

논문 2008-45IE-1-2

최적화된 위상형 고해상 공간 광변조기의 구현 및 특성분석

(Implementation of the Optimized Phase-type High Resolution Spatial Light Modulator and Analysis of its Characteristics)

고 정 환*

(Jung Hwan Ko)

요 약

본 논문에서는 상용 TFT-LCD 빔 프로젝터를 이용하여 XGA급(1024 X 768) 초고해상 공간 광변조기(SLM)를 구현하고 광 세기 및 위상변조 특성을 분석하였다. 즉, 상용 빔 프로젝터의 광학 모듈, 프로젝션 램프 및 팬들을 제거한 후 이를 효과적으로 보상할 수 있는 전자회로를 설계 제작 및 추가하여 관련 모듈 제거 이전과 동일한 환경을 만들어 줌으로써 XGA급 초고해상 공간 광변조기를 구현하였다. 구현된 초고해상 TFT-LCD 공간 광 변조기의 특성을 실험한 결과, 그레이 준위에 따른 선형적인 광 세기 및 위상변조 특성을 측정하였고 이를 분석한 결과 현재 상용화되어 있는 고가의 공간 광변조기와 비교하여 높은 해상도와 위상변조 특성에 대한 우수한 선형성을 확인함으로써 저가의 고해상 공간 광변조기의 구현은 물론, 이를 통한 광 정보처리 및 3D 디스플레이 시스템 또는 공간 주파수 필터 등의 입력 소자로서의 이용 가능성을 제시하였다.

Abstract

In this paper, a new high resolution XGA-SLM is implemented through modification of a commercial TFT-LCD beam projector and its optical modulation characteristics as a spatial light modulator(SLM) is also analyzed. That is, the optics module, projection lamp and fans are removed from a commercial beam projector and instead, some electric circuits to compensate their removal are manufactured and then, by inserting them into the beam projector, a new XGA-SLM is finally implemented. From some characteristic experimental results of the implemented high resolution TFT-LCD SLM, the proposed TFT-SLM is found to have a good optical linearity in amplitude and phase modulation characteristics as a function of the input gray levels. Especially, through implementation of the suggested TFT-LCD panel, the implemented SLM is proposed as a new relatively low-cost and high resolution SLM for optical information processing.

Keywords : SLM, LCD Projector, Projection Lamp, Optical Modulation, phase modulation

I. 서 론

21세기 고도 정보통신 산업은 현재, 디지털 멀티미디어 기술의 급속한 발전과 인터넷을 위시한 정보 통신망의 확산 등으로 혁명적인 변화를 경험하고 있다. 특히, 기하급수적인 증가가 예상되는 다양한 디지털 멀티미디어 정보를 보다 효과적으로 합성 처리하고 가공하여 전

송, 기록할 수 있는 핵심기반 기술에 대한 연구개발이 선진 각 국을 중심으로 활발하게 진행되고 있다^[1]. 이러한 연구개발 분야 중 향후 단기간에 상용화가 가능한 가장 강력한 후보 기술로 광 홀로그램 기술을 이용한 응용분야 이다. 예를 들어, 초고밀도·초대용량을 지향하는 홀로그래픽 데이터 저장 시스템(HDDS: holographic data storage system) 분야나 실감 3D 디스플레이 분야, 광 패턴 인식분야, 광 시큐리티 및 광 컴퓨팅 분야 등은 선진 각 국이 앞 다투어 개발을 주도하고 있는 실정이다^[2~4]. 이러한 홀로그램을 이용한 광 정보처리 기술에서 가장 핵심적으로 사용되는 광소자는 공간 광 변조기(SLM: spatial light modulator)이다. 즉, SLM은 광 정보처리 시스템에서 광 영상 입력장치뿐만 아니라

* 정회원, 인하공업전문대학 메카트로닉스과
(Department of Mechatronics, Inha Technical College)

※ 이 논문은 2007학년도 인하공업전문대학 교내연구
비지원에 의하여 연구되었음.
접수일자: 2007년10월11일, 수정완료일: 2008년2월29일

공간정합필터(spatial matched filter)등으로 사용되고 있다. 이러한 공간 광변조기를 광정보처리 시스템에서 사용할 때 일반적으로 요구되는 특성은 해상도가 높아야 하며, 픽셀(pixel) 단위의 어드레싱이 가능하고, 진폭 및 위상 변조가 가능할 뿐만 아니라 가격도 저가로 범용성이 있어야 한다는 것이다. 현재, 가장 널리 사용되고 있는 SLM으로는 LCD (liquid crystal device) 공간 광변조기가 있다^[2~10]. 그러나 현재 사용되고 있는 LCD SLM의 경우는 VGA (640×480) 혹은 SVGA (800×600) 급의 해상도를 갖는 제품이 일반적이며, 가격도 비싼 편이다. 최근, XGA(1024×768)급의 초고해상도를 갖는 SLM도 상용화되고 있으나 가격이 너무 비싼 문제점이 있으며, 기존의 LCD SLM은 대부분 진폭변조형으로 광 패턴인식 및 광 시큐리티 분야에서 요구되는 위상 및 복소함수 변조형 SLM은 거의 보고되지 않고 있다^[5]. 특히, 위상변조형으로 개발된 특수 SLM의 경우는 보통 수 만불 이상의 고가로 실질적인 응용이 크게 제한되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 상용 LCD 빔 프로젝터를 이용하여 저가의 범용성 있는 XGA급 초고해상 LCD-SLM을 구현하고, 이에 대한 광변조 특성을 분석함으로써 위상 및 진폭변조가 모두 가능하고, 따라서 기존의 고가의 SLM을 대체할 수 있는 새로운 SLM으로의 응용 가능성을 제시하고자 한다.

II. 상용 빔 프로젝터의 변형을 통한 LCD-SLM 구현

1. 빔 프로젝터용 LCD 패널의 특성

본 논문에서는 SHARP사의 상용 빔 프로젝션 (PG-C20XE)에서 사용되고 있는 XGA급 TFT-LCD 패널(Sony, LCX029CNT)^[5]에 대한 광학특성을 조사한 후, 이를 광 정보 처리 시스템의 입력 및 공간필터용 SLM 광학소자로 개조하였다. 즉, 상용 빔 프로젝터 내부에 장착되어 있는 XGA급 TFT-LCD와 프로젝션 광학계의 원리를 효과적으로 이용함으로써 프로젝션 용도가 아닌 광 정보처리용 LCD SLM으로의 변환 과정을 수행하였다.

빔 프로젝터에 사용된 LCD 패널은 표 1과 같이 직경이 0.9"이고, 786,432(1024×768)개의 픽셀을 갖는 XGA급 Active Matrix형 TFT-LCD로써 1:350의 컨트라스트 비율을 갖는다. 각 픽셀은 17.99 μ m×17.99 μ m의 크기이고, 가로×세로는 18.43×13.82mm의 크기이다.

표 1. 빔 프로젝터에서 사용된 LCD 패널의 사양
Table 1. Specification of LCD panel in the beam projector.

Sony사의 LCX029CNT 패널			
패널 크기	0.9"	컨트라스트	1:350
화소수	786,432(1024X768)	모드	TN
화소 크기	17.99 μ m×17.99 μ m	데이터 라인수	32
SLM 외형 크기	18.4(H)×13.8(mm)(v)	투과율	30% (typ)



그림 1. LCD 패널의 픽셀구조
Fig. 1. Pixel structure's photograph of LCD panel.

그림 1은 빔 프로젝터 내부의 패널을 분리하고, 이를 광학 현미경으로 근접 촬영하여 각각의 픽셀에 대한 크기 및 구조를 나타낸 것이다.

2. 빔 프로젝터의 모듈 제거

빔 프로젝터의 광학계는 그림 2와 같이 프로젝션용 대물렌즈 모듈을 비롯하여 일반 광학렌즈, 반사거울, 컬러필터 모듈 등으로 구성되어 있다. 이러한 광학시스템은 빔 프로젝터에서 램프의 빔을 LCD 패널로 통과시켜 패널영상을 스크린으로 프로젝션 하는 기능을 수행하기 때문에 기존의 상용 빔 프로젝터에서는 매우 중요한 광

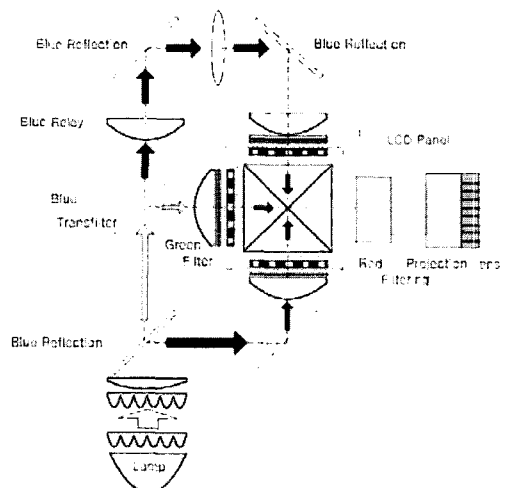


그림 2. 프리즘 방식의 상용 빔 프로젝터 내부 구조도
Fig. 2. Internal structure of a commercial beam projector using a prism.

학시스템이지만, SLM으로 개조하는 경우에는 전혀 불필요한 부분으로 이에 대한 효과적인 제거가 요구된다.

광학모듈 제거 과정은 크게 두 부분으로 나누어진다. 백색광인 램프의 빛을 컬러필터를 이용하여 R, G, B 삼색으로 분해한 다음 이들 3 색광은 그에 대응되는 LCD 패널을 통과하여 합쳐지면서 컬러영상이 만들어지는 부분과, 이러한 컬러영상을 스크린에 프로젝션 하는 프로젝션 렌즈 모듈 부분으로 나누어진다.

이 두 부분은 전자적으로 제어되는 부분이 없는 순수 광학계로서 메인보드를 제거한 다음 광학 모듈의 고정 나사를 풀어 쉽게 제거할 수 있다. 또한, 150W의 출력을 내는 빔 프로젝터의 프로젝션 램프는 빛과 함께 많은 열을 방출하게 된다. 이때 방출되는 열은 내부 회로 및 PCB 보드를 태울 수 있을 만큼의 매우 높은 고열로 특히, 내부 광학계중 칼라 필터와 SLM은 열에 매우 약하기 때문에 이를 효과적으로 방출하기 위한 장치가 필요하게 된다. 이러한 열을 방출하기 위해서 상용 빔 프로젝터에서는 4개의 팬이 사용되고 있으며, 이러한 상용 빔 프로젝터 내부의 팬들은 3선(Red, Black, White) 또는 2선(Red, Black)으로 메인보드와 연결되어 있다.

표 2는 각 팬에서 사용되는 전원 데이터를 나타낸 것이다.

표 2에서 보면 5[V] 팬은 2개(Red, Black)의 선으로, 15[V] 팬은 3개(Red, Black, White)의 선으로 메인보드와 연결되어 있다. 이 중, 메인 보드와 3개의 선으로 연결된 15[V] 팬의 경우, White선은 팬이 정상적으로 동작을 하는지를 체크하는 선으로 빔 프로젝터 내부에서 열이 비교적 많이 발생한다. 또한 팬의 동작 여부에 따라 빔 프로젝터 작동에 큰 영향을 끼친다. 이러한 동작 체크선은 팬의 종류 및 특성에 맞게 적절한 신호 또는 전압이 인가되게 된다. 따라서 동작 체크선이 메인보드에 연결되어 있는 15[V] 팬은 제거 후에도 빔 프로젝터가 정상적으로 동작되도록 하기위하여 제거 전과 똑같은 작동환경의 설정이 요구된다. 반면에, 5[V] 팬은 15[V] 팬과 달리 동작 체크 선이 없기 때문에 간단히 제거될 수 있다.

표 2. 팬의 전원 데이터
Table 2. Power data of the fans.

	Red 선	Black 선	White 선
Power OFF	0[V]	0 V	0[V]
Power ON (2 라인)	5[V]	GND	Non
Power ON (3 라인)	15[V]	GND	0.7[V]

표 3. 프로젝션 램프 제거 후 메인보드의 동작조건
Table 3. Fan's usage power data.

동작상황	접 지	동작조건	인가전압
Lamp OFF	GND	0	4V
Lamp ON	GND	1.6V	0.7

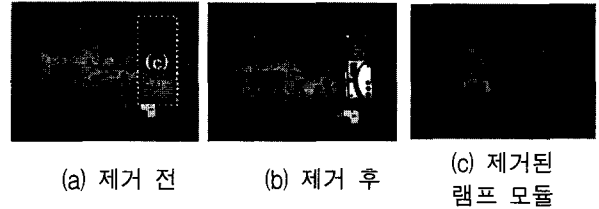


그림 3. 램프 제거 전 · 후 모습과 제거된 램프 모듈 사진

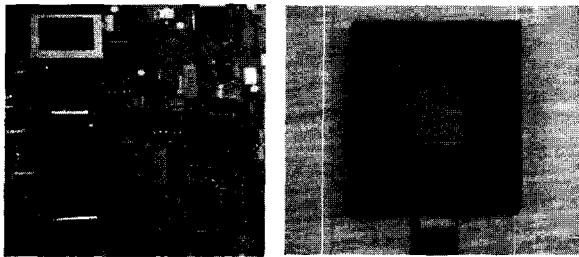
Fig. 3. Figures of removing before and after of lamp and figure of removed lamp module.

한편, 본 논문에서 구현하고자 하는 LCD SLM은 프로젝션용이 아닌 주로 암실에서 레이저광을 사용한 광정보처리용 광학소자로 사용되기 때문에 상용 빔 프로젝터의 150W 고압 및 고출력의 램프도 제거해야만 한다. 프로젝션 램프의 동작 전원은 평소에는 15V의 DC 값을 가지고 있다가 동작하는 순간 300V 이상의 고전압이 인가되며, 이때 램프회로 내부에서는 순간 1KV 이상의 전압이 발생하게 된다. 프로젝션 램프회로는 메인보드와 4개의 선으로 연결되어 있는데 동작체크 선과 전원체크 선 그리고 2개의 접지선 등으로 구성되어 있다. 이들 각 선의 데이터가 일치되지 않으면 동작되지 않으므로 메인보드에 표 3과 같은 동작조건을 만들어 줌으로써 고압 · 고출력의 프로젝션 램프를 효과적으로 제거할 수 있게 된다. 즉, 프로젝션 램프를 제거한 이후, 제거 이전의 정상적인 동작 상태와 동일한 환경을 만들기 위해 램프가 ON일 때 동작조건 선에는 0.7V, 램프가 OFF인 동작상황에서는 4V의 전압을 인가해야한다. 이러한 조건들을 고려하여 새로운 전원회로를 설계 후 제작함으로써 램프 없이도 정상적으로 동작할 수 있는 상황을 구현하였다.

그림 3은 프로젝션 램프를 제거한 전 · 후의 모습을 나타낸 것이다. 그림 3(c)는 프로젝터 내부에 있는 램프 모듈 영역을 나타낸 것이다.

3. LCD 패널 홀더 및 데이터 리드선의 구현

상용 빔 프로젝터 내부에 있는 LCD 패널의 데이터 리드선은 32핀으로 구성되어 있으며, 약 5cm의 짧은 간



(a) 원래의 LCD 패널 (b) SLM용으로 개조된 LCD 패널

그림 4. LCD 패널의 개조 전·후 형태의 사진
Fig. 4. Figure of removing before and after of the original LCD panel.

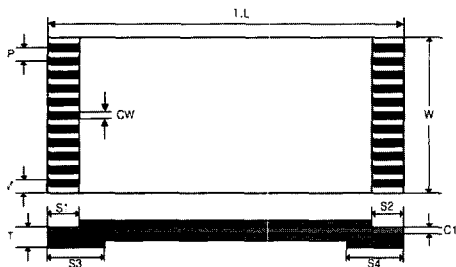


그림 5. 데이터 리드선의 구조도
Fig. 5. Structure of data reed wire.

격으로 메인보드에 연결되어 있다. 이러한 LCD 패널을 광정보처리용 SLM으로써 자유롭게 사용하기 위해서는 데이터 리드선의 길이가 적어도 50cm 이상 길게 설계할 필요가 있다. 그리고 광정보처리 실험과정에서 LCD 패널의 파손을 방지하고 32핀의 긴 데이터 리드선을 보호하기 위해서 LCD 패널을 고정시키기 위한 홀더의 설계도 요구된다.

그림 4는 원래의 LCD 패널 모습과 본 연구에서 실제 설계 제작한 패널 홀더와 32핀의 데이터 리드선을 적용하여 새로이 구현된 LCD SLM의 외형을 각각 나타낸 것이다.

그림 4에서 보는 것과 같이 본 논문에서는 1.5m의 길이의 실제 데이터 리드선을 설계 제작하여 각 LCD 패널에 연결하여 SLM을 구현하였다. 이때 데이터 리드선 제작에 사용되는 소재 및 리드선의 길이에 따라 신호 잡음특성이 크게 달라지기 때문에 최적화 설계가 필요하다.

본 논문에서 사용한 리드선은 FFC(Flexible Flat Cable)로써 PET/PVC등의 재료를 이용하여 105°C 이하의 환경에서는 도선 내부에서 발생하는 열에 의한 잡음에 영향을 받지 않고, AC 500V/min, 266Ω / Km-Min 등의 신호 잡음 특성을 고려하여 최적 조건을 만족하는 데이터 리드선으로 설계하였다.

그림 5는 이러한 특성을 고려한 데이터 리드선의 구조를 나타내고 있으며, P는 피치사이즈(0.5mm), TL은 전체 길이(1.5m)등을 나타낸 것이다.

III. 실험 및 특성 분석

1. 구현된 LCD-SLM의 진폭변조 특성분석

본 논문에서 구현된 XGA급 LCD SLM의 광정보처리 응용 가능성을 분석하기 위해 그림 6과 같은 실험 시스템을 구성하여 광변조 특성인 진폭 및 위상변조 특성을 분석하였다.

즉, 200mW의 출력과 532nm의 파장을 갖는 Crystal Laser사의 ND:YAG 레이저와 λ/2 WP(wave plate)를 이용하여 편광방향을 횡파로 조절하고, Newport사의 collimator와 beam expander(10x) 시스템을 통하여 지름이 1인치 이상 되는 평행광을 만들어 주었다.

또한 편광기(polarizer) 및 분석기(analyzer)를 LCD 패널 앞, 뒤에 설치하고, LCD 패널에 그레이 준위(grey level)에 따른 영상을 디스플레이하여 그레이 값에 따라

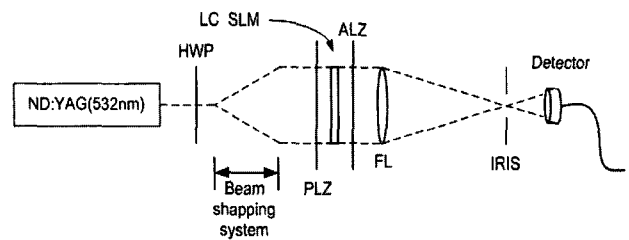


그림 6. 구현된 LCD SLM의 진폭변조 특성분석을 위한 실험구성도

Fig. 6. Experimental setup for characteristic analysis of the amplitude modulation in the modified LCD-SLM.



그림 7. 투과 효율 측정 실험의 구성
Fig. 7. Experimental setup for measuring transmission efficiency.

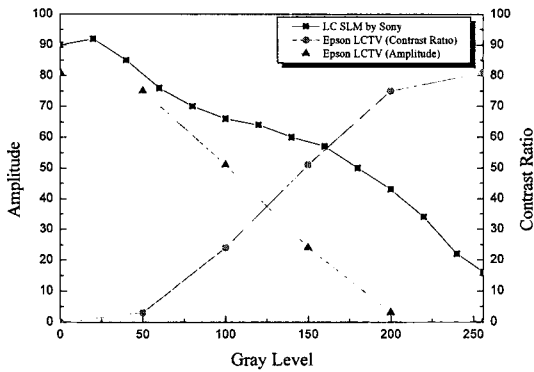


그림 8. 그레이 준위에 따른 광 진폭 변조 특성
Fig. 8. The characteristic of optical amplitude modulation in accordance with gray level.

LCD 패널을 투과한 광 세기를 광 검출기를 이용하여 측정하였다. 또한, SLM의 입력 방향축은 그림 7과 같이 QWP의 fast 축에 맞추어 배열하며 선형 편광기는 ξ 각도로 맞추어 두었다. 여기서 ξ 각도는 식 (8)에 의해서 계산되며 본 실험에서는 $\xi = -42^\circ$ 하여 고유벡터를 만들고 검출하였다.

첫 번째 LP와 QWP의 조합에 의해 생성된 타원형 고유벡터는 공간광변조기를 통과하게 되고 두 번째 QWP와 LP의 조합에 의해 검출된다. 검출 시에도 선형 편광기와 QWP사이의 각도는 $-\xi$ 로 맞추어 준다.

그림 8은 본 논문에서 새로이 구현된 LCD SLM의 광 진폭 변조 특성을 Epson LCTV(320×220)와의 상대적인 수치로 나타낸 것이다. 즉, 그레이 준위 0은 LCD 패널의 모든 픽셀이 Off되는 경우로, 그레이 준위 255는 모든 픽셀이 On 되는 경우로 설정하고, 이러한 조건 하에서 LCD SLM에 디스플레이되는 영상의 그레이 준위를 0부터 255까지 변화시키면서 이에 대응하는 광 세기를 검출하여 이를 상대적인 수치로 나타낸 것이다.

그림 8에서 LC SLM에 대한 데이터는 입력 영상 각각의 그레이 준위에 대하여 투과효율을 백분율로 환산하여 나타낸 것이고, Epson LCTV는 각각의 비디오 레벨에 따른 패널의 광조도를 백분율로 환산하여 나타내었다. 이들 두 데이터는 서로 반대되는 상대적인 개념이므로 각각에 대한 백분율을 비교한다면 같은 데이터가 된다. 본 논문에서 구현한 LC SLM의 진폭 변조 특성은 현재 상용화되어 있는 공간 광변조기와 비교하여 높은 해상도와 작은 픽셀 사이즈임에도 특성곡선이 선형적으로 분포한다는 것을 알 수 있다.

그림 9는 그레이 레벨 0부터 255까지 전체 영상에 대

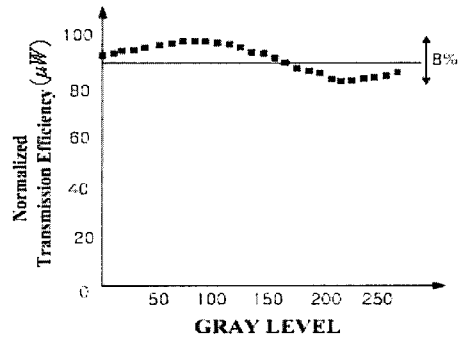


그림 9. 그레이 레벨에 따른 측정된 투과 효율
Fig. 9. Measured transmission efficiency as a function of the gray level.

한 광세기를 측정된 결과를 나타낸 것이다.

그림 9에서, 최대 측정된 값을 바탕으로 정규화하였을 경우, 최대값과 최소값의 변화폭은 약 8% 이내로 패널에 가해진 전압에 따라 변화가 크지 않음을 알 수 있다. Yamauchi의 실험결과에서는 SLM의 광세기 변조가 10~15% 정도로 나타나는 것으로 보고되었다^[6-9]. 물론 사용한 SLM 및 실험환경은 서로 다르지만 본 논문에서 새로이 구현된 TNLC-SLM이 보다 안정적인 위상형 광변조기로서 사용이 가능함을 알 수 있다. 이러한 결과의 원인은 두 가지 관점으로 분석될 수 있다. 첫째, 실험에 사용된 광원이 다르기 때문이다. Zhang, Lu, Yu에 의하면 광 투과 효율은 광원에 대해서도 영향을 받으며 파장이 짧을수록 변화가 크다고 분석하였다^[12]. 결국, Yamauchi는 488nm 파장 레이저를 사용하였고, 본 실험에서는 532nm 파장 레이저를 사용하면서 비롯된 차이로 분석될 수 있다. 두 번째로는 사용된 SLM이 서로 다르다는 점이다. Yamauchi는 1.3인치크기의 VGA급 (640×480) SLM을 사용한 반면 본 논문에서 구현한 것은 0.9인치 크기의 XGA급 SLM을 사용했기 때문에 Yamauchi의 SLM이 크기가 클 뿐만 아니라 해상도가 떨어지고 SLM을 통과하는 빛이 상대적으로 많아 광세기 변화도 많은 것으로 분석된다.

2. 구현된 LCD-SLM의 위상변조 특성분석

위상변조 특성을 측정하기 위해 진폭 변조 실험에서 사용하던 동일한 LC SLM 패널을 사용하였으며, 그림 10과 같이 진폭 변조 실험과는 달리 패널의 앞, 뒤에 존재하던 PLZ와 ALZ를 제거한 후 실험하였다. 마하 켄더(Mach-Zehnder) 간섭계를 통하여 얻어지는 선형적인 간섭패턴을 M1과 M2를 조절하여 횡적으로 위치할 수 있도록 하였고, 이러한 간섭 패턴을 패널 크기가 1/2인

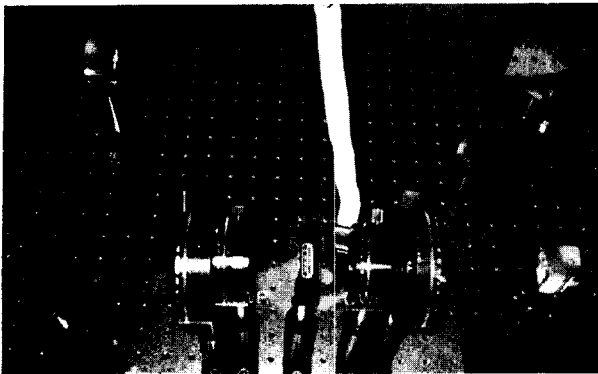


그림 10. 위상 변조 실험도
Fig. 10. Optical setup for the phase modulation.

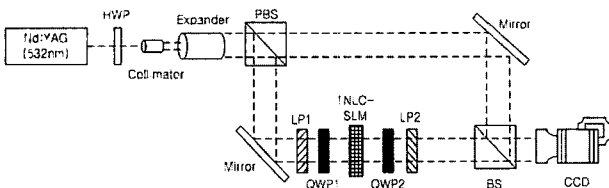


그림 11. 위상변조 특성분석을 위한 실험 구성도
Fig. 11. Experimental setup for characteristic analysis of the phase modulation.

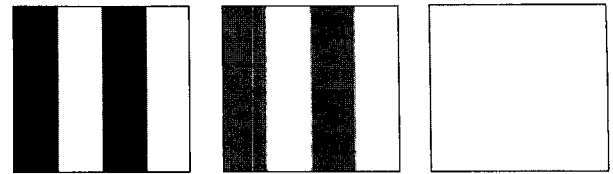
치인 고해상도의 컬러 CCD (SCC347-1/2") 카메라를 사용하여 검출하였다.

또한, 공간 광변조기의 위상변조 특성을 분석하기 위해 입력영상으로 0~255 그레이 레벨 값을 적용한 스트라이프 패턴 형태의 256개 영상을 직접 제작하여 사용하였다. 또한, Beam Expansion 시스템을 사용하여 1인치 이상의 균일한 평면과 빔을 만들어 주었고, 이를 Collimates 테스터를 이용하여 확인하였다. 한편, 새로이 구현된 LCD SLM의 위상변조 특성을 분석하기 위해 그림 11과 같은 실험 시스템을 구성하였다.

그림 11에서 LCD SLM의 입력 영상은 그림 12와 같이 LC SLM 패널을 분할하기 위해 256×768 크기를 갖는 스트라이프(stripe)영상을 4개의 배열 형태로 구성하였다.

즉, 모든 짝수 열의 그레이 준위는 255로 고정하고, 홀수 열의 그레이 준위는 0부터 255까지 변화시킨 256개의 스트라이프 영상으로 구성하였다. 제작된 스트립 윈도우 형태의 영상은 구성된 마하 쯔렌더 간섭계에 의하여 생성된 간섭 패턴과 수직이 될 수 있도록 하였다. 따라서 그림 12의 실험 시스템에서 스트라이프 영상을 LCD 패널에 입력시킨 다음 기준빔과 스트라이프 영상 간의 간섭패턴을 광 검출기로 측정함으로써 그레이 준위에 따른 LCD SLM의 위상변화를 측정하였다.

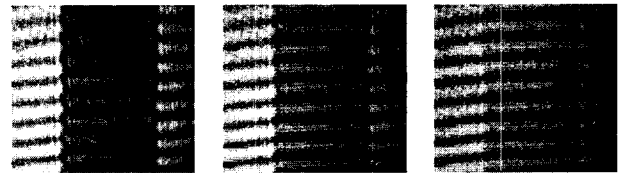
그림 13은 그림 11의 스트라이프 패턴의 그레이 준위



(a) 그레이 준위:0 (b) 그레이 준위:100 (c) 그레이 준위:230

그림 12. 그레이 준위에 따른 스트라이프 영상

Fig. 12. Examples of stripe image in accordance with gray level.



(a) 그레이 준위:0 (b) 그레이 준위:100 (c) 그레이 준위:230

그림 13. 그레이 준위에 따른 LCD SLM의 위상변화 측정결과

Fig. 13. Experimental results for phase variation of LCD SLM in accordance with gray level.

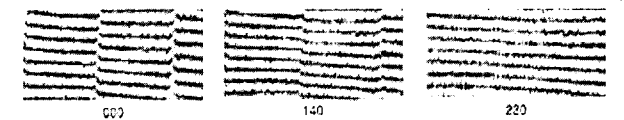


그림 14. 입력 그레이 영상에 따른 위상변위

Fig. 14. Phase-shift depending on the input gray image.

에 따른 LCD SLM의 위상변화 결과를 나타낸 것이다.

TNLC-SLM의 각 픽셀내의 비정규 굴절률(n_e)은 전압을 가함에 따라 그 값이 작아지게 된다. 이 전압은 256개의 그레이 레벨을 제공하는 비디오 카드를 장착한 컴퓨터로 제어할 수 있으며 이런 전압 레벨은 그레이 레벨의 변화에 대해서 선형적으로 나타난다.

따라서 전압에 따라 변화하는 위상 변이를 알아보기 위해 그림 12의 줄무늬 영상을 사용하였으며, 그림 14는 CCD 카메라로 측정된 위상변위가 나타난 간섭영상을 나타낸 것이다.

그림 14에서 TNLC-SLM에 전압을 가할수록(그레이 스케일이 0부터 255로 갈수록) 간섭무늬 패턴이 평평해져 경계 구분이 모호해짐을 알 수 있다. 즉, 그림 13과 비교해 볼 때, 각 열마다 그레이 레벨에 따른 배경을 갖고 있음에도 불구하고 검출된 줄무늬 패턴에서는 경계면을 기준으로 줄무늬의 꺾임만이 관찰될 뿐이다. 이는 광세기 변조를 일정한 값 이하로 유지하는 시스템의 기능으로 광세기 변조는 거의 없이 위상 변조만 나타나는 것으로 분석된다. 본 실험에서는 진폭변조 실험과 동일

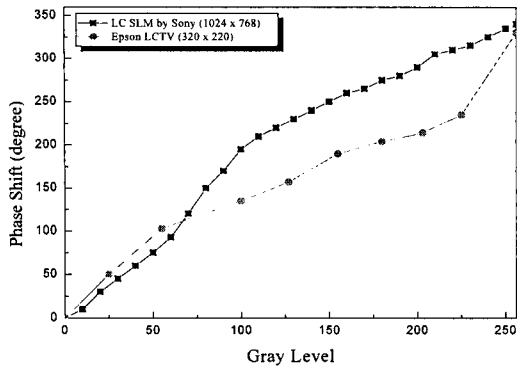


그림 15. LCD SLM의 위상변화
Fig. 15. Phase variation of LCD SLM.

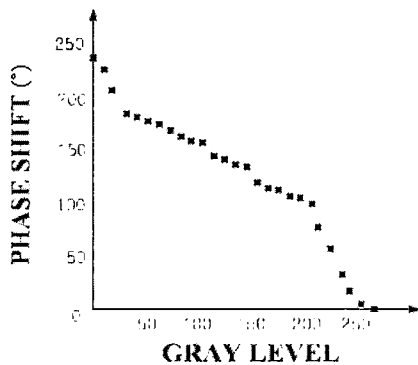


그림 16. 그레이 레벨에 따른 위상 변화도
Fig. 16. Phase-shift dependence on the gray level.

한 LC SLM 패널을 사용하고, 패널에는 각각의 픽셀마다 균일한 전원이 인가 될 수 있도록 하드웨어적으로 제어하였으며, 패널의 밝기 및 선명도는 진폭변조와 동일한 조건을 만들어 주었다. 이와 같은 조건을 통하여 그림 12와 같은 실험도를 구성함으로써^[5] 픽셀들이 모두 정확하게 on 상태인 경우와 off 상태인 경우의 최대 위상 특성 변화량을 간섭패턴이 이동한 거리를 측정함으로써 이를 PLZ의 위상각으로 표현하였다.

그림 15는 그레이 준위를 0부터 255까지 변화시키면서 위상변조 특성의 실험결과를 그래프로 나타낸 것이며, 이를 320×220 해상도를 갖는 Epson사의 크리스탈 LCTV 패널의 데이터와 비교 분석하였다.

즉, 본 논문에서 제안한 LC SLM 패널은 이미 상용화된 기존의 SLM에 비하여 각 준위에 따른 표준편차가 적고 선형성이 우수하며 패널의 다른 여러 특성들을 고려할 때 이를 광정보처리 시스템, 디스플레이 시스템 및 광 디지털 시큐리티 시스템 등에 충분히 응용할 수 있을 것으로 분석된다.

그림 16은 각 그레이 레벨에 따른 위상변화도를 나타

낸 것이다. 최대 위상 변화는 그레이 레벨 0과 255일 경우이며 측정된 값은 약 239.4°(1.33π)로 최적화를 하기 전 값(340°)에 비해 위상 변화 폭은 작아졌음을 알 수 있다. 최근 연구에 따르면 전압을 가해줌에 따라 모퉁이 효과(edge effect)를 고려해야하는데^[5], 이는 변조기의 각 표면에 위치한 분자들은 전압의 변화에 대해 기울어지지 않는다는 것이다. 따라서 표면 근처의 복굴절 값은 전압에 무관하며, 디스플레이 표면은 고정된 표면 복굴절(δ)을 갖는다.

따라서 전압의 변화에 따라 표면 근처의 복굴절(δ)과 복굴절(β)의 변동에 대한 수정된 모델이 제시되고 있다. 만약 이런 접근을 본 실험에 적용한다면, 커브-피팅과 같은 몇 가지 보상 알고리즘의 사용이 요구되며, 광학적으로 위상 변조가 가능하다는 본 실험의 결과를 바탕으로 구현된 TNLC-SLM은 새로운 저가의 초고해상도를 갖는 위상형 SLM으로써 광정보처리 시스템에 사용되는 입력장치나 필터로서 사용 가능하다고 할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 상용 LCD 빔 프로젝터를 이용하여 XGA급 초고해상 공간 광 변조기(SLM)를 구현하고 이에 대한 광학 변조 특성을 분석하였다. 상용 빔 프로젝터의 광학 모듈, 프로젝션 램프 및 팬들을 제거한 후 이를 효과적으로 보상할 수 있는 전자회로를 설계 제작 추가하여 관련 모듈제거 전과 동일한 환경을 만들어 줌으로써 XGA급 초고해상 SLM을 구현하였다. 구현된 초고해상 TFT-LCD 공간 광 변조기의 특성을 실험한 결과, 그레이 준위에 따른 선형적인 광 세기 및 위상변조 특성을 측정하였고 이를 분석한 결과 현재 상용화되어 있는 고가의 공간 광변조기와 비교하여 높은 해상도와 위상변조 특성에 대한 우수한 선형성을 확인함으로써 저가의 고해상 공간 광변조기의 구현은 물론, 이를 통한 광 정보처리 및 3D 디스플레이 시스템 또는 공간 주파수 필터 등의 입력 소자로서의 이용 가능성을 제시하였다.

참 고 문 헌

[1] Kim young woon "Projection TV의 기술 및 개발 현황", 한국 디스플레이학회지, vol. 3, no.4, 7-12, 2002.
[2] Holographic Storage, Glenn T. Sincerbox, SPIE milestone series, vol. MS95, 1994.

- [3] Three-Dimensional Holographic Imaging, Chung J. Kuo, Meng Hua Tsai, Wiley, 2002.
- [4] J. Haslop, "Security Printing Techniques," R. Van Renesse, Optical Document Security, Norwood, MA 1993.
- [5] J. H. Ko, J. S. Lee, "Implementation of Spatial Light Modulator(SLM) using a Commercial LCD Beam Projector", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, vol. 20, no. 9, pp. 1-10, 2006.
- [6] R. Van Renesse, "Introduction to Optical Document Security", Optical Document Security, R. Van Renesse, Norwod, MA, 1993.
- [7] Spatial Light Modulator Technology : Materials, Devices and Applications, Uzi Efron, Marcel Dekker, 1995.
- [8] Y. Ishiim T. Takahashi, M. Kobayashi, "Real-time phase-only matched filtering with dual liquid-crystal spatial light modulators," Opt. Comm., vol.132, pp. 153-160, 1996.
- [9] M. Yamauchi, A. Marquez, J. A. Davis and D. J. Franich, "Interferometric phase measurements for polarization eigenvectors in twisted nematic liquid crystal spatial light modulators", Opt. Comm., vol. 181, pp. 1-6, 2000.
- [10] I. Moreno, J. A. Davis and C. Ferreira, "Twist angle determination in liquid crystal displays by location of local adiabatic points," Opt. Comm., vol. 158, pp. 231-238, 1998.
- [11] M. Yamauchi, T. Eiju, "Optimization of twisted nematic liquid crystal panels for spatial light phase modulation," Opt. Comm., vol. 115, pp.19-25, 1995.
- [12] Z. Zhang, G. Lu and F. T. S. Yu, "Simple method for measuring phase modulation in liquid crystal televisions," Opt. Eng., Vol. 33, No.9, 3018-3022, 1994.
- [13] M. Yamauchi, A. Marquez, J. A. Davis and D. J. Franich, "Phase measurement of a twisted nematic liquid crystal spatial light modulator with a common-path interferometer," Opt. Comm., vol. 190, pp. 129-134, 2001.

 저 자 소 개



고정환(정회원)

2005년 2월 광운대학교 대학원
전자공학과 박사졸업2005년 3월~2006년 2월
광운대학교 연구교수2006년 3월~2007년 2월
(주)인코시스 책임연구원

2007년 3월~현재 인하공업전문대학

메카트로닉스과 전임강사

<주관심분야 : 3D 로봇비전, FA, 3D 영상통신>