

SLM과 광굴절 결정(LiNbO₃)을 이용하여 실현된 실시간 칼라 패턴인식 시스템

준회원 윤진선, 정회원 김남

The real-time color pattern recognition system using an SLM and photorefractive crystal(LiNbO₃)

Jin-Sun Yun Assistant Member, Nam Kim Regular Members

요약

본 논문에서는 SLM(TFT LCD)과 광굴절 결정을 이용하여 실시간으로 처리할 수 있는 칼라 패턴인식 시스템을 구현하였다. 이 시스템은 인식하고자 하는 문자패턴을 SLM을 이용하여 제어하고, 우수한 각도 선택성과 광굴절 특성을 갖는 LiNbO₃(두께 10mm) 결정을 기록 매질로 사용하였다. 제안된 광학 시스템에 의해 빨간색과 녹색 칼라 패턴의 모양 정보와 칼라 정보를 각각 다른 위치에서 실시간 처리로 확연히 판별해서 인식할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, the real-time color pattern recognition system is experimented by optical approach using the SLM(TFT LCD) and a photorefractive material. In the implemented system, the character patterns to recognize are controlled of an SLM, and a 10mm thick LiNbO₃ crystal having high angular selectivity and photorefractive effect is used for recording materials. The shape and color informations of the red or green color patterns are excellently discriminated at independent positions by real-time processing, as the results obtained by proposed optical architecture.

1. 서론

인공지능의 한 분야인 패턴인식은 주어진 데이터와 추출된 특징으로부터 원하는 목적물이나 신호의 존재를 인증(identification) 및 분류(classification)함으로써 컴퓨터를 이용하여 인간의 일을 대신하려는 노력에서부터 발전된 연구분야이다. 패턴인식의 응용으로는 지문인식, 얼굴인식, 홍채인식, 화자인식, 정맥인식 등과 같은 출입 확인 시스템에서부터 음성인식, 문자인식, 기계부품인식, 도면인식, 의료영상분석, 레이더신호검출, 농산물등급분류, 웹사이트 분류에 이르기까지 산업, 농업, 의학, 공학, 군사적인 총 분야로 그 응용범위가 날로 확대되는 추세이다.

광 패턴인식 시스템에 관한 연구는 1873년 Abbe

의 실험이 모태가 되었고, 1964년 Vander Lugt^[1,2,3]가 복소 공간 정합필터를 실현한 이후, 실시간으로 인식을 수행할 수 있다는 잇점으로 인하여 광 상관 처리 기술을 통하여 활발히 연구되어지고 있다. 특히, 실시간 처리가 가능한 공간 광 변조기(spatial light modulator : SLM)^[2,3]과 CCD와 같은 장비들의 탁월한 기술발전으로 인해 그 효율성이 점차로 증대되고 있다. 또한, 칼라패턴을 광학적으로 인식하려는 시도가 활발히 진행되어 1983년 Yu와 Chao^[4]는 회절 격자와 세가지 가간섭 광원(RGB)을 이용하여 칼라 신호를 검출하였다. 또한, 칼라 입력 패턴과 칼라 기록 패턴이 RGB 성분으로 각각 분해되고 각각의 채널에 대해 상관이 수행되는 다중채널 칼라 패턴인식 시스템이 연구되어 왔다.^[5,6,7,8]

패턴을 인식하기 위한 상관기로서, 디지털 상관

기에 비해 광 상관기는 고해상도의 2D 플리에 변환이 고속으로 병렬로 이뤄진다는 잇점을 가지고 있으나, 광 상관기의 전체적인 속도는 SLM의 공간대역폭 곱과 속도에 의해 제한을 받는다. 그러나, SLM 대신 광굴절 결정이 공간 필터의 합성을 위한 홀로그래픽 저장 매질로서 이용된다면, 큰 공간대역폭 곱을 갖게 되고 대용량 데이터베이스화가 가능하게 되어 이러한 단점을 극복할 수 있어 실시간 동적인 광 상관기가 구성될 수 있다.

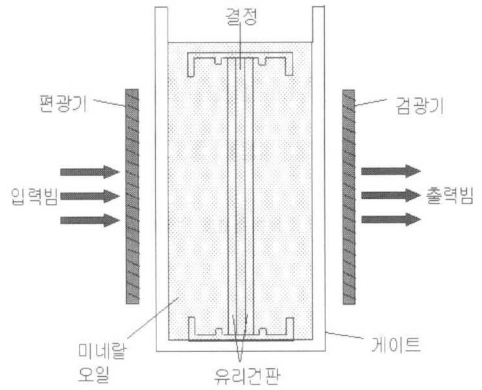
광 패턴인식 및 광 메모리의 기록 매질로 적합한 광굴절 결정^[3,9]을 이용하여 다수의 홀로그램을 고밀도로 다중화하여 기록하려는 연구가 1970년대 RCA의 J. J. Amodei와 D. L. Staebler 등에 의해 이루어져 LiNbO₃ 결정에 500개의 홀로그램을 기록하였고, 1993년 Northrop 사의 F. Mok은 LiNbO₃ 결정에 5000개의 고해상 홀로그램을 기록하고 재생하는 연구를 발표한 바 있다. 본 연구는 국내외적으로 각광받고 있는 광굴절 결정(LiNbO₃)을 이용하여 칼라 패턴을 광학적으로 인식하기 위한 기초적인 응용 실험 논문이다.

본 논문에서는 SLM과 광굴절 결정을 이용하여 구현된 광학 시스템에 대하여 모양과 칼라 정보가 유사한 패턴에 대해서도 판별 특성이 우수한 광 상관 특성을 갖는다는 것을 확인하고자 한다. 본 논문의 II장에서는 실시간 구현을 위한 SLM에 대하여 논하고, III장에서는 광굴절 결정을 이용하여 공간 정합 필터가 합성되는 시스템에 대하여 설명하고, IV장에서는 광학 실험을 구성하여 얻은 실시간 칼라 패턴인식 결과에 대해 분석하고, V장에서는 결론을 맺는다.

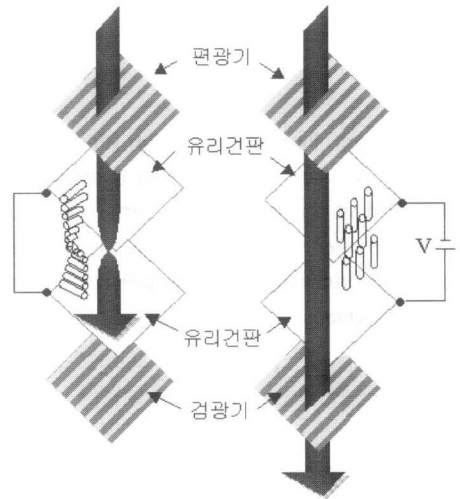
II. 실시간 구현을 위한 SLM - TFT LCD

공간 광 변조기(SLM)은 진폭, 세기, 위상, 편광 등의 광 파면의 특성을 변조할 수 있는 전자광학(electro-optic) 장치로서, 실시간으로 광학 또는 전기 신호를 빛으로 바꾸어 주는 SLM을 사용한다면 더욱더 강력한 광 정보 처리 시스템이 실현될 수 있다. SLM에는 액정 SLMs(liquid crystal SLMs), 자기 광학 SLMs(magneto-optic SLMs), 변형 미러 SLMs(deformable mirror SLMs), 다중양자우물 SLM(multiple-quantum-well SLM), 음향 광학 브래그 셀(acousto-optic Bragg cells) 등이 포함된다.^[2,3] 특히, 전기적 SLM에 속하는 LCD(Liquid Crystal

Display)는 광학적 특성이 뛰어나지는 않지만, 다른 SLM 기술에 비해 가격이 현저하게 저렴하므로 기본적인 실험에 주로 이용되고 있다.



(a) 구조



(b) 기본적인 동작 원리

그림 1. SLM으로서의 LCD

LCD의 기본 구조는 그림 1의 (a)와 같고, 동작은 그림 1의 (b)와 같이 이루어진다. LCD 스크린의 각각의 액정 셀은 90° 비틀어진 네마틱 액정으로 제작되며, 전기 신호에 의해 독립적으로 제어된다. 그림 1 (b)의 왼쪽과 같이 전계가 가해지지 않을 때는 선형적으로 편광된 빛에 대해 편광 평면은 비틀어진 액정 분자들에 의해 90° 회전하므로, 검광기를 통해 빛은 전달되지 않는다. 그러나, 전계가 가해질 때는 액정 분자들의 꼬임과 기울기가 바뀌

게 되고, 액정 분자들은 전계와 평행하게 정렬되어 검광기를 통해 빛이 부분적으로 전달된다. 전계가 더욱더 증가함에 따라 그림 1 (b)의 오른쪽과 같이 모든 액정 분자들이 가해진 전계의 방향으로 정렬되고 기울어진 분자들은 편광 평면에 영향을 받지 않으므로, 검광기를 통해 모든 빛이 통과하게 된다. 즉, 액정의 각 셀에 가해지는 전압을 변화시키는 것은 빛의 투과율을 변화시킴을 의미하게 되므로, 입력 신호에 따라 각 셀의 전압을 변화시킴으로써 공간적인 광 변조가 이루어질 수 있게 된다.^[10]

이러한 동작 원리를 이용한 TFT LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display)는 입사된 빛의 3~10%만 투과하는 매우 비효율적인 광 변조기로서, 액정, 칼라 필터, 편광판, TFT, 백라이트 등이 결합되어 복잡한 구조를 하고 있다. 두 장의 편광판의 투과도 45%, 유리 두장의 투과도 94%, TFT 어레이 및 화소의 투과도 65%, 칼라필터의 투과도를 27%라 두고 계산하면 TFT LCD의 광 투과도는 약 7.4%이다. 백라이트에서 나온 빛이 후면 편광판, TFT 기관, 칼라필터 및 전면 편광판을 투과하면 그 세기가 10% 이하로 떨어진다. 또한 제조 공정이 복잡하고 시야각이 좁다는 단점을 지니고 있다. 그러나 이러한 기술의 단점을 극복하기 위하여 이론적, 실험적 연구가 활발히 진행 중에 있다.^[11]

또한, TFT LCD는 최근 반도체 기술의 급속한 진보와 다양한 정보통신기기의 발달에 기인하는 새로운 환경에 적합한 박형, 경량, 저소비전력이라는 특징을 갖는 평판 디스플레이(Flat Panel Display)의 대표적인 장치로서, 광·전자·정보통신기 등 거의 모든 응용 분야에 적용되고 있다. 1980년대에 개발되어 그동안 꾸준히 성장해온 TFT LCD는 15" 이상의 모니터용 및 TV용 광시야각 TFT LCD로 발전되어 최근에는 모니터용으로 17", 20" 급의 생산도 진행되고 있는 것으로 보고되었다.^[10] 본 실험에서는 SLM(TFT LCD)을 이용하여 입력 패턴을 제어함으로써 실시간으로 광 정보를 처리할 수 있는 실시간 칼라 패턴인식 시스템이 실현되었다.

III. 광굴절 결정을 이용한 정합 필터의 합성

광 패턴인식을 위한 기록 매질로서, LiNbO₃, BaTiO₃, BSO, BGO, KTN, SBN과 같은 광굴절 결정은 비교적 낮은 세기에서 동작가능하고, 화학 처리나 열 처리가 불필요하므로 체적 홀로그래를 쉽게 형성시킬 수 있을 뿐만 아니라, 높은 회절효율

을 갖기 때문에 최근 광 신호 처리용 소자나 광 통신용 소자로서 적용하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다.^[9] 또한, 광굴절 결정을 광 패턴인식에 적용함으로써 실시간 처리가 가능하고, 대용량의 다중화가 이뤄지며 여러 페이지의 액세스를 병렬로 처리할 수 있으므로 더욱 각광받게 되었다.

매질 자체의 큰 부피에 기인한 좁은 각도 선택성으로 인해 광굴절 결정은 고밀도 광메모리 시스템으로의 적용 가능성이 증명되고 있으며, 이러한 대용량 광 메모리 구조를 데이터 베이스화한 공간 정합 필터로 적용하여 임의의 패턴을 광학적으로 판별하는 광 패턴인식 시스템으로 발전시키려는 연구가 활발히 진행 중에 있다. 이 경우 1cm³ 크기의 단일 결정 내의 한 위치에 ~10000 페이지 정도의 데이터를 저장할 수 있어 효율적 시스템 구성이 가능할 뿐만 아니라 온도나 전기장 인가에 의해 안정적인 홀로그램 구성이 가능하기 때문에 신뢰성 있는 패턴인식 시스템 구현에 매우 적합하다.

체적형 매질에서 다중화를 시키기 위한 방법으로는 각도 다중화, 파장 다중화, 위상코드 다중화 등이 있다. 각도 다중화는 참조 빔의 입사 각을 변화시켜 기록하는 방법이고, 파장 다중화는 물체 빔과 참조 빔은 고정시키고 파장을 변화시켜 기록하는 방법이고, 위상코드 다중화는 참조 빔이 다중 평면파로 구성되어 이들의 위상을 상대적으로 조절하여 기록하는 방법이다. 본 논문에서는 각도 다중화 기법을 이용하여 칼라 패턴을 광굴절 결정(LiNbO₃)에 기록하였다.

여기서, 투과형과 반사형에 대한 선택성을 고려해 보면, 투과형보다는 반사형 광굴절 정합 필터가 더 높은 회절 효율과 더 높은 선택성을 제공하며, 결정의 두께가 증가함에 따라 더욱 첨예한 선택성을 얻을 수 있으므로, 정합 필터의 형태가 반사형으로 구성된다면 더 큰 용량의 정합 필터로 이용될 수 있다.^[3] 반면, 반사형보다는 투과형 광굴절 정합 필터가 일반적으로 더 짧은 응답 시간을 갖는다. 따라서, 광 상관기를 구성함에 있어서, 투과형과 반사형의 결정은 응용 범위에 의해 선택되어야 한다.

광굴절 결정을 이용하여 광 패턴인식 시스템을 구성하기 위한 구조로는 2광파 혼합(two-wave mixing)과 4광파 혼합(four-wave mixing) 구조가 있다. 그 구성도를 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)는 2광파 혼합 구조이고, (b)는 4광파 혼합 구조이다. 그림 2(a)에서 A₁은 물체빔, A₂는 참조빔으로 설계하여 광굴절 결정에 기록한다면, 광굴절 결정의

출력으로는 A₁과 A₂에 비례하는 빔을 각각 얻을 수 있다. 따라서, 이러한 구조는 광 증폭이나 광 커플링 시스템에도 적합한 구조이다. 그림 2(b)에서 광굴절 결정이 투과형일 경우 A₁은 물체빔, A₂는 참조빔으로 광굴절 결정에 기록한 후, A₃를 판독빔으로 설계하고, 반사형일 경우는 A₁은 물체빔, A₃는 참조빔으로 기록한 후, A₂를 판독빔으로 설계한다면, 광굴절 결정의 출력 회절빔 A₄는 A₁ 빔의 역방향에서 얻어지게 된다. 따라서, 이러한 구조는 위상 공액파를 얻기 위한 시스템으로도 적합한 구조이다.

그림 3은 그림 2(b)에 나타난 4광과 혼합 구조의 한 예로서, 본 실험에서 구성하기 위한 VanderLugt 형 상관기로 적용된 예이다. 그림 3의 구조를 그림 2(b)와 비교하여 볼 때, SLM1에 투과된 물체빔(A₁)과 참조빔(A₂) 사이의 간섭 패턴을 광굴절 결정에 기록시키고, SLM2에 판독빔(A₄)을 조사함으로써, 출력(A₃)에서는 물체빔과 판독빔 사이의 상관 세기를 검출할 수 있는 시스템이 구성될 수 있다.

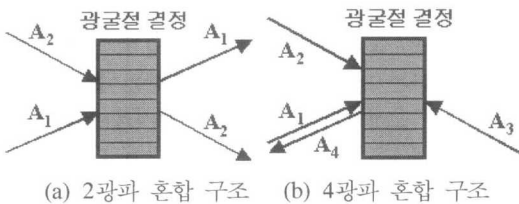


그림 2. 광굴절 결정을 이용한 빔의 혼합 구조들

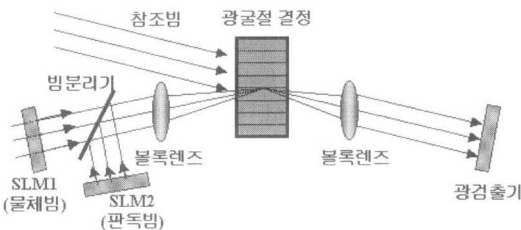


그림 3. 광굴절 결정을 이용한 VanderLugt형 상관기

IV. 실험 및 결과 고찰

실시간 칼라 패턴인식에 관한 실험을 광학 시스템으로 실현하는 가능성을 제시함에 있어 본 실험에서는 단순히 두 가지 색상만을 고려하였다. 파장이 632.8nm인 He-Ne 레이저(적색)와 파장이 514.5nm인 Ar 레이저(녹색)를 광원으로 사용하였고, 광굴절 결정은 우수한 각도 선택성을 갖는 LiNbO₃

를 사용하였다. 입력 패턴을 실시간으로 구현하기 위해 SLM으로서, 전기적 제어 방식에 속하는 TFT LCD를 사용하였다. 기록하려는 입력 패턴으로는 컴퓨터를 이용해 문자 “L”, “G”, “S”, “K”를 작성하여 SLM 제어기를 경유해 SLM 패널에 입력하였다. 문자 “L”, “G”는 He-Ne 레이저를 이용해 2분 20초 동안 광굴절 기록 매질(LiNbO₃)에 기록하였고, 문자 “S”, “K”는 Ar 레이저를 이용해 50초 동안 기록하였다. 이러한 기록과정에서 Ar 레이저의 참조광은 6° (= θ_G), He-Ne 레이저의 참조광은 10° (= θ_R) 각도로 기록 문자와 같은 평면에서 각각 입사시켰다. 따라서 투과형 정합 필터가 광굴절 결정(LiNbO₃)에 기록되는 것이다. 구현된 실시간 광학 시스템을 그림 4에 나타내었고, 광학 실험에서 사용된 사양들을 표 1에 나타내었다. 이 시스템은 III장에서 설명된 광굴절 결정을 이용하여 각도 다중화 기법에 의해 투과형 공간 정합 필터를 합성하고 입력 패턴과의 상관 결과를 얻는 구조로서, 2광과 혼합과 4광과 혼합 중에서, 4광과 혼합 실험구조에 해당한다.

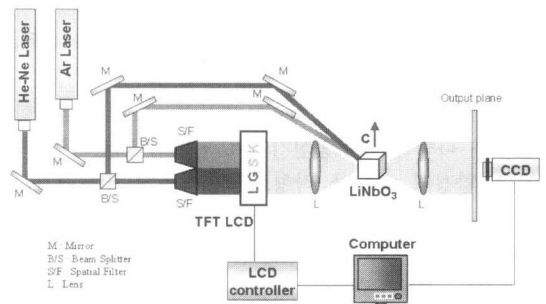


그림 4. TFT LCD와 LiNbO₃를 이용한 실시간 칼라 패턴인식 시스템

표 1. 광학 실험에 사용된 사양

광 원	He-Ne 레이저(632.8nm) Ar 레이저(514.5nm)
기록 매질	광굴절 결정 : Fe-LiNbO ₃ 두께 - 10mm 도핑농도 - 0.015wt%
SLM	TFT LCD 해상도 - 1024×768 (광학 실험시 640×480(VGA) 모드로 동작시킴) 프레임 률 - 60 Hz 대조비 - 100:1 이상
기록 패턴	“L”, “G”, “S”, “K”
CCD	해상도 : 768×494

변환렌즈의 초점길이는 250mm를 사용하였으므로, 본 실험에서 상관 특성값이 얻어지는 위치를 계산할 수 있다. 적색으로 기록된 문자 “L”, “G”에 대한 상관 특성값이 출력되는 위치는 $f \sin \theta_R$ 이므로, $250 \times \sin 10^\circ = 43.4\text{mm}$ 이고, 녹색으로 기록된 문자 “S”, “K”에 대한 상관 특성값이 출력되는 위치는 $f \sin \theta_G$ 이므로, $250 \times \sin 6^\circ = 26.1\text{mm}$ 임을 알 수 있다.

본 논문에서는 구현된 그림 4의 시스템에 의해 인식될 문자를 해당하는 칼라로 기록 각도를 다르게 하여 기록 매질에 저장한 뒤, 입력 문자를 입력 평면에 위치시켜서 출력 평면에서 입력 문자와 기록 문자와의 상관의 정도를 각 칼라에 대하여 다른 위치에서 판별하는 실험을 광학적으로 실현하였다. 이 시스템에 의해 문자의 모양 정보와 칼라 정보가 입력 문자와 기록 문자 사이에 어느 정도 유사한지 즉, 정보의 정합 정도를 판별하게 되는 것이다. 구현된 시스템의 판별 능력을 평가하기 위해 다음 식과 같은 상관 판별 계수(DR)을 사용하였다.

$$DR = \frac{CCP}{ACP} \quad (1)$$

여기서, ACP는 자기상관 첨두치(autocorrelation peak value)이고, CCP는 상호상관 첨두치(crosscorrelation peak value)이다. 입력 평면에 놓이는 입력 패턴이 결정에 기록된 패턴과 전혀 무관한 패턴일 때는 상관판별계수 DR 값이 ‘0’에 가깝게 산출되고, 입력 패턴이 기록된 패턴과 근접한 패턴일 때는 DR 값이 ‘1’에 가깝게 산출되어야 구현된 광학 시스템의 판별 특성은 우수한 것으로 간주될 수 있다.

그림 5는 그림 4의 시스템에 의해 SLM 패널에 입력 문자로서, 문자 “L”, “G”는 적색으로, 문자 “S”, “K”는 녹색으로 입력 평면에 위치시키고 초점 평면에서 얻은 실험 결과를 CCD 검출기로 캡처한 결과로서, 기록 매질에 기록된 문자와의 상관의 정도를 나타내는 두 개의 상관 특성값과 투과된 입력 영상을 볼 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 높은 상관 특성값이 실시간으로 출력되었고, 그 세기를 광 검출기(Power Meter : Newport 1835-C)를 이용해 측정하였다. 그 결과, 적색에 관한 정보의 세기는 이론적으로 계산된 위치와 동일한 위치에서 $0.65 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (적색에 관한 ACP 값)가 얻어졌고, 녹색에 관한 정보의 세기도 이론적으로 계산된 위치와

동일한 위치에서 $0.28 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (녹색에 관한 ACP 값)이 얻어졌다. 이 시스템에 의해 기록 문자와 비교하고자 하는 입력 문자 사이에 모양 정보와 칼라 정보가 어느 정도 유사한지를 나타내는 DR을 계산해보면, 기록된 문자와 입력된 문자의 모양 정보와 칼라 정보가 동일하므로 적색에 관한 DR이 $CCP/ACP = 0.65/0.65 = 1$, 녹색에 관한 DR이 $CCP/ACP = 0.28/0.28 = 1$ 로 산출된다. 따라서, 결정에 기록된 패턴과 입력 패턴 사이의 상관의 정도를 그림 4로 구성된 광학 시스템에 의해 실시간으로 침에하게 각 칼라에 대하여 다른 위치에서 인식되었음을 알 수 있었다.



그림 5. 적색의 “L”, “G”와 녹색의 “S”, “K”가 입력될 때 CCD의 검출 결과

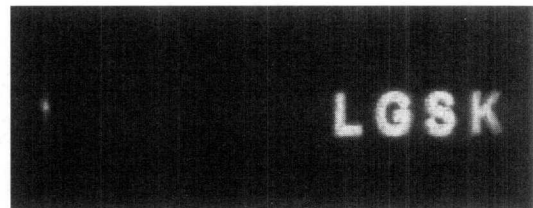


그림 6. 적색의 “L”, “G”, “S”, “K”가 입력될 때 칼라 정보 변화에 따른 CCD의 검출 결과

그림 6은 그림 5의 결과와 비교하여 입력 평면에 문자의 칼라 정보가 다르게 입력될 때의 상관을 측정된 결과로서, 문자의 칼라 정보가 기록된 정보와 판별되어 인식되는지를 조사한 실험이다. 즉, 적색의 “L”, “G”와 녹색이 아닌 적색의 문자 “S”, “K”를 입력 평면에 위치시켜서 초점 평면에서 상관의 정도를 얻은 결과, 적색에 관한 정보의 세기는 변함 없이 $0.65 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 를 얻을 수 있었으나, 녹색에 관한 정보의 세기는 $0 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 로 얻어졌다. 즉, 입력 평면에 놓이는 적색의 “S”, “K”가 결정에 기록된 패턴과 칼라 정보가 전혀 무관한 패턴이므로 녹색에 관한 DR이 $CCP/ACP = 0/0.65 = 0$ 으로 산출됨으로써, 구현된 광학 시스템의 칼라 판별 특성이 우수함을 알 수 있다. 따라서, 본 실험에서 구현된

실시간 칼라 패턴인식 시스템에 의해 칼라 정보가 확연히 판별되어 실시간으로 인식될 수 있음을 확인하였다.

그림 7의 (a), (b), (c), (d), (e), (f)는 그림 5의 결과와 비교하여 입력 평면에 문자의 모양 정보가 다르게 입력될 때의 상관을 측정된 결과로서, 문자의 모양 정보가 기록된 정보와 판별되어 인식되는 지를 조사한 실험이다.

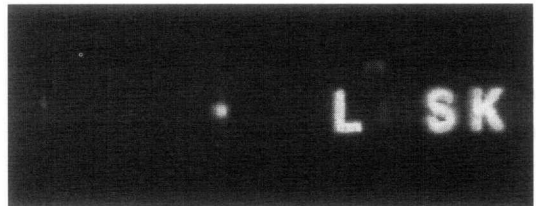
그림 7의 (a)와 (b)는 녹색의 문자 "S"와 "K"를 모두 입력하는 그림 5의 결과와 비교하여, 입력 평면에 녹색의 문자 "S" 또는 "K" 중에서 1개만을 위치시킴으로써, 초점 평면에서 적색에 관한 정보의 세기는 (a), (b) 모두 변함없이 $0.65 \mu W/cm^2$ 로 얻어졌으나, 녹색에 관한 정보의 세기가 (a)는 $0.11 \mu W/cm^2$ 로 얻어졌고, (b)는 $0.14 \mu W/cm^2$ 로 얻어졌다. 입력 평면에 놓이는 1개의 녹색의 문자 "S" 또는 "K"가 결정에 기록된 패턴과 모양 및 칼라 정보가 약 1/2만 근접한 패턴이므로 녹색에 관한 DR이 (a)는 $0.11/0.28=0.39$ 로 산출되고, (b)는 $0.14/0.28=0.50$ 로 산출됨으로써, 구현된 광학 시스템의 모양 판

별 특성이 우수함을 알 수 있다. 따라서, 문자의 모양 정보가 구현된 실시간 칼라 패턴인식 시스템에 의해 인식됨을 알 수 있었다. 여기서, (a)에 비해 (b)의 상관 특성값이 더 높은 이유는 상관 특성값은 회절되는 빔의 세기인데 문자 "K"보다 문자 "S"에서 회절되는 빔이 더 많기 때문이다.

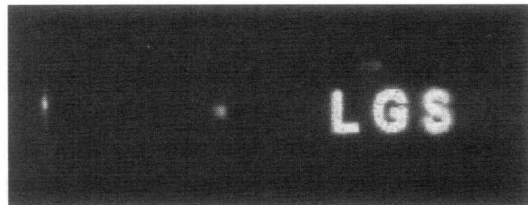
그림 7의 (c)와 (d)는 (a)와 (b)의 실험과 마찬가지로, 입력 평면에 적색의 문자 "L" 또는 "G" 중에서 1개만을 위치시킴으로써, 초점 평면에서 녹색에 관한 정보의 세기는 (c), (d) 모두 변함없이 $0.28 \mu W/cm^2$ 로 얻어졌으나, 적색에 관한 정보의 세기가 (c)는 $0.28 \mu W/cm^2$ 로 얻어지고, (d)는 $0.14 \mu W/cm^2$ 로 얻어졌다. 입력 평면에 놓이는 1개의 적색의 문자 "L" 또는 "G"가 결정에 기록된 패턴과 모양 및 칼라 정보가 약 1/2만 근접한 패턴이므로 적색에 관한 DR이 (a)는 $0.28/0.65=0.43$ 으로 산출되고, (b)는 $0.14/0.65=0.22$ 로 산출됨으로써, 구현된 광학 시스템의 판별 특성이 우수함을 알 수 있다. 또한, (d)에 비해 (c)의 상관 특성값이 높은 이유는 문자 "L"보다 문자 "G"에서 회절되는 빔이 더 많기 때문이



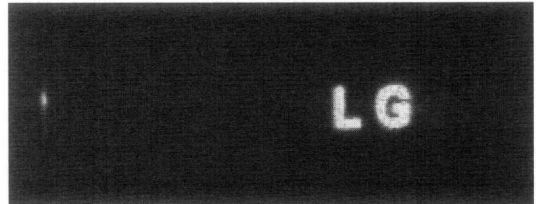
(a) 적색의 "L", "G"와 녹색의 "K"만 입력



(d) 녹색의 "S", "K"와 적색의 "L"만 입력



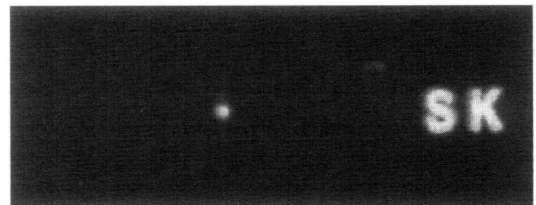
(b) 적색의 "L", "G"와 녹색의 "S"만 입력



(e) 적색의 "L", "G"만 입력



(c) 녹색의 "S", "K"와 적색의 "G"만 입력



(f) 녹색의 "S", "K"만 입력

그림 7. 모양 정보 변화에 따른 CCD의 검출 결과

다.

그림 7의 (e)와 (f)는 적색의 문자 “L”, “G” 또는 녹색의 문자 “S”, “K”를 입력 평면에서 삭제하여 초점 평면에서 출력된 상관 특성값과 투과된 입력 영상이다. (e)는 적색의 문자 “L”, “G”만 입력되었으므로, 적색에 관한 정보의 세기는 변함없이 $0.65 \mu W/cm^2$ 가 얻어졌으나, 녹색에 관한 정보의 세기가 $0 \mu W/cm^2$ 로 얻어져서 녹색에 관한 DR 이 $0/0.28=0$ 으로 산출되었다. 또한 (f)는 녹색의 문자 “S”, “K”만 입력되었으므로, 녹색에 관한 정보의 세기는 변함없이 $0.28 \mu W/cm^2$ 가 얻어졌으나, 적색에 관한 정보의 세기가 $0 \mu W/cm^2$ 로 얻어져서 적색에 관한 DR 이 $0/0.65=0$ 으로 산출되었다. 따라서, 본 실험에서 구현된 실시간 칼라 패턴인식 시스템에 의해 문자의 모양 정보가 확연히 판별되어 실시간으로 인식될 수 있음을 확인하였다.

본 실험에서는 광굴절 결정을 이용하여 공간 정합 필터를 합성하는 과정에서, 정합 필터의 형태를 투과형으로 구성하였지만 반사형으로 구성한다면, 광굴절 결정이 더 큰 용량의 정합 필터로도 이용될 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 실시간 칼라 패턴인식 실험을 위하여 입력 패턴을 SLM을 이용하여 제어하였고, 기록 매질로는 광굴절 결정으로서 LiNbO₃를 사용함으로써 실시간 처리가 가능하였다. 레이저 광원의 종류와 성능, 광굴절 결정의 종류와 특성에 따라 다소 차이는 있으나 기록 매질에 기록하는 데 걸리는 시간이 약 몇 초에 불과하다. 또한, 입력 패턴과 기록 패턴을 공간 평면상에 위치시키기 위해 사용되는 SLM은 60Hz의 프레임 률로 동작한다. 따라서, 단지 몇 초에 불과한 기록 시간과 SLM의 스위칭 시간을 제외하곤 칼라 패턴인식 시스템의 실시간 처리가 가능하다.

또한, 본 논문은 기존에 제안된 광 패턴 인식 시스템을 발전시킨 논문으로서, 기존의 방식은 광원을 한가지만을 이용하여 문자의 모양 정보에 초점을 두어 인식하는 시스템이었으나, 본 논문에서 제안한 방식은 두가지 광원을 이용함으로써 두가지 과정의 문자를 각각 판별하여 인식할 수 있다. 이 방식을 확장시켜 세가지 광원(RGB)을 이용한 칼라 문자 인식 시스템으로 구현할 수 있다. 문자의 모양 정보 뿐만 아니라 문자의 칼라 정보를 구분하여 인식하

는 이러한 방식은 국외에서는 광학적으로 구현된 결과를 제시한 바 있으나, 국내에서는 제안된 적이 없었다.

실시간 칼라 패턴인식을 위한 광학 실험에서 렌즈의 초점거리는 250mm, Ar 레이저의 참조광은 6° , He-Ne 레이저의 참조광의 각도는 10° 로 입사시켜, 4광파 혼합(four-wave mixing) 구조와 각도 다중화 기법에 의해 녹색에 대한 상관 특성값은 원점으로부터 26.1mm, 적색에 대한 상관 특성값은 원점으로부터 43.4mm에서 각각 얻을 수 있었고, 문자의 모양 정보와 칼라 정보가 확연히 판별되어 인식됨에 따라 실시간 칼라 패턴인식에 관한 실험을 광학 시스템으로 실현하는 가능성을 제시하였다.

참고 문헌

- [1] B. Javidi and J. L. Horner, Real-time optical information processing, Academic press, Inc., pp. 57-79, 1994.
- [2] J. W. Goodman, Introduction to Fourier optics, McGraw-Hill, pp. 184-251, 2nd ed., 1996.
- [3] F. T. S. Yu and X. Yang, Introduction to optical engineering, Cambridge University Press, pp. 111-135, pp. 323-354, 1997.
- [4] F. T. S. Yu and T. H. Chao, “Color signal correlation detection by matched spatial filtering,” Appl. Phys., Vol. B 32, pp. 1-6, 1983.
- [5] M. S. Millan, J. Campos, C. Ferreira, and M. J. Yzuel, “Matched filter and phase only filter performance in colour image recognition,” Opt. Comm., Vol. 73, No. 4, pp. 277-284, 1989.
- [6] M. Deutsch, J. Garcia, and D. Mendlovic, “Multichannel single output color pattern recognition by the use of a joint-transform correlator,” Appl. Opt., Vol. 35, No. 32, pp. 6382-6389, 1996.
- [7] I. Moreno, J. Campos, M. J. Yzuel, V. Kober, “Implementation of bipolar real-valued input scenes in a real-time optical correlator : application to color pattern recognition,” Opt. Eng., Vol. 37, No. 1, pp. 144-150, 1998.
- [8] Z. Zalevsky, I. Ravch, G. Shabtay, and D. Mendlovic, “Single-output color pattern recognition using a fractional correlator,” Opt.

