

위성체 지향 및 안정화 오차로 인한 영상레이더 위성 영상 품질 저하 해석

천용식^{1†}, 나성웅²

¹한국항공우주연구원 다목적5호체계팀

²충남대학교 전기정보통신공학부

Analysis of SAR Image Quality Degradation due to Pointing and Stability Error of Synthetic Aperture Radar Satellite

Yong Sik Chun^{1†} and Sung Woong Ra²

¹KOMPSAT-5 Program Office, KARI, Daejeon 305-600, Korea

²Division of Electrical Engineering and Information & Communication Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

E-mail: sik@kari.re.kr

(Received November 25, 2008; Accepted December 02, 2008)

요 약

레이더 영상의 품질은 영상레이더 탑재체 뿐만 아니라 위성 본체의 성능에 크게 좌우되기 때문에, 영상레이더 위성의 영상형성구조분석(Image Chain Analysis)은 위성체 설계단계에서 가장 중요한 해석들 중 하나이다. 특히, 위성체 지향 및 안정화 오차는 탑재체 고유 설계에서 유도되는 영상 품질에 가장 나쁜 영향을 끼친다. 이 연구에서는 위성체 지향 및 안정화 오차로 인한 레이더 영상 품질 저하를 분석하기 위한 영상형성구조분석 알고리즘이 개발되었다. 개발된 소프트웨어는 궤도 모델, 자세제어 모델, 영상레이더 탑재체 모델, 클러터 모델, 영상처리 모델로 구성된다. 이 해석을 위해, 5km × 5km의 관측폭을 가지는 1m 고해상도 모드 레이더 영상의 원시 데이터를 시뮬레이션하고, 영상처리를 수행하였다. 영상 품질을 분석하기 위해 영상 내에 총 25개 점표적들을 생성하였다. 이 연구의 결과, 레이더 영상의 방사 정밀도는 위성체 지향오차에 가장 많은 영향을 받는 것으로 해석되었으며, 최고의 영상 품질을 만족시키기 위해서는 위성체 자세 제어 시스템의 성공적인 설계가 가장 중요하다.

Abstract

Image chain analysis of synthetic aperture radar (SAR) satellite is one of the primary activities for satellite design because SAR image quality depends on spacecraft bus performance as well as SAR payload. Especially, satellite pointing and stability error make worst effect on the original SAR image quality which is implemented by SAR payload design. In this research, Image chain analysis S/W was developed in order to analyze the SAR image quality degradation due to satellite pointing and stability error. This S/W consists of orbit model, attitude control model, SAR payload model, clutter model, and SAR processor. SAR raw data, which includes total 25 point targets in the scene of 5km × 5km swath width, was generated and then processed for analysis. High resolution mode (spotlight), of which resolution is 1m, was applied.

[†]corresponding author

The results of image chain analysis show that radiometric accuracy is the most degraded due to the pointing error. Therefore, the successful design of attitude control subsystem in spacecraft bus for enhancing the pointing accuracy is most important for image quality.

Keywords: SAR, Pointing error, Stability error, Radiometric accuracy

1. 서 론

영상레이더(Synthetic Aerture Radar, SAR) 위성의 영상은 우주공간에서 전자파를 이용하여 지표면의 고해상도의 전파영상을 획득하므로 위성 탑재 영상레이더는 균일한 영상품질을 유지하기 위하여 위성의 각종 교란 요소에 대한 분석이 요구 된다. 각종 교란 요소로는 위성 본체의 자세지향 안정화 오차와 영상레이더 탑재체의 신호 생성 및 패스 특성 및 모듈 배열의 기계적 오차로 인하여 발생하는 오차들로 이루어 진다(Curlander & McDonough 1991).

위성 레이더 영상의 품질은 영상레이더 탑재체 설계 및 제작을 통해 구현되는 탑재체 레벨의 고유 성능인자가 우주 공간에서 위성 본체의 교란요인으로 인해 어느 정도 감쇄되는가에 따라 그 품질이 최종 평가된다. 일반적으로 탑재체 고유 성능은 위성 발사 이전 지상에서 시험과 해석을 통해 영상 품질 인자를 도출하여 그 결과를 분석함으로써 예측이 가능하다(Boerner et al. 2003). 그러나 위성이 발사된 이후 위성이 궤도에서 운영 시 우주공간 상에서 위성의 자세지향 및 안정화 오차가 발생함에 따라, 지상에서 해석을 통해 확인된 영상품질로부터 추가적인 영상품질의 저하가 필연적으로 발생하게 된다. 따라서, 위성 발사 이전에 이러한 영상품질 저하 조건을 충분히 검토하고 해석을 수행하여, 최적의 위성 자세지향 및 안정화 오차 설계치를 결정할 필요가 있다.

이 연구에서는 위성체 지향 및 안정화 오차로 인한 레이더 영상 품질 저하를 분석하기 위한 영상형성구조분석(Image Chain Analysis) 알고리즘이 개발되었다. 개발된 소프트웨어는 궤도 모델, 자세제어 모델, 영상레이더 탑재체 모델, 클러터 모델, 영상처리 모델, 품질평가 모델로 구성된다. 이번 해석을 위해, 5km × 5km의 관측폭을 가지는 1m 고해상도 모드 레이더 영상의 원시 데이터를 시뮬레이션하고, 영상처리를 수행하였다. 영상 품질을 분석하기 위해 영상 내에 총 25개 점표적들을 생성하여 위성체 지향 및 안정화 오차의 적용 여부에 따라 총 5가지 경우에 대해 분석을 수행하여 비교하였다.

2. 영상형성구조분석 소프트웨어 개발

레이더 영상 품질 저하의 원인이 되는 위성체의 교란 요소 분석을 위하여 실제 영상레이더 탑재체와 위성 본체의 설계 및 우주환경에서의 운영개념을 바탕으로 영상레이더 모의 신호를 생성 및 처리할 수 있는 영상형성구조분석 소프트웨어가 이 연구를 통해 개발되었다. 영상형성구조분석 소프트웨어는 영상레이더 위성의 운영모드와 우주공간에서 영상의 획득 과정을 모델링한다. 이러한 과정은 그림 1에 묘사되어 있는 바와 같이 자세제어 특성, 안테나의 지향 특성 등이 고려된다. 영상형성구조분석 소프트웨어는 궤도, 자세제어계, 탑재체, 클러터, 신호처리, 품질평가 모듈 등 총 6개의 모듈들로 구성된다.

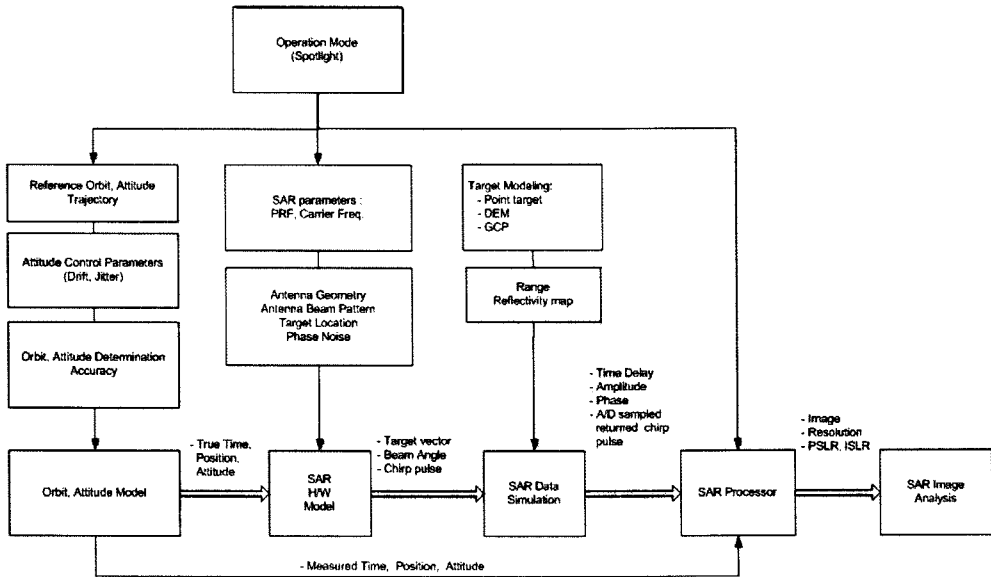


그림 1. SAR 영상 생성 및 분석 과정.

표 1. 위성 시스템 운용 파라미터.

Items	Characteristics
Operation Mode	High Resolution mode (Spotlight)
Attitude Reference frame	Perpendicular steering (Geodetic)
Satellite Altitude	550 km
Nominal mechanical roll tilting	-33.70 deg (Right Looking)
Sliding depth	6300.00 km
Incidence angle (Center)	44.75 deg

궤도 모듈의 주요 기능은 케플러 궤도요소로부터 위성 궤도를 설계하고, 임의의 시각에서 궤도 요소를 예측한다. 케플러 궤도와 WGS84 지구 타원체를 바탕으로 구현되었다(Cocard et al. 1991). 자세제어계 모듈의 기능은 구체적인 자세 지향 규격을 설정하고, 동작에 따른 성능과 오차 요인에 따른 영향을 분석한다. 탑재체 모듈은 영상레이더 탑재체의 구체적인 동작 규격을 설정하고, 주요 하드웨어 모델링 수행을 통해 시간 영역 신호 시뮬레이션을 수행하여 탑재체의 성능과 오차요인에 따른 영향을 분석한다. 클러터 모듈은 레이더 수신 신호 시뮬레이션시 가상의 지상 클러터 환경을 점표적, 표고도모델(Digital Elevation Model), 레이더 영상 및 표적영상 등을 사용하여 클러터 환경을 구성한다. 신호처리 모듈의 주요 기능은 신호처리 프로그램을 사용하여 최종 레이더 영상을 형성하고, 점표적 시뮬레이터 프로그램을 사용하여 점표적 영상을 형성한다(Franceschetti & Lanari 1999). 이 모듈에는 Extended Chirp Scaling 알고리즘이 적용되었다(Mittermayer 2003). 품질평가 모듈은 점표적 응답(Point Target Response) 및 기하적/복사적 품질 인자를 측정 및 분석한다.

표 2. 영상레이더 탑재체 파라미터.

Parameters	Values
Chirp Band Width	215100000.0 Hz
Chirp Pulse Width	0.000075 sec
Chirp Frequency	9660000000.0 Hz
AD Sampling rate	84375000.0 Hz
AD Sampling bit	8
Observation duration	3.36 sec
PRF	3515 Hz
Transmitter aperture length	4.48 m
Transmitter aperture height	0.7 m
Windowing method	Hamming window

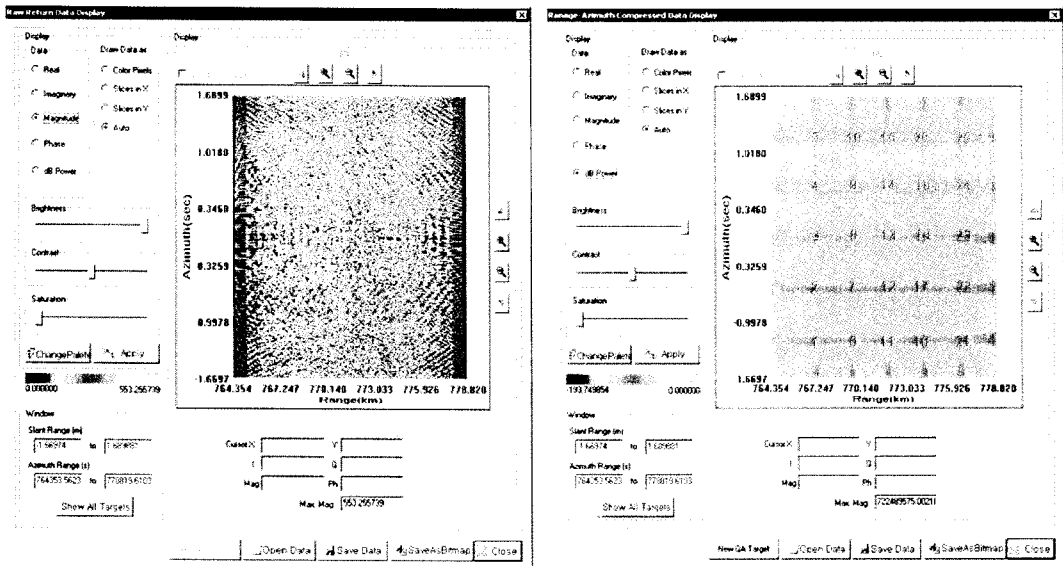


그림 2. 모의 생성된 영상 내에 위치한 25개 점표적 분포.

3. 위성체 교란에 의한 영상품질 저하 분석 조건

이 논문에서 개발된 영상형성구조분석 소프트웨어를 이용하여 영상레이더 위성이 영상을 획득하는 전체 과정을 모델링하였다. 원시 데이터(Raw Data)를 생성하고, SAR 신호처리(SAR Processor)를 이용하여 모의 생성된 원시 데이터를 처리한 이후 출력된 레이더 영상을 분석하여 영상레이더 위성에서의 영상 교란요소를 분석하였다. 이 논문에서는 고도 550km의 여명궤도(Dawn-Dusk Orbit)에서 운용되는 영상레이더 위성을 가정하여 표 1 및 표 2와 같은 위성 시스템 운영 및 영상레이더 탑재체 파라미터를 정의하였다(신재민 등 2005).

영상 교란요소 분석을 위해 고해상도 모드(해상도 1m, 관측폭 5km × 5km)의 Spotlight 원시 데이터를 모의 생성하고, 이를 입력으로 SAR 영상처리를 통해 SLC(Single Look Complex) 영상을 생

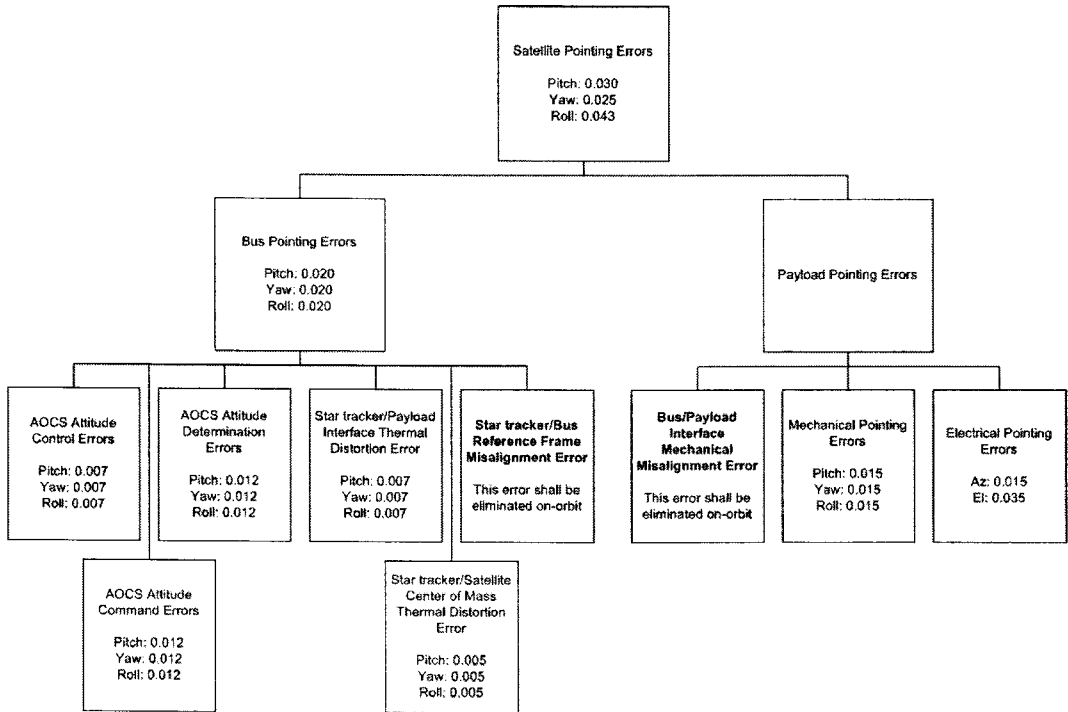


그림 3. 모의 생성된 위성체 지향 오차(3σ).

표 3. 모의 생성된 위성체 안정화 오차.

Jitter		Drift
1 ~ 50 Hz	50 Hz 이상	10초 동안
0.001 deg (3σ)	0.005 deg (3σ)	0.007 deg (peak to peak)

성하였다. 영상 내 총 25개의 점표적을 동일 간격의 격자 형태로 배치하여 구현하였다. 25개 점표적의 분포는 그림 2에 나타나 있다.

위성체 지향오차는 본체 지향오차, 탑재체 지향오차, 본체/탑재체 기계 접속 비정렬 오차, 본체/탑재체 열적 뒤틀림 오차 등으로 구성된다. 이러한 구성요소 중 본체/탑재체 기계 접속 비정렬 오차의 경우, 발사후 궤도상에서 수행되는 본체 검보정 과정에서 계산되어 제거 된다고 가정 하였다. 그림 3은 이번 분석을 위해 적용된 위성체 지향 오차 값들을 보여주고 있다.

위성체 안정화 오차는 Jitter와 Drift로 이루어진다. Jitter 오차는 위성 본체를 제어하기 위해 사용되는 Reaction Wheel의 구동으로 인해 발생하는 미세 진동이 주요 원인이고, Drift 오차는 관성계에서 현재의 자세를 측정하는 자이로와 제어를 위해 사용되는 Reaction Wheel의 오차에 의해 발생한다. 표 3은 이번 분석에 적용된 위성체 안정화 오차를 보여주고 있다.

표 4. Case 1 위성체 지향 및 안정화 오차가 없는 경우의 25개 점표적에 대한 영상품질.

점표적 번호	Range PSLR (dB)	Azimuth PSLR (dB)	Range ISLR (dB)	Azimuth ISLR (dB)	Range Resolution (m)	Azimuth Resolution (m)	Radio- metry (dB)
1	-19.81873	-19.674295	-16.091816	-16.675213	0.997836	0.988325	-
2	-19.817987	-20.695893	-16.09136	-18.401397	0.997879	0.920315	-
3	-19.819786	-21.655931	-15.98899	-16.920497	0.997217	0.895330	-
4	-19.818606	-20.724148	-16.00011	-16.440747	0.997025	0.911783	-
5	-19.818602	-19.846979	-15.882166	-15.058916	0.997367	0.973691	-
6	-20.791275	-20.639618	-16.878015	-17.490582	0.992779	0.963021	-
7	-20.710190	-21.631991	-16.797231	-19.222770	0.992809	0.896725	-
8	-20.776740	-22.704692	-16.754404	-17.732486	0.992164	0.872398	-
9	-20.742022	-21.692841	-16.732497	-17.195270	0.992012	0.888491	-
10	-20.800972	-20.830767	-16.667714	-15.803301	0.992325	0.948779	-
11	-21.734859	-21.575981	-17.635254	-18.276991	0.995016	0.964777	-
12	-21.765791	-22.731488	-17.666502	-20.207542	0.995838	0.899482	-
13	-21.790235	-23.809995	-17.576359	-18.601017	0.994784	0.874465	-
14	-21.753613	-22.749709	-17.553158	-18.037968	0.994855	0.890946	-
15	-21.723925	-21.755139	-17.393845	-16.48827	0.994700	0.950704	-
16	-20.720373	-20.568716	-16.807113	-17.419680	0.992815	0.963075	-
17	-20.776079	-21.697881	-16.863121	-19.288660	0.992876	0.896827	-
18	-20.789231	-22.717184	-16.766895	-17.744978	0.992174	0.872413	-
19	-20.784841	-21.735660	-16.775316	-17.238089	0.992022	0.888506	-
20	-20.760338	-20.790134	-16.627080	-15.762667	0.992282	0.948713	-
21	-19.721978	-19.577543	-15.995064	-16.578461	0.997559	0.967543	-
22	-19.730889	-20.608795	-16.004262	-18.314299	0.997522	0.900813	-
23	-19.736050	-21.572195	-15.905254	-16.836761	0.996941	0.876466	-
24	-19.747657	-20.653199	-15.929062	-16.369798	0.996999	0.892959	-
25	-19.792318	-19.820695	-15.855882	-15.032632	0.996847	0.952843	-
평균	-20.569724	-21.298459	-16.609535	-17.325560	0.994906	0.919976	-
표준편차	0.753320	1.089384	0.612558	1.295383	0.002264	0.037527	-

4. 위성체 교란에 의한 영상품질 저하 분석 결과

앞절에 기술된 분석 조건들을 기반으로 위성체 지향 및 안정화(Jitter 및 Drift) 오차 적용 여부에 따라 총 5가지 경우에 대해 레이더 영상의 원시 데이터를 생성하였다. Case 1은 위성체 지향 및 안정화 오차가 없는 경우이고, Case 2는 위성체 지향 오차만 적용된 경우, Case 3은 위성체 Jitter 오차만 적용된 경우, Case 4는 위성체 Drift 오차만 적용된 경우, 마지막으로 Case 5는 위성체 지향 및 안정화 오차가 모두 적용된 경우이다. SAR Processor를 이용하여 레이더 영상의 원시 데이터를 처리한 이후 SLC(Single Look Complex) 영상을 생성하였다. 최종 생성된 SLC 데이터의 품질 분석을 통해 위성체 교란의 영향력을 정리하였다.

그림 2에 나타나 있는 25개 점표적 분포를 기반으로 각 점표적들에 대해 영상 품질을 분석하였다. 총 5가지 Case에 대해 영상형성구조분석을 수행하였으며, 각 Case 마다 25개 점표적의 영상 품질을 각각 계산한 이후, 위성체 지향 및 안정화 오차로 인한 영상 품질 저하 정도를 통계화 하였다(표 4 ~ 8). Case 1은 위성체 지향 및 안정화 오차가 없는 경우이기 때문에, 표 4는 순수 탑재체 성능에 기인하는 기준 영상 품질을 의미하며, Case 2 ~ 5의 상대적 방사 정밀도(Relative Radiometric error) 산출을 위한 기준 값으로 사용된다. 그림 4 ~ 10은 25개 점표적에 대한 각 Case별 영상 품질 성능을

표 5. Case 2 위성체 지향 오차만 적용된 경우의 25개 점표적에 대한 영상품질.

점표적 번호	Range PSLR (dB)	Azimuth PSLR (dB)	Range ISLR (dB)	Azimuth ISLR (dB)	Range Resolution (m)	Azimuth Resolution (m)	Radio- metry (dB)
1	-19.8254	-19.9355	-16.0935	-14.8103	0.9979	1.0504	-0.5518
2	-19.7951	-20.4396	-16.0968	-16.5856	0.9980	0.9572	-0.2357
3	-19.8239	-21.3607	-15.9934	-16.8895	0.9973	0.9060	-0.0609
4	-19.8235	-20.0949	-15.9977	-16.5033	0.9970	0.9059	0.0789
5	-19.8176	-19.5645	-15.8855	-16.1477	0.9975	0.9378	0.2603
6	-20.7459	-20.8615	-16.8275	-15.4801	0.9928	1.0235	-0.5518
7	-20.7602	-21.4369	-16.8770	-17.3902	0.9930	0.9328	-0.2360
8	-20.7473	-22.3610	-16.7253	-17.6662	0.9923	0.8828	-0.0608
9	-20.7431	-21.0281	-16.7260	-17.2569	0.9920	0.8827	0.0789
10	-20.7642	-20.4985	-16.6356	-16.9108	0.9925	0.9139	0.2601
11	-21.7503	-21.8714	-17.6453	-16.2338	0.9955	1.0261	-0.5518
12	-21.7048	-22.4137	-17.6367	-18.1743	0.9953	0.9345	-0.2329
13	-21.7893	-23.4799	-17.5758	-18.5615	0.9953	0.8855	-0.0625
14	-21.7544	-22.0530	-17.5460	-18.1022	0.9941	0.8841	0.0816
15	-21.7163	-21.4380	-17.3911	-17.6794	0.9954	0.9165	0.2580
16	-20.7897	-20.9053	-16.8713	-15.5239	0.9928	1.0234	-0.5518
17	-20.7807	-21.4574	-16.8975	-17.4107	0.9930	0.9327	-0.2356
18	-20.7708	-22.3845	-16.7487	-17.6897	0.9923	0.8828	-0.0610
19	-20.8037	-21.0887	-16.7867	-17.3176	0.9920	0.8827	0.0790
20	-20.7664	-20.5007	-16.6378	-16.9130	0.9924	0.9138	0.2602
21	-19.8207	-19.9309	-16.0889	-14.8057	0.9974	1.0280	-0.5518
22	-19.7509	-20.3954	-16.0526	-16.5414	0.9970	0.9360	-0.2330
23	-19.8101	-21.3470	-15.9796	-16.8758	0.9967	0.8863	-0.0592
24	-19.8118	-20.0833	-15.9861	-16.4917	0.9962	0.8860	0.0823
25	-19.7448	-19.4918	-15.8128	-16.0749	0.9972	0.9182	0.2590
평균	-20.5764	-21.0569	-16.6206	-16.8015	0.9949	0.9332	-0.1015
표준편차	0.7410	1.0007	0.6022	0.9814	0.0022	0.0541	0.2834

보여주고 있다.

5km × 5km 고해상도 모드의 한 영상 내의 점표적의 분포에 따라 영상품질에 차이가 발생함을 알 수 있다. 영상 중심에 위치한 점표적의 품질이 가장 우수하고, 바깥 영역에 배치된 점표적일수록 품질저하가 발생함을 확인할 수 있다. 이는 Spotlight 모드의 영상 획득시 운영적 특징에서 기인하는데, 영상의 중심영역일수록 빔의 방사 노출 시간이 주변부보다 상대적으로 많기 때문이다.

그림 4를 보면 Range PSLR은 위성체 지향 및 안정화 오차에 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 Azimuth PSLR의 경우는 특히 위성체 지향오차로 인해 영향을 많이 받는 것을 알 수 있으며, 지향 오차 0.02deg(3σ)가 약 0.5dB 정도의 Azimuth PSLR 품질 저하를 유발시키는 것을 해석을 통해 알 수 있다. 특히 Azimuth 방향은 운영 특성상 위성체 Pitch 방향의 지향 오차와 직접적 관계가 있다. 위성체 안정화 오차는 Range 및 Azimuth PSLR에는 큰 영향을 안 미치는 것으로 판단된다. 그림 6의 결과를 보면 Range PSLR과 마찬가지로 Range ISLR도 위성체 지향 및 안정화 오차에 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 그림 7의 Azimuth ISLR의 결과는 위성체 지향오차가 가장 품질저하에 영향을 많이 준다는 것을 보여주는데, 약 0.6dB 정도의 저하를 보여 준다. 그림 8은 Range Resolution의 결과를 보여주는데, 위성체 지향 및 안정화 오차로 인해 거의 품질 저

표 6. Case 3 위성체 Jitter 오차만 적용된 경우의 25개 점표적에 대한 영상품질.

점표적 번호	Range PSLR (dB)	Azimuth PSLR (dB)	Range ISLR (dB)	Azimuth ISLR (dB)	Range Resolution (m)	Azimuth Resolution (m)	Radiometry (dB)
1	-19.7298	-19.6695	-16.0919	-16.6747	0.9978	0.9885	-0.0002
2	-19.8161	-20.6789	-16.0916	-18.4015	0.9979	0.9209	-0.0002
3	-19.9252	-21.6697	-15.9890	-16.9203	0.9972	0.8961	-0.0003
4	-19.8288	-20.7016	-15.9999	-16.4416	0.9970	0.9134	-0.0004
5	-19.7951	-19.8445	-15.8821	-15.0592	0.9974	0.9737	-0.0003
6	-20.6472	-20.5839	-16.8274	-17.4393	0.9928	0.9632	-0.0002
7	-20.7743	-21.6802	-16.8635	-19.2889	0.9929	0.8974	-0.0004
8	-20.8255	-22.6572	-16.6925	-17.6703	0.9922	0.8732	-0.0003
9	-20.7302	-21.6466	-16.7099	-17.1736	0.9920	0.8900	-0.0004
10	-20.7194	-20.7712	-16.6108	-15.7467	0.9924	0.9489	-0.0005
11	-21.6039	-21.5376	-17.6022	-18.2433	0.9955	0.9657	-0.0002
12	-21.7513	-22.7002	-17.6543	-20.1951	0.9958	0.9001	-0.0002
13	-21.8396	-23.7586	-17.5098	-18.5343	0.9948	0.8752	-0.0002
14	-21.7526	-22.7127	-17.5409	-18.0267	0.9947	0.8923	0.0000
15	-21.7228	-21.7771	-17.4186	-16.5133	0.9950	0.9511	-0.0013
16	-20.6488	-20.5855	-16.8290	-17.4409	0.9928	0.9632	-0.0002
17	-20.7730	-21.6788	-16.8622	-19.2876	0.9929	0.8974	-0.0001
18	-20.8547	-22.6865	-16.7217	-17.6996	0.9922	0.8732	-0.0003
19	-20.7761	-21.6925	-16.7558	-17.2196	0.9920	0.8900	-0.0003
20	-20.7356	-20.7875	-16.6270	-15.7629	0.9924	0.9489	-0.0006
21	-19.6903	-19.6300	-16.0525	-16.6352	0.9978	0.9680	-0.0002
22	-19.8123	-20.6750	-16.0877	-18.3976	0.9977	0.9016	-0.0009
23	-19.9013	-21.6458	-15.9651	-16.8964	0.9968	0.8769	0.0005
24	-19.7581	-20.6308	-15.9292	-16.3708	0.9969	0.8943	0.0002
25	-19.7370	-19.7864	-15.8241	-15.0011	0.9974	0.9536	-0.0025
평균	-20.5659	-21.2875	-16.6056	-17.3216	0.9950	0.9207	-0.0004
표준편차	0.7402	1.0776	0.5981	1.2980	0.0023	0.0372	0.0006

하를 보여주고 있지 않는다. 그러나, 그림 9에 나타난 것처럼 Azimuth Resolution의 경우는 위성체 지향 오차로 인해 최대 약 0.05m 정도의 해상도 차이를 보이나, 1m 표준 해상도와 비교할 때 아주 미비한 품질저하 수준이라고 사료된다. 그림 10은 다른 영상 품질 인자들 보다 Radiometric 오차는 위성체 지향 및 안정화 오차에 가장 많은 영향을 받는다는 것을 보여 주고 있다. 위성체 Drift 오차로 인해 약 0.1dB 정도의 품질 저하를 겪게 되며, 특히 위성체 지향 오차로 인해 0.3dB 정도의 Radiometry 품질 저하가 발생한다. 일반적으로 여러 과학적 연구에 활용되는 SAR 영상의 Radiometry 정밀도를 1 ~ 1.5dB 정도로 고려한다면, 이 논문의 결과를 통해 인지된 값들은 무시하지 못할 매우 큰 값이라고 할 수 있으며, 위성체 설계 시 지향 오차를 최소화시키는데 매우 많은 집중이 필요함을 알 수 있다. 그림 10을 통해 하나의 영상 내에서도 Radiometry 품질 저하가 존재하는 것을 알 수 있는데, 영상의 중심과 주변부의 최대 차이가 약 0.5dB 정도임을 알 수 있다. 이의 주요 원인은 Spotlight 모드는 영상의 중심영역일수록 빔의 방사 노출 시간이 주변부보다 상대적으로 많기 때문이다. 즉, 영상 내에서 표적의 위치에 따라 빔의 세기 차이가 발생하기 때문이다.

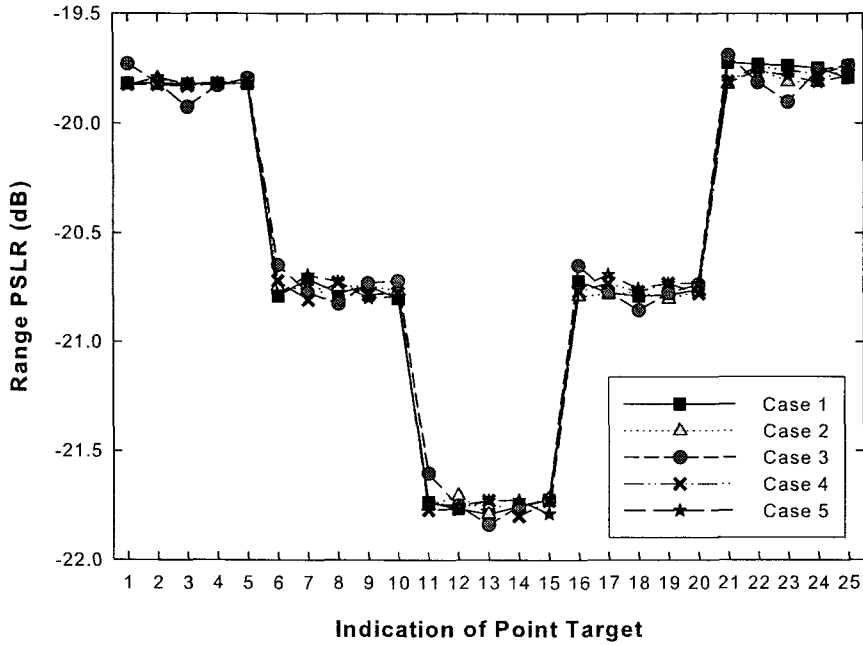


그림 4. 25개 점표적에 대한 각 Case별 Range PSLR 성능.

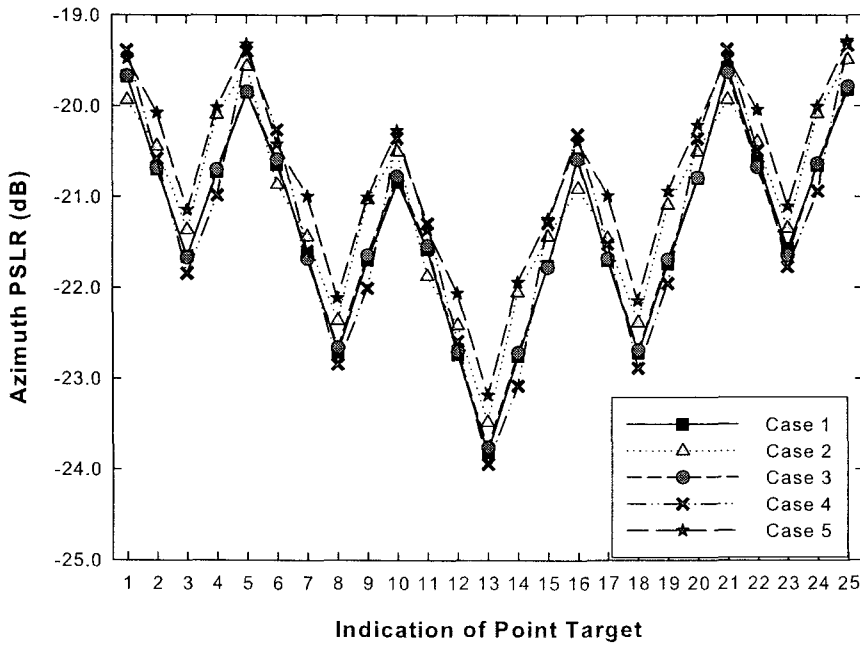


그림 5. 25개 점표적에 대한 각 Case별 Azimuth PSLR 성능.

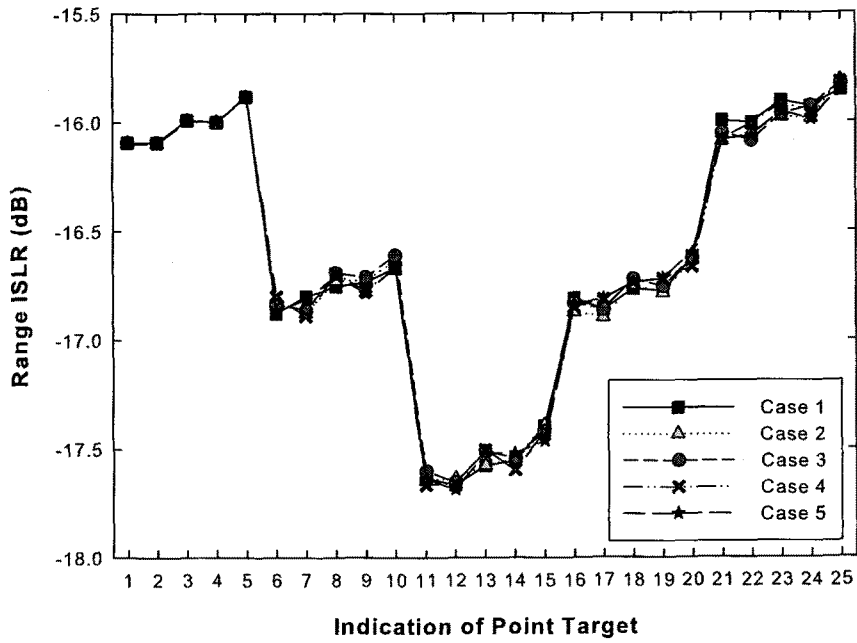


그림 6. 25개 점표적에 대한 각 Case별 Range ISLR 성능.

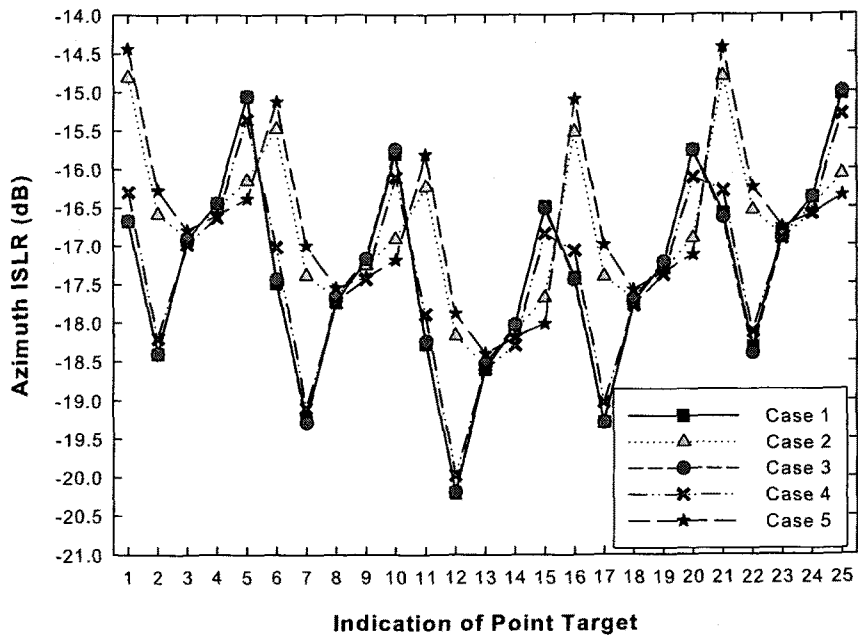


그림 7. 25개 점표적에 대한 각 Case별 Azimuth ISLR 성능.

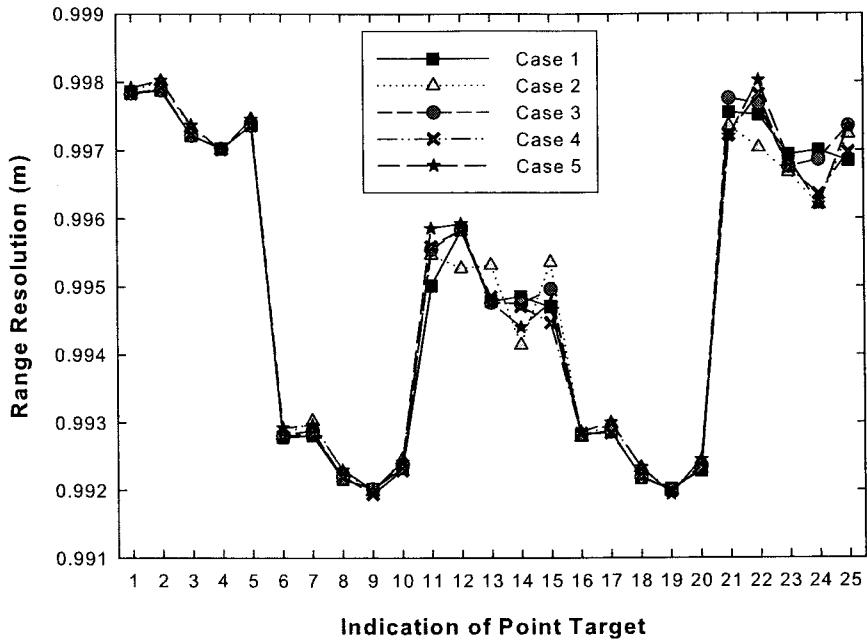


그림 8. 25개 점표적에 대한 각 Case별 Range Resolution 성능.

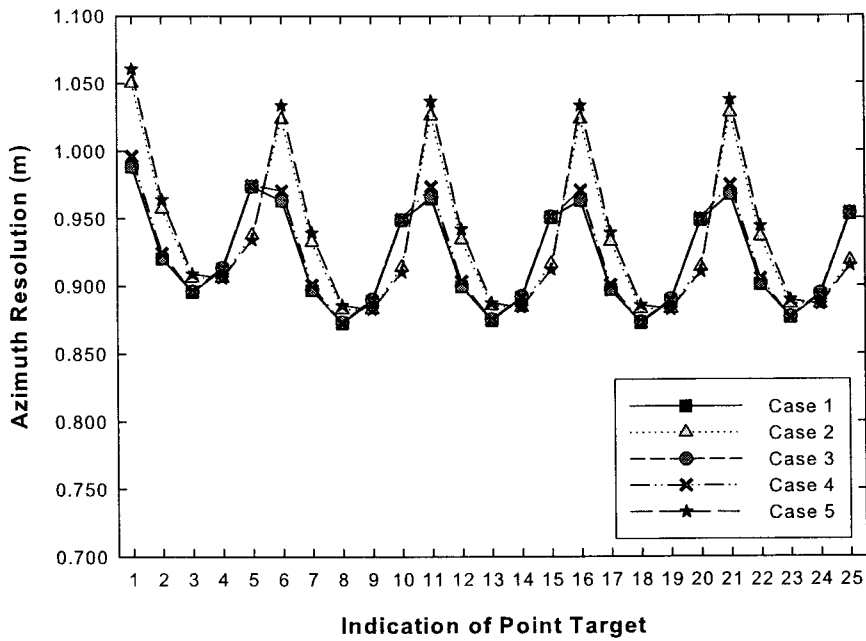


그림 9. 25개 점표적에 대한 각 Case별 Azimuth Resolution 성능.

표 7. Case 4 위성체 Drift 오차만 적용된 경우의 25개 점표적에 대한 영상품질.

점표적 번호	Range PSLR (dB)	Azimuth PSLR (dB)	Range ISLR (dB)	Azimuth ISLR (dB)	Range Resolution (m)	Azimuth Resolution (m)	Radiometry (dB)
1	-19.8240	-19.3863	-16.0920	-16.2996	0.9978	0.9962	-0.0678
2	-19.8239	-20.5739	-16.0921	-18.2019	0.9979	0.9244	-0.0264
3	-19.8299	-21.8429	-15.9893	-16.9840	0.9972	0.8956	-0.0010
4	-19.8196	-20.9818	-15.9996	-16.6318	0.9970	0.9127	0.0253
5	-19.7995	-19.3963	-15.8821	-15.3585	0.9974	0.9745	0.0565
6	-20.7193	-20.2597	-16.8008	-17.0187	0.9928	0.9707	-0.0678
7	-20.8073	-21.5949	-16.8889	-19.1042	0.9928	0.9007	-0.0264
8	-20.7267	-22.8404	-16.6941	-17.7385	0.9922	0.8727	-0.0011
9	-20.7843	-22.0047	-16.7734	-17.4372	0.9919	0.8893	0.0256
10	-20.7738	-20.3504	-16.6605	-16.1108	0.9923	0.9495	0.0567
11	-21.7713	-21.2898	-17.6661	-17.8945	0.9956	0.9733	-0.0678
12	-21.7639	-22.5890	-17.6589	-19.9797	0.9958	0.9034	-0.0263
13	-21.7280	-23.9423	-17.5034	-18.5975	0.9948	0.8748	-0.0012
14	-21.7989	-23.0774	-17.5970	-18.2924	0.9947	0.8917	0.0259
15	-21.7288	-21.2853	-17.4196	-16.8437	0.9945	0.9511	0.0575
16	-20.7675	-20.3079	-16.8490	-17.0669	0.9928	0.9708	-0.0678
17	-20.7318	-21.5194	-16.8134	-19.0288	0.9928	0.9007	-0.0261
18	-20.7699	-22.8836	-16.7373	-17.7817	0.9922	0.8727	-0.0010
19	-20.7315	-21.9519	-16.7205	-17.3843	0.9920	0.8894	0.0254
20	-20.7785	-20.3551	-16.6652	-16.1155	0.9923	0.9496	0.0564
21	-19.8093	-19.3716	-16.0774	-16.2849	0.9972	0.9747	-0.0678
22	-19.7417	-20.4918	-16.0099	-18.1197	0.9978	0.9052	-0.0276
23	-19.7582	-21.7713	-15.9177	-16.9124	0.9967	0.8764	-0.0001
24	-19.7739	-20.9362	-15.9540	-16.5861	0.9964	0.8929	0.0281
25	-19.7373	-19.3341	-15.8199	-15.2963	0.9970	0.9538	0.0560
평균	-20.5719	-21.2135	-16.6113	-17.3228	0.9949	0.9227	-0.0025
표준편차	0.7499	1.2619	0.6098	1.1646	0.0022	0.0394	0.0437

5. 결 론

이 연구에서 위성체의 자세 지향 및 안정화 오차가 최종 레이더 영상 품질저하에 미치는 영향을 분석할 수 있는 영상형성구조분석 소프트웨어를 개발하였으며, 이를 이용해 영상레이더 탑재체 및 위성체 설계를 위한 주요 성능 요구사항의 도출 가능성을 제시 하였다. 이 논문에서 개발 및 수행된 해석 방법은 실제 영상레이더 위성 시스템 설계과정에 활용될 수 있도록 전체 시스템 운영과정을 설계 값에 근거하여 시뮬레이션하고 처리된 결과를 상호 비교/분석하는 프로세스를 따랐다. 즉, 영상레이더 위성이 영상을 획득하는 과정을 모델링하여 이를 기초로 원시 데이터를 생성하고, SAR Processor를 이용하여 모의 생성된 원시 데이터를 처리한 이후 생성된 레이더 영상을 분석하여 영상레이더 위성에서의 영상 교란요소를 분석하였다.

최종 분석을 종합해 보면, Range 방향의 PSLR과 ISLR은 위성체 지향 및 안정화 오차에 큰 영향을 받지 않는 반면, Azimuth 방향의 PSLR과 ISLR은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. Azimuth Resolution의 경우는 1m 표준 해상도와 비교할 때 위성체 지향 오차로 인해 아주 미비한 품질저하를 겪는 것으로 분석되었다. 다른 영상 품질 인자들 보다 Radiometric 오차는 위성체 지향 및 안정화 오차에 가장 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있는데, 위성체 설계시 지향 오차를 최소화시키는데 매

표 8. Case 5 위성체 지향 및 안정화 오차가 모두 적용된 경우의 25개 점표적에 대한 영상품질.

점표적 번호	Range PSLR (dB)	Azimuth PSLR (dB)	Range ISLR (dB)	Azimuth ISLR (dB)	Range Resolution (m)	Azimuth Resolution (m)	Radio- metry (dB)
1	-19.8263	-19.4793	-16.0957	-14.4405	0.9979	1.0607	-0.6664
2	-19.7914	-20.0744	-16.0972	-16.2743	0.9980	0.9640	-0.2945
3	-19.8215	-21.1434	-15.9946	-16.7973	0.9974	0.9089	-0.0890
4	-19.8210	-20.0134	-15.9973	-16.5985	0.9970	0.9056	0.0791
5	-19.8179	-19.3211	-15.8858	-16.3867	0.9975	0.9341	0.2857
6	-20.7823	-20.4179	-16.8652	-15.1273	0.9929	1.0336	-0.6664
7	-20.6930	-20.9903	-16.8142	-17.0002	0.9930	0.9394	-0.2946
8	-20.7241	-22.1120	-16.7058	-17.5486	0.9923	0.8856	-0.0889
9	-20.7993	-21.0014	-16.7844	-17.4157	0.9920	0.8825	0.0790
10	-20.7911	-20.2695	-16.6624	-17.1883	0.9924	0.9102	0.2857
11	-21.7418	-21.3601	-17.6382	-15.8175	0.9959	1.0367	-0.6664
12	-21.7503	-22.0617	-17.6868	-17.8815	0.9959	0.9421	-0.2943
13	-21.7284	-23.1825	-17.5188	-18.4018	0.9948	0.8875	-0.0883
14	-21.7258	-21.9375	-17.5198	-18.1810	0.9944	0.8843	0.0807
15	-21.7878	-21.2414	-17.4625	-18.0135	0.9948	0.9120	0.2859
16	-20.7527	-20.3884	-16.8357	-15.0977	0.9929	1.0336	-0.6664
17	-20.6905	-20.9878	-16.8117	-16.9977	0.9930	0.9394	-0.2944
18	-20.7547	-22.1427	-16.7364	-17.5793	0.9923	0.8857	-0.0890
19	-20.7327	-20.9348	-16.7179	-17.3491	0.9919	0.8824	0.0793
20	-20.7316	-20.2100	-16.6029	-17.1288	0.9924	0.9103	0.2854
21	-19.8121	-19.4651	-16.0815	-14.4263	0.9972	1.0378	-0.6664
22	-19.7586	-20.0417	-16.0645	-16.2416	0.9980	0.9442	-0.2960
23	-19.7823	-21.1042	-15.9553	-16.7581	0.9969	0.8895	-0.0880
24	-19.8121	-20.0045	-15.9884	-16.5896	0.9962	0.8858	0.0824
25	-19.7804	-19.2836	-15.8483	-16.3492	0.9973	0.9147	0.2840
평균	-20.5684	-20.7667	-16.6149	-16.7036	0.9950	0.9364	-0.1369
표준편차	0.7401	1.0045	0.6001	1.0797	0.0023	0.0579	0.3332

우 많은 집중이 필요함을 알 수 있다.

이 논문을 통하여 개발된 영상형성구조분석 소프트웨어와 적용된 분석 기법은 추후 개발될 차세대 영상레이더 위성 설계 시 영상 품질을 보증할 수 있는 분석 도구로서 적극적으로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

신재민, 윤재철, 문홍열, 이진호, 천용식, 최해진 2005, 항공우주산업동향, 3(1), 65

Boerner, E., Lord, R., Mittermayer, J., & Bamler, R. 2003, in IGARSS 2003 Proceedings (Piscataway: IEEE Publishing Services), pp.1323-1325

Cocard, M., Geiger, A., Meier, E., & Nuesch, D. 1991, in IGARSS 1991 Proceedings (Piscataway: IEEE Publishing Services), pp.247-251

Curlander, J. C. & McDonough, R. N. 1991, Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing (New York: John Wiley & Sons, INC)

Franceschetti, G. & Lanari, R. 1999, Synthetic Aperture RADAR PROCESSING (Napoli: CRC

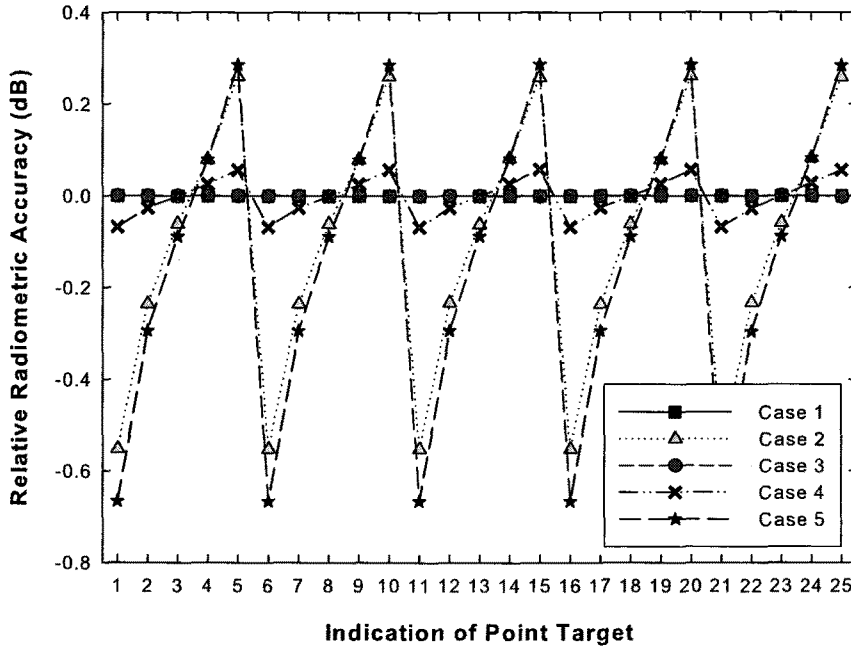


그림 10. 25개 점표적에 대한 각 Case별 상대적 Radiometry 성능.

Press)

Mittermayer, J. 2003, in IGARSS 2003 Proceedings (Piscataway: IEEE Publishing Services), pp.1462-1464