

자동차 와이퍼 피봇의 각속도 및 각가속도 측정

이 병 수*

계명대학교 기계자동차공학부

Measuring Angular Speed and Angular Acceleration for Automotive Windshield Wiper Pivot

Byoungsoo Lee*

Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
(Received 8 October 2004 / Accepted 25 May 2005)

Abstract : A method measuring angular speed and estimating angular acceleration of an automotive wind shield wiper pivot with limited resources has been proposed. Limited resources refer to the fact that processes cannot be operated in real-time with a regular notebook running a Microsoft Windows. Also, they refer to the fact that data acquisition cards have only two general purpose counters as many generic cards do. An optical incremental encoder has been employed for measuring angular motion. To measure the angular speed of the pivot, periods for the encoder's output pulses have been measured as the speed is related to the reciprocal of the period. Since only information acquired from one counter channel is the magnitude of the angular speed, sign correction is necessary. Also the information for the exact time when a pivot passes left and right dead points is also missing and the situation is inherent to the hardware setup. To find out the zero-crossing time of the angular speed, a linear interpolation technique has been employed. Lastly, to overcome the imperfection of the mechanical encoders, the angular speed has been curve fitted to a spline. Angular acceleration can be obtained by a differentiation of the angular speed.

Key words : Angular speed(각속도), Angular acceleration(각가속도), Automotive windshield wiper(자동차 와이퍼), Polynomial interpolation(다항식 내삽법), Minimum-least-squared(최소자승), Measurement and estimation(측정과 산출)

1. 서론

자동차의 운행에 있어서 운전자는 필요한 정보의 95% 이상을 차량 전면 유리를 통해서 인지하게 된다. 그러나 자동차의 유리는 눈, 비, 진흙, 모래, 기름, 염분, 벌레 등과 같은 운전자의 시야를 방해하는 오염물들에 항상 노출되어 있다. 이러한 이물질들은 운전자의 시야를 방해하여 운전자의 피로도를

증가시키고, 심리적인 불안감을 조성시키며, 교통사고의 직간접적인 요인이 된다. 와이퍼는 이러한 이물질들에 의해 운전자의 시야가 방해 받는 것을 막기 위해 앞뒤 유리면을 닦아내는 작용을 통해 운전자의 안전을 확보한다.

와이퍼 기구는 일반적으로 회전 운동을 발생하는 전기모터와 회전 운동을 왕복 요동운동으로 변환하는 4절 링크기구, 와이퍼 암과 블레이드, 그리고 왕복 운동을 와이퍼 암에 전달하는 피봇 등으로 구성되어 있다(Fig.1 참조). 와이퍼 기구의 각속도와 각

*To whom correspondence should be addressed.
blee@kmu.ac.kr

가속도와 같은 역학적 특성은 와이퍼의 닦임 성능 뿐만 아니라 소음 진동 특성에도 영향을 미친다. 자동차 업계에서는 와이퍼의 최대 각가속도의 크기에 대해 제한하는 규정을 적용하고 있는데 예를 들면 현대자동차는 와이퍼 기구의 최대 각가속도의 크기를 모터 각속도의 제곱으로 정규화한 값의 절대값이 1.2를 넘지 말아야 한다고 규정하고 있다.

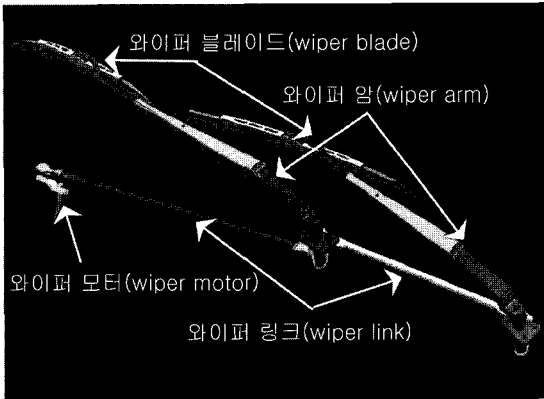


Fig. 1 Wiper system for an automobile

와이퍼 기구 설계 당시 이러한 목표 사양을 만족 하더라도, 양산 시 실제의 기구의 필연적인 결함 및 부품의 비선형성에 의해 실제 값은 의도한 설계 값과 차이가 생기게 마련이다. 그러므로 와이퍼 기구의 각속도 및 각가속도의 실제 값을 측정할 필요가 있다. 와이퍼 기구 어셈블리를 납품하는 업계는 휴대가 간편하고 저렴하며, 2개 축에 대해 각변위 각속도 및 각가속도를, 실시간에 동시에 측정할 수 있는 장치를 필요로 한다.

각속도 및 각가속도 측정에 주로 응용되는 기술은 세가지 정도이다. 첫째는 비접촉식 방법으로 diffraction grating interferometer¹⁻³⁾ 혹은 stroboscope를 이용하는 방법인데 diffraction grating interferometer는 정밀하게 가공된 눈금을 회전체에 부착하고 레이저 광을 비추어 반사되는 산란광과 원래 광의 차이를 이용하여 각속도 및 각가속도를 정밀하게 측정하는 장치이지만 매우 고가이며 장치가 커서 휴대가 곤란하며, stroboscope는 평균 속도만을 측정하며 순간속도는 측정할 수 없는 단점이 있다.

두번째는 상용 각가속도 센서를 이용하는 방법인

데 중력과 같은 병진 가속도를 효과적으로 제거해야 하는 어려움이 있다. 와이퍼 각가속도의 최대 절대치는 수십 rad/s²이므로 왕복 운동하는 와이퍼 각가속도 측정시 중력 성분의 상쇠 문제는 중요하다. 또한 각가속도계의 특성 상 센서는 관성을 갖는데 가벼우며 성능이 우수한 각가속도 센서를 개발하려는 연구도 다수 진행되었다.^{4,5)}

세번째는 회전체에 부착되며 일정한 간격으로 배열된 장치에서 발생하는 펄스를 이용하여 측정하는 방법이다. 펄스의 발생 방법에는 광학적인 방법과 전기적인 방법 등이 있는데 펄스의 주기를 측정하고 역수를 구하면 회전수를 구할 수 있다.^{6,7)} 이 방법의 정밀도는 펄스 발생 기구와 펄스 계수기의 정밀도에 의해 결정된다. 근래에는 비교적 정밀한 기구와 매우 우수한 정밀도의 계수기를 저렴하게 실현할 수 있으므로 저가의 매력적인 방법이다. 앞에서 언급한 세 가지 범주에는 속하지 않지만 계통의 모델이 주어지는 경우 각속도 혹은 각가속도를 직접 측정하지 않고 산출하는 방법도 있다.⁸⁻¹⁰⁾

피측정 축의 회전 방향이 바뀌지 않는 경우에 Stotsky와 Forgo는 자동차 크랭크 축의 각속도 및 각가속도를 산출하기 위하여 링기어에 근접센서를 설치하고 발생하는 펄스의 주기를 측정하는 방법을 사용하였다. 이 연구에서 주기의 역수로부터 각속도를 구하고 최근 몇 개의 주기로부터 각속도를 다항식에 커브 피팅한 후 미분하여 각가속도를 구하였다.¹¹⁾ 하지만 회전체의 회전 방향이 바뀌는 경우, 펄스의 주기만으로는 회전 방향을 알 수 없으므로 별도의 장치 혹은 소프트웨어적인 처리가 필요하다.

본 연구의 목표는 쉽게 구할 수 있는 윈도우즈 환경의 노트북과 상용 카운터 인터페이스 카드를 기반으로 하여 요동 운동하는 자동차용 윈드쉴드 와이퍼 피봇의 각속도를 측정하고 각가속도를 산출하는 방법을 제안하고 실험하는 것이다. 윈도우즈 환경에서 작동하는 노트북 컴퓨터를 기반으로 하기 때문에 프로세스를 실시간에 실행시킬 수 없고, 상용 노트북용 인터페이스 하드웨어에는 사용자가 이용할 수 있는 카운터가 두개 밖에 없어서 두개의 와이퍼 피봇의 각운동을 측정하기 위해서 한 와이퍼에 한

개의 카운터를 할당해야 한다는 제약조건이 있다. 또한 와이퍼 피벗 운동의 특징은 왕복 요동 운동한다는 것이다. 자동차용 와이퍼의 운동의 일반적인 특징은 주기가 1초에서 2초 사이이며 요동각이 90도 내외이다.

2. 측정 장치와 방법

노트북용 데이터 수집 카드는 일반적으로 두 개의 카운터/타이머를 사용자 목적에 맞추어 사용할 수 있도록 제공한다. 두 개의 와이퍼 각운동을 동시에 측정하기 위해서 두 개의 카운터/타이머를 각각의 와이퍼에 할당한다(Fig. 2 참조).

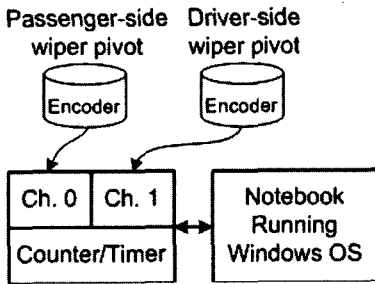


Fig. 2 Hardware setup for angular motion measurement

추가로 필요한것은 카운터/타이머에서 읽은 카운터 값을 버퍼에 저장할 수 있는 기능이다. 이 기능은 실시간 운영체제가 아닌 윈도우즈 환경에서는 특히 필요한데 소프트웨어적인 처리없이 하드웨어적으로 연속적인 카운터 값을 읽을 수 있어야하기 때문이다. 펄스 발생 장치로는 상용 광학 인크리멘탈 엔코더를 사용하고 엔코더의 축을 와이퍼 피벗의 축과 직결 시킨다. 발생된 펄스는 카운터로 입력이되며 카운터는 주기를 읽어 메모리 버퍼에 전송한다.

각속도를 측정하기위해 주기 측정을 채택한 이유는 피측정체의 각속도가 비교적 느릴 때 유리한 방법이기 때문이다.^{6,7)} 하지만 자동차용 와이퍼의 각운동 측정이 일반적인 응용 분야와는 구별되는 특이점이 있는데 그것은 와이퍼의 운동이 요동 운동이라는 것이다. 즉, 운동의 방향이 양의 방향에서 음의방향 그리고 그 반대방향으로 변동한다. 단순히 펄스의 주기만을 측정할 경우 그 신호에는 피벗의

움직임 방향 정보가 없기 때문에 측정 신호를 처리해 주어야할 필요가 있다.

펄스를 발생시키기 위해 본 과제에서는 시중에서 흔히 구할 수 있는 광학적 엔코더 (optical rotary incremental encoder)를 사용한다. 엔코더는 발광소자, 수광소자와 그 사이에 일정한 간격과 폭으로 홈이나 있는 아주 가벼운 디스크로 구성되어 있다. 엔코더의 일반적인 용도는 회전체의 각변위 측정이지만 본 과제에서는 펄스 발생 바퀴의 용도로 사용한다.¹²⁾ 엔코더는 회전 방향에 따라 두개의 서로 다른 위상을 갖는 펄스를 발생하는데 주기 측정의 목적으로는 한 개의 펄스 채널만 사용한다. 채택한 엔코더는 한 회전에 1000개의 펄스를 발생하며 펄스 정밀도 및 기계적 오차는 알 수 없었다.

엔코더와 카운터의 조합으로 주기를 측정함에 있어서 고려해야할 오차는 다음과 같다. 주기를 정확하게 알기 위해서는 기준 클럭의 정밀도가 중요한데 채용한 카운터의 정밀도는 75ppm¹³⁾이므로 0.0075%의 정밀도로 측정가능하며 이는 엔코더 위치 정밀도보다는 훨씬 더 정밀하다. 또한 주기 측정에 사용되는 방법에 의해 오차가 발생하는데 이는 필연적이며 다음과 같은 공식으로부터 구할 수 있다.⁶⁾

$$\text{Error} = \frac{F_x}{F_k - F_x} \quad (1)$$

여기서 F_x 는 입력 펄스 한주기에 해당하는 기준 클럭의 주파수로 와이퍼 피벗 각속도 측정의 경우 1초에 약 1000개 내외의 펄스가 입력되므로 1,000Hz, F_k 는 기준 클럭의 주파수 이므로 20,000,000Hz이다. 이 값에 해당하는 측정 오차는 약 $5 \times 10^{-5} = 0.005\%$ 이므로 엔코더의 기계적 오차보다 훨씬 적으므로 무시할 수 있다. 즉, 측정의 정밀도는 엔코더의 기계적 정밀도로 결정되는 것을 알 수 있다.

측정 정밀도는 엔코더의 기계적 정밀도로 결정되므로 정밀한 엔코더를 채택해야한다. 하지만 엔코더의 기계적 정밀도는 전기적 정밀도에 크게 못 미치므로 본 연구 개발 과제에서는 측정 데이터를 가공하여 기계적 측정 오차를 상쇄하거나 줄이는 방법을 개발한다. 측정 오차를 상쇄하는 대표적인 방법으로는 필터링 기법과 커브 피팅 방법이 있다. 이런 기법은 해당 와이퍼 기구의 각속도 및 각가속도

가 연속적이며 어느 정도의 주파수 스펙트럼 내에 있다는 것을 알기 때문에 사용할 수 있는 것이다.

소프트웨어 개발 도구는 National Instrument사의 LabVIEW를 사용했다. LabVIEW는 데이터 측정용 개발 언어이며, 일반적인 프로그램 언어와는 다르게 프로그램 문장 순서로 실행되는 것이 아니라 데이터 흐름에 의해 실행 순서가 정해지는 특징이 있다. 또한 하드웨어와 밀접한 관계를 가지고 있고, 데이터 처리에 강력한 도구를 제공하며, 그래프 그리기와 같은 처리 후 데이터 가시화 기능이 우수하다.¹⁴⁾

3. 각운동 측정 및 신호 처리

와이퍼가 운동하면 엔코더에서 펄스가 발생하는데 펄스 발생의 폭은 와이퍼의 각속도와 반비례한다. 본 연구에서는 주기 측정대신 펄스의 상승 시의 시간 폭과 하강 시의 시간 폭, 즉 반주기(semi-period)를 측정하여 측정의 해상도를 2배로 증가시킨다.

와이퍼가 왼쪽으로 진행하다가 좌사점(left dead-point)을 지나 우측으로 움직일 때 긴 주기의 펄스를 발생한다. 이 펄스의 주기를 τ_0 라 하자. 그 후 오른쪽으로 진행하다가 우사점을 지나면서 다시 긴 주기의 펄스를 발생하는데 이 펄스의 주기는 τ_r 이다. 이후 다시 좌사점에 도달하면 τ_0 와 같은 주기 τ_n 펄스를 발생하며 한 주기의 운동을 마친다(Fig. 3 참조). 그러므로 한 주기를 이루는 0에서 n-1까지의 크기가 n인 반주기 집합을 얻는다.

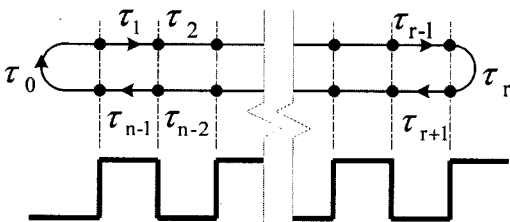


Fig. 3 Signal from encoder and semi-periods

와이퍼 피봇의 요동 운동 특징 때문에 각운동 측정에 유한한 해상도의 엔코더를 사용할 경우 사점의 위치와 통과 시각을 알 수 없다. 그러므로 주기 측정 값으로부터 각속도를 산출하기 위해서는 다음

절에서 기술하는 신호 처리가 필요하다. 하지만, 요동각은 엔코더의 해상도 내에서, 운동의 주기는 카운터의 정밀도 수준으로 측정할 수 있다. 운동의 주기 τ 와 요동각 θ 는 다음과 같다.

$$\tau = \sum_{i=0}^{n-1} \tau_i \quad (2)$$

$$\theta = \left(\frac{2\pi}{R} \right) \frac{n}{2}$$

이다. 여기서

τ_i = 펄스 폭 [s], $i = 0, \dots, n-1$

R = 엔코더의 해상도 = 2000pulses/rev

n = 피봇의 한 주기 샘플 수

이다. 해상도가 엔코더의 공칭 해상도 1000이 아닌 2000인 이유는 반주기를 측정하기 때문에 실질적인 해상도가 두 배로 증가했기 때문이다.

와이퍼의 피봇에 엔코더를 장착하고 앞 절에서 기술한 하드웨어로 펄스폭을 측정하여 그래프로 그려보았다. Fig. 4에 수평축은 반주기 샘플의 번호, 수직 축은 주기를 초 단위로한 그래프가 있다. 그래프에서 알 수 있듯이 첫 번째 정상 부분은 와이퍼가 좌측 사점에 도달했을 때에 해당하는 것이고 가운데가 우측 사점, 세 번째가 다시 와이퍼가 좌측 사점에 다시 통과했을 때의 주기 값이다.

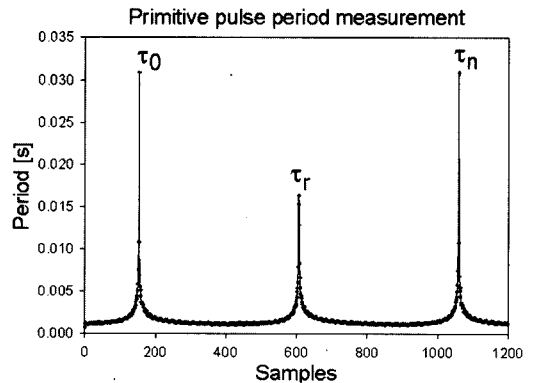


Fig. 4 Pulse period graph

각속도는 다음과 같은 역수의 관계로부터 구할 수 있다.

$$\omega_i = \frac{2\pi}{\tau_i R}, \quad i = 0, \dots, n-1 \quad (3)$$

하지만 하나의 카운터로 읽은 주기 집합으로부터는 각속도의 크기는 알 수 있지만 방향은 알 수 없다. 그러므로 우사점을 지난 후의 각속도 값에는 -1을 곱한다. 이렇게 방향을 보정하고 식(3)를 이용하여 각속도를 구하여 Fig. 5에 그래프로 표시하였다. Fig. 5를 살펴보면 와이퍼 각속도 그래프가 불완전하다 는 것을 알 수 있다.

첫 번째 펄스는 와이퍼가 좌사점에 들어가기 전에 발생한 펄스로부터 좌사점을 통과한 후 발생한 펄스의 폭으로부터 구한 것이기 때문에 언제 좌사점에 도달했는지에 대한 정보는 얻을 수 없다. 이런 이유로 Fig. 5의 첫 부분과 끝 부분은 손질이 필요하다. 우사점에서도 역시 같은 현상이 발생하는데 Fig. 5의 그래프 중간 부분을 살펴보면 알 수 있다. 그래프의 중간부분이 매끄럽지 못하고 영 근처에서(주기 그래프의 두 번째 정상에 해당하는 값) 운동의 경향으로부터 벗어나는 점이 존재한다. 이 역시 처리가 필요한 부분이다.

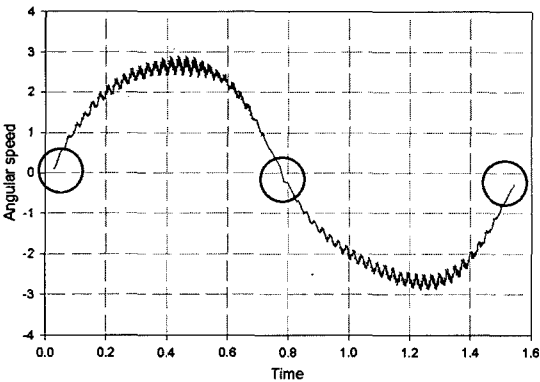


Fig. 5 Reciprocal of the pulse periods

좌우 양쪽 사점에서 발생하는 문제는 다음과 같이 해결한다. 정확한 좌사점의 부근의 와이퍼 기구의 운동은 그 운동이 주기적인 요동운동이라는 사실로부터 구할 수 있다. 각속도의 첫 값과 마지막 값을 잇는 선분이 시간 축을 통과하는 점, τ_c ,을 보간법으로 구한다(Fig. 6 참조). τ_c 를 찾은 후 τ_0 에서 τ_c 를 빼고 각속도 집합의 첫 부분에 영의 각속도 값을 삽입한다. 그리고 τ_{n-1} 보다 τ_c 만큼 더 큰 시점에 다시 영을 삽입한다. 이렇게하여 본래의 크기가 n이던 각

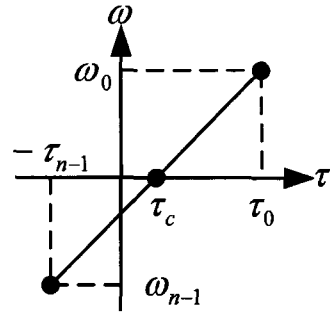


Fig. 6 Finding zero-crossing point by linear interpolation

속도 집합의 크기는 n+2가 된다. 또한 중간값도 역시 직선 보간하며, 현재의 값을 보간된 새로운 계산 값을 대체하여주면 된다. 경계값을 보정한 각속도 그래프가 Fig. 7에 있다.

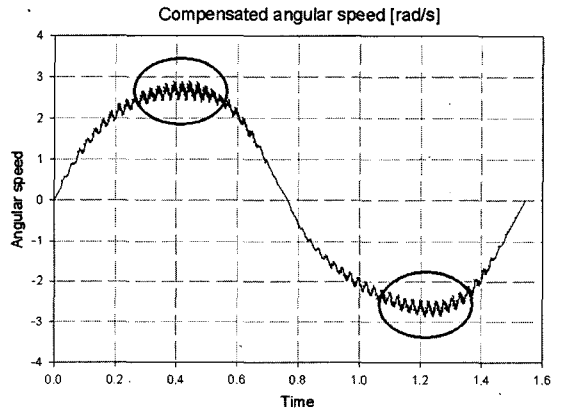


Fig. 7 Angular speed of the pivot after left and right dead-points distortion fixed

Fig. 7을 살펴보면 좌사점에 해당하는 처음과 끝 부분, 그리고 우사점에 해당하는 중간 값은 잘 처리 되었다는 것을 알 수 있지만 정상 부근에서 곡선이 매끄럽지 못하고 작은 변동이 있다. 이는 엔코더의 기계적인 오차에 기인한 것이다(정밀도에 대한 언급은 이 장의 끝 부분에 언급하였다). 이런 작은 변동은 각속도를 구하기 위하여 미분을 수행할 경우 치명적인데, 미분 후에는 변동 폭이 작은 신호라 할지라도 주파수가 높은 성분은 그 크기가 매우 커지기 때문이다. 그러므로 곡선을 부드럽게할 필요가 있다.

각속도의 변동부분을 제거하기 위해서 필터링하

는 방법과 스플라인 커브 피팅하는 방법을 생각할 수 있다. 필터링 기법을 적용할 수 있는 신호는 일정한 간격으로 샘플링한 신호인데, 각속도를 산출한 원시 데이터는 일정한 간격으로 샘플링한 것이 아니므로 이 기법을 적용할 수 없다. 그러므로 스플라인 커브 피팅을 적용하기로 한다. 적용 목표 곡선은 다음과 같은 13차 다항식이다.

$$\omega_s = \sum_{i=0}^{13} a_i \omega^i \quad (4)$$

여기서

ω_s = 커브 피팅한 각속도

ω = 각속도

a_i = 다항식의 계수

커브 피팅은 오차값 제곱의 합이 최소가 되도록 실시하므로 다항식의 계수를 정하였다. 차수의 결정은 다음과 같다. 각속도 그래프를 관찰하면 각속도는 각변위 혹은 시간에 대해 기함수임을 알 수 있다. 그러므로 차수를 홀수로 택하여 그 크기를 증가시키며 오차의 제곱합의 제곱근 값이 최소가 되도록 결정한다. 하지만 13차 이상에서는 오차가 더 이상 작아지지 않으므로 최종 차수를 13차로 결정하였다. Fig. 7의 각속도 그래프로 피팅한 계수 값은 Table 1에, 각속도 그래프는 Fig. 8에 있다. 그래프를 살펴보면 매우 부드럽게 각속도 선도가 얻어졌음을 알 수 있다.

다음은 각가속도 α 를 구한다. 각가속도는 각속도를 미분하면 구할 수 있으므로 식 (4)의 다항식을 미분하여 구하며 그 값은 다음과 같다.

$$\alpha = \sum_{i=1}^{13} i a_i \omega^{i-1} \quad (5)$$

각가속도를 구하고 모터의 각속도 값의 제곱 값으로 정규화한 각가속도 그래프를 Fig. 9에 나타내었다. 모터의 각속도는 운동의 식 (2)의 주기로부터 구할 수 있다. 이 각가속도 그래프를 살펴보면 피측정 대상 와이퍼 기구는 현대자동차가 제시하는 각가속도 규정을 만족함을 알 수 있다.

앞 장에서 측정의 정밀도는 대부분 엔코더의 기계적인 정밀도에 의해 결정되는 것을 확인하였으므로

Table 1 Coefficients

계수	값
a_0	-0.0240355
a_1	15.1694
a_2	-11.1504
a_3	-456.891
a_4	5020.59
a_5	-28635.5
a_6	98826.8
a_7	-218104
a_8	316637
a_9	-305491
a_{10}	193917
a_{11}	-77831.3
a_{12}	17913
a_{13}	-1802.28

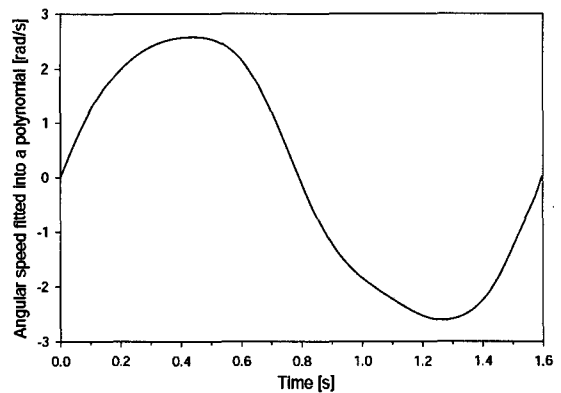


Fig. 8 Spline curve fitted angular speed

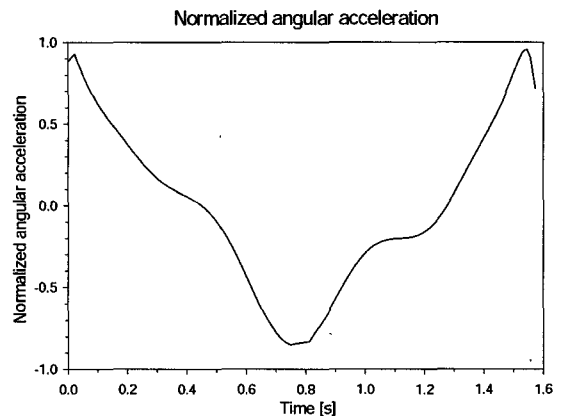


Fig. 9 Angular acceleration of the wiper pivot normalized by the square of the angular speed of the driving motor

로 측정 값은 엔코더 슬롯(눈금) 폭의 기계적 오차 범위 내에서 정확하다. 그리고 엔코더의 특성상 오차가 누적되지 않는다. 즉, 이번 눈금의 주기 측정에서 오차가 양의 방향으로 발생했다면 반드시 그 다음 측정에서는 음의 오차가 필연적으로 발생한다. Fig. 7의 각속도 그래프의 정상 부분에서 톱니 모양의 변동이 관찰되는데(타원으로 표시한 부분) 정확한 각속도 값은 변동 부분의 폭 내부에 존재한다. 변동 폭의 반이 오차의 최대 값이며 엔코더의 기계적 정밀도를 높이면 오차는 줄일 수 있다.

Photo. 1에 와이퍼 피봇의 각운동 측정 시험 장치 사진이 있다. 이동성이 용이한 노트북과 범용 DAQ 보드, 그리고 두 개의 저가의 엔코더로 구성되었다.



Photo. 1 Wiper pivot angular speed and acceleration measuring setup

4. 결론

자동차용 와이퍼 기구는 왕복 요동 운동을 하며 요동 운동은 진동 및 소음원이 된다. 이러한 이유로 자동차 업계는 와이퍼 기구의 각가속도의 최대 값을 제한한다. 와이퍼 어셈블리 생산 업체는 많은 설계 인자 중에서도 각가속도 값이 제한 조건을 만족하도록 설계하지만 실제 제작된 와이퍼 기구의 각가속도는 구성 부품의 불완전성과 비선형성 때문에 설계치를 벗어나게 된다. 그러므로 와이퍼 기구의 각속도 및 각가속도의 실제 값을 측정할 필요가 있다.

이러한 측정 장치를 구성하기 위해서 저렴하고 휴대가 간편한 하드웨어로 노트북용 컴퓨터와 상용

PCMCIA DAQ 카드를 인터페이스로 채택하였다. 이런 DAQ카드에는 사용자가 사용할 수 있는 카운터가 두 개 뿐이므로 두 개의 카운터 채널에 두 개의 와이퍼 축을 각각 할당하였다. 와이퍼 축의 각운동 측정을 위해 상용 광학 인크리멘탈 엔코더를 사용하며, 엔코더의 출력의 주기를 카운터로 측정하여서 왕복 요동 운동하는 자동차용 윈드실드 와이퍼 피봇의 각속도를 측정하고 각가속도를 산출하는 방법을 제안하고 실험하였다.

발생 펄스의 주기 입력이 측정치의 전부이므로 펄스의 개수로 각변위를 산출하였으며, 주기의 역수 관계로부터 각속도를 구하였다. 하지만 사용된 측정 방법의 특성상 신호에는 각속도의 부호 정보가 없으므로 피봇의 운동 방향이 바뀌는 지점을 찾아 이후의 각속도 신호의 부호를 결정하는 방법을 제시하였다. 또한 좌우 사점의 통과 시점을 정확히 알수 없으므로 보간법에 의해 통과 시점을 계산하였다. 이렇게 보정된 각속도는 엔코더의 기계적 오차에 의해 작은 변동을 보이므로 스플라인 커브 피팅으로 값을 매끄럽게 처리하였다. 이러한 측정 방법의 정확성에 대해 언급하였으며 마지막으로 각속도를 미분하여 각가속도를 구하였다.

후 기

본 연구 수행에 아낌없이 재원과 자료를 제공한 KCW(주)의 기술연구소 직원들에게 감사드립니다.

References

- 1) A. Taeubnet and H.-J. von Martens, "Diffraction Grating Interferometer for the Accurate Measurement of Rotational Quantities," *Measurement*, Vol.16, pp.71-80, 1995.
- 2) A. Taeubnet and H.-J. von Martens, "Measurement of Angular Accelerations, Angular velocities and Rotation Angles by Grating Interferometry," *Measurement*, Vol.24, pp.21-32, 1998.
- 3) H.-J. von Martens, "Generalization and Analysis of the Fringe-counting Method for Interferometric Measurement of Motion Quantities,"

- Measurement, Vol.25, pp.71-87, 1999.
- 4) R. Marat-Mendes, C. J. Dias and J. N. Marat-Mendes, "Measurement of the Angular Acceleration using a PVDF and a Piezocomposite," *Sensors and Actuators*, Vol.76, pp.310-313, 1999.
 - 5) J. Mizuno, K. Nottmeyer, M. Amemori, Y. Kanai and T. Kobayashi, "The Study of Silicon Bulk Micromachined Angular Acceleration Sensor," *JSAE Review*, Vol.21, pp.79-84, 2000.
 - 6) Making Accurate Frequency Measurements, National Instruments Development Zone Tutorial, <http://zone.ni.com>, 2004.
 - 7) Period Measurement with a Counter, National Instruments Development Zone Tutorial, <http://zone.ni.com>, 2004.
 - 8) Y. Oshman and L. Markley, "Sequential Gyroless Attitude and Attitude-Rate Estimation From Vector Observations," *Acta Astronautica*, Vol.46, No.7, pp.449-463, 2000.
 - 9) B. C. Schwartz and D. L. Jones, "Quadratic and Instantaneous Frequency Analysis of Helicopter Gearbox Faults," *Mechanical System and Signal Processing*, Vol.14, No.4, pp.579-595, 2000.
 - 10) J. B. Kim and J. K. Min, "A Study on the Estimation Method of the Wheel Acceleration," *Transactions of the KSAE*, Vol.5, No.2, pp.120-126, 1997.
 - 11) A. Stotsky and A. Forgo, "Recursive Spline Interpolation Method for Real Time Engine Control Application," *Control Engineering Practice*, Vol.12, Issue 4, pp.409-416, April 2004.
 - 12) Using Quadrature Encoders with E Series DAQ Boards, National Instrument Application Note 084, May 1996.
 - 13) DAQ NI 6034E/6035E/6036E User Manual Multifunction I/O Devices, National Instruments, July 2002 Edition, Part Number 322339C-01, 2002.
 - 14) LabVIEW Measurement Manual, National Instruments, July 2000 Edition, Part Number 322661A-01, 2000.