

# Radarsat-1 SAR 신호처리 S/W 개발 및 검증

고보연<sup>†</sup> · 김만조 · 이석호  
대전) 국방과학연구소 기술연구본부 SAR팀

## Development and Demonstration of the SAR Processor for Radarsat-1

Bo-Yeon Koh<sup>†</sup>, Man-Jo Kim, and Seok-Ho Lee

Technology Research Center in Agency for Defense Development

**Abstract** : SAR signal processing technique has been considered a crucial technical part in order to generate an image from radar signal data and ADD (Agency for Defense Development) has focused on this area for years to develop our own SAR Processor for various SAR systems (Radarsat, ERS, KOMSAR).

In this paper, we investigated major techniques related to generation of SAR images and developed ASPR (ADD SAR Processor for Radarsat) practically using the commercial Radarsat-1 radar signal data (RAW). We demonstrated the performance of the ASPR in comparison with the image generated by MDA and Vexcel's SAR Processor (FOCUS).

**Key Words** : Radarsat, SAR, image, processing, ASPR, RAW, radar signal.

**요약** : SAR 기술은 일반 레이더 분야와는 달리 영상을 제작해야 하므로 각종 신호처리 기술들이 필요하다. 이러한 기술들은 선진국에서 기술이전을 회피하는 분야로써 향후 항공기, 위성 및 무인기 SAR 체계를 국내 개발함에 있어 반드시 확보해야 할 분야이다. 본 연구에서는 SAR 영상 제작과 관련된 핵심기술들을 연구하고 실제로 활용도가 높은 상용 SAR 위성인 Radarsat을 대상으로 ASPR(ADD SAR Processor for Radarsat)을 자체 개발하고 성능을 검증해 봄으로써 향후 운용될 각종 SAR 체계에 필요한 영상제작 기술을 확보하고 국내개발 가능성을 검토해 본다. 개발된 ASPR의 성능비교를 위해 선진국 SAR 전문 업체인 MDA 및 Vexcel사에서 개발한 SAR Processor를 이용하여 비교 영상을 제작하였다.

### 1. 서론

SAR 센서를 탑재한 위성 및 항공기의 운용이 보편화 되고 SAR 센서가 갖는 여러 장점들이 부각되면서 군용은 물론 상업적으로도 SAR 영상활용이 증가되고 있다. SAR 신호 및 영상처리 기술과 관련하여 국내에서 연구

가 시작된 것은 80년대부터이며 주로 영상활용과 관련된 영상처리 분야에 치중되어 있어서 영상제작과 관련된 신호처리 분야는 기술수준이 미약한 상태이다. SAR 영상 활용을 극대화 하기 위해서는 수집된 레이더 신호 자료로부터 영상을 제작하는 신호처리 기술이 절실히 필요하며 현재는 일부 학교와 연구소를 중심으로 연구

2004년 12월 7일 접수 ; 2005년 11월 12일 수리.

<sup>†</sup> 교신저자: 고보연(interkyb@paran.com)

가 진행중에 있다. 국과연에서도 Radarsat 위성자료를 이용하여 SAR 영상을 직접 제작하는 연구를 수행하였으며 중점 연구된 기술 분야와 실험결과를 소개하였다.

## 2. Radarsat 위성

### 1) Radarsat 위성 특성

Radarsat 위성은 SAR(Synthetic Aperture Radar) 위성으로써 캐나다 항공 우주국(CSA: Canadian Space Agency) 주관하에 개발되었으며 발사는 수신자료를 사용하는 조건으로 1995년 11월에 NASA가 Delta II 로켓을 이용하여 궤도에 진입시켰다. 총 6.2억 달러의 개발비가 소요되었고 주 계약자인 Spar Aerospace를 비롯하여 위성체 및 지상체 개발에 MacDonald Dettwiler & Associates, SED Systems, CAL Corporation, COM DEV 등의 업체가 참여하였다. 주요 임무관제 및 수신처리 시설은 캐나다 Prince Albert에 위치한 CCRS(Canada Centre for Remote Sensing)와 Quebec 주 Gatineau에 위치한 NRC(Natural Resources Canada)등이 있다. 처리된 영상 화질과 자료포맷 등의 표준영상 제품에 대한 규제와 판매 등은 CDPF(Canadian Data Processing Facility)와 민간회사인 RSI(RadarSat International)에서 담당하고 있다. Radarsat 위성의 주요 임무는 캐나다를 비롯하여 전 세계를 대상으로 상업 및 과학연구 목적에 필요한 영상획득이며 활용 분야로는 농업, 수질학, 임업, 해양학 등에서 경작지, 수자원, 삼림의 분석 및 환경감시(산불, 해양오염 등)등이다. 현재 Radarsat-1 위성은 계획된 5년의 수명주기를 지나서도 운용되고 있으며 2005년에 성능이 개량된 Radarsat-2 위성이 발사될 예정이다. 1호기의 위성 및 궤도 그리고 SAR 센서의 주요 특성은 표 1과 같다.

### 2) Radarsat 운용모드 및 표준영상 특성

Radarsat 위성은 ESA(European Space Agency)에서 개발하여 운용중인 ERS-2 SAR 위성과는 달리 표 2와 같이 다양한 모드로 운용되며 각 운용모드에 따

Table 1. Radarsat-1 Characteristics.

구분	주요특성
위성	· 총중량 : 2,750 Kg · 태양전지판 전력 : 2.5 Kw · 탑재 배터리 : 3 × 48 Ah NiCd · 수명주기 : 5 년
궤도	· 운용고도 : 793 821 Km · 경사각도 : 98.6o (태양동기 궤도) · 1회 일주시간 : 101분 (14 회/일)
센서	· 사용밴드 주파수/파장 : C밴드 · RF 밴드폭 : 11.6, 17.3, 30 MHz · 송신출력(첨두/평균) : 5 Kw / 300 W · 자료전송 속도 : 105 Mb/s (실시간) · 안테나 크기(편파) : 1.5 × 1.5 m (HH)

Table 2. Radarsat SAR operation Modes.

모드	해상도(m)	영상폭(Km)	입사각(도)
Fine	8	45	37-47
Standard	30	100	20-49
Wide	30	150	20-45
ScanSAR (N)	50	300	20-49
ScanSAR (W)	100	500	20-49
Extended (H)	18-27	75	52-58
Extended (L)	30	170	10-22

라 해상도 및 획득되는 영상폭도 다양하다. 특히 같은 운용모드에서도 다양한 입사각을 지원하기 때문에 스테레오 모델링(stereo modeling) 기법을 적용하여 3차원의 수치지형 자료를(DEM: Digital Elevation Model) 생성하는데 유리하다. 또한 ScanSAR 모드를 지원함으로써 광역 지역에 대하여 빙하이동, 농작물 작황분석, 산불감시 등에 널리 활용되고 있다.

표 3은 RSI가 규정하고 있는 Radarsat-1 위성의 표준 영상제품들을 요약한 것이다. 이들 제품들은 처리수준에 따라 고유한 특성을 갖고 있으며 각 사용자는 활용 목적에 맞는 표준영상 제품을 구매하여 사용하고 있다. 수신소의 안테나를 통하여 위성으로부터 직접 수신 받은 자료는 광학영상과는 달리 레이더 신호자료이므로 사람이 인식할 수 있는 영상의 형태는 아니다. 이러한 자료를 CEOS(Committee on Earth Observation Satellites) 규격에 맞추어 제작한 것이 RAW 제품이다. 일반적으로 SAR Processor의 기능은 레이더 신호자료

Characteristics of the Radarsat Product.

처리단계	처리수준	제품명	설 명
RAW (Signal data)	L0	RAW	RAW Signal Data
Georeferenced data (Satellite path oriented)	L1	SLC SGF SGX SCN SCW	Single Look Complex Path Image Path Image Plus ScanSAR Narrow ScanSAR Wide
Geocoded data (Map oriented)	L2	SSG SPG	Map Image Precision Map Image

인 RAW자료로부터 규정된 처리수준에 맞도록 영상을 제작하는 것이며 가장 활용도가 높은 표준영상 제품은 SLC, SGF, SSG 들이다.

### 3. 직수신 장치 구성

본 연구실에서는 상용으로 운용되고 있는 상업 위성 중 활용도가 높은 광학 및 SAR 위성인 SPOT과 Radarsat위성자료를 직수신 및 영상처리를 할 수 있는 수신처리 시스템(SDAS: Satellite Data Acquisition System)을 구축하여 현재 운용 중에 있다. 구축 목적으로는 고해상 위성자료 직수신 장치를 통해 고해상 위성 영상을 수신하고 처리하여 제반 핵심기술들을 연구여하

Table 4. SDAS major components.

구성분야	기능 및 성능
수신장치	· 수신대상 위성 : SPOT, Radarsat-1 · 수신반경 : > 2,000 Km · 구동방식 : 3축(AZ/EL/CrossEL)
직지장	· 직지장 처리속도 : > 300 Mbps · 저장매체 및 용량 : RAID / 120 GBytes · 광학 MWD(Moving Window Display) · SGI Octane 2 CPU W/S 서버
표준영상 생성	· 대상 : SPOT 및 Radarsat-1 표준영상 · 처리수준 : Level 0, Level 1, Level 2 · 생성서버 : SGI Origin 2100 W/S · RAID 및 DLT 입출력 장치지원

여 국내기술력을 배양하는데 있었다. SDAS의 주요 구성모듈은 표 4과 같고 기능 구성도는 그림 1과 같다.

### 4. ASPR 개발

SAR 위성으로부터 수신된 레이더 신호자료를 광학 영상처럼 사람이 인식할 수 있는 영상으로 제작하기 위해서는 각종의 신호처리 기법들이 필요하다. 이들 기술은 각종 디지털 신호처리 기법의 개발과 컴퓨터 성능의 대폭적인 혁신에 의하여 오늘날에는 범용의 컴퓨터에서 비교적 빠른 시간 내에 처리가 가능하다. 본 논문에서

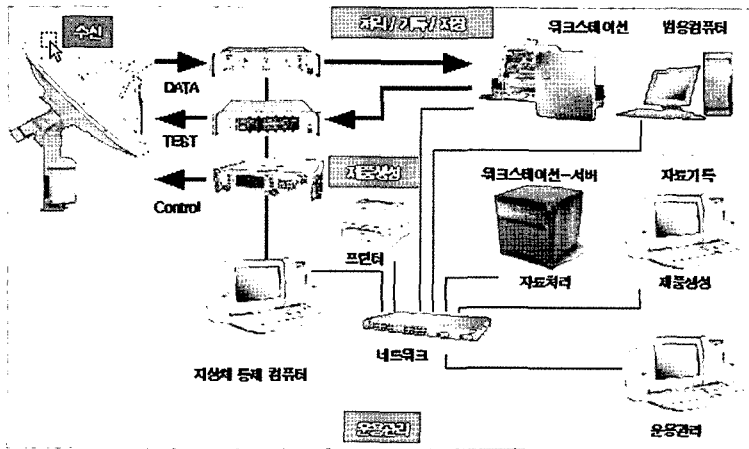


Fig. 1. Configuration of the Satellite Data Acquisition System in ADD.

개발한 ASPR 역시 범용의 전산장비(PC Pentium-4)에서 운용되며 Window 기반 하에 C/C++ 언어로 구현되었으며 사용자의 GUI 지원을 위해 BCB(Borland C++ Builder 4.0)를 이용하여 구축하였다. ASPR 개발에 필요한 Radarsat RAW 자료는 본 실험실에서 보유한 수신시설 및 기타 국내의 수신시설을 통하여 해결하였으며 처리된 영상의 화질 및 위치 정확도를 검증하기 위하여 동일 레이더 신호자료를 MDA 및 Vexcel 회사에서 상용으로 판매하고 있는 SAR Processor를 통하여 비교에 필요한 영상을 제작하였다.

### 1) 도플러 정보추출

도플러 정보추출 모듈은 SAR 영상제작을 위해서 필수적인 분야로서 추출된 도플러 정보의 정확도는 최종 제작된 영상의 화질 및 위치 정확도와 밀접하게 연관되어 있다. 일반적으로 도플러 정보라고 하면 SAR 센서가 탑재된 비행체(위성 및 항공기 등)가 정해진 궤도를 따라 비행하면서 레이더 펄스(Chirp Pulse)를 송수신하게 되는데 이때 비행체와 지상 표적간의 상대적인 운동으로 인해 주파수의 천이가 발생하는 현상을 말한다.

상대적 운동에 기인한 주파수 천이를 정확히 기술하기 위해서는 비행에 따라 비행체와 지상표적간의 상대적인 거리 변화를 고차의 급수형태로 표현해야 하지만 보통은 아래식과 같이 영상화질에 큰 영향을 주는 2개의 급수항만을 고려한다.

$$R(s) = R_c - \frac{\lambda f_{Dc}}{2}(s - s_c) - \frac{\lambda f_R}{4}(s - s_c)^2, \quad (1)$$

여기서  $s$ 는 비행방향의 시간을,  $\lambda$ 는 사용 주파수 파장을,  $s_c$ 는 비행체와 지상표적의 상대적인 거리가 가장 짧을 때의 시각을 또한 이때의 거리를  $R_c$ 라고 생각한다. (1)식 모델을 이용하여 정합필터(Matched Filtering)를 이용한 방위방향 압축(azimuth compression) 처리를 수행하게 되는데 시간에 따라 거리 변화가 선형적으로 변하는데 기여하는 성분을 도플러 중심주파수(Doppler Centroid Frequency :  $f_{Dc}$ )라고 하며 시간에 제곱형태로 작용하는 성분을 도플러 주파수 변화율(Doppler Frequency Rate :  $f_R$ )이라고 한다.  $f_{Dc}$ 의 부정확한 추정 은 영상의 S/N비를 저하시키며  $f_R$ 의 부정확한 추정은 영상의 초점(focusing)을 흐리게 하여 해상도를 저하시

킨다. 따라서 고해상 SAR 영상일수록 정확한 도플러 정보 추출을 요구한다. 도플러 정보 추출기법에는 수신된 레이더 신호를 처리해서 구하는 방법과(Madsen 1989) 위성 및 항공기에 탑재된 IMU(Inertial Measurement Unit) 및 GPS로부터 측정된 궤도정보(가속도, 속도, 위치)를 이용하여 구하는 방법이 있다(Dragosevic 2000). 정확한 추정을 위해서는 수신신호 기반으로 추정하는 것이 바람직하나 시간이 많이 걸리는 단점이 있으며 궤도기반의 수학적 모델을 이용하는 방법은 시간은 빠르나 추정결과는 측정된 항법자료의 정확도에 좌우되므로 고해상 영상일 경우 고가의 측정장비가 필요하다. 본 논문에서 사용한 방법은 이 두 방법의 장점을 조합하여 추정하는 방식(hybrid method)(고보연외 2003) 사용하였다. 즉, Radarsat RAW 자료에 수록된 궤도정보와 영상촬영 기하로부터 수학적 관계식을 이용하여 개략적인  $f_{Dc}$  값 및 Doppler Ambiguity Number를 추정하고 정밀한 추정을 위해 신호처리 기법인 CDE(Correlation Doppler Estimation) 방법을 적용하여 보정하였다.  $f_R$  추정은 정밀한  $f_{Dc}$ 가 추정된 후 수학적 관계에 의하여 계산된다. 이 방법은 상대적으로 해상도가 낮고 궤도자료가 비교적 정확하며 요동이 거의 없는 위성 환경에서 잘 동작한다.

### 2) SLC(Single Look Complex) 표준영상 생성

RAW 신호자료로부터 SLC 영상을 제작하기 위해서는 여러 단계의 신호처리 과정이 필요한데 주요한 처리 과정은 도플러 정보추출 및 정합필터를 사용한 거리(range) 및 방위(azimuth) 방향 압축(compression) 과정이다. 특히 정밀한 방위방향 압축을 위해서 거리이동 보상(range migration compensation)이 필요하다. 본 논문에서는 영상을 제작하기 위해 대표적 방법인 Range-Doppler 처리기법(Wu and Jin, 1982) 사용하였으며 Radarsat-1 자료의 경우 기본적으로 위성의 yaw축 제어를 하지 않기 때문에 지구자전 효과가 보상되지 않으므로 azimuth squint 각이 대략 4° 이상으로 추정된다. 이러한 효과는 거리이동 보상이 선형성분인 Range Walk이 아주 크게 되어 점프적이 하나의 range bin에 모이지 않게 되므로 이러한 자료를 정밀하게 압축하기 위해서는 Squint Imaging Mode 처리기법으로

불리는 MRD(Modified Range-Doppler)(Chang and Jin, 1989) 혹은 SRC(Secondary Range Compression)(Jin and Wu, 1984) 기법 등이 필요한데 본 논문에서는 적용이 간단한 SRC 방법을 사용하였다. SRC에 필요한 거리정합 필터 제작시 사용할 chirp rate  $K_{eff}$  형태는 다음과 같다.

$$K_0 = \frac{B}{\tau}, K_1 = f_R \left( \frac{c}{\lambda f_{Dc}} \right)^2 \quad (2)$$

$$K_{eff} = K_0 \left( \frac{1}{1 + K_0/K_1} \right)$$

식 (2)에서 B는 밴드폭,  $\tau$ 는 칩펄스 duration, c는 광속도이다.  $f_{Dc}$  값이 작을 경우 기존의  $K_0$  값과 같게 되며 Radarsat-1 경우처럼 클 경우는  $K_{eff}$  값이  $K_0$  보다 크게 된다.

### 3) SGF(SAR Georeferenced Fine) 표준영상 생성

SGF 영상은 SLC 영상과는 달리 픽셀간격(pixel spacing)이 지상거리로 균등하게 재 표본화된 영상이다(예, standard 빔 모드 경우 12.5m × 12.5m). 또한 스펙클(speckle) 잡음을 줄이기 위하여 다중룩(multilook)처리기법을(Porcello et al, 1976) 적용하는데 보통은 방위방향 처리시 처리 밴드폭을 N개의 sub-band로 나누어 영상을 제작한 후 incoherent 하게 더하는 방식을 사용한다. 이 방법의 경우 구현은 쉬우나 영상 swath가 클 경우 range에 따라 입사각이 다르기 때문에 해상도가 일정하지 않게 되는 점과 사용자의 요구 조건이 변하게 될 경우 다시 처음부터 제작해야 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 영상영역(image domain)에서 바로 처리하는 방법을(Chang and Curlander, 1990) 사용하였다. 이 방법은 SLC영상을 이용하는데 azimuth 방향으로 는 다중룩 필터를 제작/적용하고 range 방향으로 는 지상거리로 변환하는 과정이 필요하다.

#### 〈Multilook Filter 제작〉

· resolution broadening factor :  $b$

$$b = \delta_r / \delta_r^0$$

여기서  $\delta_r$ 은 요구되는 해상도를  $\delta_r^0$ 는 SAR 시스템 파라미터로부터 결정된 초기 해상도를 의미한다(range의

경우 입사각에 따라 다름).

· sinc squared filter

$$w(j) = \left[ \frac{\sin \pi \frac{j}{a}}{\pi \frac{j}{a}} \right]^2 \quad (4)$$

여기서  $a = -1.1799 + 1.8577b - 0.1212b^2$  관계로 근사화 할 수 있는데 이는 점 표적의 응답특성으로부터 얻은 실험결과이며  $1 \leq b \leq 4$ 에서 잘 맞는다. radarsat-1의 standard 빔 모드 경우  $b_r = 1.5 \sim 2.5$  이고  $b_a = 2.8$  정도가 된다.

#### 〈Slant-to-Ground Range 변환〉

경사거리로 표현된 SLC 영상을 등간격의 지상거리로 변환하기 위해서는 다음과 같이 영상을 재 표본화해야 한다.

· Range 방향 재 표본화

$$i + d = \frac{r_{curr} - r_{near}}{c/2f_s} \quad (5)$$

여기서  $r_{near}$ 는 영상에서의 near range에서의 경사거리,  $r_{curr}$ 은 현재 계산하려고 하는 지점에서의 경사거리,  $f_s$ 는 range sampling 주파수,  $i$ 는 정수 값의 인덱스를  $d$ 는 잔여 값으로  $0 < d < 1$  사이의 값을 갖는다.  $r_{curr}$ 는 다음 식에 의하여 구한다.

$$r_{curr}^2 = R_{et}^2 + (R_{en} + h)^2 - 2R_{en}(R_{en} + h)\cos\phi(i') \quad (6)$$

$$\phi(i') = \frac{R_g + i'\Delta r'}{R_{et}} \quad (7)$$

여기서  $R_{et}$ 는 지구중심으로부터 mid-swath 까지의 거리,  $R_{en}$ 는 지구중심으로부터 위성에 대한 지상의 nadir 지점까지의 거리,  $R_g$ 는 near range의 지상거리를,  $h$ 는 위성고도,  $\Delta r'$ 은 고정된 값으로써 제작하고자 하는 영상의 등간격 값이다(예, 12.5 m).  $i'$ 은 출력영상의 정수형 인덱스이다.

· Azimuth 방향 재 표본화

$$j + r = \frac{\Delta x_j'}{V_{sw}} f_p \quad (8)$$

여기서  $\Delta x$ 는 azimuth 방향의 균등간격,  $j$ 는 입력 인덱스,  $j'$ 는 출력인덱스,  $r$ 은 잔여성분 값,  $f_p$ 는 pulse repetition frequency,  $V_{sw}$ 는 swath velocity를 의미한다.

#### 4) SSG(SAR Systematically Geocoded) 표준 영상 생성

SSG는 영상의 위쪽이 도복과 일치하도록 재배열한 영상이다. 이를 위해서는 3차원의(3D) 지상영역을 2차원의(2D) 영상으로 변환하는 과정이 필요하다. 일반적으로 이를 풀기 위해서는 지도좌표계로( $\phi, \lambda, h$ ) 표현된 각 점을 2개의 비선형 방정식을(도플러, 거리) 풀어 영상좌표( $i, j$ )로 변환한다(Curlander, 1982). 그러나 이 방법은 계산해야 하는 모든 점에 대해 수치해법으로 풀어야 하므로 시간이 상당히 걸리는 단점이 있다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 기존 문제인 3D → 2D 변환문제를 다음과 같이 3D로 표현된 변환대상점( $p$ )을 다음과 같이 2성분으로 분해하여 변환하는 방법을 고안하였다.

$$p(\phi, \lambda, h) \rightarrow p(\phi, \lambda, 0) + \text{왜곡보정}(h)$$

위 관계에서 첫 번째 항을 변환하는 것은 기준타원체 상에서의 지도좌표계와 영상간의 변환이므로 공2차 변환급수를 사용해서 변환해도 정확도가 충분히 보장됨을 확인하였다. 두 번째는 고도에 의한 왜곡을 보상하는 항인데 다음의 간단한 관계식에 의하여 처음에 보정된 영상좌표내에서 거리방향으로 편이( $\Delta_i$ ) 정도를 계산하여 샘플값을 추출하면 된다( $\theta_i$ 는 변환점에서의 입사각).

$$\Delta_i = \frac{h}{\tan(\theta_i)} \quad (9)$$

위와 같이 기존 문제를 두 단계로 분해하여 변환하는 목적은 정확도는(변환오차  $10^{-10}$  정도) 유지하면서 변환 속도를 증가시키는데 목적이 있다. 기존의 수치적 반복해법 방법을 단순히 공2차 급수계산과 초기에 변환급수를 생성하는데 걸리는 시간만 필요하므로 매우 빠르며 변환할 영상이 클수록 변환시간이 단축되는 이점이 크다.

### 5. 실험 및 결과

ASPR의 성능을 검증하기 위해 3지역의 Radarsat-1 RAW 자료를 사용하였다. 실험에 사용된 자료특성은 표 5와 같다.

#### 1) 도플러 정보추출 결과

개발된 ASPR에서 사용한 도플러 정보추출 기법에 대한 성능을 검증하기 위해 표 5의 3 지역에 대한 RAW 자료를 이용하여 도플러 중심주파수  $f_{dc}$ 와 도플러 주파수 변화율  $f_R$ 을 추정하였다. 추출된 값의 정확성을 검증하기 위한 비교 자료는 현재 본 연구실에서 운용하고 있는 상용 SAR Processor(Vexcel 제품)에서 운용되고 있는 도플러 정보 추출모듈을 이용해 얻은 값을 참값으로 간주하였다. 일반적으로 Radarsat-1 경우 영상제작에 필요한 도플러 정보의 정확도는 PRF(Pulse Repetition Frequency)의  $f_{dc} < 5\%$ ,  $f_R < 0.5\%$  정도임이 알려져 있으며 추출된 결과는 이러한 기준을 모두 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 최종 생성된 영상화질의 분석을 통해서도 확인되었다.

#### 2) SLC 영상제작 결과

Radarsat 위성의 표준영상 제품중 SLC 영상을 제작하여 개발한 ASPR의 성능검증을 수행하였다. 실험 지역은 표 5와 같으며 최종 생성된 영상은 그림 2와 같다. 육안으로 영상형태 및 대략적인 화질을 비교하기 위해 MDA사에서 상용으로 판매하고 있는 SAR Processor를 이용하여 동일지역(경인지역)에 대한 영상을 제작하였다. 또한 수치적 성능검증을 위해서 CDPF 및 RSI에서 규정하고 있는 SLC 영상에 대한 규격과 ASPR을 통해 얻은 결과를 표 7에 정리하였다. PSLR(Peak SideLobe Ratio) 및 ISLR(Integrated SideLobe Ratio)의 계산은 가상 점표적에 대해 ASPR을 통해 처리한 결과를 이용하여 측정하였으며 sidelobe 제어를 위해 사용한 필터는 CDPF에서 규정한 동일한 Kaiser 함수를 사용하였다. 또한 기하왜곡 정도를 측정하기 위해 영상전반에 걸쳐 다수(9점)의 GCP(Ground Control

Table 5. Characteristics of the RAW Data for Test.

지역명	경인지역	서해안	동해안
빔모드	S1	S4	S4
픽셀수 (rngxazi)	6354 × 23000	6360 × 23000	6360 × 23000
영상크기	100 × 100km	100 × 100km	100 × 100km
궤도특성	Descending	Ascending	Ascending

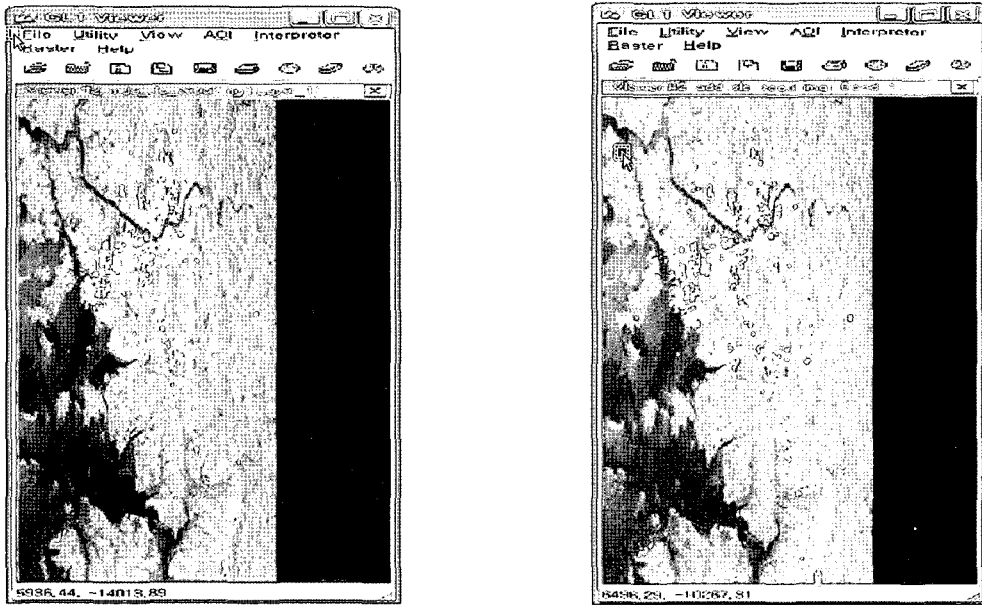


Fig. 2. The Comparison of SLC Images (left: MDA, right: ADD).

Table 6. Doppler Information Extraction Result.

항목 \ 지역	경인지역	서해안	동해안
$f_x$ [Hz]	50.48	30.69	15.93
(% of prf)	(3.82%)	(2.33%)	(3.54%)
$f_r$ [Hz/s]	4.76	3.28	1.34
(% of prf)	(0.36%)	(0.25%)	(0.1%)

Table 7. ASPR Performance.

규격	CDPF	ASPR
Nominal PSLR	<-20 dB	<-21 dB
Nominal ISLR	<-11.2 dB	<-12.4 dB
Radiometric Error	< 3 dB	-
Absolute Location Error	< 750 m	< 500 m
Geometric Distortion	< 40 m	< 30 m
IRW broadening	Kaiser(2,4)	Kaiser(2,4)

Points)를 분포시킨 후 이들의 절대 및 상대위치를 측정하여 계산하였다.

ASPR의 성능을 측정할때 CDPF에서 규정한 규격을 만족하고 있음이 확인되었으나 아직까지는 방사보정이 되지 않았기 때문에 절대 방사 정확도는 비교할 수 없으며, 지상표적들에 대한 radar backscatter coefficient

( $\sigma_0$ )의 참값은 알 수 없는 상태이다.

### 3) SGF 영상제작 결과

SGF 영상을 제작하기 위해서 ASPR은 이미 생성된 SLC 영상을 이용하여 제작하게 되므로 SLC 영상화질을 그대로 유지한다. 다만 multilook 처리에 필요한 필터의 성능과 재표본화 하는 과정에서의 보간 오차가 성능에 영향을 줄 수 있다. ASPR은 broadening의 제어가 쉽고 PSLR 특성이 좋은 sinc 형태의 필터를 사용하였으며 보간 오차를 줄이고 계산시 이점이 있는 cubic spline 방법을 채택하였다. 영상의 육안 비교를 위해 그림 3에 처리결과를 보였다.

### 4) SSG 영상제작 결과

SSG 영상역시 SGF 영상을 기반으로 지도의 도복과 일치시킨 영상이므로 영상화질 및 위치정보에 영향을 주는 것은 좌표계간의 변환정밀도와 보간 방식이다. 표 8에 변환정밀도를 보이고 있으며 보간 방법은 cubic spline 방식을 사용하였다. 육안 비교를 위하여 제작된 SSG 영상을 그림 4에 보였다.

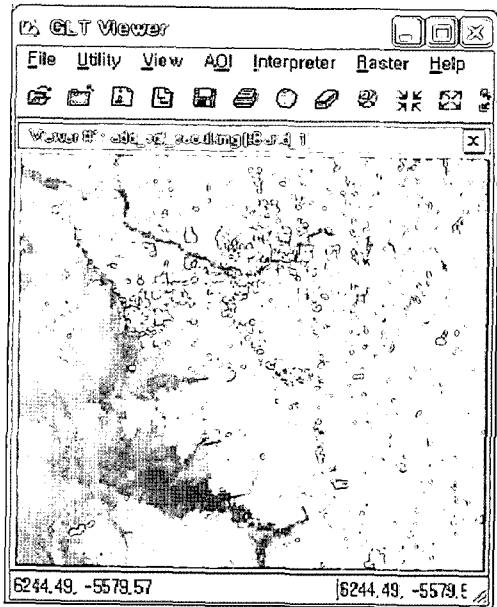
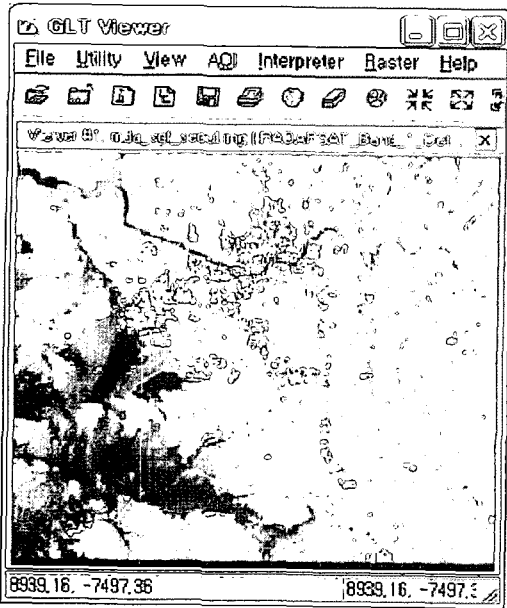


Fig. 3. The Comparison of SSG Images (left: MDA, right: ADD).

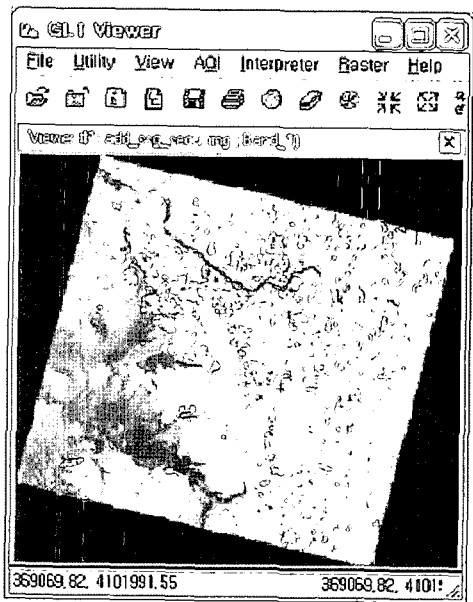
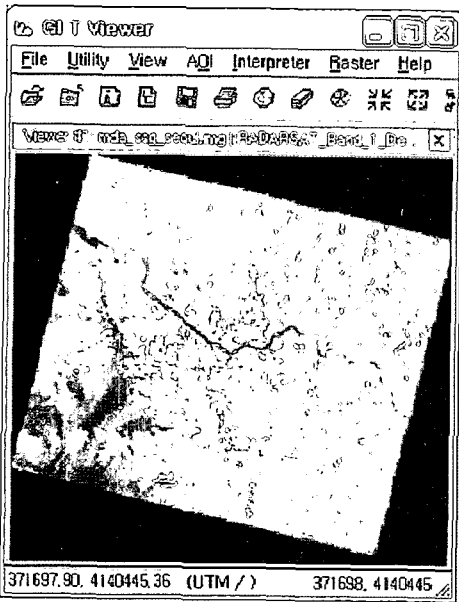


Fig. 4. The Comparison of SSG Images (left: MDA, right: ADD).

Table 8. Precision of the Conversion Between Coordinates.

변환관계	경인지역	동해안	서해안	단위
(라인,픽셀)→위도	3.00e-11	3.3e-11	5.0e-11	라디안
(라인,픽셀)→경도	1.2e-10	9.9e-11	6.7e-11	라디안
(위도,경도)→라인	8.3e-12	1.2e-11	1.4e-11	라인
(위도,경도)→픽셀	4.8e-11	5.0e-11	3.3e-11	픽셀

## 6. 결론

Radarsat SAR Processor인 ASPR을 개발하여 성능을 시험한 결과 기존 상용제품을 이용하여 처리한 영상과 비교할 때 유사한 수준의 화질 및 위치 정확도를



얻었다. 또한 각 처리 단계에 따른 3종류의 표준영상 제품(SLC, SGF, SSG) 역시 유사한 수준임이 확인되었다. 현재 방사보정은 적용되지 않은 상태이며 정확한 기하보정은 안 된 상태이다. 따라서 영상내 상대적인 기하 왜곡은 상용제품 수준과 유사하지만 절대위치 정확도에서 성능이 떨어지며 지상표적의 RCS(Radar Cross Section) 값 측정은 불가능한 상태이다. 아직까지는 활용도가 높은 Standard 및 Fine 빔 모드에서 동작하도록 구현되어 있으나 향후 ScanSAR 모드를 지원하는 연구가 진행될 예정이다. 이상의 ASPR 개발에 구축된 핵심기술들은 항공기, 위성 및 무인기 SAR 영상 제작시 필요한 SAR Processor 개발에 필요한 핵심기술들로 활용될 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- Madsen, S. N., 1989. Estimating the Doppler Centroid of SAR data, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 25(23): 134-140.
- Dragosevic, M. V., 2000. Doppler Tracker for a Spaceborne ScanSAR System, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 36(3): 907-924.
- 고보연, 나원상, 이용웅, 2003. 신호자료 및 궤도정보를 이용한 Radarsat-1 도플러 정보 추출기법 연구, *대한원격탐사학회지*, 19(6): 421-430.
- Wu, C. and M. Jin, 1982. Modeling and a Correlation Algorithm for Spaceborne SAR Signals, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 18(5): 563-574.
- Chang, C. Y., M. Jin, and Curlander, J. C., 1989. Squint Mode SAR Processing Algorithms, *proc. IGARSS*, 1702-1706 Jin, M.Y. and C. Wu, 1984, A SAR correlation algorithm which accommodates large-range migration, *IEEE Trans. GE-22(6)*: 592-597.
- Porcello, L., *et al*, 1976. Speckle Reduction in Synthetic Aperture Radars, *J. Opt. Soc. Amer.*, 66(11): 1305-1311.
- Chang, C. Y. and J. C. Curlander, 1990. A NEW APPROACH FOR OPERATIONAL MULTI-LOOK PROCESSING FOR SAR DATA," *IGARSS '90, 'Remote Sensing Science for the 90th.'* Annual International, 20-24, May, 1990, 1333-1336.
- Curlander, J. C., 1982. Location of SAR Data for Mapping, *Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, GE-20: 359-364.