22. 학사논문 지도교수: 조 규 진

22-1. Softmorphing이 가능한 자벌레 모사 로봇 최적화 연구

22-2. 형상기억합금을 이용한 Smart Actuator 성능 향상 연구

22-3. 수동적 가변 바퀴(Passive deformable wheel) 연구 및 개발

22-4. 센서를 이용한 지능형 물고기로봇 개발

22-5. 도약 (Jumping) 곤충 로봇의 성능 향상 개발

22-6. 파리지옥 로봇의 소프트 모핑 및 그립핑 능력 향상 개발

22-7. 형상기억합금 박막의 디자인 설계 및 성능 테스트

22-8. EMG Signal Pattern 분석을 통한 로봇 구동

22-9. Eutectic gallium-indium (EGaIn)을 이용한 촉각 센서 및 고니오미터(Goniometer) 개발

22-10. 로봇과 사람의 협력제어(shared control)에 관한 연구

22-1. Softmorphing이 가능한 자벌레 모사 로봇 최적화 연구

현재 소형 생체모방로봇들이 많은 주목을 받고 있다. 이러한 생체모방로봇은 다양한 동물과 곤충의 움직임 및 기능적인 면들을 모방하여 그것을 그대로 로봇에 적용함으로써 새로운 로봇에 대한 개념으로 확고히 자리매김하고 있다.

본 연구실에서는 많은 동물 및 곤충 중에서도 다양한 움직임이 가능한 자벌레를 선정하여 이를 이용한 생체모방로봇에 대한 개발 연구를 진행하고 있다. 이 로봇은 탐색작업, 소방방재작업 등에 응용이 가능할 것으로 예상되며 현재 Prototype의 자벌레 로봇을 개발하고 있다. 향후 softmorphing이 가능한 자벌레 로봇을 개발하는 것을 목표로 연구를 진행하고 있다.

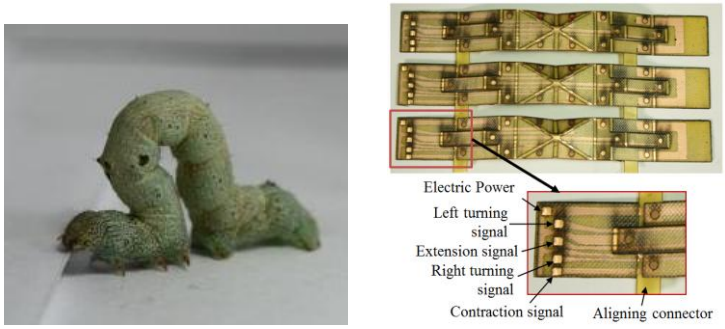


그림 1 실제 자벌레의 모습 및 자벌레 로봇 평면 설계

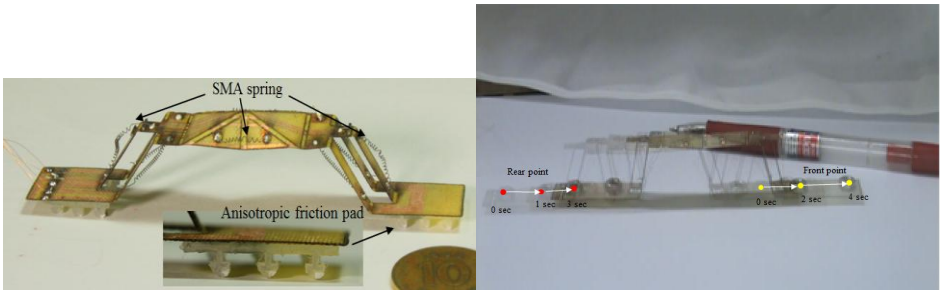


그림 2 Prototype 자벌레 로봇

이에 학부논문 과정에서는 먼저 현재 키우고 있는 자벌레의 움직임을 관찰하고 그 특징을 분석하는 작업을 하게 될 것이다. 이러한 결과를 바탕으로 실제 자벌레의 움직임과 비슷한 소형 로봇을 개발하고 softmorphing이 가능할 수 있도록 새로운 구동방법에 대한 연구도 수행하게 된다.

담당조교 : 고제성 (kjs15@snu.ac.kr)

22-2. 형상기억합금을 이용한 Smart Actuator 성능 향상 연구

생체모방로봇을 만들기 위해서는 기존에 사용하지 않았던 다양한 Actuator를 사용하게 된다. 기존에 많이 사용하는 모터는 새로운 개념의 소형 로봇 제작에 사용되기에는 적합하지 않는 면이 많다. 앞으로 나타날 로봇은 기존과 달리 마이크로 스케일에 유연성이 있는 움직임을 필요하게 될 것으로 전망되고 있다. 따라서 새로운 로봇에 적합한 Actuator의 개발이 필요하다.

형상기억합금은 그 재료의 특성상 일정 온도 조건을 만족하게 될 경우, 기억된 형상을 복원하며 그 때에 큰 힘을 낼 수 있는 특성을 가지는 금속이다. 이미 차세대 Actuator로서 높게 평가 받으며, SMA 스프링이라는 방식으로 의료산업과 마이크로 스케일 로봇에서 점점 그 사용이 늘어가고 있는 추세이다. SMA Actuator의 유용성이 명확함에도 불구하고, 아직까지는 스프링 제작 방식에 대하여 원하는 강성을 얻기 위한 스프링 제작에 있어서 최적의 방법이 확립되지 않은 상태이다. 그리하여 Actuator로 사용을 필요로 할 경우 직접 제작하여 조달하고 있는 실정이다.

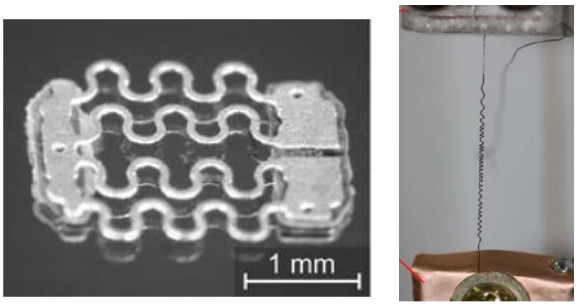


그림 1 다양한 형태의 SMA Actuator들

본 실험실에서는 형상기억합금(Shape Memory Alloy)을 이용하여 Actuator를 제작하는 연구를 진행할 예정이다. 양방향 SMA 스프링을 제작하고 그것을 로봇에도 사용하여 기존의 단방향 SMA 스프링을 Actuator로 사용 시에 얻을 수 없었던 효율성을 앞으로 양방향 SMA 스프링 Actuator를 사용하여 얻는 것이 우리의 목표이다. 또한, 제작의 열처리 과정의 번거로움을 줄이기 위한 연구도 병행하여 간단한 방법을 통하여 양방향 스프링을 제작하는 방법도 본 연구를 통하여 제시할 것이다.

학부논문 과정에서는 실제로 SMA 스프링을 제작하면서 그 방법에 대한 연구를 수행하고 제작된 스프링을 실험하여 보다 효율이 높은 제작방법을 찾는 연구를 진행한다. 또한 완성된 SMA Actuator를 실제 로봇에 적용해 보도록 한다.

담당조교 : 고제성 (kjs15@snu.ac.kr)

22-3 수동적 가변 바퀴(Passive deformable wheel) 연구 및 개발

가변 휠(deformable wheel)은 바퀴의 변형을 통하여 험지와 평지에서 뛰어난 기동성을 제공한다. 평지에서는 원형으로 변형하여 자동차와 같이 신속한 이동을 가능케 하며, 험지에서는 leg-wheel 모양으로 변형하여 로봇의 몸체보다 큰 장애물을 극복할 수 있다.

기존에도 여러 가지 가변 휠, leg 타입의 leg wheel 등이 존재한다. 이들 모두 험지 및 평지 주행에서 뛰어난 성능을 보여주었다. 하지만, 이들은 변형 시에 전원이 요구 되며, 결국 이는 바퀴 시스템을 복잡하게 만든다. 큰 로봇에서 전원을 탑재한 가변 휠은 전혀 문제가 되지 않으나, 작은 스케일의 로봇에서는 전원 등이 큰 문제를 초래한다. 따라서, 우리는 전원을 전혀 사용하지 않는 수동적 가변 바퀴(passive deformable wheel)를 제안한다.

그림 3 은 개념도를 보여준다. 그림 3 의 바퀴가 시계 방향으로 회전하게 되면, 3 개의 leg wheel 이 접촉 장애물로부터 화살표 방향으로 힘을 받게 되어 펴지게 되는 것이다. 펴진 바퀴는 지름이 3 배로 증가하였으므로 험지에서 훨씬 뛰어난 기동성을 확보할 수 있다. 반대로 반시계 방향으로 회전하게 되는 바퀴가 원형으로 접히면서 평지에서 신속한 기동성을 제공한다.

현재 그림 2 타입의 바퀴가 cardbot 이라는 소형 로봇에 장착되어 있다. Cardbot 은 손바닥 정도 크기의 소형 로봇으로 이동 방향에 따라 험지용과 평지용으로 나뉘게 된다. 시계방향은 평지, 반시계 방향은 험지에서 사용된다. 그러나 휠의 크기에 제한이 있기 때문에, 험지 극복에 큰 제약이 있다. 학부논문 과정에서는 그림 3 과 같은 passive deformable wheel 의 원리 이해 및 prototype 제작을 목표로 한다. 또한, 실제 cardbot 에 장착하여 험지에서 구현을 시도할 것이다.

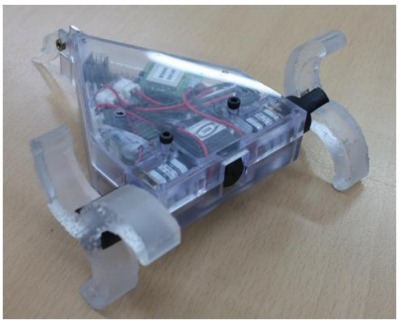


그림 1 Cardbot ver. 1

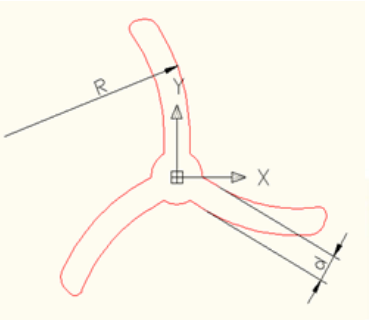


그림 2 기존 휠 모양

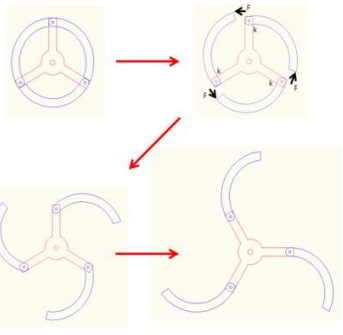


그림 3 새로운 휠의 concept

담당 조교: 정광필 (ceaser97@snu.ac.kr)

22-4 센서를 이용한 지능형 물고기로봇 개발

수중로봇은 해양탐사와 자원채취 등의 목적을 위하여 주로 프로펠러형식의 수중로봇이 개발되어 왔다. 그러나 최근에는 프로펠러 형식을 벗어나 물고기를 모방한 생체모방형 수중로봇 등으로 다양하게 개발되고 있다. 프로펠러형식의 수중로봇에 비해 에너지 효율도 높고 회전반경도 줄일 수 있는 장점을 가진 로봇의 개발과 함께 물고기로봇의 지능연구도 진행되고 있다. 하지만 수중이라는 제약으로 인해 지상에서 움직이는 로봇에 비해 로봇지능에 대한 연구가 미미하다.

본 연구에서는 물고기로봇에 적외선 및 초음파센서와 같은 간단한 센서를 적용하는 연구부터 수중카메라를 이용한 영상처리에 대한 연구를 진행하여 지능형 로봇물고기 연구를 수행하고자 한다. 이를 통해 로봇물고기가 충돌을 방지하고 장애물을 인식하여 회피하는 기능을 갖게 되면서 수중에서 보다 안정적이고 자연스러운 움직임을 구현하게 될 것이다.

그림 4 기존 로봇 물고기

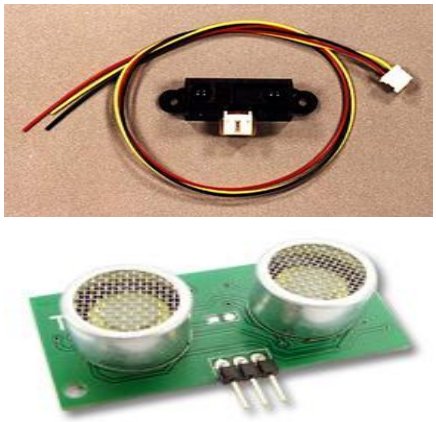


그림 5 여러가지 센서들

학부논문 과정에서는 기본적인 센서에 대한 메커니즘을 이해하고, 이를 바탕으로 물고기로봇에 적용하여 충돌방지 및 장애물 회피가 가능한 지능형 물고기로봇을 제작해 보도록 한다.

담당 조교: 권석령 (kwons777@snu.ac.kr)

22-5 도약 (Jumping) 곤충 로봇의 성능 향상 개발

여러 가지 운동 동작 중에서 뛰는(Jumping) 동작은 다양한 생명체들이 갖고 있는 기본적인 동작이다. 이는 도약 동작이 본체를 일시적으로 지면으로부터 벗어나게 하는 동작으로, 장애물을 회피하고, 한 번의 동작으로 최대 거리를 이동할 수 있기 때문에 생존에 유리한 동작이다. 자연에서 가장 높이 뛰는 능력을 갖는 생명체를 조사한 결과 가장 높이 뛰는(신제 대비 배수로) 생물들 중 하나로, 벼룩은 자신의 신체 대비 최대 138 배 높이 뛸 수 있고, 그 외의 다른 생물들로는 메뚜기의 뛰는 능력이 상당하며 소금쟁이는 수면이라는 불안정한 계면을 딛고도 뛸 수 있다. 이는 기계로 구성된 장치보다 매우 가벼우면서 작고, 단순한 구조에서도 획기적인 도약 능력을 가지고 있음을 확인할 수 있다.

본 연구실은 자연모사공학을 통해 뛰어난 도약 능력을 갖는 벼룩의 도약 메커니즘을 공학적으로 구현하여 획기적인 도약 능력을 갖는 벼룩 로봇을 개발하였다. 학사 논문 과정에서 다룰 주제로는 기존의 벼룩 로봇 모델과 기본 하드웨어 플랫폼을 가지고서 도약 성능 향상을 위한 최적화, 성능 향상 디자인 개발, 크기의 소형화, 무선 제어 등이 있다. 수강생은 이 주제들 중에서 하나를 선정하여 생체 모사 공학의 기초 과정과 로봇의 구동 메커니즘, 지능형 구동기를 배우고, 로봇 역학 모델 시뮬레이션을 통해 최적화를 수행할 수 있으며, 직접 로봇을 제작하고 실험을 할 것이다.

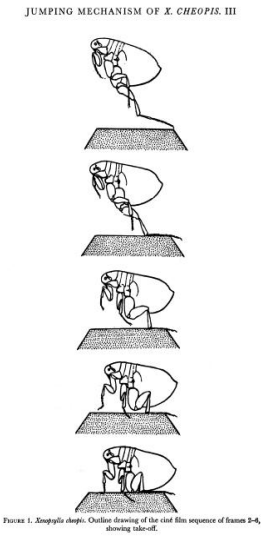


그림 6 벼룩의 도약 과정

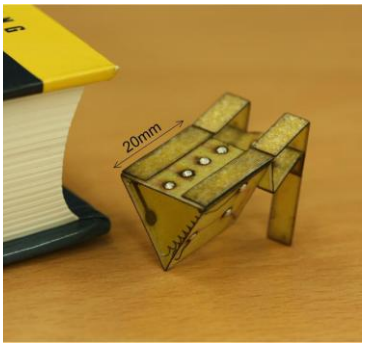


그림 7 벼룩 로봇

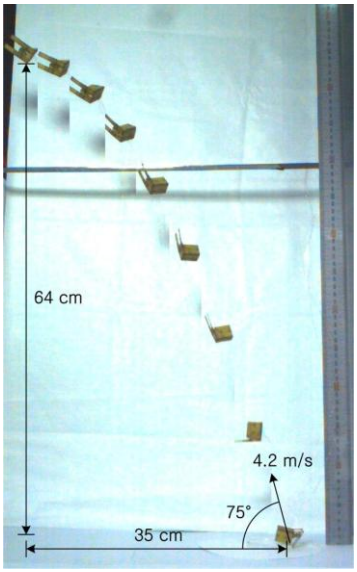


그림 3 벼룩 로봇 도약 모습

담당 조교: 김승원 (demian05@snu.ac.kr)

22-6 파리지옥 로봇의 소프트 모핑 및 그립핑 능력 향상 개발

식충 식물인 파리지옥은 곤충을 포획하기 위해 잎사귀를 0.1 초만에 닫을 수 있다. 이러한 빠른 움직임은 파리지옥의 잎사귀가 지니는 독특한 양방향 안정성 구조(bi-stable structure)와 스냅 좌굴(snap-buckling) 특성으로부터 나오게 된다. 작은 크기에 식물임에도 불구하고 이렇게 역동적인 고속 움직임을 보이는 특성은 단순하면서도 큰 변형을 빠르게 전이할 수 있는 구조체의 개발에 활용할 수 있다. 또한 하나의 잎 구조가 서로 다른 두 가지 모양으로 전환될 수 있는 양방향 안정성 구조는 형상전이 구조체에 있어서 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

최근에 건축 및 기계 구조에서 소프트 모핑(Soft morphing) 개념이 부각되고 있는데, 본 연구실에서는 파리지옥 잎의 특성과 유사한 성질을 갖는 비대칭 적층 탄소 섬유 복합재를 이용하여 소프트 모핑이 가능한 파리지옥 로봇을 만들었다. 이 로봇의 잎은 파리지옥 잎보다 대략 100 배나 크지만 닫히는 속도는 약 0.1 초로 파리지옥과 비슷한 닫힘 속도를 보인다. 학사 논문 과정에서는 세가지 주제 중에서 하나를 택하여 연구를 진행할 것이다.

1) 파리지옥 로봇의 소재를 기존의 복합재 외에 금속 혹은 고분자 화합물(polymer)를 이용하여 양방향 안정성 구조 제작

2) 복합재 구조의 크기나 두께, 도형 형상 등의 기하 형상을 바꾸면서 달라지는 양방향 안정성 구조의 특성 분석 실험

3) 양방향 안정성 구조를 이용한 소프트 모핑 구조(ex. 모핑 날개) 시제품 제작

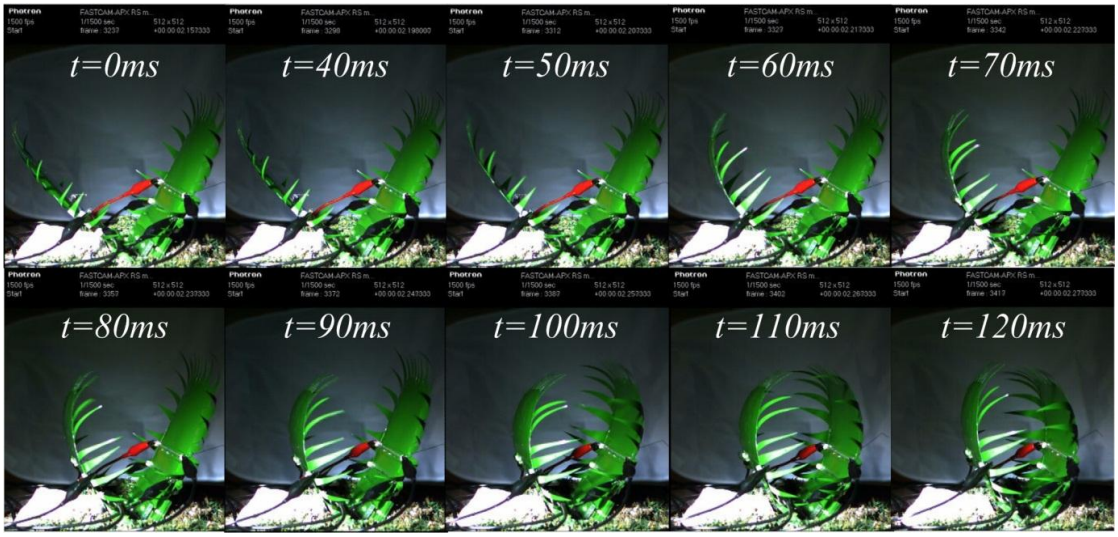


그림 8 파리지옥 로봇의 닫힘 동작

담당 조교: 김승원 (demian05@snu.ac.kr)

22-7 형상기억합금 박막의 디자인 설계 및 성능 테스트

형상기억합금(Shape Memory Alloy, SMA)은 온도에 따른 금속 결정 구조의 변화로 기하형상이 바뀌기 때문에 지능형 구동기(smart actuator)로서 의료, 산업 분야에 활용되고 있다. SMA 가 생산되는 형상은 크게 와이어와 박막으로 나뉘는데 활용되는 정도는 와이어가 가장 높다. 최근 SMA 를 스프링 형상으로 만들어서 더 큰 변위를 얻는데 본 연구실은 SMA 스프링의 설계 및 제작, 거동 예측 시뮬레이션을 수행하였다. 하지만 SMA 구동기로 박막구조는 많이 활용되고 있지 않은 실정이다. 기본적으로 SMA 스프링을 이용하여 의료 분야에서 혈관 확장 장치로서 스텐트(stent)로 활용되며, 최근에는 소형 로봇에도 활용되고 있다.

본 연구실에서는 UV 레이저 장비를 이용하여 박막 SMA 를 가공하여 소형 로봇에 활용할 수 있는 새로운 구동기를 개발하는 것이 목표이다. 학사 논문 과정에서는 SMA 박막을 활용하여 만들 수 있는 구동기의 다양한 디자인을 고안하고, 제작하여 성능을 테스트하는 것을 주제로 연구를 수행할 것이다.

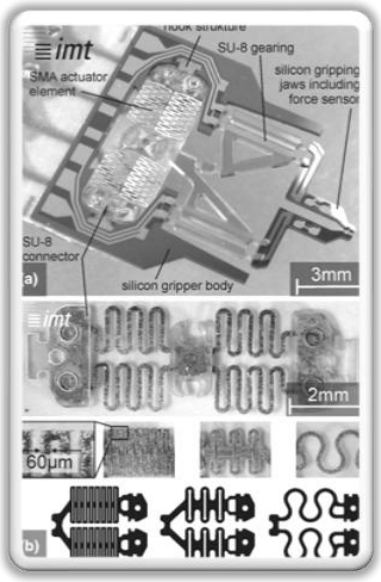


그림 9 SMA 박막 스프링과 집게 예시

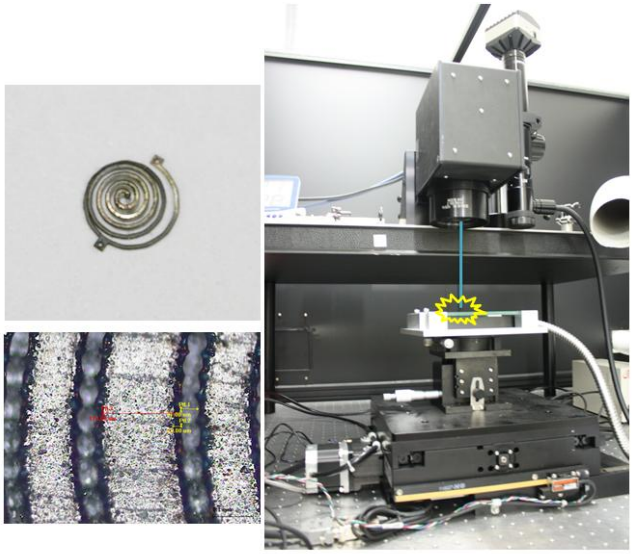


그림 2 레이저 장비 및 나선형 SMA 스프링

담당 조교: 김승원 (demian05@snu.ac.kr)

22-8 EMG Signal Pattern 분석을 통한 로봇 구동

현재 재활 기구 제작에서 환자의 Intention을 파악하기 위해 EMG signal을 많이 사용하고 있다. 근육의 전기 신호를 직접 측정하는 EMG는 환자의 Intention을 파악할 수 있는 가장 직관적인 방법으로 인식되고 있다. 하지만 근육의 피로도나 외부 요소에 signal이 영향을 크게 받는다는 문제가 있어 이를 사용하는 다양한 방법들이 제시 되고 있다.

본 연구실에서는 이 EMG signal을 사용할 방법으로 크게 EMG-Torque modeling과 EMG Pattern 분석을 통한 제어를 중점적으로 연구하고 있다. 그 중 EMG Pattern 분석의 경우, 몇 가지 동작으로 signal을 간소화시켜 중요한 몇 가지 로봇의 움직임을 신뢰성 있게 구성할 수 있을 거라 예상된다. 이를 위해 EMG를 직접 측정하여 Pattern을 분석하여 각 Pattern에 맞게 로봇을 움직이는 연구를 추진할 계획이다.

그림 1 EMG 측정 장비

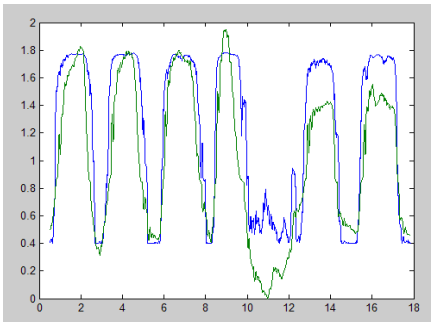


그림 2 EMG 측정 결과

이번 학부 논문 과정에서는 직접 EMG signal을 여러 사람에게 측정한 다음, 각 행동에 대해 Pattern을 분석하는 연구를 진행한다. 그리고 더 나아가 그 EMG Pattern에 맞는 로봇의 동작을 Matching시켜 실제로 구동해보는 것을 최종 목표로 한다.

담당조교: 박대근(titan22@snu.ac.kr)

22-9 Eutectic gallium-indium (EGaIn)을 이용한 촉각 센서 및 고니오미터(Goniometer) 개발

본 연구실에서는 손의 기능을 상실한 장애인의 손 기능을 보조하기 위한 장갑형 입는 손 로봇을 개발 하였다. 손 로봇의 성공적인 제어를 위해서는 손 로봇이 물체와 접촉하고 있는 부분에서의 압력 및 각 손가락이 구부러진 각도를 아는 것이 필요하다. 하지만, 입는 손 로봇은 장애인의 일상생활에서 사용되기 때문에 그 크기가 작고 외관이 심플해야 한다.

기존의 촉각 센서 및 고니오미터는 그 크기가 개발된 장갑형 손 로봇의 장갑과 완전히 일체형으로 제작될 수 없어 그 크기나 심플함에 제한이 있다. 액체금속인 EGaIn 을 임의의 channel 에 넣으면 channel 의 기계적인 변화에 따라 전기적인 성질이 변화하기 때문에 이를 이용하여 촉각 센서 및 고니오미터를 개발하기 위한 기존의 시도가 있었다. EGaIn 을 주입하기 위한 채널은 임의로 디자인 할 수 있기 때문에 컴팩트한 센서의 개발이 용이하다는 장점이 있다.

학부논문 과정에서는 기존의 EGaIn 을 사용한 촉각센서 및 고니오미터를 제작하는 과정을 거치고, 현재 개발되어있는 장갑형 입는 손 로봇에 적용할 수 있는 형태로 개발하고 평가하는 과정을 거치게 된다.

그림 10 기존에 개발된 장갑형 손 로봇

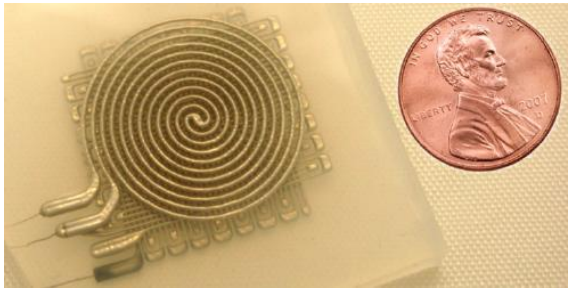


그림 2 기존에 개발된 soft artificial skin sensor, (Robert J. Wood *et. al*)

담당 조교: 인현기 (inhk8357@naver.com)

22-10 로봇과 사람의 협력제어(shared control)에 관한 연구

기존의 산업용 로봇은 높은 위치 정확성과 반복성을 보장하기 위해 정밀하지만 매우 딱딱한(stiff) 형태로 발전되어 왔다. 이러한 형태의 로봇은 환경이 변하지 않는 단순 반복작업에는 효율적이지만 변화하는 환경 및 사람과 상호작용을 하기에는 부적절하다. 최근 이러한 문제를 극복하고자 외부 환경에 유연하게 적응하고 사람과의 상호작용에 있어서도 부드럽게 상호작용할 수 있는 compliant 제어기법으로 impedance control과 admittance control이 많이 사용되고 있다. 이러한 compliant control 기법으로 사람과 로봇 서로의 장단점을 보완하는 협력제어(cooperative operation, shared control)가 가능해졌으며 이를 통해 입는 로봇(wearable robot), 수술 및 조립 작업등에 이용되는 shared control robot 등의 개발이 가능해졌고 사람에게 힘 피드백(force feedback)을 줄 수 있는 가상현실 및 tele-operation 등을 위한 haptic device의 개발이 가능해졌다.

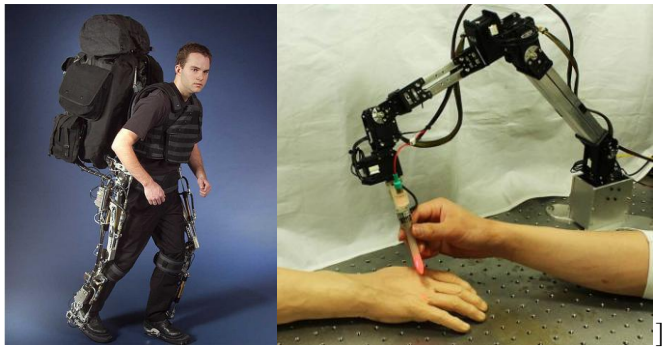
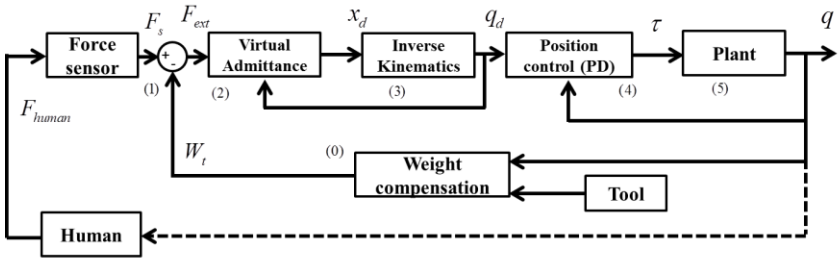
]

그림1 좌: Berkley, wearable robot, 우: SNU, shared control robot



$$(1): F_{ext} = F_s - W_t \qquad (3): inverse_kinematics$$

$$(2): \Lambda_p \ddot{x}_d + D_p \dot{x}_d + H_p\left(x_d - x_{eq}\right) = f_{ext} \qquad (4): \tau = K_P\left(q_d - q\right) - K_D \dot{q}$$

$$\Lambda_o \dot{w}_d + D_o w_d + H_o\left(\varepsilon_d - \varepsilon_{eq}\right) = \mu_{ext} \qquad (5): M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau$$

그림2 Admittance control algorithm

학부논문 과정에서는 기본적인 로봇 제어 원리 및 impedance control에 대하여 이해하고, 협력제어 로봇 제작 과정에 참여 및 기본적인 제어를 수행하게 된다. 세부주제의 예로는 robot calibration, 2-DOF pantograph 제작 등이 있으며 조교와의 상의를 통해 세부주제를 정하게 된다.

담당 조교: 정우석(snopyy@snu.ac.kr)