

무인선박 적용을 위한 LiDAR센서의 광학계 설계

윤재준*, 최조천*, 문정환^o

A Design on Optical System of LiDAR Sensor for Unmanned Vessels

Jae-Jun Yun*, Jo-Cheon Choi*, Jung-Hwan Moon^o

요약

레이저를 이용하여 거리 및 물체 탐지를 하는 LiDAR센서에서 Laser beam의 손실을 최소화 할 수 있는 광학계가 무엇보다 중요하다. 따라서 본 논문에서는 무인선의 자율항해에 적용할 수 있는 LiDAR 센서의 요소기술 중 고효율의 광학계를 설계하고 시뮬레이션을 통해 성능을 검증 하였다. 첫째, LiDAR센서의 성능에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 것은 발광 Laser beam의 Collimation인데, 반도체를 이용한 PLD(Pulse Laser Diode)의 특성상 광원 자체가 점 광원에 가깝고, 점 광원에 대한 Collimation품질은 굴절광학계에 비해 반사광학계가 유리하다. 둘째, 반사광학계를 적용하여 Beam collimation 효율을 높일 수 있는 광 경로를 설계하고 시뮬레이션을 실시했으며, 빔의 왜곡현상을 보정하기 위하여 프리즘을 이용했다.

Key Words : Unmanned vessel, LiDAR sensor, Auto pilot, Optic, PLD

ABSTRACT

An optical system that minimizes the loss of a laser beam in a LiDAR sensor that detects a distance and an object using a laser is most important. Therefore, in this paper, a high-efficient optical system was designed and verified by simulating the element technology of LiDAR sensor which can be applied to auto pilot of unmanned vessels. First, the collimation of the luminescent laser beam is the most important factor affecting the performance of the LiDAR sensor. Due to the characteristics of PLD(Pulse Laser Diode) using semiconductors, the light source itself is close to the point light source, and the collimation quality of the point light source is more advantageous than that of the refraction optical system. Secondly, we design and simulate the optical path that can enhance the beam collimation efficiency by applying the reflective optical system, and use a prism to correct the beam distortion.

1. 서론

무인이동체를 구현하기 위해서는 주변환경에 대한 위험요소 인지가 필수적이며, 위험요소인지를 위해 카메라, 초음파, RADAR, LiDAR 등 많은 센서들이 사용 중이거나 상용화를 위해 연구가 진행 되고 있다.

특히, 중소 무인선박의 자율항해에 사용할 경우 상대적으로 고속이며, 변침 범위가 좁기 때문에 장애물에 대한 정확한 거리분해능과 각도 분해능을 필요로 하므로 LiDAR센서가 최적이라고 판단된다.^[1]

무인선박 기술분야는 미국, 영국, 이스라엘 등 기술 선진국의 비교하여 매우 열세이므로 우리나라는 국가

* First Author : Mokpo Maritime University Dept. of Marine Electronic and Communication Engineering, allinjy@naver.com, 정희원

^o Corresponding Author : Carnavicom Co., Ltd., carnavi_moon@daum.net, 정희원

* Mokpo Maritime Univ. Dept. of Marine Computer Engineering, choijo@mmu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2017-09-270, Received September 27, 2017; Revised November 9, 2017; Accepted December 13, 2017

적 차원의 무인이동체 발전전략 5개년 계획을 수립하여 기술력을 극복하고자 노력하고 있다. LiDAR 센서를 무인이동체에 적용하기 위해서는 이동체의 운항환경과 성능에 대한 예비지식이 필요하며, 안전하게 위험물을 회피하기 위해서는 100m 이상의 장거리 인식과 탐지가 가능해야 한다.

레이저를 이용하여 거리 및 물체 탐지를 하는 LiDAR센서에서 Laser beam의 손실을 최소화 할 수 있는 광학계가 무엇보다 중요하다. 따라서 본 논문에서는 무인선의 자율항해에 적용할 수 있는 LiDAR센서의 요소기술 중 고효율의 광학계를 설계하고 시뮬레이션을 통해 성능을 검증했다.

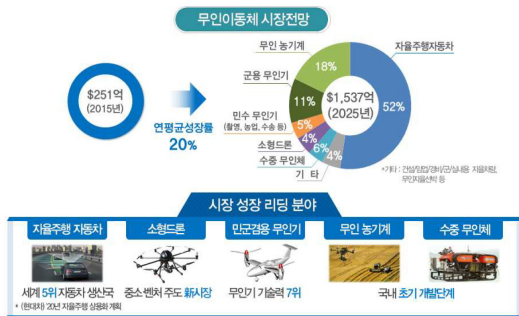
II. 본 론

2.1 무인선박 개발동향

여러 가지 센서를 활용하여 외부환경을 인지하고, 인지한 정보를 통해 상황을 판단하여 이동하는 무인이동체는 탐지, 인식, 통신, 자율운항 등의 알고리즘과 더불어 선체의 안정성을 확보할 수 있는 핵심기술이 필요하다. Fig. 1과 같이 무인이동체 시장은 연평균 성장률이 약 20%에 달할 정도로 시장이 확대되고 있으며, 특히 무인 해양이동체의 세계 시장은 향후 5년간 연평균 성장률이 18%정도로 예상된다.

무인해상선박은 미국(5G International), 영국(ASV), 이스라엘(Rafael) 기술이 선도하고 있으며 미국·이스라엘은 군용·대테러용 무인전투함정(Eclipse, Seaster 등) 개발에 주력하고, 영국은 미래 해상수송시장 선점을 위한 연구개발 중이다.^[2,3]

미국 국방부는 2011~2036년으로 육해공 무인이동체 통합로드맵을 수립하고, Fig. 2와 같이 집중적 연구개발을 진행하고 있으며, 유럽연합(EU)은 육해공



* 출처 : 이동체산업육성계획(미래창조과학부)

그림 1. 무인이동체 시장의 현황 및 전망
Fig. 1. Unmanned vehicles market status and forecast



* 출처 : http://bemil.chosun.com/nbrd/gallery/view.html?b_bbs_id=10044&num=98928

그림 2. 시험운항 중인 선진기업의 소형 무인선
Fig. 2. A small unmanned ship of advanced company

무인이동체 통합운영시스템(ICARUS) 프로젝트를 진행중으로 이와 더불어 유럽항공안전청(The European Aviation Safety Agency, EASA)은 민간 무인항공기 안전기준을 수립하여 추진 중에 있다. 더욱이 LiDAR 센서는 세계 각국에서 시험 중인 소형 무인선을 중심으로 그 사용분야가 확대 되고 있으며 더 나아가 무인이동체를 통합 운영할 수 있는 시스템 단계까지 그 규모가 확대되고 있다.

롤스로이스(Rolls-Royce) 회사가 무인해운의 미래를 앞당기기 위하여 Fig. 3과 같이 자율무인 화물선의 운항을 목표로 첨단 자율해상 응용장치 계획(Advanced Autonomous Waterborne Applications Initiative, AAWA)을 발표하였다. 이 계획에 의하면 7~14명의 운용요원이 전 세계를 운항하는 선박들의 운항을 담당하며, 선박주변과 선내에서 일어나는 상황들을 모니터링하기 위해 인텔리전스 디스플레이, 음성인식시스템, 홀로그램 및 무인비행장치 등을 이용한



* 출처 : Romte and autonomous ships the next step(rolls-royce)

그림 3. 롤스로이스의 AAWA 계획
Fig. 3. Rolls-Royce's AAWA plan

다. 롤스로이스는 이 계획에 따라 2020년까지 무인선박 설계 및 원격운항시험센터 건설을 완료한다는 계획으로 연구를 진행하고 있다.^[4]

2.2 LiDAR 센서 기술동향

2.2.1 LiDAR 센서 원리

LiDAR는 Light Detection and Ranging의 약어로서 Fig. 4와 같이 Beam을 발산하고 되돌아오는 Beam 간 시간 차이를 인지하여 거리를 알아내는 센서이다.

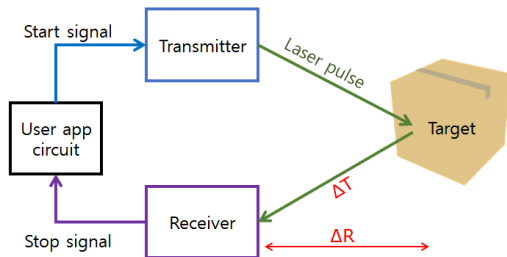


그림 4. LiDAR 센서 원리
Fig. 4. Principle of LiDAR sensor

2.2.2 LiDAR 센서 개발

무인이동체에 사용되는 물체인식 센서로는 LiDAR, RADAR, 카메라, 초음파등이 사용되고 있으며 RADAR, 카메라, 초음파는 국산화가 이루어 졌으나 LiDAR 센서의 경우 본격적으로 상용화를 시작한 해외 기업과는 달리 국내에서는 전량 수입에 의존하고 있다. 현재 글로벌 시장에서는 미국, 유럽, 일본을 중심으로 다양한 LiDAR 센서가 개발되고 있으며 그 방식도 다양하다. LiDAR 센서를 무인이동체에 적용하기 위해서는 탐지거리와 가격이 중요한 요인이 될 수 있다.

(1) Velodyne(미국)

Fig. 5와 같이 LiDAR 센서로 성능이 가장 뛰어난 제품으로 평가되고 있으며, 구글의 자율주행 자동차에 탑재하여 그 성능을 입증하였다.^[6] 그러나 고비용으로 제조되어 고가로 시판되므로 상용화 및 대중화에는

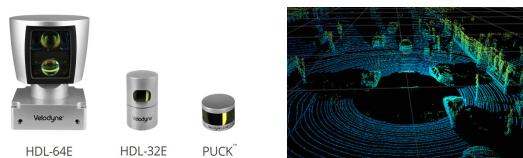


그림 5. 벨로다인 LiDAR 센서
Fig. 5. Velodyne LiDAR sensor

적용하기 어려운 단점이 있다.

(2) Quanergy system(미국)

Quanergy system의 LiDAR 센서는 Fig. 6과 같이 8개의 레이저와 수신소자를 수용하는 구조로 360° 회전 스캐닝 및 일정시야로 방위각을 확보하여 3D 영상 수집의 성능을 가지고 있으며, 여기에 특정물표의 추적기능의 구현으로 제품의 차별성을 인정받고 있다.^[7] 향후 다임러(Daimler) 및 현대와 기아자동차 적용될 예정이다.



그림 6. 퀴너지 시스템 LiDAR 센서
Fig. 6. Quanergy system LiDAR sensor

(3) Ibeo(독일)

Ibeo의 스칼라 LiDAR 센서(Fig. 7)는 8채널 스캐닝 구조로 구현되었으며, 차량 부품업체인 프랑스 Valeo와 협업을 통해 2017년 이후 유럽의 자율주행 차량에 장착되어 출시될 예정이다.^[8]



그림 7. 이베오 LiDAR 센서
Fig. 7. Ibeo LiDAR sensor

(4) Hokuyo(일본)

Hokuyo는 Fig. 7과 같이 1채널 스캐닝 LiDAR 센서이며, 다채널 모델들과는 다르게 270°의 광각영역

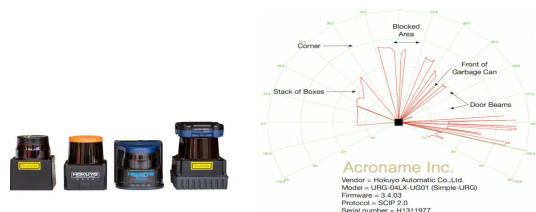


그림 8. 호쿠요 LiDAR 센서
Fig. 8. Hokuyo LiDAR sensor

검출이 가능하여 산업 및 단거리 물체측정 용도로 시장진입에 성공하였다.^[9]

2.3 LiDAR 센서 주요기술

2.3.1 발진 빔 현상

레이저 다이오드에서 발진하는 빔의 형상을 육안으로 정확히 관찰하는 것은 어렵기 때문에 일정거리를 두고 발산하는 빔을 평면에 조사하여 빔이 조사되는 형상을 Fig. 9와 같이 IR View를 이용하면 관찰이 가능하다. 이 빔은 Collimation 전후로 나눠 관찰하여 빔 확산각도(Divergence angle)를 계측하여 Beam Collimation의 품질을 확인 할 수 있다.

원거리는 일반적으로 100~150m 가량으로 이 거리까지 빔이 3mrad(0.17도)의 매우 작은 확산각도로 조사된다면 회수율 또한 매우 우수하게 된다. 근거리 일 경우에도 빔 확산각도가 지나치게 크면 불필요한 물체까지 감지하게 되거나 감지불능으로 될 수 있으므로 감지거리에 따른 적절한 확산각도의 조정이 필요하다.

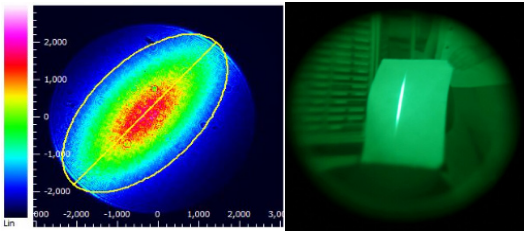


그림 9. 레이저 발진 빔 형상
Fig. 9. Laser oscillation beam shape

2.3.2 Laser Beam Collimation

Collimation이란 Beam이 광원에서 발진하여 일정 거리를 도달하는 동안 Beam이 퍼지거나(Diverged) 수렴(Converged)하는 현상이 거의 없는 Beam 변환 상태를 의미한다. Beam Collimation은 LiDAR 센서 전방의 물체간 거리, 크기, 형상 등의 정보를 알아내는 감지능력(Detect-abilities)을 결정하는 매우 중요한 파라미터일 뿐만 아니라 원거리 감지에 가장 중요한 인자이기도 하다. 점광원(Point source)은 3차원 공간으로 전파한다. 그리고 이 Beam intensity는 아래 식과 같이 거리 제곱에 반비례하여 감소한다.^[5]

$$\text{Intensity} \propto \frac{1}{R^2} \quad (1)$$

R : Distance between two objects

이 점광원에 광학계를 적용하여 Beam의 진행 방향을 한 방향으로 집중한다면 거리에 대해 Intensity는 상당히 적게 감쇄되는데 “상당히”란 완벽한 Collimation Beam 변환은 불가능하다는 것을 의미한다.

2.4 광학계 설계 및 시뮬레이션

콜리메이션 빔은 원거리 간 거리계측, 원거리 조명, 에너지집속 등의 목적으로 장치를 구성할 때 반드시 수반되는 광학적 광변환 기술이다

2.4.1 굴절광학계(Refractive optics)

굴절광학계는 렌즈, 프리즘 등을 지칭하며, 이들 광학부품은 구성재료의 고유한 굴절률에 따라 입사하는 빔의 진행방향을 변환하는 특성을 갖으며, 구성재료의 굴절률과 입사각 간 관계는 스넬(Snell)의 법칙을 따른다. 점광원의 콜리메이션에는 반사광학계(Reflective optics)가 더 유리하지만, 레이저 다이오드는 크기 면에서 점광원에 가깝고 한 방향에 대하여 X, Y축으로 일정한 확산각도를 가지므로 확산각도에 적절한 굴절광학계를 이용한다면 콜리메이션은 가능하다.

굴절광학계에 의한 빔 콜리메이션을 보인 것으로 시뮬레이션에 적용한 렌즈는 Plano-Convex 이고, 렌즈의 반지름은 3mm와 9.5mm 이다.

위의 조건에서 거리 100m이고 가로 10m, 세로 1m의 표적에 도달하는 빔의 경로와 크기는 Fig. 10과 같다. 여기에서 가로방향을 보면 빔의 확산각도가 매우 큰 것을 알 수 있고, 세로방향으로 약 1m 크기의 빔은 원거리 전달에 적절한 정도임을 알 수 있다. 즉 레이저 다이오드에서 발산하는 25도의 발산각도는 9.5mm의 Radius 렌즈를 통과한 후, 일정구간 수렴(Converged)하게 되고, 다시 확산하게 되므로 결과적으로 바람직한 빔 콜리메이션의 상태가 아님을 알 수 있다.

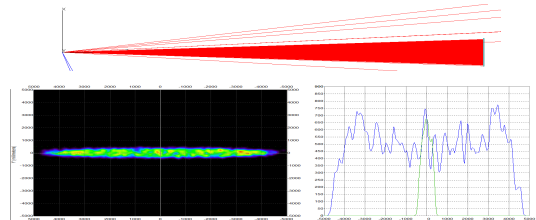


그림 10. 10m에서 레이저 빔의 크기
Fig. 10. Laser beam size at 10m

2.4.2 반사광학계(Reflective optic)

포물경은 초점에 집광원이 있다면 경면을 향하여 반사되는 모든 Beam은 반사 후 Collimation beam으로 변환되어 전파하는 특징이 있기 때문에 Beam Collimation을 위한 반사광학계는 오목형 포물반사경(Parabolic Concave reflector)이 바람직하다. 포물경 또한 광원크기에 비하여 초점이 짧으면 Collimation beam quality가 좋지 못하다. Laser diode의 발산 Beam size를 고려하여 포물경의 Focal length는 클수록 유리하다.

초점거리를 5mm(Fig. 11), 10mm(Fig. 12), 15mm(Fig. 13), 20mm(Fig. 14)로 조절하여 굴절광학계에 대한 Beam Collimation으로 Beam 품질을 시뮬레이션하였다. Simulation 결과 굴절광학계에 비해 반사광학계가 Beam quality가 우수하다는 것을 볼 수 있다.

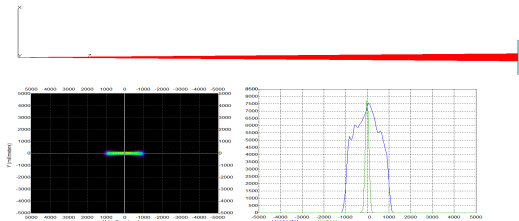


그림 11. 초점거리 5mm에서 빔 경로 및 세기
Fig. 11. Path and intensity of beam at focal length 5mm

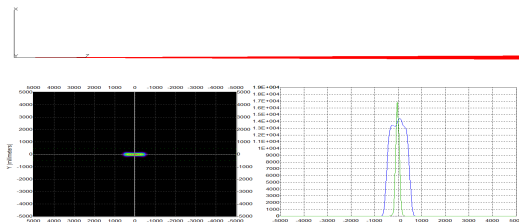


그림 12. 초점거리 10mm에서 빔 경로 및 세기
Fig. 12. Path and intensity of beam at focal length 10mm

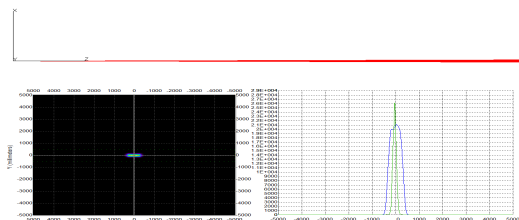


그림 13. 초점거리 15mm에서 빔 경로 및 세기
Fig. 13. Path and intensity of beam at focal length 15mm

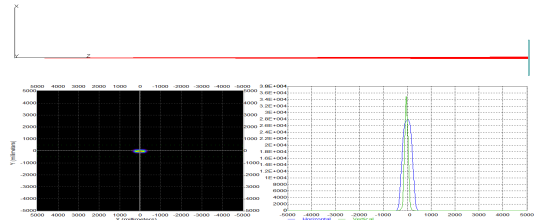


그림 14. 초점거리 20mm에서 빔 경로 및 세기
Fig. 14. Path and intensity of beam at focal length 20mm

오목형 구면 반사경(Spherical concave reflector)도 그 반경(Radius)이 광원직경에 비하여 충분히 크면 포물경과 유사한 반사 특성을 갖지만 엄밀한 의미에서 반사 후 Collimation beam quality가 포물 반사경 보다는 뒤떨어진다. 더구나 구면 반사경의 Collimation beam quality를 높이기 위해 크기를 무한정 크게 할 수 없는 제약이 따르므로 적절치 않으며, 굴절 및 반사 반사경의 장단점을 정리하면 Table 1과 같다.

이상의 설계 및 시뮬레이션 결과로 볼 때 초점 거리와 콜리메이션 품질은 매우 깊은 관계가 있음을 알 수 있다. 이와 같은 관계에서 포물반사경의 원리를 이용한 LiDAR 센서를 이용하여 원거리를 탐지하려면 가급적 초점거리를 크게 할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 Laser Beam의 Collimation을 하기 위해 굴절 광학계와 반사광학계를 이용할 수 있는데 크기 면에서는 반사광학계에 비해 불리하나 Collimation 품질은 반사광학계가 우수하기 때문에 본 논문에서는 반사광학계를 이용하여 광경로를 설계하였다.

표 1. Comparing refractive and reflective optics
Table 1. 포물 및 오목 반사경 비교

Optic	Refractive optics	Reflective optics
Size	Small size	Middle size
Collimation Quality	Poor	Excellent
Long distance	Impossible	Possible
Optic	Aspheric or spheric lens	concave parabolic reflector
Manufacture	Difficulty	Easy

2.4.3 LiDAR 센서 광 경로 설계

광 경로에 따라 발광 및 수광 빔의 효율이 좌우되기 때문에 LiDAR 센서에서 광 경로는 매우 중요하다. 기본적으로 레이저 다이오드를 사용하는 LiDAR 센서는 집광원으로부터 출발하며, 굴절광학계보다는 반

사광학계가 빔 콜리메이션 측면에서 유리하다.

Fig. 15는 반사광학계를 기반으로 광 경로를 설계한 것으로 수평방사각 내의 전 방향으로 레이저 빔을 스캐닝방식으로 방출하고, 각각의 삼각 반사면에 대하여 각기 다른 0도, 1도, 2도의 각도로 반사면을 설계하였다.

발광부의 반사 미러 각도를 각각 다르게 설계함으로써 단일광원을 이용한 다채널의 구현이 가능하며, 수신 미러는 발광 빔의 방향과 수광 미러의 방향을 일치시킴으로써 수신효율에서 최대 효과를 얻을 수 있기 때문에 발광 미러와 하나의 구조체로 Fig. 16과 같이 설계했다. 삼각폴리곤(Polygon Triangulation) 미러는 모터부하를 최소화하기 위하여 얇고 가벼운 플라스틱 재질로 설계했다.

또한, 삼각폴리곤 미러는 각 반사면 마다 반사각도가 다르게 나타나므로 틸팅(Tilting)미러라고도 하며,

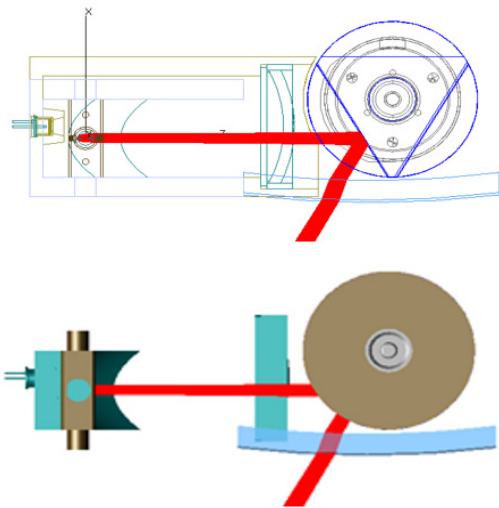


그림 15. 반사광학계 기반 광경로 설계(1)
Fig. 15. Design of optical path based on reflect optical system(1)

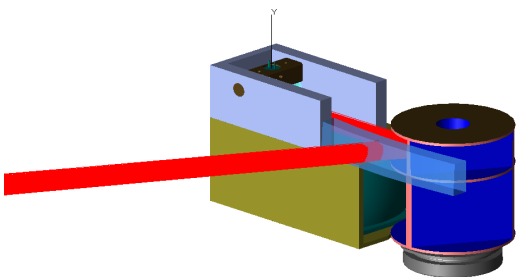


그림 16. 반사광학계 기반 광경로 설계(2)
Fig. 16. Design of optical path based on reflect optical system(2)

틸팅 미러가 갖는 문제점은 미러가 회전하게 되면 빔이 휘어지는 현상이 생기게 되는 것이다. 이러한 빔의 휘어짐은 시야각에서 탐지물체의 형태가 불균형한 상태로 나타나게 되므로 빔의 왜곡현상을 보정해 주어야 한다.

본 연구에서는 빔의 휨 현상에 대한 왜곡을 보정하기 위하여 프리즘을 이용하여 위로 향하는 빔은 굴절시켜 아래로 꺾고 아래로 향하는 빔은 위로 꺾어 전체적으로 균일한 빔의 궤적을 유도하는 방안으로 Fig. 17과 같이 왜곡되는 빔을 보정하도록 설계하였다.^[10]

발광레이저 빔의 성능은 Fig. 18에서 보는바와 같이 왜곡보정 전(높이:L)보다 약 50%(높이:L/2)의 왜곡이 보정됐다.

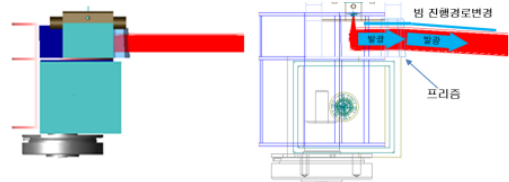


그림 17. 프리즘을 이용한 빔의 왜곡보정
Fig. 17. Distortion correction of beam by prism

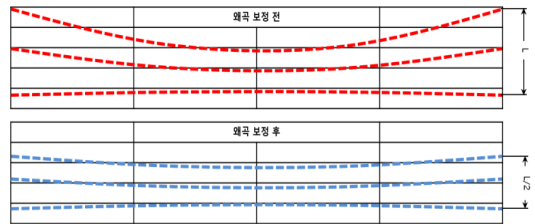


그림 18. 왜곡보정 전/후 발광레이저 빔
Fig. 18. Laser beam on before & after for distortion correction

III. 결 론

본 연구에서는 무인선박을 구현하기 위해 100~150m 전방의 선박 및 물체를 탐지하고 인식할 수 있는 핵심 기술로 떠오른 LiDAR센서의 요소기술 중 가장 중요한 광 경로를 설계하고 시뮬레이션을 실시했으며, 이를 통한 결과는 다음과 같다.

첫째, LiDAR센서의 성능에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 것은 발광 Laser beam의 Collimation인데, 반도체를 이용한 PLD(Pulse Laser Diode)의 특성상 광원 자체가 점 광원에 가깝고, 점 광원에 대한 Collimation품질은 굴절광학계에 비해 반사광학계가

유리하다.

둘째, 반사광학계를 적용하여 Beam collimation 효율을 높일 수 있는 광 경로를 설계하고 시뮬레이션을 실시했으며, 빔의 왜곡현상을 보정하기 위하여 프리즘을 이용했다.

향후 선박 등의 무인이동체에 LiDAR 센서가 적용될 경우 반사광학계를 이용한 고효율의 광학계에 대한 연구가 필요하다.

References

- [1] Ministry of Science, ICT and Future Planning, *The 5year development plan for unmanned vehicle*, 2016
- [2] *Forecast on the unmanned vehicle market status and business strategy*, IRS Global, pp. 643-695, 2016.
- [3] R. N. Lee, H. H. Lee, J. B. Lim, J. Y. Jung, and C. S. Kim, "Research on development trend and expected changes in the marine environment," *Korean Soc. Marine Environ. and Safety*, pp. 284-287, Korea, Apr. 2015.
- [4] <http://www.rolls-royce.com/>
- [5] G. D. Choi, M. H. Han, M. H. Song, H. S. Seo, C. Y. Kim, S. C. Hong, and B. K. Mheen, "Development trends and expectation of three-dimensional imager based on LiDAR technology for autonomous smart car navigation," *Electronics and Telecommun. Trends*, vol. 31, no. 4, pp. 86-97, ETRI, 2016.
- [6] <https://velodynelidar.com>
- [7] <https://quanergy.com>
- [8] <https://www.ibeo-as.com>
- [9] <https://www.hokuyo-aut.jp/>
- [10] K. H. Hong, *Geometrical optics*, Duuangsas, pp. 351-376, 2011.
- [11] Ministry of Science, ICT and Future Planning *The market and forecast for unmanned vehicle*, 2015.
- [12] Rolls-royce, *Remote and autonomous ships the next steps*, 2016.

윤 재 준 (Jae-Jun Yun)



2003년 : 목포해양대학교 해양 자
통신공학과 학사

2005년 : 목포해양대학교학원 해
양자통신공학과 공학석사

2017년 : 목포해양대학교학원 해
양자통신공학과 공학박사

현재 : (주)카네비컴 책임연구원

<관심분야> 해상통신, 무인선박, LiDAR, WAVE

최 조 천 (Jo-Cheon Choi)



1986년 : 서울과학기술대학교 전
자공학과 학사

1990년 : 조선대학교 컴퓨터공학
과 석사

1998년 : 한국해양대학교 전자통
신공학과 박사

현재 : 목포해양대학교 해양컴퓨
터공학과 교수

<관심분야> 해양전자통신, 계측제어

문 정 환 (Jung-Hwan Moon)



2009년 : 한국해양대학교 해양
경찰학과 해양안전환경전공
공학석사

2012년 : 한국해양대학교 해양
경찰학과 해양안전환경전공
박사수료

현재 : (주)카네비컴 선임연구원

<관심분야> 해양안전, 해양환경, 무인선박,
e-Navigation서비스, Unmanned Vehicle