

한반도 해안지형 및 구조분석을 위한
SAR 영상의 활용성 연구

Studies on the Applicability of SAR Images to
Coastal Geomorphological and
Structural Analysis of the Korean Peninsula

1994. 3

제 출 문

한국해양연구소장 귀하

본 보고서를 “한반도 해안지형 및 구조분석을 위한 SAR 영상의 활용성 연구”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

1994년 3월

연구책임자 : 원 중 선

연 구 원 : 유 흥 통
 천 중 화
 장 석

요 약 문

I. 제 목

한반도 해안지형 및 구조분석을 위한 SAR 영상의 활용성 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

Synthetic Aperture Radar (SAR)는 microwave를 이용한 원격탐사의 신기술중 하나로 1970년대말 이후 지구과학적 연구를 위한 그 활용도가 전세계적으로 급증하고 있으나, 아직 한반도 지역 특히 해안지역의 지형 및 지질구조 분석을 위한 SAR의 활용에 대한 연구가 국내에서는 아직 수행되지 못하고있는 실정이다. 본 연구는 국내 최초의 SAR의 해안지형 및 지질구조분석을 위한 활용방법에 대한 연구이며 앞으로 SAR를 이용한 해안관측 및 SAR 영상자료의 해석기술을 개발함에 그 중요성이 있다.

본 연구의 구체적인 목적은 첫째 SAR 영상자료에서 특히 잘나타나는 지형 및 지질학적 선구조나 해양에서 파도등에 의해 잘 나타나는 선구조의 주방향성을 쉽고 빠르게 분석할 수 있는 새로운 algorithm의 개발과, 둘째 조간대 연구를 위한 SAR의 활용가능성 여부에 대한 연구이다. SAR 영상은 일반적으로 다양한 선구조에 대한 정보를 제공하나 이에 대한 육안 분석은 매우 많은 시간과 인력을 필요로한다. 따라서 빠르고 쉬운 선구조의 주방향성을 분석할 수 있는 algorithm의 개발은 SAR를 이용한 선구조 연구에 필수적이다. 또한 한반도 서해안에 넓게 발달하고 있는 조간대의 관측 및 관리를 위해서는 원격탐사 기술의 활용이 필수적이며, 원격탐사 방법중 신기술의 하나인 SAR의 활용가능성 연구는 앞으로 조간대 관측을 위한 SAR 활용기술의 개발에 기초가된다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구에서 SAR 영상자료에서 나타나는 선구조의 주방향성 분석법 개발과 조건대 연구를 위한 SAR의 활용가능성 연구의 연구내용은 다음과 같이 요약된다.

- 1) Hough transform을 이용한 SAR 영상자료에서의 선구조의 주방향성을 찾는 algorithm의 개발과 이 방법을 이용하여 선구조 분석 및 antenna look direction bias 영향을 분석한다.
- 2) 조건대 연구를 위한 SAR의 활용 가능성을 SAR 영상자료의 육안분석과 통계학적 분석을 실시하고, 이를 JERS-1 VNIR 자료에 의한 결과와 비교분석한다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 견의

본 연구의 연구결과는 다음과 같이 요약된다.

- 1) 새로 개발된 선구조의 주방향성을 분석하는 algorithm은 random 노이지에도 강한 Hough transform을 활용함으로써 speckle 노이지가 많은 SAR 영상자료에서도 매우 효과적이다.
- 2) 이 새로운 방법은 SAR 영상자료에서 나타나는 실제 선구조의 주방향성분석 뿐만아니라 SAR 영상자료에서 흔히 나타나는 antenna look direction bias의 분석에도 유용하게 사용될 수 있다.
- 3) 조건대 연구를 위한 SAR의 활용가능성 연구는 본 연구에 사용된 JERS-1 SAR의 기술상의 문제점에도 불구하고 조건대 지역과 주변구조와의 뚜렷한 구분이 가능한 radar backscattering을 나타냈다.
- 4) SAR의 조건대지역의 영상은 비교적 평탄하며 균일한 표면 roughness 를 갖는 조건대의 특성에 따라 비교적 작은 표준편차값을 갖는며, VNIR band 2 보다는 조건대내의 소규모 구조변화나 수분함량에 민감하다.
- 5) 경기만 일대에서 얻어진 JERS-1 SAR의 해상에 대한 영상에서 매우 낮은

radar backscattering의 특징을 갖는 폭이 좁고 굴곡이 심한 channel 형태의 구조가 나타나며, 이에대한 원인규명을 위해서는 앞으로 연구가 필요하다.

본 연구에서 개발된 선구조의 주방향분석 algorithm은 앞으로 해안지역이나 육상구조에 의해 나타나는 선구조와 함께 SAR의 최대 활용분야중 하나인 해상의 파도의 주방향분석에도 활용될 수 있다. 그러나 이의 충분한 활용을 위해서는 wavenumber domain에서의 분석법과의 정량적인 비교 분석이 필요시 된다. 조간대 연구를 위한 SAR의 활용개발에는 지형 및 지질학적 응용과 함께 조간대상의 수분함량 분포에 대한 연구에 도움이 될 수 있을것으로 사료된다. 또한 상기 결론 5)에서 언급된 구조의 원인을 밝히는 연구도 앞으로 SAR의 해양학적 활용도를 넓히는데 큰 도움이 될 것이다.



Summary

I. Title

STUDIES ON THE APPLICABILITY OF SAR IMAGES TO COASTAL GEOMORPHOLOGICAL AND STRUCTURAL ANALYSIS OF THE KOREAN PENINSULA

II. Objectives and Significance of the Study

Synthetic Aperture Radar (SAR) exploiting microwave has recently developed as a remote sensing tool, and has widely used for geoscience since 1970's. Unfortunately, SAR has been rarely utilized specifically for coastal geomorphological and structural studies over the Korean Peninsula. This research is conducted by utilizing SAR data with specific purpose of verifying the applicability of SAR system to geomorphological and structural studies on the coastal area over the Korean Peninsula.

The objectives of the research includes: the first, development of an efficient algorithm providing the major direction of lineaments in a SAR imagery; and the second, feasibility study of SAR to monitoring the intertidal flat area. The SAR imagery commonly provides the excellent rendition of lineaments corresponding to geomorphological and geological structures or to ocean waves. Therefore the development of an efficient algorithm analyzing the major trends of lineaments in a SAR image is required for the applications of the SAR to the lineament study.

There exists vast intertidal flat area along western coast of the Korean Peninsula, and it requires sophisticated remote sensing techniques for

monitoring the area periodically. Although the SAR system is one of the most advanced technologies in remote sensing, the applicability of the SAR for this specific objective over the area is required to be verified.

III. Scope of the Study

The approaches adopted in this research is summarized as follows:

- 1) the new algorithm, developed in this research, providing major trends of lineaments in a SAR image exploited Hough transform, and therefore is robust even for a corrupted image by speckle noise.
- 2) the new approach can also be applied to estimating the effect of antenna look direction bias as well as lineaments study.
- 3) in the JERS-1 SAR image acquired over the Kyunggi Bay area, intertidal flat is clearly distinguishable with neighbouring structures despite technical problems in JERS-1 SAR.
- 4) the surface of intertidal flat is characterized by relatively smooth and flat and low surface roughness, and in consequence SAR image corresponding to the intertidal flat area is characterized by relatively low standard deviation. JERS-1 SAR appears to be very sensitive to even smaller structures and moisture contents in the intertidal flat.
- 5) dark narrow structures similar to channel structure are visible in the middle of sea in the JERS-1 SAR image over the Kyunggi Bay, but the mechanism of the rendition is yet to be explored.

The new algorithm developed in this research can also be applied to analyze ocean wave direction in a SAR image. However, an appropriate study should be required such as quantitative comparison of the approach with the analyzing technique through the wavenumber domain. Using SAR, estimating

moisture contents in the intertidal flat as well as structural characteristics will be useful if possible. The mechanism of the structure explained above in 5) must be further examined.

목 차

제 출 문

요 약 문

SUMMARY

목 차

Contents

List of Figures

List of Tables

| | |
|-------------------------------|----|
| 제 1 장 서 론 | 17 |
| 1.1 SAR의 개요 | 18 |
| 1.2 JERS-1 SAR | 22 |
| 제 2 장 연구방법 | 29 |
| 2.1 Hough Transform 및 선형구조 분석 | 29 |
| 2.2 조간대 분석법 | 32 |
| 제 3 장 연구결과 | 35 |
| 3.1 연구자료 요약 | 35 |
| 3.2 선형구조 분석 | 38 |
| 3.3 조간대 분석 | 49 |

제 4 장 결 론 ----- 61

참고문헌 ----- 63

부 록 1: Conventional Hough transform algorithm in C ----- 67

부 록 2: Hough transform algorithm in C using ray trace ----- 73

Contents

SUMMARY

Contents

List of Figures

List of Tables

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Chapter 1. Introduction ----- | 17 |
| 1.1 Introduction of SAR ----- | 18 |
| 1.2 JERS-1 SAR ----- | 22 |
| Chapter 2. Methodology ----- | 29 |
| 2.1 Hough Transform and Lineament Ananalysis ----- | 29 |
| 2.2 Intertidal Flat Analysis ----- | 32 |
| Chapter 3. Results ----- | 35 |
| 3.1 Summary of Data ----- | 35 |
| 3.2 Lineament Analysis ----- | 38 |
| 3.3 Intertidal Flat Analysis ----- | 49 |
| Chapter 4. Conclusions ----- | 61 |
| References ----- | 63 |
| Appendix 1.: Conventional Hough transform algorithm in C ----- | 67 |
| Appendix 2.: Hough transform algorithm in C using ray trace ----- | 73 |

List of Figures

| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 1.1 | The main elements of a SAR geometry ----- | 19 |
| Fig. 1.2 | The slant range and ground range ----- | 20 |
| Fig. 1.3 | Antenna beamwidth ----- | 21 |
| Fig. 2.1 | Coordinates used for image and parameter space ----- | 30 |
| Fig. 3.1 | JERS-1 SAR coverage over the Kyunggi Bay area ----- | 36 |
| Fig. 3.2 | JERS-1 SAR imagery over the study area ----- | 37 |
| Fig. 3.3 | Tidal changes ----- | 39 |
| Fig. 3.4 | VNIR image over the study area ----- | 40 |
| Fig. 3.5 | Test image used for directional analysis ----- | 42 |
| Fig. 3.6 | The result of directional analysis using a test data ----- | 43 |
| Fig. 3.7 | (a) SAR and (b) VNIR band 2 image used for directional analysis - | 44 |
| Fig. 3.8 | The result of directional analysis ----- | 46 |
| Fig. 3.9 | Difference between SAR and VNIR directional analysis result ----- | 48 |
| Fig. 3.10 | SAR image used for intertidal flat analysis ----- | 50 |
| Fig. 3.11 | VNIR band 2 image used for intertidal flat analysis ----- | 51 |
| Fig. 3.12 | SAR image showing three test areas ----- | 52 |
| Fig. 3.13 | Histogram of SAR image ----- | 56 |
| Fig. 3.14 | Histogram of VNIR band 2 image ----- | 57 |
| Fig. 3.15 | Combined histogram of three areas in SAR image ----- | 58 |
| Fig. 3.16 | Combined histogram of three area in VNIR band 2 image ----- | 59 |

List of Tables

| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1.1 Chronology of spaceborne SAR systems ----- | 23 |
| Tab. 1.2 Orbit specifications of JERS-1 ----- | 24 |
| Tab. 1.2 Specificaitons of JERS-1 SAR systems ----- | 25 |
| Tab. 1.3 Specifications of JERS-1 OPS systems ----- | 26 |
| Tab. 3.1 Parameters of lines in the Figure 3.5 ----- | 42 |
| Tab. 3.2 Statistics of JERS-1 SAR and VNIR band 2 ----- | 53 |

제 1 장 서 론

Synthetic Aperture Radar (SAR)의 지구과학연구에의 이용은 1978년 Seasat을 필두로 하여 본격화 되었으며, 특히 90년대 초 유럽공동체 위성인 ERS-1과 일본 자원탐사용 위성인 JERS-1 등으로 인해 그 활용도가 가속화되고 있다. SAR는 영상레이더로서 microwave를 이용한다. 따라서 Landsat TM이나 SPOT과 같은 지구관측용으로 널리 사용되고 있는 광학센서(Optic sensor)와는 달리 구름등의 기상상태 및 일광상태에 따른 관측시간에 거의 관계없이 관측이 가능하다는 장점을 갖고있다.

그러나 우리나라에서는 아직 SAR 자료를 이용한 지구과학적 연구가 극히 미비하여 그 활용도가 아직 초보적 단계에도 미치지 못하고 있는 실정이다. 본 연구는 1992년 2월 11일 발사되어 현재 계속 데이터를 수집중인 일본의 JERS-1 SAR 영상데이터를 이용하여 SAR 데이터의 해안지역에서의 지형 및 지질학적 연구에 대한 활용성 및 그 문제점을 주 연구 목적으로 하고있다.

본 연구에서는 1993년 5월 3일 11시 14분 경기만 일대에서 JERS-1 SAR로 얻어진 영상데이터를 사용하였다. 얻어진 SAR 영상자료를 이용하여 특히 경기만 일대 조간대에서의 SAR 영상의 특성을 분석하였다. 또한 JERS-1 SAR 영상자료에서 나타나는 선구조의 주성분방향을 분석하며 SAR의 방향성에 따른 선택적 영상증강효과(look-direction bias)를 분석하기위해 Hough transform을 이용하는 기술을 개발하였다. SAR 자료는 일반적으로 경사도, roughness, dielectric constant등 지표의 형태적 특성에 매우 민감하며 (MacDonald 1969), 지질학적 응용시 선구조 연구에 매우 효과적이다 (Harris 1984). 또한 해양에서의 SAR 영상자료는 해상의 파도를 잘보여주기 때문에 파도의 방향성 분석을 위한 많은 방법들이 개발되고 있다.

그러나 SAR 영상자료에 나타난 육상이나 해상의 선구조 해석시 radar look direction, incidence angle, 및 spatial resolution등을 고려해야한다(Harris 1984). 특

히 radar look direction은 선구조의 선택적 증강효과를 나타낼 수 있으며 일반적으로 radar look direction에 수직방향은 매우 강조되며 (Harris 1984), 반대로 이의 평행한 방향의 선구조는 잘 나타나지 않게된다 (Lowman et al. 1987). 따라서 SAR 영상에서 나타나는 선구조의 효과적인 주성분방향의 분석방법의 개발은 필수적이다. 본 연구에서 이용된 Hough transform은 Radon transform의 변형된 형태로 노이즈가 많은 데이터인 경우라도 선구조를 찾아내는데 매우 효과적이며 (Rosenfeld and Kak 1982), 따라서 “salt and pepper” 노이즈가 많은 JERS-1 SAR 데이터의 경우 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

1.1 SAR의 개요

그림 1.1은 일반적인 SAR의 데이터를 수집하는 기하학적 형태를 나타내는 모식도이다. 그림에서와 같이 antenna의 이동 방향을 along-track direction (혹은 azimuth direction)이라 하며, 이에 수직되는 방향을 ground range direction이라 한다. 수평면과 antenna의 중심 주사방향과 이루는 각을 look angle (혹은 off-nadir angle)이라하며, incidence angle은 radar beam과 지표면의 수직선과 이루는 각이다. 따라서 incidence angle은 look angle뿐만 아니라 지표면의 경사도에 따라 좌우된다. Along-track direction과 ground range direction과의 사잇각을 squint angle이라하며, 많은 위성용 SAR 시스템의 경우 squint angle은 90° 가 되도록 설계되고있다. Antenna와 지표의 각 반사체와의 거리를 나타내는 slant range는 앞서 설명한 ground range와는 구분되어 사용되며, 통상 range라 함은 slant range를 말한다. 그림 1.2는 slant range와 ground range의 차이를 보여주는 모식도이다.

지상의 영상자료를 얻기위해 radar가 이용된 것은 1950년대 초에 이르러 side-looking airborne radar (SLAR)가 개발되면서 본격화되었다. 초기의 SLAR는 real aperture radar (RAR)를 이용한 것으로, 초기 군사적 목적으로 개발이 시작된 SLAR는 1969년에는 상용화가 이루어져 주로 지질학적 용도에 많이 응용되었다 (Ulaby et al. 1981).

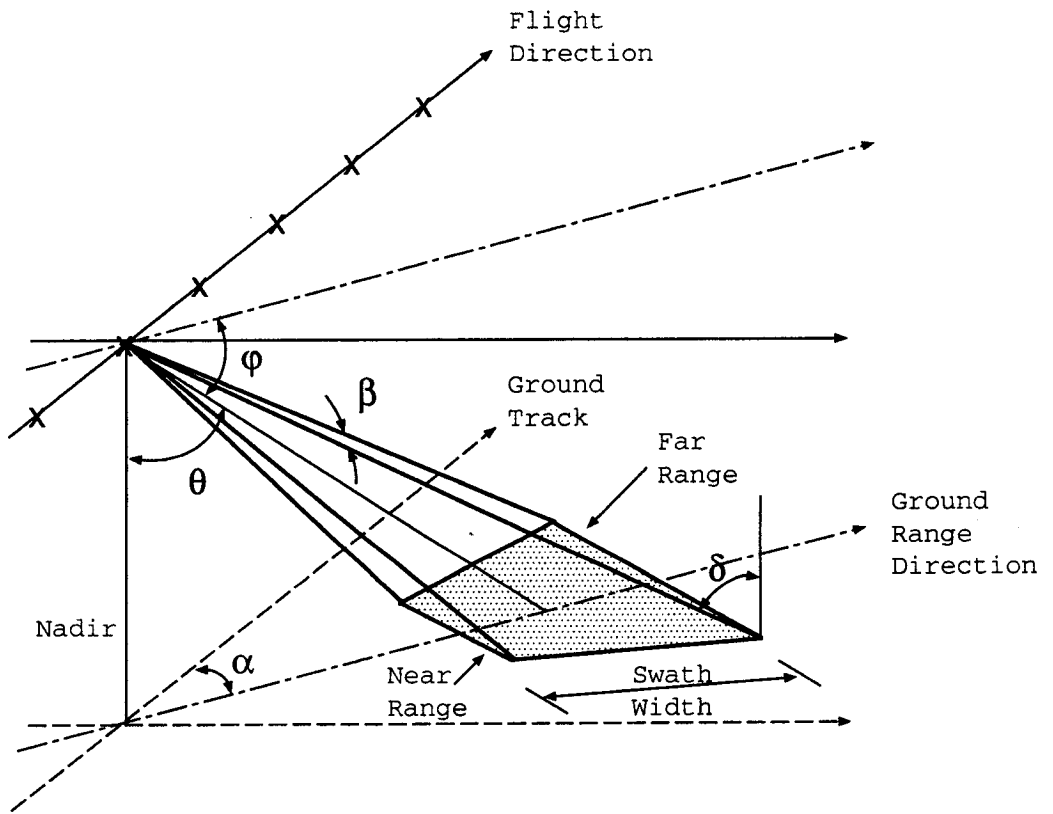


Figure 1.1 The main elements of a SAR geometry.

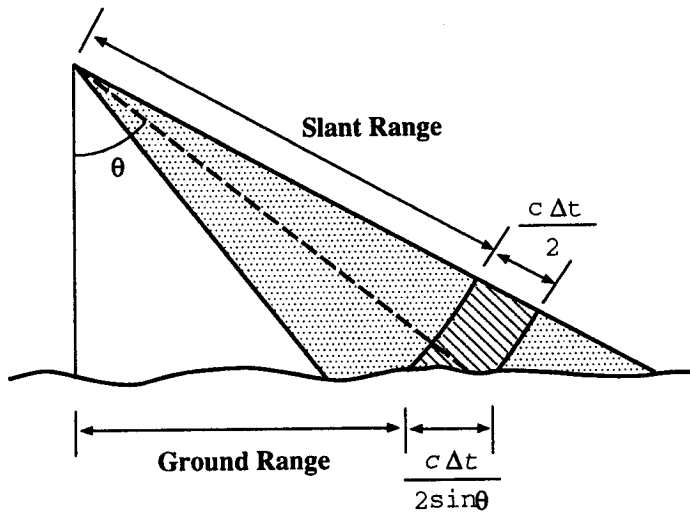


Figure 1.2 The slant range and ground range.

비록 RAR를 이용한 초기의 SLAR가 지구과학적 연구에 많은 공헌을 했으나, RAR의 경우 비행방향의 spatial resolution은 그림 1.3에서 모식적으로 보여주는 것과 같이 antenna의 half-power beam width에 비례하며 이는 결국 antenna의 길이에 반비례하게 된다. 따라서 RAR를 이용하여 고 해상도의 영상을 얻고자할때 antenna가 매우 길어야 하며 이에따라 전력공급의 증가가 필요하다. 예를 들면 250km 상공에서 25m의 해상도를 얻고자 할때 길이 약 2km antenna가 필요하게 된다. 이와같은 RAR의 문제점을 보완하여 짧은 antenna로도 고 해상도의 영상을 얻기위해 SAR의 개발이 이뤄졌다.

1952년 Goodyear Aircraft Co.의 C. Wiley가 75Mhz 주파수를 이용한 영상용 radar를 개발하여 "Doppler beam-sharpening system"이라 불렀다. 그러나 군사적인 이유로인해 이를 기술한 최초의 논문은 1962년에 이르러서야 비로서 Sherwin et al. (1962)에 의해 출간된다. 이와는 독립적으로 University of Illinois의 연구진들이 1953년 airborne X-band pulsed radar가 개발하며 (Brown et al. 1969), 이후 이 연구는 1956년 University of Michigan으로 이양된다 (Ulaby et al. 1981). 최초의 실용용 SAR는 AN/APQ-102로 X-band (3cm)

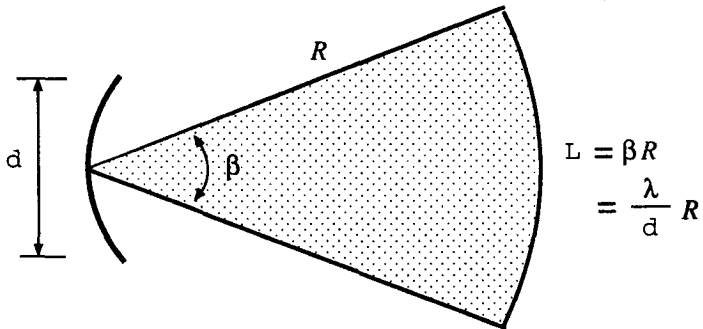


Figure 1.3 Schematic configuration of antenna beamwidth.

H-polarization의 EM-wave를 이용하였다 (Moore 1983). 1969년 SAR는 상업용으로 개발되어 Panama 일대의 지질조사에 주로 사용되었다 (MacDonald 1969).

미국의 Seasat은 최초의 SAR를 탑재한 인공위성 시스템으로 1978년 발사되어 약 100일간의 운행 후 전력공급의 실패로 소실되었다. Seasat이 사용한 SAR는 L-band (23.5cm) HH-polarization을 이용하였고, look angle 은 20.5° 이다 (Jordan 1980). 이후 1981년과 1984년 인공위성 대신 우주왕복선을 이용하여 Shuttle Imaging Radar-A (SIR-A) 및 SIR-B SAR 실험이 미국 NASA에 의해 계속되었다. SIR-A와 SIR-B는 Seasat과 같은 L-band를 사용했지만 지질학적 응용을 위해 look angle을 좀더 크게하거나 혹은 조절이 가능하도록 설계되었다. 1990년대에는 미국의 금성 연구를 위한 Magellan, 유럽의 해양연구용 위성인 ERS-1, 일본의 자원탐사용 위성 JERS-1 등이 현재 SAR를 탑재하고 있으며, 앞으로 SIR-C/X-SAR, ERS-2, RADARSAT, CASSINI/TITAN 등을 이용한 SAR 실험이 계획되어 있다. 현재 airborne SAR 시스템은 미국, 캐나다, 덴마크, 스웨덴 등 여러 나라에서 연구용으로 활용되고 있다. 도표 1.1은 인공위성 및 우주왕복선에 탑재된 SAR 시스템들을 연대표이다.



1.2 JERS-1 SAR

JERS-1는 일본 Ministry of International Trade and Industry (MITI)/National Space Development Agency of Japan (NASDA)가 개발한 자원탐사용 인공위성으로 SAR와 OPS(Optical sensors)를 탑재하여 약 2년간 운영을 목표로하여 1992년 2월 11일 발사되었다. JERS-1의 주 목적은 SAR 및 OPS 자료의 지질학적 이용이며, 이외에도 국토이용, 농사정보, 산림 및 환경감시, 해안지역 관측등에 많은 도움을 줄 것으로 예상된다. JERS-1 궤도에 관한 정보는 표 1.2에 요약되어있다. JERS-1의 평균고도는 도표에서와 같이 약 568 km로서 이는 Seasat이나 ERS-1 등 많은 지구관측용 위성들의 평균고도 약 800 km 보다 낮게 설계되어있다. Recurrent Period는 44일로 극지역을 제외한 모든 지표면을 44일 간격으로 연속관측한다.

JERS-1 SAR는 L-band HH-polarization EM-wave를 이용하여 고 해상도의 지표영상을 얻고있다. JERS-1 SAR에 대한 정보는 도표 1.3에 요약되어있다. JERS-1 SAR의 look angle은 35° 로서 이는 지질구조를 강조하기 위해 Seasat (20.5°) 이나 ERS-1 (23°) 보다 크게 설계되어있다.

Radar swathwidth는 약 75 km이며 3 look summation 후 18 x 18 m의 해상도를 갖는다. SAR는 현재 한 궤도당 최대 20분 이내로 데이터 수집이 가능하다 (Nemoto et al. 1991). 현재까지 나타난 JERS-1 SAR의 최대 문제점은 azimuth antenna pattern이 설계된 출력 (1.3 kw)에서는 side-lobe의 증가로 질이저하되며 ambiguity level도 예상보다 높아 "ghost" 현상이 나타난다 (Nemoto 1993, Shimada 1993). 이러한 "ghost" 현상을 줄이기 위해 현재 송출전력을 적정전력의 약 1/4인 325 w로 줄여서 사용하고 있다 (Nemoto 1993). 이와같이 약한 송출신호는 특히 해상에서의 약한 backscattered signal로 인해 JERS-1 SAR의 해상도 영상은 예상보다 좋지못한 결과를 내고있다.

Table 1.1 Chronological summary of spaceborne SAR systems
(Li and Raney 1991).

| Launch Date | Mission | Country |
|----------------|--------------------------|--------------------------|
| July 1978 | SEASAT | U. S. A. |
| November 1981 | SIR-A | U. S. A. |
| September 1983 | Kosmos-1500 (RAR) | U. S. S. R. |
| October 1984 | SIR-B | U. S. A. |
| July 1987 | Kosmos-1870 (Almaz I) | U. S. S. R. |
| August 1990 | MAGELLAN | U. S. A. |
| July 1991 | ERS-1 | Europe (14 countries) |
| March 1991 | Almaz II | U. S. S. R. |
| February 1992 | JERS-1 | Japan |
| 1994 (?) | SIR-C/X-SAR | U. S. A. |
| 1994 (?) | ERS-2 | Europe |
| 1994 (?) | RADARSAT | Canada |
| 1995 (?) | CASSINI/TITAN | U. S. A. |

JERS-1은 SAR와 함께 Optical Sensors (OPS)를 탑재하고 있다. JERS-1 OPS는 두개의 sensor로 이뤄져있으며 일곱개의 spectral band를 기록한다. 즉 Visible and Near-Infrared Radiometer (VNIR)과 Short Wavelength Infrared Radiometer (SWIR) 이다 (MITI/NASDA 1990). 각 spectral band는 4096개 단위체가 선형배열된 charge coupled device (CCD)에 의해 측정된다. JERS-1 OPS에 대한 정보의 표 1.4에 요약되어 있다.

OPS의 VNIR에 의해 얻어지는 band 1, 2, 3은 각각 Landsat TM의 spectral band 2 (0.52-0.60 μm), band 3 (0.63-0.69 μm), 및 band 4 (0.76-0.90 μm)와 유사하다. OPS의 band 4는 band 3와 같은 spectral range를 이용하며 forward view (다른 모든 band는 nadir view)로서, band 3와 band 4를 이용하여 stereoscopic 영상을 만들수 있다. 또한 SWIR의 네개의 spectral band는 Landsat TM의 band 5 (1.55-1.75 μm) 및 7 (2.08-2.35 μm)와 유사한 파장대를 이용하고 있다. 해상도는 약 18 x 24 m 이며 swath width 는 SAR와 같이 75 km 이다.

Table 1.2 Orbit specifications of JERS-1 (Nemoto et. al. 1991).

| | |
|-------------------|--------------------------------------------|
| Orbit | Syn Synchronous Subrecurrent |
| Altitude | 568 km (nominal) |
| Inclination | 97.7 degrees |
| Revolution/day | 15.25 times |
| Revolution Period | 94.146 minutes |
| Recurrent Period | 44 days |
| Local Mean Time | 10:30 - 11:00 a.m. (at descending node) |

Table 1.3 Specifications of JERS-1 SAR systems (Nemoto et. al. 1991).

| | |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Antenna Size | 11.9 x 2.2 m |
| Frequency | 1275 MHz (L-band, 23.5 cm) |
| Polarization | HH |
| Bandwidth | 15 MHz |
| Pulsewidth | 35 μ sec |
| Look Angle | 35 degrees |
| Swath Width | 75 km |
| Noise equivalent backscattering coef. | - 25.5 dB |
| Power | 1.3 kw peak |
| PRF (selectable) | 1505.8, 1530.1, 1555.2, 1581.1, 1606.0 (nominal) |
| Ground Resolution | 18 x 18 m (3 look) |
| Quantization | 3 bits |

Table 1.4 Characteristics of OPS on JERS-1 (MITI/NASDA 1990).

| | |
|-------------------|-----------------------------------------------------|
| VNIR | Band 1: 0.52 - 0.60 μm |
| | Band 2: 0.63 - 0.69 μm |
| | Band 3: 0.76 - 0.86 μm |
| | Band 4: 0.76 - 0.86 μm (forward view) |
| SWIR | Band 5: 1.60 - 1.71 μm |
| | Band 6: 2.01 - 2.12 μm |
| | Band 7: 2.13 - 2.25 μm |
| | Band 8: 2.27 - 2.40 μm |
| View Angle | 7.55 degrees |
| Stereo Angle | 15.3 degrees |
| Ground Resolution | 18.3 x 24.2 m |
| Swath width | 75 km |
| Digitization | 6 bits |

현재 보고된 JERS-1 OPS 영상의 문제점들은 VNIR 영상의 미약한 수평의 선형 노이즈와 SWIR의 수직의 선형 노이즈이다 (Ono 1993). VNIR 영상에서 나타나는 수평 선형의 노이즈는 약 100 Hz의 주기를 갖으며 약 2 내지 3 DN (Digital Number)의 차를 나타낸다. 이에대한 원인으로는 전력공급의 이상에 의한 것으로 생각되고 있으며, 지상에서 차후 보정시 큰 어려움은 없다. 그러나 SWIR 영상에서 나타나는 수직의 선형 노이즈 경우는 소위 “delayed response of CCD” 현상이라고 불리는 기계적인 문제점으로 현재 특별한 보정법이 없는 상황이다 (Ono 1993).

JERS-1 영상의 위치는 1-659 의 범위를 갖는 PATH 번호와 144-499의 범위 갖는 ROW 번호로 이뤄진 Ground Reference System (GRS)로 정의되며 위·경도좌표계로 부터 JERS-1의 GRS로의 환산법 및 이의 program은 Moon et al. (1990)에 기술되어있다.

제 2 장 연구 방법

2.1 Hough Transform 및 선형구조 분석

SAR 영상을 이용한 선형구조의 분석은 꾸준히 연구되어 왔으며, 특히 MacDonald (1969) 는 SAR의 응용초기 airborne X-band SAR의 연구결과를 이용하여 해석방법 및 유의사항을 자세히 기술하고 있다. Harris (1984) 는 Seasat SAR 영상자료와 Landsat MSS 자료를 육안분석과 rose diagram 통하여 얻어진 결과로부터 Seasat SAR 영상에서 더 많은 선형구조에 대한 정보를 얻을수 있음을 보여주었다. 일반적인 위성자료에서의 선형구조의 증감 및 분석을 위해 directional derivatives가 흔히 사용되며, 이러한 예는 Moore (1983), Masuoka et. al (1988) 등에서 찾아볼 수 있다. 또한 위성자료에 나타난 각 각의 선구조를 육안분석이 아닌 Hough transform을 이용한 자동분석으로 쉽게 찾기위한 방법을 Wang and Howarth (1989)가 제안 하였다.

본 연구에서는 SAR 영상에 나타난 선형구조의 주방향을 찾기위해 Hough transform을 이용하는 방법을 개발하였다. 위성자료의 지질학적 활용을 위해 영상에 나타난 개별적인 선형구조의 분석도 중요하나, 지질구조의 방향성과 연관되는 뚜렷한 선형구조의 주방향성을 쉽고 빠르게 구할 수 있는 방법의 개발도 매우 중요하다. 이와같은 선형구조의 주방향성 분석은 SAR 영상자료를 이용한 해양에서의 파도방향의 분석에도 적용될 수 있다. 즉 해양에서 얻어진 SAR 영상자료에서의 파도의 주방향성은 Fourier transform을 통한 wavenumber domain 에서의 분석을 통해 주로 구해지나, Hough transform은 random 노이즈가 많은 영상에서도 쉽게 선형분석을 할수 있는 장점이 있어 salt and pepper 노이즈가 많은 SAR 영상에서의 파도방향 분석에 활용될 수 있을것으로 기대된다. 또한 Hough transform을 이용한 선형구조의 주방향성 분석은 앞절에서 설명된 antenna look direction에 따른 SAR 영상에서의 선형구조의 선택적 증감효과를 알아내는데도 도움이된다.

Hough transform은 영상에서 선구조를 쉽고 빠르게 찾고자 Hough (1962) 가 절편과 경사도를 이용한 변환을 제안하였으며, 이는 Radon transform의 한 변형된 형태를 갖는다. Duda and Hart (1972) 는 컴퓨터를 이용한 계산시 계산의 효율을 높이고자 절편과 경사도 대신 그림 2.1에서와 같이 (θ, ρ) 를 이용하는 Hough transform을 제안 하였고, 이 방법이 현재까지 널리 사용되고 있다. 즉 그림 2.1에서 직선상의 모든점들은 Hough transform을 통해 그 직선에 대응되는 θ 와 ρ 의 한점으로 변환된다. 이때의 Hough transform의 변환식은 다음과 같다.

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \tag{1.1}$$

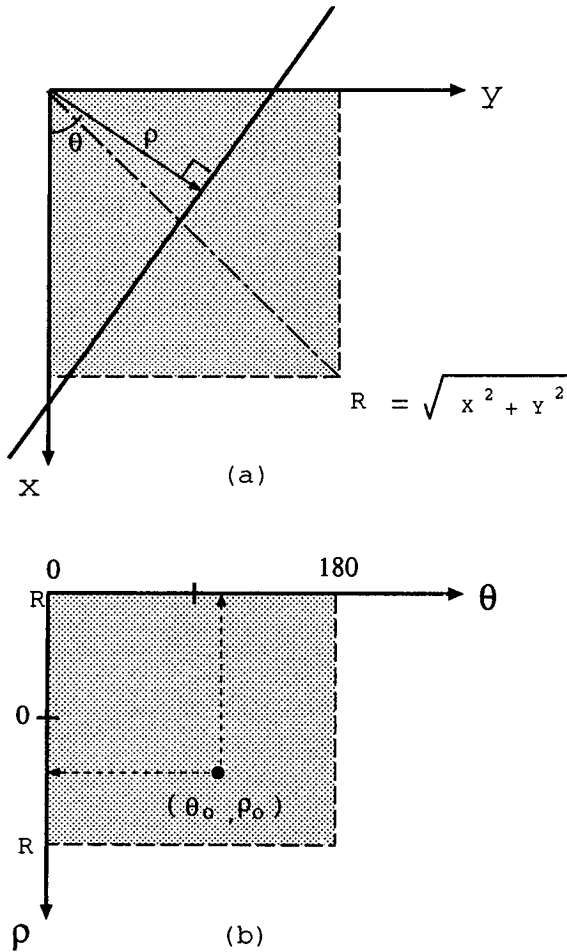


Figure 2.1 Coordinates used for image and parameter space (or Hough space).

따라서 영상의 한 직선이 비록 노이즈에 의해 구별이 뚜렷하지 못하더라도 이 직선상의 모든점들이 Hough space (혹은 parameter space) 에서는 한 점에 집중되어 증강되므로 쉽게 구별할 수 있게된다. Hough transform의 특징은 다음과 같이 요약된다: 1) 영상에서의 한점을 parameter plane에서는 한개의 sinusoidal curve로 변환된다; 2) parameter plane상의 한점은 영상에서는 한 직선에 해당된다; 3) 영상에서 한 직선상의 모든점들에 대응되는 parameter plane 상에서의 곡선들은 한개의 공유점을 지나게된다; 4) parameter plane에서 한 sinusoidal curve상의 모든 점들은 영상에서는 공유점을 지나는 직선이 된다. (Duda and Hart 1972)

Duda and Hart가 제안한 Hough transform은 영상에서의 각 pixel (x_i, y_i) 의 DN 값들을 parameter space에서 식 (1.1)의 곡선을 따라 더해주면된다. 이때 θ 와 ρ 의 범위는 각각 $0 \leq \theta < \pi$ 및 $-R \leq \rho \leq R$ 로하며, 이때 R은 원점으로 부터 영상의 맞은편 모서리까지의 최대거리이다. 이와같은 algorithm을 이용하여 C language로 짜여진 프로그램이 부록 1에 수록되어 있다. 이 방법은 식 (1.1)을 이용한 삼각함수 계산을 사용하지만, 상기의 Hough transform 특성 2)를 이용하면 삼각함수 계산없이 좀더 효율적인 algorithm을 개발할 수 있다. 즉 parameter space의 한점은 영상에서의 한 직선에 대응되므로 영상에서 해당되는 직선상의 DN 값들을 찾아 더해주면된다. 이와같은 방법을 통하여 삼각함수의 곱셈계산을 제외시킬 수 있기 때문에 컴퓨터를 이용한 계산시 효율을 높일 수 있다. 이 방법을 이용한 C language로 짜여진 프로그램은 부록 2에 수록되어 있다. 본 연구는 Hough transform 자체계산 algorithm 개발에 중점을 둔 것은 아니므로 새로운 algorithm에 대한 자세한 설명은 생략한다. 단 한가지 더 첨가해서 설명할 내용은 Hough transform 시 SAR 영상에서 종종 선구조는 높은 DN 값 뿐만 아니라 매우 낮은 DN 값의 연속으로 나타나기도 한다. 따라서 Hough transform 시 원래의 DN 값을 사용하기 보다는 영상에서의 평균값을 구해 각 DN값에서 평균값을 빼준후 계산하게 된다.

다음은 Hough transform을 이용한 본 연구의 일부로 개발된 선형구조의 주방향성 분석법에 대해 설명하겠다. 영상의 DN 값을 이용하여 Hough transform을

하면 parameter plane 상의 값을 얻게된다. 일반적으로 각 각의 선형구조를 찾기 위해서는 parameter space 상에서 최대치의 값을 갖는 (θ, ρ) 를 찾아냄으로서 선형구조의 방향과 원점으로 부터의 거리를 알아 낼수 있다. 그러나 이와같은 방법으로 구한 정보는 선형구조의 방향과 원점으로 부터의 거리는 알 수 있으나, 선형구조의 양 끝점 및 총 길이에 대한 정보는 구할수 없다. 개별적인 선형구조의 좀더 정확한 위치를 구하는 법에 대해서는 Wang and Howarth (1989)가 개발한 바 있다. 그러나 본 연구에서는 각 각의 선형구조를 찾는 것 보다는 선형구조의 주방향성을 구하는 데 그 목적이 있다. 이를 위해서는 각 방향에 대한 (즉 θ 에 대한) 뚜렷한 선형구조의 분포를 비교하여야 한다. Parameter space에서 같은 column (즉 고정된 θ)은 방향성은 같고 원점으로 부터 반경이 다른 직선들을 나타낸다. 따라서 한 column의 데이터 중에서 최대치와 최소치는 이 방향의 가장 뚜렷한 선형구조를 나타낸다. 한 column에서의 최대치와 최소치를 구할때 몇 개의 raw에 걸쳐 (본 연구에서는 4 개 raw 사용) 평균을 낸 후 비교하여 구한다. 이와같은 방법으로 각 column (즉 각 고정된 θ)에서 구한 최대치와 최소치의 θ 에 대한 변화를 분석하면 영상내에서 가장 뚜렷한 선형구조의 주방향성을 쉽게 구할수 있다. 이와같은 방법을 실험용 SAR 영상자료에 적용한 결과는 다음 장에서 설명되고 있다.

2.2 조건대 분석법

SAR 영상은 육상의 경우 산란체의 경사정도, 표면의 roughness, 및 물체의 dielectric characteristics 등에 좌우된다. 반면 해상에서의 SAR 영상화는 해수면의 tilting, hydrodynamic modulation, velocity bunching, 및 smearing 효과 등에 크게 영향을 받는다 (Hasselmann et. al. 1985). 그러나 조건대에 대한 SAR 영상의 특성분석에 대해서는 거의 기술된바 없다.

조건대는 일반 육상지형과는 다른 특이한 구조를 나타낸다. 즉 표면의 경사도가 적은 평탄한 지형을 갖으며 표면의 roughness도 비교적 낮으며 수목의 발달이 거의없는 특징을 갖는다. 또한 조건대 내에는 일반적으로 소규모의 channel 들이

많이 발달하고 있다. 따라서 radar backscattering이 다른 육상구조에 비해 적게 일어날 것으로 예상되며, 결국 SAR 영상에서는 주변육상구조에 비해 낮은 gray level로 나타날 것으로 예상된다. 또한 주변의 육상구조는 다양한 구조와 표면 조직을 갖기때문에 위치에 따른 다양한 backscattering이 일어나지만, 조간대에서 균일한 경사도와 비교적 고른 표면의 roughness에 의해 비교적 균질한 radar backscattering의 특성을 갖을 것으로 예상된다. 그러나 조간대 상에 발달하고 있는 소규모의 channel들은 사면의 경사도가 주변의 평탄한 지형보다 크며 또한 침식에 의해 표면의 roughness도 비교적 높아 antenna look direction과의 상대적 방향성에 따라 강한 backscattering을 일으킬 수 있다. 따라서 조간대상의 channel들은 SAR 영상에서 mapping이 가능하리라 기대된다. 반면 주변의 해수의 경우 파고가 비교적 낮을 경우 표면에서의 microwave는 대부분 반사와 흡수가 되므로, 조간대보다도 더 적은 backscattering이 일어날 것으로 예상된다. 따라서 SAR 영상에서의 조간대는 주변의 육상구조보다는 낮은 DN 값으로 표현되며 반대로 해수보다는 높은 DN 값을 나타낼 것으로 예상된다. 또한 조간대 내에 분포하는 channel의 경우는 주변의 평탄한 구조보다 강한 backscattering에 의해 비교적 높은 DN 값을 갖을 것으로 예상할 수 있다.

이와같이 SAR에 의한 조간대 지형 및 지질구조연구의 초기 단계로서 SAR 영상에서 표현되는 조간대의 지역의 DN 값의 주변 구조에 대한 상대적 차이에 대한 통계학적 분석과 histogram을 이용한 gray level의 분포를 비교 분석하는 것이 중요할 것으로 사료된다. 이에따라 본 연구에서는 조간대의 지형 및 표면특성에 의해 예상될수 있는 radar backscattering의 특징과 실제 JERS-1 SAR 영상에서 표현되는 조간대의 특징을 육안 분석하며, 또한 JERS-1 SAR 영상에서의 조간대 특성을 동일지역에서 optic sensors를 이용해 얻은 JERS-1 OPS 자료와도 비교분석하고자 한다. 이와 같은 정성적 분석과 더불어 JERS-1 SAR 영상에 나타나는 조간대와 주변 육상 및 해양과의 정량적인 gray level의 통계학적 분석 및 histogram을 이용한 분석을 통하여 SAR에 의한 조간대의 지형 및 지질구조와 주변구조와의 구분 및 분석가능성 여부를 밝히고자한다. 본 연구에 사용될 원격탐사 자료로 부터의 평균 (mean), 분산 (variance), 표준편차(standard deviation) 및 hitogram 등의 계산법은 일반적으로 원격탐사 자료분석에 널리사용되고 있으며 자세한 과정은 Jensen (1986) 등에서 쉽게 찾아 볼 수 있다.

3. 연구 결과

3.1 연구자료 요약

본 연구에서는 경기만 일대에서 1993년 5월 3일 11시 14분경 JERS-1 SAR 시스템에 의해 얻은 SAR 영상 (PATH 89, ROW 238) 이 주로 사용되었으며, 같은 지역에서 1993년 3월 29일 11시 33분경 얻은 JERS-1 OPS중 VNIR 영상자료도 조간대 분석시 SAR 자료와 비교분석을 위해 사용되었다. JERS-1의 PATH 89, ROW 238로 얻은 SAR 및 OPS 영상이 나타내는 범위는 그림 3.1에서 보는바와 같다. 본 연구에 사용된 SAR 영상자료는 SAR verification program의 일환으로 한국해양경찰청과 한국해양연구소가 일본 MITI/NASDA로 부터 제공받은 것이다.

SAR 영상자료는 일본 NASDA에서 dechirp technique을 응용한 range compression과 azimuth compression을 각각 1-dimensional correlation을 통해 성취하는 signal processing을 거쳐 level 2.0인 상태로 제공받았으며, 각 pixel의 amplitude는 15 bits를 이용한 gray level로 (즉 0 - 32767 사이의 값) 기록되어 있다. 아쉽게도 complex형 (즉 I/Q 형태)의 데이터가 아니므로 phase information은 구할 수 없었다. SAR 영상자료의 spatial resolution은 18 x 18 m이며 일반적인 JERS-1 SAR의 특성은 표 1.3에서와 같다. 그림 3.2는 본 연구에 사용된 JERS-1 SAR 영상을 (2000 x 2000 pixel) 해양연구소가 보유하고 있는 IVAS 600 영상처리 시스템을 이용하여 median filtering을 한 후 Laser Printer (300 dpi)를 사용하여 인쇄한 것이다. 비록 앞 장에서 설명한 바와 같이 JERS-1의 SAR 시스템은 현재 원래 필요한 전력의 1/4 만을 공급받으면서 운용되고 있어 해수면에서의 약한 backscattering에 의한 signal은 매우 미약하여 해수면에서 나타나는 파도에 의한 구조는 식별이 어려우나 선박의 위치들은 뚜렷이 감식되며, 육상의 구조물에 대한 영상은 특히 잘 나타나고 있다. 일반적으로 SAR 영상에서 흔히 볼 수 있는 "salt and pepper" 노이즈를 줄이기 위해 3 x 3 median filter 를

SAR Coverage

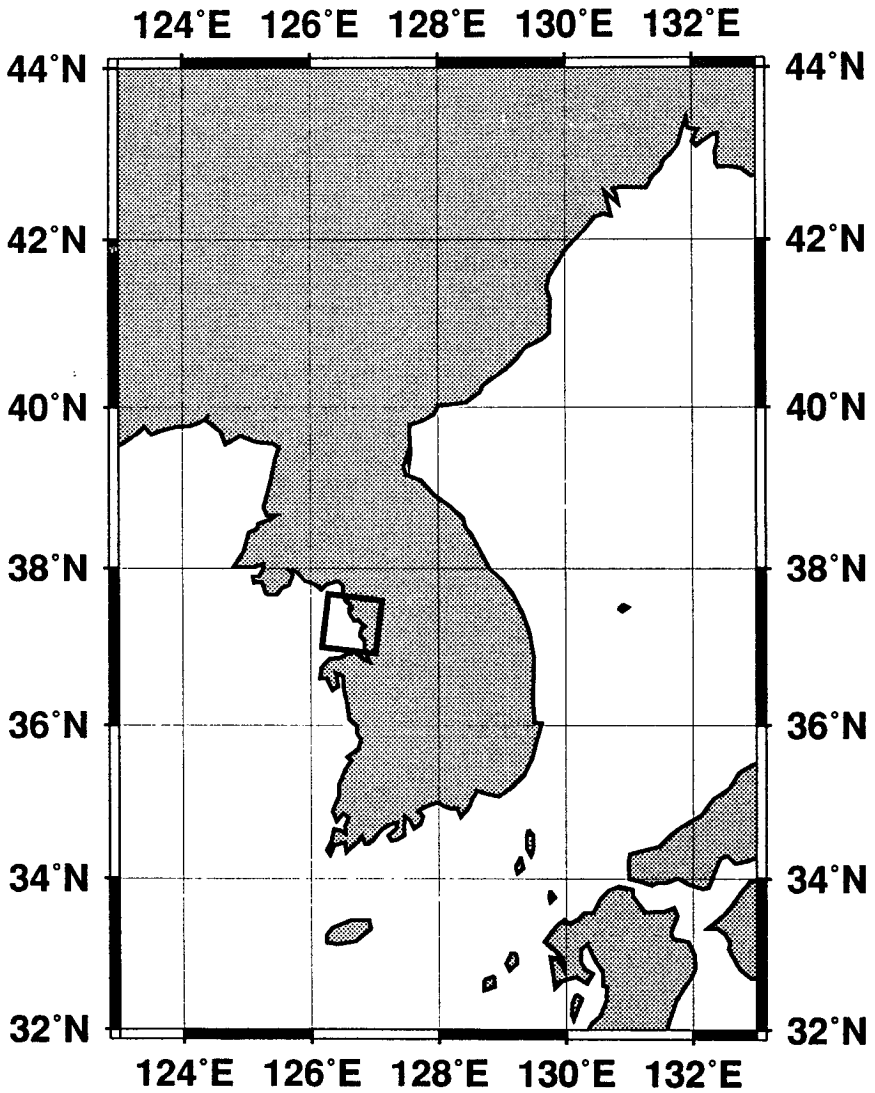


Figure 3.1 JERS-1 SAR coverage over the Kyunggi Bay area.

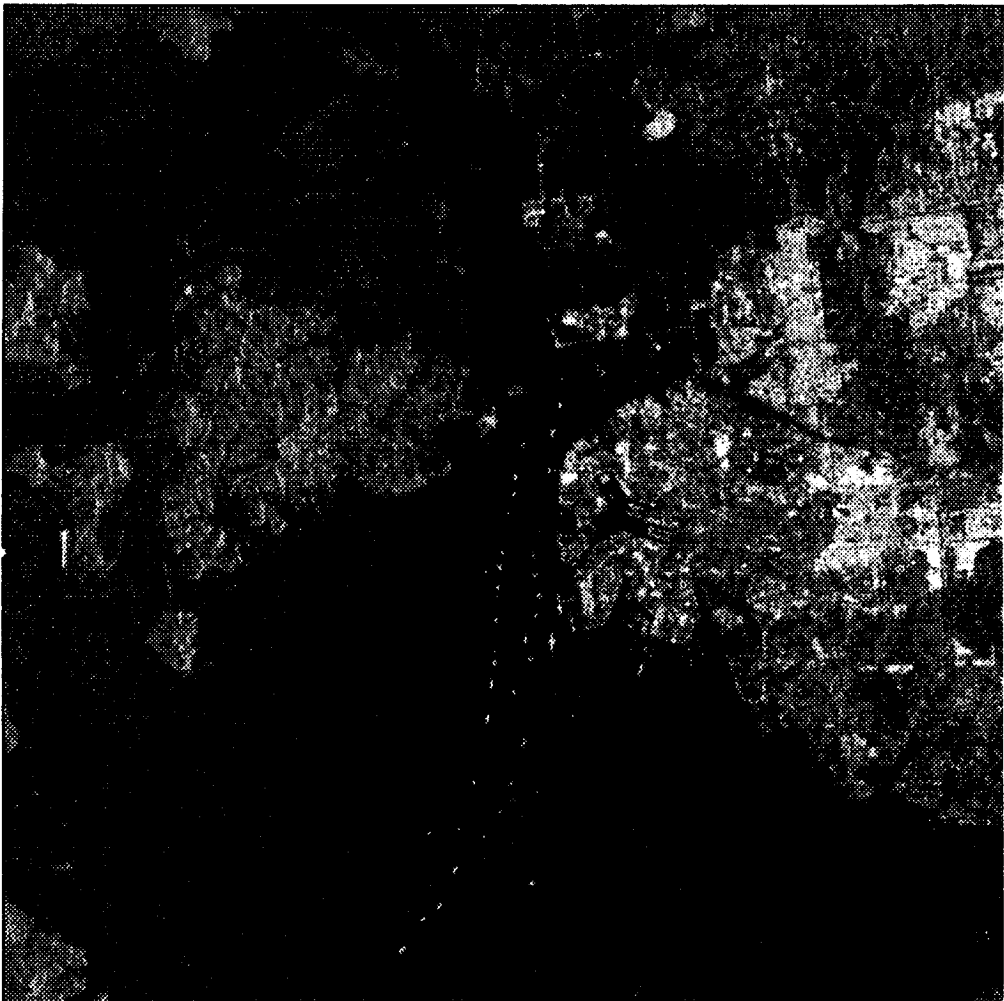


Figure 3.2 JERS-1 SAR imagery over the study area.

사용하였으므로 영상이 전체적으로 원래의 영상에 비해 약간의 blurring이 일어났음을 유의하여야 한다. 본 연구에 사용된 JERS-1 SAR 데이터가 얻어진 당시인 1993년 5월 3일 인천에서의 조석변화가 그림 3.3에 실선으로 나타나있다. SAR 자료가 얻어질때인 11시 경의 해수면은 약 3.8 m로 9시의 간조와 (1.70 m) 오후 3시경의 만조 (7.67 m) 사이의 창조시이다.

조간대 분석을 위한 SAR 영상자료와 비교분석을 위해 사용된 JERS-1 VNIR 영상자료는 그림 3.4에서 보는 바와같다. 그림 3.4에서 VNIR의 band 1은 파란색, band 2는 초록색, band 3은 빨강색을 이용하여 나타내었다. JERS-1의 VNIR은 일본 NASDA에서 level 2.0 상태로 보정 및 영상처리되었으며, 한국해양연구소에서는 IVAS 600 시스템을 이용하여 histogram 보정을 실시한 후 Versatec Electrostatic Color Plotter를 이용하여 그림 3.4의 영상을 얻을 수 있었다. JERS-1의 OPS 영상자료는 보통 25 x 25 m의 spatial resolution과 18 x 18 m의 spatial resolution을 같은 두 종류로 공급되며, 본 연구에서 사용된 자료는 25 x 25 m의 spatial resolution을 같은 level 2.0의 자료를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 JERS-1 OPS 자료가 얻어진 1993년 3월 29일 인천에서의 조석변화는 그림 3.3에 점선으로 표시되어 있다. 인공위성 자료를 기록한 11시경에는 5.69 m 를 나타내고 있으며, 이는 오전 8시를 만조 (7.93 m) 로 하여 오후 3시의 간조 (1.94 m)를 이루는 창조시이다. 따라서 JERS-1 SAR 영상이 기록시의 해수면이 JERS-1 OPS 영상자료의 기록시 보다 해수면이 낮아 좀더 넓은범위의 조간대 해수면 위로 드러내고 있었음을 예상할 수 있다. JERS-1 OPS 시스템의 일반적인 특징은 도표 1.3에 요약되어 있다.

3.2 선형구조 분석

선형구조 분석은 앞절에서 설명한 바와 같이 본 연구에서 개발된 Hough transform을 이용한 선형구조분석방법으로 선구조의 주방향성을 찾는데의 적용 가능성 여부를 분석하는데 중점을 두었다.

Tidal Changes

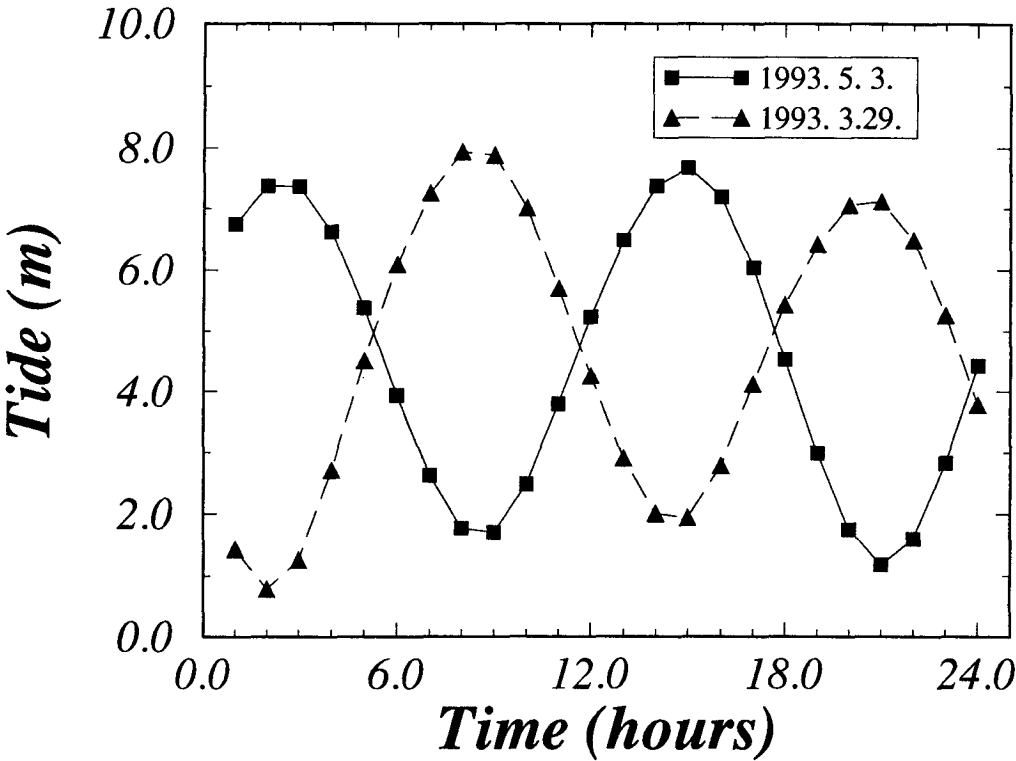


Figure 3.3 Tidal changes on March 29th 1994 (dashed line) and May 5th 1994 (solid line).



The Kyunggi Bay, VNIR, 1993.3.29.
This JERS-1 VNIR image covers the Kyunggi Bay area.

0 2 km (1:100,000)



Figure 3.4 VNIR image over the study area.

실제 JERS-1 자료를 이용한 선구조 분석에 앞서 새로 개발된 방법의 적용가능성을 알기위해 그림 3.5에서 보는바와 같은 자료를 (256 x 256 pixel) 사용하여 실험을 실시하였다. 그림 3.5에 나타나있는 두직선에 대한 정보는 표 3.1에 요약되어 있다. 새로 개발된 선형구조 분석방법을 그림 3.5에 나타난 영상에 적용한 결과는 그림 3.6에 있다. 그림 3.6에서 직선으로 나타난 결과는 일반적인 부록 1.에 수록된 algorithm을 이용하여 Hough transform을 10° 간격으로 실시한 후 앞에서 설명한 바와 같이 4개의 pixel마다 평균을 구하여 theta에 따른 변화를 분석한 것이며, 점선은 부록 2.에 수록된 Hough transform algorithm을 이용하여 유사한 방법으로 얻은 결과이다. 앞서 설명한 바와 같이 Hough transform algorithm 자체가 본 연구의 주요목적이 아니므로 두 algorithm의 차이점에 대한 자세한 설명은 피하고자한다. 다만 두 결과 모두 그림 3.6에서와 같이 그림 3.5에 나타나고 있는 두 직선 (theta 값 20° 과 160°)의 정확한 방향성을 나타내는 theta에서 최대진폭을 나타낸다. 따라서 본 연구에서 개발된 선구조의 주방향성 분석법은 선구조의 뚜렷한 주방향성을 찾는 데 매우 효과적임을 알 수 있다.

선형분석 실험에 사용된 JERS-1 SAR (512 x 512 pixel) 및 VNIR band 2 영상자료 (368 x 368 pixel) 는 각각 그림 3.7 (a) 와 (b) 에 나타내었다. 이 지역은 인천항의 북쪽지역으로 새로개간된 지역임을 그림 3.4에서 쉽게 볼 수 있다. 새로 개간된 논은 바둑판 형태의 직사각형으로 표현되면서 직선의 선구조가 거의 직교하면서 잘 발달되고 있다. 비록 논두렁은 그 높이가 인공 구조물들에 비해서는 그리 높지는 못하나, 거의 수직의 사면으로 강한 radar backscattering을 만드는 "corner reflector"로서의 역할을 충분히 할수 있는 것으로 생각된다. 또한 개간된 지역의 서쪽에서 방조제로 생각되는 선형의 구조물이 보이며, 이러한 인공 구조물들도 corner reflector로서 뚜렷한 선형구조를 보여준다. 이 두 영상자료에 본 연구에서 개발된 선형구조 주방향 분석방법을 적용한 결과는 그림 3.8에 보여주고 있다. 그림 3.8에서 실선은 SAR 영상자료 (그림 3.7 (a)) 에 선형구조 분석방법을 적용하여 얻은 결과이며, 점선은 VNIR 자료 (그림 3.7 (b)) 를 이용하여 얻은 결과이다. 우선 JERS-1 SAR 영상에서 얻어진 선형구조의 주방향성은 theta가 80° 에서 110° 사이에 가장 높은 진폭을 나타내며, 130° 주변에서 최저 진폭을 갖는다. 또한 30° 에서도 비교적 낮은 진폭을 갖고 있음을 알 수 있으며, 60° 이하에서는 10° 주변에서 가장 큰 진폭을 보이고 있다. 이를 종합하여 보면

Table 3.1 Parameters of the lines in the Figure 3.5.

| | Theta | Interception pixel No. (x-axis) | DN Value |
|--------|-------|---------------------------------|----------|
| Line 1 | 20° | 170 | 255 |
| Lien 2 | 160° | 125 | 255 |

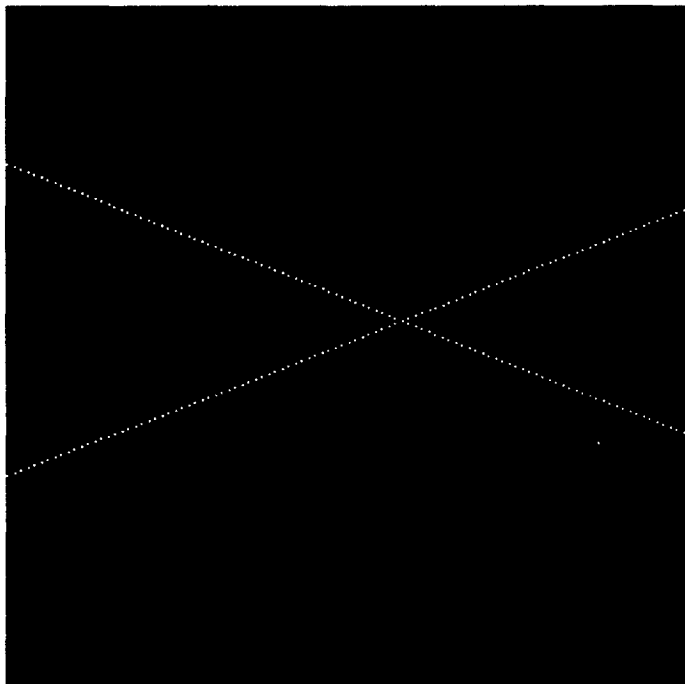


Figure 3.5 A test image used for directional analysis.

Directional Analysis

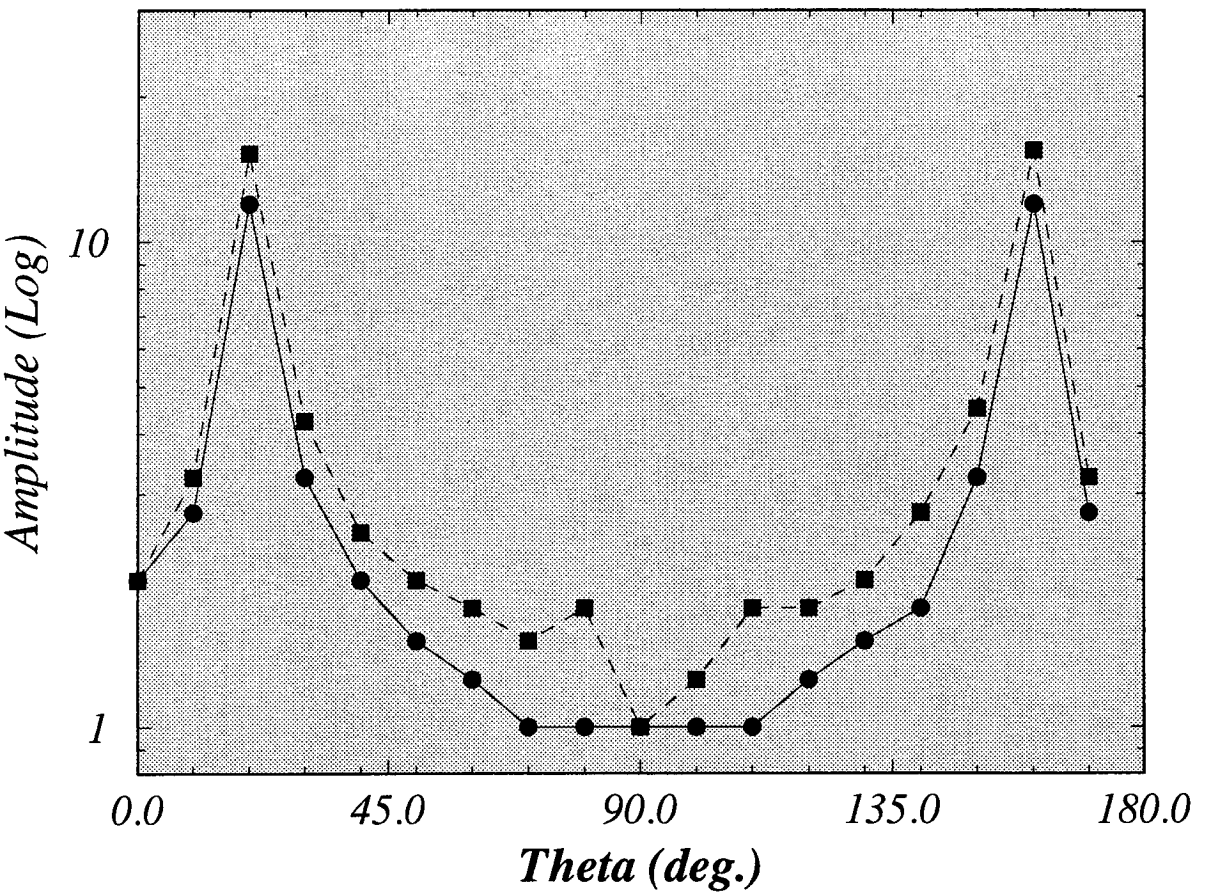


Figure 3.6 The result of directional analysis using a test data.



(a)

(continued to the next page)



(b)

Figure 3.7 SAR (a) and VNIR band 2 (b) image used for directional analysis.

Directional Analysis

(Max. Amplitude)

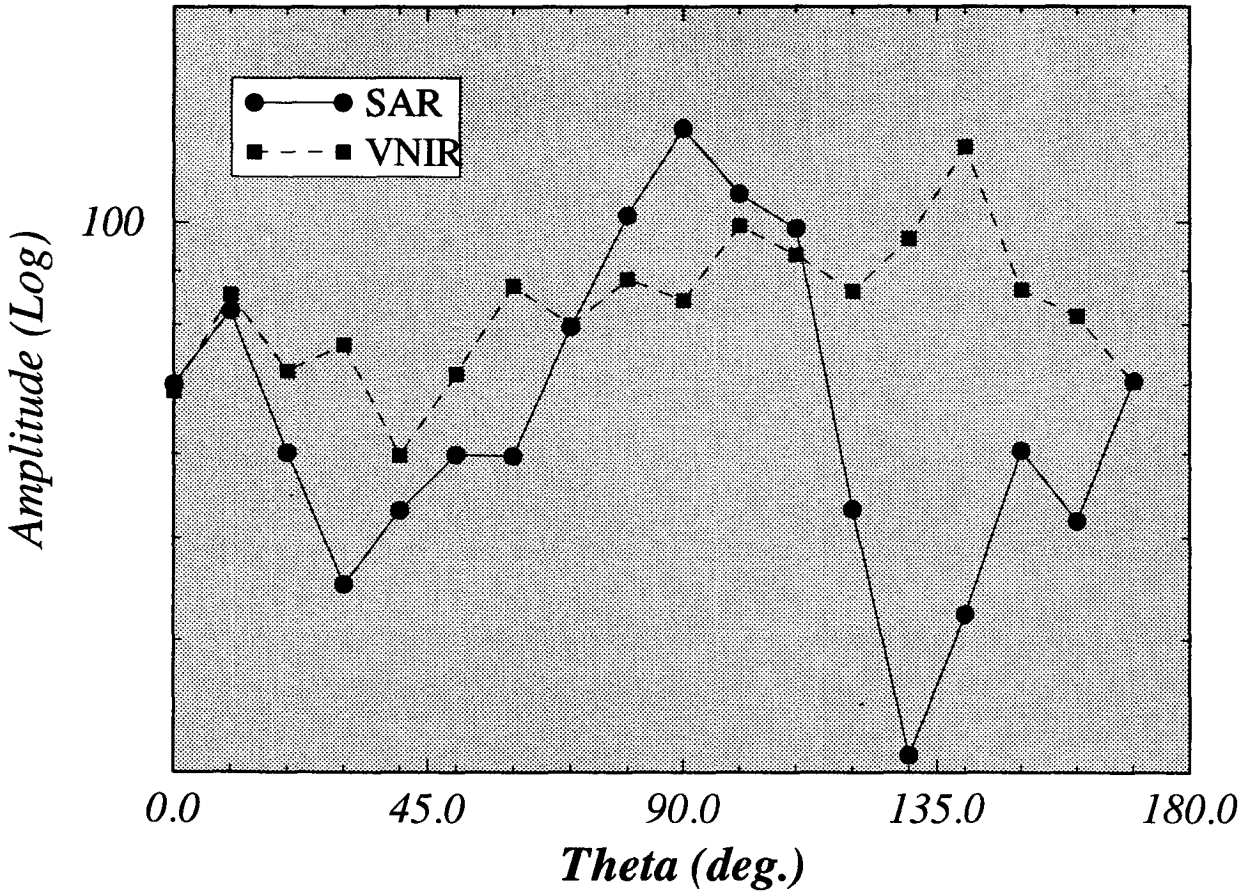


Figure 3.8 The result of directional analysis using SAR (solid line) and VNIR band 2 (dashed line).

그림 3.7 (a)의 SAR 영상자료에서 나타나는 선구조의 주방향성은 θ 값을 약 $80^\circ - 110^\circ$ 로 갖는 선구조 (즉 거의 남북방향의 선구조) 가 가장 뚜렷이 발달하고 있으며, 반대로 약 30° 및 130° 방향의 선구조는 매우 미약하다. 그림 3.8에서 점선으로 나타나고 있는 VNIR 자료에 적용된 결과는 150° 에서 최대진폭을 갖으며 40° 에서 최소 진폭을 보여준다. 또한 60° 이하의 θ 에서는 SAR의 경우와 마찬가지로 10° 에서 최대진폭을 갖으며 100° 에서도 비교적 높은 진폭을 보여준다. 이러한 결과는 VNIR 영상에서 뚜렷한 북서방향의 선구조가 발달하며, 남북 및 동서방향의 선구조가 잘 발달되고 있음을 암시한다. 그림 3.8에 나타난 본 연구에서 개발된 Hough transform을 이용한 선구조 주방향 분석법의 각각 SAR와 VNIR 영상자료에 적용한 결과의 진폭차는 그림 3.9에서 보여준다. 그림 3.9는 VNIR에서 얻은 결과에서 SAR에서 얻은 결과를 뺀것으로 그림 3.8과는 달리 세로축을 Log값이 아닌 진폭 그대로 나타내었다. 그림 3.9에서 보면 140° , 90° 및 30° 등의 θ 값에서 두 영상자료의 결과가 큰차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

여기서 VNIR 영상에서 140° 의 θ 를 갖는 뚜렷한 선구조는 그림 3.7 (b)의 좌상단에 나타나고 있는 방조제의 구조이라고 생각되며 이구조는 SAR 영상에서 잘 나타나지 않고있기 때문에 140° 에서 가장큰 차이를 보인것으로 생각된다. 또한 90° 의 선구조가 SAR 영상에 특히 뚜렷한 것은 antenna의 look direction의 영향에 따라 특히 남북방향의 선구조가 SAR 영상에서 강조된 점에 기인한 것으로 사료된다. 약 110° 에서는 두 영상 모두에서 비교적 높은 진폭의 결과를 보여 북북서 방향의 선구조가 뚜렷이 나타남을 알 수 있다. 더 재미있는 현상은 그림 3.8과 3.9에서 알 수 있듯이 60° 이하의 선구조 중에서는 10° 의 θ 를 갖는 선구조가 VNIR 뿐만 아니라 SAR 영상에서도 나타난다는 점이다. 그림 3.7 (a)의 SAR 영상에서 이 방향은 antenna의 look direction과 거의 일치하여 매우 낮은 DN 값으로 표현되며 육안으로 식별이 어려운 상태이나, Hough transform을 활용하는 본 연구에서 개발된 방법으로는 쉽게 찾아낼수 있다. 따라서 이 방법은 salt and pepper 노이즈와 antenna look direction bias등에 의해 육안으로 식별이 어려운 SAR 영상내에서의 선구조의 주방향성을 식별하는데 매우 효과적임을 알 수 있다.

Directional Analysis (VNIR-SAR)

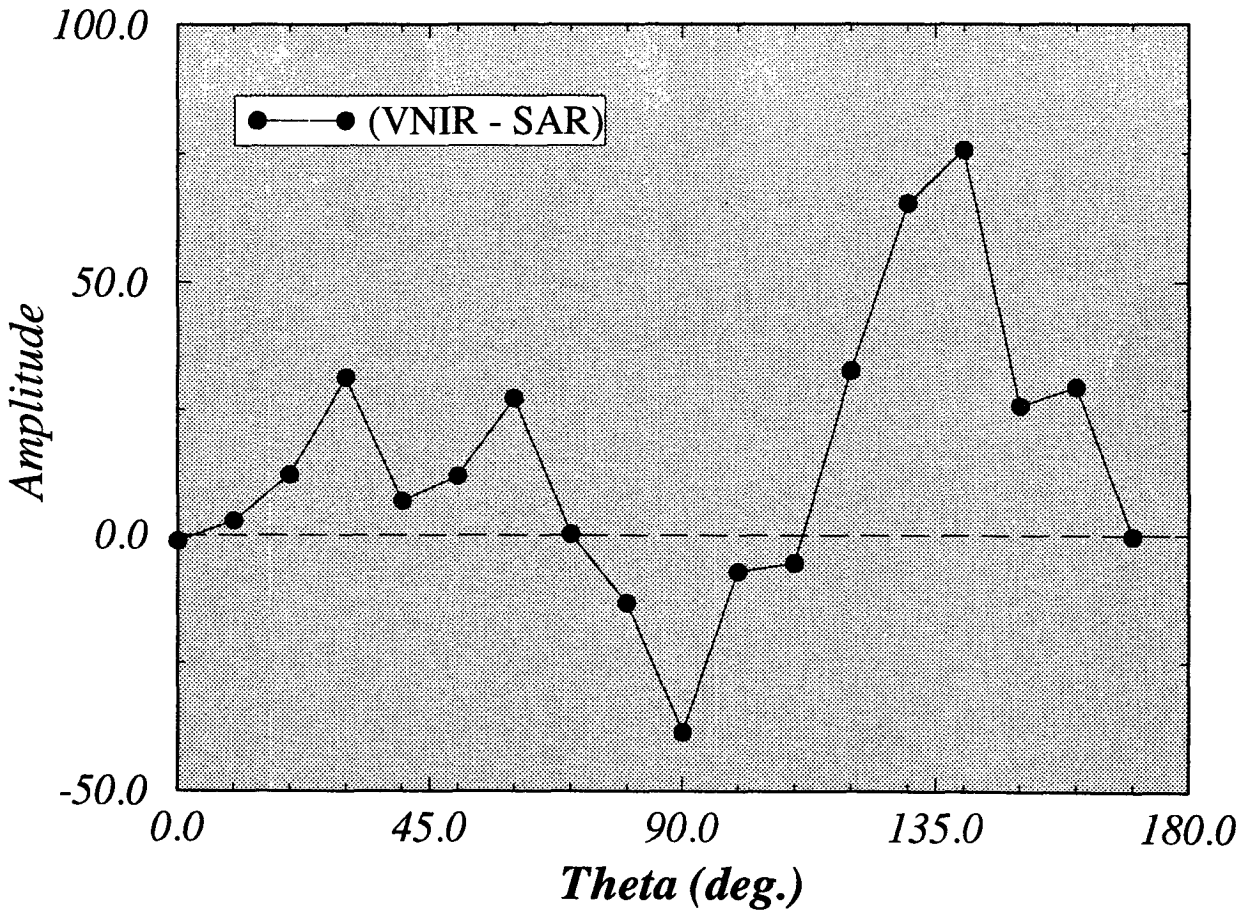


Figure 3.9 Deviation between SAR and VNIR directional analysis result.

3.3 조간대 분석

JERS-1 SAR 영상자료를 이용한 한반도 서해안 조간대 연구에의 활용 가능성을 알기위해 그림 3.10에서 보는 것과 같이 영종도 일대의 조간대가 잘 발달된 지역의 JERS-1 SAR 영상자료를 이용하여 통계학적 분석을 실시 하였다. 또한 JERS-1 OPS 자료와의 비교를 위해 그림 3.11에서 보여주고 있는 같은 지역의 VNIR band 2 를 이용하여 유사한 분석을 실시 하였다.

우선 육안으로 영상자료를 분석 한 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다. SAR 영상자료의 경우 speckle 노이즈가 약간 심하며 이에따라 미세한 구조에 대한 육안분석에 어려움이 따른다. 반면 VNIR band 2 영상자료는 수평선의 규칙적인 약한 노이즈 외에는 전체적인 구조에 대한 영상이 육안으로 쉽게 구분이 가능하다. 그러나 조간대 상에 존재하는 소규모의 channel 구조에 대한 육안분석은 SAR의 경우가 더 자세히 보여주고 있다. 이와같은 현상은 radar backscattering이 조간대상의 구조물의 수분함량에 매우 민감하기 때문이다. 따라서 SAR 영상자료는 비록 channel의 규모가 매우 작더라도 수분함량의 차이로 인해 뚜렷한 backscattered signal의 진폭차이를 갖으며 이는 영상에서 channel은 매우 낮은 DN 값 (즉 어두운 색)으로 표현된다. 육상에서는 L-band (22 cm)가 수목의 영향을 거의 받지않고 표면의 경사도, roughness, 및 수분의 함량에 좌우됨으로서 SAR 영상에서는 수목의 분포를 판단하기는 거의 불가능하며, 이러한 점은 VNIR의 영상에서 산림의 분포를 잘 보여주는 것과는 대조를 이룬다. 반면 수목에 의해 가려져 VNIR 영상에서는 잘 드러나지 않고 있는 계곡등의 지형적 구조는 마찬가지로 이유로 SAR 영상에서는 선명하게 나타나고 있다. 해상에 대한 JERS-1 SAR 영상은 앞장에서 설명한 바와 같이 현재 원래 필요한 전력의 1/4 만으로 SAR가 운용되고 있기때문에 해상표면의 파도의 방향등의 구조는 그림 3.10에서 보는것과 같이 거의 관측하기 어렵다. 그러나 경기만 일대의 JERS-1 SAR 영상에서 해상에 겹고 가는 구조가 조간대 지역에서 부터 연속성을 갖으며 심한 굴곡을 갖고 마치 일종의 channel 처럼 보이는 구조가 나타난다. 현재로서는 이러한 구조가 단순한 해상표면에서의 현상이나 internal wave와 연관된 구조인지, 혹은 해저면의 구조와 연관되어 나타나는 현상인지는 확인 할 수 없으며 좀



Figure 3.10 SAR image used for intertidal flat analysis.

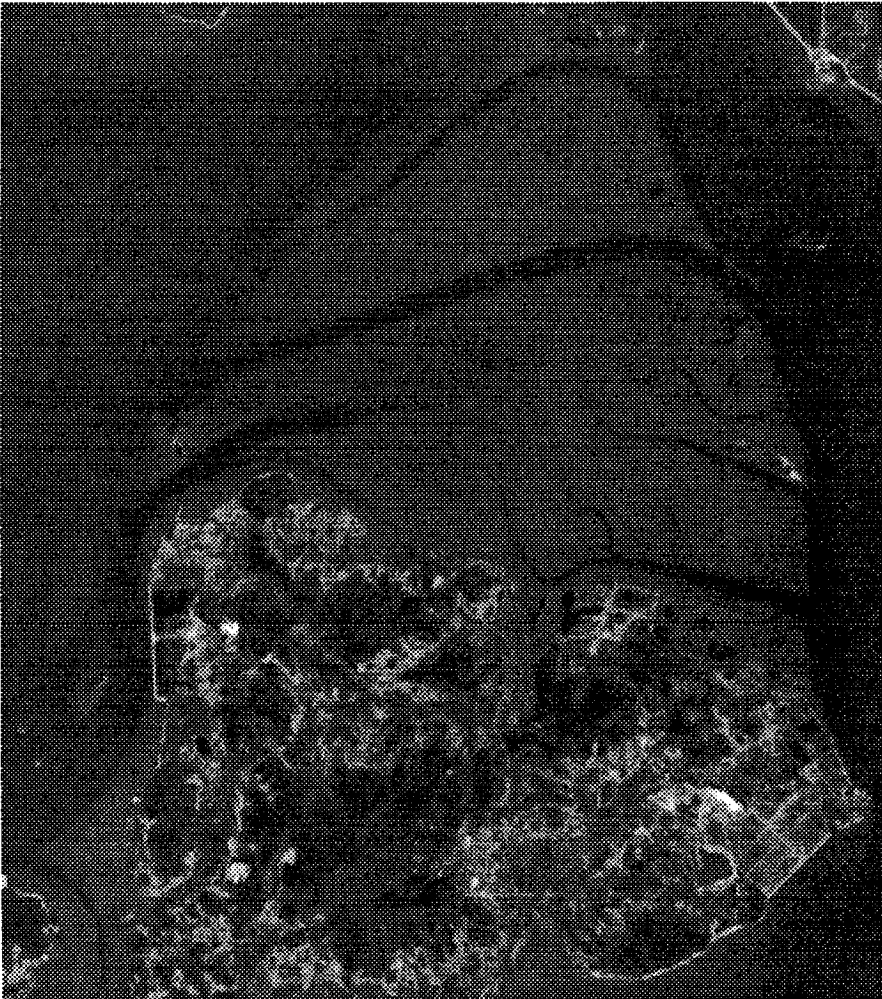


Figure 3.11 VNIR band 2 image used for intertidal flat analysis.

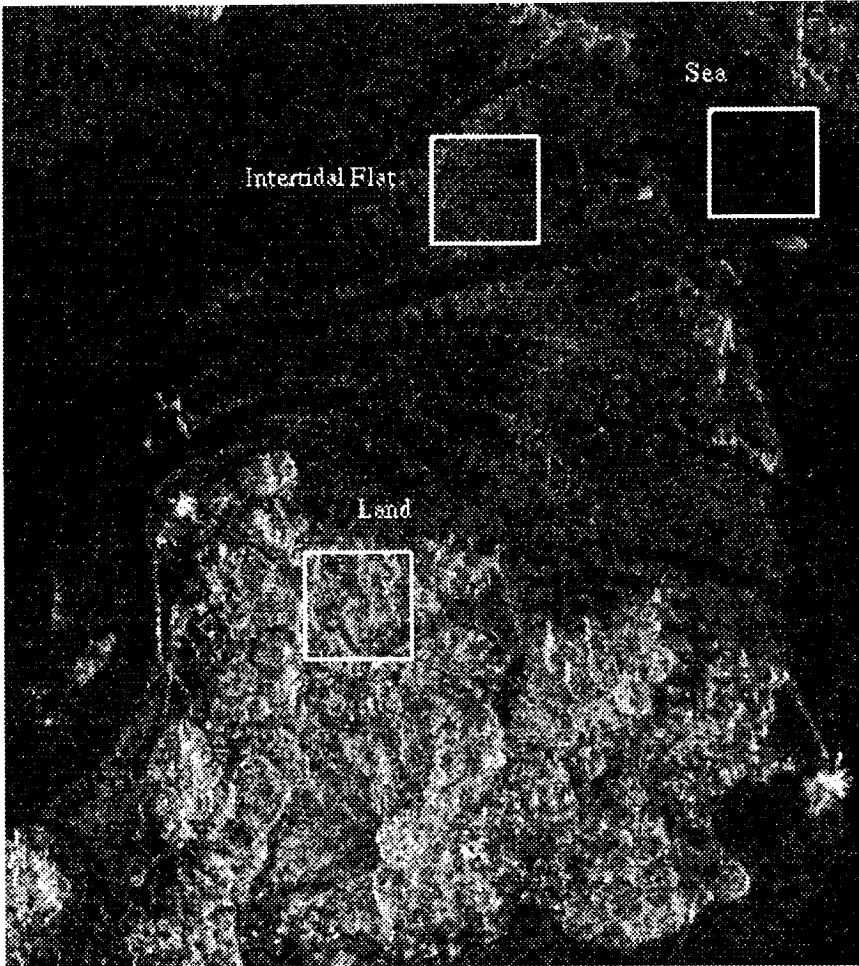


Figure 3.12 SAR image showing three test area including intertidal flat, land, and sea area.

더 체계적인 연구가 필요하다. 그러나 microwave는 해수 표면을 수 센티미터 이상은 뚫고 들어갈 수 없다는 점을 고려 할 때 이러한 구조의 원인을 밝히는 것은 앞으로 SAR의 해양학적 활용도를 높이는 데 매우 중요할 것이다.

다음은 영상자료의 통계학적 분석결과를 최소, 최대, 평균, 표준편차, 및 histogram 분포에 따라 논의 하고져 한다. 먼저 그림 3.10과 3.11의 영종도 일대의 SAR와 VNIR band 2 영상자료의 통계학적 분석 결과는 표 3.2의 상단에 나타난 것과 같다. 또한 전체 영상중에서 그림 3.12에서 사각형으로 표식된 일부지역, 즉 조간대 지역, 조간대와 인접된 육상지역, 및 해상지역으로 구분하여 SAR와 VNIR band 2 영상의 통계분석을 각 각 실시하여 그결과는 도표에 나타나 있다. 또한 SAR와 VNIR band 2의 전체 영상을 이용해 얻은 histogram 분포도는 각 각

Table 3.2 Statistics of JERS-1 SAR and VNIR band 2 shown in the Figure 3.10 and 3.11, respectively.

| | | Min. DN | Max. DN | Mean | Standard Deviation |
|---------------|-----------------|---------|---------|-------|--------------------|
| SAR | | 19 | 255 | 70.0 | 29.5 |
| VNIR (band 2) | | 59 | 255 | 105.9 | 19.7 |
| SAR | Intertidal Flat | 30 | 154 | 66.0 | 14.0 |
| | Land | 38 | 255 | 104.8 | 29.6 |
| | Sea | 22 | 87 | 49.7 | 8.7 |
| VNIR (band 2) | Intertidal Flat | 85 | 127 | 116.3 | 3.8 |
| | Land | 70 | 210 | 113.9 | 25.7 |
| | Sea | 75 | 175 | 93.7 | 6.8 |

그림 3.13과 3.14에서 보는 바와 같다. 도표 3.2와 그림 3.13 및 3.14를 보면 같은 지역에서 SAR의 gray level 범위는 19에서 255로 VNIR band 2의 범위 59에서 255 보다 넓은 범위를 갖는다. 또한 표준편차도 SAR의 경우가 29.5로 VNIR band 2의 19.7 보다 크다. 따라서 SAR가 VNIR의 한 band보다 지상의 특성에 민감함을 알 수 있다.

본 연구는 한반도 해안지역에서의 지형 및 지질학적 연구를 위한 SAR의 적용 가능성에 대한 연구이므로 전체적인 SAR 영상자료의 평가보다는 SAR 영상자료로부터의 조간대를 포함한 해안 지역에서의 구조 분석 가능 여부의 분석이 더욱 중요하다. 따라서 그림 3.12에 나타낸 세 지역으로 구분하여 SAR와 VNIR band 2 영상의 해당지역의 통계학적 분석을 실시 하였으며 그 결과는 도표 3.2와 그림 3.15와 3.16에 보여준다. SAR의 경우 조간대 지역의 gray level 범위는 30에서 154로 육상구조 (38에서 255) 보다는 적은 범위를 갖으며 해상에 대한 영상 (22에서 87) 보다는 넓은 범위를 보인다. 이러한 결과는 표준편차를 비교해 보면 더욱 뚜렷하게 알 수 있다. 즉 육상에서는 다양한 구조에 따른 radar backscattering의 큰 변화로 넓은 범위를 갖으나 조간대 지역에서는 channel구조 외에는 비교적 평탄하며 균일한 표면의 roughness로 인해 비교적 고른 radar backscattering에 의한 것으로 사료된다. 그러나 해상지역에 대한 분석결과는 본 연구에서 사용된 JERS-1 SAR의 전력 문제에 따른 결과라고 생각된다. 즉 SAR는 일반적으로 해상표면의 변화나 internal wave등에 매우 민감하여 비교적 넓은 범위의 변화를 보이나 JERS-1 SAR의 경우 해상에서의 signal이 매우 미약하여 해상 구조변화에 대해 민감하지 못한 것으로 해석된다. 그림 3.15에서 보는 것과 같이 조간대 지역과 해상에 대한 영상의 평균 값과 histogram의 분포가 유사한 분포를 보이나 조간대 지역에 대한 경우 약 15정도 높은 평균값을 갖는다. 이와같이 평균값과 histogram의 분포를 볼 때 JERS-1 SAR 영상으로 조간대와 해수의 구분은 충분히 가능하지만 경계선에서는 주의가 요한다. 이와같이 조간대와 해수에 대한 SAR 영상의 평균값의 차이가 적은 이유는 조간대에 분포하는 수분함량에 따른 것으로 해석된다. 즉 비록 조간대가 간조시 해수면 위로 드러나더라도 표층의 수분이 완전히 증발되지 않고 수분 함량이 높게 유지되어 microwave의 에너지가 많이 흡수된다. 따라서 SAR는 체계적인 연구가 수반될 때 조간대에서의 시간 및 계절 변화에 따른 수분의 함량에 대한 연구에도 활용될 수 있을 것으로

생각된다.

반면 VNIR band 2의 경우 도표 3.2에서 보는 바와 같이 조간대에 대한 영상은 매우 작은 표준편차 (3.8)를 갖으며 이 값은 해상구조에 의한 값보다도 작은 값이다. 또한 평균값은 해상구조의 경우 보다 22 이상 높아 해수와의 구분은 뚜렷하다. 그러나 표준편차가 매우작다는 것은 조간대 내에서의 미세한 구조적 혹은 화학적 변화에 대해 덜 민감한 것으로 해석될 수 있다.

SAR 영상자료를 이용한 조간대 연구 활용가능성에 대한 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다. SAR 영상자료에서 조간대 지역은 육상구조보다는 대체로 낮은 DN 값을 갖으며 뚜렷이 구분된다. 이와같은 현상은 조간대가 비교적 평탄하며 균일한 구조를 갖고있기 때문이다. 그러나 VNIR band 2에 비해 큰 표준편차를 나타내며 이는 SAR가 조간대 상의 소규모 channel등의 미세구조와 수분함량등에 우 민감하다는 것을 보여준다. JERS-1 SAR의 전력상의 문제로 해상에서의 특성 분석의 어려움에도 불구하고 해수와 조간대의 경계는 뚜렷이 구분이 가능하다. 조간대와 해상구조에서 얻은 JERS-1 SAR 영상의 통계학적 분석결과 JERS-1 SAR의 경우 두 지역에서의 영상은 유사한 특성을 갖으며 조간대의 평균 DN 값이 약 15 정도 높으나 그 차이는 VNIR band 2의 경우에 비해 매우 작다. 이와같은 현상은 일부 JERS-1 SAR의 약한 전력과 조간대의 수분함량에 기인된 것으로 사료되며, 앞으로 SAR의 조간대 계절적 시간적 변화에 따른 수분함량에 대한 연구에의 활용 가능성을 시사해 준다. JERS-1 SAR 영상의 해상구조에서 매우 낮은 radar backscattering에 의한 폭이 좁고 굴곡이 심한 구조가 조간대로 부터 연결성을 갖고 나타나며, 이에대한 원인을 밝히는 데는 앞으로 연구가 필요하다.

Histogram (SAR)

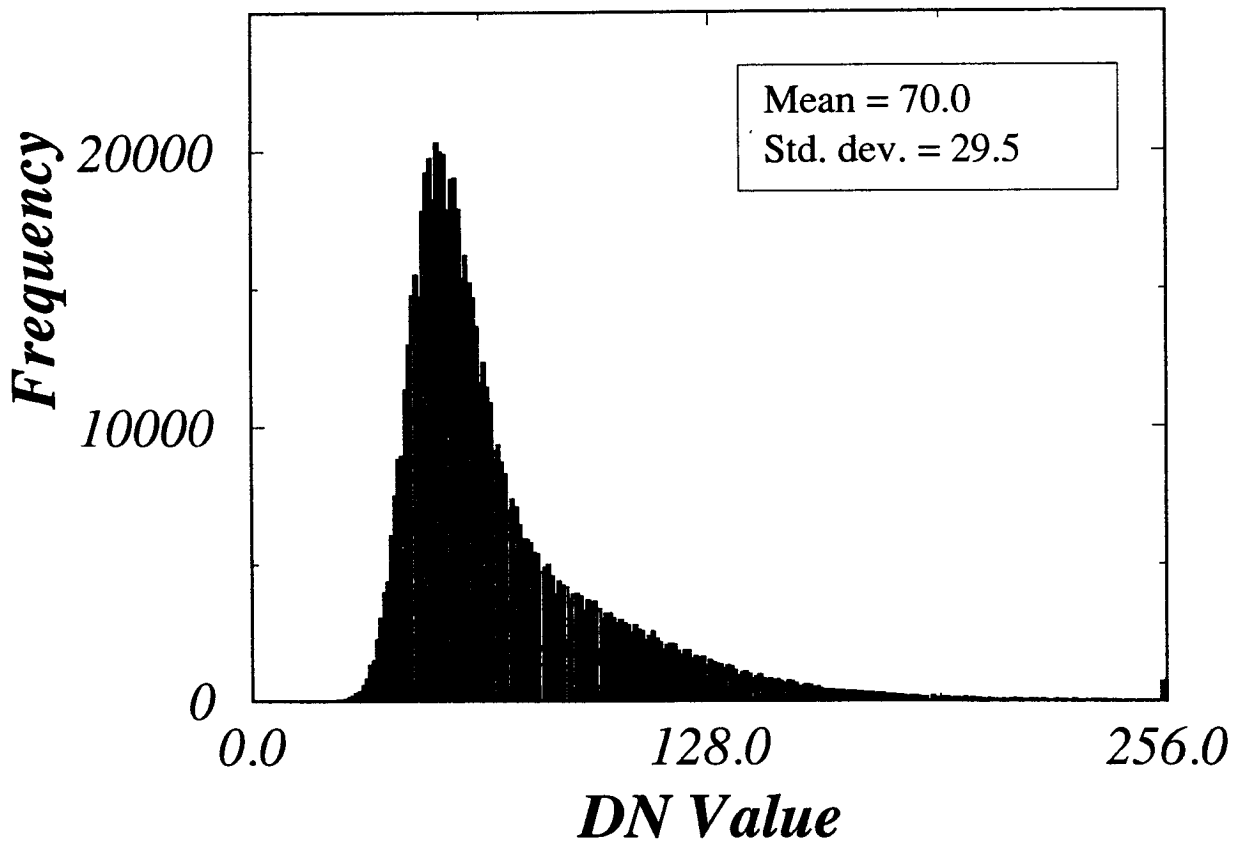


Figure 3.13 Histogram of SAR image.

Histogram (VNIR)

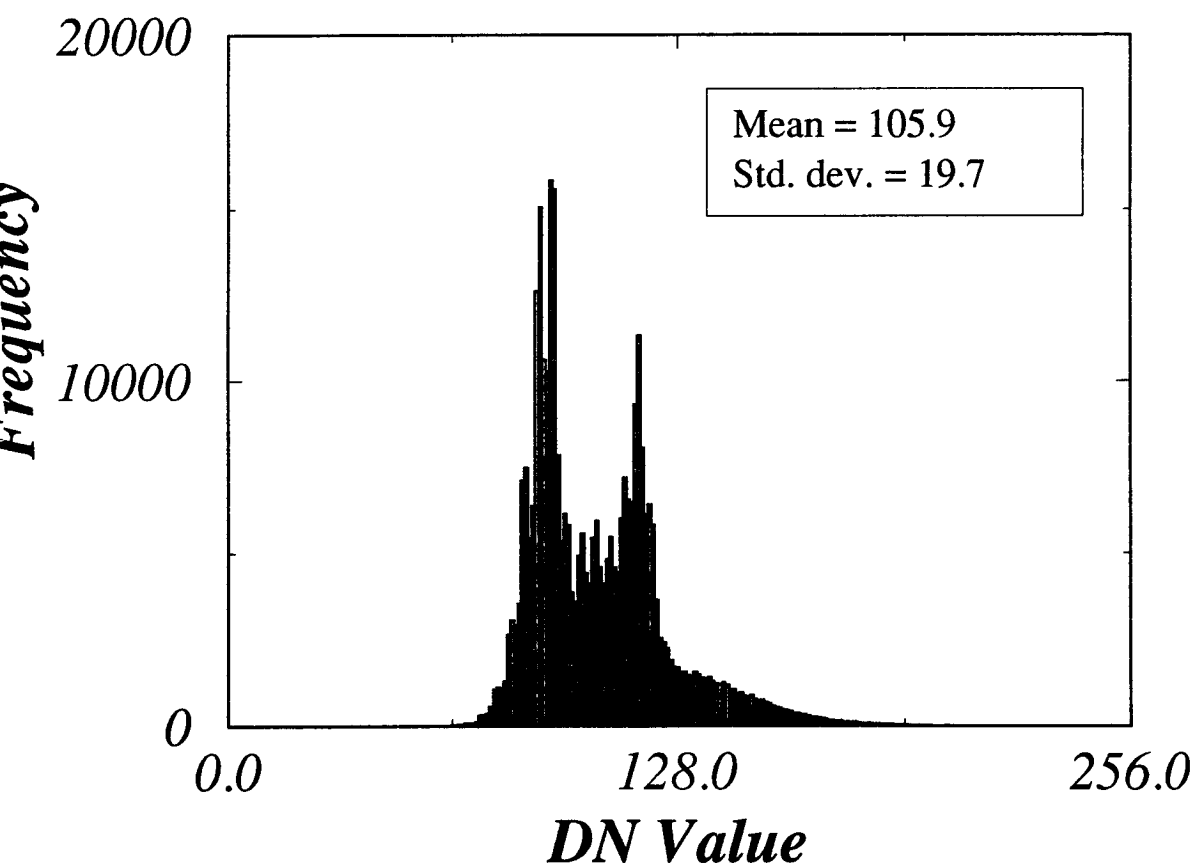


Figure 3.14 Combined histogram of three areas in SAR image.

Histogram (SAR)

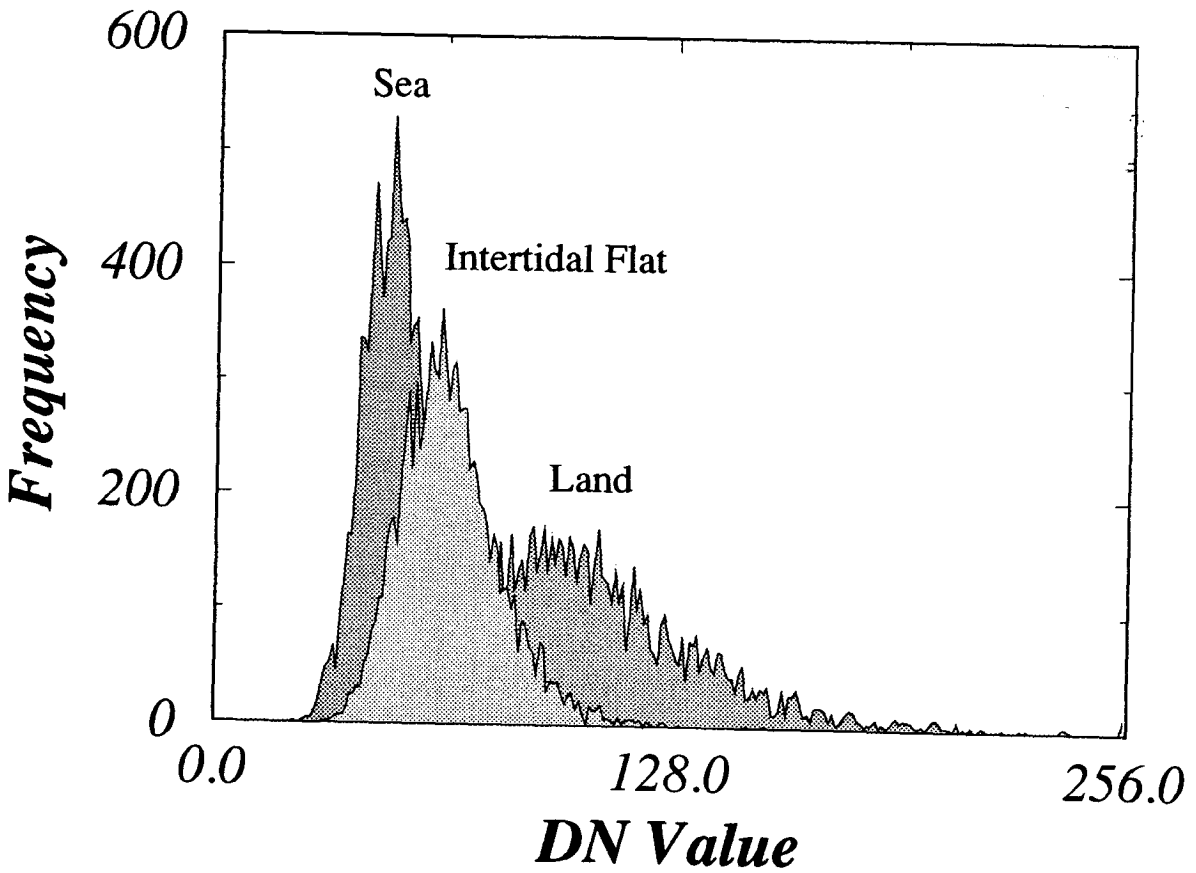


Figure 3.15 Histogram of VNIR band 2 image.

Histogram

(VNIR Band 2)

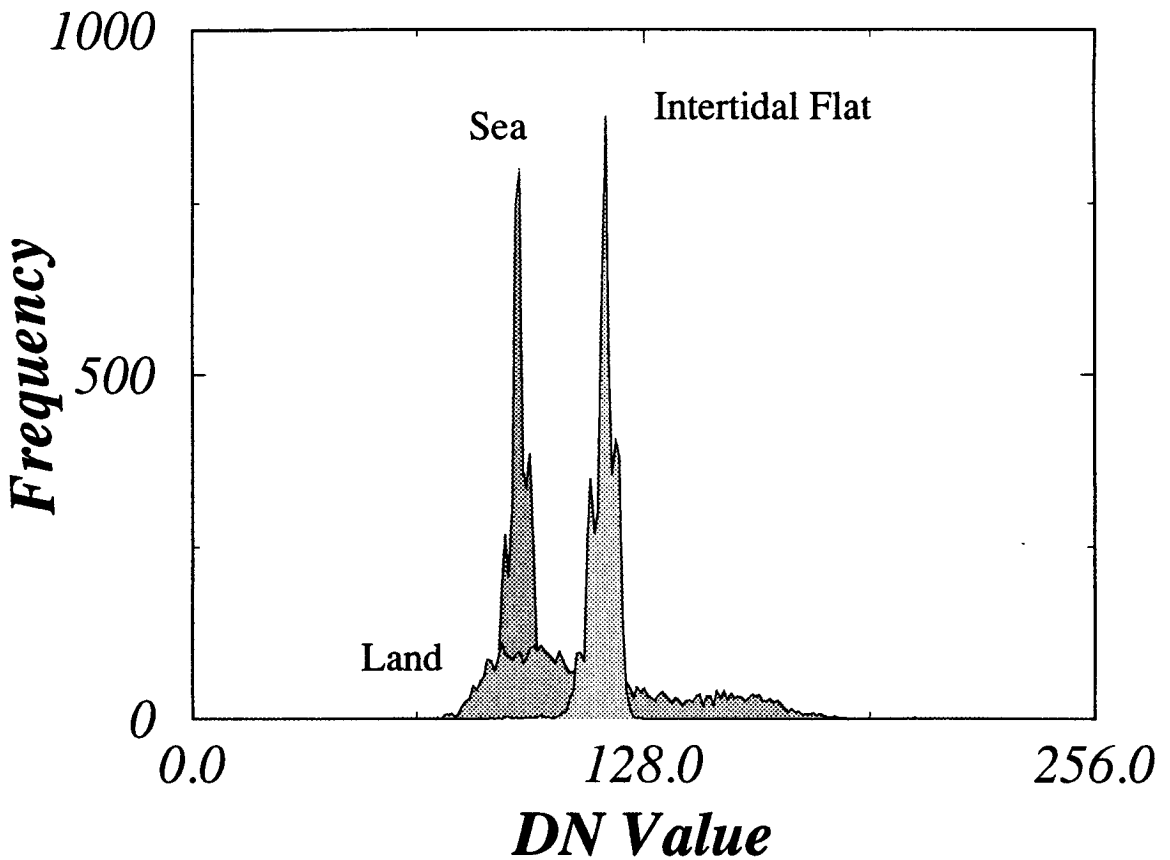


Figure 3.16 Combined histogram of three areas in VNIR band 2 image.

4. 결 론

본 연구는 한반도 해안지형 및 구조분석을 위한 SAR 영상자료의 활용 가능성을 타진하기 위한 연구로서 첫째 SAR 영상자료로 부터의 선구조의 주방향성을 구하기 위한 Hough transform을 이용한 새로운 algorithm을 개발하였고, 둘째 SAR 영상에서 나타나는 조간대의 특성을 통계학적으로 분석하였다.

새로 개발된 SAR 영상에 나타나는 선구조의 주방향성을 구하는 algorithm은 Hough transform을 이용함으로써 salt and pepper 형태의 speckle 노이즈가 많은 SAR 영상자료에 대해서도 매우 효과적이다. 특히 SAR 영상의 경우 본 연구에서 사용된 경기만 일대에서 얻어진 JERS-1 SAR 영상자료와 같이 antenna의 look direction bias를 선구조 분석시 주의가 필요하며 이와같은 antenna look direction bias를 분석하는데도 이 새로운 algorithm은 매우 유용하다. 또한 이 방법은 육상이나 조간대를 포함한 해안지형 및 지질구조 분석뿐만 아니라, SAR의 해양학적 활용을 위한 최대 장점 중의 하나인 해상표면의 파도등에 의한 선구조의 방향성을 분석하는데 크게 활용될 수 있을 것이다. 현재는 이를 위해 주로 Fourier transform을 통한 wavenumber domain에서의 분석이 널리 행하여지고 있으나, 본 연구에서 새로 개발된 방법은 random 노이즈에 특히 강한 Hough transform을 이용함으로써 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 이 방법의 SAR 영상으로 부터의 파도 방향분석을 위한 활용을 위해서는 wavenumber domain에 의한 분석법과의 정량적인 비교 연구가 앞으로 필요할 것으로 사료된다.

조간대 연구를 위한 SAR의 활용가능성 연구는 JERS-1 SAR의 antenna pattern의 문제점 발생에 따라 약한전력만으로 운용함에도 불구하고 SAR는 조간대 지역에서 일반 육상구조나 해상구조와는 뚜렷이 구분되는 특징적인 radar backscattering을 보여준다. 즉 SAR의 조간대 지역의 영상은 비교적 낮은 경사도와 균일한 표면의 roughness에 의해 비교적 적은 radar backscattering의 특징을 갖으며 이에따라 육상구조보다 낮은 평균 DN 값을 갖으며 표준편차도 작다. 그러나 같은 지역의 VNIR band 2 보다는 큰 표준편차를 보이며 조간대 내에 존재하

는 소규모의 channel등의 구조변화나 수분함량의 분포에 매우 민감한 것으로 나타났다. 조간대와 해수와의 경계구분은 JERS-1 SAR의 기술상의 문제로 예상보다는 뚜렷하지는 못하나 해수보다는 약 15 이상 높은 평균 DN 값을 갖는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 조간대의 수분함량에도 크게 연관된 것으로 앞으로 조간대에서의 계절적 시간적 수분함량의 관측에 활용 가능성이 있는 것으로 사료된다.

경기만 일대에서 얻은 JERS-1 SAR의 해상영상에서 매우 낮은 radar backscattering의 특성을 갖는 폭이 좁고 굴곡이 심한 구조가 조간대의 channel 구조와 연결성을 갖으며 나타난다. 현재 이에 대한 원인은 분명치 않으며 앞으로 이를 밝히려는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- Brown, W.M., and Porcello, L.J., 1969, An introduction to Synthetic Aperture Radar, IEEE Spectrum, pp.52-62.
- Duda, R.O., and Hart, P.E., 1972, Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures, Comm. ACM, v.15, no.1, pp.11-15.
- Harris, J., 1984, Lineament mapping of central Nova Scotia using Landsat-MSS and Seasat-SAR imagery, Proc. 9th Canadian Symp. Remote Sensing, pp.359-373.
- Hasselmann, K., Raney, R.K., Plant, W.J., Alpers, W., Shuchman, R.A., Lyzenga, D.R., Rufenach, C.L., Tucker, M.J., 1985, Theory of Synthetic Aperture Radar ocean imaging: A MARSEN View, JGR, v.90, no.C3, pp.4659-4686.
- Hough, P.V.C., 1962, Methods and means for recognizing complex patterns, U.S. Patent 3,069,654.
- Jensen, J.R., 1986, Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective, Prentice-Hall.
- Jordan, R.L., 1980, The Seasat-A synthetic aperture radar system, IEEE J. Ocean Eng., v.5, pp.154-164.
- Li, F.K, and Raney, R.K., 1991, The special section on spaceborne radars for Earth and planetary observations, Proc. IEEE, v.79, no.6, pp.773-775.
- Lowman, P.D., Jr., Harris, J., Masuoka, P.M., Singhroy, V.H., and Slaney, V.R., 1987, Shuttle imaging radar (SIR-B) investigations of the Canadian

- Shield: Initial report, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, v.25., no.2, pp.152-161.
- MacDonald, H.C., 1969, Geologic evaluation of radar imagery from Darien Province, *Modern Geol.*, v.1, pp.1-63.
- Masuoka, P.M., Harris, J., Lowman, P.D., Jr., and Blodget, H.W., 1987, Digital processing of orbital radar data to enhance geologic structure: examples from the Canadian Shield, *Photogrammetric Eng. Remote Sensing*, v.54, no.5, pp.621-632.
- MITI/NASDA, 1990, Outline of the JERS-1 System, 31 p.
- Moon, W.M., Stewart, I., Won, J.S., 1991, Ground Reference System for Japanese Earth Resources Satellite-1 (JERS-1) with Computer Program, Geophysics Technical Report No.14, University of Manitoba.
- Moore, R.K., 1983, Imaging radar systems: Manual of Remote Sensing, 2nd ed. (R.N. Colwell ed.), American Society of Photogrammetry, pp.429-474.
- Nemoto, Y., Nishino, H., Ono, M., Mizutamari, H., Nishikawa, K., and Tanaka, K., 1991, Japanese Earth Resources Satellite-1 synthetic aperture radar, *Proc. IEEE*, v.79, no.6, pp.800-809.
- Nemoto, Y., 1993, Status of JERS-1 SAR, JERS-1 Information Exchange Meeting Presentation Materials, MITI/NASDA, pp.29-35.
- Ono, H., 1993, Status of JERS-1 OPS, JERS-1 Information Exchange Meeting Presentation Materials, MITI/NASDA, pp.39-48.
- Rosenfeld, A., and Kak, A.C., 1982, Digital Picture Processing, 2nd ed., Academic Press, Inc.
- Sherwin, C.W., Ruina, J.P., and Rawcliffe, D., 1962, Some early development in Synthetic Aperture Radar systems, *IRE Trans. Military Electron.*, v.6,

no.2, pp.111-115.

Shimada, M, 1993, Image quality of the SAR and OPS, JERS-1 Information Exchange Meeting Presentation Materials, MITI/NASDA, pp.93-132.

Ulaby, F.T., Moore, R.K., and Fung, A.K., 1981, Microwave Remote Sensing, Vol.I, Addison-Wesley Pub. Co.

Wang, J., Howarth, P.J., 1989, Edge following as graph searching and Hough transform algorithm for lineament detection, Proc. IGARSS'89, Vol.I, pp.93-96.

Won, J.S., Moon, W.M., and Yoo, H.R., 1993, Multiple SAR data integration using Wavelet transform, IGARSS'93, Vol.III, pp.1365-1369.

부 록

부 록 1.: Conventional Hough transform algorithm in C


```

/*
Program: hough.c

Purpose: Conventional Hough Transform
        (Duda & Hart 1972)

Version: 1.1 (last revised on Nov.15th, 1993)

        by Joong-Sun Won

How to install: Please type as follows;

% cc hough.c -lm -o hough

*/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#define MAXDATA 8192

main()
{
    struct point {
        float x;
        float y;
    };
    struct point pt;

    float *phough;
    float dn;
    float sign5();
    char *fp,file[80];          /* opening i/o file */
    FILE *fdi, *fdo;

    int c_byte,j_rho,k_rho;
    int i,j,k,err_flg;
    int byte_per_line,pixel_per_line,total_no_line;
    int b_pixel,no_pixel,b_line,no_line;
    long isum,head,tail;

    int no_rho,no_theta,no_total,c_rho;
    double d_rho,d_theta,dn_mean,dn_dif;
    double phi,f_tmp1,f_tmp2;
    double rho;

    int idat[MAXDATA];
    double tsin[720],tcos[720];

    clock_t b_elap,e_elap;
    double elaps;

    phi = 4.*atan(1.);

    /* open i/o files */
    printf(" Input file name ?\n");
    fp = gets(file);
    fdi = fopen(fp,"rb");

    printf(" Output file name ?\n");
    fp = gets(file);
    fdo = fopen(fp,"wb");

    /* printf(" Record length in byte ? ");

```

```

scanf("%d",&byte_per_line); /*
printf(" No. of pixels per line ? ");
scanf("%d",&pixel_per_line);
printf(" Total no. of line ? ");
scanf("%d",&total_no_line);
printf(" Beginning pixel no. of subset ? ");
scanf("%d",&b_pixel);
printf(" No. of pixels per line for subset ? ");
scanf("%d",&no_pixel);
printf(" Beginning line no. of subset ? ");
scanf("%d",&b_line);
printf(" No. of lines for subset ? ");
scanf("%d",&no_line);

printf(" Increment of radia ? (e.g. 1.) ");
scanf("%lf",&d_rho);
printf(" Increment of angle in degree ? ( > 0.5) ");
scanf("%lf",&d_theta);
printf(" Mean value of data ? (e.g. 128.) ");
scanf("%lf",&dn_mean);

/* call initial clock */
b_elap = clock();

/* set pointer to beginning point */
c_byte = sizeof(char);
head = c_byte*(b_pixel-1);
tail = pixel_per_line-c_byte*(b_pixel+no_pixel-1);
isum = pixel_per_line*(b_line-1);

/* estimate total no of cells for rho & theta */
f_tmp2 = (double) (no_pixel*no_pixel+no_line*no_line);
f_tmpl = sqrt(f_tmp2);
for (no_rho=0, f_tmp2=0.; f_tmp2 < f_tmpl;no_rho++,f_tmp2+=d_rho);
c_rho = no_rho; /* rho center position */
no_rho *= 2;
++no_rho; /* total no_rho = 2*R+1 for 0 */
for (no_theta=0, f_tmp2=0.; f_tmp2 < 180.;no_theta++,f_tmp2+=d_theta);

no_total = no_rho*no_theta;

dn_dif = (dn_mean > 255.-dn_mean) ? dn_mean:(255.-dn_mean);

/* phough: buffer of hough transform */
phough = (float *) calloc(no_total,sizeof(float));

/* keep sin & cos */
for (i=0,f_tmp2=0.; f_tmp2 < 180.;i++,f_tmp2+=d_theta) {
    f_tmpl = phi*f_tmp2/180.;
    tsin[i] = sin(f_tmpl);
    tcos[i] = cos(f_tmpl);
}

/* point to the initial position */
err_flg = fseek(fdi,isum,0);

/* read and process line by line */

for (i = 0; i < no_line; i++) {
    err_flg = fseek(fdi,head,1);
    for (j = 0; j < no_pixel; j++)
        idat[j] = fgetc(fdi);
    err_flg = fseek(fdi,tail,1);
    pt.x = .5 + (float) i;

```

```

for (j=0; j < no_pixel; j++) {
    pt.y = .5 + (float) j;
    j_rho = c_rho;
    dn = (float) (idat[j]-dn_mean)/dn_dif; /* normalization */

    for (k=0; k < no_theta; k++) {
        rho = pt.x*tcos[k] + pt.y*tsin[k];
        k_rho = (int) (rho+sign5(rho));
        *(phough+j_rho+k_rho) += dn;
        j_rho += no_rho;
    }
}
}

/* dump the hough transform */

err_flg = fwrite(phough,sizeof(float),no_total,fdo);

printf ("\n No. of Rho   = %6d\n",no_rho);
printf (" No. of Theta = %6d\n",no_theta);
printf (" Total output = %6d\n",no_total);
printf (" D-theta   = %f\n",d_theta);
printf (" D-rho     = %f\n",d_rho);

free(phough);

fclose(fdi);
fclose(fdo);

e_elap = clock();
e1laps = e_elap - b_elap;
elaps = e1laps/1.e+6; /* convert into seconds */
printf ("\n Total Elapsed time (sec) = %.2f\n", elaps);

return 0;
}

/* +- .5 */
float sign5(x)
float x;
{
    if (x >= 0.)
        return .5;
    else
        return -.5;
}

```


부 록 2: Hough transform algorithm in C using ray tracing


```

/*
Program: hough_ray1.c
Purpose: Hough Transform using summation along ray path
        (developed by Joong-Sun Won).
Version: 1.2 (last revised on Dec.21th, 1993)
        by Joong-Sun Won
How to install: Please type as follows;
% cc hough_ray1.c -lm -o hough_ray
*/
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

float *dn;

main()
{
    struct point {
        int x;
        int y;
    } pt;

    float *phough;
    float sign5();
    char *fp,file[80];          /* opening i/o file */
    FILE *fdi, *fdo;

    int c_byte,j_rho,k_rho;
    int i,j,k,err_flg;
    int byte_per_line,pixel_per_line,total_no_line;
    int b_pixel,no_pixel,b_line,no_line;
    long isum,head,tail;

    int no_rho,no_theta,no_total,c_rho,no_data;
    double d_rho,d_theta,dn_mean,dn_dif;
    double phi,f_tmp;
    double slope,rho0,r_theta,theta,rho,rho_max;
    double cslope,sslope,xint;
    double xx,yy,x0,xb,yb,xl,yl;

    int idat;
    long inum;

    clock_t b_elap,e_elap;
    double elaps;

    /* open i/o files */
    printf(" Input file name ?\n");
    fp = gets(file);
    fdi = fopen(fp,"rb");

    printf(" Output file name ?\n");
    fp = gets(file);
    fdo = fopen(fp,"wb");

    printf(" No. of pixels per line ? ");

```

```

scanf("%d",&pixel_per_line);
printf(" Total no. of line ? ");
scanf("%d",&total_no_line);
printf(" Beginning pixel no. of subset ? ");
scanf("%d",&b_pixel);
printf(" No. of pixels per line for subset ? ");
scanf("%d",&no_pixel);
printf(" Beginning line no. of subset ? ");
scanf("%d",&b_line);
printf(" No. of lines for subset ? ");
scanf("%d",&no_line);

printf(" Increment of radia ? (e.g. 1.) ");
scanf("%lf",&d_rho);
printf(" Increment of angle in degree ? ( > 0.5) ");
scanf("%lf",&d_theta);
printf(" Mean value of data ? (e.g. 128.) ");
scanf("%lf",&dn_mean);

/* call initial clock */
b_elap = clock();

phi = 4.*atan(1.);

/* set pointer to beginning point */
c_byte = sizeof(char);
head = c_byte*(b_pixel-1);
tail = pixel_per_line-c_byte*(b_pixel+no_pixel-1);
isum = pixel_per_line*(b_line-1);

/* estimate total no of cells for rho & theta */
f_tmp = (double) (no_pixel*no_pixel+no_line*no_line);
rho_max = sqrt(f_tmp);
for (no_rho=0, f_tmp=0.; f_tmp < rho_max;no_rho++,f_tmp+=d_rho);
c_rho = no_rho; /* rho center position */
no_rho *= 2;
/* ++no_rho; */ /* total no_rho = 2*R+1 for 0 */
for (no_theta=0, f_tmp=0.; f_tmp < 180.;no_theta++,f_tmp+=d_theta);

no_total = no_rho*no_theta;
no_data = no_pixel*no_line;

dn_dif = (dn_mean > 255.-dn_mean) ? dn_mean:(255.-dn_mean);

xx = (double) no_line;
yy = (double) no_pixel;
rho0 = .5 - (double) c_rho;

/* phough: buffer of hough transform */
phough = (float *) calloc(no_rho,sizeof(float));

/* dn --> buffer of input data */
if((dn = (float *) malloc(no_data*sizeof(float))) == (float *)NULL) {
    printf("Error: can't allocate float*\n");
    exit(1);
}

/* point to the initial position */
err_flg = fseek(fdi,isum,0);

/* read and process line by line */
k = 0;
for (i = 0; i < no_line; i++) {
    err_flg = fseek(fdi,head,1);

```

```

for (j = 0; j < no_pixel; j++) {
    idat = fgetc(fdi);
    *(dn+k) = (float) ((double) idat-dn_mean)/dn_dif; /* normalization */
    k++;
}
err_flg = fseek(fdi,tail,1);
}

/* summing along ray path */

for (theta=0.; theta < 180.;theta+=d_theta) {

/* initialization */
for (i=0; i < no_rho; i++)
    *(phough+i) = 0.;

/* less than or equal to 90. deg */
if (theta <= 90. ) {
    r_theta = phi*theta/180.;
    for (i=0,rho=rho0; i < no_rho; i++,rho+=1.) {

        if (rho < 0.)
            *(phough+i) = 0.; /* zero if negative rho */
        else if (r_theta <= atan(1./yy)) {
            if (fabs(rho) > xx)
                *(phough+i) = 0.;
            else {
                pt.x = (int) rho;
                for (j=0; j < no_pixel; j++) {
                    inum = indx(j,pt.x,no_pixel);
                    *(phough+i) += *(dn+inum);
                }
            }
        } /* end of vertical sum */
        else if (r_theta >= atan(xx)) {
            if (fabs(rho) > yy)
                *(phough+i) = 0.;
            else {
                pt.y = (int) rho;
                for (j=0; j < no_line; j++) {
                    inum = indx(pt.y,j,no_pixel);
                    *(phough+i) += *(dn+inum);
                }
            }
        } /* end of horizontal sum */
    }
    else {
        cslope = tan( r_theta );
        sslope = tan( phi*(90.-theta)/180. );
        x0 = rho/cos(r_theta);
        if (x0 > xx) {
            xb = xx;
            yb = tan(phi/2.-r_theta)*(x0-xx);
        }
        else {
            xb = x0;
            yb = 0.;
        }
        *(phough+i) = 0.;
        xl = xb; yl = yb;
        while (xl > 0. && xl <= xx && yl < yy) {
            pt.x = (int) xl;
            if ( (double) pt.x >= xl )
                pt.x -= 1;
            pt.y = (int) yl;

```

```

inum = indx(pt.y,pt.x,no_pixel);
*(phough+i) += *(dn+inum);

xint = xl - ( (double) pt.y + 1. - yl )*cslope;
if ( xint < (double) pt.x ) {
    yl = ( xl - (double) pt.x )*sslope+yl;
    xl = (double) pt.x;
}
else {
    xl = xint;
    yl = (double) pt.y + 1.;
}
}
}
}

/* greater than 90. deg */
else {
    r_theta = phi*(theta-90.)/180.;

    for (i=0,rho=rho0; i < no_rho; i++,rho+=1.) {

        if (fabs(rho) > rho_max)
            *(phough+i) = 0.;
        else if (r_theta <= atan(1./xx)) {
            if (rho < 0.)
                *(phough+i) = 0.;
            else {
                if (fabs(rho) > yy)
                    *(phough+i) = 0.;
                else {
                    pt.y = (int) rho;
                    for (j=0; j < no_line; j++) {
                        inum = indx(pt.y,j,no_pixel);
                        *(phough+i) += *(dn+inum);
                    }
                }
            }
        }
        /* end of horizontal sum */
    }
    else if (r_theta >= atan(yy)) {
        if (rho >= 0.)
            *(phough+i) = 0.;
        else {
            if (fabs(rho) > xx)
                *(phough+i) = 0.;
            else {
                pt.x = (int) fabs(rho);
                for (j=0; j < no_pixel; j++) {
                    inum = indx(j,pt.x,no_pixel);
                    *(phough+i) += *(dn+inum);
                }
            }
        }
        /* end of vertical sum */
    }
    else {
        cslope = tan( phi*(180.-theta)/180. );
        sslope = tan( r_theta );
        if (rho < 0.) {
            xb = fabs(rho)/sin(r_theta);
            yb = 0.;
        }
    }
}
}
}

```

```

else {
    xb = 0.;
    yb = rho/sin(r_theta);
}
*(phough+i) = 0.;
xl = xb; yl =yb;
while (xl < xx && yl < yy) {
    pt.x = (int) xl;
    pt.y = (int) yl;
    inum = indx(pt.y,pt.x,no_pixel);
    *(phough+i) += *(dn+inum);

    xint = ( (double) pt.y + 1. - yl )*cslope+xl;
    if ( xint > (double) pt.x + 1. ) {
        yl = ( (double) pt.x + 1.-xl )*sslope+yl;
        xl = (double) pt.x + 1.;
    }
    else{
        xl = xint;
        yl = (double) pt.y + 1.;
    }
}
}
}

/* dump the hough transform theta by theta line */
err_flg = fwrite(phough,sizeof(float),no_rho,fdo);
}

printf ("\n No. of Rho   = %6d\n",no_rho);
printf (" No. of Theta = %6d\n",no_theta);
printf (" Total output = %6d\n",no_total);
printf (" D-theta = %f\n",d_theta);
printf (" D-rho   = %f\n",d_rho);

free(phough);
/* free(dn); */

fclose(fdi);
fclose(fdo);

e_elap = clock();
elaps = e_elap - b_elap;
elaps = elaps/1.e+6;          /* convert into seconds */
printf ("\n Total Elapsed time (sec) = %.2f\n", elaps);

return 0;
}

/* +- .5 */
float sign5(x)
float x;
{
    if (x >= 0.)
        return .5;
    else
        return -.5;
}

/* find index */

```