

## 레이더 영상자료의 Speckle 필터링 효과

이 규 성

인하대학교 지리정보공학과

### Effects of Speckle Filtering on Synthetic Aperture Radar (SAR) Imagery

Kyu-Sung Lee

Department of Geoinformatic Engineering Inha University

ksung@munhak.inha.ac.kr

### Abstract

Speckle noise has been a primary concern to many applications of synthetic aperture radar (SAR) imagery. In recent years, several satellites with radar imaging systems were launched and the use of SAR data are expected to be increased rapidly. The objectives of this study are to provide introductory understanding on radar speckle filtering and to compare the effects of several filtering methods that are relatively unknown to user community. Two study sites were extracted from the RADARSAT SAR data obtained over the suburban areas near Seoul. The study sites include relatively homogeneous cover types, such as reservoir, parking lot, rice pad, and deciduous forest. Five filters (mean filter, median filter, sigma filter, local statistics filter, and autocorrelation filter) were applied to the SAR imagery and their effects were evaluated from the aspects of both image smoothing and edge preservation. In overall, the evaluation results indicate that the local statistics filter and autocorrelation filter, that are based on a speckle model, are more effective to suppress speckle within homogeneous cover type while maintaining the edge sharpness between cover types.

**keywords :** SAR, Speckle, filter.

---

1996년 8월 26일 접수 ; 1996년 9월 28일 수리.

## 요 약

Speckle 잡음은 레이더 영상자료의 활용에 적지 않은 장애가 될 수 있으며, 따라서 이 문제를 해결하기 위한 노력이 꾸준히 진행되어 왔다. 최근 몇 년 동안 레이더 영상센서를 탑재한 인공 위성들이 발사되었고 그 어느 때보다 이 자료의 활용에 대한 관심이 고조되고 있다. 본 연구의 목적은 레이더영상의 speckle 억제에 관한 기본적 개념의 이해와 아울러 기존에 발표된 여러 가지의 speckle 필터의 효과를 비교하고자 한다. 1995년 RADARSAT 위성에서 얻어진 수도권 지역의 SAR 영상자료에서 표면상태가 다양한 被服形을 포함하는 두 곳의 연구지역을 선정하였다. 영상의 잡음제거에 널리 사용되어 온 평균필터와 중앙값필터와 함께, 레이더 speckle 모델을 기초로 개발된 시그마필터, 局所統計值필터, 그리고 自己相關필터 등 총 5개의 필터가 사용되었다. 필터링 결과는 smoothing 효과와 境界線維持 효과에 중점을 두어 비교되었다. 전체적으로 speckle 모델을 기초로 개발된 局所統計值필터와 自己相關필터가 다른 필터에 비하여 다른 피복 형간의 경계를 흐리지 않고 speckle을 억제하여 영상의 均質感(smoothing) 효과가 우수하게 나타났다.

## 1. 서 론

최근 몇 년 동안 인공위성 원격탐사에 있어서 중요한 변화 중 하나는 기존의 광학적 영상자료와 뚜렷한 차이점을 가지고 있는 Synthetic Aperture Radar(SAR) 영상자료를 획득할 수 있는 위성들이 발사됨으로써, 보다 다양한 형태의 원격탐사자료의 이용을 가능케 하고 있다. SAR 영상시스템은 구름이 덮여있는 지역이나 夜間에도 자료를 획득할 수 있다는 能動的 시스템으로서의 장점이외에도, 可視光線 및 赤外線 파장 영역에서 얻어지는 기존의 光學的 영상자료와는 특성을 달리하는 정보를 얻을 수 있다. 레이더 영상자료는 인공위성에 부착된 안테나에서 발신된 마이크로웨이브가 지구 표면과의 물리적 접촉 정도에 따라서 변화하는 상대적 신호를 수신 기록함으로써 영상자료가 형성되며, 종래의 광학적 영상자료와 함께 이용된다면 보다 폭 넓은 목적에 활용 될 수 있을 것이다. 인공위성 레이더 영상자료는 1991년부터 유럽우주국에 의하여 운영되고 있는 ERS 위성과 일본의 JERS 위성에 이어, 지난 1995년 발사된 캐나다의 RADARSAT에 이르기까지 활발한 기술 개발과 다양한 응용 분야에의 활용이 증가하고 있다. 국내에서의 관련 연구는 SAR 영상자료를 통하여 산림의 구조를 밝히고자하는 연구와 지질 및 해안 지형 등에 관한 연구가 시도된바 있다(이, 1992; 해양연구소, 1994; Moon et al., 1994).

SAR 영상자료에서 흔히 찾아 볼 수 있는 speckle 잡음은 레이더 영상의 특징으로 인식되는 동시에 이 자료의 활용을 제한하는 중요한 요소이기도 하다. SAR 영상자료에 나타나는 speckle의 특성을 구명하고 이를 최소화하기 위한 연구는 상당히 오래 전부터 꾸준히 진행되어 왔으나

최근 인공위성 레이더 영상자료가 널리 공급되고 활용 가능성이 증가함에 따라 그 중요성은 더욱 강조되고 있다. SAR영상에서의 speckle 현상은 하나의 畫素(pixel)를 구성하는 지상의 解像空間에서 반사되는 여러 레이더파의 상호 간섭현상(coherency)에 따른 결과로서 해석된다 (Goodman, 1986).

SAR영상에서의 speckle 현상을 최소화하는 기법으로는 영상자료가 형성되기 전에 취하는 방법과 이미 형성된 영상자료를 영상처리하는 방법으로 나눌 수 있다. 전자의 경우는 지구표면으로부터 레이더파를 송수신하는 과정에서 하나의 해상 공간을 비행방향(azimuth direction)에 따라 細分하여 레이더파를 수신한 뒤 이를 평균하는 multilook processing 기법이 있는데, 일반적으로 널리 사용되는 4-look 영상의 경우 네 번의 레이더파를 수신하여 평균하는 경우에 해당된다. 한편 multilook 처리보다는 레이더영상의 해상력을 우선하여 singlelook으로 처리하는 경우도 있다. Speckle 억제외 또 다른 방법은 이미 레이더 영상을 획득한 후에 필터링을 통한 영상처리기법을 이용하는 경우이다. 흔히 SAR영상의 처리에 있어서 speckle의 제거(removal)보다는 억제(suppression), 저감(reduction), 또는 smoothing으로 표현되는 까닭은 speckle 현상의 완전한 제거는 speckle의 특성상 실질적으로 매우 곤란하기 때문이다.

본 연구에서는 이미 영상자료가 얻어진 후에 영상처리기법을 통하여 speckle을 효과적으로 최소화할 수 있는 여러 가지 필터링 기법을 비교 분석하고자 한다. 영상처리에 있어서 필터링 기법은 여러 가지 용도에 널리 사용되어 왔으나, SAR 영상자료의 speckle 감소를 위하여 특별히 고안된 필터링 기법들은 기존의 위성영상자료 사용자 입장에서 본다면 비교적 생소한 기법들이다. SAR영상자료의 활용 측면에서 반드시 고려되어야 할 speckle 필터링은 매우 중요한 과정이라 할 수 있고, 따라서 본 논문의 목적은 이미 개발된 대표적인 필터링기법들을 객관적으로 비교 분석함으로써 레이더 영상자료의 활용에 적합한 필터링기법을 제시하고자 한다.

## 2. Speckle 필터링

레이더 영상에서의 speckle 필터링은 먼저 speckle 현상의 특성을 究明하고 모델化하는 단계로부터 출발하였다. 가장 일반적으로 사용되는 speckle모델은 지표물로부터 반사되는 순수한 신호에 speckle잡음이 곱해지는 multiplicative model을 꼽을 수 있다.

$$Z_{ij} = X_{ij} V_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $Z_{ij}$ =영상의 (i, j)에 위치한 畫素(pixel)의 값,  $X_{ij}$ =잡음이 없는 목표물에서 반사된 순수한 신호값, 그리고  $V_{ij}$ 는  $X_{ij}$ 에 곱해진 speckle 잡음의 영향이다. 여기서 speckle V는 목표물에서 반사되는 신호 X와 독립이며 또한 공간적 위치에 상관없이 무작위로 발생된다고 가정한다. 이러한 통계적 가정에 따라 speckle V의 평균은 1로서 간주될 수 있고 따라서 Z의 평균은 X의

평균과 같다고 할 수 있다. 이와 같은 speckle모델의 가정 하에서 speckle 영향이 감소된 X를 추정하기 위한 여러 가지 필터링 기법이 개발되었는데, 이들은 일반적으로  $(2m+1) \times (2n+1)$  크기의 영상구역(window)에서 중심에 위치한 畫素의 값을 주변 화소값들의 加重平均值로 대체해 나가는 방식으로 처리된다.

먼저 Lee(1983)의 sigma filter는 각각의 window내에 위치한 畫素(pixel)들이 가운데 위치한 화소와 동일한 집단, 즉 같은 被服形인가를 판단하고, 동일한 집단으로 판정된 화소값들만의 산술평균으로 중심화소를 대체해 나간다. 주변에 위치한 화소들이 중심에 있는 화소와 동일한 집단인가 판단하는 기준은 정규분포에 있어서 평균을 중심으로  $\pm 2\sigma$  범위에 들 확률은 95.5% 이므로 각 window의 가운데 위치한 화소값을 중심으로  $\pm 2\sigma$  범위에 들면 동일한 집단에 속한 화소로 간주하는 것이다. 여기서 sigma( $\sigma$ )의 값은 그 영상에서 찾을 수 있는 同質의 비교적 편평한 목표물(가령 물표면)의 화소값들을 읽어 계산하는 실험적 방법을 이용하거나, 위의 speckle 모델에서 이론적으로 계산될 수 있다.

Lee(1986)의 다른 필터링 방법으로 window내의 局所統計值(local statistics)를 이용한 방법이 있는데 이는 각각의 window내에 위치한 화소값에서 추출된 통계치를 이용하여 중심의 화소값을 변환하게 된다.

$$\hat{X} = \bar{X} + k(Z - \bar{X}) \dots\dots\dots(2)$$

여기서

$$k = \frac{\sigma_x^2}{\bar{X}^2 \sigma_x^2 + \sigma_x^2} \dots\dots\dots(3)$$

Frost (1982)의 自己相關필터는 Lee의 filter들과 마찬가지로 (1)의 speckle모델에 기반을 두고 있으나, 이에 附加하여 목표물에서 반사된 신호 X가 주변의 畫素들과 독립적 관계가 아닌 공간적으로 連續性을 가지고 있다는 自己相關(autocorrelation) 개념이 이용되었다. 따라서, window의 중심에 위치한 화소는 주변 화소값들의 가중평균치에 의하여 대체되는데, 각각의 화소에 대한 가중치는 window내의 화소값의 變異에 따라 좌우될 뿐만 아니라 가운데 화소로부터의 거리에 따라 결정된다. 즉, 중심에서 멀리 있는 화소들의 가중치는 상대적으로 작은 값을 갖게 되며 중심에서 가까이 있는 화소들의 가중치는 높은 값을 갖게되는 것이다.

이들 필터 이외에도 레이더 영상자료의 speckle 감소를 위하여 고안된 여러 가지 알고리즘이 발표되었다. 이들을 유형별로 분류하면 위에서 언급된 speckle 모델을 변형하여 접근하는 방식(Kuan, 1987), speckle 모델과는 아무런 관계없이 단순한 기하학적 원리를 응용한 방법(Crimmins, 1986), 그리고 Landsat Thematic Mapper 자료와의 상관관계를 이용한 방법(Tom et

al., 1985) 등이 있다. 레이더영상에서의 speckle 필터링은 최근에도 지속적인 연구 관심으로 활발한 연구가 진행 중에 있으며, 새로운 필터링 기법들이 발표되고 있다(Hagg, 1994).

이상과 같이 레이더 영상의 speckle 감소를 위하여 개발된 필터들은 영상에서 이상적으로 밝거나 어둡게 나타나는 speckle을 억제하여 영상을 부드럽게 보이도록 하는 smoothing 효과를 가져다준다. 그러나 smoothing 효과만을 강조할 경우에는 두 개이상의 相異한 被覆形 사이에 존재하는 경계선이나 도로 및 하천 등과 같은 線形의 목표물이 희미해지게 된다. 따라서 위에서 언급된 필터들의 공통적인 목표는 레이더 영상에서 나타나는 speckle에 의한 잡음을 최소화하여 영상을 質感을 최대한 부드럽게 만드는 동시에 경계선이나 선형의 물체들이 흐려지지 않고 뚜렷하게 유지될 수 있도록 하는데 있다. 위의 각 필터들에 대한 자세한 알고리즘 및 처리 과정은 언급된 문헌에 찾아 볼 수 있다.

### 3. 연구방법

본 연구에서 사용된 레이더 영상자료는 지난 1995년 말 캐나다에 의하여 발사된 RADARSAT 위성에서 얻어진 수도권 지역의 SAR영상자료 중 일부분을 발췌하였다. RADARSAT은 SAR 영상센서가 장착된 최초의 상업 목적을 標榜한 원격탐사위성으로서 다양한 분야에 사용될 수 있는 사양을 갖추고 레이더 영상자료를 공급하고 있다. 특히 레이더 원격탐사위성은 구름 등의 기상 상태에 영향을 받지 않고 야간에도 영상자료를 얻을 수 있기 때문에 사용자의 다양한 요구에 응할 수 있게 되었다. RADARSAT 위성에서 얻어지는 SAR 영상자료는 走査幅(swath width) 및 解像力의 차이에 따라 7개의 모드에서 얻어질 수 있는데, 본 연구에서 사용된 영상자료는 약 50km의 주사폭과 약 9m의 해상력을 가지는 高解像力 모드(fine resolution mode)에서 얻어진 것이다. 표 1은 본 연구에서 사용된 RADARSAT 영상자료의 기본적인 특성을 보여주

Table 1. Characteristics of RADARSAT SAR data used for this study.

Data acquisition date	December 26, 1995
Data acquisition time	18:34 in local time (09:34 GMT)
Orbit	Ascending
Orbit altitude	793 ~ 821 km
Wavelength	C-band (5.6 cm wavelength, 5.6GHz)
Polarization	HH
Incidence angle	42.5°
SAR Mode	Fine resolution beams
Number of looks	1
Pixel spacing	6.25 m

고 있다.

연구 지역의 선정은 speckle 필터링의 효과를 다각적으로 비교하기에 용이한 목표물이 포함되고 접근이 가능한 두 곳의 지역을 선택하여 각각 256×256 화소 크기의 영상으로 발췌하였다. 그림 1은 첫 번째 연구지로 선정된 경기도 시흥에 위치한 과림저수지 주변 지역의 黑白赤外線 항공사진이다. 이 지역은 저수지 水面 외에 주로 30년생 이하의 비교적 어린 활엽수로 이루어진 산림 및 논과 밭이 차지하고 있는 단순한 被覆形으로 구성되어있다. 두 번째 연구지역은 경기도 과천의 서울대공원 및 경마장 주변이 선정되었으며, 대형 주차장, 도로, 경마장, 공원의 잔



Figure 1. Black and white infrared aerial photography of the Si-Heung study site.

디 등 비교적 균일한 상태의 피복형으로 이루어져 있다.

두 곳의 영상자료는 먼저 위에서 언급된 필터링 기법을 이용하여 처리되기 전에, 이미 보편적으로 영상의 잡음제거에 사용되는 평균필터(mean filter)와 중앙값필터(median filter)를 사용하여 처리되었다. 이들 필터는 하나의 window내에 위치한 畫素값(DN value)들의 평균 또는 중앙값에 의하여 중심화소값을 대체해나가는 아주 간단한 알고리즘으로, 그 동안 영상자료에 나타나는 잡음을 제거하는 방법으로 널리 사용되어 왔다. 레이더 speckle을 목표로한 여러 가지 필터링 기법 중에 본 연구에서는 위에서 설명된 Lee(1983, 1986)의 시그마(sigma)필터와 局所統計值(local statistics)필터 그리고 Frost(1982)의 自己相關(autocorrelation)필터의 세 가지를 적용하였다. 필터링 효과의 객관적인 비교 검토를 위하여 모든 필터링은 window 크기가 3x3으로 동일하게 적용되었고, 필터링 회수는 단 1회로 실시하였다. 물론 window의 크기와 필터링 반복 횟수를 달리함으로써 필터링 효과는 매우 달리 나타날 수 있으나, 본 연구에서는 필터링 효과의 단순 비교를 위하여 가장 기본적인 처리만을 실시하였다.

사용된 다섯 가지 필터링 결과에 대한 비교는 먼저 肉眼에 의한 영상판독을 통하여 뚜렷이 구분되는 speckle의 변화를 살펴보고, 서로 다른 피복형 사이의 경계 및 도로 등의 선형 물체가 희미해졌는가 등에 중점을 두어 관찰하였다. 또한 위와 같은 판독 결과를 시각적으로 나타내기 위하여 相異한 피복형을 가로지르는 선(transect)을 그어 그 선에 위치하는 畫素들의 값을 읽어 橫斷面圖(profile)를 그려 비교하였다. 필터링 효과의 정량적인 분석은 물 표면과 같이 레이더 반사치의 변화가 아주 낮게 예상되는 균일한 표면 특성을 가진 피복형의 일정면적에 해당하는 화소값의 변이를 나타내는 지수(speckle index)를 산출하여 비교하였다. 이 speckle index는 하나의 각각형에서 추출된 화소값들의 표준편차와 평균과의 비를 말하는데, 동일한 피복형 내에서 speckle이 효과적으로 억제되었다면 이 speckle index의 값은 상대적으로 작은 값을 갖게 될 것이다.

#### 4. 결과 및 고찰

레이더 영상에서 필터링 효과의 분석은 크게 두 가지 측면으로 나누어 생각할 수 있다. 먼저 원래 영상에서 불규칙적인 분포로 아주 밝거나 어둡게 보였던 speckle 화소들이 필터링 처리후 어느 정도 감소되었는가를 나타내는 영상의 均質感(smoothing effect)을 비교할 수 있다. 그러나 필터링에 있어서 均質感만이 강조된다면 경계선이나 도로, 하천 등의 비교적 좁은 폭의 線形物이 흐려져서 영상의 선명도를 감소시키는 결과를 가져올 수 있다. 따라서 필터링 효과의 測度는 서로 다른 被覆形(cover type) 간의 경계를 적절히 유지하면서 동일한 피복형 내에서 speckle을 억제하여 영상의 균질감을 높이는 방향으로 설정되어야 한다.

그림 2와 3은 두 연구 지역의 필터링 처리가 안된 원래의 영상과 다섯 가지의 필터로 처리된 후의 영상을 보여주고 있다. 먼저 그림 2의 시흥 지역 영상에서 좌하단에 위치한 저수지의 경

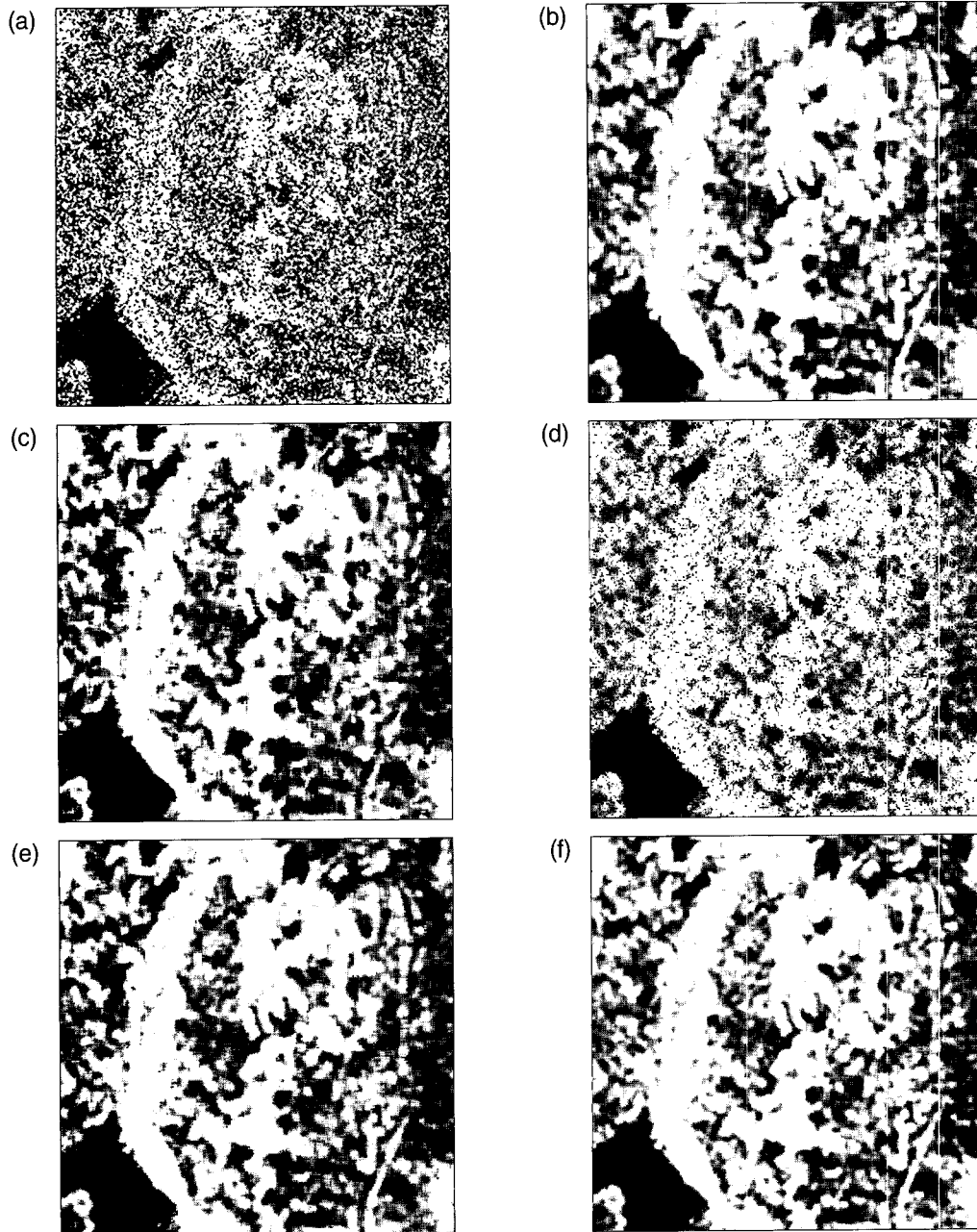


Figure 2. Original and speckle filtered SAR images (Si Heung): (a) Unfiltered raw image, (b) Mean filter, (c) Median filter, (d) Sigma filter, (e) Local statistics filter, and (f) Frost's autocorrelation filter.



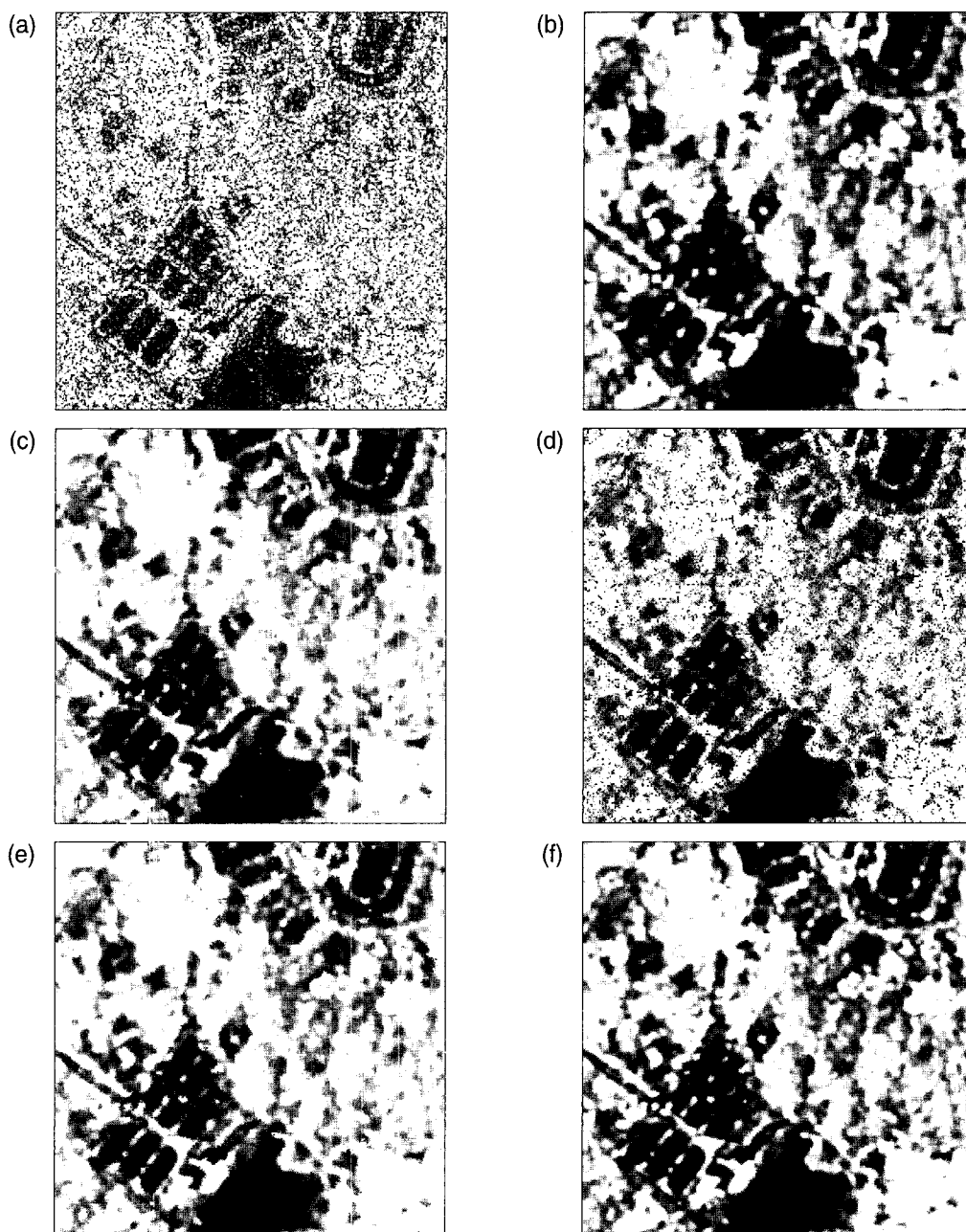


Figure 3. Original and speckle filtered SAR images (Kwa Chon): (a) Unfiltered raw image, (b) Mean filter, (c) Median filter, (d) Sigma filter, (e) Local statistics filter, and (f) Frost's autocorrelation filter.

우, 수면과 같이 매끄러운 표면에서는 레이더파의 대부분이 안테나의 반대 방향으로 반사되어 나가기 때문에 어둡게 나타나는 SAR영상의 특성을 보여주고 있다. 영상의 가운데 윗 부분에서 볼 수 있는 밝게 나타난 지역은 주택 및 가건물 등이 위치하고 있는데 入射된 레이더파가 건물과 지표면이 이루는 각에 따른 연속적 반사로 인하여 대부분 안테나로 향하여 반사되는 모서리 반사(corner reflection)의 특징을 잘 보여주고 있다. 원래 영상과 비교하여 필터링 처리가 된 다섯 영상에서 모두 speckle 현상이 현저히 감소된 smoothing효과가 잘 나타나고 있지만, 그 중에서도 평균필터(b), 局所統計値필터(e), 그리고 自己相關필터(f)에 의하여 처리된 영상이 나머지 두 영상보다 speckle을 억제하는데 보다 효과적인 것으로 보인다.

피복상태가 동일한 지역 내에서 화소값의 變異는 상대적으로 낮을 것이며, 필터링의 처리의 결과 speckle이 적절히 억제되었다면 그러한 화소값의 변이는 필터링 전과 비교하여 많이 떨어질 것이다. 그림 4는 비교적 화소값의 변이가 낮게 예상되는 매우 균일한 피복상태를 가진 8개의 지역을 선정하여 그 화소값들의 통계치를 계산한 결과이다. 일반적으로 수면이나 주차장과 같이 편평하고 매끈한 표면 상태에서 얻어지는 레이더 반사신호에는 커다란 변이가 없으리라 여겨지지만, 그림 4에서는 서로 다른 피복형간의 레이더 반사값의 변이에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 사실은 앞에서 언급된 SAR영상을 위한 필터링에서 기본적으로 가정하는 speckle모델의 조건에 부합된다. 즉, speckle 모델을 표현한 식 (1)에서 speckle 잡음  $V$ 는 지표물에서 반사된 순수신호  $X$ 와 무관하여 독립적으로 발생된다고 할 수 있겠다. 각각의 지점에서 필터링 후에 계산된 speckle지수는 필터링처리가 안된 원래 자료와 비교하여 절반 이하로 떨어졌

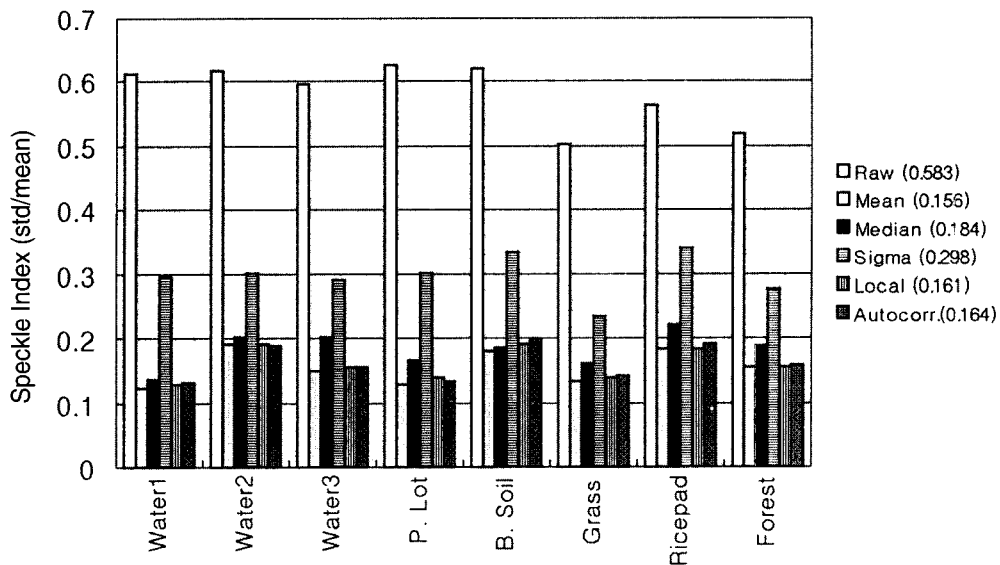


Figure 4. Speckle indices for an indicator of smoothing effects and were obtained from the eight homogeneous fields.

음을 알 수 있고, 이 지수를 결국 영상에서 관찰되었던 smoothing효과의 척도로 사용한다면 평균필터, 국소통계치필터, 자기상관필터 등이 speckle현상을 저감하는데 효율적으로 나타났다.

그러나 smoothing 효과가 가장 뛰어난 영상 중 하나인 평균필터의 경우 경계선이 뚜렷하게 나타나지 않고 좁은 폭의 도로가 희미해지는 현상(blurring)이 심하여 영상의 전체적 선명도가 많이 떨어짐을 관찰할 수 있다. 영상 (e)과 (f)의 경우, smoothing 효과는 평균필터와 거의 동일하고 아울러 경계선이나 도로 같은 물체가 평균필터보다 비교적 뚜렷이 나타나고 있다. 시흥의 영상에서 저수지 수면과 주변의 숲이나 농지와와 경계를 잘 살펴보면, 평균필터에서는 경계부분이 많이 흐려졌음을 발견할 수 있지만, 국소통계치필터나 자기상관필터의 경우 비교적 그 경계가 뚜렷하게 유지되고 있음을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 과천의 영상에서도 찾아볼 수 있는데, 특히 영상의 좌하단에 위치한 서울대공원의 주차장과 연결되는 도로는 도로의 중앙부분이 화단으로 분리되었음을 대부분의 영상에서 볼 수 있지만, 평균필터에 의하여 처리된 (b) 영상에서는 중앙화단에 의한 구분이 없어지고 한 줄의 도로로 나타난 것을 볼 수 있다.

필터링 처리에 따라 경계선이 어느 정도 선명하게 유지되는가를 관찰하기 위하여 피복상태가 서로 다른 지역을 가로지르는 선을 그어 그 선에 걸린 畫素값(DN values)들의 횡단면도(profile)를 작성하였다(그림 5). 이들 횡단면도에 있어서도 필터처리의 前과 後의 뚜렷한 효과를 볼 수 있는데, 앞의 영상 판독에서 관찰되었던 smoothing효과와 경계를 유지하는 효과의 대비를 볼 수 있다. 평균필터의 경우 수면이나 주차장과 같이 고른 레이더 반사가 예상되는 지역에서의 smoothing 효과는 아주 탁월한 반면, 그 주변과의 경계 지점에서는 그 구분이 명확하지 않고 점진적으로 변하는 것을 볼 수 있다. Sigma 필터의 경우 원래 영상에서 밝게 보였던 speckle들이 거의 제거된 반면 아주 낮은 값을 가진 speckle들이 감소되지 않고 남아있음을 관찰할 수 있으며, 따라서 필터링에 의한 smoothing 효과가 다른 필터들에 비하여 떨어짐을 볼 수 있다. 그러나 smoothing 효과가 다소 낮지만, 좁은 폭의 도로나 피복형 사이의 경계를 비교적 뚜렷하게 유지함으로써 영상의 선명도는 비교적 높다고 할 수 있다. 횡단면도에서 보이는 물과 주변 산림과의 경계나 넓은 주차장과 산림의 경계 부분에 있어서 평균필터의 경우 화소값이 점진적으로 변화하는 양상을 보여주고 있다. 반면에 시그마, 국소통계치, 자기상관필터의 경우 그 변화가 급격하게 진행됨을 볼 수 있으며, 서로 다른 피복형간의 이러한 화소값의 급격한 변화는 영상에서 그 경계를 선명하게 보여주게 된다.

개개의 畫素값에 따라 그 화소가 speckle인지 또는 순수하게 지표물에서 반사된 레이더 신호인지를 결정할 수 있는 정확한 기준은 없다. 간혹 1-2개의 화소로 존재하는 물체의 경우 마치 speckle처럼 주변과 비교하여 매우 높거나 낮은 값을 가질 수도 있고, 이러한 대상물은 필터링을 거치게 되면 그 고유의 신호값을 잃게 되는 셈이다. 결국 필터의 선택은 레이더 영상자료의 활용 목적에 따라 결정되어야 할 것이다. 사진 판독과 마찬가지로 레이더 영상자료를 특정 지표물이나 현상을 인식하고 구분하는데 사용한다면, speckle 필터링이 필요치 않을 수도 있을 것이다. 레이더 영상의 활용은 다른 원격탐사자료와 마찬가지로 목적에 따라 사진판독처럼 定性的인 분석을 요구하는 경우와 함께 지구 표면의 대상 물체나 현상에 관한 定量的 분석을 요구

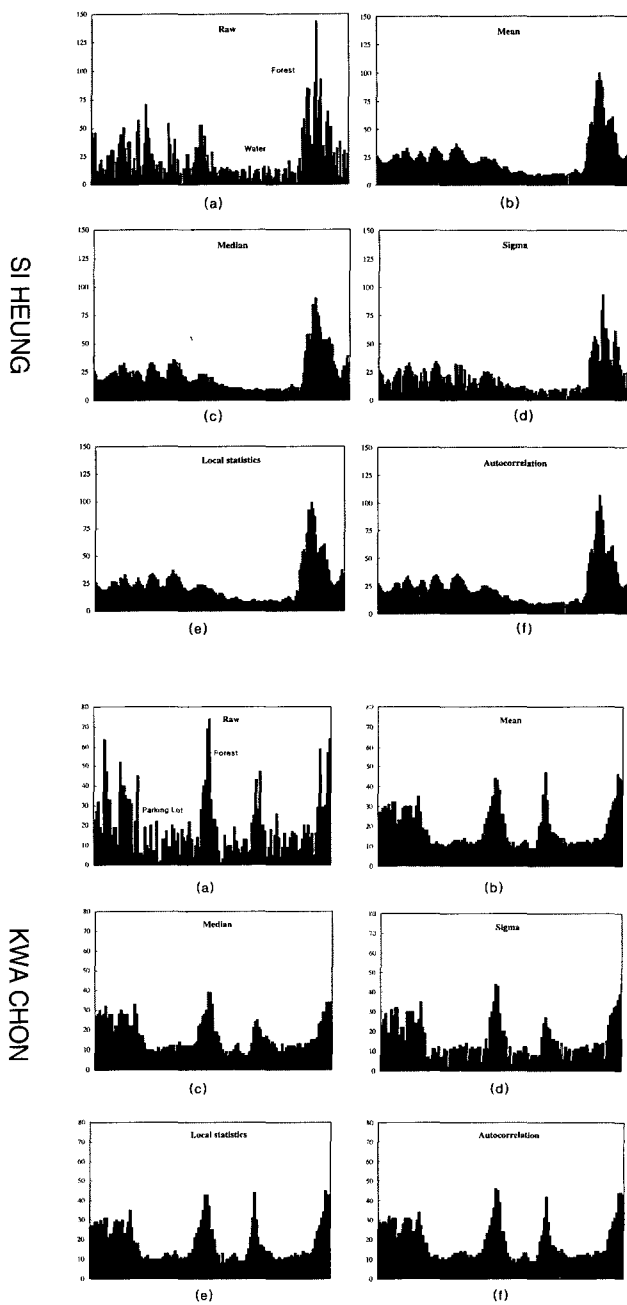


Figure 5. DN value profiles of transect line (a) Original raw, (b) Mean filter, (c) Median filter, (d) Sigma filter, (e) Local statistics filter, (f) Frost's Autocorrelation filter.

할 수 있다. 다양한 응용 분야에 따라 그에 적합한 speckle 필터링 기법이 적용되어야 하지만, speckle을 최대한 억제하면서 서로 다른 피복형간의 경계를 유지하여 영상의 선명도를 잃지 않는 보편적인 측면에서는 기존의 평균필터나 중앙값필터보다는 speckle 모델에 기반을 둔 비선형 필터들이 보다 적합하리라 생각된다.

## 5. 결 론

레이더 영상자료의 활용을 제한할 수 있는 speckle 현상을 억제하기 위한 여러 가지 새로운 필터링 기법들이 발표되고 있으며, 이들은 종전에 사용되었던 잡음 제거를 위한 평균필터나 중앙값필터에 비하여 SAR영상의 특성을 고려하여 고안된 이론적으로 進一步한 기법들이라 할 수 있다. Speckle 필터링의 궁극적인 목적은 영상에서 아주 밝거나 어둡게 보이는 speckle을 최대한 억제하여 동일 지표형 내에서 고른 화소값을 갖게 하는 smoothing 효과와 함께 서로 다른 피복형 사이의 경계를 뚜렷하게 유지해주는 효과를 동시에 만족시켜야 한다. 본 연구에서 비교된 다섯 가지의 필터링 기법들에 있어서 단지 speckle만을 감소시키는 영상의 均質感(smoothing) 효과만을 고려한다면 기존의 평균필터나 중앙값필터만으로도 효과적일 수 있다. 그러나 영상의 균질감을 고려하여 필터링을 실시할 경우 서로 다른 피복형 사이의 경계 및 좁은 폭의 도로 등이 희미해지게 된다. 평균필터가 window내의 모든 화소값들의 산술평균에 의하여 계산되는 선형필터인 반면에 시그마필터, 국소통계치필터, 자기상관필터의 경우는 window내에 존재할 수 있는 서로 다른 피복형간의 차이를 먼저 인식한 뒤 각각의 화소에 대해 다른 가중치를 부여함으로써, smoothing 효과와 함께 경계선을 유지하여 영상의 선명도를 잃지 않는 효과를 보여주고 있다. 서로 상이한 피복형간의 경계선을 뚜렷이 유지하면서 speckle을 최대한 억제하는 smoothing 효과를 동시에 고려한다면, 局所統計值(local statistics) 필터와 自己相關(autocorrelation)필터가 가장 우수한 필터링 결과를 보여주었다.

일반적으로 필터링에서 있어서 필터링 알고리즘과 함께 고려되어야 할 또 다른 요소로는 필터링 반복 횟수와 채택되는 window의 크기를 들 수 있다. 본 연구에서는 단 1회의 필터링에 3x3크기의 window만을 사용하였다. 따라서 반복 횟수와 window 크기를 달리해 줌에 따라 필터링 결과가 개선될 여지는 충분이 있으리라 생각된다. 또한 필터링 효과의 객관적인 비교 분석은 다양한 응용 목적에 맞게 실시되어야 한다. 본 연구에서 실시된 비교는 필터링 전후의 영상을 육안으로 판독하였고 몇몇의 특징적인 피복형에 대한 필터링 효과를 부분적으로 비교하였다. 필터링 효과의 비교는 토지피복형 구분을 위한 컴퓨터분류 결과의 정확도, 자료처리 과정의 효율성, 경계선유지 효과의 정량적 분석등 다양한 측면에서 이루어 질 수 있으며, 비교 결과 또한 다양하게 나타날 수 있다. 모든 목적에 적합한 하나의 필터링 방법은 존재할 수 없듯이 SAR영상에서의 speckle 필터링 또한 레이더 영상의 용도에 따라 선택되어야 하며, 최종적인 적용에 앞서서 부분 지역에 대한 여러 가지 필터링의 효과에 대한 신중한 사전 검토가 선행되어

야 할 것이다.

## 참고문헌

- 한국해양연구소, 1994. 한반도 해안지형 및 구조분석을 위한 SAR 영상의 활용성 연구, 한국해양연구소 연구보고서 BSPE 00432-664-5, 80p.
- 이규성, 1992. 인공위성 레이더 영상자료를 이용한 임분구조의 물리적 특성파악, 대한원격탐사학회지, 8(2):93-104.
- Crimmins, T.R. 1986. Geometric filter for reducing speckle. *Optical Engineering*, 25(5):651-654.
- Frost, V.S., J.A. Stiles, K.S. Shamugan, and J.C. Holtzman, 1982. A model for radar images and its application to adaptive digital filtering of multiplicative noise, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 4(2):157-166.
- Goodman, J.W., 1986. A random walk through the field of speckle. *Optical Engineering*, 25(5):610-613.
- Hagg, W. and M. Sties, 1994. Efficient speckle filtering of SAR images. *Proc. of International Geoscience and Remote Sensing Symp.*, 2140-2142.
- Lee, J.S., 1983. Digital image smoothing and the sigma filter, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 24:255-269.
- Lee, J.S., 1986. Speckle suppression and analysis for synthetic aperture radar images, *Optical Engineering*, 25(5):636-643.
- Kuan, D.T., A.A. Sawchuk, T.C. Strand, and P. Chavel, 1987. Adaptive restoration of images with speckle, *IEEE Trans. ASSP.*, 35(3):373-383.
- Moon, W.M., B. Li, J.S. Won, H.W. Yoo, V. Singhroy, Y. Yamaguchi, 1994. JERS-1 SAR data characteristics for geological applications, *J. of the Korean Society of Remote Sensing*, 10(2):161-170.
- Tom, V.T. and M.J. Carlotto, 1985. Adaptive least-squares technique for multi-band image enhancement, *Proc. IEEE International Conf. on ASSP.*, pp. 704-707.