

Malus 의 편광(偏光)법칙을 이용한 EPAS 용 비접촉 torque sensor 개발

노병옥[†], 박호^{*}, 강판식^{**}

(2000년 5월 30일 접수, 2001년 4월 23일 심사완료)

Development of the Non-Contact Torque Sensor for EPAS Using Malus's Polarization Law

Byung-Ok Roh, Ho Park and Pan-Shik Kang

Key Words : Electric Power Assisted Steering(전동식조향장치), Polarizer(편광자), Analyzer(검광자), Torque Sensor (토크 센서), Torsion Bar (토션 바), Polarization (편광), Beam Splitter(광분할기).

Abstract

Among the automotive steering systems, an Electric Power Assisted steering (EPAS) system utilizes an electronically controlled electric motor to provide steering assistance to the driver. The key components of the EPAS system are torque sensor, ECU (Electronic Control Unit), and DC Motor. The most important component of the EPAS is the torque sensor. The conventional torque sensor has complicated mechanical mechanism of torque detection. However, we suggest a non-contact torque sensor for EPAS using Malus's polarization law. It was found that the sensor exhibited not only excellent linearity but also superior characteristics of hysteresis, temperature and vibration.

1. 서론

최근 자동차산업은 고급화와 기능의 극대화에 따라 전기·전자기술 도입이 증가하고 있으며 이는 소비자의 요구와도 부합되는 것이다. 이러한 최근의 경향은 자동차 조향장치에 있어서도 결코 예외가 아니다.⁽¹⁾ EPAS (Electric Power Assisted Steering) 는 기존의 유압식조향장치를 전기·전자 기술을 도입한 것으로 운전자의 핸들조작을 DC 모터를 이용해 보조해주는 장치로 기존의 유압식 방식과 비교해 연료소비가 적어 차량 유지비가 절감되며, 환경 친화적이다. 또한, 간단하고 단순한 구조를 가져 설치 및 보수에도 용이하며, 이에 따라 EPAS 에 대한 관심이 점차 고조되어 지

고 있다. EPAS 시스템에 요구되는 중요기술요소로는 ECU (Electronic Control Unit), DC 모터, 토크 센서 (Torque Sensor) 등이 있으며 이중 토크센서는 자동차 핸들조작방향과 힘을 감지하는 장치로서 EPAS 에 있어서 가장 중요한 핵심 기술이다.⁽²⁻⁴⁾

현재까지 제안되고 있는 EPAS 용 토크센서는 대부분이 접촉식센서로 내구성이 낮고 복잡한 기구적 메커니즘을 가지는 등 가격과 성능에서 많은 단점을 보이고 있다. 따라서 최근 이러한 단점들을 보완하기 위한 방법으로 비접촉식 센서가 많이 제안되고 있다. 하지만 지금까지 제안된 비접촉방식의 토크센서는 제작단가가 높거나 아직 연구단계에 머물러 있는 수준들이다.⁽⁴⁻⁶⁾

따라서 본 논문은 빛의 직선편광현상을 이용해 가격과 특성에서 기존의 방식과 비교 경쟁할 수 있는 비접촉 EPAS 용 토크센서를 제안하였다. 그리고, 선형성 실험을 통해 EPAS 용 토크센서로 사용 가능함을 보였으며, 온도와 진동실험을 통해 그 성능을 평가하였다.

[†] 책임저자, 회원, 선문대학교 산업공학과
E-mail : boroh@omega.sunmoon.ac.kr
TEL : (041)530-2393 FAX : (041)530-2393

^{*} 회원, 천안공업대학 자동차공학과

^{**} 선문대학교 대학원 기계공학과

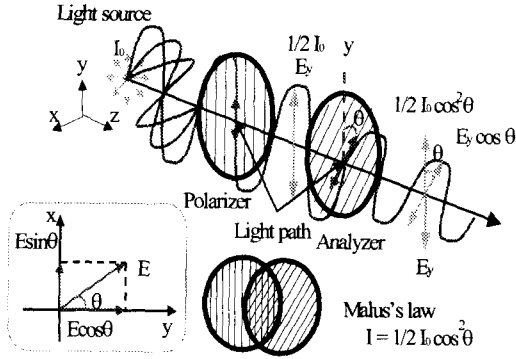


Fig. 1 Malus's law

2. 제안된 방법의 광학적 이론과 응용

2.1 편광을 이용한 회전변위 측정원리

빛은 진행방향과 수직하게 모든 방향으로 진동하는 횡파로서 편광판에 투과시켜 한 쪽 방향으로만 진동하는 직선편광(Linear Polarization)을 만들 수 있다. 제안된 방법은 이와 같은 광의 직선편광을 이용해 회전량을 검출하는 방법으로 기본적으로 다음과 같은 원리를 갖고 있다.

Fig. 1 은 직선편광을 이용한 회전변위를 계산하는 Malus 의 법칙을 보이고 있다. 즉, 동일축상에 위치한 두개의 편광판(Polarizer, Analyler) 사이의 회전변위 θ 와 투과광량 I 의 관계를 설명하는 것으로 Fig. 1 과 같이 검광자(Analyzer)를 편광자(Polarizer)에 θ 만큼 회전시켜 놓았을 때, z 축 방향으로 진행하는 초기광의 세기를 I_0 라면 평균적으로 편광기에 입사되는 입사광의 $1/2$ 은 전기장의 y 축 방향으로 향하고 $1/2$ 은 x 축 방향으로 향하게 된다. 따라서 첫 번째 편광자를 통과한 I_0 는 빛의 세기의 $1/2$ 이 투과되어 $1/2 I_0$ 로 감소될 것이고, 이때 투과된 빛은 전기장이 y 축을 향하는 선형 편광파가 된다. 따라서 편광자를 투과한 광의 최대치가 $1/2 I_0$ 이고, 이때의 전기장을 E_0 라면 검광기를 나오는 광의 진폭은 $E_0 \cos \theta$ 이고, 투과광의 세기는 투과광의 진폭의 제곱에 비례하므로 투과축과 상대적인 각 θ 에 대한 최종 투과광의 세기 I 는

$$I(\theta) = 1/2 I_0 \cos^2 \theta \tag{1}$$

가 됨을 알 수 있게 된다.

이와 같이 z 방향으로 빛이 진행할 때의 투과축 방향에 따르는 빛의 강도는 빛의 진행방향에 관계없이 항상 식 (1)을 만족하게 된다.

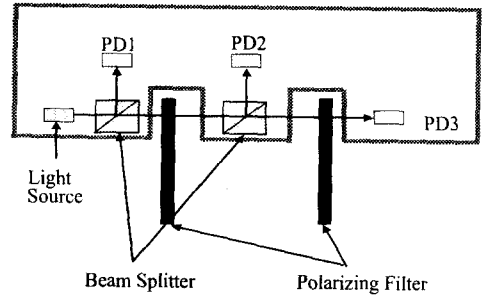


Fig. 2 Schematic diagram of the torque sensor for EPAS

2.2 토크센서의 응용

EPAS 에서 토션바(Torsion Bar)는 피니언(Pinion)과 스티어링 휠(Steering Wheel)에 양끝이 고정되어 있어 운전자가 차륜을 조향하면 토션바에는 조향력에 상응하는 반작용력이 작용하여 비틀림이 발생하게 된다. 이때의 토션바의 비틀림변위는 스티어링 휠의 방향과 크기를 나타내며 Fig. 2 와 같은 Malus 의 편광법칙이 응용된 구조로 검출이 가능할 것이다.

제안된 센서는 Fig. 2 와 같이 광원으로 LED 를 사용하며 편광을 만들기 위한 두 개의 편광필터와 각각의 위치에서 광량변화를 측정할 세개의 포토다이오드(Photodiode)로 구성 되어있다. 첫째 포토 다이오드(PD1)는 초기광원의 광량을 검사하는 부분이고, 두 번째와 세 번째의 포토 다이오드(PD2, PD3)에서 검출된 광량으로 두 편광자의 회전변위를 계산할 수 있다. 여기서 두 번째와 세 번째 포토 다이오드에서 검출된 광량의 비는 Fig. 3 의 $\cos^2 \theta$ 의 그래프와 같은 값을 갖는다. 즉, 45° 에서 가장 선형성이 뛰어난 데이터가 나오고, 0° 와 90° 에 가까워질수록 선형성이 떨어지고 있음을 알 수 있다.

따라서 초기의 편광필터의 상대 변위를 45° 로 설정하고 그 회전 범위를 토션바의 최대 비틀림 각인 $\pm 5^\circ$ 즉, $40^\circ \sim 50^\circ$ 를 갖게 하였다.

이와 같이 Malus 의 편광 법칙을 응용해서 토션바의 회전 변위를 전기량으로 검출하는 비접촉 토크 센서를 구현할 수 있다. 이러한 센서장치에서 가장 주의해야 할 것은 시스템의 초기설정 및 주변환경 등에 의한 검출광량 감소이다. 따라서 광 센서 유닛부를 실드 처리하여 외부 노이즈로부터 차단시키고, 편광기와 샤프트(Shaft) 끝 부분을 Fig. 4 와 같이 연결하여 편광기와 검광기의 거리를 줄임으로써 출력값을 증폭을 시켜 정도를 높이고자 한다.

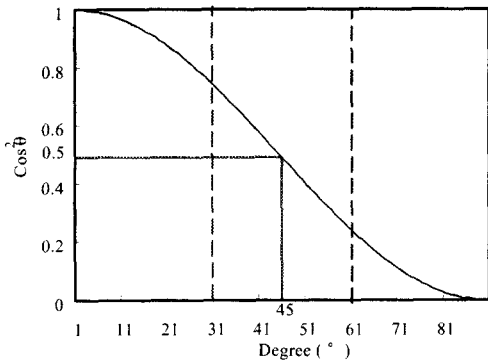


Fig. 3 The graph of $\cos^2\theta$ vs degree

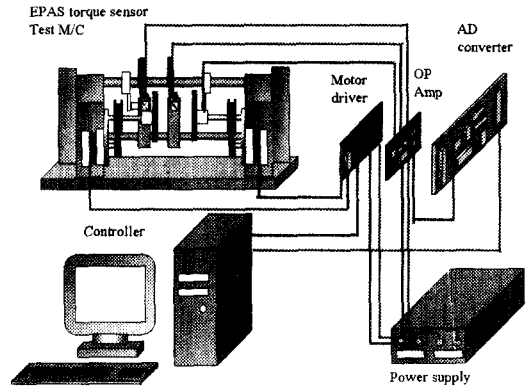


Fig. 5 Schematic diagram of test M/C for torque sensor system

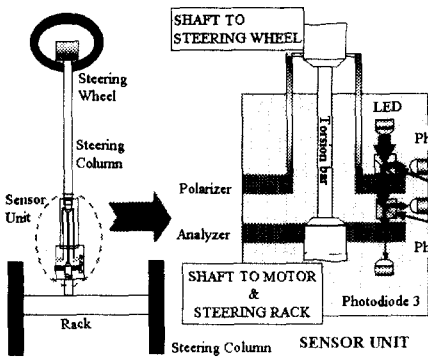


Fig. 4 An example applicable to the proposed method

Fig. 4는 제안된 방식의 토크 센서를 랙 앤 피언 방식을 기어에 장착시킨 예를 보여주고 있다.

3. 실험장치 구성 및 초기설정

3.1 실험장치의 구성

제안된 방식을 실험을 통해 입증하기 위해 Fig. 5와 같이 실험장치를 구성하였다. 전체 실험장치는 장치부, 검출부, 처리부, 제어부, 전원부로 구성되어 있다.

실험장치는 자동차의 토션바에 부하되는 회전 토크에 대한 토션바의 회전 변위를 시뮬레이션하기 위한 것이다. 즉, 자동차의 파워스티어링(Power Steering)에서 토션바에 최대 비틀림 변위인 $\pm 5^\circ$ 를 갖을 때 발생하는 토크는 토션바의 구성재질에 따라 차이가 있지만 최대 $\pm 10 \text{ N.m}$ 이내의 힘을 발생하게 되고, 실험장치는 두 개의 스텝 모터를 사용하여 펄스(Pulse) 당 0.45° 의 분해능으로 토션바의 비틀림 변위를 구현한다.

Fig. 6은 기구장치부의 구조도이다. 실험에 있어

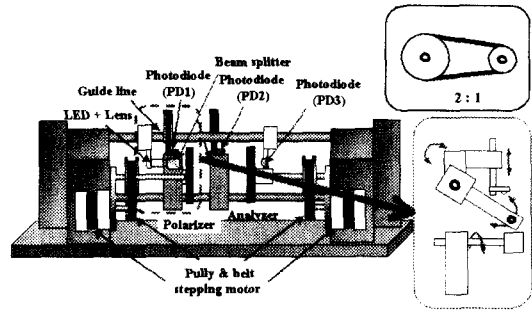


Fig. 6 The structure of prototype of torque sensor for EPAS

모든 주요 부품들은 두 개의 가이드를 축으로 최적의 위치설정이 되도록 이동이 가능하다. 특히 본 실험에서 가장 중요한 신호 검출부는 회전 및 수직방향의 이동이 가능하도록 기구장치를 구성하였다. 따라서 기구장치 각각에 위치한 포토다이오드에 최적 광량을 갖도록 설정할 수 있다. 하지만 최적의 초기 위치라 할지라도 두 개의 편광필터와 광분할기(Beam Splitter)를 차례로 통과한 광은 초기의 광량에 약 1/16 배의 아주 미약한 광량을 가지게 된다. 이와 같은 미약광의 측정은 높은 이득의 증폭기를 사용해야 되는 데, 포토다이오드 특성상 암전류(Dark Current)와 노이즈의 비율 또한 함께 증가하여 부정확한 출력 신호를 발생하게 된다. 따라서 본 실험에서는 직진성이 우수한 LED와 집광렌즈를 사용하여 입력광량을 높이고, 광원과 감지기 사이의 거리도 최소화하여 검출기들이 최적의 출력이 나올 수 있도록 하였다.

Fig. 7은 지금까지의 이론을 바탕으로 제작된 신호 검출부의 모습을 보여주고 있다. 직접적으로

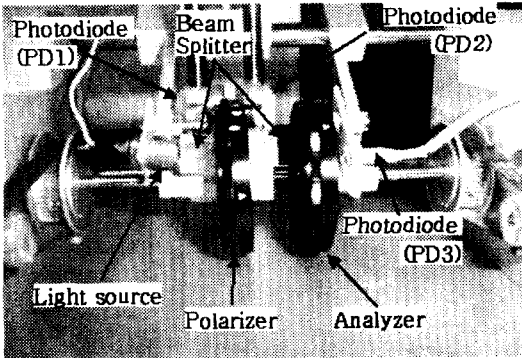


Fig. 7 Signal sensing unit

사용되는 광원 이외의 주변 광과 차단시켜 이로부터 발생하는 노이즈를 없애기 위해 실험장치 주위를 어두운 아크릴 판으로 둘러쌌다. 또한 이때 신호 검출에 사용되는 모든 와이어(wire)는 모두 실드선 처리를 해서 노이즈 발생에 대비하였다. 이와 같이 신호처리부에서 얻은 출력값을 증폭 및 A/D 변환작업등의 DAQ(Data Acquisition) 처리를 하여 일정 레벨의 분해능을 갖는 데이터를 얻고 이를 비교 분석하였다.

3.2 초기설정

제안된 방식은 미량의 광을 이용함으로 광학계의 초기설정이 무엇보다도 출력 데이터에 큰 영향을 끼친다. 더욱이 자동차용 센서로써 사용을 목적으로 하고 있으므로 온도, 진동 등의 실험을 반드시 거쳐야하며, 이때 동일한 광학계의 초기설정이 있어야 한다. 또한, 실험의 특성을 인식하고 최적의 실험 데이터를 얻기 위해 다음과 같이 초기설정 한다.

- (1) 광원은 포토다이오드의 입력 파장과 직진성 고려한 7° 적색광을 사용한다.
- (2) 광원에 집광렌즈를 붙여 광 강도를 높게 만들었다.
- (3) 광원과 각각의 포토다이오드와 거리를 시스템이 허용하는 최단거리(60~80mm)로 유지한다.
- (4) 실험 장치주위의 자연광 등 노이즈가 될 수 있는 요소들과 분리시키기 위해 검정 아크릴막을 사용하여 외부 광을 차단시켰다.
- (5) 두개의 편광기의 상대변위를 45°로 초기설정하고, 50°~40°의 범위에서 구동시킨다.

이밖에도 장치구동에 들어가기 전에 다음과 같은 몇 가지 장치설정을 고려한다.

- (1) 시간에 따라 광원의 광량 감소를 고려야한다.
 - 초기광원의 광량과, 편광기와 검광기를

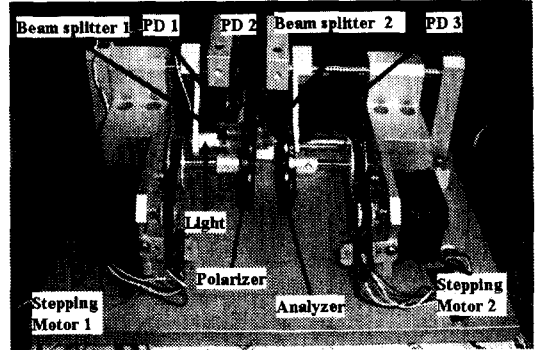


Fig. 8 Simulator of torque sensor for EPAS

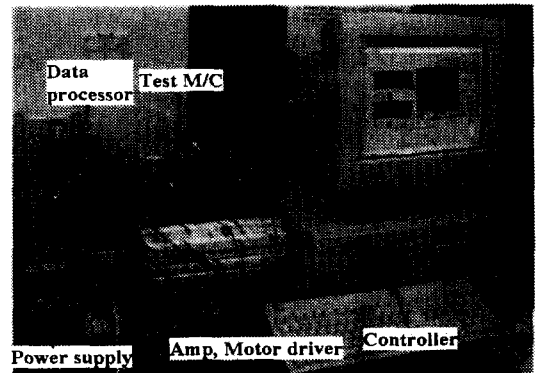


Fig. 9 Photograph of the proposed torque sensor for EPAS system

통과한 후에 광량을 측정하여 보정함으로써 항상 로버스트한 제어를 가능하게 한다.

- (2) 편광소자의 소재 또는 빛의 파장에 따른 광 특성을 고려한다.

Fig. 8 과 Fig. 9 는 이와 같은 실험의 특성을 고려 하여 꾸민 시뮬레이터와 이를 이용해 데이터를 추출, 처리시키는 전체 시스템을 보이고 있다.

4. 실험 및 실험결과

Malus 의 편광이론을 바탕으로 장치특성과 광 특성을 고려해 전체 시스템의 초기설정을 마친 후 최적의 실험환경에서 실험을 한다. 이실험을 통해 제안된 장치가 EPAS 용 토크센서로 사용 가능한지를 증명하고, 두개의 편광 필터의 상호 구동상태의 변경에 따라서 발생하는 출력데이터를 비교 분석하여 가장 좋은 설정상태를 찾는 것이 목적이다. 이와 같은 실험을 마친후 진동 실험과 온도실험 같은 환경조건 실험을 갖게 되는 데

이는 자동차가 주행시에 갖게되는 주요 환경요인들에 대해서 제안된 장치의 반응상태를 측정해보고, 이를 통해 실차에 장착 사용가능한지를 판별해 보기 위해서이다.

4.1 최적 환경에서의 구동 실험

본 실험의 목적은 최적 환경(실험온도 20 °C, 무진동 조건)에서 제안된 장치가 EPAS 용 토크센서로서 사용 가능함을 보이고, 편광기와 검광기를 세 가지 방법으로 회전시켜 EPAS 용 토크센서로 갖을 수 있는 최적의 장치 설정을 찾는 것이다.

실험은 다음과 같이 세 가지 방법으로 나누어 실행된다.

- 편광기 단일 회전
- 검광기 단일 회전
- 편광기와 검광기의 동시회전

실험 1: 편광기 단일 회전

검광기는 일정위치에 고정시켜 놓고 편광기로서만 $\pm 5^\circ$ 의 범위에서 정회전, 역회전으로 번갈아 구동하면서 실험을 한다. 이때 편광기는 90° 회전된 상태이고 검광기는 50° 로 고정시켜 편광기를 0.45° 간격으로 10° 만큼 회전시켰다. 즉, $40^\circ \sim 50^\circ$ 의 상대회전범위 내에서 출력 데이터를 얻기 위해 초기의 설정값은 50° 의 변위차를 두고 시작되며 이때 두번째 포토 다이오드(PD2)와 세번째 포토 다이오드(PD3)에서 초기 출력값은 각각 5V와 2.78V의 값이 되도록 설정하였다.

이와 같은 설정을 마친 실험 1은 $\pm 5^\circ$ (토션바의 허용 비틀림) 범위에서 히스테리시스 오차는 0.021V(1.4%FS)이고, 전압변위값은 3.251 ~ 1.802V로 0.45° 회전 당 0.0631V 변환크기를 발생하였다. 즉, 1° 회전 당 0.1403V의 변환값이 발생하였다.

실험 2: 검광기 단일 회전

실험 1과는 반대로 편광기는 90° 회전된 상태로 고정시켜 놓고 검광기를 50° 로 회전시켜 놓고 $\pm 5^\circ$ 의 변환범위 내에서 0.45° 간격으로 측정을 시작했다. 실험 2는 $\pm 5^\circ$ 범위에서 히스테리시스 오차는 0.0186V(1.2%FS)이고, 전압변위값은 3.255 ~ 1.731V로 0.45° 회전 당 0.0619V 변환크기를 발생했다. 즉 1° 회전 당 0.1472V의 변환값이 발생했다.

실험 3: 편광기와 검광기의 동시회전

Table 1 Data analysis on the initial conditions

Parameter	rotating of polarizer	rotating of analyzer	rotating of polarizer and analyzer
Full scale	$\pm 10\text{Nm}$	$\pm 10\text{Nm}$	$\pm 10\text{Nm}$
Output type	Output Voltage	Output Voltage	Output Voltage
Output Voltage Range	0 V ~ 5 V	0 V ~ 5 V	0 V ~ 5 V
Output Voltage of one degree	0.1403V	0.1472V	0.1570V
Linearity	$\pm 0.78\%FS$	$\pm 0.65\%FS$	$\pm 2.7\%FS$
Hysteresis	0.0210V	0.0186V	0.0626V

편광기와 검광기를 각각 90° 와 40° 즉, 50° 의 변위를 두고 설정한 상태에서 서로 상반된 방향으로 각각 0.45° 간격으로 5° 씩 회전한다. 즉, 편광기는 85° 까지 검광기는 45° 까지, $\pm 5^\circ$ 의 측정범위에서 편광기와 검광기의 0.9° 의 상대 회전변위를 기본단위로 측정이 이루어진다.

실험 3은 $\pm 5^\circ$ 범위에서 히스테리시스 오차는 0.0626V(4%FS)이고, 전압변위값은 3.175 ~ 1.621V로 0.9° 회전 당 0.1413V 변환크기를 발생했다. 즉 1° 회전 당 0.157V의 변환값이 발생했다.

Table 1은 이상과 같이 세 가지 실험 방법의 결과값들이다. 이들은 모두 EPAS 용 토크센서가 갖아야 할 일반적인 사양을 모두 만족하고 있고 따라서 제안된 방법은 EPAS 용 센서로 사용가능함을 알 수 있다. 즉, $\pm 10\text{Nm}$ 의 토크 검출 범위내에서 $\pm 2\%FS$ 이하의 직진성을 보이고 있다. 여기서 실험 3은 1° 회전 당 0.157V의 출력 전압으로 가장 크지만 히스테리시스가 0.0626V로 가장 크게 나타나는 반면, 실험 2는 1° 회전 당 출력전압은 0.147V로 실험 3에 비해 적지만 다른 두 실험과 비교해 히스테리시스와 직진성이 0.0186V, $\pm 0.65\%FS$ 로 가장 작은 값을 갖고 있다.

즉, 다른 방법들과 비교해 보았을 때 히스테리시스 크기와 전압 변환크기가 EPAS 용 토크 센서로서 가장 유리한 결과를 갖을 수 있음을 보이고 있다. 이러한 실험에서 얻은 결론을 바탕으로 실험 2(검광기 단일 회전)의 조건으로 실험장치를 설정하고 교정작업과 특성실험을 했다.

EPAS 용 토크 센서는 토션바의 비틀림 변위를 전기신호로 그리고 그 전기신호에 대한 적당한 토크량으로 산출하는 데에 그 목적이 있다.

Fig. 10은 비틀림 변위 대 전압 대 토크의 관계를 도시한 것으로 토션 바의 부하된 토크량을 전

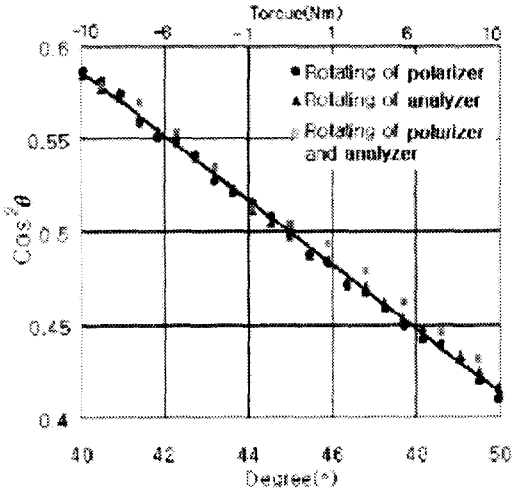


Fig. 10 A plot of degree vs voltage vs torque on the optimum conditions

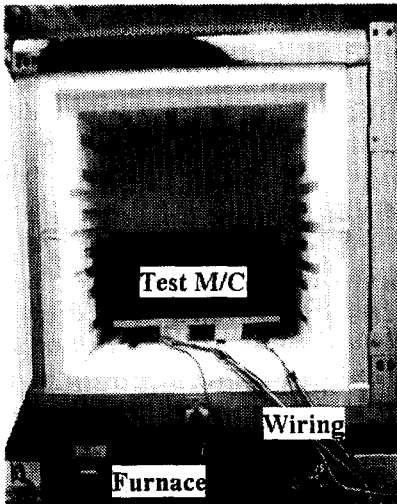


Fig. 11 Experimental Apparatus of thermal character of torque sensor for EPAS

기량으로 산출하는 것이다. Fig. 10 과 같은 그래프를 통해서 센서를 교정시킬 수 있고, 이를 통해 광량 변화를 로버스트하게 제어할 수 있으므로 제안된 방법은 EPAS 용 토크센서로서 사용이 가능하다.

4.2 온도특성실험

제안된 방법은 최적 환경상태에서 EPAS 용 토크 센서로써 사용 가능함을 증명하였다. 하지만 직접 실차에 적용하기 위해서는 자동차용 센서로써 적합한 여러가지 특성실험을 해야한다. 본 연구에선 자동차용 센서로써 가장 중요시되는 온도와 진동에 대해서 다음과 같이 실험 하였다.

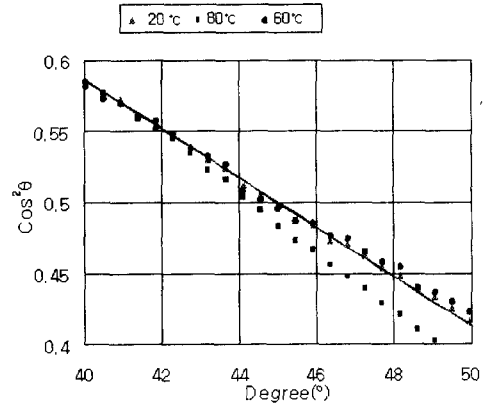


Fig. 12 A plot of data analysis on temperature condition

일반적인 자동차용 센서에 적용되는 온도 내구성은 $-30 \sim 65 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 정상 작동되어야 하고 보존 온도의 범위는 $-40 \sim 85 \text{ }^\circ\text{C}$ 가 되어야 한다. 이에 따라서 Fig. 11 와 같이 노(爐)안에 실험장치를 장착 시키고 고온 작동실험을 했다. 또한 장치외부와 내부의 온도를 일정하게 하기 위해 온도계의 눈금을 $60 \sim 80 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지 유지하면서 약 2분 정도가 열 시간을 두고 실험에 들어갔다. 그 결과 Fig. 12 와 같은 실험 데이터 값을 얻을 수 있었다. 최적의 환경상태($20 \text{ }^\circ\text{C}$)에서와 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 그리고 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 이상의 상태에서의 데이터 곡선이다. $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서는 $\pm 5 \text{ }^\circ$ 범위에서 히스테리시스 오차는 0.0243V 이고, 전압 변위값은 $3.254 \sim 1.761\text{V}$ 로 0.45 ° 회전 당 0.0649V 의 변환크기를 발생했다.

즉, 1 ° 회전 당 0.1443V 의 변환값이 발생하며 $\pm 0.84\%$ FS 의 직진성을 갖는다. 하지만 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 이상의 실험에서의 점점 그 직진성이 약해지고 있다. 이는 실험에 사용되고 있는 광원과 광 검출기의 온도특성으로 많은 변화가 발생하는 것으로 보인다. Table 2 는 이상과 같이 온도 특성실험을 분석하고 있다. 즉, 최적 환경상태에서 제안된 방법(검광기 단일 회전)으로 실험한 실험값은 0.0186V 와 0.0243V 의 히스테리시스를 갖고 $\pm 0.65\%$ FS, $\pm 0.84\%$ FS 의 직선을 갖는다. 1 ° 회전 당 출력전압도 최적상태와 비교해 다소 적은 0.1443V 를 갖고 있어서 $20 \text{ }^\circ\text{C} \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 온도에서 출력값에 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 제안된 방법이 EPAS 용 토크센서가 요구하는 온도 범위에서 온도특성을 만족함을 알 수 있다.

4.3 진동특성실험

진동 실험은 자동차용 센서의 특성을 평가하는데 중요한 항목으로 실차에 탑재되는 토크센서의

Table 2 Data analysis on the temperature conditions

Conditions Parameter	20 °C	60 °C	80 °C <
Full Scale	±10Nm	±10Nm	±10Nm
Output Type	전압출력	전압출력	전압출력
Output Voltage Range	0V~5V	0V~5V	0V~5V
Output Voltage of one degree	0.1472V	0.1443V	0.2643V
Linearity	±0.65%FS	±0.84%FS	±8%FS
Hysteresis	0.0186V (1.2%FS)	0.0243V (1.6%FS)	0.1964V (3.48%FS)

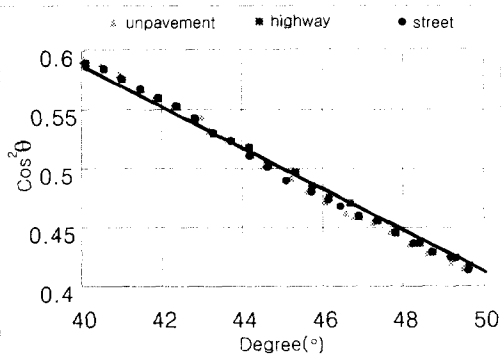


Fig. 13 A plot of data analysis on vibration conditions

진동 내구성은 X, Y, Z 방향으로 주파수 33.3Hz, 가속도 4.4G 의 상태에서 구동이 가능해야 한다. 따라서 직접 자동차의 조향부에 장착하거나 가진기에서 임의 주파수 범위에서 실험을 해야 하지만 현재 실험용 장치는 하나의 센서 장치로 완성된 제품이 아니라 시뮬레이션을 위한 시작품이므로 그 장치크기와 내구성 등의 문제로 직접 자동차에 실험 장치를 탑재하고 도로를 주행하며 실험하였다. 즉, 이론적인 진동값 대신 실제 주행중인 자동차에서 진동을 검출하고 그와 동시에 토크 센서로부터 출력데이터를 얻는 것이다.

자동차 진동은 도로의 상태와 자동차의 속도 등에 따라서 다르게 나타나므로 실험장치에 진동 지속계를 부착하여 진동 값을 검출한다. 실험을 갖게될 주행 도로는 일반도로, 고속도로, 그리고 비포장도로에서 각각 실험을 시행하고, 주행속도는 일반도로는 60Km/h, 고속도로는 90 ~ 110Km/h, 그리고 비포장도로에선 30 ~ 50Km/h 로 주행하였다. 이때 비교적 진동이 적은 고속도로와 일반도로에서는 0.033V 와 0.307V 의 히스테리시스와 ±

Table 3 Data analysis on the vibration conditions

Conditions Parameter	Highway	Street	Unpavement
Output Voltage Range	3.096 ~ 1.582V	3.126 ~ 1.621V	3.045 ~ 1.567V
Linearity	±1.3%FS	±1.1%FS	±2.6%FS
Hysteresis	0.0330V	0.0307V	0.0583V
Output Voltage of one degree	0.1463V	0.1454V	0.1428V

1.3%FS, ± 2%FS 의 직선을 보이며, 1° 회전 당 0.1463V 와 0.1454V 의 값을 갖는 결과 곡선분포를 보인 반면, 비포장도로는 히스테리시스와 직선성이 각각 0.0583V, ± 3.9%FS로 데이터의 정밀도가 많이 줄어들었다. 이는 모든 실험장비를 직접 주행하는 자동차에서 장착하고 실험을 하였기 때문에 어느 정도의 노이즈 발생을 고려한다면 전체적인 데이터 분포도가 Fig. 13 에서와 같이 최적 환경상태와 같은 cos²θ 곡선 형태를 유지하고 있음을 알 수 있다. Table 3 은 진동 특성실험의 실험 데이터 분석값이다.

5. 결론

본 논문은 선형편광특성을 이용한 새로운 광학식 비접촉 EPAS 용 토크센서를 제안하고, 제작된 실험장치를 이용한 실험을 통해 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있다.

(1) 초기조건(20 °C, 무진동)상태에서 토션바의 비틀림 각에 대한 전압치와 토크치의 관계를 구할 수 있고, 이는 장치의 로버스트한 제어가 가능함을 나타내는 것으로 제안된 방법이 EPAS 용 토크 센서로 사용가능 함을 알 수 있다.

(2) 60 °C 이상의 고온실험과 진동특성실험을 통해 비교적 안정된 데이터를 얻을 수 있어 EPAS 용 토크 센서로써 직접 실차에 적용 가능성을 보이고 있다.

본 논문에서 제작된 장치는 실험용 시작품으로써 온도와 진동특성에 대해서만 성능평가를 하여 아직 실차에 적용하는 데는 미흡하다. 향후 연구 과제로는 직접 실차에 장착할 수 있는 단일 센서 장치를 설계하고 보다 안정된 광원과 회로부를 구성한 후 진동과 온도를 비롯한 자동차의 성능에 만족한 여러가지 내구성 평가를 할 예정이다.

참고문헌

- (1) 선우면호, 1997, 자동차와 전기·전자기술, “97 한국자동차공학회 추계학술대회,” pp. 323~328.
- (2) Nakayama, T. and Suda, E., 1990, “The Present of Electric Power Steering,” *JSAE Rev.*, 11, pp. 62~68.
- (3) Zabler, E., Dukart, A., Heintz, F. and Krott, R., 1994, “A Non-Contact Strain-Gage Torque Sensor for Automotive Servo-Driven Steering System,” *Sensor and Actuators A*, pp. 41~42.
- (4) Takahi Nakayama and Eiichi Suda, 1990, “Present and Future of Electric Power Steering,” *自動車技術*, Vol. 44, No. 1, pp. 106~111.
- (5) Hazelden, R.J., 1993, “Optical Torque Sensor for Automotive Steering System,” *Sensor and Actuators A*, pp. 37~38, pp. 193~197.
- (6) Yasuo Shimizu, Mitsutaka Sugino, Toshitake Dawai, Tersuya Matsumoto, 1991, “電動パワステアリングについて,” *自動車技術*, Vol. 45, No. 10.
- (7) Reed, G., 1989, “Torque Measurement in Rotating Shafts the Optical Alternatives,” *Des.Eng.(May)*, pp. 69~72.
- (8) 윤석찬, 왕영용, 한창수, 2000, “Ball Screw 형 전동식 동력 조향장치의 제어에 관한 연구,” 한국자동차공학회논문집, 한국자동차공학회, 제 8 권 제 1 호, pp. 124~134.