

## 1. Title page

안녕하십니까 교수님! 유정한 연구원 밑에서 연구 중인 학부생 조훈호입니다.

이번 졸업논문 연구로 본 랩에서 연구하고자 하였던 Exoskeleton 최적 설계에 대해 저는 ‘보행 밸런싱 증대를 위한 무릎 외골격 조인트의 최적 설계’

라는 주제를 선정하여 연구를 진행해 나가고 있습니다.

본 발표에서는 ‘본 연구 주제 선정에 대한 소개’와 ‘본 연구의 목적’,

그리고 이번 학기동안 어떤 내용에 대해 공부했는지와 앞으로 어떤 내용에 대한 연구를 진행해갈지에 대해 간략히 소개드리려고자 합니다.

## 2. Introduction page

가장 먼저 연구 주제 선정에 대해 소개를 드리자면,

연구 주제 선정에 앞서, 유정한 연구원으로부터 제공받은

‘Lower Limb Robotic Exoskeleton에 대한 기술 현황’ 논문을 읽어보며 Exoskeleton의 종류와 성능에 대한 평가 방법, 각 기술들의 현황과 한계점 및 개선해나가야 할 방향들에 대해 공부했습니다.

본 논문에서 제가 관심이 갔던 부분은,

Exoskeleton의 세 종류 중 일반 사용자의 신체 퍼포먼스를 향상시킬 수 있는

‘인체 성능 향상 외골격’이었으며,

이 외골격은 정상인의 자율적인 행동을 보조하는 것을 목표로 하기 때문에 사용 시에 **극심한 환경에 노출**되어 원하는 성능을 만족시키는 외골격을 얻기 어렵다는 문제점에서 연구 내용을 착안해보기로 하였습니다.

그 후로, 여러 외골격 중 제가 필요성을 느껴 관심이 있던 무릎 외골격에서 극심한 환경 노출에 대한 취약점을 분석해보았는데,

먼저, 보행 시에 발을 내딛는 순간순간마다 지면으로부터 오는 충격을 지속적으로 받는 점에 의해서, 외골격 자체의 구조적 변형을 초래하거나, 조인트 부분의 힌지나 액추에이터 축의 손상을 유발해 외골격 성능을 저하시킬 수 있다고 생각했습니다.

또, 착용자가 달리기나 점프를 하는 등의 동작에 의해 강한 충격이 무릎 외골격에 가해지게 될 경우, 일시적인 정렬 불량 현상을 유발하게 될 수 있는데, 이 경우 사용자에게 불편함이나 통증을 유발할 수 있으며, 이 정도가 심한 경우 관절 탈구 등의 부상을 초래할 수도 있다고 파악했습니다.

이에, 외골격의 밸런싱을 증대시켜야 할 필요가 있다고 느꼈고,

본 랩의 연구 분야인 ‘최적설계’에 맞추어 “보행 밸런싱 증대를 위한 무릎 외골격 조인트의 **최적설계**”를 본 연구의 주제로 잡게 되었습니다.

### 3. Research Object page

다음으로, 본 연구의 목적 달성을 위해 어떤 접근을 했는지 말씀드리겠습니다.

먼저, 본 연구의 궁극적 목표인 무릎 외골격의 보행 밸런싱을 높일 수 있는 방법으로 처음엔 '현 무릎 외골격에 사용되는 액추에이터에 적절한 패시브 요소를 추가하여 흡진을 시키는 방법'과 '무릎 외골격의 구조적 수정' 이 두 가지 방법을 생각해보았습니다.

이후 최적 설계 방법론을 공부해보면서, 이 두 방법 중 설계 변수의 지정을 더 다양하게 가져가 더 큰 변화를 도모해볼 수 있는 방법으로는 두 번째인 '외골격의 구조적 수정'이 더 적합하다고 판단하여 이 방법으로 목적 달성에 접근하기로 하였습니다.

또, 구조적인 면에서의 최적 설계를 위해선

기구학 학습을 통해 현재의 무릎 외골격이 어떤 매커니즘으로 작동하는지에 대해 이해하는 것이 필요했고, 생체역학 학습을 통해 무릎 외골격 Design이 어떤 성능을 만족시켜야 하는지를 이해하는 것이 필요하다고 파악했습니다.

먼저 이 둘에 대한 간단한 조사를 통해 무릎 외골격은 단순한 R joint를 갖는 두 개의 Link만으로 설계하기엔 Misalignment 등의 오류가 있어 3-DOF를 갖는 Linkage를 통해 만들어지고 있음을 파악했고, 설계시 고려되는 사항으로는 Gait Motion에서의 각 관절부위가 그리는 Trajectory를 얻어 실제 외골격이 각 관절부위가 구사하는 동작영역을 만족시키도록 설계됨을 파악했습니다.

이를 고려하여, 가장 먼저 4-bar Linkage를 초기 model로 삼아 이의 End-effector Trajectory가 원하는 형태를 갖출 수 있도록 Linkage의 Topology에 대한 최적 설계 방법을 적용하여 최적의 성능을 갖는 Model을 얻어내는 Code를 작성하는 것을 첫 번째 plan으로 삼았습니다.

그 다음으로는 무릎 외골격의 생체역학에 대한 study를 통해 무릎 외골격의 초기 Model을 Design 해보고,

이 Design에서 설계변수를 지정하여 4-bar Linkage 최적설계를 위한 Code를 수정 및 적용하여 최적의 Model을 얻고,

마지막으로 실제로 이 Model을 3D Printing 등의 방법을 이용해 제작하여, 밸런싱이 증대됐는지에 대한 분석을 해보는 것을 Plan으로 잡았습니다.

#### 4. Kinematic analysis page

본 연구의 첫 번째 Plan인 '4-bar Linkage의 최적설계 Code 작성'에 앞서, 최적 설계에서 설계 변수, 목적함수, 제한조건을 설정하기 위해선 Kinematic analysis를 진행했습니다. 앞에 잠깐 언급했던 것과 같이 본 process에서 얻고자 하는 결과는 End-effector Trajectory가 원하는 path를 그리도록 하는 것이었기에, Rigid Bar Model로 구현된 4-bar Linkage에 부착된 End-effector가 실제 어떤 경로들을 그릴 수 있는지에 대해 이해해보고자 하였습니다. Progress 1에선 여러 경로 중에서도 무릎 외골격의 설계에 도움을 줄 수 있을만 한, Gait Trajectory 이를 알기 위해 화면에 보이는 5가지 case에 대해 End-effector를 얻어볼 수 있는 Code를 작성하여 End-effector Trajectory들을 얻어보았습니다. 이 과정을 통해 저는 4-bar Linkage Model로도 Gait Trajectory와 매우 유사한 End-effector Trajectory를 갖는 기구를 구현할 수 있을 것으로 판단하였고, 이 Rigid Bar Model의 초기 Link의 길이, 각도, Joint 종류를 설계변수로 두고 최적설계 Code를 작성했습니다.

허나, 본 Rigid-bar Model의 최적 설계 Code 시뮬레이션에서 각 설계 변수에 대한 Sensitivity가 적절히 구해지지 않는 문제점이 발견되어, 본 Model을 Spring-connected Block Model Design으로 수정하기로 하였습니다.

#### 5. SBM Design

본 연구에서는 왼쪽 그림과 같이 3by3 SBM으로 4-bar Linkage의 초기 Topology를 구현하여 총 16개의 Node의 초기 위치를 설계 변수로 지정하였으며, 오른쪽 그림과 같이 RRRP, RRRR 두 종류의 Linkage를 이용하여 Closed Loop Path와 Open Loop Path에 대해 최적설계가 잘 적용되어 End-effector Trajectory가 설정한 Path에 잘 맞도록 설계변수가 적절히 수정이 될 수 있는지 여부를 확인해보았습니다.

결과창을 확인해보면 빨간색의 End-effector Trajectory가 흰색 점으로 나타나있는 Gait Trajectory에도 적절히 수렴했으며, 또 파란 선으로 나와 있는 Efficiency 값이 1로 잘 수렴하는 것을 통해 최적설계 Code가 잘 짜여졌음을 확인할 수 있었습니다. 이를 통해 앞으로의 무릎 외골격 설계에 본 Code가 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 기대하고 있습니다.

#### 6. 추후 work page

마지막으로 추후 연구를 어떤 방향으로 진행할 예정인지 말씀드리겠습니다. 앞선 page들에서 소개된 것과 같이 이번 학기 9월부터 12월 현 시점까지 4달 동안 Wearable Robot에 대해 Study 해보면서 현 무릎 외골격에 대한 문제점을 찾아 연구 주제를 잡고, 기구학 Study를 통해 간단한 4-bar Linkage를 SBM과 최적 설계 기법을 통해 End-effector Trajectory가 원하는 Path를 그릴 수 있도록 설계하는 Code 작성을 해보았습니다.

다음학기에는 나머지 Plan에 따라 3월 중으로 생체역학에 대한 study를 끝내 무릎 외골격의 초기 Design을 구상하고, 이를 통해 설계 문제를 정의하여 최적 설계를 적용하여 최적의 Design을 얻어내 5월 중으로 Prototype을 직접 제작하여 밸런싱을 검증해보고, 6월중으로 본 연구를 마무리 지을 계획입니다.

#### 7. 감사합니다 page

발표 들어주셔서 감사합니다! 앞으로도 열심히 하겠습니다!