

論文95-32A-9-17

# 위상 공액경을 이용한 광 디지털 병렬 연산기에 관한 연구

## (A Study on the Optical Digital parallel Processor using Phase Conjugate Mirror)

殷 在 定 \*, 崔 平 錫 \*

(Jae Jeong Eun and Pyung Suk Choi)

### 요 약

본 논문에서는 액정 공간 광변조기와 자기 여기형 위상 공액경을 활용한 새로운 광디지털 병렬 연산기를 제안하였다. 자기 여기형 위상 공액경을 메모리로 활용하기 위해 2 작용 영역 모델로 광 굴절 결정 BaTiO<sub>3</sub>의 출력 안정 영역과 조건을 구하고 입사빔의 위치에 따른 SPPCM의 위상 공액 반사도의 시간 변화를 측정해 이를 확인하였다. 이러한 자기 정렬성 및 시간 반전성을 가진 위상 공액경과 액정 공간 광변조기로 광연산 시스템을 구성하여 매트릭스-벡터 곱셈 연산을 수행하고 광학 실험 결과를 제시하였다.

### Abstract

An optical digital parallel processor using Self-Pumped Phase Conjugate Mirror and liquid crystal spatial light modulator is presented and experimentally implemented. To use self-pumped PCM as memory, the mechanism for phase conjugation in two coupled interaction regions with the photorefractive crystal BaTiO<sub>3</sub> is investigated, especially the temporal behavior and effects of incident beam position. The optical design and implementation of matrix - vector multiplication using LCSLM and PCM memory is presented.

### I. 서 론

광학적 특성인 고속성과 병렬성을 이용하는 광컴퓨팅 기술은<sup>1,2)</sup> 현재까지 정보 처리의 주류를 이루어온 전자식 컴퓨터가 당면하고 있는 여러 문제점들을 해결할 수 있으며 신경 회로망 이론을 모델링하기에 적합하므로 중요한 차세대 컴퓨터 기술로 점차 그 중요성이 더해가고 있다. 즉, 전자 소자를 이루는 매질의 제한된 속도, 회로의 고집적화에 따른 배선 능력 한계

및 신호의 지연 현상, Von Neumann 연결의 구조적 한계를 극복할 수 있는 광컴퓨팅의 실제적인 구현을 위해서는 고속의 광변조기, 평면 배열 광원, 실시간 광메모리등의 광소자 개발의 필요성과 아울러 새로운 연산 체계등의 연구가 필요하다.

신호 처리나 영상 처리 분야에서 대부분의 알고리즘은 매트릭스 연산을 포함하고 있고, 다수의 가산과 곱셈이 요구되는 선형 수치 계산에도 매트릭스 연산은 매우 중요하다. 광학적 처리는 자체의 병렬성으로 인해 이와같은 연산에 매우 효율적이므로 다양한 아키텍처와 알고리즘을 채택한 시스템이 발표되고 있으나<sup>13)</sup>, 대부분의 경우 2 개 이상의 광음향 편향기 (AOD : Acousto-Optical Deflector) 를 사용하거나 입력면

\* 正會員, 昌原大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Eng., Changwon Nat'l Univ.)

接受日字: 1994年9月14日, 수정완료일: 1995年8月30日

에 필름 마스크를 사용함으로써 실제 실시간 동작이 어렵다. 최근 P.Yeh 등은 광굴절 결정에 4 광파 혼합을 이용하여 매트릭스-벡터 곱셈 연산을 수행하여 시스템 구성을 간결화 했으나<sup>[4]</sup> 입력면에 필름을 사용해 실시간 동작이 안되고 4 개 빔의 정확한 정렬이 요구되며 데이터 빔뿐만 아니라 판독빔등의 3 개의 빔이 필요하므로 비효율적이다. 또한 매트릭스 연산과 같은 병렬 처리를 위해서는 연산하고자 하는 데이터가 들어있는 입력면 화소들간의 정확한 정렬이 요구되나 화소 크기가 미세해지고, 갯수가 증가함에 따라 화소간 정렬 여부는 출력에 심각한 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 자기 정렬성 및 시간 반전성을 가진 자기 여기형 위상 공액경 (SPPCM : Self-Pumped Phase Conjugation Mirror) 을<sup>[5]</sup> 메모리로 활용하기 위해 2 작용 영역 모델로<sup>[6]</sup> 특성을 해석하여 메모리로서의 안정 영역과 조건을 구하고자 한다. 또한 기록 및 데이터 입력단엔 동일한 액정 공간 광변조기(Liquid Crystal Spatial Light Modulator)<sup>[7]</sup> 를 사용하여 광학적 복잡성을 줄이고, 공간적 위치 코딩을<sup>[8]</sup> 채택한 매트릭스 - 벡터 연산기를 구성해 실시간 병렬 연산 시스템의 가능성을 실험적으로 제시하고자 한다.

## II. 자기 여기형 위상 공액경의 특성

비선형 매질에 2 개의 평면파가 입사되어 주기적인 간섭 패턴을 형성하면 그 간섭 광강도에 대응하여 광여기된 전하가 확산 혹은 드리프트(외부 전계가 주어졌을 때)에 의해 이동되어 주기적으로 편이된 전하 분포를 형성한다. 이렇게 형성된 공간 전하층은 1 차 전기 광학 효과 (Pockels effect) 에 의해 그 전장에 비례하는 굴절률 분포를 유기하고 이러한 굴절률 변화(위상 격자)는 기준빔과 신호빔에 의해 기록된 체적 홀로그램에 해당된다. 이러한 광굴절 효과에 기인하는 광파의 간섭 현상을 이용하여 2 개의 펌프빔과 신호빔을 입사시켜 그들간의 위상을 정합시키면, 축퇴 4 광파 혼합 현상<sup>[9]</sup>에 의해 위상과 파면이 입사파의 복소 공액 형태인 시간 반전파가 발생한다. 이러한 위상 공액파는 입사빔의 경로를 따라 역전파되므로 분산 매질에 의한 왜곡을 보상할 수 있고, 실시간 특성을 가지므로 다양한 형태로 광정보 처리에 응용되고 있다. 특히 1982년 J. Feinberg 에 의해 제안된 자기 여기형 위상 공액경은 외부의 펌프빔없이 신호빔으로부터 발생

된 fanning 빔이 결정내에서 내부 반사를 일으켜 4 광파 혼합에 필요한 두개의 펌프빔 역할을 하여 위상 공액파를 발생한다. 이러한 SPPCM 은 강한 결합 계수를 가진 BaTiO<sub>3</sub> , SBN 등의 광굴절 결정을 사용하여 구성되며 하나의 입사빔만으로도 결정의 내부 반사에 의해 위상 공액파가 발생되므로 광학계가 간단하며, 펌프빔이 결정내에서 발생되므로 자기 정렬성을 가지고 있다. 하나의 입사빔이 BaTiO<sub>3</sub> 와 같은 높은 전기 광학 계수를 가진 광굴절 결정에 입사되면 비대칭적으로 빔이 퍼져나가는 빔 fanning 효과가 일어나며 그림 1 에서 처럼 이 빔 A<sub>1</sub> 은 결정 모서리 부분에서 반사되어 펌프빔 A<sub>2</sub>' 로 작용해 신호빔과 간섭하여 격자를 형성한다. 이렇게 생성된 격자는 입사된 신호빔을 C 축 방향으로 점점 강하게 회절시켜 하나의 루프를 형성하고 이 영역에서 fanning 된 빔 A<sub>1</sub>' 은 전반사되어 첫번째 영역의 후방 펌프빔 A<sub>2</sub>' 가 되어 두 개의 작용 영역을 형성하고 각 작용 영역에서 4 광파 혼합이 이루어진다. 이때 각 작용 영역에서 빔들간의 에너지 보존을 고려하면 다음과 같은 조건

$$A_1 A_2 + A_3 A_4 = c$$

$$I_1 + I_4 = d_1 \quad (1)$$

$$I_2 + I_3 = d_2$$

이 성립되고 다음과 같이 쓸 수 있다.<sup>[6]</sup>

$$\frac{dA_A}{dz} = -\frac{\gamma}{I_0} [ A_A d_1 - A_A (I_1 + I_2) + A_B^* c ]$$

$$\frac{dA_B^*}{dz} = -\frac{\gamma}{I_0} [ A_B c^* - A_B^* (I_1 + I_2) + A_B^* d_2 ] \quad (2)$$

$$\frac{dA_B}{dz} = \frac{\gamma}{I_0} [ A_B d_2 - A_B (I_3 + I_4) + A_A^* c ]$$

$$\frac{dA_A^*}{dz} = \frac{\gamma}{I_0} [ A_B c^* - A_A^* (I_3 + I_4) + A_A^* d_1 ]$$

$$j = 1, 2 \quad (1 : 1 \text{ 영역}, 2 : 2 \text{ 영역})$$

이때 작용 영역에서의 결합 계수 (coupling coefficient) 는 아래와 같이 표현된다.<sup>[6]</sup>

$$\gamma = \frac{i \omega n_1 e^{-i\phi}}{2c \cos \theta} \quad (3)$$

따라서 2 작용 영역에서의 해는 위의 8 개의 미분방정식을 풀어 구할 수 있으나 펌프빔이 입사빔으로부터

의 산란에 의해 만들어지는 SPPCM 경우에는 특정한 영역에서만 만족되며 자기 여기형 위상 공액파는 빔의 입사 위치, 형태, 세기등을 변수로 다양하게 변화되므로 아직까지 완벽한 해석은 이루어지지 않고 있다. 불안정한 출력을 나타내는 영역에서의 혼돈 (chaotic) 특성 해석을 위해서는 4 개의 모든 격자를 고려해야 하며, 이러한 시도도 필스가 출력되는 영역을 설명할 수 없으므로 다중 격자를 고려해야 하나, 아직까지 정확한 해는 구해지고 있지 않다.<sup>[11]</sup> 따라서 본 논문에서는 이들 파라미터를 변수로한 정확한 해를 구하는 정량적 분석보다는 SPPCM 의 입사빔과 산란빔의 결합 계수를 고려해 출력 안정 범위를 구하고 그때의 위상 공액 반사도의 시간에 따른 변화를 측정해 이를 실험적으로 확인하였다.

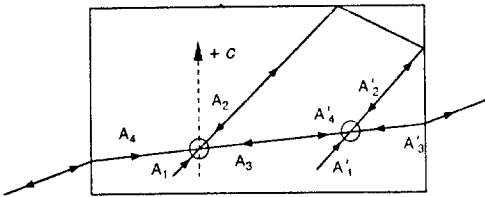


그림 1. 두개의 작용 영역으로 형성된 SPPCM 의 4 광파 혼합  
Fig. 1. Four-Wave Mixing in Two Coupled Interaction Regions of SPPCM.

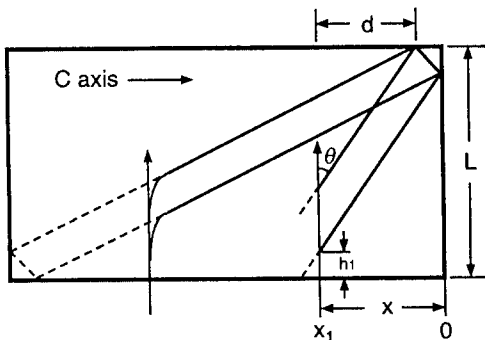


그림 2. 입사빔의 위치에 따른 결정내에서의 빔 경로,  
Fig. 2. Beam Path within the Crystal at the Input Beam Position.

두 개의 작용 영역으로 형성된 SPPCM 내에서의 빔 경로를 그림 2 와 같이 상정하면 일반적인 2 광파 혼합의 계수는 다음과 같이 주어진다.

$$\Gamma = 2\text{Re}[\gamma] \quad (4)$$

외부 전계없이 전하의 확산에 의해서만 격자가 형성되는 BaTiO<sub>3</sub> 결정에서는 확산 과정이 지배적이므로  $\phi = \pi/2$  가 되며 식 (3) 에서  $\gamma$  는 실수가 되어  $\Gamma = 2\gamma$  가 된다. 빔이 결정에 수직에 가깝게 입사할 투과형 격자의 경우 결합 계수  $\gamma$  는  $\theta$  가 25° 일 때 최대가 되며<sup>[5]</sup> 이때의 입사각  $\theta$  는 BaTiO<sub>3</sub> 의 임계각  $\theta_c$  이고  $\gamma$  는 0.65 mm<sup>-1</sup> 이 된다. 이때 입사빔이 모서리에서 반사되어 형성된 루프의 길이를  $l_1$ , 면적을  $A_1$  이라 하면 각각 다음과 같이 주어진다.<sup>[9]</sup>

$$l_1 = \frac{2x_1}{\sin\theta} = \frac{L - h_1}{\cos\theta} + \frac{d}{\sin\theta} \quad (5)$$

$$A_1 = \frac{x_1^2 - d^2}{2\sin^2\theta}$$

결정내에서 주어진 입사빔 위치  $x_1$  에 대해 루프 길이  $l_1$  은 각  $\theta$  가 작아질수록 증가된다. 즉, 최대 계인이 얻어지도록 루프가 형성되며 이때 최소가 되는  $\theta$  값은 전반사가 일어나기 위한 한계각인 임계각  $\theta_c$  가 된다.  $h_1 > 0$  이므로 입사빔의 위치는

$$x_1 \leq \frac{L \tan\theta_c + d_1}{2} \quad (6)$$

를 만족하여야 한다.  $d_1$  은  $x_1$  을 넘을 수 없고  $x_1$  의 최대치  $x_{\max} = L \tan\theta_c$  는 결정의 길이가  $L = 5$  mm 이므로  $x_{\max}$  는 2.3 mm 가 된다. 이 길이를 벗어나면 계인이 최대가 되는 즉, 루프 길이가 최대가 되는  $\theta$  가 허용이 안되므로 불안정한 영역에 들어가게 된다.

SPPCM 을 메모리로의 사용가능성을 알아보기 위해 그림 3 과 같이 실험 장치를 구성하여 입사빔의 위치, 입사 각도, 렌즈와의 거리에 따른 반사도, 격자 형성 시간, 안정 영역 범위등을 조사하였다. 되반사되는 공액파가 레이저 캐비티와 모드 결합되어 출력이 불안정해지는 것을 막기위해 Faraday isolator 를 사용하였다. 측정에 사용된 레이저는 514.5 nm 파장대의 TEM<sub>00</sub>, multi-mode 의 Ar<sup>+</sup> 레이저이며, 결정에 입력되는 빔의 세기를 ND (Neutral Density) 필터를 사용해 23 mW 로 조절하였고, 사용된 렌즈의 초점 거리는 260 mm 이다. 그림 4 는 입사각 70° 로 입사 위치  $d$  를 2 mm 로 했을 경우의 데이터로서 정상 상태에 도달하는 시간은 250 초 정도였다.  $d = 2.5$  mm 위치에 결정을 렌즈의 초점 거리뒤 즉, 빔의

발산 영역에 놓은 경우는 그림 5 에서 알 수 있듯이 격자 형성은 빨리 이루어지나 정상 상태에서 반사도가 불규칙하므로 LUT (Look-Up Table) 데이터 저장에는 부적합하다. 결정을 렌즈의 초점 거리 앞 즉, 빔의 수렴 영역에 놓고  $d = 3 \text{ mm}$  에 빔을 입사시킨 경우, 규칙적이며  $\sim 11$  초 정도의 주기를 가진 펄스 형태의 위상 공액파가 발생되었고 육안으로도 결정내의 루프 형성의 순환성이 관측되었다.<sup>[10]</sup> 입사빔의 강도를 증가시키면 주기가 더 빨라지고 반사 강도도 증가되었다. 수렴 영역에서 안정된 출력이 얻어지는 이유는 격자의 결합 강도는 작용 길이에 비례하므로 입사 위치, 입사면에서의 빔의 직경이 같다면 수렴하는 빔의 작용 길이가 더 길어져 위상 공액 반사도가 증가했을 것으로 생각되나 좀더 엄밀한 이론적 분석이 요구된다. 빔의 위치를 더욱 안쪽으로 이동시켰을 때의 측정 결과로 식 (6) 에서 알 수 있듯이 매우 불안정한 출력을 나타낸다. 그러나 3 ~ 3.5 초 정도의 주기로 peak 치가 발생하는 현상을 보여 앞으로 이런 혼동 현상의 이론적 규명이 이루어져야겠다.  $d = 4.5 \text{ mm}$  에 입사 시킨 경우에는 루프의 형성이 일어나지 않고 빔 패닝 현상도 없어 위상 공액파가 발생하지 않았다.

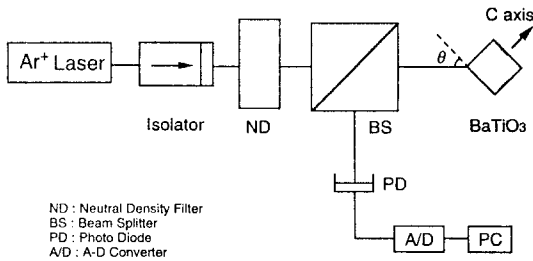


그림 3. SPPCM 의 위상 공액 반사도 측정 시스템

Fig. 3. Optical Setup to Measure Phase Conjugate Reflectivity of SPPCM.

SPPCM 내부에 격자를 형성시키는데 걸리는 시간은 입력광의 세기에 반비례하므로 강한 빔을 조사하면 짧은 시간에 데이터 저장이 가능하나 정보를 읽어내는 동안 형성된 메모리 격자 강도가 약화되므로 전자식의 DRAM 처럼 리프레쉬를 해야된다. 그러나 최초의 격자 형성 시간에 비해 SLM 의 디스플레이 시간은 매우 짧고, 일단 저장된 정보는 강한 소거빔을 조사하지 않는 한 쉽게 제거되지 않으므로 홀로그래ムの 회절 효율에 영향을 미치지 않는다. 이러한 방식은 병렬 연산 처

리뿐만 아니라 매우 효율이 높은 재배치가 가능한 광 배선 구성에도 응용될 수 있을것으로 기대된다. 광병렬 디지털 연산 처리를 위해서는 연산하고자하는 데이터가 들어있는 입력면들간의 pixel 들이 정확히 정렬되어야 하므로 SPPCM 을 이용하면 이러한 정렬의 문제가 해결될 뿐만 아니라 DFWM 방식에 비해 시스템이 간단해 진다는 장점을 가지고 있다.

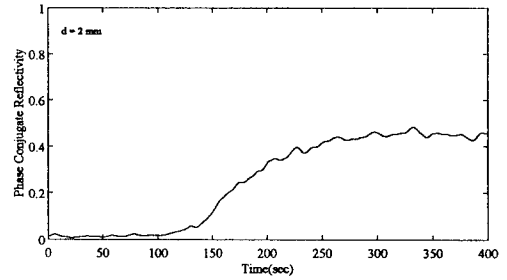


그림 4. SPPCM 의 위상 공액 반사도( $d=2\text{mm}$ )  
 Fig. 4. Phase Conjugate Reflectivity of SPPCM ( $d=2\text{mm}$ ).

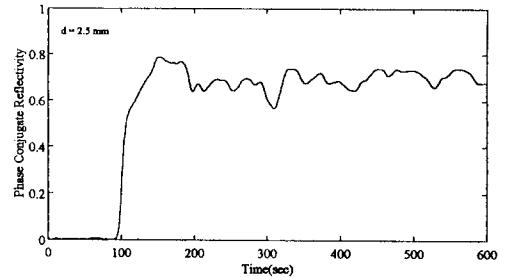


그림 5. SPPCM의 위상 공액 반사도( $d=2.5\text{mm}$ )  
 Fig. 5. Phase Conjugate Reflectivity of SPPCM ( $d=2.5\text{mm}$ )

### III. 이진 편극 변조에 의한 매트릭스 연산

광병렬 디지털 연산 처리를 위해서는 연산하고자하는 데이터가 들어있는 입력면들간의 화소(pixel)들이 정확히 정렬되어야한다. 특히 대표적인 입력면인 LCD 의 경우 화소 크기가  $100\mu\text{m}$  이하이므로 조금만 정렬이 안맞으면 원하는 출력을 얻을수 없다. 그러나 경로 반전성을 가진 SPPCM 을 이용하면 이러한 정렬의 문제가 해결될 뿐만 아니라 DFWM 방식에 비해 시스템이 간단해 진다. 그림 6 은  $N \times N$  매트릭스와  $N$  개의 요소를 가진 벡터간의 곱셈을 수행하기 매트릭스-벡터 연산의 개념도이다. 매트릭스 데이터(ON:1, OFF:0)

를 결정에 기록시켜 격자가 형성된 후에는 LCSLM 의 데이터를 지우고 벡터 형태의 데이터를 LCSLM에 입력하면 일정 시간동안 매트릭스 데이터를 실은 위상 공액파가 발생되어 ON 된 화소들만 통과한다. 즉 편극 모드의 ON-OFF 상태로 이용한다면 공액파(매트릭스)와 LCSLM 에 보낸 데이터(벡터)간의 곱셈 연산이 이루어지고,출력면에 원통 렌즈를 사용하면 연산 결과를 얻을 수 있다. 즉,

$$b(i) = \sum_j M(i, j) \times a(j) \quad (7)$$

a(j) : the jth element of the vector a  
M(i,j) : the matrix element

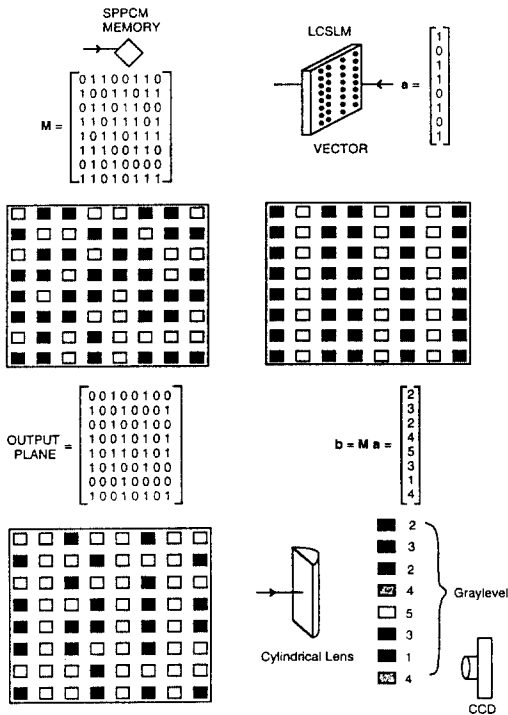


그림 6. 매트릭스-벡터 연산의 개념도  
Fig. 6. Schematic Diagram of the Optical Matrix-Vector Multiplication.

가 이루어진다. 대부분의 광 논리 게이트는 "Light On" 을 "1"로 "Light Off" 를 "0"으로 표현함으로 인해 광에너지 손실을 가져오고 "0"에서 "1"로 스위칭시 프로세서의 속도가 제한되나 편극 모드로 동작시키고 BTL (Bright True Logic) 을 이용하면 광 이용 효율을 높이고 연산 속도를 증가시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다.

#### IV. 연산기 구성 및 결과 고찰

실험에 사용된 LCD 는 Epson 사의 video projector 를 위해 개발된 부품으로서 poly-Si TFT (Thin-Film Transistor) 에 의해 화소가 구동되므로 cross talk 가 적고, TFT 회로를 집적화해 패널의 크기가 매우 소형이므로 광학적 데이터 처리에 적합하다.이 LCD 는 TN (twisted nematic) 모드로 동작되며 각 화소의 크기는 55 x 65 μm, 중심간 간격은 80 x 90 μm 이고, 320 x 220 개의 화소들로 구성되어 있다. R, G, B 의 신호가 3 개의 LCD 판에 각각 입력되므로 실제 실험에서는 B 신호가 들어가는 LCD 만을 사용하였다. 부착된 편극판을 광학적 편평도가 좋은 회전 가능한 편극판으로 대체하여 사용하고, 컴퓨터로 제어 및 그래픽모드 변경이 쉽도록 영상 처리 보드 (Itex 100 Frame Grabber) 와 CGA 그래픽 보드를 사용하고 LCD 를 광학 테이블에 설치하기 위해 필름 타입의 플랫폼 케이블(23핀)을 비디오 대역의 신호가 영향을 받지않도록 긴 다중 동축선으로 대체하였다. TFT-SLM 은 광의 위상, 편극 분포를 전기 신호에 의해 변조하는 방식이므로 분자의 배열 방향과 바이어스 전압, 입력 편극 각도 φ<sub>1</sub> 및 출력 분석기 각도 φ<sub>2</sub>의 변화에 따른 투과도 T 를 측정하여 최대 명암비를 얻기위한 조건을 구하고, 그림 7과 같은 광학 시스템을 구성하여 매트릭스-벡터 곱셈 연산을 수행하였다.

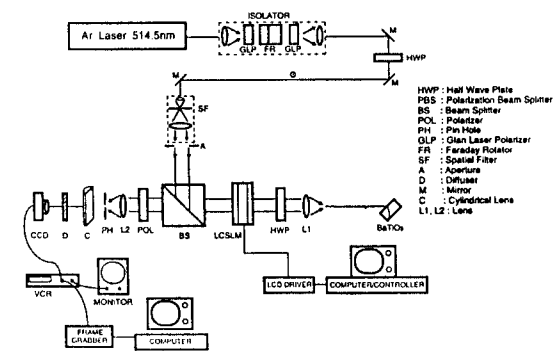


그림 7. 매트릭스 연산을 위한 광학 시스템 구성  
Fig. 7. Experimental Optical Setup for Matrix-Vector Multiplication.

위상 공액파는 시간 반전 특성을 가지므로 되반사되는 공액파가 레이저 캐비티와 모드 결합되어 출력이 불안정해지는 것을 막기위해 Faraday rotator 와 두 개의 Glan 레이저 편극기를 사용해 Isolator 를 구성

하였고 이때의 아이소레이션 비는 30 dB 이상이었다. 사용된 레이저는 514.5 nm 파장대의 TEM<sub>00</sub>, multi-mode의 Ar<sup>+</sup> 레이저이며, 결정에 입력되는 빔의 세기를 ND (neutral density) 필터를 사용해 23 mw 로 조절하였고, 결정에 영상을 입력하기 위해 사용된 렌즈의 초점 거리는 260 mm 이다. C 축에 수직인 축에 대해 80° 각도로 빔을 입사시키고 앞에서 얻어진 안정 영역 범위에서 동작할 수 있도록 입사 위치 d 를 2 mm 로 하였다. 아이소레이터 앞단의 반파장 위상판을 조절하여 편각기 각도  $\phi_1$  이 0o (S 편각) 로 조정하고 바이어스 전압을 5.3 V 로 고정한 상태에서 LCSLM 뒷단의 반파장 판을 회전시켜 가며 빔분할기 BS 에서 명암비를 관측하였다.

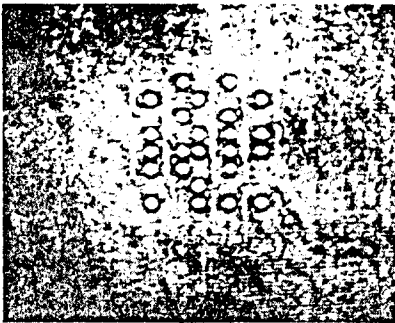


사진 1. 매트릭스 - 벡터 곱셈 연산 결과  
Photo 1. Results of Matrix-Vector Multiplication.

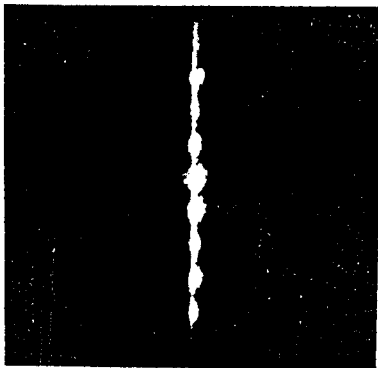


사진 2. 원통 렌즈에 의해 합산된 연산 결과  
Photo 2. Resultant Vector after Summation by a Cylindrical Lens.

이론치는  $\phi_2$  가 10° 일 때 최대 명암비가 얻어지나 실험에서는 12° 에서 최대치가 측정되었다. 분산판 (Diffuser) D 에 나타나는 출력 영상을 CCD 카메라로 취득하여 모니터로 관찰하며 비디오 기록기 (VCR) 에 기록하고 분산판에 의한 스펙클 잡음을 없애기 위

해 일정 속도로 분산판을 움직여가며 출력을 기록하였다. 액정판은 많은 화소를 가진 격자 구조로 이루어져 있기 때문에 회절이 심해 선명한 출력을 얻을 수 없어 렌즈와 핀홀을 사용해 저역 통과 필터를 구성하였다. 최적의 화소 크기와 핀홀 선택을 위해 실험을 반복한 결과 2x2 개의 픽셀을 한 데이터 비트로 핀홀 크기를 1200 um 로 했을 때 최대 선명도가 얻어졌다. 사진 1 은 매트릭스 - 벡터 곱셈 연산 결과이다. 결과에서 알 수 있듯이 최적의 편각 각도로 조절하더라도 배경 잡음을 없앨 수 없어 앞으로 더 높은 명암비를 가진 광 변조기의 개발이 요구된다. 사진 2 는 원통 렌즈에 의해 합산된 연산 결과이며, 사진 3 은 라인 CCD 의 출력을 오실로스코프로 측정한 사진이다. 중심 부근의 크기 4 와 5 의 크기가 비슷한 것은 원통 렌즈에 의한 결상이 CCD 의 픽셀 크기보다 크기 때문인 것으로 추정된다.

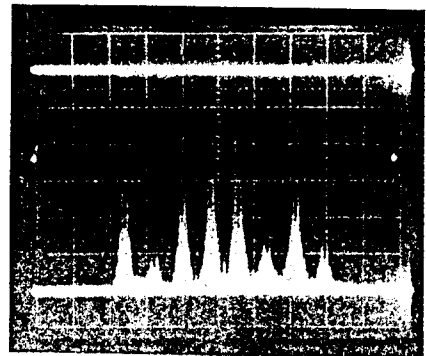


사진 3. 결과 벡터의 라인 CCD 출력  
Photo 3. Line CCD Output of Resultant Vector.

## V. 결 론

본 논문에서는 광학적 특성인 고속성과 병렬성을 이용한 광 디지털 병렬 연산기를 구성하기 위해 공간 광 변조기와 위상 공액경으로 광학 시스템을 구성하여 8 × 8 매트릭스 - 벡터 곱셈 연산을 수행하였다.

입력면과 기록면상에서의 픽셀들간의 정확한 화소 정렬이 요구되는 디지털 방식의 광 연산기를 구현하기 위해 시간 반전성을 가진 자기 여기형 위상 공액경의 이용을 제안하고, 광파 혼합의 메카니즘을 분석하여 메모리로서의 안정 영역과 특성을 실험한 결과 결정의 C 축 방향의 길이가 5 mm 인 실험에 사용된 결정에서는 2 ~ 2.5 mm 위치에 빔을 입사시키면 안정된 출력을 얻을 수 있었다. 또한 강한 빔을 조사하면 짧은 시간에

데이터 저장이 가능하나 정보를 읽어내는 동안 형성된 격자 강도가 약화되므로 메모리 인출시에는 수 mW의 빔을 사용하고 영상 저장 보드와 LCSLM 드라이버단을 하드웨어적으로 연결해 디스플레이 시간을 짧게 하면 저장된 정보는 강한 소거빔을 조사하지 않는 한 쉽게 제거되지 않아 출력에 영향을 미치지 않음을 확인하였다. 최적의 편극 각도로 조절하더라도 배경 잡음을 없앨 수 없어 앞으로 더 높은 명암비를 가진 광변조기의 개발이 요구되며, 많은 화소수와 고속의 LCSLM이 개발되고 두 개의 PCM을 사용하면 동일 평면상에서 연산과 변환 동작을 수행할 수 있어 보다 효율성이 높은 연산기를 구현할 수 있다. 이러한 방식은 병렬 연산 처리뿐만 아니라 고 효율의 재배치 가능한 광 배선 구성에의 응용과 대단위 기억 용량과 병렬 처리가 요구되는 연산 처리 분야에 다양하게 사용될 수 있으리라 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] K.Preston, Jr., *Coherent Optical Computers* (McGraw-Hill, New York, 1972)
- [2] A.A.Sawchuk, "Digital optical computing," *Proc. of the IEEE*, vol. 72, pp. 758-779, 1984.
- [3] R.Arrathoon, "Digital optical computing," *Proc. SPIE*, vol. 752, 1987.
- [4] P.Yeh and A.E.Chiou, "Optical matrix-vector multiplication through four-wave mixing in photorefractive media," *Opt. Lett.*, vol. 14 no. 2, pp. 138-140, 1987.
- [5] J.Feinberg, "Self-pumped, continuous wave phase conjugator using internal reflection," *Opt. Lett.*, vol. 7, pp. 486-488, 1982.
- [6] K.R.MacDonald and J.Feinberg, "Theory of a self-pumped phase conjugator with two coupled interaction regions," *J. Opt. Soc. Am.B*, vol. 5, pp.1750-1757, 1983
- [7] K.Lu and B.E.A.Saleh, "Theory and design of the liquid crystal TV as an optical spatial phase modulator," *Opt. Eng.*, vol. 29, pp. 240-246, 1990.
- [8] Y. Li, B. Ha, A. Kostrzewski, D.H. Kim and G.Eichmann, "Optical position-coded multiple-valued logic and arithmetic using liquid-crystal TVs and holograms," *Opt. Comm.*, vol. 70, no. 5, pp. 379-383, 1987.
- [9] M.C.Gower and P.Hribek, "Mechanisms for internally self-pumped phase-conjugate emission from BaTiO<sub>3</sub> crystals," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 73, pp. 548-553, 1983.
- [10] 손동환, 전형욱, 이임걸, 손정영, 임동건, "입사빔의 위치 및 세기에 따른 자기펌핑 위상공액파의 특성," *전자공학회 논문지 제 30권* pp.213-221, 1993.
- [11] D.J.Gauthier, P.Narum and R.W.Boyd, "Observation of deterministic chaos in a phase-conjugate mirror," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 58, pp. 1640-1643, 1987.

#### 저 자 소 개

殷 在 定(正會員) 第 27 卷 第 1 號 參照

현재 창원대학교 전자공학과 부교수



崔 平 錫(正會員)

1951년 7월 31일생. 1978년 2월 성균관대학교 전자공학과 학사. 1980년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 석사. 1985년 2월 연세대학교 대학원 공학박사. 1989년 -

1990년 : Univ. of Alabama (Post Doc.) 1986년 3월 - 현재 : 창원대학교 전자공학과 교수