

논문 2011-48SC-2-4

광도파관 외부산란광을 이용한 우적감지 센서 (Rain Sensor using Scattered Light Outside Waveguide)

최 규 남*

(Kyoo Nam Choi)

요 약

차량의 윈드실드 유리 외면에서의 빗방울에 의한 산란광을 수신하여 빗방울 존재 유무를 판별하는 우적감지 센서를 제안한다. 기존의 윈드실드 유리를 광도파관으로 이용하는 우적감지 센서는 신호광을 윈드실드 유리 내부로 주입하기 위하여 정밀한 광학계를 필요로 하며 외부 진동이나 충격에 의해 광결합률에 영향을 주어 오작동되는 경우가 있었다. 제안하는 광도파관 외부에 존재하는 빗방울에 의한 산란광을 이용하는 우적감지 센서는 광도파관 내부에 신호광을 주입할 필요가 없으므로 별도의 광학계가 필요 없으며 외부 충격이나 진동의 영향을 받지 않는 장점이 있다. 스프레이어를 이용한 가상강우 환경에서, 제작된 광도파관 외부 산란광을 이용한 우적감지 센서에 대한 실험결과는 빗방울뿐만 아니라 안개와 같은 미세한 입자에도 반응하여 차량용 우적감지 센서로 이용할 수 있는 가능성을 보여주었다.

Abstract

Rain sensor detecting the presence of rain outside windshield glass of automobile by receiving scattered light from rain drops is proposed. Rain sensor using windshield glass as light waveguide required precision optical apparatus to inject light signal into windshield glass, and it was susceptible to outside shock and vibration, resulting malfunction, which altered optical coupling ratio. Proposed rain sensor, which detected scattered light from rain drops outside optical waveguide, did not require optical components because it did not need to inject light signal into light waveguide. This was advantageous because the sensor was less effected by shock and vibration. Fabricated rain sensor using scattered light outside waveguide responded not only to rain drops but also mist particles under simulated rain conditions using spraying nozzle, thus it showed prospects as rain sensor for automobile application.

Keywords : 빗방울 감지, 우적감지, 산란광 감지, 레인센서

I. 서 론

자동차의 고급사양화가 보편화함에 따라 필연적으로 선택사양으로 취부 되는 부품이 기본사양으로 채택되는 비중이 증가하고 있다. 자동차의 부품은 원천특허 기술로 보호되고 있으며 특히 전장 관련 부분에 많으므로 이에 대한 원천기술 확보가 관건이

되고 있으며 레인센서가 이러한 원천기술 중의 하나이다. 종래에는 강우시 운전자가 수동으로 강우의 강약 정도를 육안으로 판단하여 와이퍼 작동속도를 결정하는 방법을 사용하였다. 레인센서는 강우시 강우량의 다소에 비례하여 자동차 전면유리를 닦는 와이퍼의 속도를 자동으로 조절하여 운전자가 운전 중 와이퍼 작동을 위해 주의를 산만하게 되는 것을 방지하는 편의장치이다. 와이퍼의 속도제어는 저속 및 고속의 2가지만 가능하면 되나 운전자의 성향에 따라 저속과 고속을 판단하는 기준이 달라지므로 4~5 단계의 감도조절 기능이 필요하게 된다. 따라서 우적감지 센서는 이러한 작동감도 관련 단계를 구분할

* 정회원, 인천대학교 정보통신공학과
(Dept. of Information and Telecommunication Engineering, University of Incheon)

※ 본 과제(결과물)는 교육과학기술부 지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구 결과물입니다.

접수일자: 2010년10월22일, 수정완료일: 2011년3월8일

수 있어야 한다. 이러한 강우량을 자동으로 인식하는 종래의 방법은 유리의 표면에 형성된 투명전도체 간의 정전용량이 변화하는 것을 감지^[1]하는 방식이나 유리창에 낙하한 빗방울에 의한 반사광을 수신하여 빗방울 량을 감지하는 방식^[2]이 사용되었다. 이러한 방법은 간단하나 주변광의 영향을 많이 받아 정밀도가 떨어지는 단점이 있었다. 현재 가장 보편적으로 사용되는 유리창 내부를 광도파로로 이용하는 방식은 빗방울이 전면 유리창 위에 낙하했을 때 내부 도파로로 도파되는 광이 외부의 빗방울의 영향으로 외부로 새어나오게 되어 결과적으로 광수신 장치에 도착되는 광량이 줄어들게 되므로 이러한 변화량을 측정하는 방식이다^[3]. 그러나 이 방식은 입사광을 유리판 사이로 주입할 때 광결합기를 필요로 하고 광학계가 복잡하며 설치가 까다로운 단점이 있었다. 본 논문에서는 이러한 입사광을 자동차의 전면 유리창 사이로 도파시키는데 필요한 프리즘결합을 위한 광학계를 필요로 하지 않으면서 유리창 외부표면에서의 빗방울에 의한 반사광을 효율적으로 이용하여 간단히 구현이 가능하면서 필요한 고감도를 얻을 수 있는 방법을 제안한다. 논문의 구성은 II장 본론 중 1절에서는 우적센서와 내부반사광에 대하여, 2절에서는 광도파관 외부산란광 이용 우적센서에 대하여 언급하였고, III장에서는 실험결과에 대하여 논하였고 IV장에서 결론을 제시하였다.

II. 본 론

1. 우적센서와 내부반사광

광도파관을 이용한 우적 광센서는 광을 매체로 사용하므로 전기적 절연체인 차량 전면유리의 한계를 뛰어 넘어 광신호를 전달할 수 있으므로 보편적으로 사용된다. 그림 1과 같이 현재 사용되는 전면 유리창을 내부 광도파로로 사용하는 구조는 신호광을 유리창 내부로 입사시키기 위해서는 프리즘이 필요하며 특정 입사각들에서만 유리창 내부로 도파되게 된다. 반대로 유리창 내부에 도파되는 광을 외부로 꺼내기 위해서는 역시 프리즘을 사용하여야 한다. 이 경우 프리즘과 유리창 사이에 공극이 존재하지 않아야 하므로 이를 만족시킬 수 있는 접착제가 필요하게 된다. 이 구조를 차량에 장착 시 차량 운행 중의 진동으로 프리즘이 움직이게 되면 도파로로 결합되는 비율에 변화가 발생되고 이는 오동작으로 연결된다. 또한 자동차가 터널에서 빠져 나올

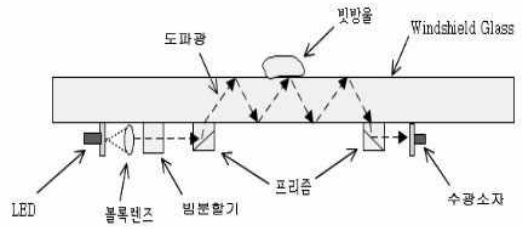


그림 1. 프리즘 결합방식 레인센서
Fig. 1. Rain sensor using prism coupling method.

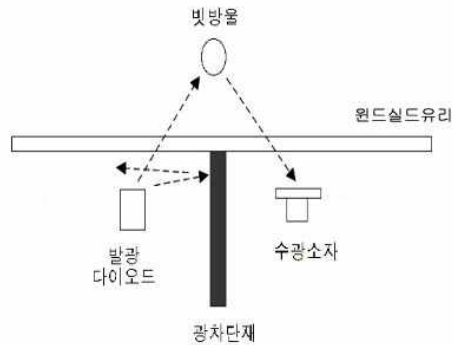


그림 2. 빗방울에 의한 광반사
Fig. 2. Light reflection by rain drops.

때 같이 강력한 외부 태양광이 유리창에 갑자기 조사되는 경우에는 유리창 내부의 산란으로 인하여 광잡음 성분이 증가하게 되고 이는 역시 오동작으로 연결되게 된다. 전체적으로 이러한 구조는 복잡한 광학계를 필요로 하고 세밀하고 완벽한 장착 방법이 요구 된다.

그림 1과 같은 프리즘 결합방식에서 광학계를 제거하면 그림 2와 같이 광원에서 발광되는 신호광이 빗방울에 반사되는 반사광을 수광소자가 수신하는 기본 반사구조를 갖게 된다. 이러한 기본 구조에서는 빗방울이 존재하지 않으면 광원에서 발산되는 광속이 수광소자와의 사이에 광차단체가 있으므로 직접적으로 수광소자에 전달 될 수 없게 된다.

그러나 그림 2와 같은 구조에서는 편광이 아닌 경우에는 약 96%의 입사광은 투과되지만 약 4%의 전면유리창 내부반사광이 존재하게 된다. 이 4%의 내부반사광은 수광소자에 오동작 신호로 작용하기에 충분한 강도이므로 이를 감소시키는 방법이 필요하다. 한편 빗방울에서는 약 2% 만이 반사되므로 이를 수신하기 위해서는 상응하는 수신기 감도가 필요하다. 빗방울은 자동차 전면유리창에 부착되어 있는 경우도 있지만 효율적인 경우에는 전면유리창에 도착하기 전에 신호광이 빗방울에 반사되어 수신되지

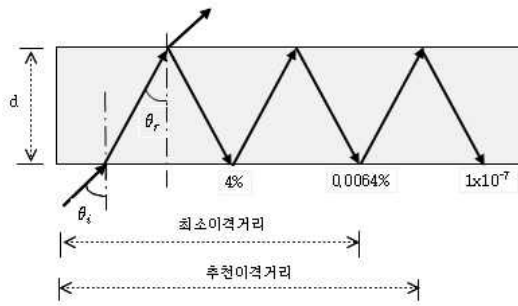


그림 3. 자동차 전면 유리창 내부 광반사
Fig. 3. Internal reflection in automobile windshield glass.

만 거리가 멀리 떨어져 있으므로 약한 신호가 수신 되게 된다. 따라서 그림 3과 같이 다수의 내부 반사를 거친 후에 충분히 신호가 약해진 후에 수광소자에 도달하게 하여 오동작 되지 않도록 하는 것이 필요 하다.

2. 광도파관 외부산란광 이용 우적센서

가장 보편적인 방식은 그림 2의 광차단재의 폭을 넓혀 전면유리창 내부 반사광에 의한 영향을 최소화 하는 방식이다. 그림 4에 이러한 차단재의 폭을 넓힌 센서 구조를 나타내고 있다. 광원에서 송출되는 광은 광차단재로 인하여 직접적으로 수광소자에 도달할 수 없고 전면 유리창 내부 반사광도 여러 번 내부 반사를 거듭하므로 충분히 감쇄되어 수광소자에 도착하였을 때는 영향을 미치지 않게 된다. 광원과 광차단재 사이의 거리와 높이에 의하여 결정되는 외부입사각 θ 에 따라 수광소자에 1×10^{-7} 레벨까지 감쇄되도록 하는 광원과 수광소자의 이격거리에 관한 계산결과를 표 1에 나타내었다.

즉 Windshield Glass 내 광도파 조건은 내부반사각이 41.8도 이상이면 외부로 광이 새어나가지 않고 유리판 내부를 따라 전파된다. 따라서 내부반사각이 41.8도

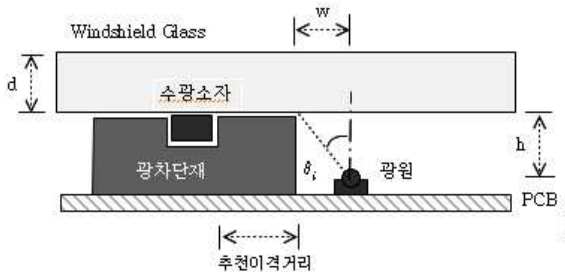


그림 4. 외부 광도파로 방식 레인센서
Fig. 4. External waveguide rain sensor.

표 1. 외부 입사각과 이격거리와의 관계

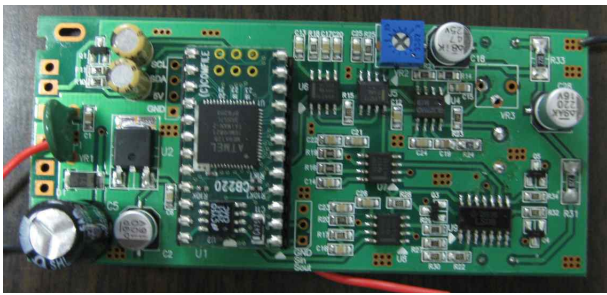
Table 1. Relation between incident angle and separation distance.

번호	θ_i 외부 입사각	θ_r 내부 반사각	최소이격거리(l)	반사광 전력(P_r)	이격거리
1	90°	41.8°	3.56d	$1 \times 10^{-7} P_i$	27mm
2	48.6°	30°	2.32d	"	18mm
3	32.3°	20.9°	1.53d	"	12mm
4	22.8°	15°	1.07d	"	8mm
5	10°	6.7°	0.47d	"	4mm

이내가 되는 외부 입사각에 대한 반사광의 영향을 최소로 하는 구조를 갖아야 한다. 위의 표에서 d 는 Windshield Glass의 두께를 나타내며 추천이격거리에서는 $d = 1/4 \text{''} = 6\text{mm}$ 로 계산한 거리이다. 반사광전력 P_r 은 3차 반사파를 피하고 5차 반사파부터 수신하는 것으로 기준으로 하였다. 위 표 1에서 외부입사각이 커지면 센서 전체 크기가 길어지며 빗방울에 의한 반사도 수신하기 어렵게 될 수 있으며, 외부입사각이 작아지면, 즉 광차단재와 발광소자가 근접하게 되면, 센서의 길이가 줄어들게 되어 빗방울에 의한 반사광을 수신하기 용이하게 된다. 광차단재는 광원에서 방사되는 신호광이 직접적으로 수광소자에 수신되는 것을 막아주어야 하므로 검정색의 치밀한 밀도를 갖는 재질을 사용하여야 한다.

III. 실험

자동차의 전면유리창을 외부도파로로 이용하고 외부도파로에 존재하는 빗방울에 의한 반사광을 감지하는 레인센서 테스트 보드를 그림 5와 같이 제작하였다. 테스트 보드는 전원전압에 대한 보상기능, 와이퍼 위치 인식기능, 워셔펌프 작동 인식 기능을 제어부 내 마이크로프로세서에 프로그램 하였다. 아래 그림 5에서 상부는 센서의 송수신부와 제어부가 일체화 된 인쇄회로기판을 보이고, 하부는 전면부의 광학계를 나타내고 있다. 발광소자로부터 방사되는 적외선은 빗방울에서 반사된 후 되돌아온 광을 수신하여 그 광량에 의해 유기된 신호전압을 신호처리하여 와이퍼 제어신호를 발생시켰다. 이때 수광소자에 그림 6과 같은 협대역 적외선 필터를 사용하여 외부광의 영향이 최소화 되도록 하였다. 적외선 필터는 TiO_2 박막을 다층으로 적층시켜 45nm 파장 통과대역폭에 해당하는 협대역을 구현하였다. 또한 디지털 송신신호를 고주파로 광변조 시켜 수신시 신호처리

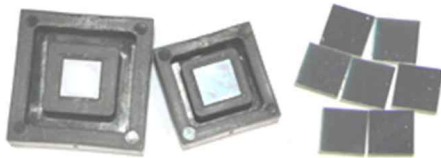


(a)

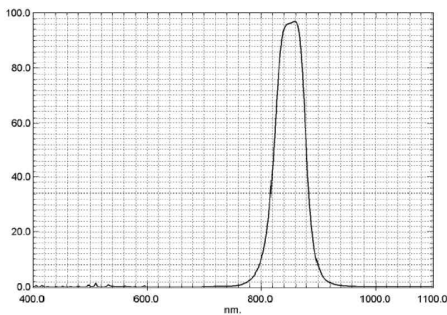


(b)

그림 5. 레인센서 외형; (a) 후면부, (b) 전면부
Fig. 5. Fabricated rain sensor.
(a) back view, (b) front view



(a)



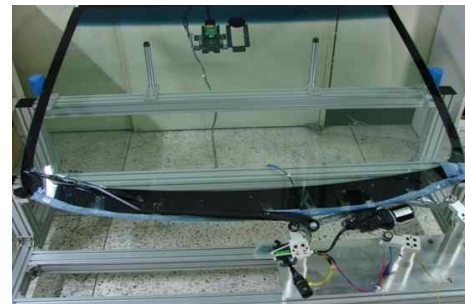
(b)

그림 6. 협대역 광학필터; (a) 외관, (b) 특성
Fig. 6. Narrow band optical filter.
(a) shape, (b) characteristics

방식을 사용하여 신호대잡음비를 30dB로 높여 태양광과 같은 주변 잡음의 영향을 최소화하였다. 시뮬레이션 결과는 AM1.5 환경의 태양광에 대해서는 1/4에 해당하는 강도까지는 영향을 받지 않는 것으로 계산되었다. 실제 센서를 장착할 경우에는 태양광에 대하여 비스듬히 장착하여 직사광선의 1/4 이하만이 센서에 조사되도록 하였다.

레인센서를 시험하기 위한 테스트지그를 그림 7에 보이고 있다. 테스트 지그는 안개와 같은 경우에 사용하는 최고 감도를 시험하는 미세반응용 지그와, 일반 강우 환경에 대한 시험을 실내에서 하는 강우환경용 지그, 실제 옥외 환경을 시뮬레이션 하는 옥외반응용 지그로 나누어 시험하였다. 시험은 테스트 지그 유리 안쪽에 장착된 레인센서에 유리 반대편에서 여러 가지 강우조건을 시뮬레이션 할 수 있도록 여러 가지 형태의 노즐에서 물을 분사시킬 수 있도록 하였다.

아래 그림 8에 우적감지 센서의 광송신기에서 전송되는 파형을 나타내었다. 감지범위를 넓히기 위하여 2개의 발광소자에서 방출되는 신호광이 교대로 방사되도록



(a)



(b)



(c)

그림 7. 레인센서 테스트 지그; (a) 미세반응용 지그, (b) 강우환경용 지그, (c) 옥외반응용 지그
Fig. 7. Test jig of rain sensor; (a) for mist test, (b) for rain test, (c) for outdoor test.

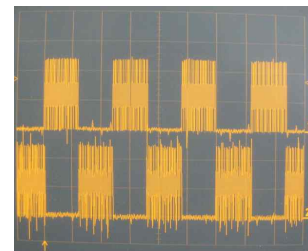


그림 8. 우적감지 광송신기의 송신출력 파형
Fig. 8. Signal waveform from optical transmitter of rain sensor.

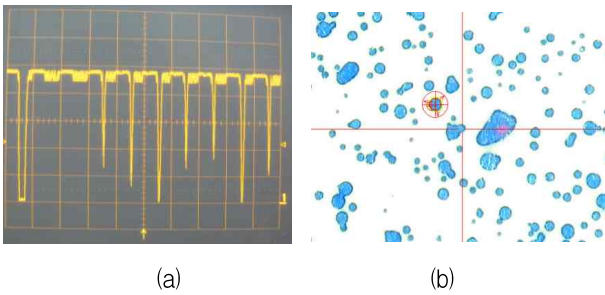


그림 9. 레인센서 아날로그 신호출력; (a) 신호처리전 출력 신호, (b) 전면유리 위의 우적패턴

Fig. 9. Analog signal output from rain sensor; (a) Output signal before signal processing, (b) Corresponding rain drop pattern on windshield glass.

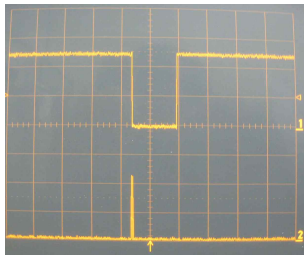


그림 10. 레인센서 디지털 신호출력
Fig. 10. Digital signal output from rain sensor.

록 하였다. 그림에서 상부 파형은 채널 1에서 방사되는 신호 파형이고 아래 파형은 채널 2에서 방사되는 신호 파형이다. 송신되는 신호주파수는 자유 낙하하는 빗방울을 감지할 수 있도록 충분한 속도를 갖게 하였다.

그림 8에 나타난 광송신 신호가 주변에 방사 되었을 때 감지되는 아날로그 입력 신호파형을 조사하였다. 그림 9(b)에 자동차 전면유리창에 낙하된 우적 패턴과 그림 9(a)에 신호처리 되기 전의 광수신기에서 수신된 아날로그 신호를 각각 나타내었다.

수신된 아날로그 신호는 디지털이저를 거쳐 아래 그림 10의 하부 파형과 같이 나타난다. 빗방울은 순간적으로 낙하하므로 짧은 순간만 감지되므로 그림 10의 상부 파형과 같이 펄스 확장기법을 사용하여 신호대 잡음비를 향상시키는 방법을 사용하였다.

자동차 전면유리창에 낙하되는 우적의 강도에 따라 전면유리창의 와이퍼 작동속도가 달라지게 된다. 이러한 상태를 시뮬레이션 하기 위하여 안개비는 400cc/min, 보통비는 900cc/min 의 속도로 물을 분사하였다. 아래 그림 11 (a)에서는 400cc/min 속도의 인공 강우에 대한 디지털 신호출력을 나타내었고, 그림 11 (b)에서는 900cc/min 속도의 인공 강우에 대한 디지털 신호출력을

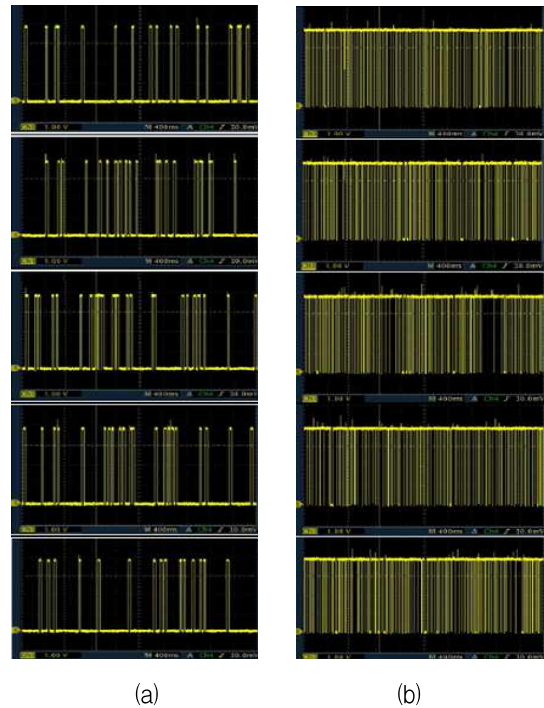


그림 11. 레인센서 디지털 신호출력;
(a) 안개비 신호출력, (b) 보통비 신호출력
Fig. 11. Digital signal output from rain sensor.
(a) Output signal with mist,
(b) Output signal with normal rain



그림 12. 제작된 우적감지센서
Fig. 12. Fabricated rain sensor.

나타내었다. 400cc/min 속도의 인공 강우에 대해서는 와이퍼를 분당 45회 작동하는 저속모드로 하였고, 900cc/min 속도의 인공 강우에 대해서는 와이퍼를 분당 70회 작동하는 고속모드로 설정하였다.

플라스틱으로 성형된 케이스 안에 내장된 광도파관 외부산란광을 이용한 우적감지센서의 프로토타입 형태를 그림 12에 나타내었다.

IV. 결 론

자동차 전면유리창의 외면을 외부광도파관으로 사용하는 외부 빗방울에 의한 산란광을 수신하여 빗방울의 다소를 판단하는 우적감지 광센서를 시험하였다. 출력신호에 디지털 신호처리 방식을 적용하고 빗방울의 크기와 비가

오는 시간을 동시에 판단할 수 있는 코드 분할 알고리즘을 적용하여 강우량에 비례하는 선형 특성으로 최적화된 와이퍼 작동을 얻을 수 있었다. 고주파로 광변조된 신호와 외부 협대역 광필터를 사용하여 외부광 및 주변 태양광의 영향을 받지 않고 빗방울을 감지하며 우적의 크기를 판별할 수 있음을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] "Capacitive humidity and rain light solar sensor," PLE6 Sensors for Driver Assistance Systems, Hella KGaA Hueck & Co., pp.1, May 2008.
- [2] N. Bendicks, "Moisture sensor" United States Patent, 5323637, June 1994.
- [3] G. Muller, "Windshield wiper system with rain detector" United States Patent, 5015931, May 1991.
- [4] H. C. van de Hulst, "Light scattering by small particles," New York, Academic, 1981.
- [5] J. A. Stratton, "Electromagnetic theory," New York: Mc-Graw Hill., 1941.
- [6] P. W. Barber and S. C. Hill, "Light scattering by particles; computational methods," Singapore; Teaneck, N.J. World Scientific, pp.261, 1990.
- [7] C. F. Bohren and D. R. Huffman, "Absorption and scattering of light by small particles," New York; Wiley, Vol.38, pp.530, 1998.
- [8] M. I. Mishchenko et al, "Light scattering by nonspherical particles; theory, measurements, and applications," San Diego; Academic Press, pp.690, 2000.

저 자 소 개



최 규 남(정회원)

1976년 서울대학교 공학사 졸업,
1989년 Texas A&M University
전자공학과 석사 졸업.

1992년 Texas A&M University
전자공학과 박사 졸업.

1992년~1994년 LG전자기술원
연구실장

2000년~2002년 미국 CEMDAS연구소 연구원

1994년~2009년 인천전문대학 교수

2010년~현재 인천대학교 정보통신공학과 교수

<주관심분야 : 센서, 광섬유레이저, 광전자기기>