

1. Title page

안녕하십니까 교수님!

저는 ‘보행 밸런싱 증대를 위한 무릎 외골격 조인트의 최적 설계’ 라는 주제로,

유정한 연구원 밑에서 1년간 연구한 학부생 조훈호입니다.

본 발표에서는 저번 학기동안 어떤 내용을 다뤘었으며, 이번학기에는 어떤 연구를 진행했는지에 대해 소개드리고, 연구 기간동안 제가 느낀 점들까지 간략히 소개드리려고자 합니다.

(23초)

2~4. Process in 기계시스템설계 1

가장 먼저, 저번 학기에 했던 연구 내용부터 말씀드리겠습니다.

저번학기엔 Proposal, Progress Report 1, 2 총 3가지 Process를 따라 연구를 진행했습니다.

먼저 Proposal에서의 연구 주제 선정에 대해 소개를 드리자면,

논문의 첫 시작 단계로서, 왼쪽의 논문을 포함한 다수의 논문을 읽어보며,

Exoskeleton의 종류, 성능 평가 방법, 각 기술들의 현황과, 한계점 및 개선 방향에 접해보았습니다.

이를 통해 저는, Human Performance Augmentation Exoskeleton의 일종으로,

무릎 보조 Exoskeleton에 관심을 갖게 되었고,

최종적으로는, “보행 밸런싱 증대를 위한 무릎 외골격 조인트의 최적설계”를 본 논문의 주제로 잡았습니다. (넘기기)

이후 Progress Report 1에선 최적 설계 방법론을 공부하며,

본 논문의 목적인 “보행 밸런싱 증대”를,

무릎 외골격의 구조에 대한 최적설계를 통해 달성하기로 구체화하였습니다.

그 후엔, 먼저 간단한 4-bar Linkage에 대한 Kinematic Analysis를 진행하면서,

R, P Joint의 Mechanism과 End-effector Trajectory를 구현할 수 있는 Code를 작성했고,

이 Code를 통해 End-effector Trajectory가 보행에서 나오는 Gait Trajectory를 구현할 수 있을지에 대해 탐구했습니다. (넘기기)

이후 Progress Report 2에선 본 Code를 수정하여

4-Bar Linkage의 Link의 길이와 Initial Position을

설계변수로 두고 최적설계를 진행했습니다만,

시뮬레이션 도중, Sensitivity가 적절히 구해지지 않는 문제점을 발견하여,

설계Model을 Spring-connected Block Model로 수정하기로 하였습니다.

이를 위해 SBM에 대한 Study를 진행하였고,

3by3 SBM에서 Node의 Initial Configuration을 설계변수로 두는

최적설계 Code를 작성했습니다.

이후엔 이 Code를 이용하여,

End-effector가 Closed Loop Path와 Open Loop Path 각각을 만족하도록

초기 형상에 대한 최적설계가 잘 이루어지는지를 탐구했습니다.

(45초+30초+45초)

5. Process in 기계시스템설계 2

다음으로, 이번 학기에 했던 연구 사항들을 먼저 간략히 말씀드리겠습니다.

이번학기는 Progress Report 3, 4, 5를 따라 연구를 진행했으며,

Progress Report 3에선 본 연구의 초점이 되는 무릎 Joint에 대한 생체역학 Study를 통해 최적설계의 Target을 설정했고,

Progress Report 4에선 이 Target을 구체화한 후, SBM 최적설계 Code를 형상과 위상 모두 변수로 둘 수 있게끔 확장하여 최적설계를 진행했으나, 실패하였고

Progress Report 5에선 Progress Report 4에서의 문제점을 분석하여 Target을 수정하며, 최적설계를 진행하여, 최적의 Model 도출에 성공하였습니다.

또 이후엔, 도출된 Model에 대한 간단한 분석도 진행하였습니다.

(45초)-----여기까지 약 3분 10초

6. Biomechanics of Knee Joint

이제 각 Process에서 어떤 내용을 연구했는지를, 생체역학 Study 내용부터 짚 설명드리겠습니다.

본 무릎 Joint에 대한 생체역학 Study에선,

Gait Motion 시에 무릎의 거동이 어떤 식으로 나타나는지,

또 Gait Cycle에서 보행 밸런싱이 떨어지는 상황이 언제인지를 파악하는 것에 초점을 두고 무릎의 생체역학적 특성을 공부했습니다.

우선 Gait Cycle은 왼쪽의 그림과 같이, 하지의 움직임 중 지면과의 충격에 의해 오는

무릎 Joint의 동적 특성 및 주변 근육의 신전 정도에 따라

총 5개의 phase로 구성되며, 각 phase에서 무릎이 어떤 동적 특성을 갖는지를 공부했습니다.

또 오른쪽 그림에 나타나있는, Gait Cycle에서 무릎 Joint의 Angle과 무릎 Joint에 걸리는 Moment, 무릎에서 소비되는 Power의 양상에 대한 내용을 분석했고,

이를 통해, 보행 밸런싱 보완에 가장 중요한 시점은

(클릭) 무릎에 큰 Moment 부하와 Power 소비가 걸리는,

Gait Cycle의 2~12% 시점에 해당하는 “부하 반응기”로,

(클릭) Exoskeleton이 전체 Gait Cycle에선 대략적으로 Knee Joint의 거동을 만족하되,

이 부하 반응기에서

Exoskeleton이 무릎 관절의 Angular Velocity보다 작은 속도로 움직이도록 설계한다면,

Moment와 Power를 분산시켜 밸런싱 보완에 도움이 될 수 있을 것으로 추측하여,

이를 설계의 타겟으로 잡는 것까지 진행하였습니다.

(1분 25초)

7.8. Target 구체화 & SBM Code 확장

이후엔 Target을 만족시키는 Model을 얻기 위한 Code 수정 및 합성을 진행했습니다.

우선 앞선 Target에서의 두 가지 내용 중 무릎 Exoskeleton의 기능을 위해선 첫 내용인, (클릭) 무릎 Joint의 실제 거동과 비슷한 양상을 Exoskeleton으로 구현하는 것이 중요하다 생각했으며,

이를 통해, 무릎 Exoskeleton의 End-effector가 무릎과 고관절의 움직임에 의해 나타나는, (클릭) Gait Trajectory를 만족시키는 것을 구체적인 Target으로 정했습니다.

(넘기기) 이후 이 Target을 위한 최적설계 과정에서는 Code에 대한 추가 분석을 진행했습니다.

저번학기에 짚던 SBM 최적설계 Code의 경우

위상을 각 trial에서 수기로 설정해준 후, 형상과 관련된 Node의 초기 위치값만을 수정하는 “형상 최적설계” Code였는데,

위의 Gait Trajectory라는 Target을 만족시키는 선행 연구들을 조사해본 결과,

6bar 이상의 Linkage Mechanism들이 사용되는 것을 확인하였고,

이에 (클릭) 좀 더 다양한 설계 Model을 얻어볼 수 있도록,

위상 또한 설계변수에 포함되어 최적설계가 진행되도록 Code를 변경하기로 결정했습니다.

(클릭) 이 위상을 설계변수에 넣는 방법은,

각 Block에 연결된 Spring들의 Stiffness 또한 설계변수로 넣어,

각 값이 최적 값을 찾아가며 각 Block에 연결된 Joint의 특성이 결정되도록 하는 것으로,

Progress Report 2에서의 형상 최적설계에서의 설계변수도 유지한 채로 이를 추가하여,

최종적으로, ‘형상과 위상 동시 최적설계’로 Code를 확장시켰습니다.

(1분35초)

9.10. Trial 실패원인 분석 및 Target 추가 수정

앞의 SBM Code 확장을 통해 설계 Model의 변동 폭을 넓혀 최적설계를 진행했지만, 수십번의 Trial에서 Mechanism 합성에 실패했습니다.

이에 Progress Report 5에선 실패 원인 분석을 통해 Target을 수정하기로 결정하였습니다.

(클릭)

분석한 실패원인은, 최적설계에서 요구하는 Step의 수가 너무 많다는 점으로,

Target으로 설정한 Gait Trajectory를 총 50개의 Point로 잡아서,

50개의 Step에 대해 End-effector의 Path의 Error 값이 Error Bound 값 아래로 수렴해야 하는 까다로운 조건이 걸려있어서,

3by3 SBM 정도의 Scale로는 설계변수가 적어 합성이 이루어지지 않으며,

또 그 이상의 SBM에서는 설계변수가 100개 이상으로 너무 많아

Efficiency가 증가하기 어렵다는 점이 찾아졌습니다.

이에, 첫 번째 Solution으로는, Trajectory에서 Singularity를 유발하기 쉬운,

P Joint와 관련된 설계변수를 임시로 제거하여, 설계변수를 줄여보기로 결정하였습니다.

(넘기기) 하지만, 여전히 3by3 정도의 Scale에서 60개 정도의 설계변수가 존재함에도

Step 수가 과도하여 합성이 이루어지지 않는 문제가 반복되어,

두 번째 Solution으로, Target을 Gait Trajectory 전체에서,

부하 반응기를 포함하는 일부분만으로 변경하기로 결정하였습니다. (넘기기)

(1분 20초)

11. 도출 Model의 Topology 분석

이 두 번의 Solution 적용을 통해

Progress Report 5에선 다행히 Target을 만족하는 Model을 도출해낼 수 있었습니다.

우선 trial 3-8에서, 3by3 SBM을 통해, 처음으로 Error 값이 Error bound 값보다 작으면서, Efficiency는 1로 수렴하는 결과값을 만들 수 있었고,

이 경우에 대해 각 Spring의 Stiffness값을 통해 Block간의 연결 관계 분석을 통해서, 합성된 Model이 4RRRR Mechanism임을 확인할 수 있었습니다.

(클릭)

다음으로, 앞의 첫 번째 Solution이었던 P Joint 관련 설계변수에 대한 제한을 해제하여 합성을 진행해보았는데,

trial 3-11에서 2by3 SBM을 통해 Target을 만족하는 Model을 도출해 낼 수 있었습니다.

또, 이 경우에서도 Block간의 연결 관계 분석을 진행했는데,

합성된 Model이 trial 3-8과 마찬가지로 4RRRR Mechanism임을 확인할 수 있었습니다.

(클릭)

특징적인 점은, trial 3-11에서, P Joint 가 합성에서 나올 수 있게끔 설정했음에도 불구하고, 최종 Mechanism에서 P Joint 가 제외됐다는 점인데,

이 부분에 대해서 저는

설계요건으로 잡은 Target Path에 4RRRR Mechanism이 최적이라고 해석할 수도 있지만,

어쩌면 Trial 3-8 에서 3by3 Model 으로부터 시작했지만

후에, 실제 Shape이 2by3 Model에서도 도출될 수 있는 형상으로 분석되었으며,

Trial 3-11 에서 2by3 Model 로부터 합성을 시도했기에 하나의 해로서 같은 Model이 도출됐을 가능성도 충분히 존재한다고 생각했습니다.

이에 추가 연구를 통해 다른 해를 찾아보거나,

P joint와 R Joint 각각의 관련 변수에 대하여

MMA 최적설계 Code가 어떤 수렴성을 부여하는지에 대한 분석 등을

추후 연구로 진행해볼 수 있겠다는 생각을 해볼 수 있었습니다.

12. Work Schedule page(느낀점)

마지막으로는, 이번 연구를 마무리하며,

저번 학기에 계획했던 Work Schedule 표를 토대로, 이번학기 연구 과정을 되돌아봤습니다.

이 Work Schedule 대로라면,

이번학기에는 3월 중으로 생체역학에 대한 study를 끝내 이로부터 설계문제를 정의한 후

최적 설계를 통해 4월 중으로 Mechanism 도출에 성공하고,

5월 중으로 Prototype을 직접 제작하여 밸런싱도 검증하며 연구를 마무리 지으려 했지만,

(클릭)

실제론 최초의 설계문제 정의 후, 수십번의 합성 실패에,

생체역학 공부와 SBM Code의 수정을 6월까지 반복하면서,

실제 제작 및 설계문제 정의에서의, 밸런싱 증대 목표에서의 가정에 대한 검증은 기한 내에 하지 못했습니다.

이에 대한 이유로는, 제 개인적으로는 여러번의 Trial에서 원인 분석이 완전한 이론적 근거를 기반으로 이루어지지 못했다는 점이 있던 것 같습니다.

이에 이번 연구과정을 통해 저는,

먼저 각 Trial에 대한 원인 분석을 위해서 더 깊은 지식이 필요함을 느낄 수 있었습니다.

또, 최적설계에서도, 공학 이론의 실제 적용이 무조건 수 번 만에 성공하지는 않기에,

여러 Tool, 혹은 기법에 대한 폭넓은 이해를 통해 다양한 시도를 해볼 수 있는 능력이 중요하다는 것도 느낄 수 있었습니다.

또 추가로, 수십 번의 Trial을 진행해보며,

연구자로서 포기하지 않는 마음가짐도 배워볼 수 있었습니다!

13. 감사합니다 page

이상으로 발표 마치겠습니다.

들어주셔서 감사합니다!