

# 갈바노미러를 이용한 레이저 빔 투사 및 홀로그래픽 메모리에의 응용

## Laser Beam Projection by Use of a Galvano-Mirror and Its Application to Holographic Memories

박연섭 · 신동학 · 옥진삼 · 이진희 · 장주석 · 이원창

Y. S. Park, D. H. Shin, J. S. Ok, J. H. Lee, J. S. Jang and W. C. Lee

**Key Words** : Galvano-Mirror Control(갈바노미러 제어), Laser Beam Projection(레이저빔 투사), Holographic Memory(홀로그래픽 메모리), Angle Multiplexing(각다중)

**Abstract** : We implemented a system that can change laser beam directions rapidly by controlling the galvano-mirror, on which a mirror is mounted, with a computer. We show that a laser projection can be realized by programming our system properly, and that it can also be used for multiplexing 2-dimensional image information in the data storage of holographic memories efficiently.

### 1. 서 론

레이저 빔의 방향 제어는 레이저 절삭기를 이용한 공장 자동화, 레이저 예술 또는 오락, 레이저 스캐닝 등 많은 응용 분야를 갖는다<sup>1)</sup>. 최근에는 적녹청(RGB) 세가지 파장의 레이저 빔들의 세기를 각각 변조하고 동시에 이들 세 빔의 방향을 제어함으로써 2차원 평면에 칼라 영상을 프로젝션하는 연구를 많이 수행하고 있다<sup>2)</sup>. 이는 궁극적으로 대형화면의 고화질 레이저 TV를 실현하려는 목적이다. 이러한 레이저 프로젝션을 실현하는데 중요한 것은, 충분히 높은 해상도의 영상이 사람 눈에 감박거리지 않으면서 프로젝션할 수 있도록, 빔 방향을 제어하는 속도를 높이는 것이다. 레이저 빔의 방향을 빠르게 제어하는 방법으로 음향-광학 소자를 이용하는 방법이 연구되고 있는데, 이는 빔을 꺾는 회절 효율이 100%가 아니고, 빔을 꺾는 각도가 제한되어 있으며 소자의 가격이 매우 비싸다는 단점이 있다<sup>3)</sup>. 이 대안으로 고속빔 스캐닝이나 프로젝션을 위해 갈바노미터 모터에 거울을 부착하고 이를 제어하거나 다면경으로 일정한 면에 레이저 빔을 투사시키고 이에 동기를 맞추어 레이저 빔 세기를 제어하는 시스템이 많이 개발되었으며

또 개발되고 있다<sup>4) 6)</sup>.

본 논문에서는 거울이 달려있는 갈바노미터 모터(즉, 갈바노미러)를 제어하여 레이저 디스플레이를 수행할 수 있는 소형 레이저 빔 프로젝션 시스템을 구성하고 간단한 영상을 프로젝션하는 실험을 하였다. 또한 이런 갈바노미러를 이용한 빔 방향의 빠른 제어를 홀로그래픽 메모리에 유용하게 이용할 수 있다. 홀로그래픽 메모리는 대용량 및 고속재생이 가능한 차세대 메모리로서 유망한 기술 중에 하나이기 때문에 현재 많은 연구가 진행되고 있다<sup>7) 13)</sup>. 이들은 2차원 정보를 3차원적인 체적 홀로그램을 이용하여 정보를 기록한다. 이때 정보저장 밀도를 높이기 위해 각 다중<sup>9) 13)</sup>, 회전다중<sup>14,15)</sup>, 공간다중 등의 여러 가지 다중화 방법을 사용하여 다중홀로그램을 기록한다. 이들 다중홀로그램을 만들기 위한 여러 다중화 방법 중에서 가장 많이 사용되고 간단한 방법이 각 다중화이다. 많은 연구에서 이들 각 다중화를 수행할 수 있는 여러 시스템들이 제안되었다. 일반적으로 모터로 거울을 회전하여 빔의 방향을 바꾸는 방법이 가장 간단하게 구현할 수 있기 때문에 외국에서는 많이 사용하고 있으나 국내에서는 아직 갈바노미터 시스템을 홀로그램 저장에 적용한 예가 없었다. 따라서 본 논문에서는 고속의 제어가 가능한 갈바노미터 홀로그래픽 메모리의 각 다중에 적용함으로써 빠르고 정확하게 저장된 홀로그램을 인출할 수 있는 시스템을 구현하였다.

접수일 : 1999년 5월 31일

박연섭, 신동학, 옥진삼, 이진희 : 부경대학교 대학원  
장주석, 이원창 : 부경대학교 전자·정보통신공학부

## 2. 시스템 구성

미러가 부착된 갈바노미터, 즉 갈바노미러를 이용하여 소형 레이저 빔 프로젝션을 위한 시스템 구성도는 Fig. 1과 같다. 반도체 레이저를 구동하기 위한 변조회로부와 갈바노미러를 제어하기 위한 미러제어회로부로 나눌 수 있다. 이들 두 회로부는 모두 PC를 통해 제어된다.

레이저 변조회로는 세부적으로 Fig. 2와 같이 구성되며, 제어용 PC에서 발생하는 펄스를 이용하여 반도체 레이저의 출력과형을 조절하였다. 발생 펄스가 어떤 역치전압 이상일 경우에는 빔이 출력되고, 그 이하에서는 출력되지 않는 2진 형태로 구현될 수 있다. 빔의 세기는 입력전압의 크기를 변화시킴으로써 조절이 가능하다.

미러제어회로에서는 갈바노미러가 입력전압의 크기에 비례하여 회전각이 결정되도록 설계하였다. 즉, 제어용 PC에 장착된 D/A 보드를 이용하여 원하는 회전각도에 비례하는 아날로그 전압을 발생시키고, 이를 입력으로 하는 갈바노미터 모터를 구동시켜 미러를 원하는 방향으로 움직이게 할 수 있다. 이를 위한 PC와의 인터페이스회로의 구성도는 Fig. 3과 같다. 레이저 빔 프로젝션을 위해서는 레이저 변조부와 미러제어부 사이의 동기가 잘 이루어져야만 가능하므로, 이를 충분히 고려하여 시스템을 설계·제작하였다.

## 3. 소형 레이저 빔 프로젝션 시스템의

### 실험 및 응용

#### 3.1 레이저 빔 프로젝션 시스템 실험

Fig. 1에서 설명한 소형 빔 프로젝션 시스템을 제작하고 기초적인 실험을 수행하였다. 사용된 반도체 레이저는 파장이 635 nm이고 (적색) 출력이 3mW인 자체 빔조준이 된 (collimated) 것이다. 역치전류는 약 50mA이었다.

Fig. 2의 레이저 변조회로를 제작하여 레이저빔을 변조하였다. 갈바노미러와 모터구동회로는 Cambridge Technology에서 제작한 670모델의 제품을 사용하였다. 그리고 이들 두 회로가 PC로 제어되도록 프로그램하였다. 이 시스템을 이용하여 간단한 패턴에 대한 디스플레이를 실험하였다. 실험에 사용한 갈바노미러는 Fig. 3의 DAS-1800에서 제공되는 -10V ~ 10V 사이의 전압을 인가하여 40° 까지 변화시킬 수 있으며, 구동모터의 최대 발전주파수는

1.4MHz이고 반복 정밀도는 약 2  $\mu$ radian이었다. 실제 실험에서는 각도 변화를 20° 정도로 고려하여 -5V에서 5V까지 총 256레벨로 나누어 주사하였다. 디스플레이하고자 하는 영상은 "부경"이란 글자의 2차원 영상이며, 이를 비트맵 영상처럼 구현하였다. 그러나 제작된 시스템은 하나의 미러를 이용하기 때문에 1차원적 디스플레이만 가능하므로 2차원의 영상을 1차원적으로 시간 분할하여 프레임으로 분할 표현하였다. 디스플레이를 위해 입력되는 전압의 흐름은 Fig. 4의 아래에 나타난 톱니파 형태이고, 반도체 레이저 변조를 위한 펄스파형은 Fig. 4의 위에서 보여진 2진 형태의 파형이다. 이렇게 하여 분할된 각 프레임을 빔 프로젝터에 의해 스크린에 디스플레이하고, 이들을 CCD를 통해 저장하여 PC에서 2차원으로 재구성하였다. 이들 재구성된 실험결과를 Fig. 5에 보였다.

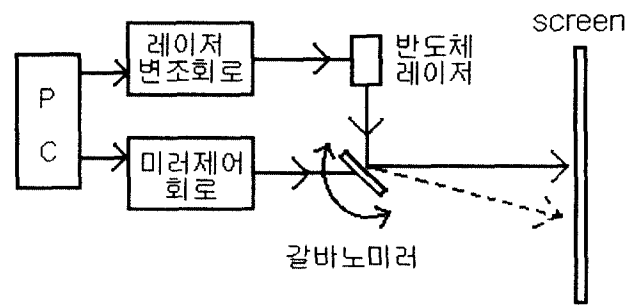


Fig. 1 Block diagram of our laser beam projection system

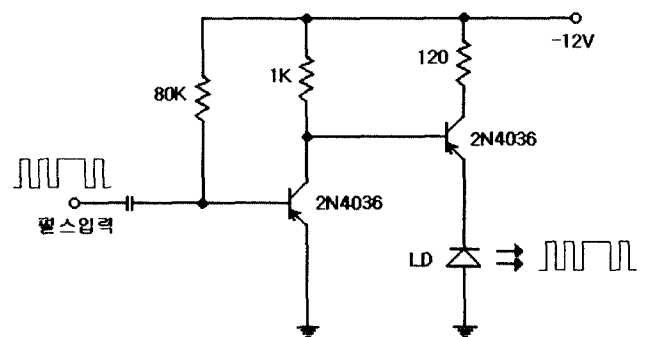


Fig. 2 Modulation circuit of the laser diode

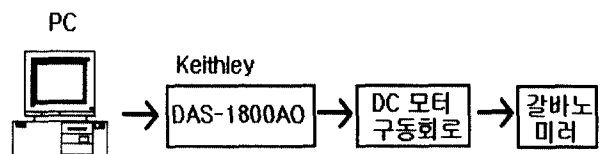


Fig. 3 Block diagram of the galvanometer controller

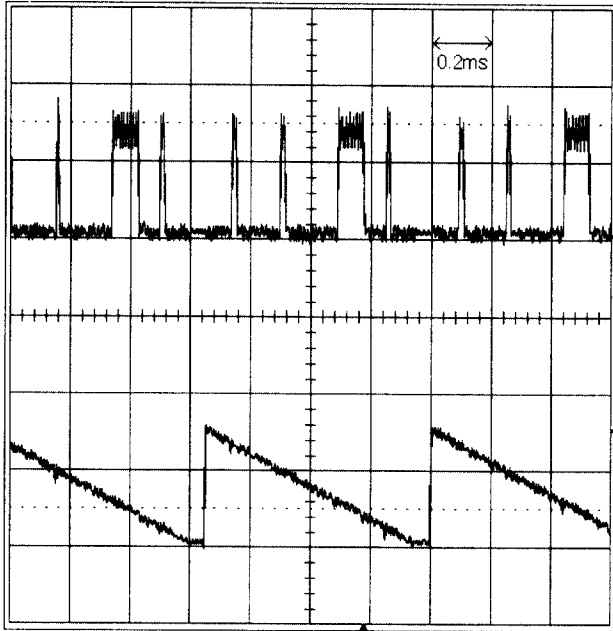


Fig. 4 Waveforms of the laser beam modulation signal (above) and the galvanomirror control signal (below)

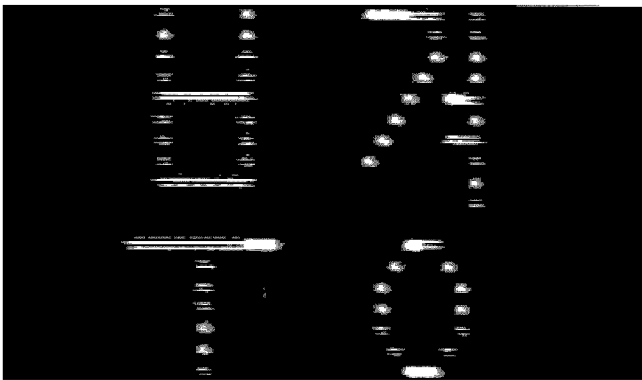


Fig. 5 Experimental result of the laser beam projection system

### 3.2 홀로그래픽 메모리에서의 응용

홀로그램이란 두 개의 coherent 빔을 간섭시키고 그 간섭무늬를 홀로그램 기록 물질에 저장하는 것이다. 두 빔 중에 정보를 담고 있는 것을 물체 빔, 나머지 빔을 기준빔이라 하고, 보통 평면파나 구면파를 사용한다. 기준빔만을 기록물질에 노출시킴으로써 저장된 물체빔을 읽어낼 수 있다. 그런데 홀로그램 저장밀도를 높이기 위해 한 지점에 여러 개의 홀로그램을 다중기록할 수 있다. 기록된 영상 정보가 섞이지 않도록 하기 위해 각 영상정보에 대응하는 기준빔의 입사각도를 바꾸어 주는 것이 각 다중이다. 저장물질의 두께가 두꺼울수록 다중화할 수 있는 홀로그램의 개수는 일반적으로 증가한다. 다중화되어 있는 홀로그램 가운데 하나를 읽

어낼 때에는, 그 홀로그램을 기록할 때의 기준빔만을 노출시키면 된다.

따라서 이런 각 다중을 실현하기 위해 본 논문에서는 갈바노미러를 사용하였으며, 실험적으로 구현된 우리의 홀로그램 저장시스템을 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 광원은 파장 514nm의 아르곤 이온 레이저였고, 정보를 나타내는 데이터를 표현할 공간 광변조기(SLM)는 320×240 pixel의 Kopin사의 액정 디스플레이를 사용하였다. 홀로그램 기록매질로는 두께가 38 μm인 DuPont사의 HRF150 계열의 광폴리머를 사용하였다. 이 광폴리머의 홀로그램 기록절차는 기록 및 self-developing 그리고 fixing의 두 과정으로 나눌 수 있다. 처음 광폴리머는 모노머와 감광색소의 혼합물로 구성되어 있는데, 기록 및 self-developing 과정에서 빛에너지를 흡수하면, 교차 결합에 의해 모노머의 굴절률이 다른 폴리머로 변환된다. 이때 폴리머화되는 양은 노출된 빛 세기에 비례한다. 모노머 분자들은 또한 확산이 가능하며, 이후에 빔 노출이 없어도 남아 있는 모노머 분자들이 그 밀도가 낮은 영역으로 확산되어 가는 암반응이 일어난다. 다음 과정은 간섭 무늬가 없는 빛으로 fixing을 하는 것이다. 이것은 남아 있는 모든 모노머를 폴리머화시킴으로써 더 이상의 암반응이나 빛에 대한 반응이 없는 광학적으로 안정된 상태를 만드는 것이다. 이 두 과정을 통해 위상 홀로그램이 완성된다.

Fig. 6에서 광원으로부터 나온 빔은 빔분할기에 의해 2개의 빔으로 분할되고, 이 중 하나의 빔 경로인 물체빔 경로에는 SLM과 하나의 렌즈를 통과하고 다른 한 빔인 기준빔 경로에는 갈바노미러와 두 개의 렌즈를 통과하도록 하였다. 이때 두 빔은 기록매질인 광폴리머에서 서로 교차하도록 제작되었다. 그러면 두 빔 사이의 간섭에 의해 홀로그램이 기록매질에 기록이 된다. 여기서 갈바노미러는 렌즈 L1 앞에 초점 f 만큼 떨어진 곳에 두었고, L1과 L3는 4f 시스템으로 구성되었다. 그러면 갈바노미러에 의해 꺾인 빔이 기록매질에서 다시 모일 수 있다. 따라서 갈바노미러로 빔의 각도를 바꿈으로써 서로 다른 영상을 중첩하여 다중화할 수 있다. 이때 각 다중화 각도는 기록매질의 각 선택도를 고려하여 이보다 큰 간격으로 기록하여야 한다<sup>16)</sup>. 이 각선택도는 사용되어지는 기록매질의 두께가 클수록 작아진다. 실험에서 사용한 광폴리머는 두께가 38 μm이기 때문에 각선택도는 Fig. 7과 같이 약 2° 정도이다. Fig. 7에서는 기준빔의 각도 변화에 따른 회절되는 홀로그램의 빔세기를 나타낸 것이다. 원래 홀로그램을 기록할때의 기준빔 각

에서 가장 높은 빛세기가 검출되고 벗어날수록 세기가 감소하며, 약 2° 정도에서 거의 0으로 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 이 각도에서 다른 홀로그램을 기록하면 이전에 기록된 홀로그램에 거의 영향을 받지 않고 새로운 홀로그램을 기록할 수 있다. 이것이 각 다중의 원리이다. Fig. 6의 시스템에서 갈바노미러를 이용하여 제어가능한 각 변화는 최저 0.056° 이었다.

각 다중화로 여러 개의 영상을 반복노출시키고 난 뒤 마지막으로 간섭무늬가 없는 기준빔만으로 fixing을 하였다. 그 다음 홀로그램을 재생할 때에는 물체빔 경로를 차단하고, 기준빔만을 노출시킨다. 이때 읽어낼 때에 사용되는 기준빔의 노출 방향은 기록할 때와 동일하여야 한다. 빠른 기준빔의 제어는 저장된 정보 재생속도와 비례적인 관계를 가진다. 만약 N개의 홀로그램을 다중화하여 기록한다면 우리의 시스템에서는, 갈바노 미러의 최대 발진 속도가 약 1MHz이므로, 1개의 홀로그램을 읽어내는데 걸리는 시간은 약  $1/N \mu\text{sec}$ 가 된다. 따라서 갈바노미러를 사용하면 홀로그래픽 메모리에서 빠른 재생시간을 얻을 수 있다.

Fig. 6의 시스템을 구현하고 기초실험을 하였다. 갈바노미러가 4° 간격으로 회전하도록 프로그램하고 5번 다중 기록하였다. Fig. 8(a)의 영상을 차례로 SLM에 디스플레이하고, 꺾여진 각각의 빔 방향마다 하나의 글자패턴을 대응시켜가며 5번 홀로그램을 기록하였다. 이때 물체빔과 기준빔의 세기는 약 1:2 정도로 하였다. 5개의 영상을 모두 저장한 뒤 물체빔을 차단하고 기준빔을 조절하여 5개의 영상을 CCD를 이용하여 복원하였다. 이들 결과를 Fig. 8(b)에 나타내었다. 원래의 영상에 가까운 영상을 복원할 수 있었다.

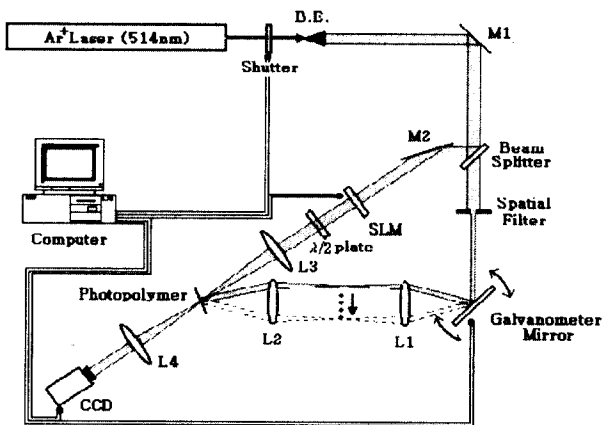


Fig. 6 Optical setup of our holographic memory system by use of a gavanometer mirror

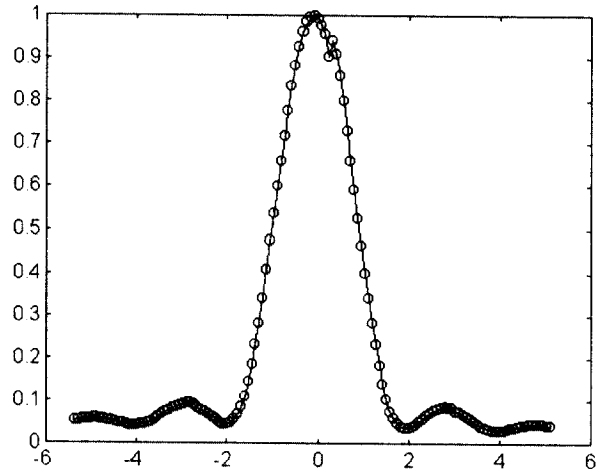


Fig. 7 Angle selectivity for the photopolymer we used in experiment

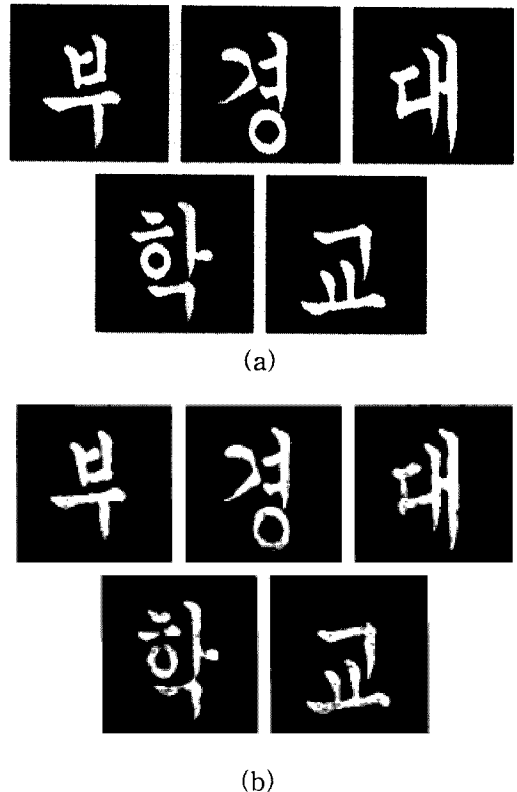


Fig. 8 (a) Original images to be recorded  
(b) Images reconstructed from the stored holograms

#### 4. 결론

본 논문에서는 미러가 부착된 갈바노미터 모터를 PC로 제어함으로써, 레이저빔의 방향을 빠르게 바꿀 수 있는 소형 레이저 빔 투사 시스템을

구현하고 이에 대한 실험을 수행하였다. 또한 갈바노미러를 이용하여 홀로그래픽 메모리에서 2차원 영상 정보를 각 다중화하여 저장하는 시스템을 구현하고 기초실험을 수행하였다. 갈바노미러의 빠른 제어와 정확성은 홀로그래픽 메모리와 같은 광정보처리 분야에서 유용하게 사용되어질 수 있다.

## 후 기

본 연구는 1998년도 부경학술재단 중점연구소 지원사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. R. W. Pease, "An Overview of Technology for Large Wall Screen Projection Using Lasers as a Light Source," SPIE, Vol. 1255, p. 93, 1990
2. T. Clynick, "Optical Video Projection Using Laser Beam Scanning Technology," Proc. SPIE, Vol. 1989, p. 316, 1993
3. R. J. Martinesn and R. P. Aylward, "Photonics Shows off - in a Big Way," Photonics Spectra, Nov, p. 109, 1996
4. D. C. Conemac and M. Calf, "Laser Beam Scanning Apparatus and Method," US Patent 5, 166, 944, 1992
5. K. Yoneno et al., "Muti-Sync Video/Data Pojector," SPIE, Vol. 1081, p. 53, 1989
6. J. G. R. Van Mourik et al., "Realization of a High-Aperture Ratio in a Novel 2.8-inch Diagonal VGA TFD-R Projection Display," SPIE, Vol. 2407, p. 96, 1995
7. D. Psaltis and F. Mok, "Holographic Mmories," Sci. Am., Vol. 273, pp. 70~76, 1995
8. D. Psaltis, D. Douglas, G. Stinson and G. S. Kino, "Optical Data Storage: Three Perspectives," Optics and Photonics News, Vol. 8 pp. 34~39, 1997
9. L. Hesselink, et al., "Photorefractive Materials for Nonvolatile Volume Holographic Data Storage," Science, Vol. 282, pp. 1089~1094, 1998
10. K. Buse, A. Adibi and D. Psaltis, "Non-Volatile Holographic Storage in Doubly Doped Lithium Niobate Crystals," Nature, Vol. 93, pp. 665~668, 1998
11. D. Psaltis and A. Pu, "Holographic 3-D Disks," Optoelectronics, Vol. 10, pp. 333~342, 1995
12. G. W. Burr et al., "Gray-Sale Dta Pges for Digital Holographic Data Storage," Opt. Lett., 23, pp. 1218~1220, 1998
13. J. H. Hong et al., "Volume Holographic Memory Systems: Techniques and Architectures," Opt. Eng., Vol. 34, pp. 2193~2203, 1995
14. J. S. Jang and D. H. Shin, "Parallel Optical Feature Extraction by Use of Rotationally Multiplexed Holograms," Opt. Lett., Vol. 21, pp. 1612~1614, 1996
15. J. S. Jang and D. H. Shin, "Implementation of Holographic Storage System by Combined Use of Rotational, Angle, and Shift Multiplexing Methods," Proc. SPIE, Vol. 3468, pp. 30~37, 1998
16. 박진상, 신동학, 장주석, 정신일, "광폴리머 필름의 홀로그래픽 기록 특성," 대한전자공학회논문지, 제33권 제9호(A), pp. 143~151, 1996
17. D. H. Shin and J. S. Jang, "Shift- and Deformation Robust Optical Character Recognition Based on Parallel Extraction of Simple Features," Proc. SPIE, Vol. 3073, pp. 265~276, 1997
18. D. H. Shin and J. S. Jang, "Optical Implementation of the Hough Transform by Use of Rotationally Multiplexed Holograms," Appl. Opt., Vol. 37, pp. 329~333, 1998