

레이저 스캐너의 Co-axial type 광학계와 Parallel type 광학계의 특성 비교

A characteristic comparison between the co-axial type optical system and the parallel type optical system for the laser scanner

*윤희선¹, 송하준¹, 장준환¹, 박기환¹
 *H. S. Yoon¹, H. J. Song¹, J. H. Jang¹, #K. H. Park(khpark@gist.ac.kr)¹
¹ 광주과학기술원 기전공학과

Key words : Laser scanner, optical system, co-axial type, parallel type

1. 서론

절대 거리 측정을 위한 레이저 스캐너는 수 m에서 수십 m에 이르는 거리에 떨어져 있는 물체 또는 장애물까지의 거리를 비 접촉 식으로, 또한 정밀하게 측정이 가능하다는 장점이 있어 로봇 항법, 무인자동차, 건축물의 3차원 형상 측정 등 다양한 산업분야에 활용도가 높은 센서이다. 레이저 스캐너에서 거리를 측정하는 알고리즘은 펄스계수법[1], 삼각측량법[2], 주파수 복조법[3] 등 여러 가지 방법이 있으나, 넓은 측정거리에서의 좋은 분해능 확보에 유리하며 구현이 비교적 간단한 위상복조 방법[4]이 많이 사용되고 있다. 위상복조 방식의 레이저 스캐너에서는 측정 거리에 따라 적합한 광학계를 구성할 필요가 있다. 5m 이내의 단거리부터 측정을 위해서는 Co-axial type 형태의 광학계를 구성해야 하고, 단거리 영역은 측정하지 못하지만 수십 m 까지의 장거리 측정을 목표로 한다면 Parallel-type 의 광학계를 구성해야 한다. 본 논문에서는 각각의 광학계의 특성과 실제 실험을 통하여 광학계별로 적용 가능한 영역을 비교해 보았다.

2. 측정 원리

LD (Laser Diode)를 가진 기준신호와 물체에 난반사 된 빛을 APD (Avalanche Photo Diode)를 통해 검출한 신호의 위상 차이를 통해 절대 거리를 얻어낸다. 위상 복조 방법에서 센서가 측정할 수 있는 최대 거리는 가진 주파수에 따라 결정된다. 고주파 변조된 신호의 한 주기 λ 가 의미하는 거리는 Eq. (1) 에 의해 결정된다. c 는 빛의 속도 f 는 가진 주파수를 의미한다.

$$\lambda = \frac{c}{f} (c = 3 \times 10^8 m/s) \quad (1)$$

본 시스템은 빛이 왕복한 거리를 측정한다. 따라서 실제 측정 가능한 최대거리 Eq. (2)와 같이 D 는 λ 의 반이 된다.

$$D = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f} \quad (2)$$

센서의 분해능 D_{res} 는 Eq. (3)에서와 같이 가진 주파수 f 와 복조 및 신호처리 회로에서 각도 분해능 $\Delta\varphi(rad)$ 을 얼마나 낼 수 있는지에 따라 결정되고 반사되어 돌아오는 빛의 광량이 클수록 높은 분해능을 얻을 수 있게 된다. 따라서 신호처리 회로의 성능과 더불어 빛 손실을 줄이며 효과적으로 집광할 수 있는 광학계 구성이 요구된다.

$$D_{res} = \frac{c \cdot \Delta\varphi}{2f \cdot 2\pi} \quad (3)$$

3. 광학계

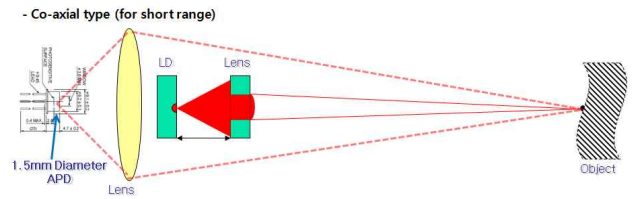


Fig. 1 Co-axial type optical system for short range detection

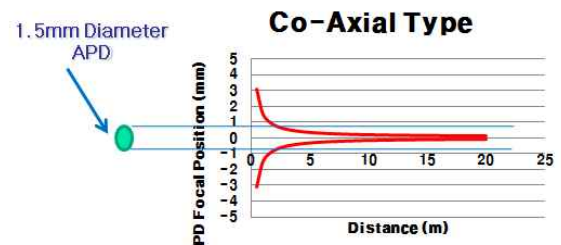


Fig. 2 PD focal position for co-axial type optical system

Fig. 1은 Co-axial type 광학계의 구성을 보여준다. 수광부, 집광 렌즈, 발광부가 모두 같은 광축 위에 있으며 Fig. 2의 Ray tracing[5] 결과에서처럼 단거리 신호부터 장거리 신호까지 모두 수광부 (1.5mm Diameter APD)에 집광이 된다. 하지만, 이와 같은 구성은 발광부가 집광렌즈의 가운데 부분을 가리고 있기 때문에 광량 손실이 클 수 밖에 없다. 또한 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 Scanning mirror에서 Back beam 이 발생하게 되는데 이 빛이 모두 수광부로 들어가게 되어 물체에서 반사된 신호가 Back beam에 비해 미약할 경우 더 이상 측정이 불가능하게 된다. 따라서 로봇적용을 위한 센서와 같이 10m 이내의 단거리 정보를 측정하기에 적합한 광학계 구성이다.

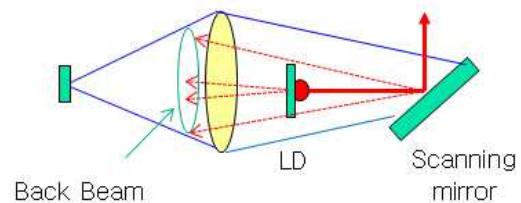


Fig. 3 Back beam from the scanning mirror

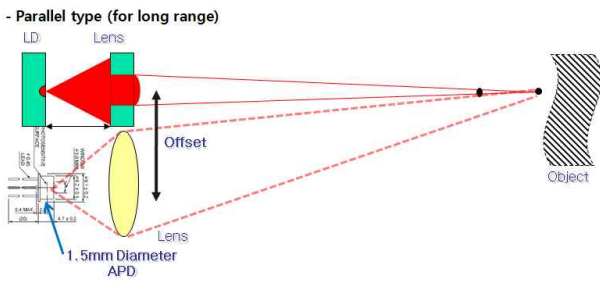


Fig. 4 Parallel type optical system for long range detection

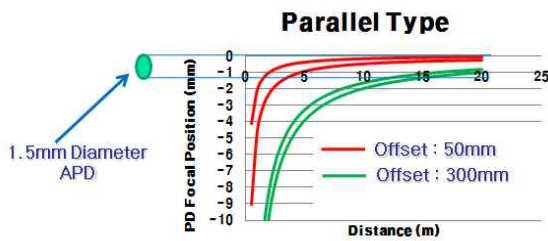


Fig. 5 PD focal position for parallel type optical system

Fig. 4는 Parallel type 광학계의 구성을 보여준다. Fig. 1의 Co-axial type 광학계 구성과 비교했을 때, 집광렌즈 앞부분을 가리고 있는 발광부 구조물이 없기 때문에 집광 시 발생하는 광량 손실이 없다는 장점이 있는 구조이다. 하지만 Fig. 5의 Ray tracing 결과에서 보여지는 것처럼 근거리 측정이 어렵다는 단점이 있다. 따라서 조선소, 건축 환경에서의 3차원 형상측정 등 중장거리 측정을 하기에 적합한 광학계 구성이다. 장거리 측정을 위해 렌즈 구경을 키울 경우 발광부와 수광부 사이의 거리 Offset이 커지고, 이 경우 Fig 5에서와 같이 최소 측정거리가 더 늘어나게 되는 특성을 갖고 있다. 또한 Fig. 3과 같이 Scanning mirror에서 반사된 빛이 있더라도 이는 10~20 cm 앞에서 반사되어 돌아온 빛이기 때문에 수광부로 들어가지 않게 되어 Parallel type의 경우는 Back beam의 영향이 없는 구조이다.

4. 실험

Co-axial type과 Parallel type의 상대적인 성능 비교 실험을 해보았다. 3m 이내의 경우 parallel type으로 측정이 어렵고, 20m 보다 먼 거리는 co-axial type으로 측정이 어려워 상대적인 비교를 할 수 있는 3m부터 20m 거리까지의 광량 신호를 비교해 보았다.

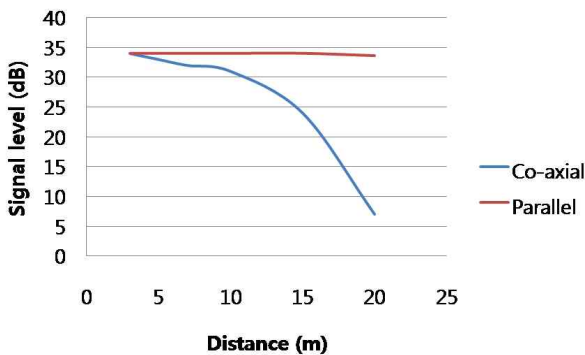


Fig. 6 Signal level comparison result of the each type optical systems

Fig. 6의 실험결과에서와 같이 Co-axial type의 경우 거리가 멀어짐에 따라 점차적으로 광량이 감소하고 10m 거리가 넘어갈 경우 급격하게 광량이 감소되어 측정이 힘들어진다. Parallel type의 경우는 20m 거리까지 광량변화가 거의 없어 장거리 측정에서는 훨씬 유리하다는 것을 나타내고 있다.

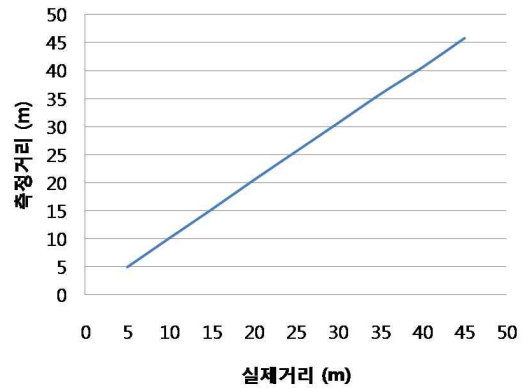


Fig. 7 Distance measurement result with parallel type optical system

Fig. 7은 Parallel type 광학계의 장거리 측정 가능 여부를 확인하기 위하여 45m까지의 거리를 측정해본 결과이다. 결과를 통해 실제 거리와 측정된 거리 값이 선형적인 관계에 있음을 알 수 있다.

5. 결론

위상복조 방식의 레이저 스캐너에서는 측정 거리에 따라 적합한 광학계를 구성할 필요가 있음을 확인하였으며 Co-axial type과 Parallel type 광학계의 특성을 비교하였다. 실험을 통하여 Co-axial type과 Parallel type 광학계의 측정 영역 한계를 확인하였으며, 장거리 측정 시 Parallel type 광학계가 유리하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 최대 45m 까지 거리 측정 실험을 통하여 Parallel type 광학계의 장거리 측정 성능을 확인하였다.

참고문헌

1. Kilpela A, Pennala R and Kostamovaara J, Proc. Rev. Sci. Instrum. 72, 2197-202 (2001).
2. TC Jeong, CH Lee, J yong Park, W keun Hyun, Proc. International Conference on Control Automation and Systems ICCAS 2005, PN 651 (2005).
3. David Dupuy, Marc Lescure and Helene Tap-Bateille, J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 4 S332-S336 (2002).
4. 윤희선, 강성구, 송하준, 박기환, 한국정밀공학과 춘계 학술대회 논문집. pp511-512, (2009).
5. Frank L. Pedrotti, S.J., Leno M. Pedrotti, Leno S. Pedrotti, "Introduction to Optics (3rd edition)" pp16-46, pp396-416.