

# 수동휠체어 추진 시 상지 역학 분석을 위한 다이내모미터 설계 Dynamometer Design for Biomechanical Analysis of Upper Extremity during Manual Wheelchair Propulsion

\*유제성, 김승현, 손종상, #김영호

\*J. S. Ryu, S. H. Kim, J. Son, #Y. H. Kim(younghokim@yonsei.ac.kr)  
연세대학교 대학원 의공학과, 연세의료공학연구원

Key words : Wheelchair Dynamometer, Dynamic Calibration, Biomechanics

## 1. 서론

수동휠체어 추진 시 상지관절에 발생하는 모멘트를 알기 위해서는 휠체어 추진토크를 측정하는 것이 선행되어야 하며, 이를 위해 다양한 연구들이 선행되어져 왔다. John 등은 휠체어 측력계(Ergometer)를 사용하여 척수손상(SCI) 환자의 팔꿈치 토크를 측정하였고,<sup>1</sup> Carmen 등은 다이내모미터와 휠체어 바퀴에 직접 부착되는 instrumented wheel을 사용하여 직접적인 추진력 측정을 하였다.<sup>2</sup> 또한 Hwang 등은 플라이휠이 적용된 관성방식 다이내모미터를 제작하고 휠체어 숙련자와 비숙련자의 토크를 측정하여 관절모멘트를 산출하는 연구를 진행하였다.<sup>3</sup> 이러한 연구들은 평지와 경사로 등 실제 일상생활의 여러 환경에서 수동휠체어의 상지 역학을 분석하기에는 적합하지 않다.

본 연구에서는 파우더 브레이크와 토크센서, 회전속도 센서 및 롤러를 사용하여 회전 부하의 변화에 따른 상지 역학을 분석하기 위한 다이내모미터를 설계하였다. 다이내모미터는 휠체어 추진 시, 롤러 및 연결 부품으로 인한 관성저항 및 마찰저항에 의해 토크 손실이 발생되므로, 실제 토크를 산출하기 위해서는 동적 교정이 필요하여, 모터와 토크센서, 회전속도 센서 및 휠체어 바퀴를 사용하여 동적교정기를 설계하였다. 제작된 두 장비를 결합하여, 다양한 회전속도와 회전부하의 변화에 따른 동적 교정을 실시하고 관계식을 도출하였다.

## 2. 다이내모미터의 설계 및 제작

브레이크식 다이내모미터는 Roller(Φ20×400 mm, Steel tubular, 자체제작)와 토크센서(TMA-2KM, SETech, 한국), 파우더 브레이크(PRB-1.2Y3, 보라전기공업(주), 한국)가 축과 베어링을 이용하여

직렬로 배치되어 있고, 휠체어의 앞바퀴의 프레임 고정부는 다양한 치수에 맞게 위치가 가변될 수 있는 구조로 설계하였다. 또한, 휠체어 바퀴 각각의 토크를 측정할 수 있도록 좌우 대칭 분리형 구조로 제작하였다(Fig. 1).

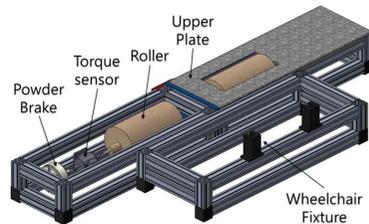


Fig. 1 Design of the brake-type dynamometer

## 3. 동적교정기 설계 및 제작

다이내모미터의 롤러 및 연결 부품으로 인한 관성저항 및 마찰저항에 따른 토크 손실을 교정하기 위해 동적교정기를 제작하였다(Fig. 2). 모터(S8D150-24G, SPG, 한국)는 자체 감속기를 거쳐 동력을 토크센서(TMA-5KM, SETech, 한국)에 전달하고, 토크센서의 반대편 축에서 풀리를 이용하여 50% 감속된 동력을 휠에 전달하게 하였다. 교정기의 휠과 다이내모미터의 롤러의 충분한 마찰력 확보를 위해 하중인가 장치를 부착하고, 목표한 회전속도를 일정하게 유지하는 데워임 회로를 구성하였다.

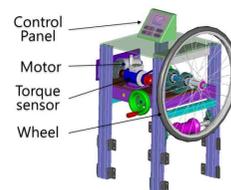


Fig. 2 Design of the calibrator for the dynamometer

### 4. 다이내모미터 교정

제작된 다이내모미터와 교정기를 결합하여 교정을 하였다. 교정기에서 출력하는 토크와 다이내모미터에서 얻어진 토크 사이의 관계(Fig. 3)는 회전속도(S)와 브레이크 저항(B) 각각 2차 다항식의 조합으로 나타낼 수 있으며, 도출된 교정식은 식(4.1)과 같고,  $R^2 = 0.9969$  이다.

$$f(S, B) = a + bS + cB + dS^2 + eSB + fB^2 \quad (4.1)$$

where  $a = 1.475, b = -0.04442, c = -0.0099, d = 0.02982, e = 0.0008108, f = 0.00009278$

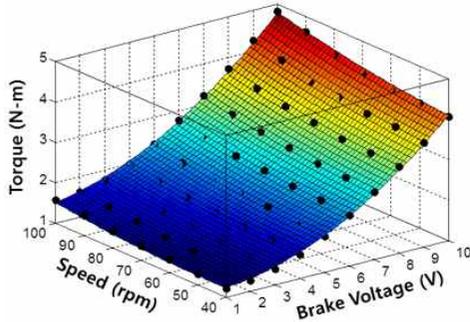


Fig. 3 Surface plot of torque differences between the calibrator and the dynamometer

다이내모미터에서 측정된 토크(Dynamometer,  $3.05 \pm 0.06$  N-m)에 교정식을 적용하여 얻은 토크(2nd order calibrated,  $5.45 \pm 0.06$  N-m)와 교정기에서 실제 인가한 토크(Calibrator,  $5.50 \pm 0.18$  N-m)를 비교한 결과, 평균값은 0.88% 오차 이내에서 일치하는 것으로 나타났다. 다만, 교정기의 토크가 되먹임 회로에 의한 RPM 변동에 따라 민감하게 변화를 나타내는 반면, 다이내모미터에서 얻어진 토크는 상대적으로 변화가 감쇄되어 안정된 특성을 나타냈다(Fig. 4). 교정식으로 1차 다항식을 적용한 경우, 평균값의 오차가 4.2%로 크게 나타났다. 3차 다항식의 경우 0.62%의 오차를 보여, 2차 다항식보다 오차가 감소하지만, 0.26%로 차이가 크지 않고, 교정식 계산을 간소화하기 위하여 2차 다항식을 교정식으로 선정하였다. 상기와 동일한 시험을 한국산업기술시험원(KTL, 원주)에서 진행한 결과, 교정식(2차 다항식)을 통해 계산된 평균 오차는 1.45%로 나타났다. 두 시험에서 얻어진 오차율의 차이는 0.57%로 나타났는데, 브레이크 전압 제어 장치가 아날로그이고, 분해능이 0.1 V이기 때문에

측정자에 따른 차이가 발생할 수 있는 것으로 확인되었으며, 전압 0.1 V에 의한 토크 변화는 평균 0.98%이다.

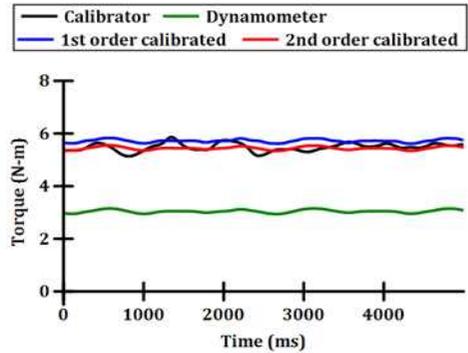


Fig. 4 Torque comparison at 70 RPM and 6 V brake

### 5. 결론

본 연구에서는 브레이크식 휠체어 다이내모미터와 동적교정기를 제작하여, 수동 휠체어 토크 측정 시 구조적으로 손실되는 토크를 측정하였다. 토크는 회전 속도와 브레이크 저항에 따라 차이가 다르게 나타났으며, 얻어진 교정식을 사용하여 다이내모미터에서 측정된 토크를 교정한 결과, 실제 교정기에서 인가한 평균 토크와 1% 이내의 오차를 나타내는 것으로 확인되었다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 기술혁신사업(산업원천 기술개발사업:10032055)으로 수행된 연구 결과임.

### 참고문헌

1. Wicks, J., Oldridge, N., Cameron, B. and Jones, N., "Arm cranking and wheelchair ergometry in elite spinal cord-injured athletes," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 3, 224-231, 1983.
2. Carmen, D., Cooper, R. and Boninger, M., "Dynamic calibration of a wheelchair dynamometer," *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 1, 41-55, 2001
3. Hwang, S.H., Kim, S.H., Son, J., Kim, Y.H., "Upper limb joint motion of two different user groups during manual wheelchair propulsion," *Journal of the Korean Physical Society*, 4, 648-656, 2013