

의공학 분야에서의 인간공학을 위한 동역학해석 기술의 활용

글 명성식 (명아비) ssmycong@ahiti.com

1. 서론

15세기 레오나르도 다 빈치에 의해 시도된 인체의 생물학적 연구(biology)와 역학(mechanics) 이론의 융합은 최근 생체역학(biomechanics)이라는 독립적인 학문으로 발전하였다⁽¹⁾. 생체역학은 연조직, 정형외과분야, 근골격계, 스포츠 및 혈관계 생체역학으로 구분할 수 있다. 이 중에서 정형외과분야, 근골격계, 스포츠 생체역학에서의 연구는 동작운동분석, 골격분석, 근육분석, 관절분석, 인체측정학, 작업생리학 등의 분야에서 독립적으로 혹은 부분 연계 형태로 진행되고 있으며, 이중에 동작운동분석은 해부학적인 신체의 움직임을 동역학적으로 모사함으로써 인체에서 발생하는 다양한 물리적인 응답을 파악할 수 있는 분야이다.

본 기고에서는 지난 학회의 튜토리얼 세션에서 발표되었던 BME분야에서의 인간공학을 위한 inverse dynamic technology의 활용에 대한 발표자료를 정리하였으며, 역동역학 방법(inverse dynamics method)⁽²⁻³⁾ 및 정동역학 방법(forward dynamics method)⁽⁴⁻⁵⁾ 기반의 기구 동역학 이론을 이용하여 인체운동 시뮬레이션을 구현하는 방법론과 인체동역학 모델을 응용한 사례 및 기법들을 알아보도록 한다.

2. 인체동역학

2.1 가상인체 모델링

인체동역학을 수행하기 위하여 가상인체 동역학 모델을 생성하여야 한다. 이 때 가상인체모델은 기구 동역학 이론에 기반하여 실제 인체보다 계산이 용이한 모델로 단순화 시킨다.

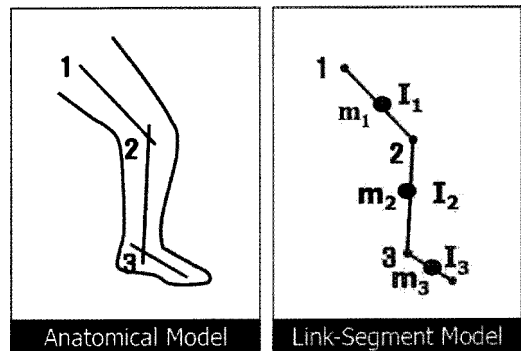


그림 1. 가상인체 모델의 기구학적 단순화

실제 인체는 모두 208개의 뼈와 300여 개의 근육으로 구성되지만 가상인체모델은 19개의 분절요소와 118개의 근육으로 구성된다. 가상인체모델은 기본적으로 신체를 구성하는 머리, 팔, 다리 몸통 등의 인체 분절요소를 조합하여 생성하는데, 이러한 분절요소는

관절 조인트와 근육·힘줄과 같은 생체조직으로 연결되게 된다. 또한, 운동해석을 적절히 수행하기 위해서는 인체모델이 직면한 환경적인 상황이 고려된 기구학적인 접촉요소가 포함되어야 한다.

2.1.1 인체분절요소

인체분절요소는 일반적으로 신체치수, 질량 및 관성 텐서 정보에 대한 인체측정학적 데이터베이스로부터 생성된다. 이러한 인체측정학적 데이터베이스는 시험을 통하여 직접 데이터베이스를 구축할 수도 있고 기존에 상용화된 소프트웨어⁽⁶⁾를 이용할 수도 있다. 그림 2는 가상인체모델링 및 기구동역학 전용해석 소프트웨어인 LifeMOD⁽⁶⁾를 이용하여 생성되어진 가상인체분절요소 모델이다.

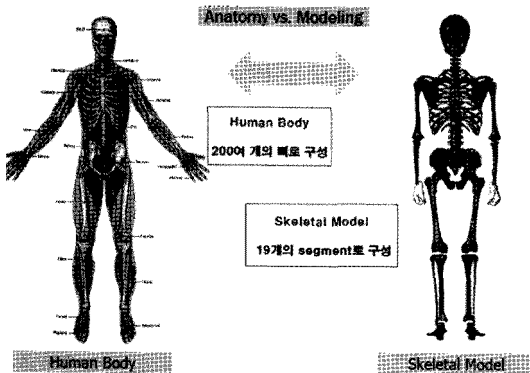


그림 2. 인체해부학 모델과 가상인체분절모델

분절요소는 인체의 구성요소 외에 인공관절이나 운동기구 같은 비인체 요소의 일반적인 형상 데이터를 삽입하여 구성할 수 있다.

2.1.2 관절요소

인체분절요소에 대한 정의가 완료된 후에는 각 분절요소 사이의 움직임 및 구속조건을 정의하기 위하여 관절요소를 구성해야 한다. 이때 사용되는 관절요

소는 기구학적 구속조건이며, 역동역학 및 정동역학 해석에서 인체 움직임의 패턴을 학습하고 재현하는 매우 중요한 역할을 하게 된다. 관절요소는 해부학적 자유도 상에서 3축의 힌지와 수동적인 혹은 능동적인 힘요소로 구성된다. 그림 3은 인체 팔에 관절요소를 정의한 모습을 보여준다.

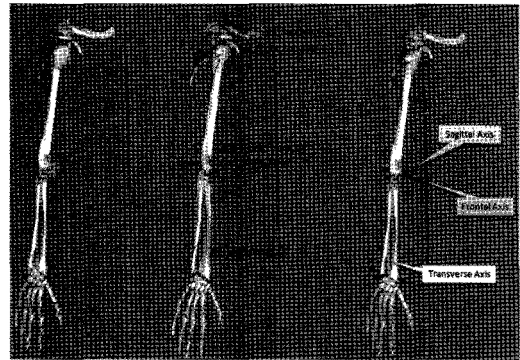


그림 3. 관절구성도

2.1.3 soft tissue 요소

인대나 근육과 같은 연조직은 역학적인 비선형 특성이 강하기 때문에 해석적인 데이터로 정의하기가 용이하지 않다. 인체 운동해석에서 이와 같은 연조직은 스프링, 댐핑요소와 인장힘 요소로 이상화하여 골격 모델 사이에 정의한다. 근육요소모델은 학습가능 요소와 능동요소로 구분된다. 학습가능 근육요소는 역동역학해석에서 모션캡처 데이터를 기반으로 인체동역학 모델이 구동되어질 때 수축과 인장 패턴을 기록하고 학습한다. 능동 근육요소는 정동역학해석에서 액추에이터 역할을 수행하여 역동역학해석의 근육 움직임 패턴을 재현한다. 근육과 같은 연조직의 인장력 추정을 위한 다양한 공식들이 개발⁽⁷⁻⁹⁾되어 오고 있으며, 그림 3은 이러한 공식들을 적용하여 생성된 근육모델 형상들이 나타나 있다.

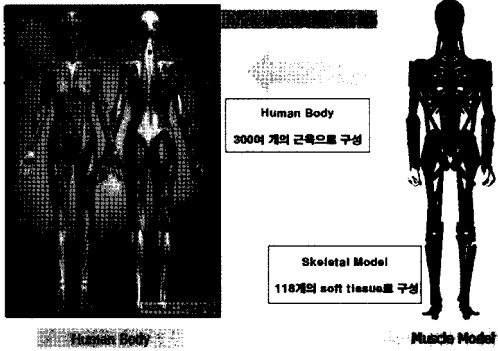


그림 4. 인체해부학 모델과 가상인체근골격모델

인체분절요소, 관절요소 및 연조직요소를 이용하여 인체동역학 모델이 완성되면, 인체운동해석을 수행하기 전에 초기 운동자세를 구성한다.

2.1.4 접촉 요소

인체운동은 인체모델과 운동이 발생하게 되는 주변 환경, 즉 보행 시 지면이나 스포츠 운동 시 각종 스포츠 장비, 혹은 운전 시 자동차 내부 등과의 접촉력을 고려해야 한다. 그림 1은 가상인체모델이 중력의 영향으로 낙상하는 동작에서의 지면과의 접촉력을 정의한 모습을 보여준다.

2.2 인체동역학 해석

인체동역학 해석에서 동작운동분석은 크게 수동해

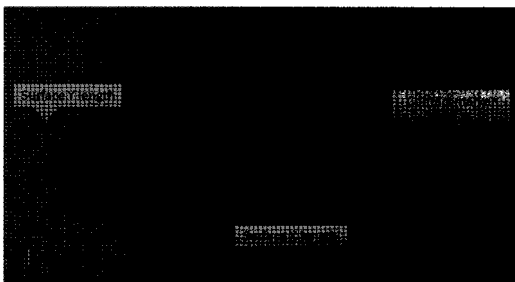


그림 5. 접촉력 생성

석(passive analysis)과 능동해석(active analysis)으로 나뉘어진다. 수동해석은 인체모델의 주변 환경 요인에 반응하는 형태로, 외력에 의한 신체의 반응을 측정하는 충돌더미시험이 대표적인 예이다. 따라서, 수동해석에서는 인체모델이 스스로 운동하기 위해 필요한 운동 동인(motion agent)이나 근육힘수가 필요하지 않다. 능동해석에서는 인체모델이 주변 환경에 반응을 스스로 발생시키게 된다. 능동해석의 정확도를 향상시키기 위해서, 역동역학해석과 정동역학해석을 순차적으로 진행해야 한다. 역동역학해석은 해석 대상이 되는 인체분절요소에 대해서 관절의 움직임과 근육 수축에 대한 데이터를 기록하는 시뮬레이션을 진행한다. 이때, 인체분절요소의 각 움직임을 인가하기 위해서 모션캡처를 활용한다. 모션캡처를 통하여 기록된 인체의 동작 정보를 운동 동인을 통하여 가상인체모델에 전달하며 역동역학해석을 통하여 동작정보가 성공적으로 기록되면, 정동역학해석을 이용하여 각종 운동해석을 수행할 수 있게 된다. 인체동역학 해석에 대한 전체적인 프로세스는 그림 6에 나타나 있다.

일반적으로 인체운동해석이라 함은 역·정동역학을 기반으로 한 능동해석을 말하며, 최근 인체움직임을 측정하는 모션캡처 장비들의 비약적인 발전으로 능동해석의 활용도가 높아지는 추세이다. 능동해석을 기반으로 한 인체운동해석은 다양한 분야에 적용하여 운동에 대한 공학적인 정보를 취득할 수 있으며, 이를 통한 운동 및 반응분석, 운동의 제어 및 관련된 생체의 구조해석을 위한 하중정보로도 유용하게 응용될 수 있다.

3. 인체동역학모델의 활용 사례

2.1 정형외과 분야

그림 7에의 연구사례는 인공엉덩관절의 개발 사례로 인공엉덩관절의 대퇴부 측의 관절 머리 크기에 따

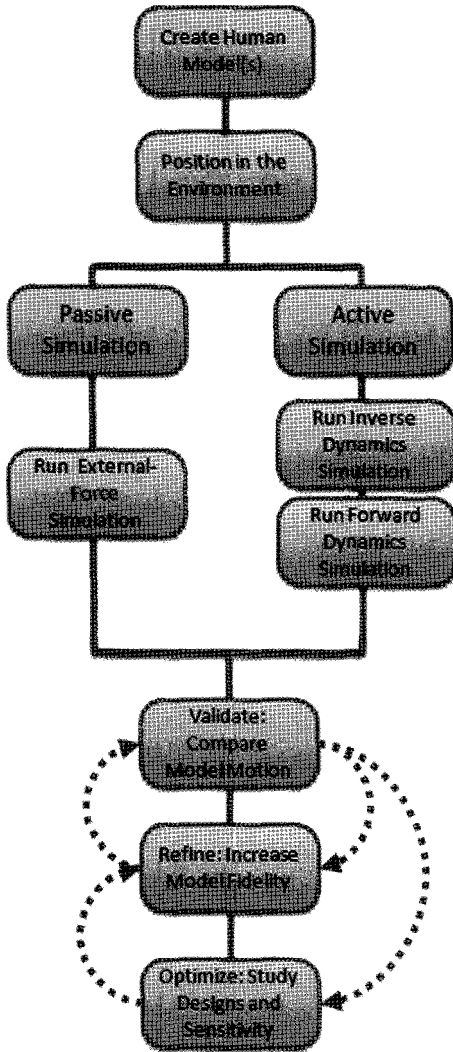


그림 6. 가상인체동역학해석 프로세스

른 인체 운동 시의 응답 특성을 파악한 것이다.

그림 8은 인공무릎관절의 개발에 있어서 전체적인 프로세스를 활용한 사례이다. LifeMOD 소프트웨어를 이용하여 형상데이터를 생성하고 가상시험장비 및 실제 시험장비에서 테스트를 수행하고, 가상인체모델에

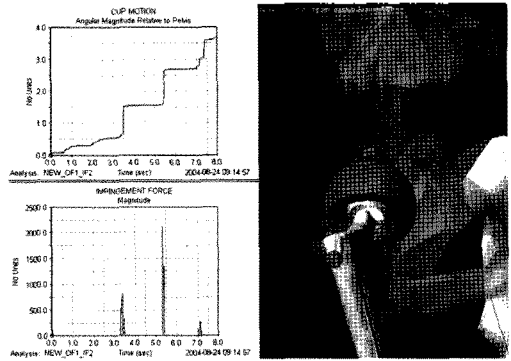


그림 7. 걸기-앉기-걸기 동작에서의 인공엉덩관절의 동작특성 분석

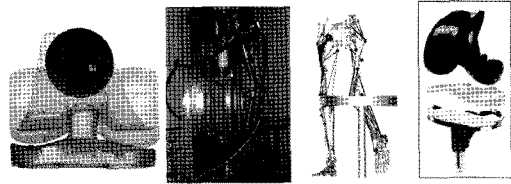


그림 8. LifeMOD를 이용한 인공우릎관절 개발 프로세스

적용하여 여러 동작에 대한 분석을 수행하고 최종모델을 개발한 사례이다.

2.2 인간공학 분야

그림 9는 인간공학 분야에서 물건을 드는 메커니즘에서 부품을 구부리고 물건을 드는 동작과 허리만 구부리고 물건을 드는 동작에서의 각 관절에 인가되는 하중에 대한 비교 분석한 사례이다.

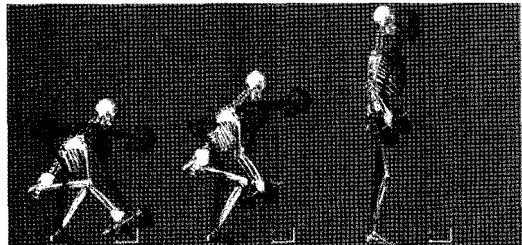


그림 9. 물건 들기 메커니즘 비교

2.3 스포츠 분야

그림 10에서는 스포츠 장비 개발 분야에서 테니스 라켓 개발에 대한 사례로써 테니스 라켓의 강성에 따라 라켓이 공을 가격하는 순간의 관절 특성 결과가 나타나 있다.

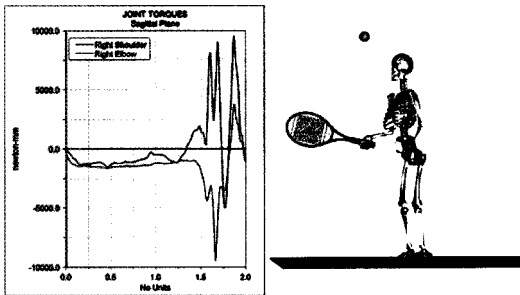


그림 10. 테니스 라켓 강성 조율 해석

2.4 안전장비 설계 분야

그림 11 ~ 12는 안전장비 설계 분야의 사례로 사고로부터 얻을 수 있는 상해의 정도와 부위의 판단에 도움을 얻을 수 있다.

그림 11은 오토바이 운전 중 전복사고에 대하여 분석한 사례로 오토바이 전복 시 인체의 어느 부위가 충격을 일어나며 충격량의 크기에 대한 분석을 해석한 사례이다.

그림 12는 차량 후방 충돌 시의 인체 목 부위의 상해를 예방하기 위하여 헬멧 가이드를 개발한 사례를



그림 11. 오토바이 전복 해석

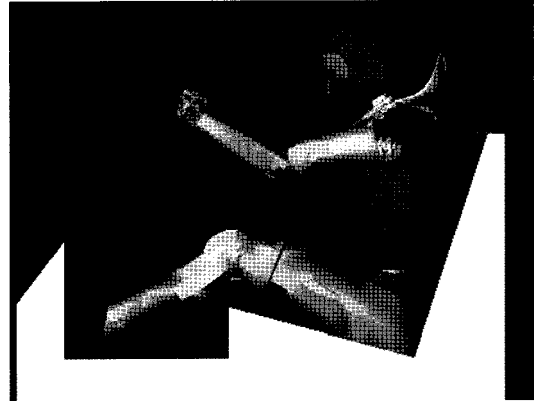


그림 12. 차량 후방 충돌 해석

나타내고 있다. 차량에 사람이 탑승하여 안전벨트를 착용하고 헬멧을 착용한 상태에서 후방 충돌을 구현하여 목의 꺾임이 일정 수준 이상으로 변형이 되지 않는 헬멧 가이드를 설계하여 부상 방지를 위한 안전장비를 설계한 사례이다.

3. 결 론

인체동역학 기반의 생체역학 분석은 인체의 움직임 뿐만 아니라 관련 생체조직의 역학적 연구에 있어서 가장 기초적이고 중요한 부분이라고 할 수 있다. 다른 생체역학 분야와 마찬가지로 인체동역학 분야도 인체조직의 복잡성과 다양성으로 인하여 앞으로도 수행되어야 할 연구가 많이 남아 있다. 인체동역학 분야의 지속적인 연구는 인간의 생활 향상에 결정적으로 기여할 수 있는 의공학, 재활공학, 로봇공학, 생체모방공학 등의 다양한 학문분야의 발전에 크게 기여할 수 있다.

참고문헌

1. Kwon, Y. K. and Byun, S. N., *Introduction to New Biomechanics*, 1999, Cheong Moon Gak.
2. Lee, J. H., Lee, Y. S., and Lee, S. H., "Development on Human Muscle Skeletal Model and Stress Analysis of Kumdo

- Head Hitting Motion," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 24, No. 11, pp.116~125, 2007.
3. Cho, Y. K., Choi, H. S., Kim, H. D., Choi, H. H., Youn, J. I., Kim, Y. H., Shin, T. M., Kim, H. S., and Lim, D., "Biomechanical Evaluation for Washing Machine Design Suggested Newly for Prevention of Musculoskeletal Disorders," *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, Vol. 27, No. 4, pp.27~35, 2008.
 4. Song, S. J., Kim, S. Y., Kim, Y. T., and Lee, S. D., "Computation of Ground Reaction Forces During Gait using Kinematic Data," *Journal of KSME*, Vol. 34, No. 4, pp.431~437, 2010.
 5. Lee, S-H., Lee, Y-S., Choi, Y-J., Choi, E-J., and Chae, J-W., "Firing Experiments and Structural Analysis of Human Body," *Journal of KSME*, Vol. 31, No. 7, pp.764~776, 2007.
 6. LifeMOD User's Manual Version 2010, LifeModeler Inc., 2010.
 7. Hill, A.V., "The Heat of Shortening and the Dynamic Constants of Muscle," *Proc Roy Soc B126*, pp.136~195, 1938.
 8. Rack, P.M.H., "The Effects of Length and Stimulus Rate on Tension in the Isometric Cat Soleus Muscle," *Journal of Physiology*, Vol. 204, pp.443~460, 1969.
 9. Zajac, F.E., "Muscle and Tendon: Properties, Models, Scaling, and Application to Biomechanics and Motor Control," *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering*, Vol. 17, pp.359~411, 1989.