

푸리에 변환법을 이용한 3차원 위상측정에서의 필터 효과

Frequency filtering effect
on Fourier Transform 3-D Profilometry

박준식, 나성용, 박승규*, 백성훈*, 이용주*
충남대학교 전자공학과, *한국원자력연구소
jspark75@hotmail.com

본 연구에서는 푸리에 변환법에 의한 위상정보 추출 기술을 개발하고, 주파수 영역에서의 창함수 필터에 따른 위상추출 특성을 분석하였다.

푸리에 변환법은 위상이동법과는 달리 정현파 패턴이 투영된 하나의 영상만을 이용하여 3차원 형상정보를 추출할 수 있는 장점이 있다. 획득된 영상은 오일러 공식으로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I(x, y) = a(x, y) + c(x, y) + c^*(x, y),$$

$$c(x, y) = \frac{1}{2} b(x, y) \exp[j\phi(x, y)] \quad (1)$$

식 (1)에서 a 는 화상의 배경 밝기, b 는 간섭무늬 명암대비, ϕ 는 각 지점에 존재하는 고유한 위상이다. $I(x, y)$ 에 대하여 2차원 이산 푸리에 변환으로 Hermitian 분포를 가지는 $I(u, v)$ 를 구할 수 있다.

$$I(u, v) = A(u, v) + C(u, v) + C^*(u, v) \quad (2)$$

식 (2)에서 $A(u, v)$ 는 DC성분을 포함하고 있고, $C(u, v)$ 와 $C^*(u, v)$ 는 $f=0$ 에서 점대칭으로 동일한 정보를 가지고 있다. 공간주파수 영역에서 필터링하여 $A(u, v)$ 와 $C^*(u, v)$ 를 제거하고, 남아있는 $C(u, v)$ 에 대하여 역 이산 푸리에 변환을 통해 복소지수함수인 $c(x, y)$ 를 구한다. 이로부터 식 (3)을 통해 위상값을 구할 수 있다.

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{\text{Im } c(x, y)}{\text{Re } c(x, y)} \quad (3)$$

기존 푸리에 변환방법은 주파수 영역에 분포되어 있는 형상 정보만을 획득에 난점이 있고, 주파수 필터링 적용에 난점이 있으며, 투영 격자의 반송주파수(carrier frequency)를 위상이동법에 비해 낮게 할 경우 에어리어싱(aliasing)의 문제가 있다. 본 연구에서는 식 (4)의 선택된 필터를 다양하게 적용하고 그 효과를 분석하여 성능향상을 도모하고자 한다.

$$\text{Rectangular} : W_n(u) = 1$$

$$\text{Hanning} : W_n(u) = 0.5 - 0.5 \cos(2\pi n/N)$$

$$\text{Hamming} : W_n(u) = 0.54 - 0.46 \cos(2\pi n/N)$$

$$\text{Blackman} : W_n(u) = 0.42 - 0.5 \cos(2\pi n/N) + 0.08 \cos(4\pi n/N)$$

$$\text{Gaussian} : W_n(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp[-(\frac{n}{N} \times \tau)^2 / 2] \quad (4)$$

1차원 필터를 식 (5)로 2차원 필터 변환하고 이를 공간주파수 영역상에 식 (6)과 같이 적용한다.

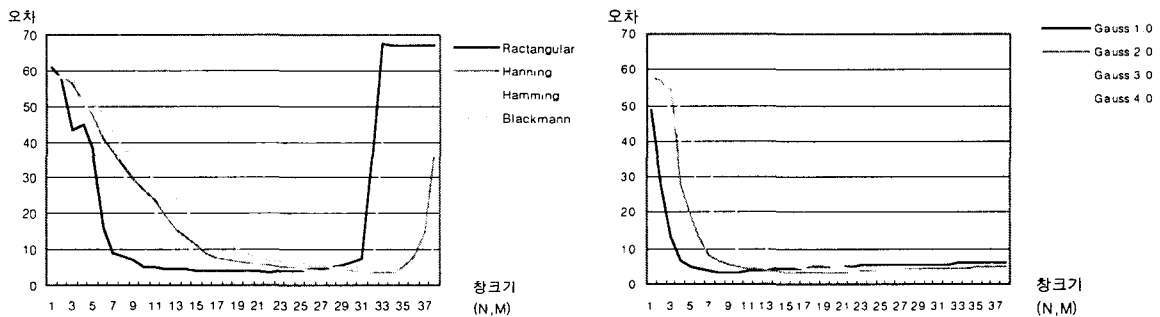
$$W_{n,m}(u,v) = W_n(u) \times W_m(v) \tag{5}$$

$$I_{n,m}(u,v) = I(u,v) \times W_{n,m}(u,v) \tag{6}$$

본 연구에서는 필터의 창범위를 n 와 m 을 동일하게 정사각형으로 적용하는 실험과 n 또는 m 을 고정하고 하나의 창범위를 변화시켜 적용하는 실험을 하였다. 필터의 효과를 비교하기 위한 오차는 식 (7)과 같은 표준편차를 사용하고, 이때 기준값 $\tilde{i}_{x,y}$ 는 4-bucket 위상이동법으로 측정된 형상정보를 그 기준으로 하였다. 그리고 푸리에변환 형상측정 실험도 기준으로 사용된 4-bucket중 하나의 투영격자영상을 대상으로 하였다.

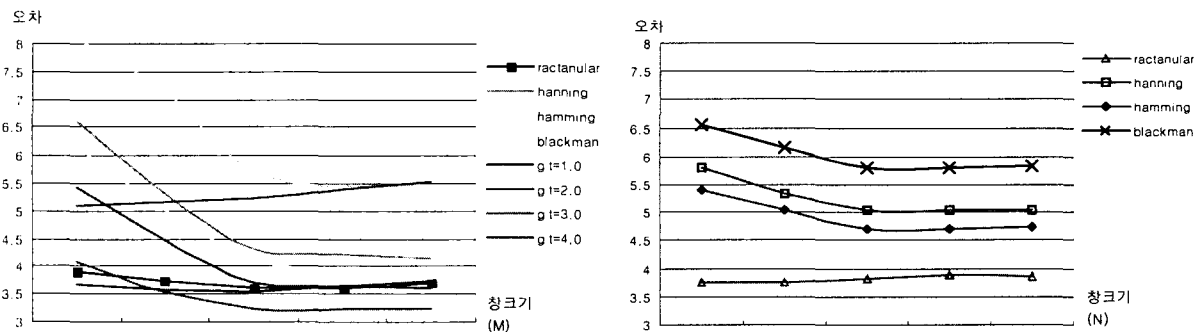
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{512 \times 512} \sum_{x=0}^{512} \sum_{y=0}^{512} (i_{x,y} - \tilde{i}_{x,y})^2} \tag{7}$$

정사각형으로 크기 변화시키며 적용한 필터의 효과결과는 다음과 같다.



창크기가 작은 경우에는 Ractanular 필터의 성능이 좋고, 창크기가 커질수록 산포도가 좁은 필터들의 성능이 좋은 것을 알 수 있다. 또한 각 필터들의 최소오차를 갖는 최적 창크기가 존재함을 알 수 있다. 제한적인 가우시안 필터의 경우에는 일반적인 창함수 필터에 비교해서 좋은 성능을 나타내었다.

정사각형으로 크기 변화시키며 적용한 필터의 효과결과는 다음과 같다.



수직창크기(M) 변화시 산포도가 좁은 창필터의 경우에는 창크기가 증가함에 따라 오차가 감소하는 것을 알 수 있고, Ractanular 필터를 포함한 산포도가 넓은 창필터는 창크기가 증가함에 따라 오차가 증가함을 볼 수 있다. 수평창크기(N) 변화시에도 각 필터가 수직창크기 변화와 같은 특성을 보이거나 오차의 변화가 매우 작다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Jin-Feng Lin, Xian-Yu Su, Optical Engineering, Vol.34, 3297-3302 (1995)
2. 박준식, 나성웅, 박승규, 백성훈, 한국광학회, 춘계학술논문집, 26-27 (2003)