

## 레이자와 CCD촬영기를 리용한 목표식별 장치제작과 특성평가

박현철, 오철수, 류명수

최근 보이지 않는 물밑이나 어둡조건에서 목표를 레이자빛으로 조명하고 그것으로부터 반사된 빛을 CCD로 수감하여 목표를 식별하기 위한 연구[1, 2]가 활발히 진행되고있다. 그러나 그것에 대한 구체적인 자료들은 발표되지 않고있다.

우리는 레이자와 CCD를 리용한 목표식별원리를 밝히고 레이자목표식별장치를 제작하였으며 그 특성을 연구하였다.

### 1. 스톡스행렬을 리용한 반사빛의 편광특성평가

목표로부터 반사된 레이자빛의 편광상태는 스톡스변수행렬  $S=(I, Q, U, V)^T$ 를 구성하여 평가할수 있다. 여기서 변수들은 모두 실수이며 계산이 비교적 간편하다.

편광빛의 편광도와 편광각, 편광타원률도 스톡스변수들을 리용하여 직접 계산할수 있으며 따라서 편광탐측은 점차적으로 스톡스행렬을 리용하는 방법으로 발전하고있다.[3]

스톡스변수법에서는 4개의 호상독립인 변수  $I, Q, U, V$ 를 리용하여 한묶음빛선의 편광상태를 완전히 서술한다.[4]

이 4개 변수는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} I &= \langle E_x^2 \rangle + \langle E_y^2 \rangle \\ Q &= \langle E_x^2 \rangle - \langle E_y^2 \rangle \\ U &= 2\langle E_x E_y \cos[\varphi_y(t) - \varphi_x(t)] \rangle \\ V &= 2\langle E_x E_y \sin[\varphi_y(t) - \varphi_x(t)] \rangle \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $\langle \rangle$ 는 시간평균연산자,  $\varphi$ 는  $x$ 방향 혹은  $y$ 방향에서 진동의 위상,  $I$ 는 빛파의 총세기,  $Q$ 는  $x$ 방향과  $y$ 방향에서 선편광빛의 세기차,  $U$ 는  $+\pi/4$ 방향과  $-\pi/4$ 방향상에서 선편광빛의 세기차,  $V$ 는 왼돌이 혹은 오른돌이편광의 크기를 표시한다.

자연계대기배경이나 목표물에 입사한 태양빛에서 원편광성분은 극히 작으며 기구의 오차와 비교하면 무시될수 있으므로 보통  $V=0$ 으로 가정한다.

이 2개의 편광자를 리용한 광학체계로 빛이 통과할 때 스톡스변수들의 변화를 연구하자.

빛이  $M_1, M_2, \dots, M_n$ 으로 표시되는 몇개의 편광자를 련속적으로 통과할 때 전체 편광효과는 개별적인 편광자행렬들의 적으로 표현된다.[5]

$$|E_u\rangle = M_n \cdots M_2 M_1 |E_i\rangle \quad (2)$$

여기서  $|E_i\rangle$ ,  $|E_u\rangle$ 는 각각 입사빛과 출구빛의 상태벡터이며  $M$ 은 편광변화를 나타내는 존스행렬이다.

한편  $x$ 축투과방향을 가지는 선편광자의 존스행렬은 다음과 같다.

$$M_{(H)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

또한 투과축이  $x$ 축과 임의의 각  $\theta$ 를 이룰 때 선편광자의 존스행렬은 다음과 같다.

$$M_{(\theta)} = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \cos \theta \sin \theta \\ \cos \theta \sin \theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix} \quad (4)$$

이로부터  $x$ 축과 투과축이  $0^\circ$ ,  $\theta^\circ$ 만큼 벌어지게 설치한 2개의 편광자를 통과한 경우 스톡스행렬을 리용하면 검출기에서 얻을 수 있는 빛세기는 다음과 같다.[3]

$$I(\theta) = \frac{1}{2}(I + Q \cos 2\theta + U \sin 2\theta) \quad (5)$$

보통 많이 리용하는  $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ 의 3개 편광방향에 대해서 다음의 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} I &= 2[I(0^\circ) + I(60^\circ) + I(120^\circ)]/3 \\ Q &= 4\left[I(0^\circ) - \frac{1}{2}I(60^\circ) - \frac{1}{2}I(120^\circ)\right]/3 \\ U &= 2[I(60^\circ) - I(120^\circ)]/\sqrt{3} \end{aligned} \quad (6)$$

이외에도 변수들인 편광도  $P$ 와 편광각  $\phi$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} P &= \frac{\sqrt{Q^2 + U^2}}{I} \\ \phi &= \frac{1}{2} \tan^{-1} \left[ \frac{U}{Q} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

## 2. 실험결과 및 분석

레이자와 CCD를 리용하여 목표를 식별하기 위해서는 레이자광원과 목표로부터 반사된 레이자빛을 수감하기 위한 빛접수기체계를 구성해야 한다.

레이자광원은 빔발산각이 작기때문에 공간적으로 레이자빛을 확대시켜 발산시키는데 일반적으로 발산각은 목적하는 목표까지의 거리와 넓이, 레이자빛세기밀도에 관계된다.

CCD를 리용한 빛접수부는 목표로부터 반사된 빛을 빛접수기까지 끌어들이기 위한 망원경체계가 포함되며 레이자빛만을 접수하고 잡음빛성분들을 차단하기 위하여 협대역광판을 설치한다.

한편 스톡스행렬을 리용하여 인공목표들을 식별하기 위하여 2개의 편광자를 설치한다. 이때 편광면을 돌리는 편광자는 전기적신호에 의하여 필요한 각도로 회전할수 있게 설계하였다. 이런 편광자들대신에 전기광학식변조기를 설치할수도 있다.

식별구역에 대한 제한은 광학적조임으로 해결하였으며 레이자비침구역넓이와 CCD수감넓이를 기본적으로 일치시켰다.

스톡스변수법을 리용한 목표식별실험장치구성도는 그림 1과 같다.

빛초점조절렌즈가 설치된 반도체레이자를 리용하는 경우 레이자빛의 확대는 비교적 간단하며 조절하기 쉽다.

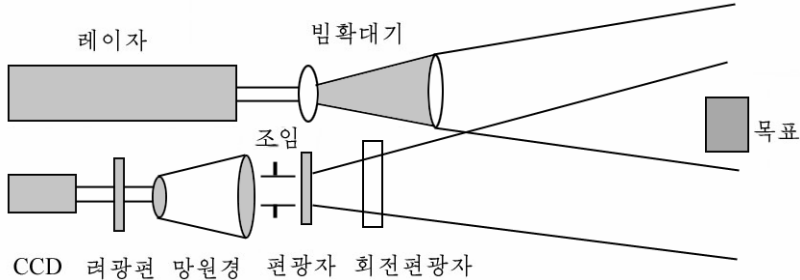


그림 1. 목표식별실험장치구성도

러기고체레이자를 리용할 때에는 레이자빛발산각이 작기때문에 레이자앞단에 초점거리가 짧은 볼록렌즈를 보충적으로 설치하여 발사부의 발산각을  $3^\circ$  정도로 맞추었다. 또한 CCD와 망원경체계를 리용한 빛접수기의 조절은 조임설치방법으로 하였는데 측정거리에서 필요한 면적에서 반사된 빛을 접수할수 있게 하였다.

우리는 편광자의 투과축을 세번 돌리면서 필요한 영상을 기록하고 실험결과들을 식 (6)을 리용하여 컴퓨터로 계산하여 그 영상들을 재현하였다.

자연배경속에 있는 목표를 대상으로 이 장치에서 얻은 원화상은 그림 2와 같다.

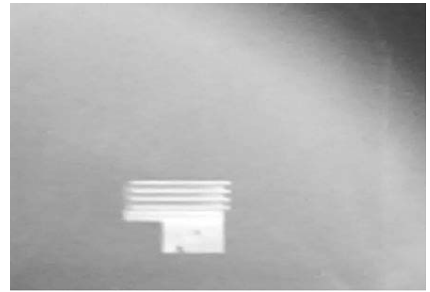


그림 2. 원화상

다음 자연배경속에 있는 목표를 대상으로 이 장치에서 편광면을 세번 돌리면서 얻은 화상과 스톡스변수  $I$ ,  $U$ ,  $Q$ 에 해당하는 영상은 그림 3과 같다.

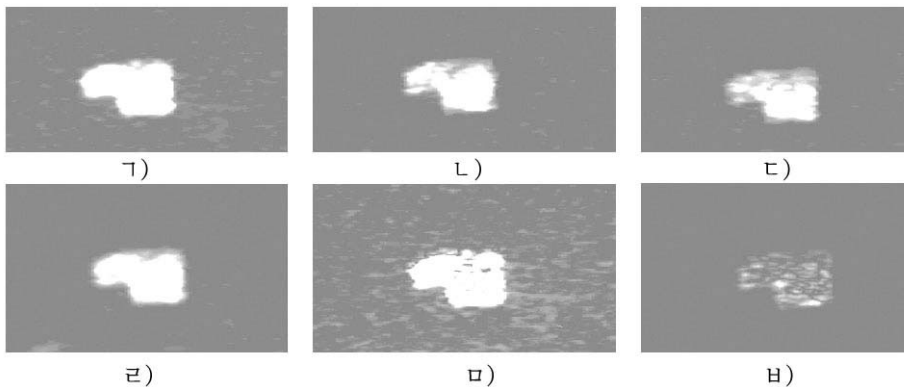


그림 3. 컴퓨터처리한 영상

㉠) - ㉡)는 편광면을 각각 한번, 두번, 세번 돌린 경우,  
㉢) - ㉤)는 각각  $I$ ,  $U$ ,  $Q$ 에 해당하는 영상

또한 매 화소점에서 편광도와 편광각은 식 (7)을 리용하여 계산할수 있으며 그것에 해당하는 영상들도 얻을수 있다.

실험과정에 우리가 얻은 목표식별방법의 특징은 다음과 같다.

첫째로, 금속목표의 반사률은 일반적으로 자연배경의 반사률보다 높으므로 인공목표를 명백하게 식별할수 있다. 그 원인은 자연배경표면이 일으키는 반사특성이 없기때문이다.

둘째로, 파라메터  $U$  영상은 풍부한 가장자리와륜곽자리에 대한 정보를 포함하며 목표의 표면구조를 식별할수 있게 한다. 그 원인은 두 영상의 덜기법에 의해 자연배경표면이 일으키는 잡음이 없어지고 영상들의 세기차가 명백하게 커지는데 있다.

한편 스톡스변수들과 편광도  $P$ 와 편광각  $\theta$ 에 대한 화상들로부터 목표의 3차원영상도 재생시킬수 있다.

### 맺 는 말

1) 레이자와 CCD를 리용한 기초실험장치를 구성하고 스톡스변수법에 의한 목표식별방법의 기초실험자료들을 얻었다.

2) 스톡스변수법을 리용한 목표식별원리에 기초하여 레이자와 CCD, 편광자와 려광관 망원경체계와 확대경체계를 리용한 실험장치를 구성하였다.

3) 실험에서는 자연배경에 비한 금속목표의 강한 반사특성, 목표의 정보를 포함한 스톡스변수들에 해당하는 영상들의 특징, 목표의 3차원영상획득가능성들을 확증하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] 谭显裕; 红外与激光工程, 25, 3, 612008, 1996.
- [2] 谭佐军 等; 激光与红外, 37, 3, 200, 2007.
- [3] 孙玮 等; 光学技术, 30, 3, 267, 2004.
- [4] 王武 等; 激光与电子学进展, 47, 6, 061402, 2010.
- [5] 刘智深 等; 中国海洋大学学报, 34, 4, 655, 2004.

주체104(2015)년 7월 6일 원고접수

## Manufacturing Target Identifier using Laser and CCD Camera and Evaluation of Its Characteristics

*Pak Hyon Chol, O Chol Su and Ryu Myong Su*

By using the experimental setup consisted of a laser source and a CCD camera, we obtain basic experimental data for target identification based on the Stocks parameters. We experimentally demonstrate the possibility for obtaining the image features and 3-dimensional images, corresponding to the Stocks parameters which depend on the reflectivity of metallic target stronger than the background and contain the target information.

Key words: target identifier, Stocks parameter