

# 1.29 GHz 도플러 윈드프로파일러 스펙트럼에서 전파 간섭 신호 제거

이경훈\* · 권병혁\*\* · 김유진\*

Removal of Radio Frequency Interference of 1.29 GHz Doppler Wind Profiler Radar

Kyung-Hun Lee\* · Byung-Hyuk Kwon\*\* · Yu-Jin Kim\*

## 요 약

윈드프로파일러 시제품의 시험 운용 기간 중 스펙트럼에 전파 간섭(RFI: Radio Frequency Interference) 오염이 발생하였다. 윈드프로파일러 spectra에 나타나는 전파 간섭 제거 알고리즘의 개발 과정과 그 결과를 조사하였고, 전파 간섭을 제거하기 위한 새로운 알고리즘을 개발하였다. 스펙트럼 폭의 임계값 0.1 m/s로 우선 필터링하고 연직 빔인지 경사 빔인지에 따라 동일한 시선속도가 연속되는 gate 수 범위를 결정하였다. 전파 간섭 오염은 비기상 신호의 필터링과 스캔을 통해 제거되었고, 개선된 스펙트럼의 시선속도로부터 산출된 바람 벡터의 연속성으로 검증되었다.

## ABSTRACT

During the test operation period of the wind profiler prototype, radio frequency interference (RFI) contamination occurred in the spectrum. The reference of the RFI that removed the algorithm appearing in the wind profiler spectrum were investigated, and a new algorithm was developed to remove the RFI. First, it was filtered with a threshold value of 0.1 m/s of the spectral width, and the range of the number of gates with the same radial velocity was determined according to whether the beam was a vertical beam or an oblique beam. RFI contamination was removed through filtering and scanning of non-weather signals, and the continuity of wind vectors calculated from the improved spectral radial velocity was verified.

## 키워드

Radio Frequency Interference, Spectrum, Meteorological Signal, Wind Profiler Radar  
전파 간섭, 스펙트럼, 기상 신호, 윈드프로파일러 레이더

## 1. 서 론

윈드프로파일러는 연직의 대기로 전파를 방사하여 돌아오는 신호를 통해 바람을 관측하는 장비다. 원격

탐사장비 특성상 관측 과정에서 하드웨어, 클러터 등 여러 가지 문제가 발생한다[1-4]. 특히 주변 환경의 전파 간섭에 의한 스펙트럼 오염은 기상 신호를 찾기 어렵게 만들고 정확한 바람 산출에 문제를 초래하

\* 부경대학교 지구환경시스템과학부(lee\_buzz@nate.com, bhkwon@pknu.ac.kr, yu1120jin@nate.com)

\*\*교신저자: 부경대학교 환경대기과학과

• 접수 일 : 2022. 04. 02

• 수정완료일 : 2022. 05. 10

• 게재확정일 : 2022. 06. 17

• Received : Apr. 02, 2022, Revised : May. 10, 2022, Accepted : Jun. 17, 2022

• Corresponding Author : Dept. of environmental atmospheric sciences, Pukyong National University,

Email : bhkwon@pknu.ac.kr

로, 전파 간섭 탐지와 제거는 아주 중요하다[5].

국내에서는 해외 제조사 장비의 노후화 및 주기적인 장비 관리의 어려움으로 인하여, 민·군·관 협동으로 윈드프로파일러 레이더 개발 사업을 2017년 11월부터 2021년 12월까지 진행하였다[6]. 2021년 3월부터 제주 국가태풍센터에 있는 테스트베드에서 개발 장비의 시험 운용을 진행하던 중 몇 차례 전파 간섭으로 보이는 신호의 오염이 발생하였다. NOAA에 따르면, 전파 간섭으로 오염된 신호로 산출한 바람 벡터가 연속적이고 일정한 무리로 나타나서 후속 처리 과정인 컨센서스 등의 품질관리 절차에서 처리되지 않을 수 있음을 주의하였다[7]. 이후 연직 속도 임계값 검사 방법[8], 모멘트 가중치 기반 통계기법[9] 등이 제시되었지만, 개발 장비에 적용할 스펙트럼 단계의 전파 간섭 제거 알고리즘에 관한 연구는 부족하였고, 이에 본 알고리즘을 개발하였다.

본 연구는 전파 간섭 제거 알고리즘 개발에 활용된 자료와 시험 장비 및 관측 장소를 소개하고, 전파 간섭에 대한 설명 및 제거 알고리즘 개발 과정을 소개한다. 마지막으로 전파 간섭 사례에 대해 알고리즘을 적용한 결과를 소개하고 바람 벡터로 유용성을 검증한다.

## II. 연구 방법

### 2.1 관측장비 및 자료

연구에 사용한 윈드프로파일러는 1,290 MHz 대역의 주파수와 능동위상배열 안테나를 사용하여 방위각의 제한 없이 자유롭게 상공의 바람을 관측한다. 10분마다 50 m - 100 m의 연직 분해능으로 0.15 km - 12.0 km까지 관측할 수 있다. 고정된 장소에 설치하여 관측하는 것뿐만 아니라 차량 등에 탑재하여 이동형 장비로도 사용할 수 있어서 원하는 시점, 장소에서 언제든지 바람을 관측하고 자료를 확보할 수 있다. 자세한 제원 및 형상은 각각 표 1, 그림 1과 같다.

표 1. 윈드프로파일러 사양  
Table 1. Specification of wind profiler radar

Parameter	Specification
Operation Frequency	1.29 GHz
Antenna Type	Active Phased Array
Peak Power	> 1.8 kw
Pulse Width	0.333 - 10.8
Minimum Height	150 m
Maximum Height	12 km
Height Resolution	50 m, 100 m
Horizontal Detectable Range	50 m/s
Vertical Detectable Range	20 m/s
Wind Speed Accuracy	RMSE < 1.0 m/s
Wind Direction Accuracy	RMSE < 10.0
Time Resolution	10 minutes

윈드프로파일러의 시험 운용 기간(2021. 03 - 2021. 04)에 생산된 원시 스펙트럼 자료와 원시 모멘트 자료를 사용하였다. 두 자료는 High mode와 Low mode로 나뉘어 연직, 북, 동, 남, 서 순으로 관측되어 저장되어있다. 원시 스펙트럼 자료는 관측 정보, 사이트 정보 등이 담긴 공통 헤더와 스펙트럼 정보가 담긴 스펙트럼 헤더 그리고 파워 스펙트럼 밀도(PSD)가 값이 저장되어있다. 원시 모멘트 자료는 공통 헤더와 모멘트 정보가 담긴 모멘트 헤더 그리고 원시 스펙트럼 자료에서 모멘트 법[10]으로 구한 0차 - 3차 모멘트(수신 전력, 시선속도, 스펙트럼 폭, 비대칭도) 및 잡음 전력과 SNR, 반사도가 저장되어있다.



그림 1. 국내 기술로 개발하여 생산한 윈드프로파일러 도플러 레이더.

Fig. 1 Wind profiler Doppler radar developed and produced with domestic technology.

### 2.2 전파 간섭

전파 간섭은 크게 내부 전파 간섭과 외부 전파 간섭으로 나뉜다. 내부 전파 간섭은 주로 하드웨어에 의해 발생하며, 최하층 고도에 특정한 잡음이 나타나는 특징이 있다. 외부 전파 간섭은 주변 전파 환경에 의해 발생하며, 일정한 피크가 고도에 따라 연속적으로 나타나는 특징이 있다[11].

그림 2는 윈드프로파일러에서 바람을 관측하기 위해 펄스파를 송·수신하는 과정이다. 같은 안테나에서 펄스파의 송·수신이 이루어지므로, 송신과 수신 이후 다음 송신까지 일정한 간격이 존재한다[12]. 이때 송신 신호와 수신 신호를 중간에서 구별해주는 매개체 역할을 하는 송수신 전환 스위치에 문제가 발생하면, 내부에 남은 잔여 전력이 특정 주파수의 강한 신호로

나타나 간섭을 일으킨다. 이외에도 전원 잡음 등 다른 하드웨어적인 원인에 의해 발생하는 간섭을 내부 전파 간섭이라고 한다. 내부 전파 간섭은 그림 3과 같이 스펙트럼 상에서 주로 낮은 고도에 특정한 형태의 피크가 모든 빔에서 나타나는 특징이 있다.

외부 전파 간섭은 그림 4와 같이 내부 전파 간섭과 달리 주로 중상층 또는 전체 고도에서 일정한 피크가 연속적으로 나타나는 형태를 보인다. 이는 고도가 높아질수록 윈드프로파일러에 수신되는 펄스 신호의 세기가 약해지고, 외부에서 유입되는 간섭 신호의 세기가 더 크게 나타나기 때문이다. 외부 전파 간섭의 원인으로서는 윈드프로파일러 주위의 통신 전파, 전자 기기, 번개 등이 있으며[13], 주로 소프트웨어 처리를 통해 제거한다. 일반적으로 언급되는 RFI는 외부 전파 간섭을 일컫는다. RFI는 개별 프로파일 내에서 큰 연직 범위(1.0 km - 2.0 km)에 걸쳐 나타나며, 낮은 고도에서 부정확한 바람 성분 프로파일을 생성하는 경향이 있다고 알려져 있다[14]. 본 연구에서 제거한 전파 간섭도 외부 전파 간섭에 해당한다.

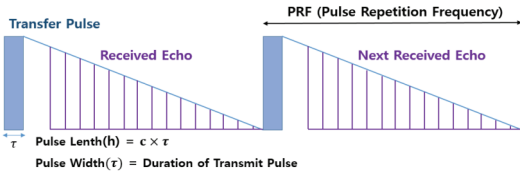


그림 2. 펄스파 송신과 수신.  
Fig. 2 Pulse transmit and receive.

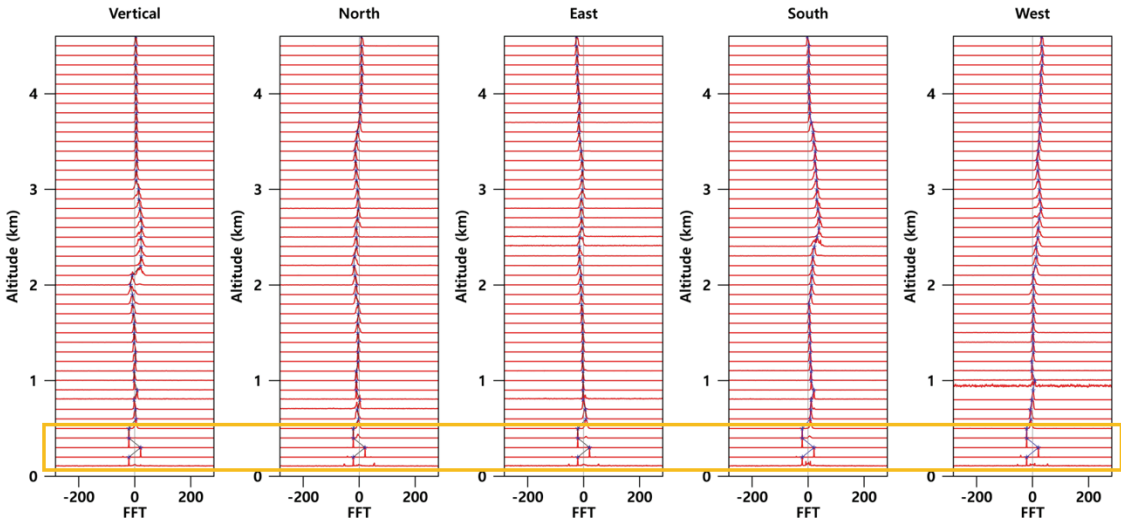


그림 3. 하층에 내부 전파 간섭이 나타나는 고도별 스펙트럼.  
Fig. 3 Spectra with altitude showing internal radio frequency interference in lower altitude.

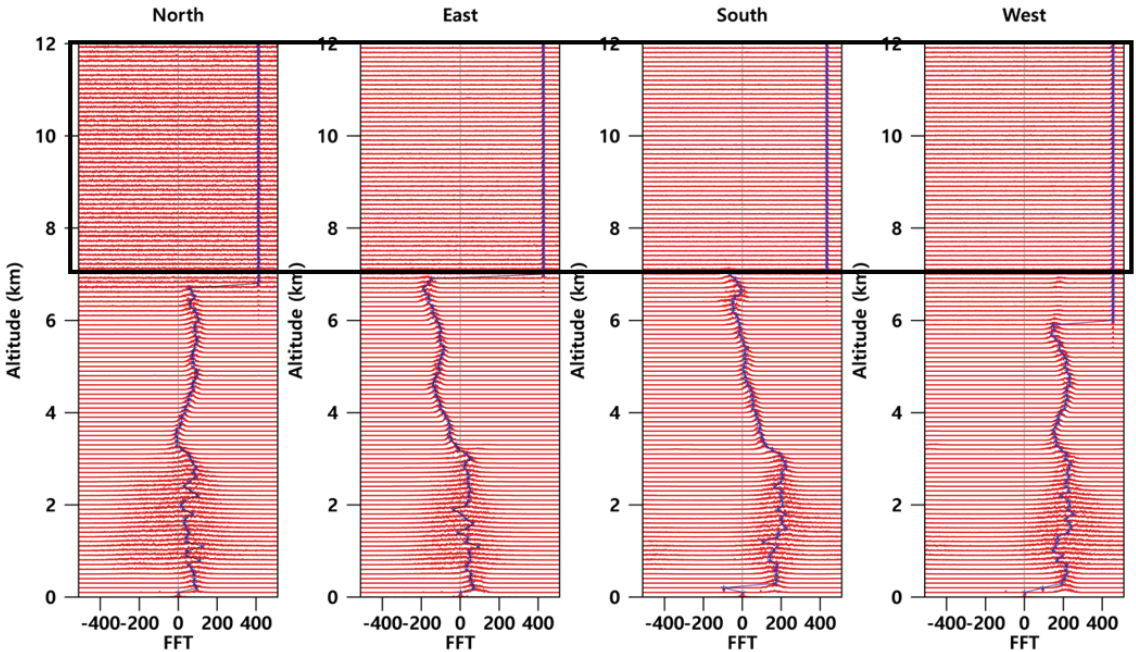


그림 4. 상층에 외부 전파 간섭이 나타나는 고도별 스펙트럼.

Fig. 4 Spectra with altitude showing external radio frequency interference in higher altitude.

### III. 결과

#### 3.1 전파 간섭 제거

전파 간섭을 제거하기 전에 전파 간섭이 발생했는지 검색하는 단계가 필요하다. 이를 위해 스펙트럼 폭을 이용하였다. 스펙트럼 폭은 잡음 신호에서 0.1 m/s 이하, 기상 신호에서는 0.1 m/s - 3.0 m/s의 범위를 가진다고 알려져 있다. 스펙트럼 폭 0.1 m/s를 임계값으로 한 필터링 작업을 통해 잡음 신호와 기상 신호를 구분하고, 잡음 신호에 대해 전파 간섭의 특징을 토대로 연속성 검사를 수행하였다. 연속성 검사는 동일 주파수를 가지는 잡음 신호가 일정 고도 이상 연속적으로 나타나는 경우 전파 간섭으로 판별하였다. 연속성 기준은 WMO에서 연직으로의 바람 벡터 연속성을 평가하는 기준인 3 gates를 바탕으로 성능을 테스트하였고, 최종적으로 4 gates로 설정하였다. 연속성 검사를 통해 탐지된 전파 간섭은 노이즈화 시켜 제거하였다. 그리고 필터링 검사에서 미처 걸러내지 못한 잡음이 있는 경우를 대비하기 위해 연직 범의

경우 15 gates, 경사 범의 경우 8 gates의 연속성 검사를 추가로 진행하였고, 이는 기상 신호가 제거되는 것을 방지하기 위해 선형 내삽 방식으로 제거하였다.

그림 5는 본 연구에서 개발한 전파 간섭 제거 알고리즘을 나타낸 모식도이고, 그림 6은 알고리즘을 적용하기 전과 후의 수평 바람 벡터를 시계열로 나타낸 그림이다. 그림 6의 전파 간섭 제거 전 바람 벡터 시계열을 보면 12시 36분부터 세 타임의 바람 벡터가 전체 고도에서 북풍 계열로 일정하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 북쪽 범에서 전파 간섭이 강하게 나타나 바람 산출에 오류가 발생한 것이다. 14시 33분 고도 8 km - 12 km의 바람 벡터도 마찬가지로 북풍 계열의 바람이 잘못 산출된 것을 볼 수 있다. 그리고 고도 1.5 km 이하 영역과 4 km - 6 km 사이의 영역에도 전파 간섭으로 인해 풍속의 상한값을 넘어가는 바람이 산출되어 결국으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 전파 간섭 제거 후의 바람 벡터 시계열을 보면 전파 간섭으로 인해 잘못 산출되었던 바람 벡터들이 개선

된 것을 볼 수 있고, 결측되었던 영역도 복원되어 전체적으로 바람 벡터가 시간, 고도에 따라 연속적인 것을 볼 수 있다.

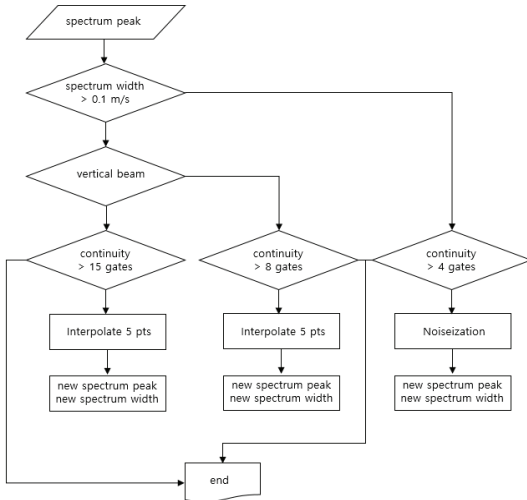


그림 5. 전파 간섭 제거 알고리즘.  
Fig. 5 Algorithm to remove radio frequency interference.

#### IV. 결론

국내에서 개발한 윈드프로파일러의 시제품 시험 운용 기간 중 발생한 전파 간섭을 제거하는 알고리즘을 개발하였다. 현업 운용을 위한 스펙트럼 단계의 제거 방법을 모색하였고, 그 결과 스펙트럼 폭 임계값을 이용하여 전파 간섭을 탐지하고, 노이즈화로 제거하는 알고리즘을 개발하였다. 알고리즘 적용 전과 후의 스펙트럼과 바람 벡터 시계열의 연속성 평가를 통해 정성적으로 검증되었다. 추후 다른 제조사들의 여러 모델에도 해당 알고리즘을 적용하여 품질 개선을 수행할 예정이며, 품질 관리를 통해 양질의 수평 바람 벡터를 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

이 연구는 기상청 기상레이더센터 R&D “국가 레이더 통합 활용기술 개발 사업”의 “레이더 기반 위험기상 감시기술 개발 (KMA2021-03121)” 지원으로 수행되었습니다.

#### References

- [1] W. Jo, B. Kwon, and H. Yoon, “Quality Control of the UHF Wind Profiler Radar,” *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences*, vol. 13, no. 2, 2018, pp. 277-290.
- [2] W. Jo, B. Kwon, and H. Yoon, “Clutter Fence Effect on Data Quality of Ultra High Frequency Radar,” *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences*, vol. 14, no. 2, 2019, pp. 275-282.
- [3] K. Lee, B. Kwon, and H. Yoon, “Evaluation of UHF Radar Data,” *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences*, vol. 16, no. 3, 2021, pp. 423-428.
- [4] K. Lee, B. Kwon, and H. Yoon, “Evaluation of Wind Speed Depending on Pulse Resolution of UHF Wind Profiler Radar,” *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences*, vol. 16, no. 3, 2021, pp. 429-436.
- [5] B. Emery and A. Camps, *Introduction to satellite*

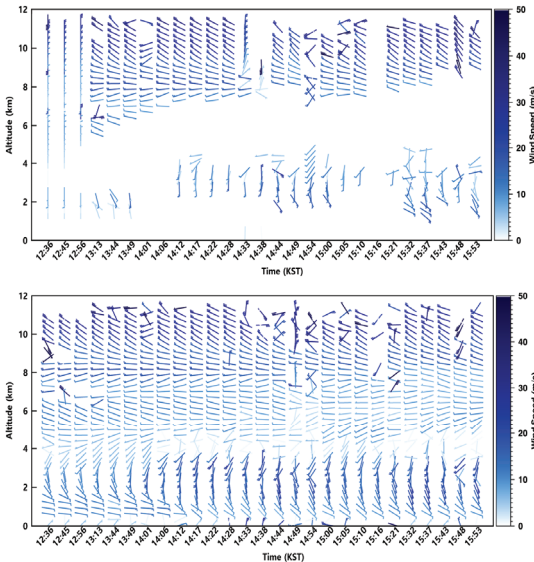


그림 6. 전파 간섭 제거 전(위)과 후(아래)의 바람 벡터장.

Fig. 6 Wind vector field before (upper) and after (lower) removal of radio frequency interference.

*remote sensing: atmosphere, ocean, land and cryosphere applications.* Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2017.

- [6] S. Lee and G. Lee, "Development of Simulation Method of Doppler Power Spectrum and Raw Time Series Signal Using Average Moments of Radar Wind Profiler," *J. of the Korea Institute of Electronics Communications Sciences*, vol. 15, no. 6, 2020, pp. 1037-1044.
- [7] K. Van, and W. Douglas, *Profiler training manual# 1: principles of wind profiler operation.* Geneva, Switzerland: The Program, 1989.
- [8] W. Lambert, F. Merceret, G. Talor, and J. Ward, "Performance of five 915-MHz wind profilers and an associated automated quality control algorithm in an operational environment," *J. Atmos, Ocean, Technol*, vol. 20, 2003, pp. 1488-1495.
- [9] L. Cornman, R. Goodrich, C. Morse, and W. Ecklund, "A fuzzy logic method for improved moment estimation from Doppler spectra," *J. Atmos, Ocean, Technol*, vol. 15, 1998, pp. 1287-1305.
- [10] 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 the Korea Institute of Electronics Communications Sciences*, vol. 13, no. 6, 2018, pp. 1191-1198.
- [11] B. Lindseth, "A 449 MHz modular wind profiler radar system," *Technical report*, 2012.
- [12] Vaisala, "Wind Profiling Technical Note; History, Principles, and Applications," *Technical report*, 2002.
- [13] B. Heo, *Wind Profiler and Atmospheric Detection.* Seoul: Hongneung, 2014.
- [14] R. Barbre. "Development of a climatology of vertically complete wind profiles from Doppler Radar Wind Profiler systems," In *Proc. AMS Int, Conf. on Aviation, Range and Aerospace Meteorology (ARAM), City of Phoenix, State of Arizona, United States*, 2015.

## 저자 소개



### 이경훈(Kyung-Hun Lee)

2016년 부경대학교 환경대기과학과 졸업(이학사)  
2018년 부경대학교 환경대기과학 전공(이학석사)

2020년~현재 부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 환경대기과학 전공 박사과정  
※ 관심분야 : 대기과학, 원격탐사



### 권병혁(Byung-Hyuk Kwon)

1986년 연세대학교 천문기상학과 졸업(이학사)  
1994년 Joseph Fourier 대학교 지구유체역학 (이학석사)

1997년 Paul Sabatier 대학교 대기과학 (이학박사)  
2002년~현재 부경대학교 환경대기과학과 교수  
※ 관심분야 : 대기과학, 원격탐사



### 김유진(Yu-Jin Kim)

2022년 부경대학교 환경대기과학과 졸업(이학사)

2021년~현재 부경대학교 지구환경시스템학부 학석사과정  
※ 관심분야 : 대기과학, 원격탐사