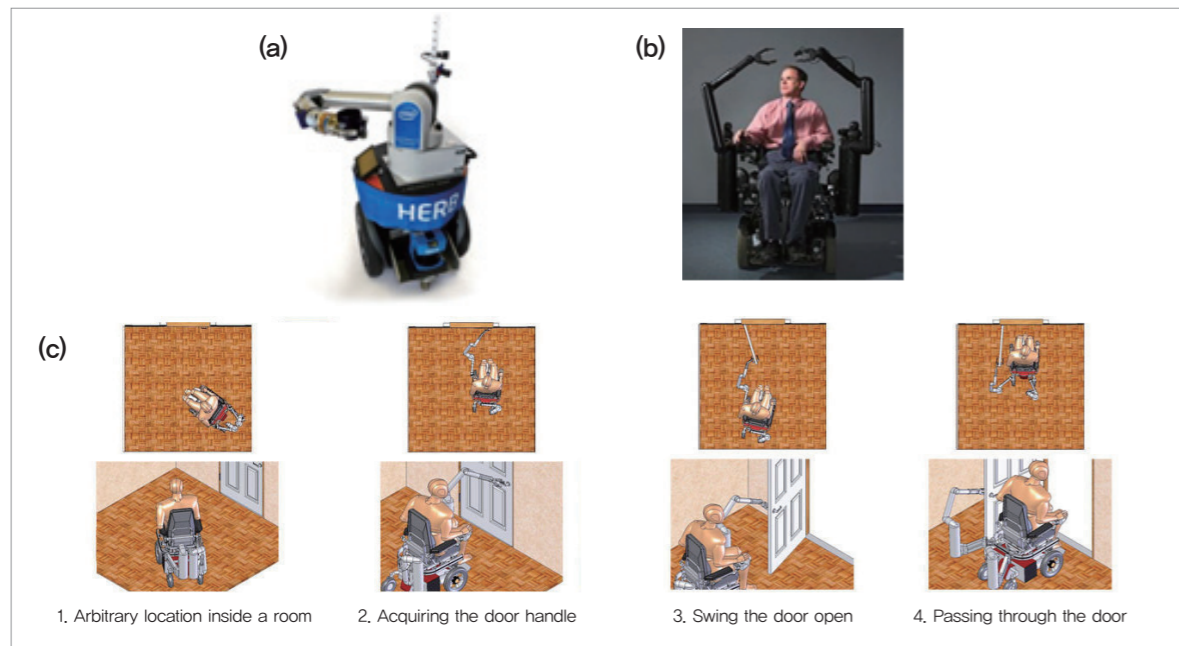


그림2 QoLTbots (a) HERB (b) PerMMA (c) PerMMA 활용 예⁴⁾

예를 들어 휠체어를 탄 사람이 얼마나 높은 경사를 올라가는지, 도로 지면의 상황은 어떤지, 어떠한 주변 이벤트가 발생하는지에 대한 정보를 다기종 센서를 통해 획득하고 자동으로 상황을 인지해 추후 원거리에서 센서의 정보만으로도 사람의 동작 혹은 주변 환경을 알아내 보조기구의 형태나 기울기 등을 자동으로 조절함으로써 사용자의 위험을 사전에 차단한다는 것이다. 특히 가장 널리 사용되는 영상 데이터들은 다양한 컴퓨터 비전 기술 및 패턴 인식 방법을 활용하여 발생한 이벤트를 인식(Recognition)하고 트래킹(Tracking) 할 수 있어 사용자, 특히 시각 장애인의 경우 그들의 의사 결정에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다. (그림 3, 4)



그림3 컴퓨터 비전 기술 기반 물체 인식(object recognition)⁵⁾

4) <http://www.cmu.edu/qolt/Research/projects/current-projects/permma.html>
5) <http://www.cs.cmu.edu/~hebert/discovery1.htm>

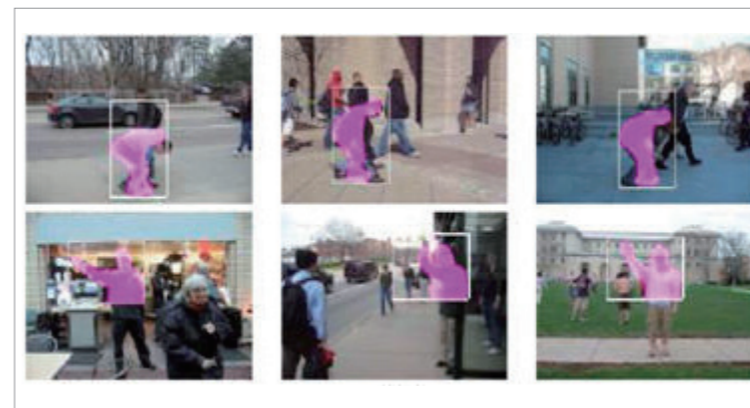


그림4 컴퓨터 비전 기술 기반 행동 인식(behavior recognition)⁶⁾

또한 다양한 실생활에서 강인한 동작을 위해 QoLT 센터에서는 Grand Challenge라는 프로젝트를 통해 노약자, 장애인들의 일상적인 활동에 대한 데이터를 다양한 환경, 센서로 획득하고 이를 공개하여 연구에 활용하고 있다. (그림 5) 카메라, 모션센서, 마이크로폰 및 다양한 웨어러블 센서를 통해 수집된 방대한 양의 데이터(Massive data)를 통해 데이터 학습(Data-driven learning) 방식으로 모델을 생성하고 패턴을 분석해 사전에 위험요소를 감지하는 기술을 개발하는 것을 목표로 연구를 진행하고 있으며, 더 나은 성능을 목표로 다양한 성격의 데이터 융합(Data fusion) 연구도 진행 중이다. 더불어 Inside-Out Sensing 프로젝트의 경우 구글글래스와 같은 카메라 기반 웨어러블 디바이스의 활용도를 높이기 위해 저해상도(Low resolution), 모션 블러(Motion blur), 복잡한 환경(Cluttered environment) 및 가림(Occlusion) 상황에서의 인식 문제를 해결하기 위한 컴퓨터 비전 기술을 개발하고 있다.

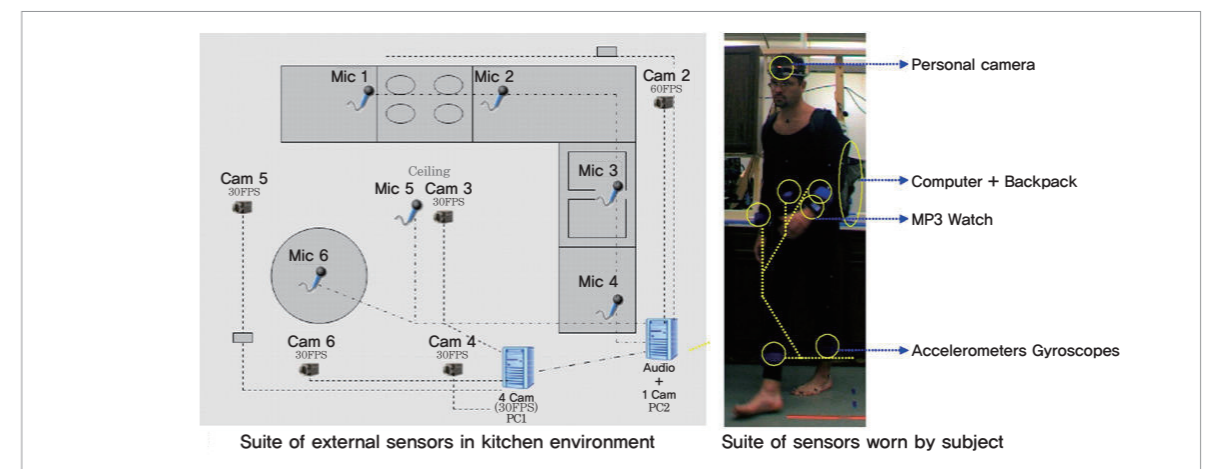


그림5 QoLT의 Grand Challenge 프로젝트 예⁷⁾

또한 Safe Driving 프로젝트에서는 저가의 센서, 카메라 등을 이용하여 고령, 장애 운전자의 안전한 자립 운행(사용자의 위험 인지 능력 향상, 안전한 자동 주차 등)에 도움을 주는 DriverCap, Virtual Valet 등의 시스템을 개발 중에 있다. (그림 6)

6) <http://www.cmu.edu/qolt/Research/projects/current-projects/recognition.html>
7) <http://www.cmu.edu/qolt/Research/projects/current-projects/grand-challenge.html>



그림6 QoLT의 Safe Driving 프로젝트 예⁸⁾

이외에도 U-healthcare(Ubiquitous-healthcare)의 한 방편으로 사용자 스스로 언제나 자신의 건강 상태를 체크하고 이를 의사와 상담할 수 있는 모바일 통신 시스템 기반의 health kiosk를 개발하였으며, 키넥트(Kinect) 및 다기준 센서의 데이터를 퓨전하고 이렇게 퓨전된 정보를 인식하여 피드백을 제공하는 운동 및 재활 프로그램(Personal Intelligent Coach) 또한 개발 중에 있다. (그림 7, 8)

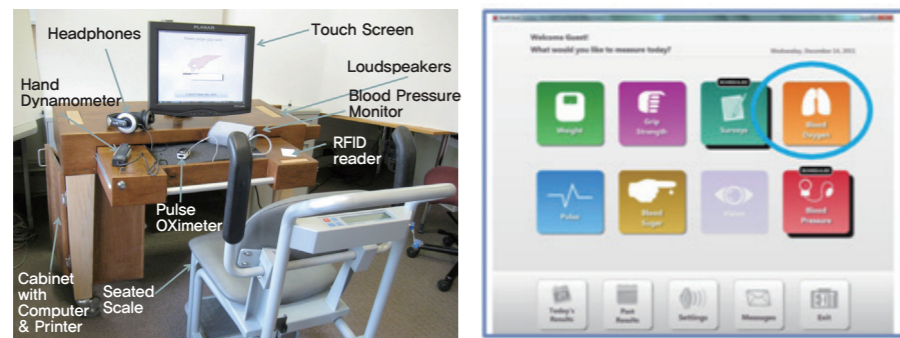


그림7 Health kiosk 및 다양한 의료 진찰 예⁹⁾

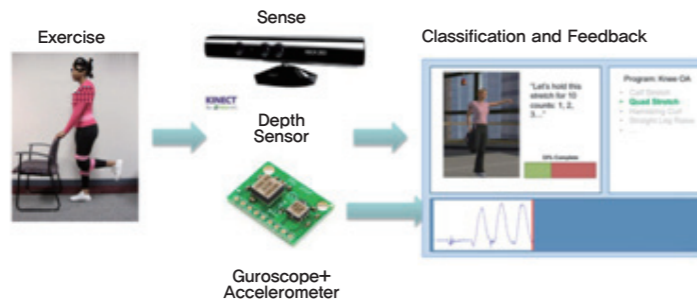


그림8 Personal Intelligent Coach 활용 예¹⁰⁾

8) http://www.cmu.edu/qolt/documents/02a_QoLTYr6_%20Projects_Aug12.pdf

9) http://www.nar.uni-heidelberg.de/md/nar/medien/pdfs/schulz_nar_apa2013.pdf

10) 10-1) Portia E. Taylor et al.(2010), Classifying Human Motion Quality for Knee Osteoarthritis Using Accelerometers, 32nd annual international conference of the IEEE EMBS, 10-2) http://www.nar.uni-heidelberg.de/md/nar/medien/pdfs/schulz_nar_apa2013.pdf

결언

고령화 사회를 사는 우리에게 QoLT 연구는 필수적인 연구분야이며 사회적 요구도 절실한 상황이다. QoLT 기술은 고령화에 따른 제반 문제를 해결해 줄 수 있을 것으로 기대되며 삶의 질 향상에 대한 욕구를 충족시켜줄 수 있다. 특히 첨단 의료 기술과 IT 기술을 접목한 의료산업은 IT, BT, 서비스 등이 복합된 대표적인 융합 신산업이자 일자리 창출의 보고인 미래 성장동력이다. 그러나 아직 국내의 경우 QoLT 기술에 대한 전반적인 인식이 부족한 실정이며 관련 원천 기술에 대한 확보 또한 미비한 실정이다. 현재 QoLT 연구의 성공 가능성을 높이기 위한 필수 IT 기술로는 다중 데이터 표현 및 압축, 효율적 데이터 저장, 데이터 퓨전, 데이터 인식 및 트래킹 기술, 데이터 검색 기술이 주를 이룰 것이며 각각의 기술들에 대한 경쟁력은 이미 충분히 확보하고 있다. 따라서 이러한 원천 기술의 고도화 및 융합을 꾀한다면 편의성이 증대된 새로운 형태의 QoLT 기술이 국내에서도 개발될 수 있을 것이라 생각한다.

상시 건강 모니터링 기술

이택성 박사 IT-NT 융합전문위원

과학기술의 발달과 이전 보다 나은 경제생활로 사람의 수명은 날로 늘어나고 있다. 특히 우리나라의 경우 인구의 가장 많은 부분을 차지하고 있는 베이비붐 세대의 노령화에 따라 세계에서 가장 빠른 고령화 사회에 진입하고 있다. 우리나라의 베이비붐 세대란 한국전쟁 이후 1955년에서 1963년 사이에 태어나 2014년 현재 50세에서 59세에 이르는 연령층으로, 통계청에 따르면 그 인구수가 약 700만 명에 이른다. 이들이 점차 노동시장에서 은퇴가 본격화되면서 경제활동 인구 감소문제가 가시화됨은 물론 향후 이들의 고령화에 따른 의료비 급증 또한 심각한 사회문제로 대두되고 있다.

사람의 수명이 충분히 연장되면서 이제는 '얼마나 오래 사느냐의 문제' 에서 '어떻게 하면 건강하게 살 수 있을까' 라는 삶의 질에 관한 문제로 관심사가 바뀌고 있다. 의학적으로 사람 눈의 수명은 60~70년, 귀의 수명은 70~80년에 불과하다고 한다. 사람이 이보다 오래 살고 신종플루나 A와 같은 각종 새로운 질병 또한 늘어남에 따라 건강한 삶을 살아가기 위한 예방과 관리의 중요성이 날이 갈수록 증대되고 있다.

구분	헬스케어 1.0 (공중보건의 시대)	헬스케어 2.0 (질병치료의 시대)	헬스케어 3.0 (건강수명의 시대)
시대	18~20세기 초	20세기 초~말	21세기 이후
촉발시킨 기술혁신	인두점종(1721년)	페니실린 발견(1928년)	인간 지능 해독(2001년)
주목적	전염병 예방과 확산 방지	질병 치료	질병의 예방 및 관리를 통한 건강한 삶 영위
건강지표	전염병 사망률	기대수명	건강수명
공급자	국가	제약, 의료기기, 병원	기존 공급자 외 IT, 건설, 자동차, 가전, 보안 등
수요자	일반인 (전 국민)	환자	일반인
산업의 변화	<ul style="list-style-type: none"> 예방접종 활성화 청진기, 엑스레이 발명 	<ul style="list-style-type: none"> 제약·기기·서비스 산업 본격화와 보험 발달 	<ul style="list-style-type: none"> 제약-서비스, 제약-진단기기의 연계 및 통합 병원의 수익모델 확대
성과	<ul style="list-style-type: none"> 전염병 사망률 감소 개인별 질환치료 미흡 	<ul style="list-style-type: none"> 질환 극복 기대수명 연장 의료비 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 일상 관리, 맞춤 치료 등을 통해 의료비 절감, 건강수명 연장(전망)

표1 헬스케어 시대별 특징¹⁾

1) 삼성경제연구소(2011), '헬스케어 3.0: '건강수명' 시대의 도래, 제 931호.

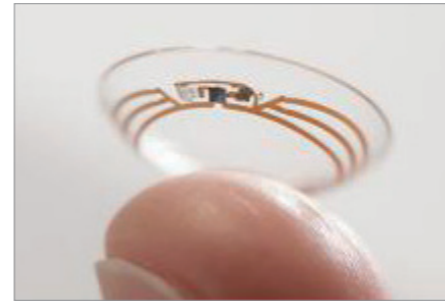


그림1 구글의 스마트 콘택트렌즈²⁾

표1에서 보는 바와 같이 사람들의 건강관리는 과거 20세기의 질병 치료에서 이제는 질병을 사전에 예방하고 일상 관리를 통해 건강을 유지하는 시대에 살고 있다. 예방과 관리 중심의 헬스케어는 일상관리를 통해 질병을 예방하는 것으로 수면 중이나 일상생활에 헬스기기나 생체신호를 감지하고 분석하는 것으로 묘사될 수 있다. 최근 삼성전자의 손목 시계형 '갤럭시 기어'나 애플의 '아이워치'를 통한 맥박이나 체온, 혈압 등을 상시적으로 모니터링하려는 시도가 대표적이다.

최근 구글은 자사의 공식 블로그를 통해 눈물로 혈당을 측정할 수 있는 콘택트렌즈 개발에 나섰다라는 보도를 했다. 이 렌즈는 두 개의 막 사이에 초소형 무선통신 칩과 혈당 측정 센서를 넣은 형태로, 렌즈를 통해 눈물 속의 혈당 수치를 측정하여 실시간으로 혈당의 변화를 추적하는 시스템으로 기존에 피를 뽑거나 소변을 통해 혈당을 체크하는 방법보다 간단하고 실시간으로 이루어진다는 장점이 있다.

이러한 아이디어는 맨 처음 2010년경에 미국 워싱턴 주립대학에서 나왔다. 그림1에서 보는 것처럼 안구에 맞게 구부러진 콘택트렌즈 형태의 폴리머 기판 위에는 안테나와 혈당센서, 센서 인터페이스 칩 등이 집적되어 있다. 일반적으로 눈물샘에서 분비되는 체액의 한 종류인 눈물에는 글루코스(glucose)나 콜레스테롤, 염분, 칼륨 등의 질병을 체크할 수 있는 바이오마커를 함유하고 있다. 특히 당뇨를 측정하는 글루코스의 경우 혈액 속에 있는 것보다 10배 정도가 많은 0.1~0.6 mM 정도가 함유되어 있어 콘택트렌즈에 혈당 센서를 부착해 이를 측정할 경우 주사기 바늘로 혈관을 찌르는 번거로움이나 통증도 없을 뿐더러 일상생활 중에 지속적인 측정이 가능하여 정확한 혈당 관리를 할 수 있게 해 준다.

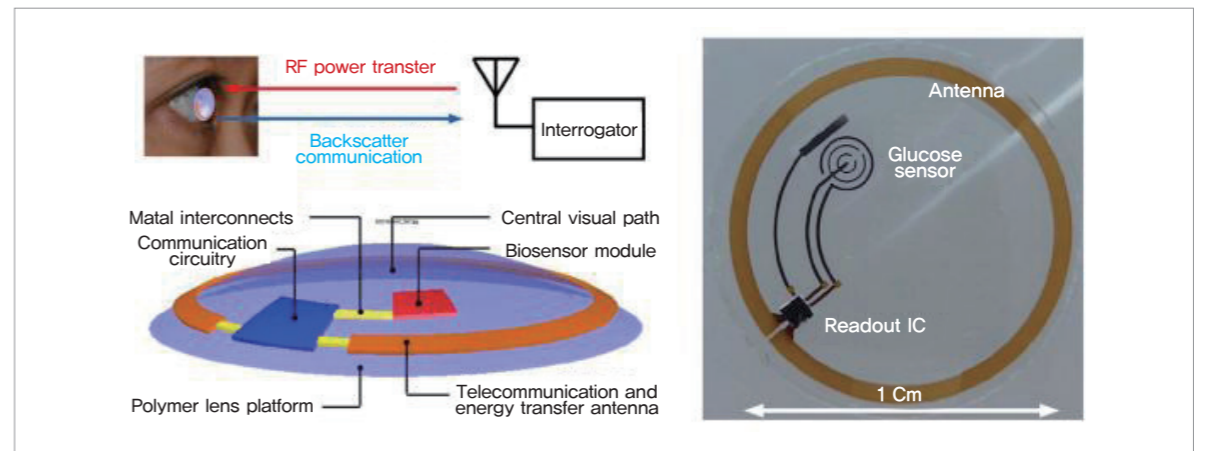


그림2 워싱턴 대학에서 개발 중인 혈당 모니터링용 콘택트렌즈 개략도³⁾

2) 월간 전자과학(2012), 질병 조기 진단하는 스마트한 바이오칩, 5월호.

3) Y. Liao, et. al.(2012), A 3-um CMOS glucose sensor for wireless contact-lens tear glucose monitoring, IEEE J. Solid-state circuits 47, 335.

인공조직 · 장기로 가는 길, 생체 3D 프린팅 기술

이현주 박사 IT-NT 융합전문위원

개요

외상(外傷)으로 인한 조직(Tissue)이나 장기(Organ)의 손상 혹은 병에 걸려 수술로 제거해 버린 인체조직을 대체할 인공 조직이나 인공 장기에 대한 기술이 지난 수십 년 동안 비약적으로 발전해 왔고 여러 방법으로 이식(移植)이나 치료를 통해서 인간 장기의 기능보조(機能補助)에 이용되어 왔다. 인공심장은 혈액을 계속적으로 순환시켜 주는 기능을, 인공 관절은 몸을 지탱하고 움직일 수 있는 기능을, 인공피부는 손상된 피부조직을 대신하여 그 기능을 수행할 수 있도록 설계되고 적용된 기능보조 인공 장기의 한 예라 할 수 있다. 그러나 최근에는 이러한 기능보조(機能補助)에서 한 걸음 더 나아가 기능치환(機能置換)을 가능하게 하는 것을 목표로 재생 장기나 대용 장기가 되는 인공 조직 · 장기의 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

인공 장기는 그 개발 순서에 따라 크게 세가지로 분류할 수 있는데, 기계장치 등을 이용해 특수 장기의 기능을 재현하는 문자 그대로의 인공 장기, 재생 의학(Tissue Engineering)으로부터 만들어지는 재생 장기, 모든 장기를 하나의 세포로부터 배양해 특정 조직이나 장기를 생산하는 인공 장기로 나눌 수 있다. 이들 세 종류의 인공 장기는 대부분 대략적인 순서에 따라 과거, 현재, 미래의 인공 장기로 단계적인 연구 개발과 실용화가 진행되고 있다.

그러나 최근 줄기세포를 이용한 자가세포 복제 기술과 3D 프린팅과 같은 맞춤형 3차원 형상 구현 기술이 소개되고 연구가 진행됨에 따라 지지체(Scaffold)를 제작하고 세포를 배양해 인체대체 물질로 사용하려는 시도가 진행 중에 있다. 실제로 환자 자신의 몸에서 필요한 조직을 분리하여 세포를 배양한 다음 생체재료에 심어 일정기간 체외 배양한 후 체내로 이식하는 방식으로 80년대 미국 메사추세츠공과대학(MIT)이 화상환자를 위한 인공피부를 제작한 적이 있으며, 조직공학(Tissue Engineering)과 함께 생체조형기술(Bio-fabrication)이라는 새로운 학문으로 부각되기 시작하면서 활발한 연구가 진행되고 있다. 이러한 방식은 줄기세포를 이용하여 체외에서 생체조직과 장기를 만든 후 이식함으로써 인간복제에서 일어날 수 있는 윤리적, 사회적 문제를 극복할 수 있어 더욱 관심이 집중되고 있다¹⁾.

여기서 한걸음 더 나아가 생체재료나 살아있는 세포를 이용하여 인공 조직이나 장기를 직접 3D 프린터를 이용해 제작하려는 생체 3D 프린팅(Bio 3D Printing) 기술도 한창 연구 중에 있다. 아직까지는 실제 장기와 유사한 형상과 기능을 함께 갖는 인공 장기를 제작하기까지 해결해야 할 문제들이 많이 남아있지만 이번 원고에서는 생체 3D 프린팅(Bio 3D Printing)의 역사 및 기술 현황, 적용사례, 문제점 및 추후 연구 방향 등에 대해 다루고자 한다.

1) 김완두(2011), 맞춤형 스캐폴드 제작을 위한 3차원 바이오조형기술, BioIn스페셜 WebZine 21호.

스마트 콘택트렌즈가 상용화되기 위해서는 해결해야 할 문제도 아직 많이 남아 있다. 콘택트렌즈와 같이 작고 얇은 영역 안에 파워를 공급하는 문제에서부터 플렉서블한 곡면에 회로를 부착하는 문제, 동작 중에 온도 상승으로 인한 인체의 손상 가능성과 같은 위험성이나 콘택트렌즈와 인체와의 적합성이나 사람들이 느끼는 거부감 등이 그것이다.

KIST에서도 지난 해부터 미래융합기술연구본부를 중심으로 눈물을 이용한 당뇨병의 지속적인 진단을 목표로 콘택트렌즈형 개발 과제에 착수하였다. 특히 센서 구동을 위한 에너지하베스트형 배터리를 장착하여 외부의 파워 공급없이 작동할 수 있는 시스템 개발 등 타 연구와 차별성을 부여하기 위해 노력 중이다. 눈물 속의 혈당을 지속적으로 모니터링할 수 있는 높은 감도의 센서 개발, 수집한 데이터 처리를 위한 기술, 처리 데이터의 무선 전송 기술, 에너지 발전 및 저장 기술, 시스템 기술 등의 융합기술이 접목된 이러한 상시 모니터링 기술이 상용화 된다면 좀 더 건강하고 행복한 우리들의 노년이 되지 않을까 기대해 본다.

4) 한국바이오협회(2013), 창조경제와 창조산업 육성을 위한 바이오칩 연구개발 동향, 한국바이오칩 학회집, 19.

● 생체 3D 프린팅(Bio 3D Printing)이란?

생체조형기술(bio-fabrication)이라고 하면 다양한 물질의 생체적합 소재 혹은 생체 재료로 만들어진 지지체(scaffold)에 조직을 이룰 수 있는 세포를 배양하여 화학적·기계적으로 동일한 기능을 하도록 인공으로 생체 조직이나 장기를 만드는 기술을 말한다. 생체조형기술은 인공피부 개발을 시작으로 뼈, 연골과 같은 구조적 장기와 혈관, 간, 신경조직과 같은 기능적 장기를 중심으로 활발한 연구가 이루어지며 발전되어 왔다. 그러나 그 동안 지지체에 사용된 물질은 구조용 장기에는 티탄, 티탄-알루미늄-바나듐 합금, 코발트-크롬 합금, 스테인리스 스틸 등의 금속 소재가 주로 사용되고 있고, 기능적 장기에는 콜라겐(collagen), 알부민(albumin), 아미노산(poly(amino acid)) 등 단백질과 단백질을 기초로 하는 고분자, 셀룰로오스(cellulose), 아가로스(agarose), 알지네이트(alginate), 헤파린(heparin), 히아루론산(hyaluronic acid), 키토산(chitosan) 등이 사용되어 왔다.¹⁾

그러나 조직공학의 최종 목표는 기계적·생물학적으로도 신체 장기와 유사한 장기의 개발에 있기 때문에 지지체 자체도 조직세포를 포함하거나 조직세포로 이루어진 인공 조직, 인공 장기의 개발을 목표로 소구경 인공혈관, 인공피부, 인공기관, 인공간 등을 개발하려는 움직임이 있다. 이를 위해 지지체를 형성하는 단계에 있어서 3D 프린팅 기법을 이용하게 되었고, 하이드로젤에 살아있는 세포를 섞어서 3차원 구조를 조형할 수 있는 바이오 잉크의 개발도 활발히 이루어지고 있다. 이에 기존의 다양한(금속, 비금속, 폴리머, 천연 소재 등) 소재의 지지체와 구별되는, 살아있는 세포를 이용하여 지지체를 형성하고 세포를 배양하여 기능성을 갖는 인공장기의 제작 방법을 통틀어 생체 3D 프린팅(Bio 3D Printing)이라 할 수 있다.

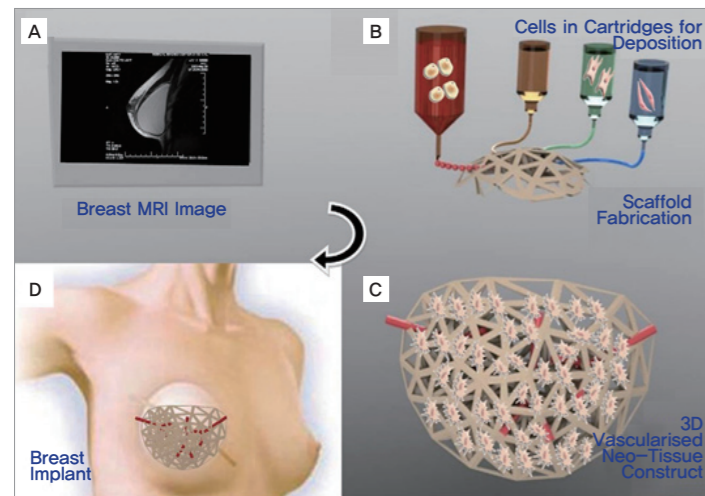


그림1 사고나 수술로 유방이 제거된 환자의 가슴복구를 위한 '바이오 3D 프린팅'의 개략도

현재 시도되고 있는 '생체 3D 프린팅'의 한 예로 사고나 수술로 유방이 제거된 환자를 위한 가슴 복원술이 있다. 그림1에서 보듯이 제거 전 환자 가슴의 엑스선 전산화 단층 촬영(X-ray computed tomography) 또는 컴퓨터 단층 촬영(Computer tomography, CT) 데이터로부터 정확한 3차원 형상을 얻고, 이를 바탕으로 복구하고자 하는 가슴의 형상을 완성한 뒤 본인의 줄기세포로부터 분화된 지방, 혈관, 신경 조직을 포함하는 바이오 잉크를 사용해 각 조직 세포가 살아서 기능을 하는 인공 가슴을 만들어 인체에 삽입함으로써 가슴을 복원하는 개념이다.²⁾

1) 김원두(2011), 맞춤형 스캐폴드 제작을 위한 3차원 바이오조형기술, Bio인스페셜 WebZine 21호.
2) F. P.W. Melchels et al.(2012), Additive manufacturing of tissues and organs, Progress Polymer Science, 37(31), 1079-1104.

● 생체 3D 프린팅의 역사

불과 수년 전부터 조금씩 조심스럽게 시작되고 있는 생체 3D 프린팅의 역사는 그리 길지 않다. 이는 조직공학, 줄기세포 배양기술, 3D 프린팅 기술이 모두 융합된 기술이기 때문에 그 역사의 모태를 찾아간다면 인공피부, 세포배양 잉크젯 프린팅 기술의 개발까지 거슬러 올라갈 수 있을 것이다. 생체 3D 프린팅 기술은 2010년대에서야 조직 세포가 살아있는 바이오 잉크, 이를 이용한 3D 프린팅 기법, 프린팅된 조직 세포의 배양 및 인체 삽입 기술이 모두 함께 발전되면서 가능해졌다. 그러나 생체 3D 프린팅 기술이 아직은 생체 기관이나 장기를 제조할 수 있는 수준에는 못미치기 때문에 적층 조직 가공법(Additive tissue manufacturing)이라고 불리기도 한다. 그림2는 1960년대 잉크젯 프린터 및 세포분리 기술이 태동되어 3차원 프린팅 기술 및 바이오 잉크개발과 함께 바이오로 적층 조직 가공법의 시대에 이르렀음을 보여준다.

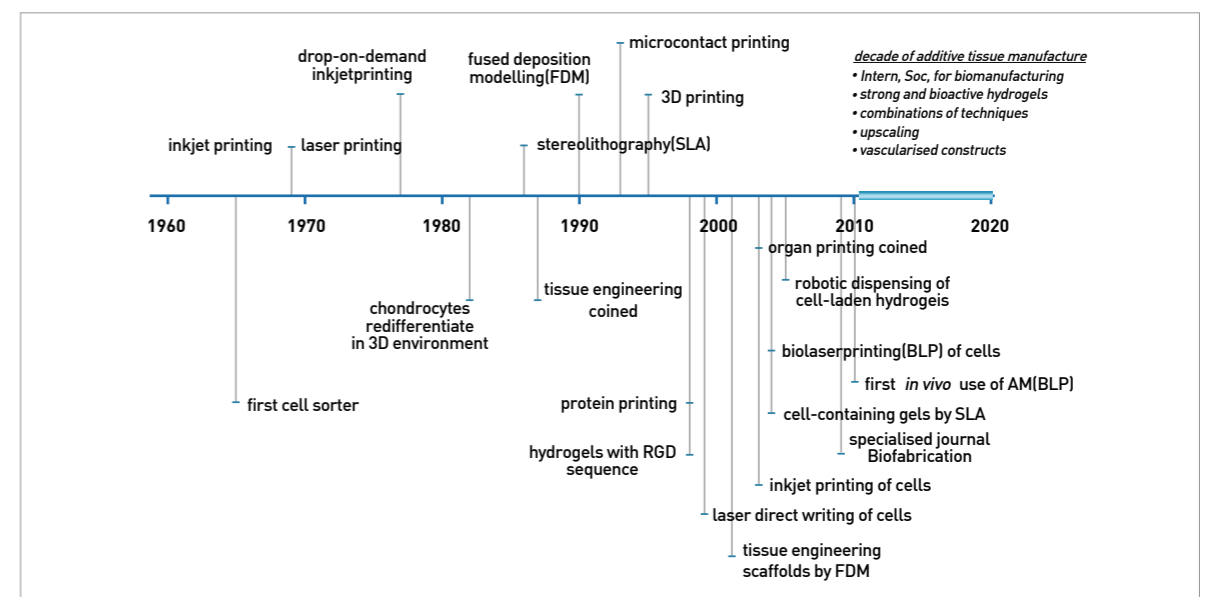


그림2 3차원 프린팅 기술과 조직공학의 발전으로 가능해진 '바이오 3D 프린팅' 기술²⁾

● 생체 3D 프린팅의 종류

앞서 구분한 것과 같이 생체조형기술(bio-fabrication)에 응용하기 위해 시도된 3D 프린팅 기술로는 (1)생체접합성 플라스틱을 응용하여 플라스틱 지지체를 제작하는 용착조형공정법(FDM), (2)금속, 세라믹 등의 소재로 된 구조지지용 인체 삽입용 임플란트 제작을 위한 선택적 레이저 소결법(SLS)이나 직접 금속 레이저 소결법(DMLS) 등이 길게는 20년 짝게는 수년 전부터 연구되어 사용되고 있다. 본격적인 생체 3D 프린팅으로서 살아있는 세포조직을 지지체에 담지(擔持)하여 배양이 가능하도록 이끌어준 기술로는 (3)하이드로젤 기반 바이오 잉크를 이용한 3차원 프린팅 기술이라고 할 수 있다. 이는 살아있는 조직 세포를 포함한 3차원 프린팅 기술로 두 가지 이상의 생체재료, 조직 세포, 지지체 등을 한번에 출력해 낼 수 있다는 장점이 있는데 그 용도 및 세포에 따라 각기 다른 분사 방식을 갖는다.

2) F. P.W. Melchels et al.(2012), Additive manufacturing of tissues and organs, Progress Polymer Science, 37(31), 1079-1104.

그림3에서 보는 것과 같이 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 레이저를 이용하여 순간적인 펄스 에너지로 세포를 분사하는 방식³⁾, 잉크젯 프린팅을 이용한 분사방식⁴⁾, 유압이나 기계적으로 압력을 가해 분사시켜 주는 방식이 있다.⁵⁾ 각각 방식에 따른 장단점이 있는데 레이저를 이용한 방식은 치수 정밀도가 1마이크로미터 이하이며 다른 방식이 갖는 막힘현상(Clogging)이 없다는 장점이 있으나 밀리미터나 센티미터 단위의 커다란 구조체 제작 시 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 잉크젯 프린팅 방식은 가장 오래된 기술 중에 하나여서 위치 제어나 바이오 잉크 개발에 필요한 기반 기술이 풍부하여 손쉽게 이용되는 기술이지만 막힘현상이 심하고 이에 따른 노즐의 교체가 필요하다. 최근에는 치수 정밀도가 1 마이크로 미터까지 내려 갔으며 1-100피코리터의 소량의 잉크가 사용되기 때문에 바이오 잉크의 사용 단가를 줄일 수 있다. 유압에 의한 분사 방식은 막힘 현상이 거의 없고 치수 정밀도가 200 마이크로 미터 내외이며 조형 속도가 빠르다는 특징을 갖는다. 보통 세포의 종류나 크기, 바이오 잉크의 점성에 따라 적당한 분사방법을 선택하게 되는데, 인체 삽입용 인공장기의 경우 복잡하면서도 여러가지 세포로 이루어져 있고 신경 및 혈관도 지나가는 구조체이기 때문에 그림1과 같이 커다란 구조체는 유압방식의 프린터를 사용하고 사이 사이에 잉크젯 방식이나 레이저 분사 방식을 이용하는 하이브리드 형태의 '원-프로세스(One-process)' 방식의 프린터를 개발하려는 연구가 진행 중에 있다.

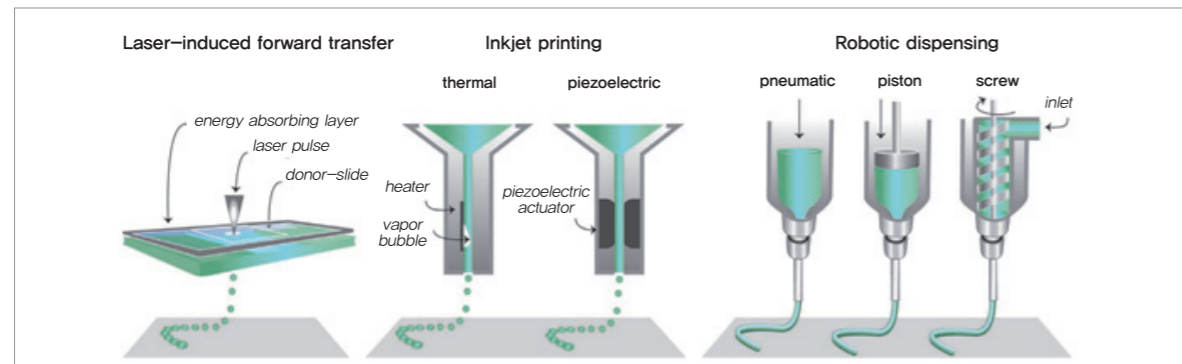


그림3 살아있는 조직세포의 출력을 위한 다양한 분사 방식³⁾

생체 3D 프린팅의 기술

기존 3D 프린팅과 마찬가지로 생체 3D 프린팅에 있어서도 소재, 시스템, 응용의 세가지 요소가 매우 유기적인 관계에 있기 때문에 적절한 응용처에 따른 소재 및 시스템의 공동연구가 매우 중요한 분야로 융합기술의 대표적인 예라고 할 수 있다. 바이오 잉크 기반 3D 프린팅은 조직 세포를 포함하는 하이드로젤 바이오 잉크와 이에 상응하는 3D 프린팅 기술이 함께 개발되어야 하는데, 그 예가 그림4이다. 그림4를 보면 각 조직세포에 따른 하이드로젤의 종류 및 물성, 그에 따른 프린팅 시스템의 설계에 있어서 고려해야 할 부분을 정리한 것이다. 자세히 살펴보면 살아있는 세포를 사용하면서 3차원으로 조형이 가능해야 하기 때문에 생화학, 기계, 화학, 재료 등 다양한 분야의 전문 지식이 필요함을 알 수 있다.

3) Jos Malda, Jetze Visser, Ferry P. Melchels, Tomasz Jüngst, Wim E. Hennink, Wouter J. A. Dhert, Jürgen Groll, and Dietmar W. Hutmacher(2012), Adv Material, 2013, L. Koch, M. Gruene, C. Unger, B. Chichkov, Current Pharmaceutical Biotechnology.
 4) K. Arai, S. Iwanaga, H. Toda, C. Genci, Y. Nishiyama, M. Nakamura(2011), Biofabrication, 3, 034113.
 5) B. Derby(2012), Science, 338, 921.

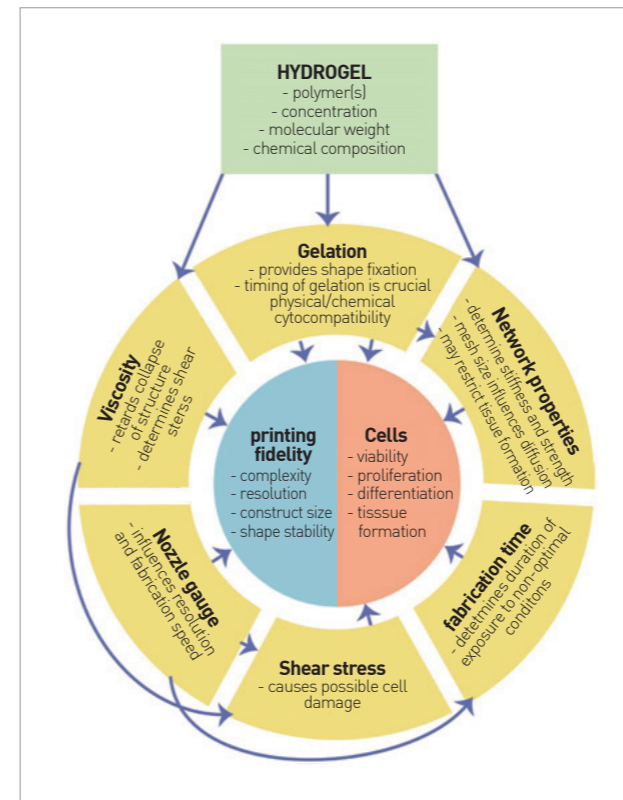


그림4 하이드로젤을 이용한 바이오 3D 프린팅의 요소기술³⁾

한 예로 하이드로젤의 점성에 따라 노즐을 통해 분사할 수 있는 세포 및 조형 형상이 달라지게 되는데 그림5의 A와 같이 점성을 위한 첨가제가 포함되지 않은 경우 노즐 끝에 액적이 붙어 있는 것을 보여준다. 이때 세포의 특성이나 생존을 위협하지 않는 범위 내에서 갖가지 잉크 안정제를 섞어주면 그림5의 D와 같이 안정적으로 3차원 형상을 조형할 수 있음을 알 수 있다⁷⁾.

또 다른 변수로는 하이드로젤 형태의 바이오 잉크가 분사된 후 결합이 되었을 때 3차원 형상 내에서 조직세포가 서로 잘 결합되어야 생존율도 높고 원하는 기능을 갖는 조직으로 형성된다. 그러나 코젯 방식이나 유압 방식에 의한 바이오 잉크 분사의 경우 분사 시 얇은 노즐을 통과할 때 고분자가 퍼지듯이 조직세포도 변형이 일어날 수 있는데, 이러한 변형과 이후 복원 등도 고려하여 바이오 잉크와 시스템을 구성해야 한다.

이외에도 조직세포의 생존 기간에 따른 시스템 구성, 복합소재를 사용할 경우 소재 간 결합력, 희생 구조체의 사용에 따른 제거 공정, 세균 등의 오염물질로부터 보호할 수 있는 시스템 구성까지 다양한 문제점을 해결해야 하는 기술이기 때문에 아직은 여러 분야에 있는 연구자들의 관심과 공동연구가 필요한 기술이라 할 수 있다.

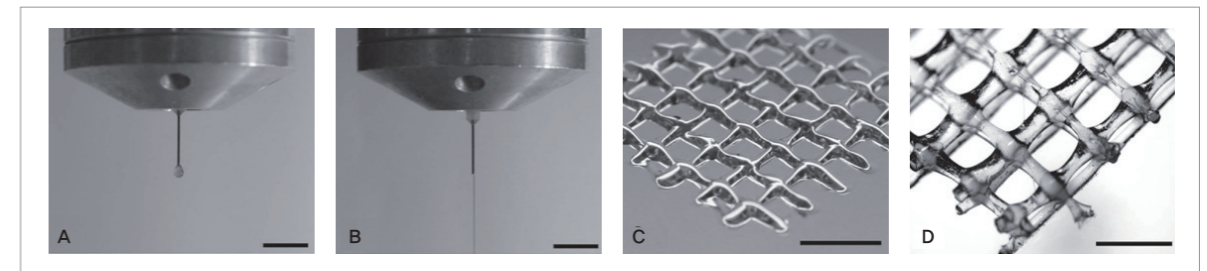


그림5 바이오 잉크의 점성(높음 A, 낮음 B)에 따른 출력물 모습(C, D). 치수선은 5mm, 2mm⁷⁾

3) Jos Malda, Jetze Visser, Ferry P. Melchels, Tomasz Jüngst, Wim E. Hennink, Wouter J. A. Dhert, Jürgen Groll, and Dietmar W. Hutmacher(2012), Adv Material, 2013, L. Koch, M. Gruene, C. Unger, B. Chichkov, Current Pharmaceutical Biotechnology.
 7) J. M. Tang, M. A. Tung, Y. Y. Zeng(1996), Carbohydrate Polymers, 29, 11.

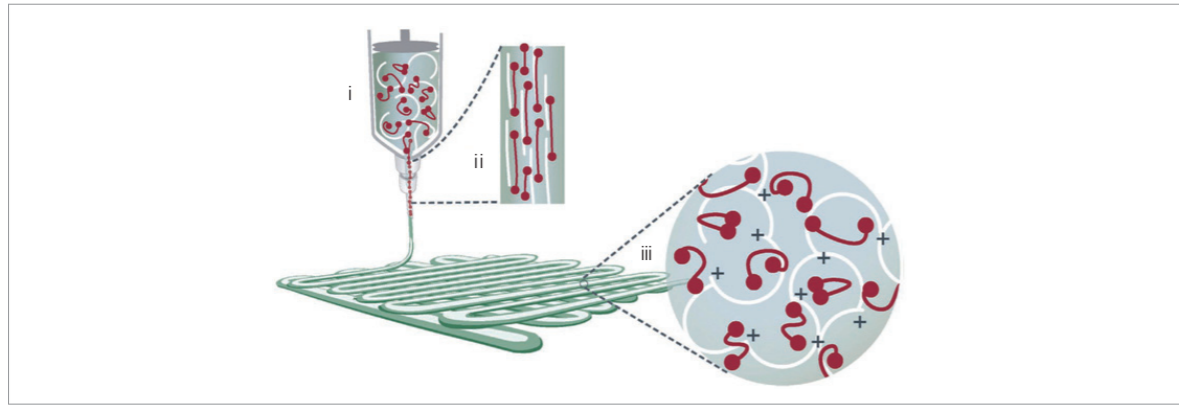


그림6 주사기를 통과할 때 발생하는 Shear thinning과 추후 복구과정을 보여주는 개략도⁸⁾

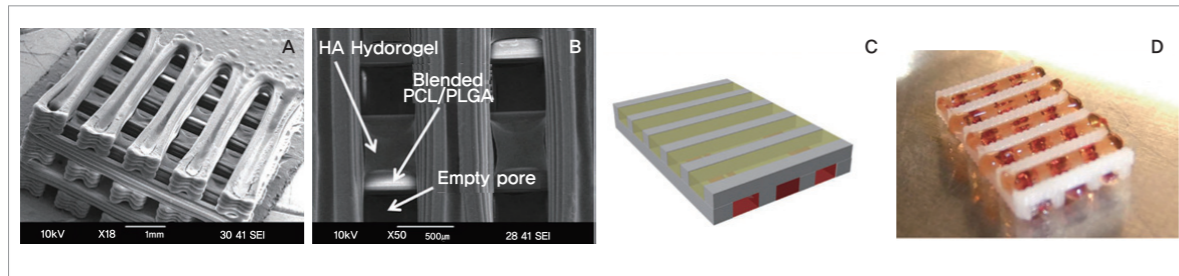


그림7 생체적합 폴리머인 PCL 지지체와 바이오 하이드로젤 잉크로 제작된 3차원 구조체⁹⁾

적용 사례

지지체에 조직세포를 배양하는 기술(bio-fabrication)은 이미 여러 나라 연구진들에 의해 연구가 진행되어 왔으며 일부는 이미 상용화되었다. 그러나 차세대 바이오 3D 프린팅 기술은 아직 태동기에 머물고 있다. 최근 스코틀랜드의 한 연구진에 인간 줄기세포(hESCs)를 이용한 유압조절 방식 3D 프린팅으로 출력된 세포의 70% 이상이 3일 이상 생존율을 보였는데, 이는 일반적인 세포의 수명과 거의 같았다.¹⁰⁾ 중국 HuaZhong 대학의 Xu Mingen 교수팀은 신장세포를 이용한 인공 신장을 조형하여 4개월 이상 조직세포를 성장시키는데 성공했다.¹¹⁾

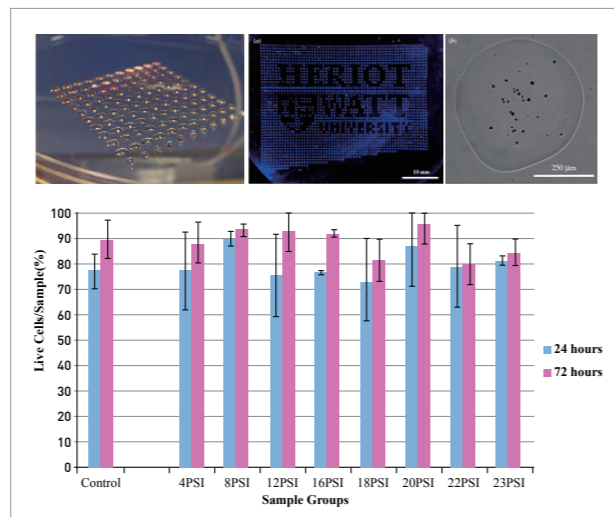


그림8 바이오 3D 프린팅에 의한 패턴과 3일 이상 70% 이상의 생존율을 보여주는 결과⁹⁾

8) J. H. Shim, J. Y. Kim, M. Park, J. Park, D. W. Cho(2011), Biofabrication, 3, 034102.

9) A. Faulkner-Jones et al.(2013), Biofabrication, 5, 015013.

10) <http://www.medgadget.com/2013/09/researchers-claim-to-successfully-3d-print-living-kidneys-video.html>

11) http://money.joins.com/news/article/article.asp?total_id=13507748 & ctg = 1603

문제점 및 발전 방향

바이오 3D 프린팅의 가장 큰 장점은 개인의 신체구조나 특성에 따라 맞춤형으로 자신의 줄기세포를 이용해 거부 반응이 없고 윤리적으로 문제가 없는 방식으로 나의 몸과 가장 유사한 형태와 재질의 인공장기를 만들 수 있다는데 있다. 그러나 아직까지는 모세혈관이나 신경과 같이 미세하고 복잡한 구조의 인체 조직이나 세포의 성장과 함께 발달되는 근섬유, 근육과 같은 조직의 프린팅 기술에는 한계가 있으며 무엇보다도 조형 속도에 있어서 세포가 살아있는 동안에 조형을 마치기 어려운 부분이 문제점으로 남아 있다.

따라서 앞으로는 조직세포의 기능성뿐만 아니라 3D 프린터 자체의 속도 향상, 이를 위한 3D 프린터 전용 바이오 잉크, 효율적인 3D 이미지 처리를 위한 소프트웨어 기술까지 함께 발전되어야 할 것이다.

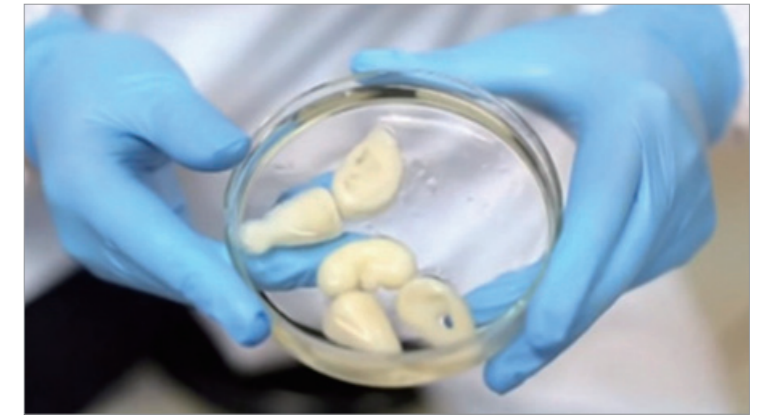


그림9 중국 HiaZhong 대학 Xu Mingen 교수팀이 조형에 성공한 인공신장¹⁰⁾

결론

이처럼 바이오 3D 프린팅 기술은 향후 인간의 복지와 행복한 삶을 위한 매우 중요한 기술 중 하나임을 알 수 있다. 그동안 조직공학, 3D 프린팅, 분자생물학, 생화학의 발전으로 먼 미래의 공상과학과 같았던 일들이 하나씩 현실화되고 있는 것이 사실이다.

이에 우리나라가 장점을 갖고 있는 기계공학, IT, BT, NT 등 다학제간 융합연구가 이루어진다면 질병 치료 및 인공장기와 관련하여 치료의 새로운 패러다임을 제시할 수 있는 기술이라고 할 수 있을 것이다.

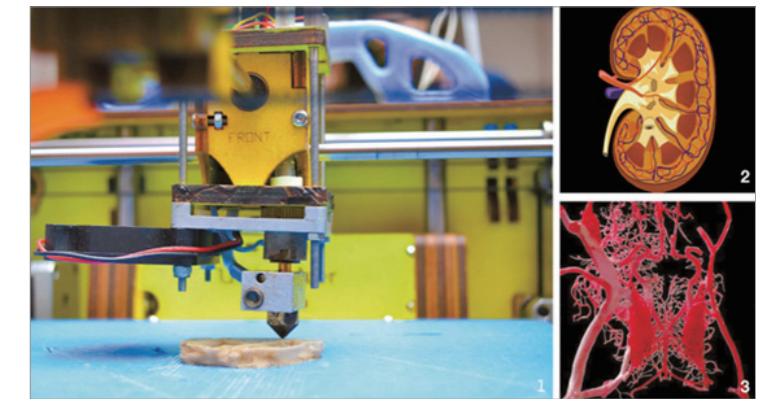


그림10 일반적인 FDM 방식의 3D 프린터와 인간 콩팥의 복잡한 혈관 및 모세혈관 구조¹¹⁾

11) http://money.joins.com/news/article/article.asp?total_id=13507748 & ctg = 1603

모바일 원격 진료 장비

김영수 박사 BT-CS 융합전문위원

기술 개요

- 원격 진료(Remote Diagnosis)란 유무선 정보 교류를 통해 원거리에서 환자의 증상 및 상태를 진단하는 방법
- 환자의 건강관련 생체정보(보건의료)와 정보통신기술을 연결해 “언제, 어디 서나” “쉽고, 간편하게” 개인의 질병을 예방, 진단, 치료, 사후관리할 수 있도록 보건의료 서비스를 제공하기 위한 시스템
- 환자의 생체 신호 및 건강 정보를 측정해 전송, 분석 및 피드백 과정으로 구성
- 생체 정보의 센싱과 전송을 위한 장비 및 솔루션 개발 부분과 원격 진료 등 유헬스 서비스를 직접 제공하는 서비스 개발 부분으로 구성

기술 목표

- 진료를 필요로 하는 환자의 생체시료를 현장에서 채취해 모바일 디바이스로 분석한 후 원거리에 있는 의료팀이 진단해 적절한 구급 치료를 시행할 수 있는 모바일 원격 진료 장비의 개발

기술 필요성

- 인구 고령화와 고혈압, 당뇨 등 만성질환의 증가로 의료비 증가가 수반되어 정부, 국민건강보험의 의료비 절감에 대한 필요성이 커짐
- 사회·경제적 여건 변화로 개인의 의료비 지출과 의료기관 방문 증가에 따라 편리한 의료서비스 이용에 대한 욕구가 증가하였으며, 과거에 차트 및 필름에 기록했던 환자의 건강 정보를 디지털로 기록 및 저장하여 전자 의무기록, 전자영상전달시스템 및 전자처방시스템 등 병원의 정보화가 상당히 진전됨
- 고령화와 만성질환 증가로 전 세계 원격 진료 시장은 2018년 4987억 달러 규모로 성장이 예상됨
- 선진국의 원격진료 서비스에 발맞추어 대한민국 정부 또한 원격진료 허용 및 의료법인 부대사업 범위 확대를 골자로 한 의료법 개정안을 처리하기로 결정 (2010년 11월 23일)
- 원격 진료 서비스는 BT(질병 바이오마커, 생체시료 분석), IT(L-O-C, 분석 디바이스), NT(모바일 네트워크), 병원(의료 서비스) 등 다학제 간 융합 R&D가 필수적임

활용 방안

- 다학제 간 융합을 통한 원격 의료 서비스 시스템 구축
- 거동이 불편한 고령 환자의 간편 진료
- 응급 환자 발생 시 원격진료를 통한 응급 대처

연구개발 동향

- 최근 국내 표준 전자 의무기록의 개발을 위해 6년간 총 205명의 연구진과 140억원의 사업비를 투입하는 EHR(Electronic health record) 구축사업 추진 중
- 삼성전자와 삼성종합기술원은 현재 바이오 관련 핵심 연구 인력을 확보하고 BT와 IT를 접목한 바이오 기술을 개발 중으로 질병 자가진단 칩(Chip) 사업, 만성질환을 관리하는 헬스케어 사업, 질병 예방 사업 등 BT, IT, NT를 연계한 3대 사업을 추진 중
- 국내에서 유비쿼터스 아파트 건설 등으로 인근 병원, 정보통신회사 등과 연계해 가정에서 측정하고 휴대폰으로 생체 데이터를 전송하는 기초검진 실시 예정
- 모바일 헬스케어 기술로서 휴대폰에 소형 외장 측정기기를 연결해 혈당, 보행계수 등의 건강지표들을 측정하는 엠닥터(MDoctor) 서비스 개발
- 필립스 메디컬 시스템사의 텔레-모니터링 플랫폼(Tele-monitoring platform): '02년부터 울혈성 심부전증 환자의 건강관리를 가정에서 정기적으로 환자 건강 상태를 측정함에 있어 중앙 제어장치 'Telestation' 을 통해 저장하고 데이터 센터와 통신을 수행
- 허니웰 홈메드사의 Automation and control Solution: 미국의 노인 보호시설 등 예산이 제한된 시설에서 적은 수의 간호사로 효율적 관리를 위해 일정시간마다 생체 신호를 중앙 데이터로 송전 후 의료 전문가가 24시간 모니터링하며, 이상 시 방문 간호사를 파견하여 효율적으로 관리
- 통합형 트레이닝시스템 : '05년 아디다스와 핀란드의 폴라사가 세계 최초로 센서와 송수신기 컴퓨터를 장착한 운동용 티셔츠를 착용하여 이용자의 건강 상태에 맞춘 트레이닝 프로그램을 제시

파급효과

- 생체 정보의 정량화를 통한 고부가가치 의료기기 제품의 개발이 가능하여 2016년 기준 60억불로 예측되는 세계 시장에서 원천기술을 선점함으로써 고부가가치 의료기기 산업을 육성할 수 있음



OECD보고서(2011)에 따르면 상호연계된 「사회핵심인프라」의 대규모 복합재난이 전 지구적 위험요인이라고 지적할 만큼

한곳에 장애가 발생하면 연쇄적으로 확산되는 경우가 발생할 수 있습니다.

2011년 3월 11일
후쿠시마 원자력 발전소
규모 9.0 지진 발생

- 일본 쓰나미 광타
- 원자로 10개 자동정지
- 발전 냉각을 위한 비상안전 펌프 중단
- 도로 통신시설 파괴·각종 불통
- 긴급 냉각수 배급 중단
- 방사능 오염 확산
- 지진, 태풍, 화재등 추가 재난 발생시 피해 확대 예상

현재 국내는 「사회핵심인프라」의 대비 및 대응하는 연구와 기술개발이 충분히 이루어지지 않으며

정부부처간에도 업무가 분산되어 복합재난에 대한 기술개발과 대응체계가 잘 이루어 있지 않습니다.

국내에선 대형화, 복합화되는 재난 및 재해에 대응하기 위해 국가재난관리체계를 강화하고 있으며

선제적이고 체계적인 대응을 위한 기술개발 중에 있습니다.

최근 모바일, 센서, 빅데이터, 클라우드, GIS, 인공지능(AI), 재난대응로봇, 무인비행기(UAV) 등을 개발하는 것이 미래 재난관리에 새로운 해결책으로 제시되고 있습니다.

국내 정책으로는 2013년도 미래부와 범부처 계획안을 통해

미래부
「14년 재난·재해 R&D투자 전략(안)」 수립(13)

범부처
「제2차 재난 및 안전관리 기술개발 종합계획」 수립(13)

제1차 종합계획투자 대비 145% 증가한 1조 2724억을 투입하였습니다.

145%

(8802억) \$ (1조 2724억) \$

다른 선진국들의 재난·재해 대응기술 상황을 살펴보면

EU는 제방에 센서를 설치해 실시간으로 위험정보를 수집 및 분석하여 국민에게 모바일로 경보를 전달하는 홍수조기 경보시스템 구축 프로젝트(Urban Flood)를 추진하고 있으며,

독일 마그데부르크-스텐달대학은 스스로 산불을 찾아 초기에 진화가 가능한 소방방재로봇 「올루(OLE)」를 개발하였습니다.

·다관절 6축보행
·카메라가 없음
·열, 냄새로 화재탐지
·취머느리를 본뜬

미국의 경우 태평양재해센터(PDC)는 재난의 위험을 미리 파악해 NASA, NOAA 등에서 수집된 양질의 정보를

분석, GIS맵핑, 모델링을 통해 재난의 잠재적 영향력과 위험을 시각화하여 대중에게 실시간으로 전달하고 있습니다.

태풍 조심!
지진 조심!
산불 조심!

일본은 후쿠시마 원전사고가 발생했을 때 다양한 로봇이 투입되어 재난구조활동을 하였으며

「Innovation25」에서 융합기술의 실증연구를 통해 그 성과의 사회환원을 위한 프로젝트를 추진하기 위해 166억엔을 투입했습니다.

Innovation 25
Creating the Future

향후 재난·재해 관련 기술이 발전하기 위해서는 유관기관 및 민간과의 협력이 필요한데

민간 → 계획 → 상황대응 → 복구

재난관리는 계획부터 상황대응 및 복구에 이르기까지 모든 과정에서 민간과 협력이 수반되어야 효율적 재난관리가 가능하기 때문입니다.

또한 재난 안전통신망의 구축이 필요합니다. 현재 국내 재난 관련기술은

재난 발생이후 단계에 집중되어 있는데 복구차원이 아닌 예방 개념의 기술개발이 필요하다고 생각합니다.

4 융합 casting

○ 제9호 2014년 3월

발행일 2014년 3월 1일

발행인 윤석진

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

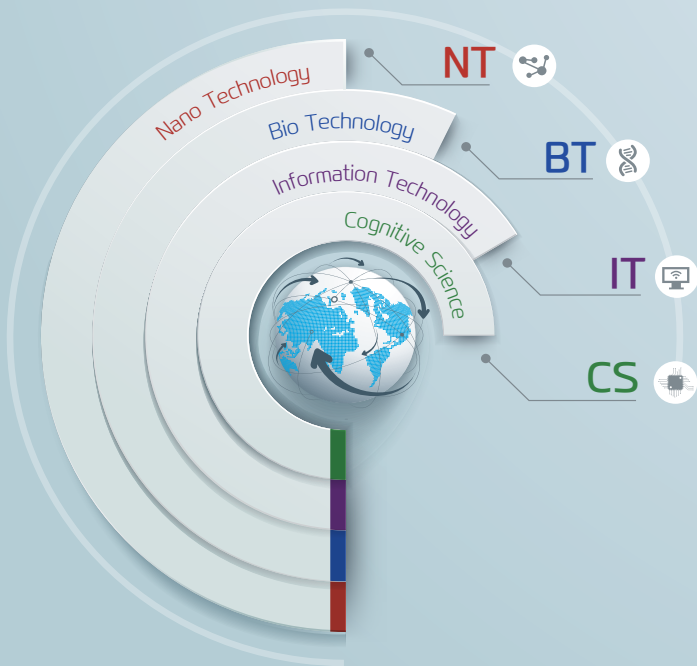
주소 136-791 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5 한국과학기술연구원

T. 02-958-4986

<http://www.crpc.kist.re.kr>

미래성장동력의 중심, CONVERGING TECHNOLOGY





융합연구정책센터 **CRPC**

136-791 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5 한국과학기술연구원

02-958-4986

<http://www.crpc.kist.re.kr>