

운전자 졸음 방지용 플라스틱 광섬유 센서

Plastic Optical Fiber Sensor for an Anti-Drowsy Driving

엄 원 대* 여 상 두** 박 재 희***
(Won-Dae Eom) (Sang-Du Yeo) (Jae-Hee Park)

요 약

본 논문에서는 플라스틱 광섬유 센서가 운전자의 졸음 방지용 센서로서 응용 가능한 지에 관하여 논의된다. 졸음방지용 플라스틱 광섬유 센서는 광섬유의 구부림이 잘 유도될 수 있도록 소프트한 물질로 덮개를 씌운 핸들에 플라스틱 광섬유가 감겨져 있는 구조로 되어져 있다. 운전자가 핸들을 잡을 때 운전자가 핸들에 힘을 가하게 되고 이 힘이 플라스틱 광섬유의 구부림을 유도하여 플라스틱 광섬유 내부를 진행하는 빛의 양을 감소시킨다. 실험 결과로부터 핸들에 가해지는 힘이 크면 클수록 검출되는 광량이 적어짐을 보여주어 졸음 방지용 센서로서의 사용할 수 있음을 검증해 보인다.

Abstract

In this paper, the feasibility for producing a plastic optical fiber sensor to be used as an anti-drowsy driving sensor is discussed. This sensor consists of a plastic optical fiber wound on the steering wheel covered by soft material. When a driver hold a steering wheel, the gripping force is induced and causes to the bend of the plastic optical fiber which decreases the power of light propagated inside the plastic fiber. The experimental results show that the detected optical power decrease as the gripping force increase and that this sensor can be used as the anti-drowsy driving sensor.

Key words: Sensor, plastic optical fiber, anti-drowsy driving, force, bending loss

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RT104-01-01) 지원으로 수행되었음.

* 주저자 : 계명대학교 지능형자동차 대학원 석사과정

** 공저자 : 계명대학교 일반대학원 전자공학과 석사과정

*** 공저자 : 계명대학교 전자공학과 부교수 (교신저자)

† 논문접수일 : 2008년 10월 30일

‡ 논문심사일 : 2008년 12월 10일

† 게재확정일 : 2008년 12월 11일

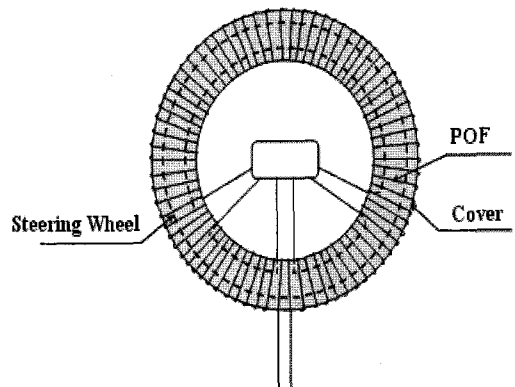
1. 서 론

국내의 주요 수출품목 중 하나인 자동차는 국내 몇 개의 주요 자동차 제조업체에서 많은 양의 자동차들을 생산 판매하고 있으며 매년 생산량은 증가하고 있는 추세이다. 자동차 생산량 증가가 현재 국내 한 가구 한대 이상의 차량을 소유하게 만들었으며 도로에 운행하는 차량의 수도 증가시켰다. 도로를 운행 하는 차량의 증가로 인하여 교통사고의 발생 횟수도 증가 하였고 발생 교통사고 중 운전자 졸음에 의한 교통사고가 상당부분 차지하고 있다. 교통사고 발생을 미연에 방지하기 위하여 지능형 자동차를 개발하여 왔으며 특히 졸음운전 방지를 위한 센서시스템 개발에 많은 관심을 가져왔다. 현재까지 국내외적으로 개발된 졸음 방지 시스템들은 운전자의 눈동자 움직임을 관찰하여 졸음여부를 판단하는 시스템[1], 운전자의 눈꺼풀 및 머리의 움직임과 눈동자의 주시방향[2] 등을 모니터링하여 졸음 여부를 예측하는 시스템 등이 개발되어져 있다. 이런 시스템들은 고가이고, 운전자의 움직임에 의한 예측의 불확실성이 많은 단점들이 있어 널리 사용되어지고 있지 못하다. 그래서 저가의 예측 가능성이 높은 졸음 방지 장치 개발에 대해 많은 관심을 가져 왔다.

현대 멀티미디어 사회에서 국가의 모든 기간 전송망이 광섬유로 대체되어져 가고 있다. 기간 전송망에 사용되는 광섬유는 인간의 머리카락 정도의 굵기에 수백 테라비트급의 신호를 처리할 수 있는 석영을 주성분으로 하는 유리 광섬유가 사용되어지고 있다. 유리 광섬유는 가볍고, 광학특성이 뛰어나고, 넓은 전송 대역폭을 가지는 장점들을 가지고 있으나, 부서지기 쉽고, 코어의 크기가 작아 광섬유 연결 시 고가의 장비와 광연결기가 필요한 단점들도 가지고 있다. 이런 단점들을 해결하기 위하여 광학적으로 투명한 고분자 재료를 이용하여 만든 플라스틱 광섬유(POF)가 개발되어 졌다. 플라스틱 광섬유는 유리 광섬유와 비교하여 저가이고, 코어의 크기가 크며, Numerical Aperture(NA)가 큰 반면, 전송손실이 크고 유리광섬유에 비해 상대적으로 전

송 대역폭이 좁아 기간 전송망에는 사용되어지지 않고, 주로 근거리 광통신망과 조명장치에 이용되고 있다 [3].

현대 자동차는 차안에서 영화감상, 문서 작성 및 전송 등 사무실화 되어가고 있으며 아직도 다양한 기능을 가진 많은 전자제품들이 개발되어 장착되어지고 있다. 이런 전자제품의 장착들이 자동차 배선의 양이 늘어남으로써 자동차 무게를 증가시키고 있다. 그래서 배선에 의한 자동차 무게를 줄이기 위해 자동차에 사용되어지고 있는 구리선 대신 플라스틱 광섬유(POF)로 대체 하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이와 병행하여 플라스틱 광섬유를 이용한 센서들도 많이 개발되어지고 있다. 플라스틱 광섬유를 이용하여 홍수 감시 시스템[4], 혈액가스분석 센서[5], PH 센서[6] 등이 개발되어졌으며, 자동차 센서로는 산소센서[7], 자동차 유리 압사 방지 센서[8] 등이 연구되어졌다. 그래서 자동차 무게를 줄이는데 일조 할 수 있는 플라스틱 광섬유 센서가 운전자 졸음 감지용 센서로서의 사용가능성을 연구 하였다. 본 연구에서 제안된 플라스틱 광섬유 센서는 구부림에 의한 빛의 감소현상을 이용하는 센서로서 광섬유의 구부림이 잘 유도될 수 있도록 소프트한 물질로 덮개를 씌운 핸들에 플라스틱 광섬유가 감겨져 있는 구조(그림 1)로 저가이고, 운전자의 움직임에 의한 예측의 불확실성도 상당히 감



<그림 1> 졸음방지 플라스틱 광섬유 센서의 개략도
<Fig. 1> Schematic diagram of the plastic optical fiber sensor for anti-drowsy driving

소된 단순한 구조로 되어 있다.

2. 센서 이론

일반적으로 플라스틱 광섬유의 코어 크기가 크기 때문에 기하광학적인 분석법을 사용하여 구부림에 의한 손실의 특성을 알아보았다. 광학적으로 투명한 고분자 재료를 이용하여 만든 계단형 굴절률 분포(step-index)를 가진 플라스틱 광섬유내부를 진행하는 광선들은 광섬유를 따라 지그재그로 진행하면서 반사할 때 마다 광섬유 축을 지나서 meridional 광선과 광섬유 축을 지나지 않고 지그재그로 진행하는 skew 광선로 나누어진다. 광섬유의 구부림이 발생되었을 때 광선의 손실은 skew 광선보다는 주로 meridional 광선에서 발생한다 [9].

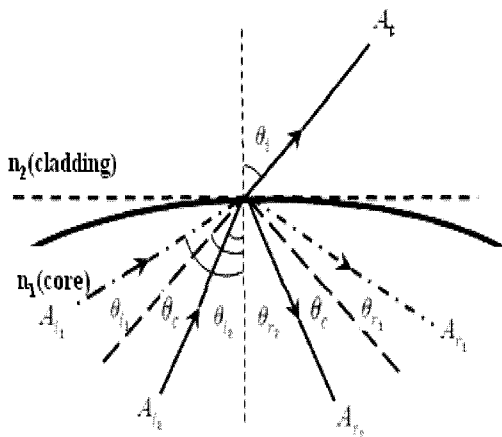
광원에서 나온 광선들이 플라스틱 광섬유에 입사하여 광섬유를 따라 전송된다. 전송되는 광선들이 광섬유의 구부러진 지점을 만나면 광선의 손실이 일어난다. 광선의 손실은 광선의 tunneling에 의한 손실과 refracting에 의한 손실로 나누어 질수 있다 [10]. Tunneling에 의한 손실은 코어(core)-클래딩(cladding) 경계면(그림 2)에 입사각(θ_i)이 전반사를 야기 시키는 임계각(θ_c) 보다 크거나 같은 광선들이 구부러진 경계면을 tunneling 함으로서 발생하는

손실로 손실 양은 refracting에 의한 손실 보다는 매우 적어 손실 양을 무시할 수 있다 [11]. 구부림에 의한 손실의 발생시키는 주요원인인 refracting 광선들은 입사각이 임계각 보다 작은 광선들이 경계면에서 투과하는 광선들 이다. 경계면에서 크래딩으로 투과되는 refracting 광선양은 Fresnel 방정식과 Snell의 법칙으로 구할 수 있다. 1에서 경계면에 입사된 광선의 광량(P_i)에 대한 코어로 반사된 광량의 비를 빼서 구할 수 있는 투과도[11]는 아래 식으로 구할 수 있다.

$$T = \frac{4 \cos \theta_i (\cos \theta_i^2 - \cos \theta_c^2)^{1/2}}{[\cos \theta_i + (\cos \theta_i^2 - \cos \theta_c^2)^{1/2}]^2} \quad (1)$$

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

여기서 n_1 은 코어의 굴절률이고, n_2 는 크래딩의 굴절률이다. 코어 영역으로 되돌아가는 광선의 광량은 $P_r = P_i(1 - T)$ 로 구해질 수 있다. 코어와 크래딩의 굴절률의 차이가 크지 않기($n_1 \cong n_2$) 때문에 식(1)의 투과율은 광선의 편파에 크게 영향을 받지 않는다[9]. 임계각 보다 큰 각으로 코어-클래딩 경계면에 입사하면서 지그재그로 광섬유를 따라 진행하던 광선들이 광섬유 구부림 영역을 지나갈 때 일부의 광선은 구부림 영역의 경계면에서 임계각보다 작아져 크래딩 영역으로 투과를 하게 되어 광 손실이 발생하게 된다. 구부림의 정도가 심해지면 질수록 임계각보다 적어지는 광선 수가 많아져 더 많은 광량의 손실이 발생하게 된다. 이런 원리를 이용하여 운전자가 졸지 않을 때, 핸들의 쥐는 힘이 강해 플라스틱 광섬유의 심한 구부림을 발생하게 되어 손실되는 광량이 많아지고, 운전자가 졸음 상태에 있을 때, 핸들의 쥐는 힘이 적어 광 손실 적어진다. 이런 사실들을 적용하여 광 손실 양을 가지고 운전자의 졸음 상태를 알 수 있다.



<그림 2> 구부러진 플라스틱 광섬유
<Fig. 2> Curved plastic optical fiber

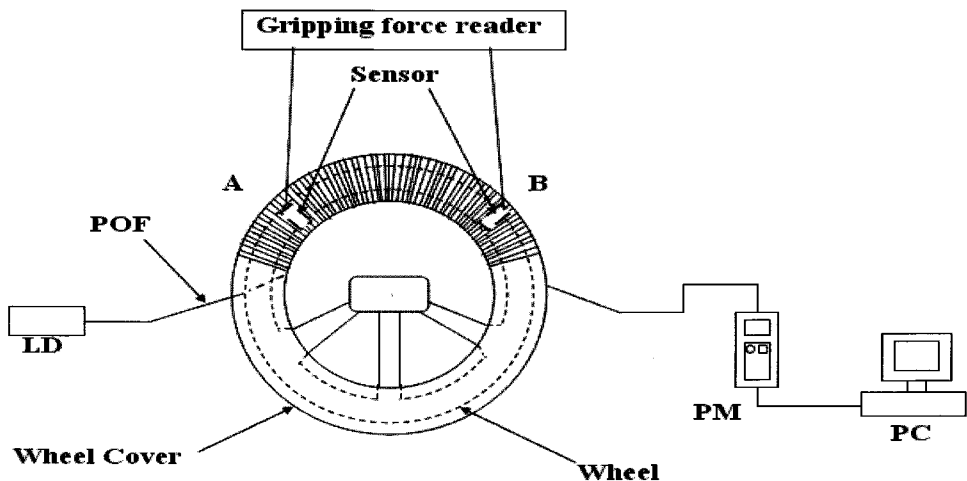
3. 실험 및 결과

졸음 방지 광섬유 센서의 사용 가능성을 알아보기 위한 실험 장치는 <그림 3>에 있다. 실험 장치(그림 3)는 소프트커버위에 플라스틱 광섬유가 감겨져 있는 자동차 핸들, 레이저(LD), 광 파워미터(PM, THORLABS PM100), 컴퓨터(PC), 힘 검출센서, 힘 측정기로 구성되어 있다. 실험에서는 플라스틱 광섬유의 구부림을 잘 발생 할 수 있도록 1 Cm 두께의 가교 폴리에틸렌으로 만들어진 핸들 커버 및 650nm 파장의 레이저(Sanyo DL3147-060)가 사용되어 졌다. 운전자의 핸들 쥐는 힘을 감지하는 센서로 핸들 일부분에 감겨져 있는 광섬유는 코어 지름이 1 mm, 크레딩의 두께가 0.02 mm, 전송 손실 0.2 dB/m인 계단형 굴절률 분포를 가진 56m 길이의 플라스틱 광섬유(TWESTECH PGR-FB1000)가 사용되어 졌다. 핸들에 인가되는 힘을 측정하기 위하여 두 개의 힘 검출 센서가 힘이 인가되는 지점 플라스틱 광섬유 밑에 설치되었고 힘 검출 센서에서 나온 데이터는 힘 측정기에서 읽혀졌다. 레이저에서 나오는 빛이 플라스틱 광섬유 내부를 진행하다가 광 파워미터에 도달한다. 핸들에 감겨져 있는 플라스틱 광섬유에 힘이 인가되면 힘이 인가된 지점에

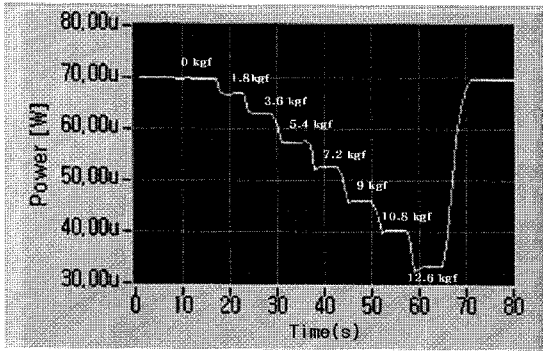
플라스틱 광섬유의 구부림이 야기되고 그로 인하여 플라스틱 광섬유 내부에 진행 되던 빛의 손실이 발생하여 광파워미터에 도달하는 빛의 양이 적어진다. 핸들에 인가되는 힘의 크기가 크면 클수록 광 파워 메타에 도달하는 빛의 양은 작아진다. 광 파워미터에 도달한 빛의 양은 광 파워미터에 연결된 PC 에서 그 값을 수집하여 모니터에 나타낸다.

특성실험을 수행하기 이전에 먼저 플라스틱 광섬유에 의해 광 파워미터에 전달되는 광량을 측정하였다. 광섬유를 핸들에 감기 전에 측정된 광량은 120 uW 였고 핸들에 감고 난 후에 측정된 광량은 70 uW 였다. 이는 플라스틱 광섬유를 핸들에 팽팽하게 감음으로써 구부림이 발생 하였고 이로 인하여 광 손실이 발생한 것이다. <그림 4>는 A지점에 약 5초 간격으로 핸들에 인가되는 힘을 변화 시키면서 측정된 광량의 변화를 보여주는 컴퓨터에 나타난 광량변화 신호이다. 이때 사용된 소프트웨어는 LabView로 작성된 THORLABS에서 제공된 소프트웨어 이다. <그림 4>가 인가하는 힘이 증가하면 광량이 감소함을 보여 주고 있고, 핸들에 인가된 힘을 제거하였을 때 빠른 시간 안에 초기 값으로 복귀됨도 보여 주고 있다.

<그림 5>는 핸들에 인가한 힘의 크기를 변화 시

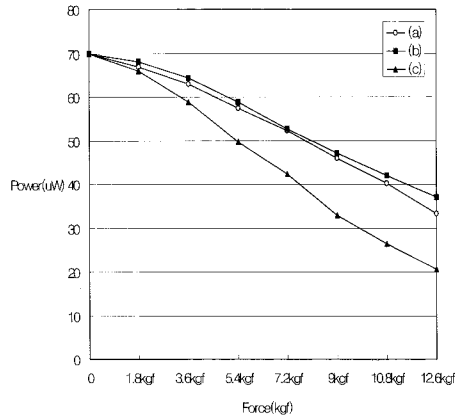


<그림 3> 실험장치
<Fig. 3> Experimental setup

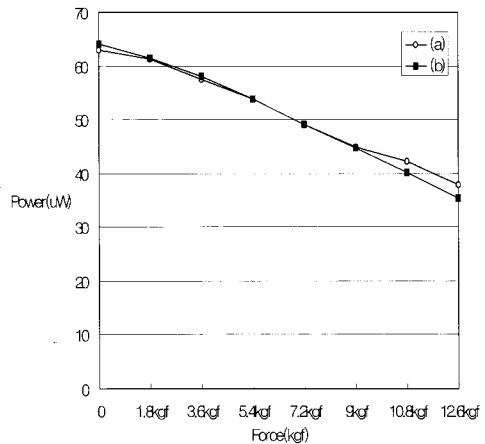


<그림 4> 인가되는 힘에 따른 광량변화 신호
 <Fig. 4> Signal of the optical power variations induced by the applied gripping force

키면서 측정된 광량 그래프이다. 측정된 광량은 약 5초 동안 검출된 광량을 산술적 평균을 행한 광량이다. 그림에서 (a)는 A 지점에만 핸들에 인가된 힘의 변화를 주면서 측정된 광량이고, 그림에서 (b)는 B 지점에만 핸들에 인가된 힘의 변화를 주면서 측정된 광량이며, 그림에서 (c)는 A와 B 지점에 동일한 힘을 인가하였을 때 측정된 광량 변화 그래프이다. <그림 5>는 인가되는 힘의 크기가 증가 할수록 측정된 광량은 작아짐을 보여주고 있다. 그리고 A 지점에만 힘을 인가했을 때와 B 지점에만 힘을 인가했을 때 광량의 변화량의 비슷한 경향을 보이고 있으나 B 지점에만 힘을 인가했을 때의 손실 광량이 A 지점에만 힘을 인가했을 때 보다 광량 손실이 적게 나타남을 알려주고 있다. 이는 플라스틱 광섬유가 원래 전송 손실이 큰 매질로 힘이 인가되지 않았을 때 A 지점에 통과하는 빛과 B 지점에 통과하는 광량보다 크기 때문에 A 지점에 동일한 힘을 인가했을 때 광량의 손실이 조금 크게 나타났다. 그림에서 (c)는 A 지점과 B 지점 동시에 동일한 힘을 인가하였을 때는 원래 A 지점과 B 지점에 각각 힘을 인가하였을 때의 손실된 양의 산술적인 합보다 적게 나타남을 보여 주고 있다. 이는 B 지점을 지나가는 광량이 A 지점에 힘을 인가하지 않았을 때 보다 A 지점에서 발생된 광량 손실만큼 적어지기 때문에 동일한 힘이 인가되더라도 B 지점에서의 광량 손실이 적어지기 때문이다.



<그림 5> 핸들에 인가된 힘에 대한 광량
 <Fig. 5> Optical power as a function of the gripping force applied on a wheel.



<그림 6> 한 지점에 일정한 힘을 인가했을 때 다른 지점에 인가된 힘에 의한 광량 변화
 <Fig. 6> Optical power as a function of the gripping force applied to other point when a constant force is applied to a point

<그림 6>은 한 지점에 일정한 힘(3.6kgf)을 핸들에 인가한 후 다른 지점의 인가된 힘에 변화를 주면서 측정된 광량 그래프이다. 측정된 광량은 약 5초 동안 검출된 광량을 산술적 평균을 행한 광량이다. 그림에서 (a)는 A 지점을 일정한 힘으로 고정시

킨 후 B지점에서 힘을 변화 시켜 측정된 광량, (b)는 B지점을 일정한 힘으로 고정시킨 후 A지점에서 힘을 변화 시켜 측정된 광량을 나타낸 것이다. 그림에서 두 그래프는 비슷한 경향을 보이고 있으며 한 지점에 일정한 힘을 인가한 후 다른 지점에서 인가되는 힘이 증가할수록 측정된 광량이 적어짐을 알 수 있다. 그리고 위의 실험 결과와 마찬가지로 B지점에 힘의 변화를 주었을 때 A 지점의 힘의 변화를 주었을 때 보다 더 적은 손실이 나타남을 보여주고 있다. 이 역시 플라스틱 광섬유의 전송 손실에 비해 B 지점에 통과하는 광량이 A 지점을 통과하는 광량보다 적기 때문에 같은 힘이 인가되더라도 손실이 적게 나타난 것이다. 위의 실험 결과들이 운전자가 핸들에 인가하는 힘에 비례하여 광량 손실이 많이 발생하기 때문에 광량 손실로부터 운전자의 핸들 쥐는 힘을 예측할 수 있었다. 일반적으로 운전자가 졸 때 핸들에 인가하는 쥐는 힘이 적어지기 때문에 측정된 광량손실로부터 운전자의 졸음 여부를 판단할 수 있을 것으로 생각된다. 전송손실이 적은 광섬유를 센서로 사용할 경우 보다 더 특성이 좋은 센서를 개발할 수 있을 것으로 예측된다.

4. 결론 및 고찰

자동차 무게를 줄이는데 일조 할 수 있는 플라스틱 광섬유 센서가 운전자 졸음 감지용 센서로서의 사용가능성이 연구되어졌다. 본 연구에서 제안된 플라스틱 광섬유 센서는 구부림에 의한 빛의 감소 현상을 이용하는 센서로서 광섬유의 구부림이 잘 유도될 수 있도록 소프트한 물질로 덮개를 씌운 핸들에 플라스틱 광섬유가 감겨져 있는 구조로 저가이고, 운전자의 움직임에 의한 예측의 불확실성도 상당히 감소된 단순한 구조로 되어 있다. 플라스틱 광섬유 센서의 출력 광량은 운전자가 핸들에 인가하는 힘이 크면 클수록 적었으며 검출된 광량 손실로부터 운전자가 핸들에 쥐는 힘을 예측 할 수 있었다. 일반적으로 운전자가 졸 때 핸들에 인가하는 쥐는 힘이 적어지기 때문에 측정된 광량손실로부터 운전자의 졸음 여부를 판단할 수 있을 것으로 생각

된다. 전송손실이 적은 광섬유를 센서로 사용할 경우 보다 더 특성이 좋은 센서를 개발할 수 있을 것으로 예측된다.

참고문헌

- [1] M. Bartlett, G. Littlewort, M. Frank, C. Lainscsek, I. Fasel, and J. Movellan, "Automatic recognition of facial actions in spontaneous expressions," *J. Multimedia*, vol. 1, no. 6, pp. 22-35, Jan. 2006.
- [2] Q. Ji, Z. Zhu, and P. Lan, "Real-time nonintrusive monitoring and prediction of driver fatigue," *IEEE Trans. Vehicle Technol.*, vol. 53, no. 4, pp. 1052-1068, July 2004.
- [3] Y. Koike, T. Ishigure, and E. Nihei, "High-bandwidth graded-index polymer optical fiber," *IEEE J. Lightwave Technol.*, vol. 13, no. 7, pp. 1475-1489, July 1995.
- [4] K. Kuang, S. Quek, and M. Maalej, "Remote flood monitoring system based on plastic optical fibres," *Sens. Actuators A*, vol. 147, pp. 449-455, Oct. 2008.
- [5] M. Leiner, "Optical sensors for in vitro blood gas analysis," *Sens. Actuators B*, vol. 29, pp. 169-173, Oct. 1995.
- [6] E. Mendez, R. Laguna, J. Lucio, D. Cruz, R. Lessard, and J. Cervantes, "Design and characterization of PH sensor based on sol-gel silica layer on plastic optical fiber," *Sens. Actuators B*, vol. 106, pp. 518-522, May 2005.
- [7] C. Chu and Y. Lo, "A plastic optical fiber sensor for the dual sensing of temperature and oxygen," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 20, no. 1, pp. 63-65, Jan. 2008.
- [8] M. Linec and D. Donlagic, "A plastic optical fiber microbend sensor used as a low-cost anti-squeeze detector," *IEEE Sensors J.*, vol. 7, no. 9, pp. 1262-1267, Sept. 2007.
- [9] J. Arrue and J. Zubia, "Analysis of the decreases

in attenuation achieved by properly bending plastic optical fibres," *IEE Proc. Optoelectron.*, vol. 143, no. 2, pp. 135-138, Apr. 1996.

[10] J. Love and C. Winkler, "Refracting leaky rays in graded-index fibers," *App. Opt.*, vol. 17, no. 14,

pp. 2205-2208, July 1978.

[11] J. Arrue, J. Zubia, G. Fuster, and D. Kalymnios, "Light power behaviour when bending plastic optical fibres," *IEE Proc. Optoelectron.*, vol. 145, no. 6, pp. 313-318, Dec. 1998.

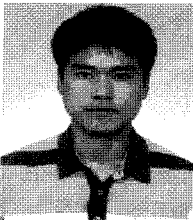
저자소개



엄 원 대 (Eom, Wondaе)

2008년 2월 : 계명대학교 기계자동차 공학부(공학사)

2008년 3월~현재: 계명대학교 지능형자동차 대학원(석사과정)



여 상 두 (Yeo, Sang-Du)

2007년 2월 : 계명대학교 전자공학과(공학사)

2007년 3월~현재 : 계명대학교 일반대학원 전자공학과(석사과정)



박 재 희 (Park, Jaehee)

1984년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)

1992년 8월: Texas A&M 전기공학과(공학석사)

1995년 8월: Texas A&M 전기공학과(공학박사)

1984년 3월~1990년 3월: 국방과학연구소(연구원)

1995년 10월~1997년 2월: 삼성전자주식회사(부장)

1997년 2월~현재: 계명대학교 전자공학과(부교수)