

## <論文>

# 항공기 복합 재료의 비파괴 검사(NDI)를 위한 가변 창 필터를 이용한 초음파 영상 개선

홍교영\*, 홍승범\*\*

Enhancement of the Ultrasonic Image Using the Adaptive Window Log  
Filter for NDI of Aircraft Composite Materials

G. Y. Hong, S. B. Hong.

## 목 차

- I. 서 론
- II. Full Developed Speckle noise
- III. AWLF Filter
  - 1. 에지 영역과 평탄 영역판별
  - 2. 잡음 제거 필터(Logarithm Filter)
- IV. 실험 결과 및 검토
- V. 결 론

## Abstract

In this paper, we propose an enhancement of the ultrasonic image for non-destructive inspection of aircraft composite materials. The ultrasonic images are corrupted by a speckle noise which has the characteristic of granular pattern noise and is in all types of coherent imaging systems, the signal independent and multiplicative noise. In this paper, we derive a filter, called the AWLF(Adaptive Window Log Filter), from the nature of the speckle. The filter is made of the MEAN Filter in the edge region and Log Filter in the flat or noise region. To make a distinction between edge and flat region, we calculate the inclination around the local window instead of computing the local statistics of pixels such as local mean  $\bar{m}$  and standard deviation  $\sigma_s$ . According to the obtained region, edge region is performed by the mean filter and flat region by the Log filter. Performance of the proposed filter is evaluated by the Enhanced Factor( $F_e$ ) and the Speckle Index(SI).

**Key Words :** adaptive filter(적응형필터), speckle noise(스페클 잡음), AWLF 필터

\* 한서대학교 항공전자시뮬레이션학과 교수

\*\* 이레스페이스 선임연구원

## I. 서 론

본 논문은 항공기의 본체에 사용된 복합 재료의 결함을 찾기 위한 초음파 신호를 통하여 구조 물질 내부의 영상을 다룬다. 비파괴 검사에서 사용되는 초음파는 5-25MHz대의 주파수로 파장이 짧고, 고해상력을 가지며, 신호 특성상 산란 현상이 발생하게 된다. 이 때 발생하는 산란은 영상에서 낱알(granular) 모양의 잡음으로 나타난다. 이와 같은 잡음을 스페클(speckle)이라고 하며, 잡음 특성은 곱형 잡음(multiplicative noise), 신호에 독립(signal independent)적이며, 공간상에서 상관적이다. 스페클의 형태는 간섭성이 있는 초음파 범이 거친 표면에 반사되어질 때, 반사된 잔물결(wavelet)의 중복에 의한 복잡한 형태로 나타난다. 즉, 빗방울에 의하여 발생하는 작은 ripple 형태의 중복된 모양으로 나타난다.<sup>[1][2][3]</sup>

이러한 성질을 가진 스페클 잡음 영상은 반사에 의해 나타나는 레일리 분포 잡음과 같게 나타나므로 비선형적인 적응형 필터(adaptive filter)의 설계가 필요하다. 기존의 스페클 잡음 제거하기 위한 방법으로 평균과 표준 편차를 이용하였다. 자세하게 살펴보면, Kutay의 ASSF(Adaptive Speckle Suppression Filter)는 국부 표준 편차의 변화가 심하지 않는 적정의 윈도우 사이즈를 결정한 후 이 국부 영역에서 변형된 가우시안 필터를 통과시켜 잡음을 제거하는 방법이다<sup>[3]</sup>. 그러나 적정 수준의 윈도우 결정 및 경계선이 포함된 영역에서 뛰어난 성능을 발휘하지 못하는 단점이 있다. 그리고 Kundu에 의하여 제시된 Generalized Mean Filter방식은 3x3 국부 창을 이용함으로 최대 값과 최소 값을 제외한 다음 나머지 값의 평균을 구하여 대치하는 방식으로 경계선 검출 및 잡음 제거 능력이 우수하다는 장점을 가지고 있다. 하지만, 이 방식 역시 주어진 환경이 열악한 상태에서 평균 필터를 취하여 영상을 개선한다는 단점을 가지고 있다<sup>[6]</sup>.

본 논문에서는 정략적인 방식(국부 평균값과 표준편차)과 곱형 잡음 특성을 가지고 있는 스페클 잡음의 성질을 이용하여 잡음을 제거하는 방식으로 제작하였다. 에지를 검출하기 위해서는 국부 창의 크기를 작게 하여 흐림(blur) 현상을 줄여 에지부분을 보호하게 되고, 잡음이 포함된 평坦지역에서 잡음을 제거하기 위해서는 국부 창을 크게 함에 따라 잡음 성분이 많이 포함된 상태에서 잡음을 제거하는 방식인 적응형 필터 방식을 사용하였다.<sup>[2]</sup> 제시된 AWLF 필터는 에지를 보호하기 위해서 3x3 국부 창에서 국부 창의 중간 값을 구하여 주변의 방향(상하, 좌우, 그리고 두 가지 사선방향)에서 경계선이 있는지를 찾게 된다. 그리고 경계선이 없다고 판단되면 윈도우의 크기를 5x5로 증가하여 국부 창의 평균 잡음만큼을 제거하여 영상을 향상하는 방식이다. III, IV장에서 AWLF 필터를 이용한 잡음제거에 대해 설명하고, 이에 따른 실험 결과 및 검토를 V장에서 다룬다.

## II. Full Developed Speckle noise

스페클은 레이저의 개발에 따라 새롭게 등장한 잡음의 한 형태이다. 본 논문에서는 full developed speckle의 잡음을 삽입하였다. 이 full developed speckle은 식(1)의 지수 분포를 따르면서 랜덤한 진폭과 위상을 가지는 복소수의 형태인 식(2)와 같이 표현할 수 있으며, 식(3)와 같이 평균과 표준 편차가 1인 잡음의 형태를 말한다.<sup>[4][5]</sup>

$$p_s(\xi) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\xi}{\sigma^2}\right), & \xi \geq 0 \\ 0, & O.W \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} a(x, y) &= a_R(x, y) + j a_I(x, y) \\ s &= s(x, y) = |a(x, y)|^2 = a_R^2 + a_I^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\sigma_s}{\bar{s}} = 1 \quad (3)$$

여기서,  $\sigma_s$ 는  $s$ 의 표준 편차이다.  $\bar{s}$ 는 잡음의 평균이다.

### III. AWLF Filter

본 논문에서 제시하는 AWLF필터는 두 가지 서로 다른 성질의 필터로 구성되어 있다. 이종의 필터를 적용하는 방식은 에지가 포함되어 있는 영역과 평탄지역에 따라서 각각 평균 필터와 Log 필터를 적용하게 된다.

#### 1. 에지 영역과 평탄 영역판별

에지 영역과 평탄 영역을 구별하는 방법으로 기존에 제시되고 있는 방식은 5x5 국부 창에서 통계적 연산(평균값과 표준 편차)방법으로 영역을 구별하였다. 즉, 균일한 명암(intensity)을 가지는 영역인 평탄 지역의 표준 편차는 0일 것이다. 하지만, 잡음의 부가에 의하여 표준 편차가 임의의 값을 가지게 된다. 에지 영역에서는 경계선에서 명암의 변화와 잡음 부가에 따른 표준 편차가 발생하게 된다. 그러므로 평탄 지역의 표준 편차 보다는 에지 영역에서 표준 편차가 더 크다는 것을 이용하게 된다. 이런 근거로 임의의 문턱 값(threshold)값을 설정한 후 5x5 국부 창에서 얻어진 통계적 연산 값과 문턱 값 사이를 비교하여 두 영역을 구별한다. 본 논문에서 두 영역을 구별하는 방법은 3x3 국부 창의 중앙값을 국부 창의 평균값으로 대치한 후 주변 픽셀 값과 비교하여 에지를 찾게 된다.

$$E = \frac{1}{(2N+1)^2} \sum_{k1=-N}^{k1=N} \sum_{k2=-N}^{k2=N} x[i+k1][j+k2], \quad (4)$$

국부창의 중앙 픽셀 값인  $x(i, j)$ 를 식(4)에서 얻어진 평균값을  $E$ 값으로 대치한다. 그리고  $x(i, j)$ 값을 중심으로 각 방향의 기울기를 구하게 된다. 즉,

$$P_{(i+k1, j+k2)} = x[i][j] - x[i+k1][j+k2], \quad (5)$$

여기서,  $(k1, k2)$ 는  $-1, 0, 1$ 이다.

식(5)은 상하, 좌우 그리고 2개의 사선 방향에서의 기울기를 통해 경계선을 검출하게 된다. 기울기의 형태는 두 가지로 분류할 수 있다. 첫째로, 좌우방향에서 기울기를 살펴본다면, 좌측 값이 양(+)의 기울기를 가진다면, 우측 값이 음(-)의 기울기를 가지게 되는 경우가 경계선을 가지는 경우이다. 둘째로 기울기의 방향이 양방향에서 양(+)이나 음(-)의 값을 가지는 경우이다. 두 가지 경우에 기울기 값에 대한 비로 나타내면 식(7)과 같이 표현 할 수 있다.

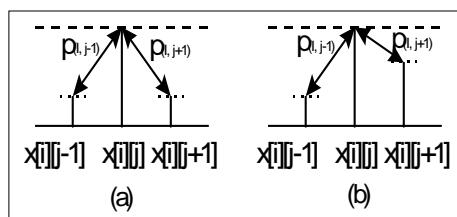
$$\gamma = p_{(i+k1, j+k2)} / p_{(i+k1', j+k2')} \quad (6)$$

여기서,  $k1, k2 = -1, 0, 1$ ,  $k1', k2'$ 는  $k1, k2$ 에 대칭 되는 좌표이다.

식(6)은 중앙 픽셀 값을 기준으로 대칭이 이루어지는 값 사이의 비를 나타낸 것이다. Noise free 영상에서 감마값은 식(7)의 범위 내에 존재하게 된다.

$$\begin{cases} 0.2 < |\gamma| < 5, & \gamma < 0 \\ 0.5 < \gamma < 2, & \gamma > 0 \end{cases} \quad (7)$$

식(8)의 범위는 잡음이 포함되지 않은 영상에서 얻은 실험 결과 값이다. 이 범위에 존재하는 모든 값은 예지로써 판단하게 된다. 그럼 1에서와 같이 각 예지와 잡음을 구별할 수 있다. 스페클 잡음이 포함된 영상에서 예지와 잡음을 구별하기 위해 식(6)과 식(7)를 사용한다. 즉, 식(6)은 각 기울기의 값을 구하는 것으로써, 국부 영역에서 표준편차를 구하는 방식과 유사하다. 기울기의 차가 클수록 예지가 존재한다는 것은 표준 편차가 클수록 예지가 존재할 수 있다는 것과 동일하다. 다시 말하면, 기울기의 차가 영(0)에 가까운 것은 표준 편차가 크지 않으므로 잡음 영역이라고 말할 수 있다.



<그림 1> 예지 상태의 기울기 형태

위에서 살펴본 여러 가지의 예지 영역판별은 각 방향의 값이 식(7)내에 존재해야만 예지로 판별하게 된다. 간단히, 예를 들어 예지를 판별하는 것을 보이면 다음과 같다.

50	50	100
50	50	100
50	50	100

(a)

45	25	20
30	25	52
60	35	40

(b)

<그림 2> 예지가 포함된 경우

예로 그림 2 (a)의 경우는 국부 평균값은 67이고, 상하 방향에 대한 기울기를 구해보면,

$$p_{(0,1)} = 67 - 50 = 17, \quad p_{(0,-1)} = 67 - 50 = 17 \quad \gamma = \frac{p_{(0,1)}}{p_{(0,-1)}} = 1$$

동일한 방법으로 각 방향에 따라 1.94, 1.94, 그리고 0.515로 위의 연산 결과 (7)의 조건에 따라 에지의 특성을 가지고 있으므로 에지 영역으로 판정하게 된다.

그림 2 (b)의 경우는 국부 평균값은 37이고 위와 동일한 방법에 의해 상하, 좌우, 두개의 사선의 기울기는 각각 6, 2.14, 0.739 그리고 2.67로 (7)에서 제시한 조건과 일치하지 않으므로 잡음 영역으로 검출하게 된다.

## 2. 잡음 제거 필터(logarithm filter)

잡음을 제거하는 방식은 국부 영역에서의 평균과 표준 편차의 비와 전체 영역의 평균과 표준 편차의 비 사이의 관계에서 적정 문턱 값을 설정하여 평균 필터나 Median 필터를 이용하여 개선된 영상을 구하였다. 본 논문에서 제시된 Log 필터는 스페클의 성질인 신호에 독립적이고, 곱형 잡음이 포함되어 있는 것을 이용하여 잡음을 제거하게 된다.

에지 검출 방식에 의해 에지부분과 잡음이 포함된 영역 부분을 구분하였다. 그러므로 잡음 영역에서는 잡음 영역이 포함되어 있지 않다면 균일한 휘도 세기(gray intensity)를 가지고 있다고 볼 수 있다<sup>[2]</sup>. 스페클 잡음의 형태는 식(8)과 같이 수식적으로 표현할 수 있다.

$$s(i,j) = x(i,j) \cdot n(i,j) \quad (8)$$

여기서,  $s(i,j)$ 는 잡음이 포함된 영상,  $x(i,j)$ 는 잡음이 제거된 영상이고,  $n(i,j)$ 는 스페클 잡음이다.

신호와 잡음 사이의 관계는 잡음의 성질이 신호에 독립적임으로 식(9)과 같이 표현할 수 있다.

$$\bar{s} = \bar{x} \cdot \bar{n} \quad (9)$$

여기서,  $\bar{s}$ 는 잡음이 포함된 영상의 평균값,  $\bar{x}$ 는 잡음이 제거된 영상의 평균값이고,  $\bar{n}$ 는 스페클 잡음 평균값이다.

위의 식(8)과 (9)를 이용하여 잡음이 포함된 영상의 분산 값과 잡음 사이의 관계를 구해 보면, 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \sigma_s^2 &= E(x_{i,j}n_{i,j} - \bar{x}\bar{n})^2 \\ &= \bar{x}^2 [E(n^2) - \bar{n}^2] = \bar{x}^2 \sigma_n^2 \end{aligned} \quad (10)$$

식(9)를 식(10)에 삽입하면, 식(11)를 유도 할 수 있다.<sup>[2]</sup>

$$\frac{\sigma_n}{n} = \frac{\sigma_s}{s} \quad (11)$$

위의 수식은 잡음 평균과 분산의 비와 잡음이 포함된 영상 내 평균과 분산의 비 사이를 규정한 것이다. 식(11)의 관계를 이용하여 식(12)을 유도할 수 있다.

$$\frac{\sigma_s}{\sigma_n} = \frac{\bar{s}}{\bar{n}} \quad (12)$$

식(12)와 식(8)의 관계를 이용하여  $\bar{x}$  를 구할 수 있다. 즉, 위에서 유도된 식(11)에서 전체 영역에서 잡음 분산 값과 평균값을 알 수 있다면, 균일한 휘도 세기(gray intensity)부분에서 원 신호에 가까운 신호를 복원할 수 있다. 5x5의 국부 영역에서의 스펙클 잡음이 포함된 영상을 수식적으로 표현하면, 아래의 식으로 나타낼 수 있다. (여기서,  $N = 25$ 이다.)

$$s(i, j) = \sum_{kl=-N}^{kl=N} x(i, j) \cdot n(i+kl, j+kl) \quad (13)$$

$x(i, j)$ 가 균일한 휘도 세기를 가진다면 국부 영역에서 동일한 값을 가진다. 즉, 스펙클 잡음이 균일한 신호에 포함되어 있다고 볼 수 있다. 이 때 평균값을 나타내면, 식(14)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{s}(i, j) &= \frac{1}{(2N+1)^2} \sum_{kl=-N}^N s(i+kl, j+kl) \\ &= x(i, j) \bar{n}(i, j) \end{aligned} \quad (14)$$

식(14)에서 양변에 log함수 취하면,

$$\log \bar{s} = \log x + \log \bar{n} \quad (15)$$

여기서,  $x(i, j)$ 를 구해 보면, 식(16)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \log x &= \log \bar{s} - \log \bar{n} = \alpha \\ \therefore x &= \exp(\alpha) \end{aligned} \quad (16)$$

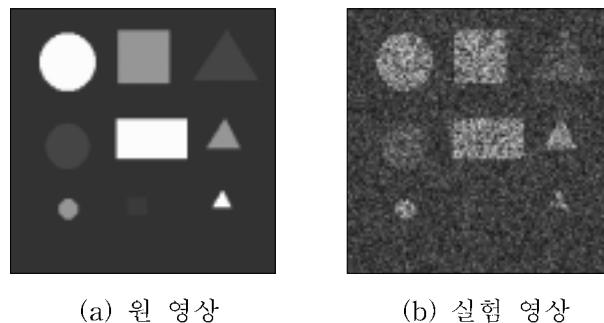
위의 식에서 균일한 휘도 세기가 식 (16)과 같이 구할 수 있다. 여기서, 잡음의 평균값을 구하기 위해 임의의 문턱 값을 설정하여 사용한다. 적당한 문턱 값을 설정하는 방법은 영상의 개선 향상 지수( $F_e$ )를 이용하여 영상의 개선 정도를 파악한 다음 잡음의 평균값을 유출하여 영상을 개선한다.<sup>[8]</sup>

$$F_e = \frac{\frac{1}{N^2} \sum_{i,j=0}^{i,j=N-1} (x(i, j) - x_c(i, j))^2}{\frac{1}{N^2} \sum_{i,j=0}^{i,j=N-1} (x(i, j) - x_e(i, j))^2} \quad (17)$$

여기서,  $x(i, j)$ 는 원 영상,  $x_c(i, j)$ 는 스페클 잡음이 포함된 영상이고,  $x_e(i, j)$ 는 스페클 잡음이 제거된 영상이다.  $F_e$ 는 필터링 전 영상과 후 영상 사이의 오차(mean-square error)를 구한 값이다. 이와 같이 스페클 잡음이 제거된 후의 향상된 영상이 원 영상과 수치적으로 얼마나 유사한지를 결정하게 된다.

#### IV. 실험 결과 및 검토

본 논문에서는 비파괴 검사에서 사용되는 초음파 영상에서의 스페클 잡음을 제거하기 위해 저역 필터를 사용한다. 비파괴 검사에서는 초음파는 5-25MHz 범위의 주파수를 사용한다. 초음파 신호의 반사 신호(reflected signal)에 스페클 잡음이 포함되어 영상으로 나타낸다. 사용된 시편 영상의 크기는 180x180[pixel]이다. 그림 3은 원 영상과 잡음 영상을 나타내었다. 스페클 잡음의 분산 값을 1.0을 사용하였다. 본 논문에서 제안된 AWLF 필터 성능을 기준의 3x3 mean filter, median filter, GM(generalized mean) filter, ASSF(adaptive speckle suppression filter) 등의 저역 필터의 성능과 비교하였다.

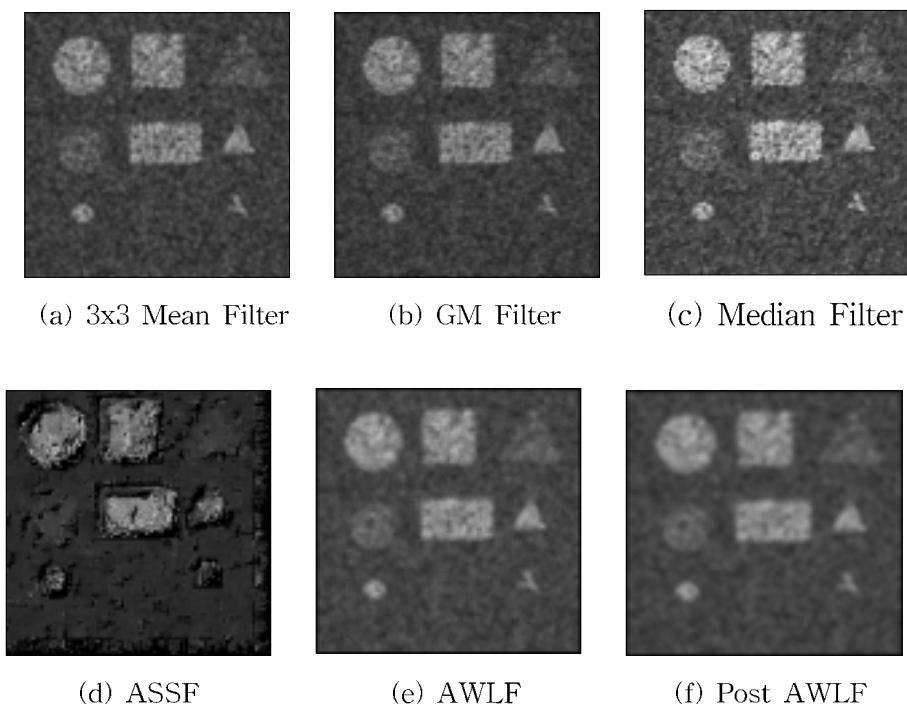


<그림 3> 원 영상과 스페클 잡음이 포함된 영상

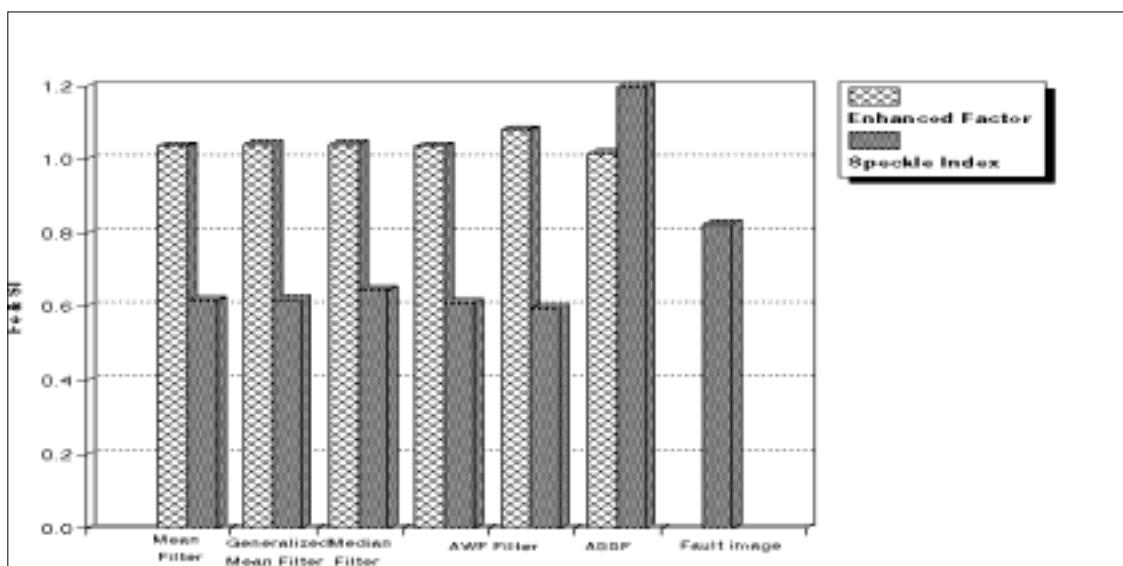
그림 4에서 각 저역 필터를 통해 개선된 영상이다. 개선 정도를 살펴보기 위해 영상 향상 지수( $F_e$ )와 스페클 지수(SI, Speckle Index)로 비교한다.

스페클 잡음 지수(SI)는 noise-corrupted 영상을 저역 필터링을 통해 스페클 잡음의 감소 정도를 식(18)과 같이 나타낼 수 있으며, 각 3x3 국부 영역에서의 표준 편차와 평균값의 비를 전 영역에 대하여 합을 구하고 평균을 취한 값으로 구하게 된다. 즉,

$$SI = \frac{1}{(N-2)^2} \sum_{i,j=1}^{i,j=N-1} \sum_{kl,k2=-1}^1 \frac{\sigma(kl, k2)}{m(kl, k2)} \quad (18)$$



&lt;그림 4&gt; 지역 필터를 통과한 영상



&lt;그림 5&gt; 영상 개선 지수와 스페클 지수

또한 원 영상과의 유사정도를 알기 위해  $F_e$ 를 이용하여 비교하게 된다.  $F_e$ 는 식 (17)에서 표현하였다. 영상 향상지수는 noise-free 영상과 잡음을 제거한 영상사이의 유사성을 비교해 본다.

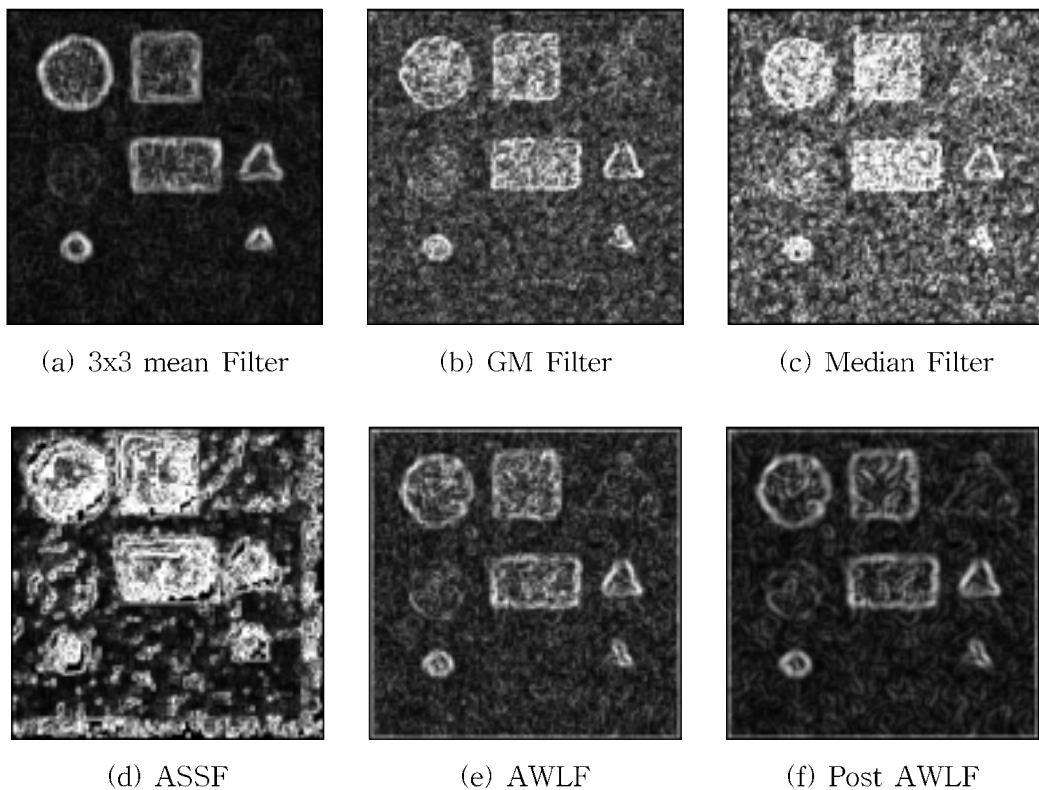
각 필터의 성능지수를 보면 <그림 5>와 같이 AWLF 필터가 기존 필터보다 잡음 제거능력에서 우수함을 알 수 있다. 에지 개선 정도를 알아보기 위해 Sobel 필터를 통해 <그림 6>에서 나타내었다. 그럼처럼 잡음의 제거 지수(SI)가 낮은 영상일수록 에지 검출이 정확하게 됨을 볼 수 있다.

## V. 결 론

스페클 잡음이 포함된 초음파 영상에서 잡음 제거 방식은 가변 창을 이용한 방식으로 에지 영역에서는 윈도우의 크기를 줄임으로써 잡음의 함유율을 줄이면서 에지부분에서 정확한 값을 검출할 수 있도록 하고, 에지가 없는 부분에서는 윈도우 크기를 증가시킴으로써 잡음의 포함량을 증가시키면서 평균값을 구함으로써 잡음을 제거하였다. 이 때에 가변 창을 적용하기 위한 방식으로 가변 창의 평균과 표준 편차를 이용하여 국부 창을 조절하였다.

본 논문에서는 가변 창을 이용하여 스페클의 특성을 이용하여 잡음을 제거하였다. 즉, 3x3의 국부 창에서 평균값을 구하여 주변의 기울기를 구함으로써 에지를 검출하였다. 균일한 휘도 세기를 가지는 지역에서 스페클 잡음 부분의 잡음 평균값을 제거하게 되면, 원 영상에 가까운 값을 검출할 수 있음을 증명하였다.

실험 결과로부터 영상 개선 지수와 스페클 지수에 가장 뛰어난 성능을 발휘함을 알 수 있었으며, 에지 영역에서도 미세한 부분까지 검출함을 확인할 수 있었다.



<그림 6> 에지 검출

## 참고문헌

1. 홍승범 등, “적응형 히스토그램 필터를 이용한 초음파 영상의 개선에 관한 연구”, 전자정보통신공학논문지, pp43-49, April 1996.
2. 원철호 등, “초음파 영상에서의 스펙클 잡음 제거 및 에지 검출”, 전자공학회논문지, pp702-709, April 1996.
3. M. A. Kutay, "Enhancement of images corrupted with signal dependent noise: Application to ultrasonic imaging," *SPIE Visual communication and Image Processing*, Vol. 2094 pp.316-323, 1993.
4. D. T. Kuan, "Adaptive Restoration of Images with Speckle," *IEEE Trans. Acous., Speech, and Signal Processing*, ASSP-35(3), pp. 373-382, 1987.
5. Anil K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall International Editions, 1989.
6. A. Kundu, S. K. Mitra, and P. P. Vaidyanathan, "Application of Two-Dimensional Generalized Mean Filtering for Removal of Impulse Noises from Images," *IEEE Trans. Acous., Speech, and Signal Processing*, ASSP-32(3), pp. 600-609, 1984.
7. Ho-Ming Lin, "Median Filters with Adaptive Length," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, Vol. 35, no. 6, pp.675-690, June 1988.
8. Reinhard Bennstein, "Adaptive Nonlinear Filters for Simultaneous Removal of Different Kinds Noise in Images," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, Vol. CAS-34 NO. 11, November 19