

---

# 전기 자전거용 토크센서 개발

최성열\* · 전용호\*\* · 조 황\*\*\*

The Development of Torque Sensor for Electric Bicycle

Seong-yeol Choi\* · Yong-ho Jeon\*\* · Whang Cho\*\*\*

## 요 약

최근 환경오염, 지구 온난화, 화석 연료 고갈 등이 범지구적 문제가 됨에 따라 녹색 에너지 기술 개발이 주목을 받고 있다. 이런 추세에 따라, 자전거가 다양한 스마트 에너지 기술과 결합하여 친환경 근거리 이동수단으로 발전하고 있다. 스마트 자전거 기술과 관련하여 많은 기술이 개발되고 있는데 이중 PAS(Power Assist System)는 사람의 힘과 전기의 힘을 효과적으로 결합하여 배터리로 구동되는 전기 모터를 제어하는 기술이다. 본 논문은 PAS를 구성하는 핵심 기술인 새로운 토크 센서를 제안한다. 이 기술은 기존 기술들과는 달리 자전거 뒤축에 스트레인 게이지를 부착하여 슬립링의 필요성을 없애고 사람에 의해 가해지는 구동축 토크를 측정할 뿐 아니라, 현재 작동되는 기어의 위치를 근사적으로 추정 가능하게 한다.

## ABSTRACT

As environmental pollution, global warming, and exhaustion of fossil fuel become global issue recently, there has been strong research motivation to develop green energy technology. Along the same line of motivation, some research efforts have been put into the development of environment-friendly bicycle equipped with various smart energy technologies to increase the usability of the bicycle as short-distance transportation. Among the technologies related with new generation bicycle, PAS (power assist system) is one of the most important systems that are essential in efficiently integrating human power and the electrical power supplied by electric motor driven by battery.

In this paper, a novel torque sensor technology which is core component for PAS is proposed. Unlike existing technologies, strain gauges are attached to rear shaft directly under the hub bearings, which eliminates the requirement of slip-ring. Furthermore, the sensor is able to not only measure the torque transmitted to driving axle by human but also estimate the position of the gear to which the chain is currently engaged.

## 키워드

P.A.S, Torque sensor, Bicycle, Strain gauges  
전기자전거, 토크센서, 스트레인게이지, 스마트에너지

## 1. 서 론

2000년 이후 저유가 시대가 막을 내리면서 2005년

이후 유가가 배럴당 50달러를 넘어서면서 '에너지 효율개선'이 에너지 전략의 전면으로 부상하였다. 미국은 첨단기술개발을 통한 석유 소비 억제에 초점을 두

---

\* 휴맥스HW개발팀(bm0611@gmail.com)

\*\* 교신저자 : 중원대학교산학협력단연구원(waterjliar@gmail.com)

\*\*\* 광운대학교 정보제어공학과 교수 (robot@kw.ac.kr)

접수일자 : 2011. 10. 10

심사(수정)일자 : 2011. 11. 29

게재확정일자 : 2011. 12. 12

었으며, 세계 최고의 에너지 효율을 자랑하는 일본도 2030년까지 에너지 효율을 30% 추가 개선하여 국가적 강점을 활용한다는 전략을 수립하였다[1].

각국이 에너지 문제에 전력을 투구하고 있는 상황에서 에너지 효율의 재조명이 이루어졌다. 고유가와 온실가스 배출에 밀접한 관련이 있는 것은 승용차와 트럭이 대부분을 차지하고 있는 수송 부문이다. 수송 부문은 세계 에너지 소비량의 26%를 점하고 에너지 관련 온실 가스의 23%를 배출하며, 내연기관을 이용한 수송이 2005년 세계 수송 부문 에너지 소비의 95%를 차지하였다[2]. 이러한 운송 수단의 환경오염을 감소시키기 위한 방안은 광범위하며, 작은 기술 변화부터 폭넓고 체계적인 해결대책까지 다양하다. 대체 연료, 가솔린/전기 하이브리드 차량, 플러그인 전기자동차(Plug-in Electric Vehicles), 수소 연료 전지 자동차(Hydrogen/fuel cell-powered cars)들이 현재 다양한 발전 단계에 있는데, 이러한 기술 발전은 환경 문제 해결 뿐 아니라 미래에 많은 고용 기회를 가져올 수 있기도 하다[2]. 하지만, 보다 근본적인 변화는 운송 방식의 전환을 통해 승용차와 트럭에 대한 의존도를 줄이고, 버스, 전차, 경전철, 도시간 철도의 이용을 확대시키는 것이다. 그 중 하나가 자전거를 이용한 친환경 교통수단이다. 도시의 밀집화로 인하여 이동거리의 단축은 차량 운행의 필요성을 감소시키고, 자전거와 같은 대체 이동 수단의 필요성을 증가시키고 있다. 사회적 관심이 친환경에 집중되고, 최신 기술들이 자전거와 결합하여, 전기 자전거라는 것을 탄생시키고, 더 나아가 인텔리전트 바이크라는 것으로 발전해 가고 있다[2].

전기 자전거의 많은 기술 중에 하나인, PAS (Power Assist System)는 사람의 페달 구름을 전기 모터의 힘으로 도와줌으로써, 사용자의 편의를 돕는 시스템이라 할 수 있다. 페달을 밟는 힘을 "토크 센서"가 감지하여 주행 상황에 적합한 최적의 조력을 순간적으로 계산하고, 그에 맞는 전류를 "전동 모터"에 공급함으로써 페달의 부하를 감소시키는 기술이다.

대부분의 자전거에 장착하는 토크 센서는 크랭크축에 부착을 기본으로 한다. 이는 뒷바퀴 축에 장착하는 것보다 수리와 장치가 편리하기 때문이다. 하지만 자전거의 크랭크축에서 토크를 측정하면, 페달에 가해지는 힘만이 측정되고 기어의 변속에 따라 가해지는 정

확한 토크 측정이 어려워진다. 즉 자전거를 이용하여 평지를 주행하는 경우는 고단 기어를 사용함으로 실제 높은 구동 토크가 계측되고, 이에 비해 언덕을 오를 경우 저단 기어를 사용함으로 크랭크축에서는 작은 토크가 감지된다.

따라서 정확한 토크의 측정을 위해서 본 논문에서는 자전거의 기어를 지나 바퀴의 축에 토크 센서를 부착하는 방법을 제시하고, 또한 토크를 측정함에 있어서 기어변경이 고려되지 않은 축에 가해지는 평균 토크를 측정하는 것이 아니라, 기어의 변경의 영향까지 고려된 정밀한 토크 값을 계측 할 수 있는 센서처리 기술을 연구 제시한다. 이에 자전거의 기어 모듈 후단의 바퀴 축에 토크센서를 장착하여 전기 자전거의 제어에 관련된 국내 기술을 확보하고, 정밀한 스트레인 게이지 센서 기술을 이용하여, 기존 자전거에 손쉽게 적용 가능한 저렴하며 성능이 뛰어난 전기 자전거용 토크 센서를 개발하고자 한다.

## II. 시스템 모델링

### 2.1. 자전거 후륜의 모델

전기 자전거의 정확한 토크 계측을 위하여 자전거 페달 구동력이 크랭크축으로부터 기어 모듈을 통하여 뒷바퀴 축에 전달됨으로 가정할 때, 토크센서는 뒷바퀴 축에 장착하고, 기어의 영향까지 포함된 자전거 뒷바퀴의 전체적인 모습은 그림 1과 같다.

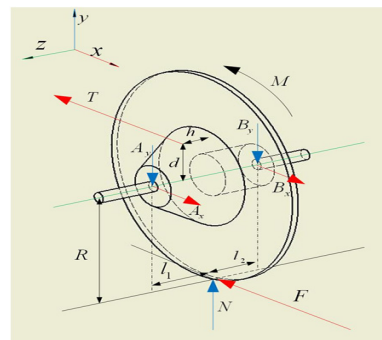


그림 1. 자전거 뒷바퀴 모델  
Fig. 1 Bicycle rear Wheel Model

그림1에서  $T$ 는 페달의 크랭크로부터 전달되는 체

인의 장력에 해당된다. 바퀴의 횡축의 중심으로부터  $R$ 은 바퀴 휠의 반지름에 해당하며,  $d$ 는 작동 기어의 반지름에 해당한다.  $h$ 는 바퀴 중심의 면에서 작용기 어까지의 수직거리이며, 또한  $l_1, l_2$ 는 바퀴의 중심 면 으로부터 좌우 토크 센서까지의 수직 거리이다. 토크 센서가 부착된 위치에 베어링이 장착되어 있을 때, 힘  $A_x, B_x$ 는 베어링에 작용하는  $x$ 축 방향의 나란한 힘 이다. 또한 힘  $A_y, B_y$ 는  $-y$ 축 방향에 나란한 힘이다.

정역학적인 평형 상태에서 상대적으로 작은 휠의 질량은 0 이라 무시하고,  $x$ 축 방향과  $y$ 축 방향의 평행한 방정식은  $\vec{\Sigma F} = \vec{0}$ 로부터 식(1), 식(2)와 같다[3].

$$A_x + B_x = F + T \tag{1}$$

$$A_y + B_y = N \tag{2}$$

여기서,  $F$ 는 바퀴의 추진력이고,  $N$ 은 수직 반력이다.

정역학적인 평형상태에서는 전체 모멘트 합이  $\sum_{i=x,y,z} M_i = 0$  이고, 전동기가 바퀴를 구동하는 토크 를  $M$ 이라 하면,

$$A_y l_1 = B_y l_2 \tag{3}$$

$$A_x l_1 = B_x l_2 + Th \tag{4}$$

$$FR = M + Td \tag{5}$$

식(3), 식(4), 식(5)는 각각  $x$ 축 방향,  $y$ 축 방향,  $z$  축 방향의 모멘트 식이다[3].

실제 자전거의 뒷바퀴 축에 가해지는 토크의 값  $\tau$  는 체인의 장력  $T$ 와 작동기어의 반경  $d$ 의 곱으로 표현되며, 식(1)을 이용하여 식(5)을 정리하면 식(6)과 같다.

$$\tau = Td = R \left[ A_x + B_x - \frac{M}{R} \right] \tag{6}$$

식(4)를 이용하여 식(6)을 정리하면 식(7)과 같다.

$$\tau = R \left[ A_x + B_x - \frac{M}{R} - \frac{A_x l_1 - B_x l_2}{h} \right] \tag{7}$$

## 2.2. 기어의 모델

정확한 토크의 계산을 위해 기어를 모델하면 그림2 와 같다.

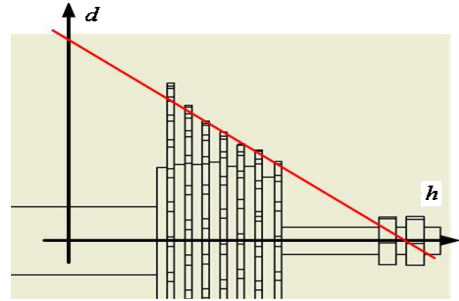


그림 2. 기어의 2차원 투영 모델

Fig. 2 Two Dimensional Projection Model of the Gear

그림 2는 자전거 뒤쪽에서 수직으로 본 모습의 기 어를 2차원 평면에 투영시킨 그림이다.

기어의 구조를 근사화한 직선의 방정식은 식(8)과 같이 표현된다.

$$d = -ah + b \Leftrightarrow h = \frac{b-d}{a} \tag{8}$$

여기서,  $d$ 는 작동기어 반경이고,  $h$ 는 중심에서 작 동 기어까지의 거리,  $a$ 는 직선의 기울기이며,  $b$ 는  $d$  축의 절편이다.  $a$ 와  $b$ 는 기어 모듈에서 얻은 파라메 타이다.

식(8)을 이용하여 식(4)를 정리하면 식(9)와 같다.

$$A_x l_1 - B_x l_2 = T \frac{b-d}{a} \tag{9}$$

식(9)과 식(6)을 이용하여 체인의 장력  $T$ 는 식(10) 과 같다.

$$T = \frac{A_x (al_1 + R) - B_x (al_2 - R) - M}{b + R} \tag{10}$$

식(10)에서  $a$ 와  $b$ 는 기어모듈의 파라메타이다. 전 동기로부터 가해지는 토크  $M$ 을 알고, 양쪽 베어링에 작용하는 수평방향의 힘  $A_x, B_x$ 를 계측함으로써 체 인의 장력  $T$ 는 식(10)와 같이 계산된다. 또한 식(6), 식(10)을 이용하면 작동 기어의 반경  $d$ 는 식(11)과 같 이 구할 수 있다.

$$d = \frac{-A_x(al_1 - b) + B_x(al_2 + b) - Mb}{A_x(al_1 + R) - B_x(al_2 - R) - M} \quad (11)$$

식(11)은 작동 기어의 반경의 값이므로, 자전거에 구동되는 기어위치를 알 수 있다. 식(10), 식(11)은 전동기에서 공급되는 토크가 없을 때는 사용자가 페달을 밟는 힘만으로 발생하는 체인의 장력  $T$ 와 그때 작동기어의 반경으로 표현된 식이다.

중심에서 체인까지의 거리  $h$ 는 걸려있는 체인의 위치에 따라 그 값이 35mm~65mm까지 변하는데, 평균을  $h_{avg}$ 라하고 식(9)를 정리하면 식(12)와 같다.

$$T_{avg} = \frac{A_x l_1 - B_x l_2}{h_{avg}} \quad (12)$$

식(6)과 식(12)를 이용하여 정리하면 식(13)과 같다.

$$\tau_{avr} = R \left[ A_x \left( 1 - \frac{l_1}{h_{avg}} \right) + B_x \left( 1 + \frac{l_2}{h_{avg}} \right) \right] - M \quad (13)$$

식(12)와 식(13)은 체인에 작용하는 평균 장력과 평균 토크로 기어 4에 있을 때 해당되는 값이다.

### III. 실험

#### 3.1. 실험 장치의 구성

스트레인 게이지 부착 위치를 고려하기 위해 인벤터 시뮬레이션으로 동일 조건의 축을 모델링 후 응력 분석을 하였다[4][5].

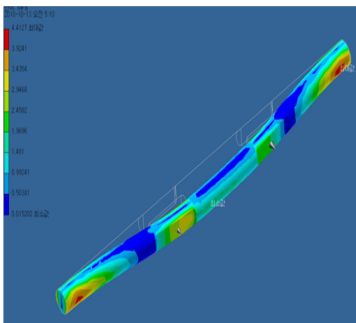


그림 3. 축의 응력분석 모델  
Fig. 3 Axial stress analysis model

그림 3에서 확인할 수 있듯이 고정된 축의 양 끝 단에서 가장 큰 벤딩 모멘트가 발생한다는 것을 확인하였다. 하지만, 실제 고정되는 축은 자전거 프레임과 볼트 너트의 간섭으로 스트레인 게이지 부착의 문제가 있다. 따라서 그 다음으로 벤딩 모멘트가 많이 발생하는 베어링 하단부에 스트레인 게이지를 부착하였다.

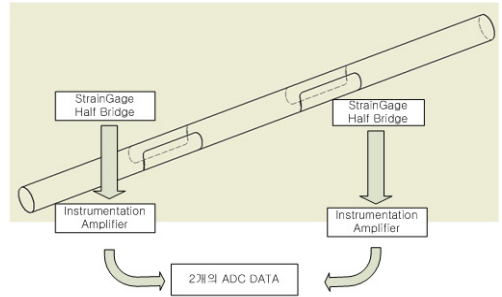


그림 4. 스트레인게이지와 계측회로의 구성  
Fig. 4 Strain Gauge and Instrument Circuit Configuration

자전거 뒷바퀴 횡축의 베어링이 부착되는 하단 두 곳에 스트레인 게이지를 부착하고, 그로부터 출력되는 저항 변화의 계측회로를 포함한 전체 모습은 그림 4와 같다. 또한 계측 회로는 그림 5와 같다[6-8].

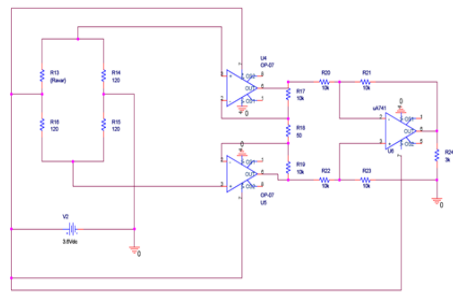


그림 5. 계측회로  
Fig. 5 Instrument Circuit

계측회로는 저항으로 구성된 하프 브릿지 회로와 계측용 증폭기 두 개를 사용하여 차동 증폭회로를 구성 하였다. 두 개의 계측회로에서 얻어진 아날로그 값은 ADC(Analog to Digital Converter)를 거쳐 디지털 데이터로 변환한다. 이 때 디지털 데이터는 식(14)와

같이 평균값을 계산한다.

$$\bar{x}_k = \frac{k-1}{k} \bar{x}_{k-1} + \frac{1}{k} x_k \quad (14)$$

식(14)은 이전까지의 데이터 평균값과 새로이 추가된  $k$  단계의 데이터로 평균계산이 가능하다. 이렇게 계산된 값은 이전 결과를 재사용하므로 계산 효율이 좋고 메모리 이용에서도 효과적이다.

### 3.2. 센서의 보정

두 센서로 얻은 ADC 정보를  $V_l, V_r$ 이라 할 때,

$$C_1 A_x + C_2 B_x = V_l \quad (15)$$

$$C_3 A_x + C_4 B_x = V_r \quad (16)$$

이고, 두 식을 연립하여  $A_x, B_x$ 를 계산할 수 있다. 단, 식(15), 식(16)의 상수  $C_1, C_2, C_3, C_4$ 의 값을 알고 있을 때이다.

먼저, 식(1), 식(4), 식(5)를  $A_x, B_x$ 로 정리하면,

$$A_x = \frac{l_2 M + RTh + l_2 dT + l_2 RT}{l_1 R + l_2 R} \quad (17)$$

$$B_x = \frac{l_1 M - RTh + l_1 dT + l_1 RT}{l_1 R + l_2 R} \quad (18)$$

여기서, 전동기가 가하는 토크  $M=0$  이고, 나머지 파라메타를 알고 있을 때, 이론적인 일정한 장력  $T$ 를 가하고 식(17), 식(18)을 사용해서  $A_x, B_x$ 를 얻을 수 있다. 이때 얻어지는 값은 표1과 같다.

표 1. 이상적인 힘  $A_x, B_x$   
Table 1. Ideal force  $A_x, B_x$

	$A_x$	$B_x$
기어1	5.0852	0.7102
기어2	5.3617	0.3617
기어3	5.6383	0.0133
기어4	5.9148	-0.3352
기어5	6.1913	-0.6837
기어6	6.4678	-1.0322
기어7	6.7443	-1.3807

표1은 이상적인 장력  $T = 5N$ 로 가정할 때 계산되어지는 이론값  $A_x$ 와  $B_x$ 에 해당된다.

다음으로 실제 장력  $T = 5N$ 을 그림 6과 같이 직접 체인에 인가하여  $V_l, V_r$ 를 계측한다.

표 2. 기어의 파라메타  
Table 2. Parameter of the gear

	기어1	기어7
$d$ (m)	0.0525	0.024
$r$ (m)	0.33	0.33
$l_1, l_2$ (m)	0.04	0.04
$h$ (m)	0.035	0.065

표2는 기어1과 기어7의 파라메타이고, 기어의 배치가 등간격일 때 나머지 기어의  $h$ 는 0.005m 씩 증가한다. 또한 나머지 기어의 반경  $d$ 는 식(8)에 의해 계산된다.

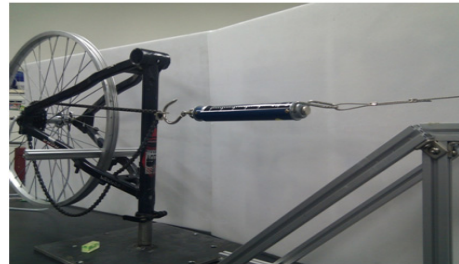


그림 6. 토크 센서의 실험장치  
Fig. 6 Torque Sensor Test Equipment

그림 6의 실험 장치로부터 얻어진 값  $V_l, V_r$ 과 이론 값  $A_x$ 와  $B_x$ 를 식(15)와 식(16)에 대입하여 상수  $C_1, C_2, C_3, C_4$ 의 값을 구할 수 있다. 이때 각기 5N, 10N, 15N, 20N, 25N, 30N의 장력을 인가하여 계측되는 값의 평균을 취하고, 기어의 개수에 해당 되는 7개의 계측 값을 가지고 최소 오차자승법을 사용하여 얻어진 값은 표3과 같다.

표 3. 토크센서의 파라메타  
Table 3. Parameter of the torque sensor

$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$
16.8401	-4.2727	0.3420	3.8818

상수  $C_1, C_2$ 는  $V_l$ 에 관한 값이고,  $C_3, C_4$ 는  $V_r$ 에 관한 값으로 단위는 mV/N 이다.

### 3.3. 실험 결과

센서로부터 측정되는  $V_l, V_r$ 와 센서 보정을 통하여 추출된 파라메타  $C_1, C_2, C_3, C_4$ 를 이용한 식(15), 식(16)으로부터  $A_x, B_x$ 를 구한다. 이때 구해진  $A_x$ 와  $B_x$ 로 식(7)에 대입하여 얻어진 결과는 토크에 해당하고, 식(10)에 대입하여 얻은 결과는 그때 체인에 작용하는 장력이다. 그리고 식(11)에 대입한 결과는 작동되는 기어에 반경 값이 된다.

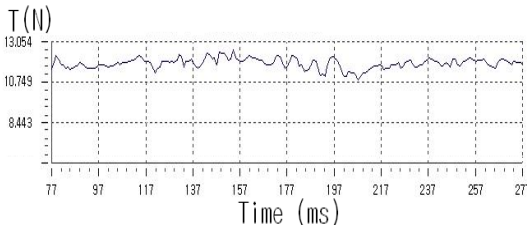


그림 7. 기어1의 체인의 장력  
Fig. 7 Chain Tension of the gear 1

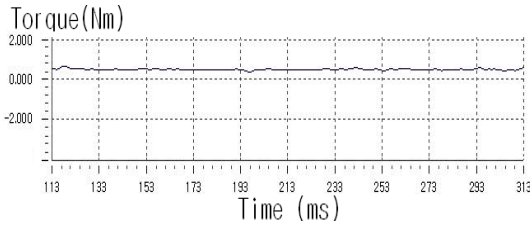


그림 8. 기어1의 토크  
Fig. 8 Torque of the gear 1

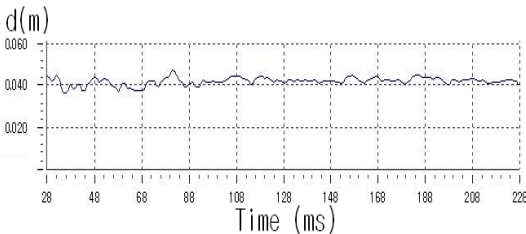


그림 9. 기어1의 반경  
Fig. 9 Radius of the gear1

그림 7과 그림 8은 기어1에 있을 때, 10N의 장력이 작용하여 측정된 체인의 장력과 토크를 나타내는 결과로 장력이 약 1N 정도의 오차가 발생했다. 그림 9는 이때 계산된 기어의 반경으로 약 0.04m에 가까움을 알 수 있다.

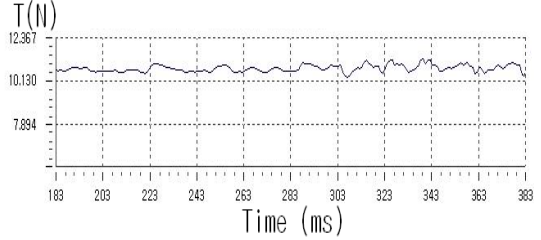


그림 10. 기어4의 체인의 장력  
Fig. 10 Chain Tension of the gear 4

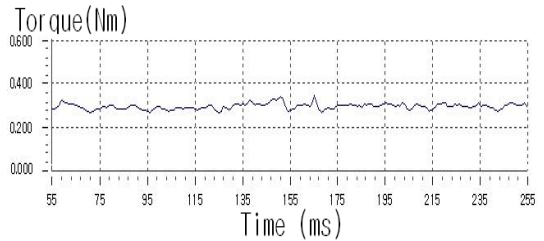


그림 11. 기어4의 토크  
Fig. 11 Torque of the gear 4

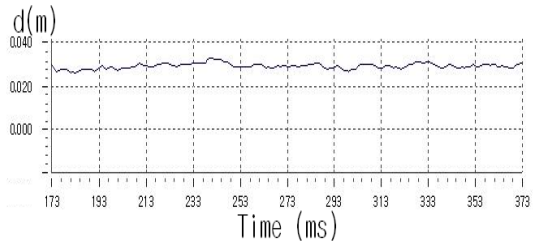


그림 12. 기어4의 반경  
Fig. 12 Radius of the gear 4

그림 10과 그림 11은 기어4에 있을 때, 10N의 장력이 작용하여 측정된 체인의 장력과 토크를 나타내는 결과로 장력이 1N 정도의 오차가 발생했다. 그림 12는 이때 계산된 기어의 반경으로 약 0.03m에 가까움을 알 수 있다.

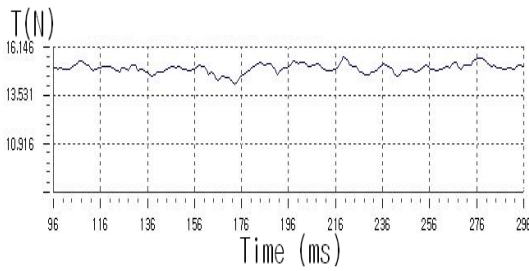


그림 13. 기어7의 체인의 장력  
Fig. 13 Chain Tension of the gear 7

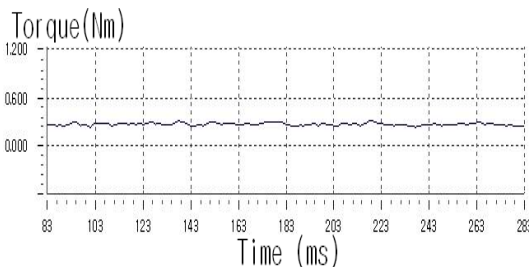


그림 14. 기어7의 토크  
Fig. 14 Torque of the gear 7

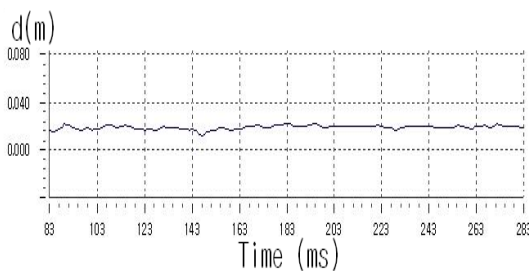


그림 15. 기어7의 반경  
Fig. 15 Radius of the gear 7

그림 13과 그림 14는 기어7에 있을 때 15N의 장력이 작용하여 계측된 체인의 장력과 토크를 나타내는 결과로 장력이 0.5N 정도의 오차가 발생했다. 그림 15는 이때 계산된 기어의 반경으로 약0.02m에 가까움을 알 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 새로운 타입의 전기자전거용 토크

측정 기술을 제안하였다. 스트레인 게이지를 이용하여, 기존 자전거의 구조를 변형시키지 않고, 간단히 센서의 부착만으로도 토크의 측정이 가능하고, 기어의 위치도 판별 가능함을 알 수 있었다.

실험 결과에 있어서 측정값 들은 약간의 오차를 발생하였다. 오차의 요인은 여러 가지가 존재하는데, 그중 시스템의 모델에서 체인의 장력이 x축에 나란히 작용하는 것으로 가정하였지만 실제시스템에서는 기어에 따라 모든 축의 장력 성분이 발생함이 그 원인으로 보인다. 또 축에 정확히 정렬된 센서의 장착여부와 근사적인 기어의 반경을 사용한 것이 오차의 요인으로 보인다.

추후 시스템의 더욱 정밀한 모델과 센서의 배치를 고려하여 측정오차를 감소하고, 또 실시간 토크측정이 가능한 알고리즘을 연구하고자 한다.

#### 감사의 글

본 논문은 2010년도 광운대학교의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

#### 참고 문헌

- [1] 김현진, "국가 에너지 전략의 시대", CEO Information, 569호, 2006.
- [2] 한국에너지경제연구소, "수송부문의 녹색일자리(상)", 에너지 하이라이트, KOREA Energy Economics Institute, May, 2010.
- [3] Bedford, Fowler, "Engineering Mechanics Dynamics SI edition", Pearson, pp. 222-235, 2005.
- [4] 다솔기계설계교육연구소, "인벤티활용서", 예문사, pp. 366-375, 2006.
- [5] Stephen H. Crandall, Norman C. Dahl, Thomas J. Lardner, "An Introduction to the Mechanics of Solids, Second Edition with SI Units", McGrawHill, p. 165, p. 514, 1999.
- [6] Coughin, Driscoll, "Operational Amplifiers and Linear Integrated circuits 6th edition", PrenticeHall, p. 239, 1998.
- [7] 정원섭, 김호성, 유상대, 유재희, 정덕진, "마이크로전자회로 Sedra. Smith 5thedition", 한티미디어, pp. 96-100, 2005.



- [8] 김영해, "센서 인터페이스링 메카트로닉스 센서", 기전연구사, pp. 111-126, 2005.
- [9] 노승만, "강원도 녹색 교통 촉진방안", 강원발전연구원, 정책브리프, 제 52호, 2009.
- [10] 김성필, " Matlab 활용 칼만 필터의 이해 ", 아진, pp. 3-5, 2010.
- [11] 이종원, 김문생, 조효남, "재료역학 James M. Gere 6th edition", 교보문고, p. 665, 2009.
- [12] Clarence W de silva, "Sensors and Actuators: Control System Instrumentation", CRC, pp. 274-307, 2007.
- [13] Horowitz and Hill, "The art of electronics", Cambridge, pp. 421-425, 1999.
- [14] 이호형, 조황, "조종성이 가변 가능한 홀로노믹 구동 기술 개발", 한국전자통신학회논문지, 5권, 4호, pp. 471-479, 2010.
- [15] 채용용, "압력측정용 A/D 변환기의 OPAMP 개발", 한국전자통신학회논문지, 5권, 4호, pp. 435-442. 2010.



**조 황(Whang Cho)**

1981년 인하대학교 기계공학과 졸업(공학사)

1985년 University of Texas Austin 기계공학과 졸업(공학석사)

1989년 University of Texas Austin 기계공학과 졸업(공학박사)

1990년~현재 광운대학교 로봇학부 정보제어공학과 교수

※ 관심분야 : 지능 로봇 시스템, 모빌리티 메커니즘 설계 및 제어

**저자 소개**



**최성렬(Seong-Yeol Choy)**

2009년 광운대학교 정보제어공학과 졸업(공학사)

2011년 광운대학교 대학원 제어계측과 졸업(공학석사)

2011년~현재 휴맥스 HW개발팀 근무

※ 관심분야 : 지능 로봇 시스템



**전용호(Yong-Ho Jeon)**

1996년 광운대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)

1998년 광운대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사)

2008년 광운대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학박사)

2008년~현재 중원대학교 산학협력단 선임연구원

※ 관심분야 : 가변속 시스템, 지능 로봇 시스템