

평판 집적 광학계를 이용한 분수차 상관기 구현

박선택 · 김필수 · 오차환

한양대학교 물리학과

송 석 호

한국전자통신연구소 기초기술연구부

(1996년 12월 9일 받음)

푸리에 변환의 일반형인 분수차 푸리에 변환(fractional Fourier transform : FRT)을 근간으로 하는 분수차 상관기는 입력 패턴의 위치나 모양에 따라 상관결과치가 변하는 공간 가변 특성을 갖는다. 이러한 특성을 갖는 분수차 상관기를 푸리에 변환을 이용하는 기존의 상관기와 비교하였고, 분수차에 따른 상관결과치의 변화를 분석하였다. 정확한 분수차 상관함수의 계산을 위하여 광학부품들의 정렬에 있어서 고도의 정확도와 안정도를 갖는 평판 집적 광학계를 구성하였으며, 실험결과와 계산결과를 비교함으로써 평판 집적 광학계에 의한 분수차 상관기의 구현이 매우 정확히 수행될 수 있음을 검증하였다.

I. 서 론

기존의 VanderLugt 4f 광학계에 기반을 둔 상관기(correlator)는 공간 불변의 성질을 가지고 있어, 입력패턴의 위치가 이동되어도 출력면에서의 상관결과값은 일정하게 유지되고 단지 위치만 이동하게 된다.^[1] 이러한 특성은 대부분의 패턴인식에 응용되는 경우에 있어서 요구될 수 있지만, 어떤 특수한 응용 측면에서 보면 오히려 혼동을 가져오는 경우가 있다. 가령, 패턴을 입력면의 특정한 영역에서만 인식하고자 할 때, 공간 불변의 성질은 원치 않은 영역의 패턴도 인식을 하게되므로 인식 결과의 분석에 있어서, 보다 많은 부하를 줄 뿐만 아니라, 잘못된 인식결과를 가져올 수가 있다. 이러한 경우에는, 공간 불변의 성질을 갖는 상관기 보다는 공간 가변적인 상관기를 이용하는 것이 유리할 수 있다. 공간 가변 특성을 갖는 광학적 상관기를 구현하기 위해 특수한 홀로그램 배열이나 Fresnel 변환을 이용하는 방법들이 연구되어지고 있다.^[2]

최근에는 푸리에 변환의 일반형인 분수차 푸리에 변환을 이용하는 공간 가변 분수차 상관관계가 제안되었고 광학적으로 구현되었다.^[3] 기존의 푸리에 변환에서는 신호가 공간 좌표 함수나 주파수 함수만으로 표현되는 공간 불변의 특성을 갖는 것과 달리, 분수차 푸리에 변환은 신호의 공간좌표 성분과 주파수좌표 성분에 관한 정보를 모두 표현하는 공간 가변적인 특성을 갖는다. 이러한 분수차 푸리에 변환을 근간으로 하는 분수차 상관관계는 입력 패턴의 이동에 따라 상관결과치의 최대치가 달라지는 공간 가변의 특성을 갖는다. 또한 더욱 좁은 대역 폭에 대한 높은 상관 결과치(correlation peak)를 얻을 수 있으며 신호와 잡음을 보다 분명히 분리할 수 있는 분수차 상관기(fractional correlator)를 가능하게 해준다.^[4]

그러나, 이러한 분수차 상관기의 공간 가변적인 특성은 기존의 공간 불변 광학계에 비해 매우 높은 광학계의 정렬 정확도와 정렬 안정도를 요구한다. 따라서, 기존의 광학계 구성방식으로

는 분수차 상관기의 정확성에 한계를 가질 수 밖에 없으며, 실용화를 고려한 공간 가변 분수차 상관기의 구현을 위해서도 매우 비싼 광학계 구성비용이 요구될 뿐만 아니라 광학계를 소규모로 집적하는 데 있어서도 많은 한계를 갖고 있다.

본 논문에서는, 이러한 기존 자유공간 광학계에 기반을 둔 분수차 상관기 구현방식이 갖는 한계들을 극복하기 위해, 높은 정렬정확도 및 정렬안정도, 그리고, 높은 광학계 집적도 등을 갖는 평판 집적 광학계^[5,6]를 이용한 분수차 상관기용 광학계를 제안하였고, 실험적으로 검증하였다. 그리고, FRT를 기반으로 하는 분수차 상관관계의 정의와 광학계 구성방식이 논의되어 있으며, 분수차에 따른 상관관계의 특성과 공간 가변 특성이 계산을 통하여 분석 되어 있다. 실험적으로는, 정확한 분수차 상관함수의 계산을 위하여 광학부품들의 정렬에 있어서 고도의 정확도와 안정도를 갖는 평판 집적 광학계를 구성하였으며, 실험결과와 계산결과를 비교함으로써 평판 집적 광학계에 의한 분수차 상관기의 구현이 매우 정확히 수행될 수 있음을 검증하였다. 평판 집적 광학계를 이루는 모든 마이크로 광학 부품들은 한 장의 유리기판 위에 레이저 빔 묘화장치(laser beam writing system)^[7,8]에 의해 동시에 제작되었으며, 부품간의 정렬정확도가 1 마이크로미터 이내로 유지될 수 있도록 하였다.

II. 이 론

2.1. 분수차 푸리에 변환

분수차 푸리에 변환은 연속물질 매질에서의 공간정보 변환함수나 위그너 분포함수를 기본으로 정의 될수 있는데,^[9] 본 논문에서는 위그너 분포함수로 해석되는 분수차 푸리에 변환을 이용하여 분수차 상관관계를 분석하고자 한다. 분수차 푸리에 변환은 신호가 위그너 공간에서 시계방향으로 회전한 정도에 따라 정의된다. 즉, 회전한 각도를 $\Phi(=p \pi/2)$ 라

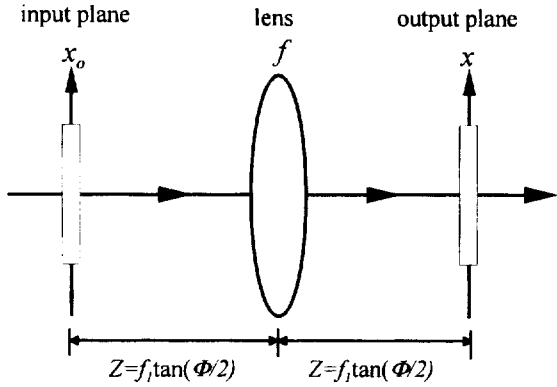


그림 1. FRT를 구현하기 위한 자유공간 광학계.

하면, Φ 만큼 회전 할 때의 변환결과를 p 차 분수차 푸리에 변환이라 한다. 위그너 공간에서의 회전각도가 갖는 의미와 분수차 푸리에 변환과의 관계는, 본 저자들에 의해 발표된 논문인 참고문헌 8에 자세하게 언급되어 있다.

이러한 분수차 푸리에 변환과정은 그림 1에 도시된 단일렌즈를 갖는 간단한 자유공간 광학계로 구현될 수 있다. 그림 1에서 f 는 렌즈의 초점 거리, z 는 렌즈와 입력면 또는 렌즈와 출력면 사이의 거리, 그리고 f_1 은 임의의 상수로서, f_1 과 z 는 다음과 같이 정의된다.

$$f_1 = f \sin \Phi, \quad z = f_1 \tan(\Phi/2) \quad (1)$$

그림 1의 입력평면에 놓인 입력신호는 렌즈에 의해 변환되어 출력면에서 검출되게 되는데, $z \neq f$ 이고 수식 (1)과 같은 관계를 가질때를 p 차 FRT라 한다. 이러한 p 차 FRT를 수학적으로 유도하게 되면, 다음과 같이 일반화된 푸리에 변환 형식으로 표현된다.^[10]

$$F_p[u_0(x_0)] = u_p(x) = \int u_0(x_0) \exp \left[\frac{i\pi}{\lambda f_1 \tan \Phi} (x_0^2 + x^2) \right] \exp \left[-\frac{2i\pi}{\lambda f_1 \sin \Phi} x x_0 \right] dx_0 \quad (2)$$

x_0 는 입력면에서의 공간좌표, x 는 출력면에서의 공간좌표이고 λ 는 입사광의 파장이다. $F_p[u_0(x_0)]$ 는 $u_0(x_0)$ 의 p 차 FRT를 나타내는데, $p=1$ 인 경우에는 기존의 푸리에 변환결과와 동일하게 된다. 따라서 FRT는 기존의 푸리에 변환의 일반화된 형태라 할 수 있다.

2.2 분수차 상관기

함수 $u_0(x)$ 와 $w_0(x)$ 에 대한 기존의 상관관계 함수 $C_1(x)$ 은 다음과 같이 정의되어 진다.

$$C_1(x) = \int u_0(x_0) w_0^*(x - x_0) dx_0 \\ = \int u_1(v) w_1^*(v) \exp(i2\pi x v) dv \\ u_1(v) = \int u_0(x) \exp(-i2\pi x v) dx,$$

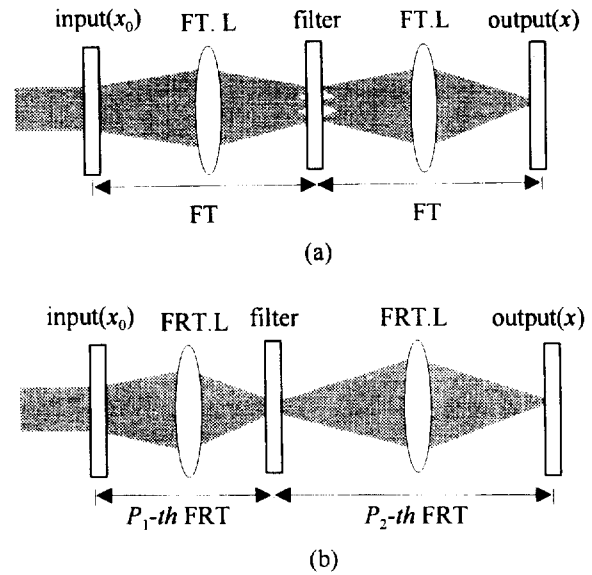


그림 2. (a)VanderLugt 4-f 광학계와 (b)분수차 상관관계를 구현하기 위한 광학계.

$$w_1(v) = \int w_0(x) \exp(-i2\pi x v) dx. \quad (4)$$

여기에서, $u_1(v)$ 와 $w_1(v)$ 는 $u_0(x)$ 와 $w_0(x)$ 의 푸리에 변환함수이고 $w_1^*(v)$ 는 $w_1(v)$ 의 복소 공액함수이다. 식 (3)에서 처럼 기존의 상관관계 함수값은, $u_0(x)$ 와 $w_0(x)$ 를 푸리에 변환 한 다음, 푸리에 변환 된 $w_1(v)$ 의 복소 공액을 취하고, $u_1(v)$ 와 $w_1^*(v)$ 를 곱하여 다시 역 푸리에 변환을 하면 구할 수 있다.

분수차 상관관계 함수는 기존의 상관관계 함수를 구하는 과정에서 푸리에 변환 대신에 분수차 푸리에 변환을 하게 되면 구할 수 있으며, 함수 $u_1(v)$ 와 $w_0(x)$ 에 대한 분수차 상관관계 함수는 다음과 같이 정의 될 수 있다.^[5]

$$C_{p_1, p_2}(x) = F_{p_2} \left[F_{p_1} [u_0(x)] F_{p_1}^* [w_0(x)] \right] \quad (5)$$

여기서, p_1 과 p_2 는 FRT의 분수차를 나타낸다. 즉, 분수차 상관관계 함수는 식 (5)에서 처럼 $u_0(x)$ 와 $w_0(x)$ 의 p_1 차 FRT를 취한 다음, p_1 차 FRT된 $w_{p_1}(x)$ 의 복소공액값을 취하여 p_1 차 FRT된 $u_{p_1}(x)$ 와 곱한 다음, 다시 p_2 차 FRT를 하면 분수차 상관관계 값을 구할 수 있다.

분수차 상관관계를 자유공간 광학계로 구현하는 것은 기존의 VanderLugt 4-f광학계와 비슷하다. 그림 2-(a)는 VanderLugt 4-f광학계로서 두 개의 푸리에 변환 렌즈(FT.L)와 하나의 필터로 구성되 있다. 입력면의 패턴이 첫 번째 렌즈에 의해 푸리에 변환 되어지고, 푸리에 평면에서 필터를 지난 다음 두 번째 렌즈에 의해 역 푸리에 변환이 되어 출력면에서 상관결과치를 얻을 수 있게 구성되어 있다. 그림 2-(b)는 분수차 상관관계를 구현 하기 위한 광학계로서, VanderLugt 4-f광학계와 비슷하게 두 개의 분수차 푸리에 렌즈(FRT.L)와 하나의 필터로 구성되어 있다. 첫 번째 렌즈에 의해 입력패턴이 p_1 차 FRT이 되고 p_1 차 FRT 평면에서 필터를 지난 다음, 두 번

제 렌즈에 의해 p_2 차 FRT이 되어 출력면에서 분수차 상관 결과치를 얻도록 구성되어 있다. 이 때 각각의 광학계 구성부품들 사이의 거리는, VanderLugt 광학계 경우에는 모두 렌즈의 초점거리와 동일지만, 분수차 상관관계의 광학계 경우에는 식 (1)에 의해 아래와 같이 주어진다.

$$z_1 = f \sin\left(p_1 \frac{\pi}{2}\right) \tan\left(p_1 \frac{\pi}{4}\right),$$

$$z_2 = f \sin\left(p_2 \frac{\pi}{2}\right) \tan\left(p_2 \frac{\pi}{4}\right). \quad (6)$$

두 렌즈의 초점거리는 f 로 동일하며 z_1 은 입력면-렌즈 혹은 렌즈-필터 사이의 거리이고, z_2 는 필터-렌즈 혹은 렌즈-출력면 사이의 거리이다. 두 광학계를 구성하는 필터의 패턴들은 서로 다르며, 분수차 상관관계의 경우에는 분수차 값에 따라 달라진다.

식 (5)에 p 차 FRT 정의식인 식 (2)를 대입하여 분수차 상관관계 함수에 대한 자세한 수식을 구하면 다음과 같다.

$$C_{p_1, p_2}(x) = \iiint u_0(x_0) w_0^*(\tilde{x}_0) \exp\left[i\pi\psi_1(x, x_0, \tilde{x}_0, y)\right] \times \exp\left[-i2\pi\psi_2(x, x_0, \tilde{x}_0, y)\right] dx_0, d\tilde{x}_0, dy, \quad (7)$$

$$\psi_1(x, x_0, \tilde{x}_0, y) = \frac{x^2+y^2}{\lambda f_1 \tan(\Phi_2)} + \frac{x_0^2+y^2}{\lambda f_1 \tan(\Phi_1)} + \frac{\tilde{x}_0^2+y^2}{\lambda f_1 \tan(\Phi_1)}, \quad (8)$$

$$\psi_2(x, x_0, \tilde{x}_0, y) = y \left(\frac{x_0 - \tilde{x}_0}{\lambda f_1 \sin(\Phi_1)} + \frac{x}{\lambda f_{sub} 1 \sin(\Phi_2)} \right), \quad (9)$$

$$\Phi_1 = p_1 \left(\frac{\pi}{2} \right), \quad \Phi_2 = p_2 \left(\frac{\pi}{2} \right). \quad (10)$$

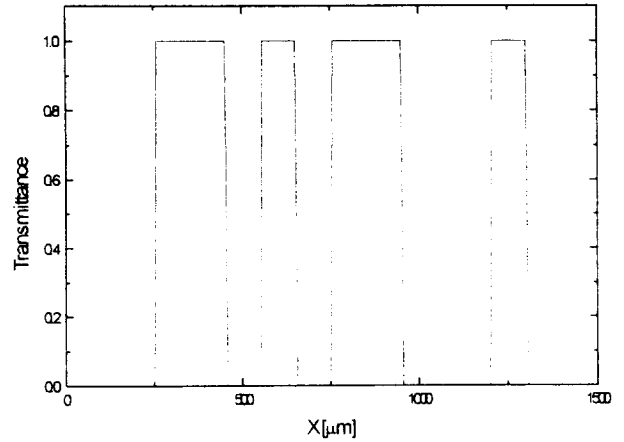


그림 3. 계산에 사용된 입력패턴.

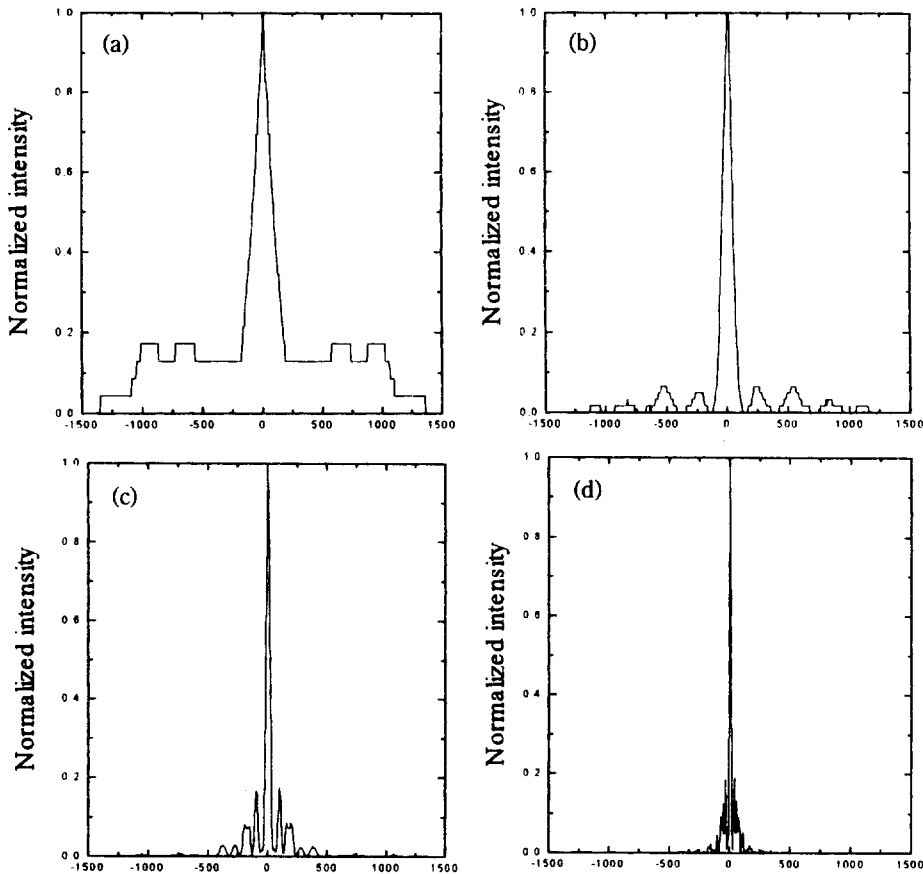


그림 4. p_1 값에 따른 분수차 상관관계의 계산결과. (a) 1.0, (b) 0.75, (c) 0.5, (d) 0.25.

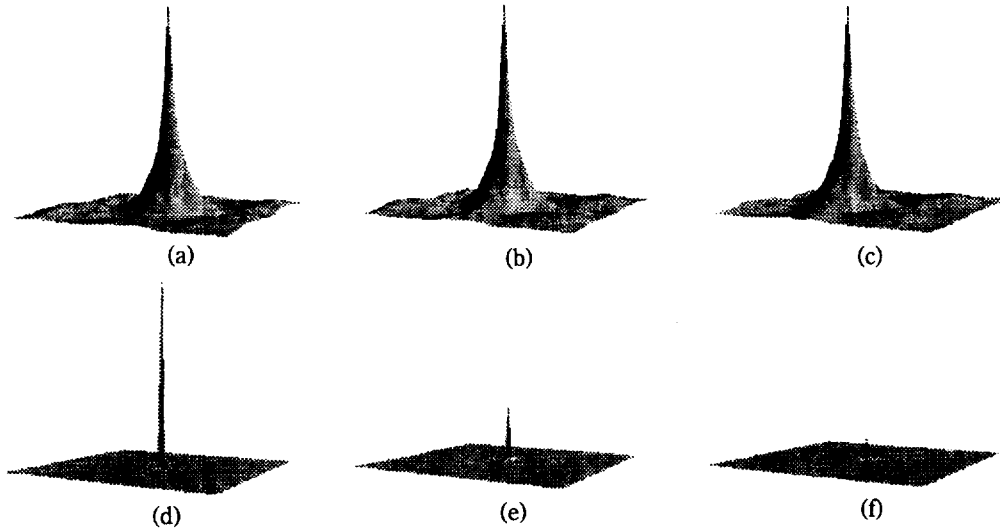


그림 5. 입력패턴의 이동에 따른 기존의 상관관계($p_1=1.0$)와 분수차 상관관계($p_1=0.5$)의 계산결과.

x_0 또는 \bar{x}_0 는 입력면, y 는 p_2 차 FRT평면, 그리고 x 는 출력면에서의 공간좌표이다. 만약, p_1 과 p_2 가 모두 1.0이면 식 (7)은 기존의 상관관계 함수인 식 (3)와 같아진다. 따라서, FRT가 기존 푸리에 변환의 일반화된 형태인 것과 같이 분수차 상관관계도 역시 기존 상관관계의 일반화된 표현이라 할 수 있으므로, 패턴 인식등의 응용분야에 적용함에 있어서 보다 많은 시스템 자유도를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 계산의 편의를 위해 p_2 가 1.0인 경우에 대해 분수차 상관관계를 분석하고자 한다. p_2 가 1.0이면 식 (8)과 (9)에서 $\tan(\Phi_2)=\infty$, $\sin(\Phi_2)=1$ 이 되고 식 (7)에서 $\int \dots dy$ 는 Dirac 적분이 되어, 식 (7)은 다음과 같이 간단히 정리되어진다.

$$C_{p_1, 1}(x) = \exp \left[-i\pi \frac{(\sin\Phi_1)^2}{\lambda f_1 \tan\Phi_1} x^2 \right] \int u_0(x_0) w_0^*(x_0 + x \sin\Phi_1) \times \exp \left(-\frac{i2\pi \cos\Phi_1}{\lambda f_1} x x_0 \right) dx_0. \quad (11)$$

식 (11)를 자세히 살펴보면, 분수차 상관관계 결과치가 분수차 p_1 에 의존하며, $w_0^*(x_0 + x \sin\Phi_1)$ 항의 $x \sin\Phi_1$ 에 의해 공간-가변 특성을 가짐을 알 수 있다. 그림 3과 같은 이진(binary) 패턴을 입력으로 사용하는 경우, p_2 가 1.0이고 p_1 이 각각 (a) 1.0, (b) 0.75, (c) 0.5, (d) 0.25일때의 자기 상관관계 결과치를 식 (11)에 의해 계산한 값이 그림 4에 도시되어 있다. 기존의 상관관계값인 p_1 이 1.0일 때 보다 분수차 상관관계인 p_1 이 0.75, 0.5, 혹은 0.25일 때가 상관결과치의 폭이 작고, p_1 이 작아짐에 따라 폭이 감소할 뿐만 아니라 상대적으로 매우 큰 상관관계의 최대값을 얻을 수 있다.

그림 5는 입력패턴의 이동에 따른 기존의 상관결과치($p_1=1.0$)와 분수차 상관결과치($p_1=0.5$)의 변화를 계산한 것으로, 입력패턴은 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 크기의 말 모양(그림 8참조)으로 하였다. (a), (b), (c)는 $p_1=1.0$ 일 때, 입력패턴이 각각 $0 \mu\text{m}$, $0.6 \mu\text{m}$,

$140 \mu\text{m}$ 이동하였을 때 상관관계 값의 결과로 최대값은 동일하지만 위치가 이동되었음을 알 수 있다. 그러나, p_1 인 (d), (e), (f)의 경우에는 입력패턴이 이동함에 따라 결과치의 최대값이 점차 작아져 $140 \mu\text{m}$ 이동하였을 때는 거의 사라지게 됨을 알 수 있다. 즉, 분수차 상관관계는 공간-불변의 특성을 갖는 기존의 상관관계와 달리, 공간-가변의 특성을 가지며 분수차 값에 따라 상관결과치가 다르게 나타난다. 그러나, 분수차 상관관계의 공간 가변 특성은 광학계를 구성할 때 높은 정렬의 정확성과 안정성을 요구하기 때문에, 기존의 자유공간 광학계로 구현하기에는 많은 한계들이 따른다. 따라서, 고도의 정렬 안정성을 갖는 평판 집적 광학계로 구성하여 이러한 한계들을 극복할 수 있는 가능성을 보다 구체화할 수 있다.

III. 실험

평판 집적 광학계는 자유 공간상에 그림 6-(a)와 같이 구성되고 있는 광학계의 모든 부품들이, 그림 6-(b)와 같이 한 장의 유리 판 위에 집적되어 광 신호가 자유 공간이 아닌 유리 내부 공간을 통해서 전달되도록 구성되어 있다.^[8] 평판 집적 광학계는 모든 광학 부품들이 한 번의 정렬 공정으로 제작될 수 있기 때문에, 정확한 정렬 정확성을 얻을 수 있고 광학계 구성 후에도 주변 환경(온도, 외부의 충격 등)의 변화에 대해 안정성을 유지할 수 있다. 또한 마이크로 광학 부품들로 광학계를 구성하므로, 소규모로 광학계를 집적화 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 실험에서는 평판 집적 광학계를 이루는 마이크로 광학 부품들을 연속 위상 (continuous phase)형태로 제작할 수 있는 LBL(laser beam lithography)방식인 레이저 빔 묘화장치로 제작하였다.

그림 7-(a)는 p_1 이 0.5이고 p_2 가 1.0인 경우의 분수차 상관관계를 구하기 위한 평판 집적 광학계의 개략도로서, 한 장의 유리기판에 입력창, 입력 패턴, 분수차 푸리에 렌즈($p_1=0.5$), 필터, 푸리에 렌즈($p_2=1.0$), 출력창 등이 y 축 방향으로 배열된 형태를 하고 있으며, 측정을 위한 프리즘 및 카메라가 출력면

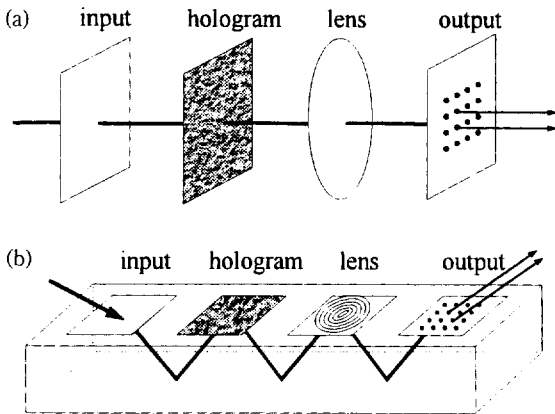


그림 6. (a)자유공간 광학계의 개략도와 (b)평판 집적 광학계의 개략도.

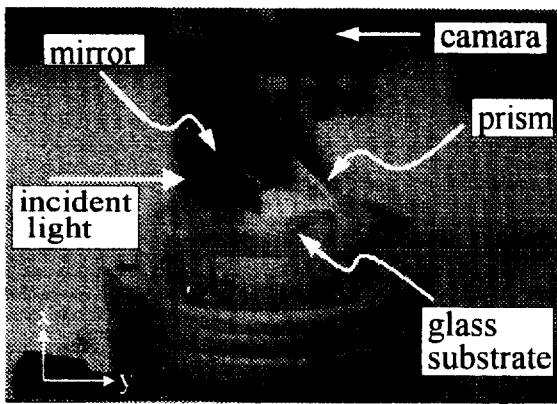
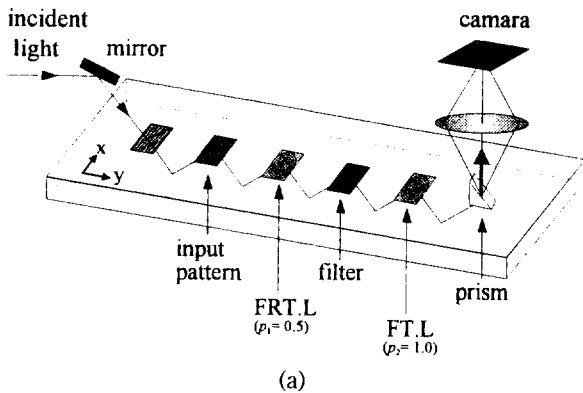


그림 7. (a) $p_1=0.5, p_2=1.0$ 인 분수차 상관관계를 구현하기 위한 평판 광학계와 (b) 측정장치 사진.

위에 놓여있다. 실제 실험에서 사용된 평판집적 광학계용 유리 기판과 측정 장치의 일부를 보여 주는 사진이 그림 7-(b)에 나타나 있다. 입력창과 출력창을 제외한 유리 기판 양면에 알루미늄 반사막 코팅을 하였으며, 출력면에 45°프리즘을 놓아 빛을 수직으로 편향 시켜 카메라로 측정할 수 있도록 하였다. 유리 기판 내에서 진행되는 광 신호의 진행 각도는 유리면 수직방향에 대해 17°가 되도록 설계하였다.

평판 광학계의 제작 및 측정 실험과정은 다음과 같다. 유리 기판은 두께가 6.64 mm, 크기가 2.5 mm×2.5 mm인 BK-7 유

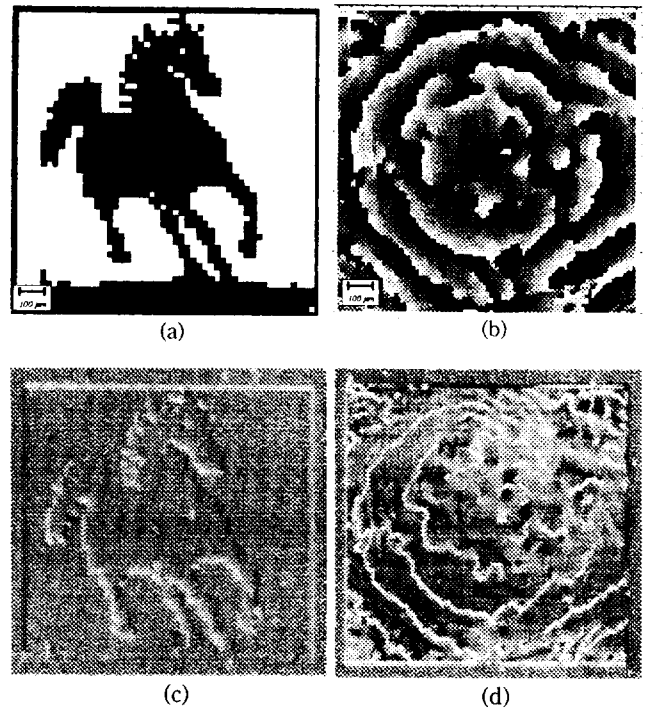


그림 8. 계산된 (a)입력패턴 (b)분수차 상관관계 필터와 제작된 (c)입력패턴, (d)분수차 상관관계 필터와.

리를 사용하였고, 유리 기판을 세척하기 위해 아세톤, 메탄올, 물에 차례로 각각 10분씩 초음파 세척기로 세척하였다. 세척된 유리 기판은 100°C오븐에서 수분을 제거한 다음, 감광제 (Photoresist : PR)를 유리 표면에 스핀 코팅하였다. PR로는 굴절률이 1.62인 Hoechst 사의 AZ HKT501 positive PR을 사용하였으며, 파장이 632.8 nm인 헬륨 네온 레이저로 측정하기 위해 PR의 두께를 0.19 μm 로 하였다. PR은 희석제(thinner)와 4:6으로 섞어 사용하였고, 스핀 코팅은 4000 rpm으로 30초 동안 하였다. 코팅된 유리 기판은 희석제의 제거와 박막의 밀도를 높여서 재현성 있는 결과를 얻기 위해, 100°C오븐 내에서 10분간 미리 굽기를 한 다음, 레이저 빔 묘화장치를 이용하여 노출시킨 후에 현상액(Hoechst AZ300)을 사용하여 30초 동안 현상하였다. 마이크로 광학 부품들이 제작된 유리 기판 양면에 알루미늄 금속 반사층을 0.1 μm 정도의 두께로 증착 하였다. 이때 입사면과 출력면은 빛이 통과 할 수 있도록 마스크를 사용하여 반사층이 증착되지 않도록 하였다.

입력패턴은 크기가 1 mm×1 mm인 말 모양을 사용하였고, 필터와 렌즈들의 크기도 모두 1 mm×1 mm로 설계하였다. 그림 8-(a)는 설계된 말 모양의 입력패턴으로서, 하나의 픽셀 크기가 20 μm ×20 μm 인 50×50개의 픽셀들로 이루어져 있다. 그림 8-(b)는 입력 패턴의 자기상관관계(autocorrelation)값을 구하기 위한 위상형 필터(phase-only filter)의 계산된 결과로서, 입력패턴의 $p(=0.5)$ 차 FRT결과로부터 얻었으며 하나의 픽셀 크기는 10 μm ×10 μm 이다. 그림 8의 (c)와 (d)는 제작된 입력 패턴과 위상 필터의 사진으로, 설계된 모양과 거의 동일함을 알 수 있다. 즉, 그림 9-(a)의 설계된 필터의 단면도와 그림 9-(b)의 제작된 필터의 단면도를 비교해 보면, 레이저

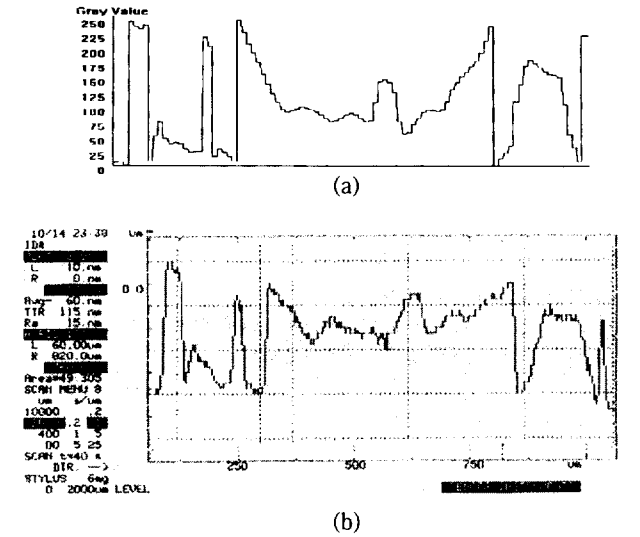


그림 9. (a)계산된 필터와 (b)제작된 필터의 중심에서의 단면도.

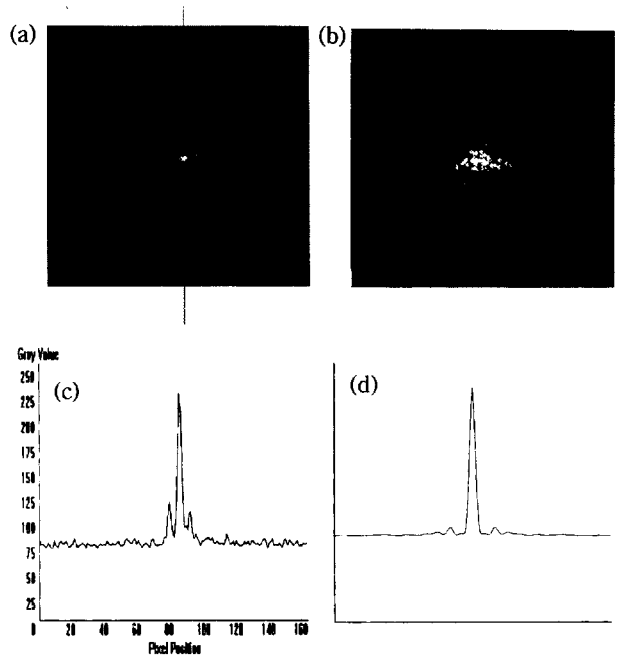


그림 11. 빛의 강도가 (a)작은 경우와 (b)큰 경우의 분수차 상관관계의 실험결과. (c)실험결과와 (d)계산결과의 수직 중심선에 따른 강도 분포.

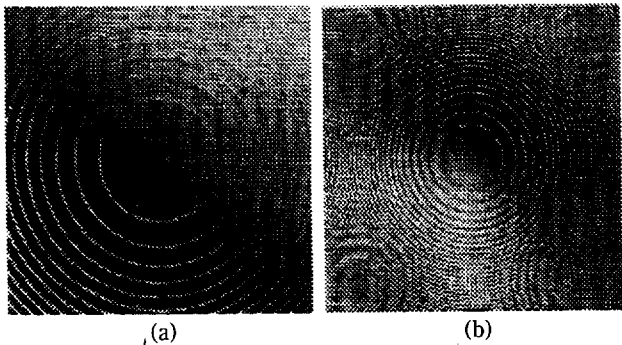


그림 10. (a)분수차 푸리에 변환 렌즈($p_1=0.5$)와 (b)푸리에 변환 렌즈($p_2=1.0$).

빔 묘화장치에 의해 정확히 제작되었음을 알 수 있다. 구성된 각각의 부품들 사이에 광이 진행하는 거리 z 는 13.886 mm 로 고정하였고 y 축 방향으로 총 길이는 20.3 mm 이다. 실험에 사용된 렌즈들의 초점거리는 식 (6)에 의해 정의 되는데, 0.5 차 푸리에 렌즈는 46.412 mm 이고 1.0 차 푸리에 렌즈는 13.886 mm 이었으며, 각각 렌즈들의 제작된 결과사진이 그림 10-(a)와 (b)에 나타나 있다.

IV. 결 과

그림 11은 p_1 이 0.5 이고 p_2 가 1.0 인 분수차 상관관계 결과를 카메라로 측정된 사진으로, (a)는 빛의 강도가 작을 때의 경우이고 (b)는 빛의 강도가 클 때의 경우이다. (b)의 경우에는 잡음이 많아 결과치를 구별 할 수 없으나 빛의 강도를 작게 하면 (a)처럼 잡음이 사라지고 상관 결과치만 뚜렷이 남는다. (c)는 (a)의 상관관계 결과치를 수직으로 표시된 직선을 따라 단면의 빛의 강도 분포를 측정된 결과로, 피크에 비해 잡음이 상대적으로 매우 작음을 알 수 있다. 또한, 평판 집적 광학계로 구현된 상관 결과치의 측정 결과 (c)와 식 (11)에 의해 계

산된 결과인 (d)가 거의 일치함을 알 수 있다. 즉, 평판 집적 광학계에서는 광학부품간의 정렬을 정확히 할 수 있으므로, 분수차 상관관계의 정확한 결과가 얻어진 것으로 판단된다.

그러나, 상관 결과치를 계산한 그림 11-(d)와 실험 결과인 11-(c)의 결과를 자세히 비교하여 보면, 실험치의 첫번째 차수가 계산치의 첫번째 차수에 비해 더 크게 나타나 있고 잡음이 약간 있다. 이것은 유리 기판 위에 코팅된 PR의 두께가 정확히 $0.19\text{ }\mu\text{m}$ 와 완전히 일치하지 않아, 렌즈나 필터에서 정확한 신호변환이 이루어지지 못하여 약간의 잡음이 발생된 것으로 여겨지며, 렌즈나 필터의 크기가 $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 로 입력 패턴의 크기와 동일하기 때문에 입력패턴의 모든 정보를 고려할 수 없었고, 렌즈와 필터를 지나지 않는 신호는 상관 결과의 피크 값을 작게 하여 상대적으로 첫번째 차수의 값을 크게 한 것으로 사료된다.

V. 결 론

분수차 푸리에 변환을 이용하는 분수차 상관기는 푸리에 변환을 이용하는 상관기에 비해 피크 폭이 작고 최대값이 큰 상관 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 분수차에 따라 상관 결과치가 다르게 나타나고 공간 가변의 특성을 가지므로 신호처리에 유용한 도구로 사용될 수 있음을 알았다. 높은 정렬 정확도 및 정렬 안정도, 그리고 높은 광학계 집적도 등을 갖는 분수차 상관기용 평판 집적 광학계의 구현 방식을 제안하였으며, 평판 집적 광학계를 제작하여 계산치와 거의 일치하는 실험 결과를 얻었다. 그리고, 기존의 자유 공간 광학계가 갖는 높은 신호의 공간 대역폭을 가지고 매우 정확한 분수차 상관 관계를 구현할 수 있음을 실험 결과에 대한 분석을 통하여 검

증할 수 있었다.

따라서, 평판 집적 광학계로 구성하는 방식은 분수차 상관기 뿐만 아니라 FRT를 이용하는 신호처리와 패턴인식 등의 정확한 정렬과 안정성을 요구하는 광학적 시스템들의 실현 가능성을 구체화 할 수 있어, 보다 다양한 응용분야로의 확장을 도모할 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Joseph L. Horner and Peter D. Gianino, *Appl. Opt.* **23**, 812-816 (1984).
- [2] J. A. Davis, D. M. Cottrell, N. Nestorovic, and S. M. Highnote, *Appl. Opt.* **31**, 6889-6893 (1992).
- [3] D. Mendlovic, H. M. Ozaktas, and A. W. Lohmann, *Appl. Opt.* **34**, 303-309 (1995).
- [4] J. Garcia, D. Mendlovic, Z. Zalevsky, and A. Lohmann, *Appl. Opt.* **35**, 3945-3952 (1996).
- [5] S. H. Song, E. H. Lee, C. D. Carey, D. R. Selviah, and J. E. Midwinter, *Opt. Lett.* **17**, 1253-1255 (1992).
- [6] J. Jahns and A. Huang, *Appl. Opt.* **28**, 1602-1605 (1989).
- [7] M. T. Gale, M. Rossi, J. Pedersen, and H. Schutz, *Opt. Eng.* **33**, 3556-3566 (1994).
- [8] 박선택, 송석호, 김필수, 오차환, 한국광학회지, 제 7 권, 제 4 호, 333-340(1996).
- [9] D. Mendlovic, H. M. Ozaktas, and A. W. Lohmann, *Appl. Opt.* **33**, 6188-6193 (1994).
- [10] A. W. Lohmann, *J. Opt. Soc. Am. A*, **10**, 2181-2186 (1993).

Planar integrated optics for performing fractional correlation operation

Suntak Park, Pill Soo Kim, and Cha Hwan Oh

*Department of Physics, Hanyang University,
Seoul 133-791, Korea*

Seok Ho Song

*Research Department, Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI),
Taejon 305-350, Korea*

(Received : December 9, 1996)

On the base of the fractional Fourier transform(FRT) which is known as a generalized form of the conventional Fourier transform, the fractional correlation has been implemented. Shift-variance property of the fraction correlation has been evaluated and compared with the shift-invariance of the conventional correlation. The fractional correlation operation has been implemented by using a planar optics configuration which integrates all of the optical components on a single glass substrate. A good agreement between the experimental and calculated results has been obtained.