

UHF 레이더의 자료 품질에 미치는 클러터 펜스 효과

조원기* · 권병혁** · 윤홍주***

Clutter Fence Effect on Data Quality of Ultra High Frequency Radar

Won-Gi Jo* · Byung-Hyuk Kwon** · Hong-Joo Yoon***

요약

산이나 건물과 같은 지형지물에 의해 발생하는 클러터는 대기 상태와 무관한 오염된 자료로 간주된다. 클러터 신호를 줄이기 위한 기본적인 방법은 윈드프로파일러 주위에 클러터 펜스를 설치하는 것이다. 클러터 펜스가 윈드프로파일러 관측 자료에 미치는 효과를 조사하기 위해 클러터 펜스 설치 전과 후의 윈드프로파일러 바람 벡터 수집률과 바람 벡터의 정확도를 고도별로 조사하였다. 윈드프로파일러의 클러터 펜스는 자료 수집률 뿐만 아니라 자료의 품질을 향상시키는데 기여하였다.

ABSTRACT

Clusters generated by features such as mountains or buildings are considered as the contaminated data that are independent of atmospheric phenomena. The basic way to reduce the clutter signal is to install a clutter fence around the wind profiler. In order to investigate the effect of clutter fence on the wind profiler data, the wind vector collection rate and wind vector accuracy of wind profiler was investigated before and after clutter fence installation. The clutter fence of wind profiler contributed to improve the data quality as well as the data collection rate.

키워드

Clutter Fence, Doppler Spectrum, Terrain Clutter, Wind Profiler, Wind Vector
클러터 펜스, 도플러 스펙트럼, 지형 클러터, 윈드 프로파일러, 바람 벡터

1. 서론

윈드프로파일러(Wind profiler)는 도플러 레이더의 일종으로, 안테나에서 대기로 전파를 방사하고, 대기 산란체로부터 산란되어 돌아오는 전파를 수신하여 대기 상태를 관측한다. 클러터(Clutter)는 관측 환경에 따라 오염된 관측 자료의 포출로써[1-2], 전파가 산이나 건물과 같이 물체에 반사되어 수신되는 불필요한

에코를 의미한다.

클러터에 의한 관측 자료의 오염을 줄이기 위하여 하드웨어 영역의 해결 방법인 클러터 펜스(Clutter fence)는 레이더 운용에 매우 중요하다[3]. 클러터 펜스는 윈드프로파일러를 둘러싼 차폐 장치로 부방사 빔을 차단하여 주변 지형으로부터 수신되는 신호를 필터링(Filtering)하는 역할을 한다. 클러터 펜스를 활용한 필터링은 매우 중요한 과정이지만, 클러터를 완

* 부경대학교 지구환경시스템과학부(brilliantwg@gmail.com)

** 교신저자 : 부경대학교 환경대기과학과

*** 부경대학교 공간정보시스템공학과(yoonhj@pknu.ac.kr)

• 접수일 : 2019. 02. 14

• 수정완료일 : 2019. 03. 16

• 게재확정일 : 2019. 04. 15

• Received : Feb. 14, 2019, Revised : Mar. 16, 2019, Accepted : Apr. 15, 2019

• Corresponding Author : Byung-Hyuk Kwon

Dept. of environmental atmospheric sciences, Pukyong National University,

Email : bhkwon@pknu.ac.kr

전히 없애기는 어렵다[4]. 이러한 하드웨어적 한계를 극복하기 위해 많은 소프트웨어 기술이 개발되었고 [5-6], Strauch 등은 DC (Direct Current) 제거를 통하여 클러터를 줄였다[7]. 컨센서스 평균법(Consensus average) 또는 통계 평균법(Statistical average)은 불규칙적인 도플러 스펙트럼에 의한 클러터를 제거하기 위해 사용되었다[8-9]. 그리고 웨이블릿 변환법은 가장 흔히 쓰이는 신호 처리 방법으로 클러터를 제거할 뿐 아니라 다른 비기상 신호를 제거한다[10].

본 연구는 지형 클러터 제거를 위한 클러터 펜스의 설치에 관측 자료에 미치는 효과를 파악하는 것이 목적으로 윈드프로파일러 장비와 수집된 자료를 소개한다. 또한 클러터 펜스 설치 전후의 자료 수집률을 비교하고, 클러터에 의해 오염된 도플러 스펙트럼의 분포를 분석한다.

II. 윈드프로파일러

2.1 PCL1300

Degreane사의 1290 MHz 윈드프로파일러 PCL1300은 고도 약 70 m에서 5000 m까지 바람의 연직 프로파일을 실시간으로 제공한다. 약 70 m의 수직 범위 해상도로 레이더 신호를 수집하고, 수집된 자료를 바람 산출 프로그램의 소프트웨어를 사용하여 바람 벡터를 산출한다. PCL1300은 1개의 연직범과 4개의 경사빔을 사용하여 6~7분마다 1회 대기를 스캔한다. 경사빔의 방위각은 각각 352°, 82°, 172°, 262° 이다. PCL1300은 강원지방기상청에 클러터 펜스가 없이 설치되어 2003년부터 2016년까지 운용되었으며(그림 1), 동쪽과 북쪽은 바다이고 나머지 방향은 산악 지형으로 둘러싸인 지리적 조건에서 운용되었다(그림 2).

2.2 LAP3000

Scintec사의 1290 MHz 윈드프로파일러 LAP3000은 고도 약 150 m에서 6000 m까지 바람의 연직 프로파일을 제공하고, 수직 범위 해상도는 50 m이다(그림 3). LAP3000은 1개의 연직범과 4개의 경사빔으로 구성되어 있다(표 1). 경사빔의 방위각은 PCL1300과 동일하며, 1회 대기 스캔 시간은 10분으로 PCL1300보다 긴 주기로 레이더 신호 자료를 수집한다. LAP3000은



그림 1. 클러터 펜스가 없는 UHF 윈드프로파일러 PCL1300

Fig. 1 UHF Wind profiler PCL1300 without clutter fence

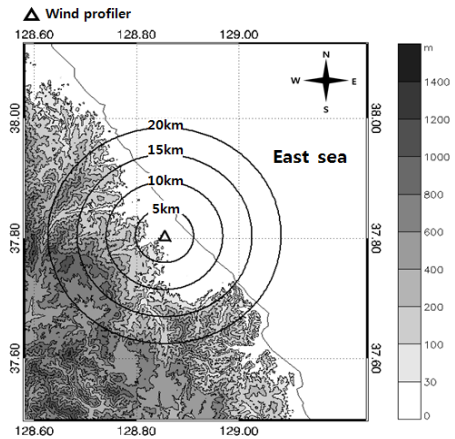


그림 2. 윈드프로파일러 운용 지점

Fig. 2 Operation location of wind profiler



그림 3. 클러터 펜스를 갖춘 UHF 윈드프로파일러 LAP3000

Fig. 3 UHF Wind profiler LAP3000 with clutter fence

표 1. 두 윈드프로파일러의 기본 사양
Table 1. Basic specifications of two wind profilers

Parameter	PCL1300	LAP3000	Unit
Frequency	1290	1290	MHz
Beam number	5	5	
Pulse width	500	250~3000	ns
Lowest height	72	100	m
Highest height	5000	6000	m
Range resolution	71.68	40~1000	m
Number of gates	71	28~100	
Oblique beam tilt	17.3	15.7	degree

PCL1300과 같은 장소에 설치되어 있고, 같은 지리적 특성에서 운용된다.

클러터 펜스는 지형 클러터의 신호 오염에 대한 시스템 민감성을 줄이고 안테나 시스템을 보호하고 유지할 수 있는 조립식 보조 구조물이다. LAP3000의 클러터 펜스는 안테나와 1 m 간격을 두고 있고 천정 각으로부터 약 20° 기울어져 있다. 상부 테두리는 정사각형 모양으로 크기가 4 m × 4 m이고, 설치 후 안테나 밑면으로부터 높이는 약 2 m이다.

III. 결과

3.1 자료 수집률

PCL1300과 LAP3000을 제작한 두 제조사는 윈드프로파일러의 관측 자료 가시화를 위한 소프트웨어 PCL1300과 SRun을 각각 제공한다. 원시 관측 자료는 제조사별로 설정한 품질 관리 기준에 따라 선별되어 저장된다. 두 제조사의 자체 기준에 따라 불량 자료로 판단되는 자료는 저장되지 않거나 저장 되더라도 불량 처리되어 가시화 소프트웨어의 설정에 따라 표출되지 않기도 한다. 수신 신호가 약해서 스펙트럼 분포에서 특별히 강한 첨두(Peak)를 결정할 수 없는 경우가 관측 자료의 수집률이 감소하는 사례이다. 일반적으로 대기 상부로 갈수록 전파 산란체가 감소하여 수신 신호가 약하거나 대기 난류도 없을 경우에 고도가 높아질수록 자료 수집률은 감소한다.

클러터 펜스 설치 전후의 관측 결과를 비교하기 위하여 2016년 5~6월의 PCL1300, 2017년 5~6월의

표 2. PCL1300과 LAP3000의 고도별 자료 수집률
Table 2. Data acquisition rate with altitude from PCL1300 and LAP3000

Altitude(km)	Acquisition rate (%)	
	PCL1300	LAP3000
0 ~ 1	95.9	91.4
1 ~ 2	100.0	90.6
2 ~ 3	99.9	90.8
3 ~ 4	66.8	74.0
4 ~ 5	22.5	43.1

LAP3000 바람 벡터(Wind vector) 자료를 사용하였고 강수 유무는 고려하지 않았다. 자료의 시간 간격은 10 분이다. 분석기간 동안 고도 0 ~ 5000 m에서 클러터 펜스 설치 전과 후의 바람 벡터 2개월 동안의 수집률은 각각 75.4%와 76.4%였다. 펜스 유무에 따른 고도별 윈드프로파일러의 자료 수집률은 표 2에 정리하였다. 클러터 펜스가 설치되지 않은 PCL1300은 고도 3000 m 이하에서 바람 벡터를 99.9% 이상 관측하였고, 고도 4000 m 이상에서 바람 벡터를 22.5% 관측하였다. 클러터 펜스가 설치된 LAP3000은 고도 3000 m 이하에서 바람 벡터를 90.8% 이상 관측하였고, 고도 4000 m 이상에서 바람 벡터를 43.1% 관측하였다. 고도 3000 m 이하에서는 클러터 펜스 설치 전후와 상관없이 90% 이상의 자료 수집률을 보였다. 그러나 고도 4000 m 이상에서는 클러터 펜스 설치 후에 자료 수집률이 약 2배 증가하였다. 고도 3000 m 이상에서 PCL1300의 자료 수집률의 급감은 신호 대 잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio)의 임계값이 1 dBz로 높게 설정되었기 때문이다[11]. 또한 펜스가 없는 점을 고려하여 품질이 불량으로 분류된 자료의 과도한 생산도 다른 원인으로 추정되어 지형 클러터 탐지 빈도를 조사하였다.

3.2 지형 클러터 발생 빈도

윈드프로파일러 바람 벡터 산출을 위한 원시 자료의 기본 형태는 도플러 스펙트럼이다. 지형지물은 움직이지 않는 레이더의 목표물이기 때문에 시선속도(Radial velocity)가 0 m s⁻¹이다. 따라서 주변 지형이나 건물로부터 산란되어 돌아오는 수신 신호는 도플러 스펙트럼에서 시선속도가 0 m s⁻¹일 때 최대 첨두(Maximum peak)가 나타나고, 첨두 주변의 스펙트럼

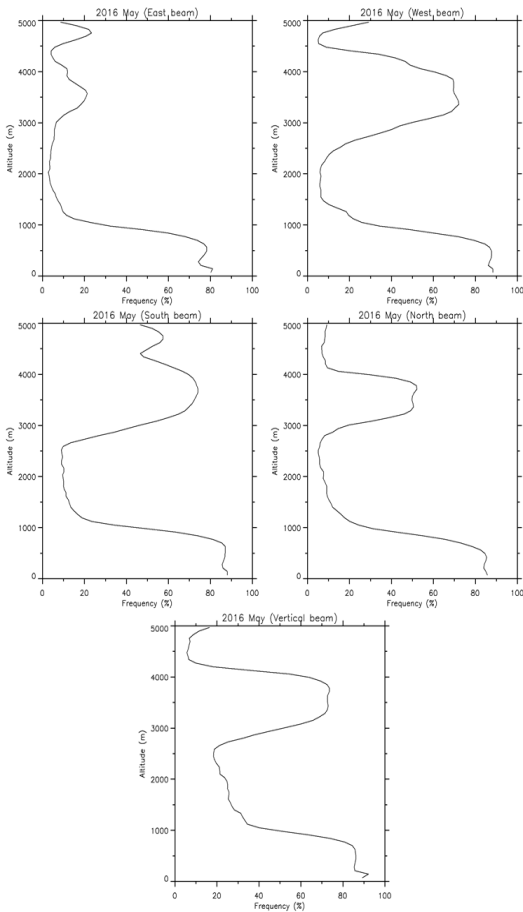


그림 4. 2016년 5월에 각 안테나에서 시선속도가 0 m s⁻¹ 인 최대 첨두의 빈도
 Fig. 4 Frequency of maximum peak as radial velocity is 0 m s⁻¹ at each beam in May 2016.

폭이 좁다. 시선속도에 대한 지형의 영향을 조사하기 위하여 도플러 스펙트럼의 최대 첨두 위치의 빈도를 계산하였다. 클러터 펜스 설치 전에 고도 1000 m 이하에서 PCL1300에서 산출한 시선속도가 0 m s⁻¹인 최대 첨두가 나타난 빈도는 모든 안테나에 대하여 80% 이상이었다. 고도가 증가할수록 빈도는 감소하는 경향을 보였고, 고도 3000 m 이상부터는 최대 첨두 위치의 빈도가 다시 증가하였다. 동쪽 빔(East beam)의 경우에는 윈드프로파일러의 동쪽에 바다가 자리하고 있기 때문에 최대 첨두의 빈도는 20%였으며, 클러터에 의한 영향이 크지 않았다는 것을 보여준다(그림 4). 풍속은 상층으로 갈수록 증가하는 것이 일반적이

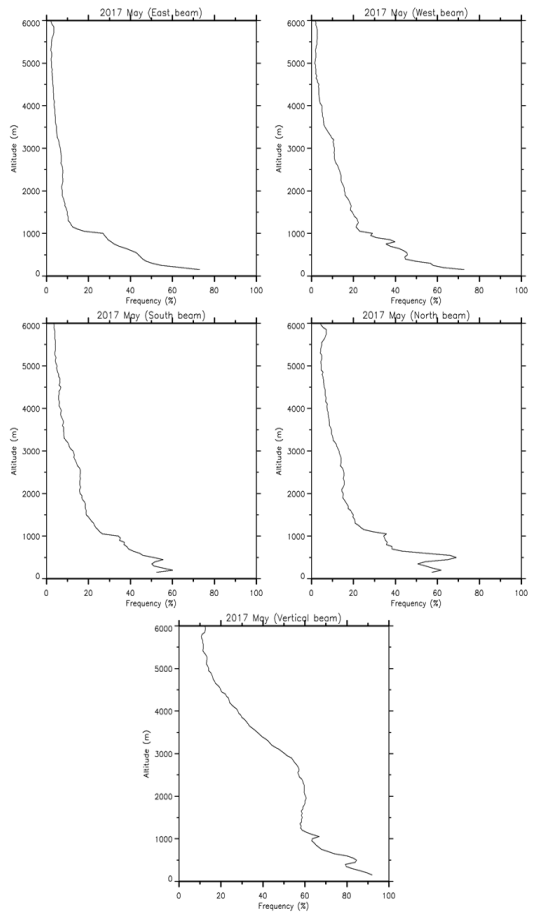


그림 5. 2017년 5월에 각 안테나에서 시선속도가 0 m s⁻¹ 인 최대 첨두의 빈도
 Fig. 5 Frequency of maximum peak as radial velocity is 0 m s⁻¹ at each beam in May 2017.

다. 동쪽 이외의 네 방향에서 약 2500 m~4000 m에 공통적으로 시선속도 0 m s⁻¹가 빈번하게 나타나는 것은 차단되지 않은 부방사빔에 의한 지형 클러터 신호가 제거되지 않았다는 것을 의미한다. 연직빔은 수평 운동하는 목표물에 대한 반응 강도가 경사빔보다 약하기 때문에 연직빔의 시선속도는 경사빔의 시선속도보다 작다. 이는 그림 5에서 연직빔의 시선속도가 0 m s⁻¹인 빈도가 높게 나타난다. 펜스 설치 전과 마찬가지로 고도가 증가할수록 빈도는 감소하였고, 고도 3000 m 이상에서는 연직빔을 제외한 네 안테나에 대하여 시선속도 0 m s⁻¹에서 최대 첨두가 나타나는 빈도가 10% 이하로 감소하였다. 이는 LAP3000에 설치

된 클러터 펜스가 지형 에코 제거에 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다.

3.3 윈드프로파일러 풍속 프로파일 비교

윈드프로파일러의 바람 벡터는 수신 신호의 스펙트럼에서 결정된 시선속도와 경사법의 경사각의 관계식에 의해 산출된다[12]. 시선속도의 품질이 좋지 않으면 바람 벡터의 정량적 품질도 기대할 수 없다. 그림 4에서 확인된 지형에 의한 상층 시선속도의 이상이 바람 벡터에 미치는 영향을 조사하였다.

그림 6은 PCL1300과 LAP3000의 고도별 1 m s^{-1} 이하의 풍속 빈도이다. 일반적으로 고도 3000 이상의 상층 바람은 매우 강하기 때문에 풍속이 1 m s^{-1} 보다 작을 수 없다. 상층에서 1 m s^{-1} 이하의 풍속은 지형 클러터의 영향으로 시선속도가 0 m s^{-1} 에 가까운 값으로 결정되어 풍속이 과소 산출된 것이다. PCL1300은 LAP3000보다 모든 고도에서 지형 클러터의 탐지 빈도가 높았고, 특히 고도 3000 m부터 급격히 증가한 결과와 일치한다. 이는 실제 풍속의 기준 자료로 이용되는 라디오존데 관측 자료의 풍속과 비교로 확인할 수 있다[6].

PCL1300에서 나타나는 지형 클러터가 풍속에 미치는 영향을 조사하기 위하여 PCL1300과 LAP3000의 풍속을 라디오존데의 풍속과 비교하였다(그림 7). PCL1300은 라디오존데보다 약한 바람을 제공하였으

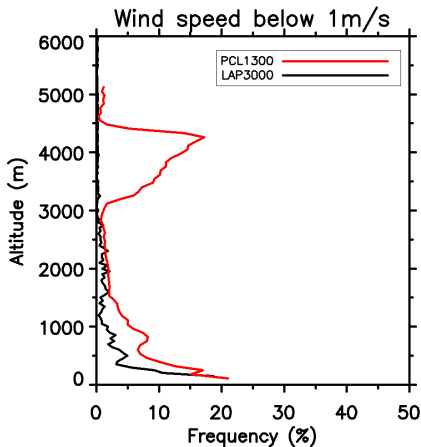


그림 6. 두 윈드프로파일러의 1 m s^{-1} 이하 풍속 빈도
Fig. 6 Frequency of wind speed below 1 m s^{-1} of two wind profilers

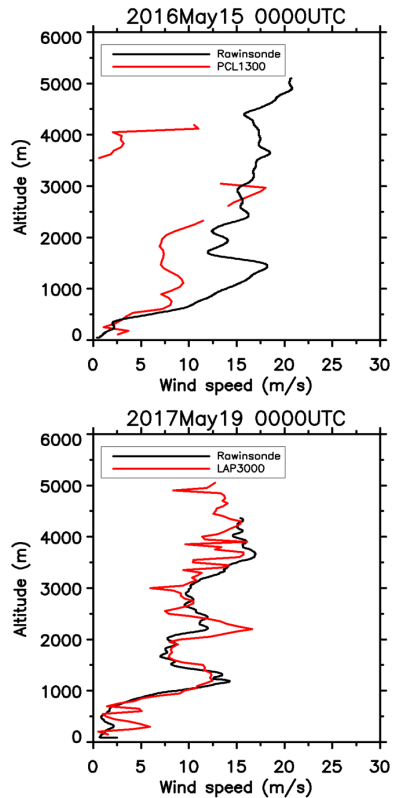


그림 7. 윈드프로파일러와 라디오존데 풍속 프로파일. PCL1300(위), LAP3000(아래)

Fig. 7 Wind speed profiles of wind profiler and rawinsonde. PCL1300(upper), LAP3000(lower)

며, 고도 3000 m 이상에서 풍속이 급격히 감소하고 바람 벡터의 결측이 발생하였다. 상층에서 풍속의 불연속적인 분포는 시선속도의 분포와 관련이 있다. 앞서 그림 4에서 지형 클러터에 의해 고도 3000 m 이상에서 시선속도가 0 m s^{-1} 로 측정된 빈도가 높았다. 상층에서 지형 클러터에 의한 시선속도의 과소 측정은 바람 벡터를 산출하는 데 있어서 부정확한 결과를 제공한다. LAP3000은 모든 고도에서 급격한 풍속 감소와 바람 벡터의 결측이 줄어들었고 연속적인 관측 자료를 제공하였다. LAP3000의 자료는 클러터 펜스에 의해 지형 클러터가 제거되었으므로 시선속도가 과소 측정되지 않았고 라디오존데 풍속에 가까운 풍속 분포를 산출하였다.

IV. 결론

클러터는 오염된 윈드프로파일러의 관측 자료의 표출로써 지형지물을 비롯한 방해물에 의해 수신된 불필요한 에코를 의미한다. 이 연구에서는 클러터를 줄이기 위한 하드웨어적 해결 방안인 클러터 펜스가 윈드프로파일러 관측 자료에 미치는 효과를 파악하기 위하여 클러터 펜스 설치 전과 후의 고도별 바람 벡터의 수집률을 비교하였고, 도플러 스펙트럼의 침두 분포와 바람의 연직 풍속 프로파일을 조사하였다.

자료 수집률은 산출된 모든 바람 벡터에 대하여 양질의 바람 벡터 자료 비율로써, 클러터 펜스 설치 후에 상층에서 자료 수집률이 향상된 결과는 클러터 펜스가 부방사빔의 송신을 차단하여 윈드프로파일러 주변의 지형지물과 같은 방해물에 의해 오염되는 자료를 감소시키는 역할을 설명한다.

지형 클러터의 존재는 도플러 스펙트럼의 침두 분포에서 뚜렷하게 나타난다. 고정 물체에 의해 수신된 신호에는 도플러 효과가 나타나지 않기 때문에 클러터 펜스가 없을 때 상층에서 도플러 스펙트럼의 침두는 시선속도 0 m s^{-1} 에 밀집한다. 이 시선속도는 제조사의 소프트웨어에 의해 오류로 판별되어 해당 고도의 바람 벡터를 정확히 산출할 수 없고 자료 수집률을 감소시킨다. 클러터 펜스는 도플러 스펙트럼에서 지형지물에 의한 0 m s^{-1} 의 시선속도를 산출하는 것을 방지하기 때문에 고도에 따라 연속적인 바람 벡터 산출에 기여한다.

클러터 펜스는 품질이 좋은 자료를 얻기 위해 필요한 매우 중요한 장치이지만 오염된 클러터를 완전히 제거하기는 어렵다. 하드웨어적 한계를 극복하기 위하여 윈드프로파일러 자료의 품질 개선 알고리즘들이 개발되고 있다. 윈드프로파일러 운용에 클러터 펜스와 자료 품질 개선 알고리즘을 활용하면 보다 양질의 바람 벡터를 산출할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 기상청 「기상·지진See-At기술개발연구」(KMIPA2018-06310) 및 BK21 플러스 사업 지구환경 재해시스템사업단의 지원으로 수행되었습니다.

Reference

- [1] Q. Rao, H. Hashiguchi, and S. Fukao, "Study on ground clutter prevention fences for boundary layer radars," *Radio Science*, vol. 38, no. 2, 2003, pp. 1030-1051.
- [2] W. Jo, B. Kwon, and H. Yoon, "Retrieval of radial velocity and moment based on the power spectrum density of scattered 1290 MHz signals with altitude," *J. of Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 13, no. 6, 2018, pp. 1191-1198.
- [3] C. Russell and J. Rordan, "Portable clutter fence for UHF wind profiling radar," *seventh symp. on meteorological observations and instrumentation*, New Orleans, United States America, 1991, pp. 152-156.
- [4] B. Heo, *Wind Profiler and Atmospheric Sounding*. Seoul: Hongrungs publishing company, 2014.
- [5] W. Jo, B. Kwon, P. Kim, M. Kim, and H. Yoon, "Quality Control of the UHF Wind Profiler Radar," *J. of Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 13, no. 2, 2018, pp. 277-290.
- [6] K. Kim, M. Kim, S. Seo, P. Kim, D. Kang, and B. Kwon, "Quality evaluation of wind vectors from UHF wind profiler using radiosonde measurements," *J. of Environmental Science International*, vol. 24, no. 1, 2015, pp. 133-150.
- [7] R. Strauch, K. Merritt, K. Earnshaw, and D. van de Kamp, "The Colorado wind-profiling network," *J. of Atmos. Oceanic Technology*, vol. 1, no. 1, 1984, pp. 37-49.
- [8] M. Fischler and R. Bolles, "Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," *Communication of Association for Computing Machinery*, vol. 24, no. 6, 1981, pp. 381-395.
- [9] D. Merritt, "A statistical averaging method for wind profiler doppler spectra," *J. of Atmos. Oceanic Technology*, vol. 12, no. 5, 1995, pp.

985-995.

- [10] J. Jordan and R. Latatits "Removing ground and intermittent clutter contamination from wind profiler signals using wavelet transforms," *J. of Atmos. Oceanic Technology*, vol. 14, no. 1, 1997, pp. 1280-1297.
- [11] K. Kim, P. Kim, M. Kim, D. Kang, and B. Kwon, "Accuracy evaluation of UHF wind profiler radar wind vectors by setting a threshold of Signal-to-Noise Ratios," *J. of Environmental Science International*, vol. 25, no. 9, 2016, pp. 1241-1251.
- [12] Vaisala Inc, "Wind profiling History, Principles, and Application Technical note," *Technical report*, Sept. 2002.



윤홍주(Hong-Joo Yoon)

1983년 부경대학교 해양공학과 졸업(공학사)
1985년 부경대학교 대학원 해양학과 졸업(공학석사)

1997년 프랑스 그르노블 I 대학교 대학원 위성원격탐사전공 졸업(공학박사)
1999년~2002년 여수대학교 해양공학과 교수
2002년~현재 부경대 공간정보시스템공학과 교수
2013년 (사)한국클라우드센터터널파크 이사
2014년 한국전자통신학회 부회장
2015년 공간정보 Big Data 센터장
2015년 행정공간정보화연구소 소장
2016년 (사)한국생태공학회 회장
※ 관심분야 : 해양 원격탐사, GIS

저자 소개

조원기(Won-Gi Jo)



2017년 부경대학교 환경 대기과학과 졸업(이학사)
2017년~현재 부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 환경 대기과학 전공 석사과정
※ 관심분야 : 대기과학, 미기상학

권병혁(Byung-Hyuk Kwon)



1986년 연세대학교 천문기상학과 졸업(이학사)
1994년 Joseph Fourier 대학교 지구유체역학 전공(이학석사)
1997년 Paul Sabatier 대학교 대기과학 전공(이학박사)

2001년~2002년 Alagoas 대학교 교수
2002년~현재 부경대학교 환경대기과학과 교수
※ 관심분야 : 대기과학, 원격탐사

