

論文2003-40SD-3-2

# 두 선형 편광기와 위상 마스크를 사용한 광 암호화 시스템

## (Optical Encryption System Using Two Linear Polarizer and Phase Mask)

裴孝昱\*, 申昌睦\*, 徐東煥\*, 朴世駿\*, 曹雄鎬\*\*,  
金秀重\*

(Hyo-Wook Bae, Chang-Mok Shin, Dong-Hoan Seo, Se-Joon Park,  
Woong-Ho Cho, and Soo-Joong Kim)

### 요 약

본 논문에서는 마흐-젠더 간섭계에서 진행파의 위상정보와 직교 편광을 이용하여 광학적 암호화 시스템을 제안하였다. 두 개의 서로 직교편광의 가간섭성에 의해 간섭현상이 제거되기 때문에 복호 영상이 안정하다. 암호화 과정에서는 원 영상이 수직편광과 수평편광간의 상대적인 위상차에 의해 랜덤한 편광상태를 가지는 영상으로 암호화 된다. 따라서 랜덤한 편광분포로부터 원 영상의 정보를 알 수 없다. 영상을 복호화하기 위해서는 암호화된 영상의 랜덤한 편광분포를 서로 직교하는 두 성분으로 나누고 키영상을 간섭계에 수직 경로에 위치시킨다. 복호 영상은 검광기를 사용하여 세기형태로 재생하였다.

### Abstract

In this paper, we propose an optical encryption system based on the encryption of information using the phase component of a wavefront and orthogonal polarization in a Mach-Zehnder interferometer. Since the incoherence of the two perpendicularly polarized lights removes interference component, the decrypted image is stable. In encryption process, the original image is converted into an image having random polarization state by the relative phase difference of horizontal polarization and vertical polarization, so we cannot obtain the original information from the random polarization distribution. To decrypt an image, the random polarization distribution of encrypted image is divided into two orthogonal components, then key image must be placed on vertical path of Mach-Zehnder interferometer. The decrypted image is obtained in the form of intensity by use of an analyzer.

**Keywords** : orthogonal polarization, Mach-Zehnder interferometer, incoherence.

### I. 서 론

현대 정보화 사회에서는 정보산업의 발전으로 개인

\* 正會員, 慶北大學校 電子電氣컴퓨터學部  
(School of Electrical Engineering & Computer  
Science, Kyungpook Nat'l Univ.)

\*\* 正會員, 大邱工業大學 컴퓨터情報科  
(Dept. of Computer & Information Science, Taegu  
technical college)

接受日字:2002年1月15日, 수정완료일:2003年3月3日

의 정보와 신용이 더욱 더 중요시되고 여권, 신용카드, 은행카드 등과 같은 개인의 신원을 증명할 수 있는 신분증의 사용이 늘어나고 있다. 그러나 컴퓨터 관련 장비들과 소프트웨어 기술의 발달로 화폐뿐만 아니라 여러 이미지 패턴들의 복제가 쉽게 이루어지고 있으며, 위조 기술이 고도화되고 완벽해짐에 따라 어떠한 경우에도 개인 정보보호 뿐만 아니라 위조나 복제를 근본적으로 차단할 수 있는 새로운 접근 방법에 관한 연구 개발이 절실히 요구되고 있다. 최근에는 CCD 카메라, 복사기, 스캐너 등과 같은 기존의 광세기 검출기로는 볼 수도 복제할 수도 없는 복소함수 형태의 랜덤 위상

패턴을 사용하는 새로운 광학적 정보보호 기술<sup>[1~3]</sup>이 제시되어 개인 정보보호 및 신용카드 등의 위조나 복제를 근본적으로 차단할 수 있는 차세대 기술로서 가능성을 제시하고 있다. 또한 암호 패턴이 광 세기 검출기로 검출되지 않으면 복제의 가능성이 줄어들기 때문에 위상만으로 영상을 암호화 하는 방법<sup>[4~6]</sup>이 많이 연구되고 있다.

Kim<sup>[4]</sup> 등은 마호-젠더 간섭계와 위상 마스크를 사용하여 이진 영상을 암호화 함으로써 광 세기 검출기로는 복제가 불가능한 시스템을 제안하였다. 이 시스템에서는 하나의 랜덤 위상 마스크를 기준 영상으로 두고 암호 영상을 빛의 간섭현상을 이용하여 위상 마스크로 제작하여 마호-젠더 간섭계의 두 경로에 기준 영상과 암호 영상을 위치시켜 간섭시킴으로써 영상을 복원하였다. 암호 영상과 기준 영상이 위상만을 가지기 때문에 광 세기 검출기로는 영상의 정보를 알 수 없을 뿐만 아니라 복제 또한 불가능하여 개인 정보보호 및 인증 시스템에 매우 유용하다. 그러나 두 빛의 위상정보에 의한 보강 및 소멸간섭으로 영상을 복호화 하기 때문에 진동이나 공기의 흐름, 온도의 차이 등에 의해 광 경로 변화가 생기면 간섭 줄무늬 패턴에 의해 복호 영상이 왜곡된다. 따라서 광 세기 검출기로 검출되지 않는 위상정보의 장점을 이용하면서 간섭계의 두 경로를 통해 합성된 파의 세기분포가 광 경로 변화에 영향을 받지 않는 안정된 복호 영상을 얻기 위한 연구가 필요하다. 간섭계에서 간섭성분을 제거하기 위해서는 두 경로를 통해 입사되는 두 빔이 서로 직교하는 선형편광 빔이라면 두 빔은 서로 간섭되지 않으므로 합성된 빛의 세기는 광 경로 변화에 관계없이 두 빛 세기의 합이 되어 일정한 세기분포를 갖는다. 또한 두 직교 편광 빔 사이에 상대적인 위상차가 생기면 간섭계의 두 경로를 통해 합성된 파는 위상차에 따른 특정한 편광 방향을 갖는다. 따라서 빛의 편광성질과 두 빛간의 상대적인 위상정보를 이용하여 암호화 한다면 간섭계에서 광 경로 변화에 둔감한 안정된 복호 영상을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 마호-젠더 간섭계에서 위상정보와 서로 간섭되지 않는 직교편광을 이용하여 광 세기 검출기에 의해 복제되지 않고 안정된 복호 영상을 얻을 수 있는 암호화 방법을 제안하였다. 두 개의 직교되는 편광기를 사용하여 마호-젠더 간섭계의 두 경로에 각각 수직 및 수평편광 빔을 입사시키고 위상변조된 원 영

상과 랜덤 키영상의 두 위상정보에 의해 간섭계에서 합성된 영상은 세기가 모두 같고 입의 편광방향을 가지는 암호 영상이 된다. 복원시에 빛 투과방향이 직교하는 두 개의 편광기를 사용하여 암호 영상의 편광 상태를 수직 및 수평 편광 성분으로 나누어 마호-젠더 간섭계의 두 경로에 입사시키고 수직 경로에 키영상을 위치시킨다. 두 경로를 통해 합성된 파는 원 영상의 각 화소세기에 대응되는 특정방향의 편광상태가 된다. 복호 영상은 출력평면에 검광기를 두어 특정 방향의 편광 성분만 통과시켜 재생한다. 이 때 직교 편광 빔은 간섭에 의한 영향이 없으므로 안정된 복호 영상을 얻을 수 있다. 암호화 및 복호화 과정을 광실험에서 위상 변조 특성을 가지고 있는 LCD(liquid crystal display)와 위상 마스크를 사용하여 제안한 시스템의 타당성을 확인하였다.

## II. 편광된 빛의 성질

### 1. 동일 선형 편광파의 합성

초기 위상이  $\phi$ , 주파수가  $\omega$ , 전파 상수가  $k$ , 파의 진폭이  $E_0$ , 진행방향이  $z$ 인  $x$ 방향으로 진동하는 선형 편광파는

$$\vec{E} = E_0 \cos(kz - \omega t + \phi) \vec{x} \quad (1)$$

과 같이 표현된다. 여기서  $\vec{x}$ 는  $x$ 축 방향의 단위 벡터이다. 같은 방향으로 진행하는 두 파를 각각  $E_1$ ,  $E_2$ 라고 하면, 두 파의 합성은

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \\ &= E_{01} \cos(kz - \omega t) \vec{x} + E_{02} \cos(kz - \omega t + \phi) \vec{x} \end{aligned} \quad (2)$$

가 된다. 여기서,  $E_{01}$ 과  $E_{02}$ 는 각각  $\vec{E}_1$ ,  $\vec{E}_2$ 의 진폭이고,  $\phi$ 는 진행방향으로의 두 파들 사이의 상대적 위상차이다. 이 합성파가 가지는 세기  $I$ 는

$$I = \epsilon v \langle |\vec{E}|^2 \rangle \quad (3)$$

이고,  $\epsilon$ 는 매질의 전기 유전율(electric permittivity)이고  $v$ 는 파의 전파속도이다. 그리고  $\langle |\vec{E}|^2 \rangle$ 는 파의 세기 세공의 시간평균값이다. 균일한 매질 내에서  $|\vec{E}|^2$ 는

$$\begin{aligned} |\vec{E}|^2 &= (\vec{E}_1 + \vec{E}_2) \cdot (\vec{E}_1 + \vec{E}_2) \\ &= |\vec{E}_1|^2 + |\vec{E}_2|^2 + 2|\vec{E}_1||\vec{E}_2| \end{aligned} \quad (4)$$

이고,  $\langle |\vec{E}|^2 \rangle$ 는

$$\begin{aligned} \langle |\vec{E}|^2 \rangle &= \langle E_{01}^2 \rangle + \langle E_{02}^2 \rangle + 2\langle E_{01}E_{02} \rangle \\ &= \frac{E_{01}^2}{2} + \frac{E_{02}^2}{2} + E_{01}E_{02}\cos\delta \end{aligned} \quad (5)$$

가 된다. 여기서  $\delta = \phi$ 이며, 광 경로차와 위상차에 의해 발생한 합성 위상차이다. 식 (5)에서  $E_{01}E_{02}\cos\delta$ 의 간섭항 때문에 두 파의 세기가 같을 때  $\delta$ 의 값에 따라 보강 혹은 소멸 간섭이 일어난다. 또한 간섭성분은 광 경로 변화에 민감하여 외부적 진동이나 온도 변화 등에 영향을 받는다.

## 2. 직교 선형 편광파의 합성

직교 선형 편광파의 합성은 동일 선형편광파는 달리 직교 벡터 성분으로 나누어 해석해야 한다. 주파수가  $\omega$ , 전파 상수가  $\lambda$ , 파의 진폭이  $E_0$ 이고  $z$  방향으로 진행하는 두 직교 편광파는

$$\begin{aligned} \vec{E}_1 &= E_0 \cos(kz - \omega t) \vec{x} \\ \vec{E}_2 &= E_0 \cos(kz - \omega t + \phi) \vec{y} \end{aligned} \quad (6)$$

과 같이 표현된다. 여기서  $\phi$ 는 진행방향으로의 두 파들 사이의 상대적 위상차 이고  $\vec{x}$ 와  $\vec{y}$ 는 각각  $x$ 축과  $y$ 축 방향의 단위 벡터이다. 이때 임의의 시각에서 합성된 파는

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \\ &= E_0 \cos(kz - \omega t) \vec{x} + E_0 \cos(kz - \omega t + \phi) \vec{y} \end{aligned} \quad (7)$$

가 된다. 여기서 두 파의 위상차  $\phi$ 가 0 이거나  $\pm 2\pi$ 의 정수배가 되면

$$\vec{E} = (E_0 \vec{x} + E_0 \vec{y}) \cos(kz - \omega t) \quad (8)$$

가 된다. 따라서 합성된 파는 <그림 1(a)>와 같이  $45^\circ$  선형편광 된다.

$\phi$ 가  $\pm \pi$ 의 홀수 정수배가 되면

$$\vec{E} = (E_0 \vec{x} - E_0 \vec{y}) \cos(kz - \omega t) \quad (9)$$

가 된다. 합성된 파는 <그림 1(b)>와 같이  $-45^\circ$  선형

편광 된다. 이때 두 직교 선형편광 파의 세기는  $\langle |\vec{E}|^2 \rangle$ 에 비례한다. 그러므로  $\langle |\vec{E}|^2 \rangle$ 는

$$\langle |\vec{E}|^2 \rangle = \langle |\vec{E}_1|^2 \rangle + \langle |\vec{E}_2|^2 \rangle = \frac{E_0^2}{2} + \frac{E_0^2}{2} = E_0^2 \quad (10)$$

가 된다. 따라서 직교 편광파를 사용한다면 두 파의 간섭에 의한 잡음은 제거될 수 있다.

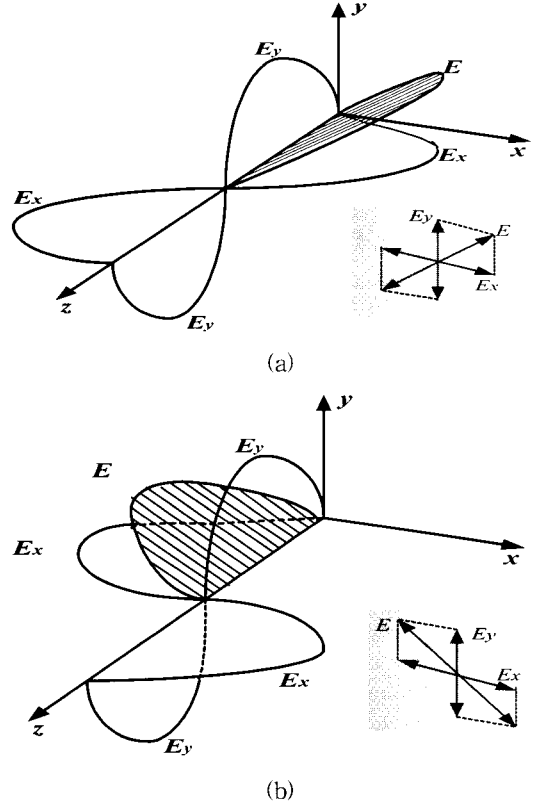


그림 1. 두 직교 선형 편광파의 합성

(a)  $0^\circ$  위상차; (b)  $180^\circ$  위상차

Fig. 1. The addition of two perpendicularly polarized wave: (a)  $0^\circ$  phase difference; (b)  $180^\circ$  phase difference.

## III. 기존의 광학적 영상 암호화 방법

광을 이용한 시스템은 광의 고속성과 병렬성을 이용하여 실시간 처리가 가능하고, 공간 광 변조기나 홀로그래를 이용하여 복소값을 동시에 다룰 수 있을 뿐만 아니라, 광물질 매질 등을 이용하여 대용량의 저장 능력을 가진다. 그래서 최근에는 이를 이용한 광학적 영상 암호화 방법들이 많이 연구되고 있다.

Han<sup>[7]</sup>은 원 영상을 그레이 값에 따라 8개의 비트 평면으로 나누어 암호화 키와 XOR 연산을 취하여 영상을 암호화하고 암호시 사용한 키와 암호화된 영상과의 XOR 연산으로 원 영상을 복원하였다. 그러나 이 방법은 디지털 암호화 방법을 광학 시스템에 적용한 것으로 광학적 구현시 시스템이 복잡해진다.

Refregier<sup>[2]</sup>은 4f 광 상관기를 이용하여 입력 평면과 푸리에 평면에 랜덤 위상 마스크를 두어서 원 영상을 암호화 하였다. 이 방법은 두 개의 랜덤 위상 마스크에 의해서 원 영상이 백색잡음으로 변환되며 또한 두 번 암호화 함으로써 암호화 효과를 높일 수 있다. 복호시에는 영상 암호화시 암호키로 사용한 랜덤 위상 마스크의 복소 공액 값을 가진 위상 마스크를 푸리에 평면에 두어 푸리에 변환된 암호 영상과의 곱에 의해 랜덤 위상 성분은 상쇄되고 원 영상은 광 세기 검출기에 의해 복원하였다. 이 방법은 암호화된 영상이 복소값을 가지기 때문에 위상 마스크로 제작하기 어려운 점이 있고, 이 복소 값을 표현할 실시간 공간 광 변조기가 필요하다.

표 1. 기준 위상 영상과 암호 위상 영상의 간섭

Table 1. Interference of a reference phase image and a encrypted phase image.

Interference	Reference phase	Encrypted phase
Destructive interference	0	$\pi$
	$\pi$	0
Constructive interference	0	0
	$\pi$	$\pi$

Kim<sup>[11]</sup> 등은 0과  $\pi$ 의 위상 값만을 가지는 두 개의 랜덤 위상 마스크의 광학적 간섭 현상을 이용하여, 이진 영상을 암호화하였고 그 규칙은 <표 1>에서와 같다. 기준 영상은 랜덤 발생기를 사용해서 구하고 암호 영상은 원 영상에 따라 <표 1>과 같이 생성하여 0과  $\pi$ 로 구성된 위상 마스크로 제작하였다. 예를 들어 랜덤한 기준 영상과 원 영상이 각각 <그림 2(a), (b)>와 같다고 할 때, 암호 영상은 <표 1>에 따라서 <그림 2(c)>와 같다. 복호시에는 <그림 3>에서와 같이 암호 영상과 기준 영상을 마흐-젠더 간섭계에서 간섭시켜 원 영상을 복호하였다. 이 방식은 암호 영상이 광세기

검출기로 복제가 되지 않지만 간섭현상을 이용하기 때문에 영상 복호시 진동이나 광경로의 변화가 있을 경우 간섭무늬에 의해 복호 영상이 안정되지 않고 왜곡이 생긴다.

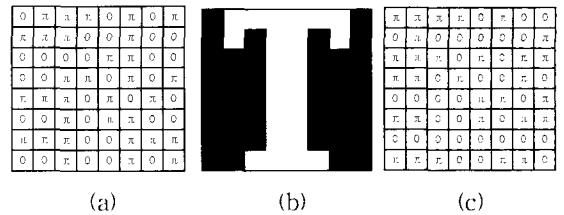


그림 2. Kim이 제안한 암호 영상 생성  
(a) 기준 영상; (b) 원 영상; (c) 암호 영상  
Fig. 2. The generation of encrypted image proposed by Kim:  
(a) reference image; (b) original image; (c) encrypted image

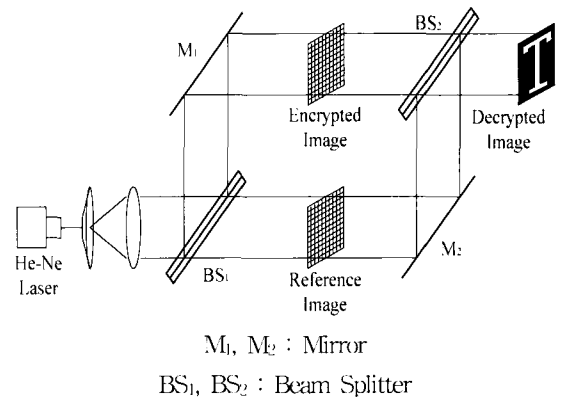


그림 3. Kim이 제안한 영상 복원 시스템  
Fig. 3. Image decryption system proposed by Kim.

#### IV. 제안한 영상 암호 및 복호화 방법

간섭계를 기반으로 하는 시스템은 광경로의 변화에 따른 간섭무늬의 영향으로 영상복호나 인식에 있어서 시스템의 성능저하 요인이 될 수 있다.

제안한 시스템에서는 빛의 편광 특성을 기초로 하여 마흐-젠더 간섭계에서 두 경로상에 직교하는 선형편광 파를 입사시켜 간섭계의 간섭성분을 제거시킴으로써 영상의 왜곡을 제거하였으며, 직교 편광과 위상정보를 이용하여 원 영상을 임의의 편광상태로 암호화하였다. 이 때 암호 영상 각 화소의 세기는 동일하고 편광방향만 다르므로 광 세기 검출기로는 영상의 정보를 알 수 없다.

표 2. 원 영상과 랜덤 키영상에 대한 암호 영상의 편광상태

Table 2. The polarization state of encrypted image for an original image and random key image.

Original image		Random key image		Polarization state of encrypted image
Intensity	Modulated phase	Intensity	Modulated phase	
0	0	0	0	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ 45° Polarization
		1	$\pi$	$\begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix}$ -45° Polarization
1	$\pi$	0	0	$\begin{bmatrix} -1 \\ -1 \end{bmatrix}$ -45° Polarization
		1	$\pi$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ 45° Polarization

1. 영상 암호화

마호-젠더 간섭계의 각 경로에 빛의 투과방향이 서로 직교하는 두 개의 편광기를 사용하여 직교하는 선형 편광파를 입사시키고 한쪽 경로에는 화소의 세기에 따라 이진 랜덤함수  $r(x, y)$ 와 이진 원 영상  $f(x, y)$ 을 0 또는  $\pi$ 로 위상변조 시켜 배치한다. 마호-젠더 간섭계의 두 경로를 통한 직교 선형 편광파의 합  $E_e(x, y)$ 는

$$\begin{aligned}
 E_e(x, y) &= E_v + E_h \\
 &= E_0 \left[ \exp[i\pi(f(x, y) + r(x, y))] \right] + E_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \\
 &= E_0 \left[ \exp[i\pi(f(x, y) + r(x, y))] \right] \quad (11)
 \end{aligned}$$

과 같이 위상성분에 의해 45° 또는 -45°의 편광상태로 암호화된다. 그 규칙은 <표 2>에서와 같다. 원 영상과 랜덤 키영상의 변조된 위상값이 서로 같으면 간섭계를 통하여 합성된 파는 45° 선형편광이 되고 위상값이 서로 다르면 -45° 선형편광이 된다. 예로서 랜덤 키영상과 원 영상이 각각 <그림 4(a), (b)>와 같다고 할 때 암호 영상의 편광상태는 <그림 4(c)>와 같다. 암호화된 영상의 각 화소는 편광상태만 다르고 세기는 같아서 광 세기 검출기로는 암호 영상의 정보를 알 수가 없다. 이상의 암호화 과정을 블록도로 표현하면 <그림 5>와 같다.

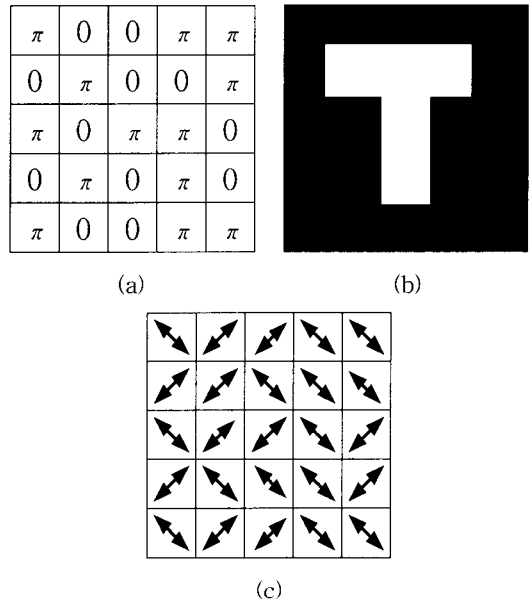


그림 4. 암호영상 생성 (a) 랜덤 키영상; (b) 원 영상; (c) 암호 영상의 편광상태

Fig. 4. The generation of encrypted image: (a) random key image; (b) original image; (c) polarization state of encrypted image

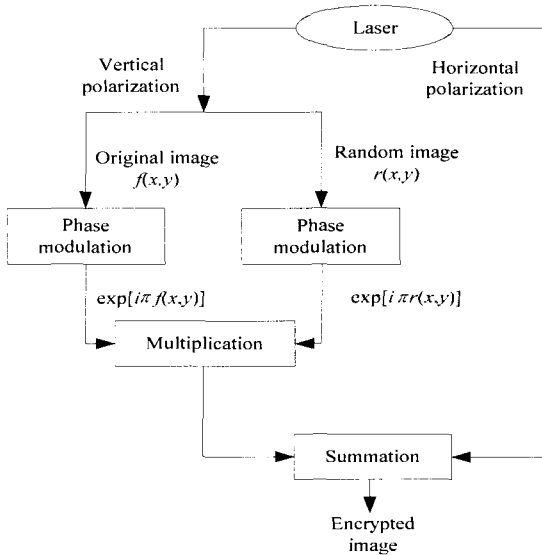


그림 5. 암호화 블록도  
Fig. 5. The blockdiagram for image encryption.

2. 영상 복호화

영상 복호시에는 암호 영상의 편광 상태를 수직 및 수평 성분으로 나눈다. 이때 각각의 성분은

$$E_v(x, y) = E_0 \begin{bmatrix} 0 \\ \exp[i\pi\{f(x, y) + r(x, y)\}] \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$E_h(x, y) = E_0 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

과 같다. 암호 영상의 편광 방향에 따라 두 직교 성분 중 수직 성분은 0 또는  $\pi$ 의 위상 지연된 선형편광 파가 입사된다. 즉 편광방향이  $45^\circ$  일 때는 0,  $-45^\circ$  일 때는  $\pi$ 의 위상지연이 생긴 선형편광 파가 입사된다. 나누어진 두 성분을 간섭계의 각 경로에 입사시키고 수직 경로에 키 영상을 위치시켜 마흐-젠더 간섭계의 두 경로를 통해 합성된 파  $E_d(x, y)$ 는

$$E_d(x, y) = E_0 \begin{bmatrix} \exp[i\pi\{f(x, y) + 2r(x, y)\}] \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$= E_0 \begin{bmatrix} 1 \\ \exp[i\pi f(x, y)] \end{bmatrix}$$

과 같다. 복호된 영상은 키 영상의 값에는 무관하고 원 영상의 세기 값에 대응되는 편광방향을 가진다. 이때 편광방향은 서로 직교하는 두 방향이 된다. 이 영상을 빛을 투과시키는 투과축과 흡수하는 소멸축이  $90^\circ$ 의

방향을 가지고 있는 검광기를 통해 재생한 세기분포는

$$I(x, y) = \left| E_0 \begin{bmatrix} 1 & \exp[i\pi f(x, y)] \\ -1 & \end{bmatrix} \right|^2 \quad (14)$$

$$= |E_0(1 - \exp[i\pi f(x, y)])|^2$$

$$I(x, y) = \begin{cases} 0 & , f(x, y) = 0 \\ 4E_0^2 & , f(x, y) = 1 \end{cases} \quad (15)$$

이 되므로 세기 형태로 원 영상이 복원이 된다. 키 영

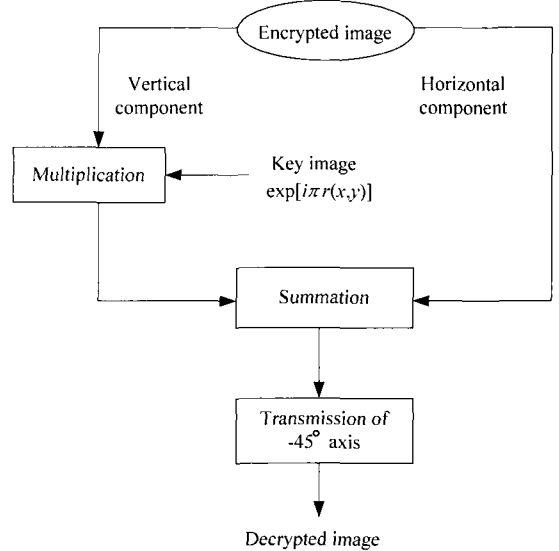


그림 6. 복호화 블록도  
Fig. 6. The blockdiagram for image decryption.

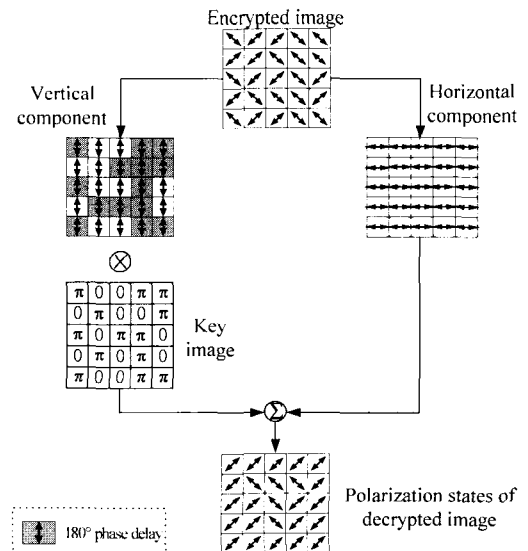

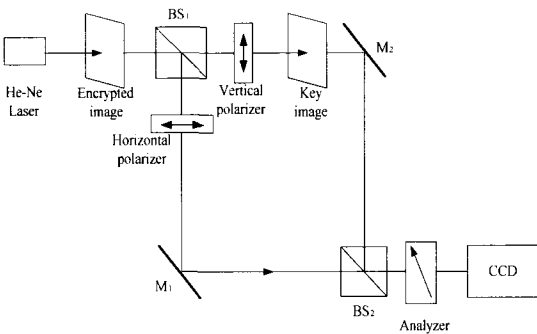


그림 7. 복호과정 개요도  
Fig. 7. Schematic diagram of the decryption.

상과 암호화 영상이 위상성분만 가지고 있기 때문에 복제가 불가능하고 복호시 마흐-젠더 간섭계에서 암호 영상을 두 개의 직교하는 편광성분으로 나누어 복호화 함으로써 간섭의 영향에 둔감한 안정된 영상을 얻을 수 있다. 이상의 복호 과정을 블록도와 개요도로 나타내면 <그림 6>과 <그림 7>에서와 같다. <그림 7>에서 암호 영상의 수직성분에 음영이 들어간  셀은 180° 위상 지연을 나타내며, 복호 영상의 후면에 -45° 방향의 빛을 투과시키는 검광기를 두면 원 영상에 해당하는 'T'자의 세기 영상을 얻을 수 있다.

3. 제안한 광학적 시스템 구성도

제안한 복호 과정의 광학적 시스템 구성도는 <그림 8>에서와 같이 마흐-젠더 간섭계를 이용하였다. 입력되는 레이저 빔은 선형 편광된 레이저 빔이고, 암호 영상의 편광상태는 실시간으로 처리할 수 있는 공간 광 변조기를 이용하여 구현하였다. 두 개의 직교되는 편광기를 사용하여 암호 영상의 선형 편광상태를 직교하는 벡터성분으로 나누어 각 경로에 입사시키며, 두 경로에 입사되는 선형 편광파는 암호 영상의 편광방향에 따라 서로 상대적인 위상차 0 또는 π를 갖는다. 간섭계의 수직 경로에 암호시 사용했던 키 영상을 위치시켜 두 경로를 통해 합성된 파의 편광상태로 영상을 복원하였다. 복원 영상의 세기분포는 출력 평면에 검광기를 두어 복호영상의 편광성분 중 특정 방향의 편광성분만 투과시킴으로써 재생된다. 제안한 시스템에서는 빛의 간섭특성을 이용하지 않고 직교하는 두 선형편광과 위상정보를 이용하여 간섭성분을 제거함으로써 광 경로 변화에 둔감한 안정된 복원영상을 얻을 수 있다.



M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> : Mirror

BS<sub>1</sub>, BS<sub>2</sub> : Beam splitter

그림 8. 영상 복원 시스템

Fig. 8. The system to decrypt the encrypt image.

V. 실험결과 및 고찰

기본적인 마흐-젠더 간섭계를 구성한 후 'T'자 모양의 원 영상에 대해 광 실험을 하였다. 실험에 사용한 He-Ne 레이저 빔은 파장이 632.8nm인 선형 편광빔을 사용하였고, 영상의 편광상태는 LCD를 이용하여 구현하였다. 실험에 사용한 LCD 모델은 Epson사의 P13SM015이고 한쪽 면에만 편광기가 부착되어 있어서 투사시(Projector)용으로 제작된 모듈이다. LCD는 인가 전압에 따라 LCD에 입사되는 빔의 편광방향과 위상을 변화시키는 특성을 갖는다. LCD를 빛이 특정 방향으로 편광시키는 것으로 이용하기 위해서는 인가되는 입력 전압에 따라 변하는 편광방향을 미리 정밀하게 조사한 후 그 결과에 따라서 입력 전압을 인가하여 편광방향을 나타낼수 있다. 랜덤 키영상은 광학적 리소그라피를 이용하여 유리판을 식각하여 위상 마스크로 제작하였다. 사용된 유리의 시간당 식각율을 계산하여 원하는 두께가 될 때까지 식각 용액 속에 담구어 두는데 이때 필요한 두께를 계산하는 식은

$$D = \frac{\lambda \phi}{2\pi(n-1)} \tag{16}$$

와 같고, 여기서 D는 식각하고자 하는 유리판의 두께, λ는 영상 복원시 사용할 레이저의 파장, n은 유리판의 굴절률, φ는 제어하고자 하는 위상을 나타낸다. 본 논문에서의 실험에 사용된 이들 파라미터들의 값은 <표 3>과 같다. 유리판의 식각을 위하여 사용한 용액은 BHF(buffered hydrofluoric acid)로써 이에 의한 유리판의 식각률은 분당 약 0.15 μm로 측정되었으며, 여러 번의 실험을 통해 표면단차측정기(α-step)로 식각 두께를 점검하면서 오차를 줄여나가도록 하였다. 제작한 위상마스크의 크기는 (1.0×1.0) cm<sup>2</sup>이고 위상마스크의 한 화소의 크기는 (2.0×2.0) mm<sup>2</sup>이다. 식각과정에서 PR(photo resist)이 BHF용액에 견디는 시간을 고려하여 φ의 값을 π로 선택하여 식 (16)에 대입하였을 때 식각두께 D의 값은

$$D = \frac{632.8 \times 10^{-9} \times \pi}{2\pi(1.52 - 1)} \cong 0.608 \mu\text{m}$$

가 된다.

표 3. 실험에 사용된 각 파라미터들의 값  
Table 3. The value of each parameter for the optical experiment.

Parameter	Value
$\lambda$	632.8nm
$n$	1.52
$\phi$	$\pi, 3\pi, 5\pi \dots$

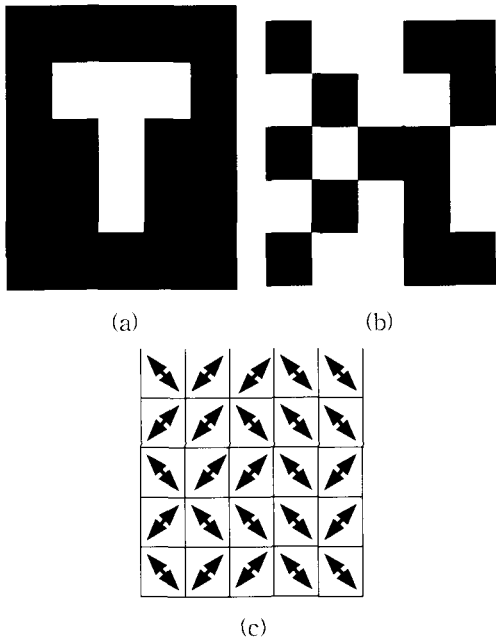


그림 9. 실험에 사용된 영상  
(a) 원 영상; (b) 랜덤 키패턴; (c) 암호 영상의 편광 패턴

Fig. 9. Image for the experiment: (a) original image; (b) random key image; (c) the polarization state of encrypted image.

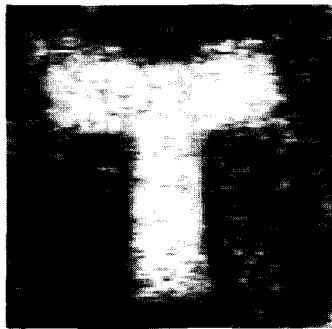


그림 10. 제안한 시스템의 복호 영상  
Fig. 10. Experimental decrypted image of the proposed system.

실험에 사용된 입력 영상과 랜덤 키영상은 각각 <그림 9(a), 9(b)>이다. 이들 두 영상을 사용하여 <표 2>에 의해 생성한 암호 영상의 편광상태는 <그림 9(c)>와 같다. <그림 8>과 같은 제안한 시스템에 암호화된 영상과 키 영상을 올려 합성된 파를  $-45^\circ$  성분만 검광기를 통해 투과시켜 얻은 복호 영상은 <그림 10>과 같다.

VI. 결 론

본 논문에서는 마호-젠더 간섭계에서 직교하는 선형 편광과 영상의 위상정보를 이용하여 영상을 암호화하고 암호화된 영상의 직교하는 두 편광성분과 키 영상의 위상정보를 이용하여 영상을 복원하였다. 위상 성분과 편광특성을 이용하여 얻은 암호 영상의 화소는 모두 같은 세기분포를 가지고 랜덤한 편광 상태가 됨으로 광 세기 검출기로 복제가 불가능하다. 제안한 시스템에서는 두 개의 직교되는 편광기를 사용하여 간섭계의 각 경로에 직교 편광 빔을 입사시켜 영상을 암호화 및 복호화 하기 때문에 간섭성분이 제거되어 주위의 온도 변화나 공기의 흐름 등에 의한 간섭의 영향에 민감하지 않은 안정된 복호 영상을 얻을 수 있다. 광 실험에서 키 영상은 광학적 리소그라피에 의해 제작하고 암호 영상은 편광특성을 이용할 수 있는 위상변조기인 LCD를 사용하여 제안한 방법의 타당성을 확인하였다. 광 실험을 통해 복호된 영상은 위상 마스크의 식각 두께에 대한 오차, 편광기의 정확한 편광방향 조절에 대한 오차로 인해 약간의 영상 왜곡이 발생한 것으로 사료되며, 이러한 문제점을 보완한다면 더 좋은 실험 결과가 얻어질 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] B. Javid and J. L. Horner, "Optical pattern recognition for validation and security verification," *Opt. Eng.*, Vol. 33, No. 6, pp. 1752~1756, 1994.  
[2] K. H. Refregier and B. Javidi, "Optical image encryption based on input and Fourier plane random encoding," *Opt. Lett.*, Vol. 32, No. 7, pp. 767~769, 1995.



- [3] J. Rodolfo, H. Rajbenbach, and J. Huignard, "Performance of a photorefractive joint transform correlator for fingerprint identification," *Opt. Eng.*, Vol. 34, No. 4, pp. 1166~1171, 1995.
- [4] J. Y. Kim, S. J. Park, C. S. Kim, J. G. Bae, and S. J. Kim, "Optical image encryption using interferometry-based phase mask," *Elec. Lett.*, Vol. 36, pp. 874~875, 2000.
- [5] P. Stepien, R. Gajda, and T. Szoplik, "Distributed kinoforms in optical security applications," *Opt. Eng.*, Vol. 35, No. 9, pp. 2453~2458, 1996.
- [6] J. Y. Kim, S. G. Park, J. W. Kim, Y. H. Doh, and S. J. Kim, "Image encryption and identification using computer generated hologram," *Proc. of ITC-CSCC '99.*, Vol. 1, pp. 537~540, 1999.
- [7] J. W. Han, C. S. Park, D. H. Ryu, and E. S. Kim, "Optical image encryption based on XOR operation," *Opt. Eng.*, Vol. 38, No. 1, pp. 47~54, 1999.

---

 저 자 소 개
 

---



裴孝昱(正會員)

1974년 4월 20일생. 2000년 2월 대구대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2002년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 2003년 2월~현재 고등기술연구원 포토닉스 통신기술센터 근무중. <주관심분야

: 광 보안, 편광, 간섭계, 홀로그램 및 광 메모리>

申昌睦(正會員) 第40卷 SD編 第1號 參照

현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

徐東煥(正會員) 第38卷 SD編 第11號 參照

현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

朴世駿(正會員) 第36卷 T編 第1號 參照

현재 : 구미1대학 인터넷 전자 정보과 겸임교수

曹雄鎬(正會員) 第35卷 D編 第10號 參照

현재 : 대구공업대학 전자계산과 부교수

金秀重(正會員) 第33卷 B編 第7號 參照

현재 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 정교수