



# THEME 02

## 외부힘과 상체의 각도가 요추 운동학에 미치는 영향에 관한 연구(오일러 빔 모델링)

박 기 원 | 트라인대학교 기계공학과 조교수 | e-mail : parkk@trine.edu

이 글에서는 지금까지 대부분 기계 제품을 만들고 발전시키는 데 사용되어 왔던 기계공학 지식이 우리 인체의 움직임을 연구하는 데 어떻게 쓰일 수 있는지 한 가지 연구 주제를 예를 들어 설명하였다. 재료역학 이론을 바탕으로 만들어진 요추 모델을 통해 외부힘과 상체의 각도에 따라 각 요추의 움직임이 어떻게 달라지는지 알아보았다.

### 기계공학 이론을 이용한 의공학

기계공학 이론의 대부분이 자동차나 비행기와 같은 기계제품에 집중되어 왔던 과거와 달리 현재는 그 적용대상의 폭이 날로 커져가고 있다. 과거의 기계공학이 대부분 말 그대로 기계를 만들고 발전시키는 데 초점을 맞춰왔기 때문에 기계공학이라는 말이 어색하지 않게 여겨져 왔지만, 실제로 필자는 이 용어가 이제는 조금 구시대 적이지 않나 생각한다. 영어로 기계공학을 얘기할 때는 Machinery Engineering이 아닌 Mechanical Engineering이다. 말 그대로 기계만을 연구하는 학문이 아닌 중력을 받는 세상 모든 사물이 어떻게 움직이고 세워지는지를 연구하는 학문이 기계공학(Mechanical Engineering)인 것이다. 이런 관점에 따라 최근에는 전통적인 기계공학 이론들을 바탕으로 다양한 분야의 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 이 중 가장 인기 있는 분야 중의 하나가 바로 의공학(Biomedical Engineering)이라 불리는 분야다. 사람들이 어느 정도 먹고 살만해지면 우리의 관심은 자연히 삶의 질을 향상시키고자 하는 쪽으로 가게 마련이다. 어떻게 하면 더 오래 살 수 있을까? 나이가 들어서도 젊었을 때처럼 움직임에 큰 불편 없이 살 수는 없을까? 이런 질문들에 답을 하려는 학문이 바로 의공학이라고 할 수 있겠다. 의공학은 나아가 의학이 해결할

수 없는 영역에 기여를 하기도 하고 의학과 협력 연구를 통해 수술기기의 개발이나 인공관절, 인공뼈를 만들어 내기도 한다. 이 글에서는 간단하게나마 기계공학, 그 중에서도 재료역학(Solid Mechanics) 이론을 이용해서 요추 운동학을 모델링한 연구를 소개할까 한다. 이 짧은 글을 통해 우리가 건축물이나 기계 제품을 만들 때나 사용해왔던 기계공학 지식이 다른 분야에는 어떤 식으로 적용될 수 있는지 살펴보길 바란다.

### 요추의 생체역학 모델(Biomechanical model of the lumbar spine)

앉은 자리에서 상체에 가해지는 힘이나 상체의 각도는 각각의 요추 움직임에 영향을 미칠 수 있다. 특정한 요추의 움직임은 근육조직의 손상으로 이어질 수 있기 때문에 외부 자극이나 자세에 따라 요추의 움직임이 어떤 식으로 바뀌는지 알아보는 연구는 허리 부상 예방이나 이미 부상을 입은 환자의 재활에 유용하게 쓰일 수 있다. 두 종류의 외부 힘(15%, 30% maximum voluntary exertion)과 네 종류의 상체 자세(trunk angle: 0°, 30°, 60° and 90°)에서의 요추 움직임을 알아보기 위해 회전축(IAR: the Instantaneous Axis of Rotation)의 위치를 이용한 방법이 사용되었다.

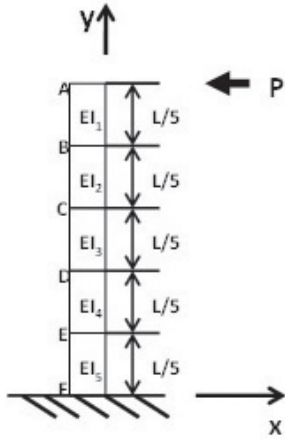


그림 1 각각 다른 휨 강도를 가진 다섯 부분으로 구성된 빔 모델

각기의 다른 복잡성을 가진 요추 모델은 서로 다른 종류의 연구에 대한 답을 해줄 수 있을 것이다. 그 중 하나가 단순한 강체 모델(rigid-body models)이다. 이런 모델은 요추의 안정성과 제어와 관련된 기본적인 역학관계를 설명해 줄 수는 있을 것이나, 실제 사람의 허리가 강체와는 많이 다르다는 점에서 이 모델로부터 얻을 수 있는 지식은 다분히 한계가 있을 수밖에 없다. 기존 모델들이 가지는 이런 약점들을 조금이나마 보완할 수 있는 모델이 바로 연속적인 빔 모델(continuously deformable euler beam)이다. 여기서 요추의 만곡은 버클링 변형(buckling deformation)에 의해 묘사될 수 있다. 요추는 수직으로 힘을 받지 않아도 굴곡이 있다는 점에서 역학적인 버클링(Mechanical-buckling)과는 다르지만 이런 제한에도 불구하고 이 모델은 자세 제어와 관련한 연구에서 꽤 쓸모 있게 쓰일 수 있다.

요추모델에서 휨 강도(bending stiffness)는 요추의 위치에 따라 다르기 때문에 빔 모델은 다음과 같이 다섯 개의 개별 조각으로 나뉘었고 각각의 조각은 다른 휨 강도( $EI_1, EI_2, EI_3, EI_4, EI_5$ )를 가진다(그림 1). 이전의 실증적인 실험 결과를 토대로 상체의 근육이 수

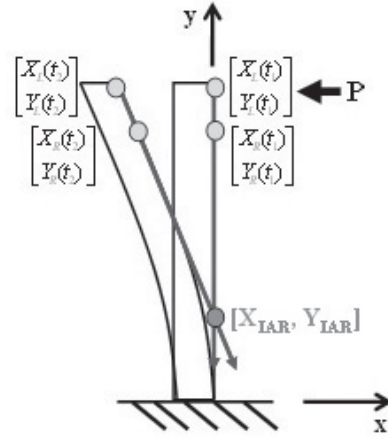


그림 2 빔 모델을 이용한 회전축(IAR)의 위치 측정

축하는 정도와 자세에 따라 다른 휨 강도가 모델에 사용되었다.

빔 모델에서 회전축(IAR)은 빔의 끝 쪽의 임의의 점 두 개를 이은 선들의 교차점을 구하는 방식으로 계산되었다.(그림 2)

이 연구에서는 인간의 요추를 연속적으로 변형가능한 버클링 기둥(continuously deformable buckling column)으로 볼 수도 있다는 견해를 토대로 빔 모델을 제안했다. 이 모델이 몇 가지 제약과 실제 사람의 요추와 다른 가정들을 포함하고 있다고해도 증가된 외부 힘에 의한 자발적인 상체의 움직임의 변화를 효과적으로 보여주었다(그림 3). 이 결과는 외부 힘이 증가함에 따라 휨 강도가 증가하고 이로 인해 수직방향의 회전축(YIAR)의 위치가 낮아질 것이라고 예상한 가설과도 일치했다. 상체의 자세에 따른 회전축의 위치 변화는 상체 각도 변화에 따라 회전축의 위치가 높아지는 추세를 보여주었으나 그 양이 미미하여 그 결과가 유의미하다고 보기는 조금 힘들 것으로 보인다. 지면 관계상 포함하지는 못했지만 실제 사람을 대상으로 한 실험에서도 빔 모델의 결과와 비슷한 결과를 얻었다.

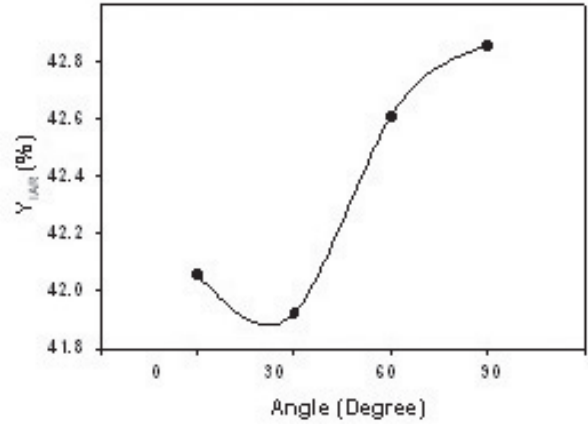
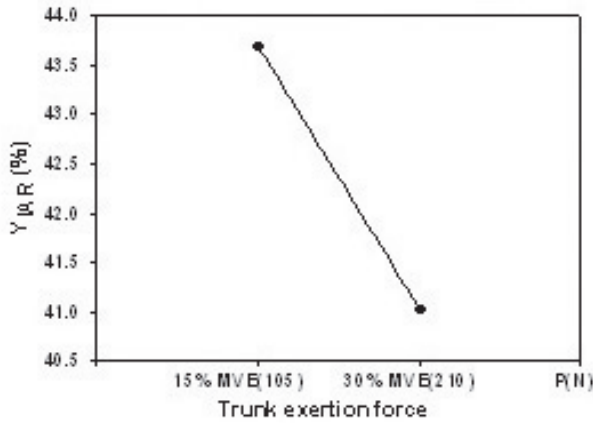


그림 3 수직방향 회전축( $Y_{IAR}$ )의 변화( $Y_{IAR}$ 의 단위는 요추 길이에 따른 백분율이다.)

결론적으로 이 연구는 외부에 가해지는 힘과 상체의 자세가 요추의 움직임 동안 생기는 회전축 위치에 영향을 준다는 것을 보여주었다. 예전의 연구들은 외부로부터 가해지는 힘이 클수록, 허리를 구부린 정도가 클수록 허리 통증과 관련된 위험이 커진다고 밝혀왔다. 또한 비정상적인 회전축의 위치가 허리 관련 통증과 밀접한 관계가 있다고 알려져 있다. 좀 더 많은 사람들의 허리 회전축(IAR)을 측정한 자료가 모인다면 우리는 정상적인 요추의 움직임에서 어떤 회전축(IAR)의 위치를 갖는지 알 수 있을 것이다. 이런 자료들을 바탕으로 - 정상적인 허리 회전축(IAR)의 위치와 부상당한 허리 회전축(IAR)의 위치를 비교함으로써 - 허리 질환과 관련된 질병이 발생했을 때 회전축(IAR)을 통해 병의 정도를 예상할 수도 있고 허리 부상 후에 재활과정에서 얼마나 정상에 가까워졌는지 또한 측정할 수 있을 것이다.

이 글에서는 재료역학 지식을 이용한 생체역학분야 모델링의 한 예를 소개하였다. 모든 모델링 연구가 그런 것처럼 바이오 재료 시뮬레이션도 그 한계나 약점-

시뮬레이션의 대상이 여러 가지 변수가 많은 사람이라는 점에서 그것은 더 클 수도 있다. 을 가지지만 인간의 신체가 외부 자극(힘, Force)에 대해 어떻게 반응하는지 그로 인한 부상은 어떻게 야기되는지에 대한 보다 깊은 이해와 통찰력을 줄 수 있다는 점에서 연구의 가치는 충분하다 하겠다. 앞으로 인간의 신체가 가지는 복잡성을 최대한 많이 반영한 실제와 가까운 모델이 나온다면 모델링 연구로 인한 결과는 더욱더 큰 의미를 가지고 실제로 우리의 건강을 증진 시키는데 유용하게 쓰일 수 있을 것이다. 마지막으로 생체역학 분야는 대체로 정형외과 쪽 분야에 치중되어 있는데 이는 의학으로 해결 수 있는 부분이 수술이나 진통제 투여로 제한되기 때문이다. 하지만 근골격계 부상 (musculoskeletal disease)은 한 번 갖게 되면 만성이 되는 경우가 대부분이고 완치가 된다는 보장이 없기 때문에 부상 방지가 더욱 중요할 수밖에 없다. 이런 부상 방지를 위한 구체적인 전략이나 부상 후에 재활 방법에 관한 합리적이고 과학적인 제안을 하는 것이 바로 생체역학을 연구하는 모든 연구자들의 목표다.