

자전거 주행 중 발생하는 진동이 인체에 미치는 영향

The study on the influences of vibration associated with cycling on the human body

정경렬† · 형준호* · 김사엽*

Kyung Ryul Chung, Joon Ho Hyeong, Sa Yup Kim

Key Words : 자전거(Bicycle), 인체진동(Human vibration), 서스펜션(suspension)

ABSTRACT

This study was conducted to simulate the influence of vibration associated with cycling on the body. In this simulation the human model that the riding on a bicycle which have suspension and non-suspension front forks was used. And to arouse impact two kind of bump, 50mm height of radical raised spot and 150mm height of slow raised spot, were used. The vertical displacement of head, the vertical acceleration of head and the torque of neck joint were analysed. The results say that the function of shock absorbing was grater when passing though a 50mm height of radical raised spot then a 150mm height of slow raised spot.

1. 서 론

자전거 이용에 따른 건강 증진과 환경보호라는 유익한 점이 부각되면서 자전거 이용이 늘어나고 있다. 자전거 주행이 다른 교통수단과 다른 특징은 운전자와 상호작용이 크다는 점이다. 자전거와 운전자 사이에 발생하는 페달 토크의 크기, 주행방향, 좌우 기울어짐, 핸들링 힘과 토크, 운전자의 자세 등은 복잡한 양상을 띠며 상호 영향을 주고받는다(3) 특히 주행 중 만나는 노면의 요철은 핸들과 안장을 통해 진동을 인체에 전가시켜 부정적인 결과를 초래한다.

MTB라 불리는 산악자전거의 경우 대부분이 전방 서스펜션이 장착되어 있어 불규칙한 노면을 지날 때 발생하는 충격과 진동을 흡수한다. 하지만 자전거에

있어서 서스펜션의 장착은 차체의 무게를 증가시키고 자전거의 가격상승의 원인이 되고 있어 도로주행을 목적으로 하는 일반적인 자전거는 서스펜션이 장착되지 않은 경우가 많다. 그러나 도심 주행시 지나게 되는 자전거 전용도로라 하더라도 과속방지턱, 인도턱 등 충격을 발생하는 각종 환경을 만나게 된다. 차량으로부터 인체, 특히 머리에 전달되는 진동은 불쾌한 승차감을 유발하거나 건강에 유해할 수 있으며 탑승자의 피로, 시계의 곤란, 운전 방해 등을 야기할 수 있다고 한다(2) 따라서 자전거 주행시 불규칙한 노면을 지날 때 발생하는 진동이 인체에 미치는 영향을 분석하는 일은 의미 있는 일이다.

이현남 등은(1)인간을 대상으로 하는 모든 진동시험은 잘못 수행된 실험절차와 실험조건에 의하여 피시험 대상자가 일시적 또는 영구적인 손상위험성을 항상 수반하고 있다고 하였다. 한편 인체의 진동 응답특성을 모델링하기 위해 인체를 선형계 즉 질량, 스프링, 그리고 댐퍼로 근사화 하는 방법이 널리 이용되고 있다(4) 그러나 이는 낮은 자유도의 모델이라는 한계에 이른다.

† 정희원, 한국생산기술연구원
E-mail : chungkr@kitech.re.kr
Tel : 041-5898-251 Fax : 041-5898-230
* 한국생산기술연구원

최근에는 가상인체모델 전용 프로그램을 이용하여 환경이 인체에 미치는 역학적 영향을 시뮬레이션 할 수 있게 되었다. 가상 인체모델은 관절과 근육에서 보다 자세한 정보를 제공한다. 명성식은 가상 인체모델을 이용하여 차량 주행 시 과속방지턱을 지날 때 발생하는 진동이 인체에 미치는 영향을 시뮬레이션 한 바 있다(6)

본 연구에서는 자동차 업체에서 널리 사용되는 MSC.ADAMS Plug-in 제품인 가상인체 모델러 Life MOD(Lifemodeler Inc., 미국)를 이용하여 자전거 주행 시 발생하는 충격이 인체에 미치는 영향에 대해 동역학 해석을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 모델링

(1) 환경 정의

자전거 주행 시 발생하는 충격을 정의하기 위해 도심의 자전거 전용도로를 관찰하였다. 기존의 자전거 전용도로는 인도의 일부를 할애하여 차도 보다 높게 설치하는 경우가 많다. 차도와와의 높이차는 약 120~200mm 정도이다. 그러나 교차로 부근에서는 인도의 높이가 차도와 같아지도록 경사로를 설치하는 것이 일반적이다. 때에 따라서는 낮은 수직형태의 턱(raised spot)이 남아있는 경우도 있다. 이처럼 갑작스러운 높이 변화로 인해 충격이 발생하기 쉬우며 이는 자전거와 인체에 부담을 줄 수 있다.



그림 1 인도에 설치된 자전거도로에 오르기 위한 턱(raised spot)의 예시

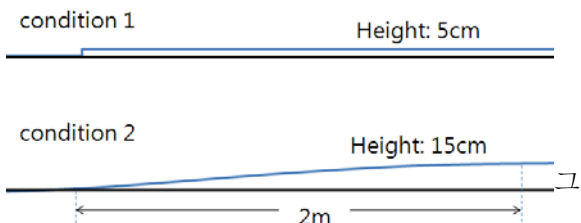


그림 2 두 가지 형태의 턱(raised spot)

따라서 본 연구에서는 두 가지의 턱(raised spot)을 정의하였다. 첫 번째는 50mm 높이의 직각 모양의 턱이며, 두 번째는 150mm 높이의 완만하게 경사진 턱이다. 이때 완만한 경사의 시작점과 끝점의 거리는 2m로 정의하였다[그림2] 주행속도는 비교적 느린 10km/h의 속도로 턱을 오르는 상황을 가정하였다.

(2) 자전거의 정의

자전거는 일반적인 MTB 형태를 적용하였다. 휠 사이즈는 일반적인 자전거에 장착되는 26인치 휠을 채택했으며 타이어의 탄성계수와 댐핑계수는 20N/mm를 적용하였고 10mm까지 압축이 될 수 있도록 하였다. 차체의 중량은 12kg이다.

자전거의 전방 완충장치는 서스펜션포크(suspension fork)가 담당한다. 서스펜션 포크에 탄성계수를 적용하기 위해 하중에 따른 압축변위곡선을 그림 3과 같이 적용하였다. 초기에는 200N의 하중에도 압축이 쉽게 일어나지만 압축변위가 증가할수록 필요한 하중의 크기는 기하급수적으로 증가하게 된다.

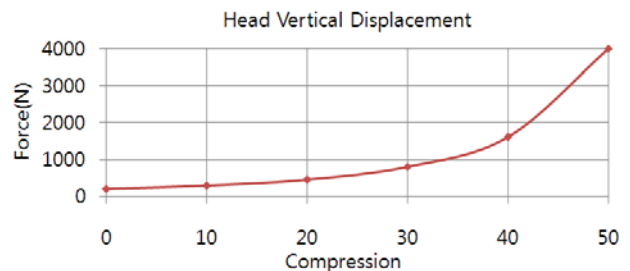


그림 3 서스펜션의 압축 특성

(3) 가상 인체모델

가상 인체모델러 LifeMOD를 이용하여 인체모델을 생성하였다. 인체는 평균치수인 164cm, 64kg의 남성 모델을 이용하였다. 모델은 19개의 분절과 18개의 관절로 구성된다. 관절 생성 시 관절의 특성은 차량 충돌시험 시에 사용되는 인체더미인 'Hybrid III crash dummy'의 관절 강도 특성을 사용하였다.

인체모델은 자전거의 주행 자세를 취하도록 한 후 핸들, 페달, 안장에서 자전거와 부싱(bushing)을 이용하여 구속하였다.

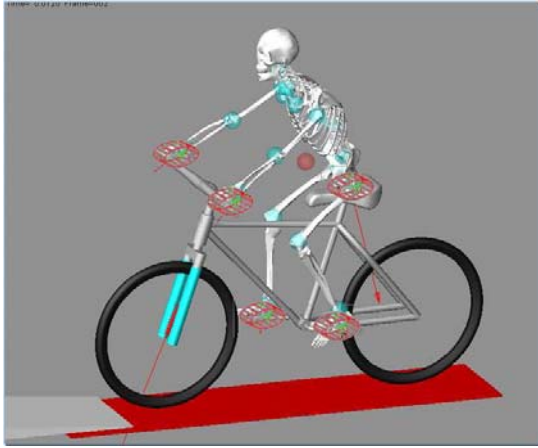


그림 4 자전거와 인체모델의 인터페이스

2.2 시뮬레이션

(1) 주행 시뮬레이션

시뮬레이션은 2가지 턱의 종류와 서스펜션 유무의 조합으로 이루어지는 4가지 다른 조건에 대해 각각 수행하였다. 환경으로 채택된 50mm 높이의 수직모양의 턱과 150mm 높이의 경사진 턱을 10km/h의 속도로 지나는 상황을 서스펜션 기능의 유무에 따라 각각 시뮬레이션 하였다. 여기서 자전거와 인체는 정지된 상태를 유지하고 환경 조건으로 정의된 두 가지 형태의 턱(raised spot)이 10km/h의 속도로 다가오도록 설정하였다. 이 때 턱(raised spot)이 타이어와 충돌이 일어나며 자전거와 인체에 충격을 전가하여 진동을 일으키게 된다.

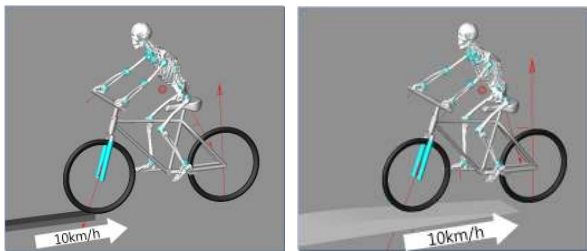


그림 5 두 가지 턱(rise)을 지나는 시뮬레이션

2.3 결과(Results)

4가지 조건에서 수행된 시뮬레이션을 각각 '5cm_Rigid Fork', '5cm_Suspension Fork', '15cm_Rigid Fork', '15cm_Suspension Fork'로 명명하였다. 각각의 시뮬레이션에서 머리중심의 수직높이 변화, 수직가속도, 경추의 관절토크, 어깨 관절에 작용하는 힘을 분석하였다.

(1) 머리의 높이

50mm의 턱의 경우 서스펜션의 유무에 따라 머리의 수직방향 변화는 큰 차이를 보였다. 서스펜션이 없을 경우 최초 앞바퀴 충격 시 74mm가 상승하였지만, 서스펜션을 장착한 경우 50mm의 상승에 그쳤다. 서스펜션이 없을 경우 턱의 높이인 50mm 보다 높게 상승한 이유는 충격으로 인한 반발력 때문이다.

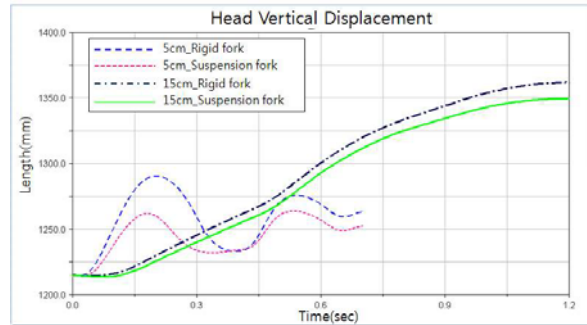


그림 6 머리의 수직변위 변화

(2) 머리의 가속도

머리의 가속도는 50mm의 수직 턱을 지날 때 가속도가 크게 나타났다. 특히 서스펜션이 없을 경우 가속도는 15000mm/s²까지 나타났다. 서스펜션을 장착한 경우 10800mm/s²로 나타나 비교적 작았다.

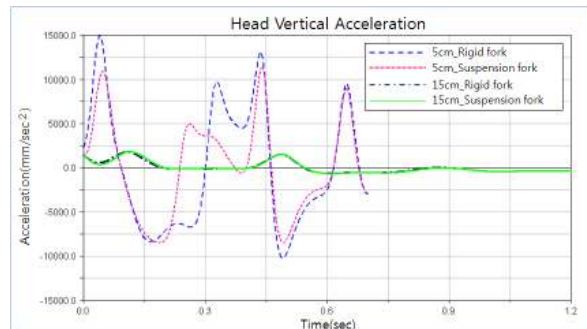


그림 7 머리의 수직 가속도 변화

(3) 목 관절 토크

목관절의 토크 역시 머리의 가속도와 유사한 양상으로 나타났다. 150mm턱의 경우 5000N/mm 이내로 작았으며 50mm턱의 경우 -20000N/mm까지 토크가 발생하였다.

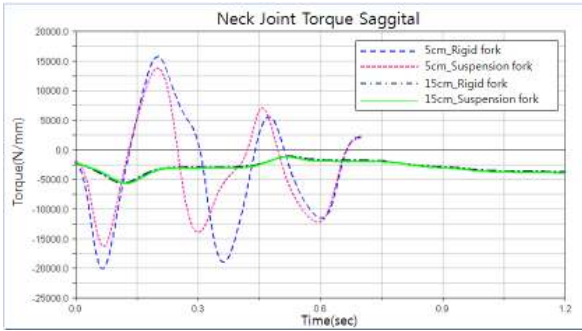


그림 8 목 관절이 토크 변화

3. 결 론

자전거는 자동차와 달리 노면의 변화를 빠르게 인체에 전달하게 된다. 사용자는 이러한 특성 때문에 자전거와 일체화 된 듯한 느낌을 받고 더욱 짜릿한 스티어링감을 맛본다. 그러나 원하지 않은 충격은 인체의 관절과 근육에 부하를 주고 승차감 저하와 피로감을 불러일으키는 원인이 되기도 한다.

본 연구에서는 차도와 분리되어 인도와 같은 높이에 설치된 자전거 전용도로에서 두 가지 형태의 턱을 지날 때 발생하는 충격을 가상 인체모델을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 서스펜션 유무에 따라 인체에 전달되는 충격을 머리의 수직변위, 머리의 수직 가속도, 목관절 토크의 관점에서 분석하였다. 50mm 높이의 턱을 지날 경우에 있어서 서스펜션이 있을 경우 그렇지 않은 경우 보다 머리의 수직변위, 머리의 수직가속도, 목관절의 토크 모두 작게 측정되었으나 150mm 높이의 완만한 턱을 지날 때에는 그 차이가 작았다. 이는 서스펜션이 갑작스러운 충격에 대응하는 기능을 하기 때문이다. 50mm의 수직형태의 턱은 비록 낮은 높이라 하더라도 150mm의 완만한 턱에 비해 머리의 수직가속도와 목관절의 토크가 크게 나타나 보다 인체에 큰 충격을 주고 있음을 알 수 있었다. 이는 자전거 전용도로 설치 시 모든 노면은 매끄럽게 연결되어야 함을 시사한다.

참 고 문 헌

- (1) Lee H.N., Cheung W.S., Hong D.P., 2002, "Comparison of standard procedures for human vibration test and their analysis," Proceedings of the KSNVE Annual autumn conference, pp. 764~767.
- (2) Park Y.H, Cheung W.S., 0000, "Experimental investigation on the transmission of seat vibration to the head for korean seated postures," Proceedings of the KSNVE 10th Anniversary conference, pp.138~143.
- (3) Song J.K, Shin J.C., Lee C.W., 2002, "Experimental analysis of tilt stability in bicycling," Proceedings of the KSNVE Annual spring conference, pp.604~609.
- (4) Woo C.K., Cheung W.C., Kim S.H., Kwak Y.K., 1996, "Survey on the vibration transfer characteristics of the Human body vibration models," Proceedings of the KSNVE Annual spring conference, pp.29-33.
- (5) J. Pritlove, M.J. Reid, A.Lee, D.G.E.Robertson, 1997, "Comparison of suspension and non-suspension front forks on mountain bikes," Proc. of NACOB III.
- (6) Myeong S.S., 2009, "Human vibration characteristics analyze using virtual human model and vehicle dynamics," Proceedings of the KSNVE Annual spring conference, pp.234~236.