

FMCW 레이더를 이용한 원격 조류(鳥類) 관측 시스템 개발

이희용^{1,*} · 황훈규² · 최명길¹

¹금호마린테크(주)

²한국해양대학교 대학원 컴퓨터공학과

A Development of Remote Bird Observation System Using FMCW RADAR

Hee-Yong Lee^{1,*}, Hun-Gyu Hwang² and Myung-Gil Choi¹

¹Kumho Marine Technology Co., Busan 604-041, Korea

²Department of Computer Engineering, Graduate School of Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

요 약

최근, 조류 관측을 위하여 카메라나 레이더 등이 도입되어 보다 정확하고 효율적인 관측이 가능해지게 되었다. 특히, 레이더를 활용하여 조류를 관측하는 방법에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 레이더 조류학이라는 분야가 생겨나게 되었다. 기상 레이더, 공항 탐색 레이더, 추적 레이더 등 여러 종류의 레이더가 조류 관측에 활용되고 있지만, 접근성을 비롯하여 경제성 및 이동성에 많은 제약을 가지고 있어 선박용 레이더가 널리 사용되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 선박용 FMCW 레이더를 이용하여 원격 조류 관측 및 통계 분석 기능을 제공하는 시스템 개발에 관한 내용을 다룬다. 이를 위해 널리 알려져 있는 물표 인식을 위한 이미지 처리 기법을 적용하였다. 또한 개발한 시스템을 이용하여 두 차례 실험을 실시하였고, 움직이는 조류가 관측됨을 확인하였다. 그 결과, 각종 레이더 수치 값 조정 등의 개선점을 파악하고 이를 수정하였으며, 조류 관측 분야에 시스템의 적용가능성을 확인하였다. 개발한 시스템은 조류 관측에 관한 연구 뿐 아니라 환경 평가 등의 분야에 도입될 수 있을 것이며, 향후에는 조류 관측을 보다 정확하게 분석하여 통계 내고, 조류의 이동 경로를 추적하는 것에 관한 연구가 필요하다.

Abstract – Recently, camera and RADAR are used for more effective and accurate observation of the bird migration. In recent years, many researches on the bird migration using RADAR are undertaking and in active, thus causes the advent of “RADAR ornithology” as a new academic field. Due to the lack of accessibility, economic feasibility and mobility of weather RADAR, airport searching RADAR and tracking RADAR, Nowadays, a marine RADAR is widely used for a bird observation. In this paper, we deals with a study on development of a remote bird observation system using marine FMCW RADAR, which monitors, records and analyzes bird movement by RADAR image processing and target recognition technology. Also, we conduct first test and second test for availability of the developed system, and verify the system to apply in bird observation domain. Consequently, we figured problems out, and correct the problems to improve the system. The developed system can apply in other domains such as environment evaluation. In the future, the system needs to improve accuracy of statistics and to track migration route of bird.

Keywords: FMCW RADAR(FMCW 레이더), marine RADAR(선박용 레이더), bird monitoring(조류 감시), bird observation(조류 관측), RADAR ornithology(레이더 조류학)

1. 서 론

조류 관측은 환경오염 등 여러 요인으로 인해 변화하는 생태계를 연구하기 위한 매우 중요한 수단으로 활용되고 있다. 과거에는 군집

전체를 한 눈에 볼 수 있는 지점을 선정하여 목시, 망원경, 쌍안경을 이용하여 조사하는 정점 관찰법(point count method), 적절한 경로를 설정하여 도보로 이동하면서 특정 범위를 조사하는 선 조사법(line transect method), 포획 조사법 등의 기법을 통해 주로 조류 관측을 수행해 왔다.

*Corresponding author: adam@kumhomarine.com

최근에는 적외선 열화상 카메라(infrared thermal imaging camera)나 레이더(RADAR : Radio Detecting And Ranging)와 같은 장비를 활용하여 조류 관측을 수행하고 있다(Gauthreaux and Livingston [2006], Gauthreaux *et al.*[2008], Horn and Kunz[2008]). 하지만 적외선 열화상 카메라는 비교적 이동이 쉽고, 정밀한 장점이 있지만 관측 영역이 넓지 못한 단점이 있다. 이러한 이유 등으로 인하여 레이더를 활용한 조류 관측에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 레이더 조류학이라는 학문 분야도 등장하게 되었다.

항공, 해양, 군사, 기상 등 수많은 분야에서 활용되고 있는 레이더는 전파(electromagnetic wave)를 발신하여 물체로부터의 반사파를 수신하는 방식으로 물체를 탐지하고, 그 방향 및 거리를 알아내는 장비이다. 국내외적으로 조류 관측을 위해 기상 레이더, 공항 탐색 레이더, 추적 레이더, 선박용 레이더 등 여러 종류의 레이더를 도입하는 연구가 진행되어 왔다(Korea National Park Research Institute[2010]). 하지만, 기상 레이더는 관측 범위가 넓지만 수십억원대의 고가이며, 이용이 쉽지 않다는 제약이 있다. 마찬가지로 공항 탐색 레이더 및 추적 레이더도 상대적으로 고가이며, 이동이 쉽지 않아 경제성 및 이동성 측면에서의 단점이 있다.

한편, FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave : 주파수 변조 연속파) 레이더는 마그네트론(magnetron)을 이용하는 기존 펄스(pulse) 레이더에 비해 출력이 낮고, 저전력으로 동작하여 배터리 부하 및 전기적인 고장이 적으며, 물표 분해능 및 수면 반사 제어에 뛰어나다. 하지만 상대적으로 탐지 거리가 짧아(최대 36해리) 주로 소형 선박이나 근거리 탐지용으로 사용되며, 선박을 비롯하여 군사, 비행 고도 측정, 차량 충돌 방지, 탱크 레벨 측정 등 많은 분야에서 응용되고 있다(Kim *et al.*[2009], Park *et al.*[2004], Ji and Lee[2010]).

본 논문에서는 경제성 및 이동성 측면에서의 장점을 지닌 선박용 FMCW 레이더를 이용하여 조류를 관측하는 시스템을 개발하며, 개발하는 시스템은 레이더를 통해 수집된 정보를 현지뿐만 아니라 원격지에서 표시하고 통계 및 관리할 수 있도록 해주는 기능을 제공한다. 이를 위해 각종 장비를 이용하여 원격 조류 관측 시스템을 구축하고, 구축된 시스템에서 사용하기 위한 프로그램을 개발하였다. 개발한 프로그램은 클라이언트 및 서버 프로그램, 통계 프로그램으로, 클라이언트 및 서버 프로그램의 주요 기능은 현지에서 수집된 레이더 정보를 원격지에서도 확인할 수 있도록 표시하고, 레이더를 제어하는 것이다. 통계 프로그램의 주요 기능은 이미지 처리 기법 및 물표 인식 기술을 이용하여 조류를 탐지하고 인식하여 통계 작업을 수행하는 것이다.

2. 관련 연구

2.1 선박용 레이더를 이용한 조류 관측

선박용 레이더를 이용한 조류 관측에 관한 대표적인 연구로는 1998년 클렘스 대학의 BIRD RADAR(BIRD RADAR)가 있다(Gauthreaux and Belser[2003]). 이는 Furuno 사의 선박용 X-Band 펄스 레이더와 타원형 안테나를 이용하여 시스템을 구축하였으며, 6 km 범위까지

관측 가능하다. 이는 10개의 단일 물표에 대하여 수동으로 표시하여 추적하는 방법으로 조류의 이동 범위, 속도, 방향 등을 기록한다. 또한 계속적인 실험을 통하여 안테나의 크기를 교체하는 등 BIRD RADAR의 신뢰성을 향상시키기 위한 연구 등이 있다(Gauthreaux and Belser[2005]).

2.2 조류 관측 기법에 관한 국내의 연구 동향

레이더를 이용한 조류 관측 기법에 대한 관심이 높아지고, 국가적인 차원의 관측이 필요해짐에 따라 대규모 관측 기법에 관한 연구가 진행되고 있다. 대표적인 예로, 고정 빔(fixed beam) 레이더 및 열 화상 카메라를 이용한 조류 이동 관측에 관한 연구(Gauthreaux and Livingston[2006])가 있다. 또한 NEXRAD(NEXt Generation RADAR)의 도플러 기상 레이더인 WSR-88D(Weather Surveillance Radar-1988, Doppler) 네트워크를 통해 조류 이동 관측에 관한 연구(Gauthreaux *et al.*[2008], Horn and Kunz[2008]) 등이 있다. 국내의 경우에도 진도의 기상 레이더를 이용한 조류 이동 관측 사례 연구(Huh *et al.*[2011]) 등이 있다. 하지만, 이러한 연구에 사용된 레이더는 이용이 제한적이고 수십억원대의 고가이며 이동이 쉽지 않아 그 활용에 있어서 여러 제약점이 존재한다.

3. 시스템 설계 및 구현

3.1 시스템 구조 설계 및 각 구성 요소들의 기능 명세

본 논문에서 제안하는 시스템의 구조는 Fig. 1과 같으며, 현지(local) 클라이언트 시스템과 원격지(remote) 서버 시스템으로 구분되어 있다. 개발한 시스템에는 현지에서 수집된 레이더 정보를 원격지에서도 확인할 수 있도록 표시하는 기능 및 레이더를 제어하는 기능을 제공하는 서버 및 클라이언트 프로그램이 포함되며, 수집된 레이더 정보에 이미지 처리 및 물표 인식 기술을 적용하여 관측된 조류 통계 기능을 제공하는 통계 프로그램도 포함된다.

로컬 클라이언트 시스템에는 FMCW 레이더, 인터페이스 박스(interface box), 전원 공급 장치(power supply), 네트워크 확장 포트(network extension box), 외부 저장장치(external storage), 클라이언트 PC로 구성되어 있고, 원격지 서버 시스템은 서버 PC, 외부 저장장치로 구성되어 있다. 시스템을 구성하는 각 장비들의 기능은 다음과 같다.

- FMCW RADAR: 스캔을 통하여 물표(조류 등)를 관측하며 정보를 수집하는 기능
- Interface box: FMCW 레이더에 의해 수집된 정보(spoke data)를 이더넷으로 송수신할 수 있도록 변환 및 제어 메시지를 레이더로 전달하는 기능
- Power supply: 레이더, 인터페이스 박스, 네트워크 확장 포트에 전원을 공급하는 기능
- Network extension port: 인터페이스 박스에 의해 변환된 레이더 데이터를 클라이언트 PC로 전송하기 위한 스위칭 기능
- Client PC: 레이더 데이터를 화면에 표시, 외부 저장장치에 저장,

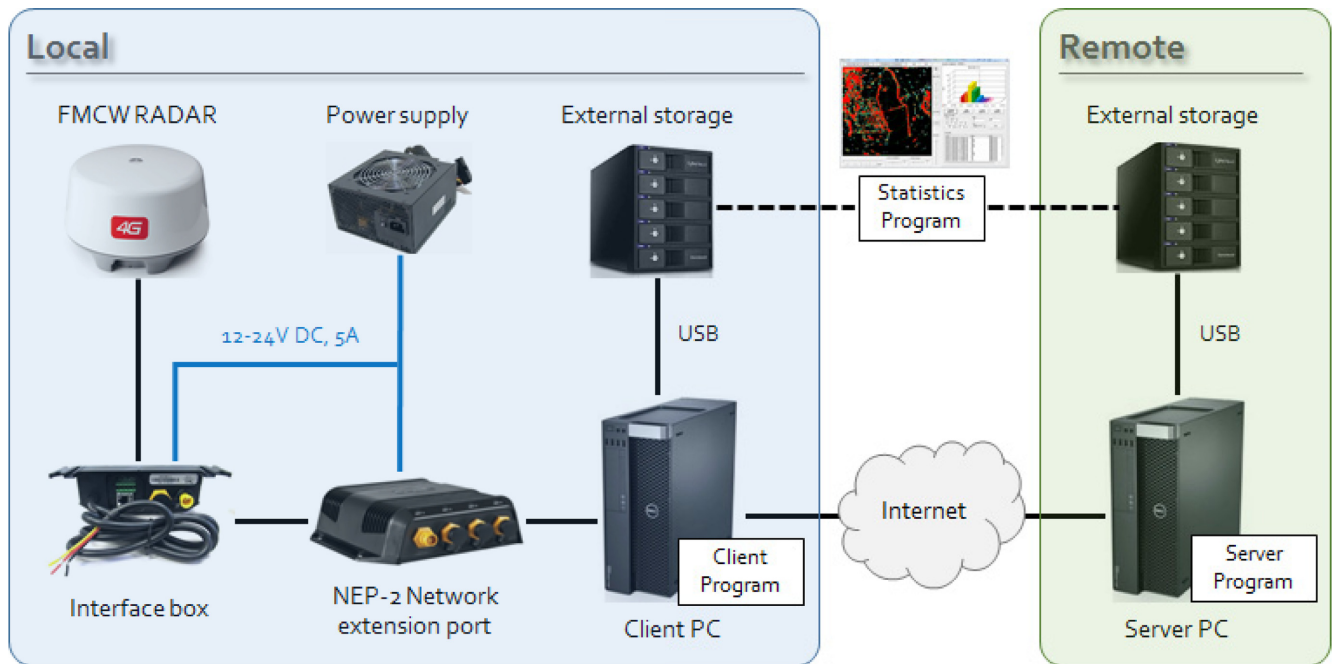


Fig. 1. Conceptual diagram of the remote bird observation system.

조류 통계를 위한 이미지 처리, 인터넷을 통해 레이더 정보(spoke) 및 통계 데이터를 서버 PC로 전송 및 레이더를 제어하는 기능을 가진 클라이언트 프로그램을 포함

- Server PC: 수신한 레이더 데이터를 화면에 표시, 외부 저장장치에 저장, 데이터 검색 및 통계 및 원격으로 레이더를 제어하는 기능을 하는 서버 프로그램을 포함

- External storage: 레이더 정보 및 조류관련 통계 데이터를 저장하고 관리하는 기능

시스템을 구성하는 장비들과 연계되어 동작하도록 개발한 서버 및 클라이언트 프로그램 및 통계 프로그램의 기능은 다음과 같다.

- Client Program: 클라이언트 PC 내부에서 동작, 수집된 레이더 정보(spoke)를 이미지로 화면에 표시 및 외부 저장장치에 저장하는 기능, 레이더 동작(on/off, 관측 범위 설정 등), 반사파 및 노이즈 제어, 민감도 및 정밀도 설정 등의 레이더 제어 기능 등을 제공

- Server Program: 서버 PC 내부에서 동작, 수신된 레이더 데이터를 화면에 표시해주는 기능 및 외부 저장장치에 저장하는 기능, 레이더 제어 기능 등 클라이언트 프로그램과 유사한 기능 등을 제공, 추가적으로 외부 저장장치에 저장된 레이더 데이터를 이용하여 날짜 및 시간별로 선택적으로 재생하는 기능을 제공

- Statistics Program: 이미지 처리 및 물표 인식 기술 등을 이용하여 수집된 레이더 정보에서 조류를 인식하고 이에 관한 통계 기능을 제공, 외부 저장장치에 저장된 레이더 데이터를 이용하여 날짜 및 시간별로 선택적으로 재생하는 기능을 제공

Table 1. Specifications of devices

	Specifications
FMCW RADAR	Lowrance Broadband 4G RADAR
Interface box	Lowrance RI-10
Power supply	12-24V DC/5A Adaptor
Ethernet switch	Lowrance NEP-2 Network Expansion Port
Client PC/Server PC	Dell Precision T3600
External storage	DataMore PentaRAID Deluxe (10TB)

Table 2. Specifications of FMCW RADAR

	Specifications
Compliance	FCC/IC/R&TTE
	FCC ID: RAY3G4G
	IC ID: 4697A-3G4G
Environmental	Human Exposure General Public
	Safety Limit - touch dome anywhere
	IEC60945 4th edition 2002-2008
Relative wind velocity	Operating temperature: -25° to +55 °C
	Relative humidity: +35 °C, 95% RH
	Waterproof: IPX6
Power Consumption	51 m/sec (Max:100 Knots)
DC Input	Operating: 18W (Typ.) @ 13.8VDC
Outside Dimensions	Standby: 2W (Typ.) @ 13.8VDC
Weight	9V ~ 31.2Vdc (12/24 Volt systems)
	Height 280 mm (11.02")
	× Diameter 488 mm (19.27 lbs.)
	7.4 kg

3.2 하드웨어 사양 및 개발 환경

본 논문에서 다루는 원격 조류 관측 시스템 개발을 위해 사용한 장비의 사양은 Table 1과 같으며, FMCW 레이더의 세부 사양은

Table 3. Development environments of system

	Specifications
OS	Microsoft Windows 7 Professional K
Tool	Microsoft Visual Studio 2010
Language	MFC / C++
SDK/API	Navico BRPC Radar Software Development Kit Library

Table 2와 같다. 또한 서버/클라이언트/통계 프로그램의 개발 환경은 Table 3에 나타냈으며, 레이더와 관련된 부분은 Navico사에서 제공하는 Navico BRPC Radar Software Development Kit Library (Corda[2009], Corda and Bell[2009a], Corda and Bell[2009b], Bell[2009])를 이용하였다.

3.3 클라이언트 및 서버 프로그램 개발

클라이언트 프로그램은 클라이언트 PC 내부에서 동작하며, 수집된 레이더 정보(spoke)를 화면에 표시하고, 외부 저장장치에 저장하는 기능을 제공한다. 또한 레이더 동작(on/off, 관측 범위 설정 등), 반사파 및 노이즈 제어, 민감도 및 정밀도 설정 등의 레이더 제어 기능 등을 제공한다.

개발한 클라이언트 프로그램의 사용자 인터페이스는 Fig. 2와 같으며, GPS 정보 표시창(①), 레이더 이미지 표시창(②), 레이더 동작 상태 메시지 표시창(③), 레이더 민감도 설정부(④), 레이더의 일반 설정부(⑤), 레이더 동작 설정부(⑥), 기타 프로그램 설정 버튼(⑦), Guard Zone 등 레이더 이미지 관련 설정부(⑧), 타겟 설정 및 설정

된 타겟 리스트(⑨), 레이더 동작 버튼(⑩), 프로그램 종료 버튼(⑪) 등으로 구성되어 있다.

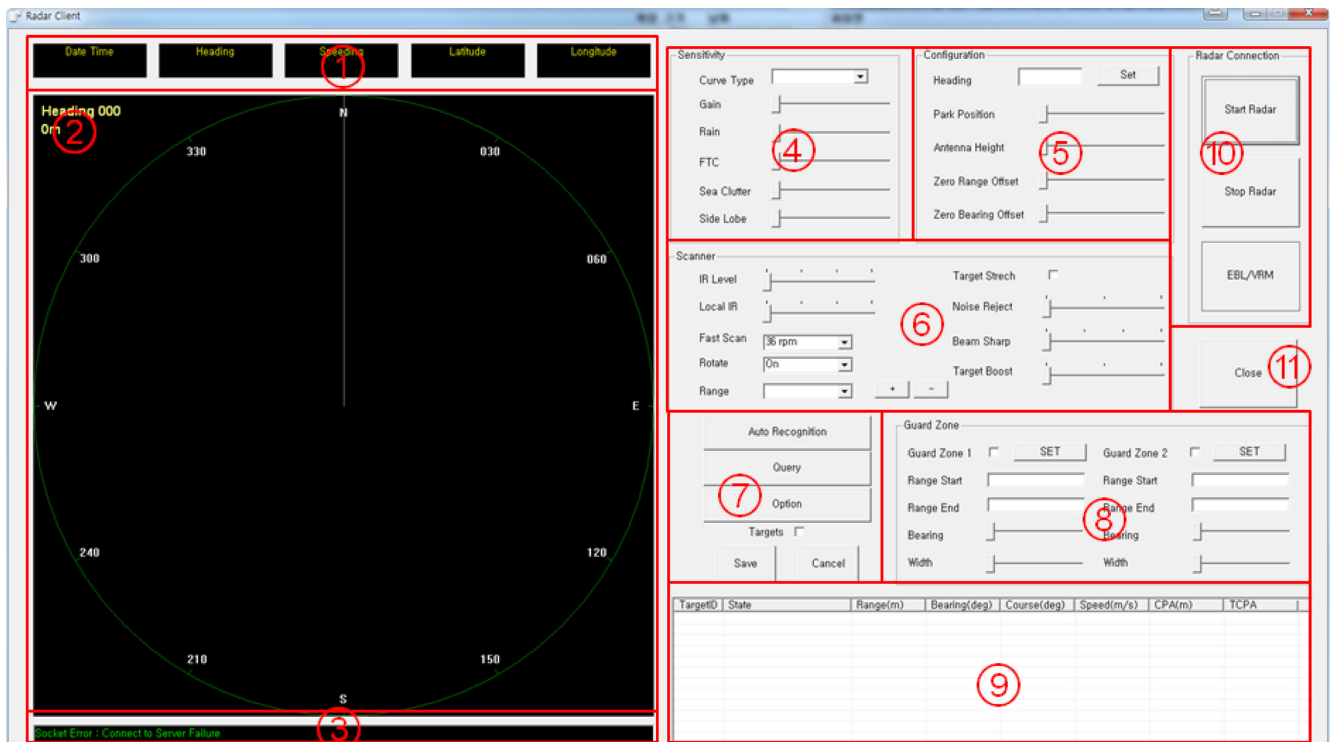
서버 프로그램은 서버 PC 내부에서 동작하며, 수신된 레이더 데이터를 화면에 표시해주는 기능 및 외부 저장장치에 저장하는 기능 등 레이더 제어 기능 등 클라이언트 프로그램과 유사한 기능을 제공한다. 또한 추가적으로 외부 저장장치에 저장된 레이더 데이터를 이용하여 날짜 및 시간별로 선택적으로 재생하는 기능을 제공한다.

서버 프로그램의 사용자 인터페이스는 Fig. 3과 같으며, 레이더 이미지 표시창(①), 서버의 현재 동작 상태 알람창(②), 원격 레이더 동작 버튼(③), 원격 레이더 중지 버튼(④), EBL(Electronic Bearing Line)/VRM(Variable Range Marker) 기능 동작/정지 버튼(⑤), 프로그램 설정 버튼(⑥), 서버 사용자 관리 버튼(⑦), 프로그램을 종료 버튼(⑧), 레이더 동작과 관련 설정부(⑨), 레이더의 민감도 설정부(⑩), 레이더의 일반 설정부(⑪), 검색된 레이더 정보 재현부(⑫), 저장된 레이더 정보 검색창(⑬) 등으로 구성되어 있다.

3.4 통계 프로그램 개발

본 논문에서 다루는 시스템의 가장 중요한 기능을 담당하는 통계 프로그램은 물표 인식을 위한 이미지 처리 기술을 이용하여 수집된 레이더 정보에서 조류를 인식하고 이에 관한 통계 기능을 제공하며, 외부 저장장치에 저장된 레이더 데이터를 이용하여 날짜 및 시간별로 선택적으로 재생하는 기능을 제공한다.

통계 프로그램은 외부 저장장치에 저장된 데이터를 이용하여 레이더 이미지를 재생 하는 기능을 한다. 또한 이미지 처리를 통해 저

**Fig. 2.** User interface of client program.

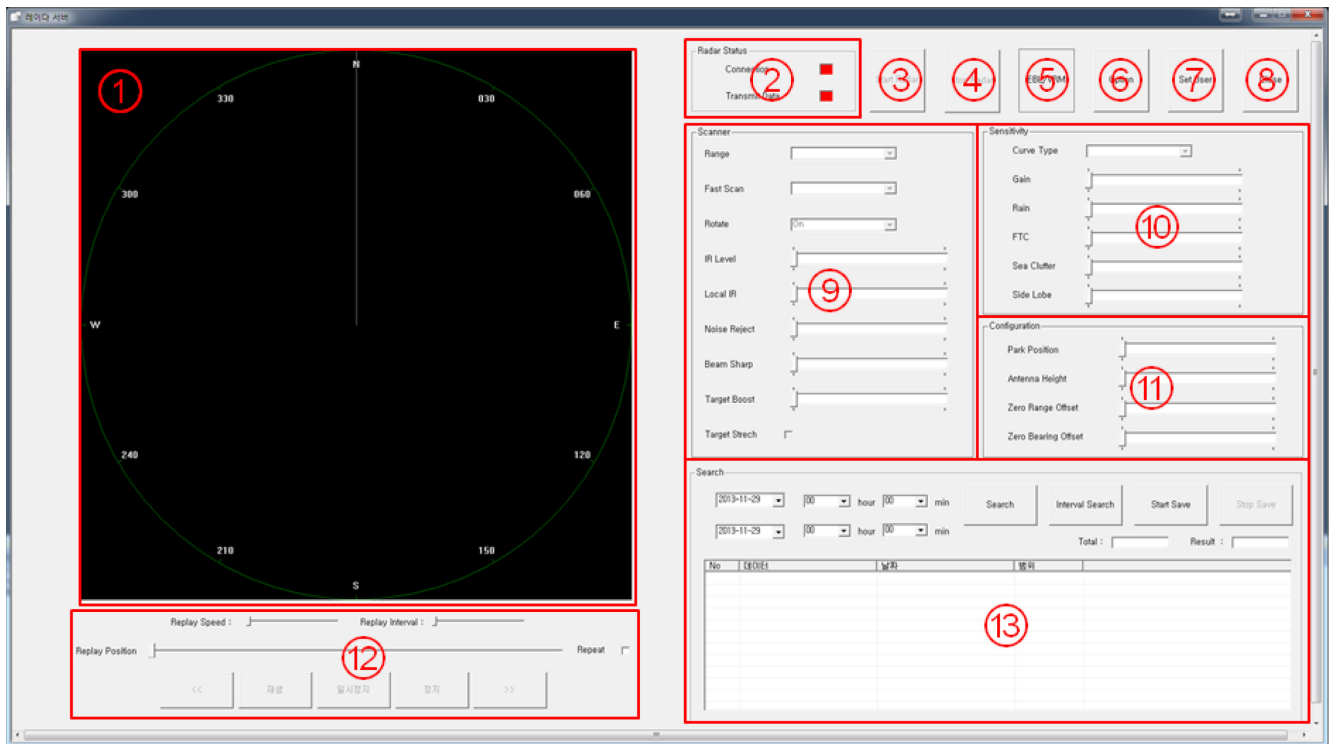


Fig. 3. User interface of server program.

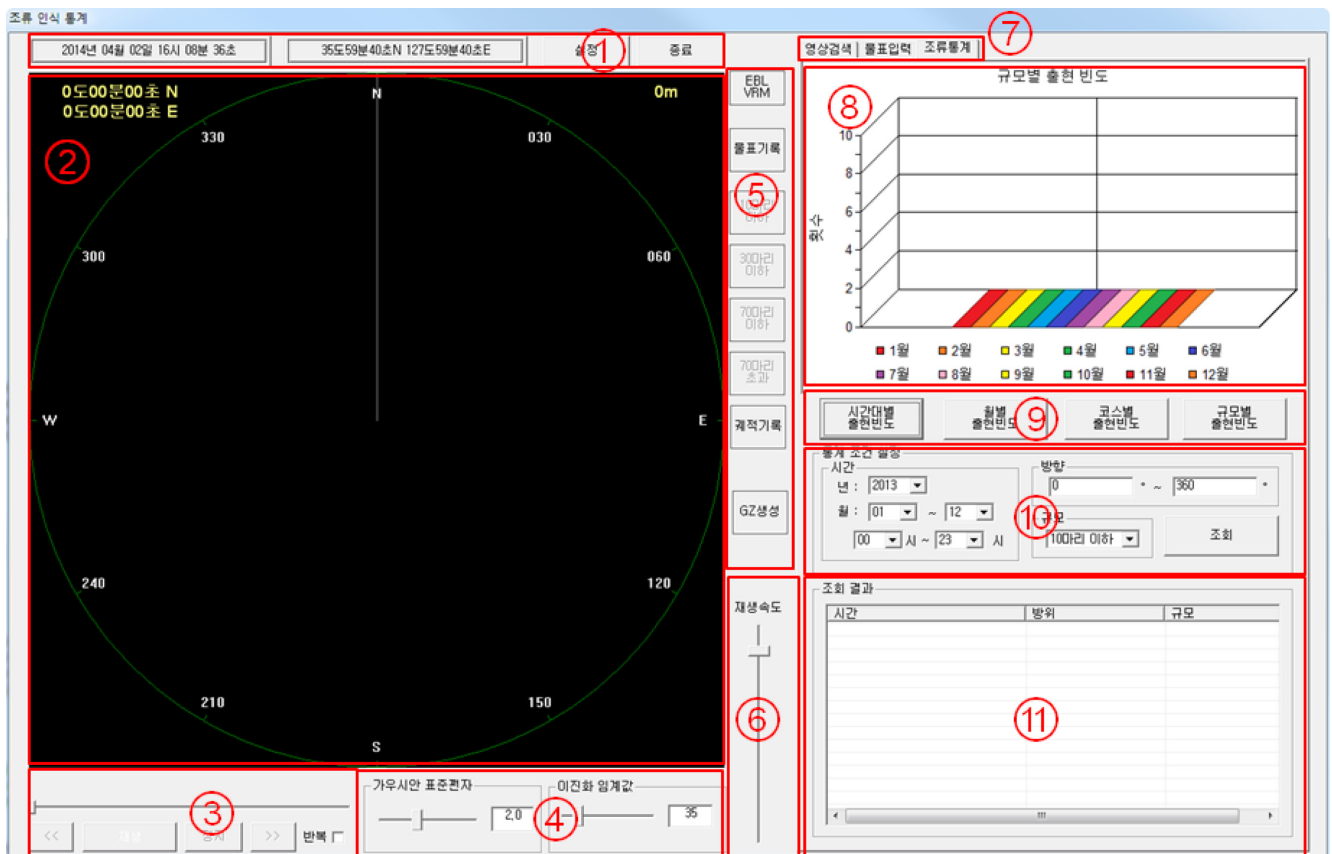


Fig. 4. User interface of statistics program.

장된 조류 관측 데이터를 조건별로 검색하는 기능, 검색 결과를 차트를 이용하여 표시해주는 기능 등의 통계 기능을 제공한다. 통계 프로그램의 사용자 인터페이스는 Fig. 4와 같으며, 시간 및 위경도 표시부(①), 레이더 이미지 표시창(②), 검색된 레이더 정보 재현부(③), 이미지 처리 제어부(④), 기록 옵션 선택부(⑤), 재생속도 제어부(⑥), 기능 전환(검색/통계/물표)탭(⑦), 통계 그래프 표시창(⑧), 통계 옵션 선택부(⑨), 통계 조건 설정부(⑩), 조회 결과 표시창(⑪) 등으로 구성되어 있다.

물표(조류)의 인식을 위한 여러 이미지 처리 기법이 알려져 있지만, 본 논문에서 다루는 통계 프로그램에서의 물표 인식을 위한 과

정은 Fig. 5와 같다. spoke data로 수집된 레이더 정보는 먼저, 비트맵 이미지 파일로 변환된다. 그 후, 그레이스케일(grayscale), 가우시안 필터링(Gaussian filtering), 이진화(binarityzation), 라벨링(labeling)의 네 가지 이미지 처리 기법을 이용하여 물표를 인식하기 위한 라벨링 작업을 수행하며, Fig. 6에 이미지 처리에 관한 예제를 나타내었다.

24비트 비트맵으로 변환된 레이더 이미지에서 물표를 인식하기 위한 첫 번째 단계로 그레이스케일 기법을 적용하였으며, 이는 이진화 처리 기법을 적용하기 위한 선행 작업이다. 그레이스케일은 레이더 이미지에서 색상 정보를 제거하여 검은색, 회색, 흰색 등 밝기 정보만으로 이미지를 재구성하는 것을 의미하며, 변환된 그레이스케일 이미지의 하나의 픽셀은 0~255사이의 값을 가진다. 두 번째 단계로 레이더 이미지의 잡음(noise)을 없애기 위해 식 (1)과 같은 2차원 가우시안 함수를 이용하여 필터링을 수행하였다. 가우시안 함수에서 x, y 는 이미지 상에서 각각 가로, 세로 픽셀 좌표 값을 의미하며, σ 는 표준편차를 의미한다. σ 는 값의 분포를 결정하는 변수로 σ 값이 클수록 높이는 낮지만 폭은 넓어지므로 많은 저주파 성분을 통과시킨다. 반대로 σ 값이 작아지면 적은 저주파 성분만 통과시키는 것으로 σ 값이 크면 적은 양의 고주파 성분이 제거되고, σ 값이 작으면 많은 양의 고주파 성분이 제거 된다. 즉, 레이더 이미지에 σ (표준편차)에 따른 흐림(blurring) 효과를 주어 잡음을 제거하기 위한 목적이다. 흐림 효과를 주면 해당 작은 신호의 픽셀값은 주변 픽셀값과 유사한 값으로 변환되고 결과적으로 이미지에서 제거되는 효과

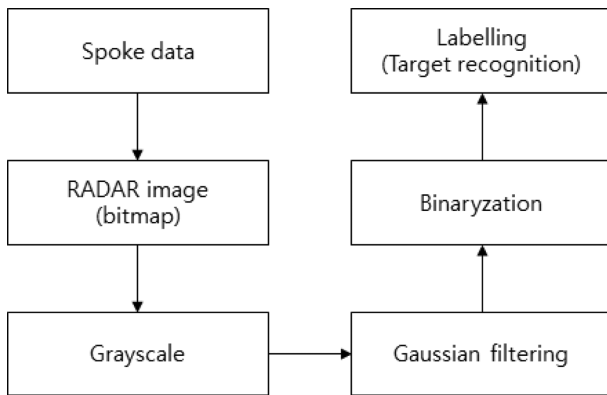


Fig. 5. Processes of labelling (target recognition).

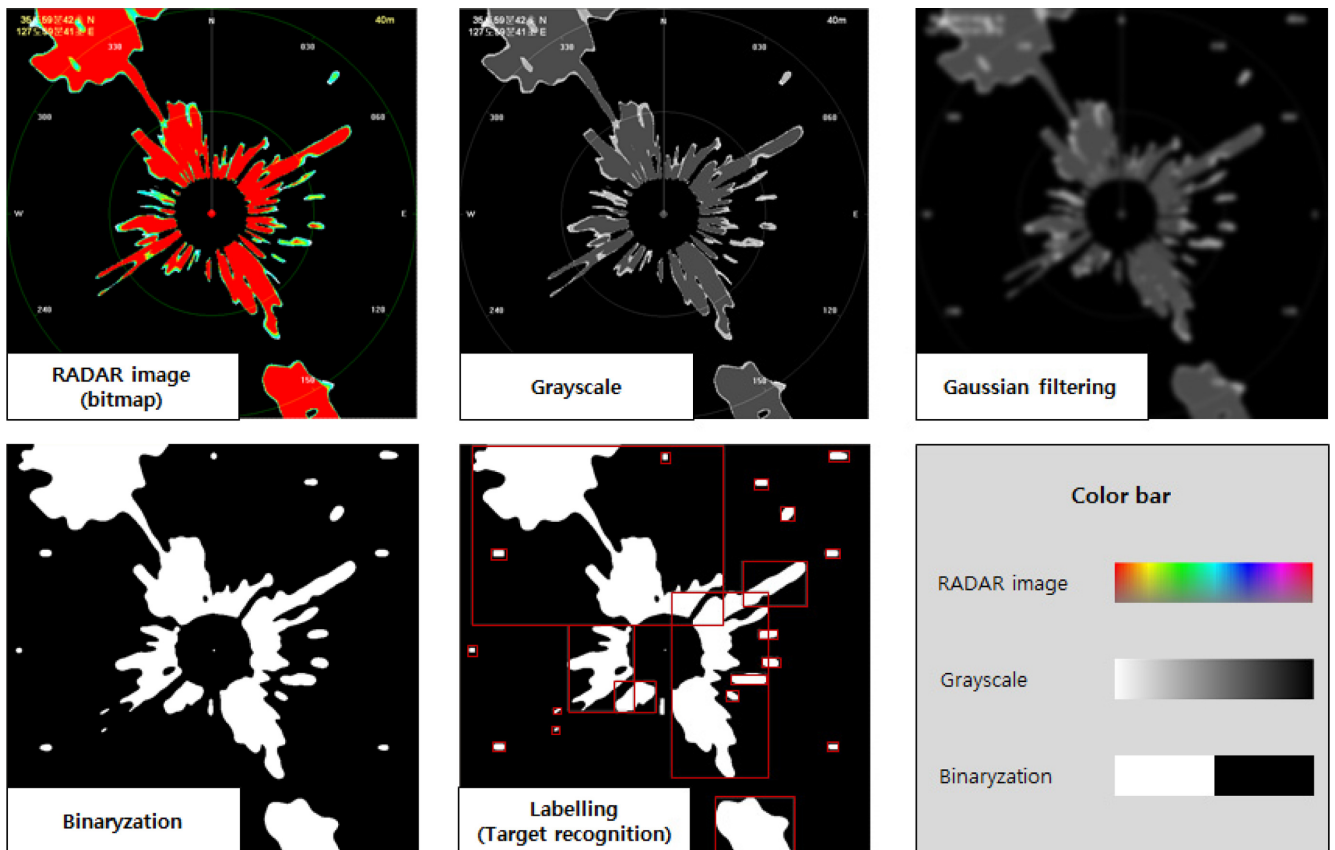


Fig. 6. Example of labelling (target recognition).

를 볼 수 있다.

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

세 번째 단계로 이진화 기법을 적용하는데 이는 이미지의 픽셀 값을 0 혹은 255로 변환하는 것을 의미한다. 그레이스케일 과정을 거친 이미지에 임계값(threshold)을 사용자가 직접 설정할 수 있으며, 픽셀 값이 설정한 임계값 보다 클 경우에는 255, 작을 경우에는 0으로 표현하여 이미지가 검은색 혹은 흰색만으로 구성되도록 한다. 임계값이 255에 가깝게 설정할수록 그레이스케일 이미지에서 밝은 부분만을 객체로 인식하겠다는 의미를 갖는다. 따라서 앞서 언급한 가우시안 필터링의 σ (표준 편차)와 이진화 기법의 임계값을 사용자가 임의로 설정하여 잡음을 제거할 수 있다. 결과적으로 흰색 정보는 레이더의 주파수에 반사된 사물 또는 객체를 의미하게 된다. 마지막 단계로 물표 인식을 위한 라벨링 작업을 수행하는데, 이는 이미지에서 영역 구분을 위한 작업을 의미한다. 즉, 이진화된 이미지에서 인접한 픽셀값이 0인지, 혹은 255인지에 따라 영역을 구분하여 해당 물표를 하나로 인식할 수 있도록 해주는 작업이다(Hwang[2010]).

예를 들어, 레이더 영상에서 탐지된 물표가 있다고 가정하면, 물표의 픽셀 위치를 중심으로 좌우(40픽셀), 하단(80픽셀)의 범위를 검색하여 값이 0이 아닌 픽셀(값을 가지는 픽셀)의 개수를 계수하고, 경계점 및 중심점을 결정한다. 이러한 방법으로 전 화면에 걸친 픽셀을 검색하게 되면 화면상에 나타난 모든 물표를 검색하게 된다. 또한 픽셀 개수가 군집의 크기가 되며, 경계 사각형의 중심이 군집의 위치가 된다.

4. 실험 및 유용성 검증

본 논문에서 다루는 개발한 조류 관측 시스템의 유용성 검증 및 개선점 파악을 위하여, 천수만과 을숙도 부근에서 실험을 수행하였다.

4.1 실험의 범위

본 논문에서 다루는 시스템은 비행하는 물체를 탐지하기 위하여 25도 각도의 빔폭을 갖는 레이더를 수평양각 12.5도로 관측한 레이더 이미지를 이용하여 조류를 탐지하는 기능을 갖는 시스템이다. 이 시스템은 이미지 프로세싱을 통한 물표 탐지만을 다루기 때문에 이동하는 물체를 추적할 수 없다. 또한 인식된 물표가 조류인지 선박 인지를 구분하지 못하는 단점을 가지고 있다. 이 시스템이 운용되고 있는 전라북도 부안군 위도에 위치한 선박의 통항이 없는 특정 지역에서 FMCW 레이더를 이용한 조류 관측을 위해 운용이 가능한지 확인을 위한 실험을 두 차례 수행하였다. 실험의 제한점으로 육지를 제외한 강이나 바다 지역에서 발생하는 레이더 신호는 모두 조류라고 가정한다. 그리고 라벨링한 이미지의 픽셀수가 200픽셀 이상일 경우와 4픽셀 이하의 물표는 지형지물 및 잡음으로 판단하여 제외한다.

조류의 이동경로 추적은 향후 연구에서 다루도록 한다. 또한 레

Table 4. Criteria of bird crowding scale

픽셀의 크기	조류 군집의 규모
4픽셀 이하	잡음으로 판단
5~10 픽셀	5마리 이하
11~20 픽셀	6~20마리 미만
21~40 픽셀	21~60마리 미만
41~80 픽셀	61~100마리 미만
80픽셀 초과	100마리 이상

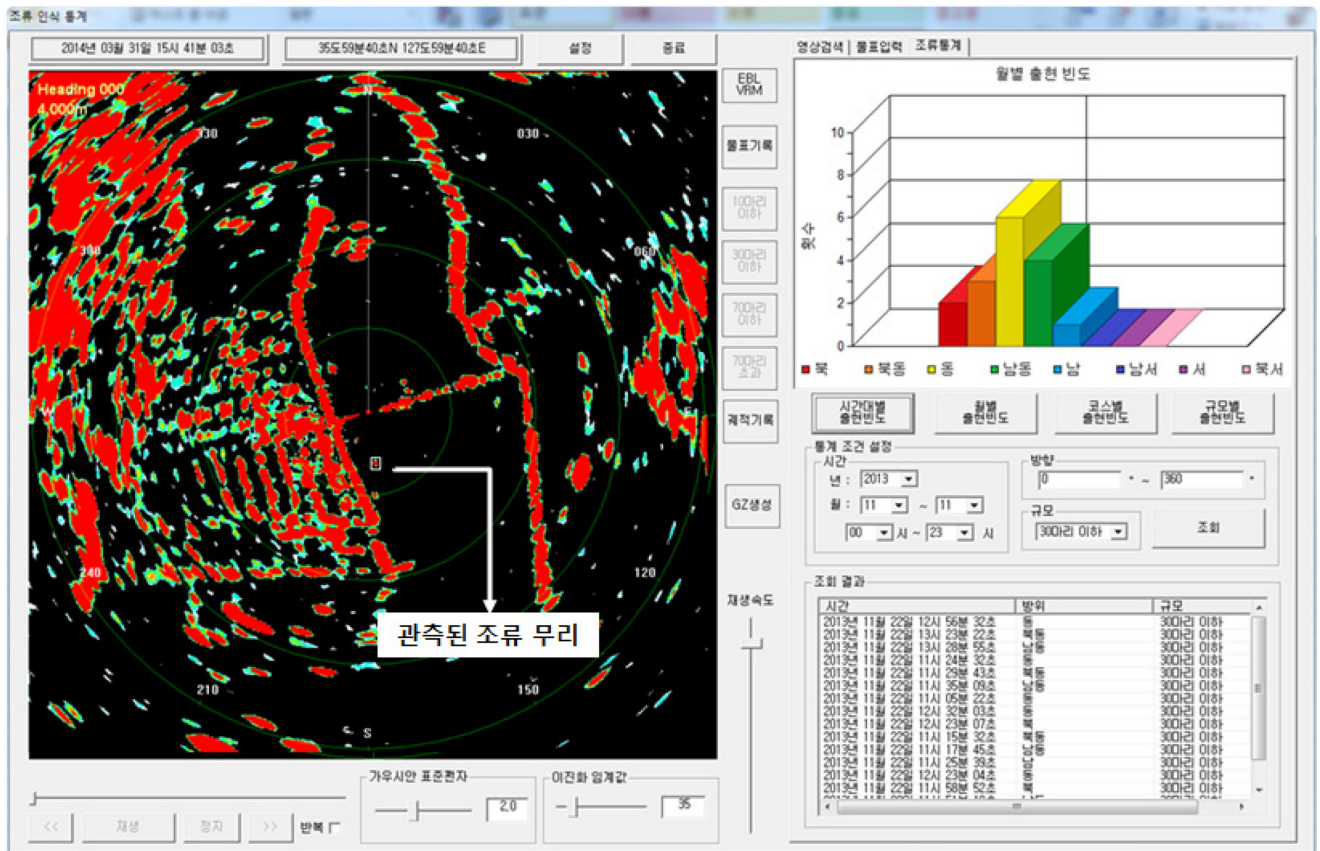
이더 신호 잡음을 제거하기 위하여 이미지 처리를 수행하지만, 모든 잡음을 완벽하게 제거할 수는 없기 때문에 Table 4와 같이 조류가 비행하는 거리, 고도, 조류 무리의 밀집도에 따라 반사되는 레이더의 신호 값이 차이가 발생할 수 있음을 감안하여 군집의 규모를 추론하기 위한 픽셀의 수를 설정하였다. 실험은 조류의 탐지 및 규모를 유추하기 위한 수준으로 수행하였으며, 결과는 통계 프로그램을 이용하여 표현한다. 이때, 가우시안 필터의 표준편차는 2.0, 이진화 임계값은 35로 설정하였다.

4.2 1차 실험(천수만 부근)

1차 실험은 2013년 11월 22일 오전 10시부터 오후 15시까지, 충청남도 서산시 고북면의 천수만 A지구 간월호 부근에서 수행하였다. 인근 다리의 중앙에 레이더를 설치하고, 이동하는 소규모(10마리 내외) 조류 무리가 레이더에 의해 관측이 되는지 확인하는 방법으로 조류의 인식을 위한 최소 요구사항 정의하는 것이 1차 실험의 목적이었다. Fig. 7의 (a)는 실험 결과를 통계 프로그램으로 표현한 화면이다. 화면에서 흰색 박스로 인식된 조류를 그림을 통해 확인할 수 있다. 또한 Fig. 7의 (b)는 실험 환경을 사진으로 촬영한 것이며, Fig. 7의 (c)는 실험 장소 및 레이더 설치 장소를 나타낸 위성사진이다. 실험 결과, 최소 4마리의 조류가 이동시 레이더에 관측되는 것을 확인하였다. 또한 조류가 레이더의 감도 60, 해면반사파 12의 수치 값에서 물표가 잘 관측됨을 확인하였다. 다만, 환경적인 요소(눈, 비, 바람)를 항상 고려하여 감도 및 해면반사파의 수치 정보 조절이 필요하다. 예를 들어 눈, 비가 올 경우 레이더에 눈비 신호가 표시되며, 바람이 많이 불 경우 파도에 의해 해면반사가 많이 일어날 경우 레이더에 이러한 정보가 모두 표시되므로 항상 감도 60, 해면반사파 12 값을 설정하는 것은 무의미하므로 날씨 조건에 따라서 레이더 설정이 필요함을 확인하였다.

4.3 2차 실험(을숙도 부근)

2차 실험은 2013년 12월 19일 오전 10시부터 오후 13시까지 부산광역시 강서구 을숙도(서낙동강 하구)의 해양경찰서 녹산출장소 부근에서 수행하였다. 방파제에 레이더를 설치한 후, 15피트 급의 소형 선박을 이용하여 조류가 비행하도록 유도하고, 무리지어 비행하는 조류의 관측이 가능한지를 확인하는 방법을 이용하였다. 대규모(100마리 이상)의 조류 무리를 관측하는 것이 2차 실험의 목적이었다. Fig. 8의 (a)는 실험 결과를 통계 프로그램으로 표현한 화면이



(a) Screen capture of statistics program



(b) Test condition



(출처 : 네이버 지도)

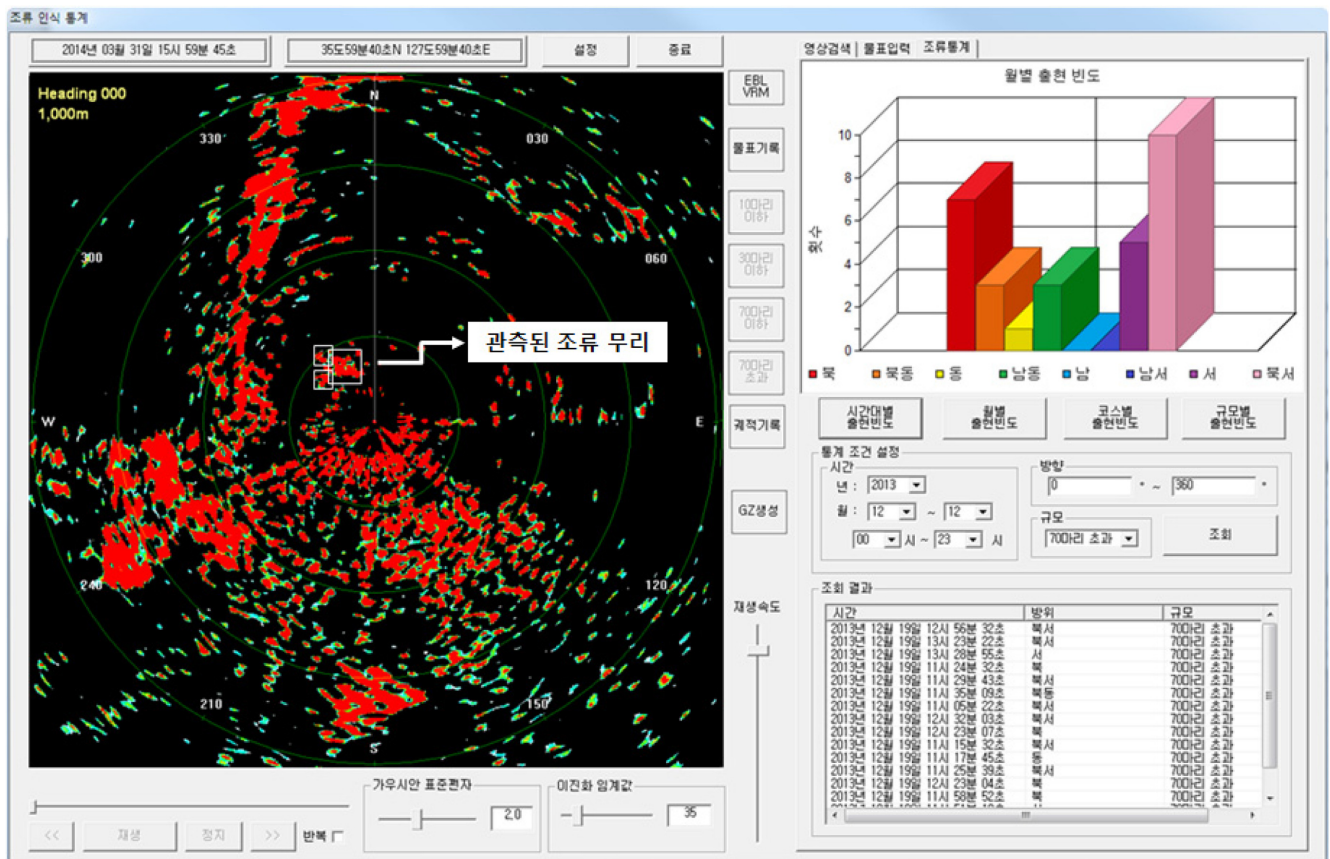
(c) RADAR installation position

Fig. 7. Result of first test.

다. 또한 Fig. 8의 (b)는 실험 환경을 사진으로 촬영한 것이며, Fig. 8의 (c)는 실험 장소 및 레이더 설치 장소를 나타낸 위성사진이다. 실험 결과, 무리지어 비행하는 조류의 인식 및 관측이 가능성을 검증하였으며, 실제 조류의 규모와 레이더에 표시되는 크기간의 관계를 재조정하였다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 이동성 및 경제성 측면에서의 장점을 지닌 선박용 FMCW 레이더를 이용한 조류 관측 시스템의 개발에 관한 내용을 다루었다. 개발한 시스템은 레이더를 통해 수집된 정보를 현지뿐만



(a) Screen capture of statistics program



(b) Test condition



(출처 : 네이버 지도)

(c) RADAR installation position

Fig. 8. Result of second test.

아니라 원격지에서 표시해주고, 이미지 처리를 통해 조류관련 데이터를 통계 및 관리할 수 있도록 해주는 기능을 가진다. 개발한 시스템은 환경오염이나 지구온난화 등이 생태계에 미치는 영향을 파악하기 위한 조류 관측에 관한 연구 뿐 아니라, 풍력 발전 단지 등의 입지 조건을 결정하기 위한 환경 평가 등의 분야에 도입되어 활용

될 수 있을 것으로 사료된다.

향후에는 본 논문에서 다룬 시스템의 부족한 부분을 보완하기 위한 연구가 필요할 것이다. 첫째, 조류와 물표를 구분하기 위한 연구가 진행되어야 한다. 개발한 시스템은 움직이는 물표의 인식은 가능하지만, 인식된 물표가 무엇인지는 구분할 수 없기 때문에 조류 관

측을 위해서 조류의 이동 및 비행 특성 등을 분석하여 보다 정확하게 조류를 인식하는 알고리즘의 개발이 필요하다. 둘째, 칼만 필터(Kalman filter) 및 캠 시프트(CAM Shift, Continuously Adaptive Mean Shift) 기법 등을 도입하여 조류의 이동 경로를 추적하는 것에 관한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 2014년 동남 광역경제권 선도산업 R&D 사업 및 한국 해양과학기술진흥원과 에코션(주)의 지원으로 수행된 연구결과이다.

References

- [1] Bell, G., 2009, Technical Paper: NavRadar Multi-Radar Client class description, Navico Auckland, New Zealand.
- [2] Corda, S., 2009, Technical Paper: PPI class description, Navico Auckland, New Zealand.
- [3] Corda, S. and Bell, G., 2009a, Technical Paper: NavRadar NRP class description, Navico Auckland, New Zealand.
- [4] Corda, S. and Bell, G., 2009b, Technical Paper: NavRadar NRP Target Tracking class description, Navico Auckland, New Zealand.
- [5] Gauthreaux, S.A.Jr. and Belser C.G., 2003, "OVERVIEW: Radar ornithology and biological conservation", *The Auk*, Vol. 120, No. 2, pp. 266-277.
- [6] Gauthreaux, S.A.Jr. and Belser C.G., 2005, "Radar Ornithology and the Conservation of Migratory Birds", *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191*, pp. 871-875.
- [7] Gauthreaux, S.A.Jr. and Livingston, J.W., 2006, "Monitoring bird migration with a fixed-beam radar and a thermal-imaging camera", *Journal of Field Ornithology*. Vol. 77, No. 3, pp. 319-328.
- [8] Gauthreaux, S.A.Jr., Livingston, J.W. and Belser, C.G., 2008, "Detection and discrimination of fauna in the aerosphere using Doppler weather surveillance radar", *SICB Journal: Integrative and Comparative Biology*, Vol. 48, No. 1, pp. 12-23.
- [9] Horn, J.W. and Kunz, T.H., 2008, "Analyzing NEXRAD doppler radar images to assess nightly dispersal patterns and population trends in Brazilian free-tailed bats (*Tadarida brasiliensis*)", *SICB Journal: Integrative and Comparative Biology*, Vol. 48, No. 1, pp. 24-39.
- [10] Huh, B.H., Yoo, C.H., Ham, D.J. and Hwang, I.K., 2011, *Bird Migration Monitoring using Weather Radar*, KMA Weather Radar Center, Korea.
- [11] Hwnag, S.K., 2007, *Image Processing Programming by Visual C++*, 1st Edition, Hanbit Media, Korea.
- [12] Ji, S.J. and Lee, J.T., 2010, "FMCW radar type level transmitter", *Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers Conference*, pp. 1754-1755.
- [13] Kim, J.Y. Chong, K.T. and Kim, T.Y., 2009, "X-Band FMCW RADAR signal processing for small ship", *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation*, vol. 10, no. 11, pp. 3121-3129.
- [14] Korea National Park Research Institute, 2010, *2010 Annual Report on Migratory Bird Researches*, Korea National Park Research Institute, Korea.
- [15] Park, D.K., Han, T.K., Park, I.Y. and Yoon, C.S., 2004, "A study on the development of level sensor using frequency modulated continuous wave", *Journal of Korean Institute of Navigation and Port Research*, vol. 28, no. 6, pp. 497-501.

Received 13 February 2014

1st Revised 20 March 2014, 2nd Revised 28 April 2014,

3rd Revised 7 May 2014, 4th Revised 19 August 2014

Accepted 20 August 2014