

광산란을 이용한 우적 감지방식

중신회원 최 규 남*

Raindrop Detection Method using Light Scattering

Kyoo Nam Choi* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 빗방울과 같은 큰 물 입자나 안개와 같은 작은 수분 입자를 향하여 광을 방사하여 이들로부터 난반사 되는 반사광을 효율적으로 수신하여 물 또는 수분 입자의 양을 추정 할 수 있는 방법에 대하여 제안한다. 기존의 직접 반사방식 및 광도파로 방식 빗방울 감지 센서는 빗방울이 유리 표면에 접촉했을 때만 감지할 수 있으며 방사광을 빔 형태로 집속시켜주는 광학계와 반사 또는 도파된 광을 다시 수광소자에 집속시켜주는 광학계가 필요하여 구조가 복잡하여지나, 광원으로 부터의 광속이 대부분 수광소자로 전달되고 빗방울에 의하여 누설되는 광속만이 손실에 기여하므로 상대적으로 수신부가 간단하게 되는 장점이 있었다. 제안하는 광산란 반사 방식 우적 센서는 방사광을 특정 주파수로 변조하여 주변광의 영향을 최소화 하였으며 광 송출시 강력한 시분할 펄스구동방식을 사용하여 수신되는 광신호의 신호 대 잡음비를 보상하는 방법을 사용하였다. 시작된 광산란 방식 우적센서는 효율적으로 우적을 감지할 수 있음을 보여주었다.

Key Words : sensor; rain sensor, windshield sensor, wiper sensor, optoelectronic sensor.

ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient way of monitoring the amount of raindrop or mist by detecting the scattered light from the water particle of rain or mist. A conventional raindrop monitoring method such as directly detecting reflected light by raindrop or transmitted light through optical waveguide required the complex geometrical optics to collimate or focus the light beam. And it sensed only when raindrop is in contact with glass surface, while it had inherent high sensitivity because most light power from source was delivered to the photo-detector. The proposed raindrop detection method utilizing light scattering was insensitive to ambient light by adapting modulation using high frequency, and it compensated SNR by driving light source with high current using time division scheme. The fabricated, raindrop detection system using light scattering scheme showed particularly advantageous in detection of raindrop or mist even before those contact with glass surface.

I. 서 론

빗방울과 같은 큰 입자나 안개와 같은 작은 수분 입자를 감지하는 우적센서는 특히 자동차 산업 분야에서 중요한 응용분야를 찾고 있다. 우적 감지를 위하여 여러 가지 방식이 제안되고 있지만 광전자 방식을 제외한 다른 전자식 방법은 간단하지만 크

거나 작은 물입자의 다소에 비례하는 전기적 출력을 얻는데 못 미치는 신뢰성으로 보편적이지 않으며 현재 대부분의 자동차에는 광전자 방식이 사용되고 있다.

빗방울에 의하여 직접 반사되는 광량을 측정하는 방식^[1]은 광원으로부터 방사되는 광을 집속하여 유리 표면의 특정 부분에 조사하므로 그 부분에 빗방

* 본 연구는 인천전문대학 교내 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

* 인천전문대학 정보통신과 (knchoi@icc.ac.kr)

논문번호 : 09005-0117, 접수일자 : 2009년 1월 17일

율이 낮아지면 반사되는 광량에 변화가 일어나 광 수신부에서 이를 감지한다. 광원으로부터 방사되는 대부분의 광속이 광 수신부에 전달되도록 복잡한 기하광학계를 필요로 하므로 좋은 수신감도를 얻을 수 있으나 상대적으로 빔방울을 감지할 수 있는 감지면적이 특정 1 점에 국한되어 줄어들게 된다.

다른 방법으로 광원으로부터 방사되는 광을 집속하여 특정 두께의 유리판에 비스듬히 입사시키면 특정 각도 범위 내에서는 광도파로가 유리판 사이에 형성되어 광이 전파되게 된다. 이때 빔방울이 유리판 위에 낙하하게 되면 광도파로 내 광도와 조건이 깨지므로 빛이 외부로 새어 나가게 되므로 광수신부에 전달되는 광량에 변화가 일어나고 이를 빔방울의 다소로 인식하는 변수로 사용하게 된다. 이 방식^[2] 역시 광을 집속시키기 위하여 복잡한 기하광학계를 필요로 하며 대부분의 광속이 광수신부에 전달되므로 좋은 수신감도를 얻을 수 있다. 특히 광도파로의 길이를 길게 하면 빔방울 감지 길이가 선형으로 길어질 수 있으므로 전자에 비하여 더 효율적이라 할 수 있다.

본 논문에서 제시하는 방식은 광원으로부터 방사되는 광속을 집속시키지 않고 넓은 면적에 방사 시키므로 복잡한 광학계를 필요로 하지 않는 장점이 있으며 보다 넓은 2차원 평면에서 빔방울을 인식할 수 있는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 2장에서는 광산란 방식 우적 감지 방법에 대하여, 3장에서는 광산란 방식 우적 감지 시스템에 대한 실험에 대하여 기술하고, 끝으로 4장에서 결론으로 맺는다.

II. 광산란 방식 우적 감지

입자에 의한 광산란 현상은 입자의 크기가 입사광의 파장보다 현저히 작은지 또는 크기에 따라 해석이 달라진다. 아래 식 (1)에서 입자의 크기가 파장보다 훨씬 작은 $x \ll \lambda$ 인 경우에는 Rayleigh 산란^[3]으로 정의되고 입자의 크기가 불균일한 경우에는 Rayleigh-Gans와 같은 이론^[4]으로 해석된다. 아래 식에서 r 은 물방울 입자의 반경을 의미한다. 입사광이 입자에 부딪치면 여러 방향으로 빛은 산란되게 되는데 산란되는 빛의 강도는 입사광의 분극 정도에 영향을 받으며 분극 정도는 입자의 분자 무게에 영향을 받는다.

고전적 의미의 광산란 현상은 Rayleigh 이론으로 표현되며 분극된 입사광은 시간 t 의 함수로 아래

식 (2)와 같이 표현되고 입자에 충돌하여 θ 각도 방향으로 산란되는 산란광의 강도는 아래 식 (3)과 같이 나타난다. 여기서 E_0 는 초기 전계강도, c 는 광속, α_p 는 입자의 분극정도를 각각 나타낸다.

$$x = \frac{2\pi r}{\lambda} \tag{1}$$

$$E_z = E_0 \cos\left(\frac{2\pi ct}{\lambda}\right) \tag{2}$$

$$E_s = \frac{1}{r} \frac{1}{c^2} \frac{d^2 p}{dt^2} \tag{3}$$

$$= -\frac{1}{c^2} \alpha_p E_0 \frac{4\pi^2 c^2}{r \lambda^2} \sin\theta_z \cos\left(\frac{2\pi ct}{\lambda}\right)$$

그러나 분극 되지 않은 입사광은 각 방향의 평균치로 나타내므로 아래 식 (4)와 같이 표현되고 마찬가지로 θ 각도 방향으로 산란되는 산란광의 강도는 아래 식 (5)와 같이 나타낸다.

$$I_o = \frac{1}{2} I_{oz} + \frac{1}{2} I_{oy} \tag{4}$$

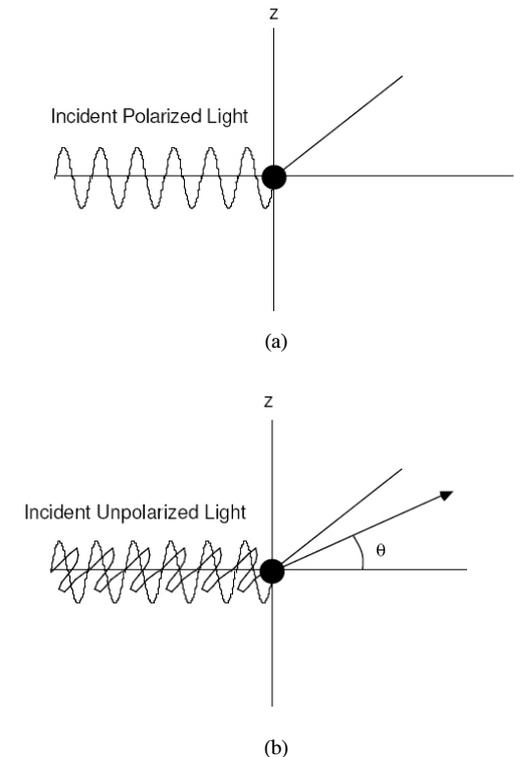


그림 1. 입사광의 산란 개념도; (a) 분극광, (b) 비분극광

$$\begin{aligned}
 I_s &= \frac{1}{2} I_{sz} + \frac{1}{2} I_{sy} & (5) \\
 &= I_o \frac{8\pi^4 \alpha_p^2}{r^2 \lambda^4} (\sin^2 \theta_z + \sin^2 \theta_y)
 \end{aligned}$$

그러나 물방울 입자의 크기가 커지면 하나의 물방울의 서로 다른 곳에서 산란이 일어나고 산란광 상호간에 간섭현상도 발생하게 된다. 따라서 실험에 의해서만 평균적인 확률로 결과를 유추할 수 있게 된다.

III. 실험

산란광의 강도는 입사광의 강도에 비하여 현저히 작으므로 주변광의 영향을 많이 받게 된다. 따라서 일반적인 방법으로는 산란된 광신호를 수신할 수 없게 된다. 광원으로부터 방사되는 광신호를 40kHz 정도의 높은 주파수로 변조하여 수신기에서 반송파 성분만을 추출하면 효과적으로 주변광의 영향을 줄일 수 있게 된다. 또한 산란광의 광신호는 극히 미약하므로 광원을 높은 전류로 구동하여 강력한 광출력을 발생시켜야 한다. 그러나 광원은 장시간 높은 전류를 감당할 수 없으므로 짧은 시간 동안만 구동하고 대부분의 시간은 쉬는 시분할 구동 방법을 적용하여 구현하였다. 그림 2에 이러한 광송신기의 블록도를 나타내었다.

산란광을 수신하는 광수신기에서는 수신된 광신호에서 주변광을 제거하고 신호성분만을 추출하여야 하므로 40kHz 반송파만을 걸러낸다. 이렇게 수신된 신호는 시분할 구동 방법에 의해 짧은 시간 동안만 작동하므로 Sample & Hold 회로를 사용하여 신호가 평균적으로 수신되는 시간동안 전기적인 출력을 유지시켜주는 방법을 사용하였다. 아래 그림 3에 이러한 광수신기의 개념도를 나타내었다.

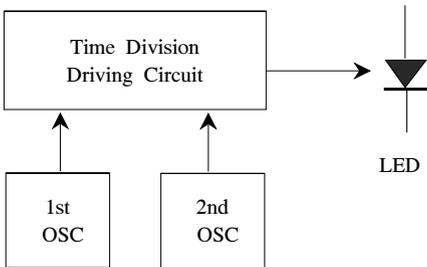


그림 2. 광송신기의 개념도

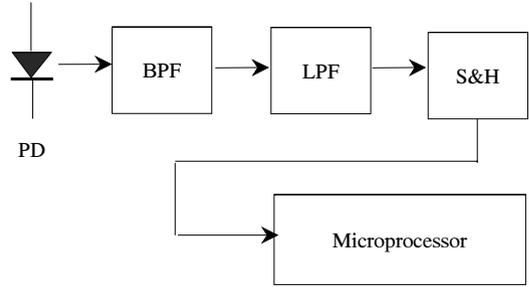


그림 3. 광수신기의 개념도



그림 4. 제작된 우적 감지 시스템

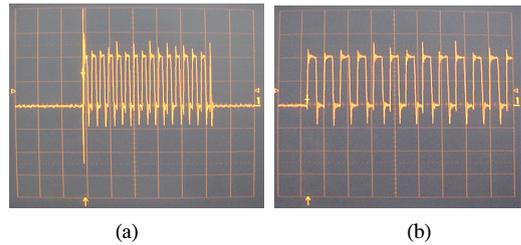


그림 5. 광송신기의 변조파형; (a) 시분할신호, (b) 확대파형

이렇게 제작된 광산란을 이용한 우적 감지 시스템을 그림 4에 보이고 있다.

광송신기에서 측정된 파형을 설명하면, 그림 5에서 (a) 파형은 시분할된 기간동안 구동되는 파형을, (b) 파형은 (a) 파형을 시간축 방향으로 확대하여 측정된 파형을 보이고 있다.

광송신기에서 방사되고 빗방울에서 산란되어 광수신기의 수광소자에서 수신된 파형은 그림 6과 같이 나타난다. 여기서 (a) 파형은 시분할된 기간동안 구동되는 파형을, (b) 파형은 역시 (a) 파형을 시간축 방향으로 확대하여 측정된 파형을 보이고 있다.

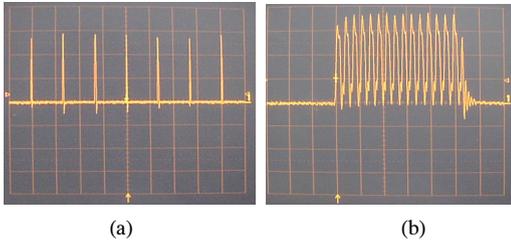


그림 6. 광수신기의 수신파형; (a) 시분할신호, (b) 확대파형

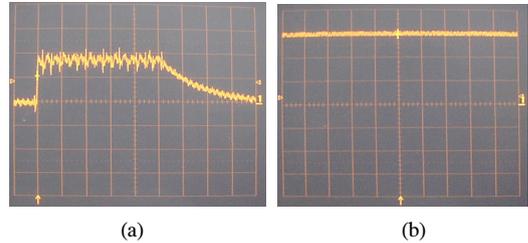


그림 8. 광수신기의 파형; (a) LPF 후, (b) S&H 후

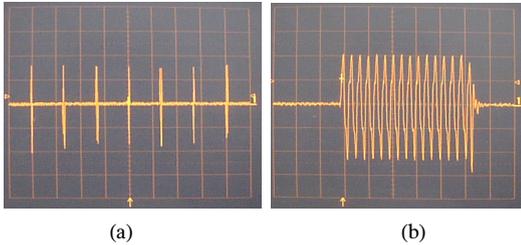


그림 7. 광수신기의 BPF후 파형; (a) 시분할신호, (b) 확대파형

그림 5에서와 같이 수신된 파형은 주변광이 존재할 때는 직류 성분이 상승하거나 왜곡되어 나타나므로 대역통과 필터를 통과시켜 반송파 성분만을 추출하게 된다.

그림 7에 대역통과 필터를 통과한 후의 파형을 나타내고 있다. 여기서 (a) 파형은 시분할된 기간동안 구동되는 파형을, (b) 파형은 역시 (a) 파형을 시간축 방향으로 확대하여 측정된 파형을 보이고 있다. 그림 7의 신호로부터 와이퍼 모터를 제어할 수 있는 직류신호를 추출하여야 하므로 저역통과 필터를 통과시켜 직류성분을 추출한 후 Sample & Hold 회로를 통과시켜 제어용 직류성분을 얻게 된다. 그림 8 (a)에 저역통과 필터 통과 후 적분된 파형을 나타내었고, 그림 8 (b)에 Sample & Hold 회로 통과 후 얻어진 직류신호를 나타내었다.

자동차의 전면 유리에 적용하기 위해서는 실제 상황과 유사한 환경을 연출하여야 하므로 그림 9와 같은 테스트베드를 제작하였다. 여기서 (a)는 장착된 우적 감지 시스템을 전면에서 찍은 사진이고 (b)는 측면에서 찍은 사진이다. 앞의 노즐은 실제 강우시 환경을 연출하기 위한 기구이다.

그림 9에 보인 테스트 베드를 사용하여 측정된 결과 파형을 아래 그림들에 나타내고 있다. 그림 10은 1개의 빗방울이 강우시 검출된 파형을 나타내고, 그림 11은 연속적인 강우시 검출된 파형을 나타내었다.

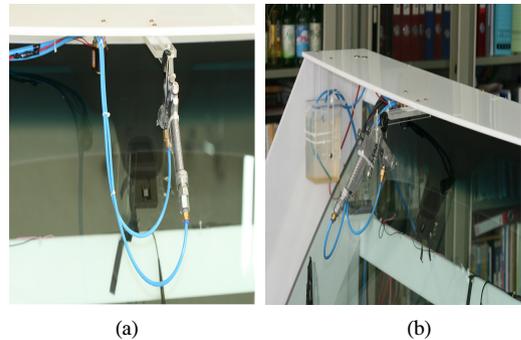


그림 9. 센서 테스트베드; (a) 전면, (b) 측면

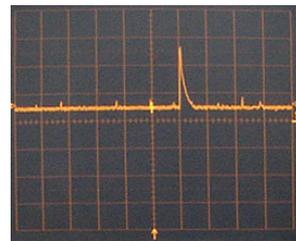


그림 10. 1개 빗방울 강우시 수신기 출력 파형

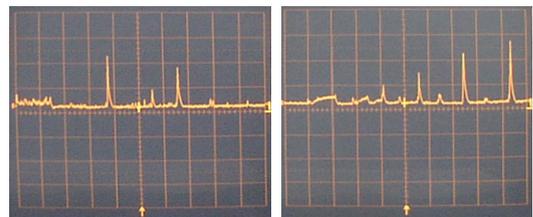


그림 11. 연속 강우시 수신기 출력 파형

광수신기에 사용된 대역통과필터와 저역통과필터의 특성을 아래 그림 12에 나타내고 있다. 광수신기의 전기적 출력신호는 빗방울의 종류와 낙하빈도에 따른 와이퍼 모터 구동 주기를 결정하기 위하여 마이크로프로세서를 사용하여 최종 전기적 출력을 만드는 방법을 사용하였다.

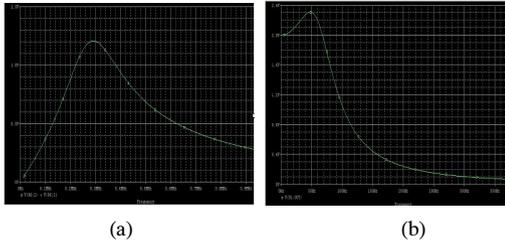


그림 12. 사용된 필터 특성; (a) BPF, (b) LPF

IV. 결 론

본 논문에서는 높은 전류로 광원을 구동하기 위하여 시분할 구동회로를 사용하고 주변광의 영향을 제거하기 위하여 40kHz로 변조한 방사광을 자동차 전면 창문에 보내 유리창에 낙하하는 빗방울이나 안개 등에 의하여 산란되는 반사광을 수신하여 40kHz 반송파 성분만을 추출하여 신호 대 잡음비를 향상시킨 광산란을 이용한 우적 감지 장치를 구성하였다. 실험결과는 직경이 큰 빗방울이나 입자가 작은 안개 등에 대해서도 좋은 감지 성능을 보여 주었으며 1개 또는 연속적인 강우에 대해서도 역시 좋은 감지 성능을 보여주었다. 제안한 광산란 방식 우적 감지 시스템은 집속광 대신 방사광을 이용하므로 발광소자나 수광소자에 특별한 기하광학계를 필요로 하지 않고 방사각이 커서 감지 범위가 넓은 장점을 가졌다.

참 고 문 헌

[1] R. J. Nelsen, "Rain sensor operation on solar reflective glass," US Patent 6232603, May. 15, 2001.

[2] M. J. Striker, "Rain sensor for motor vehicle in particular and method for producing the rain sensor," US Patent Application, 20080212151, Sep. 4, 2008.

[3] H. C. van de Hulst, "Light scattering by small particles," New York, Academic, 1981.

[4] J. A. Stratton, "Electromagnetic theory," New York: Mc-Graw Hill., 1941.

[5] P. W. Barber and S. C. Hill, "Light scattering by particles; computational methods," Singapore; Teaneck., N.J. World Scientific, pp.261, 1990.

[6] C. F. Bohren and D. R. Huffman, "Absorption and scattering of light by small particles," New York; Wiley, Vol.38, pp.530, 1998.

[7] M. I. Mishchenko et al, "Light scattering by nonspherical particles; theory, measurements, and applications," San Diego; Academic Press, pp.690, 2000.

최 규 남 (Kyoo Nam Choi)

중신회원



1976년 1월 서울대학교 공과대학 졸업
 1989년 12월 미국 Texas A&M University 전자공학과 석사
 1992년 8월 미국 Texas A&M University 전자공학과 박사
 1992년 7월~1994년 8월 LG 전

자기술원 연구실장
 2000년 8월~2002년 7월 미국 CEMDAS연구소 연구원
 1994년 8월~현재 : 인천전문대학 정보통신과 교수
 <관심분야> 광센서, 광통신