맵핑용 레이저 레이더 시스템 실험실 시제의 성능시험 및 분석

조민식[†] · 이창재 · 강응철

국방과학연구소 국방신기술센터 미래기술연구부
☎ 305-600 대전광역시 유성우체국 사서함 35호

(2012년 8월 31일 받음, 2012년 10월 4일 게재 확정)

맵핑용 레이저 레이더 실험실 시제품의 성능시험과 분석 결과를 소개한다. 광섬유 레이저와 아발란치 광검출기 외 관련 구성모듈로 이루어진 레이저 레이더 시스템이 설계, 제작되었다. 레이저 레이더 시스템은 현재 실험실 환경에서의 성능 확인을 목적으로 하는 실험실 시제품으로서, 레이저 레이더 광원 특성, 거리 정확도, 소광율, 오경보율과 같은 시스템 성능변수가 실험적으로 측정되었다. 실험결과 분석을 통해 레이저 레이더 시제품이 양호한 성능수준을 제시하는 것으로 확인되었다.

Performance Test and Analysis of the Laser Radar System Prototype for Mapping Application

Min-Sik Jo[†], Chang-Jae Lee, and Eung-Cheol Kang

*Defense Advanced R&D Center, Agency for Defense Development,
Yuseong P.O. Box 35, Daejeon 305-600, Korea*

(Received August 31, 2012; Accepted October 4, 2012)

We present the results of performance test and analysis of a laser radar system prototype for mapping applications. The laser radar system consisting of fiber laser and avalanche photo-detector and other related component modules was designed and manufactured. The laser radar system now has the status of a prototype for the testing of laboratory performance. Main performance parameters of the system such as laser source characteristics, range accuracy, extinction ratio, and false alarm rate were experimentally measured and the results were analyzed. It confirmed that the laser radar system prototype is performing at a proper level.

Keywords: Laser radar, Fiber laser, Avalanche photo-detector, Range accuracy, False alarm rate

OCIS codes: (110.6880) Three-dimensional image acquisition; (120.0280) Remote sensing and sensors; (140.3510) Lasers, fiber; (280.3640) Lidar

I. 서 론

레이저 레이더(Laser Radar 또는 Ladar)는 레이저를 전방에 있는 표적을 향해 조사하고 표적으로부터 반사되어 돌아오는 광신호를 검출기에서 감지하는 광학식 레이더 시스템이다. 레이저 광선이 조사된 표적의 면적으로부터 얻게 되는 표적 2차원 정보와 표적까지의 거리 정보를 통합 처리하여 표적의 3차원 영상을 얻을 수 있다. 이때 마이크로(micron) 수준 또는 그 이하의 짧은 파장과 좁은 펄스 폭을 가지는 레이저를 이용하기 때문에 기존의 마이크로파 레이더 경우와 비교하여 고해상도, 고정확도의 표적 정보 획득이 가능하다.

반면, 레이저 레이더는 기후 상태 등 대기의 영향으로 인하여 운용상 탐지거리의 제약을 받는 단점도 가진다. 이러한 레이저 레이더 시스템은 민간분야에서 자율운용 시스템, 3차원 입체지도 등, 군사 분야에서 무인정찰기, 무인 전투차량, 장애물 탐지를 위한 헬기, 유도무기용 탐색기 등에 활용될 수 있다.

본 논문에서는 맵핑(mapping)용 3차원 영상 레이저 레이더 실험실 시제의 성능시험 및 분석결과를 소개하고자 한다. 맵핑은 레이저 레이더 시스템의 응용분야 중에 가장 활발한 연구가 진행되고 있는 분야의 하나이다. 맵핑을 통해서 지상의 지형 지물 지도를 제작할 수 있으며, 일부 기능을 보완하여

[†]E-mail: minsjo@yahoo.co.kr

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

헬기 등에 탑재할 경우 비행체 경로상의 철탑이나 송전선 등을 찾아내어 회피하는 장애물 탐지 분야에도 활용될 수 있다. 레이저 레이더 실험실 시제의 성능시험은 실험실 수준에서 시제의 기본 성능을 평가하고 최종 본 시제 제작을 위한 추가 개선요구 사항을 도출하는 데 그 목적이 있다. 더불어 실험실 시제의 성능시험 결과를 분석함으로써 시제품을 구성한 각 모듈들의 성능 및 시스템 성능 영향성을 파악할 수 있으며, 각각의 구성 모듈에 대한 요구 성능 할당 및 재분배를 구체적으로 검토할 수 있다.

II. 레이저 레이더 시스템 개발 개요

개발 중인 맵핑용 레이저 레이더 시제는 FLAME(Fast Ladar Aerial Mapping Equipment)으로 명명하였다. FLAME 시제는 고해상도 3차원 맵핑 시스템으로서, 적정 고도에서 비행하는 무인기나 헬기 등에 장착되어 시야각 안에 있는 표적을 레이저로 스캔하고 영상을 획득하는 기능을 갖추고 있다. FLAME 시제는 센서부와 영상처리부로 구분된다. 시제의 센서부는 고해상도 3차원 영상을 제시할 수 있는 충분한 원시데이터를 획득하고, 이를 대용량 저장 모듈에 저장한다. 획득 데이터를 이용한 계산과 맵핑 정보 구축 작업은 지상의 영상처리부에서 off-line으로 이루어진다. FLAME 시제가 센서부로부터 획득하는 데이터는 거리(range), 레이저 세기(intensity), 엔코더, IMU(관성측정기, Inertial Measurement Unit), DGPS(차분 위성항법장치, Differential Global Positioning System) 정보 등이다.

2.1. 레이저 레이더 시스템 하드웨어 구성

레이저 레이더 시스템은 레이저와 검출기를 핵심 모듈로 하여, 전자부, 광학부, 영상처리부, Ladar 제어부 등으로 구성된다. 이들 중 영상처리부와 Ladar 제어부를 제외한 관련 구성모듈은 센서부에 속한다. 근래 레이저 레이더 광원은 눈에 안전한(eye-safe) 파장에서 동작하는 레이저 광원들을 사용하고 있으며, 중심파장 1.5 μm 대의 어븀 첨가된 광섬유 레이저가 주요 관심 대상이다. 광섬유 레이저는 기존의 전통적인 레이저와 비교할 때, 광섬유를 이득매질(gain medium) 및 도파로(wave-guide)로 이용하는 발진기와 증폭기를 기반으로 하기 때문에 별도의 광 정렬이 필요 없으며 진동이나 온도 등의 환경성이 뛰어 나고, 긴 수명주기를 특징으로 한다. 레이저 발생을 위해 소요되는 전력 관점의 낮은 소모 전력, 소형 경량화의 잠재 가능성, 특히 대부분의 레이저 레이더용 광원에서 요구되는 펄스 고반복률 특성 역시 광섬유 레이저를 부각시키는 장점들이다. 그림 1과 그림 2는 각각 FLAME 시제의 하드웨어 센서부 구성도와 FLAME 실험실 시제 형상을 보여준다.

센서부는 광섬유 레이저 모듈, 검출기 모듈, 항법 모듈, 스캐너 모듈, 송수광 광학 모듈, 로직 모듈, 전원공급기 모듈, 저장 모듈과 같은 세부 구성 모듈로 이루어져 있다. Ladar 제어부는 센서부의 기능과 센서부 구성 세부 모듈을 모니터

FIG. 1. Schematics of FLAME system sensor unit.

FIG. 2. Configuration of FLAME system prototype.

하고 제어하는 휴대용 컴퓨터에 해당한다. 이중 센서부의 핵심모듈인 광섬유 레이저 모듈과 검출기 모듈을 상세히 정리하면 아래와 같다.

2.1.1. 광섬유 레이저 모듈

광섬유 레이저는 7개의 출력 채널을 가지도록 설계되었다. 7개 채널 출력단 광섬유는 광섬유 묶음으로 처리하여 한 개의 번들(bundle)로 제작되었다. 레이저는 어븀첨가 광섬유 레이저로서, 눈에 안전한 1560 nm의 중심파장을 가진다. 레이저의 반복률은 각 채널당 최소 80 kHz에서 최대 140 kHz까지 가변 가능하다. 이 때 레이저의 반복률은 시스템의 운용 고도와 비행체의 속도에 의해서 결정되며, 로직모듈의 명령에 따라 제어된다. 레이저 평균출력은 7개의 레이저 출력을 모두 합하였을 때 2 W 이상이다. 즉, 레이저 펄스당 에너지는 펄스 반복률 80 kHz 조건에서 3.5 μJ 이상, 펄스 반복률 140 kHz 조건에서 2.0 μJ 이상에 해당한다. 레이저 펄스 반치폭(FWHM, Full Width Half Maximum)은 약 1 ns 이다. 레이저 출력 7채널은 FLAME 시제의 시스템 관점에서 각각 333 ns의 간격을 가지고 순차적으로 발사된다. 레이저 시스템은 레이저 발진기(seed)와 전치증폭기(pre-amplifier), 주증폭기(booster)로 구성되었다.

2.1.2. 검출기 모듈

검출기는 광섬유 레이저 모듈의 광출력이 송수광 광학부를 통해서 나가고 들어오는 레이저 광신호를 시작신호(Start

FIG. 3. Sequence of optical transmitting and receiving signals of Laser radar.

signal 또는 FV, First Video)와 표적신호(Target signal 또는 Echo)로 검출한다. 즉, 레이저 출력이 송광 광학모듈을 통해서 표적을 향해 발사될 때, 검출기는 각각 333 ns의 시간 간격을 가지는 7개의 시작 신호를 검출하게 된다. 마찬가지로, 이들 7개 레이저 출력이 표적에 반사되어 수광 광학부를 통해 돌아오는 반사광 신호도 검출한다. 레이저 시작 신호와 반사광 신호사이의 시간 차이는 표적까지의 거리 정보를 알려준다. 검출기는 아발란치 광검출기(APD, Avalanche Photo-Diode)를 기반으로 하는 단일소자(Single pixel) 검출기로서, 잡음등가출력(NEP, Noise Equivalent Power)과 최소검출신호(MDS, Minimum Detectable Signal)은 각각 15 nW 와 150 nW 이하이다. 검출기의 밴드폭은 약 500 MHz(@-3dB) 이상이다.

레이저 레이더 시스템의 레이저 출력신호 송신 및 표적신호 수신 관계는 시스템의 운용 시나리오와 긴밀한 관계를 가진다. 그림 3은 FLAME 시제의 레이저 광선(F.V.) 송신 및 반사광(Echo) 수신 시퀀스 관계를 보여준다. FLAME 시제에서 송광부 7채널의 레이저 광선은 333 nsec의 간격을 가지고 발사되며, 7개의 시작신호(F.V)가 발사되는 동안의 시간인 약 2 usec(333 nsec × 6구간)까지는 검출기의 이득(gain)이 최소로 유지되도록 하여 강한 세기의 시작신호를 증폭없이 검출 가능하도록 하였다. 이후 1 usec 동안 이득을 최대로 상승시켜서 반사광(echo)가 들어오는 시간동안에는 적은 세기의 광신호를 충분히 증폭하여 검출할 수 있도록 하였다. 따라서 첫 번째 시작신호 이후 약 3 usec 시점부터 반사광 검출이 가능하다. 3 usec의 시간은 레이저 광선의 표적 왕복 거리 450 m에 해당한다. 따라서 FLAME 시제에서 감지할 수 있는 최소 표적 거리는 450 m 이다. 맵핑을 목적으로 하는 FLAME 시제는 고도 1 km 주변에서 운용이 가능하기 때문에 450 m 이하 고도 제한에 다른 활용상 문제점은 없다.

2.2. 레이저 레이더 시스템 신호 흐름

FLAME 시제의 센서부 구성도(그림 1)에서 알 수 있듯이, 로직 모듈로부터 발사 명령을 받은 레이저 transmitter는 레이저 광선을 송광 광학부로 입사시킨다. 송광 광학부의 일부 미소한 레이저 광선은 검출기로 전달되어 시작신호를 발생시키고, 나머지 대부분의 투과 레이저 광선은 표적을 향해 외부로 발사된다. 표적으로부터 반사되어 되돌아오는 반사광

신호는 수광 광학부를 통과하여 검출기 모듈로 입사된다. 이러한 일련의 시스템 동작 과정에서 관련 구성 모듈의 제어와 데이터 통신 등 FLAME 시스템의 주요 기능은 로직모듈(Logic Module)에 의해서 수행된다.

로직모듈은 레이저 모듈에 발사(fire)를 위한 트리거(trigger) 신호를 제공하고 검출기의 동작을 모니터한다. 또한 송광부 광선의 좌우 수평 방향 이동을 담당하는 두 개의 스캐너 썰기(wedge) 운동을 모니터하고 제어한다. 스캐너 모듈, DGPS, IMU로 부터 얻어진 모든 데이터를 처리한다. 로직모듈은 이와 같은 표면 반사광 신호의 처리 과정을 거쳐서 결과적으로 표적의 영상 강도(intensity) 분포와 표적까지의 거리를 계산한다. 반사 광신호의 고속 샘플링과 거리 정확도 및 스캐너 속도 제어, 레이저 펄스 반복률 제어, 레이저 출력 power 제어도 로직모듈에 의해 수행된다. 시스템에서 획득된 모든 데이터는 로직모듈에 의해 시간 동기화되어 대형 저장모듈로 보내진다.

III. 레이더 시스템 성능시험 및 분석

레이저 레이더 실험실 시제의 시스템 성능을 평가하기 위한 주요 항목으로 레이저 레이더 광원 특성, 거리 정확도, 소광율, 오경보율을 측정하고 그 결과를 분석하였다.

3.1. 레이저 레이더 광원 특성

레이저 레이더 광원은 FLAME 시제의 성능을 결정하는 주요 시험 항목 중의 하나이다. 본 연구의 FLAME 시제에서 광원은 광섬유 레이저가 적용되었다. 광섬유 레이저로부터 발생한 광신호가 송광 광학부를 통과한 후 표적을 향해 발사되는 시스템 최외각 출력단에서 관측되는 레이저 출력세기와 발산각 특성은 FLAME 시제의 운용거리와 표적 면적 관련 성능에 지대한 영향을 준다. FLAME 시제의 광원 특성을 파악하기 위해서 7개 채널로 이루어진 레이저 레이더 송광부 광원의 펄스당 에너지와 발산각 크기를 측정하였다. 레이저 펄스당 에너지는 Power-meter를 사용하여 출력세기를 측정한 후 펄스 반복률로 나누어서 계산하였다. 광원의 발산각 측정은 전체 에너지의 85%를 포함하는 광원의 직경을 Beam profiler로 측정하여 산출하였다. 표 1과 표 2는 각각 레이저 레이더 광원의 펄스 에너지와 발산각 측정결과를 보여 준다. 그림 4는 레이저 레이더 광원의 공간(spatial) profile 측정 결과이다.

FLAME 시제의 7개 채널 레이저 광원은 펄스 반복률 80 kHz 조건에서 약 4.3 uJ(최소 4.0 uJ, 최대 4.6 uJ), 140 kHz 조건에서 약 2.7 uJ(최소 2.5 uJ, 최대 3.0 uJ) 수준의 펄스 에너지를 가지는 것으로 확인되었다. 시스템에서 요구되는 송광부 각 채널 레이저 출력의 펄스 에너지는 각각 80 kHz 조건에서 3.5 uJ, 140 kHz 조건에서 2.0 uJ 이상 이다. 각 채널사이의 레이저 펄스 에너지 차이는 광섬유 레이저 조립 공정상에 발생하는 조립 손실차이에 기인한 것으로 판단된다. 각 채널간의 광출력의 차이는 향후 보정을 통해서 동등 수준으로 조

TABLE 1. Pulse energy of Laser radar source (unit: μJ)

레이저채널#	펄스반복률 80 kHz	140 kHz
1	4.5	2.9
2	4.3	2.7
3	4.5	3.0
4	4.1	2.5
5	4.6	2.8
6	4.5	2.9
7	4.0	2.5

TABLE 2. Beam divergence of Laser radar source (unit: μrad)

레이저채널#	펄스반복률 80 kHz	140 kHz
1	147	142
2	142	138
3	140	130
4	132	120
5	115	115
6	110	108
7	95	97

FIG. 4. Beam profile of Laser radar source

정이 가능하다.

FLAME 시제의 7개 채널 레이저 발산각은 펄스 반복률 80 kHz 조건에서 최소 95 μrad , 최대 147 μrad 으로, 140 kHz 조건에서 최소 97 μrad , 최대 142 μrad 으로 측정되었다. 시스템에서 요구되는 송광부 각 채널 레이저 광선의 발산각은 150 μrad 이하이다. 각 채널에서의 레이저 발산각이 요구 수치를 충족하고는 있지만 특정 채널의 경우 발산각 개선의 여지가 있는 것으로 판단된다. 향후 레이저 레이더 영상 획득 시험이 이루어지면 결과분석을 수행하여 필요시 성능개선을 추진할 것이다. 그림 4는 FLAME 시제에 적용된 레이저 광원의 공간 프로파일을 측정한 결과이다.

3.2. 레이저 레이더 거리 정확도

레이저 레이더의 거리 정보는 표적의 수평 및 수직방향 영

TABLE 3. Range accuracy measurement of Laser radar (unit: m)

레이저채널 측정횟수	#1	#2	#3	#4
1	498.52	498.81	498.87	498.91
2	498.56	498.86	498.92	498.87
3	498.53	498.75	498.91	498.80
4	498.52	498.97	498.81	498.92
5	498.54	498.90	498.81	498.84
6	498.54	498.84	498.86	498.91
7	498.56	498.90	498.85	498.92
8	498.50	498.74	498.93	498.91
거리평균	498.53	498.85	498.87	498.88
표준편차	0.02	0.07	0.05	0.05
거리정확도	0.03	-	-	-

상에 3차원 정보를 제공해주는 물리량이다. 측정된 거리 데이터의 신뢰성은 거리 정확도(range accuracy)로 평가할 수 있다. 거리 정확도는 이미 알고 있는 거리에 표적을 위치시키고 레이저 레이더를 동작시켜서 획득한 표적의 거리정보를 분석하여, 측정값이 거리 참값으로부터 벗어난 오차(1σ)의 크기로 평가할 수 있다. 시험절차의 주요사항을 요약하면 다음과 같다. 1) FLAME 실험실 시제를 마운팅 치구에 장착한다. 2) 시제의 레이저 출력단을 500 m 떨어진 거리에 위치한 2.5 m×2.5 m 크기의 표적을 향해 조준한다. 3) 시제의 레이저를 발사하여 각 채널의 거리 측정값을 획득하고 이로부터 거리 정확도를 계산한다. 표 3은 FLAME 시제 7 채널 가운데 4개 채널의 거리 측정결과를 정리한 것이다.

표 3의 측정결과에서 볼 수 있는 표준편차 수치는 각 채널에서 측정한 표적까지의 거리 데이터간의 표준편차를 나타낸다. 이 표준편차 값은 거리측정 정밀도(precision) 또는 반복도(repeatability)를 나타내 주는 수치이다. 채널별로 표적까지의 거리 평균값이 상이한 것은 2.5 m×2.5 m 크기의 표적 안에서 각 채널별 레이저 광이 조사된 위치까지의 측정 거리가 다른 까닭이다. 표적이 완전한 평면이 아니며 7 채널 레이저 발사 평면에 대해 표적의 전체 면적이 수직으로 정렬되어 있지 않기 때문에 각 채널 사이에서 실제 표적지점까지의 거리 차이가 발생할 수 있다. 레이저 거리측정기(거리정확도 1 cm)를 이용하여 획득한 표적까지의 거리 참값은 채널 1의 레이저 광이 조사되는 지점에 대하여 498.51 m 이었다. 표 3에서 알 수 있듯이, 채널 1에서 관측된 FLAME 시제의 거리 정확도는 약 3 cm 수준인 것으로 확인되었다. 향후 표적 평면과 레이저 발사 평면과의 정렬을 개선하거나 각 채널의 레이저가 조사되는 표적거리 참값을 개별적으로 측정하여 모든 채널의 거리 정확도를 평가할 것이다. 다만, 표 3의 각 채널당 거리측정값의 표준편차 크기로 판단해 볼 때 FLAME 시제의 7 채널 거리 정확도는 최대 10 cm 이하 일 것으로 예측된다.

3.3. 소광율

레이저 레이더 시스템의 소광율(extinction ratio) 성능은 시

시스템의 운용 가능한 거리를 평가하는 지표 중의 하나이다. FLAME 시제의 운용 가능한 최대거리를 측정하기 위해서는 실제로 표적과의 거리를 증가시켜 가면서 시스템의 성능을 평가하는 방법이 있지만 확보 가능한 표적까지의 거리 등 여러 가지 고려해야 할 주변 환경 방해 요소들이 많기 때문에 단거리 조건에서 소광율 측정을 통해 시스템 성능을 비교적 간단히 확인할 수 있다. 물론, 최종 시제품이 개발되어 성능을 확인하고자 할 시점에는 실제 시험조건에서 시스템 운용 거리를 직접적으로 측정해야 한다. 본 소광율 시험에서는 500 m 거리에 85% 반사율의 표적을 두고 검출기 앞단에 장착한 표적 반사광 신호 세기를 감쇄시키는 필터의 투과율을 변화시켜 가면서 표적까지의 거리를 측정하였다. 시험절차의 주요사항을 요약하면 다음과 같다. 1) FLAME 실험실 시제를 마운팅 치구에 장착한다. 2) 시제의 레이저 출력단을 500 m 떨어진 거리에 위치한 2.5 m×2.5 m 크기의 표적을 향해 조준한다. 3) 시제의 검출기 구경(aperture) 앞단에 소광율 15 dB의 감쇄 필터를 위치시키고, 레이저 레이더 시제의

TABLE 4. Range measurement of Laser radar channels (unit: m @extinction ratio of 12 dB)

레이저채널 측정횟수	#1	#2	#3	#4
1	497.26	497.53	497.64	497.69
2	497.15	497.46	497.57	497.62
3	497.12	497.51	497.61	497.66
4	497.19	497.52	497.60	497.66
5	497.14	497.55	497.61	497.62
6	497.17	497.57	497.59	497.66
7	497.15	497.51	497.58	497.65
8	497.32	497.58	497.66	497.70
거리평균	497.19	497.53	497.61	497.66
표준편차	0.06	0.05	0.04	0.04

TABLE 5. Range measurement of Laser radar channels (unit: m @extinction ratio of 15 dB)

레이저채널 측정횟수	#1	#2	#3	#4
1	497.40	497.71	497.78	497.80
2	545.74	546.34	546.61	546.69
3	496.91	497.42	497.61	497.60
4	496.99	497.53	497.69	497.66
5	497.07	497.58	497.64	0.00
6	496.99	0.00	497.69	497.62
7	497.03	497.53	497.71	497.65
8	497.03	497.54	497.71	497.66
거리평균	503.14	441.46	503.81	441.58
표준편차	18.79	19.00	18.37	14.41

표적 거리를 측정한다. 표 4와 표 5는 각각 소광율 12 dB와 15 dB의 감쇄 필터를 적용했을 때 표적 거리 측정시험 결과를 정리한 것이다.

시스템의 소광율 성능은 표적 거리 측정값을 분석하여 평가할 수 있다. 소광율 성능이 정상적으로 적용 가능한 조건에서는 FLAME 시제의 거리 측정치 표준편차가 앞서 언급한 거리 정확도 수준의 값(약 15 cm 이하)을 보여야 한다. 표 4는 감쇄기 소광율 12 dB를 적용하여 FLAME 시제로 거리 측정한 결과이다. 모든 채널의 거리 측정값의 표준편차가 10 cm 이하로 상당히 양호한 측정오차를 보이고 있다. 이는 12 dB 감쇄기 적용 조건에서도 신호 대 잡음비가 충분히 크며 FLAME 시제의 거리정보 측정이 안정적으로 이루어지고 있음을 의미한다. 표 5는 감쇄기의 소광율을 15 dB로 증가시킨 조건에서 표적 거리를 측정한 결과이다. 모든 채널에서 거리 측정값의 표준편차가 약 20 m 수준의 큰 값을 보이고 있다. 표적 반사광 신호의 세기가 작아서 불안정한 거리 측정이 이루어진 것이다. 표에 나타내지는 않았지만, 소광율 14 dB 감쇄 필터를 적용했을 경우에는 12 dB 대비 다소 증가한 수치이기는 하였으나 여전히 15 cm 이하의 양호한 거리 측정 표준편차를 확인할 수 있었다. 이로부터 FLAME 시제의 소광율 성능은 약 14.5 dB 수준인 것으로 판단된다. 이는 10 km 이상의 가시도(visibility) 대기 조건에서 20% 반사율을 가지는 표적에 대하여 FLAME 시제의 운용 거리 성능이 약 1 km 에 해당하는 결과이다.

3.4. 오경보율

오경보율(FAR, False Alarm Rate)은 레이저 레이더 시스템의 레이저 출력이 발사되지 않았음에도 불구하고 검출기에서 표적 신호판측이 발생하는 비율을 나타낸다. 이와 같은 오경보 신호는 검출기나 레이저 레이더 시스템 자체의 잡음에 기인하여 일어날 수 있다. 오경보율이 높다는 것은 레이저 레이더 시제의 신뢰성을 저하시키는 치명적 결함이다. 이는 레이저 레이더 시제가 거짓 정보를 발생시킴으로서 표적 신호를 감지하지 못하는 것보다도 더욱 위험한 상황을 초래할 수 있기 때문이기도 하다. FLAME 시제의 오경보율 시험은 80 kHz 펄스 반복율 조건에서 레이저를 허공으로 발사하면서 시스템에서 검출되는 표적신호 개수를 측정하였다. 시험절차의 주요사항을 요약하면 다음과 같다. 1) FLAME 시제의 레이저 출력을 허공을 향해 조준한다. 2) 시제의 레이

TABLE 6. False alarm rate measurement of Laser radar (time duration: 10 min.)

측정횟수	레이저 발사수	검출 신호수	오경보율 (%)
1	48×10 ⁶	6250	0.01
2	48×10 ⁶	15428	0.03
3	48×10 ⁶	34285	0.07
4	48×10 ⁶	875	0.00
5	48×10 ⁶	21257	0.04

저 펄스를 80 kHz 반복율로 10분간 발사하고(총 48×10^6 개 레이저 펄스), 시제의 검출기가 감지하는 펄스신호 개수를 측정하여 오경보율을 계산한다. 표 6은 오경보율 측정결과를 보여 준다.

FLAME 시제의 오경보율을 5회 반복 측정한 결과, 최대 0.1%를 초과하지 않음을 확인 할 수 있었다. 맵핑용 응용분야에서의 0.1% 이하 오경보율은 양호한 수치이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 맵핑용 레이저 레이더 개발 실험실 시제의 성능시험과 결과분석 내용을 소개하였다. 실험실 시제의 목적은 안정적인 실험실 조건에서 시스템의 기본 성능을 확보하는 것이다. 레이저 레이더 실험실 시제의 레이저 광원 특성, 거리 정확도, 소광율, 오경보율에 대한 성능시험을 수행한 결과, 양호한 시제 성능을 확인할 수 있었다. 향후 실험실 시제의 성능시험 결과를 반영하여 시제품의 성능 신뢰성 확보와 비행체 탑재 조건에서 운용될 최종 시제 성능개선 연구

를 추진할 예정이다. 맵핑용 레이저 레이더 최종 시제는 헬기나 무인기 등에 탑재되어 운용되며, 이를 통해 관심지역에 대한 고해상도의 맵 정보를 확보하게 될 것이다.

References

1. A. V. Jelaian, *Laser Radar Systems* (Artech House, Boston, USA, 1991).
2. C. S. Fox, "Active electro-optical systems," in *The Infrared & Electro-optical Systems Handbook Volume 6* (SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Washington, USA, 1993).
3. R. D. Richmond and S. C. Cain, *Direct-detection LADAR Systems* (SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Washington, USA, 2009).
4. C. Brenner, "Digital recording and 3D modeling," in *Tutorial of International Summer School* (Crete, Greece, 24-29 April 2006).